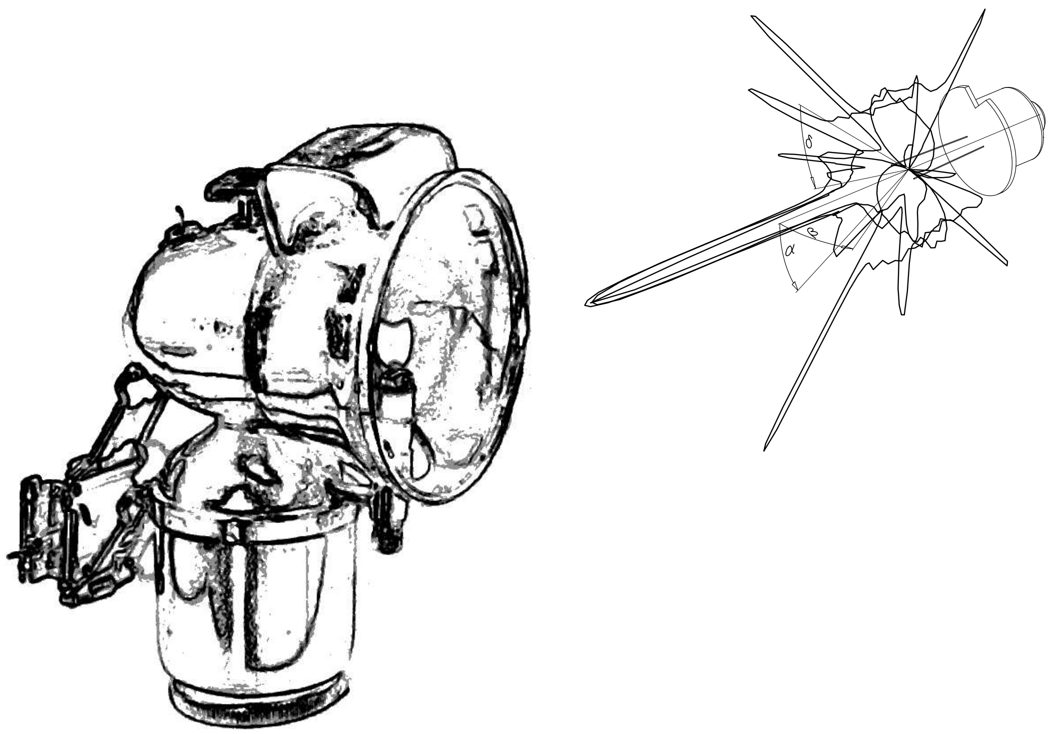


Dunkel war's, der Mond schien helle,
schneebedeckt die grüne Flur,
als ein Wagen blitzeschnelle
langsam um die runde Ecke fuhr.

D'rinnen saßen stehend Leute,
schweigend in's Gespräch vertieft,
als ein totgeschoss'ner Hase
auf der Sandbank Schlittschuh' lief.

Fahrradbeleuchtung – oder was möglich und in Deutschland meist nicht erlaubt ist!

Olaf Schultz, Hamburg-Harburg

Stand: 5. Februar 2021

Eine Auswahl zutreffender Leitsätze dieses Textes:

„. . . Für jedes komplexe Problem gibt es eine einfache Lösung, und die ist die falsche.“ xy in „Das Foucaultsche Pendel “ von Umberto Eco (dtv)

„. . . Alle Regeln vollständig zu bekommen, ist ungeheuer kompliziert, denn als sie das erste Mal alle in einem einzigen Band zusammengebunden wurden, erlitten sie einen Gravitationskollaps und wurden ein schwarzes Loch.“ Douglas Adams [DoAd3], Kapitel 19

„Wissen ist ein teurer Schatz und so beschaffen, daß er sich täglich veringert, will man ihn für sich behalten. Deshalb soll der Kluge sich besinnen und so freigiebig damit umgehen, wie er nur kann.“ Eike von Repgow, zwischen 1220 und 1235

„All Models are wrong. Some are usefull.“Gorge E. P. Box

„Wer alle seine Ziele erreicht hat, hat sie wahrscheinlich zu niedrig gewählt.“Herbert von Karajan

„Hinter jeder Ecke lauern ein paar Richtungen.“Stanislaw Jerzy Lec

Vorwort

In Deutschland sind die Beleuchtungseinrichtungen an Fahrrädern durch diverse Vorschriften reglementiert. Der Sinn mancher Regelungen sei hier dahingestellt. In vielen Fällen ist eine vernünftige Beleuchtungseinrichtung am Fahrrad ein Balanceakt zwischen dem getreuen Befolgen der Vorschriften und dem gesunden deutschtumignorierendem Menschenverstand. Dieser Text soll Ideen geben, aus dem Bestehenden das Beste machen zu können.

Am Anfang waren es nur die Messungen am „Schmidt Original Nabendynamos" (SON) und UNION Turbo. Diese sollten dann nur noch dokumentiert werden. Die ersten Tage im Herbst 1997 geschah das noch als Bestandteil der Bauanleitung zur *enhydra lutris*. Doch plötzlich hatte die Hydra einen ungeahnten Umfang mit diversen Köpfen und immer wieder kommen neue hervor. Um die Befürchtungen diverser Leute zu zerstreuen: Nein, dies ist weder eine gewerbliche Arbeit noch eine Dissertation oder ähnliches. Die hier zusammengetragenen Untersuchungen und Gedanken entstammen nur dem Interesse an der Materie. Ob es mal ein richtig offizielles Buch werden wird? Mir wird's dann zu unflexibel. Selber ausdrucken und binden, dann hat der Leser sein Buch.

Auf den allerletzten Seiten gibt es einen relativ ausführlichen Index!

Besonders am Anfang haben z.B. Andreas Oehler, der bei Wilfried Schmidt arbeitet, Martin Trautmann sowie diverse Mitglieder der *newsgroup* de.rec.fahrrad, der Deutschen HPV-Mailingliste und der *bike-current*-Mailingliste Gedankenanstöße geliefert.

Einige Kapitel sind inzwischen relativ abgeschlossen. Relativ! Andere sind noch in massivem Erweiterungs- bzw. Neustrukturierungsphasen! Also nicht Satzbau und Rechtschreibung auf die Goldwaage legen sondern besser machen! Eine eingeklammerte (42) oder (42!) deutet auf eine deutliche Baustelle hin:=)[1]

Zweiundvierzig? Jupp, taucht auch hier mehrfach auf. Siehe Zähnezahl Hohlrad Renak und Höhe des Reflektors (Front bis hintere Fläche der Lampenaufnahme) vom DT-FL. Geradezu unbegreiflich ist, daß die E24-Reihe nicht so gelegt wurde, daß 42 mit auftaucht sondern mit 43 knapp verfehlt wird. Dafür kann man den Lumotec so gerade eben auf 42 mm Durchmesser herunterdrehen, wenn man den Retroreflektor loswerden will. Auch sind die Anforderungen an das Meßraster in der TA 23 an einen Lichtstrom von 42 lm gekoppelt. Der Abstand der Schraubenschlitze beim inolight beträgt 42 mm, und der Reflektor hat vorne in der vertikalen auch 42 mm Höhe.

Maßgeblich ist die PostScript-Version! Die PDF-Version sollte mit der PostScript-Version vergleichbar sein, wird aber nicht immer kontrolliert.

Da ich besseres zu tun habe, als alle halbe Jahre Firmennamen auszutauschen, werden diese nicht durchgehend einheitlich verwendet. Nur zum Beispiel: FER ist in aufa aufgegangen, Union wurde von Marwi und dann Marwi von Basta gekauft, HPs Halbleiter- und Meßgerätesparte heißt z. Zt. Agilent und die von Siemens Infenion. Wer weiß, wie wer morgen heißt?

Für diejenigen, die keinen Zugriff auf Farbdrucker haben und über die Farbbilder stolpern: Mit einem einfachen ASCII-Editor o.ä. die PostScript-Datei editieren und alle `Color true def` durch `Color`

[1] 42 ist die Antwort auf die Frage nach allem, ausgerechnet von *deep thougth* in *Magrathea* [DoAd].

`false def` und `Solid true def` durch `Solid false def` ersetzen. So funktioniert es zumindest bei den Graphen, die mit gnuplot erzeugt worden sind.

Hiermit bedanke ich mich bei diversen Arbeitsbereichen und deren Mitarbeitern der TU Hamburg-Harburg für die anfänglich, bis ca. 2001, zur Verfügung gestellten Gerätschaften. Im Laufe der Zeit habe ich mir dann vieles selber angeschafft oder gebaut.

Hiermit bedanke ich mich auch bei Donald E. Knuth für TeX und bei unzähligen, hier nicht aufzählbaren, Personen, dank derer es LaTeX2e , pdflatex etc. gibt. Ohne dieses Textsatzprogramm wäre dieser Text nicht ohne graue Haare denkbar gewesen. Der Quellcode ist im Feb. 2007 auf ca. 916 kB mit 22.000 Zeilen angewachsen. Es ist immer noch eine einzige Datei. Es wird auch auf absehbare Zeit ein einziges Dokument bleiben, da zu viele Quervernetzungen zwischen den Behandlungen von Quellen, Verbrauchern und Verordnungen zu kappen wären.

Achso, wer einen kurzen Titel für dieses Dokument sucht: Gebetsmühle. Der Begriff kommt daher, daß ich es irgendwann leid war in diversen Mailinglisten/Newsgroups auf alle drei Wochen wiederkehrende *goggle*bare „Trivial“-Fragen immer wieder direkt zu antworten und dazu übergegangen bin in einer Form ähnlich:

```
\usepackage{Gebetsmuehle}
\begin{Gebetsmuehle}[Large]
Steht im Beleuchtungstext auf http://experte.kt2.tu-harburg.de/fahrrad.html
\end{Gebetsmuehle}
```

zu antworten. Rainer H. Rauschenberg hat 2006 die Abkürzung *G10e* geprägt.

Da der Text seit 1997 fortgeschrieben wird und einige Abschnitte seit dem nur selten angefaßt werden: Inzwischen hat sich in vielen Bereichen die Technik deutlich weiter entwickelt und diese Passagen sind eigentlich eher als „historisch“ zu betrachten. Sie werden aber der vollständigkeithalber nicht entfernt!

So, genug des Vorwortes, nun zurücklegen und etwa 500 Seiten verschlagworteten Text verdauen (Beine hochlegen, Tasse Tee oder Becher Kakao in Griffweite stellen:-)

Nachwuchsbedingt wird ab März 2008 mit etwas weniger Zeit an dieser Materie gearbeitet. Aber die Arbeit wird fortgesetzt.

Autor: Olaf Schultz
Hoppenstedt-Straße 37
2107 Hamburg-Harburg
Tel.: 040-791 44 938
aktuelle Version: `http://www.enhydralutris.de/Fahrrad/`
E-Mail: O.Schultz@enhydralutris.de

Titelbild: Fahrradkarbidleuchte von Häckel und Intensitätsverteilung einer HS3
Titelgedicht: Im Familienkreis überliefert.

Nomenklatur

Tabelle 1: Nomenklatur

Symbol	Einheit	Bedeutung
η	-	Wirkungsgrad
ϵ	°	Ausstrahlungswinkel gegen Flächennormale
λ	cm	Wellenlänge der Strahlung
$\mathrm{d}\omega$	sr	durchstrahltes Raumwinkelelement der Ausstrahlung
ω	rad/s	Winkelgeschwindigkeit, Kreisfrequenz
Ω	-	Raumwinkel
a	mm	Flanschabstand (Flanschmitte–Flanschmitte)
a_{SB}	mm	Flanschabstand Scheibenbremsversion
b	mm	Abstand linke Achsanlage–Mitte linker Flansch
b_{SB}	mm	Flanschabstand Scheibenbremsversion
C	As/V=F	Kapazität
d_{k}	mm	Lochkreisdurchmesser
E	lx	Beleuchtungsstärke
$\mathrm{d}f$	cm^2	leuchtendes Flächenelement
$\mathrm{d}F$	m^2	beleuchtetes Flächenelement
f	Hz	Frequenz
i	°	Einstrahlungswinkel gegen Flächennormale
i	-	Getriebeübersetzung
I	A	Strom
I	cd	Lichtstärke
I_∞	A	Kurzschlußstrom bei unendlich hoher Drehzahl
J	$\mathrm{kg\ m}^2$	Massenträgheitsmoment
L_{i}	Vs/A=H	Inneninduktivität
m	kg	Masse
m_{SB}	kg	Masse Scheibenbremsversion
M	W/lm	mechanisches Leistungsäquivalent
n	1/min	
p	-	Polzahl
P	Nm/s=VA	Leistung
Q	-	Gütefaktor
r	m	Abstand der beleuchteten Meßebene von der Lichtquelle
R	V/A=Ω	Widerstand
R_{a}	V/A	Außen-/ Lastwiderstand
R_{i}	V/A	Innenwiderstand
R_{S}	V/A	Serienwiderstand
t	s	Zeit
t	mm	Flanschdicke

Fortsetzung nächste Seite

Symbol	Einheit	Bedeutung
$S_{\epsilon\lambda}$	W/cm^3 sr	physikalische Strahldichte im Wellenlängenbereich λ bis $\lambda + d\lambda$ unter dem Ausstrahlungswinkel ϵ gegen die Flächennormale
T	s	Periodenzeit
U	V	Spannung
U_{eff}	V	Effektivwert der Spannung
$\lvert\bar{U}\rvert$	V	Gleichrichtwert der Spannung
$\hat{U}$	V	Spitzen/ Amplitudenwert der Spannung
U_{Nenn}	V	Nennspannung
U_{SS}	V	Spannung Spitze-Spitze
v	km/h	Geschwindigkeit
V_λ	-	spektraler Hellempfindlichkeitsgrad
W_m	J	Von einem Speicher maximal gespeicherte Energie
X	Ω	komplexer Blindwiderstand
Z	Ω	komplexer Scheinwidertand

Einige Formelzeichen werden mehrfach verwendet. Hier werden Anlehnungen an die Verwendung in den unterschiedlichen Literaturquellen gegenüber einer strikt unterschieden Verwendung den Vorzug gegeben. Die Unterscheidung kann dann anhand der Einheit vorgenommen werden. Einige begrenzt verwendete Formelzeichen werden erst im Zusammenhang im Text eingeführt.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Gesetzliche Grundlagen

Die Beleuchtungseinrichtung an Straßenfahrzeugen, also auch Fahrrädern, ist in Deutschland durch die Straßenverkehrsordnung und deren nachgeordnete „Technische Anforderungen“ (TA) geregelt.

Die Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) schreibt eine Vielzahl von Reflektoren (passive Beleuchtung) und eine aktive Beleuchtung am Fahrrad vor. Diese wird in der StVZO, §67 (Fassung 1991) wie folgt festgelegt:

> §67 StVZO Lichttechnische Einrichtungen an Fahrrädern
>
> (1) Fahrräder müssen für den Betrieb des Scheinwerfers und der Schlußleuchte mit einer Lichtmaschine ausgerüstet sein, deren Nennleistung mindestens 3 W und deren Nennspannung 6 V beträgt (Fahrbeleuchtung). Für den Betrieb von Scheinwerfer und Schlußleuchte darf zusätzlich eine Batterie mit einer Nennspannung von 6 V verwendet werden (Batterie-Dauerbeleuchtung). Die beiden Betriebsarten dürfen sich gegenseitig nicht beeinflussen.
>
> (2) An Fahrrädern dürfen nur die vorgeschriebenen und die für zulässig erklärten lichttechnischen Einrichtungen angebracht sein. Als lichttechnische Einrichtungen gelten auch Leuchtstoffe und rückstrahlende Mittel. Die lichttechnischen Einrichtungen müssen vorschriftsmäßig und fest angebracht sowie ständig betriebsfertig sein. Lichttechnische Einrichtungen dürfen nicht verdeckt sein.
>
> (3) Fahrräder müssen mit einem nach vorn wirkenden Scheinwerfer für weißes Licht ausgerüstet sein. Der Lichtkegel muß mindestens so geneigt sein, daß seine Mitte in 5 m Entfernung vor dem Scheinwerfer nur noch halb so hoch liegt, wie bei seinem Austritt aus dem Scheinwerfer. Der Scheinwerfer muß am Fahrrad so angebracht sein, daß er sich nicht unbeabsichtigt verstellen kann. Fahrräder müssen mit mindestens einem nach vorn wirkenden weißen Rückstrahler ausgerüstet sein.
>
> (4) Fahrräder müssen an der Rückseite mit
>
> 1. einer Schlußleuchte für rotes Licht, deren niedrigster Punkt der leuchtenden Fläche sich nicht weniger als 250 mm über der Fahrbahn befindet.

2. mindestens einem roten Rückstrahler, dessen höchster Punkt der leuchtenden Fläche nicht höher als 600 mm über der Fahrbahn befindet, und
3. einem mit dem Buchstaben „Z“ gekennzeichneten roten Großflächenrückstrahler

ausgerüstet sein. Die Schlußleuchte sowie einer der Rückstrahler dürfen in einem Gerät vereint sein. Beiwagen von Fahrrädern müssen mit einem Rückstrahler entsprechend Nummer 2 ausgerüstet sein.

(5) Fahrräder dürfen an der Rückseite mit einer zusätzlichen, auch im Stand wirksamen Schlußleuchte für rotes Licht ausgerüstet sein. Diese Schlußleuchte muß unabhängig von der übrigen Beleuchtungseinrichtung einschaltbar sein.

(6) Fahrradpedale müssen mit nach vorn und nach hinten wirkenden gelben Rückstrahlern ausgerüstet sein; nach der Seite wirkende gelbe Rückstrahler an den Pedalen sind zulässig.

(7) Die Längsseiten müssen nach jeder Seite mit

1. mindestens zwei um 180° versetzt angebrachten, nach der Seite wirkenden gelben Speichenrückstrahlern an den Speichen des Vorderrades und des Hinterrades oder
2. ringförmig zusammenhängenden retroreflektierenden weißen Streifen an den Reifen des Vorderrades und des Hinterrades

kenntlich gemacht sein. Zusätzlich zu der Mindestausrüstung mit einer der Absicherungsarten dürfen Sicherungsmittel aus der anderen Absicherungsart angebracht sein. Werden mehr als zwei Speichenrückstrahler an einem Rad angebracht, so sind sie am Radumfang gleichmäßig zu verteilen.

(8) Zusätzliche nach der Seite wirkende gelbe rückstrahlende Mittel sind zulässig.

(9) Der Scheinwerfer und die Schlußleuchte nach Absatz 4 dürfen nur zusammen einschaltbar sein. Eine Schaltung, die selbsttätig bei geringer Geschwindigkeit von Lichtmaschinenbetrieb auf Batteriebetrieb umschaltet (Standbeleuchtung), ist zulässig; in diesem Fall darf auch die Schlußleuchte allein leuchten.

(10) In den Scheinwerfern und Leuchten dürfen nur die nach ihrer Bauart dafür bestimmten Glühlampen verwendet werden.

(11) Für Rennräder, deren Gewicht nicht mehr als 11 kg beträgt, gilt abweichend folgendes:

1. für den Betrieb von Scheinwerfer und Schlußleuchte brauchen anstelle der Lichtmaschine nur eine oder mehrere Batterien entsprechend Absatz 1 Satz 2 mitgeführt werden;
2. der Scheinwerfer und die vorgeschriebene Schlußleuchte brauchen nicht fest am Fahrrad angebracht zu sein; sie sind jedoch mitzuführen und unter den in §17 Abs. 1 Straßenverkehrsordnung beschriebenen Verhältnissen vorschriftsmäßig am Fahrrad anzubringen und zu benutzen.
3. Scheinwerfer und Schlußleuchte brauchen nicht zusammen einschaltbar zu sein;
4. anstelle des Scheinwerfers nach Absatz 1 darf auch ein Scheinwerfer mit niedrigerer Nennspannung als 6 V und anstelle der Schlußleuchte nach Absatz 4 Nr. 1 darf auch eine Schlußleuchte nach Absatz 5 mitgeführt werden.

> (12) Rennräder sind für die Dauer der Teilnahme an Rennen von den Vorschriften der Absätze 1 bis 11 befreit.

Stand Sommer 2013: Durch einen Vorstoß der Bundesländer Hamburg und Sachsen im Bundesrat tritt zum 1. August 2013 eine aufweichung der obigen Regelungen inkraft. Dazu später mehr.

Zu dem Thema Seitensichtbarkeit und Unwirksamkeit von Speichenreflektoren existiert eine Untersuchung [Fo97], die den gesunden Menschenverstand wiederspiegelt.

Ergänzend ein Auszug aus der StVO

> §17 StVO Beleuchtung
>
> (1) Während der Dämmerung, bei Dunkelheit oder wenn die Sichtverhältnisse es sonst erfordern, sind die vorgeschriebenen Beleuchtungseinrichtungen zu benutzen. Die Beleuchtungseinrichtungen dürfen nicht verdeckt oder verschmutzt sein.

Ergänzend ein Auszug aus den Verwaltungsvorschriften (VwV) StVO

> VwV zu §17 StVO Beleuchtung
>
> (1) Es ist zu beanstanden, wenn ein Fuhrmann oder der, welcher sein Fahrzeug schiebt, Beleuchtungseinrichtungen durch seinen Körper verdeckt, zu den Beleuchtungseinrichtungen zählen auch die Rückstrahler (§49 StVZO).

Also darf man mit nicht funktionierender Beleuchtung nicht fahren. Und auch nicht schieben, da man, egal ob vor, hinter oder neben dem Rad die von § 67 StVZO vorgeschriebenen Reflektoren verdeckt.

Ergänzend zur StVZO legen die „Technische Anforderungen an Fahrzeugteile nach § 22a StVZO“ in Teil II, Anhang 24 (TA24) die in der Tabelle O.6 (s. S. 580) wiedergegebenen Eckwerte für die Spannungswerte der Dynamoanlagen vor. Die Spannungen werden über einem Lastwiderstand (i.d.R. 12 Ω) gemessen. Das Fahrradlampen nicht konstante Widerstände sind, wird ebenso wie die Auswirkung der zunehmend verwendeten Begrenzerdioden, von der TA24 ignoriert. Daten dazu siehe z.B. auf Seite 157.

Zur Zeit befinden sich Änderungen der StVZO und der TA’s in der Abstimmung. Die dem Autor vorliegenden Fassungen sind im Anhang dieses Textes aufgeführt (Seite 555 ff.).

Eine mögliche Schlußfolgerung aus der vorhandenen Gesetzeslage ist der Schöpfungsgeschichte zu entnehmen: „Wissmann[1] sprach es werde Licht. Und es kamen Reflektoren.“

Ein Zitat sei hier nicht vorenthalten, es stammt aus dem „Handbuch ’99“ von Globetrotter Ausrüstung: „Die z.T. unglaublich veraltete Straßenverkehrszulassungverordnung (StVZO) ist ein Paradebeispiel deutscher Bürokratie. . . “. Schön, daß das auch andere bemerkt haben, der Autor scheint mit seiner Meinung nicht alleine zu sein.

[1] Als Platzhalter für den jeweils aktuellen Bundesminister für Verkehr.

Ein weiteres Zitat aus dem Artikel „Ein Volk läßt sich nicht heimleuchten“ von Kai Strittmatter in der Süddeutschen Zeitung am 17./18. Juni 1999 über Fahrräder in der VR China: ... das „Arbeitshandbuch für den Volkspolizisten“, Ausgabe September 1997, Seite 366: „Bei Fahr- und Dreirädern“, heißt es da, hätten funktionsfähig zu sein: „Bremsen, Klingel und Rücklicht“. Mehr nicht. ...

Sebastian Løck (Thorfinn@forum.dk) aus Copenhagen, Dänemark brachte das die Zulassungsprozedere auf folgenden Nenner: Amtlichdeutschgründlichekennzeichnungsamtskontrollzulassungsbehördennummer. Damit wird in einem einzigen Wort vieles gelassen ausgedrückt.

Und im April 2001, nein nicht am 1., sondern am 21./22., setzt sich der Kraftfahrer-Schutz-Verein in der Süddeutschen Zeitung mit der Erkenntnis und Forderung : „... Für Radfahrer sollte das Licht weniger dazu da sein, selbst mehr sehen zu können. Vielmehr ist es wichtiger, gesehen zu werden. Auch tagsüber sollte das Licht beispielsweise bei Regen oder Nebel angeschaltet werden.“ die Krone in Bevormundung auf.

Um aus dieser deutschen Misere zu entfliehen: Man kann auf mehrere Weisen eine bessere Beleuchtung erreichen. Es wird hier bewußt von Be- und nicht von Erleuchtung geschrieben:

Beleuchtung: Der Radfahrer sieht was. Nämlich das bißchen Licht, welches von der beleuchteten Fahrbahn bzw. Umgebung zurück gestreut wird.

Erleuchtung: Der Autofahrer bekommt eine Erleuchtung der Form: Ein Radfahrer, auf den sollte ich eventuell achten. Das setzt voraus, daß der Autofahrer auch guckt. Aber das ist eine andere Geschichte. Mit weniger als 35 W (nicht in Laserstrahlleistung) ist da wenig auszurichten. Und das ist selbst dem Autor bei einem fiktiven Wirkungsgrad des Dynamos von 100 % zu viel.

Um verbessernde Modifikationen in der aktiven Lichtanlage vornehmen zu können, muß deren Verhalten auf Eingriffe bekannt sein. Besonders die Kenndaten des verwendeten Dynamos (Leistungsabgabe, Spannung und Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Drehzahl/ Geschwindigkeit und Last) und der eigenen Einsatzbereitschaft müssen vorliegen. Diese Eingriffe sind leider meist illegale Eingriffe in die Beleuchtungseinrichtung und können im Falle eines (Un-) Falles rechtliche und finanzielle Folgen nach sich ziehen. Dies nur als Warnung bevor es heißt: Wieso hat mir das keiner gesagt.

Einen Nebeneffekt, der unbedingt angesprochen werden muß, gibt es noch: Ein Hochrüstung der Beleuchtung kann auch asoziale Auswirkungen haben. Fahren alle Fahrzeuge auch tagsüber mit Licht, so fallen unbeleuchtete Verkehrsteilnehmer, hier vornehmlich Fußgänger, weniger auf. Wenn der Gesetzgeber aber 35 W Gasentladung/Schweinewerfer (vgl. Bild 1.1)[2] und asymmetrische Ausleuchtung an Kfz zuläßt, Radfahrer durch die Radwegebenutzungspflicht auf linken Radwegen anordnet und von der Polizei durchsetzen läßt, so ist eine „Aufrüstung“ der geblendeten Radfahrer teilweise verständlich. DaimlerChrysler arbeitet zusammen mit Setra an einem Infrarot-Laser/Infrarot-Kamerasystem für Kfz (Quelle: Süddeutsche Zeitung Ostern 2000), damit man schon sehen kann, was man noch nicht sehen kann.

[2]Eine freudsche Fehlleistung, die hier gezielt belassen wird. Fahrradscheinwerfer=genügt den gesetzlichen Vorschriften, Schweinwerfer=ungleich wirksamer:=)

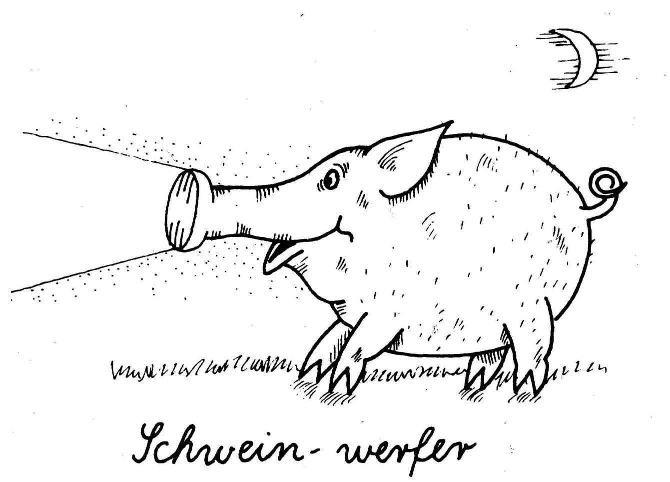


Bild 1.1: Schweinwerfer, von Wolfgang Koksch aus Backnang interpretiert

Ein interessanter Aspekt dürfte sich aus dem rechtskräftigen Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtes München vom 30.01.1985, Az. M 6277 VI 84, ergeben. In der Radfahren 5/85, S. 48 stand [Loew85]:

> **Radlaufglocke und akkugespeister Scheinwerfer – so entscheidet ein Gericht**
>
> Ein Radfahrer aus München-Harlaching gewann vor dem Verwaltungsgericht München einen inzwischen rechtskräftig abgeschlossenen Musterprozeß, der auch für viele andere Radfahrer Bedeutung gewinnen dürfte. Der Radler hatte bei der Regierung von Oberbayern für seine Radlaufglocke und seinen akkugespeisten Scheinwerfer ein Ausnahmegenehmigung beantragt. Er fahre täglich durch den Perlacher Forst, der „unbegreiflicherweise“ nicht beleuchtet sei, zu seiner Diensstelle, und bei schneebedinger Schrittgeschwindigkeit oder bei der Notwendigkeit, vor dem Linksabbiegen sich einzuordnen, gebe der Dynamo nicht genügend Licht her. Die Radlaufglocke brauche er wegen des Verkehrslärmpegels (Straßenverkehr, Autoradio usw.), damit die Autofahrer ihn höhren könnten.
>
> Die Regierung hatte diese Anträge abgelehnt. Eine solche Ausnahmegenehmigung würde, so meinten die Herren, praktisch für alle Radfahrer gelten und damit die Verbotsbestimmungen der Straßenverkehrs-Zulassungsordnung illusorisch machen. Ausnahmen könne es nur geben, „wenn ein Fahrzueg aus technischen oder wirtschaftlich nicht vertretbaren Gründen nicht ... entsprechend gebaut oder umgerüstet werden“ könne. Dafür sei jedenfalls ein Gutachten nötig.
>
> Die Richter des Verwaltungsgerichts München gaben dem Radfahrer Recht (M 6277 VI 84) und schrieben der Regierung herbe Sätze in die Urteilsbegründung: Die Argumente der

> Regierung verkennten unter anderem das Wesen der Ausnahmegenehmigung. Das Geräusch einer Radlaufglocke sei im Hinblick auf das höhere Rechtsgut „Schutz der Gesundheit des Passanten“ hinzunehmen, bei Autohupen ließe das Gesetz solche Geräusche auch zu. Und gegen eine Ausnahmegenehmigung eines akkubetriebenen Scheinwerfers seien „vernünftige Gründe“ überhaupt nicht ersichtlich, der etwaigen Blendungsgefahr Entgegenkommender könne mit einer behördlichen Auflage abgeholfen werden. Ein „kostenträchtiges technisches Gutachten“ hielt das Gericht aufgrund „eigenen Allgemeinwissens“ für entbehrlich.
>
> (Rechtskräftiges Urteil des Bayerischen Verwaltungsgerichtes München vom 30.01.1985, Az. M 6277 VI 84)

Nach diesem Urteil könnte man dann auch höhere Lampenleistungen herleiten und genehmigungsfähig gestalten, solange halt die Lichtstärke im blendgefährdeten Bereich hinreichend niedrig ist.

Nicht zuletzt sei ein Zitat aus [Le01] erlaubt:„Damasky [Da95] konnte aber nachweisen, daß eine einzige Lichtverteilung eines Scheinwerfers nicht in der Lage ist, alle auftretenden nächtlichen Fahrsituationen optimal zu beleuchten. . . “. Wenn das schon bei Autoscheinwerfern so ist, wie soll das dann am Fahrrad derzeit gewährleistet werden?

Wen die geschichtliche Entwicklung der Vorschriften der Fahrradbeleuchtung interessiert, der erhält aufschlußreiche Informationen in [Hu03].

Kapitel 2

Stromerzeugung

Korrekterweise müßte es Leistungserzeugung heißen. Umgangssprachlich hat sich jedoch Stromerzeugung eingebürgert. Die elektrische Leistung P ist das Produkt aus Spannung U und Strom I.

Die elektrische Leistung für die Fahrradbeleuchtung kann über Primärzellen (Batterien), Sekundärzellen (Akkumulatoren) oder Generatoren (Dynamos) erzeugt werden. Der wesentliche Vorteil von Batterien und Akkus ist die mögliche Energielieferung im Stillstand, ein wesentlicher Nachteil ist die begrenzte Speicherfähigkeit, die laut *Murphy* immer dann erschöpft ist, wenn man sie am dringesten braucht.

2.1 Grundlagen des Fahrraddynamos

Wer nicht mit durchgehend mit Akkus fahren möchte, und mit der Leistung des Dynamos nicht zufrieden ist, kommt um eine genauere Betrachtung des Dynamos nicht herum.

Geübte Alltagsfahrer und Liegeradfahrer fahren normalerweise im oberen Geschwindigkeitsbereich, für den die TA24 einige elektrische Kennwerte vorgibt (siehe Tabelle O.6). Hier ist einiger Spielraum zum Austoben bei der Auslegung von Dynamos und elektronischer Begrenzungsschaltungen gegeben. Wer hier selber Hand anlegen will, und sei es nur um Probleme zu beheben, findet im folgenden einige Grundlagen und Schlußfolgerungen.

Bis auf wenige Ausnahmen sind Fahrraddynamos normalerweise Klauenpolgeneratoren. Diese Ausnahmen sind bisher der FER 12 V SD, DT S'Light RND, die Dymotec S6 und S12 und der Dynosys lightSPIN.

Ein Klauenpolgenerator ist in erster Näherung eine Konstantstromquelle. Das bedeutet, daß bis zu einem gewissen Lastwiderstand ein konstanter Strom fließt. An einem hohen Lastwiderstand fällt nach dem Ohmschen Gesetz bei konstantem Strom eine hohe Spannung und damit eine hohe Leistung ab. Bei Fahrradbeleuchtungen mit 6 V wird die vordere Lampe mit 15 Ω, die hintere mit 60 Ω und das

Gesamtsystem[1] mit 12 Ω idealisiert. Bei einer defekten vorderen Glühlampe oder einem hohen Übergangswiderstand im Strompfad zur vorderen Lampe führt das dazu, daß die hintere Lampe oder z.B. die Standlichtelektronik aufgrund der hohen Leistungen bzw. Spannungen schnell versagt.

Formelmäßig läßt sich die Ausgangsspannung eines Klauenpolgenerators nach [WSchmPV47] beschreiben:

$$U = \frac{I_\infty R_\mathrm{a}}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i}}{2\pi n p L_\mathrm{i}}\right)^2}} \tag{2.1}$$

Beim SON kommt das auch bei geringen Geschwindigkeiten noch ganz gut hin,[2] bei anderen Dynamos eher weniger, siehe Bild 2.1.

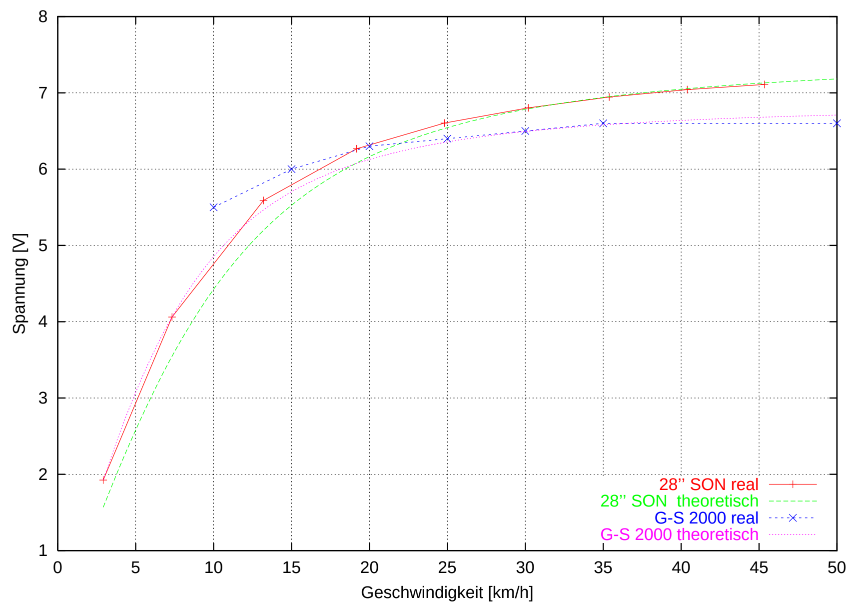


Bild 2.1: Dynamokennlinie SON und G-S 2000, real und nach Wullkopf (12 Ω Lastwiderstand)

Einfache Eingriffsmöglichkeiten bestehen folglich nur in der Drehzahl n und dem Lastwiderstand R_a. Wenn man weitergeht, so kann man durch einen Eingriff in den Spulenkörper noch an R_i und L_i drehen. Ein Verändern von p kommt einer Neukonstruktion gleich und ist i.d.R. nur dem Dynamohersteller möglich.

Die genaue Theorie schlage man im Artikel von Wullkopf (s. S. 613 ff.) nach.

[1] Parallelschaltung von n Widerständen: $R_g^{-1} = \sum_{i=1}^{n} R_i^{-1}$.
[2] Mit von Andreas Oehler zur Verfügung gestellten Meßdaten des 28″-SON.

2.1.1 Spannungsüberhöhung

Der Ansatz von Wullkopf deckt nicht ab, daß das System durch einen externen Kondensator mit Spannungsüberhöhungen am Widerstand reagieren kann. Bei einer geeigneten Abstimmung wird bei einer bestimmten Frequenz, mithin Geschwindigkeit, eine Spannungsüberhöhung erreicht.

Im folgenden der Gedankengang von Ralf Kusmierz. Eine Veröffentlichung ist in [KusPV4] zu finden. Hier hat Ralf eine ausformuliertere Fassung zur Verfügung gestellt. Auf diesen Ansatz hatte Ralf ein Patent (P3345210) [KusPV5]. Ralf ging es nicht um die Leistungsmaximierung sondern um ein möglichst frühes Bereitstellen der elektrischen Leistung, damit auch bei niedrigen Geschwindigkeiten viel Licht vorhanden ist.

Das Schaltbild und das Ersatzschaltbild des Systemes ist im Bild 2.2 wiedergegeben.

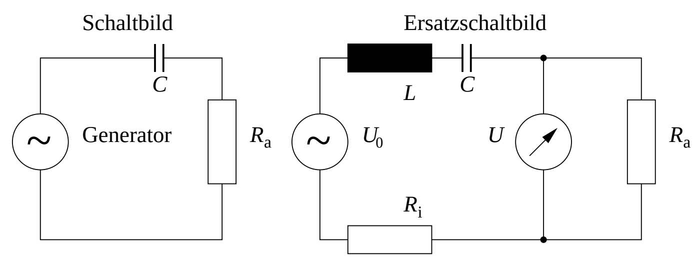


Bild 2.2: Schaltbild und Ersatzschaltbild beim Serienkondensator

Die Kreisfrequenz ω, Leerlaufspannung U_0, wirksame Impedanz Z des Kreises sind

$$\omega = 2\pi f \sim v \tag{2.2}$$

$$U_0 = \omega E \tag{2.3}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_\mathrm{L} - X_\mathrm{C})^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \tag{2.4}$$

$$R = R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i} \tag{2.5}$$

Daraus erhält man die Stromstärke und die abgegebene Leistung

$$I(\omega) = \frac{U_0(\omega)}{Z(\omega)} \tag{2.6}$$

$$\lim_{\omega\to\infty} I(\omega) = \frac{E}{jL} \tag{2.7}$$

$$P_\mathrm{a}(\omega) = |I|^2 R_\mathrm{a} \tag{2.8}$$

Zweckmäßigerweise normiert man $P_\mathrm{a}(\omega)$ für hohe Geschwindigkeiten und erhält

$$P' = \frac{P_\mathrm{a}(\omega)}{\lim_{\omega\to\infty} P_\mathrm{a}(\omega)} = \frac{P_\mathrm{a}(\omega)L^2}{E^2 R_\mathrm{a}} = \frac{(\omega^2 CL)^2}{(\omega C)^2((\omega L)^2 + R^2) - 2\omega^2 LC + 1} \tag{2.9}$$

Nun setzt man noch zu Vereinfachung

$$\omega = \omega' \frac{R}{L} \tag{2.10}$$

$$C = \sqrt{k}\frac{L}{R^2} \tag{2.11}$$

ein und erhält

$$P'(\omega') = \frac{\omega'^4 k}{\omega'^4 k + \omega'^2 (k - 2\sqrt{k}) + 1} \tag{2.12}$$

Dieser Ausdruck hängt nur noch von dem Parameter k, der die Größe der Kapazität beschreibt, und dem geschwindigkeitsproportionalen ω' ab. Wird der Ausdruck $P'(\omega)$ für verschiedene k gezeichnet, dann ist die Wirkung verschiedener Kapazitäten gut zu erkennen (vgl. Bild 2.3).

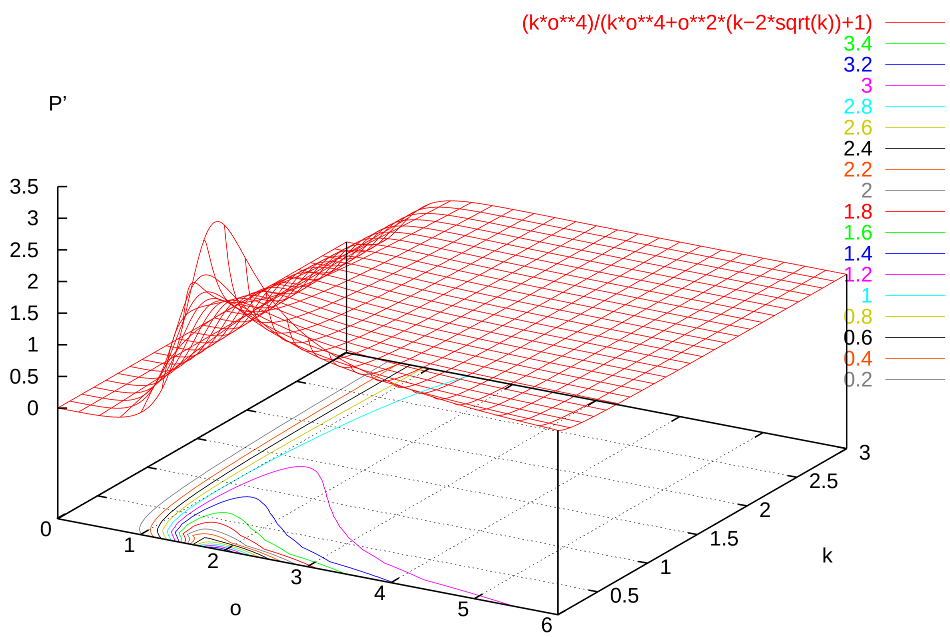


Bild 2.3: Auswirkung von k=k' und o=ω' auf P'=P'

Für $k \to \infty$ ergibt sich der Fall ohne Kondensator $P' = \omega'^2/(\omega'^2+1)$. Die Differenz zwischen Kondensator und nicht Kondensator ist in Bild 2.4 wiedergegeben.

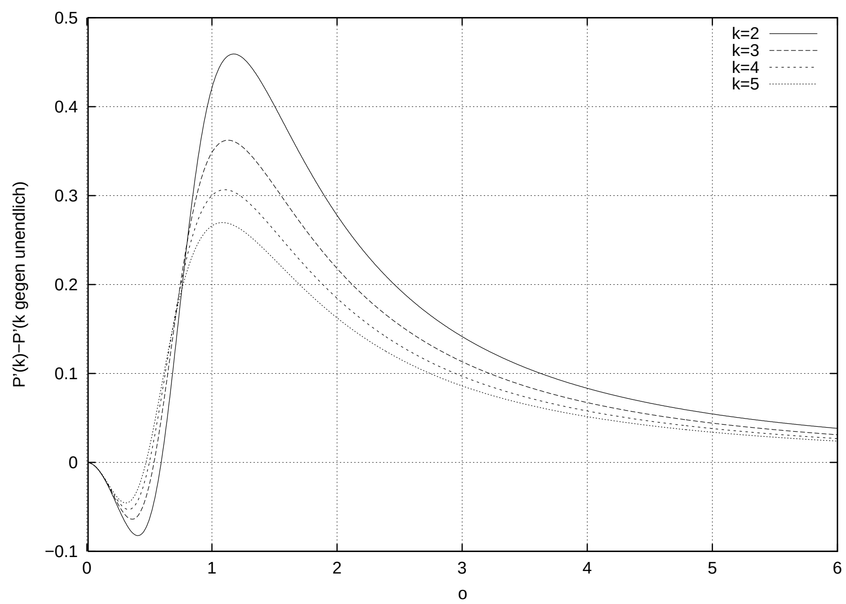


Bild 2.4: Gewinn durch den Kondensator

Ralf K. hält ein $k \approx 3$ sinnvoll.

Damit ergibt sich die Formel zur Berechnung der Kapazität

$$C = \sqrt{k}\frac{L}{(R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i})^2} \tag{2.13}$$

Der Kondensator darf, da Wechselspannung, kein normaler Elektrolytkondensator (Elko) sein! Mit bipolaren Elkos (Tonfrequenz-Elkos) könnte es mal probiert werden. Oder mit zwei antiseriellen Elkos mit doppelter Kapazität oder. . . , es gibt halt viele Möglichkeiten.

Noch als Hinweis für die Spannungsfestigkeit des Kondensators

$$U_\mathrm{C} = \frac{I}{\omega C} = \frac{E/C}{R + j\omega(L - \frac{1}{\omega^2 C})} \tag{2.14}$$

$$\left|\frac{U_\mathrm{C}}{RI_\infty}\right| = U'_\mathrm{C} = \frac{1}{\sqrt{k(1 + (\omega' - \frac{1}{\omega'\sqrt{k}})^2)}} \tag{2.15}$$

$$\hat{U}'_\mathrm{C} = \frac{1}{\sqrt{k}} \tag{2.16}$$

Als kritische Betrachtung des Ansatzes mag folgendes gelten. Der elektrische Wirkungsgrad η_{el} ergibt sich

$$\eta_{\mathrm{el}} = \frac{R_{\mathrm{a}}}{R} = \frac{1}{1 + \frac{R_{\mathrm{i}}}{R_{\mathrm{a}}}} \tag{2.17}$$

Der Lastwiderstand ist durch gesetzliche Vorgaben festgelegt. Der elektrische Wirkungsgrad kann nur durch den Innenwiderstand beeinflußt werden. Je kleiner der Innenwiderstand, desto besser der elektrische Wirkungsgrad. Bei den typischen Fahrraddynamos liegt der elektrische Wirkungsgrad bei 70–85 %.

Theorie und Realität weichen meist voneinander ab.[3] Gründe dafür sind:

- Die Induktivität L hängt von I ab.
- *nature is nonlinear*, auch Verluste im Eisen im Bereich der Sättigung. So ist dann z.B. die Annahme $U \sim \omega$ unzulässig.
- Im Prinzip dürften im Anker bei elektrischem Kurzschluß durch die Feldverdrängung keine Wirbelstromverluste vorhanden sein.

Das mag ersteinmal reichen. Vielen Dank an Ralf für seine Informationen und Diskussionsbereitschaft, diese Erweiterung ist durch sein Dazutun gewachsen.[4]

Praktische Messungen sind z.B. auf Seite 81 aufgeführt.

2.1.2 Maximierung der Ausgangsleistung

Wer ein Maximum an Licht haben will, dem ist mechanische Leistung, die er in den Dynamo steckt, in erster Näherung egal.

Zur Maximierung der Ausgangsleistung des gegebenen Dynamos muß der Lastwiderstand variabel gestaltet sein. Dieses kann im endgültigen Zustand mit einem "Maximum Power Point Tracker" (MPPT) erfolgen, im Probeversuch reichen andere Glühlampen. Nimmt man den Klauenpolgenerator ohne Kondensator, so ist dafür ist nur die Extremwertaufgabe für

[3] Der Unterschied zwischen Theorie und Praxis ist in der Praxis meist größer als in der Theorie.

[4] Und durch das Internet wird die Welt zum Kuhdorf:)

$$P = \frac{U^2}{R_a} = \frac{\left(\frac{I_\infty R_a}{\sqrt{1+\left(\frac{R_a+R_i}{2\pi n p L_i}\right)^2}}\right)^2}{R_a} = \frac{I_\infty^2 R_a}{1+\left(\frac{R_a+R_i}{2\pi n p L_i}\right)^2} \tag{2.18}$$

zu lösen. Die Gleichung (2.18) leitet sich aus den Gleichungen (2.1) und $P = UI$ her. Man erhält dann mit der notwendigen Bedingung

$$\frac{\partial P}{\partial R_a} = 0 \tag{2.19}$$

und der hinreichenden Bedingung

$$\frac{\partial P^2}{\partial^2 R_a} < 0 \tag{2.20}$$

die Gleichung (2.21) für den Lastwiderstand, bei dem der Dynamo die maximale elektrische Leistung abgeben kann.

$$R_a = \sqrt{(2\pi L_i n p)^2 + R_i^2} \tag{2.21}$$

Damit sollte klar sein, wie die Ausgangsleistung des Dynamos erhöht werden kann. Setzt man die Gleichung (2.21) in die Gleichung (2.1) ein, so erhält man die Leistung P_{max}, die mit einem MPPT aus einem Fahrraddynamo abgezwackt werden könnte. Dann ist z.B. noch genügend Leistung zum Laden von Akkus bzw. für einen zweiten Scheinwerfer über.[5]

$$P_{max} = \frac{I_\infty^2 \sqrt{(2\pi n p L_i)^2 + R_i^2}}{1+\left(\frac{\sqrt{(2\pi n p L_i)^2 + R_i^2} + R_i}{2\pi n p L_i}\right)^2} \tag{2.22}$$

Wenn man einen Geschwindigkeitsbereich vom Schieben (5 km/h) über Fahren in der Ebene (20–30 km/h) bis zum Bergabrollen (50–60 km/h) abdecken will, so ist das mit einer einzigen Fahrradlampe nicht zu machen: Eine Glühlampe hat nun mal einen „Auslegungspunkt“ (s. S. 163 ff.). Eine

[5] Eine Ladeschaltung ist z.B. in der ELO vom April 1982.

Kombination mehrerer angepaßter Lampen in einer Leuchte bzw. eine Zwei- oder Drei-Faden-Lampe kann als Lösung angesehen werden; allerdings wird die Optik nicht mehr einfach auszulegen sein.[6]

2.1.2.1 $P_{\mathbf{el}}$ des SON maximieren

Praktisch kommt beim 17–20″-SON folgendes heraus (Tabelle 2.1). Die Leistung ist aus $P = U^2/R$ berechnet. Verwendet werden Lastwiderstände mit 5–20 W.

Tabelle 2.1: Gemessene Annäherung an die Maximalleistung des SON

v [km/h]	R_a [Ω]	U [V]	$P_{gem.}$ [W]	$P_{rechn.}$ [W]
17	20,9	9,9	3,77	4,28
26–27	33,0	14,5	6,37	6,90
38	47,3	21,0	9,28	10,05

Exemplarisch ergibt sich für den 17–20″ SON das in Bild 2.5 wiedergegebene theoretische elektrische Verhalten bei einem MPPT. Der MPPT ist dabei (weltfremd) mit einem Wirkungsgrad von 1 über den gesamten Regelbereich angenommen.

[6] Definition der Lampe: Lichtquelle, Sender elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren Spektralbereich. Mit anderen Worten die umgangssprachliche Glühlampe. Definition der Leuchte: Sorgt für die geeignete Verteilung des Lichtstromes der Lampe. Beide Begriffe werden häufig durcheinandergebracht (auch hier) bzw. nicht sauber getrennt.

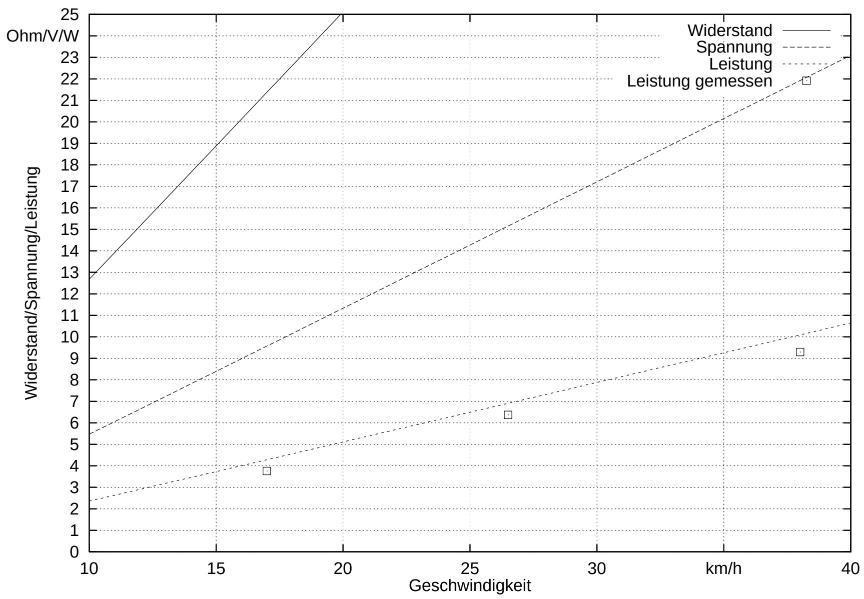


Bild 2.5: Theoretische Möglichkeiten des 17–20″ SONs nach Wullkopf bei optimalem Lastwiderstand (Linien rechnerisch, Punkte gemessen)

Die Differenz zwischen $P_{\text{gem.}}$ und $P_{\text{rechn.}}$ kann, abgesehen von den Meßfehlern, durch das Fehlen von 4 Magneten beim 17–20″-SON erklärt werden.[7]

Rein theoretisch betrachtet kommt das Bild 2.6 zustande.

[7]Das sind 15 % weniger aktivierte Pole, oder überschlägig 15 % weniger Leistung als berechnet.

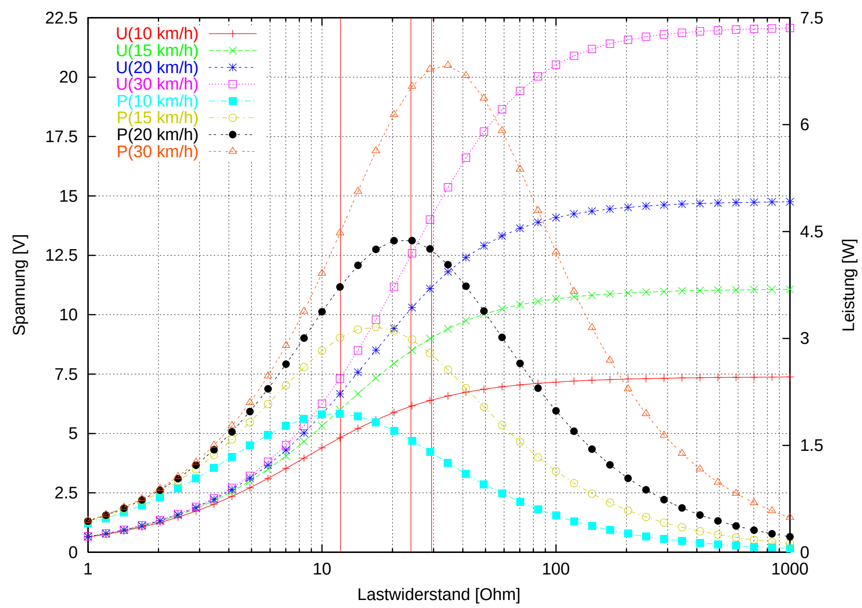


Bild 2.6: Theoretische Leistungswerte des 28"-SONs nach Wullkopf bei 10, 15, 20 und 30 km/h (senkrechte Linien bei 12, 24 und 29,4 Ω) bei I_∞=0,67 A

Mit den realen Meßwerten an einem SON (vgl. Seite 77) verglichen siehe Tabelle 2.2:

Tabelle 2.2: Vergleich real/theoretisch ($I_\infty = 0{,}67$ A, $L_\mathrm{i} = 0{,}05$ H)

R_a [Ω]	v [km/h]	n [1/min]	P_el real	P_el theor.	Abw. [%]
132	206,9	1600	42,27	42,85	1,4
110	206,9	1600	37,35	38,94	4,3
88	206,9	1600	32,77	33,66	2,7
29,4	25,9	200	7,39	5,50	−25,6
24	25,9	200	5,32	5,47	2,8
12	25,9	200	3,61	4,16	15,2
12	10,3	80	1,80	1,89	0,2

Hier wird nochmal deutlich: Durch das Erhöhen des Lastwiderstandes bei gleicher Geschwindigkeit ist es möglich einem Klauenpolgenerator deutlich mehr Leistung entnehmen, u. U. steigt dabei der Wirkungsgrad an (vgl. Tabelle 2.35).

Die Praxis kann aber von der schönen Theorie abweichen. Warum? Jeder Dynamo ist ein Einzelstück. Von Fertigungstoleranzen beim Luftspalt oder Blechbiegearbeiten mal abgesehen streut die Qualität der Magnete teilweise erheblich. Sowohl bei der Massenfertigung wie bei Kleinserien gibt es starke und schwache Exemplare. Weitere Gründe hat Ralf genannt (s. S. 13) .

2.1.2.2 SON als Walze?!

Mal so als, von Andreas Oehler angeregtes, Gedankenspiel: Was passiert, wenn man einen SON statt als Nabendynamo als Walzendynamo verwendet? Warum eigentlich nicht? Der SON verfügt über eine vernünftige Lagerung, gute Dichtungen und eine Andruckmechanik sollte problemlos realisierbar sein. Auch läßt sich ein Reibbelag einfach aufbringen, der, mit Kabelbindern festgezogen, noch nicht einmal aufgeklebt werden müßte.

Als erste Folge geht die Drehzahl hoch! Die 28"-Version hat einen Manteldurchmesser von 75 mm. Einfach mal nur als Ansatz für 22,6 km/h (1600 1/min=26,67 1/s) ergibt sich mit den Gleichungen (2.21) und (2.1)

$$
\begin{aligned}
R_\mathrm{a} &= \sqrt{(2\pi 0{,}052 \cdot 26{,}67 \cdot 26)^2 + 2{,}7^2} = 226{,}6\,\Omega \\
U &= \frac{0{,}66 \cdot 226{,}6}{\sqrt{1 + \left(\frac{226{,}6+2{,}7}{2\pi 26{,}67 \cdot 26 \cdot 0{,}052}\right)^2}} = 111{,}5\ \mathrm{V} \\
P_\mathrm{el} &= \frac{U_2}{R_\mathrm{a}} = \frac{123{,}3}{250{,}4} = 54{,}8\,\mathrm{W}
\end{aligned}
$$

Das sollte wohl für einen Rollentrainer reichen. Sogar für eine Fahrbahnbeleuchtung ist genug Leistung vorhanden, oder man betreibt seinen portablen Fernseher, eine Leseleuchte, eine Stereoanlage oder anderes beim Radfahren. Und das mit einem Wirkungsgrad von ca. 60 % (s. S. 75)! Relativ unproblematisch ist es mit Schaltnetzteilen, einige Verbraucher ziehen allerdings gerne die Netzfrequenz von 50 Hz[8] zu Steuerungszwecken und dürften bei den nun anliegenden Frequenzen Probleme bekommen.

Mit der neuen 20"-Variante mit kleinem Gehäuse sind laut Andreas Oehler ca. 220 V/110 W erreichbar.

Achtung: Hier ist man in einem Spannungsbereich, für den der SON nicht gebaut ist und bei dem schon, gerade bei feuchten Fahrradeinsatz, auf eine sehr gute Isolierung geachtet werden muß! Auch hier gilt: Zweckentfremdung nur auf eigenes Risiko.

2.1.3 Verändern der Drehzahl des Dynamos

Bei Reifenläufern/ Walzendynamos wird einfach der Umfang der Lauffläche durch eine Gummikappe o.ä. vergrößert.

Bei Nabendynamos (hier SON) ist dies z.B. durch das Einspeichen einer 17–20"-Variante in ein 28"-Rad möglich. Dadurch wird die Drehzahl um ca. ein Drittel gesenkt, bzw. die in der TA24 geforderten

[8] In Amerika sind es 60 Hz!

5,7 V werden nicht schon bei 15 km/h sondern erst bei 23 km/h erreicht. Der 17–20″-SON unterscheidet sich laut Andreas Oehler nur unwesentlich vom 28″-SON: 4 Magnete weniger, etwas größerer Luftspalt, andere Spule. Die Polzahl bleibt bei 26.

Bei niedrigen Geschwindigkeiten, z. B. beim Bergauffahren, erfährt man aber schnell den Nachteil dieses Eingriffes.

2.1.4 Verändern der Kenndaten des Dynamos

Dies wird u.a. von Titus Müller-Skrypski in der ProVelo 18 (1989) beschrieben. Er verändert durch das Parallelschalten von Wicklungen den Wicklungswiderstand und die Lagerung. Insgesamt ein etwas aufwendiger Weg, der aber mit Wirkungsgraden von über 60 %, selbst bei uralten Dynamos, belohnt wird.

2.1.5 Variierung des Lastwiderstandes

Die Variierung des Lastwiderstandes hat eine bedeutende Auswirkung auf das Gesamtsystem. Dies wurde unter 2.1.2 gezeigt. Hier werden betont einfache Möglichkeiten betrachtet.

Die einfachste Möglichkeit, besteht darin, andere Lampen einzusetzen. Dies führt aber in einigen Fahrzuständen zu Überlastungen oder zu einer geringeren Lichtausbeute.

Eine der einfachsten Lösungen ist die Serienschaltung zweier normaler Scheinwerfer. In Reihe zur der Standardkombination (Index A) aus Dynamo sowie Scheinwerfer und Rücklicht wird ein zweiter Scheinwerfer (Index B) geschaltet. Der zweite Scheinwerfer kann mit einem Schalter kurzgeschlossen werden.[9]

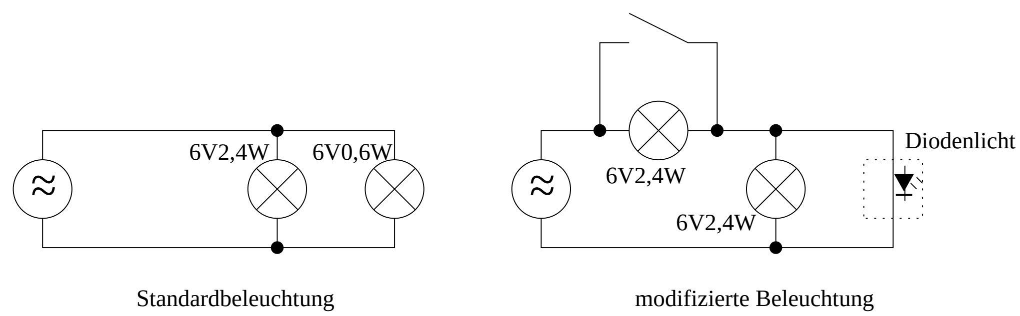


Bild 2.7: Schaltbilder der Fahrradbeleuchtungsvarianten

Dies setzt voraus, das der Dynamo keine Spannnungsbegrenzungsdioden enthält und der Dynamo bei der Spannung noch den nötigen Strom liefern kann. Dies wird weiter unten geklärt. Bei sparsa-

[9] Index A: Schalter geschlossen, Index B: Schalter offen.

men Diodenrücklichtern reicht eine HS3-Lampe im zweiten Scheinwerfer. Bei stromfressenden Diodenrücklichtern oder Glühlampenrücklichtern ist eine 6 V/3 W (z.B. HPR64) eher zu verwenden. Die Lampen müssen jeweils aufeinander abgestimmt (*trial and error* reicht) werden, da sonst eine nur glimmt.

Die Meßdaten sind im Bild 2.8 aufbereitet. Die Spannung wird über dem zusätzlichen Scheinwerfer gemessen.

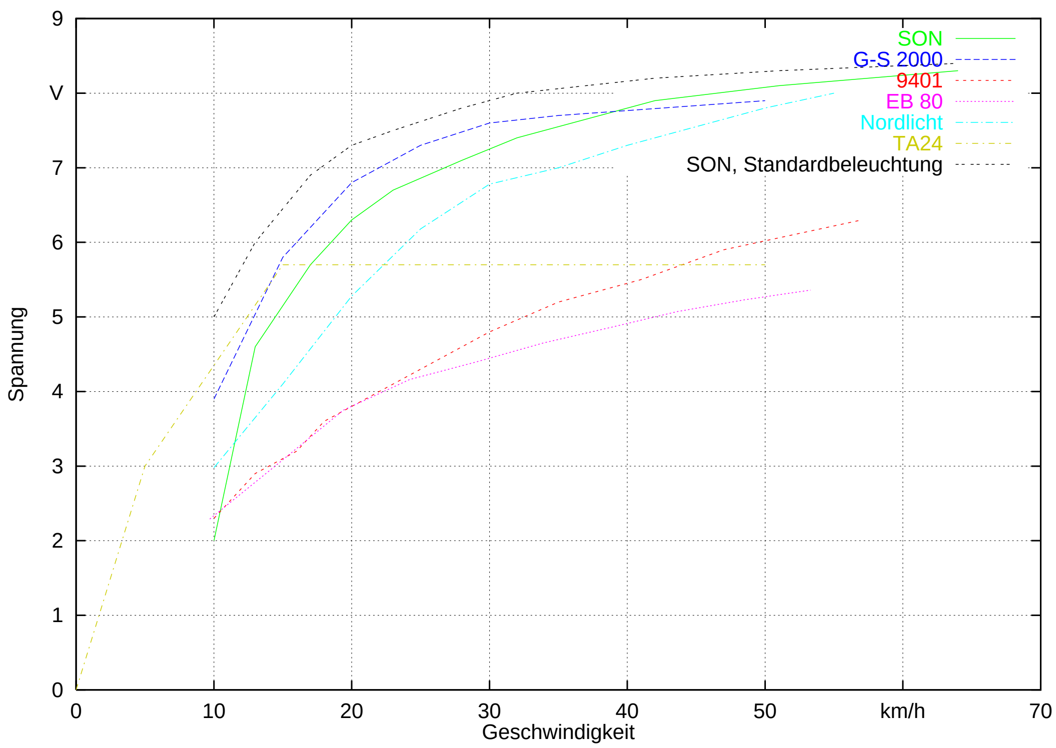


Bild 2.8: Spannung über dem Serienscheinwerfer

Mit dem SON könnte man dies perfektionieren. Der SON könnte nach erster Abschätzung ab 45 km/h drei Scheinwerfer betreiben. Wenn jetzt noch über den Scheinwerfern die Spannung abgegriffen wird und ab einer bestimmten Schwellspannung der Kurzschluß des hintergeschalteten Scheinwerfers aufgehoben wird, so kann das ganze noch automatisch erfolgen (vgl. Bild 2.9). Die Hysterese der Schaltpunkte muß entsprechend gewählt werden, daß es nicht zu einem andauernden Ein-Aus-Schalten kommt. Außerdem muß die ganze Elektronik verbrauchsarm gestaltet sein, was bei $\pi \times$Daumen $\approx$ 20 mA schon problematisch werden dürfte.[10]

Die ersten Versuche mit drei einigermaßen abgestimmten Lampen (0,38, 0,4 und 0,42 A bei 6 V) ergeben einen subjektiv lohnenden Umschaltpunkt erst bei ca. 45 km/h. Mit zwei Scheinwerfern ist es

[10] Wie war das mit der sparsamen aber überspannungsempfindlichen CMOS-Technik.

praktisch schon ab ca. 18 km/h heller als mit einem.

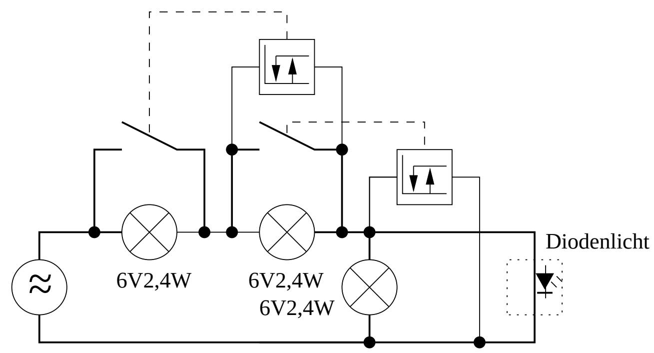


Bild 2.9: Automatische Lichtumschaltung

Ehe sich jetzt jemand hierzu genauere Gedanken macht: Erstmal den Bereich um die Seite 172 ff. durchlesen. Die Erkenntnisse ernüchtern sicherlich den Tatendrang.

Seit Mai 2000 gibt es von Stefan Reinersch eine erste Kleinstserie Lumotec Oval mit integrierter Schaltung für den SON20. Diese Schaltung zieht als Schaltkriterium die Frequenz heran und ist deswegen vorerst nicht bei anderen Dynamos einsetzbar. Der Umschaltpunkt liegt ungefähr bei 23 km/h. Alltagsfahrer aus der Gruppe mit einem Schnitt um die 30 km/h können davon profitieren, die aus der Gruppe Schnitt um die 14 km/h eher nicht. Die Begründung dazu ist im Kapitel um die Glühfadenalterung, die bei Doppelscheinwerfern ungleichmäßig stattfindet, zu entnehmen. Info und Bezug z.B. über Pedalkraft (www.pedalkraft.de).

Und für die Fans von Akkus hätte das auch was: Es ist egal, ob 6, 7,2 oder 12 V-Packs angeschlossen werden. Dann muß allerdings wirklich die Spannung und nicht die Frequenz als Schaltkriterium benutzt werden! Sicherer wäre aber z.B. ein Step-Up/Down-Wandler, aber ob der bei den Randbedingungen realisierbar ist? Siehe hierzu die Versuche mit dem LM2576 weiter hinten auf Seite 137.

2.1.6 Laden eines Akkupacks mit überschüssiger Leistung des Dynamos

Sicherlich möglich, aber aufwendig und anfällig. Siehe hierzu auch die Bemerkung zu den Akkus auf Seite 130.

Im Lampenbetrieb dürfte dies nur beim SON möglich sein. Im reinen Ladebetrieb muß der Ladestrom z. B. mit einer Konstantstromschaltung (LM317) begrenzt werden und dann muß auch noch die Ladeendspannung eingehalten werden. Bei den hohen Leerlaufspannungen tauchen auch schon Probleme mit integrierter Elektronik auf und in diskreter Elektronik erzielt man nur Bauvolumen und Kosten, abgesehen davon, daß ersteinmal eine vernünftige Schaltung entwickelt werden will, die keine Eigenintelligenz des Benutzers erfordert. Erschwerend kommt hinzu, daß diese dann auch noch mit dem Start-Stop-Betrieb innerorts zurande kommen sollte, um nicht nur für Reiseradler geeignet zu sein.

2.1.6.1 Bakterienlicht

Aus einer Diskussion in de.rec.fahrrad entwickelte sich durch einen, ansich harmlosen, Schreibfehler um den 10.07.2k eine komplett neue Idee, die jeglichen Strom und fehleranfällige Verkabelung am Fahrrad hinfällig machen würde.

```
Wolfgang Preiser wrote:
>
> Bernd Sluka schrieb:
> >
> > Im Artikel <8k4sit$rbp$1@proxy2.fe.internet.bosch.de> schreibt
> > Stefan Barnikow <Stefan.Barnikow@de.bosch.com>:
>
> > >Bakterienlicht f"ur Rennr"ader darf jetzt schon
> > >andere Kenndaten haben.
> >
> > Photolumniszenz? Mit was f"uttert man die Lampe?
>
> Mit Fliegen, die der Fahrtwind der hungrigen Lampe zuweht.
> Gl"uhw"urmchen sind DER Leckerbissen! ;-)
>
> Wolfgang
```

Jetzt wäre nur noch zu klären, wieviel lm/W haben denn Glühwürmchen eigentlich und ob es in Deutschland[11] ethisch vertretbar ist, Glühwürmchen genetisch so zu modifizieren, daß sie auch rotes Licht für das Rücklicht emitieren:=)

2.1.7 Reduzierung der Leistungsaufnahme des Rücklichtes

Ein Fahrradrücklicht mit Glühlampe belastet den Dynamo bei 6 V mit 0,6 W bzw. 100 mA. Dies kann durch ein Diodenrücklicht (siehe oben) auf 0,06-0,18 W verringert werden. Dadurch steht für den Scheinwerfer eine höhere Leistung zur Verfügung.

2.1.8 Reduzierung der Leitungs- und Übergangswiderstände am Fahrrad

Dies ist wohl die einfachste Möglichkeit. An einem Steuersatz (Primax) sowie an einem Schwingenlager (Peer Gynt) hat Helmut Walle jeweils 3 Ω gemessen.[12]

[11] In den USA oder England wäre das sicherlich zulässig.
[12] Er hat mit einem Labornetzgerät richtig Strom fließen lassen, nicht das bißchen, was ein Meßgerät abgibt.

An Stromleiterschutzblechen (SB), z.B. von SKS fallen teilweise schon beim neuen SB alleine auf dem Weg vom Dynamo zu Vorderlicht zwischen den Schutzblechsteckern 0,5 V ab! SKS produziert inzwischen SB mit Kupferniete und Kupferfolie (direkt auf der Alufolie aufgelegt). Der Autor hat, was die Kriecheigenschaften von Wasser angeht aber seine eigenen Erfahrungen mit der Versiegelung von Dehnungsmeßstreifen (DMS) und Leitungswasser machen dürfen: So gut kann das gar nicht versiegelt sein, daß da im Winter kein Salzwasser reinkommt und sein Unheil anrichtet!

Alleine durch in der Kontaktierung der Lampe können bei 0,7 A schon mal zusammen ca. 11 mV abfallen. Der entsprechende Übergangswiderstand von 15 mΩ ist hier aber vernachlässigbar.

Wenn man sich die Gleichung 2.1 anguckt, macht das allerdings nicht viel aus, vorausgesetzt, die Übergangswiderstände schlagen sich auf Vorder- UND Rücklicht nieder. Sonst brennt halt schnell eine Lampe wegen Überlast durch.

Achtung: Es folgen einige Überschlagsrechnungen! Die Gleichungen (3.27) bis (3.29) werden vernachlässigt. Nimmt man bei 20 km/h eine Erhöhung des Lastwiderstandes von normal 12 Ω um 6 Ω auf 18 Ω an, so ergeben sich mit den Werten aus Tabelle 2.63 bis 2.65 sowie Gleichungen (3.31) und (3.7) die in der Tabelle 2.3 aufgeführten Strom, und damit Reduzierung der Lichtstromes.

Tabelle 2.3: Vergleich des Einflusses von Übergangswiderständen auf die elektrische Leistung und die Lichtleistung

Dynamo	SON	Turbo	EB80	Einheit
d	700	19	36,5	mm
I_∞	0,67	0,64	0,61	A
p	26	8	8	-
R_i	2,79	2,99	2,88	Ω
L_i	50	1,73	5,26	mH
U_{12}	6,53	3,64	4,77	V
I_{12}	0,54	0,30	0,40	A
E_{12}/E_Nenn	1,29	0,22	0,50	-
U_{18}	8,5	4,14	5,74	V
I_{18}	0,47	0,23	0,32	A
E_{18}/E_Nenn	0,83	0,09	0,26	-
I_{18}/I_{12}	0,87	0,76	0,80	-
E_{18}/E_{12}	0,67	0,41	0,52	-

Fazit: Je „stärker“ ein Dynamo ist, desto weniger wird die Lichtanlage durch den Übergangswiderstände beeinträchtigt.

Als letzte Übergangswiderstände einer sonst verlöteten Verkabelung blieben der Übergang Dynamo–Kabel und Kabel–Lampe auf dem Hin- und auf dem Rückweg über.

Die Leitungswiderstände sind normalerweise vernachlässigbar. Der Autor verkabelt i. d. R. mit 0,5–1 mm^2. Da kommt dann bei zweifacher Verkabelung und angenommenen 4 m Gesamtlänge der Kabel ein Kabelwiderstand von 0,07–0,14 Ω zusammen. Bei den üblichen Innenwiderständen von Generator und Verbraucher kann der Kabelwiderstand mithin vernachlässigt werden.

In *de.rec.fahrrad* brachte jemand sinngemäß mal die gute Faustformel: „Ein Fahrrad hat dann eine gute Verkabelung, wenn man es an dieser hochheben kann und danach noch die Elektrik funktioniert.“[13]

[13] Ein sinngemäß ähnlicher Spruch exisitiert auch unter den Rettungssanitätern wenn es um Infusionen und deren Schläuche geht:-).

2.2 Untersuchungen an Dynamos

Fahrraddynamos können grundlegend in drei Typen eingeteilt werden:

Reifenläufer: Hierzu zählt der Autor Walzendynamos, Seitenläufer (auf der Decke) und Felgenläufer (auf der Fahrradfelge). Letztere sind eine Unterart der Seitenläufer, müssen jedoch besser sein als normale Seitenläufer, da die Reibpaarung Felge/Dynamo besonders bei Nässe kritisch ist. Reifenläufer funktionieren grundsätzlich über den Reibschluß zwischen dem Reibrad und der Felge bzw. der Decke. Reibrad und Felge bzw. Decke bilden ein Getriebe, genauer ein Reibradgetriebe. Und Getriebe sind immer mit einem Wirkungsgrad behaftet. Bei Reibradgetrieben ist es der Wälzschlupf s_W, der direkt in den Wirkungsgrad über $\eta_\mathrm{Reibrad} = 1 - s_\mathrm{W}$ eingeht. Bei einer passenden Kombination von Reifen-Reibrad können Walzendynamos auch als Reifenläufer eingesetzt werden bzw. umgekehrt. Walzendynamos benutzen i.d.R. die Hülle des Magnetrotors als Reibrad und haben eine feststehende Achse. Seiten- und Reifenläufer werden aufgrund ihrer Form auch als Flaschendynamos bezeichnet.

Das Reibröllchen ist, u.a. wegen des Schlupfes, verschleißanfällig. Relativ dauerhaft scheinen Reibrollen aus Keramik zu sein (s.S. 50).

Die StVZO-Zulassungskriterien sehen eine Andruckkraft von 10 N vor. Neuere UNION-Walzen arbeiten mit >20 N, sonst rutschen sie unter ungünstigen Umgebungsbedingungen durch. Laut Andreas Oehler senkt aber eine derartige Erhöhung der Andruckkraft den Wirkungsgrad um bis zu 10 %.

Speichendynamos: Der Speichendynamo umschließt die Nabe, ist aber nicht in diese integriert. Das notwendige Antriebsmoment wird mit einem Mitnehmer in den Speichen oder am Speichenflansch abgegriffen. Ein typischer Vertreter ist der FER 2002. Sie sind in der Regel billiger als Nabendynamos und das Laufrad muß beim Nachrüsten nicht umgespeicht werden. Ein weiteres Beispiel für einen Speichendynamo sei der Scheibenbremsdynamo von Weigl/Junk [Wei99].

Nabendynamos: Nabendynamos benutzen eine formschlüssige Leistungsübertragung und sind im Nabengehäuse untergebracht.[14] Beim Nachrüsten eines Nabendynamos muß das Laufrad neu eingespeicht werden.

Sie haben jedoch im Alltagsbetrieb entscheidende Vorteile: Durch den Formschluß kann es auch selbst bei 20 cm Schneehöhe kein Durchrutschen geben. Und durch den geschützten Einbau in der Nabe sind sie i.d.R. sehr zuverlässig.

Im folgenden werden die hier getesteten Exemplare vorgestellt. Die Bewertung ist nicht repräsentativ (die Stückzahl ist in der Regel eins).

Angaben zu den hier nicht gemessenen Dynamos findet man u. a. in den ProVelos 8 und 18, der VeloPlus [VP97/98] und der Radwelt [Radw 1/98].

[14] Getriebelose Dynamos sind durch diese Definition mit abgedeckt!

2.2.1 Messung des Wirkungsgrades

An einigen Dynamos werden Wirkungsgrade gemessen. Der Wirkungsgrad η ist als

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{aufgewendete Leistung}} = \frac{P_\mathrm{el}}{P_\mathrm{m}} \tag{2.23}$$

definiert. Die Nutzleistung, hier elektrische Leistung, kann relativ einfach gemessen werden, z.B. über den Spannungsabfall über einem ohmschen Lastwiderstand.

$$P_\mathrm{el} = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \tag{2.24}$$

Die aufgewendete Leistung, hier die mechanische Leistung, ist etwas schwieriger zu bestimmen. Bei diskontinuierlichen Messungen kann die Verzögerung einer trägen Masse herangezogen werden.

$$P_\mathrm{m} = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{2} J\dot{\omega}^2 \tag{2.25}$$

W. Schmidt und Klaus Rieder [RiePV8] benutzen die Verzögerung einer trägen Masse (rotierende Stahlscheibe bzw. ausgesucht schweres Laufrad) als Leistungsquelle und ermittelt darüber den Leistungsbedarf von Dynamos. Des weiteren werden bei Schmidt die Leistungen über einem Lastwiderstand und mit einer schnellen AD-Wandlerkarte ermittelt. Die Effektivspannung ist bei dieser Meßmethode direkt bestimmbar. Siehe hierzu auch die Anmerkungen im Anhang.

Bei kontinuierlichen Messungen kann z.B. die Schleppkraft F des Dynamo und die Schleppgeschwindigkeit v gemessen werden.

$$P_\mathrm{m} = Fv = M\omega = mgl2\pi n \tag{2.26}$$

mit der Drehzahl n, der Masse m, mit der der Hebelarm auf die Waage drückt und der Länge l des Hebelarmes, der die Kraft ausübt sowie der Erdbeschleunigung $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$.

Für Reifenläufer wird seit November 1999 ein selbstgebauter Prüfstand (s. S. 494) verwendet.

Für Naben- und Speichendynamos wird hier als Prüfstand eine Drehbank verwendet. Die erforderliche mechanische Leistung wird über eine Drehmomentwaage[15] bestimmt. Der Vorteil gegenüber der Methode von Schmidt ist der Dauerbetrieb bei bestimmten Geschwindigkeiten und die Unempfindlichkeit gegenüber Luftreibungsverlusten. Der Nachteil ist die mechanische Flinkheit der Waage, was in niedrigen Drehzahlbereichen zu schwankenden Meßwerten und potentiellen Ablesefehlern führt. Daher sind die Meßwerte im unteren Drehzahlbereich mit Vorsicht zu betrachten.

[15] Ein Stab wird auf der Achse festgespannt und drückt i.d.R. mit einem Hebelarm von 181 mm auf eine Waage.

Als Waage wird eine elektronische Diätwaage (Tefal) mit einer Auflösung von 1 g benutzt. An mehreren Stützpunkten zwischen 50 und 2100 g weist sie zu einer Laborwaage Satorius „Universal“ eine Abweichung von unter 0,5 % auf. In neueren Versuchen wird eine Präzisions-Federwaage (Pesola Medio, Genauigkeit 0,3 %, Meßbereich 600 g) verwendet. Zur Kalibrierung der Waagen s. S. 499.

Bei niedrigen, fahrradtypischen Drehzahlen ist es schwierig, Meßwerte aufzunehmen. Die Polfühligkeit bei getriebelosen Nabendynamos bzw. Ungleichmäßigkeit des Drehmoments durch die Lagerung beim G-S 2000 regt den Waagentisch und den, zur Verstimmung[16] daraufgelegten, Stahlklotz zu starken Eigenschwingungen an, so daß keine genauen Meßwerte mehr ablesbar sind. Hier sind dann auch die Meßergebnisse mit großer Vorsicht zu betrachten. Eine Fehlerbetrachtung wird hier nicht durchgeführt! Nach den ersten Auswertungen scheinen hier die ohne Zusatzträgheit (vgl. Seite 27) ermittelten Wirkungsgrade geringer auszufallen als die von Schmidt gemessenen. Die mit Zusatzträgheit ermittelten Wirkungsgrade hingegen stimmen gut mit den den Schmidt überein.

Soweit nicht anders geschrieben, wird ein Laufradumfang von $U = 2{,}155$ m (Durchmesser 686 mm) zugrundegelegt. Schmidt verwendet in der Regel einen Durchmesser von 700 mm bei der Berechnung. Diese 2 % Drehzahlunterschied sind gegenüber anderen Fehlerquellen in der Regel vernachlässigbar.

2.2.1.1 Zusatzmasse

Zur Verstimmung des Systems wird in neueren Versuche eine träge Zusatzmasse (J_z) auf der Dynamoachse verwendet. Die Zusatzmasse besteht aus einem m_s=70 g schweren und l_s =620 mm Alu-L 20x10x1,5 mm, welches im Abstand von 300 mm von der Mitte mit zwei kompakten Gewichten von m_1=790 g bzw m_2=796 g (zzgl. m_B=5 g Befestigungsschraube) und im Abstand von l_d=181 mm eine m_d=10 g schwere Druckschraube für die Waage versehen ist. Das Massenträgheitsmoment berechnet sich dann als

$$\begin{aligned} J_z &= \frac{(m_1+m_B)l_1^2}{2} + \frac{(m_2+m_B)l_2^2}{2} + \frac{m_d l_d^2}{2} + \frac{m_s l_s^2}{12} \\ &= \frac{0{,}795\cdot 0{,}3^2}{2} + \frac{0{,}801\cdot 0{,}3^2}{2} + \frac{0{,}01\cdot 0{,}181^2}{2} + \frac{0{,}07\cdot 0{,}62^2}{12} = 0{,}884\ \mathrm{kgm}^2 \end{aligned} \tag{2.27}$$

Mit diesem zusätzlichen Trägheitsmoment stellen sich am 28”-SON allerdings bei Drehzahlen von 250, 315 und 1250 min^{-1} starke Eigenschwingungen ein, so daß dort keine Meßwerte genommen werden können.

Die Massen sind so montiert, daß sich der Stab um die Drehachse praktisch im Gleichgewicht befindet. Die rechnerische Vorlast auf der Waage beträgt 0,05 g und kann damit vernachlässigt werden.

[16]Verstimmung des schwingungsfähigen Systemes.

2.2.1.2 Nabenreibung

Die Verlustleistung von Nabendynamos erscheint oft, besonders im Leerlauf, relativ groß. Bei der Betrachtung der Verlustleistung von normalen Naben relativiert sich dies. Bei Schmidt werden eingelaufene Sachs-Naben aus der Quarz Gruppe mit ca. 1 W veranschlagt. Hier wird eine nagelneue Hinterradnabe Deore LX (1999 oder 2000er Modell) auf der Drehbank getestet. Bei 595 1/min, bei ca. 2 m Laufradumfang entspricht das ca. 71 km/h, ergibt sich nach einer Laufzeit von etwa drei Minuten eine Reibleistung von 1,83 W. Die Nabe ist zwar noch nicht eingelaufen, aber auch nicht durch Aufstands- ud Kettenkräfte belastet.

2.2.2 Reifen- und Felgenläufer

Reifenläufer sind die weitest verbreiteten Fahrraddynamos. Aufgrund der Vielfalt kann hier nur eine Auswahl betrachtet werden.

2.2.2.1 Magnic Light

Das Magnich Light (keine Zulassung) ist als Felgenläufer konzipiert. Es ist derzeit eine Einheit aus Dynamoteil und LED-Teil. Das Laufrad muß gut zentrierte Felgen haben, da der Luftspalt zwischen Felge und Dynamo klein sein muß. Klein heißt wenige Millimeter.

Der LED-Teil besteht aus zwei Antiparallel geschalteten LEDs. Von den Abmessungen her z.B. Cree XB.[17] Als Optik ist eine Massivglasoptik mit ca. 18x27 mm Lichtaustritsfläche verwendet.

2.2.2.2 UNION 8201

Der UNION 8201 (~~~K10874)[18] ist ein alter, gebrauchter Dynamo. Er ist „genordlicht“, d.h. er läuft mit einem Nordlicht Gummireibrad. Er liegt einmal als kaputtes Exemplar (Lagerschaden) vor und als fast kaputtes: Macht bei 33–36 km/h einen unbeschreibbaren Lärm, rutscht bei Nässe trotz Gummiröllchen auf einem Continental GrandPrix durch und kommt nach 15 km bei ca. 36 km/h trotz Fahrtwind auf ca. 50 °C Gehäusetemperatur.

---

[17] Farbtemperatur Scheinwerfer ca. 6000 K.

[18] Die Wellenlinie mit drei Perioden ist Teil des Prüfzeichens. Es besteht aus der Wellenlinie, einem Buchstaben, der die zuständige Prüfstelle kennzeichnet und einer Nummer. Für Lichtanlagen ist das Lichttechnische Institut der Universität Karlsruhe (LTI) mit dem Buchstaben K zuständig.

Tabelle 2.4: Meßwerte Wirkungsgradmessung UNION 8201

v	$R_a = 0{,}8\,M\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
10	7,1	4,1	0,62	4,9	4,16	23,9	5,71	24,0
15	10,67	7,3	0,65	7,6	4,99	20,9	7,23	23,3
20	12	10,9	0,64	12,5	5,57	20,8	8,28	22,3
25	16	14,6	0,65	16,0	6,03	19,0	9,3	21,8
30	18,73	20,9	0,71	20,4	6,69	16,9	10,51	19,0
40	23,1	30,2	0,71	27,2	6,67	12,3	11,16	16,0
50	26,89	35,8	0,71	37,7	6,80	10,8	11,61	15,7
70	–	–	0,71	52,8	–	–	–	–
30	–	–	0,62	23,8	6,23	16,8	–	–
40	–	–	0,63	33,1	5,95	8,7	9,8	12,1
50	–	–	0,65	36,8	–	–	–	–

Der Dynamo ist vor den Messungen bei 30 km/h an 12 Ω ca. 4 Minuten warmgefahren. Die Messungen starten bei 30 km/h, werden bei zunehmender Geschwindigkeit durchgeführt und danach bei 25 km/h mit geringer werdenden Geschwindigkeiten fortgeführt. Die durch einen Querstrich abgetrennte Tabellenhälfte ist mit dem sehr heiß gefahrenen Dynamo aufgenommen.

Die Versuche werden auf einer abgefahrenen, harten, mit 6 bar aufgepumpten Decke Nokia rollspeedgrip 37-622 (Nenndruck 4,0 bar) durchgeführt.

2.2.2.3 UNION 8601

Der Union 8601 (~~~K10879) ist der klassische Walzendynamo von Union. Hier wird eine, schon arg mitgenommene, Version mit körniger Beschichtung getestet.

2.2.2.4 UNION 9401 (Turbo)

Der Turbo (~~~K10898) ist hier die Version im schwarzen Plastikgehäuse (UNION 9401) (kostete 1990? bei Conrad ca. 15,– DM). Die gemessenen Werte sind in der Tabelle H.3 wiedergegeben. Die ersten Versuche mit dem Turbo werden im November 1997 durchgeführt.

Subjektive Bewertung: Bei Trockenheit wunderbar, bei Nässe zum wegwerfen. Er rutscht mit dem beigelegten Gummiring (Durchmesser 19 mm) selbst auf ebenen Decken (Ritchy TomSlik) durch. Abhilfe ist ein größeres (hier 25 mm) Reibrad, z. B. aus Celasto[19], Evazote oder anderen Schaumstoffen.

[19] Celasto ist ein Polyurethanschaum

Aber selbst dann rutscht er bei Regen durch. Der Turbo war beim Autor allerdings „gezogen“ eingebaut.[20] Der Turbo ist beim Autor wegen zu großen Lagerspieles inzwischen ausgefallen. Die ansonsten rutschende, einteilige Lagerbuchse, wurde eh schon mit einer Verstiftung in ihrer Bewegung unterbunden. Die Versionen mit Alugehäuse sollen laut Aussagen anderer Radfahrer länger halten.

Interessant ist der Unterschied der Widerstandsmessungen (Gleichstrom) beim gebrauchten, intakten Modell mit 2,99 Ω und beim identischen, aber zerlegten mit 1,28 Ω. Alleine die Kontaktierungen zwischen Draht und Niroblech sowie Draht und Sockel liegen bei einem Meßstrom von 1 mA bei 1,7 Ω! Da kann man am intakten Bauteil noch so viel in Vierleitermethode messen. . .

2.2.2.5 Soubitez EB80

Der Soubitez EB80 (TBGBi012, ~~~K10872) ist ein nagelneuer Walzendynamo. Er läuft abweichend auf einem Rennradlaufrad (Decke: Michelin TS20) mit einem Umfang von 2090 mm, der Tacho ist hier auf einen Radumfang von 2155 mm eingestellt, damit zeigt der Tacho eine um 3 % zu hohe Geschwindigkeit an. Dies ist in der Tabelle H.5 berücksichtigt. Obigen Versuche werden im Oktober 1997 durchgeführt.

Dieser, 1997 gekaufte, Dynamo hat gedichtete Radialrillenkugellager (Industriekugellager), während ein ca. 1995 gekauftes Modell war noch mit einstellbaren Konuslagern versehen. Auch hier findet noch eine Produktüberarbeitung statt.

Wem die Halterung wegbricht: Man kann es es auch stabiler bauen und eine Fernbedienung nachrüsten. Dazu z.B. die Bauanleitung zur enhydra lutris [SchEL] anschauen, in einem Kapitel ist eine Konstruktion vorgeschlagen.

Stand Juli 1999: Der EB80 wird nach der Zusammenlegung von Soubitez, MARWI und UNION nicht mehr hergestellt.

2.2.2.6 Soubitez ?

Dieser Soubitez (~~~10882) kann nicht mehr getestet werden. Die Achse ist in zwei Gleitlagern aus Kunststoff gelagert, die angeschmolzen sind. Die Laufrolle hat 20 mm Durchmesser. Der Generator ist hat vier Polpaare. Innenwiderstand 2,7 Ω, 3,57 mH/21,8 Ω

2.2.2.7 Nordlicht 2000

Hier wird ein eingefahrener „Nordlicht 2000“ mit Originalreibrad (Durchmesser 24,5 mm) verwendet. Die Spannung im Lastfall B wird an dem UNION H70 vorgenommen.[21] Die Ströme in Lastfall A und

[20] Gezogen=hinter der Strebe, geschoben=vor der Strebe (wird durch die Laufraddrehung und das Drehmoment zusätzlich angedrückt).

[21] Dabei bemerkt der Autor, daß der H70 nicht durch eine Z-Diode abgesichert ist.

B werden nicht mehr bestimmt.[22] Obige Versuche werden im Dezember ’97 vorgenommen.

In der Schweiz ist der Nordlicht eher unter dem Namen „Phöbus“ bekannt.

Die Wirkungsgradmessungen sind am 20.11.1999 neu dazugekommen.

Tabelle 2.5: Meßwerte Wirkungsgradmessung Nordlicht

v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
10,1	7,95	4,8	0,67	5,1	4,7	32,2	6,3	22,7
15,2	11,28	7,4	0,67	7,4	5,57	30,1	8,28	25,6
20,2	14,7	10,6	0,67	9,9	6,11	26,6	10,19	28,0
30,4	20,17	17,2	0,67	15,1	6,65	21,0	12,03	26,0
40,5	24,9	26,1	0,67	20,2	6,7	15,1	12,73	20,8
60,7	31,87	40,6	0,67	35,2	6,79	10,1	13,85	16,1

Aufgenommen auf einem Conti Avenue 622/40 mit 6 bar. Der wahre Umfang beträgt 2190 mm, der Tacho bleibt auf 2165 mm eingestellt (ist berücksichtigt).

2.2.2.8 Berko LD6

Den Berko LD6 hat der Autor an einem uralten Rad mit geschalteter Sachs Torpedo Zweigangnabe gefunden. Der Dynamo ist kugelgelagert und hat eine Filzringdichtung. Er läuft sehr leicht. Der Dynamo ist allerdings mit 6 V/0,25 A und 4 V/0,3 A angegeben. Der einstellbare Luftspalt ist so justiert, daß gerade eben kein Schleifen zwischen Rotor und Anker stattfindet. Der Berko liefert zumindest mit $R_a = 25\,\Omega$ mehr Leistung, als nach Wullkopf zu erwarten wäre!

Tabelle 2.6: Meßwerte Wirkungsgradmessung Berko LD6

v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 25\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η	U	η
10	–	–	–	–	–	–	3,3	–	–	–
15	7,3	5,4	0,45	5,2	3,4	16,8	4,32	–	5,32	16,2
20	9,4	7,2	0,45	7,0	3,6	14,4	5,17	–	6,2	16,6
25	–	–	–	–	–	–	5,8	–	–	–
30	13	11,3	0,46	10,2	4,07	12,2	6,23	–	7,28	15,5
35	–	–	–	–	–	–	6,71	–	–	–
40	–	–	–	–	–	–	7,02	–	–	–
50	18,3	19,7	0,48	17,1	4,49	8,7	–	–	8,73	12,2

[22]Der Autor will von seiner Proxxon noch was haben.

Die Versuche werden auf einer abgefahrenen, harten, mit 6 bar aufgepumpten Decke Nokia rollspeedgrip 37-622 (Nenndruck 4,0 bar) durchgeführt.

2.2.2.9 Bosch RL/WQ2

Der Bosch RL/WQ2 ist ein antiquarisches Stück mit Alu-Gehäuse. Am Hals ist eine Ölschraube für die Lager. Er ist, wie der Berko LD6, natürlich mit einfachem Werkzeug de- und montierbar. Als Besonderheit sei hier das rotierende Spulenpaket mit massivem, 4-poligem Anker erwähnt, sowie der sich darüber klemmende 4-polige Magnetfinger mit einem Zentralmagneten. Die Stromabnahme erfolgt über die Gleitlager bzw. eine Kontaktfeder auf der unteren Stirnseite der Welle. Da der Anker nicht geblecht ist, sind massive Wirbelstromverluste zu befürchten.

Die Wirkungsgradmessung am RL/WQ2 sind die ersten, welche am auf S. 494 ff. beschriebenen Prüfstand vorgenommen werden und deshalb noch vorsichtig zu betrachten.[23]

Tabelle 2.7: Meßwerte Wirkungsgradmessung RL/WQ2

v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
15	20	6,4	0,61	9,3	6,01	30,2	9,6	37,2
20	26,3	9,0	0,63	12,9	6,31	25,6	10,95	35,8
30	37,5	13,7	0,65	18,3	6,81	21,1	12,43	32,0
50	60,7	24,2	0,65	28,7	7,04	14,3	13,41	23,6

Die Versuche werden auf einer abgefahrenen, harten, mit 6 bar aufgepumpten Decke Nokia rollspeedgrip 37-622 (Nenndruck 4,0 bar) durchgeführt.

2.2.2.10 AXA HR

Der AXA HR (~~~K10892) ist im Originalzustand nicht für 12 V geeignet. Er enthält intern zwei antiserielle Z-Dioden. Dieser redundante, sofern schon eine S-Diode im Scheinwerfer eingebaut ist, Überspannungsschutz verhindert einige Bastelarbeiten. Mit Glück kann man die Z-Dioden durch einen gezielten Stromstoß von außen hochohmig kriegen, sprich unwirksam machen.[24]

Unter www.rollende-seiten.de findet man unter anderem eine empfehlenswerte Seite von Reinhard Schüpferling zum Thema AXA-HR und Problembehebung. Der HR^+ läßt sich öffen, indem man unten, da wo das Masseblech aus dem unteren Deckel austritt, ein Schraubendreher den verschweißten

[23] Genauso wie selbstgebaute Phasenanschnittssteuerungen an induktiven Lasten:) Für die Flex zum Antrieb des Prüfstandes.

[24] Bei Bastelarbeiten an einer Scheinwerferserienschaltung haben zwei BZW04 7,8 V den Betrieb an 12 V Konstantspannung (leistungsfähiger Akkupack) bei einer Diode einen Kurzschluß, bei der anderen ein hochohmigwerden zur Folge. Merke: Überlege Dir vorher welchen Schalter Du betätigst, sonst erhälst Du Rauchzeichen:-)

Deckel vom Gehäuse losbricht und sich dann rundum weiter vorarbeitet. Hinterher wieder zusammenkleben. Die TORX-Schraube muß nicht gelöst werden. Achtung, daß die Kugel, die im unteren Lager für die Axiallagerung sorgt, nicht verloren geht.

Ein gebrauchter HR mit Wackelkontakt an den Begrenzungsdioden wird nur kurz getestet (vgl. Tabelle 2.8). Wenn die Spannungsbegrenzung nicht funktioniert, so liefert er bei 40 km/h ca. 12,5 V an 24 Ω.

Tabelle 2.8: Meßwerte AXA HR

v [km/h]	f [Hz]	$R_a = 0{,}1\,\Omega$ I	$R_a = 12\,\Omega$ U	$R_a = 24\,\Omega$ U
20	212	–	6,33	7,51
30	318	–	6,57	7,8
70	742	0,75	6,9	8,11

Die Dioden sind zwei antiserielle 1,3 W Z-Dioden im Glasgehäuse (BZX 85 7,5 V), sie überstehen unbeschadet eine Viertelstunde bei 70 km/h und unbelastetem Ausgang, nur wird der Dynamo dann ziemlich heiß.

Getestet wird hier eine neuere Version HR$^+$ im rundlichen Gehäuse mit der mit Laufrolle aus Kunststoff.[25] Der Dynamo wiegt 190 g. Der Dynamo ist nagelneu. Er läuft vor dem Test leicht unrund, d.h. in einer bestimmten Position schleift der Läufer irgendwo leicht an, nach dem Test ist das Schleifen nicht mehr feststellbar. Der Dynamo erlaubt eine zweipolige Verkabelung für Vorder- und Rücklicht getrennt. Allerdings ist die Knebeltechnik nicht für Kabel mit >0,8 mm^2 Leitungsquerschnitt geeignet.

Die Meßwerte sind zu Schonung des geliehenen Exemplars (1) mit intakter eingebauter Begrenzungsdioden aufgenommen. Aus diesem Grund fehlen Meßwerte für andere Lastwiderstände und Leerlaufleistung sowie Kurzschlußstrom. Der Kurzschlußstrom ist mit 0,81 A sehr gut. Der Dynamo wird auf einem Continental Avenue mit 6 bar getestet. Die Andruckkraft beträgt ca. 13 N.

Ein zweiter HR (2) wird auf dem Diamond Grip getestet. Der Kurzschlußstrom von diesem Exemplar liegt nur bei 0,7 A, ebenso liegen die Spannungen niedriger. Dafür ist aber auch der Wirkungsgrad besser.

[25] Der Magnet ist kunststoffgebunden und läuft außen (Luftspalt 1 mm). Die Lagerstellen (Sinterbronzebuchen) sitzen mit maximalem Abstand oben direkt an der Gehäuseöffnung und unten, in einem Zinkdruckgußteil, am Wellenende.

Tabelle 2.9: Meßwerte Wirkungsgradmessung AXA HR$^+$ ($R_a = 12\,\Omega$)

v	1		2	
[km/h]	U	η	U	η
I_∞	0,8 A		0,7 A	
5	–	–	3,38	33,0
7	4,34	34,5	–	–
8	–	–	4,26	31,5
10	5,03	30,5	4,89	34,5
15	6,13	31,1	5,67	29,7
20	6,45	26,7	6,13	28,3
25	6,61	23,6	6,33	24,8
30	6,71	20,5	6,45	22,9
35	6,77	17,9	6,51	20
40	6,83	16,3	6,55	17,7
50			6,67	14,7

Für so ein eingeführtes Massenprodukt streuen die Exemplare doch ganz schön.

2.2.2.11 busch&müller Dymotec

Die Dymotec von busch&müller weisen neben fast identischen Gehäusen noch einige andere Eigenheiten auf, die hier zusammen aufgeführt werden.

Positiv ist, daß (fast?) alle Metallteile in nichtrostendem Stahl ausgeführt sind. Da würden Betriebswirtschaftler zuerst sparen. Haben sie hier aber zugunsten der Qualität zum Glück nicht.

Die Dymotecs sind Produkte, die von Busch&Müller (bumm oder auch b&m) kontinuierlich gepflegt werden. Das zeigen unten erwähnte Modifizierungen an der Elektronik ebenso wie Veränderungen an Kleinteilen wie z.B. der Gummikappe des Betätigungshebels, die bei älteren Modellen doch ab und zu unten herausrutscht, bei neueren durch Haken fester gehalten bzw. festgeklebt wird.

Eine Warnung an die Leute, die die Drahtreibrolle (Allwetterrolle) auf Reifen mit einer dünnen Seitenwand (*Skinwall*) einsetzen wollen: Achtet gut auf die bis zu einem Millimeter überstehenden Drähte! Diese perforieren sehr schnell die Seitenwand (hier Panaracer Pasela 700x32) und den darunter liegenden Schlauch. Das gibt dann Loch an Loch und viele Flicken oder einen neuen Schlauch. Und ein Abknippsen der überstehenden Drähte hilft auch nur temporär, da einige Drähte sich mit der Zeit herausarbeiten und dann überstehen. Die Drahtrolle senkt in einigen Messungen, bei ansonsten gleichen Randbedingungen, gegenüber der Gummirolle den Wirkungsgrad um etwa, eher unwesentliche, 2 %. Dafür soll aber selbst unter widrigsten Bedingungen ein Durchrutschen nicht mehr vorkommen. Andersrum kann man den Anpreßdruck verringern und dadurch die Rollreibungsverluste senken.

2.2.2.12 busch&müller Dymotec 6

Der Dymotec 6 (~~~K133) ist ein Klauenpolgenerator. Die Gehäusebauform ist dieselbe wie beim Dymotec S6 und S12. Als Wirkungsgrad gibt busch&müller 40 %@ 15km/h an. Der Dymotec 6 kann ab ca. 30 km/h mit zwei HS3-Lampen in Serie betrieben werden.

An einem kurzzeitig zur Verfüng stehenden, gebrauchten Exemplar werden keine Wirkungsgrade bestimmt.

Tabelle 2.10: Meßdaten vom Dymotec 6 (9/99)

v	I	U		
$R_a =$	0,1 Ω	10 MΩ	12 Ω	24 Ω
5	0,62	3,8	3,3	3,3
10	0,66	6,6	4,9	5,9
15	0,66	10,3	6,1	8,2
20	0,66	13,3	6,5	9,8
25	0,66	16,4	6,8	10,69
30	0,66	19,8	6,95	11,11
35	0,65	22,3	6,96	12,01
40	0,64	25,4	6,96	12,15

Ein weiterer, fast neuer, Dymotec 6 wird im März 2001 vermessen. Bei einem Abstand (nicht angeklappt) von 5 mm, empfohlen werden 10 mm, wird anddrückend eine Kraft von 5 N und abbdrückend von 10 N erzielt. Als Lauffläche ist die Dynamospur eines Duro Diamond Grip eingestellt. Vor Begin der Messungen wird der Dynamo bei 30 km/h ca. 5 Minuten warmgefahren.

Tabelle 2.11: Meßdaten vom Dymotec 6 (3/01), warmgefahren

v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$		Bemerkung
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η	
5	–	–	–	–	2,9	27,76	–	–	
8	–	–	–	–	4,6	38,2	–	–	
10	–	–	–	–	5	34,66	–	–	
15	–	–	–	–	5,99	32,39	–	–	
20	–	–	–	–	6,35	29,12	–	–	
25	–	–	–	–	6,54	25,78	–	–	
30	–	–	–	–	7,03	19,03	–	–	kalt
30	21,73	16,59	0,65	11,54	6,79	23,16	11,3	18,75	
30	–	–	–	–	6,66	23,29	–	–	heiß
35	–	–	–	–	6,77	21,21	–	–	
40	–	–	–	–	6,77	18,39	–	–	

Der Wirkungsgrad und die abgegebene Leistung sind stark von der Temperatur abhängig. Warmgefahren ist der Wirkungsgrad besser als kalt, es wird aber auch weniger Spannung abgegeben.

2.2.2.13 busch&müller Dymotec S6

Der Dymotec S6 (~~~K134) weicht ein diversen Punkten von obigen Dynamos ab. Er ist kein Klauenpolgenerator. Der Rotor hat vier Pole. Der Stator ist ein Paket aus Kreisringen aus Dynamoblech, in welches die vier Luftspulen eingelegt sind. Je zwei Wicklungen sind in Reihe und die Kombination dann parallel geschaltet.

Aktualierung Ende 2007/ Anfang 2008: Der S6 wird es wie der S12 nicht mehr hergestellt und ist bei bumm auch nicht mehr verfügbar.

Der Aufbau ist mechanisch solide. Am oberen Ende ist eine Labyrinth-Dichtung mit einem Fett-Depot. Die zwei ungedeckelten rostfreien Radialrillenkugellager (d=5, D=13, b=4 mm, Lagerabstand 30 mm, Kraglänge 32 mm) sind ölgetränkt. Die Lager sind innerhalb des eigentlichen Generatorgehäuses, durch ein Spalt-Dichtung geschützt, untergebracht und damit relativ gut geschützt. Hier sieht man auch die Handarbeit, die bei solchen Baugruppen noch notwendig ist:[26] Das Generatorgehäuse ist zudem handschriftlich signiert, was aber auch an einem frühen Serienexemplar liegen kann.

Die zuerst getestete frühe Version des Dynamos ist nur bis 50 km/h zugelassen. Darüber sind die Generatorspannungen für die Regelelektronik zu hoch. Es ist aber wirklich nicht einfach eine niederohmige Leistungselektronik zu finden und entwickeln, die dann auch noch Bitte die hohen Leerlaufspannungen bei geringer Ansteuerleistung verträgt. Und das dann bitte noch in SMD[27]! Auf diesen Umstand weist busch&müller außen durch einen deutlichen Aufkleber und in der Bedienungsanleitung hin. Die aktuellen Versionen sind bis 70 km/h getestet und nicht mit solch einem Aufkleber versehen.

Eine Erhöhung der Anpreßkraft von 6 auf 10 N macht sich beim hier getesteten Exemplar mit einer Reduzierung des Wirkungsgrades um bis zu ca. 5 % bemerkbar. Dieser Trend ist auch bei anderen reibradgetriebenen Dynamos in ähnlichen Ausmaßen feststellbar.

[26] Biegeschlaffe Teile, und solche sind Kabel, sind der Haß jeden Automatisierers.

[27] *Surface Mounted Devices*=Oberflächenmontierte Bauelemente. Werden auf der Leiterseite von Platinen aufgelötet. Im Gegensatz dazu werden bedrahtete Bauelemente auf der „Bestückungsseite“(nicht die Leiterbahnseite) platziert und die Drähte durch Löcher der Platine durchgesteckt werden und auf der Leiterbahnseite verlötet. SMDs sparen Platz und Bestückungskosten (bei automatischer Bestückung) und sind im Laufe der Zeit immer kleiner geworden (Fliegendreck).

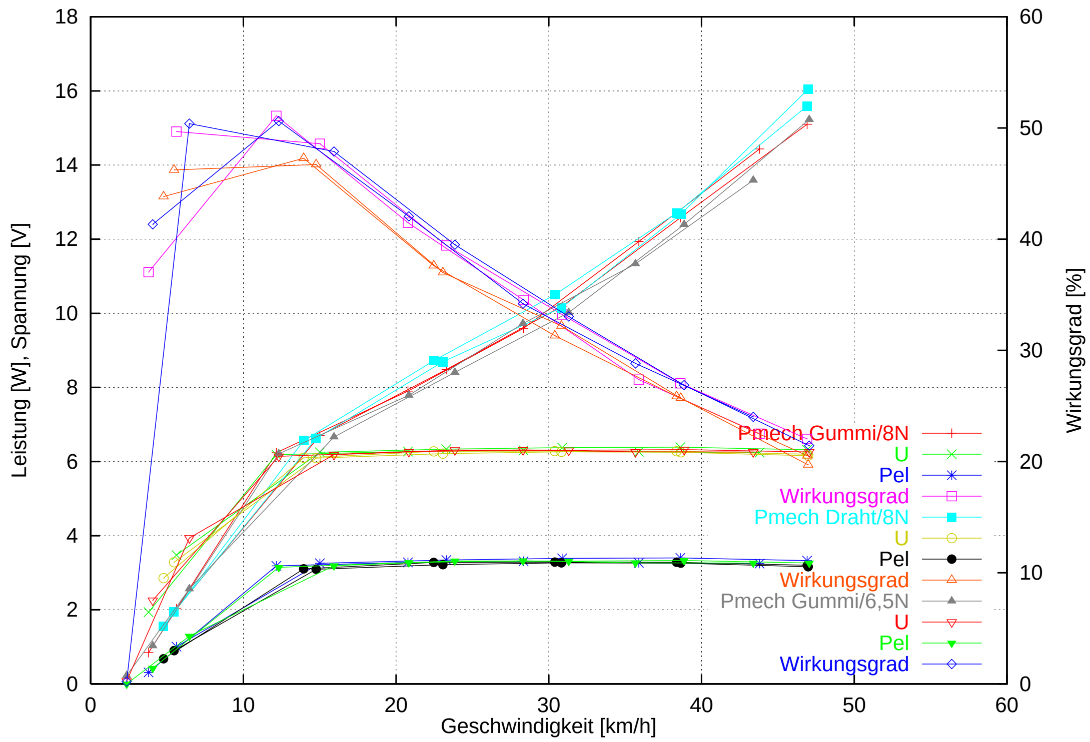


Bild 2.10: Kennkurven b&m S6 bei Variation Rolle und Anpreßkraft (erste vier mit Gummirolle und 8 N, zweite vier mit Drahtrolle und 8 N, letzte vier mit Gummirolle und 6,5 N) Meßdaten bei Schmidt/Tübingen aufgenommen

Die Elektronik ist (leider) komplett vergossen und nur mit viel Mühe sind ihr einige Geheimnisse zu entreißen. Besonders ist, daß der Dynamo, wie der lightSPIN, eine Wechselspannung abgibt. Der getestete Dymotec S6 hält die Spannung oberhalb von ca. 12 km/h sehr genau auf einen Effektivwert von 6,3–6,5 V ein. Die Spannung ist ein nahezu reiner Sinus (vgl. Bild 2.11.

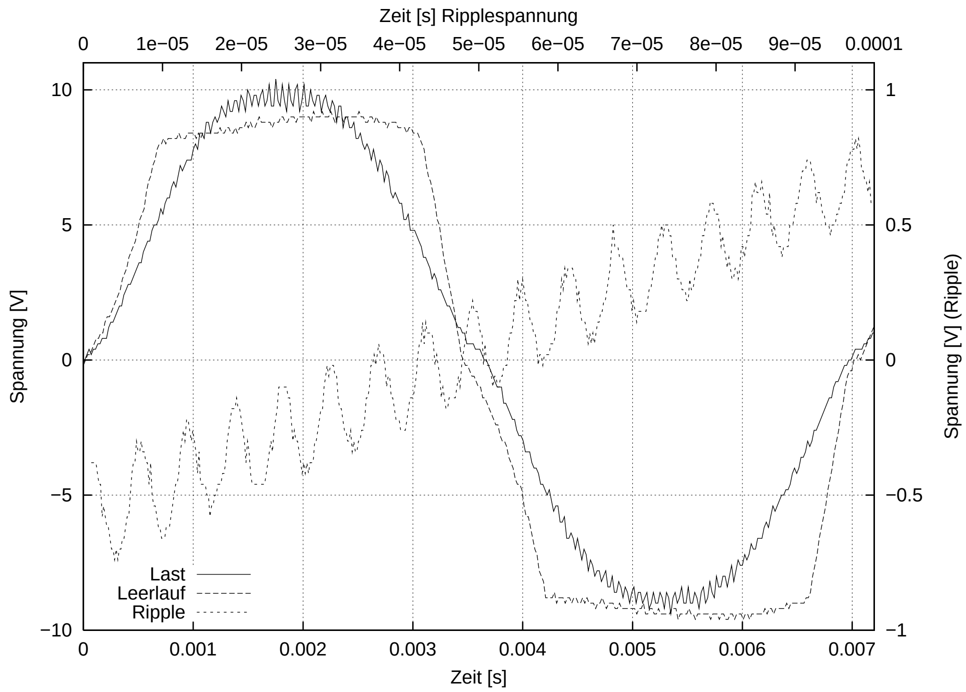


Bild 2.11: Spannungsverlauf am S6 bei Last und Leerlauf

Der Generator gibt an die Elektronik eine, von der Geschwindigkeit nahezu linear abhängende, Spannung ab und kann, sofern man die Regelelektronik nicht benutzt, über 14 W an 12 Ω bei 20 km/h liefern! Darüber wird allerdings sehr schnell das Reibradgetriebe überlastet (hoher Schlupf, Gummiabrieb, Wirkungsgrad fällt).

Prinzipbedingt ist keine Polfühligkeit vorhanden.

In der Tabelle 2.12 sind Spannungswerte bei 48,8 km/h aufgeführt.

Tabelle 2.12: Ausgangsspannungen des Dymotec S6 (Effektivwerte) bei 48,8 km/h

Lastwiderstand [Ω]	Generator [V]	Elektronik [V]
6	44	3,95
8,48		4,8
12	44,3	6,5
29,4	44,6	6,5

Der Generator liefert bei knapp 50 km/h eine Spannung von fast 130 V (Spitze–Spitze) und da wird die Luft für niederohmige Leistungselektronik sehr eng!

Durch eine Veränderung des Lastwiderstandes ist beim Dymotec S6 zumindest mit funktionierender Regelelektronik nicht mehr Licht herausholbar.

Das aufgeführte Schaltbild (vgl. Bild 2.12) stammt von einer ziemlich frühen Version. Neuere Dymotec S6 haben andere Schaltungen (u.a. durch eine „Huckepack“-Platine erkennbar, diese sind dann bis 70 km/h zugelassen. Die Nummerierung der Bauteile ist willkürlich gewählt und nur in diesem Kapitel konsistent.

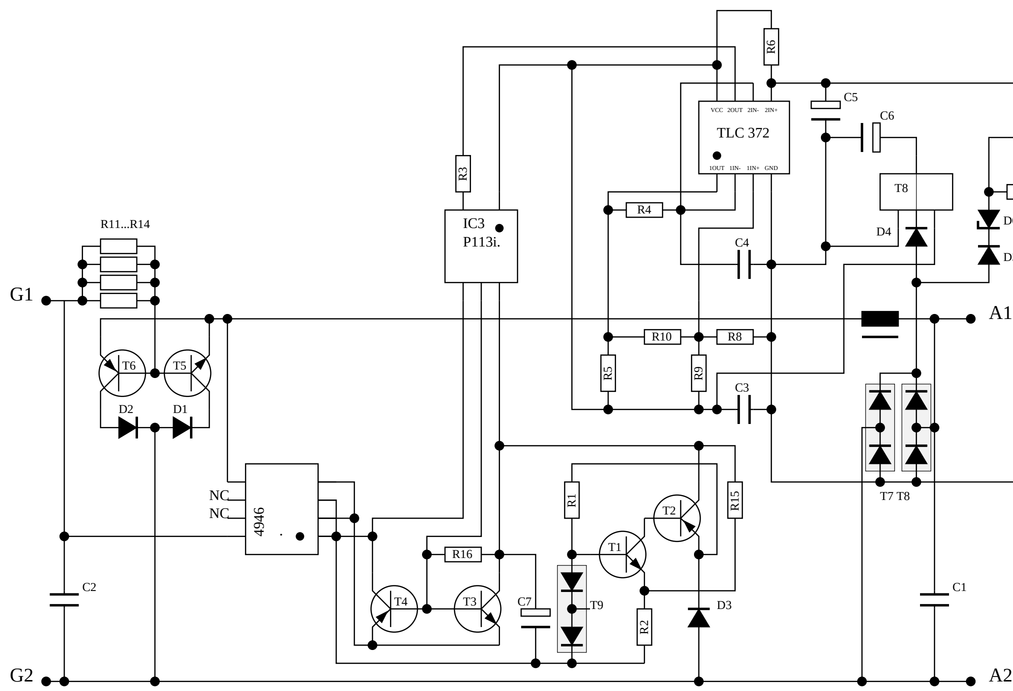


Bild 2.12: Schaltbild früher Dymotec S6-Regelelektronik

Hinweis: Das Schaltbild ist nach bestem Wissen aufgenommen, nachdem eine defekte Elektronik (frühe Serie, bei über 50 km/h) mit „Hammer und Meißel“ entgossen wurde und nahezu alle Bausteine abgelötet wurden um bei der doppelseitig mit SMDs bestückten Platine den Faden der Ariadne zu finden. Es sind ungefähr 23 Durchkontaktierungen, teilweise selbst unter Widerständen „versteckt“, vorhanden. Eventuell sind noch einige wenige Querverbindungen übersehen worden.

Eingang, vom Generator her kommend, sind G1 und G2. Die Ausgänge zur Beleuchtung sind A1 und A2.

Tabelle 2.13: Bauteilliste Dymotec S6-Regelelektronik, frühe Version

Baut.	Wert	Baut.	Wert	Baut.	Wert	Baut.	Typ
R1	10 Ω	C1, 2	1 µF	D1, 2	0,24/>74	IC1	4946
R2, 5, 7	1 k	C3	120 nF	D3	0,3/>74	IC2	TLC372
R3	100 Ω	C4	600 pF	D4	0,6/>74	IC3	P113
R4	5,6 k	C5	10 µF/ V	D5	0,6/>74		
R6	220 k	C6	22 µF/25 V	D6	0,4/?	T1, 3, 5	493
R8, 9, 10	19 k	C7	100 µF/10 V	D7, 8, 9	BAV99	T2, 4, 6	593
R11, 12, 13, 14	3,9 k					T7	BC847C
R15	6,8 k	L	97 µH			T8	0C FT
R16	3,3 k						

Die Kondensatoren C1. . . C4 sind Vielschicht-Keramik-Kondensatoren, C5 ist ein Tantal-Kondensator, C6 und C7 sind Elkos,

Die Spule L hat einen Gütefaktor Q von ungefähr 16. Bei diesem Exemplar ist eine Ecke des Ferrits abgebrochen, so daß normalerweise die Induktivität geringfügig größer sein dürfte. Ob der Gütegrad wesentlich besser wird sei dahingestellt. Von der Form her („Hantelkern") ist es eine Drosselspule und keine Speicherspule. Bei den hier, durch den vierpoligen Generator, bis 50 km/h erzeugten Kreisfrequenzen ($\omega \approx 420$ rad/s) ist der Widerstand ($\underline{Z} = j\omega L$) der Spule noch nicht nennenswert.

Bei den Dioden sind die ausgemessenen Durchbruchspannungen in Durchlaß-/Sperrichtung angegeben. Die Dioden D1 und D2 sind mit je einem grünen und einem orangenen Ring versehen. D6 muß eine Z-Diode sein, die sanft ab 0 V ansteigende Durchbruchspannung deutet jedoch auf einen Defekt hin.

Der TLC372 ist ein zweifach Komparator von Texas-Instruments. Der 4946 (Gehäuse SOIC 8), das Hersteller-Logo deutet auf Siliconix hin, ist derzeit noch nicht klassifiziert. Der fünfpolige, als IC eingeordnete, P113 scheint ein optogekoppelter Triac o.ä. zu sein. Der Intersil (ehemals Harris Semiconductors) IRFD 113 ist allerdings ein IGBT im kleineren, dreipoligen, SOT23-Gehäuse (42).

Die Transistoren 493 sind NPN, die 593 sind PNP, jeweils im SOT 23-Gehäuse mit einem h_{FE} ungefähr 180. T8 (Gehäuse SOT 89) könnte ein MOS-FET sein.

Es folgt ein Versuch der Analyse des Schaltbildes. Der Regler wird im „Bootstrap"-Modus betrieben. Die Doppeldioden T9 und T10 bilden den Brückengleichrichter, der vom Reglerausgang versorgt wird. Der linke Block aus R11. . . R14, T5, T6, D1 und D2 müßte ein „Überspannungsverheizer" sein.

Sascha Wuestling hat sich hingesetzt, das Schaltbild analysiert und einige Bauteile besser identifiziert:

> . . . Die Schaltung ist ein AC-Pulsbreitensteller (Step-Down bzw. Buck-Betrieb). Er funktioniert wie ein Step-down-DC/DC-Wandler für Gleichspannung, hat aber zwei Zweige (für jede Polarität einen). Die 100 µH-Hantelkern-Spule ist die Speicherdrossel, C2 siebt den

> Eingang und C1 den Ausgang. Die Schottkydioden D1 und D2 sind die Freilaufdioden, von denen über T6 und T5 – angesteuert über R11…R14 – jeweils die richtige aktiviert wird. Da die Schaltung im Leerlauf die volle Leerlaufspannung des Generators abkönnen muß (es ist kein Shunt-Regler), werden hier mehrere Widerstände parallelgeschaltet. Die Schalter des Wandlers sind die Dual N-Channel MOSFETs Si4946EY von Vishay Siliconix, die so geschaltet sind, daß die Sources zusammenliegen und daß der Strom jeweils durch einen FET und die in Reihe liegende Inversdiode des anderen FETs fließt. Die FETs werden angesteuert über die Gegentakt-Treiberstufe T3/T4. R16 ist der Pull-up für den Open-Collector-Ausgang des Optokopplers mit Schmitt-Trigger TLP113 von Toshiba. Die Versorgungsspannung für den FET-Ansteuerkreis wird von der Schottkydiode D3 aus einer Halbwelle des Generators gleichgerichtet, von T1, T2, D9, R1, R2, R15 begrenzt (wobei D9 als Referenz wirkt, Abregelspannung so bei 6 V) und von C7 gesiebt. Der Optokoppler wird angesteuert von einem Pulsbreitenmodulator, der aus den Komparatoren im TLC372 besteht. Der erste Komparator ist als Sägezahngenerator beschaltet, der eine Frequenz von ca. 140 kHz liefert. Diese wird im zweiten Komparator mit einer variablen Schwelle verglichen, das entstehende PWM-Signal steuert den Optokoppler. Der Witz bei der Schaltung ist nun, daß die Regelzeitkonstante, gegeben durch C5 und R6 mit 2,2sec recht lang ist, so daß das Tastverhältnis der Steuerspannung für die FETs über mehrere Generatorhalbwellen konstant bleibt. Geregelt wird zwar der Spitzenwert der Ausgangsspannung an A1/A2 (in dem die hochgeklappten Halbwellen nach der Gleichrichterbrücke D7, D8 über D5 und die Z-Diode D6 - etwa 7,5V - den Transistor T7 ansteuern, der die Spannung an C5 senkt), durch das Speichern des Tastverhältnisses (das beim Step-Down-Wandler ja in etwa das Transformationsverhältnis zwischen Ein- und Ausgangsspannung vorgibt) bleibt die Kurvenform des Generators aber erhalten. Bei einer rein ohmschen Last ist diese sinusförmig und daher wird auch die Ausgangsspannung sinusförmig sein, auch wenn nur eine Rücklichtlampe dranhängt (nicht allerdings, wenn man viele Sachen mit Brückengleichrichter und Siebelkos dranhängt...). Der Effektivwert ist dann ja fest mit dem Spitzenwert, auf den geregelt wird, verknüpft. Noch nicht erwähnt wurde das bei Euch mit T8 bezeichnete Bauelement, dies ist irgendein dreipoliger Spannungsregler (wahrscheinlich 5V), der die von C6 gesiebte und von D4 vom Reglereingang (D5, wo ja ungeglättete Halbwellen gewünscht sind) entkoppelte Gleichrichtspannung als Versorgung für den PWM-Modulator stabilisiert. …

Anmerkung: T8 (SOT-89) ist anscheinend kein Spannungsregler sondern eher ein FET. Ich hab es nocheinmal nachgemessen. Wobei ich die T8 dummerweise zweimal vergeben habe: Die untere, neben T7 ist ein BAV99, die obere…

Die nun folgenden Messungen werden an einem von bumm[28] zur Verfügung gestellten Serienexemplar durchgeführt welches nicht mehr auf 50 km/h begrenzt ist. Der Dynamo ist neu. Es wird das beigelegte Gummiröllchen verwendet.

[28] bumm, b&m, Busch und Müller bezeichnen ein und dieselber Firma.

Tabelle 2.14: Meßwerte Wirkungsgradmessung Dymotec S6 auf Nokia rollspeed-grip 37-622 (Nenndruck 4,0 bar) mit 6,0 bar

v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η
7	–	–	1,07	6,8	–	–
10	6,71	5,8	1,5	13,7	5,94	51,2
15	7,52	7,0	2	21,6	6,43	49,3
20	7,43	8,6	–	–	6,43	40,0
30	8,01	11,8	2,6	–	6,41	29,0
40	7,7	15,8	–	–	6,33	21,1
50	8,11	19,7	–	–	6,41	17,3
60	7,65	23,7	–	–	6,53	13,9

Bei Geschwindigkeiten über 7 km/h sind im Kurzschlußbetrieb keine Leistungsmessungen möglich. Teilweise werden an 0,1 Ω mehr als 2,6 A geliefert. Die Schleppkräfte liegen über den noch meßbaren 717 g. Die Reibpaarung versagt teilweise und es „stinkt“ nach Gummi. In dieser Version scheint der Dymotec S6 nicht kurzschlußgesichert zu sein! Laut Busch&Müller ist er begrenzt (ca. 3–5 Minuten) kurzschlußfest. Nach 3–5 Minuten sollte aber selbst der unbedarftetste Benutzer entweder an dem fehlenden Licht oder am schweren Lauf bzw. dem Lärm des durchrutschenden Reibrades das Problem längst bemerkt haben und versuchen den Kurzschluß in der Fahrradelektrik zu beheben.

Im Bild 2.13 sind einige Meßdaten gezeigt, die auf dem auf Seite 498 beschriebenen Prüfstand aufgenommen werden. Der S6 wird zusätzlich von Schmidt auf deren Prüfstand getestet (Tübinger Prüfstand). Die Meßwerte stimmen gut überein.

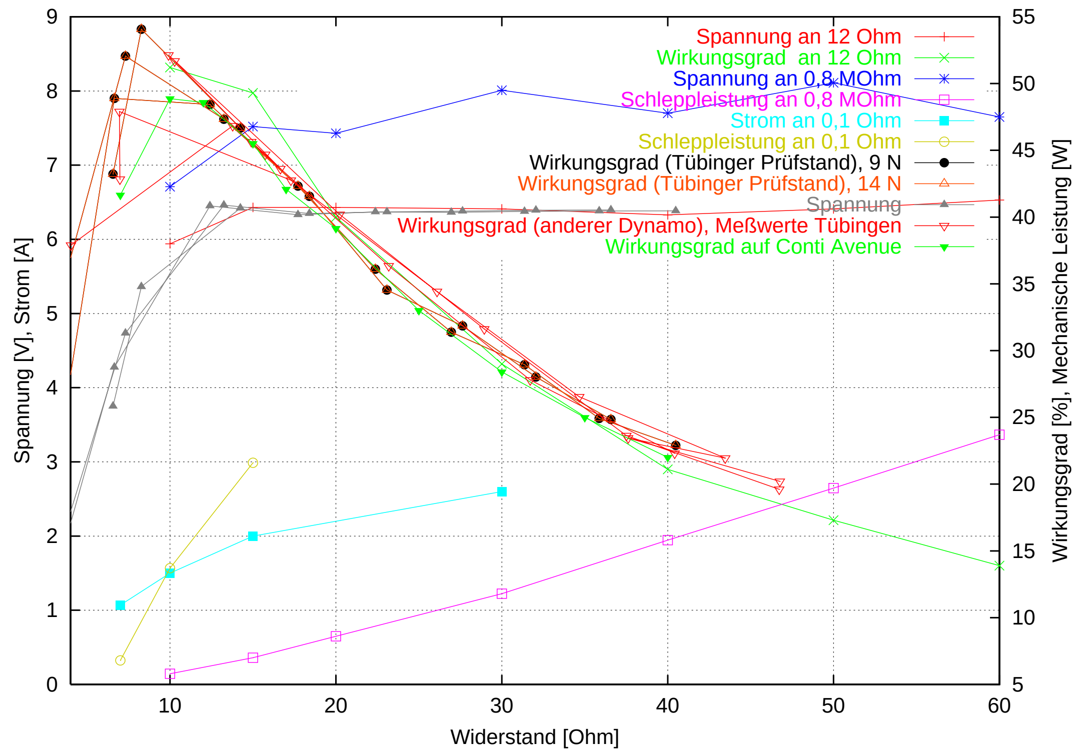


Bild 2.13: Meßdaten des S6 auf dem Wirkungsgradprüfstand

Zur Zeit wird der S6 am ATB im Alltagseinsatz getestet.[29] Zumindest den Winter 1999-2000 über hat er während ca. 20 Stunden Lichtfahrt ohne Mucken seinen Dienst verrichtet.

[29]Die normalen Alltagsräder, ein Flevo und ein Baron, haben keine Dyanmohalterung, da SON von Anfang an vorhanden.

Tabelle 2.15: Meßwerte Leistungsanpassung Dymotec S6

	$v = 30$[km/h]		$v = 20$[km/h]		$v = 15$[km/h]		$v = 10$[km/h]	
R_a	U	η	U	η	U	η	U	η
[Ω]	[V]	%	[V]	%	[V]	%	[V]	%
29,4	6,59	–	6,56	19,5	6,5	24,7	6,6	34,6
24	6,57	–	6,55	22,6	6,5	28,7	6,5	39,2
12	6,53	25,7	6,51	35,4	6,5	42,6	6,4	55,7
11,48	6,47	25,4	6,53	35,8	6,53	41,8	6,5	54,6
11	6,38	25,2	6,53	36,5	6,56	42,6	6,44	54,3
10,47	6,51	26,4	6,54	35,7	6,55	44,6	6,43	50,4
9,93	6,51	27,9	6,45	36,6	6,48	46,0	6,08	48,0
9,23	6,43	29,3	6,45	39,4	6,47	43,6	5,83	45,1
8,52	6,41	32,3	6,41	44,7	6,47	51,1	5,77	51,7
8	5,8	27,5	5,79	35,4	5,87	45,4	5,8	49,1
7,76	5,73	27,6	5,58	33,9	5,82	44,5	5,6	45,0
6,67	4,47	20,9	4,76	32,0	4,83	38,1	5,0	48,3
6	4,31	22,0	4,18	27,4	4,25	35,1	4,43	44,5
4,7	3,81	22,0	3,7	28,1	3,65	30,9	3,6	37,5
2,7	2,08	11,7	2,3	16,0	2,4	21,1	2,6	25,1

Graphisch aufgetragen ergibt sich daraus das Bild 2.14.

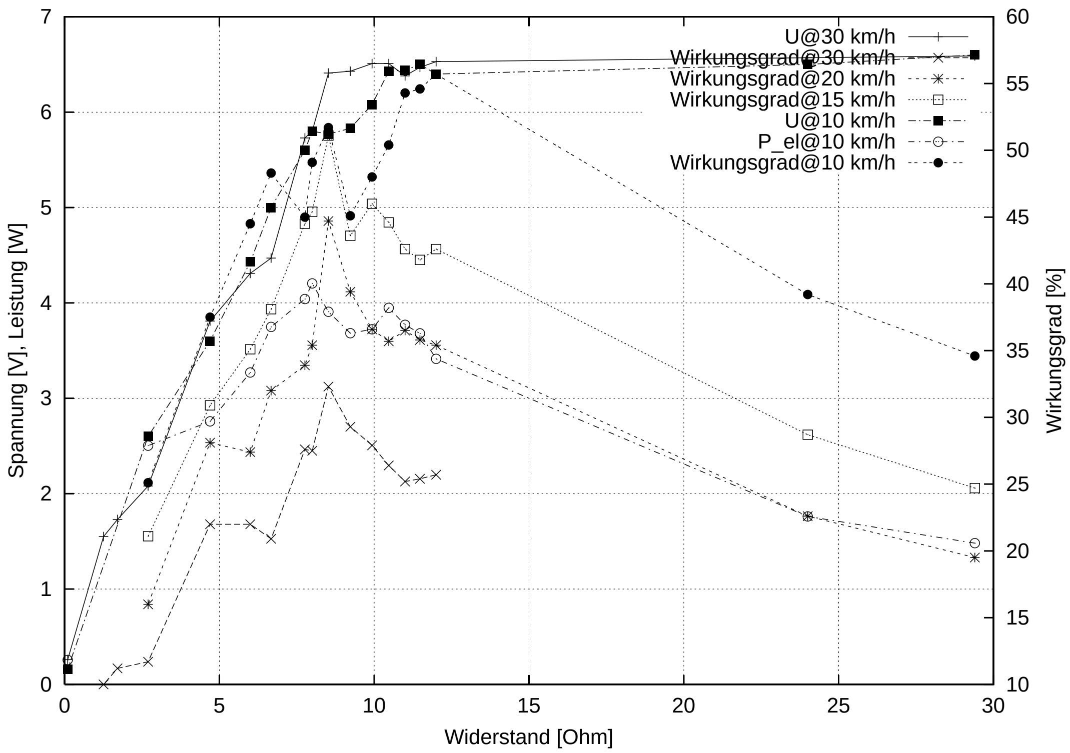


Bild 2.14: Widerstandsanpassung Dymotec S6

Das Maximum elektrischer Leistung ist hier ab 15 km/h bei ca. 8 Ω mit etwas über 4,5 W erzielbar.

2.2.2.14 busch&müller Dymotec S12

Laut der Informationen auf der IFMA 2002 soll der S12 zusammen mit einem 12 V-Lumotec Oval12 (mit neuer Optik) und einem DToplight12plus bzw. einem Seculite12plus Ende 2002 für 295 Euro in den Handel kommen.

Es gibt Berichte, wohnach die Wicklung im Generator nicht hinreichend befestigt sei und bei starken Erschütterungen losbricht und dann den Generator blockiert. Hier scheint der Aufbau deutlich anders als beim S6 zu sein.

Ende 2007 läuft der S12 aus. Restexemplare werden bei Fahrradhändlern und ebay deutlich günstiger als im Frühjahr gesehen. Scheint wohl damit zu tun zu haben, daß Philips keine 12 V-Birnen mehr herstellen will und LEDs inzwischen dem „Glühobst“den Rang abgelaufen haben und die Nabendynamos setzen sich auf breiter Front durch.

2.2.2.15 Dynosys lightSPIN

Die Ankündigung des *lightSPIN* von der Dynosys AG verursachte 1998 eine erhebliche Unruhe in der Szene. Erste Testexemplare waren im Sommer 1999 verfügbar, die ersten Endverbraucher-Versionen im Winter 1999. Ungefähr 2007 wurde angeglich die Produktion des Lightspin eingestellt, er ist nur noch in Restexemplaren bei Fahrradhändlern verfügbar.

Hier soll eine kritische Würdigung der verfügbaren Informationen (u.a. auf der W3-Seite von Dynosys findbar) versucht werden:

Dynosys behauptet:

1. Der Gesamtwirkungsgrad (η_G) inklusive Elektronik soll 86 % betragen.
2. Der Generator (η_g) soll einen Wirkungsgrad von 95 % erreichen und einen Innenwiderstand <1,5 Ω aufweisen.

Kritische Gegenhaltungen, in die langsam neuere Meßdaten einfließen:

1. Einen Gesamtwirkungsgrad von 86 % zu erreichen dürfte schwierig werden. Der Spezialist für Schaltwandler MAXIM erreicht alleine für die Wandler im Bestpunkt gerade mal 90 %. Diese 90 % sollen aus den ersten beiden Angaben des Wirkungsgrades von Dynosys erreicht werden:
$$\eta_e = \frac{\eta_\mathrm{G}}{\eta_\mathrm{g}} = \frac{0{,}86}{0{,}95} = 0{,}90 \tag{2.28}$$
2. Der Innenwiderstand des eigentlichen Generators liegt bei gemessenen 2,33 Ω. Bei einer moderaten, aus der Periodenzeit von 6 ms berechneten, Geschwindigkeit von ca. 25 km/h liegt an der Elektronik eine Wechselspannung von 17,6 V an. Setzt man für den Wandler einen Wirkungsgrad von 100 % an, so läßt sich der effektive Gleichstromwiderstand auf 2,33 Ω×6,3 V/17,6 V= 0,83 Ω abschätzen. Das macht bei weiterhin idealem Wandler einen Strom von 0,27 A durch die Wicklung und eine Verlustleistung von mindestens 0,17 W alleine in der Wicklung. Der Generator kann also keinen Wirkungsgrad von mehr als 96 % aufweisen.
3. Vom Wirkungsgrad des Reibradgetriebes hat hier noch keiner gesprochen.

Laut einer *mailinglist* sind in holländischen Läden die ersten Exemplare für ca. 180 DM gesehen worden, vor einem Jahr war der Preis eigentlich bei ca. 110 DM angesetzt.

Der Dynamo wird durch das US-Patent 5857762 (12.01.1999) geschützt.

Wenn im folgenden von lightSPIN gesprochen wird, so bezieht sich das bis auf weiteres auf die Version ohne Akku bzw. Standlicht.

Die Anpreßkraft des lightSPIN beträgt ca. 8/3 N (Hysterese). Diese geringe Anpreßkraft, die übrigens nicht einstellbar ist, sorgt einerseits für geringe Rollreibungsverluste aber andererseits auch für ein schnelles Durchrutschen bei Nässe (mit den zuerst ausgelieferten harten Reibrädchen). Ab Sommer 2k sind weichere Reibrädchen in der Auslieferung, welche selbst bei Schneematsch nicht mehr durchrutschen sollen. Falls er trotzdem durchrutscht: Ein Loch in den unteren Deckel reinbohren, eine Speiche einhängen und an der Speiche ein Gummiband befestigen, daß die Anpreßkraft erhöht. Auch ist auf eine genaue Ausrichtung auf die Dynamolaufrille des Reifens, ca. 12 mm Abstand zum Reifen im abgeklappten Zustand und Kreuzen der Achsen von Dynamo und Nabe zur Vermeidung von Bohrreibung zu achten! Zudem sollte das Montageblech nicht verbogen werden, sonst bricht es sehr schnell, besonders wenn es an gefederten Gabeln bzw. Schwingen montiert ist!

Ein Nachteil ist der kleine Kabelaustritt aus dem Gehäuse. Wer dickere Kabel, als die bisher an Fahrrädern üblichen, verwenden will muß mechanisch Nacharbeiten. Am Sockelblech liegt die Masse an,[30] zusätzlich ist innen ein Anschluß (2,8 mm-Stecker) vorhanden.

Der Rotor (Massenträgheitsmoment ca. $1{,}85 \cdot 10^{-5}\text{kgm}^2$ vgl. Seite 532) ist kugelgelagert. Die Lager, Radialrillenkugellager vom Typ 618/7, sind ohne Deck- bzw. Dichtscheiben ausgeführt. Dichtend wirkt alleine der ca. 0,2. . . 0,45 mm breite Spalt zwischen Reibrolle und Gehäuse . Die Welle ist aus Kunststoff, es könnte Polyacetat (POM) sein, und hohl ausgeführt. Eine Polfühligkeit ist, da Luftspule, konstruktionsbedingt nicht festzustellen. Die doppelseitige Platine ist einseitig (bis auf einen RC-Patch) bestückt und lackiert. Eine Einstellmöglichkeit ist nicht vorhanden.

Ab einer Geschwindigkeit von ca. 15 km/h wird ein sauberer Sinus mit einem Effektivwert von 6,1–6,5 V abgegeben. Diese Spannung ist für lichthungrige Anwendungen mit HS3-Lampen etwas niedrig. Es sei denn, der, noch zu ermittelnde, Maximalstrom wird ausgenutzt und es wird eine entsprechende, nicht zugelassene Lampe verwendet. Laut E. Schwaller auf der 1999er IFMA sollen aber auch schon Exemplare mit 1 A und 6,1 V existieren, an denen einige Paris-Brest-Paris-Fahrer zwei parallel geschalteten Scheinwerfern betrieben haben. Einige Vorserienexpemplare waren nicht so stark.

Hier wird ein ca. 100 km betriebener lightSPIN (ohne Standlichtfunktion) getestet.

[30] Das kann aber durch Kappen eines Kabels intern verändert werden.

Tabelle 2.16: Meßwerte Wirkungsgradmessung lightSPIN auf Duro Diamond Grip 40-622

f [Hz]	v [km/h]	$R_a = 0{,}1\,\Omega$ I	P_m	$R_a = 12\,\Omega$ U	η	$R_a = 24\,\Omega$ U	η
32,5	5	–	–	2,80	60,18	2,08	20,76
65,0	10	–	–	5,50	68,30	6,19	66,85
97,5	15	2,32	3,26	6,45	66,53	6,41	52,57
130,0	20	2,31	4,34	6,47	63,76	6,49	44,91
162,5	25	2,58	5,43	6,51	52,47	6,53	38,97
195,0	30	2,78	6,51	6,55	48,15	6,55	30,49
260,0	40	2,95	8,68	6,55	41,17	6,57	25,89
325,0	50	2,95	10,86	6,55	32,93	6,59	20,84
390,0	60	3	13,03	6,49	26,94	6,66	15,76

Genauso wie beim Dymotec S6 ist der Weg der Leistungsanpassung über einen hohen Lastwiderstand vergebens. Inwieweit mit einem niedrigeren Lastwiderstand, sprich Parallelschaltung von HS3-Lampen o.ä. die Ausgangsleistung maximiert werden kann sollen folgende Messungen zeigen. Hierzu wird der Dynamo bei konstanten Geschwindigkeiten betrieben und der Lastwiderstand variiert.

Tabelle 2.17: Meßwerte Leistungsanpassung lightSPIN auf Duro Diamond Grip 40-622

R_a [Ω]	$v = 30$[km/h] U [V]	η [%]	$v = 20$[km/h] U [V]	η [%]
12	6,55	48,15	6,51	58,1
10	6,53	48,86	6,47	58,8
7,95	6,49	52,82	6,44	61,9
6,66	6,43	56,07	6,45	64,2
6	6,39	58,7	6,4	62,9
5,45	6,36	58,74	6,35	65,5
4,78	6,29	55,25	6,13	62,4
4,42	6,19	57,87	5,79	61,5
3,93	5,87	57,53	5,37	60,4
3,38	5,13	54,34	4,91	58,7
2,20	3,64	45,33	3,62	52,8
1,97	3,31	42,69	3,29	48,7

Andere Geschwindigkeiten werden u.U. nachgeliefert. Graphisch aufgetragen ergibt sich damit Bild 2.15

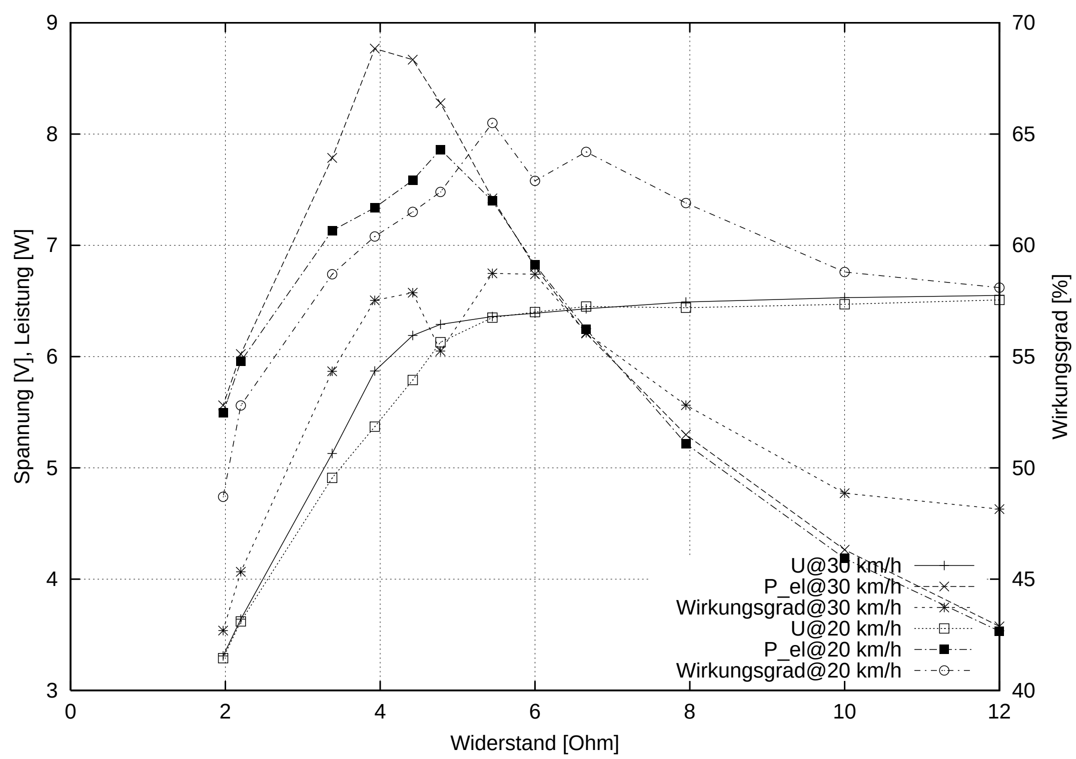


Bild 2.15: Widerstandsanpassung lightSPIN

Zumindest bei 30 km/h kann man zwei Scheinwerfer parallel betreiben. Ist das Rücklicht ein sparsames Diodenrücklicht, z.B. ein DToplight Plus und die Lampen nicht zu sehr gealtert, so stehen auch schon bei 20 km/h die maximale elektrische Leistung (ca. 7,5 W) zur Verfügung.

Durch die restriktive Spannungsbegrenzung wird die Lampenlebensdauer größer als beim SON o.ä. sein. Aber es wird auch deutlich weniger Licht auf die Straße gebracht werden. Ein guter Scheinwerfer ist noch notwendiger als eh schon. Durch die geringe, nur durch Bastelarbeiten nennenswert erhöhbare, Andruckkraft rutscht der Dynamo trotz des hohen Wirkungsgrad bei einigen Radlern bei Nässe durch. Die neueren mitgelieferten Reibrollen verschaffen hier, zusammen mit einer penibel genauen Ausrichtung, Abhilfe. Und laut Anleitung beträgt die empfohlene Höchstgeschwindigkeit 55 km/h. Bei ca. 40 km/h und 6–12 Ω liegen ca. 28 V_{eff} an der Eingangsseite der Elektronik an.

Im November 2003 wird ein nagelneuer Dynosys mit gerippter Rolle vermessen und mit dem oben getesteten Exemplar verglichen (siehe Bild 2.16)

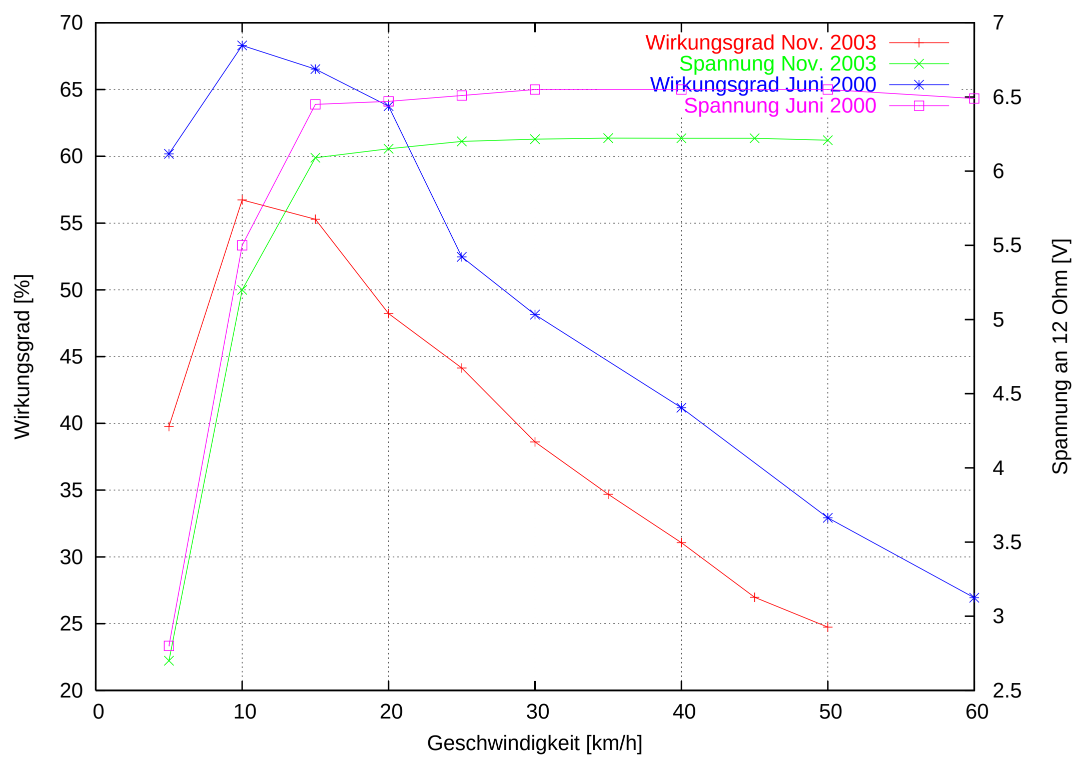


Bild 2.16: Dynosys 2003 und 2000 verglichen

Als Einzelmeßwert werden noch an 6 Ω Lastwiderstand 6,104 V und η ≈50 % bestimmt.

Die Tendenz bei Geschwindigkeitsänderung und Leistungsanpassung ist ähnlich der älteren Version, allerdings ist der Wirkungsgrad konstant ca. 8–10 % schlechter als bei älteren Modell. Da ich den Frequenzmessern (GBDSO und VC605), Tacho (Sigma), Waage (600 g Pesola, mit 250 g Digiscale verglichen), Lastwiderstand (mit HM8011 nachgemessen) und den elektrischen Meßgeräten (vor 2 Jahren bei Hameg rekalibriert) aber traue und bis auf's Hameg 8011-3 auch diese Geräte zur Messung eingesetzt wurden und die Werte untereinander im Vergleich und im Trend stimmig sind liegt hier wohl wirklich dieser Unterschied vor.[31]

Ein gute Neuerung sind zwei Marken am Gehäuse, um ein Lineal oder Bindfaden zur korrekten Einstellung anzuhalten. Die Version Herbst 2003 ist bis 65 km/h freigegeben.

2.2.2.16 FER 8007.4

Der hier getestete FER 8007.4 (~~~K10833) ist ein arg gebrauchtes Exemplar mit Lagerschaden aus dem dritten Quartal 1976; Wirkungsgradmessungen sind daher sinnlos.

[31]Geiler Monstersatz:=)

Erwähnenswert ist das Laufröllchen aus einer hellen Keramik. Nach Berichten von anderen Radfahrern sollen diese Röllchen nahezu nicht verschleißen. In Restmengen sind diese Dynamos noch auf Flohmärkten oder Schrottplätzen erhältlich: Sicherstellen und Rädchen weiterverwenden!

Da im Bekanntenkreis noch ein funktionsfähiges Exemplar rumgeistert (hat sich am Reibrad verraten), hier demnächst mehr.

2.2.2.17 Drehstrommotoren

Man kann einen Motor auch im generatorischen Betrieb benutzen, sollte aber dann nicht die besten Ergebnisse erwarten. Gleichmäßige Ab-/ Antriebsmomente werden i.a. nur mit Drehstrommaschinen erreicht. Im Pkw-Bereich werden inzwischen Drehstromgeneratoren als Standard angesehen. Im Bereich von Leistungen kleiner als 50 W gibt es kaum preiswerte Generatoren oder Motoren, außer man verwendet z.B. solche aus kaputten Festplatten.[32] Die Idee mal Festplattenmotoren im generatorischen Betrieb zu testen kam von Richard Thalmeier aus Wien.

Bosch gibt je nach Pkw-Generator einen maximalen Wirkungsgrad von 50 % für den GCB1 bis 70 % für den NFB2 90-150 A an. In diesem Rahmen sollte man sich für Kleinmotoren im generatorischen Betrieb nicht allzuviel erhoffen, auch wenn im Pkw die Baukosten den Wirkungsgrad drücken. Mit einem bißchem größeren Querschnitten von Kupfer und Eisen sollten auch bessere Wirkungsgrade erzielbar sein. Nur kostet das Geld in der Investition und Bauraum und beides ist den Kunden wichtiger als die laufenden Verbrauchskosten. Für große Leistungen werden bedeutend bessere Wirkungsgrade erzielt. Für einen 5 MVA-Drehstrom-Generator wurde bereits 1927 ein Wirkungsgrad von 96,5 % bei $\cos\varphi = 1$ ermittelt [Ky27]. Andreas Oehler hat für einen der hier getesteten Drehstrommotoren ca. 40 % ermittelt (vgl. Bild 2.17).

[32] Festplatten fallen i.d.R an Schäden an der Plattenoberfläche (Headcrash) oder Elektronikschaden aber selten wegen Spindelschäden aus.

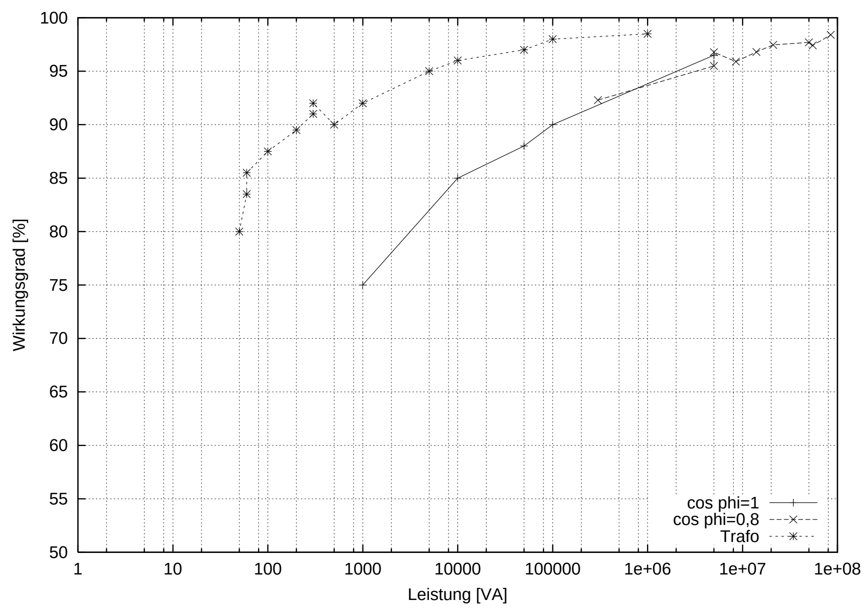


Bild 2.17: Wirkungsgrade von Generatoren und Trafos

Die Wirkungsgrade von Großmaschinen sind aus diversen Literaturstellen, teilweise älteren, zusammengetragen. Mag sein, daß inzwischen absolute bessere Wirkungsgrade erzielt werden, der Trend, bei kleinen Leistungen mit deutlichen Wirkungsgradeinbußen leben zu müssen wird aber geblieben sein. Im Bereich kleiner Leistungen bei den Trafos sind aktuelle Katalogangaben von Trenntrafos aufgeführt.

Die Vorteile sind u.a., daß Festplattenmotore in der Regel schon eine gute, wenn auch nicht gedichtete, Lagerung aufweisen und hohe Drehzahlen (3700–7000 1/min) aushalten. Nebenbei ist auch ein hervorragender Rundlauf gewährleistet. Man verwendet sie am besten als Walzendynamos. Geeignet sind 5 1/4″ oder 3 1/2″-Platten, bei denen der Motor im Plattenstapel eingebaut ist. Beim Elektronikverschrotter um die Ecke sollten alte Festplatten für 'n Apfel und 'n Ei erhältlich sein. Mit den Scheiben kann man dann schöne Mobiles basteln.

Festplattenmotoren sind i.d.R. Synchronmaschinen in Sternschaltung. Als Hersteller scheint es Nidec (N), Nidec und nochmals Nidec zu geben. Bisher habe ich eine Ausnahme gefunden: Eine Micropolis 1558 (385 MB ESDI) hat einen Motor von KoYo eingebaut. Neben reihenweise aufmagnetisierten Werkzeugen (anders waren die großen Kopfträgermagnete nicht zu retten) ist mir dabei auch der KoYo-Motor in die Hände gefallen. Er ist anormal groß. Normalerweise haben 5 1/4″ Festplatten in voller Bauhöhe externe, eher als Scheibenläufer ausgebildete, Motoren, die man nicht so einfach als Walzenläufer verwenden kann. Man bastelt sich dann draußen analog zum FER SD 12V (vgl. Seite 60) einen Drehstrom-Brückengleichrichter (gibt es als Schottky-Ausführung auch schon fertig, dann allerdings in der Ausführungvariante: Groß und teuer).

Die folgenden Daten (Tabelle 2.18) werden an Gleichstrom gemessen. Der Drehstrom wird durch eine

B6 Vollbrücke aus sechs Schottky-Dioden MBR2545 (interne Teildioden parallelgeschaltet) gleichgerichtet. Der Gleichstrom wird über Lastwiderstände geleitet und der Spannungsabfall gemessen und daraus die Leistung berechnet. In die Leistungsberechnung geht die Verlustleistung des Gleichrichters von ungefähr 0,71 W@1 A und 0,77 W@3,2 A nicht ein. In der ersten Spalte sind zusätzlich der Durchmesser d und die Länge l der Trommel angegeben. Die Werte für L_i, R_i und R_S in der Tabelle 2.18 sind von außen über zwei Sternpunkte gemessen. Der Koyo wird abweichend mit einem Lastwiderstand von 6,0 und nicht 6,1 Ω vermessen.

Tabelle 2.18: Leistungsdaten kleiner Drehstrommotoren

Motor	v	n	P_el [W] an $R_a =$				$I(R_\mathrm{a} = 0{,}1\,\Omega)$
	[km/h]	[1/min]	2,35 Ω	6,1 Ω	12 Ω	24 Ω	[A]
N 77677470	11,5	2470	1,01	0,75	0,55	0,33	–
	15	3222	1,82	1,45	1,00	0,60	–
	20	4300	3,3	2,66	1,88	1,13	–
	25	5370	5,04	4,10	3,00	1,82	–
	30	6444	6,95	5,86	4,31	2,68	–
	40	8591	11,16	10,34	7,63	4,69	–
	49	10480	15,16	14,12	11,16	7,04	–
N 90221	11,5	2470	0,63	0,69	0,52	0,64	–
	15	3222	1,41	1,62	1,12	1,52	–
	20	4300	2,29	2,76	2,02	2,70	–
	25	5370	3,19	4,16	3,15	4,03	–
	30	6444	4,04	5,63	4,39	5,77	–
	40	8591	5,48	8,88	7,46	9,43	–
	49	10480	6,41	11,02	10,31	12,63	–
N 212729	10	1326	0,50	0,30	0,20	0,12	–
	15	1989	1,33	0,87	0,56	0,32	–
	20	2653	2,60	1,73	1,24	0,62	–
	25	3316	4,25	2,78	1,80	1,03	–
	30	3979	6,24	4,16	2,65	1,52	–
	40	5305	11,07	7,62	4,94	2,80	–
	50	6632	16,79	11,57	7,68	4,31	–
	60	7958	–	–	11,21	6,36	–
K 104300	10	1340	0,73	0,45	0,26	0,14	2,06
	15	2010	2,01	1,17	0,68	0,38	3,21
	20	2679	3,93	2,27	1,36	0,72	4,46
	25	3349	6,51	3,81	2,23	1,2	5,5
	30	4019	9,8	5,65	3,31	1,8	–
	40	5359	17,92	10,45	6,1	3,32	–
	42,4	5680	23,13	12,0	–	–	–
	50	6698	–	16,77	9,83	5,32	–

Tabelle 2.19: Kenndaten kleiner Drehstrommotoren

Modell	HD	d [mm]	l [mm]	L_i [mH]	R_i [Ω]	R_S [Ω]	Q
N 77677479	ST 11200N	24,7	24	0,54–0,66	2,1	2,48–2,54	2,18
N 90221		24,7	20	1,93–1,98	5,65	8,03–8,1	2,4
N 212729		40	20	0,21–0,28	1,28	1,54–1,8	1,36
N 88245M	IBM WD-3158	25	20	2,2	5,76	8,15	2,7
N 20713FM		25	21	2,4	4,23	6,45	3,72
K 104300	Micropolis 1558	39,6	46,5	0,132	0,83	4,83	2,74

Die ideelle Leerlaufspannung U_{di} einer B6-Brücke beträgt

$$U_{\mathrm{di}} = \frac{6\sqrt{2}}{\pi} U_{\mathrm{so}} = 2{,}7 U_{\mathrm{so}} \tag{2.29}$$

mit der Sternspannung U_{so}.

In Realität wird eine höhere Fahrgeschwindigkeit notwendig sein, da hier die Drehzahl der Walze gemessen wird. Der Schlupf zwischen Reifen und Motor sowie die Dicke eines eventuellen Reibbelages wird nicht berücksichtigt.

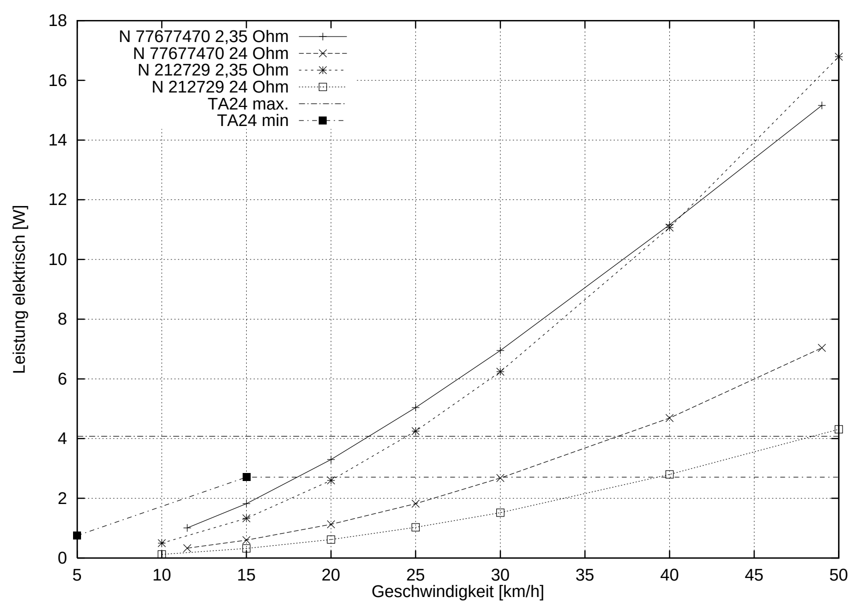


Bild 2.18: Leistungskurven von Kleinstdrehstrommotoren im generatorischen Betrieb

Bei Geschwindigkeiten unter 15 km/h sind die hier getesteten Drehstrommotoren nicht leistungsstark genug. Dem ist i.d.R. auch nicht mit einem Schaltregler beizukommen, da diese in der Regel eine Mindestspannung von ca. 1,5–2 V benötigen, die da durch den geringen Lastwiderstand noch nicht zur Verfügung steht. Bei hohen Geschwindigkeiten ist eine Regelung unbedingt notwendig.

Bei den hier vermessenen Motoren spricht eher nichts für diese Lösung. Mit weniger Aufwand kann man sich einen SON anbauen und hat mehr Leistung, wenn man den Lastwiderstand anpaßt.

Mit einem nachgeschaltetem Schaltregler kann man sich so sicherlich einen leistungsstarken Dynamo bauen. Martin Schröferl aus München hat es vorgemacht. Martin hat sich aber auch Generator selber gebaut. Bleche zum selberbauen gibt es u.a. bei Lehner Motorenbau in München/Ottobrunn (Tel.: 089/6019922). Aber gleich als Warnung: Einfach wird das nicht und billig? Alleine die Magnete sind teuer und anfällig gegen Bruch und Korrosion. Hier werden nur die wenigsten Leser vorzeigbare Ergebnisse hervorbringen (wollen). Wer sich tiefer in diesen Ansatz vertiefen möchte: Ein Hersteller/Lieferant von Magneten ist IBS (Adresse im Anhang).

Der Wirkungsgrad ist derzeit noch nicht betrachtet. Andreas Oehler hat für einen der Nidecs einen Wirkungsgrad von ca. 40–45 % gemessen. In Anbetracht des mechanischen Leichtlaufes ist das nicht viel. Der elektromagnetische Kreis ist sicherlich noch für einen Einsatz als Generator optimierbar.

2.2.2.18 Jenymo

Der Jenymo wurde Alois Jenny (Schweiz) entwickelt. Eine deutsche bzw. schweizerische Zulassungsnummer ist erst bei neueren, hier nicht getesteten, Versionen angebracht. Dieser Dynamo beinhaltet eine kleine Standlichtautomatik: Es sind vier Sanyo Cadnica 110 mAh-NiCd-Zellen eingebaut, die über eine Elektronik geladen werden. Von den Anfangs zehn bis sechs Minuten Standlicht bleiben nach Anwenderberichten relativ schnell nur noch 30 s übrig. Längere Fahrten überladen die Akkus und zerstören die Standlichtelektronik. Sowohl mechanisch wie elektrisch taugen die bisher von Bekannten eingesetzten Jenymos anscheinend relativ wenig.

Die kugelförmige Laufrolle hat 25,4 mm Durchmesser. Darunter versteckt sich eine von Union, Type 9100. Ob das was über den Dynamo im Inneren verrät? Technisch steckt ein Außenläufer, ähnlich dem AXA HR, im Gehäuse. Oben ist der Generatorteil, dann folgt in der Mitte der Akkupack und unten ist die Elektronik vergossen. Die Elektronik beinhaltet nur diskrete SMDs: 2 Leistungstransitoren, vier Transistoren, zwei Leistungsdioden, vier Dioden, eine paar Widerstände und Kondensatoren. Im Anklappmechanismus ist ein Schalter integriert.

Ja, die Laufrolle aus Polyurethan (PU) verät die Verwandschaft zum Union 9401. Der, zur Überprüfung aufgesägte, „Turbo“ (s.S. 29) weist deutliche Ähnlichkeiten auf. Es sind nur unwesentliche Veränderungen an Spulenkörper und Achse feststellbar. Der auffälligste Unterschied ist der, beim Union kunststoffgebundene, NdFeB-Magnet. Bedingt durch die größere Laufrolle und die Elektronik muß der Jenymo allerdings Abwandlungen im Generatorteil aufweisen. Inwieweit dies beim Magneten geschehen ist bleibt vorerst ungeklärt. Auf alle Fälle ist der Spulenkörper vom 9401 abweichend gewickelt. Der Draht des Jenymo ist ca. 0,37 mm dick, der des Turbo 0,43. Bei ansonstem gleichen

Wickelkörpern und Füllungen ergibt sich ein längerer Draht beim Jenymo, also ein höherer Innenwiderstand, also auch größere Verluste schon im Generatorteil, und höhere Spannungen.

Die folgenden Messungen beziehen sich auf ein neuwertiges Exemplar, daß allerdings längere Zeit gelagert wurde.

Die Ausgangsspannung ist ein Sinus, bei dem eine Halbwelle bei ca. 5 V gekappt wird. Im Standlichtfall wird exakt diese Spannung als Gleichspannung abgegeben. Wirkungsgradmessungen konnten bisher nicht durchgeführt werden, da der grobkörnige, hartkeramische Magnetkörper nach nochnichteinmal drei Minuten bei 50 km/h zerplatzte. Der Dynamo scheint also nicht für die Bewohner von Gegenden mit größeren Höhenunterschieden gedacht zu sein.[33] Dieses Versagensbild ist beim AXA HR konstruktionsbedingt nicht zu erwarten.

2.2.3 Speichendynamos

Als Speichendynamos seihen hier achsnahe Dynamos klassifiziert. Diese sind nicht integraler Bestandteil der Nabe sondern i.A. auf die Achse/Nabe aufgesetzt und greifen i.A. formschlüssig in die Speichen ein. Ein durchrutschen bei widrigen Witterungsumständen ist damit ausgeschlossen. Allerdings muß entweder die Polzahl des Generators oder die Übersetzung diese Bausweise angepaßt werden.

Der älteste Vertreter dürfte wohl der G-S 2000 sein. In der letzten Zeit ist der Markt allerdings in Bewegung geraten.

2.2.3.1 G-S 2000

Hier wird ein alter G-S 2000 in einem 28"-Vorderrad verwendet. Er sollte den Nachfolgern FER 2001 bzw. FER 2002 o.ä. elektrisch ebenbürtig sein.

Die Gehäuse von den beiden Varianten sind, bis auf die Verschraubbarkeit des Getriebedeckels des G-S 2000, identisch. Beim G-S 2000 sind schon im Gehäuse die entsprechenden Bohrungen vorgesehen, so daß es problemlos nachträglich verschraubt werden kann!

Der G-S 2000 ist ausführlich in der ProVelo 17 und 18[34] beschrieben. Danach soll er eine dem UNION Walzendynamo vergleichbare Antriebsleistung benötigen.

Die Übersetzung des Zahnriemengetriebes im G-S 2000 beträgt $i = 24$.[35] Das Großrad ist kugelgelagert. Beim G-S 2000 ist das Zwischenrad mit einer Nadelbüchse gelagert. Der Generator ist in Sinterbronzebuchsen gleitgelagert.

[33] Die 50 km/h überschreite ich dank der Gletschermülldeponien in Harburg je nach Lust und Laune mehrmals täglich!.
[34] Autor ist Prof. Dr.-Ing. K. Kühling, der an der FH-Lippe die Entwicklung betreute.
[35] Erzeugt aus einem zweistufigen Zahnriemengetriebe. Die erste Stufe hat 91? zu 14 Zähne, die zweite Stufe 37 zu 10 Zähne. Es werden Continental HTD-Zahnriemen mit einer Teilung von 3 mm eingesetzt. In der ersten Stufe 3,7 mm und in der zweiten 3,3 mm breit.

Mit acht Polen (vier Polpaare) ergibt sich bei einem 28″-Laufrad eine Frequenz von

$$f(v) = ipn = ip\frac{v}{U} = 24 \cdot 4\frac{v}{2{,}155 \cdot 3{,}6} = 12{,}61v \tag{2.30}$$

mit dem Übersetzungsverhältnis i, der Laufradumfangsgeschwindigkeit v in km/h, dem Laufradumfang U in m und f in Hz.

Die Daten sind für die StVZO-Zulassung ideal. Bei dieser Kennkurve sollte die Krankenkasse ihn aber auch als Trimm-Dich-Gerät anerkennen und fördern, da im hohen Geschwindigkeitsbereich der Wirkungsgrad massiv in den Keller geht.

Der G-S 2000 wird auf einen wälzgelagerten Dorn geschraubt und dieser in dem Pinolenbohrfutter befestigt. Das Getriebegehäuse drückt auf die Waage und dient damit selber als Hebel ($l = 108$ mm). Die Kräfte sind geometrische Mittelwerte zwischen Maximum und Minimum. Während einer Drehung schwankt das Antriebsmoment um ca. $\pm 0{,}05$ Nm.

Tabelle 2.20: Meßwerte G-S 2000

v	$R_a = 10\,\mathrm{M}\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 25\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
6,2	5,7	2,00	1,10	4,15	3,8	28,2	4,7	25,1
10,3	9,3	3,64	1,44	5,37	5,25	30,1	7,2	29,6
16,2	14,9	7,21	1,33	6,87	6,06	29,8	10	34,3
25,9	22,6	13,09	1,33	10,21	6,3	23,3	11,6	31,1
32,3	28,8	17,20	1,33	12,76	6,4	20,7	12	28,8
40,7	34,9	22,19	1,2	17,64	6,3	14,0	12,1	25,2

Nach diesen Versuchen war der Dynamo kaputt: Das Zahnriemenrad auf der Generatorwelle war ausgeschlagen und saß schief auf der Welle.

Preisfrage des Autors: Was ist ein Fahrrad mit Doppelscheibenbremsanlage?[36]

2.2.3.2 FER 2002

Nichts ist so beständig wie der Wandel. Nachdem 199x aus Union MARWI wurde hat es 2000 auch FER erwischt. Nach einem Mangagement-buy-out firmiert die Fahrradlichtsparte jetzt unter aufa (Auto- und Fahrradelektrik GmbH) .

Der zusätzlich getestete FER 2002 ist laut Aufkleber 02/97 gefertigt. Bis auf einige Ausnahmen sind der FER 2002 und der G-S 2000 baugleich:

[36] Antwort: Eines mit zwei G-S 2000: Die zum Antreiben verwendete Bohrmaschine (Proxxon FBS 220E) schaffte bei diesem Dynamo die 50 km/h beim Lastfall B nur mit Ach und Krach gerade so eben und wird dabei deutlich warm. Auch im Lastfall A bei 10 km/h mußte der Drehzahlsteller deutlich höher gedreht werden als bei den anderen Dynamos.

- Beim FER 2002 ist das Zwischenrad auf Sinterbronzebuchsen gelagert.
- Beim FER 2002 ist die Generator-Achse einen Tick länger als bei seinem Vorgänger. Dadurch dürfte zumindest das beim G-S 2000 festgestellte Versagen nicht so schnell auftreten.[37]
- Getriebedeckel bzw. Großrad sind verschraubt und nicht verklebt/verschweißt.
- Der in die Speichen einrastende Mitnehmer ist neu konstruiert.

Beim FER 2002 ist das Großrad nur radial mit 14 Kugeln im Kunststoff-Käfig gelagert. Axial- und Kippkräfte werden über Gleitlager-Paarungen Kunststoff-Metall aufgefangen.

Der Versuchsaufbau ist mit dem aus Abschnitt 2.2.3.1 identisch.

Tabelle 2.21: Meßwerte FER 2002

v	$R_a = 10\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η	U	η
6,2	6,2	1,9	0,57	5,04	3,99	28,64	4,99	26,46	5,2	24,88
10,3	10	3,98	0,57	6,06	5,23	28,04	7,4	27,59	7,87	27,24
16,2	15,9	7,77	0,58	7,06	5,92	24,15	9,69	28,66	10,79	29,67
20,7	19,4	9,94	0,56	8,5	6,04	20,92	10,31	28,7	11,65	29,5
25,9	23,5	14,01	0,56	11,3	6,12	18,09	10,84	26,97	12,48	27,72

Mehr als 200 1/min sind nicht möglich, dann fängt der Riemen unter Generatorbelastung an überzurutschen.

Seit 2000 gibt es den 2002 auch in einer doppelpoligen Ausführung. Diese dürfte der des SD 12V vergleichbar sein.

Von FER gibt es alle Verschleißteile (Riemen, Stufenräder, Kugelringe, Knebelverschlüsse etc., selbst die Generatorgehäuse werden angeboten) einzeln.

2.2.3.3 FER SD 12V

Der SD 12V ist laut Auskunft FER auf der IFMA ’98 nur bis 50 km/h bei 28”-Rädern geeignet. Bei kleineren Laufrädern und größeren Geschwindigkeiten wird der FER SD 12V-Sport empfohlen. Dann sind die Kunststoffzahnriemenräder durch solche aus Metall ersetzt. Nach Berichten aus ersten Hand hält die normale Variante gerade mal 1000 km im Generator-Betrieb.

Beim FER SD 12V ist das Zwischengetriebe mit einer Nadelbüchse gelagert. Zusätzlich ist der Leertrum der ersten Stufe mit einem Dünnringradialrillenkugellager als Spannrolle und einer Blattfeder

[37] Siehe Wirkungsgrad-Messungen am G-S 2000.

gespannt. Der Generatorläufer ist zahnriemenseitig in einem Rillenkugellager ($d = 4$ mm, $D = 9$ mm, $B = 5$ mm) und auf der anderen Seite in einer, unwesentlich kleineren, Sinterbronzebuchse gelagert. Da scheint mal wieder ein BWLer zugeschlagen zu haben.

Der SD 12V ist als Drehstrom-Generator mit drei Polpaaren in Sternschaltung aufgebaut. Der Luftspalt beträgt ca. 0,37 mm. Das Verhalten des unbelasteten Generators (ohne Elektronik) ergibt sich aus Tabelle 2.22. Es wird eine unbelastete Wicklung am Oszilloskop vermessen; die Werte sind Anhaltswerte, da per Hand angetrieben, nur schwierig eine konstante Drehgeschwindigkeit eingehalten werden kann.

Tabelle 2.22: Generatorverhalten SD 12V (eine Wicklung)

Gemessen		Berechnet		
U_{SS} [V]	T [ms]	U_{eff} [V]	f [1/s]	v [km/h]
16	20	5,7	50	5,3
18	10	6,4	100	10,6
40	5	14,1	200	21,2

Durch die Sternschaltung sehen die Gleichrichter die $2 \times \cos 30 = \sqrt{3} = 1{,}73$-fache Spannung.

Die Kabel werden mit einem zweipoligen Stecker mit dem Gehäuse verbunden. Es sind dicke (nicht die dünnen wie bei den Scheinwerfern) 2,8 mm-Flachstecker. Das Kabel ist nur eingecrimpt und kann sehr schnell aus der Steckerhülse abgezogen werden. Die Steckerhülsen wiederum sind nur schwer dem Stecker zu entlocken, um das Kabel nachträglich anzulöten.

Das Schaltbild (Bild 2.19) ist nach bestem Verständnis aufgenommen und in den einigen Bereichen auch nachgemessen. Der Autor kann zwar keinen Fehler mehr entdecken, wird aber aus der Schaltung nicht so richtig schlau! Irgendwo steckt da noch der Wurm drin.

Der BTS 121A ist ein N-Kanal MOS-FET mit 22 A zul. Strom und R_{DS}=100 mΩ. Die Spule hat eine Induktivität von L=547 mH, Serienwiderstand von R_S=1,36 Ω@1591 Hz und daraus folgend einen Gütefaktor[38] von $Q = 40$.

[38] Vergleiche Seite 122

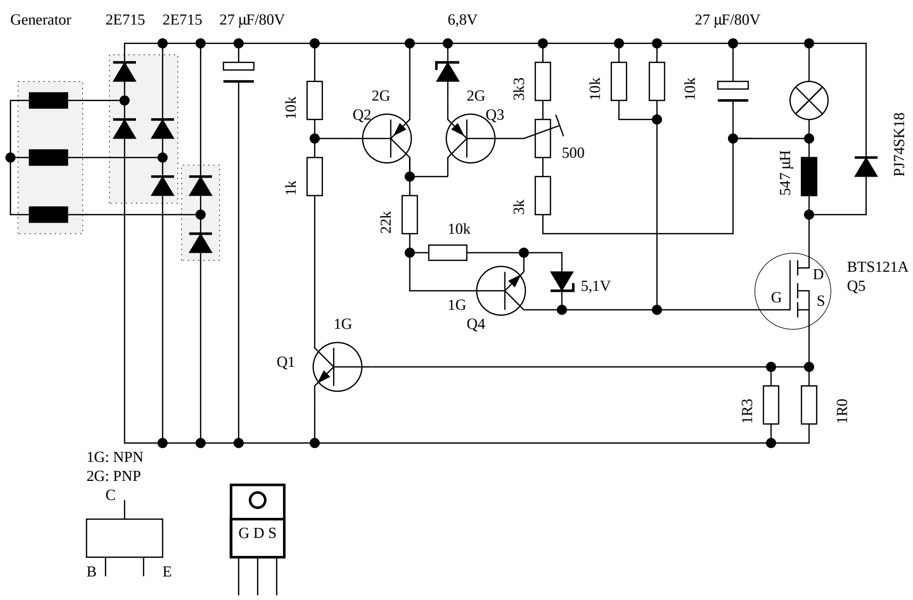


Bild 2.19: Schaltbild des FER 12SD

Über den beiden Widerständen 1,3 und 1,0 Ω fällt bei Stromfluß eine Spannung ab, die zur Strombegrenzung mit Q1 und Q2 verwendet wird. Die Strombegrenzung setzt bei ca. 0,8 A ein. Dann liegt an Q1 ein U_{BE} von 0,54 V an. Q1 steuert durch und zieht die Basis von Q2 auf negativ, Q2 leitet und legt den Collector auf +.

Zur Spannungsbegrenzung dient die Schaltung um Q3. Sie kann mit dem Trimmer eingestellt werden und ist ab Werk auf 14 V festgelegt. Wird der Spannungsabfall zu groß, so wird Q3 leitend und der Emitter von Q3 wird über die Z-Diode auf + gelegt.

Spannungs- und Strombegrenzung greifen gleichberechtigt auf die Regelung des Längsreglers Q5 über den Steuertransistor Q4 ein. Wenn Q3 oder Q4 leiten, so wird Q4 leitend und zieht den Emitter gegen +. Als der N-Kanal FET Q5 sperrt dann. Q5 wird durch die beiden 10 kΩ-Widerstände dauernd mit 5 kΩ gegen + gezogen, da kann die Begrenzung von Q4 mit 22 kΩ auch nichts ausmachen. Das Schaltbild dürfte funktionieren, wenn vom Emitter Q4 nach Masse eine Verbindung existiert. Diese Verbindung liegt unter den Elkos und kann derzeit (Januar 2K), da nur Photos verfügbar sind, nicht nachverfolgt werden.

Wozu die Spule ist, ist dem Autor unklar. Die Schaltung ist ein reiner Längsregler. Wenigstens wurde die notwendige Freilauf-Diode eingebaut.

Das Regelverhalten der Elektronik ist in Bild 2.20 wiedergegeben. Die Einspeisung der Gleichspannung erfolgt hier am ersten Glättungskondensator direkt hinter dem Brückengleichrichter. Die Schaltung hat eine Eigenstromaufnahme von 5 mA@16 V und 8 mA@30 V (Eingangsspannung, hinter dem Gleichrichter eingespeist.

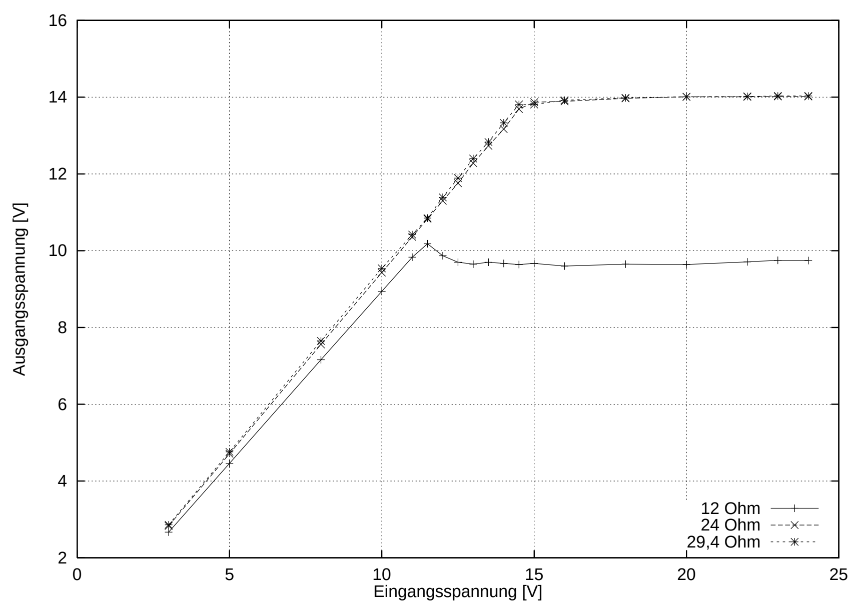


Bild 2.20: Kennlinie der Regelelektronik des SD 12V (gespeist mit Gleichspannung hinter dem Gleichrichter)

Der Versuchsaufbau ist mit dem aus Abschnitt 2.2.3.1 identisch.

Tabelle 2.23: Meßwerte FER SD 12V

v	$R_a = 10\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η	U	η
6,2	13	2,47	0,70	12,33	6,2	28,11	8,5	40,54	8,6	40,07
10,3	14	3,62	0,97	8,22	–	10,09	12,9	43,09	13,3	38,73
16,2	14	5,26	–	–	–	–	–	–	13,92	36,85
20,7	14	7,89	–	–	–	–	–	–	13,95	33,74
25,9	14	10,27	0,85	–	–	–	13,93	28,4	13,97	29,53

Mehr als 26 km/h ist beim gewählten Versuchsaufbau nicht möglich. Der SD 12V hat als erster FER-Dynamo eine Spannrolle. Bei der hier verwendeten Drehrichtung, die durch den Versuchsaufbau geometrisch vorgegeben ist, liegt die Spannrolle im Lasttrum. Bei mehr als 200 1/min fängt der Riemen an ruckweise durchzurutschen.

2.2.3.4 Spectrolux S6

Der Spectrolux S6 von SRAM (ehemals Sachs) ist ein Speichendynamo. Er wird auf der Hinterradnabe befestigt. Bei den neueren Nabenschaltungen und der 3x7 soll die Montage problemlos möglich sein. Über einen Exzenter wird das Getriebe (Großrad sitzt fest auf der Achse) eingekuppelt. Was er elektrisch taugt? Steht demnächst hier drin. Kommt erst Ende Oktober 1998 auf den Markt. Der Spectrolux S6 hat angeblich den Generator des FER 2002 eingebaut.

Der Dynamo wird durch das US-Patent 5895991 (20.04.1999) geschützt.

Norbert Perk hat ihn inzwischen über mehr als 400 km eingeschaltet gefahren. Bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 17,5 km/h (Spitze ca. 50 km/h) sei er bis dahin zuverlässig.

2.2.3.5 Pioneer ELS-100

Er wird mit einem sehr hellen Diodenrücklicht (Spanninga SPX) und einem Halogenscheinwerfer mit Sensor (JOS EP 95) geliefert.

Die Beleuchtung ist nicht ausstellbar. Über einen Schieber kann nur der Sensor abgeschattet werden, dann geht das Licht dauernd. Der Scheinwerfer hat ein ähnlich nerviges Streulicht wie die Scheinwerfer mit Frontreflektor im Strahlengang.

Am Generator sind die Kontaktschuhe für die 2,8 mm Flachstecker ziemlich wackelig aufgebracht und können durch die richtige Krafteinleitung über das Polblech kurzgeschlossen werden. Die Lagerung besteht aus einem großen Konuslager aus Blech, welches über Distanzhülsen und die Gummi-Reibkupplung verspannt wird. Dem Musterexemplar ist ein Taumeln und leichtes Schleifen zwischen Magnetträger und Polrad nicht abzugewöhnen.

Von seinem Gewicht entfallen alleine 465 g auf den Spulenkörper (Kupfer, Eisenpole und Blechlagerschale).

Der Versuchsaufbau ist mit dem aus Abschnitt 2.2.4.9.2 identisch.

Tabelle 2.24: Meßwerte ELS-100

v	$R_a = 10\,M\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η	U	η
10,3	10	5,95	0,50	7,44	5,0	23,34	7,25	23,37	7,75	22,15
16,2	16,5	10,69	0,77	14,18	7,0	25,10	10,5	29,06	11,3	26,69
20,7	20,3	13,39	0,73	19,34	7,3	23,69	11,8	30,00	13,1	26,51
25,9	25,0	15,25	0,71	17,11	7,48	24,11	12,53	30,33	14,2	31,26
32,3	31,8	24,17	0,69	16,27	7,49	20,95	13,16	28,22	15,1	29,79
40,7	38,1	25,19	0,68	18,74	7,47	17,64	13,56	26,69	15,78	28,92
161,6	106,4	116,21	0,67	60,43	7,86	5,68	15,07	11,31	17,88	12,31

Aufgrund des nicht abstellbaren Schleifens von Klauenpolen und Magneten liegen starke Drehmomentschwankungen vor. Unter anderem deswegen wird die mechan. Leistung oft unkorrekt gemessen.

2.2.3.6 D-6V-PL (Thor)

Der D-6V-PL *Thor* (~~~K161) von Attend ist fast eine Kopie des Pioneer ELS-100. Er wiegt 702 g. Die Lagerung ist eine Gleitlagerung. Der Generator hat 40 Pole.

2.2.4 Nabendynamos

Nabendynamos zählten 1997, als diese Kapitel angefangne wurde, verbreitungsmäßig noch zu den Exoten unter den Fahrraddynamos. 2010 sind fast alle neuen „Schutzblechräder“mit Nabendynamos ausgerüstet.

Auf der IFMA 2002 waren an diversen Ständen Nabendynamos zu sehen, teilweise in 2,4 W für den nichtdeutschen Markt, teilweise in zugelassenen Varianten. Gerade bei Shimano ist eine Inflation der Typen aufgetaucht, inzwischen auch in den absoluten Einstiegsgruppen (C05x). Unter anderem war auch Sanyo war mit zwei 6 V/2,4 W-Versionen (NH-H08 und NH-H10) zu sehen. Langsam entgleitet mir hier die Übersicht.

2.2.4.1 Attend

Attend aus Taiwan ist bisher durch die Kopien eingeführter Dynamos aufgefallen. Deutsche Großhändler für Attend sind Messingschlager und Hartje.

2.2.4.1.1 H-6V-AL (Numbfish) Der H-6V-AL *Numbfish* (~~~K157) von Attend ist äußerlich fast eine Kopie des SONs. Er wiegt 880 g. Die gedichteten Lager sind offen den Umwelteinflüssen ausgesetzt. Der Wirkungsgrad soll laut Andreas Oehler nicht berauschend sein.

2.2.4.1.2 H-6V-2000 (Clever) Der H-6V-2000 von Attend ist fast eine Kopie des HB-NX30. Erste Bilder sind im Mai 2000 aufgetaucht. Die Zulassungsnummer ist dieselbe wie die vom wesentlich unterschiedlichen Numbfish, nämlich ~~~K157! Er wiegt ohne Scheiben und Mutter nur 680 g. Er hat 44 Pole und 3,5 Ω Gleichstromwiderstand. Die Leerlaufantriebsleistung bei 30 km/h soll bei 7,8 W liegen. Die elektrischen Anschlüsse sind noch schlechter als die beim NX-30. Die Radialrillenkugellager können durch die Achsmuttern verspannt werden, nicht gut für die Lebensdauer. Und das Alu ist anscheinend auch eine „Butterlegierung“.

Eine Variante des H-6V-2000 wird anscheinend seit Ende 2003 von Büchel vertrieben und ist an preiswerten Rädern diverser Discounter zu finden, z.B. Aldi März 2004.

2.2.4.2 Büchel

Büchel hatte auf der IFMA 2001 zuerst einen Nabendynamo ausgestellt. Auf der IFMA 2002 war wieder einer ausgestellt (~~~K 126). Trotz der niedrigen Zulassungsnummer erinnert er stark an den von Attend. Direkt im Fachhandel dürfte er nicht zu erwerben sein, Büchel ist eher bei den Erstausrüstern vertreten.

2.2.4.2.1 Büchel KB95 Der KB95 wurde im Rahmen eines Artikels für die ProVelo im April 2003 vermessen.[39] Den Artikel hat Andreas Oehler geschrieben, erschienen ist der dann in der zweite Ausgabe der FahrradZukunft (www.fahrradzukunft.de)[40]

Tabelle 2.25: Meßdaten Büchel KB95

v	f	$R_a = 1\,\mathrm{M}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
10	27,7	11,30	2,78			5,29	47,02		
20	55,3	20,0	6,93			6,47	43,24		
30	83,1	25,60	10,97			6,87	34,65	11,90	44,65
50	138	40,90	22,76	0,65	10,38	7,19	27,69		

2.2.4.3 Dahon

Der Faltradhersteller Dahon kommt 2005 mit den ersten Nabendynamos auf den Markt. Diese sind allerdings eher speziell für die Dahon-Falträder konstruiert.

2.2.4.3.1 Joule Der Dahon Joule hat (derzeit) keine deutsche Zualssung und ist auch nur als 2,4 W-Version verfügbar. Real sollte der Betrieb mit Scheinwerfer und sparsamen LED-Rücklicht, z.B. DToplight, unproblematisch sein.

Der Joule ist mit einer Vollachse versehen.

Wer die Nachsrüstung im Brompton erwägt sollte bedenken, daß die Achse des Joule Dahon-Typisch einen deutlich größeren Durchmesser als bei Brompton hat. So müssen die Ausfallenden beim Brompton aufgefeilt werden.

Der Stecker des Joule ist mit dem Suntour DH-CT600 kompatibel.

[39] Testteam: Andreas Oehler, Dr. Wangemann von Renak und Olaf Schultz.
[40] http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm

2.2.4.4 Joy-Tech und Novatec

www.joy-tech.com.tw www.nocatec.com.tw/novatec/english

wwww.joy-tech.cim.tw/CITY%20DYNAMO%20HUBS.html

In einigen neueren (2007) Novatecs sind anscheinend ähnlich dem Suntour die Begrenzerdioden für die Teillastregelung eingebaut. Also ausgeschaltetet schwerer laufende Dynamos als angeschaltet. Ob das Verhalten wie beim HB-NX10 (kurzgeschlossen am leichtesten laufend) hier auch vorliegt wurde mangels Testexemplar noch nicht gemessen.

2.2.4.4.1 Joytech EDH-1 Der Novatech/Joytech EDH-1 (~~~K346) wird von Messingschlager vertrieben. Anscheinend ist eine relativ zugängliche Quelle z.B. ebay.

Tabelle 2.26: Wirkungsgrade EDH-1

v	$R_a = 800$ k		$R_a = 12\,\Omega$	
	U	P	U	η
[km/h]	[V]	[W]	[V]	[%]
5			3,01	55
15	13,4	1,6	5,90	54
30	25,3	4,6	6,84	51
50	39,6	9,9	7,05	44

Obige Meßwerte stammen von Andreas Oehler/Schmidt Nabendynamo.

Das Gewicht beträgt ca. 783 g.

2.2.4.4.2 Joytech EDH-2 Der EDH-2 wiegt 727 g.

2.2.4.5 Neco

2.2.4.5.1 Rove Der Neco Rove hat keine deutsche Zulassung. Er taucht in Deutschland zuerst im Herbst 2017 auf der Eurobike auf. Er ist eigentlich nicht für die Fahrradbeleuchtung vorgesehen sondern als Ladegerät für Smartphones etc. am Fahrrad.

Zum Einsatz als Ladegerät mit Betrachtung der Powerbank wird es einen Artikel von Andreas Oehler in der Fahrradzukunft geben.

Hier beschränke ich mich nur auf die elektrischen Eigenschaften von Dynamo, Gleichrichter und Schaltwandler. Die Powerbank lasse ich außen vor.

Der eigentliche Dynamo (ohne Schnellspanner) wiegt 933 g. Davon entfallen 389 g auf das Gehäuse, 534 g auf den Stator und 10 g auf die Achsmuttern.

Die Vorschaltelektronik[41] wiegt 35 g. Davon entfallen 20 g auf Elektronik inkl. Kabel, 11 g auf das Gehäuse und 2 g auf die dicken Gummiringe zur Befestigung.

Der Lenkereinsatz wiegt in 128 g. Davon 71 g das Gehäuse und 57 g die darin eingeschobene Powerbank.

Die Lagerung besteht aus einem 6001RS und zusätzlichem Wellendichtring KSK TC 12 25 5 auf der Scheibenbremsseite und einem 6906RS auf der Anschlußseite.

Der Stator ist geblecht mit 44 Blechen[42] (Dicke ca. 0,5 mm). Die Paketdicke beträgt 23,3 mm. Der Statordurchmesser beträgt 53 mm. Der Stator ist mit 18 Polen als Drehstromgenerator mit 3 Polpaaren bewickelt. Die Wicklungen bestehen aus 0,4 mm Lackdraht. Die Verschaltung der Spulen ist eine Sternschaltung. In der Nabenhülse füllen 20 Magnete[43] den Umfang komplett aus.

Meßwerte für einen Strang, ohne Rückschluß: R_i=2,73 Ω, L_i=3,33 mH, R_S=6,7 Ω.[44]

Die Gleichrichterschaltung besteht aus einem B6-Gleichrichter aus 1N4007.[45] Als Pufferelko vor dem Schaltwander ist ein 1000µF/50 V 105 °C Elko verbaut. Der Schaltwandler, ein AH8663[46], sitzt über thermischen Durchkontaktierungen zur zweiten Platinenseite. Er bleibt entsprechend auch kälter als die 1N4007.

Die folgenden Meßdaten sind für einen Laufradumfang von 2,1 m gerechnet.

Wenn rein die elektrische Abgabeleistung optimiert werden soll, so ist der Lastwiderstand/Laststrom geschwindigkeitsabhängig anzupassen. Heutzutage könnte man das über MPPT erledigen. Hier ist manuell einfach der Laststrom mit einem Agilent 66332A bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten eingestellt worden. Daraus ergibt sich Bild 2.21.

---

[41] www.meiluodi.com, 2017-04-20 läßt auf ein recht aktuelles Model schließen.

[42] Wenn der Autor sich nicht verzählt hat.

[43] Seltenerden, galvanisiert

[44] Gütezahl Q=5

[45] Etwas mehr Strombelastbarkeit als 1 A und weniger Spannungsfestigkeit als 1000 V wäre für den Wirkungsgrad gut gewesen.

[46] Ohne Mandarinkenntnisse versteh ich nur spanisch bei den im Internet aufzufindenden Informationen.

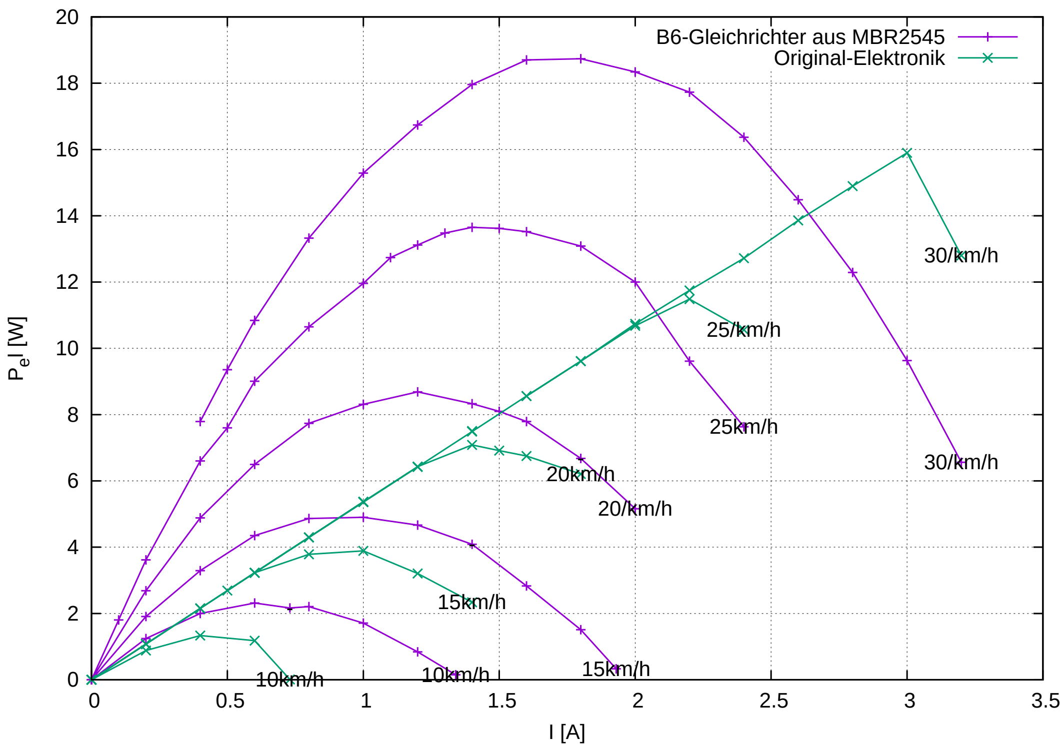


Bild 2.21: Leistungsoptimierung Nevo Rove in Abhängigkeit des Laststromes

Zum Thema Leistungsoptimierung:

MBR Mit einem B6-Brückengleichrichter aus MBR2545 ist

$$P_{\max}[\mathrm{W}] = 0{,}022(v[\mathrm{km/h}])^2 \tag{2.31}$$

Rove Mit der original-Elektronik ist

$$P_{\max}[\mathrm{W}] = 0{,}0177(v[\mathrm{km/h}])^2 \tag{2.32}$$

eine gute Anäherung. Oder anders, Brückengleichrichter aus 1N4007 und Schaltregler auf 5 V Ausgangsspannung schlucken ca. 20 % der Leistung. Ein Ersatz der 1N4007 durch entsprechende Schottky-Dioden sollte da eine einfache und preiswerte Optimierung sein. Zumal früher Leistung parat steht.

Vorläufiges Fazit: Guter Ansatz mit deutlichen, teilweise ganz leicht vermeidbaren, Detailschwächen: Empfindliches Kabel, 1N4007 als Gleichrichter, hohe Leerlaufverluste.

2.2.4.6 Renak Enparlite

Der erste Enparlite (~~~K10914) von Renak, der dem Autor in die Finger gekommen ist, war ein defekter: Beim dreistufigen Planetengetriebe (alle Zahnräder aus Kunststoff) war (von einem anderen Alltagsfahrer) die erste Stufe fein säuberlich zu Grieß zermahlen. Das passierte nach Andwenderberichten häufiger. Die neueren Modelle (Enparlite 2) weisen in der ersten Stufe jetzt sechs statt bisher drei Planetenräder auf und halten nach bisherigen Kenntnissen.

Der Enparlite wird entgegen landläufiger Meinung übrigens mechanisch nicht komplett ausgekuppelt! Der Betätigungshebel schaltet mit drei Stiften eine Reibkupplung, die den ersten Planetenträger gegenüber der Nabe festlegt. Im Leerlauf laufen immer die Planetenräder und -träger mit! Die Sonnenräder und das innere Ende des Magnetkäfigs sind mit Gleitlagerbuchsen auf der Achse gelagert. Da die Planetenträger sich normalerweise selbst zentrieren sind keine großen Lagerkräfte zu erwarten. Das äußere Lager des Magnetkäfigs ist ein Dünnringradialrillenkugellager, das innere ein Sinterbronzegleitlager. Die Nabenlager sind gedeckelte Radialrillenkugellager (INA 6002.2ZR).

Die Sonnenräder haben 22 Zähne, die Planeten 9 und das Hohlrad 42, wenn ich mich nicht verzählt habe.[47]

Der Enparlite hat, wie die AXA HRs, intern eine Spannungsbegrenzung durch zwei antiserielle Z-Dioden mit 6,8 V/5 W (1N5342B). Diese ist im schwarzen Plastikteil mit der Buchse für den Stecker eingebaut. Neuere Versionen haben diese Begrenzung nicht mehr!

Entgegen der Angabe in [BuPV47] ist der Enparlite ohne Spezialwerkzeug zerlegbar. Die Anleitung zum Enparlite 2 enthält sogar ein vorbildliche ausführliche Anleitung mit Explosionszeichnung.

Der Versuchsaufbau ist mit dem aus Abschnitt 2.2.4.9.2 identisch.

Hier wird ein modifizierter, mit nur zwei von drei Getriebestufen versehener Renak Enparlite getestet. Bei 1600 1/min hat die dritte Getriebestufe versagt, nur noch die zweite war funktionsfähig. Die normalerweise eingebauten Z-Dioden (zwei antiserielle 1N 5342B) sind hier ausgebaut!

---

[47] Wie könnte das Hohlrad auch eine andere Zähnezahl haben!

Tabelle 2.27: Meßwerte Renak (2/3 Übersetzung)

n	$R_a = 10\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[1/min]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η	U	η
48	1,9	1,07	0,45	2,05	1,46	11,7	1,64	8,97	1,67	7,59
80	3,1	1,93	0,59	3,42	2,35	15,86	2,68	10,87	2,74	10,1
115	5	3,1	0,63	4,28	3,53	22,58	4,20	18,09	4,30	15,9
160	6,1	4,76	0,64	5,65	4,09	21,29	5,02	15,35	5,21	15,91
200	7,4	6,14	0,63	6,14	4,56	21,47	5,88	16,84	6,16	17,35
250	9,6	7,9	0,67	7,44	5,03	21,09	7,17	20,03	7,60	20,13
315	11,5	9,96	0,66	8,49	5,65	21,62	8,04	20,9	8,63	20,12
400	14,1	13,39	0,67	10,41	6,13	19,58	9,09	20,13	9,86	20,21
500	17,3	17,2	0,67	12,09	6,41	18,88	9,95	20,64	10,95	20,89
800	24,7	26,03	0,66	17,85	6,84	15,41	11,52	19,56	13,02	18,46
1250	33,2	47,65	0,65	30,22	7,01	9,79	12,34	14,37	14,17	13,67

Der Wirkungsgrad des unveränderten Renaks müßte niedriger liegen, da hier eine wirkungsgradbehaftete Getriebestufe fehlt!

2.2.4.6.1 Enparlite 2 Im Oktober 2001 wird ein nagelneuer Enparlite2 getestet (vgl. Tabelle 2.28). Er ist provisorisch in einer 406er Felge eingespeicht. Die Geschwindigkeiten sind auf 28″ umgerechnet!

Tabelle 2.28: Meßwerte Enparlite 2 (v auf 2,12 m Radumfang gerechnet)

v	f	$R_a = 10\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[km/h]	[Hz]	U_{eff}	P_m	I	P_m	U	η	U	η
6,0	70	–	–	–	–	3,12	29,5	4,07	27,1
10,8	125	–	–	–	–	4,39	29,2	6,10	28,8
12,9	150	–	–	–	–	4,75	29,1	6,75	29,4
17,2	200	12,89	6,70	0,569	5,55	5,21	28,1	7,78	29,3
21,6	250	15,55	9,10	0,571	6,70	5,57	26,3	8,67	29,1
32,3	375	20,93	15,08	0,589	9,34	6,03	22,2	10,01	27,7
43,1	500	25,53	23,46	0,597	13,41	6,39	17,8	10,87	23,4
53,9	625	29,81	27,53	0,583	16,76	6,38	13,5	11,19	20,8

Der Wirkungsgrad ist nicht weltbewegend. Allerdings wird der Enparlite wegen der Ausfallsicherheit (gegenüber Seitenläufern) und des kleinen, zierlichen Nabengehäuses sowie des geringen Gewichtes eine Fan-Gemeinde haben.

Die folgenden drei Renak Enparlites wurden im Rahmen eines Artikels für die ProVelo im März

2004 vermessen.[48] Den Artikel hat Andreas Oehler geschrieben, erschienen ist der dann in der zweite Ausgabe der FahrradZukunft (www.fahrradzukunft.de)[49]

Tabelle 2.29: Meßdaten Enparlites

v	f	$R_a = 1\,M$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
Enparlite 1									
10	113					4,57	40,26		
15	169,5					5,51	39,02		
20	227					5,98	38,20		
30	340	23,20	7,90			6,48	34,14		
50	567	35,70	17,01	0,61	10,97	6,91	25,77		
Enparlite 2									
10	113					4,91	40,33		
20	227					6,29	35,84		
30	340					6,76	30,85		
50	567	41,50	20,12	0,63	13,35	7,15	22,72		
Enparlite 3									
10	113					5,03	34,26		
20	227					6,25	30,72		
30	340					6,67	28,03	11,83	28,78
50	567	43,70	23,04	0,61	14,08	7,00	20,76		

Als Laufraddurchmesser werden 702 mm angenommen.

Anfang 2007 taucht im Utopia-Forum eine Stellungnahme von Herrn Wangermann auf. Es gab anscheinend massive Qualitätsprobleme, die auf die Fertigung durch Büchel zurückzuführen sind und so von Wangermann weder beabsichtigt noch genehmigt wurden.[50].

Im April 2013 kommen noch Meßdaten von zwei unbenutzten Enparlite 2 (a und b) hinzu. Diese Renaks haben intern Begrenzerdioden eingebaut. Dies führt bei höheren Geschwindigkeiten (an 12 Ω ab ca. 40 km/h und 24 Ω ab ca. 10 km/h) zu einer Begrenzung der Ausgangsspannung bzw. Reduzierung des Wirkungsgrades. Das Gewicht liegt bei 394 g (ohne Schnellspanner und Anschlußkabel.

[48] Testteam: Andreas Oehler, Dr. Wangemann von Renak und Olaf Schultz.
[49] http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm
[50] db.utopia-fahrrad.de/UT_Mess.a4d?Nr=13454&Code=forum

Tabelle 2.30: Elektrische Kenndaten Enparlite 2

Exemplar	R_i [Ω]	L_i [mH]	R_S [Ω]
a	2,83	5,48	19,3
b	2,77	5,48	19,4

Die Daten der folgenden Tabellen sind für 668,45 mm Laufraddurchmesser bzw. 2100 mm Umfang gerechnet.

Tabelle 2.31: Meßdaten Enparlites 2 (a)

v	$R_a = 1\,\mathrm{M}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[km/h]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
5,2	4,89	0,98	0,568	2,29	3,36	39,37	4,15	25,94
7,6	6,46	2,12	0,597	2,74	4,31	39,67	5,48	37,72
9,9	7,92	3,88	0,612	3,23	5,07	41,21	6,39	34,38
15,1	8,55	8,63	0,645	5,3	6,04	33,62	7,24	23,52
19,9	8,82	9,41	0,654	6,82	6,32	36,44	7,49	27,37
24,7	8,76	11,07	0,661	8,05	6,45	32,95	7,68	22,34
29,2	8,99	12,3	0,665	9,77	6,6	31,57	7,73	20,4
34,7	8,83	14,14	0,668	11,31	6,63	27,07	7,82	17,93
39,9	9,04	14,96	0,67	11,71	6,69	26,17	7,79	16,97
44,7	8,88	16,76	0,67	12,02	6,74	24,03	7,91	15,61
49,5	8,95	18,15	0,669	13,31	6,69	21,21	7,89	14,23

Obiges Exemplar wird noch einmal bei nur bei 12 Ω vermessen. Dadurch entfallen wechselnde Betriebszustände und das Temperaturverhalten sit etwas stationärer.

Tabelle 2.32: Meßdaten Enparlites 2 (a)

v	$R_a = 12\,\Omega$	
	U	η
[km/h]	[V]	[%]
5,2	3,35	40,51
7,6	4,43	42,52
9,9	5,12	41,83
15,1	5,92	37,47
19,9	6,24	35,22
24,7	6,41	33,13
29,2	6,5	30,03
34,7	6,57	26,92
39,9	6,62	25,97
44,7	6,65	23,96
49,5	6,68	22,37
58,3	6,7	18,21

Am zweiten Enparlite 2 werden die Leistung bei ausgekuppelten Betrieb, Kurzschlußstrom und das Verhalten an $12\,\Omega$ gemessen (vgl. 2.33).

Tabelle 2.33: Meßdaten Enparlites 2 (b)

v	Ausgek.	$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$	
	P_m	I	P_m	U	η
[km/h]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]
5	–	–	–	3,44	39,78
8,1	–	–	–	4,75	40,65
10,1	0,3	–	–	5,32	39,81
15,1	–	–	–	6,12	37,27
19,7	0,71	–	–	6,37	33,19
25	–	–	–	6,53	29,82
30,1	1,23	–	–	6,61	27,4
34,9	–	–	–	6,67	24,94
39,9	1,82	–	–	6,72	22,28
45,3	–	–	–	6,75	19,68
49,5	2,42	–	–	6,77	18,47
60	2,93	0,702	19,56	6,81	13,11
80,6	5,26	–	–	–	–

Graphisch aufbreitet siehe Bilder 2.22 und 2.23

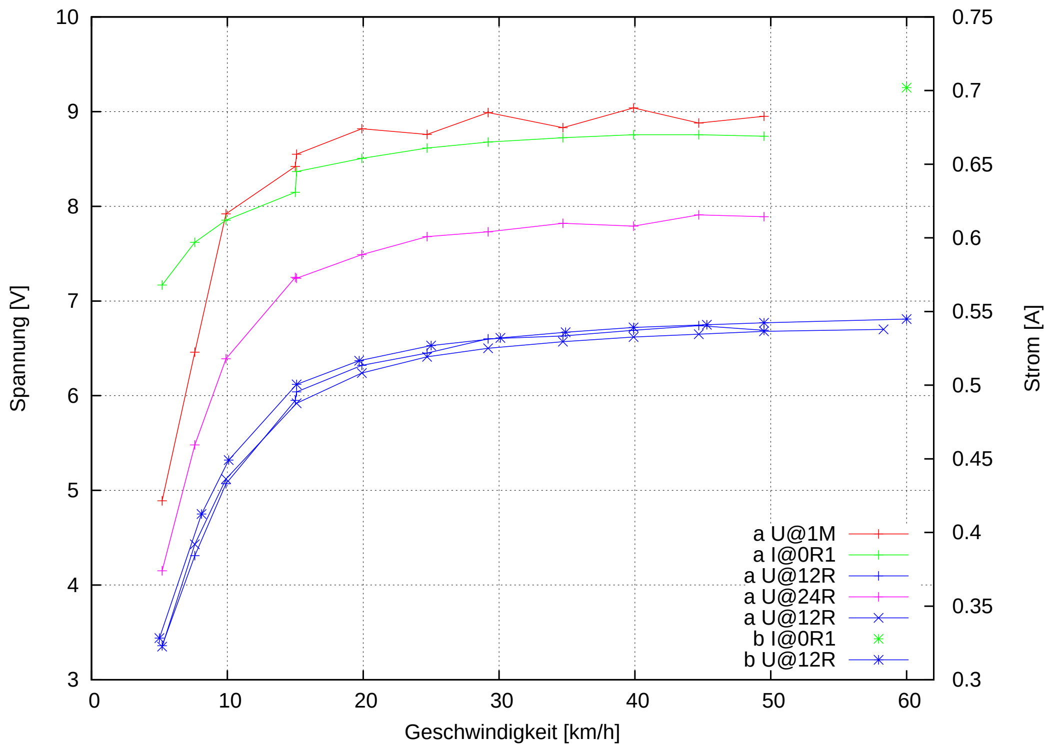


Bild 2.22: Enparlite 2 Spannung und Strom

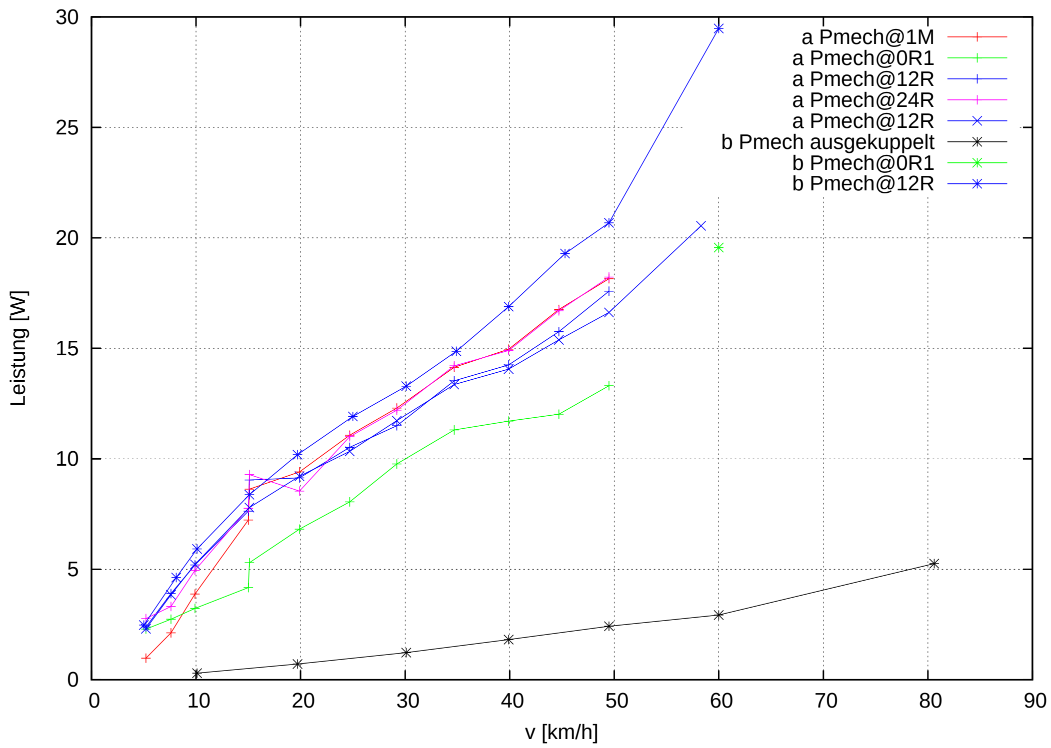


Bild 2.23: Enparlite 2 Antriebsleistung

Das Getriebe scheint auch hohe Geschwindigkeiten längere Zeit auszuhalten. Die Begrenzungsdioden sollten deaktiviert werden.

2.2.4.6.2 Enparlite 3

2.2.4.7 Sanyo

Laut Andreas Oehler (Daten Ende 2005) liegt das Gewicht bei 868 g). Der Gleichstromwiderstand bei 1,7 Ω. Leerlaufverluste: 2,5 W bei 15 km/h, 4 W bei 20 km/h, 7 W bei 30 km/h.

Bei 12 Ω-Last: Antriebsleistung/Wirkungsgrad: 5 W/52 % bei 15 km/h und 7,5 W/49 % bei 30 km/h. Spannungen: 2,9 V bei 5 km/h, 5,7 V bei 15 km/h und 7 V bei 50 km/h.

2.2.4.7.1 NH-H27 Der Sanyo Sport Hub Generator NH-H27 mit 6 V 3 W hat keine Zulassung in Deutschland. Er wiegt in der Schnellspannerversion ohne Schnellspanner ca. 566 g.

Der Kabelanschluß ist für blanke Litzen, ähnlich Shimano oder SRAM, vorgesehen. Kann aber auch mit den bei Rücklichtern üblichen 2,8 mm-Flachsteckern angeschlossen werden.

2.2.4.8 Schmidt-Original-Nabendynamo

Der Begriff Schmidt-Original-Nabendynamo (SON) kann aufgrund der Modellvielfalt (17", 20" und 28", alte und neue Bauform, mit oder ohne Scheibenbremsmontagemöglichkeit) im Jahr 2005 nur noch als Oberbegriff verstanden werden.

Der SON wird in der ProVelo 47 von Wilfried Schmidt ausgiebig behandelt. U.a. sind da auch die Wirkungsgrade enthalten. Er ist der bessere der beiden Nabendynamos, der andere ist ein HB-NX10.

Eine Neuheit von der Spezi 2002 (Germersheim): Thorax präsentierte einen zur Hinterradnabe umgerüsteten SON im Cosinus! Aber fragt mich nicht nach Aufwand, Verfügbarkeit oder Preis.[51] Die elektrische Kontaktierung erfolgt, unüblich bei Schmidt, auf der linken Seite, die Achse ist verlängert und der geschraubte Deckel wich einem neuen Einsatz mit Montagemöglichkeit für Schimanokassetten. Alles Sachen, die man mit einer Dreh- und einer Fräsbank, bzw. einer Hommel UWG1 oder UWG2 selber machen kann.

2.2.4.8.1 28" SON Hier wird ein 1997 gekaufter SON, alte Bauform, mit Scheibenbremsaufnahme getestet. Ein besonderes Augenmerk wird auf den Wirkungsgrad und die Übereinstimmung mit Wullkopf gelegt (siehe hierzu auch Bild 2.24). Der Dynamo wird mit dem Nabengehäuse in einer Drehbank eingespannt, die Achse mit einem Hebel ($l = 140\,\mathrm{mm}$) versehen.

Als Lastwiderstände werden R_a=47 Ω/15 W und R_a=25 Ω/10 W (Alugehäuse, gekühlt) verwendet.

Tabelle 2.34: Meßwerte 28"-SON (Drehbank)

v	n	$R_a = 10\,\mathrm{M}\Omega$		$R_a = 25\,\Omega$		$R_a = 47\,\Omega$	
[km/h]	[1/min]	U_0	P_m	U	η	U	η
11,2	87	–	–	–	–	6,8	38,72
16,2	125	12	–	8,9	53,41	10,6	57,95
25,9	200	18,6	1,21	11,9	52,51	15,4	54,82
40,7	315	30,1	2,81	14,2	54,28	21,5	59,26
64,7	500	48,1	9,06	15,5	46,4	26,4	58,21
103,4	800	75	20,7	16,6	37,72	30,3	51,59
161,6	1250	106	43,1	17,1	30,94	31,7	44,59

Dies sind die ersten Messungen auf der Drehbank. Spätere Messungen werden leicht abgewandelt, besonders in der Wahl der Lastwiderstände.

Das Bild 2.24 zeigt die Abhängigkeit der Leistung von der Geschwindigkeit vom SON.

[51] Nachtrag 2006: Inzwischen hat Thorax den Betrieb eingestellt. Dabei sah das Nabengehäuse auf der ifma 2005 durchaus nett aus.

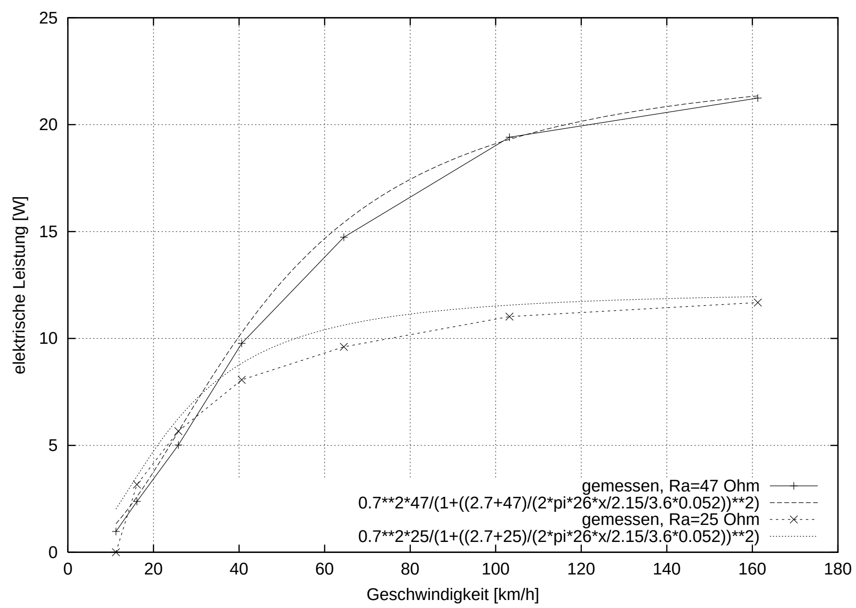


Bild 2.24: Leistungsmessung 28″-SON

Als Strom I_∞ wird in Bild 2.24 mit 0,7 A gerechnet.

Als zweiter 28″-SON wird einer von Schmidt aus der 1999er Produktion verwendet. Dieser wird mit der auf Seite 27 eingeführten Zusatzmasse J_z getestet! Dieser Dynamo hat $R_\mathrm{i} = 2{,}79\,\Omega$, $L_\mathrm{i} = 0{,}037 - 0{,}06\,\mathrm{H}$, $R_s = 72 - 173\,\Omega$.

Tabelle 2.35: Meßwerte 28”-SON (zweiter, mit J_z)

v [km/h]	n [1/min]	$R_a = 10\,M\Omega$ U	P_m	$R_a = 0{,}1\,\Omega$ I	P_m	$R_a = 12\,\Omega$ U	η	$R_a = 24\,\Omega$ U	η
6,2	48	4,55	0,12	0,34	1,32	3,25	61,64	3,87	60,8
10,3	80	6,27	0,21	0,54	1,65	4,65	57,68	5,95	60,1
16,2	125	12,2	0,46	0,57	2,14	5,85	59,85	8,9	69,27
20,7	160	15,0	0,89	0,58	2,68	6,3	55,59	10,1	66,45
25,9	200	18,9	1,3	0,59	3,72	6,58	51,06	11,3	65,03
51,7	400	38,16	3,72	0,61	6,47	7,18	41,26	13,56	56,29
64,7	500	49,7	5,58	0,61	8,37	7,36	35,18	14,06	50,63
103,4	800	80,8	12,2	0,62	13,39	7,4	25,56	14,47	41,89
206,9	1600	160,3	37,78	0,65	30,35	7,78	15,14	15,41	25,58
323,3	2500	246,5	92,97	0,66	43,23	7,86	9,23	15,62	16,2

v [km/h]	$R_a = 29{,}4\,\Omega$ U	η	$R_a = 88\,\Omega$ U	η	$R_a = 110\,\Omega$ U	η	$R_a = 132\,\Omega$ U	η
6,2	3,95	66,07	–	–	–	–	–	–
10,3	6,30	64,82	–	–	–	–	–	–
16,2	9,55	70,25	–	–	–	–	–	–
20,7	11,10	64,62	–	–	–	–	–	–
25,9	14,74	86,40	–	–	–	–	–	–
51,7	16,12	59,12	–	–	–	–	–	–
64,7	16,87	53,40	–	–	–	–	–	–
103,4	17,44	40,43	–	–	–	–	–	–
206,9	18,68	28,50	53,7	52,7	64,1	55,6	74,7	57,9
323,3	19,07	21,46	–	–	–	–	–	–

Randbemerkung: Der durch ≈160 V verursachte Strom zwiebelt ganz gut, selbst wenn er nur durch die Finger einer Hand fließt![52]

Und mal, rein Interessehalber, Wullkopf rückwärts:

$$I_\infty = \frac{U}{R_a}\sqrt{1+\left(\frac{R_a+R_i}{2\pi n p L_i}\right)^2} \tag{2.33}$$

Bei 1600 $\min^{-1}$ ergeben sich mit den Werten bei R_a =132, 88, 24 und 12 Ω I_∞=0,58, 0,61, 0,64 und 0,65 A.

Der Dynamo aus der Tabelle 2.34 ergeben auf dem MufuZ die Meßwerte in der Tabelle 2.36

[52]Aber Maschbauer sind bekanntlich entgegen den E-Technikern ja auch 380 V-fest und geben nicht schon bei mehr als 12 V Gleichspannung auf:=)

Tabelle 2.36: Meßwerte 28″ SON (eingefahren)

n	v	$R_a = 0{,}8\,\text{M}\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[1/min]	[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
80	10	9,5	0,52	0,62	1,6	5,14	65,99	6,91	72,53
100	12,5	–	–	–	–	5,66	64,01	7,81	66,89
120	15	13,95	0,89	0,63	2,22	6,17	62,01	9,17	68,49
159	20	18,21	1,84	0,65	3,17	6,75	58,2	10,74	64,83
239	30	26,8	3,38	0,65	5,34	7,23	50,74	12,7	60,43
319	40	34,68	5,34	0,66	5,93	7,45	43,32	13,49	55,58
478	60	50,30	10,23	0,68	11,57	7,77	37,7	14,55	49,57

Die Geschwindigkeit ist mit einem Laufradumfang von 2090 mm gerechnet.

2.2.4.8.2 20″ SON Der 20″ SON wird hier in einer 1996 gebauten 17–20″-Variante vermessen. Die ersten Werte, die überhaupt dieses Dokument begründeten, sind in der Tabelle H.1 wiedergegeben.

Nach dem dieser Dynamo am Flevo einige tausend Kilometer eingefahren wurde, wird er auf dem MufuZ getestet. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2.37 wiedergegeben.

Tabelle 2.37: Meßwerte 20″ SON (eingefahren)

n	v	$R_a = 0{,}8\,\text{M}\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[1/min]	[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
57	5	–	–	–	–	3,7	76,62	4,5	72,12
114	10	–	–	–	–	5,15	61,13	7,48	73,07
143	12,5	12,97	0,93	0,63	1,94	6	65,6	8,71	70,77
172	15	15,37	0,96	0,64	2,3	6,41	63,13	9,67	67,84
229	20	20,81	1,7	0,65	3,06	6,85	56,74	11,47	69,65
343	30	31	3,19	0,66	4,91	7,43	53,4	13,13	60,85
458	40	40,9	5,1	0,67	5,79	7,68	43,77	14,16	57,76
686	60	58,3	10,85	0,69	10,85	8,01	33,52	15,25	47,46

Die Geschwindigkeit ist mit einem Laufradumfang von 1457 mm gerechnet.

2.2.4.8.3 SAMSON Der SAMSON ist die 12 V-Variante von Schmidt. Erste funktionierende Prototypen waren auf der IFMA '98 zu sehen. Einer wird in Süddeutschland problemlos im Alltagsbetrieb eingesetzt. Der Autor hat bisher keinen zum Testen gehabt.

Mit der verbreiteten Einfürhung der LED-Beleuchtung im Fahrradbreich dürften die 12 V-Beleuchung-Anlagen hinfällig sein.

2.2.4.8.4 SON20 Seit Oktober 1998 ist eine neue 20″-Version des SON lieferbar (unter ~~~K165 zugelassen für Laufraddurchmesser von 394 bis 528 mm). Diese kann eingespeicht geöffnet werden. Zum eventuellen Lagerwechsel wird einfach die Patrone inklusive Generatorstator herausgeschraubt und an Schmidt eingeschickt. Da die Nabenteile auf der Patrone verpreßt und nicht verschraubt sind sollte das wirklich bei Schmidt und nicht in Eigenarbeit geschehen; Schmidt hat die speziellen Werkzeuge und Vorrichtungen. Dasselbe gilt auch bei den alten Versionen, die aber am besten ausgespeicht zum Lagerwechsel eingeschickt wird. Das Nabengehäuse ist aus der Alulegierung 6012 (AlMgSi).

Der 20″-SON hat seit Ende Frühling 1999 auch eine Zulassung und wurde vom LTI mit 69 % Wirkungsgrad gemessen.

Der hier getestete SON20 wurde direkt bei Schmidt gekauft. Er ist nagelneu und Lager und Dichtungen sind noch nicht richtig eingelaufen. Dies führt noch zu etwas schlechteren Wirkungsgraden.

Tabelle 2.38: Meßwerte SON20

n	v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M\Omega}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[1/min]	[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η	U	η
48	4,23	3,85	0,13	0,53	0,98	2,85	67,11	3,32	68,61	3,42	68,58
80	7,06	6,41	0,27	0,56	1,34	4,18	67,51	5,27	72,03	5,5	71,31
125	11,03	10,45	0,51	0,59	1,74	5,51	68,03	7,78	74,83	8,31	75,98
160	14,11	12,89	0,74	0,6	2,08	6,01	64,03	9,01	71,06	9,73	72,16
250	22,05	20,95	1,39	0,61	2,88	6,75	59,62	11,59	70,83	13,09	72,89
250	22,05	20,29	1,49	0,61	2,88	6,77	59,97	11,59	70,83	13,07	72,67
315	27,78	25,8	2,05	0,62	3,51	6,99	54,74	12,48	67,15	14,37	68,52
500	44,1	42,3	4,18	0,64	5,3	7,37	46,37	13,85	61,41	16,42	63,64
800	70,56	67,9	10,71	0,65	9,67	7,59	33,27	14,61	49,01	17,57	52,29
1600	141,12	132,1	32,43	0,66	19,93	7,81	20,84	15,29	32,74	18,51	35,61

Eine Eigenfrequenz des Auslegers für J_z liegt bei 1250 1/min, deswegen hierfür keine Meßdaten.

In der Tabelle 2.39 sind die Meßwerte vom SON20 aus Tabelle 2.38 in eingefahrenen Zustand nach ca. 1000 km aufgeführt. Diese Meßwerte sind die ersten, die auf dem MufuZ (s. S. 496) bestimmt werden.

Tabelle 2.39: Meßwerte SON20 (eingefahren)

n	v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M}\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[1/min]	[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
114	10	10	0,68	0,59	1,49	5,5	69,97	7,5	71,09
143	12,5	12,5	0,85	0,6	1,52	6	66,37	8,9	72,86
172	15	14,5	0,95	0,6	2,14	6,3	63,38	10	72,55
229	20	20	1,45	0,61	2,89	6,7	58,8	11,5	70,14
343	30	29,3	2,55	0,62	3,96	7,1	52,82	13	64,26
458	40	40,3	4,42	0,63	6,13	7,3	46,48	13,8	62,27
686	60	58,8	7,91	0,65	7,91	7,6	36,01	14,6	52,65

Die Geschwindigkeit ist mit einem Laufradumfang von 1457 mm gerechnet.

Mit den Erkenntnissen von Ralf Kuszmierz wird im ersten Versuch eine Kapazität von 500 µF gewählt. Hier wird die Kapazität C durch zwei, antiseriell geschaltet polarisierte Elkos 35 V/1000 µF, folglich mit $C_1 = 0{,}5\,\mathrm{mF}$, dargestellt.[53] Die Meßwerte sind in der Tabelle 2.40 wiedergegeben. Betrachtet man das System als Serienschwingkreis, so wäre nach der Resonanzbedingung (Formel (2.34)) bei 12,5 km/h$\widehat{=}$20,8 Hz eine Kapazität von $C_2 = 1{,}67\,\mathrm{mF}$ notwendig:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \tag{2.34}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \tag{2.35}$$

mit der gewünschten Frequenz f und der Induktivität L des Dynamos, hier der SON20 aus der Tabelle 2.65. Mit einem derart großen C_2 wird keine zufriedenstellende Spannungsüberhöhung erzielt (vgl. Bild 2.26).

[53]Die Kapazität von neuen Elkos streut stark, -10…+20 % sind keine Seltenheit. Während des Betriebs, gerade bei erhöhten Temperaturen, nimmt die Kapazität in der Regel ab. Hier werden gebrauchte Elkos aus einem Schaltnetzteil verwendet, deren Kapazität in der Serienschaltung mit 504 µF gemessen wird.

Tabelle 2.40: Meßwerte SON20 mit und ohne Serienkapazität)

n	v	$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega + C_1$		$R_a = 24\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega + C_1$	
[1/min]	[km/h]	U	η	U	η	U	η	U	η
57	5	3,5	66,2	2,5	27,21	4,26	71,1	3,54	27,74
92	8	4,95	69,77	5,45	69,27	6,43	74,99	6,6	73,56
114	10	5,49	76,18	6,7	71,2	7,65	81,89	8,19	81,11
143	12	5,96	71,83	7,57	71,84	8,9	80,09	9,82	79,54
172	15	6,31	69,33	7,71	70,57	9,97	78,68	11,04	79,59
229	20	6,75	66,11	7,61	64,83	11,45	75,54	12,35	74,7
286	25	6,93	62,72	7,52	61,12	12,39	72,9	13,19	72,9
343	30	7,11	58,95	7,52	56,81	13,01	66,18	13,65	69,52
458	40	7,38	53,35	7,55	52,18	13,84	67,01	14,11	65

Das Bild 2.25 zeigt den Verlauf von Wirkungsgrad und Spannung sowie den Spannungsgewinn durch den Serienkondensator.

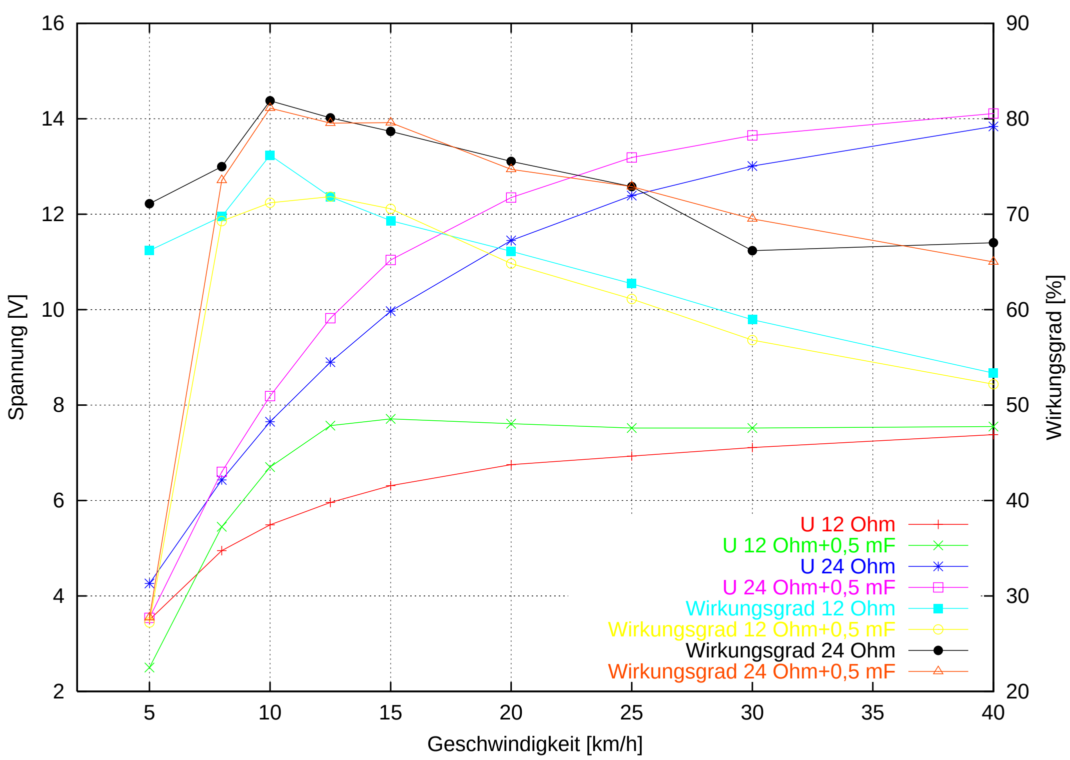


Bild 2.25: Spannung und Wirkungsgrad vom SON20 ohne und mit Serienkondensator

Besonders in den Bereichen kleiner Geschwindigkeit wird deutlich mehr elektrische Leistung zur

Verfügung gestellt. Der Wirkungsgrad bleibt ungefähr gleich, d.h. es ist mehr mechanische Leistung aufzubringen. Über dem Serienkondensator fallen hier bis zu 7 V_{eff} ab. Bei Schrittgeschwindigkeit (Schieben) ist der Serienkondensator kontraproduktiv, bei niedrigen Geschwindigkeiten zwischen ca. 10 km/h bis 20 km/h liegt ein deutlicher Gewinn vor.

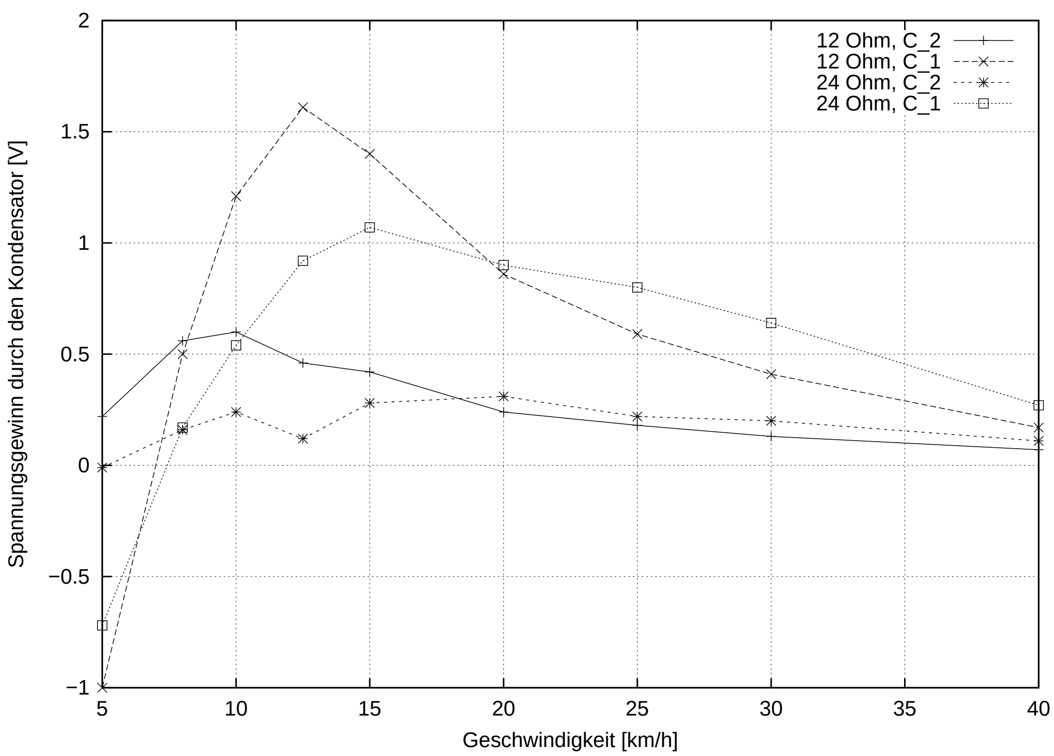


Bild 2.26: Spannungsüberhöhung

Wenn die niedrige Spannung bei Schrittgeschwindigkeit toleriert wird, dann ist die Spannungsüberhöhung ist bei einem k-Wert von 1,68 zufriedenstellend. Daraus ergibt sich für einen Lastwiderstand von 24 Ω eine Kapazität von $C_3 = 143\,\mu F$.

Vorerst abschließend: Auch durch einen Serienkondensator kann man aus einem Klauenpolgenerator nicht mehr Strom entnehmen als I_∞, nur halt früher als ohne. Dies führt z.B. bei diesem SON20 dazu, daß schon ab 25 km/h an 24 Ω ziemlich genau 15,2 V eingehalten werden, sprich 0,63 A. Der Knackpunkt in der realen Leistungsoptimierung liegt jetzt darin, Lampen für diese Betriebsbedingungen von ca. 7,6 V/0,63 A und eng tolerierter Fadenlage zu ergattern. Bei Philips und OSRAM[54][55] und ist

[54]Eine Zusammenfassung aus OSmium und wolfRAM. Bevor Wolfram für Glühfäden verwendet wurde, waren Kohlefäden, Tantal und Osmium die Werkstoff der Wahl.

[55]Der Name Wolfram scheint von „wolfrig“ abzustammen. Es verminderte die Zinnausbeute in der Schmelze, wurde zinn„fressend“genannt. In Cornwall wurde von Wolframit gesagt *it eats up tin as a wolf eats a sheep*[Ah58]. Wolframit und

der Autor bisher nicht fündig geworden. Je nach, fertigungsbedingt streuender Strom, Dynamo muß man sich den Strom selber ausmessen.

Die folgenden drei SON20 wurden im Rahmen eines Artikels für die ProVelo im April 2003 vermessen.[56] Den Artikel hat Andreas Oehler geschrieben, erschienen ist der dann in der zweite Ausgabe der FahrradZukunft (www.fahrradzukunft.de)[57][58]

Tabelle 2.41: Meßdaten SON20

f	v	$R_a = 1\,\mathrm{M}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[Hz]	[km/h]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
SON20 1									
23,6	10	8,68	0,60			4,99	65,82		
47,1	20	17,57	1,50			6,43	56,83		
70,8	30	26,3	2,74			6,91	49,22	12,38	62,34
118	50	44,3	5,80	0,627	6,80	7,21	38,49		
SON20 2									
23,6	10	8,7	0,60			5,01	65,82		
47,1	20	17,5	1,50			6,41	56,83		
70,8	30	26,3	2,74			6,85	49,22	12,33	62,34
118	50	44,1	5,80	0,619	6,80	7,21	38,49		
SON20 3									
23,6	10	8,75	0,69			4,97	62,38		
47,1	20	17,55	1,74			6,39	55,12		
70,8	30	26,3	3,05			6,85	47,78	12,27	60,32
118	50	44,3	6,32	0,619	7,38	7,20	37,94		

Als Laufraddurchmesser werden 486 mm angenommen.

An einem weiteren SON20 wird eine Leistungsanpassung durch Veränderung des Lastwiderstandes vorgenommen. Anbei die Rohdaten für diejenigen, denen die daraus entstanden Diagramme nicht genug sind. Die Schleppmassen sind in Gramm bei 200 mm Hebelarm angegeben! Der in der letzten Spalte angegebene Widerstand ist nur als Richtwert anzusehen. Maßgeblich ist eher $R = U/I$.

Scheelit waren ursprünglich nur unerwünschte Beifunde der Zinnerze und wurden erst seit Entwicklung technologischer Verfahren zur Wolframbearbeitung wirtschaftlich interessant.

[56] Testteam: Andreas Oehler, Dr. Wangemann von Renak und Olaf Schultz.

[57] http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm

[58] Die ProVelo wurde zwischenzeitlich eingestellt, die Fahrrad-Zukunft neu geschaffen.

Tabelle 2.42: Leistungsanpassung SON20

$f = 27\,\mathrm{Hz}$			$f = 50\,\mathrm{Hz}$			$f = 70\,\mathrm{Hz}$			$f = 100\,\mathrm{Hz}$			
U [V]	I [A]	m [g]	U [V]	I [A]	m [g]	U [V]	I [A]	m [g]	U [V]	I [A]	m [g]	R [Ω]
0,099	,5792	70	0,101	,6047	65	0,107	,6172	60	0,111	,6279	55	0,17
0,675	,5719	82	0,709	,5996	70	0,725	,6114	65	0,741	,6260	62	1,17
1,429	,5599	97	1,513	,5941	80	1,55	,6113	72	1,585	,6235	67	2,52
2,631	,5339	118	2,887	,5832	97	2,99	,6044	85	3,055	,6188	75	4,87
3,119	,5202	125	3,504	,5790	102	3,62	,6008	92	3,71	,6167	82	6,0
4,01	,4919	135	4,62	,567	115	4,81	,5938	102	4,99	,612	90	8,05
4,75	,4627	140	5,65	,5526	124	5,99	,5856	112	6,21	,6068	97	10,15
5,33	,4344	142	6,60	,5389	133	7,07	,5768	120	7,39	,6014	105	12,1
6,03	,3957	140	7,87	,5158	142	8,57	,5627	127	9,03	,5931	115	15,1
7,13	,3217	130	10,21	,4612	152	11,65	,5256	145	12,61	,5709	135	22,1
8,09	,2411	110	12,78	,380	152	15,33	,4573	162	17,64	,5257	157	33
8,72	,1839	96	14,38	,3012	132	18,35	,3845	155	22,31	,4660	165	47
9,18	,1329	75	15,8	,2292	116	20,66	,2978	140	26,74	,3839	162	69
9,51	,1067	63	16,41	,1850	98	22,10	,2481	122	29,09	,3259	150	89
9,70	,0724	52	17,36	,1283	82	23,4	,1723	102	32,05	,2356	127	137

Tabelle 2.43: Leistungsanpassung SON20 mit 330 µF Serienkondensator

$f = 27\,\mathrm{Hz}$			$f = 50\,\mathrm{Hz}$			$f = 70\,\mathrm{Hz}$			$f = 100\,\mathrm{Hz}$			
U [V]	I [A]	m [g]	U [V]	I [A]	m [g]	U [V]	I [A]	m [g]	U [V]	I [A]	m [g]	R [Ω]
0,154	,9259	207	0,129	,7708	100	0,118	,6982	75	0,114	,6674	65	0,17
1,025	,8643	215	0,904	,7555	110	0,821	,6952	82	0,787	,6652	68	1,17
2,02	,7981	220	1,927	,7568	125	1,759	,6908	92	1,691	,6618	75	2,52
3,44	,702	217	3,647	,7402	150	3,365	,6816	107	3,237	,656	85	4,87
4,00	,6617	217	4,41	,7312	160	4,09	,6774	115	3,933	,6531	90	6,0
4,86	,5986	210	5,76	,7111	175	5,43	,6678	125	5,26	,6476	100	8,05
5,53	,5437	205	7,01	,6870	190	6,71	,6573	140	6,56	,6416	107	10,15
6,07	,4949	195	8,09	,6612	195	7,88	,6435	150	7,80	,6368	118	12,1
6,81	,4395	177	9,42	,6194	200	9,51	,6241	162	9,52	,627	130	15,1
7,65	,3451	150	11,57	,5232	197	12,68	,5727	180	13,27	,6003	150	22,1
8,46	,2518	118	13,58	,4044	172	16,29	,4845	182	18,42	,5482	168	33
9,02	,1895	95	14,90	,312	142	18,92	,3944	165	23,05	,4795	176	47
9,45	,1365	75	15,96	,2295	115	20,99	,3017	142	27,23	,3911	165	69
9,70	,1087	65	16,52	,1853	100	22,03	,2474	123	29,38	,3312	155	89
9,97	,0732	52	17,23	,1251	80	23,39	,1719	100	32,25	,2374	127	137

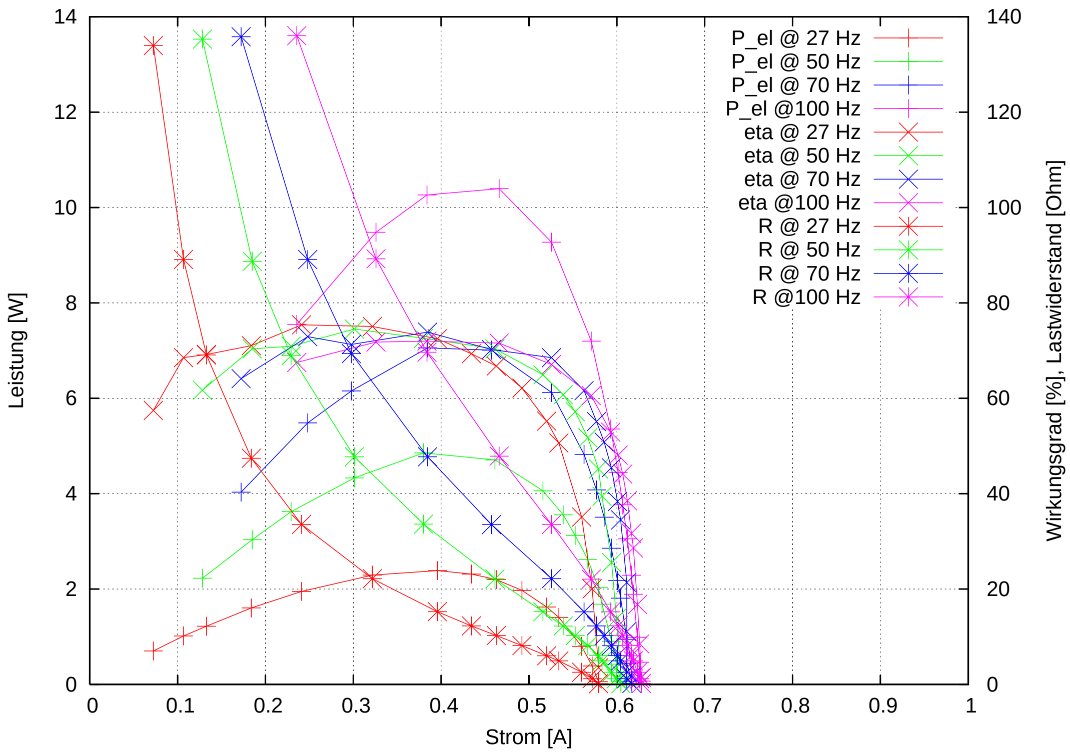


Bild 2.27: Leistungsanpassung SON20

Für eine Maximierung der Ausgangsleistung muß also der Strom auf ca. 400–450 mA begrenzt werden. Der Wirkungsgrad liegt dann bei bis zu 75 %. Der Lastwiderstand wird dann etwas zwischen 10–50 Ω variiert werden müssen. Mit einer einzelnen 12 Ω-Last, wie die StVZO es vorsieht, ist da also nicht viel zu holen. Hier greifen dann wieder LEDs ein: Bei niedrigen Strömen ist ein hoher Widerstand vorhanden (vgl. Seite 266), bei hohen Strömen ein niedriger Widerstand. Dieses Verhalten ist dem vom Glühlampen (vgl. Seite 163 ff.) entgegengesetzt. Damit wird auch klar, warum LED-Scheinwerfer bei niedrigen Geschwindigkeiten Glühlampen i.A. überlegen sind.

Und wenn man zu dem Meßaufbau für Bild 2.27 noch einen Serienkondensator mit 330 µF hinzufügt, so ergibt sich Bild 2.28

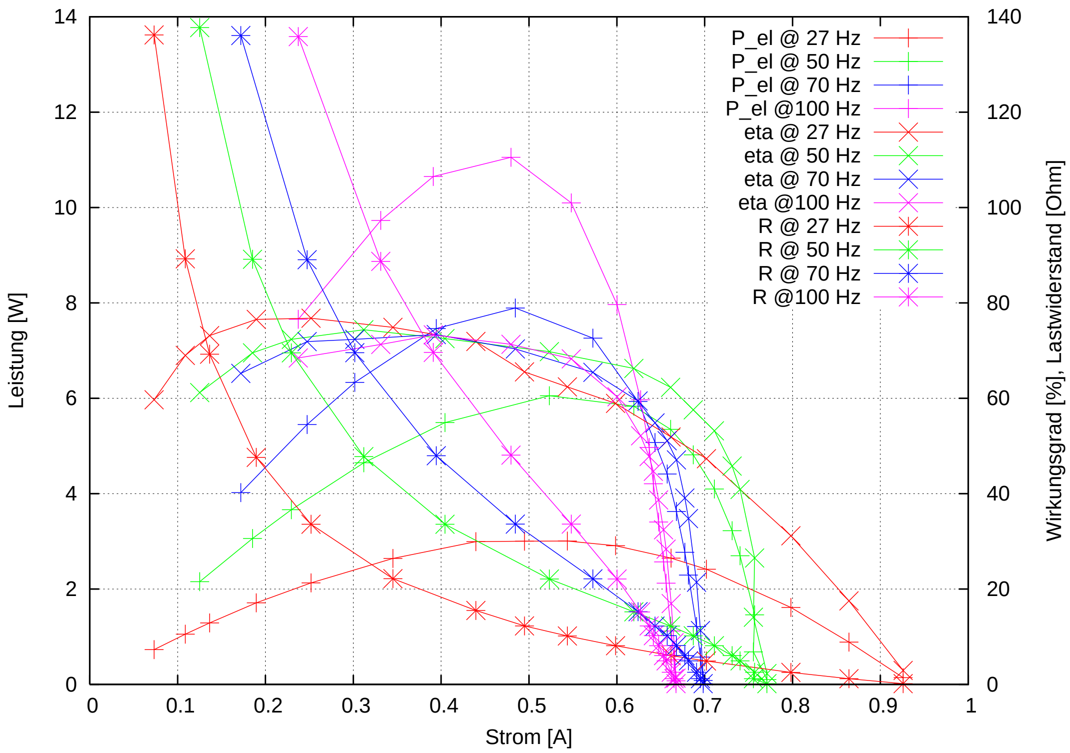


Bild 2.28: Leistungsanpassung SON20 mit 330µF Serienkondensator

Die maximal entnehmbar Leistung steigt, der Bereich, in dem Leistung abgeben wird, wird gestreckt. Der Wirkungsgrad steigt unwesentlich, aber der Dyanamo wird „elastischer“. Allerdings sollte man diese Maßnahmen nicht mit einer HS3-Glühlampe als Last durchführen. Die Lebensdauer wird wohl stark reduziert. Mit LEDs o.ä. wird man aber durchaus mehr Licht herausholen können. Allderdings, von nicht’s kommt nichts, muß diese Leistung auch ertreten, besser erbracht, werden.

Der direkte Vergleich der Messungen, hier nur für die Leistungen und Wirkungsgrade, ergibt dann Bild 2.29. Notwendige Lastwiderstände bitte den obigen Bildern entnehmen. Ja, ich weiß, Papier hat zu wenig Dimensionen:-(

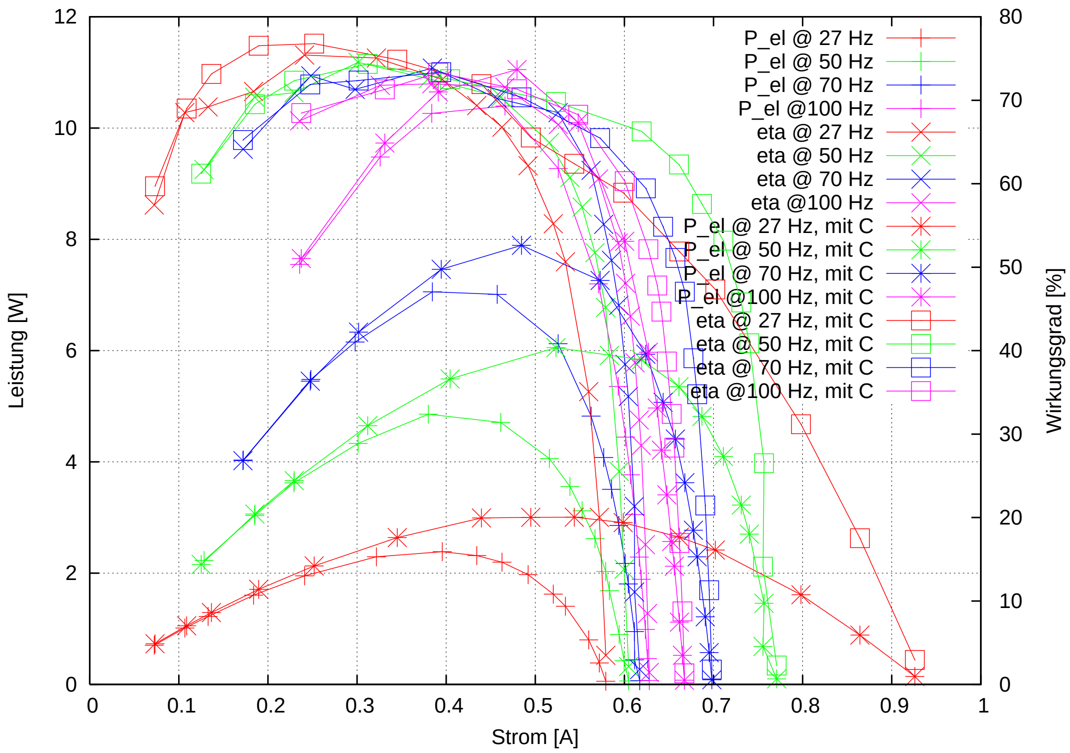


Bild 2.29: Leistungsanpassung SON20 ohne und mit 330µF Serienkondensator

2.2.4.8.5 SON28 Das große Gehäuse des SON wird seit Anfang 2000 durch das kleinere Gehäuse ersetzt.

Die folgenden drei SON28 wurden im Rahmen eines Artikels für die ProVelo im April 2003 vermessen.[59] Den Artikel hat Andreas Oehler geschrieben, erschienen ist der dann in der zweite Ausgabe der FahrradZukunft (www.fahrradzukunft.de)[60]

[59]Testteam: Andreas Oehler, Dr. Wangemann von Renak und Olaf Schultz.
[60]http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm

Tabelle 2.44: Meßdaten SON28

v	f	$R_a = 1\,\mathrm{M}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
SON28 1									
10	16,4	9,40	0,38			4,91	64,98		
14	23,6	13,15	0,67			5,75	62,37		
20	32,7	18,70	0,97			6,31	57,96		
29	47,1	26,45	1,77			6,69	52,27		
30	49,1	27,70	1,81			6,75	51,81	12,15	64,58
43	70,8	40,50	3,05			6,99	45,11		
50	81	49,90	3,84	0,60	5,85	7,05	41,73		
72	118	67,00	6,32	0,61	7,64	7,22	36,45		
SON28 2									
10	16,4	9,35	0,33			4,95	67,24		
20	32,7	18,76	0,90			6,33	59,47		
30	49,1	27,50	1,64	0,59	3,70	6,73	52,70	12,20	65,19
50	81	45,80	4,76	0,60	5,85	7,06	39,64		
SON28 3									
10	16,4	9,30	0,52			4,82	62,47		
20	32,7	18,10	1,46			6,17	56,80		
30	49,1	26,70	2,80			6,62	50,99	11,89	62,94
50	81	43,80	6,31	0,60	5,67	6,95	40,55		

Als Laufraddurchmesser werden 702 mm angenommen.

Im folgenden etwas umfänglicher die Messungen an einem SON28 mit realen Lasten. Dies hat unmittelbar Auswirkungen auf die theorielastige TA4. Die Meßdaten sind erstmal als Rohdaten wiedergegeben, da sie so am universelsten einsetzbar sind. Einheitlich: Der Hebelarm für die Schleppmassen beträgt 180 mm. Als Meßgeraät wird inzwischen ein GMC29S verwendet, die Leistungen sind also echte Effektivleistungen! Wer sich den Spaß macht, P_{el} mit UI zu vergleichen wird diese Notwendigkeit bei den nichtohmschen realen Verbrauchern durchaus verstehen.

TD : Touchdown mit Aluzwischenblech, B4-Gleichrichter. 6,3 V/10 mF-Elko und 5,5 V/1 F-Goldcap.

LTHPR60BV Lumotec Oval, mit neuwertiger HPR60BV.

PS Pilot Steady, jedoch mit nackter 1 W-LED.

DL Neuer DLumotec, vom Fahrradhändler ausgeliehen, nach dem Versuch wieder zurückgegeben.

Die erste Meßreihe wurde an zwei Tagen im April 2006 durchgeführt. Der DL am zweiten Tag hinterher, die Schleppmassen können für diesen Scheinwerfer nicht stimmen, da muß sich was verstellt haben, also keine Wirkungsgradangaben möglich, lediglich ein Trend ist abschätzbar.

Die Helligkeiten sind **nicht unbedingt** in E_{max} gemessen.

Tabelle 2.45: SON28 mit realen Lasten

	Touchdown					Lumotec HPR60BV					Pilot Steady					DLumotec				
f [Hz]	P_{el} [W]	U [V]	I [mA]	P_{m} [W]	E [lx]	P_{el} [W]	U [V]	I [mA]	P_{m} [W]	E [lx]	P_{el} [W]	U [V]	I [mA]	P_{m} [W]	E [lx]	P_{el} [W]	U [V]	I [mA]	P_{m} [W]	E [lx]
10	0,43	4,93	99	0,5	4,58	1,13	3,57	315	1,41	2,29	0,67	4,38	167	0,79	3,17	0,89	3,8	251	0,92	5,22
16,7	1,45	6,53	262	1,72	12,32	2,2	5,61	392	2,57	10,09	1,84	5,83	339	2,1	6,57	2,09	6,55	353	2,07	8,27
20	2,06	7,05	338	2,56	15,84	2,66	6,49	411	3,24	14,73	2,36	6,21	405	2,83	7,8	2,57	7,21	390	2,77	9,21
25	2,75	7,58	417	3,41	18,95	3,27	7,25	452	3,99	21,52	2,82	6,45	463	3,63	8,19	3,54	8,31	468	3,63	10,91
30	3,23	7,98	456	4,15	20,95	3,67	7,7	476	4,66	25,11	3,06	6,53	493	4,1	8,53	3,88	8,66	499	4,35	11,58
40	3,72	7,92	523	5,29	23,0	4,32	8,32	521	5,8	30,7	3,4	6,64	537	5,12	9,09	4,7	9,95	512	5,63	12,38
45,3	3,88	7,96	535	5,84	23,35	4,48	8,38	536	6,34	32,04	3,46	6,66	547	5,49	9,21	4,99	10,38	520	5,99	12,35
50	4,02	8,18	541	6,19	23,88	4,53	8,31	546	6,7	32,62	3,55	6,7	554	5,76	9,38	5,14	10,52	539	6,4	12,49
60	4,01	7,93	559	7,07	24,19	4,75	8,6	554	7,68	33,8	3,62	6,72	565	6,55	9,38	5,43	10,82	544	7,17	12,44

Beleuchtungsstärke bei 2,4 W (in 10 m), jedoch nicht unbedingt E_{max} oder HV: TD=17,37 lx, Lumotec und HPR60BV=18,04 lx, Steady=7,99 lx, DLumotec=8,88 lx.

Eine nachfolgende Messung mit meist anderen Scheinwerfern ergibt Tabelle 2.46. Abweichend zu obigen Daten wird hier ein 75,5 Ω Widerstand parallel zum Dynamo geschaltet (ist nicht in P_{el} enthalten). Laut TA sollten es eigentlich 60 Ω sein. Jedoch ist das im Alltag wohl meistens verwendete DToplight eher mit 140 Ω idealisierbar. Insofern ein vertretbarer Kompromiss.

TD051105aS Touchdown TD051105aS mit Kupferzwischenblech, B4-Gleichrichter und Serienkondensator.

LTHPR64 Lumotec Oval, der aus vorherigen Versuch, jedoch mit einer HPR64 (0,464 A@6 V), da die HPR60 einen Überstromstoß beim Ausmessen der Kenndaten nicht überstanden hat.

PS Pilot Steady, der aus dem vorherigen Versuch.

DLTopal Neuer DLumotec Topal, vom Fahrradhändler ausgeliehen, nach dem Versuch wieder zurückgegeben. Der DL war nicht mehr verfügbar.

Die Helligkeiten sind in E_{max} gemessen und auf 10 m Entfernung umgerechnet. Bitte nicht auf den Gedanken kommen mit den Daten aus Tabelle 2.46 $\eta = P_{\text{el}}/P_{\text{m}}$ zu berechnen. Vielmehr ist $\eta = (P_{\text{el}} + U^2/75.5)/P_{\text{m}}$.

Tabelle 2.46: SON28 mit realen Lasten und 75,5 Ω parallel

	TD051105aS					Lumotec HPR64					Pilot Steady					DLumotec Topal				
f	P_{el}	U	I	P_m	E	P_{el}	U	I	P_m	E	P_{el}	U	I	P_m	E	P_{el}	U	I	P_m	E
[Hz]	[W]	[V]	[mA]	[W]	[lx]	[W]	[V]	[mA]	[W]	[lx]	[W]	[V]	[mA]	[W]	[lx]	[W]	[V]	[mA]	[W]	[lx]
5	?	2,5	2	0,19	0,0	0,38	1,6	250	0,68	0,05	0,04	2,4	18	0,23	0,29	0,12	2,45	70	0,26	1,11
7,5	0,13	3,71	40	0,48	1,17	0,69	2,34	298	1,16	0,44	0,25	3,42	82	0,58	1,53	0,38	3,11	145	0,67	3,05
10	0,42	5,06	97	1,01	3,93	1,02	3,04	333	1,66	1,38	0,56	4,12	150	1,08	2,89	0,74	3,6	237	1,21	4,99
16,7	1,38	8,0	226	2,82	10,44	1,7	4,3	395	2,82	5,69	1,46	5,36	293	2,57	5,74	1,69	6,3	317	2,82	8,24
20	2,25	9,77	347	4,39	14,61	1,94	4,71	414	3,26	9,77	1,9	5,72	350	3,19	6,81	2,17	7,0	358	3,67	9,51
25	3,31	11,06	492	6,55	18,89	2,2	5,13	443	3,95	10,8	2,26	5,95	402	3,95	7,57	2,7	7,59	402	4,63	10,68
30	3,48	10,46	523	7,09	19,72	2,38	5,36	443	4,53	12,32	2,43	6,06	428	4,61	7,92	2,98	7,84	430	5,38	11,49
40	3,42	9,24	526	7,34	19,83	2,71	5,86	463	5,63	16,74	2,71	6,2	462	5,53	8,41	3,31	8,19	458	6,38	12,47
50	3,26	8,34	508	8,02	19,45	2,86	6,04	473	6,66	18,89	2,78	6,23	472	6,74	8,54	3,55	8,69	454	7,25	12,97
60	3,25	7,97	509	8,45	19,54	3,0	6,25	481	7,58	21,01	2,88	6,28	485	7,43	8,77	3,72	8,96	456	8,3	13,16

Beleuchtungsstärken bei 2,4 W Leistungsaufnahme (auf 10 m umgerechnet): TD051105aS=15,26 lx, Lumotec HPR64=12,62 lx, Steady=7,92 lx, DL Topal=10,03 lx.

Eine Auswertung wäre z.B. 2.30.

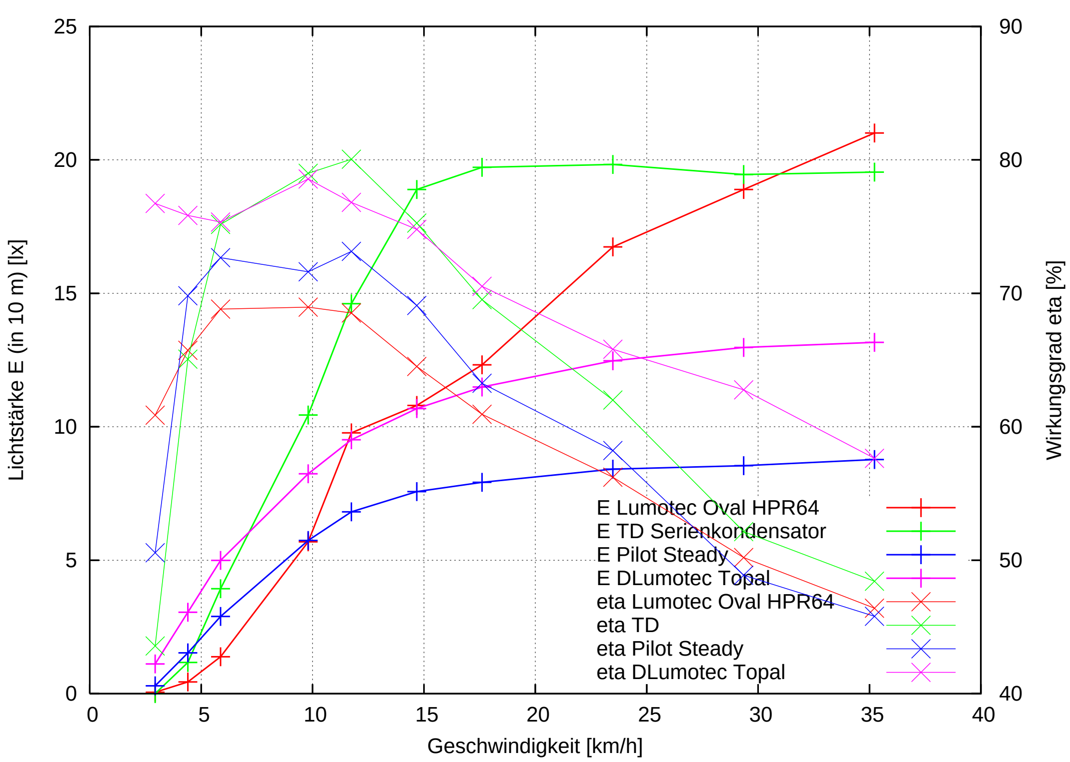


Bild 2.30: Beleuchtungsstärke und Wirkungsgrad SON28 mit realen Lasten

Aber eigentlich interessiert nicht der Wirkungsgrad sondern wieviel Helligkeit pro mechanisch erbrachte Leistung [lx/W] man generieren kann. Das kann Bild 2.31 verdeutlichen.

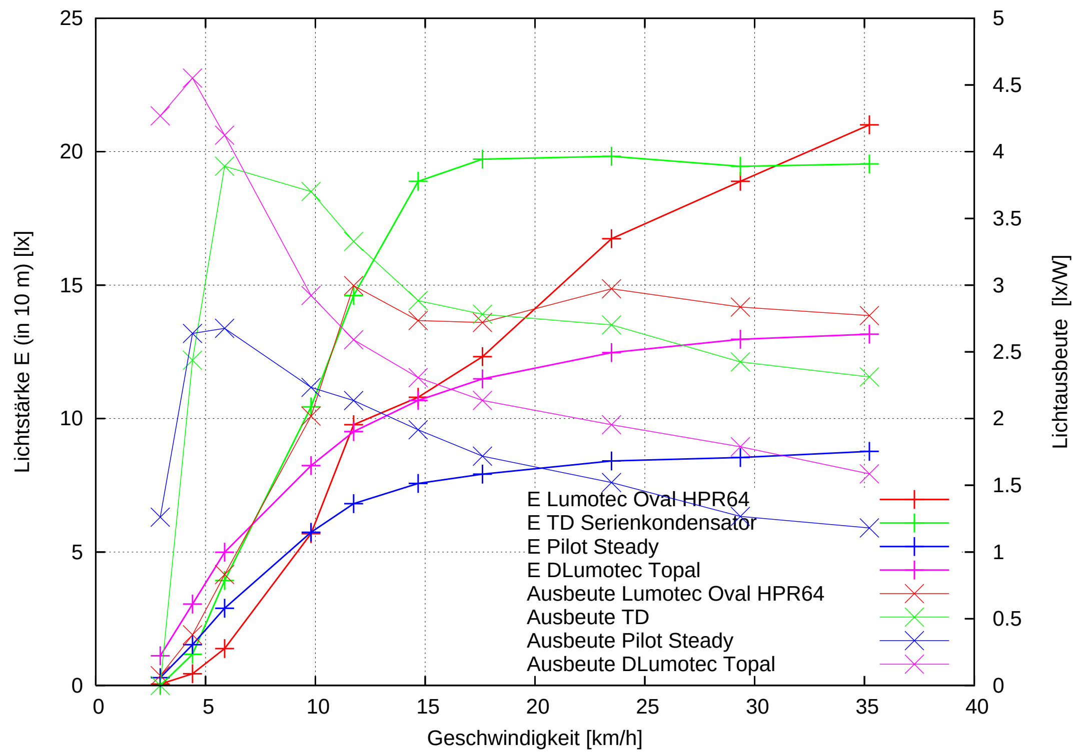


Bild 2.31: Ausbeute und Beleuchtungsstärke SON28 mit realen Lasten

Ein weiterer SON28 ist im Kapitel F.2.3 (s.S. 503 ff.) ausführlich behandelt.

2.2.4.8.6 SON XS Ein erster funktionsfähiger Prototyp des SON für das Brompton mit seinem kleinen Einbaubmaß war auf der ifma 1999 zu bewundern. Das Gehäuse ist das der alten Bauform, nur schmaler. Ein Probefahrt bestätigte die hohen Erwartungen. Der Start der Serienproduktion des Brom-SON, dann mit dem kleinen Gehäuse, ist für den Herbst 2000 geplant.

Der folgend SON XS wurden im Rahmen eines Artikels für die ProVelo im April 2003 vermessen.[61] Den Artikel hat Andreas Oehler geschrieben, erschienen ist der dann in der zweite Ausgabe der FahrradZukunft (www.fahrradzukunft.de)[62]. Es war ein Nullserienprodukt und lief insofern außer Konkurenz mit, deswegen auch nur ein Exemplar. Als Vorserienexemplar brachte er noch 412 g auf die Waage, die Serie liegt bei ca. 390 g.

[61] Testteam: Andreas Oehler, Dr. Wangemann von Renak und Olaf Schultz.
[62] http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm

Tabelle 2.47: Meßdaten Nullserie SON XS

f	v	$R_a = 1\,\mathrm{M}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[Hz]	[km/h]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
10		10,18	0,79			5,15	58,12		
20		20,40	1,94			6,37	50,45		
30		31,06	3,32			6,75	43,21	12,47	57,72
50		52,10	6,80	0,60	8,30	7,05	33,28		

Als Laufraddurchmesser werden 486 mm angenommen. Die Meßergebnisse der Serienexemplare werden im folgenden aufgeführt.

2004 war dann der SON XS wirklich auf den Markt. Die Zulassungsnummer ist ~~~K439.

Tabelle 2.48: Meßdaten XS (Laufradumfang 1540 mm)

v	$R_a = 800\,\mathrm{k}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$		$R_a = 29\,\Omega$	
	U	P	I	P	U	η	U	η	U	η
[km/h]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]	[V]	[%]
10	9,50	0,20	0,57	1,21	5,16	69,82	7,31	79,77	7,50	79,16
20	19,02	0,80	0,58	2,61	6,53	67,66	10,88	78,83	12,20	78,72
30	28,31	1,33	0,60	3,93	6,95	54,33	12,51	65,13	14,70	71,55
50	47,80	3,22	0,62	6,55	7,18	46,14	13,93	61,50	16,46	65,36

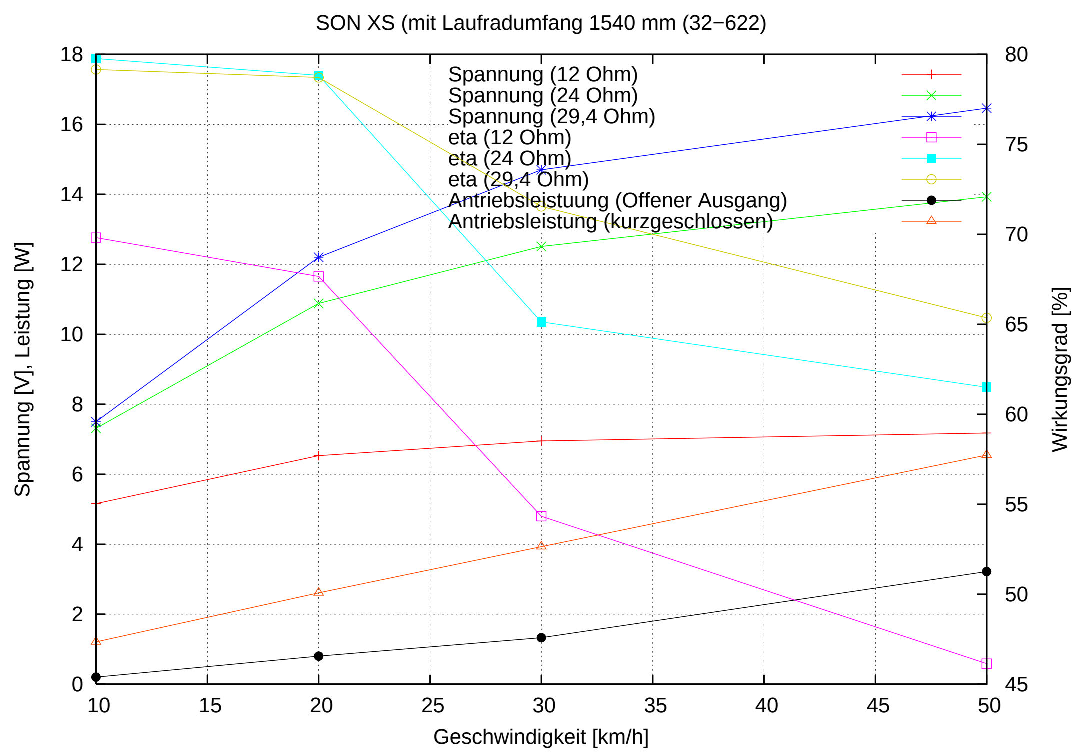


Bild 2.32: Meßdaten SON XS (004)

Dieser frühe XS hat einen Gleichstromwiderstand von 2,9 Ω.

2.2.4.8.7 SON XS100 Ist die XS-Variante des SON mit 100 mm Einbauweite. Und wiegt 399 g.

Hier wird ein XS100 getestet, der ca. 1200 km in einem 28″-Rennrad-Vorderrad eingefahren ist, getestet.

Die Leerlaufspannung liegt bei ca. 0,66 Vh/km.

Tabelle 2.49: Meßdaten XS100 (Laufradumfang 2140 mm)

v	f	$R_a = 800\,\mathrm{k}$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P	I	P	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
6	10,0	3,91	0,13	0,54	1,00	2,76	72,56	3,27	72,21
9	15,0	5,89	0,13	0,57	1,18	3,81	72,33	4,77	73,75
12	20,0	7,75	0,26	0,58	1,23	4,67	70,63	6,16	76,77
15	25,0	9,82	0,43	0,58	1,39	5,23	70,87	7,14	76,27
18	30,0	11,61	0,38	0,58	1,66	5,66	69,17	8,24	74,86
20	34,2	–	–	0,60	1,75	5,98	67,73	8,93	75,58
24	40,0	15,39	0,85	0,60	2,12	6,22	62,65	9,78	72,66
30	50,0	19,26	1,28	0,60	2,43	6,52	59,06	10,96	73,00
36	60,0	22,61	1,64	0,61	3,17	6,75	54,65	11,67	67,29
49	82,9	32,10	2,48	0,62	3,89	7,04	51,86	12,89	64,96

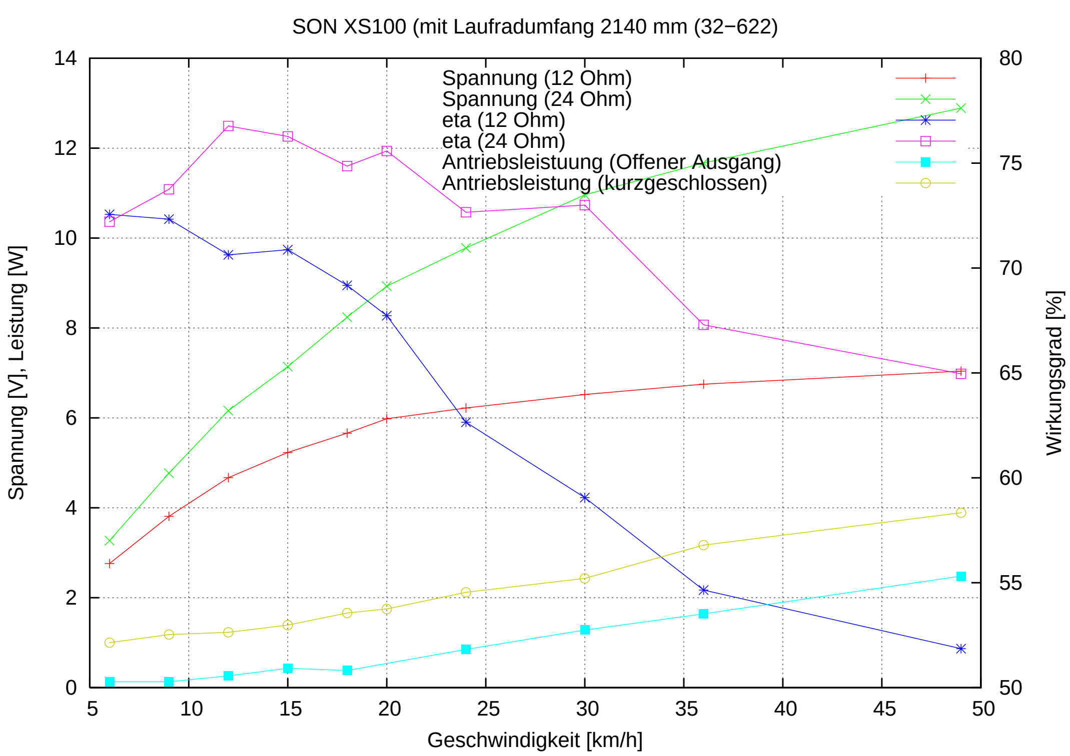


Bild 2.33: Meßdaten SON XS100

2.2.4.8.8 SON XSM Der SON XSM ist die Version des SON XS für einseitige Aufhängung für Trikes. Er verfügt über einen Flansch zur Aufnahme von Scheibenbremsen nach IS2000-Standard. Elektrisch sollte er dem SON XS vergleichbar sein. Die Markteinführung ist für Herbst 2006 geplant. Erste Prototypen sind auf der Spezi 2006 gesichtet worden und werden derzeit im Alltagseinsatz getestet.

Es existieren mehrere Ausführungen der Achsaufnahme für unterschiedlichste Trike. Kompatible sind derzeit: HP-Velotechnik Scorpoon, Anthrotec, . . .

2.2.4.9 Shimano

Auch Schimano hat inzwischen (Frühjahr 2000) mehrere Nabendynamos im Program. 2005 wird's dann endlich undurchsichtig aufgrund der Modellvielfalt. Elektrisch sollten innerhalb der Gruppen die Unterschiede vernachlässigbar sein.

Bei den ersten Modellen HB-NX10 und HB-NX30 wird ein Schalter (SW-NX10) für die Montage am Lenker mitgeliefert. Dieser hat ein nettes Innenleben. Der Autor hat noch nie so viel „sinnlose" diskrete Elektronik auf einem Haufen gesehen (vgl. Bild 2.34) und hoffentlich das Schaltbild richtig zurück gelesen.

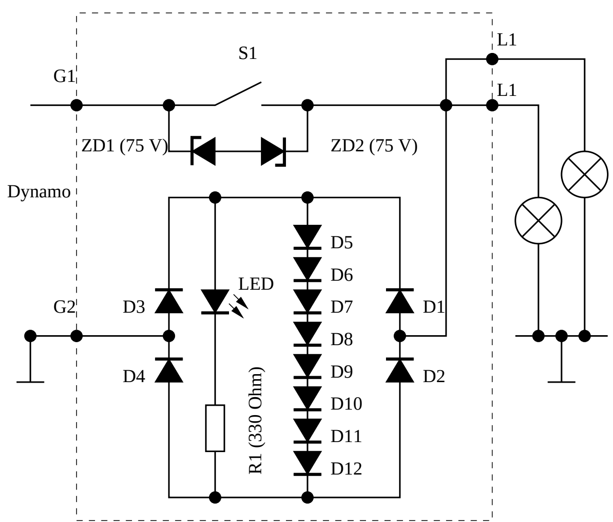


Bild 2.34: Schaltbild vom Innenleben des Inter-L Schalters SW-NX10

Funktionsanalyse des Schaltbildes:

- Die Z-Dioden ZD1 und ZD2 kappen die hohen Spannungsspitzen im Leerlauf auf $U_{SS} \approx 76\,\mathrm{V}$. Diese treten beim HB-NX 10 erst ab ca. 100 km/h auf.

- Die Dioden D1...D4 bilden einen Vollbrückengleichrichter, der
  - die Dioden D5...D12 dienen der Spannungsbegrenzung der LED-Versorgung auf ca. 4,8 V. Bei einer LED-Durchbruchspannung von ca. 2 V fallen an R1 2,8 V ab. Mit 330 Ω ergibt das ca. 8,5 mA.
  - Zusammen mit D5...D12 bilden D1...D4 eine Spannungsbegrenzung von ca. 6 V: Ab der Durchbruchspannung wird der Pfad L1/G2 niederohmig und damit kurzgeschlossen.

Shimano war wohl eine entsprechende Z-Diode zu teuer. Was aber auch sein kann: In Japan sind nach Schilderungen von europäischen Radfahrern, die eine Zeit lang in Japan waren, Räder mit Frontscheinwerfer eher selten, dafür aber mit Rücklicht und Nabendyamo relativ häufig anzutreffen. Da kann man dann mit dem Schalter den HB-NX10 verwenden, ohne daß das Rücklicht durchbrennen wird.

Bild 2.48 gibt der Verlauf des Widerstandes und der Stromaufnahme des Schalters wieder. Die Meßwerte im Bereich über 7 V können unterschiedlich ausfallen, da dort schon nennenswert Wärme in den Dioden freigesetzt wird und sich dann deren Kennwerte verändern.

Seit dem Frühjahr 2000 ist auch ein automatischer Schalter (SW-NX30) auf dem Markt. Dieser wird z.B. an der Bremsbolzenbohrung der Vorderradgabel montiert. Er kann mit einem Schiebeschalter in den Stellungen Aus, Ein und Automatik betrieben werden. Der nach unten gerichtete Sensor schaltet in der Position Automatik bei einer relativ vernünftigen Schwelle das Licht ein bzw. aus. Ob die Fettpackung des Schalters und die leicht aufbrechbare Ultraschallverschweißung sowie die Schraubenlöcher hinreichend wasserdicht sind wird sich mit der Zukunft zeigen, in der angedachten Positon ist auf jeden Fall häufig mit horizontalem Spritzwasser zu rechnen. Inzwischen sind im Bekanntenkreis jedenfalls mehrere SW-NX30 sowohl am HB-NX30 wie am SON mit durchgebrannten bzw. sogar ausgelöteten Leistungshalbleitern ausgefallen.

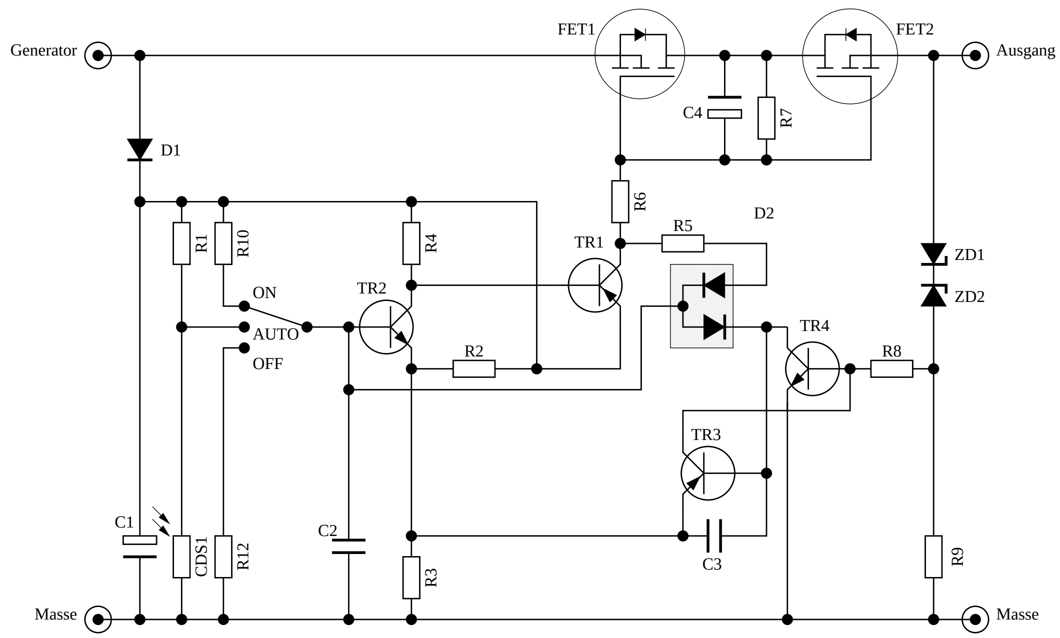


Bild 2.35: Schaltbild vom Innenleben des SW-NX30

Die Spezifikation der Bauteile ist, soweit verfügbar, in der Tabelle 2.50 aufgeführt.

Tabelle 2.50: Bauteilliste SW-NX30

Baut.	Wert	Baut.	Wert	Baut.	Typ
R1	270 k	R10	100 k	TR1, 3	PNP ZY
R2	5,6 k	R12	1 M	TR2, 4	NPN BR
R3	5,6 k			FET1,2	K2504
R4	10 k	C1	47 µ/50V		
R5	270 k	C2	1,2 nF	ZD1,2	6,8 V
R6	1 k	C3	220 nF	D1	D2 9H
R7	10 k	C4	22 µ/35V	D2	
R8	3,3 k				
R9	1,5	J1	0 Ω	CDS1	LDR

Die Schutzdioden ZD1 und ZD2 können sicherlich nicht überschüssige Leistung im nennenswerten Umfang verbraten, aber dafür ist dann der Spannungsabfall über den Widerstand R9, der via TR4 etc. die FET-Stufe beeinflußt.

An einem gebrauchten SW-NX30 gemessen ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- An einem Frequenzgenerator mit Verstärker (kein Fahrraddynamo!) bricht ab einer Eingangsspannung von 6,99 V_{eff} (bei 50–1000 Hz) die Ausgangsspannung, dann 6,22 V_{eff} an 12 Ω, zusammen und erholt sich erst, nachdem die Eingangsspannung über ca. 1 s fast auf 0 V reduziert wird.

- Die FET-Schaltung hat durchgesteuert bis 1 A einen Gleichstromwiderstand von ca. 0,37 Ω.

Das Schaltverhalten, nach Überspannung während der Fahrt abzuschalten und erst nach Stillstand wieder einzuschalten wird unabhängig von mehreren Benutzern angegeben (Quelle: de.rec.fahrrad, November 2000).

2.2.4.9.1 DH-F703 SB Der Shimano DH-F703 SB (~~~K649) ist ein 6 V/3 W-Dynamo mit 74 mm Einbaubreite für Falträder, wie z.B. das Brompton. Zugelassen für Laufraddruchmesser von 400-536 mm.

2.2.4.9.2 HB-NX10 Der Shimano Inter-L aus der Nexusgruppe hat die Bezeichnung HB-NX10. Die Zulassungsnummer ist K10916. Der Dynamo wird durch das US-Patent 5828145 (27.10.1998) geschützt.

Zur Zeit (Mai 1999) ist er nicht mehr gelistet. Anscheinend wird die Markteinführung des Nachfolgers vorbereitet.

Die Auswertung der Meßdaten ergibt, daß die gemessenen mechanischen Leistungen zwischen 10,3 und 25,9 km/h i.d.R. zu hoch liegen. Der Wirkungsgrad wird dadurch um ca. 7 % gedrückt. Hier zeigen sich deutlich die Grenzen des verwendeten Verfahrens zur Leistungsbestimmung.

Tabelle 2.51: Meßwerte HB-NX 10

v	n	$R_a = 10\,\mathrm{M}\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
[km/h]	[1/min]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
6,2	48	6,2	1,49	0,62	2,68	4,8	56,34	5,1	44,46
10,3	80	9	3,05	0,70	3,72	5,0	38,72	6,5	39,42
16,2	125	14,2	5,51	0,66	4,88	6,1	36,58	8,8	47,35
20,7	160	16,9	6,55	0,66	3,87	6,35	35,80	9,7	43,75
25,9	200	19,5	9,30	0,66	4,46	6,79	44,71	10,69	47,23
32,3	250	23,9	11,25	0,65	4,88	6,96	42,16	11,49	46,96
40,7	315	26,8	14,47	0,65	5,56	7,08	40,33	12,11	44,79
51,7	400	31,6	17,85	0,65	7,44	7,18	33,04	12,65	44,2
64,7	500	36,1	22,50	0,65	9,58	7,32	29,88	13,17	40,54
103,4	800	48,8	36,59	0,68	14,88	7,78	25,57	14,46	35,57
161,6	1250	62,7	53,92	0,67	21,62	–	–	–	–
206,9	1600	73,4	66,34	0,67	27,07	7,82	15,79	14,9	24,78
323,3	2500	93,4	102,73	0,67	41,84	7,81	9,30	14,84	14,35

v	$R_a = 29{,}4\,\Omega$		orig. Schalter&$R_a = 12\,\Omega$	
[km/h]	U	η	U	η
6,2	5,2	39,84	2	10,98
10,3	7,0	37,05	4,95	38,13
16,2	9,7	46,14	5,66	40,30
20,7	10,7	42,45	5,82	36,49
25,9	11,86	43,40	5,97	34,72
32,3	12,91	49,04	6,02	31,69
40,7	13,75	47,37	6,07	26,21
51,7	14,47	43,56	6,14	22,23
64,7	15,23	41,82	6,27	22,02
103,4	16,98	38,53	6,49	16,85
161,6	–	–	6,46	11,51
206,9	17,89	28,08	6,44	9,93
323,3	17,6	16,05	6,38	5,61

Nach den Wirkungsgradmessungen ist es ab ca. 25 km/h sinnvoller, mit Licht als ohne zu fahren. Noch sinnvoller ist es, ab 11 km/h den Dynamo kurzzuschließen. Dann spart man sich bei 30 km/h satte 5 Watt Verlustleistung!

Erst ab ca. 65 km/h weist der HB-NX10 kurzgeschlossen geringere Leerlaufverluste als der 28″-SON. Mit offenem Ausgang liegt dieser Punkt erst bei ca. 200 km/h vor.

2.2.4.9.3 HB-NX20 Der HB-NX20 ist ein 6 V/2,4 W-Dynamo mit Schnellspannachse. Als Lochzahlen sind 28, 32 und 36 Loch verfügbar.

2.2.4.9.4 HB-NX21 Der HB-NX21 ist ein 6 V/2,4 W-Dynamo mit Vollachse. Als Lochzahlen sind 28, 32 und 36 Loch verfügbar.

2.2.4.9.5 HB-NX30 Der Nachfolger des NX10 ist der NX30 (~~~K164). Er hat nicht nur eine neue Außenform (vergleichbar den Trommelbremsen von Sturmey Archer oder Sachs), sondern auch ein reduziertes Gewicht von 715 g. Ebenso ist eine stabilere Achse (Außendurchmesser 10,6 mm im belasteten Bereich), nun als Hohlachse für Schnellspanner verfügbar, eingebaut. Die Lochzahl ist wahlweise 32 und 36 Loch. Der Steckanschluß ist nun zweipolig. Allerdings kontaktiert die Masse nur über eine Klemmverbindung die Spule und der Drahtanschluß ist nur mit einem Knebelanschluß ohne einen richtigen Stecker vorgesehen, die relativ bewährten Flachstecker sind nicht vorgesehen (und auch nicht ohne Bastelarbeiten nachrüstbar). Als Kabel können solche mit maximal 0,8 mm Drahtdurchmesser und 1,8–2 mm Isolierungsdurchmesser verwendet werden (AWG 22)[63]. Nach der Tabelle Y.1 sind daß 0,644 mm bzw. 0,33 mm^2, und damit weniger als die nach der, in Abstimmung befindlichen, TA 4 geforderten 0,4 mm^2. Der Unterschied zwischen dem Kabeldurchmesser von 0,8 mm und der Drahtstärke von 0,644 mm ist dadurch erklärbar, daß die AWG für einen Draht angegeben wird. Ein Kabel aus Litze (mehrere Einzeldrähte) hat aber einen Anteil an Luft, der mitunter groß sein kann.

Die Dichtungen sind vom NX10 übernommen. Der NX30 hat 11 Kugeln in den Konuslagern. Das Alu von Nabenhülse und Nabendeckel hat Festigkeitseigenschaften, welche denen von Butter ähnlich sind. Es muß schon einen Grund haben, warum Shimano statt der üblichen 2,5–3 mm 4,5 mm Material zwischen Speichenloch und Außendurchmesser vorsieht.

Zusammen mit dem HB-NX30 kommt auch von Shimano (zusammen mit bumm) ein Sensor, der das Licht selbsttätig einschaltet. Hm, erinnert so ein kleines, „winziges Schlöckchen“ an den JOS EP95. Wurde da etwa schon wieder abgeguckt? Mal sehen wie die mit den hohen Leerlaufspannungen zurechtkommen.

Das LTI hat den HB-NX30 mit 66 % bei 15 km/h (berechnet auf 730 mm Laufradumfang) gemessen.

Die Wirkungsgradmessungen werden entgegen den bisherigen (Diätwaage) mit eine Federwaage (Pesola) vorgenommen. Es werden zwei Modelle getestet: Einer mit Voll und einer mit Hohlachse. Bei dem mit Hohlachse wird die Schnellspannerkraft verändert, was allerdings keine nennenswerten Auswirkungen auf den Wirkungsgrad zeigt. Die Messungen werden mit der Zusatzmasse J_Z durchgeführt.

[63] AWG= American Wire Gauge

Tabelle 2.52: Meßwerte Wirkungsgradmessung NX30 (Vollachse)

v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M}\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
6,2	6,31	0,7	0,59	1,7	3,67	51,3	4,99	52,1
10,3	9,9	1,4	0,61	2,2	5,09	61,8	7,39	53,1
16,2	15,35	2,8	0,62	2,9	6,04	54,1	10,37	57,2
20,7	18,5	3,9	0,61	3,4	6,19	48,8	11,61	55,0
25,9	22,52	5,4	0,61	4,0	6,37	45,5	12,73	54,9
32,3	28,25	7,3	0,63	4,6	6,49	44,4	13,68	57,1
40,7	33,8	10,1	0,63	5,3	6,6	41,3	14,29	53,9
51,7	41,1	14,5	0,63	7,1	6,66	34,3	14,79	48,8
64,7	50,5	19,5	0,63	8,6	6,71	29,9	15,17	46,8
103,5	72,5	35,0	0,63	14,1	6,77	21,4	15,63	37,2
206,9	116,7	72,9	0,63	31,3	6,83	11,9	15,93	21,5

Tabelle 2.53: Meßwerte Wirkungsgradmessung HB-NX30 (Hohlachse)

v	$R_a = 0{,}8\,\mathrm{M}\Omega$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 29{,}4\,\Omega$	
[km/h]	U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
6,2	6,63	1	0,59	2,1	3,66	44,7	5,0	43,3
10,3	9,93	2	0,61	2,8	5,11	46,4	7,4	46,9
16,2	15,37	3,6	0,63	3,7	6,09	45,9	10,39	51
20,7	18,5	5,1	0,63	4,5	6,32	42,7	11,7	49,7
25,9	22,52	6,7	0,63	5,6	6,51	40,1	12,89	49,0
32,3	28,17	9,1	0,64	7,0	6,63	35,0	13,85	46,8
40,7	33,78	12,1	0,63	7,7	6,69	32,7	14,49	46
51,7	41,3	16,4	0,63	9,4	6,79	28,7	15,04	43,1
64,7	50,7	23,2	0,64	13,0	6,87	22,9	15,49	37,3
103,5	72,1	43,9	0,64	23,1	6,89	14	15,91	26,9
206,9	118,3	86,3	0,63	43,1	6,92	7,9	16,23	17,7

Die Serienstreuung des Wirkungsgrades ist erheblich. Dies kann an den schwer einstellbaren Konuslagern der Dynamos liegen. Zumindest spricht dafür die Messung eines, hier nicht aufgeführten, NX30, bei dem nach der Demontage (Neugier siegt, aber Alu ist weich) und Wiedermontage mit gefühlsmäßig[64] korrekt eingestellten Konuslagern ein bedeutend höherer Wirkungsgrad vermessen wurde als vorher. Erst durch ein starkes Vorspannen der Lager konnte der Wirkungsgrad auf den vor der Demontage gemessenen Wert heruntergezogen werden. Auch ein wiederholte Demontage und Inspektion ergab keine andere Erklärungsmöglichkeit für diese Erscheinung. Dies wird durch weitere Untersuchungen an anderen HB-NX30 unterstützt.

[64] Nein, das Ei ist nicht hart.

Wenn man ohne Licht fahren möchte, so lohnt es such beim NX30 ab etwa 18 km/h den Dynamo kurzzuschließen.

2.2.4.9.6 HB-NX31 Der HB-NX31 ist der HB-NX30 mit Vollachse. Als Lochzahlen sind nur 36 Loch verfügbar.

2.2.4.9.7 HB-NX32 Diese drei HB-NX32 (~~~K164) wurden im Rahmen eines Artikels für die Pro-Velo im April 2003 vermessen.[65] Den Artikel hat Andreas Oehler geschrieben, erschienen ist der dann in der zweite Ausgabe der FahrradZukunft (www.fahrradzukunft.de)[66]. Das Gewicht liegt bei ca. 731 g und damit geringfügig über dem des HB-NX30.

Tabelle 2.54: Meßdaten HB-NX32

v	f	$R_a = 1\,M$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
HB-NX32 1									
10	17,6	10,20	1,27			5,28	53,68		
20	35,2	19,00	3,80			6,58	49,68		
30	52,9	27,30	7,13			6,88	43,63		
50	88,2	42,50	14,36	0,62	7,50	7,07	34,34		
HB-NX32 2									
10	17,6	9,80	1,72			5,12	49,63		
20	35,2	18,70	4,38			6,35	45,81		
30	52,9	26,50	7,68			6,60	37,21		
50	88,2	41,30	15,36	0,60	8,96	6,81	30,04		
HB-NX32 3									
10	17,6	10,20	1,46			5,26	53,27		
20	35,2	19,00	4,01			6,57	49,04		
30	52,9	27,20	7,46			6,85	44,90	12,26	54,67
50	88,2	42,10	15,36	0,61	8,23	7,07	32,37		

Als Laufraddurchmesser werden 702 mm angenommen.

2.2.4.9.8 HB-NX50 Der NX50 ist der NX30 mit Montagemöglichkeit der Rollerbrake. Die Rutschkupplung ist im Gehäuse integriert. Erste Bilder sind im Mai 2000 aufgetaucht; mal sehen, wann er

[65] Testteam: Andreas Oehler, Dr. Wangemann von Renak und Olaf Schultz.
[66] http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm

im Handel erhältlich ist. Er wird dann die Low-Cost-Variante zum SON mit Scheibenbremse darstellen. Aber wirklich nur Low-Cost, da die Rollerbrake weder Wartungsfrei noch leistungsstark ist (bei schweren Fahrern oder mit viel Gepäck rutscht die Kupplung zu schnell durch). Von den anderen erwähnten Nachteilen gegenüber den SÖNen ganz zu schweigen. Als Lochzahl steht nur 36 Loch zur Verfügung. Es gibt eine Hohlachs und eine Vollachsversion.

2.2.4.9.9 HB-NX60 Der HB-NX60 ist die 2,4 W-Version des NX50. Er ist nur in Vollachsversion verfügbar.

2.2.4.9.10 HB-NX70 Der NX70 ist der NX30 mit Montagemöglichkeit für Scheibenbremsen nach internationalem Standard (bei den Edelgruppen führt Shimano 2002 eine Kerbverzahnung der Scheibenträger auf den Naben ein, Marktmacht rulez).

2.2.4.9.11 DH-3x30 Auf der IFMA 2004 präsentiert Schimano einen überarbeiteten Dynamo, den DH-3x30
(~~~K), x steht hier für D (Scheibenbrems) und N (Normal). Alltagserfahrungen stehen noch aus.

Gegenüber dem DH-3x70 ist es eine einfachere Ausführung mit weniger Varianten für den Massenmarkt.

Der DH-3N30 (~~~K405) wiegt in der Vollachsenversion 871 g. $R_i = 1{,}55\,\Omega$.

Tabelle 2.55: Meßdaten DH-3N30 ($D = 681$ mm)

v	f	$R_a = 1$ M		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
5	8,5	4,17	0,60	0,55	1,36	3,10	50,70	3,62	46,13
8	15	7,34	0,97	0,56	1,76	4,64	56,79	5,94	56,55
12	21,6	10,60	1,49	0,56	2,46	5,57	56,01	7,98	58,37
18	33,3	16,53	2,98	0,57	3,69	6,21	48,69	10,39	60,62
28	51	24,87	4,72	0,57	5,41	6,53	43,26	11,92	56,83
32	58	28,44	5,54	0,57	6,08	6,60	39,62	12,26	54,52
53	97	46,60	10,64	0,58	9,86	6,76	30,18	13,04	45,04
102	186	87,00	22,93	0,58	19,49	6,86	18,40	13,48	28,59

2.2.4.9.12 DH-3x70 Auf der IFMA 2003 präsentiert Schimano einen überarbeiteten Dynamo, den DH-3x70
(~~~K357), x steht hier für D (Scheibenbrems) und N (Normal). Neu sind ein geblechter Stator und geschliffene Konen. Alltagserfahrungen stehen noch aus.

Diese drei DH3-N70 wurde im Rahmen eines Artikels für die ProVelo im April 2003 vermessen.[67] Den Artikel hat Andreas Oehler geschrieben, erschienen ist der dann in der zweite Ausgabe der Fahrrad-Zukunft (www.fahrradzukunft.de)[68]

Tabelle 2.56: Meßdaten DH3-N70

v	f	$R_a = 1\,M$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P_m	I	P_m	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
DH3-N70 1									
10	17,6	10,10	0,58			5,18	59,77		
20	25,2	20,20	1,39			6,53	55,05		
30	52,9	30,60	2,30			6,85	48,59	12,73	63,52
50	88,2	50,90	4,57	0,60	6,40	7,05	39,88		
DH3-N70 2									
10	17,6	10,20	0,60			5,26	59,87		
20	25,2	20,10	1,46			6,65	54,61		
30	52,9	30,20	2,41			7,00	49,39	12,99	62,27
50	88,2	50,70	4,52	0,61	6,58	7,21	39,95		
DH3-N70 3									
10	17,6	9,70	0,62			5,14	60,03		
20	25,2	19,50	1,46			6,55	55,01		
30	52,9	29,20	2,41			6,89	48,49	12,72	62,45
50	88,2	49,10	4,54	0,60	6,31	7,11	40,21		

Als Laufraddurchmesser werden 702 mm angenommen.

2.2.4.9.13 DH-3N80 Der DH-3N80 ist der Shimano-Nabendymao im XTR-Segment, erstmals 2007 auf den Herbstmessen zu entdecken. Das Gewicht soll bei 490 g liegen.

Das Gehäuse wiegt inkl. einem Satz Kugeln 192,4 g, die linke Konusmutter 8,2 g. Der Stator inkl. rechtem Lagerschild, Kugeln, Konusmutter, Anschluß etc. 274,6 g.

2.2.4.9.14 DH-S501 Der DH-S501 (Alfine-Gruppe) wiegt komplett 573 g. Davon entfallen 220,8 g auf das Gehäuse mit einem Satz Kugelen, 13,2 g auf die linke Konusmutter. Der Stator wiegt 252 g (Achse, Sator). Das rechte Lagerschild inkl. Lagerschale wiegt 37,4 g.

Wie der DH-3N80 hat der DH-S501 eine Aluwicklung. Der DH-3N80 ist in Summe jedoch ca. 80 g leichter. Die Konusmuttern sind geschliffen.

[67]Testteam: Andreas Oehler, Dr. Wangemann von Renak und Olaf Schultz.
[68]http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm

2.2.4.9.15 Shimano DI2 Neu bei Shimano sind auf der ifma 2003 Hinterradnaben mit integriertem Dynamo zur Versorgung der elektrischen Verbraucher an Schaltung und Federung.

Im Mai 2007 steht leihweise ein DI2 (FH-C811) zur Verfügung. Auf der rechten Seite ein Kasettenfreilauf, auf der linken Seite Aufnahme für Scheibenbremsen nach IS2000. Da der Dynamo eingespeicht ist kann kein Gewicht gemessen werden.

Es ist kein Nabendyamo für Fahrradbeleuchtung, der hohe Innenwiderstand zeigt es schon. Er könnte jedoch für Dreiräder mit LED-Beleuchtung interessant sein.

Zum Aufschrauben benötigt man einen Spezialschlüssel. Zehn Rundstifte (d=10 mm) auf einem Lochkreisdurchmesser von 60 mm scheinen es zu sein. Das Werkzeug braucht einen Innendurchmesser von ca. 35 mm für den Freilauf, falls dieser nicht vor dem Losdrehen demontiert wurde. Die Rundstifte müssen ca. 5 mm aus der Platte herausschauen. Damit wäre es relativ einfach herstellbar: Blechplatte, Lochkreis anreißen, Bohren, Stifte einkleben, fertig:-) Das Schlüsselsystem scheint ein wenig von den neueren SONs abgeguckt zu sein. Ist auf alle Fälle besser als der weiche Achtkant der HB-NXe.

Aus Zeitgründen konnte er nur kurz vermessen werden. Die Wirkungsgrade bei 25 Hz und inter 0,22 A scheinen zu hoch zu sein. Hier sind wegen des zu geringen Shunt-Widerstandes die Spannung und damit der Strom nicht genau genug gemessen worden.[69]

[69] Über dem 0,01 textohm-Shunt sind da nur 1-1,5 mV abgefallen.

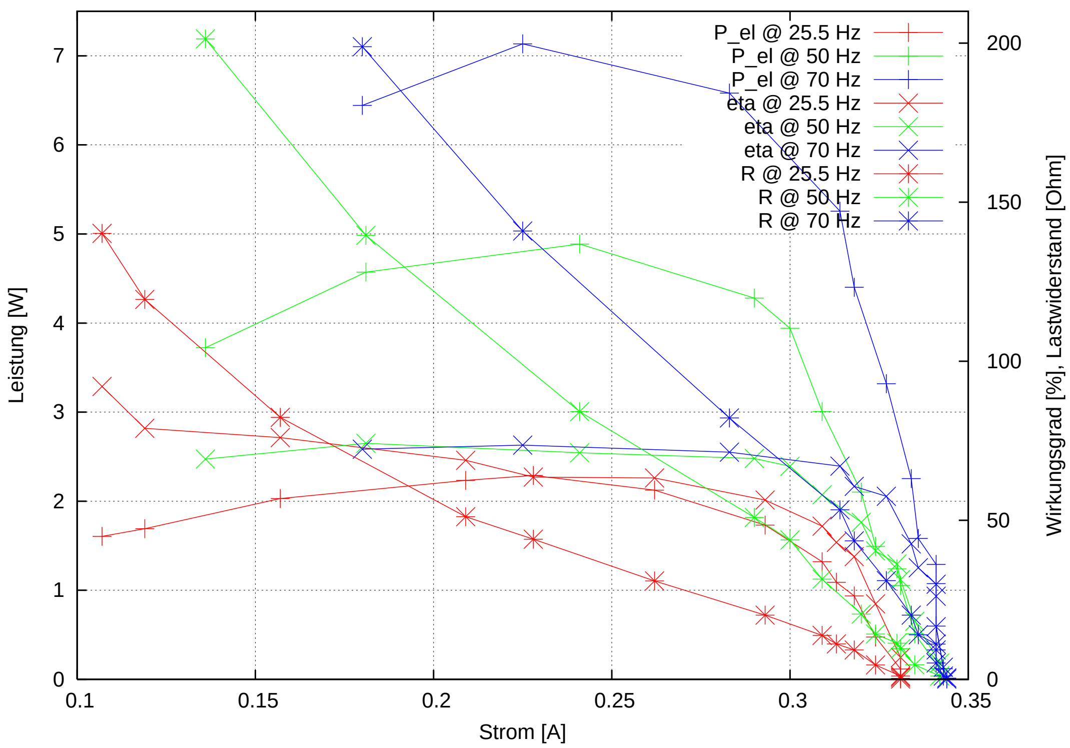


Bild 2.36: Leistungsanpassung an den FH-C811

Für den Verlauf der Antriebsleistung über Strom bzw. Frequenz können die Bilder 2.37 und 2.38 herangezogen werden.

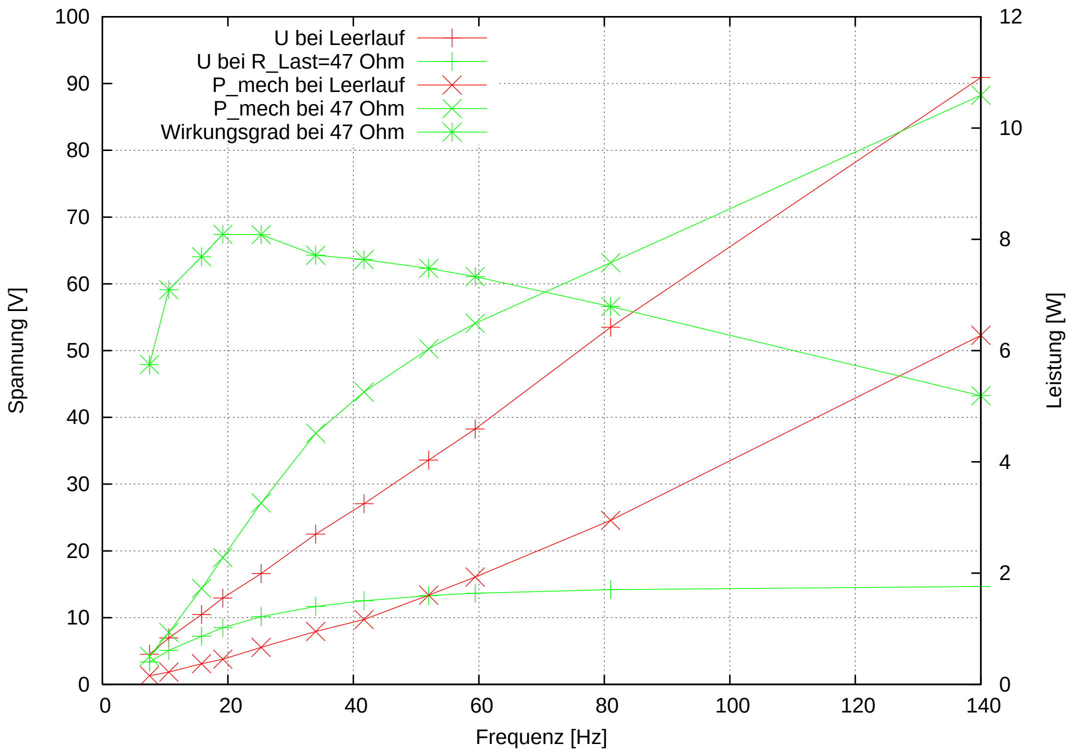


Bild 2.37: Antriebsleistung des FH-C811 in Abhängigkeit der Frequenz

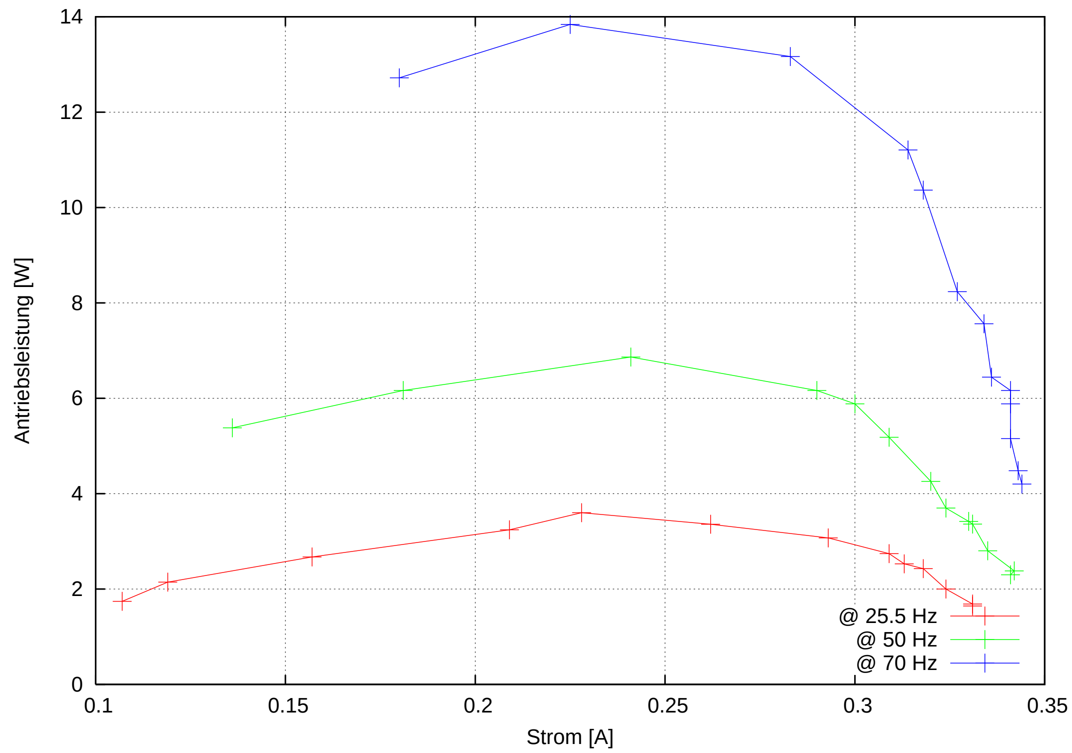


Bild 2.38: Antriebsleistung des FH-C811 in Abhängigkeit des Stromes

Wer mit den Rohdaten selber rechnen möchte: Siehe Tabelle 2.57. Die Schleppkräfte sind mit einer Federwaage (Hebelarm 100 mm) gemessen.

Tabelle 2.57: Rohdaten Leistungsanpassung FH-C811

25,5 Hz			50 Hz			70 Hz		
U	I	m	U	I	m	U	I	m
[V]	[A]	[g]	[V]	[A]	[g]	[V]	[A]	[g]
0,034	0,331	115	–	0,341	82	0,04	0,344	75
0,35	0,331	118	0,357	0,342	85	0,351	0,343	80
1,465	0,324	140	1,525	0,335	100	1,753	0,341	92
2,946	0,318	170	3,188	0,331	120	3,154	0,341	105
3,481	0,313	177	3,758	0,330	122	3,783	0,341	110
4,276	0,309	192	4,61	0,324	132	4,71	0,336	115
5,91	0,293	215	6,57	0,32	152	6,75	0,334	135
8,11	0,262	235	9,73	0,309	185	10,15	0,327	147
10,04	0,228	252	13,14	0,30	210	13,84	0,318	185
10,69	0,209	227	14,76	0,29	220	16,74	0,314	200
12,93	0,157	187	20,28	0,241	245	23,26	0,283	235
14,21	0,119	150	25,26	0,181	220	31,71	0,225	247
15,0	0,107	122	27,38	0,136	192	35,8	0,180	227
16,6	–	47	32,9	–	52	45,7	–	62

Tabelle 2.58: Rohdaten FH-C811

	0,8 MΩ		0,1 Ω		47 Ω	
f	U	m	I	m	U	m
[Hz]	[V]	[g]	[A]	[g]	[V]	[g]
7,5	4,51	37	–	–	3,37	120
10,6	6,97	37	–	–	5,09	157
15,8	10,46	42	–	–	7,21	195
19,2	12,93	42	–	–	8,5	212
25,3	16,6	47	–	–	10,16	230
34	22,5	50	–	–	11,68	237
41,7	27,06	50	–	–	12,54	225
52	33,6	55	–	–	13,29	207
59,4	38,25	58	–	–	13,65	195
81	53,5	65	0,3115	75	14,20	167
140	90,9	80	0,3114	75	14,67	135

Nun viel Spaß beim selberrechnen :-)

2.2.4.10 Shutter Precision

Shutter Precision (SP) ist seit ca. 2011 auf dem Nabendynamomarkt.

2.2.4.10.1 SP xy-8 Der SP xz-8 (SD-8, SV-8, PD8, PV-8) ist ab Ende 2011 auf dem europäischen Markt aufzutreiben. Es gibt ihn, laut Karton, in Lochzahlen 20, 24, 28, 32 und 36 als Scheibenbremsdynamo für große Laufräder (646–726 mm, Zulassung ~~~K845) und, bisher unzugelassen, für kleine Laufräder (400–546 mm). Im Code xy-8 steht x=S für kleine und x=P für große Räder und y=V für ohne Scheibenbremse und y=D für Scheibenbremse (6-er Lochkreis).

Der PV-8 wiegt ohne Schnellspanner ca. 385 g.

Der Kabelanschluß ist für blanke Litzen, ähnlich Shimano oder SRAM, vorgesehen.

2.2.4.11 SRAM

Im Herbst 2004 kommt die ersten Nabendynamos von SRAM auf den deutschen Markt. SRAM nennt sie i-Light. Unterscheiden kann man sie (Herbst 2007) wohl eher an Modelljahrgang bzw. Modellnummer. Jürgen Schlottke hat sie in den SRAM-Handbüchern über Getriebnabensysteme (Seitenzahl über 100) versteckt gefunden.[70]

2.2.4.11.1 i-Light Der i-Light (~~~K388) ist äußerlich dem Shimano DH-3N70 angelehnt. Die Lagerung erfolgt mit gedichteten Radialrillenkugellagern (NBK 6001 2RS), die Achse ist mit FG 9,5 relativ dick (hat SRAM aus dem Shimano HB-NX10 gelernt?). Das Gewicht der ersten Versionen liegt bei 847 g.

Die Drahtquerschnitt liegt bei ca. 0,5 mm^2. Es viel Kupfer verbaut, daher auch das hohe Gewicht und der nierige Gleichstromwiderstand. Dies trägt sowohl zum relativ guten Wirkungsgrad wie auch dem Gewicht bei.

Man kann neben den typischen Plastiksteckern für das werkzeuglose[71] Kabelverdrillen auch 2,8 mm Flachstecker verwenden.

Thomas Will hat für einen i-Light meßtechnisch eine Leistungsanpassung bei 9,5 km/h durchgeführt. Im folgenden seine Meßdaten.

---

[70]Wer suchet, der findet:-)

[71]So man die Zahnlücke zum Abisolieren nicht als Werkzeug ansieht.

Tabelle 2.59: Leistungsanpassung i-Light bei 9,5 km/h (Thomas Will)

R_a [Ω]	U [V]	I [A]	P [W]	R_a [Ω]	U [V]	I [A]	P [W]	R_a [Ω]	U [V]	I [A]	P [W]
0,0	0,13	0,50	0,06	12,1	4,18	0,336	1,40	27,2	5,87	0,212	1,24
0,5	–	–	0,00	13,8	4,45	0,314	1,40	29,9	6,06	0,198	1,20
1,0	–	–	0,00	15,4	4,67	0,295	1,38	32,1	6,2	0,190	1,18
2,1	–	–	0,00	18,1	5,00	0,269	1,35	33,8	6,32	0,182	1,15
3,8	1,92	0,465	0,89	19,9	5,22	0,255	1,33	35,4	6,4	0,178	1,14
5,4	2,55	0,446	1,14	21,8	5,4	0,242	1,31	38,1	6,55	0,168	1,10
8,1	3,41	0,400	1,36	22,8	5,5	0,236	1,30	39,9	6,64	0,163	1,08
9,9	3,78	0,369	1,39	23,9	5,59	0,230	1,29				
11,0	3,99	0,351	1,40	25,6	5,73	0,220	1,26				

Wenn man diese Meßwerte graphisch aufbereitet, so ergibt sich Bild 2.39

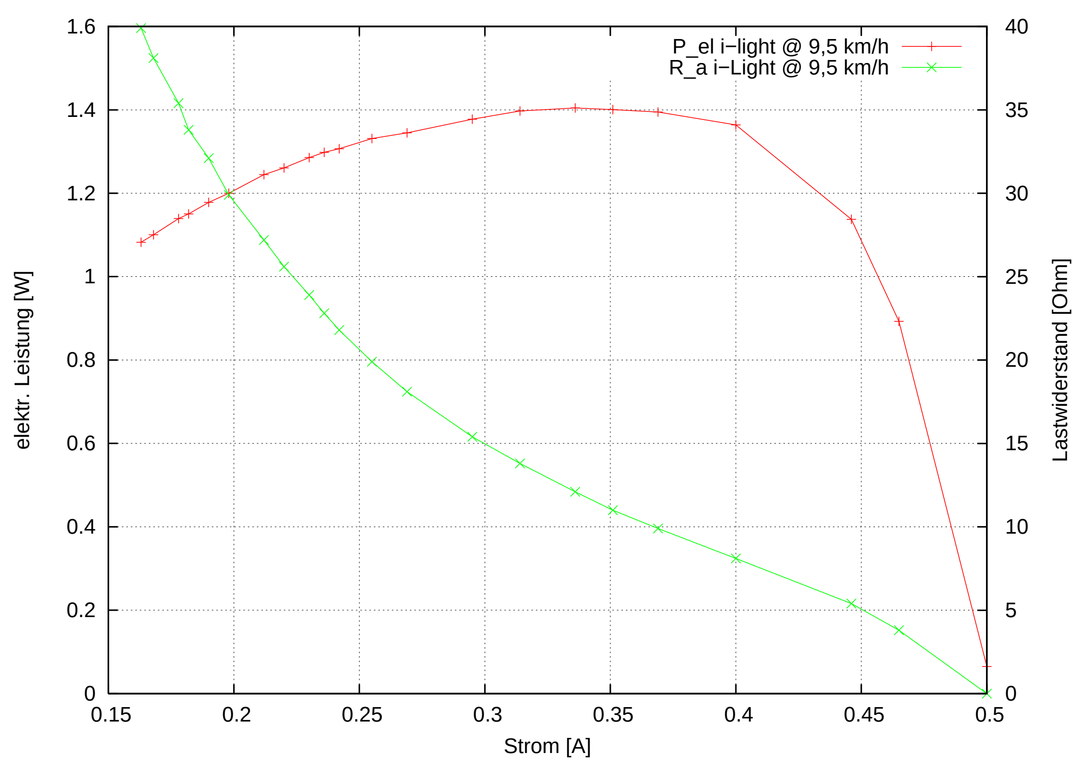


Bild 2.39: Leistungsanpassung i-Light

2.2.4.11.2 i-Light D130 Gewicht 896 g

2.2.4.11.3 i-Light D330 Bei SRAM Modelljahrgang 2007. Gabelweiter 100 mm, Vollachsengewinde FG9,5, Teilkreisdurchmesser 80 mm. Gewicht 885 g für die Vollachse und 870 g für die Hohlachse; Disc- und i-Brake-Versionen teilweise noch schwerer (950 g für i-Brake+Vollachse).

2.2.4.11.4 i-Light D330-N Modelljahrgang 2008, angeblich bei SRAM entwickelt und nicht von extern (Sanyo) hinzugekauft. Gabelweite 100 mm, Vollachse mit M9x1, Teilkreisdurchmesser 71 mm. Gewichte 602 g für die Vollachs-Version und 565 g für die Hohlachs-Version.

Es gibt angeblich einen D330-N-74 für 74 mm Einbauweite (Falt- und Kinderräder)!

2.2.4.11.5 i-Light D7 Modelljahrgang 2008 (~~~K 571), Laufradgröße 400-720 mm. Wiegt angeblich 565 g.

Die Scheibenbrems-Variante wiegt ca. 588 g.

2.2.4.12 Sturmey Archer

Die Nabendynamos von Sturmey Archer (SA) zählen zu den ersten Nabendynamos für den Massenmarkt. 2001 ist Sturmey Archer allerdings bankrott gegangen und die Dynamos werden nicht mehr hergestellt. Es gibt anscheinend mehrer Typen und Leistungsklassen. Charakteristisch ist da Gehäuse mit unterschiedlich hohen Speichenflanschen und den daruch bedingten Knopflochspeichenlöchern auf einer Seite. Es gab auch mal eine Version (Typ AG) kombiniert mit der Dreigangnabe.

2.2.4.12.1 ? Der . . . ist ein eher schwacher Dynamo mit 6 V/1,8 W. Die Verlustleistung ist vernachlässigbar. Diese Variante ist für normale Fahrradbeleuchtung zu schwach und nach den deutschen Vorschriften nicht zulässig. Mit den rechnerischen 0,3 A ist die Lampenauswahl schon eng:

- Philips Krypton mit P13,5S (Stecksockel wie bei HS3/HS4): KPR106: 3,6 V/0,3 A, 11 lm, 10 h, 10,2 lm/W; KPR816: 12,6V/0,38 A, 75 lm, 20 h, 15,7 lm/W. Die Erfahrung mit anderen P13,5S-Sockeln zeigt, daß die Wendellagern denen der HS3 ähnlich sind, also zufriendestellende Ausleuchtungen möglich sein sollten. Rückmeldungen bitte an den Autor!
- Skalenlampen mit E10-Gewinde: 6,3 V/0,3 A (Buerklin 33G226) 7 V/0,3 A (Conrad 727970, Buerklin 33G228). Bei Skalenlampen mit E10 kommen erstens nur alte Scheinwerfer infrage. Zweitens ist die Wendellage zu überprüfen.
- Glühlampen mit E10-Gewinde: 6,2 V/0,3 A (Buerklin 33G264)

Welche Lampe wo ein Optimum liefert ist zumindest dem Autor noch nicht bekannt. Wer weiß es noch? Es sind ja (leider) eher historische Daten. Wiederum könnte man den Dynamo gut als Nabendynamo in Fahrradanhängern für deren Beleuchtung einsetzen.

2.2.4.12.2 Sturmey Archer GH6 Der SA GH6 ist mit 6 V/3 W angegeben. Es ist eine neuere Variante des ..., hat sich aber nicht durchsetzen können. Ob jemals eine größere Stückzahl produziert wurde ist nicht bekannt.

2.2.4.12.3 Sturmey Archer X-FDD Neu auf der IFMA 2005 ist der X-FDD zu sehen. Nur als Kombination von Trommelbremse und Nabendynamo zu erhalten. Nur Vollachse und nur 36 Loch. Aber die Auswahl zwischen Konuslagern und Radialrillenkugellagern[72] sowie 2,4 und 3,0 W.

Die Kennlinie ist ziemlich „weich“. So scheint eine Zulassung in Deutschland derzeit ausgeschlossen.

Günther Schwarz stellte seinen neuen X-FDD mit Radialrillenkugellagern freundlicherweise im Oktober 2006 zur Verfügung.[73]

Typisch für die preiswerten Nabendynamos ist hier der Stecker, in denen abisolierter Draht eingesteckt, und dieser dann umgebogen wird. Nach dem Aufstecken des Steckers auf das Gegenstück am Dynamo wird der Kontakt hoffentlich hergestellt. Zumindest bei dem verwendeten 0,5 mm^2 LIY-H05 sollte die Litze doppelt liegen.[74]

[72] Auf der Bremsseite 6000 2RS, auf der Dynamoseite 629 2RS.

[73] Wurde mit senkrecht stehender Achse im 4-Backen-Futter auf der UWG1 vermessen. Das Dia muß noch entwickelt werden.

[74] Nur mit Pinzette oder Spitzzange und Geduld machbar, da die Isolierung wiederum nicht durch die Stecker paßt, man das Kabel also nicht weiter herausziehen kann.

Tabelle 2.60: Meßdaten X-FDD (Laufradumfang 2199 mm)

v	f	$R_a = 800\,k$		$R_a = 0{,}1\,\Omega$		$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 24\,\Omega$	
		U	P	I	P	U	η	U	η
[km/h]	[Hz]	[V]	[W]	[A]	[W]	[V]	[%]	[V]	[%]
5,2	9,2	3,58	0,45	0,70	1,25	2,75	51,87	3,15	46,13
7,7	13,7	5,30	0,83	0,72	1,47	3,87	56,00	4,53	49,62
11,0	19,5	7,35	1,42	0,74	1,69	5,00	58,68	6,08	51,82
11,6	20,5	7,89	1,56	0,75	1,67	5,25	60,41	6,48	54,04
13,8	24,4	9,08	1,98	0,75	1,82	5,71	59,43	7,27	53,95
15,3	27,0	10,06	2,37	0,76	1,87	6,05	60,79	7,89	55,11
18,4	32,5	11,62	3,07	0,76	2,04	6,48	59,62	8,81	54,96
22,2	39,3	13,75	4,15	0,77	2,21	6,91	59,89	9,84	55,29
26,4	46,6	15,82	5,23	0,77	2,40	7,25	59,94	10,74	56,51
34,6	61,1	20,06	7,87	0,78	2,82	7,71	60,24	12,10	58,54
40,2	71,1	22,48	9,53	0,78	3,01	7,89	58,73	12,69	58,12
50,1	88,6	26,51	12,58	0,78	3,51	8,12	56,69	13,49	57,89
67,8	119,8	32,53	17,80	0,78	4,59	8,35	52,16	14,36	56,34

Zehn Minuten warmlaufen bei 61 Hz reichen nicht für stabile Meßwerte aus.[75] Noch deutlicher ist der bessere Wirkungsgrad des kalten Dynamos beim nachträglichen Erheben der Meßwerte bei 20,5 und 39,3 Hz zu sehen. Die Prüfbedingungen nach TA24 sehen keine Kühlung und 30 Minuten Warmlauf vor. Das sind einigermaßen reproduzierbare Bedingungen:-) Real wiederum wird Fahrtwindkühlung wohl für einen kalten Dynamo und damit einen besseren Wirkungsgrad, sorgen.

[75]Erhebung der Meßwerte: 61,1, 119,8 und dann fallend bis 9 Hz, danach noch 13,7 und 27 Hz. Am fast kalten Dynamo dann noch 20,5 und 39,3.

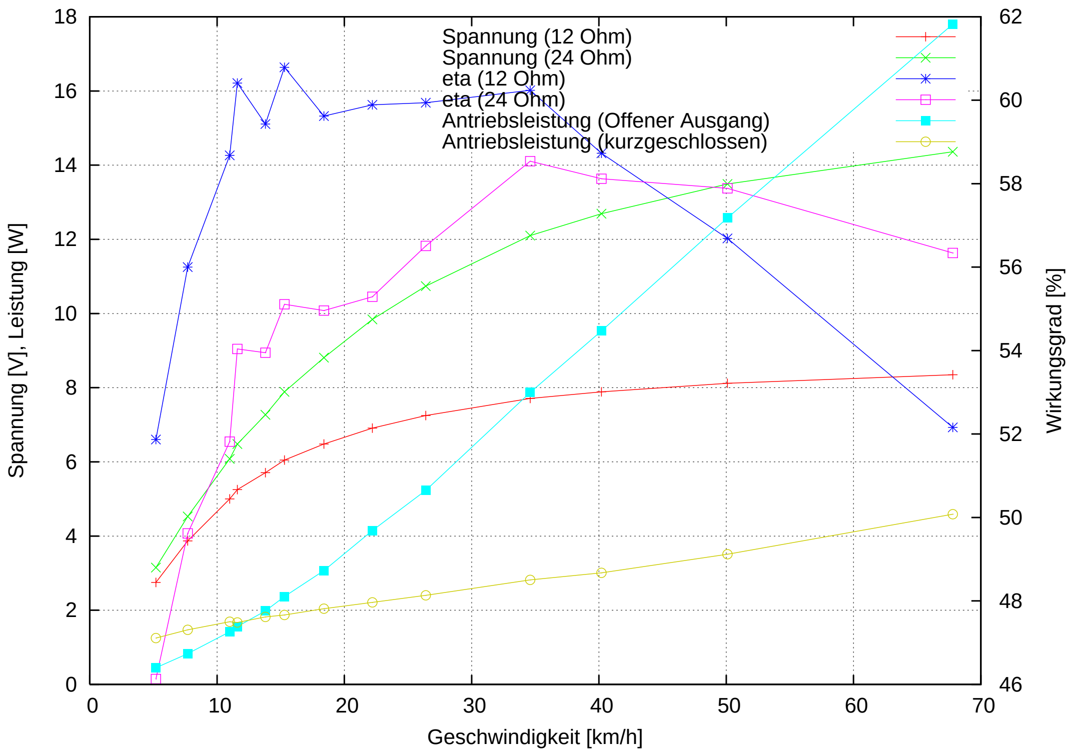


Bild 2.40: Meßdaten X-FDD

Ab etwa 12 km/h ist es also besser mit kurzgeschlossenem Dynamo als mit offenem Ausgang zu fahren.

Einige Stichpunkte zum Aufbau: Das Gewinde im Deckel ist anscheinend ein M66x1, $D_{\text{Stator}} = 53\,\text{mm}$, $b_{\text{Stator}} = 22{,}3\,\text{mm}$, $t_{\text{Statorblech}} = 3\,\text{mm}$, $D_{\text{a Magnet}} = 60{,}5\,\text{mm}$ und $D_{\text{i Magnet}} = 53{,}9\,\text{mm}$. Einige Gramm sollten sich noch durch Einsatz einer Drehbank innen rausholen lassen, viel wird's aber nicht mehr sein.

Erster Praxisbericht von Günther: Bessere Bremswirkung als eine ältere Sachs Trommelbremse (Vergleich mit akt. VT5000 derzeit nicht möglich). Der Stecker ist mistig, aber nicht unbedingt schlechter als der auf vielen anderen Nabendynamos. Ein Pol auf Masse ist lästig.

2.2.4.13 Suntour DH-CT600

Suntour kommt 2005/2006 mit (Naben-) Dynamos auf den deutschen Markt. Zumindest waren auf der ifma 2005 erste Exemplare zu sehen. Innen ist wohl eine BZW04 7V8, oder etwas ähnliches, eingebaut. Zumindest läßt dies die Begutachtung mit dem GBDSO vermuten:-) Die Spannung steigt nicht über 9,1 V, was einer 7,1V BZW entspräche. Damit ist's nicht's mit Serienscheinwerfern. Allerdings sind so auch Rücklichter bei defektem Vorderlicht geschützt.

2006 gibt die ersten mit Zulassung: ~~~K492. Der Stecker, ähnlich Shimano, für Drahtanschluß ist relativ schwergängig.

Andreas Oehler hat ein erstes Exemplar des DH-CT600 vermessen (siehe Tabelle 2.61). Den „Kurzschluß" hat er vereinfachend mit zwei antiparallelen 1N4007 dargestellt.

Tabelle 2.61: Meßdaten Suntour (Andreas Oehler)

v	$R_a = 12\,\Omega$		$R_a = 1\,\mathrm{M}$		$R_a = 0{,}6\,\mathrm{V}$
	U	η	U	P	P
[km/h]	[V]	[%]	[V]	[W]	[W]
5	3,1	42	4,1	1	
15	5,8	41	7,2	5,9	
30	6,4	32	9,2	11,8	7,5
50	6,6	31	9,5	15	

Der Stecker des CT600 ist mit dem des Dahon Joule kompatibel.

Kontakt: Wiener Bike Parts, Tel.: 09721-65010.

2.2.4.14 S'Light RND

Der RND ist ein anfänglich von DT vertriebener Nabendynamo. Er ist mit einem einstufigen Planetengetriebe versehen, welches anscheinend mechanisch komplett ausgekuppelt wird.

Der RND2 von BiSy wird aus historischen Gründen hier unter DT aufgeführt, da BiSy von DT die gesamte Produktion von Dynamos, Scheinwerfer (FL und FLE) und Rücklichtern übernommen hatte. BiSy hat diese Produkte bei der Produktspartenbereinigung 1999 abgestoßen.

Auch beim RND sind mehrfach Getriebeprobleme bekannt.

Die Besonderheit des RND ist eine Kombination aus gedruckter Spule und nachgeschalteter Drossel. In der Spule rotiert der Magnet. Die Spule ist außen mit einem, anscheinend[76] geblechten, Rückschluß versehen.

Tabelle 2.62: Kennwerte des RND

	R_i	L_i [mH]	R_S
Spule	4,38	0,280	6,01
Drossel	0,795	13,99	34,3

[76] In Kunststoff eingegossen

Der Drahtdurchmesser auf der Spule liegt bei ca. 0,6 mm, entsprechend 0,28 mm^2. Aus den ohmschen Verlusten im Kupfer ergibt sich schon, daß der Wirkungsgrad nicht besser als 70 % sein kein.

2.2.4.15 Supernova Infinity S

Der Supernova Infinity-S (~~~K843) kommt im Sommer 2012 auf den Markt. Er wiegt 399 g.

2.2.4.16 Union/Marwi Nabendynamo

Der Union/Marwi Nabendynamo wurde von Wilfried Schmidt entwickelt und durch diverse Einsparmaßnahmen von Union zu einem wartungsanfälligen Produkt umgebaut.[77] Die drei unterschiedlichen Versionen haben alle unterschiedliche Kinderkrankheiten. Falls sich ein Schaden zeigt: Nicht zu lange fahren und bei Schmidt in Tübingen nachfragen, einige Typen lassen sich preiswert reparieren, andere sind hoffnungslos pathologisch!

2.2.4.16.1 WING 1

2.2.4.16.2 WING 2

2.2.4.16.3 WING 3 Der Union 9300 hat die Zulassungsnummer ~~~K 10903. Er ist für Laufraddurchmesser 24–28 ″ zugelassen.

2.2.4.17 Vergleich der Wirkungsgradmessungen

Die Tabellen mit den Meßergebnissen sind relativ unübersichtlich und erschweren einen direkten Vergleich. Die folgenden Bilder sind aufgrund der Datenmenge leider auch nicht leicht verdaulich, lassen aber einen einfacheren Überblick zu.

Bild 2.41 zeigt den Verlauf des Leistungsbedarfes einiger Nabendynamos.

[77] Das es anders geht zeigen nun die von Schmidt gebauten Versionen, der SON.

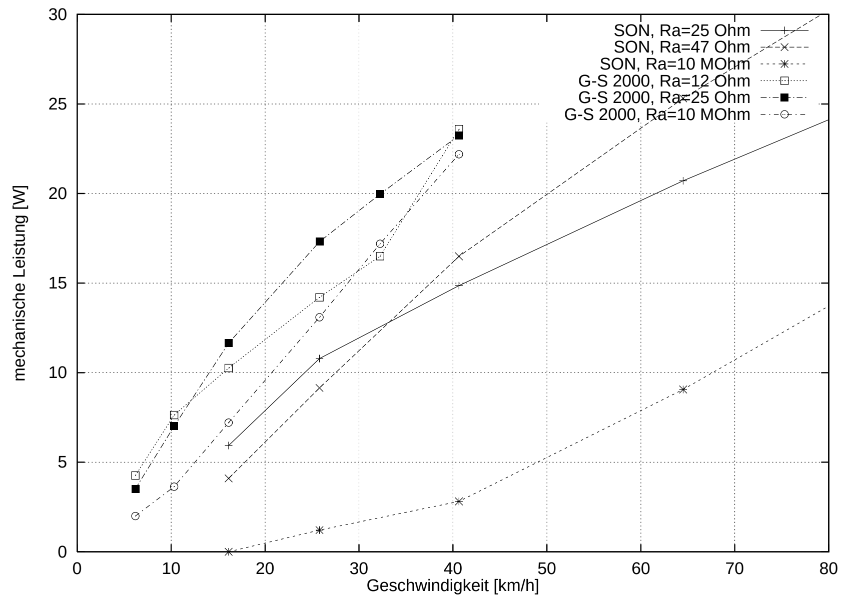


Bild 2.41: Leistungsbedarf von Nabendynamos

Bild 2.42 zeigt den Wirkungsgradverlauf.

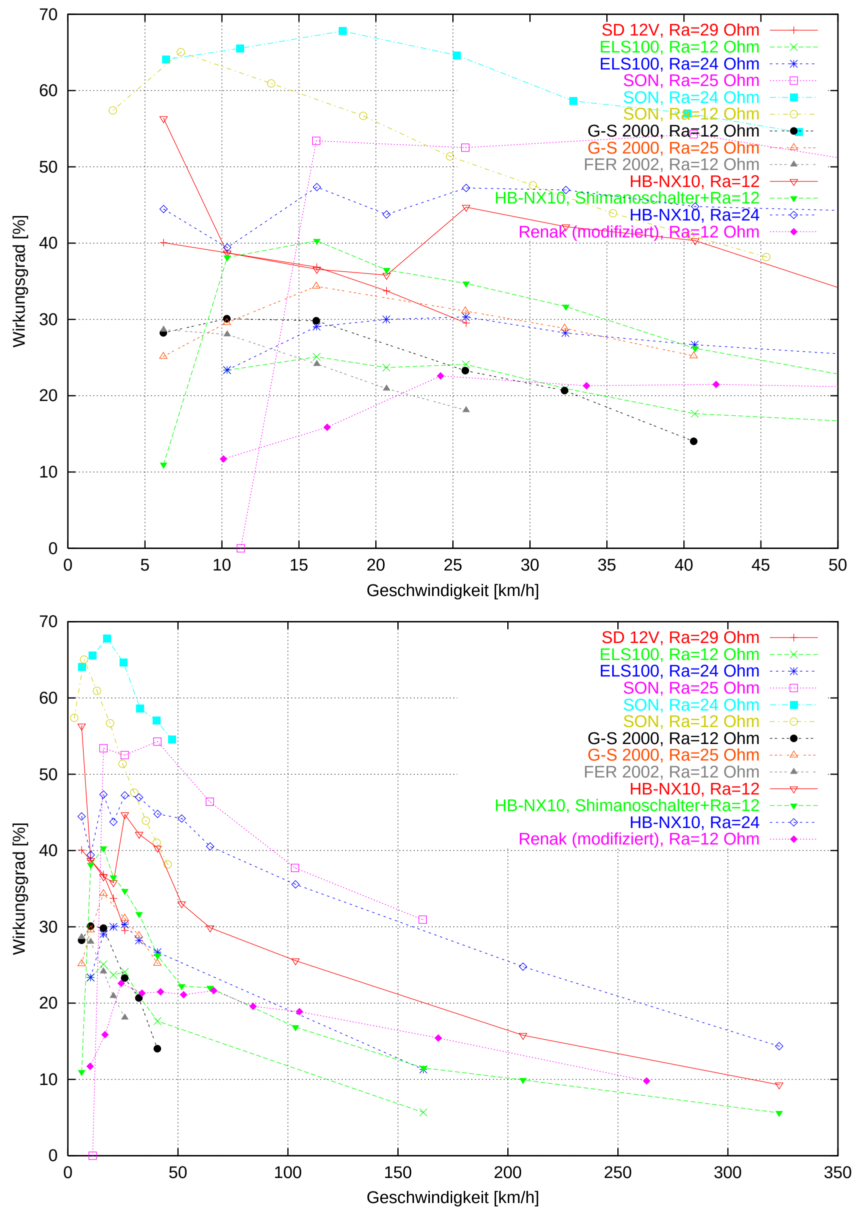


Bild 2.42: Wirkungsgrad von Nabendynamos

Als Laufradumfang werden, bis auf den Renak, 2,15 m angenommen. Der Renak hat ein modifiziertes Getriebe[78] und wird mit einem Laufradumfang von 1,32 m (Brompton) angenommen. Die Daten des SON bei 12 und 24 Ω stammen von Andreas Oehler.

[78]Eine Stufe ist überbrückt, nur noch zwei Stufen sind im Einsatz.

Der Einbruch bei 25,8 km/h müßte durch eine Eigenfrequenz des Systemes verursacht sein. Messungen von Schmidt mit $R_a = 24\,\Omega$ ergeben ein Wirkungsgrad von über 67 %.

Nach den aktuellen Erfahrungen (Nov. 99) müßten alle Meßwerte der Nabendynamos, außer HB-NX30) mit der Federwaage und der Zusatzträgheit und dem Effektivwertmeßgerät wiederholt werden. Gerade bei den niedrigen Geschwindigkeiten kann dann die Auflösung bzw. Genauigkeit verbessert werden.

2.2.5 Tretlagergeneratoren

2.2.5.1 Mando Footloose

Das Mando Footloose ist ein Faltrad mit „elektrischer Kette". Ein Generator im Tretlager versorgt einen Akku und den im Hinterrad eingebauten Nabenmotor mit 250 W.

Der Generator sitzt im Tretlagergehäuse und wird über ein zweistufiges Planetengetriebe (Gesamtübersetzug 16,45) angetrieben. Es handelt sich um einen Drehstromgenerator. Eine Platine mit recht viel diskreter Elektronik mit direkt am Tretlager wandelt den Drehstrom in einen Gleichstromzwischenkreis um.

Erste orientierende Messungen an einem Model zeigten einen Wirkungsgrad (Gleichtromgleichrichtgung mit B6 aus P600B) von 60. . . 80 % bei bis zu 240 W elektrisch bei entsprechender Leistungsanpassung bei einer Tretfrequenz zwischen 50 und 100 min. Was die Elektronik aus dem Generator herausholt wurde nicht gemessen.

Betracht man die Wirkungsgradkette: Kurbel > Gleichtrom > Laderegelung > Motorsteuerung > Motor und hat schon im ersten Punkt nur 80 %, so wird klar, daß damit keine Reichweitenwunder zu erzielen sein werden.

2.2.5.2 Schroeferl WG1

Der WG1 ist ein kleiner Drehstromgenerator zur Versorgung der Solarc. Er sitzt am Tretlager und wird über eine Zahnradstufe (300>15?) Zähne angetrieben. Bei Nichtgebrauch wird er mechanisch ausgekuppelt. Der Vorteil am Tretlager: recht konstante Drehzahl und damit optimaler auszulegen. Es ist ein Drehstromgenerator der in ein Zwischenelektronik einen 2S LiIon-Akku lädt und die Solarc betreiben kann.

Wirkungsgradmessungen wurden nicht vorgenommen.

Durch die deutliche Verbesserung der LED-Technik und mechanische Anfälligkeit nur eine kurze Einsatzzeit.

2.2.6 Zusammenfassung

Die Kennkurven einiger bisher vermessenen Dynamos sind in Bild 2.43 wiedergegeben. Während die TA24-Anforderungen sich an 12 Ω orientieren, wird hier vorzugsweise die praxisgerechte Fahrradbeleuchtung als Lastwiderstand verwendet.[79]

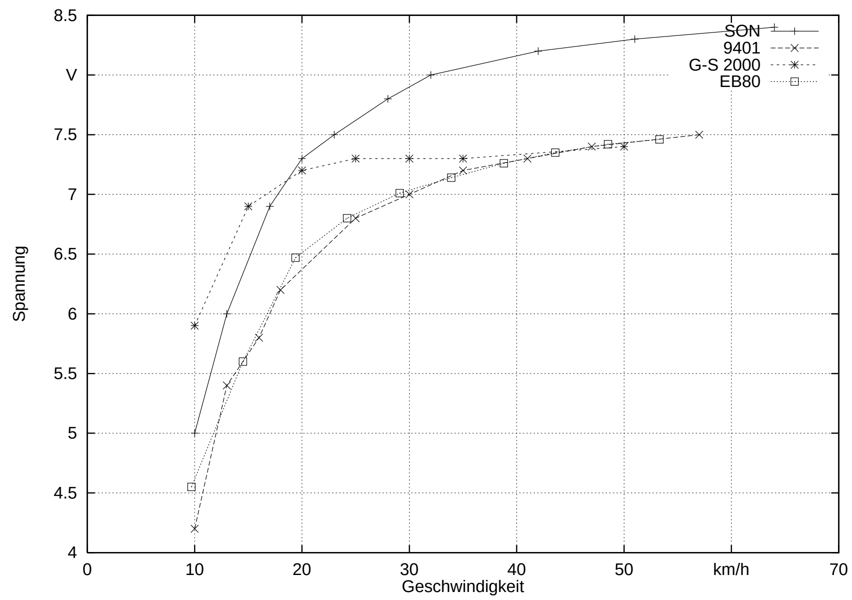


Bild 2.43: Spannung einiger vermessener Dynamos bei typ. Fahrradbeleuchtung

Die Kennkurven der Dynamos an $R_a = 12\ \Omega$ sind in Bild 2.44 wiedergegeben.

[79]Oh ha, dieser Textschnipsel stammt wohl von 1996, nun schreiben wir das Jahr 2010.

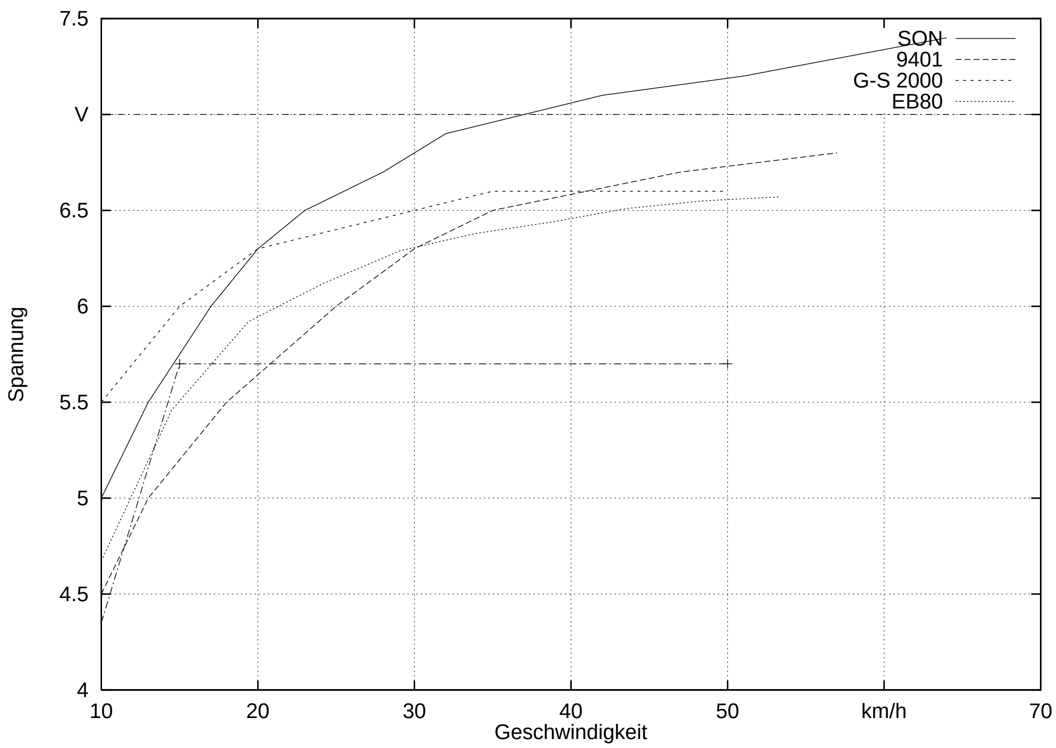


Bild 2.44: Spannung einiger vermessener Dynamos bei einem Lastwiderstand von 12 Ω

In den Tabellen 2.63 und 2.65 sind die gemessenen Kenndaten einiger Dynamos aufgeführt. Weiterhin sind die bekannten Wirkungsgrade zusammengetragen.

Eine grobe Möglichkeit die Qualität des inneren Aufbau der Dynamos von außen zu messen und zu bewerten ist der Gütefaktor. Der Gütefaktor einer Spule ist als

$$Q = \frac{1}{\tan\delta} = 2\pi \frac{W_m}{P_v T} = \omega \frac{L}{R_\mathrm{S}} = 2\pi f \frac{L_\mathrm{i}}{R_\mathrm{S}} \tag{2.36}$$

definiert. Die während einer Periode verbrauchten Verlustleistung ist $P_v T$. Das hier benutzte Meßgerät verwendet aber dafür beim Fahrraddynamo untypische Frequenzen, meistens 1591,55 Hz (s. S. 483). Auch sind bei hohen Strömen durch Sättigungseffekte andere Werte zu erwarten.

Die in der Tabelle 2.63, 2.65 und 2.68 angegebenen Wirkungsgrade beziehen sich auf eine Last von $R_\mathrm{a} = 12\,\Omega$ für 6 V-Anlagen bzw. 29,4 Ω für 12 V-Anlagen! Die elektrischen Kennwerte werden mit den unten, s.S. 484, beschriebenen Meßgeräten bestimmt.

Stark variierende Meßwerte, durch die Abhängigkeit von der Läuferstellung begründet, sind als Spanne mit min–max gekennzeichnet. Einige Dynamos werden zusätzlich ohne magnetischen Rückschluß gemessen, hier ist dann Rückschluß/ohne Rückschluß aufgeführt.

Wenn die Lagergröße nicht direkt angegben ist, so werden folgende Kurzformen verwendet: Wälzlager (W), Konus (Ko) - und/oder Radialrillenkugellager (Ku) und Gleitlager (G) verwendet.

Bei Drehstrom-Dynamos (Neco Rove, ...) sind die elektrischen Kenndaten zwischen zwei Anschlußpunkten angegeben. Es sind nicht immer Sternpunkte abgreifbar.

Tabelle 2.63: Kenndaten von Decken-/ Felgenläufer (Klauenpol)

		9401	8601	EB80	Nordlicht	LD6	RL/WQ2	8007.4
Zulassung	$\sim\sim\sim$K	10898	10879	10872	10869	10872	-	10833
m	[g]	98	200	205	265	580	295	216
Lager		G	Ku	Ku	G	Ko	G	G
d_{Reibroll}	[mm]	19	30,3	36,5	25	20	19,5	20
p	[-]	8	8	8	8	6	4	8
R_{i}	[Ω]	2,99	3,34	2,88	2,9	4,36	6,9	3,68
L_{i0}	[mH]	2,45			4,95		13	6,25
L_{i}	[mH]	1,73	4,93-5,42	5,26	3,58-4,55	3,35	11,0-20	4,5-6,3
R_{S0}	[Ω]	16,8			23,5		25	37
R_{S}	[Ω]	10,9	27,2-33,5	37,7	11,7-23,2	26,2	28	15,0-36
Q_0	[-]	1,45			1,56		5,2	1,7
Q	[-]	1,59	1,6-1,8	1,40	2,11	1,28	7,1	1,8–3
I_∞	[A]	0,64		0,61	0,60	0,48	0,65	
Quelle η		[RiePV17]		[TitPV8]	[TitPV8]	s. S. 31	s. S. 32	
$\eta_{\mathrm{max.}}$	[%]	37		42,5	25,5	16,5	>30	
$v(\eta_{\mathrm{max.}})$	[km/h]	12		12	11	20	<15	
$\eta(v=15)$	[%]	36		41	25	16,2	30	
$\eta(v=30)$	[%]	25		32,5	19	15,5	21	

	Jenymo	Dym. 6	8201	AXA HR	AXA HR$^+$	Soub.
Zulassung		133	10874	10892	10892	10882
m	177	175	175	193	190	122
Lager	G		G	G	G	G
d_{Reibroll}	25	26,5		30	30	20
p	8	8	8	8	8	8
R_{i}	2,96	2,32	2,42	2,10	2,04	2,7
L_{i0}	5,76		4,5		3,93	3,57
L_{i}		3,8-6	2,5-3,8	3,24-4,02	3,13-3,82	2,26-3,53
R_{S0}	33,3		24		25,7	21,8
R_{S}		8,5-31	7,2-18	16,0-27,5	15-26,4	8,3-20,9
Q_0	1,73		1,9		1,53	1,64
Q		4,4-2	2,1-3,4	2,0-1,5	1,4-2	2,7-1,69
I_∞		0,67	0,71		0,8	
Quelle η	Tandem	s. S. 35	s. S. 29		s. S. 34	
$\eta_{\mathrm{max.}}$	28	38	≈24		≈30	
$v(\eta_{\mathrm{max.}})$	<5	8	10		10	
$\eta(v=15)$	25	32	21		31	
$\eta(v=30)$	17	19	17		21	

Die „Null“-werte des 9401 sind am zerlegten direkt an der Spule gemessen. Dabei ergibt sich ein Gleichstromwiderstand von 1,27 Ω. Der Unterschied zum, ansonsten baugleichen, Jenymo ist allein aus den abweichenden Drahtstärke erklärbar.

Der AXA HR ist ein relativ viel gefahrener, bei dem die Spannungsbegrenzung einen Wackelkontakt hat. Ein anderer, zerlegter, AXA HR weist ein $R_\text{i} = 2{,}77$, $R_\text{S} = 18 - 27{,}7/26{,}3$ und $L_\text{i} = 3{,}35 - 3{,}96/4{,}04$ mH auf.

Der Durchmesser d_Laufrad ist derjenige, in dem laut Hersteller die Zulassungsvoraussetzungen der Nabendynamos erfüllt werden.

Tabelle 2.64: Kenndaten von Decken-/ Felgenläufer (elektronisch geregelt)

		Dymotec S6	lightSPIN
Zulassung	~~~K	134	
m	[g]	230	287
Lager		Ku	Ku
d_Reibroll	[mm]	26,7	24,5-26
p	[-]	4	4
R_i	[Ω]		2,33
L_i0	[mH]		0,351
L_i	[mH]		0,5
R_S0	[Ω]		2,34
R_S	[Ω]		3,0
Q_0	[-]		1,5
Q	[-]		1,67
I_∞	[A]		3,0
Quelle η		s. S. 41	s. S. 48
$\eta_\text{max.}$	[%]	50	68,3
$v(\eta_\text{max.})$	[km/h]	10	10
$\eta(v = 15)$	[%]	47,5	66,5
$\eta(v = 30)$	[%]	28,7	48

Bei einigen Nabendynamos ist ein Aufschrauben mit **s**echskant oder **a**chtkant-Nuß möglich. Dies kennzeichnet die Zeile SW [mm] in den folgenden Tabellen mit der angegebenen Schlüsselweite. Bei anderen, z.B. Schmidt ist ein spezieller Schlüssel notwendig. Besonders bei den Shimano-Dynamos ist der Werkstoff so weich, daß der Ersatz des Achtkantschlüssels selbst durch einen guten Schraubstock aus eigener Erfahrung heraus nicht zu empfehlen ist. Außerdem sind zumindest bei Dahon und Suntour die Schlußselflächen eh soweit versenkt, daß man nur mit einer Nuß da vernünftig herankommt.

Der mittlere Abstand der Speichenflansche ist a, der Abstand des linken bzw. scheibenseitigen Flansches zur Anlagefläche am Ausfallende b bzw. für Scheiben-/ Nabenbremsversionen a_SB und b_SB für die Versionen vor bzw. nach 2000. 2000 haben sich viele Hersteller auf einen anderen Abstand zwischen Scheibenanlage und Ausfallende geeingigt.

Tabelle 2.65: Kenndaten von getriebelosen Nabendynamos (Schmidt und Shimano)

	Alte Bauform		Neue Bauform		schmale Bauform			Tönnchen
	SON 20″	SON 28″	SON20	SON28	XS	XS100	XS M	R
Zulassung D		10917	165	179	439	439	–	
m	600		577	580	390	399	–	
m_{SB}		620	606		–	–	520	
d_k	81		70		70		70	
a	55		60		40			
b	22,5		20		20			
a_{SB} 99/2K	/–		58/52		–			
b_{SB} 99/2K	/–		22,5/28		–			
t			3,7		3,7		3,7	
Lager	629.2RSR						6001 + 629	
$d_{Laufrad}$			16″-20″	26″-28″	16″-20″			
p	26	26	26	26	26			
L_i	40	52	28,6–42,2		34,7–61,2	36–61,2		
R_i	2,0	2,7	1,87		2,9	2,95		
R_S	156	259	62–162		69–200	76–200		
Q	2,56	2,01	2,6–4,6		5,0–3,1	4,7–3,1		
I_∞	0,67	0,62	0,67		0,62	0,62		
Quelle η	s. S. 78	s. S. 78	s. S. 79		s. S. 91	s. S. 93		
$\eta_{max.}$		67	68		> 70	73		
$v(\eta_{max.})$		10	11		< 10	4		
$\eta(v = 15)$	63	62	64	65	67	65		
$\eta(v = 30)$	53	51	53		54	53		
Umfang für η					1540	1470		

	HB-NX10+	HB-NX30	DH-3N70	DH-3N71	DH-3N30	DH3-N31	DH3-N80	DI2
Zulassung D	10916	164	357		405			–
m	968	714	679		(871)		490	
m_{SB}	–	–						870
d_k			74		80			74
a			28,5		28,5			–
b			28,5		28,5			–
a_{SB} 99/2K	–	–						
b_{SB} 99/2K	–	–						
t			2,5		2,5			2,8
Lager	Ko	Ko	Ko	Ko	Ko			
$d_{Laufrad}$		400 – 730	k.A.	400 – 716	400 – 716			
SW [mm]					36			
p	28	28	28		28			22
L_i	7,9–14,4	30–40			21,7			85
R_i	3,72	3,6			1,55			9,5
R_S	53,2–130	100–160			38			114
Q	1,1–1,5	2,5–3			5,71			
I_∞	0,67	0,64	0,6		0,58			0,312
Quelle η	s. S.98	s. S.101 Volla.	s. S. 104		s. S. 103			s. S. 105
$\eta_{max.}$	40	62	60		57			
$v(\eta_{max.})$	15	10	10		10			
$\eta(v = 15)$	40	55	–		52			
$\eta(v = 30)$	32	45	48,5		41			

Tabelle 2.66: Kenndaten von getriebelosen Nabendynamos

	Büchel KB95	Neco Rove	SRAM i-Light D330	SRAM i-Light D330N	Joytech EDH-1	Suntour DH-CT600	Dahon Joule	Sturmey A X-FDD
Zulassung D	126	–	388		346	492	–	–
m	680		854	> 565	783	872	728	–
m_{SB}		934	990					1210
d_k		75	80	71		80	75	89
a						57	47	57
b						21,5	13	21,5
a_{SB} 99/2K	–		–				–	–
b_{SB} 99/2K	–		–				–	–
t		3				3,5	3,5	3,44
Lager	Ku	$6001 + 6906$	6001		RaRi	RaRi	RaRi	RaRi
$d_{Laufrad}$	$400 - 730$				$400 - 716$			
SW [mm]						32	32	34
p	44	18						28
L_i								8,38–12
L_{i0}		7,13						13,66
R_i		5,38	2,0		3,85			1,70
R_S								50,9–85
R_{S0}		9,6						93
Q								1,65–1,41
Q_0								1,47
I_∞	0,65	> 5						0,78
Quelle η	s. S. 64	s. S. 67			Schmidt	s. S. 115		s. S. 114
$\eta_{max.}$	47				55			60,2
$v(\eta_{max.})$	10				5			34
$\eta(v = 15)$	–		61		54	41		59
$\eta(v = 30)$	34,6				51	32		60

Tabelle 2.67: Kenndaten von Nabendynamos mit Getriebe

	Enparlite	Enparlite 2	DT RND
Zulassung D	10914	10914	10902
m	480	499	680
d_k	54	54	77
a	66,5	66,5	65
b	15	15	18
t	3	3	3
Lager	6002.2ZR	6002.2ZR	629.2RSR
d_Laufrad			$16-28''$
i	22,5	22,5	14
p	8	8	10
L_i0	4,9		
L_i	4,3–4,8	4,4–5,0	20,8
R_i	2,63	2,87	5,35
R_S0	33,2		
R_S	21,8–32,3	27,8–33,5	49
Q_0	1,5		
Q	2–1,5	1,6–1,5	4,24
I_∞	0,67	0,59	
Quelle η	[BuPV47]	s.S. 69	[BuPV47]
$\eta_\mathrm{max.}$	30	30	45
$v(\eta_\mathrm{max.})$		5	
$\eta(v=15)$		28	
$\eta(v=30)$		22	

Gewicht des Enparlite in der Vollachsversion (mit Muttern), des Enparlite 2 in der Hohlachsversion (ohne Schnellspanner). Bei den Induktivitäten des Enparlite muß ein Meßfehler vorliegen, daraus resultieren dann auch untypische Güten.

Tabelle 2.68: Kenndaten von Speichendynamos

	G-S 2000	FER2002	SD 12V	ELS-100
Zulassung D	10887	10894	85	61
ch	1/1418	11424		
m	292	280	374	771
Lager	W/G	W/G	W/G	Ko
i	24	24	24	1
p	8	8		30
L_i	10,72	$9-10{,}5$	3,36	20,7-18,7/20,9
R_i	4,44	4,4	2,84	5,53
R_S	56,8	$50-65$	5,30	$105-125/132$
Q	1,89	1,8	6,34	1,97
I_∞	0,57	0,57	0,97	0,67
Quelle η	[RiePV17]	[VP97/98]		[VP97/98]
	s.S. 57	s.S. 58	s.S. 61	
$\eta_{max.}$	30	28	40	36
$v(\eta_{max.})$	15	8	7	17
$\eta(v=15)$	30	24	37	36
$\eta(v=30)$	20	17	≈ 25	30

Beim SD 12V sind die Angaben R_i, R_S, L_i und Q auf eine Spule bezogen!

Tabelle 2.69: Daten Nabendynamos

Modell	K	D	m	p	U/P	R_i	R_S	L_i	B	D	t	b	
	~~	[mm]	[g]	[-]	[V]/[W]	[Ω]	[Ω]	[mH]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Dahon													
Joule													
Neco													
Rove	-		934	18	?	5,8	9,6	7,1	100	78	3	54	
Sanyo													
NH-H27	-		566	28	6/3	4,0	85	19,7	100	66	3,5	61	
Schmidt													
SON XS	439	390		26									
SON XS100	439	399		26					100				
SONdelux			387	26	6/3	2,7	77	37	100				
SON28-2011			442	26	6/3	3,5	137	59	100				
Shimano													
DH-1N70			429	32		4,5	171	49,6	100				
DH-3N80			485	28	6/3	3,98	21	27,9	100				
Shutter Precision													
PV-8	845	646–726	387	26	6/3	2,89	66	38	100	52	3	50	
HB011 (an)	-		682	28	6/3	2,2	44	34,6	100				
HB011 (aus)							36	31					
HB013 (an/aus)	-		638	28	6/2,4	1,70	28	21,5	100				
HB013 (kern)							41	25,6					

mit K=K-Nummer, D=Laufradurchmesser , m=Masse, p=Polzahl, R_i=Innenwiderstand, R_S=Serienwiderstand, L_i=Induktivität, b=Einbaubreite, ...

2.3 Akkuversorgung

Die Versorgung der Lichtanlage mit Akkumulatoren (Akku) ist im doppelten Sinne des Wortes ein Kapitel für sich. Hier wird nur am Rande darauf eingegangen. Tests der optischen Leistung von Akkulichtanlagen sind u.a. im Kapitel 3.5 aufgeführt.

Die Akkuversorgung wird nahezu unvermeidbar, wenn es nachts mit langsamer Geschwindigkeit durch den Wald geht oder regelmäßig Platten zu flicken sind. Bei letzterem ist es preiswerter sich andere Reifen zulegen.

Als Akkus für Fahrradlichtanlagen kommen aus Kostengründen meist nur NiCd/NiMH bzw. Blei-Gel-Zellen in Frage.[80] Bleiakkus lassen sich relativ einfach spannungsgesteuert laden. Die Ladeeinrichtung für NiCd ist aufgrund der stromgesteuerten Ladung bedeutend komplizierter, nach dem Erreichen der Ladeendspannung muß der Ladestrom reduziert werden.

Bleiakkus weisen leider bei tiefen Temperaturen (unter ca. 5 °C) einen signifikanten Kapazitätsverlust auf, der noch stärker als der von NiCd-Zellen ist. Daher sollte der Akkupack nicht am Fahrrad bleiben, sofern das Rad im Winter draußen steht und bei längeren Touren vor dem Auskühlen geschützt bleiben. Als Beispiel einige Zahlen aus den Datenblättern von Panasonic (VRLA-Batterys, Overview, Feb. 2002). Die Nennkapazität C wird bei einem Entladestrom von 0,05 C und 20 °C bestimmt. Bei 0,25 C und 20 °C bleiben nur noch ca. 75 % der Nennkapazität über, bei 1 C ca. 55 %. Sinkt die Temperatur auf 0 °C, dann sind es nur noch 65 bzw. 45 %.

Die Kapazität von NiCd- und NiMH-Akkus wird in der Regel bei einem Entladestrom von $1/10\,C$ bis $1/3\,C$ gemessen.[81] Steigt der Entladestrom an, so fällt die nutzbare Kapazität, bei NiCd-Akkus z.B. auf 0,5 C bei einem Entladestrom von 3 C. Daher ist generell ein Akku mit möglichst großer Kapazität zu verwenden, was im Gegenzug Gewicht und Volumen bedeutet. Ausführlichere Informationen zu Akkumulatoren findet man auf den Internetseiten der Hersteller. Sehr gute und übersichtliche Dokumentationen sind z.B. bei Panasonic zu finden: www.panasonic.com/industrial/battery/oem/

Das Herzstück von Akkuanlagen ist die Steckverbindung zwischen Bordnetz und Akku. Beim Autor haben sich die normalen Akkustecker aus dem Modellbaubereich als ungeeignet (unzuverlässig, wartungsaufwendig) erwiesen, da die Umgebungsbedingungen gerade im Winter recht aggressiv sind. Siehe dazu auch Seite 622.

Der Autor hat aus einem Akkupack Panasonic „Red Amp“ zwei Zellen heraustrennen müssen, da diese im Stahlbecher klöterten und dadurch ein Wackelkontakt im Akkupack verursachten. Die alte Red Amp ist schon eine robuste Zelle, neuere Zellen haben z.B. bei erhöhter Kapazität eine geringere Zyklenfestigkeit. Andere Radfahrer berichten davon, daß bei ihnen die internen Anschlüsse in Bleiakkus abrütteln. Die dynamischen Beanspruchungen am Fahrrad sind nicht geringfügig und wirken sich in einer Umsatzsteigerung der Akkuhersteller und -händler aus.

[80] Das Kapitel wurde vor dem breiten Einsatz von LiIon-Batterien geschrieben und jetzt aus Zeitgründen nicht komplett neu aufgerollt.

[81] Zum Beispiel Nennkapazität $1C = 2$ Ah, Entladestrom $I = 200$ mA$= C/10$.

Das Optimum muß jeder für sich selbst finden. Eine Akkuversorgung im Alltagsbetrieb hat der Autor zur Zeit nur als Pufferakku für die Solarc.

2.3.1 12 V-Akkuversorgung mit dem SON

Ende Oktober 2003 schrieb mich Wolfgang Bergter an, daß er seit zwei Jahren mit einer selbstentwickelten 12 V-Akkuversorgung am SON fährt. Er hat ein 17-seitiges PDF-Dokument zur Verfügung gestellt. Das Dokument ist auf www.enhydralutris.de dort zu finden, wo auch der Beleuchtungstext liegt. Hier ist nur eine Seite mit dem Schaltplan und einigen Erläuterungen wiedergegeben. Wer einen Lötkolben auf Anhieb auf der richtigen Seite anfaßt, der sollte das auch selber nachbauen können.

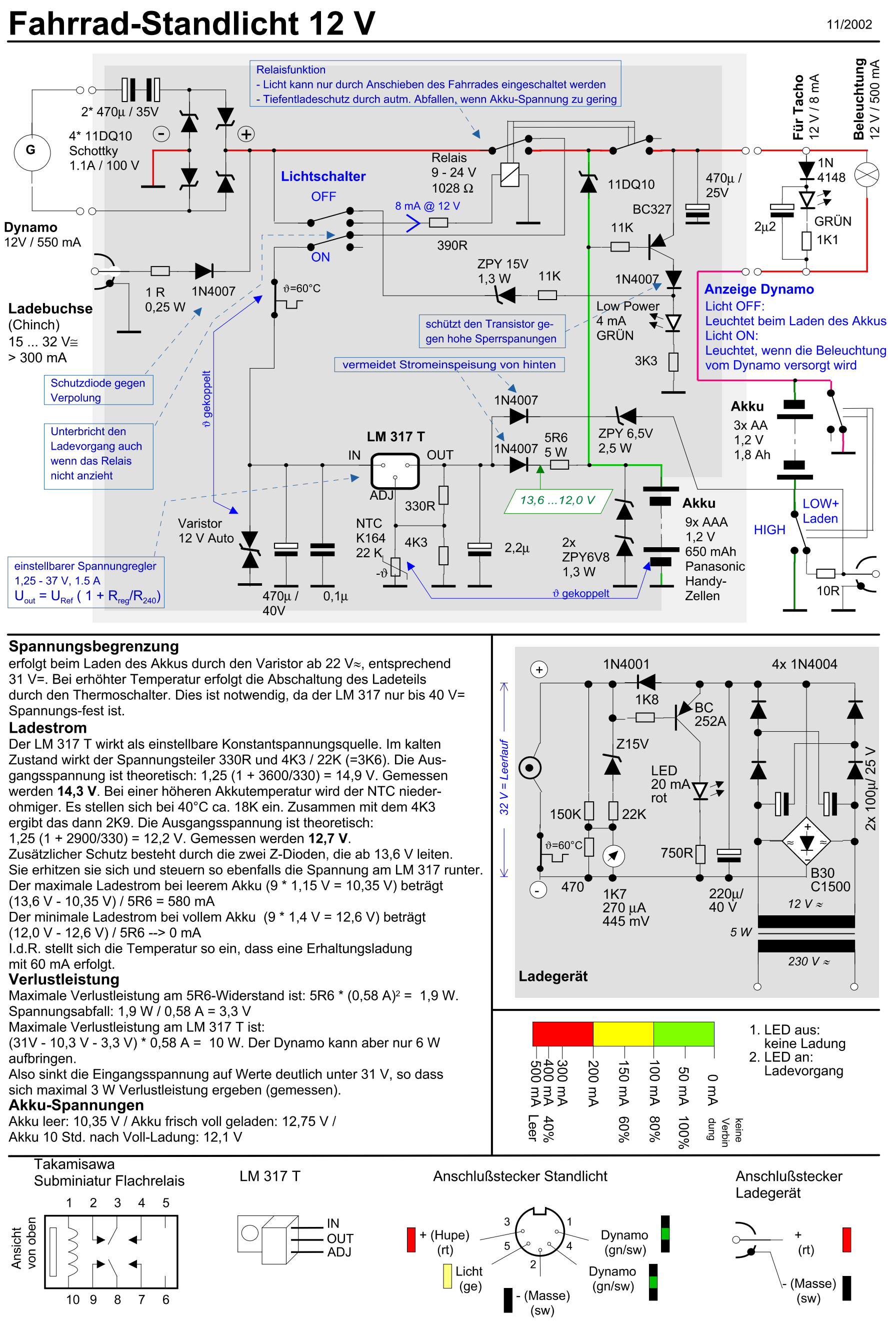


Bild 2.45: 12 V-Standlicht (Quelle: Wolfgang Bergter)

2.4 Spannungsbegrenzung

Glühlampen reagieren empfindlich auf Überspannungen (s.S. 164). Der Einfluß ist nach der 1994er DIN EN 60810 selbst für die wirtschaftlich interessanteren 12 V Kfz-Lampen noch nicht komplett untersucht[DIN EN 60810]. Die Spannung muß wirksam begrenzt werden. Die konventionellen Methoden (Wirbelstromverluste, Supressordioden) sind i.d.R einfach und billig, haben aber selten eine positive Auswirkung auf den Wirkungsgrad. Nach DIN [DIN EN 60809] ist für HS3-Lampen die Betriebsspannung wirksam auf unter 8,0 V zu begrenzen, da sonst die Lebensdauer zu stark reduziert wird.

Um einen Eindruck zu vermitteln, wie sich ein „Teillastbetrieb“ an einem Fahrraddynamo äußert diene Bild 2.46. Hierzu werden unterschiedliche ohmsche Widerstände verwendet.

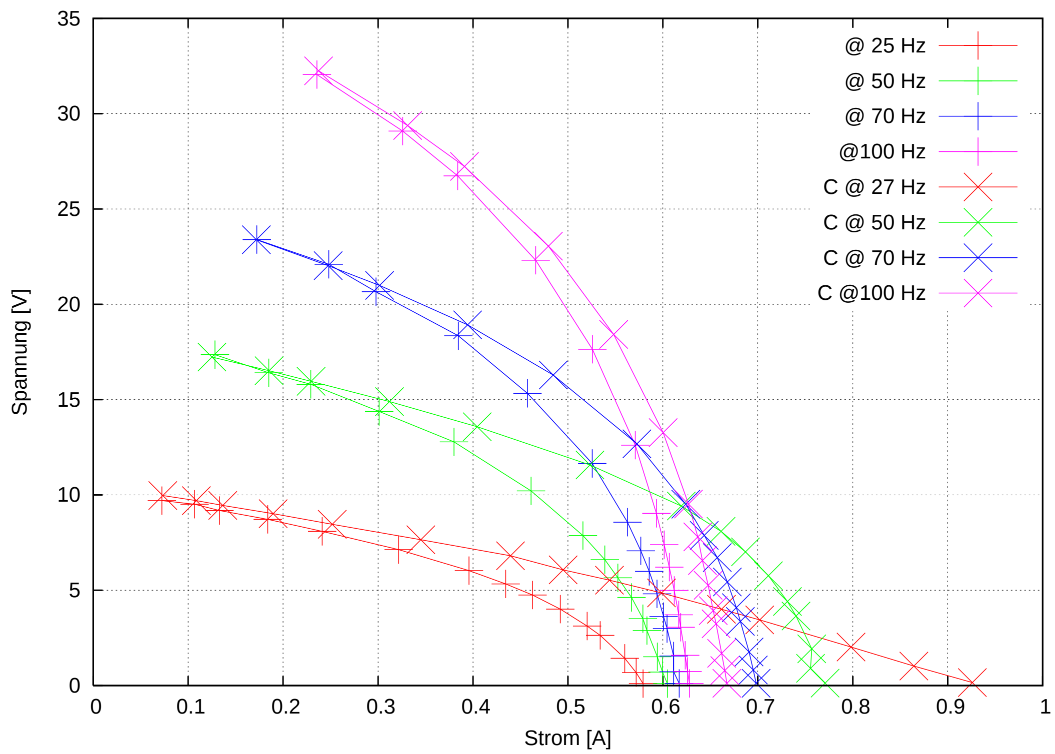


Bild 2.46: Teillast 20”-SON ohne und mit 330 µF-Serienkondensator

Man kann damit relativ einfach abschätzen, wie sich die Spannungen entwickeln, wenn man weniger Strom bzw. Leistung abnimmt. Für weitere Darstellungen der zugrunde liegenden Meßdaten ist auf die Bilder 2.27 bis 2.29 verwiesen.

Und was kostet der ganze Spaß . . . an Antriebsleistung? Siehe Bild 2.47 Damit kann dann jeder selber abschätzen, was er bereit ist zu investieren.

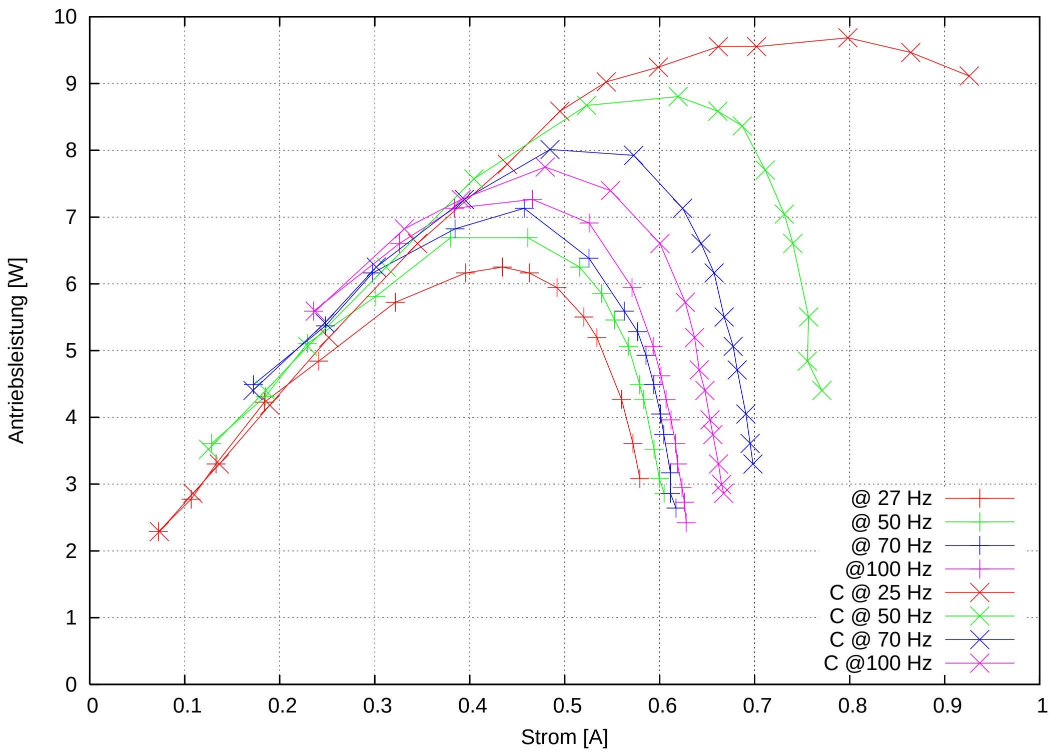
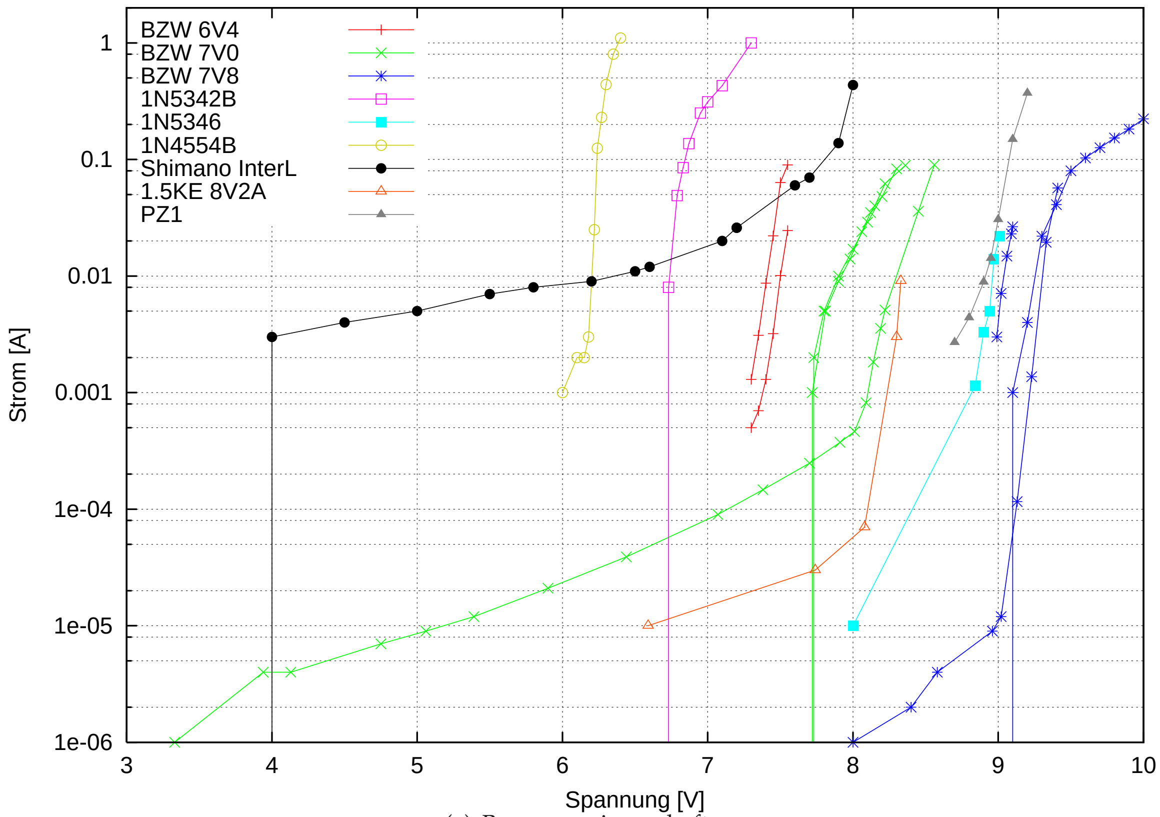


Bild 2.47: Antriebsleistung bei Leistungsanpassung

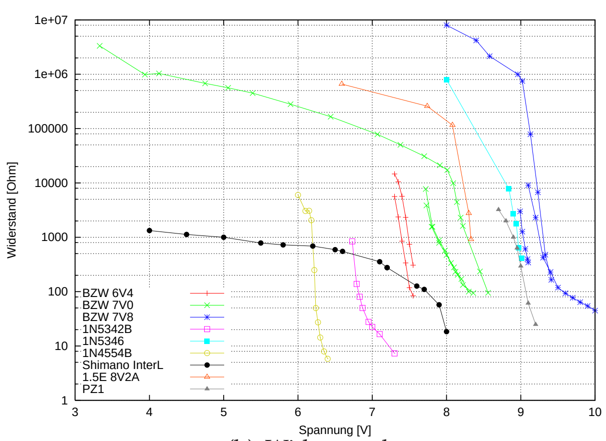
2.4.1 Derzeitige Spannungsbegrenzung

Derzeit[82] wird die Spannungsbegrenzung von Fahrradlichtanlagen neben dem bauartbedingten Regelverhalten der Dynamos i.d.R. über das Verheizen überschüssiger Leistung in Zener-Dioden (Z-Dioden) oder Supressor-Dioden (S-Dioden) bzw. einem Leistungstransistor (FER SD 12V) realisiert. In Bild 2.48 sind die Stromaufnahmen und Widerstände von gängigen Begrenzern bei Gleichspannung gezeigt. An Wechselspannung wird der Leistungsbedarf geringer sein.

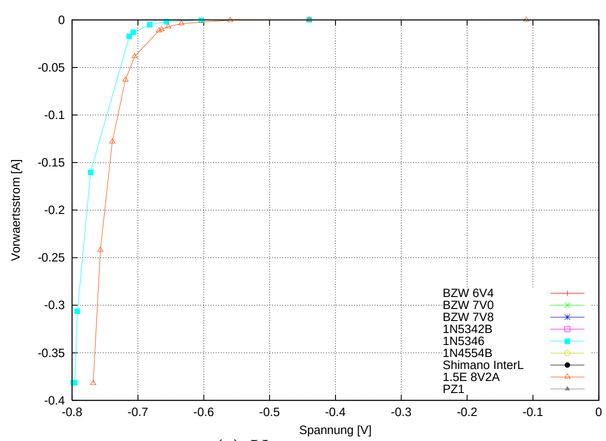
[82] Anno 2010: Haareraufen, wann hab ich denn das geschrieben?



(a) Begrenzereigenschaften



(b) Widerstand



(c) Vorwärtsstrom

Bild 2.48: Kennkurven von Spannungsbegrenzern

Die Dioden streuen und deren Verhalten ist abhängig von der Temperatur. Zum Vergleich ist mit PZ1 eine exemplarische Kurve für eine „Power-Zener“ aus der Elektor 7-8/89.[83]

Die BZW04-Typen werden einheitlich erst deutlich über der Nennspannung niederohmig. Die Durchbruchspannung verschiebt sich geringfügig bei veränderter Polarität. Bei der häufig verwendeten BZW04 7,8 V und einer sinusförmigen Wechselspannung setzt damit eine Begrenzung schon ab ca. $9{,}2/\sqrt{2} = 6{,}51\,V_{RMS}$ ein.[84] Ein Blick in die Datenblätter von SGS-Thomson ist hier nützlich.[85] Die 7,0 und 7,8 V-Typen waren allerdings nicht im Datenblatt aufgeführt.

Muß z.B. ein Diodenrücklicht, bei ausfallender Glühlampe geschützt werden, so fallen schnell 0,6 A bei $10\,V_{eff}$ an. Diese 6 W sind von den normalerweise windgeschützt im Scheinwerfer verbauten BZW04-Dioden nicht mehr auf Dauer umsetzbar. Als Folge brennen die BZW-Dioden durch. Dabei werden sie im ungünstigen Fall hochhohmig, und fast die volle Leerlaufspannung liegt am Rücklicht an, welches dann daswegen durchbrennt. Zum Beispiel reicht die normalerweise ideal niedrige Stromaufnahme des DToplight von 40 mA dafür. Deswegen bietet bumm inzwischen eine Version des DToplights mit zusätzlichen Schutzdioden an.

Als Schutz könnten sich zwei antiserielle geschaltete 1N6269A bzw. 1.5KE8V2A[86] bewähren.[87] Fraglich ist noch, ob die bidirektionale Version, die 1.5KE8.2CA, die Leistung verträgt und verfügbar ist. Aber Achtung: Auf dem Schreibtisch, d.h. ohne gute Kühlung, erreichen die Anschlußdrähte bei 0,6 A in Sperrrichtung nach spätestens 30 Minuten selbst 26 mm vom Gehäuse entfernt eine Temperatur, daß normales Elektroniklot (Sn60Pb38Cu2) geschmolzen wird. Plastik in der Nähe des Gehäuses wird also auch anschmelzen. Also sehr gut kühlen! Eine Testdiode hat den 40 Minuten dauernden Test bestanden und danach (abgekühlt) wieder korrekt bei 8,2 V durchgeschaltet. Das sollte man aber nicht zur Regel machen!

2.4.2 Modifizierte Spannungsbegrenzung

Wenn man nicht die überschüssige Leistung verheizen will, so darf man sie nicht erst abnehmen. Hier kann ein Schaltregler das Mittel der Wahl sein. Energetisch kann dieser Versuch leider nach hinten losgehen. Typische Step-Up- bzw. Step-Down-Regler sind mit einem Wirkungsgrad von 80 bis bestenfalls 90 % angegeben.

So widersprüchlich es klingt, bei einigen Dynamos (z.B. HB-NX10) ist es günstiger möglichst viel Leistung zu verheizen als zu wenig abzunehmen!

---

[83] Abweichend mit einem vorgeschalteten Brückengleichrichter (B250C1500), einem TIP121, BC558C und einer BZX 5,1 V und mit dem Poti einstellbar aufgebaut.

[84] RMS=*root mean square value*

[85] Die Datenblätter sind im Internet bei SGS-Thomson abrufbar.

[86] Hersteller sind u.a. SGS-Thomson, Plextron/General und Semiconductors

[87] In Kleinmengen für Direktabholer in Düsseldorf oder München oder gewerbliche auch im Versand z.B. bei Bürklin. Andere Lieferanten habe ich noch nicht gefunden.

2.4.3 Orientierende Messungen

Hier treibt ein 20″ SON im 20″-Laufrad bei 33 km/h einen S'Light-FL und ein DToplight Plus bei 33 km/h 7,2 V/0,6 A RMS.

An einer Laborspannungsquelle ($f = 0$ Hz) bzw. am SON ($f = 88$ Hz) angeschlossen ergeben sich die in der Tabelle 2.70 niedergelegten Daten. Wechselspannungen und -ströme sind Effektivwerte.

Tabelle 2.70: Stromaufnahmen am 20″-SON bzw. Gleichspannung

	S'Light-FL/HS3					DToplight+
	Lampe			BZW	B.+BZW	
U [V]	6	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
f [Hz]	0	0	88	88	88	88
I [A]	0,459	0,512	0,517	0,228	0,711	0,039

Randbemerkungen: Die Stromaufnahme des DToplight Plus nicht symmetrisch.[88] Die BZW04 ist mit 1,7 W Verlustleistung bei 75 °C Umgebungstemperatur spezifiziert.

Nach diese Messungen hätte man den Anteil der BZW, also ca. 0,2 A bzw. 1,4 W für die Regelelektronik im Parallelregler über. Bei neuen Lampen sicherlich ein bißchen mehr. Diese Lampe hat zum Zeitpunkt obiger Messungen ca. 17 Betriebsstunden am Optima Baron hinter sich.

Zur Simulation eines Schaltwandlers werden die Lastwiderstände im Bereich 22–33 Ω variiert. Dann liefert der SON bei 0,55 A@33 km/h eine Spannung von 12–17 V. An 22 Ω liefert dieser SON bei 12 km/h noch 0,42 A/9,2 V.

2.4.4 Abwärts-Schaltwandler

Da das Regelverhalten von Schaltregler und SON interagiert ist eine theoretische Lösung aufwendiger als einfach Messungen vorzunehmen. Nach obigen Voruntersuchungen wird mit Schaltreglern (hier LM2576ADJ) experimentiert.

Die verwendete Schaltung entstammt im Wesentlichen den Applikationshinweisen von National Semiconductor. Lediglich die Vollbrücke am Eingang und die Folienkondensatoren parallel zu den Elkos sind hinzugekommen.

[88] Siehe Randbemerkungen beim Schaltplan.

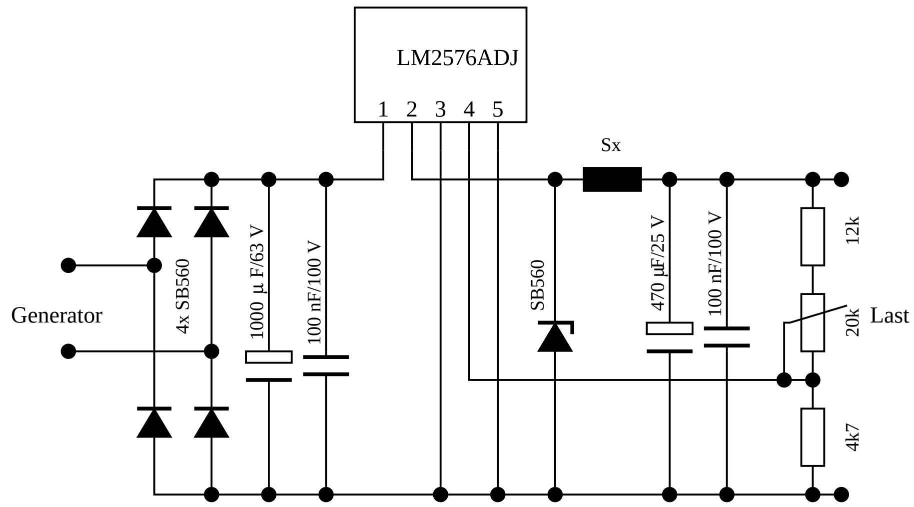


Bild 2.49: Experimenteller Schaltwandler

Für die Elkos werden schaltfeste ERF-Typen von Frolyt verwendet. Es werden zwei unterschiedliche Schalenkerne getestet:

S1: P22x13, Material N26, Luftspalt, A_L=1250 nH, 18 Windungen 1 mm Kupferlackdraht, 462 µH, $R_S = 0{,}07\,\Omega$, $R_i = 0{,}018\,\Omega$

S2: P14x8, Material N48, Luftspalt, A_L=250 nH, 30 Windungen 0,5 mm Kupferlackdraht, 396 µH, $R_S = 0{,}19\,\Omega$, $R_i = 0{,}168\,\Omega$

Für die Wirkungsgradmessungen wird die Schaltung vereinfacht an Gleichspannung betrieben. Die Eingangsleistung ist sauber meßbar. Die Ausgangsleistung wird durch die Spannung, die an einem Lastwiderstand abfällt, meßbar. Die Ergebnisse sind im Bild 2.50 wiedergegeben.

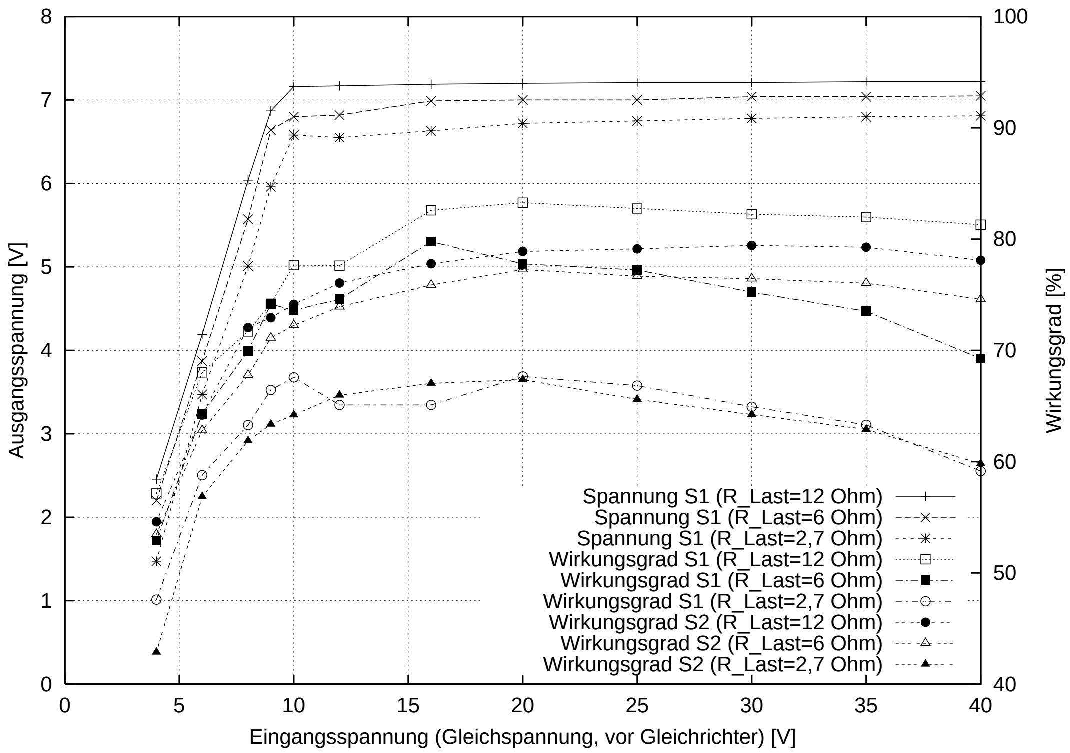


Bild 2.50: Kennlinien LM2576 inkl. Vollbrücke

Maximal wird ein Wirkungsgrad von 80 % erzielt (vgl. Bild 2.50). Dies entspricht ungefähr den Angaben im Datenblatt des LM2576. Bei 7,2 V@12 Ω werden für 4,32 W Nutzleistung mindestens ca. 1,08 W verheizt (5,4 W elektrische Eingangsleistung). Man liegt mit einem enormen Aufwand (Bauraum und finanziell) damit fast in dem Bereich, der auch bisher von den Supressordioden abgedeckt wird. Vom Wirkungsgrad her betrachtet scheint sich das nicht zu lohnen.

Interessant ist jetzt das Verhalten von Dynamo und Schaltung zusammen. An einem 28″-SON können mit obiger Beschaltung bei 30 km/h eine Ausgangsspannung von 7,2 V und 0,8 A erzielt werden. Wird der Lastwiderstand reduziert, so bricht die Spannung zusammen. Nimmt man wenig, zum Beispiel nur 0,2 A, ab, so steigt die Eingangsspannung des LM2576 schnell gefährlich nah an die maximal zulässigen 40 V. Dasselbe Spiel beim 20″-SON. Kommt man von hohen Drehzahlen, so kann man z.B. bis 100 Hz 6,66 Ω mit 7,2 V betreiben. Unterschreitet man die entsprechende Drehzahl, so bricht die Spannung schlagartig zusammen und erholt sich erst nach Lastabwurf. Der SON liefert am Gleichrichtereingang fast eine Rechteckspannung!

Derzeitiges Fazit: Noch ist sowohl der Wirkungsgrad zu gering als auch die Spannungsfestigkeit mangelhaft. Hier sind die Erfolge von bumm nur zu würdigen.[89]

[89] 2010: Äh welche Erfolge? Dürften damals S12 und S6 gewesen sein. . . das E-Werk war zu Zeiten des befußnoteten

Auf mittlere Frist kann der Finger am Kurzschlußschalter des Serienscheinwerfers besser handeln. Mehr elektrische Leistung zieht man mit dem elektrischen Regler nicht raus, darf dafür aber subjektiv mehr Leistung hineinstecken (beim Abstützen der Kontakte im MufuZ (vor Fertigstellung der Leistungsmessungsoption) festgestellt.

2.4.5 Aufwärts-Schaltwandler

Der vorherige Abschnitt beschäftigte sich mit dem Step-Down-Wandler. Der Weg andersherum ist mit einem Step-Up- oder Aufwärts-Wandler getan. Das wäre z.B. sinnvoll, um aus einem Akku- oder Batteriepack bis zum bitteren Ende Strom zu entziehen, um z.B. eine HS4 zu betreiben. An normalen Klauenpolgeneratoren dürfte es wegen deren Strombegrenzung nicht funktionieren.

Der hier verwendete Wandler ist ein LM2577. Er ist in der Standardapplikation von *National-Semiconductor* beschaltet. Die Spule ist auf einem P22x13 Schalenkern mit 9 Windungen, 1 mm Kupferlackdraht, aufgebaut und mit 100 µH vermessen. Die Diode ist eine, aus einem größeren Schaltnetzteil ausgeschlachtete, 80SQ045. Für die Wirkungsgraduntersuchung wird als typische Last eine idealisierte 12 V-Beleuchtung gewählt: 13,5 V an 29,4 Ω.

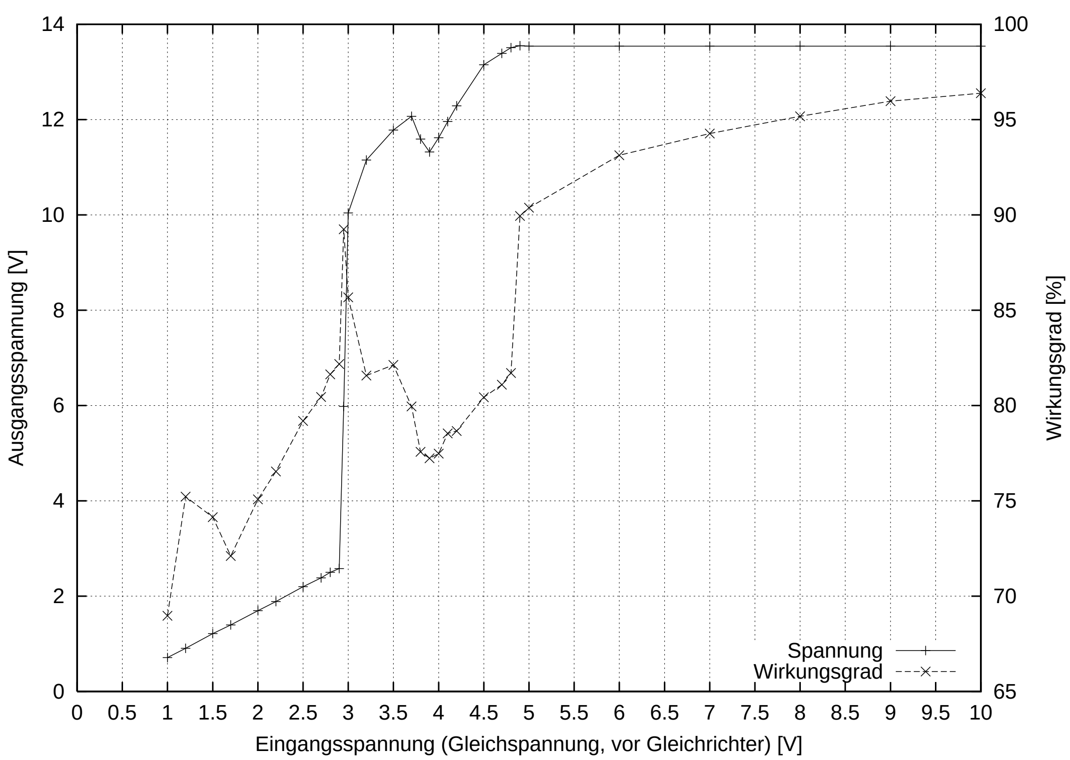


Bild 2.51: Spannung und Wirkungsgrad des LM 2577 an 29,4 Ω

Satzes, 2000 oder 2001?, noch nicht mal angedacht.

Die Mindestspannung für einen verläßlichen Betrieb beträgt hier 5 V, die Applikation geht für andere Lasten von 4 V aus. Der Wirkungsgrad liegt mit 90–über 95 % erfreulich hoch. Das unstetige Betriebsverhalten unterhalb von 5 V findet man in einen ähnlichem Ausmaß beim LT1073 (vgl. S. 449) wieder.

2.5 Vorschaltgeräte

Mit der elektrischen Leistung des Dynamos lassen sich nicht nur Fahrradlampen versorgen. Auf Radreise o.ä. kann man damit tagsüber auch Akkus laden,[90] oder PDAs o.ä. versorgen. Hier wird das elektrische Verhalten einiger Lösungen untersucht.

Aus mehreren Messreihen kann als max. entnehmbare elektrische Leistung für einen SON

$$P_{\text{out SONquelle}}[\text{W}] \leq 0{,}227v[\text{km/h}] - 0{,}4 \tag{2.37}$$

angenommen werden. Dagegen müssen sich die vermessenen Vorschaltgeräte messen lassen. Oder man kann damit schon mal grob abschätzen, ob diese Leistungsquelle für die eigenen Ziele ausreichend ist.

2.5.1 bumm E-Werk

Das bumm E-Werk (Typ 361) ist ein kleiner Schaltregler. Es ist seit Ende 2010 auf dem Markt. Mit den angegossenen Kabelenden wiegt es 54,7 g. Mit entsprechend angeschlossenen Kabeln entsprechend mahr. Die Kupplungen sind verschraubbar und wasserdicht.

Die Ausgangsspannung ist in Schritten von 0,7 V zwischen 2,8 V und 13,3 V und der Ausgangsstrom in Schritten von 0,1 A bis 1,4 A einstellbar. Mithin ist maximal eine Leistung von 18,6 W entnehmbar,[91] solange der Dynamo diese Leistung aber auch liefern kann. Dies wird nur bei hohen Geschwindigkeiten der Fall sein.

Um das Verhalten des E-Werk genauer zu betrachten, wird es an der SONquelle betrieben. Die Eingangsleistung wird mit einem GMC29s gemessen. Die Ausgangsspannung und -strom wird mit einem Agilent A66332A gemessen und eingestellt. Als Sollspannungen werden 4,9 V bzw. 11,9 V einjustiert. Die meisten Messungen sind bei einer Strombegrenzung am E-Werk von 1,4 A gemessen worden. Für eine Messreihe bei 4,9 V wird aber auch das Verhalten bei der Begrenzung des E-Werks auf 0,5 A getestet.

Die Zahlenwerte an den Kurven in den Bildern 2.52 und 2.53 sind die Geschwindigkeiten [km/h] bei 2100 mm Laufradumfang.

[90] Für AA-Zellen: Hierfür reicht schon ein Brückengleichrichter und eine Ladebucht für die Zellen aus.
[91] Laut Anleitung 16 W.

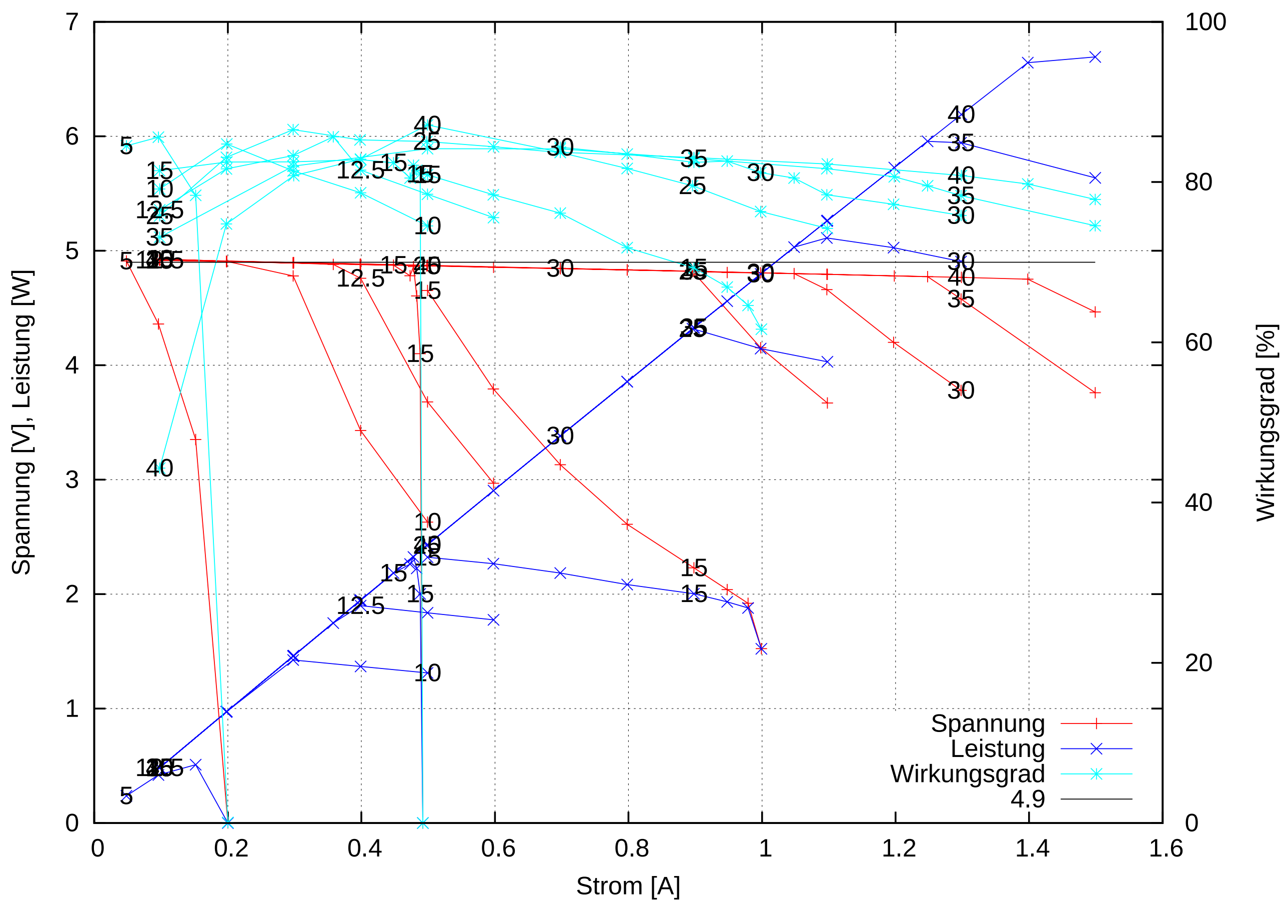


Bild 2.52: E-Werk bei 4,9 V Ausgangsspannung

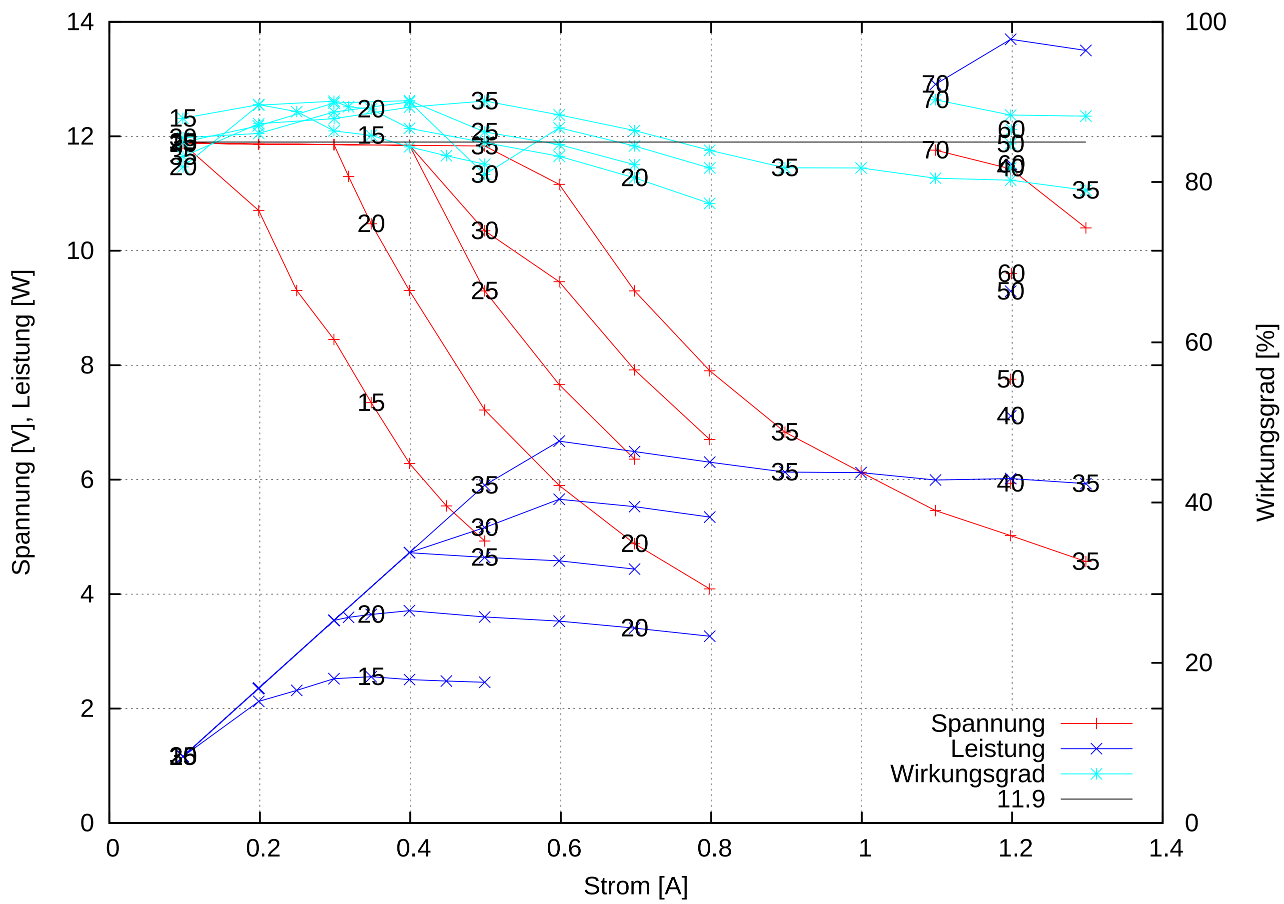


Bild 2.53: E-Werk bei 11,9 V Ausgangsspannung

Das E-Werk kann an der SONquelle zwischen 5 und 70 km/h maximal ungefähr

$$P_{\text{out E-Werk}}[\text{W}] \leq 0{,}2v[\text{km/h}] - 1 \tag{2.38}$$

am Ausgang breitstellen, ohne daß die Leistungsbegrenzung eintritt. Um die 16 W laut Datenblatt zu erzielen müßte man mithin mit ca. 75 km/h fahren und einen Verbraucher haben, der zwischen 1,2 A@13,3 V und 1,4 A@11,4 V benötigt.

Der Wirkungsgrad ist bei hohen Ausgangsspannungen etwas höher als bei niedrigen Ausgangsspannungen.

Insgesamt eine interessante und flexible Lösung zum Akkuladen (das Regelverhalten ist sehr gut), Geräte betreiben oder ….

2.5.2 PedalPower+

Das PedalPower+ ist ein Schaltregler für 6 V/3 W-Dynamos in einem kleinen, wasserdichten Gehäuse. Es wiegt ca. 43 g mit den angeschlossenen Kabelenden. Die Ausgangsspannung beträgt nominel 5,3 V bis max. 600 mA. Hier wird es ohne den (dazugehörigen?) Akkupack mit 5 V-Ausgang-Spannung getestet.

Der Test erfolgt an der SONquelle. Die Eingangsleistung wird mit einem GMC29s gemessen. Die Last stellt ein Agilent A66332A dar.

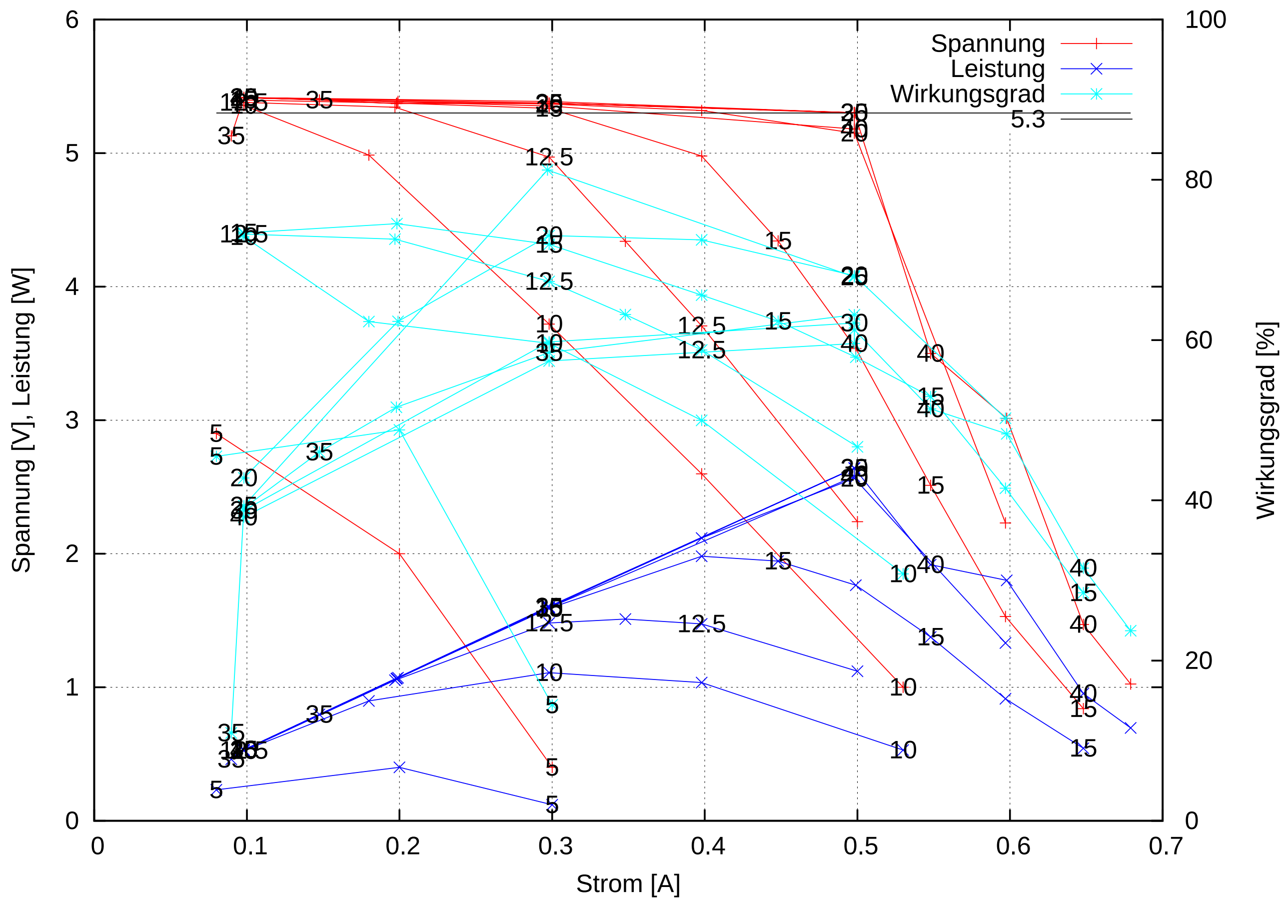


Bild 2.54: PedalPower+

Das PedalPower+ kann zwischen 10 und 20 km/h an der SONquelle maximal ungefähr

$$P_{\text{out PP+}}[\mathrm{W}] \leq 0{,}2v[\mathrm{km/h}] - 1{,}4 \qquad (2.39)$$

am Ausgang bereitstellen, ohne daß die Leistungsbegrenzung eintritt. Über 20 km/h sind nicht mehr als 2,5–2,6 W entnehmbar.

Der Wirkungsgrad ist bei hohen Geschwindigkeiten schlecht. Anscheinend ist im Gehäuse eine Triac-Schaltung, die ab ca. 18 V Eingangsspannung durchschaltet,[92] eingebaut. Dadurch wird zwar die Elektronik sicher vor Überspannung geschützt, es wird aber der volle Dynamostrom verbraten. Das war mal beim HB-NX10 sinnvoll, bei besseren Nabendynamos ist das aber nicht gerade das Optimum.

2.5.3 B4 MBR2545

Alternativ zu oben vermessenen, komplizierteren, Schaltwandlern wird einfach ein Brückengleichrichter aus vier MBR2545 an der SON-quelle vermessen. Um den gleichgerichteten Strom etwas zu glätten werden mit zwei Elkos 3400 µF hinzugefügt.

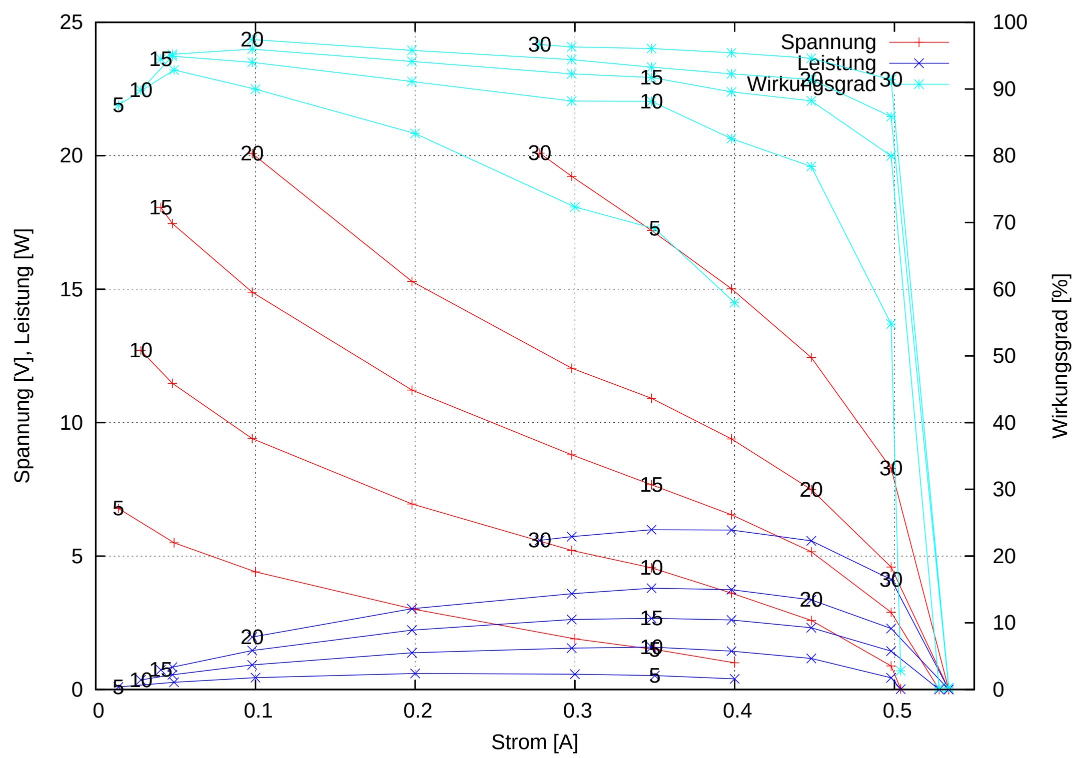


Bild 2.55: B4 aus MBR2545 an SONquelle

Die B4-Schaltung aus MBR2545 kann zwischen 5 und 30 km/h an der SONquelle maximal ungefähr

[92]Laut Beobachtung des Spannungs- und des Stromverlaufes mit einem Oszilloskop.

$$P_{\text{out MBR2545}}[\text{W}] \leq 0{,}215v[\text{km/h}] - 0{,}5 \tag{2.40}$$

liefern. Allerdings bei deutlich variierender Spannung.

2.5.4 Zusammenfassung Vorschaltgeräte

Die Vorschaltelektroniken können wohl am schnellsten mit Bild 2.56 beschrieben werden. Dem kann man entnehmen, wie schnell man fahren muß, um eine gewünschte elektrische Leistung entnehmen zu können. Ob diese Leistung wirklich dann entnehmbar ist hängt allerdings von der Last selber ab. Dazu dann bitte in den entsprechenden obigen Textstellen nachlesen.

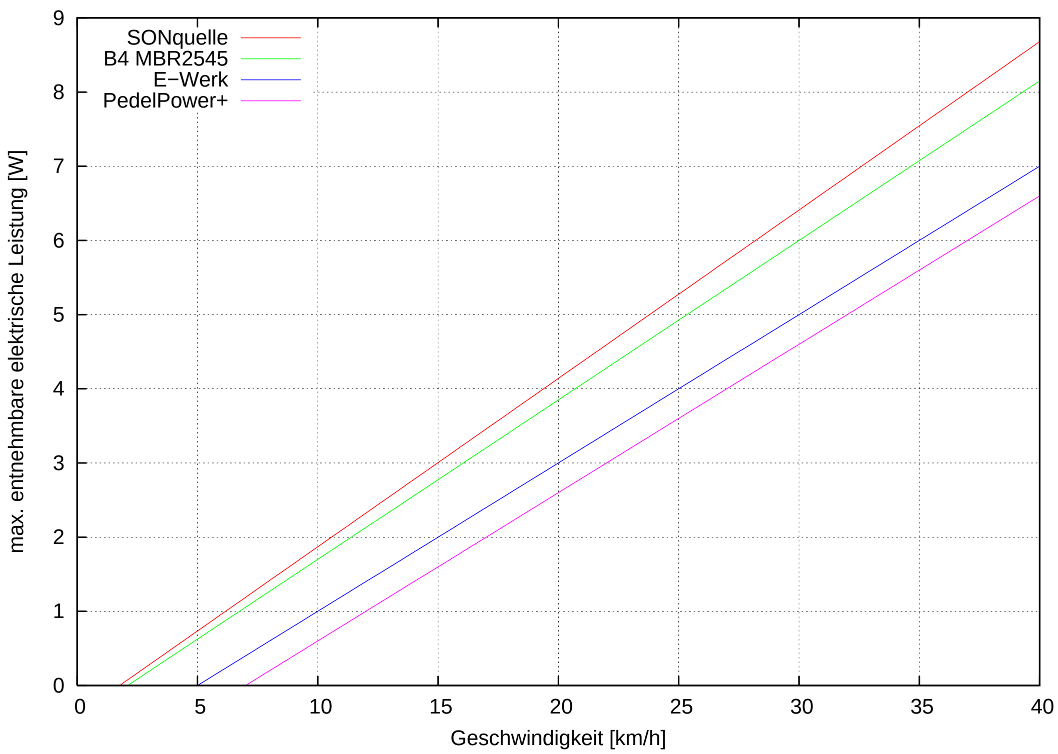


Bild 2.56: Maximal entnehmbare elektrische Leistung (ohne Serienkondensator)

2.6 Fazit Dynamos

Auf lange Sicht betrachtet führt nichts an einem fremderregten Fahrraddynamo vorbei. Bei MIV-Lichtmaschinen wird das schon seit langem gemacht. Was aber nicht heißt, das dadurch automatisch ein hoher Wirkungsgrad erreicht wird (vgl. S. 51)! Ein Problem ist, daß beim Fahrradnabendynamo der Stator mit den vielen Polen rotiert und der konstruktiv einfachere Rotor einer fremderregten Drehstrommaschine feststeht. Würde der Rotor rotieren, könnte mit zwei ununterbrochenen Schleifringen einfach die Energie für die Feldregelung übertragen werden, so wird das aber entweder mit Schleifringen oder anders konstruktiv ekelhaft. Das hätte FER bei dem SD 12V einfacher als Schmidt, dessen Nabendynamos allerdings die Feldverdrängung ausnutzen, konstruieren können. Aber FER ist den noch einfacheren, sprich billigeren Weg gegangen und verheizt die Leistung (vgl. S. 60).

Kapitel 3

Lichterzeugung

Sowohl für die Berechnung des elektrischen Verhaltens des Gesamtsystemes wie der lichttechnischen Charakteristiken ist eine nähere Befassung mit den Glühlampen notwendig. Dazu müssen einige (theoretische) Grundlagen erklärt werden. Dann wird das praktische Verhalten der Glühlampen und von LEDs untersucht und zum Schluß das Zusammenspiel zwischen Glühlampe o.ä. dem Scheinwerfergehäuse.

Mitte 2008 wurde dieses Kapitel umstrukturiert. Nach einer Einführung in die Begriffe werden erst auf die Glühlampen und damit betriebenen Scheinwerfern und dann auf LEDs und damit betriebenen Scheinwerfern eingegangen. Es war die letzten Jahre zu chaotisch gewachsen.

3.1 Definitionen in der Lichttechnik

Hier sollen einige Begriffe erklärt werden. Die Meßgrößen in der Lichttechnik gehören i.d.R. nicht zum Schulstoff, bzw. nicht zum guten Allgemeinwissen, und spätestens in von Werbe- oder Kaufleuten erstellten Prospekten wird dann damit häufig Unfug getrieben.

Wer sich noch tiefer in die Materie einarbeiten möchte, der sei u.a. auf das englische *Light Measurement Handbook* verwiesen, welches im Internet unter www.intl-light.com/handbook/ zu finden ist. Als verständliche deutschsprachige Einführung seien [Banda99] und [Baer96] erwähnt. Als Quellen sind im folgenden u.a. die DIN [DIN 5031] und [StHü] S. 878 ff. herangezogen:

- Der Lichtstrom, Kurzzeichen Φ, ist die Lichtleistung einer Lichtquelle. Die Maßeinheit ist Lumen (lm).

$$\Phi = \frac{1}{M} \int \int \int S_{\epsilon\lambda} V_\lambda \cos\epsilon \, \mathrm{d}\lambda \, \mathrm{d}f \, \mathrm{d}\omega \tag{3.1}$$

Eine besonders im angloamerikanischen Bereich noch häufig verwendete Einheit ist die *Mean Spherical Candlepower* (MSCP). Zur Konvertierung mag folgendes reichen:

$$\Phi[\mathrm{lm}] = 4\pi\Phi[\mathrm{MSCP}] \tag{3.2}$$

- Die Lichtstärke, Kurzzeichen I, ist das Maß für die Lichtausstrahlung einer Strahlungsquelle. Die Maßeinheit ist Candela (cd).

$$I = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}\omega} \tag{3.3}$$

Ein Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die eine monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz aussendet, und deren Strahlstärke in dieser Richtung 1/683 Watt durch Steradiant[1] beträgt.[2] Erstarrendes Platin (2042 K) hat eine Lichtstärke von 60 cd/cm^2.

Um von den bei LED meist angegebenen Beam-Candela auf Lux in einer bestimmten Entfernung umrechnen zu können kann nach [StHü] mit der vereinfachten Beziehung

$$E = \frac{I \cos i}{r^2} \tag{3.4}$$

gearbeitet werden.

Manchmal werden Angaben in *Candlepower* getroffen. Laut dem sehr umfangreichen Nachschlagewerk auf www.unc.edu/~rowlett/units/dictC.html ist dies eine alte Einheit. Mit

$$I[\mathrm{candlepower}] = 0{,}981 I[\mathrm{cd}] \tag{3.5}$$

können die Einheiten konvertiert werden.

- Die Leuchtdichte, Kurzzeichen L, ist ein Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer Fläche hat. Die Leuchtdichte ist die Lichtstärke bezogen auf die gesehene Fläche.

$$L = \frac{\mathrm{d}^2\Phi}{\mathrm{d}f \cos\epsilon \,\mathrm{d}\omega} = \frac{1}{M}\int S_{\epsilon\lambda} V_\lambda \,\mathrm{d}\lambda \tag{3.6}$$

Die verwendeten Maßeinheiten sind Stilb [sb], Apostilb [asb], Lambert [L], Footlambert [fL] oder Candela pro Quadrameter [cd/m^2]. Für die Umrechnung zwischen den Einheiten gelten 1 sb=1 cd/cm^2, 1 asb=$\frac{1}{10^4\pi}$ sb=$\frac{1}{\pi}$ cd/m^2, 1 L=$\frac{10^4}{\pi}$ cd/m^2 und 1 fl=3,426 cd/m^2.

[1] Steradiant (sr), eine Einheit für den räumlichen Winkel. Es gilt: 1sr=Teil der Kugeloberfläche / Quadrat des Kugelradius. Ein Steradiant entspricht einem vierpitel der Oberfläche einer Kugel. Nimmt man eine gleichmäßige Abstrahlung in Kegelform an, so ergibt sich ein Kegelöffnungswinkel von 65,5 Grad für 1 sr.

[2] Bei Luft unter Normbedingungen entspricht die Wellenlänge λ =555 nm der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz. Dies ist ungefähr der Übergang zwischen grün und gelb im Farbempfinden bei Tageslicht.

- Die Beleuchtungsstärke, Kurzzeichen E, ist ein Maß für das auf eine Fläche auftreffende Licht. Die Maßeinheit ist Lux (lx).

$$E = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}F} = \int L_\epsilon \cos i \,\mathrm{d}\Phi \tag{3.7}$$

  Die mittlere Beleuchtungsstärke einer Fläche ist der Lichtstrom pro Flächeneinheit. Ein Lux wird erreicht, wenn ein Lumen auf eine Fläche von einem Quadratmeter senkrecht und gleichmäßig eingestrahlt wird. Umrechnung:

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm m}^{-2} = 1 \text{ cd sr m}^{-2} = 1 \text{ nt sr} = 10^{-4} \text{ sb sr}$$

  Die Beleuchtungsstärke wird je nach Anwendung horizontal oder vertikal gemessen.

  Die Beleuchtungsstärke ist abhängig von der Entfernung von der Lichtquelle. Bei punktartigen Lichtquellen kann mit

$$E(b) = \left(\frac{a}{b}\right)^2 E(a) \tag{3.8}$$

  die im Abstand a gemessene Beleuchtungsstärke $E(a)$ auf die im Abstand b vorliegende Beleuchtungsstärke $E(b)$ umgerechnet werden.

  Da unterschiedliche Flächeneinheiten verwendet werden können folgt hier eine Umrechnungsmöglichkeit: 1 Lux [lm/m^2] = 1,193 Hefner-Lux [Hlm/m^2] = 0,98 meter candle [Ilm/m^2] = 0,0911 foot-candle [Ilm/sq. ft]. Zu beachten ist die Farbtemperaturabhängigkeit der Angaben bzw. Umrechnungen von/nach Hefner-Einheiten.

In der Tabelle 3.1 die oben eingeführten Werte für V_λ (CIE-Kurve, helladaptiert) und K_λ aufgeführt.

Tabelle 3.1: Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad V_λ und photometrisches Strahlungsäquivalent K_λ für verschiedene Wellenlängen λ

λ	V_λ	K_λ	λ	V_λ	K_λ
400	0,0004	0,273	560	0,995	678
450	0,038	25,9	600	0,631	432
500	0,323	220	650	0,107	72,9
550	0,995	678	700	0,0041	2,79
555	1	682	760	0,00012	0,082

Eine genauere Kurve nach den CIE-Daten ist auf Seite 243 zu finden.

Auch in der Lichttechnik werden gerne Wirkungsgradangaben gemacht. Diese sind aber nur mit Vorsicht zu genießen, da viele unterschiedliche Definitionen verwendet werden. Zudem beziehen sich die meisten Angaben auf die Normempfindlichkeitskurven und vernachlässigen die persönlichen Eigenschaften der Augen des Betrachters.

Für Rücklichter bringt es zum Beispiel nichts, eine „ultrahelle" Leuchtdiode mit 20 cd einzubauen, wenn nichts mehr zu sehen ist, weil diese nur ein Grad aus der Strahlachse heraus betrachtet wird.[3] Oder 3 cd sind einmal praxistauglich und einmal nicht. Interessanter ist die Lichtstrom in Lumen eines Leuchtkörpers, und seine Lichtausbeute in lm/W. Der Rest kann in der Regel über eine entsprechende Bündel-/Streuoptik geregelt werden.

Was aber etwas bringen könnte ist eine von Yunnig Guo [GuYu98] bearbeitete Idee: Man verwandle den Glühfaden durch viele kleine radiale Löcher (Durchmesser ca. 450 nm, Tiefe ca. 1500 nm), die als Hohlleiter funktionieren, in einen „Schweizer Käse". Durch die dadurch erreichte vermehrte Abstrahlung visueller Anteile und Zurückhaltung der Infrarotanteile soll nach Guos Schätzungen die Lichtausbeute bei gleicher Fadentemperatur um ca. Faktor 2–2,5 steigern lassen. Allerdings dürfte das aufgrund des üblichen Herstellungsprozesses von Wolframdraht problematisch sein:

> Wolfram wird zu einem Block gesintert (Durchmesser ca. 10 mm), der dann im weißglühenden Zustand auf ca. 4 mm Durchmesser gehämmert wird. Erst dann können aus dem, nun duktilen, Wolfram in mehreren Stufen die Drähte gezogen werden. Zwischen den Umformschritten findet jeweils ein Spannungsarmglühen bei ca. 2000 °C statt.

Theoretisch ist Guos Ansatz ja nett, die praktische Umsetzung hingegen ist fraglich. Ein spanendes Bohren dürfte Ausscheiden.[4] Ob mit einem Ätzverfahren oder Laserbohren in Wolframdraht solche Löcher prozeßsicher herstellbar sind? Wie reagieren die Lochwände auf Diffusionsvorgänge und Oberflächenspannungen, sprich: Fließen die Löcher nicht relativ schnell zu? Und dann die Lebensdauern der Glühlampen. Guos Ansatz mit der selektiv reflektierenden Kolbeninnenbeschichtung die Infrarotanteile im Kolben zu behalten um die Fadentemperatur hoch zu halten, hingegen dürfte bei Halogenlampen, die eine hohe Kolbenwandtemperatur benötigen, kontraproduktiv sein. OSRAM führt dies auf der Außenseite einiger Lampen (z.B. Haloline IRC) durch und steigert dadurch die Lichtausbeute um 26 % von 19 auf 24 lm/W. Der Glühfaden ist durch die hohe Temperatur aber auch empfindlicher. [Baer96].

3.2 Messung des Lichtstromes

Der Lichtstrom eine Quelle kann mit mehreren Methoden gemessen werden. Auf die beiden wichtigsten wird im folgenden eingegangen.

---

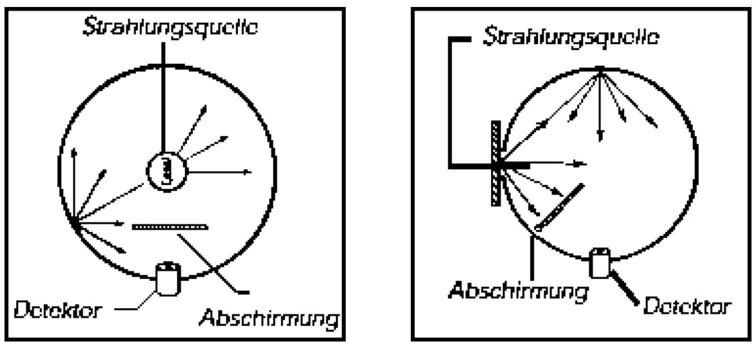
[3] Dieser Satz wurde ca. 1998 geschrieben. Ende 1999 gibt's dann wirklich die LEDs mit 20 cd sogar bei Conrad. Diese kommen von Sharp (Typen GL0Zx042B0S, x=J:orange (20 cd), x=S:sunset orange (25 cd) und x=V:Amber (20 cd)) und haben ein $2\Phi_{1/2}$ von 4°.

[4] Mit Chirurgenwerkzeug vielleicht machbar, die haben zumindest Bohrfutter von 0–4 mm:)

3.2.1 Ulbrichtkugel

Bei Verwendung des Kugelphotometers nach Ulbricht, der Ulbrichtkugel (UK), auch Integralphotometer genannt, ist ein schnelles meßtechnisches Verfahren gegeben.[5]

Die UK ist eine Sphäre (hohle Kugel) mit einem Durchmesser von etwa 0,03. . . 3 m. Diese ist innen mit einer homogenen, vollkommen gestreut reflektierenden Oberfläche versehen.[6] Als Pigment für den visuellen Bereich haben sich Magnesiumoxid sowie Bariumsulfat (Barytweiß) bewährt. Für Wellenlängen, die deutlich über den visuellen Bereich hinausgehen, werden z.B. PTFE oder Goldbeschichtungen verwendet. In einem kleinen Meßfenster ist ein Luxmeter angebracht . Mit einem Abschatter (Durchmesser=1/3 Kugeldurchmesser, Abstand zum Meßfenster 1/6 Kugeldurchmesser) wird das Luxmeter gegen direkte Anstrahlung geschützt (vgl. Bild 3.1).



(a) UK für rundum strahlende Lichtquellen

(b) für gerichtete Lichtquellen

Bild 3.1: Ulbrichtkugeln

Mit dieser Geometrie wird der Sensor im Bereich von $\pm 45° \hat{=} 0{,}102\,\mathrm{sr}$ vom Abschatter bestrahlt, im restlichen Raumwinkel von $2\pi - 0{,}102 = 6{,}181\,\mathrm{sr}$ von der Kugelwand. Durch die cos-Bewertung wird der Anteil in den 0,102 sr aber stärker als mit $0{,}102/2/\pi \hat{=} 1{,}6\,\%$ gewertet. Die zu vermessende Lichtquelle wird in die UK eingebracht. Der Lichtstrom ergibt sich aus:

$$\Phi_\mathrm{L} = A_\mathrm{H} \frac{1-\varrho}{\varrho} \overline{E}_\mathrm{ind} \tag{3.9}$$

Mit dem Reflexionsgrad ϱ, der Oberfläche A_H und der gemittelten, indirekten Beleuchtungsstärke $\overline{E}_\mathrm{ind}$. Um Abweichungen zwischen den theoretischen Eigenschaften und der praktischen Ausführung

[5]In der englischen Literatur *integration sphere*.

[6]Zitat aus der DIN 5032-1: „. . . 9.5.4.2 Fremdkörpereinflüsse: Alle Körper die sich in der Kugel befinden, z.B. Schatter, Lampenfassungen und -halter, beeinflussen die Messung und müssen deshalb so klein wie möglich sein; auch die zu messenden Lichtquellen sind Fremdkörper. . . “

kompensieren zu können wird eine bekannte Lichtquelle eingeführt, mit der die Kugel kalibriert wird. Mit dem so gewonnen Faktor C_K ist eine schnelle Auswertungsmöglichkeit gegeben.

$$\Phi_L = C_K \overline{E}_{ind} \tag{3.10}$$

Näheres ist z.B. in der DIN5032 und [He94] erwähnt. Auch haben einige Hersteller, z.B. GigaHertz-Optik oder L.O.T.-Oriel, weiterführende Kataloge mit genaueren Daten und Anwendungen bzw. Abwandlungen für spezielle Meßaufgaben.

Die Fehler sind mit ca. 4 % meist relativ klein, lediglich eine Abweichung in der Spektralverteilung zwischen Kalibrier- und Meßquelle und spektral abhängige Streu-/ Adsorbtionsgrade führen zu bis zu 10 % Fehler [He94].

Zu den hier verwendeten Ulbrichtkugeln siehe Seite 516 ff.

3.2.2 Integration

In der DIN 5032-1 wird die Integration von Beleuchtungsstärkeverteilung bzw. der Lichtstärkeverteilung auf der die Lichtquelle umgebende Fläche beschrieben. Eine Möglichkeit ist es, die Hüllfläche als Kugelform zu gestalten und dabei in den „Breitenkreisen“ die Mittelwerte der Beleuchtungsstärke bzw. der Lichtstärke zu ermitteln und dann die Mittelwerte aufzuintegrieren. Empfohlen werden $\geq$60 Breitenkreise bei einem Sensor von $1 \cdot 10^{-4}$ sr der Meßfläche erfasst:

$$\Phi = 2\pi r^2 \Omega_0 \sum_{i=1}^{n} \bar{E}_i (\cos\vartheta_{i-1} - \cos\vartheta_i) \tag{3.11}$$

mit dem Einheitsraumwinkel $\Omega_0 = 1$ sr. Diese Sisyphus-Arbeit ist nur roboter- und rechnergestützt sinnvoll. Gerade bei Halogenlampen mit den vielfach als Linse wirkenden Glaskolben beträgt die notwenige Auflösung ab ca. 0,2 Grad (Siehe hierzu die Untersuchungen ab Seite 412. Zudem darf der Sensor nicht durch hinter der Lichtquelle liegende und von dieser angeleuchtete Flächen irritiert werden.

3.2.3 Verfahren nach Rousseau

Das Verfahren nach Rousseau (1885) [Hü21] Bd. 2, S. 831 bzw. [He94] ist ein integratives Verfahren. Es ist meß- und rechentechnisch aufwendiger als die Anwendung der UK1. Für dieses Verfahren wird die Strahlstärke in Abhängigkeit des Winkels[7] ermittelt und umgerechnet. Vereinfacht wird gegenüber 3.2.2 eine achsensymmetrische Beleuchtungsstärkeverteilung angenommen. Es läßt sich rein graphisch und rechnerisch durchführen.

[7] In Strahlachse enstpricht 0 Grad, 180 Grad hinter der Lichtquelle.

$$\Phi = 2\pi \int_0^{\pi} \bar{I}(\vartheta) \sin\vartheta \, \mathrm{d}\vartheta \frac{\mathrm{sr}}{\mathrm{rad}^2} \tag{3.12}$$

Bei engen Abstrahlwinkeln ist die zeichnerische Ermittlung etwas schwierig, es muß numerisch integriert werden. Da die meisten LED-Hersteller die Diagramme der Lichtstärkenverteilung und die maximale Lichtstärke herausgeben ist es ab jetzt nur noch Fleißarbeit:=)

Bei relativ gleichmäßigen Lichtquellen kann man sich unter Umständen das Integrieren bzw. Planimetrieren bei der Verwendung der Russelwinkel umgehen. Der Fehler ist dann meist kleiner 3 %.

$$\Phi = \frac{4\pi}{n} \sum_{i=1}^{n} I(\vartheta_i) \tag{3.13}$$

Tabelle 3.2: Russelwinkel (nach Henschel)

$n = 20$				$n = 10$	
18,2	63,3	92,9	123,4	25,8	95,7
31,8	69,5	98,6	130,5	45,6	107,5
41,4	75,5	104,5	138,6	60	120
49,5	81,4	110,5	148,2	72,5	134,4
56,6	87,1	116,7	161,8	84,3	152,4

Bei den engen Abstrahlwinkeln einiger LEDs sind diese Ansätze nicht mehr hinreichend genau. Ebenso wird durch die Linseneffekte der Kolben von Halogenlampen sowie Abschattungen durch Fadenhalter eine Fehlerquelle vorliegen. Vergleiche hierzu die Messungen in drei unterschiedlichen Ebenen auf Seite 413 ff. und die Bemerkungen zu stark gebündelten LEDs auf Seite 247 .

Don Klipstein gibt für LEDs eine Faustformel an:

$$\Phi = I 2\pi (1 - (\cos(\frac{1}{2} 2\varphi_{1/2}))) \tag{3.14}$$

mit der Strahlstärke I [cd] und dem Strahlwinkel $2\varphi_{1/2}$. Die Ergebnisse können einen Fehler von -50. . . +100 % aufweisen.

3.3 Messung der Farbtemperatur

Mit dem Messen der Farbtemperatur wird ein neues Faß voll von Problemen aufgemacht. Bei dem kontinuirlichen Spektrum der Glühlampen ist es noch verhältnismäßig einfach. Bei den Spektren von LEDs und Gasentladungslampen wird es aber etwas komplizierter.

Neben dem objektiven Messen kommt noch hinzu, daß die Menschen ein subjektiv unterschiedliches Farbempfinden haben. Teilweise sogar das rechte Auge Farben anders wahrnimmt als das linke Auge. Und dann noch im Dunkeln Farben anders bewertet werden als im Hellen... Die Angabe der Farbtemperatur ist also nur der halbe Weg, wenn überhaupt.

Erste eigene Versuche werden mit folgenden Meßgeräten vorgenommen:

Gossen Colormaster 3F Der Einsatz ist eher für Photostudios gedacht. Gebraucht, aber frisch von Gossen kalibriert. Es kann die Farbtemperatur und die Beleuchtungsstärke messen.

Minolta CA-100 Gebraucht und zuletzt 2004 kalibriert ist es für die Einmessung von CRT-Monitoren gedacht. Laut dem ausführlichem Handbuch ist es gut auf die Spektren der CIE 1931 abgestimmt. Es ist schnell und mit serieller Schnittstelle ausgestattet.[8] Ausgegeben werden Farbtemperatur, Δuv und Leuchtdichte bzw. x, y und Leuchtdichte. Das CA-100 ist ist limitiert auf Leuchtdichten von max. 999 cd/m^2.

Der Colormaster 3F und das CA-100 messen über drei Photodioden, die hinter Filtergläsern sitzen und die Spektralbereiche rot, grün und blau messen und daraus die Farbtemperatur errechnen.

Nach den ersten, vergleichenden, Messungen wird die Notwendigkeit der spektralen Messungen erkannt. Lediglich der Anschaffungswiderstand von über 1 kEuro (und die Windows-Abhängigkeit der Geräte) stand im Weg. Als Gerät wird ein Gossen Mavospec M600A gebraucht erstanden. Dies ist ein richtiges Spectrometer (Sensor: Hamasatsu). Gemessen wird zwischen 340 und 750 nm. Es errechnet diverse Farbwiedergabe-Indizes, u.a. R_a und die Farbtemperatur direkt.

Für neuere Messungen wird das M600A verwendet (vgl. Tabelle 3.3). Die Farbtemperaturen sind, soweit nicht anders erwähnt, im hellsten Punkt aufgenommen.

Worauf hier nicht eingegangen wird: Die Verschiebung der Farbtemperatur durch Temperatur und Strom der LEDs. In einigen Datenblättern sind dazu nähere Angaben. Hier wird der Effekt vernachlässigt. Die Änderung des Binnings der LEDs dürfte deutlich mehr Effekt haben.

Tabelle 3.3: Farbtemperatur Scheinwerfer gemessen mit M600A

Hersteller	Modell	LED	R_a [-]	T [K]	x [-]	y [-]
OSRAM	HS3	OSRAM HS3 @0,4 A	100	3176	0,425	0,399
Aliexpress	4000394305332	Cree XM-L ?	75	7368	0,300	0,319
AXA	nano 50		73	6505	0,314	0,320
Basta	Pilot		69	6367	0,316	0,326
Black Dingo	Black Dingo	OSRAM BlackFlat	67	6372	0,316	0,321

Fortsetzung nächste Seite

[8] Die in Klartext die Meßwerte ausgiebt.

Hersteller	Modell	LED	R_a [-]	T [K]	x [-]	y [-]
Büchel	TS120	OSRAM BlackFlat	70	6312	0,317	0,325
b+m	DLumotec Oval	Luxeon LXHL-DW	74	9189	0,292	0,280
	Cyo	Cree XR-E	70	5124	0,343	0,373
	Cyo 60 Sport		73	6143	0,319	0,337
	IQ-X 164/60TS7	OSRAM BlackFlat	68	5882	0,324	0,338
	IQ-XS T DC12 167/12TS	OSRAM BlackFlat	65	5736	0,327	0,341
	IQ-XM 168	OSRAM OSLON	86	4577	0,358	0,359
	Luxos U Abblend		66	6523	0,321	0,337
	Luxos U Fern		65	6061	0,313	0,323
	Lyt		77	8791	0,292	0,288
Hella	Modul 60 LED		62	6447	0,315	0,320
KLB	LI-3A	OSRAM	66	5465	0,333	0,346
Lupine	SL F	OSRAM Compact CL	69	6087	0,321	0,330
Philips	BF60		73	5874	0,324	0,336
Reelight	Nova		70	5682	0,328	0,352
Schmidt	Edelux 1	Cree XR-E	72	5306	0,338	0,374
	Edelux 2	OSRAM BlackFlat	66	6386	0,316	0,321
	DC170	OSRAM BlackFlat	68	6205	0,319	0,327
Supernova	M99pro	OSRAM Compact CL	67	5775	0,347	0,340
Trelock	LS592		78	15610	0,273	0,254
	LS885		72	6842	0,310	0,311
	LS950	Cree ?	72	6375	0,316	0,325

Für die Zulassung wird zumindest für Kfz-Scheinwerfer/Leuchtmittel der Farbort bzw. nach ECE R48 (s. S. 591) die Koordinate im CIE-Diagramm (x, y) verwendet. Nur kann sich darunter kaum jemand etwas bildlich vorstellen. Mit dem Farbwidergabeindex und der Farbtemperatur ist meistens eine hinreichende Aussage getroffen.

3.4 Glühlampen

3.4.1 Elektrische Kenndaten von Glühlampen

Glühfäden von Glühlampen werden inzwischen aus Wolfram(-legierungen) hergestellt.[9] Wolfram ist ein Kaltleiter, d.h. mit steigender Temperatur steigt der Widerstand, bei konstanter Spannung sinkt dann der Strom. Die Zulassungsvorschriften ignorieren dies. Für die genauere Betrachtung des Verhaltens der Lichtanlage ist diese Vernachlässigung aber unzulässig. Erstrecht interessant wird es,

[9] Zur Anfangszeit der Glühlampen wurden z.B. Kohlefäden aus Bambus hergestellt.

wenn die später noch genauer betrachten, Alterungseffekte mit berücksichtig werden. Vorerst werden diese Probleme vernachlässigt.

Glühlampen für Fahrräder werden u.a. in der Norm DIN 49848 Teil 1–5 genormt (Stand Januar 2002):

49848-1 Vakuummbirnen mit einer Betriebsspannung von 6 V. B1 mit 2,4 W und E10-Gewinde, B2 mit 0,6 W und E10-Gewinde B3 mit 0,6 W und BA9s-Sockel. (Stand Januar 1990)

49848-2 Halogenbirne HS3 6 V/2,4 W mit PX13,5s-Sockel für Scheinwerfer von 6 V-Anlagen. (Stand Januar 1990)

49848-3 Glühbirnen für batteriegestützte Beleuchtung mit PX13,5s-Sockel. Form C 2,5 V/0,75 W, D 2,4 V/1,68 W, E 2,8 V/1,4 W, F 6 V/5 W und G 12 V/5 W. So im Normentwurf Juni 2001.

49848-4 Halogenbirne HS4 13,5 V/5 W mit Sockel PX13,5s. Umgangssprachlich 12 V, ist aber für die 13,5 V aus dem Automobilbereich (ungefähr Ladeendspannung Bleiakku) ausgelegt. So im Normentwurf März 1998.

49848-5 TF5 13,5 V/1,2 W für mittelalterliche=präLeuchtdiodenzeit-Rücklichter von 12 V-Fahrrad-Beleuchtungsanlagen. So in der Norm Oktober 1998

Interessant sind u. a. die Lebensdauern (vgl. Tabelle 3.5).

Die Stromaufnahme I, der Widerstand R und die Leistungsaufnahme P einer Glühlampe können als ein Funktion der Spannung ausgedrückt werden. Hier werden mit einem Labornetzgerät die Spannung und Stromaufnahme von Fahrradglühlampen gemessen und in Polynomen zweiten Grades approximiert. Die Meßdaten sind im Anhang wiedergegeben:

- Für eine vermessene HS3-Fahrradlampe OSRAM 6 V/2,4 W K16429 ergibt sich im Bereich 1–7,4 V Gleichspannungsbetrieb angenähert[10]

$$I_{\text{Halogen}}(U) = 0{,}1389 + 0{,}0542U - 0{,}0019U^2 \tag{3.15}$$

$$R_{\text{Halogen}}(U) = 2{,}6796 + 3{,}0404U - 0{,}1573U^2 \tag{3.16}$$

$$P_{\text{Halogen}}(U) = -0{,}0687 + 0{,}2152U + 0{,}0317U^2 \tag{3.17}$$

  mit U in Volt, I in Ampere, R in Ohm und P in Watt. Die ausgemessenen Stützstellen liegen von 1–7 V alle 0,5 V.[11]

[10] Unter Verwendung von xmgr, auch ACE/gr, von Paul J. Turner.

[11] Einfaches Digitalmultimeter (DMM) Conrad 401 für die Spannung im 20 V-Bereich und DMM 3830 für den Strom im über 0,1 Ω±0,5 %-Shunt im 400 mV-Bereich.

Messungen an mehreren, teilweise gebrauchten, Lampen aus dem Fundus ergeben bei Nennspannung Stromaufnahmen von 2×0,40, 2×0,41, 0,43, 0,49, 0,52 und 0,55 A. Laut DIN 49848 ist eine Leistung von 2,4±0,2 W zugelassen, was entsprechend eine Stromaufnahme von 0,37–0,43 A bedeutet. Damit liegen drei von acht Lampen stark außerhalb der Toleranzgrenze. Dies ist bei der Serienschaltung von mehreren Lampen, wie auf Seite 19 beschrieben, zu beachten.

Eine Halogenlampe (bei den Messungen des 28"-SON in der zweiten Lampe) belastet das System bei 6 V mit 3,1 W und liegt deutlich außerhalb des Toleranz-Bereiches. Dieses wird erst am Ende der Messungen entdeckt und ist entsprechend zu berücksichtigen. Seitdem werden die Dynamoanlagen mit stärker belastbaren Widerständen und nicht mehr mit Glühlampen belastet. Leider sind nur so reproduzierbare Meßergebnisse an Dynamos gewährleistet.

- Für zwei konventionelle Vorderlichtglühlampen OSRAM 6 V/2,4 W K16401 ergeben sich im Nennpunkt 0,40 und 0,41 A.

- Für eine vermessene Rücklichtlampe OSRAM 6 V/0,6 W ergibt sich im Bereich 1–7,4 V Gleichspannungsbetrieb angenähert:

$$I_{\text{Rückl.}}(U) = 0{,}0208 + 0{,}0176U - 0{,}0008U^2 \tag{3.18}$$
$$R_{\text{Rückl.}}(U) = 18{,}9463 + 9{,}8324U - 0{,}4657U^2 \tag{3.19}$$
$$P_{\text{Rückl.}}(U) = -0{,}0269 + 0{,}0512U + 0{,}0086U^2 \tag{3.20}$$

  Im Nennpunkt werden 0,099 und 2×0,11 A gemessen.

- Für eine vermessene Glühlampe Philips HS4 (HPR74) ~~~K82 ergibt sich im Bereich 1–14,5 V Gleichspannungsbetrieb angenähert:

$$I_{\text{HS4}}(U) = 0{,}1301 + 0{,}02611U - 0{,}0004346U^2 \tag{3.21}$$
$$R_{\text{HS4}}(U) = 4{,}02 + 3{,}516U - 0{,}09946U^2 \tag{3.22}$$
$$P_{\text{HS4}}(U) = -0{,}07668 + 0{,}191U + 0{,}01618U^2 \tag{3.23}$$

- Last but not least: Eine gebrauchte Lampe aus dem Cateye HL-1500 G: 4,8 V/0,5 A zieht bei 4,8 V 0,548 A und bei 6 V 0,612 A.

$$I_{\text{Cateye}}(U) = 0{,}2193 + 0{,}0821U - 0{,}0028U^2 \tag{3.24}$$
$$R_{\text{Cateye}}(U) = 1{,}5759 + 2{,}0689U - 0{,}1163U^2 \tag{3.25}$$
$$P_{\text{Cateye}}(U) = -0{,}0855 + 0{,}3183U + 0{,}0513U^2 \tag{3.26}$$

Für eine Standardkombination aus 6 V/2,4 W und 6 V/0,6 W ergeben sich dann:

$$I_{\text{ges.}}(U) = I_{\text{Halogen}} + I_{\text{Rückl.}} = 0{,}1597 + 0{,}0718U - 0{,}0027U^2 \tag{3.27}$$

$$R_{\text{ges.}}(U) = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{Halogen}}} + \frac{1}{R_{\text{Rückl.}}}} = \frac{U}{I_{\text{ges.}}} = \frac{U}{0{,}1597 + 0{,}0718U - 0{,}0027U^2} \tag{3.28}$$

$$P_{\text{ges.}}(U) = P_{\text{Halogen}} + P_{\text{Rückl.}} = -0{,}0956 + 0{,}2664U + 0{,}0403U^2 \tag{3.29}$$

Das ist nicht so konstant, wie es die TAs annehmen. Wenn jetzt noch die Supressordioden berücksichtigt werden sollen, so wird das Verhalten für eine theoretische, geschlossene Lösung des Gleichungssystemes erstrecht ekelhaft. Lumitron (www.lumitroncorp.com) gibt für die Abhängigkeit der normierten Leistungsaufnahme von der normierten Spannung auf den W3-Seiten (http://www.) einen Exponenten von 0,55 an.

Relativ neu sind, aus der Automobilindustrie kommend, blaue bzw. bläuliche Lampen, manchmal *blue vision* genannt. Ein Vertreter ist hier die Philips HPR60BV (~~~K141). Es ist eine normale HS3-Lampe (HPR60), allerdings eine ausgesucht helle Variante, bei der mit einer Lackschicht die rötlichen Lichtanteile ausgefiltert werden. Der Sinn scheint eher werbewirksam zu sein. Vergleiche auch hierzu die Bemerkungen auf S. 244.

3.4.2 Einflüsse auf die Lebensdauer

Die Einflüsse auf die Lebensdauer von Leuchtkörpern sind vielfältig. Die bedeutsamsten Faktoren sind Überspannung und Erschütterungen. Diesen wird weiter unten noch nachgegangen. Aber auch die Auslegung, Nennleistung und Konstruktion haben Auswirkungen auf die zu erwartende Lebensdauer.

Wohl nur den wenigsten Lampen ist eine so lange Lebensdauer vergönnt, wie der *Centennial Lightbulb* in Livermore/Kalifornien. Diese kann inzwischen auf mehr als 100 Betriebsjahre zurückblicken. Allerdings ist es eine Kohlefadenlampe mit 4 W, xy lm/W, nur drei Anschaltvorgängen: Inbetriebnahme und zwei Umzügen.

Der Kohlefadenlampe von Thomas Alva Edison werden 3–3,2 lm/W zugeschrieben[1][DTVLex].

Konventionelle Lampen werden in der Regel mit Argon, Krypton oder Xenon gefüllt. Die schwereren Edelgase sind relativ selten und teuer, deshalb wird meist Argon verwendet. Teilweise wird dem Argon Stickstoff beigemischt. Durch einen hohen Gasdruck und das hohe Molekulargewicht der Edelgase läßt sich die Verdampfung des Wolframs reduzieren, aber nicht verhindern. Vergleich hierzu auch Tabelle 3.4 nach [Fo28], ergänzt durch [He94].

Tabelle 3.4: Verdampfungsgeschwindigkeit von Wolfram bei 2870 °C in einer Atmosphäre aus 86 % Ar und 14 % N

p		Verdampfungsgeschwindigkeit
[cm Hg]	[bar]	[ng/cm^2/s]
0	0	230
5	0,067	23,5
10	0,133	20,5
50	0,667	5,4
50	1	4,2
165	2,2	2,0

Alleine mit diesen Werten wird deutlich, daß Halogenlampen, deren Betriebsdruck bei ca. 1–2 bar liegt, wesentlich länger halten sollten als die evakuierten Lampen vom Typ B1 oder B2. Die Temperaturabhängigkeit des Dampfdruckes ist in Bild 3.2 wiedergegeben, die Daten stammen aus [MH Vol2] und von OSRAM.

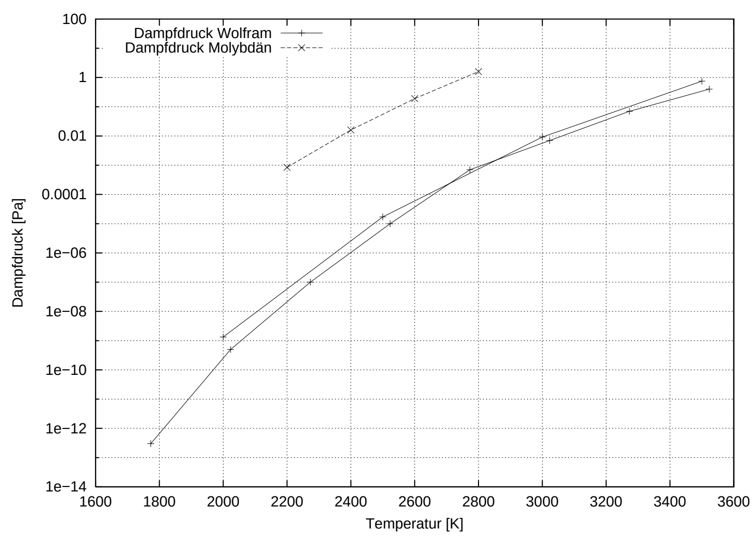


Bild 3.2: Dampfdruck von Wolfram

Die um die Wendel befindlichen Edelgasatome verhindern über Stoßeffekte den Abtransport der verdampften Wolframatome und erhöhen somit an der Wendeloberfläche den Partialdruck von Wolfram und reduzieren darüber dessen Verdampfung. Durch die Gasfüllung kommt es bloß wieder zu Konvektionserscheinungen. Aus diesem Grund werden „normale“ Lampen kleiner Leistung (meist unter 15 W) zu Verminderung der Verluste evakuiert. Die Fahrradlampen B1 und B2 sind evakuiert. Begründung: Der besonders bei der HS4, in geringerem Umfang auch bei der HS3 beobachtbare Wärmetransport der Gasströmung (Konvektion) und damit die Verschiebung des glühenden Bereiches der Wendelteile durch Lageänderung bei niedriger Spannung fehlt bei den Typen B1 und B2 völlig. Mit der Lebensdauer wird die Lampe dunkler, da verdampftes Wolfram sich auf dem Glaskolben niederschlägt und die Transmission des Lichtes behindert.

Für Fahrradscheinwerfer werden inzwischen meist Halogenlampen verwendet. Nach der bevorstehenden Änderung der TA23 sind Halogenlampen über die zu erreichenden Beleuchtungsstärken indirekt vorgeschrieben. Für das Halogengas wurden früher Jodverbindungen, heute aus Fertigungsgründen eher Bromverbindungen verwendet. Der Halogenprozeß bewirkt die Rückförderung des kondensierten Wolframs an die Glühwendel. Dazu muß der Glaskolben auf der Innenseite mindestens 250 °C warm sein, sonst kondensieren die Wolfram-Halogen-Molekühle an der Kolbeninnenseite. Das Wolfram schlägt sich, nachdem es sich bei mehr als 1400 °C von den Halogenatomen gelöst hat, ungeordnet an der Glühwendel nieder, meist nicht an der heißesten Stelle. Durch die kleinen und stabilen Kolben kann der Gasdruck erhöht werden, wodurch die Lebensdauer erhöht wird. Niederdruckkolben haben laut [Zi96] einen Druck von 0,25 MPa $\hat{=}$ 2,5 bar; aber es ist nicht erwähnt, ob dies der Betriebsdruck oder der Fülldruck ist. Lupine gibt einen Betriebsdruck von 2,5 bar an.

In der Tabelle 3.5 sind Anhaltswerte für die erzielbaren Lichtausbeuten und Lebensdauern zusammengetragen. Die Lampen sind nach konventionell (K), Halogen (H) und Gasentladung (G) unterschieden.

Tabelle 3.5: Ausgewählte Lichtstromausbeuten und Lebensdauern

Lampe	K	H	G	P_{nenn} [W]	Φ_{Nenn} [lm]	[lm/W]	T [h]	$B3$ [h]	Bemerkung Quelle
C	X			0,75	6,1	8,1	30		DIN 49848-3
D	X			1,68	16,5	9,8	15		DIN 49848-3
TF5	X			1,2	7,5	6,3	3000	600	DIN 49848-5
B2	X			0,6	2	3,3			TA6/DIN 49848
B1	X			2,4	21	8,7			TA6/DIN 49848
HS2		X		15,0	320	21			DIN60810
E		X		1,4	17,0	12,1	10		DIN 49848-3
HS3		X		2,4	36	15	100-160		TA6/DIN 49848
HMP08L		X		2,4	36	15	100		Philips
HMP29		X		3,0	46	15,3	100		Philips
F/G		X		5,0	90	18	100		DIN 49848-3
HS4		X		5,0	90	18	100	50	TA6/DIN 49848-4
Allgebrauch	X			15	110	7,3	1000		DIN EN 60064
normales Φ	X			200	2960	14,8	1000		DIN EN 60064
hohes Φ	X			200	3190	16,0	1000		DIN EN 60064
Baustellenl.	X			500	8800	17,6			gebrauchte Baustellenleuchte, ? in UK1 mit Universalweiß
	X			488,3	5745	11,8			Nachmessung 2010 in UK1 mit ODP97
Nitraphot B	X			500	11000	22			Filmleuchte
Radium 531B	X			1000	14252	13,5			Halbverspiegelte, neu
Halogen		X		> 100		$19 - 22$	1000–2000		allgemein
		X		5	60	12	2000		OSRAM 64410 [OsHal]
		X		100	2500	25	2000		OSRAM 64458 [OsHal]
		X							[OsHal]
		X		650	21000	32	15		Philips Aufnahmelampe
Leuchtstoff				/7,5	400	/53	10000		DULUX EL 7W
				18/30	1450	81/48	10000		[OsQuick]
				58/71	5400	93/76	10000		[OsQuick]
Gasentladung			X			105	5000		Natriumdampfhochdr.
			X	35/43	3000	86/70			Bosch (HME)
			X	35/42	3200	91/76	2000		OSRAM (HME D2S)
			X	35 ± 3/	3200 ± 450	91/76	2000		ECE 99 (D2S)
			X	35 ± 3/	2800 ± 450	91/76	2000		ECE 99 (D2R)
			X	21	1300	62	2000		Cateye SL1
			X	10/13	450	45/33	1000		Welch Allyn 10 W Sōlarc
			X	2200/	220000	108/	>5000		Philps Master MHN-LA
Kohlebogen			X	-16k		6,5	400	≈ 100	
Acetylen						0,48–0,78			[StHü]

Als Leistungsaufnahmen und Lichtausbeuten sind bei den Geräten mit Vorschaltgerät (Leuchtstofflampen), wenn verfügbar, die Leistung ohne/mit (220 V) Vorschaltgerät aufgeführt. Zur Frequenz-und Temperaturabhängigkeit von Leuchtstoffröhren vgl. Seite 225. Auch hier zeigt sich wieder: Je größer die Leistung, desto größer ist auch der Wirkungsgrad.

Bosch wirbt damit, daß deren 35 W Hochdruckentladungslampen (Lampe D2S von Philips, Steuerelektronik von Bosch) für Autos heller als 55 W Halogenlampen seien. Verschweigt aber teilweise die 8 W für das Vorschaltgerät, die zumindest eine Zeitlang bei Bosch irgendwo auf den Webseiten zu finden waren. Der Hauptvorteil liegt besonders darin, daß die Lebensdauer der Hochdruckentladungslampen größer als die des Kraftfahrzeuges ist.

Gasentladungslampen für Kfz sind u.A. in der ECE 99 genormt: Die Bogenlänge liegt bei ca. 4,2 mm.[12] Die Elektroden haben einen Durchmesser von <0,3 mm. Der Bogen schwimmt gegenüber der Elektrodenachse im Gas im Mittel um ca. $0{,}5 \pm 0{,}25$ mm auf, die Hüllfläche hat eine Höhe $1{,}1 \pm 0{,}25$ mm.

Die Normen DIN EN 60809 und 60810 befassen sich mit Glühlampen für Straßenfahrzeuge und sind auch für Fahrräder zuständig. Die aktuelle DIN EN 60810 legt für Fahrradglühlampen keine Lebensdauer fest. Ebenso sind in den TA's keine Anforderungen bekannt, außer der 50 h B3-Anforderung in der TA4 Abs. 13 für nicht bauartgenehmigte Lichtquellen (vgl. S. 562). Die Angaben in der DIN 60810 lassen den Schluß zu, daß die Lebensdauer $T \approx 2 \ldots 3 \cdot \mathrm{B3}$ beträgt.

Womit wir wieder bei der Hydra wären, die jetzt den Kopf *Weibull* hervorbringt. Zur Weibullverteilung, einer statistischen Methode die u.a. zur Lebensdauerabschätzung herangezogen wird, gibt es u.a. die VDI-Richtlinie 4009 Blatt 5.

Die relativ neuen Normen [DIN 49848-3] bis [DIN 49848-5] geben inzwischen Lebensdauern an. Die Werte sind in der Tabelle 3.5 aufgeführt.

Die Norm DIN 49848-5 gibt die Lebensdauern für freibrennenden, ruhenden Betrieb an Gleichspannung an. Nach DIN 49848-4 sind zur Vermeidung von Frühausfällen bei HS4 Lampen Effektivspannungen > 16 V zu vermeiden.

Die Spannung wirkt sich nicht nur in elektrischen Kennwerten aus. Auch die optische Leistung und die Lebensdauer sind von der Spannung abhängig.

Die Lichtausbeute steigt mit steigender Spannung. Bei gleicher Lebensdauer steigt die Lichtausbeute mit steigender Nennleistung. Die Zusammenhänge ergeben sich mit dem **Ohm**schen ($R = U/I$), dem **Stefan-Boltzmann**schen ($P \sim T^4$) und dem **Wiedemann-Franz**schem ($R \sim T$) Gesetz.

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^4 = \left(\frac{R}{R_0}\right)^4 = \left(\frac{U}{U_0}\right)^{\frac{8}{5}} = \left(\frac{I}{I_0}\right)^{\frac{8}{3}} \tag{3.30}$$

Daraus ergibt sich

$$\Phi = \Phi_{\mathrm{Nenn}} \left(\frac{U}{U_{\mathrm{Nenn}}}\right)^3 \tag{3.31}$$

[12]Mittlerer Abstand bei den Lagetoleranzen der Elektrodenlänge.

Der theoretisch begründete Exponent 3 scheint für Lampen mit höherer Betriebsspannung oder Leistung gute Näherungen zu liefern. Hier hat der Autor bei vier verschiedenen Lampen (s. S. 530) die Beleuchtungsstärke im Abstand von 40 cm gemessen. Mit einem Exponenten von 3,25 werden im Spannungsbereich $0{,}8{\cdot}U_{\mathrm{Nenn}}$ bis $1{,}2{\cdot}U_{\mathrm{Nenn}}$ gute Ergebnisse erzielt. Hierbei wird angenommen, daß die räumliche Verteilung der Abstrahlung von der Spannung unabhängig ist. Das Beleuchtungsmeßgerät „sieht“ die Breitseite des Glühfadens durch den radialen Kolbenaustritt. Lumitron gibt auf seinen W3-Seiten (http://www.) sogar einen Exponenten von 3,5 an. Henschel [He94] gibt aus älterer Literatur sogar 3,8, an.

Das Bild 3.3 zeigt die Abhängigkeit verschiedener Größen auf. Die Kurven sind normiert.

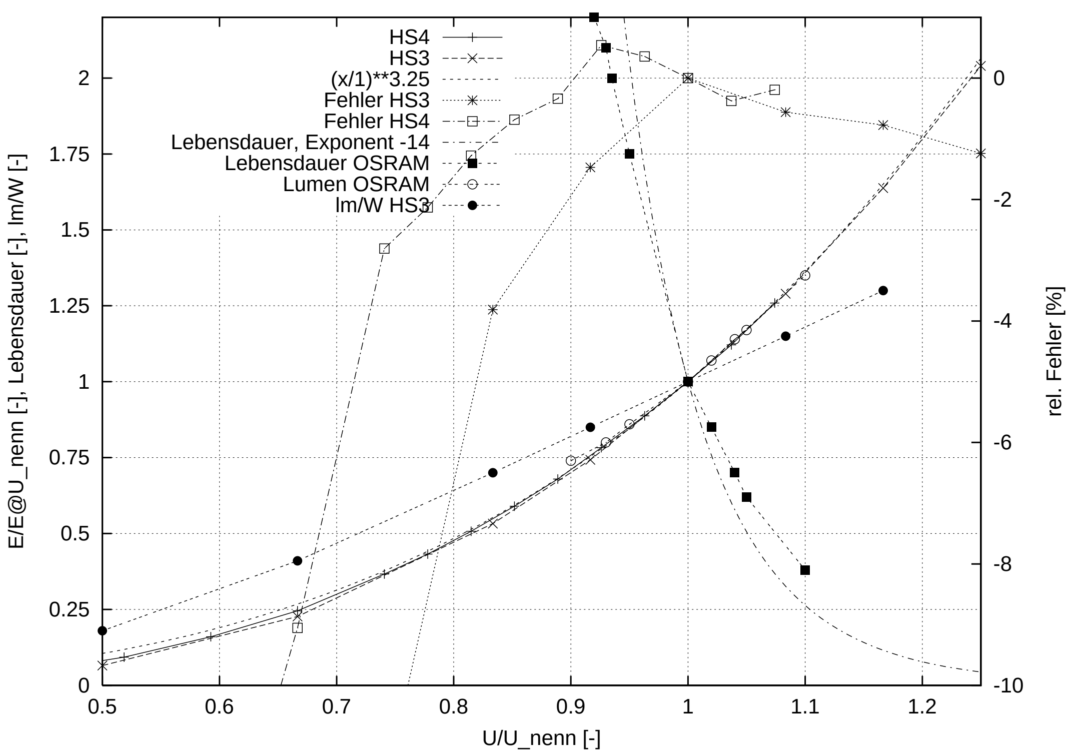


Bild 3.3: Normierte Abhängigkeit des Lichtstromes von der Betriebsspannung

Die Lebensdauerkennlinie OSRAM im Bild 3.3 ist [OsHal] entnommen. Laut [OsHal] funktioniert der Halogenprozeß unterhalb 95 % der Nennspannung nicht mehr und eine Lebensdauerverlängerung tritt nicht ein.

Die Lebensdauer L von Glühlampen sinkt mit steigender Spannung ungefähr mit folgender Gesetzmäßigkeit:

$$L = L_{\mathrm{Nenn}} \left(\frac{U}{U_{\mathrm{Nenn}}} \right)^{-k} \qquad (3.32)$$

Für den Lebensdauerexponenten k werden in der Literatur unterschiedliche Werte angegeben:

- $k = 10 - 11$ bei OSRAM für Niedervolt-Halogenlampen
- $k = 12$ bei Lumitron für Niedervolt-Glühlampen
- $k = 13$ bei evakuierten Lampen (DIN EN 60064)
- $k = 14$ für Allgebrauchslampen (ArN_2-Füllung, 220 V) [He94] und DIN EN 60064

Ein k-Wert von 10–11 scheint realistischer als 14. Bei 7,2 V dürfte eine typische Fahrrad-Halogenlampe ($L_{\mathrm{Nenn}} \approx 200$ h) sonst nur noch ca. 15 h halten. Die haben bisher aber alle Lampen im Fahrradeinsatz beim Autor locker überstanden und gerade mit dem SON überschreitet man die 6 V schnell!

Glühlampen an Fahrrädern besitzen eine relativ kurze Lebensdauer. Durch Erschütterungen im Betrieb können sich einzelne Wendeln des weißglühenden Glühfadens kontaktieren und verschweißen. Dadurch wird dann jeweils eine Windung der ca. 22 Windungen kurzgeschlossen, dies führt zu Rückwirkungen auf den Dynamo und wirkt sich in der Lichtausbeute aus.[13] Der Prozeß geht schleichend und damit meist vom Benutzern unbemerkt, vonstatten!

Weitere Abhängigkeiten nach Katalogdaten von Gilway, OSRAM und Philips sind im Bild 3.4 gegenübergestellt. Da Strom, Lichtausbeute, Lebensdauer und die Farbtemperatur voneinander abhängen sind einfache Darstellungen schwierig. Im dreidimensionalen Raum mit Farbschattierungen sollte das klarer darstellbar sein, aber Papier kann dies leider noch nicht ausreichend. Zudem reißen vereinzelte extreme Lampen, z.B. mit langen Lebensdauern, die Skalierungen auseinander. Die Daten sind alle Nenndaten.

[13] Es sind schon gealterte Lampen mit 0,732 A@6 V=8,2 Ω bzw. 2,59 V@0,5 A=5,18 Ω beobachtet worden. Hier ist bei schwachen Dynamos auch von einer Rückwirkung auf die Lichtleistung auszugehen.

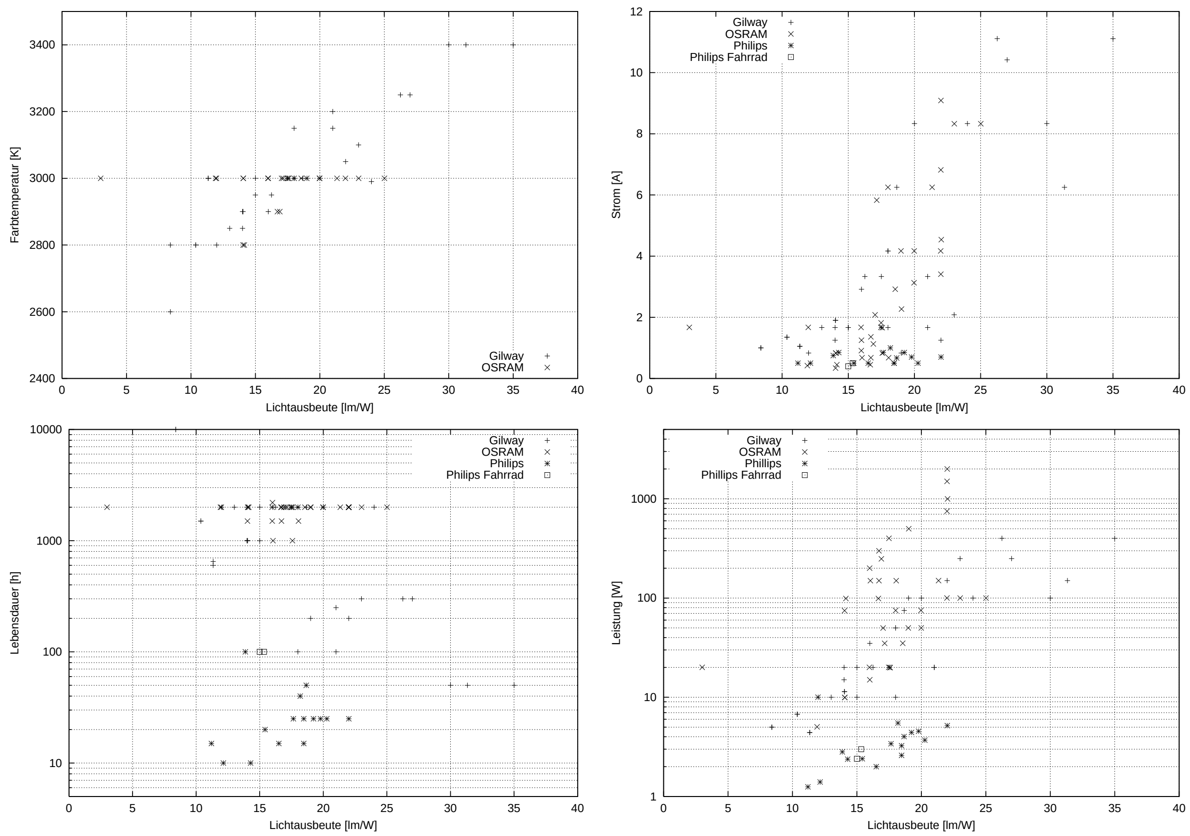


Bild 3.4: Farbtemperatur in Funktion der Lichtausbeute im Nennpunkt

Trends sind eindeutig feststellbar. Die Daten der einzelnen Hersteller weichen aber zu stark voneinander ab, als daß daraus präzisere Aussagen getätigt werden könnten.

Einige Praxisdaten von meist nagelneuen 12 V-Lampen zeigt Bild 3.5. Dazu werden je 6 nagelneue Lampen (Aldi Jan. 2003) ’a 10, 20, 35 und 50 W, je eine, jeweils eine Stunde gealterte Philips Halotone ’a 5, 10 und 35 W sowie eine neuwertige Sylvania 50 W-Lampe getestet. Die nominale Lebensdauer der Kress beträgt 3000 h, die der Philips 5 W 2000 h, der 10 und 35 W 3000 h. Die Halontones sind noch mit einem UV-Filter ausgestattet.

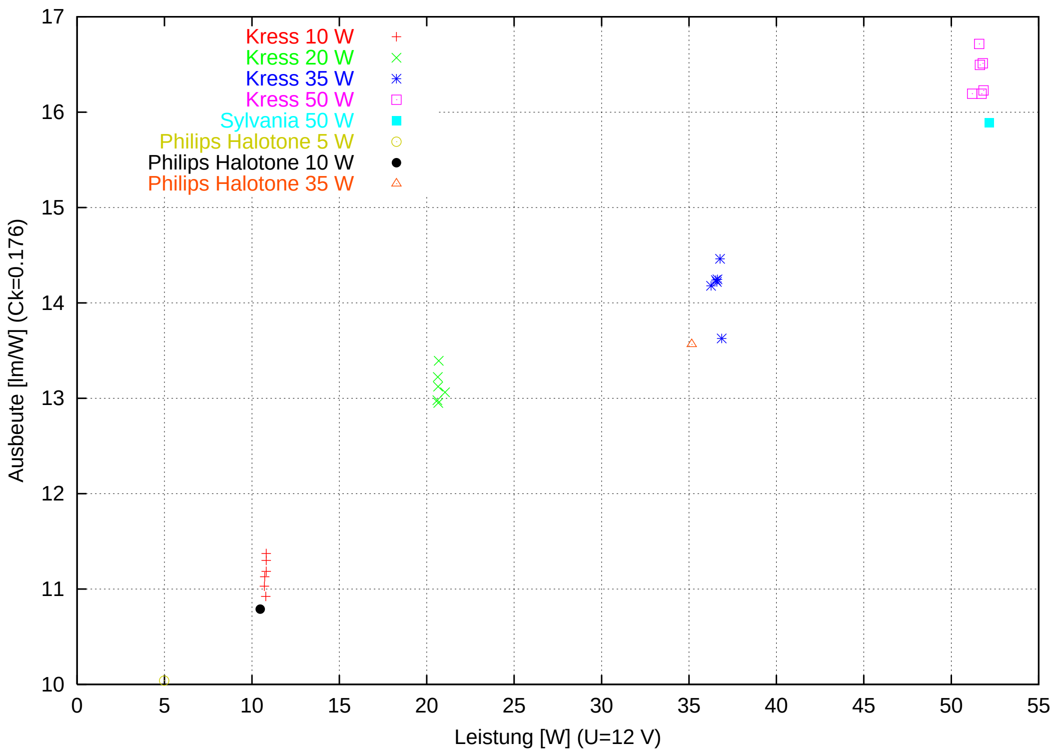


Bild 3.5: Lichtausbeute einiger 12 V-Stiftsockellampen

Wer den Gedanken verfolgt, normale 12 V-Lampen für die Fahrradbeleuchtung zu nehmen, um mehr Licht zu haben wird maximal eine höhere Lebensdauer ernten. Die Lichtausbeute ist, bei vergleichbaren Leistungen, deutlich geringer als bei den normalen Fahrradlampen (vgl. Bild G.1).

Zusatz November 2003: Inzwischen sind von OSRAM und Philips sogenannte Longlife-Lampen in der 12 V/5 W-Größe auf dem Markt. Hier folgen Erkenntnisse mit Philips (in den hiesigen Baumärkten etc. Platzhirsch). Statt 2000 h und UV-Filter (3222 617 60262) werden nun 4000 h (322 626 98122) angepriesen. Die Lichtausbeute bei 12 V liegt bei ca. 13,5 lm/W bei den drei getesteten 2000 h-Typen und bei 14,1 lm/W bei den zwei getesteten 4000 h-Typen. Allerdings werden die 4000 h-Typen auch bei ca. 5,12 W, die 2000 h bei 4,9 W betrieben. Der Vergleich der Makroaufnahmen ergibt bei den 4000 h-Typen eine längere aber dünnere Glühwendel. Wicklungsabstand und Drahtdurchmesser sind, wenn überhaupt, nicht auffällig unterschiedlich. Die Glühwendel der 4000 h-Typen ist weiter in axialer Richtung durchgebogen als die der 2000 h-Typen. Absolute Maße gibt es derzeit mangels Meßmikroskop nicht.

3.4.3 H4-Marketingmaschine

Ein Ausflug in die Welt der Autolampenmarketingmaschine sei hier erlaubt. Im Herbst 2002 wird von Bosch für deren Plus 50/60 geworben: „... Ihre Lichtausbeute ist im Vergleich zu Standard-

Glühlampen bis zu 60 % höher. . . “. Ein abendlicher Zug durch die Tankstellen und andere Geschäfte bringt dann zwei, laut Verpackung, Noname H4, eine Philips VisionPlus (vorne + 50 %) hinten: “. . . Bis zu 50 % mehr Licht auf der Straße, 10–20 Meter weitere Sicht und bessere Reflexion von Straßenmarkierungen und Schildern.. . . “, eine Bosch H4, eine Bosch H4 Plus 30 und eine Bosch H4 Plus 60 auf den Experimentiertisch und in die UK1.

Als Bemerkung am Rande: Zuständig für die Lampen in Straßenfahrzeugen sind u.a. die DIN EN 60809 „Glühlampen für Straßenfahrzeuge; Maße, elektrische und lichttechnische Anforderungen“, hier Seite 15 ff. „Datenblatt, Kategorie H4“ (Stand Dezember 1996) und die DIN EN 60810 „Lampen für Straßenfahrzeuge, Anforderungen an die Arbeitsweise“ (Stand Juli 2002). In der DIN EN 60809 wird für 12 V H4-Lampen eine Prüfspannung von 13,2 V vorgeschrieben. Der Bemessungslichtstrom für den Fernlichtleuchtkörper beträgt 1650 lm $\pm$15 % und für den Abblendlichtleuchtkörper 1000 lm $\pm$15 %. Die Nennleistung beträgt 60 W für den Fernlichtleuchtkörper bzw. 55 W für den Abblendlichtleuchtkörper. Die maximale Leistung beträgt 75 bzw. 68 W. Da sich die TAs und die DIN in der Regel decken müßten die $\geq$+30 %-Lampen diverser Hersteller eigentlich Probleme mit der Zulassung bekommen. Interessant in diesem Sinne ist auch ein Test des SWR in Zusammenarbeit mit dem LTI (www.swr.de/ratgeber-auto/archiv/2001/03/17/print4.html) mit H4- und H7-Lampen.

Tabelle 3.6: Grunddaten von getesteten H4-Lampen

Lampe	Leuchtk.	P_{0h}	d	P		n	L	D
d_{Kolben}				avg.	Mitte			
		[W]	[µm]	[µm]		[-]	[mm]	[mm]
Linzhi	Abb.	65,1	181	352	320	17	5,98	1,44
16	Fern.	73,33	188	326	340	14	4,56	1,5
Linzhi (II)	Abb.	66,69	181	322	295	18	5,79	1,43
16	Fern.	70,79	188	349	265	14	4,88	1,64
Philips VP	Abb.	64,02	167	292	250	17	4,97	1,24
14,2	Fern.	72,6	175	349	320	14	4,89	1,54
Bosch	Abb.	66,33	181	328	340	18	5,9	1,52
16	Fern.	71	175	345	340	14	4,84	1,63
Bosch Plus30	Abb.	58,54	163	291	290	18	5,23	1,2
16	Fern.	70,84	175	331	340	14	4,63	1,38
Bosch Plus60	Abb.	59,33	161	293	260	18	5,3	1,1
16	Fern.	70	178	321	310	14	4,5	1,48

Die Nonames sind von Linzhi (Jiangsu Changshu Linzhi Co Ltd.), es sind zwei unterschiedliche Versionen im Test. Die Bezeichnung beider ist identisch. Bei der einen ist der Kragen mit dem Rest vollflächig verlötet und die Beschriftung aufgelasert, bei der anderen ist der Kragen über sechs Laschen punktgeschweißt und die Schrift eingestanzt. Am Sockel sind noch einige andere Unterschiede zu beobachten.

Bei den Lampen von Bosch ist noch ein Herstellungscode (Datum kodiert?) und die Uhrzeit aufgedruckt.

Die VisionPlus ist im vorderen Bereich des Abblendleuchtkörpers mit einem dezenten Blaufilter versehen. Der Lichtanteil, der vom äußeren Teil des Reflektors gebündelt wird, wird bläulicher gefärbt. In der Regel ist dieser Anteil des Lichtstromes der für die ferneren Anteile. Das Nahlicht kommt in der Regel vom inneren Bereich des Reflektors und wird damit hier nicht gefiltert.

Die Leistung P_{0h} ist die Leistung, die die Lampen bei Inbetriebname an 13,2 V aufgenommen haben. Der Durchmesser D ist der gesamten Wendel, nicht der der Drahtachse. Die Länge L wird zwischen den Außenkanten des Drahtes der jeweils äußerten Wendel gemessen.

Die Plus 30 und Plus 60 haben anscheinend dünnere Drähte für den Abblendlichtleuchtkörper. Weiterhin sind die Leuchtkörper enger gewickelt, was sich in der absoluten Länge, der daraus gemittelten Steigung (avg.) und der Steigung einer Wendel in der Mitte der jeweiligen Leuchtkörper zeigt.

Die Lampen sind hier eine Stunde bei 13,2 V je Leuchtkörper gealtert. Durch eine Fehlschaltung, sind die Linzhi und die Bosch-Lampen eine Stunde mit 13,2 V über beide Leuchtkörper vorgealtert. Die Brennlage ist waagerecht, die Abblendwanne liegt unterhalb des Leuchtkörpers.

Tabelle 3.7: Lichtstrommessungen H4 etc. ($C_K = 0{,}176$)

Lampe	Leuchtk.	P [W]	Φ [lm]	η [lm/W]
Linzhi	Abb.	73,1	998	13,65
	Fern.	64,85	1792	27,63
Linzhi II	Abb.	63,94	973	15,21
	Fern.	72,06	1677	23,27
Philips VP50	Abb.	70,75	1174	17,45
	Fern.	67,28	1877	26,53
Bosch	Abb.	66,05	1048	15,87
	Fern.	71,17	1815	25,5
Bosch Plus30	Abb.	58,49	1121	19,17
	Fern.	70,63	1991	28,19
Bosch Plus60	Abb.	54,72	1067	19,5
	Fern.	70	2098	29,97
OSRAM Ba20D	Abb.	34,45	384	11,18
Bilux 7327	Fern.	33,48	606	18,1

Die Schatter für die Abblendlichter sind eindeutig absolute Energierverschwender und das Versprechen von einer Lichtausbeute **von bis** zu +30 % oder sogar +60 % wird nur marketingtechnisch eingehalten. In Bild 3.6 sind die Lichtausbeuten auf die der normalen Bosch H4 bezogen.

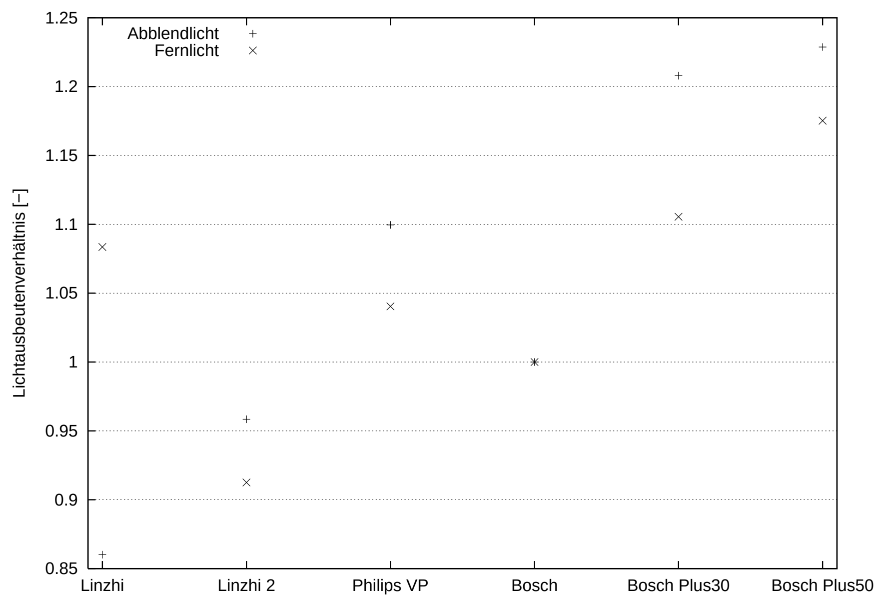


Bild 3.6: Vergleich von H4-Lampen (Lichtausbeute bezogen auf Bosch)

Die Messungen in der Ulbrichtkugel (siehe oben) sind eine Methode. Als zweite Bewertungsmethode wird die Leuchtstärke der Lampen in definiertem Abstand (53 cm) bestimmt (siehe Tabelle 3.8). Hier wird der Sensor oberhalb der Lampen positioniert. Durch die Reflexion des Lichtes in der Wanne wird das Abblendlicht stärker erscheinen als bei der Messung in der UK. Für Messungen am Fernlicht wird die Lampe um 90 Grad gedreht, so ist der Fadenhalter nicht als Abschatter wirksam. Ziel dieser Messung ist nur ein relativer Vergleich der Lampen untereinander!

Tabelle 3.8: Leuchtstärkemessung H4 (Meßabstand 53 cm)

Lampe	Leuchtk.	P [W]	E [lx]	η [lx/W]
Linzhi	Abb.	65,19	950	14,57
	Fern.	73,46	650	8,85
Linzhi II	Abb.	63,94	940	14,7
	Fern.	72,06	630	8,74
Philips VP 50	Abb.	67,19	1080	16,07
	Fern.	70,98	740	10,43
Bosch	Abb.	65,79	870	13,22
	Fern.	71,4	723	10,13
Bosch Plus30	Abb.	58,54	1000	17,08
	Fern.	70,88	740	10,44
Bosch Plus60	Abb.	59,2	970	16,38
	Fern.	70,4	746	10,6

Trägt man die Lampen gegeneinander auf und bezieht die Werte auf die der normalen Bosch-Lampe als „Standard-Glühlampe“, so ergibt sich Bild 3.7

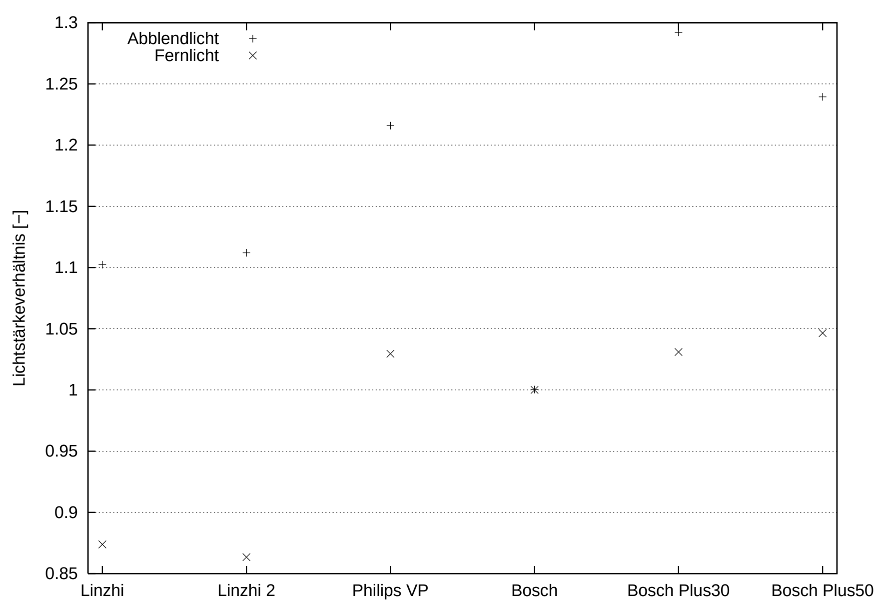


Bild 3.7: Vergleich von H4-Lampen (Strahlstärke bezogen auf Bosch)

Als Fazit kann gezogen werden: Viel Blendwerk in doppeltem Sinne: Real (siehe WDR-Artikel) und Marketingtechnisch. Die versprochene höhere Lichtausbeute (lm/W) wird nicht eingehalten. Allerdings sollen dies Lampen durch die kleinere leuchtenden Fläche ein bessere Abbildung auf der Straße erzielen als alte H4-Wendelgeometrien. Ein Vorteil von H4 gegenüber den HS3-Lampen: Es gibt eindeutig mehr lm/Euro.

3.4.4 Untersuchungen im Alltagseinsatz

Um Daten aus dem Alltagseinsatz zu erhalten fährt der Autor seit dem 30.03.1999 fährt am Flevo mit einem Betriebsstundenzähler (vgl. Bild 3.8). Dieser zählt ab ca. 3,6 V bzw. Schrittgeschwindigkeit. Ab dem 11.04.1999 zusätzlich auch am Trekkingrad. An beiden Fahrrädern wird die Beleuchtung mit einem SON-Nabendynamo betrieben.

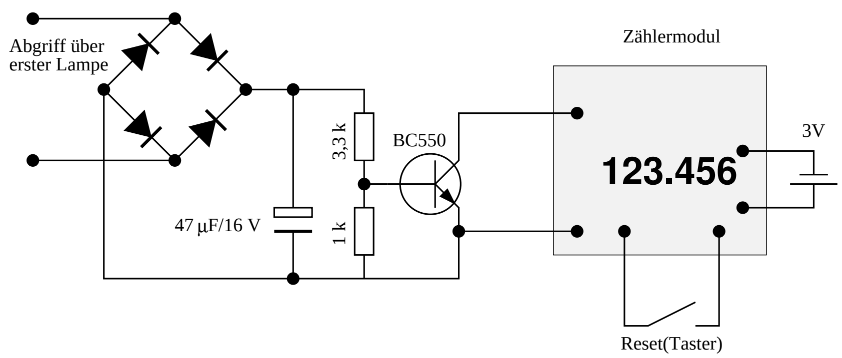


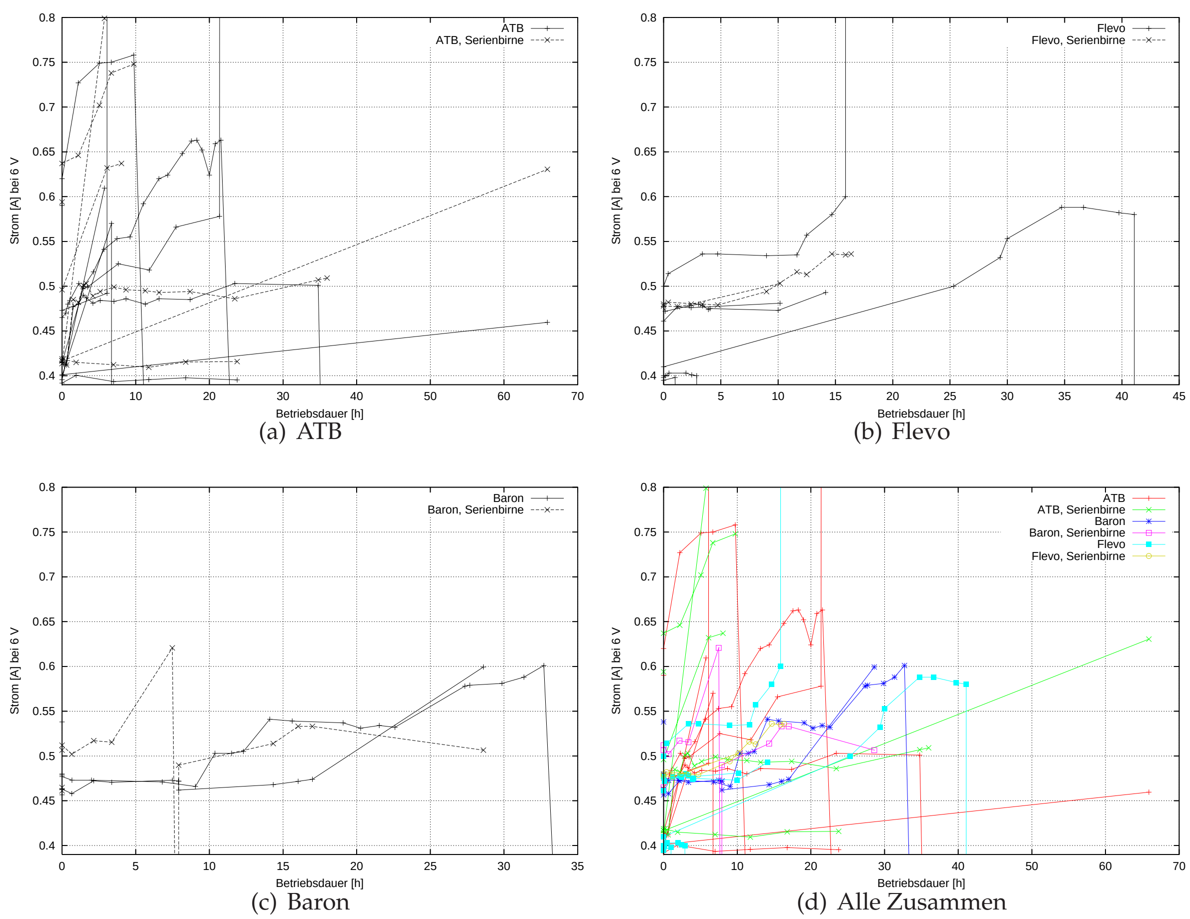
Bild 3.8: Betriebsstundenzähler

Der Betriebsstundenzähler besteht aus dem Modul 230 (Best. Nr.: 126616[14] von Conrad Electronic, welches mit einer größeren Lithium-Batterie für einige Jahre versorgt sein sollte, die Stromaufnahme liegt bei ca. 30/40 µA (nichtzählend/zählend).[15] Der Zähler wird über einen Transistor (BC550) geschaltet. Die Widerstandsbrücke belastet den Dynamo mit mehr als 3 kΩ und dürfte damit in erster Näherung vernachlässigbar sein.

Zuerst werden mit einer Lupe nur optische Bewertungen vorgenommen. Dabei stellt sich heraus, daß dieses Vorgehen nicht sehr aussagekräftig ist. Besser ist es, die Stromaufnahme zu messen. Die Stromaufnahme wird hier an 6 V Gleichspannung gemessen. Der Verlauf ist im Bild 3.9 wiedergegeben. Ein steiler Abfall auf 0 kennzeichnet einen „nichtnatürlichen“ Tod der Lampe durch Überspannung beim Testen, defekter Spannungsbegrenzung oder Diebstahl (ja, kommt leider auch vor). Ein steiler Anstieg am Ende zeigt einen „natürlichen“ Tod bei ansonsten intakter Beleuchtung inkl. Spannungsbegrenzung! Vorerst werden HS3-Lampen (starten etwa bei 0,4 A) oder HPR64 (starten bei ca. 0,46 A) verwendet.

[14] Der Betriebsstundenzähler ist bis auf eine Lötbrücke auf der LCD-Seite mit dem Zähler 220 identisch. Der Zähler ist zumindest in Hamburg verfügbar, der Betriebsstundenzähler nicht.

[15] Eine CR2032 reicht nur für wenige Monate



(a) ATB (b) Flevo

(c) Baron (d) Alle Zusammen

Bild 3.9: Stromaufnahme über Betriebsdauer von Fahrrad-Lampen an 6 V Gleichspannung

Wird die Lampe wenig erschüttert, so nimmt der Widerstand mit der Zeit zu, der Strom sinkt. Bei einer ersten HS3-Lampe (0,421 A an 6 V) wird an einer Überspannung von 7,5 V ein Abfall des Stromes von 0,086 %/h gemessen. Dies entspricht ungefähr den in der Tabelle 3.11 aufgeführten Werten von $\dot{I}_5$. Zusätzlich ist zu erwähnen, daß neuere SONs eher ein bißchen schwächer als die alten sind. Dies liegt daran, daß die alten eher auf ToplightPlus und LumotecPlus, beides eher stärkere Verbraucher, ausgelegt waren. Die derzeitige hochwertige Beleuchtung beinhaltet eher DToplights, die zu den sparsameren Rücklichtern gehören.

Bei starken Erschütterungen verschweißen einzelne Windungen und stellen Teilkurzschlüsse her, der Strom steigt sprunghaft bzw. stark an. Dies spricht dafür, daß die Erschütterungen real bedeutend stärker sind als bisher angenommen. Bei gefederten[16] Rädern bzw. vorwiegendem Einsatz auf glatten

[16]Scheinwerfer selbstverständlich am gefederten Teil montiert, auch wenn einige Hersteller meinen, den Scheinwerfer am ungefederten Teil montieren zu müssen.

Oberflächen (u.a. meiden von Radwegen) ist das Betriebsverhalten der Lampen im realen Einsatz mit dem auf dem Labortisch vergleichbar.

Da die weitestverbreiteten Fahrraddynamos Konstantstromquellen sind wird nach einiger Zeit wird zusätzlich der die Spannung bei definierten Strom, hier 0,5 A, gemessen (vgl. Bild 3.10). Liegen viele Verschweißer vor, so ist diese Prüfung eine starke Belastung für die Lampe. Sie währt aber nur kurz und wird langsam hochgeregelt. Ein hartes Einschalten an z.B. 6 V hat schon einige Lampen vorzeitig durchbrennen lassen.

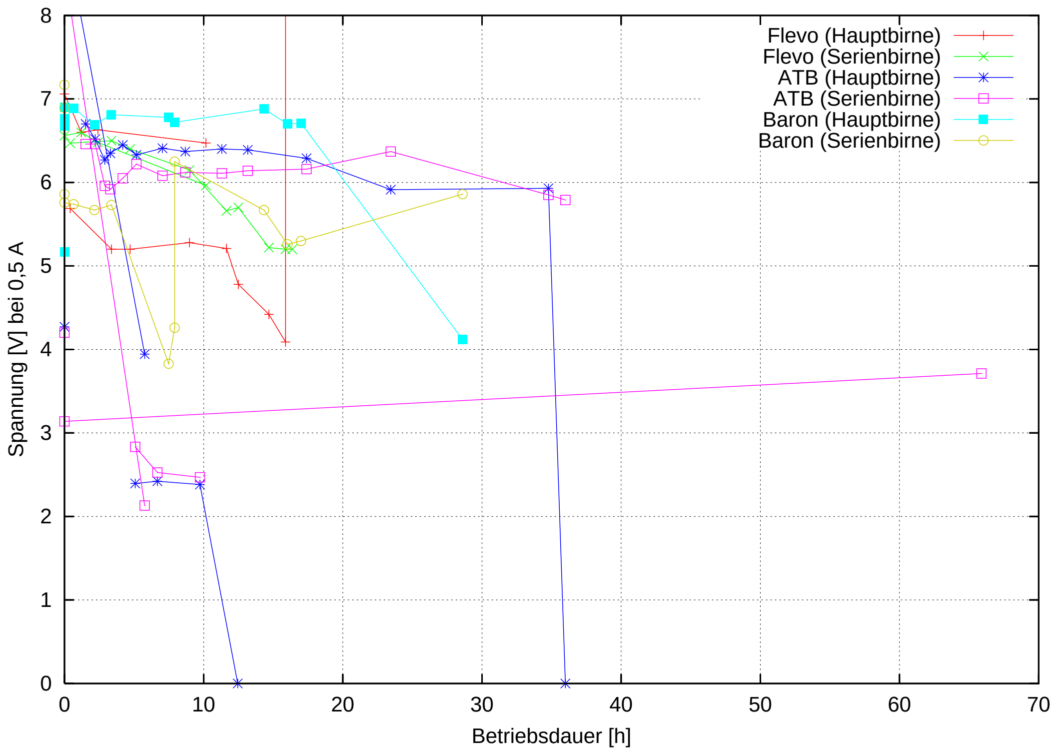


Bild 3.10: Spannung bei 0,5 A Strom

Hier zeigt sich dann auch deutlich direkt die Abnahme der aufgenommenen Leistung ($P_{\text{el}} = UI$, I =const.) mit der Betriebsdauer. Untersuchungen, wie sich die abgegebene Lichtleistung mit der Betriebsdauer entwickelt stehen noch an.

Die im Bild 3.9 niedergelegten Beobachtungen lassen einige Schlüsse zu: Offensichtlich halten Glühlampen in Scheinwerfern an ungefederten Rahmen bedeutend kürzer als an gefederten Rahmen. Der Baron ist zwar ungefedert, wird aber überwiegend auf ebenen Straßen eingesetzt. Der Sprung bei ca. 10 Betriebsstunden geht mit einem Windungskurzschluß einher.

Inwieweit Glühfäden erschütterungssicherer gestaltet werden können ist fraglich. Erschütterungssicherer würden sie durch eine vergrößerte Steigung (Abstand der Windungen steigt). Allerdings sinkt dann die Lichtausbeute, da die „Eigenheizung“ vermindert wird, der Glühfaden wird länger und das hat wiederum Auswirkgungen auf den Reflektor und der Faden paßt u.U. nicht mehr in den zulässigen Bauraum (bei Transversalwendeln $1{,}0 \pm 0{,}15 \ldots 1{,}25 \pm 0{,}35$ mm, bei Axialwendeln $1{,}8 \pm 0{,}3$ mm).

3.4.5 Fadendeformation

Die fotographische Dokumentation erfolgt bei folgenden Randbedingungen: 100 ASA Diafilm (hier AGFA CT100), Kamera OM4, Objektiv Olympus Zuiko 2,0/20 (Makrolupe), auf Blende 16 abgeblendet, Zwischenringe 21+31 mm. Bei 6 V-Lampen werden 2,345–2,347 V (Gleichspannung) angelegt. Aus Belichtungsreihen ergeben unter diesen Umständen mit der 6,71 h alten HS3 vom ATB und einer neuen HPR64 eine optimale Belichtungsdauer von 1/60 Sekunde.

In Bild 3.11 sind erste Ergebnisse (neue HPR64 und die 6,71 h alte HS3) wiedergegeben. Die gescanten Bilder werden analog Seite 462 bearbeitet. Davon abweichend sind die Scannereinstellungen unter *xscanimage* hier mit 1950 dpi, Kontrast und Helligkeit jeweils 10, vorgegeben.

Bild 3.11: Glühfäden (links HS3 nach 6,71 h am ATB, rechts neue HPR64)

Der Faden der neuen HPR64 ist noch gleichmäßig. Der Faden der HS3 weist deutliche Deformationen (Schiefstellungen und Achsversätze) auf, eine Windung ist abnorm heiß.

Eine fotographische Bewertung wird vorerst nicht mehr durchgeführt, da sich die Stromaufnahme als besser quantifizierbares Alterungskennzeichen herausgestellt hat.

3.4.6 Fadengeometrie und -probleme

Der folgende Abschnitt ist ausgehend von den Beobachtungen mit sich kontaktierenden Windungen und partiellen Kurzschlüssen zu betrachten.

Nach ISO [ISO6742/1] sind die Bedingungen für den Schwingungstest von Fahrradbeleuchtung mit $12{,}5 \pm 0{,}8\overline{3}$ Hz und einer Amplitude von 3 mm anzusetzen. Dabei ist der Weg-Zeit-Verlauf kein Sinus sondern ein linearer Hub über ca. 0,069 s mit einem folgenden federunterstützten Fall über ca. 0,011 s.

Der Prüfstand ist zu ungenau beschrieben, als daß man die Beschleunigungen ausrechnen oder den Prüfstand nachbauen könnte.

Die Norm EN [DIN EN 60810] sieht ein Schmalbandrauschen im Bereich von 30…1050 Hz, Bandbreite 100 Hz, Mittelfrequenzbereich 80…1000 Hz, Durchlaufgeschwindigkeit 1 Oktave/min, Durchlaufzeit je voller Zyklus 7,3 min über 20 h vor. Dabei liegt ein Schaltzyklus von 20 min ein und 10 min aus vor. Die spektrale Beschleunigungsdichte soll bei der Standardprüfung 0,12 g^2/Hz(=3,5 g_{eff}) zwischen 80 und 150 Hz sowie 0,014 g^2/Hz(=1,2 g_{eff}) zwischen 150 und 1000 Hz betragen. Bei der verschärften Prüfung betragen die Beschleunigungsdichten 0,36 bzw. 0,09 g^2/Hz (=6 bzw. 3 g_{eff}). Die Frequenzen und Beschleunigungen richten sich nach den bei Automobilen auftretenden aus, bei Fahrrädern liegen andere Bedingungen vor. Eric Groß gibt in [Gr96] für das Oberrohr bzw. den Vorbau Frequenzen von 18…27 Hz mit quadratischen Effektivwerten der Beschleunigungen von $5 \ldots 15(\mathrm{m/s^2})^2$ bei Kopfsteinpflasterüberfahrten an. Die Spitzenbeschleunigungen liegen bei 14…28 g (Angaben jeweils gefederte Gabel…Starrgabel) . Dies entspricht spektralen Beschleunigungsdichten von ca.

$$\frac{g \cdot 5 \ldots 15(\mathrm{m/s^2})^2}{9{,}81^2(\mathrm{m/s^2})^2 \cdot 18 \ldots 27\,\mathrm{Hz}} = 0{,}003 \ldots 0{,}006\, g^2 / \mathrm{Hz} \tag{3.33}$$

Die Alterung soll vorher bei Prüfspannung über 30 min erfolgen.[17]

Nun ist zu klären, ob die Glühfäden im Bereich dieser Anregungen Eigenfrequenzen haben. Dafür sind Kenntnisse der Geometrie und des Werkstoffes notwendig.

An einigen Glühfäden werden mit einem Mikroskop die Fadengeometrien vermessen. Hierbei wird folgende Nomenklatur verwendet: Drahtdurchmesser d, Windungssteigung D, Windungszahl Einfachwendel bzw. Doppelwendel i, Außendurchmesser Windung D, Außendurchmesser Doppelwindung D_1, Steigung Doppelwendel P_1, Abstand Einspannung bis erste Windung l und der rechnerischen Fadenlänge L. Wobei L für Einfachwendeln mit

$$L = 2l + i(\pi(D-d) + 0.2P) \tag{3.34}$$

und für Doppelwendeln mit

$$L = [2l + i(\pi(D_1 - d) + 0.2P_1)](\frac{\pi(D-d)}{P} + 0.2) \tag{3.35}$$

abgeschätzt werden kann. Aus dem Widerstand der Lampe (gemessen mit dem HP in Vierleitermethode), dem spez. Widerstand von Wolfram bei Raumtemperatur (RT) $\varrho_{20\,^\circ\mathrm{C}} = 55\,\mathrm{n\Omega m}$ und dem Widerstand bei 1 mA kann auf

[17] Nach DIN 5032-2 muß die Alterungzeit bei Glühlampen „…1 % der Nennlebensdauer, mindestens jedoch eine Stunde betragen.“ Dies ist bei den hier vorliegenden Lebensdauern ein bißchen lang.

$$L_R = \frac{A}{\varrho} R = \frac{\pi d^2}{4\varrho} R \tag{3.36}$$

berechnet werden. Dabei werden Übergangswiderstände und die Zuleitung sowie eine Temperaturerhöhung durch den Meßstrom und dessen Einfluß auf $\varrho = f(\vartheta)$ vernachlässigt.

Tabelle 3.9: Fadengeometrien (Maße in mm)

Typ	Herst.	d	P	i	D	D_1	P_1	l	L	R	L_R
HS3	OSRAM	0,04	0,07	17	0,25	–	–	0,9 ... 1	13,4	1,04	23
	OSRAM (1999)	0,04	0,065	22							
	Tungsram	0,04	0,085	25	0,22	–	–	0,63 ... 1,25	16,6		
	Philips HMP08L	0,04	0,055	23		–	–	1,3			
6V/3W	Philips HPR64	0,04	0,06	19	0,3	–	–	1,4	18,5	0,99	22
HS4	Philips HPR74	0,03	0,06	5	0,13	0,55	0,43	2	68,4	2,09	27
	Philips HPR78	0,06	0,11	16	0,37	–	–	2,3	26,6	0,47	24

Die Abweichungen zwischen L und L_R sind inakzeptabel groß. Hier scheint das Meßverfahren über den Widerstand nicht zulässig zu sein, da die Einflüsse der Übergangswiderstände und der Fadenhalter (Niro?) anscheinend zu groß sind. Hinzu kommt, daß gerade bei den HPR74 eingeschobene Stützdrähte sowohl stark von der Länge und Position her tolerieren und dadurch auch den Widerstand im Kaltbetrieb verfälschen.

Der Drahtdurchmesser liegt je nach Hersteller, soweit Daten verfügbar, bei:

Wolfram-Industrie: (www.wolfram-industrie.com) 0,1, 0,2, 0,3 ... 1,00, 1,2, 1,4... 2 mm

Midwest Tungsten Service: (www.tungsten.com) 0,0127, 0,0254, 0,0508, 0,0762, 0,1016, 0,127, 0,1524, 0,1778, 0,2032, 0,2286, 0,254, 0,2794, 0,3048, 0,3302, 0,3556, 0,381, 0,4064, 0,4318, 0,4572, 0,4826, 0,508, 0,635, 0,762, 1,016, 1,143, 1,27, 1,524 mm.[18]

Goodfellows: (www.goodfellows.com) 0,1, 0,125, 0,25, 0,5 mm.

Tungsten Manufacturing Limited: (www.tungsten.co.uk) 0,1... 1 mm.

OSRAM-Silvania: Gibt den Drahtdurchmesser unter ca. 0,5 mm in d [µm] über das Drahtgewicht g [mg/200 mm] von 200 mm Draht an und bezieht sich dabei auf eine Dichte von 19,35 g/cm^3. Minimaler Drahtdurchmesser sind 8 µm.

$$d = 18{,}1383\sqrt{g} \tag{3.37}$$

[18] Aus dem Schwedischen von tung=schwer und sten=stein. Tungsten oder auch Scheelit Ca[WO_4] ist nach Wolframit (Fe,Mn)WO_4 das bedeutenste Wolframerz.

> Die Drahtdurchmesser gehen von 615,5 mg/200 mm jeweils in 0,5 %-Schritten (Nennraster) mit einem Zwischenraster von 0,25 %-Schritten bis auf 1 mg/200 mm runter. Genaueres hierzu in [OSRAMWolfram].

Hier sind nicht alle Drahtdurchmesser interessant. Jeder Hersteller hat seine eigenen Legierungen. Interessanterweise geben sich die wenigsten anscheinend mit den Drahtdurchmessern für Glühlampen ab.

3.4.6.0.1 Eigenschaften von Wolfram Um das Schwingungsverhalten der Glühwendeln rechnerisch abschätzen zu können sind neben der Geometrie Daten über die Dichte ϱ und den Elastizitätsmodul (E-Modul) E notwendig. Der E-Modul ist wiederum von der Temperatur ϑ (in Grad Celsius) abhängig. Die Temperatur beträgt ca. 2100–2500 °C (größere Werte für leistungsstärkere Lampen), [Zi96] gibt für Halogenlampen sogar ca. 2700 °C an. Nähere Daten dazu findet man u.a. in [MH Vol2]. Die Schmelztemperatur liegt, je nach Legierung, bei ca. 3000–3025 °C, für das reine Metall werden 3410 °C Schmelz- und 5530 Siedetemperatur angegeben. Laut [EHo] wird Wolfram, wenn es in Glühfäden eingesetzt wird, mit geringen Anteilen Thorium-Oxid (- 3 %) legiert. Das Thorium-Oxid verhindert als Keimbildner das übermäßige Kornwachstum bei den hohen Betriebstemperaturen und damit eine Versprödung sowie ungleichmäßige Dickenabnahme. Ähnliche Funktion übernehmen auch Beimengungen aus Kalium (-85 ppm), Aluminium, Lanthan, Silizium und Rhenium (- 5 %).

Die Querdehnungszahl ν von polykristallinem Wolfram steigt von 0,282@RT auf 0,3@1600 °C, der E-Modul sinkt von 405@RT auf 335 GPa@1600 °C. Beide Verläufe können in erster Näherung als linear angenommen werden. Werte für höhere Temperaturen liegen leider nicht vor. Die Reißfestigkeit bei 1 h@1600 °C beträgt ca. 125 MPa, bei 1 h@2200°C nur noch ca. 33 MPa. Dauerschwinguntersuchungen sind anscheinend bisher nur bei Raumtemperatur durchgeführt worden [DiHa58]. Die Dichte liegt bei Raumtemperatur bei 19,25 Mg/m^3, der Schmelzpunkt, je nach Angebe bei 3380. . . 3420 °C.

Für eine erste grobe Abschätzung von Querdehnungszahl (ν), E-Modul (E) und spez. Widerstand (ϱ) bei Temperaturen zwischen 1600 und ca. 3000 °C mögen lineare Extrapolationen (Gleichungen (3.38) bis (3.40)) aus den Diagrammen in [MH Vol2] dienen:

$$E(\vartheta)[\mathrm{GPa}] = 406 - 0{,}0\bar{4}\vartheta \tag{3.38}$$

$$\nu(\vartheta)[\text{-}] = 0{,}2817 + 1{,}14 \cdot 10^{-5}\vartheta \tag{3.39}$$

$$\varrho(\vartheta)[\mathrm{n}\Omega\cdot \mathrm{m}] = -17{,}9 + 4{,}15 \cdot 10^{-2}\vartheta \tag{3.40}$$

$$\varrho(\vartheta)[\mathrm{n}\Omega\cdot \mathrm{m}] = -6 + 3{,}55 \cdot 10^{-2}\vartheta \tag{3.41}$$

mit der Temperatur ϑ in °C. Gleichung (3.41) interpoliert die Daten von www.tungsten.com zwischen 1700 und 3227 °C auf besser als 1 %. Zwischen 27 und 967 °C gibt [MH Vol2] folgende Beziehung an:

$$\varrho = 4{,}33471 \cdot 10^{-14}T^2 + 2{,}19691 \cdot 10^{-10}T - 1{,}64011 \cdot 10^{-8} \tag{3.42}$$

wobei ϱ in nΩ·m angegeben wird.[19] Insgesamt ergibt sich ein relativ uneinheitliches Bild (vgl. Bild 3.12).

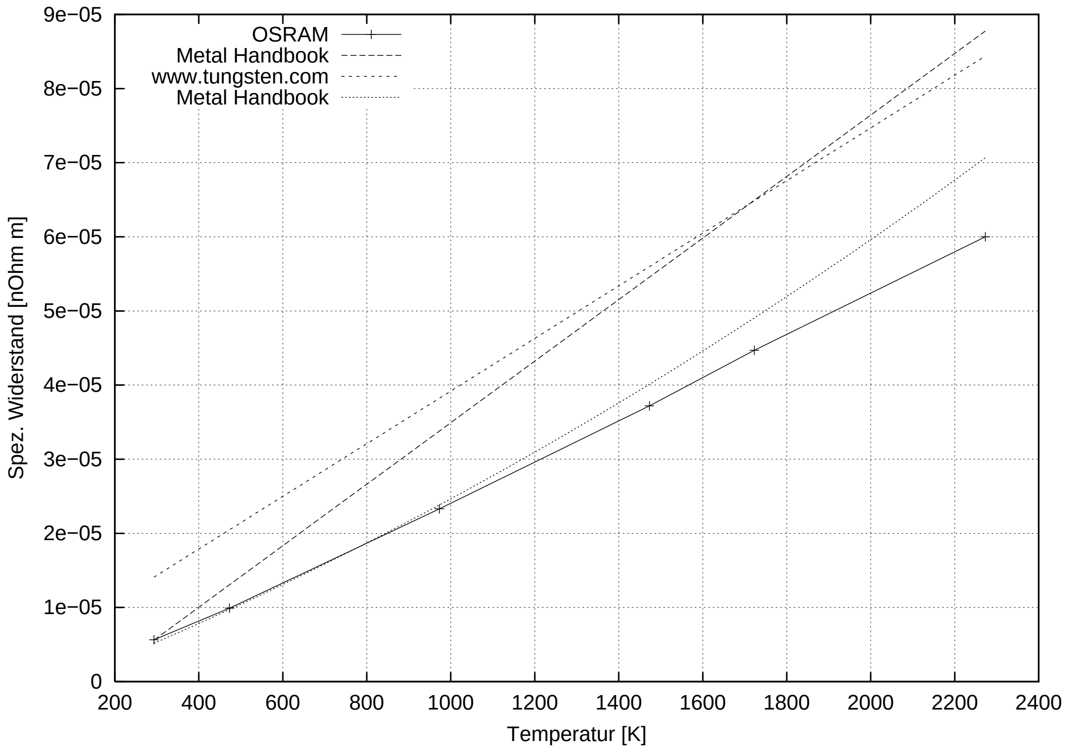


Bild 3.12: Spezifischer Widerstand von Wolfram (unterschiedliche Quellen)

Als Emissionskoeffizienten (ϵ) gibt www.tungsten.com 0,23 bei 1500 °C und 0,28 bei 2000 °C an.

3.4.6.0.2 Rechnerische Abschätzung der Eigenfrequenz Betrachtet man jetzt das Eigenschwingungsverhalten, so sind es in der Regel, durch Vertikalbeschleunigungen verursachte Biegeschwingungen. Dabei können sich die Windungen berühren und verschweißen. Kritisch dürfte für die Abschätzung die erste Eigenform sein. Als erster Ansatz dürfte der eines langen Biegestabes zulässig sein. Hier wird der Ansatz aus [HoDr], S. 290 ff. verwendet:

$$\omega_i = \lambda_i^2 \omega^* = \lambda_i^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A l^4}} = \lambda_i^2 \sqrt{\frac{Ed^2}{16 \rho l^4}} \tag{3.43}$$

$$\lambda_i^2 = i^2 \pi^2 \quad \text{bei gelenkiger Lagerung} \tag{3.44}$$

[19] Allgemein bedeutet bei Temperaturangaben ϑ in Grad Celsius und T in Kelvin.

$$\lambda_i^2 = (i+0{,}5)^2\pi^2 \qquad \text{bei beidseitig starrer Einspannung} \tag{3.45}$$

Hierbei sind ω^* die Bezugskreisfrequenz und ω_i die i-ten Eigenfrequenzen. Hiermit ergeben sich für die OSRAM-Lampe folgende Frequenzen:

$$\begin{aligned}
\omega^* &= \sqrt{\frac{305\ \text{GPa} \cdot 0{,}04^2\ \text{mm}^2\ \text{dm}^3}{16 \cdot 19{,}27\ \text{kg} \cdot 13{,}4^4\ \text{mm}^4}} = 222\ \text{s}^{-1} \\
f_1 &= \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{222 \cdot 1{,}5^2 \cdot \pi^2}{2\pi} = 785\,\text{Hz} \\
f_2 &= \frac{222 \cdot 2{,}5^2 \cdot \pi^2}{2\pi} = 2179\,\text{Hz} \\
f_3 &= \frac{222 \cdot 3{,}5^2 \cdot \pi^2}{2\pi} = 4271\,\text{Hz}
\end{aligned}$$

Diese Eigenfrequenzen liegen deutlich über denen der Anregung. Das zum Vergleich im FE-System MARC/Mentat modellierte Modell ergibt dieselben Eigenfrequenzen. Die Modellierung ist mithin, zumindest wenn man die Dichte korrekt für die gewählten Einheiten einsetzt, verläßlich. Hier werden die Distanzen in mm und die Kräfte in N modelliert, die elastischen Werkstoffdaten sind in MPa=N/mm^2 angegeben, die Dichte beträgt dann $1{,}925 \cdot 10^{-8}$.

Nun wird mit MARC/Mentat eine Glühwendel (OSRAM) modelliert und einige Varianten gerechnet. Der Faden wird in drei unterschiedliche Temperaturzonen aufgeteilt (vgl. Bild 3.13, oben links), für die Temperaturen angenommen werden und für diese Temperaturen werden die entsprechenden Werkstoffwerte eingesetzt.

A: Beidseitig feste Einspannung, Werkstoffkennwerte nach Formel (3.38) und (3.39) für drei Zonen mit 0 °C, 1600 °C und 2300 °C.

B: Wie A, zusätzlich wird in den Einspannungen wird die Rotation um die y-Achse zugelassen

C: Wie B, zusätzlich wird in den Einspannungen wird die Rotation um die z-Achse zugelassen

D: Wie C, zusätzlich wird in einer Einspannungen wird die Verschiebung in der x-Achse zugelassen

E1: Der E-Modul im Bereich mit Raumtemperatur wird auf 300 GPa reduziert

E2: Wie E1, zusätzlich wird der E-Modul im Bereich mit 2300 °C auf 200 GPa reduziert.

Es werden die ersten elf Eigenformen und -frequenzen berechnet. Siehe hierzu Tabelle 3.10 für die Frequenzen und Bild 3.13 für die Formen.

Tabelle 3.10: Eigenfrequenzen und Modellabhängigkeit

i	Grundmodell	Varianten (Angabe in Hz)				
	A	B	C	D	E1	E1
1	3795	833	833	-0,13	3447	3305
2	3798	3798	834	2017	3449	3308
3	8644	5458	5457	2019	8150	7292
4	8648	8648	5469	6899	8155	7293
5	14130	14130		7113	13810	12180
6	14860	14760		7390		
7	17990	15460				
8	18000	17990				
9	28370	28360				
10	29530	28480				
11	31500	29850				

Es sind nicht alle Eigenfrequenzen aufgeführt. Ein relativ starker Eingriff in den E-Modul verschiebt die Eigenfrequenz nur unwesentlich. Lediglich die Freigabe der Rotationsmöglichkeit in den Einspannungen fügt eine weitere, relativ tiefe Frequenz und Form hinzu, die aber real nicht vorliegt, da die eingequetschte Einspannung dies nicht zuläßt.

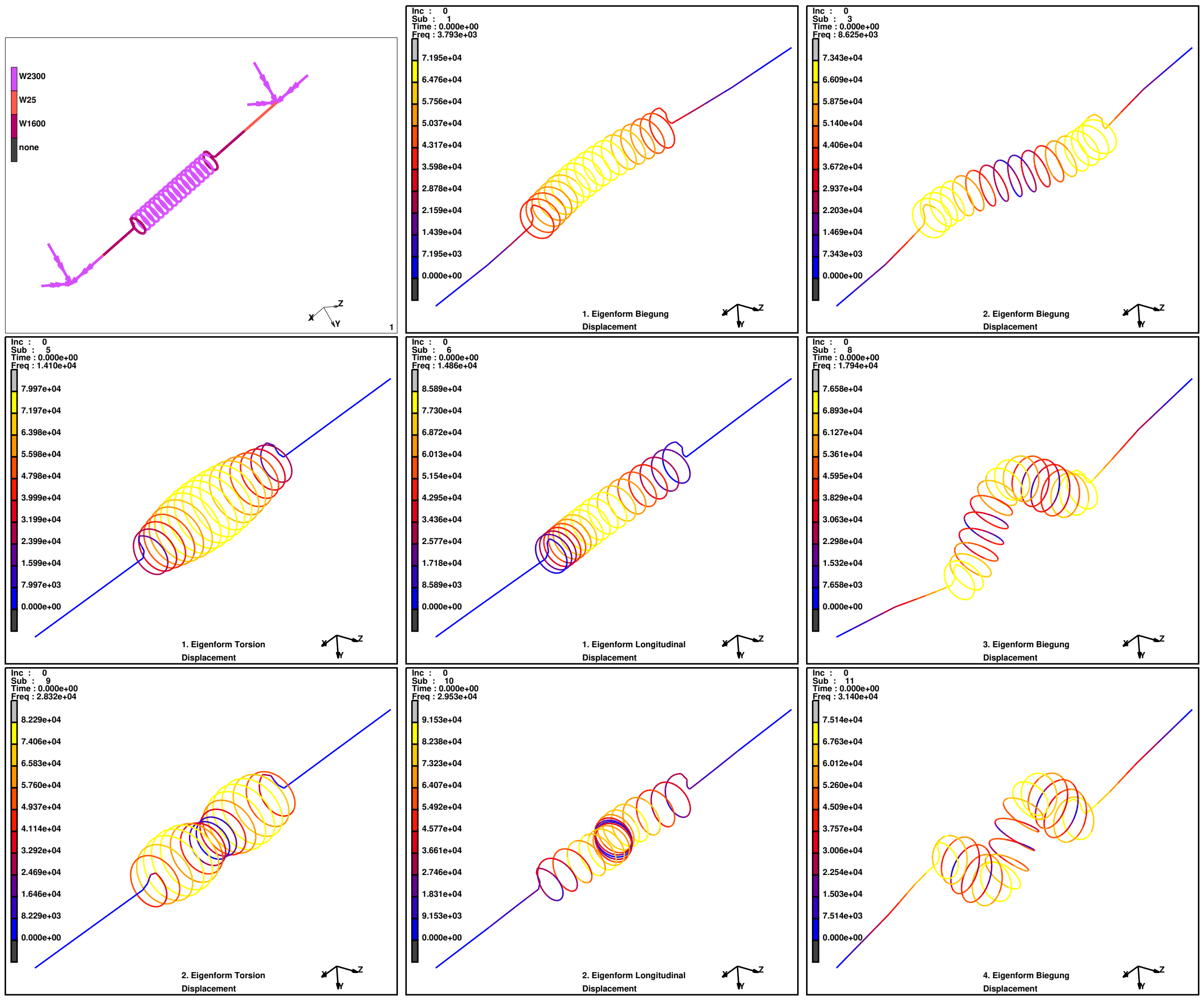


Bild 3.13: Modellierung und Eigenformen (1, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11) eines Glühfadens (Rechenvariante A, Verschiebung nicht maßstäblich)

Diese Eigenfrequenzen liegen nicht im Bereich der Anregung. Daß einige Frequenzen und Formen so dicht beieinander liegen ist u.a. damit zu erklären, daß die Übergänge der Wendel auf den axialen Draht auf beiden Seiten freihand modelliert werden und leicht unterschiedlich sind.

Weitere Schwingungsformen könnten durch die elektrodynamischen Kräfte des Wechselstromes in den einzelnen Windungen auftreten. Dies dürften Transversalschwingungen sein, die aber erst ab der 6. Eigenfrequenz mit ca. 14 kHz auftreten. Solch hohe Frequenzen erzeugen die meist verwendeten Generatoren normalerweise nicht.

Betrachtet man die errechneten Werte, so liegt maximal die niedrigste Eigenfrequenz im Bereich der

Testfrequenzen nach DIN, nach ISO sogar keine. Hingegen sind die gemessenen Anregungen eher im Bereich der ISO oder der niedrigen nach DIN zu finden. Hier liegt eine Zwangserregung und keine Eigenschwingung vor. Der Frequenzbereich der ISO stimmt eher mit dem realen Problem überein. Die ISO ist der DIN vorzuziehen.

3.4.6.0.3 Meßtechnische Bestimmung der Eigenfrequenz Bei diesen hohen Frequenzen wird die meßtechnische Bestimmung der Eigenfrequenz schwierig. Die Anregung ist über einen kleinen Shaker, notfalls sogar Lautsprecher noch vergleichsweise einfach. Der Nachweis der Schwingung über eine Schwebung ist diffizil: Stroboskoplampen haben bei den Frequenzen schon arge Probleme, der Glühfaden ist thermisch zu träge als daß er einer gepulsten Stromzufuhr optisch folgen könnte und LCD-Shutterbrillen in den Frequenzen liegen auch nicht auf der Straße rum. Und dann alles bitte noch an einer Lampe mit heilem Glaskolben durchführen. Aus diesem Grunde vorerst nur angedacht und nicht weiter ausgeführt.

3.4.7 Statische Untersuchungen an Gleichstrom

Für Fahrradlampen wird eine Lebensdauer von 100 bis 160 Stunden angegeben. Im praktischen Alltag kann die Lebensdauer erheblich darunter liegen. Um darüber Daten zu erhalten werden einige Messungen vorgenommen. Dazu werden die Lampen bei unterschiedlichen Spannungen und Frequenzen ruhend betrieben.

Zuerst werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten Messungen von Spannung und Strom vorgenommen. Die Spannung muß mitgemessen werden, da die Spannungsquelle nicht über Sense-Anschlüsse verfügt und der Shunt mit im Regelkreis liegt. Bei hinreichender Abweichung (10 mV) wird die Spannung per Hand nachgestellt. Ab „Testlampe 3“, wird ein langsamer AD-Wandler[20] mit hinzugezogen. Zur Beschaltung siehe Bild 3.14. Der Wandler wird im Meßbereich ±8,5 V betrieben.

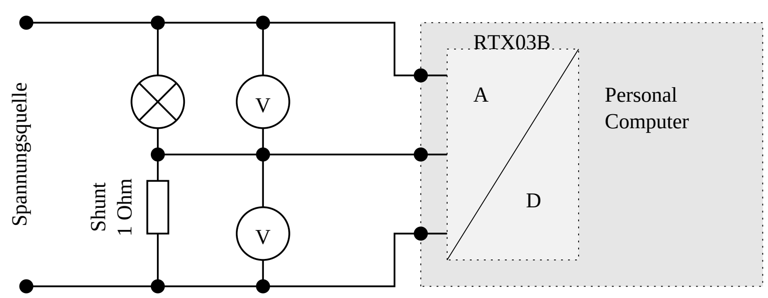


Bild 3.14: Meßaufbau stationärer Lampentest

[20] Die RTX 03b wurde mal von Conrad vertrieben. Genauere Daten und Treiber siehe Linux-Seite auf http://www.enhydralutris.de .

In der Tabelle 3.11 sind die Lampen näher beschrieben. Zum großen Teil (Testlampen 6–28) entstammen sie einem dankenswert großen Griff in die Kiste bei Schmidt/Tübingen und dürften je Typ aus einer Charge der aktuellen Produktion (akPr) stammen. Die ersten Lampen sind aus dem eigenen Fundus (Fun), mitunter vor mehreren Jahre erworben.

Neben den Daten zu Testbeginn (I@6 V, I@U_{Test}, U_{Test} und f) sind die Lebensdauer bis zum Durchbrennen t,[21] Die Alterung $\dot{I}_5$ in den ersten fünf Stunden (Verschweißer etc. nicht berücksichtigt) und die Zeit bis zum ersten Windungsverschweißen t_s aufgeführt. Ein negatives $\dot{I}$ wird durch das allmähliche Verdampfen des Wolframs hervorgerufen, wobei die Kondensation beim Halogenprozeß nicht bevorzugt an den heißesten Punkten, also denen mit dem höchsten Widerstand stattfindet. Siehe hierzu auch Anmerkungen zum Belag weiter unten. Ist $\dot{I}$ eingeklammert, so ist innerhalb der ersten 5 Stunden kein Trend feststellbar und es wird der Wert über die gesamte Betriebsdauer bzw. bis zum ersten Verschweißer angegeben.

[21] Eine Spanne zeigt einen nicht genau bestimmten Zeitpunkt an (z.B. tagsüber oder nachts) an. Ein $> t$ steht für „nicht bestimmt", da die Lampe vor dem natürlichen Versagen eine Fehlbedienung, z.B. Ausschaltstromstoß trotz Ausgangspegel 0, nicht überstand.

Tabelle 3.11: Testlampen

	$I@6\,V$ [A]	$I@U_{Test}$ [A]	U_{Test} [V]	f [Hz]	f_a [Hz]	a_{eq} [g]	t [h]	$\bar{I}_5$ [mA/h]	t_s [h]	Belag	Hersteller
1	0,421	0,469	7,5	0	–	–	70,5	−0,7	0/68	s1	HS3 Tungsram gebr.
2	0,395	0,442	7,5	0	–	–	23,6	−0,7	–	sg-	HS3 OSRAM Fun
3	0,392	0,439	7,5	0	–	–	4	−3	–	sg-	HS3 OSRAM Fun
4	0,406	0,455	7,5	0	–	–	37	−1,5	20,6	s2	HS3 Philips akPr
5	0,419	0,469	7,5	0	–	–	34,9	−1	33,2	s2	HS3 Philips akPr
6	0,416	0,464	7,5	0	–	–	21,9	−1	–	s0	HS3 OSRAM akPr
7	0,388	0,402	6,5	0	–	–	51,3	−0,5	–	s0	HS3 OSRAM akPr
8	0,41	0,426	6,5	0	–	–	56,7	−0,7	33,8	s0	HS3 OSRAM akPr
9	0,414	0,43	6,5	0	–	–	73,1	−1	26,5	s-	HS3 OSRAM akPr
10	0,505	0,528	6,5	0	–	–	6	−2	1	s-	HPR64 akPr
11	0,467	0,526	7,5	0	–	–	14,3	−2	6	s1	HPR64 akPr
12	0,481	0,499	6,5	0	–	–	34,5	−0,4	27,5	s1	HPR64 akPr
13	0,486	0,54	7,5	0	–	–	19,8	−1	12,5	s2	HPR64 akPr
14	0,411	0,411	6	0	–	–	182,2	−1,6	36,7	s-	HS3 OSRAM akPr
15	0,414	0,463	7,5	400	–	–	26	−2	<18	s4	HS3 OSRAM akPr
16	0,412	0,46	7,5	400	–	–	18,2	−3,2	?	s4	HS3 OSRAM akPr
17	0,411	0,461	7,5	50	–	–	20,7 – 24,2	−2	13	s2	HS3 OSRAM akPr
18	0,413	0,461	7,5	50	–	–	23,2	−2,5	<21	s1	HS3 OSRAM akPr
19	0,412	0,46	7,5	0	22,9	1,53	16,28	−2	–	s0	HS3 OSRAM akPr
20	0,408	0,458	7,5	0	22,9	1,53	10,97	−2	–	s0	HS3 OSRAM akPr
21	0,408	0,455	7,5	0	22,9	1,53	19,98	−2	–	s0	HS3 OSRAM akPr
22	0,42	0,437	6,5	0	22,9	1,53	79,8	−1	29,67	s-	HS3 OSRAM akPr
23	0,416	0,432	6,5	0	22,9	1,53	160	−1	41,5	s-	HS3 OSRAM akPr
24	0,41	0,457	7,5	100	–	–	17,2 – 21	−2	13	s1	HS3 OSRAM akPr
25	0,415	0,464	7,5	100	–	–	7,3 – 15,5	−2,7	–	s2	HS3 OSRAM akPr
26	0,413	0,462	7,5	200	–	–	13,1 – 23,7	−2	–	s2	HS3 OSRAM akPr
27	0,41	0,459	7,5	200	–	–	6 – 12	−2	?	s3	HS3 OSRAM akPr
28	0,413	0,462	7,5	400	–	–	$>1,43$	−2	–	-	HS3 OSRAM akPr
29	0,4	0,448	7,5	400	–	–	$>19,43$	−0,8	–	s1	HS3 OSRAM akPr
30	0,4	0,422	6,5	0	40	7,7	63,0	(−0,2)	–	s-	HS3 OSRAM akPr
31	0,419	0,435	6,5	0	40	7,7	158,6	−0,9	–	s-	HS3 OSRAM akPr
32	0,42	0,468	7,5	0	40	7,7	38,9	−2,3	–	-	HS3 OSRAM akPr
33	0,417	0,464	7,5	0	40	7,7	49,8	−2,6	48,75	s-	HS3 OSRAM akPr
34	0,406	0,406	6,0	0	–	–	233,5	–	3	s1	HPR60 112

Die angeführten Spannungen und Ströme werden zu Versuchsbeginn an Gleichspannung gemessen. Die angegebenen Lebensdauern sind für das jeweilige Testexemplar (ein Stück). Mit so wenigen Testexemplaren sind statistische Lebensdauerangaben (Mittelwert, Weibull…) nicht möglich. Die DIN EN 60064 sieht für die Lebensdauerprfung von Allgebrauchsgrlühlampen Prüfmengen von 50 vor. Die Lebensdauerprfung ist übrigens nicht Umfang der DIN 49848-3 für HS3-Lampen! Lediglich eine

Angabe des Medians ließe sich verantworten, aber selbst dafür liegen relativ wenig Meßwerte vor.[22]

Den meisten Lampen ist ein grauer bis schwarzer (s) Wolframbelag am Glaskolben über dem Glühfaden gemeinsam. Der Belag ist direkt über dem Glühfaden auf der Kolbenwand. Dies deutet einerseits auf eine Konvektion im Kolben hin und zweitens, daß freibrennend auf dem Schreibtisch bei Raumtemperatur anscheinend weder bei Nennspannung noch bei Überspannung die für den Halogenprozeß notwendige Temperatur an der Innenwand des Kolbens erreicht wird. Solche Beläge sind auch an Lampen im Alltagsbetrieb feststellbar. Wenige Lampen fallen zusätzlich mit einem gelben (g) Belag, vorwiegend im Bereich der Pumpspitze, aus. Laut [GmKr] könnte der gelbe Belag Wolframdioxychlorid (WO_2Cl_2) bzw. Wolramdioxybromid (WO_2Br_2)sein. Silvania gibt auf seinen Webseiten für Wolframoxide gelb für WO_3 und blau für $WO_{2,85}$ und $WO_{2,7}$ an. Ob der Sauerstoff aus einem, in der Herstellung prozeßbedingt, verunreinigten oder legierten[23] Draht oder eine nicht hinreichend gespülte Gasbefüllung herrührt sei dahingestellt. Beide Ausbildungen der Beläge, schwarz und gelb, sind auch bei einigen 12 V/35–50 W Kaltlichtreflektorhalogenlampen für die Innenraumbeleuchtung beobachtbar. Für die Klassifikation der schwarzen Beläge werden vorerst die Stufen - (sehr schwach, kaum vorhanden), 0 (vorhanden aber unauffällig), 1 (inkl. beider Kolbenwände ähnlich abschwächend wie ein ND4 Graufilter[24]), 2 (wie 1, nur ND8), 3 (wie 1, nur ND4+ND8) und 4 (partiell undurchsichtig) vergeben. Der auffälligen Schwärzung bei Wechselspannungsbetrieb wird noch nachgegangen. OSRAM gibt in [OSHM] als Ursache für gelblichen Belag Molybdänoxid an. Dieses wird erzeugt, wenn die Einschmelzung des Molybdänbändchens im Sockel undicht wurde und die Lampe Sauerstoff zieht. Schwarz sei Wolframoxid.

In der Tabelle 3.12 sind für die Testlampen aus Tabelle 3.11 die $\dot{I}$-Werte für den Bereich nach den ersten 5 Stunden aufgeführt. In der Regel gilt dieser Wert auch nach Wickelungsverschweißern, ab und zu wird er aber großer.

Tabelle 3.12: $\dot{I}$ über Betriebsdauer

U	Lampe	ruhend					dyna.	
	$f_U =$	0	50	100	200	400	23 Hz	40 Hz
6	HS3	−0,1	–	–	–	–	–	
6,5	HS3	−0,35	–	–	–	–	−0,14	−0,17
	HPR64	−0,4	–	–	–	–	–	
7,5	HS3	−0,7	−0,5	−1,2	−1,2	−1	−0,7	−0,35
	HPR64	−0,9	–	–	–	–	–	

Die Werte sind mit Vorsicht zu genießen. Der Trend, mit einer höheren Betriebsspannung ein höheres $\dot{I}$ zu bekommen, ist erklärbar (vgl. Seite 160). Ebenso scheint zumindest bei 7,5 V eine Wechselspannung ein höheres $\dot{I}$ zu verursachen. Wo ein Maximum liegt wäre in bedeutend umfangreicheren

[22] Ich teste in **meiner Freizeit** halt immer nur eine Lampe zur Zeit am AD-Wandler.
[23] Als Keimbildner zur Unterdrückung des Kornwachstumes wird gerne Thoriumoxid verwendet.
[24] Hier Graufilter von Olympus zur Abschwächung der Blitzenergie.

Untersuchungen zu ergründen; als Anhaltswert scheint dies irgendwo zwischen 50 und 400 Hz zu liegen.

Graphisch aufbereitete erste Meßergebnisse sind in den Bildern 3.15 ff. wiedergegeben.

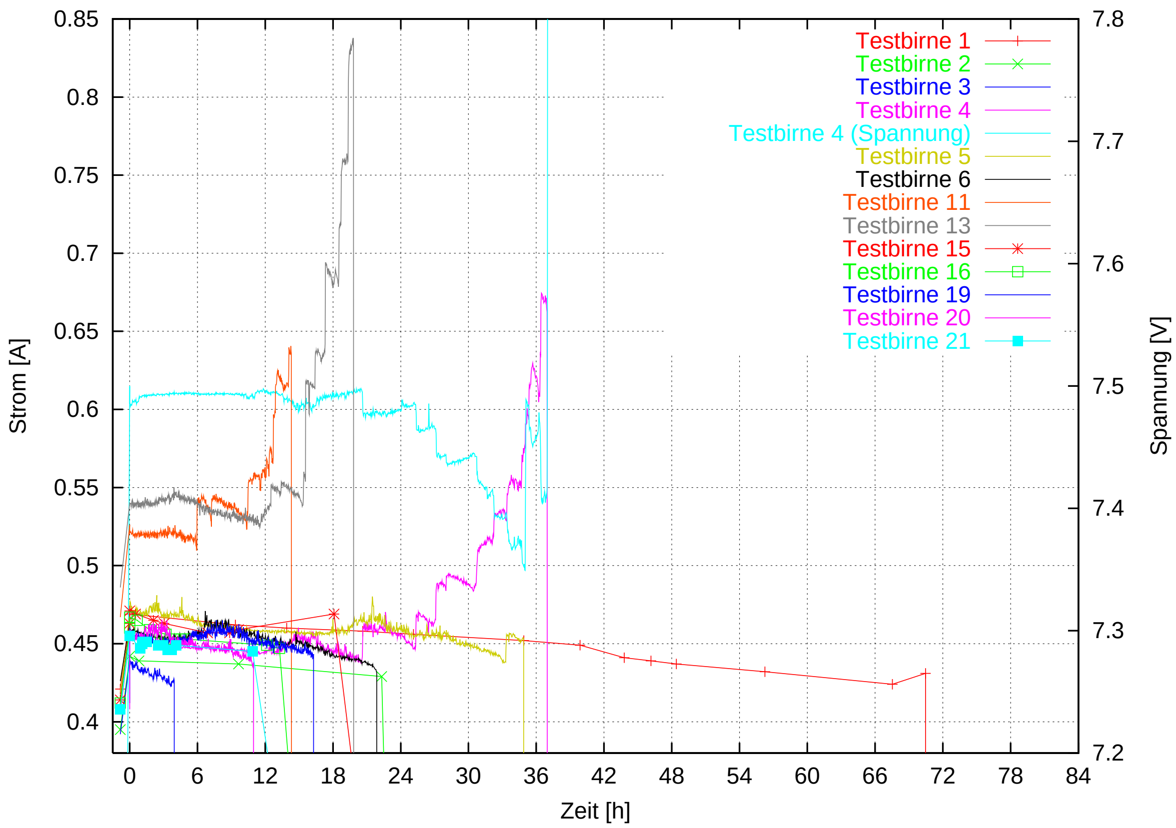


Bild 3.15: Strom über Betriebsdauer an 7,5 V Gleichspannung

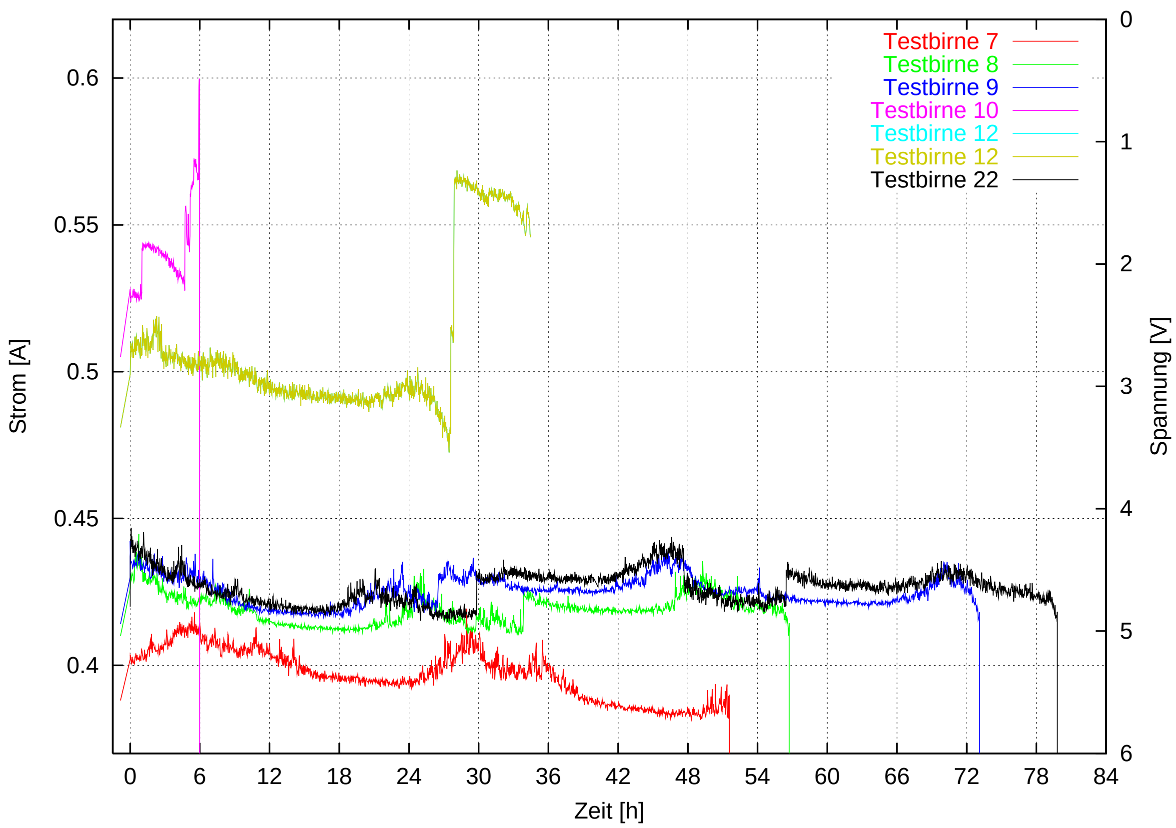


Bild 3.16: Strom über Betriebsdauer an 6,5 V Gleichspannung

Der Anstieg bei Testlampe 22 bei ca. 56 h rührt aus der Korrektur einer fehlerhaften Spannungsreduzierung bei ca. 48 Stunden und ist kein Windungsverschweißer.

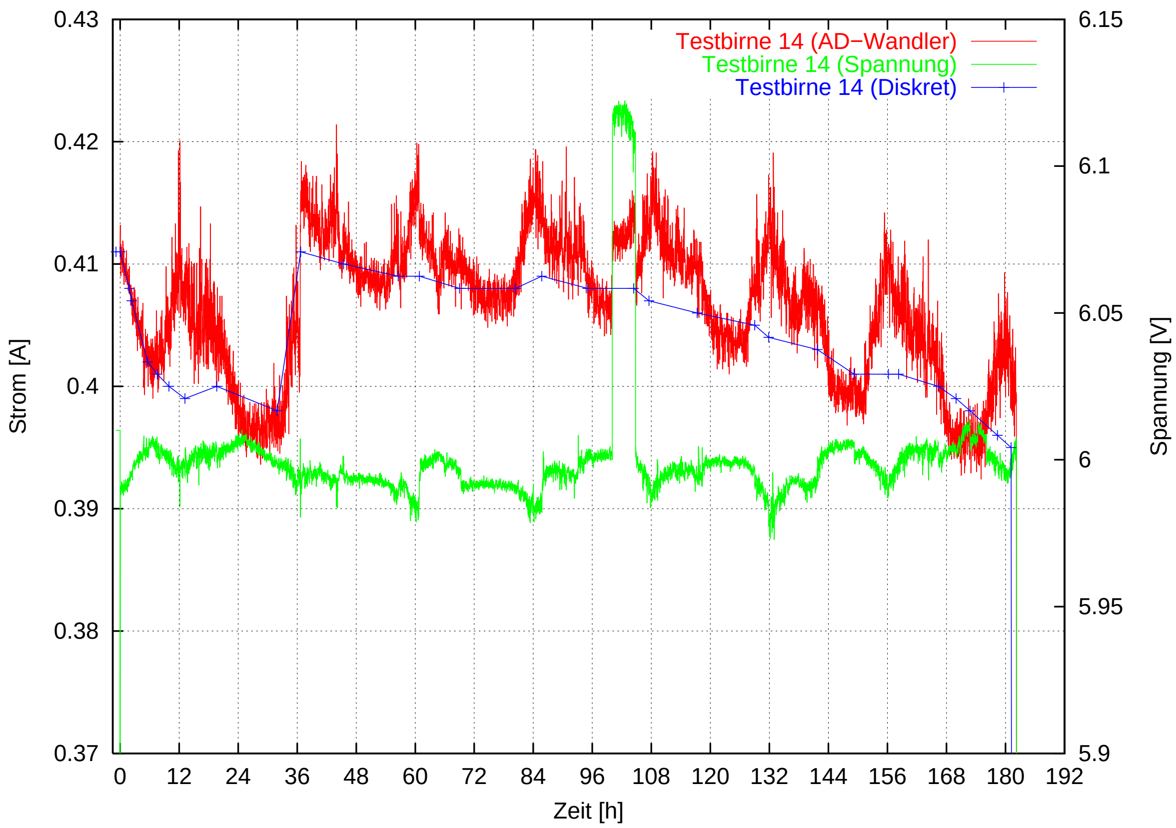


Bild 3.17: Strom über Betriebsdauer an 6,0 V Gleichspannung

Es liegt eine tageszeitliche Schwankung des Meßsignales um $-6 \ldots + 10$ mV vor. Das Minimum liegt am frühen Nachmittag, das Maximum ca. um 22 Uhr. Eine Korrelation mit der Temperatur im Rechner (bei der AD-Karte) liegt nicht vor.[25] Die cron-Prozesse laufen um 24:00 (bzw. 23:00) für ca. eine Minute und im Hintergrund läuft ununterbrochen ein RC564-Prozeß. Damit sollten Einflüsse aus dem Meßrechner (Temperatur und Stromversorgung) ausschließbar sein. Das Labornetzgerät ist stabil, wie die parallel durchgeführten Messungen mit den anderen Meßgeräten zeigen. Rechner und Netzgerät hängen an derselben Steckdose, eine ungleichmäßige Phasenbelastung scheidet damit aus.

Ganz vorsichtig könnte hier ein Lebensdauerexponent von $k = 7{,}5$ abgeschätzt werden. Randbedingungen wären die nominelle Lebensdauer von 100 h@6 V sowie hier gemessene 56 bzw. 36 h bei 6,5 bzw. 7,5 V.

Diese Tests an der Konstantspannungsquelle sind härter als die am Klauenpolgenerator. Die Leistung erhöht sich mit steigendem Strom/fallendem Widerstand ($P = U^2/R$, $U =$const.). Selbst im ruhen-

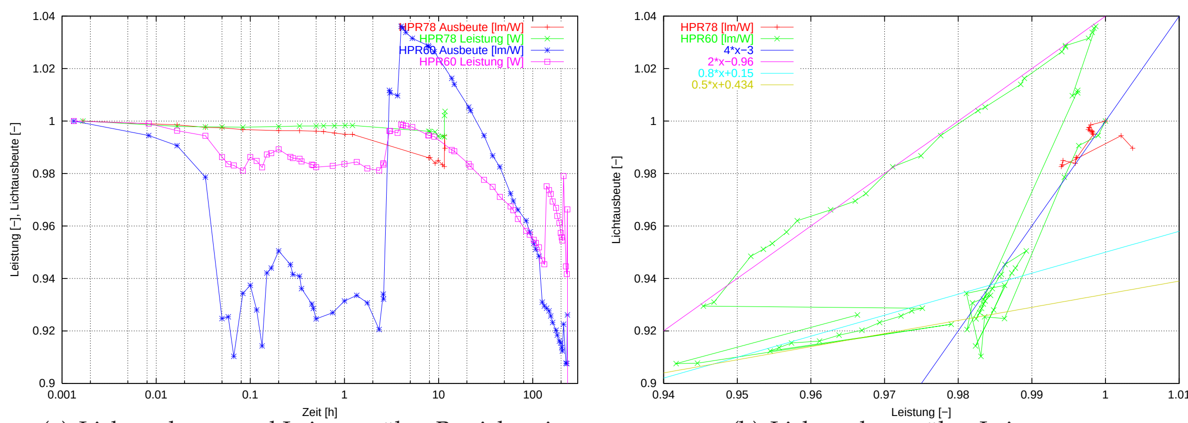
[25] Über mehrere Tage mit einem 6,8 kΩ NTC in Serie mit einem 6,8 kΩ Widerstand an 8 V (LM7808) mit der RTX gemessen. Die Umrechnung zwischen der am NTC gemessenen Spannung U und der Temperatur kann man hier hinreichend genau mit $(1/(\log(566666/((8/U) - 1))/3950 + 1/298) - 273)$ durchführen.

dem Betrieb kommen Wicklungsverschweißer zustande, die den selbstverstärkten Prozeß: Erhöhter Strom, einen weicherer Glühfaden, mehr Wicklungsverschweißer, erhöhter Strom . . . hervorrufen. Am normalen Fahrraddynamo (Klauenpolgenerator) sinkt die Leistung bei fallendem Widerstand ($P = I^2R$, I =const.). Die Verschweißer treten im Laborversuch meist erst nach einer Mindestbetriebsdauer von ca. 12 h auf. Dann scheint der Glühfaden an einer Stelle hinreichend weit verdampft zu sein, so daß sich das Eigenschwingungsverhalten stark ändert. Daraufhin können sich die Wicklungen untereinander kontaktieren.

Wicklungsverschweißer, die Folge einer „Nestbildung“ sind i.A. nur durch eine Einbettung in Schamott o.ä. zu unterbinden. Das mag bei Heizwendeln in Öfen akzeptabel sein, bei Glühlampen ist es nicht möglich.

3.4.8 Lichtausbeute in Abhängigkeit der Zeit

An (noch) wenigen, neuen, Lampen wird die Entwicklung der Lichtausbeute über die Betriebszeit untersucht. Hier werden die Lampen an Konstantspannung betrieben. Gemessen werden Strom, Spannung und Lichtstrom in der UK2 (größer, daher thermisch stabiler). Die, leicht driftende, Spannung des Netzgerätes (Conrad PS2403-D) wird bis auf Ausnahmen (z.B. HPR78 bei ca. 10 Stunden) nicht nachgeregelt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden Leistungsaufnahme und Lichtausbeute auf den Startwert normiert dargestellt (vgl. Bild 3.18)



(a) Lichtausbeute und Leistung über Betriebszeit (b) Lichtausbeute über Leistung

Bild 3.18: Lichtausbeute und Leistung (normiert auf Startwerte)

Die Meßergebnisse der ersten Lampe (HPR78) sahen auf den ersten Blick dramatisch aus, sind es bei max. ca. 2 % stetiger, kontinuierlicher Änderung aber nicht. Der Trend scheint aber sicher zu sein. Weitere Messungen werden mehr zeigen (neuer Hydra-Schädel, den es abzuschlagen gilt:=). Besonders Interessant ist das starke Auseinanderlaufen von Leistungsaufnahme und Lichtausbeute nach einer Stunde, stark steigend. Hier sind mal wieder 100-Stunden-Versuche fällig:=(D.h. Shunt’s und

Meßgeräte sind auf Wochen belegt. Einige Lampen haben ca. eine Minute Betriebszeit (Klassifizierung in der UK, vgl. Bild G.1) hinter sich, sind insofern nicht als „nagelneu"zu bezeichnen. Hier ist aber auch die Testzeit in der Qualitätskontrolle beim Hersteller unbekannt.

Betrachtet man die Lichtausbeute als Funktion der Leistung in Abhängigkeit von der Betriebsdauer, so kann der Zusammenhang vorsichtig wie folgt beschrieben werden:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = c_1 \frac{P}{P_0} \tag{3.46}$$

Im Startbereich liegt bei den bisher gemessenen Lampen (HPR78 und der HPR60) ein c_1 von 4 vor. Im Laufe der Zeit verringert c_1 sich mit den Wicklungsverschweißern über 2 und 0,8 auf 0,5 (vgl. Bild 3.18(b)).

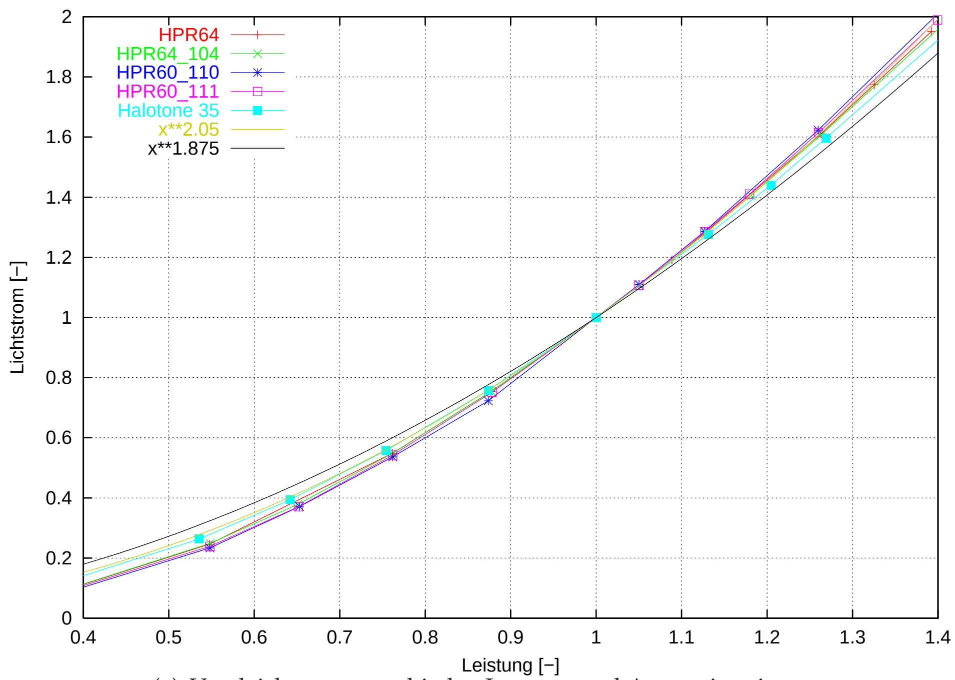
Schröder [Sc98] gibt folgende Abhängigkeiten bei Halogenlampen an.

$$\frac{P}{P_{\text{Nenn.}}} \sim {\frac{U}{U_{\text{Nenn.}}}}^{1,6} \tag{3.47}$$

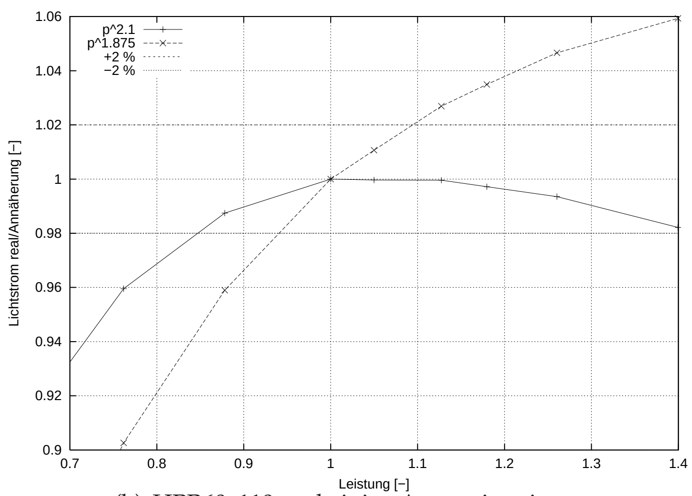
$$\frac{\Phi}{\Phi_{\text{Nenn.}}} \sim {\frac{U}{U_{\text{Nenn.}}}}^{1,4} \tag{3.48}$$

$$\frac{\Phi}{\Phi_{\text{Nenn.}}} \sim {\frac{P}{P_{\text{Nenn.}}}}^{1,875} \tag{3.49}$$

Für die Lampen in Bild 3.19 scheint für (3.47) eher ein Exponent von 1,5 zuzutreffen und für (3.48) ein Exponent von 3,05 (35 W Halotone), 3,14 (HPR64) bis 3,2 (HPR60). Für (3.49) scheint damit eher ein Exponent von etwa 2,1 zuzutreffen (vgl. Bild 3.19).



(a) Vergleiche von verschieden Lampen und Approximationen



(b) HPR60_110 und einige Approximationen

Bild 3.19: Lichtstrom in Abhängigkeit der Leistung (bezogen auf Nennwerte)

Die entsprechenden Nenndaten der Lampen:

- HPR64 2,85 W / 51,6 lm

- HPR64_104 2,83 W/53,1 lm
- HPR60_100 2,46 W/39,2 lm, 2,51 W/43,5 lm
- 35 W-Halotone 35,63 W/706 lm

Bis auf die übliche Streuung der absuluten Daten liegen der Werte sehr gut übereinander. Auch ist die mit 35 W deutlich stärkere Halotone noch gut mit den HPR6x gut vergleichbar. Mit anderen Worten: Jedes am Rücklicht eingesparte/verschwendete und vorne eingesetzte Milliwatt macht sich doppelt bemerkbar! Insofern sind sparsame Rücklichter, wie z.B. einige[26] DToplight-Varianten nur zu begrüßen! Allerdings erkauft man sich den vermehrten Lichtstrom mit verminderter Lampenlebensdauer.

3.4.9 Statische Untersuchungen an Wechselstrom

Einige Meinungen besagen, daß die Frequenz des Stromes eine Auswirkung auf die Lampenlebensdauer habe. Um hierüber Aussagen treffen zu können werden Messungen bei unterschiedlichen Frequenzen vorgenommen.

Die rechnerische Bestimmung der Zeitkonstante bzw. thermischen Trägheit des Glühfadens, welcher durch den Wechselstrom einer schwellenden thermischen Belastung unterworfen wird, ist schwierig zu bestimmen. Problematisch ist vor allem der komplexe Mechanismus des Wärme(ab)transportes durch das Gasgemisch in Wendelnähe.

Theoretisch nimmt der Temperaturverlauf, entsprechend dem Verlauf der elektrischen Leistung, eine $\sin^2(t)$-Form an. Bei genügend hohen Frequenzen kann der Faden nicht mehr auskühlen und wird von der nachfolgenden Halbwelle wieder aufgeheizt. Praktisch zeigen Messungen an einer HS3 mit einem Phototransistor (TIL81), daß der Faden ab ca. 6 Hz dem Verlauf der elektrischen Leistung nicht mehr folgt, der $\sin^2(t)$ wird zur Aneinanderreihung von $sin^2(t)$-Halbwellen. Ab ca. 50 Hz kann der Faden nur noch zu ca. 12 % und bei ca. 400 Hz gerade noch meßbar dem elektrischen Leistungsverlauf folgen. Einen ersten, ungefähren Überblick gibt das Bild 3.20. Die Achsenskalierung, besonders die der Zeitachse, sind willkürlich, es dient nur zum groben Überblick.[27] Irgendwann werden Meßwerte nachgeliefert.

[26] Aufgrund der vielen Varianten kann ich nicht „alle“ schreiben.

[27] Auf das Verbiegen des Sinus-Verlaufes bei hohen Frequenzen (Aufsteigend theoretisch steiler als absteigend) hatte ich keinen Bock, ist mit gnuplot aber sicherlich auch möglich:=)

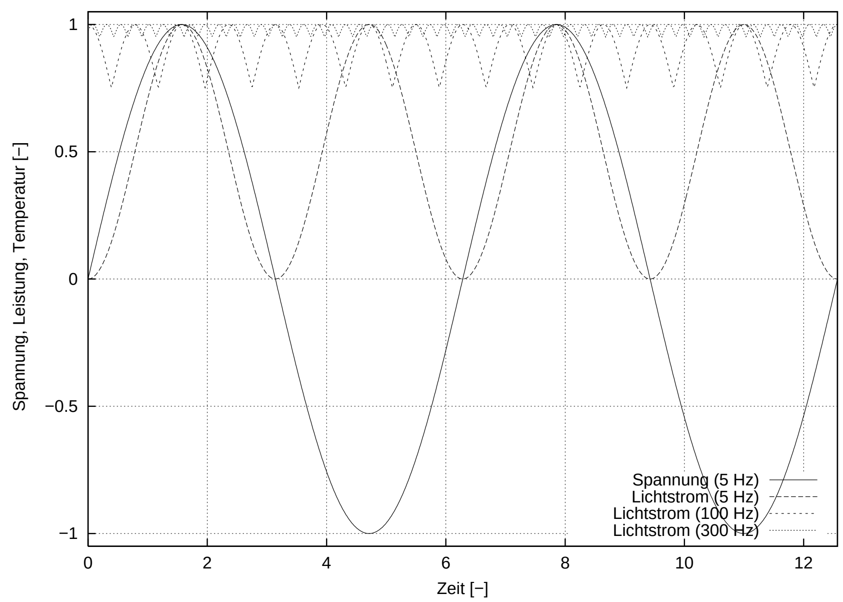


Bild 3.20: Skizze der Abhängigkeit des Lichtstromverlaufes bei Wechselspannung

Testweise wird eine HS3 bei Wechselspannung betrieben. Frequenz und Effektivwert werden variiert. Der Lichtstrom wird mit einem im IR empfindlichen Phototransistor (TIL81) aufgefangen. Der TLI81 hängt an einer Gleichspannungsquelle und einem Oszilloskop. Bild 3.20 gibt den Kurvenverlauf hinreichend genau wieder.

Die Wechselströme werden an einem selbstgebauten Funktionsgenerator (XR2206) mit einem nachgeschalteten Leistungsverstärker (TDA7294) erzeugt. Der AD-Wandler ist für diese Messungen zu träge. Eine einfache Vollweggleichrichtung ist zu ungenau und ermöglicht keine Potentialtrennung (die RTX ist nicht differentiell). Eine potentialgetrennte Gleichrichtung hier zu aufwendig. Folglich werden die Meßpunkte mit den normalen Meßgeräten erfaßt.

Die Testlampen weisen je nach Frequenz unterschiedliche Leistungsaufnahmen auf (vgl. Tabelle 3.13).

Tabelle 3.13: Stromaufnahme [A] zu Versuchsbeginn bei Wechselspannungsmessung

Testlampe	f [Hz]	6 V $=$	6 V $\approx$	7,5 V $=$	7,5 V $\approx$	Schwärzung
17	50	0,411	0,416	0,461	0,467	s2
18	50	0,413	0,419	0,461	0,469	s1
24	100	0,41	0,417	0,457	0,465	s1
25	100	0,415	0,425	0,464	0,475	s2
26	200	0,413	0,421	0,462	0,469	s2
27	200	0,41	0,419	0,459	0,467	s3
15	400	0,414	–	0,463	0,471	s4
16	400	0,412	–	0,460	0,467	s4
28	400	0,413	0,421	0,462	0,469	-
29	400	0,4	0,407	0,448	0,455	s1

Die Meßgeräte sind in in dem Frequenzbereich hinreichend genau (vgl. Seite 485 ff.). Damit alleine kann also die Abweichung nicht erklärt werden. Der Shunt (1 Ω Manganin, Isabellenhütte) dürfte eine zu vernachlässigende Induktivität haben. Vorerst wird die Abweichung, da kleiner als 2 %, nicht weiter berücksichtigt. Die Testlampen 28 und 29 sind nach 1,4 bzw. 19,4 h durch eine Fehlbedienung verstorben.

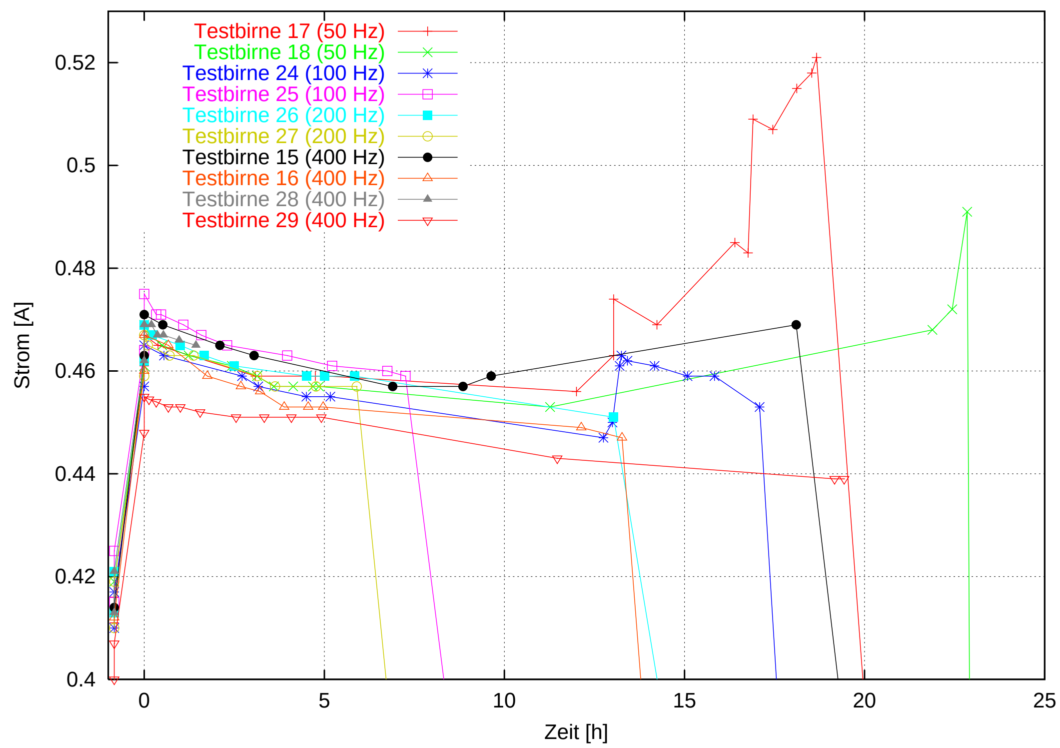


Bild 3.21: Vergleich der Wechselspannungsmessungen

Allen bei Wechselspannnung betriebenen Lampen ist eine stärkere Schwarzfärbung als der bei Gleichstrom gemeinsam. Auch bei dem Betrieb an Wechselspannung kommen Wicklungsverschweißer vor.

Der einzig auffällige Unterschied zu den Gleichspannungsmessungen ist die stärkere Schwärzung des Glaskolbens.

3.4.10 Dynamische Untersuchungen an Gleichstrom

Kleine Anmerkung: Endlich kommt mal wieder ein bißchen Mechanik in's Spiel.

Im realen Einsatz werden Glühlampen dynamisch beansprucht. Dies geschieht einerseits durch einmalige impulsförmige Anregungen, z.B. Kantsteinüberfahrten, als auch durch repitierende Anregungen, z.B. Pflaster, die, je nach System, zu einer nahezu kontinuierlichen Schwingung führen können. Bei den impulsförmigen Anregungen reagiert das System im Steuerrohrbereich mit einer gedämpften Eigenschwingung mit ca. 24–30 Hz in der vertikalen Richtung, vorwiegend die Eigenfrequenz der Vorderradgabel. Fahrten über Pflaster erzeugen bei den typischen Geschwindigkeiten und Pflastersteinbreiten eine Anregung bei etwa 25–50 Hz. Durch diese Schwingungserregung treten zwei wesentliche Effekte auf: Der weißglühende Glühfaden wird in erzwungene Schwingungen versetzt und verschweißt sich (siehe Beobachtungen auf Seite 175). Durch die Beschleunigungen ist weiterhin eine verstärkte Gasbewegung im Kolben, speziell in der Nähe des Glühfadens, denkbar. Dies dürfte sich in einer schnelleren Verdampfung des Wolframs, meßbar als $\dot{I}$, äußern. Der Wolframdampf muß ein größeres Volumen ausfüllen und ist nicht so dicht wie im ruhenden Zustand, der Partialdruck fällt, es verdampft mehr Wolfram. Auch wenn es ein untergeordneter Effekt sein dürfte, vorerst ist er nicht zu vernachlässigen (vgl. auch Beobachtungen zum Wolframbelag 186).

Für idealisierte dynamische Messungen wird eine *Bass Pump* als Shaker zweckentfremdet. Richtige Shaker kosten mehrere 10 kDM. Hier ist es die von Conrad Electronik als Restposten für 20 DM verramschte Bass-Pumpe (Best.-Nr. 433039). Im Datenblatt wird eine Leistung von 100 W[28] und 4 Ω, daraus folgt eine Spannung von 5 V_{eff}, angegeben. Der Frequenzbereich ist mit 28–55 Hz angegeben. Der maximale Hub beträgt $h = 2{,}5$ mm, dann kontaktieren sich die Schwingmasse und die Aufhängefedern. Der Schwingkörper hat eine Masse von 393 g (ohne Befestigungsschraube, Aufhängefedern und Nutzlast), der Korb (mit Aufhängefedern) von 280 g. Die Nutzlast ist ein Aluwinkel mit einer Glühlampe (zusammen mit Schraube, Kontaktierung und einem Anteil Kabel zusätzliche 40 g). Der Shaker ist auf einem Stahlklotz mit einer Masse von 89,2 kg festgeschraubt. Die Eigenfrequenz ω_0 des Testaufbaues liegt bei ca. 40 Hz. Die dabei erzielbaren Amplituden h und rechnerische[29] Beschleunigungen a sind in der Tabelle 3.14 aufgeführt.

Die Ansteuerung des Shakers erfolgt über einen Leistungsverstärker (siehe 3.4.9). Hierbei stehen als Signalformen Sinus, Dreieck und Rechteck zur Verfügung. Auf ein Schmalbandrauschen, wie in [DIN EN 60810] vorgesehen, wird hier vorerst verzichtet. Ebenso wird aufgrund der schnellen Alterung von Fahrradglühlampen auf die 30 Minuten dauernde Alterung verzichtet; die ca. 2 Minuten zur Bestimmung der Stromaufnahme an 6 V und Prüfspannung sollten reichen.

Der Effektivwert der sinusförmigen Bewegung ist analog zu Formel (B.1) berechenbar.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \tag{3.50}$$

$$s = h\sin(\omega t)$$

$$a = \ddot{s} = -h\omega^2 \sin(\omega t) \tag{3.51}$$

$$a_{\mathrm{eq}} = \frac{h\omega^2}{\sqrt{2}} \tag{3.52}$$

Bei einem Dreieck- und Rechtecksignal sind theoretische Ansätze aufgrund der unstetigen Beschleunigungsvorgänge und der unbekannter Reaktionen des Systemes darauf zu vage. Hier muß real gemessen werden. Ein Beschleunigungsaufnehmer 303A03 von PCB [30] wird mit Wachs auf der Verstimmungsmasse befestigt und über einen Ladungsverstärker (PCB 480D06) an einen Fast-Fourier-Transormation (FFT), einen Ono Sokki CF350, angeschlossen. Bei allen drei Signalformen reagiert das

[28] Musik oder Sinus ist nicht erwähnt.

[29] Vorerst nicht gemessen, will den Aufwand nun wirklich nicht übertreiben:)

[30] PCB Piezotronics Inc., Depew, New York

Schwingsystem mit einer sinusförmigen Bewegung. Nur die ersten drei Eigenfrequenzen sind ausgeprägt. Der Effektivwert der zweiten Eigenfrequenz beträgt max. ca. 8 % der ersten, der der dritten max. ca. 3 %. Alle anderen Eigenfrequenzen sind unbedeutend. Versuche mit den anregenden Signalformen Dreieck und Rechteck können an diesem Prüfstand bei Anregung in der Eigenfrequenz bedenkenlos weggelassen werden.[31] Für weitere Untersuchungen kann der FFT weggelassen werden und das Meßsignal des Beschleunigungssensors gegebenenfalls direkt mit einem Effektivwertmeßgerät gemessen werden. Alternativ wird hier ein linearer Weggeber verwendet.[32]

Die von E. Groß (s. S. 176) gemessenen Anregungen und Eigenfrequenzen der Gabeln und der Vertikalschwingungen am Oberrohr liegen bei etwa 24 Hz und 15 m/s^2. Bei Kopfsteinpflasterüberfahrten werden am Oberrohr bis zu 15–20 Hz und 0,5–1,5 g^2 gemessen, wobei das die niedrigen Beschleunigungswerte nur mit einer Federgabel erreicht werden. Um die Eigenfrequenz des Shakers dahingehend zu verstimmen muß eine Zusatzmasse m_z auf dem Schwinger montiert werden. Unter Vernachlässigung der (geringen) Dämpfung ist diese Masse relativ einfach abschätzbar:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m_0}} \tag{3.53}$$

$$\omega_{0z} = \sqrt{\frac{c}{m_0 + m_z}} \tag{3.54}$$

$$m_z = m_0 \left(\left(\frac{\omega_0}{\omega_{0z}} \right)^2 - 1 \right) = 433\ \text{g} \left(\left(\frac{44{,}5}{24} \right)^2 - 1 \right) = 1055{,}6\ \text{g}$$

Die gefertigte Zusatzmasse hat inkl. anteiligem Schraubenschaft eine Masse von $m_z = 1027$ g.

[31] Gilt auch für Frequenzen bis herunter ca. 15 % der Eigenfrequenz. Ließe sich sicherlich auch aus der Schwingungslehre herleiten, aber ein gesundes Mißtrauen ist ja ab und zu angebracht:=)

[32] Midori LP-10F, Hub 10 mm, Widerstand 1 kΩ, gespeist mit 5 V Gleichspannung. Wird der Wechselspannungsanteil des Mittenabgriffs gemessen, so läßt sich relativ einfach $a_{\text{eq}}[\text{mm/s}^2] = 8\pi^2 f^2 U_{\text{eff}}$ berechnen.

Tabelle 3.14: Amplituden des Shakers

f	$U_{\text{eff Shaker}}$	h	a		
			theoretisch		FFT
[Hz]	[V]	[mm]	[$(\text{m/s}^2)^2$]	[g^2]	
m_0	1	0,5	27,7	0,288	?
44,4	2	1,25	69,1	0,718	?
	3	1,85	102,3	1,063	?
	4	2,25	124,4	1,293	?
24	4	0,25	4,0	0,042	?
	6	0,4	6,4	0,067	?
$m_0 + m_z$	1	0,85	12,5	0,13	0,14
23	2	1,5	22,2	0,23	0,26
	3	$\geq 2{,}5$	36,9	0,384	0,37

Die mit dem Beschleunigungsaufnehmer gemessenen und über den Hub[33] berechneten Effektivwerte sind in unterschiedlichen Meßläufen bestimmt und stimmen hinreichend genau überein.

Mit der Zusatzmasse ist die gewünschte Frequenz leistungsarm erreichbar. Allerdings hat eine leichte Drift der Frequenz ein Verlassen der Eigenfrequenz des schwach gedämpften Systemes und damit eine geringere Amplitude zur Folge. Ohne Zusatzmasse werden bei 24 Hz aber selbst bei Überlast nicht die erforderlichen Beschleunigungen erreicht. Eine Regelung ist hier zu aufwendig, es muß damit gelebt werden gegebenenfalls Frequenz oder Amplitude nachzustellen.

Die Lampen werden an Gleichspannung betrieben.

[33] Noch mit einem Millimetermaß gemessen, der Weggeber war noch nicht im Einsatz.

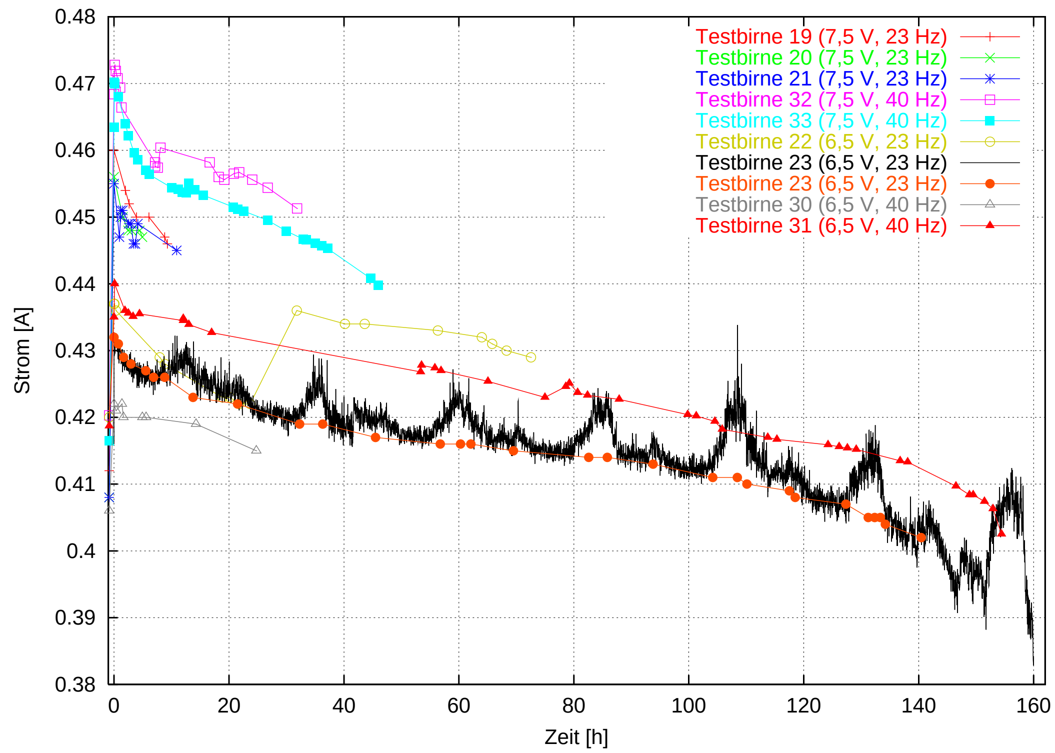


Bild 3.22: Vergleich der dynamischen Messungen

Die Schwärzung der Lampen ist gering oder sogar unauffällig. Die hohe Lebensdauer von 160 h bei 6,5 V muß aus Ausreißer angesehen werden, bei 7,5 V treten geringere Lebensdauern als unbewegt auf. Auch hier ist eine Mindestdauer bis zum Auftreten des erstens Wicklungsverschweißers beobachtbar. Jedoch treten trotz der mechanischen Belastung nicht auffällig mehr Verschweißer auf.

3.4.11 6 V oder 12 V

Im folgenden werden die Auswirkungen einer erhöhten Nennspannung bei nahezu gleichem Nennstrom betrachtet.

3.4.11.1 Fadengeometrie

Die Geometrie bzw. die Lages Glühfadens für Fahrradlampen ist in der DIN 49848 festgelegt. Es folgt eine arg kurze Zusammenfassung. Die Lage der einzelnen Maße entnehme man Bild 3.23

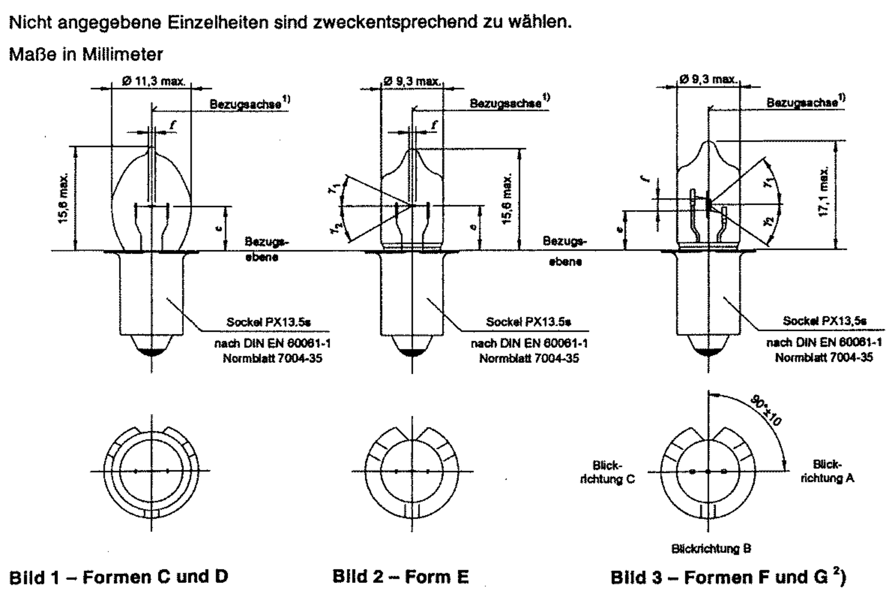
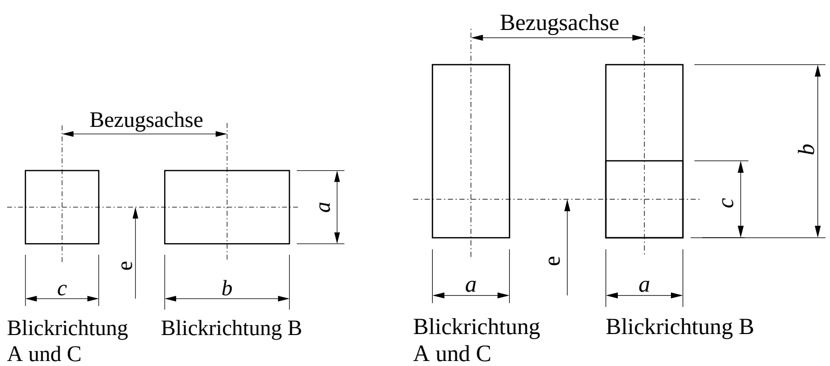


Bild 3.23: Fadenlage (DIN 49848-3)

Für Serienlampen wird die Fadenlage in einer Box gefordert (Bild 3.24).



(a) DIN 49848-2 (HS3)

(b) DIN 49848-3 und 49848-4 (HS4, E und F)

Bild 3.24: Box nach DIN

Die einzelnen Abmessungen für Serienlampen entnehme man Tabelle 3.15.

Serienlampen müssen in einer Box (vgl. Bild 3.24), definiert mit den Maßen a, b, c, teilweise aus dem Leuchtkörperdurchmesser d hergeleitet, liegen. Der die Länge l des Leuchtkörper ist definiert durch die „... erste und die letzte vollglühende Windung des Leuchtkörpers, die im wesentlichen den für diesen Leuchtkörper typischen Steigungswinkel haben“. Für Prüflampen mit einem bestimmten Lichtstrom bei definierter Spannung muß der Faden in einem enger tolerierten Rahmen liegen (vgl. Tabelle 3.15). Die Exzentrität der Axialwendel g ist derzeit nur bei den HS4-Lampen limitiert.

Tabelle 3.15: Daten der Lampen nach DIN 49848

Maß	HS3		HS4, Form F und G	
	Serienb.	Prüfb.	Serienb.	Prüfb.
α [°]	90 ± 20	90 ± 10	90 ± 10	90 ± 5
β_1 [°]	≥ 30		≥ 40	
β_2 [°]	≥ 25		≥ 35	
a [mm]	$d + 0{,}5$		s.u.	
b [mm]	2,1		2,5	
c [mm]	1,1		0,8	
e [mm]	6,55	$6{,}55 \pm 0{,}15$	$5{,}65 \pm 0{,}4$	$5{,}65 \pm 0{,}2$
f [mm]	$1{,}25 \pm 0{,}35$	$1{,}25 \pm 0{,}25$	$1{,}8 \pm 0{,}3$	$1{,}8 \pm 0{,}15$
g [mm]	–	–	$0 \pm 0{,}6$	$0 \pm 0{,}3$
h_1 [mm]	Box	$0 \pm 0{,}15$		
h_2 [mm]	Box	$0 \pm 0{,}15$		
Φ [lm] (<10 V)	$36 \pm 5{,}4$	36	90 ± 11	
Φ [lm] (>10 V)			90 ± 18	90
U [V]	6,0	$f(\Phi = 36)$		$f(\Phi = 90)$

Die Breite der Box a beträgt bei Form F und G (DIN 49848-3) $d + 1{,}2$, bei HS4 (DIN 49848-4) $d + 0{,}6$.

Mit einem großem Wendeldurchmesser kann man also den Lichtschwerpunkt weit aus dem Fokus herauskriegen und dann z.B. Blendwerte erzeugen. Gut, solche Wendel, werden nicht vielleicht mehr unbedingt den erforderlichen Lichtstrom liefern, aber es zeigt den, nicht sinngemäßen, Auslegungsraum der DIN!

Die 6 V (Form F) und 12 V (Form G) sind nach der DIN 49848-3 (Juni 2001) nur für batteriegestützte Beleuchtung vorgesehen, die 12 V-HS4 nach DIN 49848-4 auch für dynamobetriebene Anlagen. Dummerweise beträgt die Prüfspannung der Form G 12 V und die der HS4 13,5 V. Aber wenigstens sind die Wendellagen identisch, so daß zumindest die Reflektoren beibehalten werden können. Soviel zum Thema Standardisierung bei Neuentwicklungen bzw. -normungen:=(

Alleine obige Zusammenstellung mach klar, daß die zulässigen Axialwendellampen und Transversalwendellampen nicht in den entsprechenden Scheinwerfern ausgetauscht werden können. Dafür ist die Wendellage zu unterschiedlich. Zudem sind heutige Scheinwerfer so genau berechnet (und meist gefertigt), daß mit den nicht zugedachten Fadenlagen unzufriedenstellende oder sogar unzulässige Beleuchtungswerte erzielt werden können.

3.4.11.2 Systemkritik

Ein Nachteil der 12 V-Systeme liegt darin begründet, daß der Glühfaden der 12 V HS4-Lampe deutlich länger ist als der der HS3-Lampe. Auf die Erschütterungen im Fahrbetrieb dürfte die HS4-Lampe noch empfindlicher reagieren als die HS3-Lampe, die mit 100–160 Stunden Betriebsdauer (im ruhigen Prüfstand?) angegeben ist.

Nach Hentschel steigt bei gleicher Lebensdauer die Lichtausbeute mit dem Drahtdurchmesser[He94]. Auch dies würde, von den anderen hier angeführten Gründen abgesehen, für die Beibehaltung der 6 V-Technik sprechen. Nur müssen dann die Benutzer dahingehend aufgeklärt werden, daß sie auch bei der Fahrradbeleuchtung auf die Leistung der Ersatzteile achten müssen, nicht nur bei der Wohnbeleuchtung! Dies ist dürfte aber durch einen deutlichen Hinweis auf Dynamo und Scheinwerfer durchführbar sein.

Für eine längere Lampenhaltbarkeit wäre es sicherlich besser bei 6 V zu bleiben und die Nennstromstärke anzuheben. Dadurch wird der Glühfaden dicker und erhält eine größere mechanische Stabilität. Die Masse steigt mit wachsendem Drahtdurchmesser quadratisch, die Steifigkeit hoch vier.

Einer vernünftigen Verkabelung mit wenigen Kontaktstellen, die den Rahmen und besonders nicht den Steuersatz oder Federgelenke im Stromfluß vorsieht, ist es in erster Näherung egal ob 6 V oder 12 V anliegen. Spannungsverluste durch Übergangswiderstände können dann vernachlässigt werden.

Der Doppelwendelfaden der HS4-Lampe weist eine größere abstrahlende Oberfläche als der Einfachwendelfaden der HS3-Lampe auf. Die Doppelwendel heizt sich durch Selbstbestrahlung noch besser auf als eine Einfachwendel. Unter anderem dadurch kann die höhere Lichtausbeute von 18 lm/W statt 15 lm/W begründet liegen. Zumindest die (fünf) HPR74, die der Autor bisher gesehen hat, streuen stark und Wendellage und -aufbau: Die Wendelachsen liegen selten axial, meist sogar schief (ca. 30 Grad aus der Achse heraus gekippt). Zudem sind die Verstärkungsdrähte, die im äußeren Bereich die Wendel unterstützen unterschiedlich lang, mal reichen sie bis an die erste Wicklung ran, mal wird nur ca. 1 mm unterstützt. Hier haben die Leuchtenkonstrukteure also die großen Fertigungsschwankungen zu beachten.

Es gibt keinen eindeutigen Vorteil von 12 V oder 6 V-Systemen. Dafür hat jedes System zuviel Nachteile. Ob die Steigerung der Lichtausbeute den Nachteil der zu erwartenden Lampenhaltbarkeit aufwiegt sei dahingestellt.

Ein derzeitiger Nachteil der 12 V-Systeme sei nicht verschwiegen: Es gibt kaum Rücklichter und Scheinwerfer, die Komponenten sind noch sehr teuer und im Ersatzfall nich bei jedem Händler sofort erhältlich.

In 6 bzw. 12 V-Systemen müssen die Rücklichter laut dem Entwurf TA 14b (vgl. Seite 563) mindestens 0,3 bzw. 0,6 W aufnehmen. Eine ausreichend helle LED nimmt bei 30 mA und 2,1 V nur 0,063 W auf. Schaltwandler werden unter diesen Randbedingungen mit einem Wirkungsgrad von etwa 70 %

angegeben. Überschlägig sind das nur 0,08 W Leistungsaufnahme für das Rücklicht. Bei Berücksichtigung eines kleinen Sicherheitsfaktors ständen ohne einen Mehraufwand an Tretleistung mehr für den Scheinwerfer zur Verfügung.

Jetzt könnte man sagen, OK, ziehen wir uns einen passenden Drahtdurchmesser für die Glühlampen. Ganz so einfach ist das bei Wolfram nicht. Anscheinend gibt es nur eine Handvoll von standardisierten Drahtdurchmessern und daraus folgenden Stromstärken. Bei Philips sind dies, nach bisher gefundenen Daten: 0,5, 0,7, 0,75, 0,85 A. . . . Diese können anscheinend unter Einfluß auf die Lebensdauer leicht variiert werden. Weitere Beeinflussungen sind sicherlich z.B. über die Steigung und den Durchmesser der Wendel möglich.

3.4.12 Philips Masterline ES

Als ein etwas eingehend untersuchter Vertreter der neueren Halogenlampen soll eine (bzw. drei Exemplare) Philips Masterline ES 12 V, 8° (Nr. 18138) dienen.

Als Vergleich der normierten Kenndaten: Lichstrom, Strom, aufgenommene Leisung und Spannung, jeweils auf den Wert bei der Nennspannung bezogen, ergibt sich Bild 3.25.

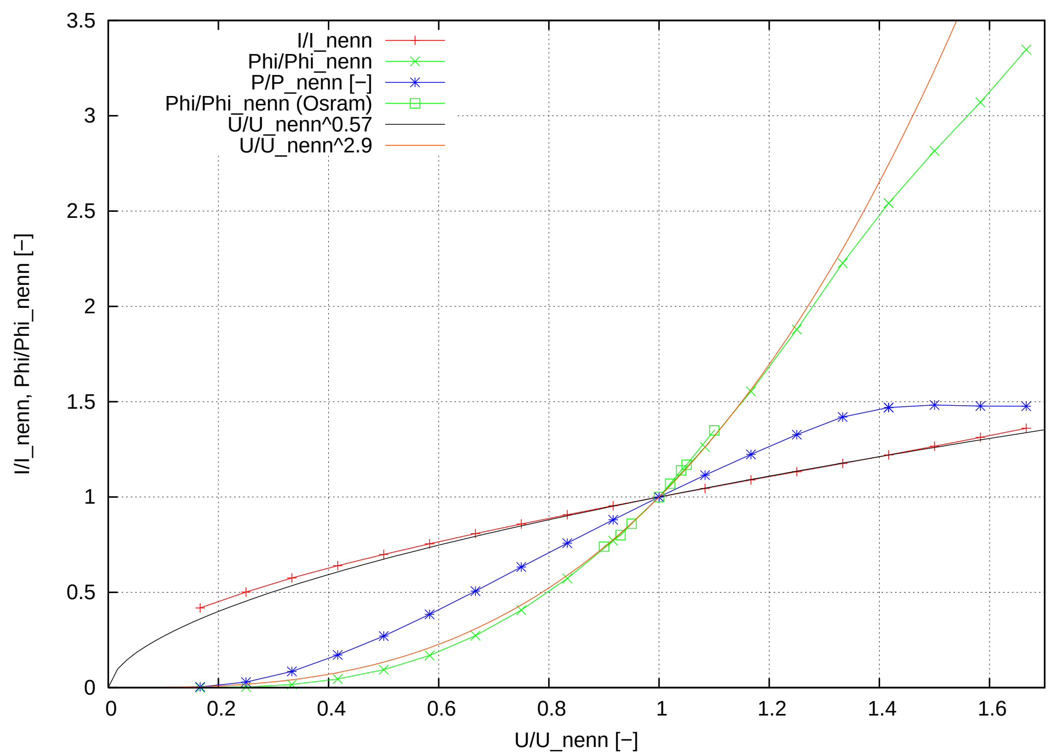


Bild 3.25: Bezogene Meßwerte Masterline ES

Im Wesentlichen werden die auf Seite 163 ff. aufgeführten Gesetzmäßigkeiten bestätigt. Der Abfall ab ca. $1{,}3U/U_{\mathrm{Nenn}}$ kann noch nicht erklärt werden.

Die Lichtverteilung ist auf der Vergleichseite wiedergegeben.

Die Frontscheibe selber ist vergütet. Die Transmission wird mit 99 % gemessen.

In ruhender Luft werden bei nach von 2 V alle 2 Minuten um 1 V bis auf 20 V erhöht folgende Temperaturen gemessen: Hinten am Sockel in der Rille für die Herausfallsicherung: Etwa 350 °C und in der Rille Schutzglas-Reflektor ≈150 °C.

Was bei den Messungen auffällt: So richtig stationär sind die IRC-Lampen erst nach über einer Minute.[34]

Der im vorderen Halbraum abgegebene Lichtstrom beträgt ca. 670–755 lm bei 35 W. Der im hinteren Halbraum abgegene Lichtstrom ist vernachlässigbar. Lichtströme in engeren Bereichen siehe Vergleichstabelle auf www.enhydralutris.de

3.5 Messungen an Glühlampen-Scheinwerfern

Die Leuchten werden anfangs mit einem Minolta *Illuminance Meter*, ab dem 10.12.2000 mit einem Gigahertz Optik $X9_1$, und fotographisch vermessen. Dazu nach der Vorstellung der Untersuchungsobjekte mehr.

Die Scheinwerfer sind, wenn nicht anders geschrieben, neu bzw. neuwertig. Gewichte in Tabelle 3.16 sind, wenn ein K vorangestellt ist, mit mitgeliefertem Kabel.

Tabelle 3.16: Scheinwerfer, Zulassung und Gewicht

Hersteller	Modell	Zulassung	Nennspannung [V]	Nennleistung [W]	Gewicht [g]
aufa/FER	8707.31	K10779	6	2,4	*K*61
	8707.42	K20622	6	2,4	33
	Halogen	K20643	6	2,4	53
	Halogen 12V	K86	12	5	55
Axa	Hilight	K10798	6	2,4	55
basta	Horizon	K30	6	2,4	119
	Clear Schalter	K466	6	2,4	*K*67
BiSy	FL-SR	K20611	6	2,4	74
Büchel	Halogen	K47	6	2,4	45

Fortsetzung nächste Seite

[34] Das ist schon zeitraubend nervig!

Hersteller	Modell	Zulassung	Nennspannung [V]	Nennleistung [W]	Gewicht [g]
bumm	Lumotec	K10787	6	2,4	50
	Lumotec Plus	K10787	6	2,4	58
	Lumotec (ClearLens)	K491	6	2,4	
	Lumotec Oval	K	6	2,4	65
	Lumotec Topal Senso	K	6	2,4	
	Lumotec IQ-Fly	K527+K537	6	2,4	$K74$
	Big Bang	K528	7,2	10	$K672$
Hella	FF	K136	6	2,4	61
	Micro FF	K202	6	2,4	33
Schmidt	Lumotec (Schalter)	K10787	6	2,4	$K64-75$
	E6		6	2,4	
Soubitez	ARK-PPV034 (B1)	K10776	6	2,4	41
Spanninga	Ecolight Bird		6	2,4	$K240$
	Radius Auto		6	2,4	
Union	Metall-B1	K10671	6	2,4	$K155$
	U100H	K10725	6	2,4	93
	Ellipsoid	K10774	6	2,4	47
	U70	K10789	6	2,4	$K66$

Einige Scheinwerfer werden, nach der Deaktivierung der eingebauten Supressordioden, auch mit den HS4-Lampen betrieben. Ob das lange gut geht, kann der Autor nicht sagen. Hier sind Erfahrungsberichte von anderen Anwendern notwendig. Es müssen auch nicht unbedingt HS4-Lampen sein. Sinnvoll wäre schon eine Rückmeldung in dem Sinne: Hält/hält nicht Lampen bei xy-Watt aus, leichte Verschmelzungen Plastiknase o.ä.

Tabelle 3.17: Standverhalten von Fahrradscheinwerfern

Modell	Zulassung	Begrenzung	Elektrik/Optik			Mechanik	
			*P*Status	Wasser	Spiegel	Halter	B.-Wechsel
Lumotec	K10787	BZW 7V8	6+/	+	+	+	b
Lumotec Oval	K16			+	+	+	b?
9430	K20630			-	-	+	+
9630	–						W
S'Light-FL	K20611	BZW 7V8	3+/6,8o			+	W
FER 3250	K86		5+/		-	b	W
Hella	K136						+
Hella	K202						
Nova	K10757			+			W
U 70			6+/	+	+	+	W
U 100			6+/	+	+	+	W
U 70H		BZW 7V0					
JOS EP95	K20621						W
Cat. 1500 G	K40603			-		+	Wb
Cat. 500 II			6?/			+	Wb
Sigma FL100						+	W
Sigma FL500	K182	-	5+/	+	+		

Legende: **+** keine Probleme, **o** auf der Kippe, **-** langzeitproblematisch, **W**erkzeug, **b**ruchgefährdet, **?** nach Gerüchten ja. Langzeit heißt mindestens ein Jahr und mindestens zwei Lichtfahrsaisons benutzt.

Bei der Leistung ist vor den Schrägstrich die Leistung aufgeführt, die der Scheinwerfer ohne mechanische Eingriffe abkann. Hinter dem Bruchstrich die Leistung, die mit einer guten Fassungskontaktierung und Kühlung der Fassungskontaktierung ertragen wird.[35] Wenn es jetzt an's Lampenbeschaffen geht: Seit 1999 hat zumindest Conrad Electronic einen passablen Halogenlampen-Bereich mit PX13,5s-Sockel. Die HPR64 gibt's zum Beispiel bei Stützpunkthändlern von Schmidt

Wasser heißt Anfälligkeit gegen Eindringen von Wasser (auch Schwitzwasser) im Alltagseinsatz.

Spiegel meint Anfälligkeit der Spiegelschicht gegen Korrosion durch alltägliche Umgebungseinflüsse, nicht den Toluol/Heptan- Test für Rücklichtreflekoren nach TA14b bzw. ISO [ISO6742/1].

Zur Montage und Ausrichtung sind noch einige Bemerkungen zu machen. Die Austrittshöhe ist am normalen aufrechten Fahrrad bei ca. 70–75 cm, bei Liegerädern meist niedriger, ansetzbar. Die Mitte des Strahlen (HV) soll nach StVO in 10 m Entfernung auf dem Boden auftreffen, der Scheinwerfer ist damit um 4° nach vorne geneigt. Zieht man jetzt noch das Vorgabe der TA 23 in einem Winkel von 3,4° über HV weniger als 0,7 lx zu erreichen, so wundert es wirklich sehr, daß so wenige Radfahrer nachts

[35] Im Allgemeinen rst nach massiven Eingriff in Fassung/Gehäuse unter Zuhilfenahme von Drehbank und Fräse möglich.

auf Autobahnen landen. Die Ausschilderung ist bei StZVO-korrekter Fahrradbeleuchtung einfach nicht lesbar, da nicht nennenswert beleuchtet! Hier sind niedrigere Montagehöhen sicherer.

Wenn Scheinwerfer umgedreht (in der Rückenlage) montiert werden müssen, dann sind Optik und Mechanik zu modifizieren. Die Optik muß geändert werden, da die Ausleuchtcharakteristik nicht symmetrisch ist. Vergleiche dazu sowohl die Zulassungsvorschriften in der TA23 (s. S. 576 ff.) als auch die Überlegungen zum idealen Scheinwerfer auf S. 412 ff. . Mechanisch muß unter Umständen ein Eingriff erfolgen, damit nicht Wasser von oben reinlaufen kann und unten nicht mehr rausläuft. Derzeit lassen sich folgende Scheinwerfer (Auswahl) zur Rückenlage umbauen:

Nachträglich: BiSy FL, Sigma Mirage

Ab Hersteller: Lumotec (classic), Sigma Mirage, BiSy FL

Ausgeschlossen: Hella FF-Tech, inoled, bumm fly, . . .

Nachträglich heißt ohne großen Aufwand! Beim FL ist das z.B. nur ein Aushebeln des Reflektoreinheit aus der Verschnappung. Hinten im schwarzen Gehäuse sind drei Schnappzungen, die in den Ring, der außen am Reflektor in der Referenzebene (vgl. Bild 3.148 auf Seite 421) eingreifen. Dazu mit einem stabilen Schraubendreher o.ä. zwischen Reflektor und Gehäuse eindringen und den Schnapppunkt finden und aushebeln. Falls dabei eine oder zwei Zungen abbrechen, den Reflektor umgedreht einkleben (Heißkleber). Ausgeschloßen bedeuted zu großer Änderungen, z.B. asymmetrische Gehäuseform. Akkuscheinwerfer für Lenkermontage (Sigma, Cateye etc.) können einfach in der Rückenlage am Lenker angeschraubt werden. Dann sind zwar u.U. die Bedienknöpfe nicht mehr so einfach erreichbar, aber die Optik im Gehäuse muß noch umgedreht werden.

3.5.1 aufa/FER

3.5.1.1 FER 8707.31

Es liegt ein unbenutztes Exemplar (~~~K 10779) vor.

Wer in Parabolreflektoren mit Streuscheibe ein Transversalwendel-Glühlampe mit senkrecht stehendem Faden einbaut hat wegen erwiesener Unfähigkeit jede Chance auf gutmeinende Kritik verspielt.

Birnchenwechsel mit Kreuzschlitzschraubendreher von hinten möglich. Als Begrenzungsdiode ist eine BZW 6V5B eingebaut.

3.5.1.2 FER 3250

Der FER 3250 (~~~K86) ist der Freiformflächenscheinwerfer von FER für das 12 V-System. Er ist schon gebraucht und weist leichte Defekte der Spiegelschicht auf.

Mechanisch hat er auch eine Schwachstelle: Der Harken, der das Adapterteil unten mit dem Reflektor verbindet, bricht anscheinend relativ leicht ab. Der Scheinwerfer wird dann noch durch einer Schraube zusammengehalten; er ist aber sehr elastisch, wenn es um die Leuchtweiteneinstellung geht.

3.5.2 AXA

3.5.2.1 AXA Trim

Der AXA Trim (~~~K10766) hat zwar eine Öffnung von 68 mm aber die Brennweite ist deutlich zu groß, nach hinten und vorne wird zu viel Licht verschenkt. Meßdaten auf www.enhydralutris.de beim Goniometer.

3.5.2.2 AXA HILIGHT

Der AXA HiLight (~~~K10798) ist ein älteres Modell, aber laut Zulassung neuer als der Trim. Die Streuscheibne sehen identisch aus. Der tiefe Reflektor sammelt viel Licht ein und erzeugt eine gute Projektion auf der Straße. Allerdings sind weit ab vom Kernstrahl helle Streustrahlen, die bei Nebelfahrten störend werden dürften.[36].

Meßdaten auf www.enhydralutris.de beim Goniometer.

3.5.2.3 AXA Halogen

Der AXA Halogen (~~~K20606) hat im unteren Bereich den Reflektor im Strahlengang. Die Begrenzung wird über zwei antiserielle Z-Dioden BZX 7,5 V vorgenommen. Das Gehäuse ist vollkommen aus Plastik. Die Kontaktfahnen sind aus Niro und haben teilweise schon im Neuzustand einen Kurzschluß. Die Massekontaktierung wird nur über einen relativ steifen Finger auf die Montageschraube vorgenommen; ob das ein sicherer Kontakt auf Dauer ist?

3.5.3 Basta

3.5.3.1 Basta PILOT

Die Bemerkungen beziehen sich auf ein Basta PILOT safety. Dieser Scheinwerfer hat zwei weiße LED, die polungsabhängig, leuchten. Eine Standlichtfunktion ist nicht vorhanden.[37]

[36]Wie beim Union H70
[37]Grund sind angeblich entsprechende Patente von bumm.

Wie das Basta PILOT Steady ist auch hier in der An-Stellung der Scheinwerfer bei gleicher Spannung heller als in der Auto-Stellung.

Die Begrenzung wird von zwei BZW06 7V0 übernommen.

Die dauerhafte Kontaktwirkung der schon plastisch benutzten Finger der glasfaserverstärkten Platine an die Lampe muß sich noch herausstellen.

Im Sensormodus deutlich dunkler. Messungen im angeschalteten, nicht Sensor-Modus vorgenommen.

3.5.3.2 Basta Clear

Der Basta Clear (~~~K466) hat eine ungewöhnliche Bauform. Die HS3-Birne liegt seitlich ausgerichtet, der Glühfaden geht also von vorne nach hinten. Der Reflektor hat mit 48 mm einen relativ großen Durchmesser.

Was an dem Scheinwerfer allerdings die Klarglasoptik sein soll ist schleierhaft. Es ist weiterhin ein Fresnellinse verbaut. Und der Reflektor sieht, bis auf die Deformation für die Birnenaufnahme auch nach einen Parabol aus.

Der Halter ist für die Gabelkronenmontage vorgesehen. Andere Montagekonzepte sind nicht vorgesehen.

Der Birnchenwechsel erfolgt mit einem Kreuzschlitzschraubendreher. Die Schraube ist seitlich gut zugänglich.

3.5.4 bumm

3.5.4.1 b&m Lumotec

Der inzwischen klassische b&m Lumotec (~~~K10787) hat als größere Schwachstelle die Klemmfeder für die Verriegelung des Reflektors, einige Versionen haben auch mit der Zeit Probleme mit der Kontaktfeder (Blattfeder) für den mittleren Lampenkontakt. In frühen Versionen des Lumotecs wird die Lampe durch zwei antiserielle Z-Dioden (BZY 7,5 V) geschützt, in aktuellen wird eine S-Diode (BZW04 7,8 V) verwendet.

Aufgrund der Produktlebensdauer gibt es inzwischen unterschiedlichste Versionen vom Lumotec bei Beibehaltung der Zulassungsnummer (~~~K10787).

1. Der klassische alte mit seperater Linse wie beim Elio Nova.

2. Die Linse ist wegrationalisiert.

3. Die Prismen im Zentralbereich um das direkt aus der Lampe austretende Licht nach unten abzulenken werden reduziert.

4. Streuscheibe erhält im unteren Bereich Streulinse für Standlicht-LED, auch wenn Standlicht-LED nicht eingebaut ist. Der Reflektoreinsatz bleibt dort glatt.

5. Leichte Änderungen in der Streuscheibe

6.

7. Segmentierter Freiformflächenreflektor mit glatter Frontscheibe (~~~K10787 und K491). Ähnlich dem Lumotec Fly. Die Standlicht-LED scheint unten zu sein, zumindest ist da ein Ausbruch zu erahnen. Die Frontscheibe ist glatt.

8. ...

Wer weiß, wie lange das weiter gehen wird:-)

3.5.4.2 b&m Lumotec Oval Plus

Vorerst keine näheren Berichte, nur ein z. Zt. noch nicht fertiges Schaltbild.

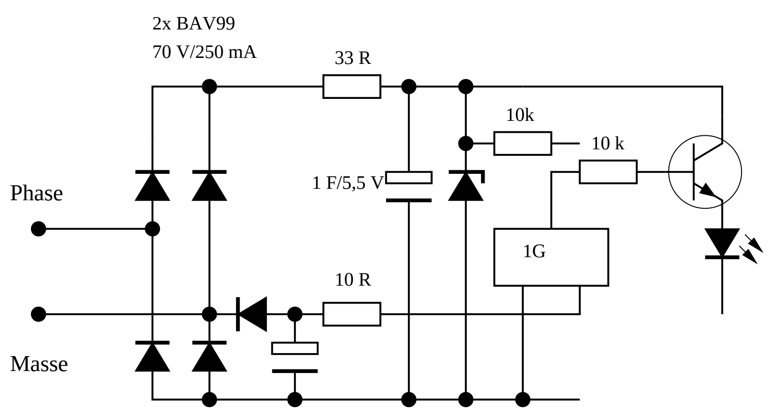


Bild 3.26: Schaltbild des „Lumotec Oval Plus“

Der Lumotec Oval Plus ist zusätzlich zum obigen Schaltbild noch durch eine normale Begrenzerdiode abgesichert.

3.5.4.3 b&m Lumotec Oval 12V

Zulassung ~~~K 269 und ~~~K 62. Meßwerte sind im Bereich des Goniometers auf der Webseite www.enhydralutris.de/Fahrrad/Goniometer/ angeführt. Es ist ein segmentierter Freiformflächenreflektor (*Clear Lens Technologie*) (CLT) mit Außenmaßen vegleichber dem Lumotec Oval mit Parabol/Streuscheibenoptik.

3.5.4.4 b&m Lumotec Fly

Der Lumotec Fly (~~~K527 und K537) wurde auf den Herbstmessen 2006 vorgestellt. Im Prinzip der Standardaustrittsdurchmesser von 38 mm. Der eigentlich Lampenkopf ist getrennt in drei 5° -Schritten gerastert verstellbar.

Die getestete Plus-Version hat eine relativ hohe Stromaufnahme, die wohl gerade in der Startphase durch das Laden des Kondensators verursacht ist.

Wie beim Hella FF ist der Reflektor beim Fly im oberen Bereich leicht zurückgezogen. Dies führt dazu, daß ein Teil des Lichtstromes der Birne als Direktlicht in den Himmel geht und nicht vom Reflektor auf die Straße reflektiert wird.[38]

Die Ausleuchtung ist fleckig. Dies liegt an den relativ wenigen Segmenten des Freiformspiegels.

3.5.5 Cateye

3.5.5.1 Cateye HL-500II

Die Halterung des HL-500II ist mit der des HL-1500 kompatibel. Eine Taktung (Pulsweitenmodulation) und damit eine Erweiterung der Leuchtzeit wie beim 1500 G ist nicht vorgesehen. Da war wohl das Lichttechnische Institut (LTI) in Karlsruhe vor.

3.5.5.2 Cateye HL-1500 G

Das Cateye HL-1500 G (~~~K40603) taktet in der Sparschaltung mit 72 Hz und einem Taktverhältnis von 50 % die Stromzufuhr der Lampe. Im ungedrosselten Betrieb findet keine Taktung statt, so daß bei Batteriebetrieb (6 V statt 4,8 V bei Akku-Betrieb) die Lampe die vollen 6 V abbekommt. Die Lampe hat das zumindest in den unten aufgeführten Messungen verkraftet. Ersatzlampen gibt es zumindest seit 1999 bei Conrad Elektronik.

Die Batteriekontroll-LED geht bei 3,85 V an und bei 4,25 V aus. Beim Sparbetrieb ist sie dauernd an.

[38] Mein Kommentar dazu ist nicht gesellschaftsfähig.

Die Taktung ist um einen NE555 aufgebaut, mithin eine Allerweltsschaltung.

Nachtrag von der IFMA 1999: Der Nachfolger, das Cateye 1600, hat einen anderen Reflektor (nicht den blinden Fleck über der Lampe und nicht die Aluscheibe in der Frontscheibe direkt vor der Lampe. Da dürfte noch mehr Licht herauskommen. Außerdem ist eine Ladebuchse integriert, die komischerweise fast an der Stelle sitzt, wo ich meine schon seit zwei Jahren nachgerüstet habe:=)

Laut Herstellerangaben soll es über 1000/3000 *Candlepower* verfügen.

3.5.6 DT/BiSy

3.5.6.1 BiSy-FL

Der Scheinwerfer BiSy FL (~~~K20611) hat die gleiche Optik wie der S'Light-FLE. Er ist eine Version in einem kleineren Gehäuse und ohne Standlichtfunktion. Der Überspannungsschutz wird in frühen Versionen durch zwei antiseriell geschaltete ZPY 8,2 V realisiert. Bei dem verfügbaren Exemplar beträgt die reale Durchbruchspannung 7,95 bzw. 8,05 V. Die Kontaktierung der Schutzdioden ist nicht dauerhaft. Neuere FL's haben eine „normale“ BZW04 7,8 V eingebaut. Aber auch hier können sich relativ schnell Kontaktprobleme ergeben. Dagegen hilft eine kleine Modifikation: Das Phasenanschlußblech raushebeln. Mit einer Spitzzange die Diode (liegt im Raum hinter dem Masseanschlußblech) herrausziehen. Die Diode in der Kammer zwischen Massenanschlußblech und Phasenanschlußblech unterbringen. Erst an dem Massenblech anlöten, dann das andere Drahtende möglichst dicht an der Diode um 180 Grad (danach nach oben zeigend) umbiegen. Das Phasenblech wieder einschnicken und Diode so anlöten, daß immer noch Kabelschuhe aufgeschoben werden können. Nach dem dritten Sockel geht das ziemlich schnell vonstatten:) Ein Foto folgt noch. So kann die Diode auch mal längere Zeit ca. 3 W abführen, wenn die Glühlampe nicht funktioniert und schützt so das Rücklicht.

Übrigens ist der Reflektor beim S'Light-FL in der schwarzen Plastikkappe mit drei Schnapphaken um den durchgehenden Kragen herum befestigt. Wenn man den wegen Überkopfmontage umdrehen will: Mit einem Schraubendreher vorne zwischen Plastikkappe und Reflektorkörper reinstechen und die beiden Teile auseinanderhebeln. Dann um 180 Grad verdreht wieder zusammenschnicken.

Die Verfügbarkeit ist derzeit (2002) über Schmidt gesichert. Schmidt hat den gesamten Restbestand FL von BiSy übernommen. Der Edelscheinwerfe E6 von Schmidt (verfügbar ab 10/2002) hat die Optik des FL mit einer leistungsfähigen Effektivwertbegrenzung in einem stabilen, absolut wasserdichten Gehäuse. Der Schalter ist integriert. Es gibt auch eine Ausführung für Serienscheinwerfer.

Ohne Frontscheibe/Fresnel-Linse erzeugt der Scheinwerfer einen symmetrischen hellen Ring mit einem $2\varphi_{1/2}$ von ca. 3° und einem dunkleren Mittelpunkt. Erst die Fresnel-Linse sorgt für die StVZO-korrekte Ausleuchtung. Mit einer HS4 wird auch der Mittelpunkt ausgeleuchtet.

3.5.6.2 S'Light-FLE

Der Scheinwerfer S'Light-FLE (~~~K20611) hat eine Standlichtfunktion über vier Mignon-Akkus integriert. Er wurde von bzw. für DT entwickelt. BiSy hat den gesamten Restbestand inkl. Fertigungsanlagen von DT aufgekauft und will das jetzt loswerden. Der S'Light-FLE ist inzwischen auch unter z.B. „BiSy-FLE-SR" im Handel: FLE- mit Standlicht, FL- ohne Standlicht, -RR mit Rückstrahler, -SR ohne Rückstrahler.

Zur Zeit (I 1999) wird er von den Großhändlern relativ preiswert verscherbelt. Mehr als 50 DM sollte man nicht dafür bezahlen. Die ca. 120 DM Listenpreis sind nach Erachtens des Autors ungerechtfertigt. Conrad Electronic hat ihn in der Restpostenliste für ca. 10 DM angeboten.

3.5.6.2.1 Elektronik Um einen speziellen Steuerchip (DT FL-SLE) von *SGS Thomson* gruppieren sich zwei Schaltwandler. Der rechte versorgt im Standlichtfall den Scheinwerfer. Der linke Wandler lädt den Akku? Die Schalttransistoren (BSP 17) sind N-Kanal MOS-FETs. Die Standlichtspannung ist mit dem 500 kΩ Poti x (neben dem Relais) begrenzt einstellbar. Sie beträgt im Regelfall 4,0 V. Warum die Akkuspannung von 4,8 V auf 4 V runtergewandelt wird und nicht auf 6,0 V hoch ist noch nicht geklärt. Ein Vertauschen der Spulen bringt nur eine Spannungsreduzierung auf 2,1 V im Standlichtfall. Die Spulen sind mit je 34 µH resp. 53 µH in RM5-Schalenkernen mit einem A_L-Wert von 100 untergebracht; Die Gütezahlen ergeben sich als 13 resp. 18.

Der Wandler wird im Regelfall mit 66 kHz getaktet.

Im Dynamobetrieb ist der Scheinwerfer mit über den Brückengleichrichter und die 1N5342B, eine Z-Diode mit 6,8 V/5 W, abgesichert.

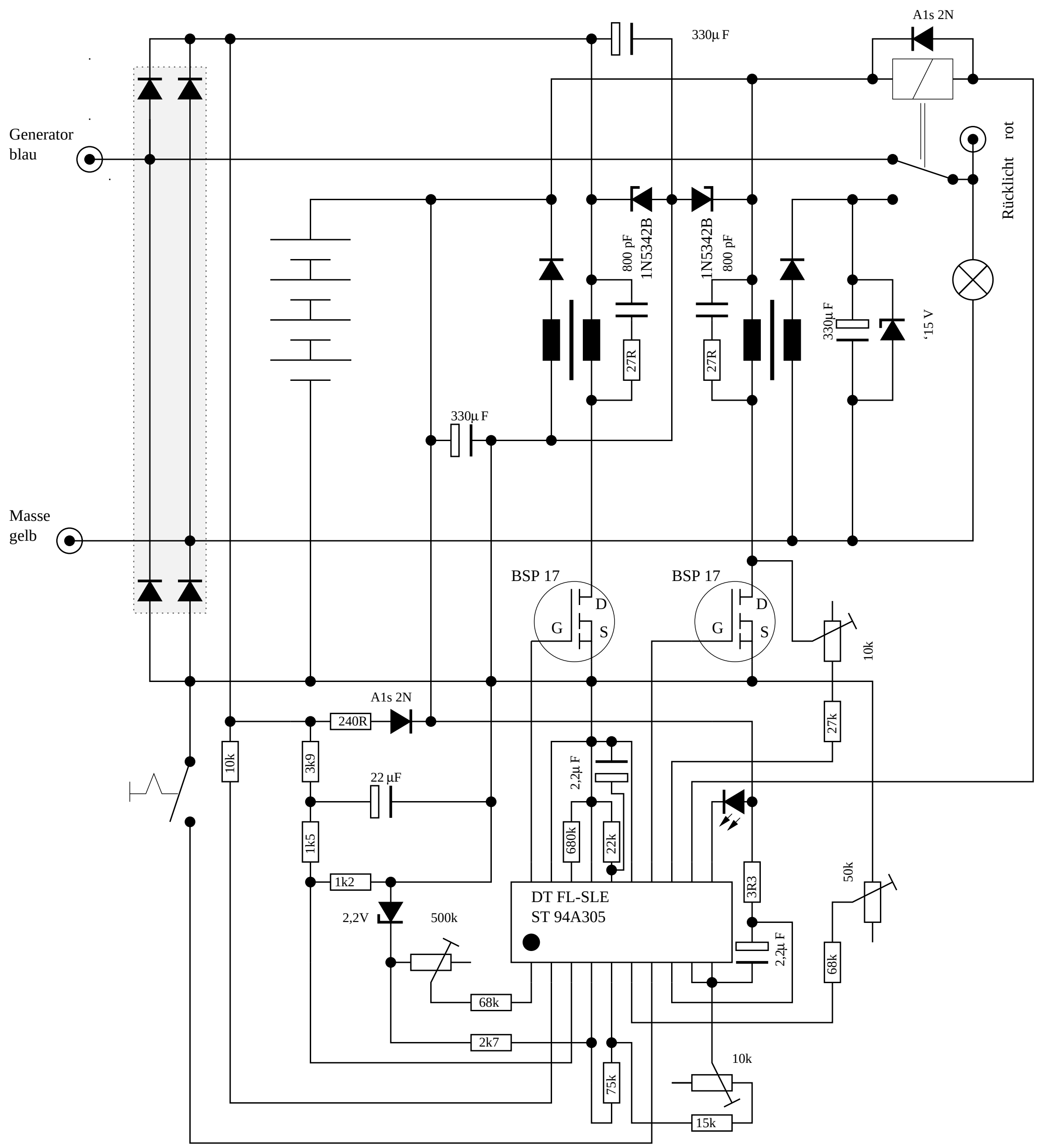


Bild 3.27: Schaltbild des „S'Light-FLE“

Das Schaltbild ist noch nicht bis ins letzte Detail auseinanderklamüsert.

Das Platinenlayout (SLE93-4)[39] ist nach dem derzeitigen Überblick eher noch im α-Stadium denn ein

[39]Das Layout ist anscheinend von 1993.

β- oder sogar eine 1.0-Version. Die Platine ist auf einem stabilen Glasfaserbasismaterial doppelseitig ausgeführt. So sind die Zuleitungen der Schalttransistoren (BSB 17, N-Kanal MOS-FET mit $I_D = 2{,}9$ A, $R = 0{,}1\,\Omega$, $P_V = 1{,}5$ W, $U = 50$ V) eher als Widerstände ausgeführt,[40] überzählige Durchkontaktierungen sind eher die harmlosen Punkte, eine Entflechtung ist kaum ausgeführt.

Das Umschalten von Akku auf Generator findet bei 5,96 V, das Umschalten von Generator auf Akku bei 4,56 V statt.

Der Wandler erzeugt im Standlichtfall eine Gleichspannung von 4 V mit einem Ripple von $U_{SS} \approx 0{,}15$ V.

Der Widerstand inkl. Platine und Originalkabel zwischen Steckverbindungen und Lampensockel wird im Dynamofall mit insgesamt ca. 0,5 Ω gemessen.

3.5.6.2.2 Licht und Mechanik Der Lichtkegel ist mehr ein langgestreckter Fleck. Er könnte sich als idealer Fernlichtscheinwerfer herausstellen.

Der mitgelieferte Halter soll nach Höhrensagen relativ schnell brechen, was bei der weiten Ausladung und dem Gewicht der Einheit aber auch nicht verwundert. Das als Gehäusematerial verwendete unverstärkte Polypropylen (PP) ist halt ein kriechanfälliger Thermoplast.

3.5.7 Elio

3.5.7.1 Elio Nova

Der Elio Nova (~~~K10757) ist schon ca. 8 Jahre alt und nicht mehr im Handel erhältlich. Er war seinerzeits einer der ersten mit eine zusätzlichen Linse direkt vor der Lampe. Die Spannungsbegrenzung funktioniert über zwei 6,8 V-Z-Dioden (antiseriell).

Der Scheinwerfer ist gebraucht. Die Frontfläche weist Kratzer auf, wie auch anders beim Langlieger an vorderster Front zu erwarten. Der Reflektor ist tadellos.

3.5.8 Hella

Hella hat inzwischen mehrere Freiformflächen-Scheinwerfer auf den Markt gebracht. Zuerst kam der FF-Tech, von dem auch eine, bisher nicht erschiene, 12 V-Version erscheinen sollte. Dann war auf der IFMA 2000 der Micro-FF zu sehen, zuerst ein Exklusivprodukt für Hercules?, ab Früjahr 2001 auch so verfügbar.

[40] Oder wurde versucht eine Sternverkabelung der Masseleitungen durchzuführen?

FF-Tech Die Halterung des Hella HL980 FF-Tech (~~~K136) ist ohne große Bastelarbeiten nur für die konventionelle Montage an der Bremsbolzenbohrung im Gabelkopf konstruiert. Der Einstellbereich des Scheinwerfers umfaßt einen Winkel von ca. $\pm 8\,^{\circ}$.

Auch wenn der Adapter zwischen Scheinwerfer und Fahrrad aus glasfaserverstärktem Polyamid (PA) gefertigt ist, er macht keinen dauerhaften Eindruck. Und der Rest des Scheinwerfers (Verriegelung, Elektrik) ist eher für Feinmechaniker denn für Grobmotoriker konstruiert.

Der Scheinwerfer verfügt über eine Standlichtfunktion mit einer hellen gelben LED, die von einem 9 V-Akku betrieben wird; ist für den Hersteller preiswerter als ein Goldcap?

Das Testexemplar kann ein ausgesucht gutes Exemplar sein. Es stammt direkt von Hella.

Stand Anfang 2001: Der HL980 läuft anscheinend langsam aus und wird durch den Micro-FF (siehe gestrippter FF oben) ersetzt.

Micro-FF Nett war auf der 2000er IFMA der exklusiv für Herkules gestrippte FF. Nur noch der kleine Reflektor aber dafür Schutzblechmontage. Vorne auf einem auskragenden Schutzblech an einer Federgabel. . . Ich möchte keine Vorhersagen über die Lampenlebens„dauer“ treffen.

Von einer verfügbaren Version für 12 V-Systeme ist immer noch nichts zu sehen/hören. Der neue hat hat eine andere Zulassungsnummer (~~~K202) und wiegt ohne Halter ca. 38 g. Das Interface zum Halter ist zumindest zu den verzahnten Schellen älterer Cateye-Lichthalter kompatibel aber nicht zu normalen Scheinwerferhaltern. Eigentlich war der Scheinwerfer für die Montage vorne auf dem Schutzblech gedacht. Wohlgemerkt auf Schutzblechen, die an den ungefederten Teilen von Federgabeln befestigt sind. So zumindest auf der IFMA2000 zu sehen! Von einer Lampen„haltbarkeit“möchte ich da gar nicht erst anfangen zu reden. Schade, daß Glühfäden sich nicht an Designern rächen können:=)

Die Ausnutzung des Lichtstromes der Glühlampe ist bedeutend verbesserbar (vgl. Tabelle 3.57).

Die Überspannungsabsicherung wird über eine SA6.5CA, die bei ca. 7,5 V niederohmig wird, gewährleistet. Diese Spannung ist, verglichen mit anderen Scheinwerfern, ziemlich niedrig. Einige Versionen haben eine BZW04 7V8B eingebaut.[41]

Der Strahl ist im vertikalen Schnitt sehr eng gebündelt. Dies führt zwar zu einer hohen Beleuchtungsstärke in HV, L1/R1 und 2, zieht aber eine mangelhafte Ausleuchtung in 3 und L4/R4 nach sich. Dieser Scheinwerfer wurde anscheined gezielt auf die Kriterien der TA 23 hin ausgelegt. Bei mehreren, wahllos gegriffenen, Lampen, HS3 wie HPR64, zeigt sich folgendes Bild: Ein heller Streifen im Bereich L1–R1 und eine dunklerer im Bereich L4/R4, getrennt von einer „dunklen“ Zone. Besonders bei HS3-Lampen ist eine fleckige Ausleuchtung beobachtbar. Dieser Scheinwerfer reagiert sehr empfindlich auf Abweichungen von den Solldaten.

Als Fazit könnte gelten: Guter Fernlichtscheinwerfer und die beste Ausrede, nachts keine Radwege zu benutzen, da die Radwegschilder nicht vom zugelassenen Scheinwerfer angeleuchtet werden.

[41] Die Standard-Begrenzungsdiode, die auch in vielen anderen Halogen-Scheinwerfern zu finden ist.

3.5.9 JOS

3.5.9.1 JOS EP95

Der EP 95 von JOS (~~~K20621) wird beim ELS-100 mitgeliefert. Der Rückstrahler ist seitlich an den Rändern angeordnet und wird von der Lampe durchstrahlt. Dadurch sind auch bei dieser Konstruktion die sechs charakteristischen Streupunkte vorhanden. Die Sprenkel durch den Frontrückstrahler weisen 0,4 lx auf.

3.5.9.2 UNION 70

3.5.9.3 UNION 100

3.5.9.4 UNION 100 Halogen

Zulassungsnummer ~~~K10725. Vernietetes Lampengehäuse, Stiftsockel-Halogenlampe. Kunststoffreflektor (einige meinten, daß der Reflektor Metall sei, hier ist es nicht der Fall. vielleicht fehlt bei den Exemplaren einfach nur der verspiegelte Kunststoffreflektor und der galvansiierte, paraboähnliche Innenteil des Gehäuses erzeugt ein „jämmerliches“Bild. Wohl ein Vorläufer des U100 H. Nur seitlich streuende Optik.

3.5.9.5 UNION Ellipsoid

Der UNION Ellipsoid (~~~K 10774) zeichnet sich, ebenso wie der ältere Elio Nova, durch eine seperate Linse aus. Auch dieser Scheinwerfer ist nur noch in einzelnen Stückzahlen in Grabbelkisten verfügbar.

Eingebaute Begrenzerdiode: BZW04 6V4B. Also ziemlich niedrig/relativ früh begrenzend.

3.5.9.6 UNION U70/10W

Der Autor hat vor ca. 8 Jahren in einem alten UNION U70 mal einen OSRAM 10° Halogenspot 6 V/10 W mit max. 2000 cd (Halostar 48, Best.-Nr. 41960SP) mit Alureflektor eingebaut und ist dann mit Akkupack nach dem Lernen mitternachts durch den Wald geheizt. Der Zustand des Glühfadens ist unklar, da hinter der Griff-/ Blendschutzkappe versteckt.

Die Spiegel älterer U100 sind angeblich aus Metall und damit ziemlich temperaturunempfindlich aber dafür umso korrosionsanfälliger. Aufpassen, daß die Frontscheibe heil bleibt, dann scheinen die was zu taugen (aber nicht bei Nebel). Fraglich ist, ob bei diesen „Metallreflektoren“ nicht einfach nur der eigentlich eingelegte Parabolreflektor aus Kunststoff fehlte. Bei korrekt justierte Lampe ist ein scharfer aber dunkler Brennpunkt möglich.

3.5.10 Radsonne

Der Scheinwerfer von Radsonne (~~~K10684), mit integriertem Tachometer und Kilometerzähler, ist ziemlich alt. Er wird als Vergleichsexemplar dienen. Die Frontscheibe ist gelblich, aber noch klar. Er würde nicht der schlechteste Scheinwerfer im aktuellen Alltag sein: Noch fahren einige Fahrräder mit inzwischen milchiger Streuscheibe durch die Landschaft.

Die Lampe ist eine B1.

3.5.11 Sigma

3.5.11.1 Sigma FL100

Nach Anwenderberichten scheint sich die ratschenähnliche Befestigung bei stärkeren Stößen, z.B. Bahnübergänge oder im Gelände, selbsttätig zu lösen. Auch seien sowohl Birnchenhalter„brille“ und die Verschraubungsplastik bruchgefährdet.

3.5.11.2 Sigma Optaflux

Der Nachfolger des FL100 ist der Optaflux ~~~K 150. Gegenüber dem FL100 hat er einen Freiformflächenreflektor und eine unstrukturierte Frontscheibe. Einige Anwenderberichte bevorzugen den FL100, andere den Optaflux.

Der Optaflux wird mit 5 NiMH oder NiCd-Zellen betrieben. Der Akkuwechsel ist werkzeuglos möglich. Ein kombinierter Dynamobetrieb, wie in einigen Versionen des FL100 scheint nicht mehr vorgesehen zu sein.

3.5.11.3 Sigma Cubelight FL401

Der Nachfolger des Sigma Ellipsiod ist das Cubelight hat die Zulassung ~~~K354. Es wird mit fünf Akkus betrieben.

Erste Tests ergeben ein chaotisches Fleckenmuster, daß am Meßraster orientiert ist. Die Lenkerklemmung[42] verursachte bei einem Bekannten bereits bei der ersten Fahrt einen Absturz. Es ist eine Ladebuchse für 3,5er . Werkzeugloser Zugang zu den 5 NiCd (!) Akkus.“

Die mitgelieferten Akkus sind relativ schnell ausgelaufen. Anscheinend ist kein richtiger Ausschalter vorhanden, der die Akkus vor Tiefentladung schützt.

Positive Anmerkungen sind zur Bajonettverriegelung des Birnchenhalters,[43] Zugänglichkeit der Akkus und des durchdachten Spritzwasserschutzes[44] zu tätigen.

[42] Fast Rohre mit 21-30 mm Durchmesser.

[43] Im Gegensatz zu den sonst üblichen mehr oder minder Klemmhaltern muß hier bewußt hantiert werden.

[44] Wasserschutz wurde nicht untersucht

Das Nettogewicht liegt bei ca. 135 g

3.5.11.4 Sigma FL500 (Mirage)

Ein Sigma FL500 (Mirage) , zugelassene (~~~K182) Akkubeleuchtung mit HS4-Lampe, wurde auf der IFMA 2000 gesehen und testgeleuchtet. Auf dem kurzen Abstand, den ein A4-Blatt erlaubt, ergibt sich eine bescheidene Ausleuchtung, sehr fleckig. Mechanisch macht die Lampe einen stabilen und durchdachten Eindruck. Die Lampe ist gut gedichtet und einfach zu Montieren (Schnappverbindung auf Lenkerrohren). Nach einigen Birnchenwechselvorgängen soll der Lampenhalter nicht mehr fest sitzen: Verliergefahr.

Eine aktuelle Version (Herbst 2001) (~~~K 182) ergibt mit der eigentlich zugedachten HS4 (HPR78 6 V/5 W, ~~~K 180) ein sehr fleckige Ausleuchtung. Bei Verwendung einer HS4 (HPR74 12 V/5 W) wird die Fleckigkeit etwas gemildert. Hier macht sich das größere Wendelvolumen der 12 V-Version positiv bemerkbar, die Wendelabbilder werden überlagert und verschmieren dadurch. Aber es bleibt eine sehr fleckige Ausleuchtung, mit dem aufa 12 V vergleichbar, übrig. Der Einsatz von HS3-Lampen (Transversalwendel) führt zu total indiskutablen Ausleuchtungen in Form eines M.

3.5.12 Spanninga

3.5.12.1 Spanninga Ekolight *TheBird*

Das *The Bird* von Ekolight wird nach der Übernahme der Entwicklerfirma durch Spanninga produziert. Die Optik ist ein Freiformflächenreflektor mit einer interessanten Ausleuchtchakrakteristik. Die Optik reagiert, wie andere Freiformflächenreflektoren, relativ empfindlich auf ungenau postionierte Lampen. Liefert aber insgesamt eine gute Ausleuchtung.

Ein Alltagstest der Elektronik am SOM ist für den Winter 2002 geplant.

Die deutsche Zulassung erfolgte im Herbst 2002. Zur IFMA 2002 war sie durchgeführt.

Für Liegeradfahrer leider eher ungeeignet, das das Einschalten bei Nabendynamos leider eines Tastendruckes am Scheinwerfer bedarf.

3.5.12.2 Spanninga Radius

Die Optik stammt vom *The Bird*. Es gibt ihn in einer normalen Version. Eine Automatikversion sowie eine mit Schalter für Nabendynamos kommen Ende 2002 auf den Markt. Einer deutschen Zulassung dürfte mit der Zulassung des *The Bird* nicht's mehr im Wege stehen. In den Niederlanden wird er schon häufiger verbaut und auf der IFMA 2002 war am Stande des taiwanesischen Naben und -dynamoherstelle Joytech zu bewundern.

Wie der *The Bird* ist die Montage nur an der Gabelbrücke/Gabekopf vorgesehen. Die Leuchtweiteneinstellung erfolgt gegenüber dem *The Bird* werkzeuglos.

3.5.13 Soubitez

3.5.13.1 ARK-PPV034

Modell ARK-PPV034 (~~~K10776). Eine dieser unglücklichen Konstruktionen mit dem Rückstrahler im direkten Strahlengang der Lampe, welches auch 6 helle Streupunkte verursacht. Auf der IFMA 1998 hat der Autor dieses Problem bei Büchel angesprochen. Die waren fest der Meinung, daß dieses Verhalten im europäischen Ausland gewünscht werde. Die Sprenkel durch den Frontrückstrahler weisen in 10 m Entfernung immerhin 0,2 lx auf.

3.5.14 Union/MARWI

3.5.14.1 UNION 9430

Der 9430 (~~~K20630) hat beim Autor nach jeweils einem Jahr eine pockige Spiegelschicht und Kondenswasser zum Ausgießen im Lampenraum. Wohlbemerkt: An dem entsprechenden Rad ist noch ein Lumotec montiert, der die Probleme nicht aufweist. Aus diesem Grund hat der 9430 von mir den Titel „Kleinfischaufzuchbecken" verliehen bekommen.

Die Begrenzung wird über einer geklemmte BZW04 6 V Supressordiode vorgenommen. Elektrisch ist diese nicht sicher kontaktiert. Besonders an der Massefahne aus Niro kann man nicht löten. Eine Unsitte, die der Autor derzeit nur bei UNION (und neuerdings bei AXA) vorgefunden hat!

3.5.14.2 UNION 9630 (TOP-LUX)

Der 9630 wird mit 20 lx beworben (Meßergebnisse siehe im Text). Der Lichtaustritt hat einen relativ großen Durchmesser von 50 mm. Der TOP-LUX ist ähnlich wie der 9430 und der Lumotec mit einem Reflektorkranz versehen. Als interessantes Detail sei die Einstellbarkeit der Neigung über eine Rändelschraube (wirkt auf einen Gewindetrieb) erwähnt.

Die Optik des BASTA Galaxy (oder Horizont ?) ist mit der des TOP-LUX nahezu baugleich.

3.5.15 Fazit Glühlampen-Scheinwerfer

3.5.15.1 Beleuchtungsstärkeverteilung

Die Messung der Beleuchtungsstärkeverteilung nach TA 23 erfordert u.a. einem 10 m langen Raum mit einer freien Wandfläche von 2,8 m Breite und fast 2 m Höhe. Von der seitlichen Raumgeometrie-/ausstattung sagt die TA 23 nichts! Wenn man jetzt einen Spiegelkanal nähme. . . Soviel zum Thema Vorschriften.

Tabelle 3.18: Beleuchtungsstärken [lx] in 10 m Abstand von gängigen Scheinwerfern

Scheinwerfer	Lampe	$P(U_{\mathrm{Nenn}})$	Zone1	HV	L1/R1	2	3	L4/R4	L5/R5
Sollwerte	HS3	2,4	≤ 2	≥ 10	$\geq$HV/2	$\geq$HV/2	$\geq 1{,}5$	≥ 1	-
TA23	HS4	5,0	≤ 2	≥ 20	$\geq$HV/2	$\geq$HV/2	$\geq 2{,}5$	≥ 2	≥ 2
Soubitez	B1	2,22	0,3	4,2	2,8/2,3	1,6	0,15	0,13/0,14	0,06/0,07
UNION9430	HS3	2,34	0,7	11,3	4,1/7,4	9,1	2,5	0,3/1,4	0,2/0,2
UNION9430	HS4	5,33	4,4	31,0	13,1/25,2	25,7	13,4	3,8/7,2	0,6/1,32
UNIONTopLux	HS3	2,54	0,6	10,2	2,7/5,7	8,6	3,0	0,7/2,8	0,2/0,5
UNIONTopLux	HPR64	2,86	0,7	17,0	7,8/6,6	13,4	6,9	1,8/1,7	0,33/0,27
UNIONTopLux	HS4	5,33	8,8	34,0	9,9/18,6	29,0	14,2	5,7/6,9	2,1/1,9
EP95	HS3	2,40	0,7	7,4	1,6/2,4	4,0	2,0	1,1/0,9	0,24/0,26
Lumotec	HS3	2,38	0,7	13,3	4,3/3,7	6,98	2,02	0,7/1,6	0,21/0,31
Lumotec	HPR64	2,86	0,9	25,8	9,1/6,4	6,3	1,7	1,0/0,9	0,3/0,4
Lumotec	HS4	5,33	6,7	28,6	10/15	21,0	11,0	5,3/9,7	1,3/1,4
S'Light-FLE	HS3	2,35	0,9	16,7	4,5/5,3	9,2	5,5	2,3/2,8	0,2/0,3
S'Light-FLE	HS4	5,33	4,5	40,9	16,9/9,1	28,3	15,6	8,5/6,5	0,8/0,6
FER 3250	HS3	2,34	1,9	20,0	0,7/4,3	10,0	6,8	0,4/4,5	0,2/0,5
FER 3250	HS4	5,33	4,3	37,0	9,3/16,5	26,8	15,7	4,5/9,6	0,8/1,8
FF-Tech	HS3	2,34	0,6	11,8	5,5/5	8,4	5,9	5,6/3,5	0,3/0,2
FF-Tech	HS4	5,33	8,8	35,4	20/19,8	25,9	10,0	4,5/5,0	0,8/0,9
Micro-FF	HS3	2,44	0,3	16,2	7,9/8,6	7,3	0,4	0,4/0,4	0,1/0,1
Micro-FF	HS4								
Cat. 1500G	4,8 V	2,56	0,5	11,4	8,0/6,8	3,0	0,7	0,5/0,6	0,17/0,17
Cat. HL500G	4,8 V	2,48	0,3	10,4	3,7/4,0	5,7	0,9	0,5/0,7	0,24/0,26
Sigma FL100	HS3	2,34	0,6	7,5	3,3/3,0	7,0	4,6	4,3/2,6	0,9/0,5
Sigma FL500	HPR78	5,25	1,5	21,9	7,3/6,7	14,9	4,2	6,1/7,0	7,4/7,0
Sigma FL500	HPR74	5,14	2,7	19,3	8,7/11,3	14,9	7,0	7,3/5,6	3,9/2,3
U70/10W		10,06	5,3	16,7	12,1/11,6	14,5	5,76	4,7/4,6	1,0/1,2
Häckel Karbid	7,5 l.	-		0,42	0,25/0,4	0,34	0,34		0,11/0,11

Diese Meßwerte alleine sind nicht aussagekräftig genug. So sind inzwischen Scheinwerfer auf dem Markt, die anscheinend speziell für die Meßvorschriften nach TA 23 konstruiert sind und den Raum L1/R1-L4/R4 in Form eines Doppel-T ausleuchten, den Rest aber im Dunkeln lassen.

Die 20 lx des FER 3250 mit der HS3-Lampe trügen. Die Beleuchtungsstärke ist nahezu doppelsichelförmig verteilt, wie zwei sich überlappende Klammern (). In der Mitte und an den Rändern ist es sehr schnell dunkel. Ebenso reagiert der TopLux auf die HPR64 mit einem hellen Fleck im Bereich der Meßstrecke zwischen 2 und 3.

Die HPR64 wird hier, nicht zulassungsgemäß, verwendet, da bei leistungsstarken Dynamos und Diodenrücklichtern oder sogar nicht mit dem Dynamo betriebenen Rücklichtern die gesamte Generatorleistung von dem vorderen Scheinwerfer umgesetzt werden muß. Entweder in den dann schon teilweise überlasteten Supressordioden oder in der Lampe. Hier kann ein 6 V/3 W-Lampe verwendet werden, wie die HPR64 (auch unter HMP29 gelistet) von Philips. Dies ist eigentlich eine Taschenleuchtenlampe und diese müssen nicht so enge Toleranzen für die Glühfadenlage erfüllen wie die HS3-Lampen. Das kann zu stark streuenden Ergebnissen führen. Augenscheinlich ist besonders eine schiefe Fadenlage relativ häufig vertreten.

Das die Verteilung der Beleuchtungsstärke beim S'Light-FLE große Unterschiede zwischen der HS3 und der HS4-Lampe aufweist kann alleine schon mit der Leuchtfadenposition erklärt werden: Bei der HS3 ist es mit einer Transversalwendel eine andere als bei der HS4 mit einer Axialwendel.

Folgend mal der Versuch eines Ansatzes für die optische Güte der Scheinwerfer. Die Annahme sei, daß der gesamte Lichtstrom Φ der Lampe im Meßfeld (A) gebündelt wird und gleichmäßig verteilt wäre. Das Meßfeld weist nach TA 23 einen Winkel von $8\times(5{+}3)$ Grad auf. In 10 m Abstand nimmt die Meßfläche A=1,4 m$\times$1,4 m=1,96 m^2 ein. Der Raumwinkel Ω beträgt

$$\Omega = \frac{A}{r^2} = \frac{1{,}96\,\mathrm{m}^2}{10^2\,\mathrm{m}^2} = 0{,}0196 \tag{3.55}$$

Die mittlere Leuchtdichte $\bar{E}$ in 10 m Abstand müßte dann

$$\bar{E} = \Omega^{-1}\left(\frac{1\,\mathrm{m}}{10\,\mathrm{m}}\right)^2 \Phi = 0{,}51\Phi \tag{3.56}$$

groß sein. Für eine HS3-Lampe mit $\Phi = 36\,\mathrm{lm}$ ergäbe sich damit ein $\bar{E}$ von 18,36 lx.

Ein Vergleich der Meßwerte aus Tabelle 3.18 und dem theoretischen Wert aus Gleichung (3.56) deutet auf hohe Verluste hin. Diese sind u.a. durch Reflexions- und Transmissionsverluste im Scheinwerfer als auch durch Streuverluste zu erklären. Die Streuverluste sind teilweise gewollt, damit der Radfahrer nachts im Wald auch noch etwas von der Umgebung sehen kann. In der Stadt mit einem recht hohen Anteil an Umgebungslicht und eher schlechten Kontrasten ist das Streulicht eher nachteilig, der Radfahrer wird von seinem eigenen Licht auf der Fahrbahn eher wenig sehen, es dient dann nur als Hilfe zum „gesehen werden“.

Die Ausleuchtung der aktuellen Scheinwerfer mit kleinem Öffnungsdurchmesser/kurzer Brennweite reagiert empfindlich auf Tolerenzen von Lampe- und Reflektor. So können z.B. trotz einer Lage der Wendel innerhalb der Normbox zulässigen Blendwerte in Zone 1 überschritten werden. Hier sind die alten Scheinwerfer (Nova, FL etc.) gutmütiger. Noch „schrecklicher“ sind viele aktuelle (Stand 2001/2002) Freiformflächenreflektoren. So zeichnen sich die Sigma-Mirage, der Sigma-Optaflux und der aufa 12 V durch eine fleckige Ausleuchtung, d.h. die Wendel wird gut auf der Straße abgebildet, aus. Dahingegen schaffen der Micro-FF und TheBird eine homogene Ausleuchtung, reagieren aber empfindlich auf eine Dejustierung der Lampe. Hier wird die Zukunft zeigen, ob eine Beherrschung von Auslegungsprogramm und Fertigungstoleranzen zu guten und reproduzierbaren Ergebnissen führen.

3.6 Gasentladungslampen

3.6.1 Niederdruckgasentladungslampen

Niederdruckgasentladungslampen (ugs. Leuchtstofflampen) weisen eine deutliche höhere Lichtausbeute (lm/W) als Glühlampen auf (vgl. Tabelle 3.5 auf Seite 162). Das Problem wird ein effektiver, akzeptabler Reflektor sein. Der Betriebsdruck liegt bei ca. 0,1. . . 10 mbar.

Laut Andreas Oehler reicht am SON ein 220/10 V-Trafo und eine 4 W-Röhre (150 mm lang), um Licht ab 15 km/h zu erzeugen. Ab 15 km/h wird die notwendige Zündspannung erreicht, aber darunter sollte die Röhre weiterbrennen. Es wird keine zusätzliche Elektronik benötigt.

Erste Experimente des Autors mit einem 220/9 V-Trafo (ca. 5 VA) ergeben, daß 12 V am Eingang 220 V am Ausgang erzeugen, welche zum Zünden nicht ausreicht. Hat man aber mit 24 V am Eingang gezündet, so brennt die Lampe auch mit 12 V am Eingang weiter und zündet auch nach kurzen Ausschaltzeiten an 12 V wieder.

Bei der 4 W-Version von OSRAM wird eine Zündspannung irgendwo zwischen 220 und 440 V benötigt. Als Brennspannung reichen dann 35 V. Der Brennstrom liegt bei 54–110 mA. Man nimmt Einfachheitshalber zwei Trafos: Einen kleinen zum Zünden und einen besseren zum Brennen. Letzteren mit einem Übersetzungsverhältnis von ca. 1:4? Die Trafos würden sekundär und primärseitig umgeschaltet.

3.6.1.1 Leuchtstofflampen an Niederspannung

Da Leuchtstofflampen eine relativ hohe Betriebsspannung und eine noch höhere Zündspannung brauchen ist eine entsprechende Ansteuerung notwendig.

Von OSRAM gibt es inzwischen sogar eine Taschenlampe mit einer 7 W DULUX, die mit zwei Mignonbatterien betrieben wird und die Größe einer Zigarettenschachtel aufweist.

Die 12 V-Lampe von Conrad mit zwei 4 W Röhren benötigt die in der Tabelle 3.19 angegebenen Stromaufnahmen (Gleichspannungsbetrieb).

Tabelle 3.19: Stromaufnahme 2x4 W-Leuchtstofflampe [A]

Spannung [V]	eine Röhre	zwei Röhren
8	0,2	0,21
10	0,18	0,22
12	0,25	0,23
14	0,34	0,26
16	0,38	0,28

Die einzelnen Röhren werden je nach Schaltstellung und Röhre mit einer Spannung von $U_{SS} \approx 126 - 160$ V und eine Frequenz von ca. 36–63 kHz betrieben.

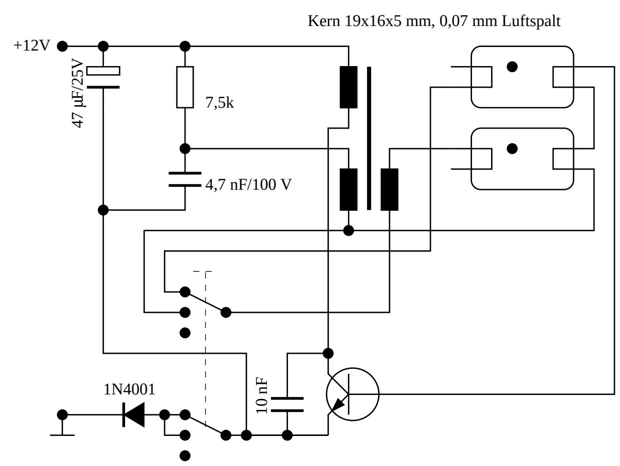


Bild 3.28: Wandler für Leuchtstoffröhren an 12 V

Der Trafo (Ferritkern) ist derzeit noch nicht bestimmt. Der Transistor trägt keine verwertbare Kennzeichnung (D313) und hat ein TO 220-Gehäuse. Das Schaltbild ist von der existierenden Schaltung abgelesen und sollte richtig sein.

3.6.1.2 Kennwerte von Leuchtstofflampen

Die Kennwerte sind i.d.R von OSRAM [OsQuick].

Der Einfluß der Betriebsfrequenz ist im unteren Bereich eher klein. Nimmt man Φ@50 Hz $= 100\,\%$ an, so liegen Φ@100 Hz $= 100{,}8\,\%$, Φ@1 kHz $= 102{,}5\,\%$, Φ@10 kHz $= 107\,\%$ und Φ@50 kHz $= 108\,\%$. Ohne Vorschaltgerät lohnt sich die Frequenzbetrachtung nicht. Mit einem Fahrraddynamo alleine kommt man bestenfalls auf 1 kHz.

Der Einfluß der Lampenumgebungstemperatur ist eher groß. Nimmt man Φ@20 °C$=$ 100 % an, so liegen Φ@10 °C$\approx$ 90 %, Φ@0 °C$=$ 80 % und Φ@60 °C$=$ 80 %.

3.6.1.3 Reflektor

Abbildungstheoretisch wird das Teil riesig. Praktisch?

3.6.2 Hochdruckgasentladungslampen

Hochdruckgasentladungslampen werden bei einem Druck von 0,1...30 bar betreiben. Sie haben häufig bedeutend höheren Energiedichten und Wirkungsgrade als Niederdruckgasentladungslampen. Bei einem Betriebsdruck von mehr als 30 bar spricht man von Höchstdrucklampen. Die 10 W-Sōlarc ist eine Höchstdruck-Gasentladungslampe. Zur Abschätzung des Betriebsdruckes mag aus [OSHM] entnehmbare Zusammenhang von

$$p[\mathrm{bar}] = 2{,}2\frac{U[\mathrm{V}]}{d[\mathrm{mm}]} - 4 \tag{3.57}$$

mit dem Elektrodenabstand d und der Brennspannung U dienen.

Eine gutes Grundlagenbuch zu elektrischen Gasentladungslampen ist z.B. [Uy38].

3.6.2.1 Metalldampflampen

Ein Spitzenreiter in der Kategorie Lichtausbeute sind Natriumdampf-Hochdrucklampen mit bis zu 140 lm/W (600 W). Leistungen unter 50 W sind anscheinend nicht verfügbar.

Natriumniederdrucklampen erreichen bis zu 180 lm/W (180 W), allerdings monochromatisch orange, mit langen Entladungswegen. Sie sind hier also nicht praktikabel.

3.6.2.2 Metalldampf-Halogenlampen

Typische Vertreter der Metalldampf-Halogenlampen (HME bzw. engl. *HMI*) sind z.B. die „Xenon“-Lampen in Kfz’s, im SL3 etc.[45] Das Xenon sorgt nur in den ersten Sekunden nach dem Zünden für die Lichtabgabe. Danach übernehmen Metalldampf-Halogen-Verbindungen die Lichterzeugung. Zuerst sollen nur einige Systemvor- und nachteile aufgeführt werden.

- Nachteile:
  - Mindestleistung (Brenner) von derzeit 10 W (Welch Allyn Sōlarc[46]). U.a. bedingt durch die hohen Geschwindigkeitsanforderungen an den Regler, der das Verhalten einer winzigen Metallmasse kontrollieren muß.
  - Vorschaltelektronik mit Verlusten (je nach Angabe ca. 73–85 % Wirkungsgrad) und gut geregelter Spannung.

[45]Nicht zu verwechseln mit den Xenon gefüllten Halogenglühlampen.
[46]Sōlarc ist ein Handelszeichen von Welch Allyn

– Preis von notwendigem Vorschaltgerät und Lampe (im fünfer-Entwicklerpack) von ca. 290 DM/Lampe. Da ist noch kein Gehäuse, Energiepufferung etc. mit enthalten. OSRAM hat angeblich 35 W-HMI-Enticklerkits für 250 $.

– Verfügbarkeit: Das SL3 ist in Deutschland trotz renitenten Nachbohrens (selbst nur zum Test) für mich nicht erhältlich. Die 10 W-Sōlarc ist in Deutschland entweder nur im Entwicklungspack (fünf Stück) oder Losgrößen von 100 (oder 1000) erhältlich.

– Aufwärmzeit von teilweise mehr als 200 Sekunden.

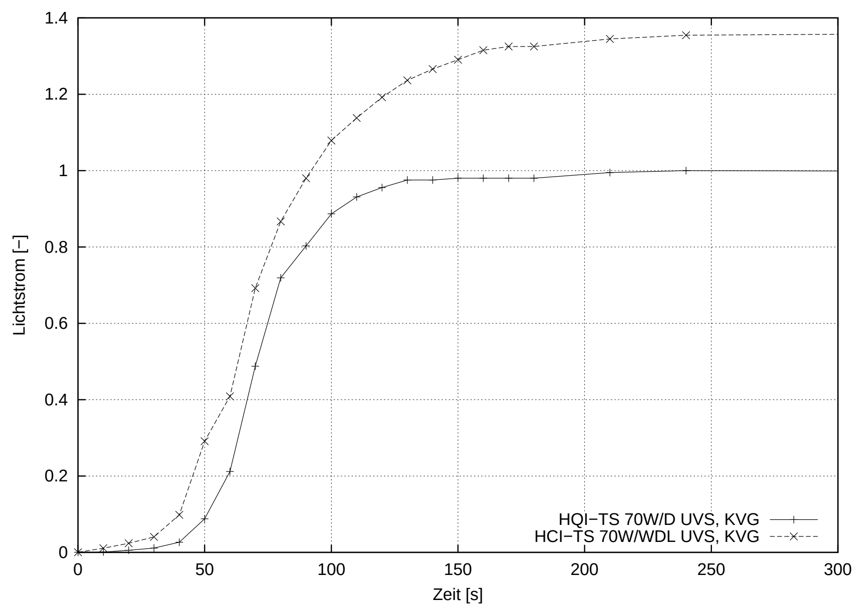


Bild 3.29: Startverhalten und Lichtstrom von 70 W-HME-Brennern (im Verhältnis zum HQI-TS 70W/D UVS am KVG)

– Bedingte Warmzündbarkeit.

– Kein kontinuierliches Spektrum (vgl. Bild 3.30). Dies führt aber im Gegenzug zu einer hohen Lichtausbeute).

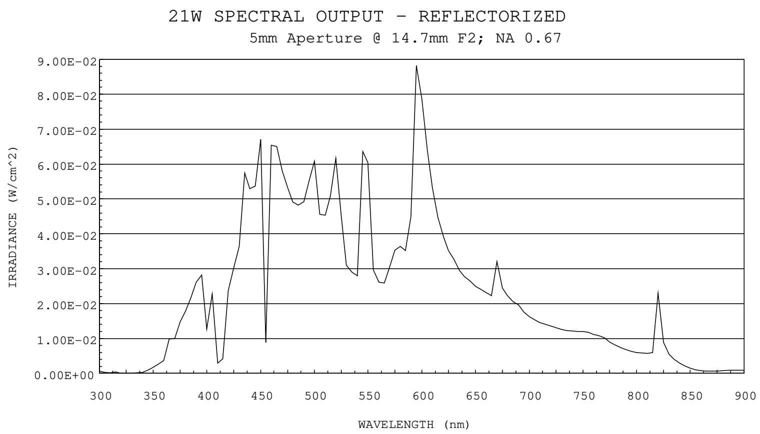


Bild 3.30: Spektrale Abstrahlung der 21 W M-Serie Sōlarc (Quelle: Welch Allyn)

- Vorteile
  - Erhöhte Lichtausbeute von bis zu 45 lm/W (Herstellerangabe 10 W Sōlarc).
  - Farbtemperatur mit 6000 K tagslichtähnlicher als die von Halogenglühlampen.
  - Lebensdauer von ca. 1000 h (1 h an, 0,25 h aus).
  - Relativ geringe Alterung: Helligkeit ca. 85 % nach 350 h, 75 % nach 700 und 70 % nach 1000 h.
  - Eine Bogenlänge von ca. 1,2 mm erlaubt kleine effektive Reflektoren. Wobei die Leuchtdichte des Bogens eher eine asymmetrische Hantelform aufweist. Allerdings wird durch die allmähliche Verglasung des Quarzglases mehr Streulicht entstehen. Der effektive Abstrahlbereich wächst damit auf den Durchmesser des Quarzkolbens von ca. 2,5 mm, zumindest was die „Verschmutzung"der Zone 1 angeht.

Die Zukunft wird zeigen, ob sich hier eine Lösung am Fahrrad etablieren kann. Wunder sind auch mit diesen Lichtleistungen nicht zu erwarten, dafür ist eine Autofahrt mit 2x55 W Halogenglühlampen-Licht bei nassen Fahrbahnen schon zu ernüchternd. Aber besser als die derzeitig verordnete „Verdunkelung" wird es auf alle Fälle werden. Für „normale" Radfahrer (Typ Oma mit 10 km/h) wird dies weder vom Energiebedarf noch vom finanziellen[47] Standpunkt eine Alternative sein. Ernsthafte, schnelle Alltagsradler, die auch bei Nässe mit >35 km/h unterwegs sind, werden solch eine Lichtquelle sicherlich mögen und wohl auch das Geld dafür ausgeben.

Für den Wechselspanungsbetrieb werden ungeregelte konventionelle Vorschalt-Geräte (KVG) mit seperaten Drosseln/ Zündgeräten und geregelte elektronische Vorschalt-Geräte (EVG) verwendet. Für den Gleichspannungsbetrieb werden nur EVG verwendet, wobei die geregelten (z.B. Automobilbranche) bedeutend sinnvoller sind als das ungeregelte von WA. An geregelten EVGs kann auch der Brenner schneller auf Betriebstemperatur gefahren werden (vgl. Bild 3.29).

[47]Wenn die Beleuchtungsanlage mehr kostet als ein Fahrrad aus dem Baumarkt.

3.7 Messungen an Gasentladungs-Scheinwerfern

Achtung, das aktuellste Unterkapitel kommt hier zuerst, das grundlegende, mit dem die Gasentladung hier einzog ist das über die Sōlarc.

3.7.1 bumm Big Bang

Von Busch und Müller (bumm) gab es auf der ifma 2006 den Big Bang in ersten Stückzahlen zu sehen. Anfang 2007 wird er dann in Stückzahlen produziert.

Der Big Bang hat eine Zulassung in Deutschland (~~~K528). Der Scheinwerfer selber wiegt 243 g (ohne Lenkerhalter). Dazu kommen ca. 410 g für den Akkupack. Wenn man die Ausleuchtung für Querfeldeinfahrten schwammiger haben möchte, so kann man eine 14 g leichte Streuscheibe montieren. Ausleuchtungsbilder sind seit Mitte Juni 2007 beim Goniometer auf www.enhydralutris.de zu sehen.

Hinter einen vergüteten Glasscheibe sitzt ein segementierter Freiformflächenreflektor. Als Lampe wird der 10 W Solarc-Brenner von WA verwendet.

Die Steckverbindungen sind verpolungs- und kurzschluß-sicher, gedichtet und dürften auch mit Handschuhen bediendbar sein.

Die Bedienung macht einen durchdachten Eindruck. Das Startverhalten ist gut und schnell. Auf alle Fälle schneller als mit der Original-Elektronik von WA. Im Gehäuse ist eine Restlaufzeitanzeige über eine LED-Balkenanzeige realisiert.

Da der Scheinwerfer nur kurzzeitig zur Verfügung stand kann ich keine Langzeitaussagen treffen. Aber bei dem Service, den man eh schon von bumm gewöhnt ist und dem langen durchdachten Entwicklungsprozeß sollte es keine Probleme geben.

Einziger Kritikpunkt einiger Fahrer: Bei Nickbewegungen des Fahrrades stört die starke schwankende Helligkeit des Lichtkegels auf der Straße. Gut, die Augen gewöhnen sich an die sehr helle Straßenausleuchtung, der Abstand Scheinwerferausleuchtung-Umgebungsbeleuchtung ist halt deutlich größer als bei gewohnten Fahrradscheinwerfern.

Ein eigener Fahrversuch ergibt, daß der Lichtkegel von Straßenlampen kaum mehr wahrnehmbar ist, zwei Touchdown-Scheinwerfer nur noch im Nahfeld wahrnehmbar sind und offroad auf schmalen Waldwegen oder ungewohnten Abfahrten mit Streuscheibe die Nacht zum Tag wird. Big Bang mit Streuscheibe, weit leuchtend eingestellt und man hat ca. 100 m Waldweg (oder mehr?) gut ausgeleuchtet.

Gerechnet ist der Big Bang für eine Anbringungshöhe von 1 m. Das vermessene Exemplar hat die 4,4 lx-Linie 2,2–2,4 Grad über HV. Damit wäre bei einer Ausrichtung auf 25 m die Blendgrenze für Kfz-Scheinwerfer erfüllt.

3.7.2 Cateye Stadium Light

Stand August 1999: Es sind keine oder nur noch in geringem Umfang Ersatzteile für das *Stadium Light* (SL1) verfügbar.

Der Nachfolger des *Stadium Light*, das *Stadium Light 3*[48] (SL3) HL-MH310 soll im September 1999 herauskommen. Die Technologie soll wie beim ersten Modell von Welch Allyn (WA) www.walamp.com kommen. Aktualisiert: Markteinführung in den USA soll im Jan. 2K sein.

Tabelle 3.20: Gegenüberstellung Herstellerangaben SL*n*

Version	SL1	SL3
Systemgewicht [kg]	1,24	1,5
Lampenleistung [W]	21	21
Lumen	1300	
Akku	NiCd	NiMH
Kapazität [Ah]	2,2	4,5
Spannung [V]	12	12
Ladedauer [h]	8	3
Betriebsdauer	1,5	3
Ladetemp. [°C]		0 . . . 40
Betriebstemp. [°C]		−15 . . . 45

Die von Cateye verfügbaren Herstellerangaben bzgl. Leistung, Akkukapazität und Brenndauer widersprechen sich erheblich ($3\,h \cdot 21\,W = 63\,Wh > 54\,Wh = 12\,V \cdot 4{,}5\,Ah$), selbst ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Vorschaltgerätes! Die Lampenleistung ist eine der geringsten bekannten für Metalldampflampen. Normalerweise ist dieser Lampentyp erst ab einer Brennerleistung von 35 W verfügbar.[49] Richtig gepflegt sollen die Brenner eine Lebensdauer von mehr als 3000 h erreichen (im gut gefederten Auto mehr als die Lebensdauer des Autos), am Fahrrad existieren Berichte von ca. 100 h/Brenner. Nach der Lebensdauer bitte als Sondermüll entsorgen, die Brenner enthalten ca. 0,03 Masse% Quecksilber!

Beide Modelle sind mit 3500 *Candlepower* angegeben. Nach den bisher bekannten Umrechnungswegen würden damit in einem Abstand von 10 m 35,7 lx rauskommen. Das wäre nicht so viel mehr als aktuelle 12 V-Scheinwerfer erzielen. Allerdings aber wohl auf einer größeren Fläche.

Ein Nachteil der SL*n* im Straßeneinsatz, unabhängig von der fehlenden Zulassung, wird der Reflektor sein. Der Reflektor ist rotationssymmetrisch und damit mehr für den *Off-Road*-Einsatz im Wald als für den Straßeneinsatz gedacht. Ein Nachteil für den Kurzstreckenverkehr: Die volle Leuchtkraft ist

[48]Korrekt wäre Nummer 2. Da es aber jeweils drei Stunden Leucht- und Ladedauer aufweisen sowie dreimal soll hell wie jedes auf dem Markt erhältliche Halogenlicht sein soll wurde die zwei übersprungen.

[49]Je kleiner die Leistung, desto schneller muß der Regler zu Steuerung sein, und da stellen schon 35 W nicht mehr triviale Ansprüche.

erst nach etwa drei Minuten erreicht. Zum Wiederzünden muß der Brenner erst abkühlen, nochmal einige Minuten warten. Eine subjektive Begutachtung auf der imfa 1999 war gespalten: Ein unwahrscheinlich helles Licht, der zentrale Lichtfleck eines HL-1600 aus gleichem Abstand war kaum auszumachen. Und es wird sehr viel Licht im Seitenbereich „verschwendet“: Positiv im Geländeeinsatz, negativ im Straßeneinsatz.

3.7.3 WA Sōlarc mit 10 W

Die ersten Versuche von Martin Schröferl mit der 10 W Sōlarc ergeben:

- Stromaufnahme Wandler: 1,123 A@12,2 V=13,69 W. Leistungsaufnahme des Brenners: 9,98 W, der Wandler hat also statt der 85 % laut Datenblatt nur 73 %. Das geht besser, Martin ist inzwischen auf 97 % gekommen. Diese ca. 3 W Ersparnis werden aber nicht billig sein. Der Aufwand ist u.A. wegen der hohen Spannungen in der Ausgangswicklungen für die Zündspannung enorm. Martin ist bei seinem Projekt schon ziemlich weit.

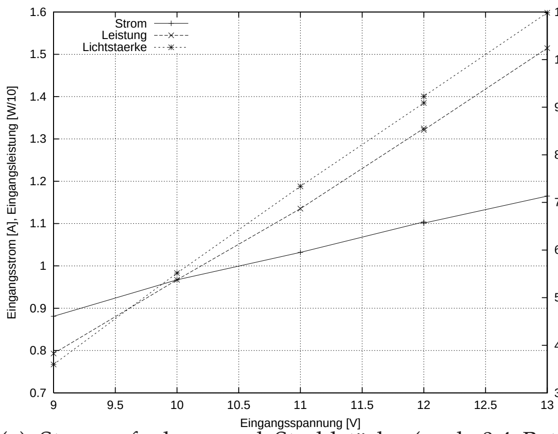
- Bei Verringerung der Eingangsspanung des Wandlers auf 8 V zieht die Lampe nur noch 5 W; die Farbtemperatur steigt von 7000 K auf 9000 K, die Lichtausbeute (ca. 3,5 fach gegenüber 10 W Halogen) ändert sich fast nicht. Eine zu starke Kühlung erhöht die Farbtemperatur. Bei niedrigen Leistungen muß der Brenner gut isoliert sein. Der nackte Brenner kann selbst bei 10 W durch leichtes Anblasen ausgeblasen werden. Ein Anhauchen führt schon zu einer Verschiebung der Farbtemperatur.

- Zündspannung: >6 kV, Startspannung etwa 350 V, Aufheizspannung etwa 6 V, Brennspannung 72 V@10 W und 65 V@5 W.

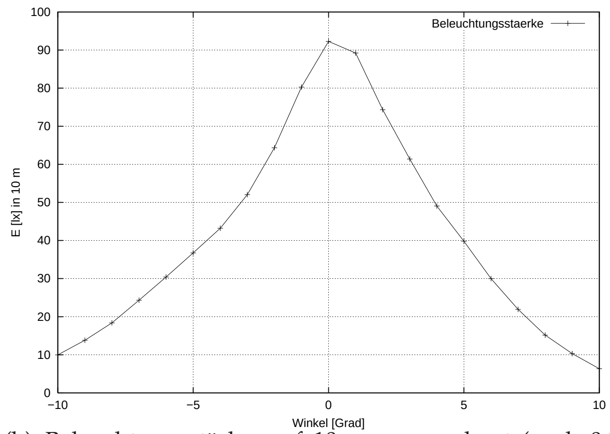
Erste Meßergebnisse einer eigenen Sōlarc (Brenner[50] M10P001, 6 Grad, Gehäuse MR11[51]) am Originalwandler (B10N001, 12 V) ergeben die in Bild3.31 wiedergebenen Zusammenhänge. Die Sōlarc ist für diese Messungen betriebswarm. Der Wandler ist hier in einem Profil-Kühlkörper (ähnlich Fischer SK05) mit ca. 2,7 K/W eingebaut.

[50] Laut Datenblatt 500 lm bzw. 40 MSCP.

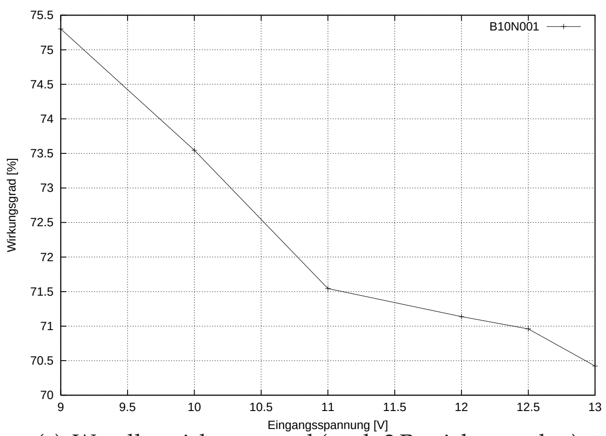
[51] Bei Glasreflektoren vom Typ MRxy gibt xy den Frontdurchmesser in xy/8 Zoll an. MR11 hat folglich einen Frontdurchmesser von 11/8″=35 mm. Über die Brennweite, Strahlwinkel etc. sagt das nichts aus.



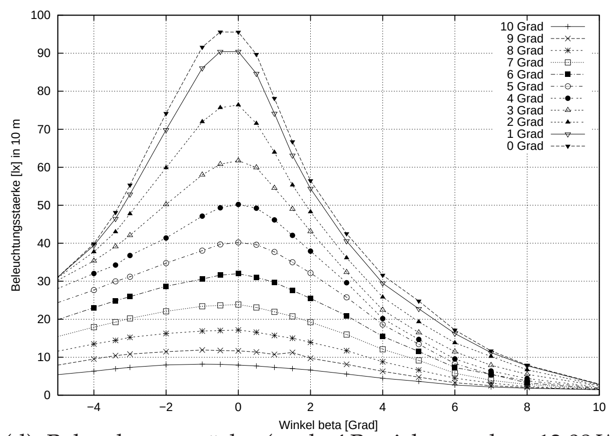
(a) Stromaufnahme und Strahlstärke (nach 0,4 Betriebsstunden)



(b) Beleuchtungsstärke, auf 10 m umgerechnet (nach 0,9 Betriebsstunden)



(c) Wandlerwirkungsgrad (nach 3 Betriebsstunden)



(d) Beleuchtungsstärke (nach 4 Betriebsstunden, 13,08 W Eingang)

Bild 3.31: Erste Meßergebnisse Sōlarc

Die im Datenblatt angegebenen 13000 cd können nicht gemessen werden. Dafür ist zumindest im gewählten Schnitt [52] $2\varphi_{1/2}$ mit fast 9° auch bedeutend größer als die angegebenen 6°. Aus den Datenblättern geht hervor, daß der MR11-Reflektor inkl. Frontscheibe gegenüber der „nackten “ Version im „Reagenzglas“ 10 % des Lichtstromes schluckt. Weiterhin altert er auch, so fällt die Reagenzglasversion nach 1000 h auf 80 % und die MR11-Version auf 70 % des Ausgangswertes ab.

Die Messung der Ausgangsleistung des Wandlers ist problematisch. Der Brenner wird über eine provisorische kurze Verdrahtung mit einem 0,1 Ω-Meßshunt in einer Leitung versehen. Mit zwei DMM können dann Spannung und Strom des Brenners gemessen werden. Die Lampe brennt beim Anklem-

[52] Wenn man die Brennerhalter als Fadenhalter (vgl. Bild 3.141) nimmt entsprechend in der α-Ebene.

men des Massekontaktes des 10:1-Tastkopfes des geerdeten Tektronix-Oszilloskopes 2225 trotz galvanischer Trennung der Stromversorgung ein bißchen rötlicher. Es zeigt sich eine typische Kondensatorentladekurve von ca. 400 V Spitze auf ca. 40 V mit einer Periodenzeit von 12,5 µs, entsprechend 80 kHz. Sind hingegen lediglich die DMMs angeklemmt, so ist keine Beeinflussung wahrnehmbar. Wird das Oszi ungeerdet über einen Trenntrafo versorgt, so ergibt sich folgendes Bild (Versorgung der Sōlarc mit 12 V): Brennerspannung 75 V mit einer Brummspannung von ±12,5 V bei 75 kHz. Brennerstrom -200. . . +400 mA, geschätzter Effektivwert etwa 160 mA bei 500 kHz. Wohlgemerkt: Die Stromversorgung ist galvanisch von der Erde getrennt, es kommen also vorwiegend nur kapazitive Effekte infrage!

Die Abstrahlcharakteristik erfüllt bis auf die Zone 1 die Zulassungsbedingungen der TA 23. Die Blendwirkung in Zone 1 durch eine optimale Gestaltung von Reflektor/Streuscheibe zu verhindern wird aber, ebenso wie (10) § 67 StVZO, ein ziemlich hartnäckiges Problem sein. Bei einem probeweiser Einsatz auf einem dunklen Nebenweg fallen die gut funktionierenden zwei FL mit HS3-Lampen erstmal nicht auf, so sehr werden diese von der 10 W Sōlarc überstrahlt. Wenn jetzt noch der Lichtanteil aus der Zone 1 sinnvoll genutzt werden könnte. . . Aufgrund der zu erwartenden hohen Leuchtstärke/-dichte ist aber auch dann allerdings auf eine genaue Ausrichtung des Scheinwerfers zu achten, da sonst andere Verkehrsteilnehmer geblendet[53] werden dürften. Die ersten Feldversuche[54] ergeben auch bei regennasser Fahrbahn und Nieselregen auf der Brille eine hinreichend gute Ausleuchtung. Pfützen, in Anlehnung an *Faules Spiel mit Roger Rabbit* als schwarze Löcher bekannt, werden, wie echte schwarze Löcher, meist nicht direkt gesehen, sondern an dem Widersschein der Totalreflexion der Solarc in den dahinter befindlichen Bäumen:-)

Es wird Zeit für eine gescheite Optik:

- Normale Fahrradscheinwerfer (Nova oder FL) sind für diese thermische Belastung nicht geeignet. Man könnte sie zwar kühlen, allerdings wird dann zumindest die Farbtemperatur des Brenners höher, wenn nicht gar der Halogenprozeß unterbrochen wird. Von den Problemen des Bauraumes mal ganz abgesehen.
- Nebelfrontleuchten von Autos wären von der Ausleuchtung passabel. Es sind Halogenlampen mit 55 W eingebaut, die thermische Belastung sollte also locker ausreichen, allerdings wird durch eine Blende aber erstmal pauschal ca. 50 % des Lichtstromes ausgeblendet. Dafür braucht man nicht so einen Aufstand, um dann erst mal die Hälfte des Lichtstromes nach /dev/null zu schieben.
-

Noch ein Nachtrag: Die 10 W Sōlarc wird anscheinend zunehmend in Zeltstangenbeleuchtungen verbaut (www.lupine.de, www.nova-factory.com . . .). Auch sind Höhlenforscher in diesem Bereich aktiv,

[53] Da die Blendneigung von der Umgebungsleuchtdichte, Adaption, Alter etc. abhängig ist und zudem verschiedene Untersuchungen/Grenzwerte existieren ist das Thema in diesem Rahmen zu komplex.

[54] Im doppelten Sinne des Wortes, da entlang des nicht öffentlichen Weges entlang des Spülfeldes Altenwerder vorgenommen.

auch wenn diese eher Fans von LEDs sind, da LEDs eine besseres Verhalten im Bereich niedriger Leistungen haben. Besonders wenn die Akkus/Batterien alle werden sind weiße LEDs von Vorteil (vgl. Bilder 3.40 und 3.37)

Anfang 2002 gibt es einen anhaltenden Entwicklungsschub. Martin legt vernünftigten Parabolreflektor aus und stellt sowohl in GFK sowie CFK Protoypen her. Auch eine Tiefziehform und eine Kleinserie tiefgezogener Reflektoren wird hergestellt.

Anfang Mai hat der Autor dann seinen MR11-Reflektor zum Einsiedlerkrebs gemacht:=) Das 270 g schwere, WTC-Sichere[55] Alugehäuse (siehe [OeSc02] bzw.
http://www.fa-technik.adfc.de/Komponenten/Scheinwerfer) hat ausgedient. Ersatz wird ein Eigenbau mit feinfühliger Leuchtweiteneinstellung (Bilder irgendwo auf www.enhydralutris.de > HPV-Bilder > Olaf Schultz > Elektronik > gefunden).

Zwei Trennscheiben auf der Proxxon haben den Reflektor dicht am Kunststoffsockel eingekerbt, ein Schraubendreher hat das Teil zerbrochen. Anstatt Proxxon und Hebel tut es angeblich auch ein kleiner Gasbrenner. Mit einem kleinen Frässtift wird dann der Rest der Dichtmasse rausgefräst und der restliche Glassockel entfernt. Ein Inlay aus Aluminium wird gedreht und mit Silikon eingeklebt. Alles bitte schön vorsichtig, Brenner sind teuer!

Wenn man mit dem ausgebauten Brenner rumspielt wird auch die Namenswahl Sōlarc klar: Den Lichtbogen kann man am besten mit den Sonnenfinsternisbrillen bzw. ähnlich stark dämpfenden Filterfolien beobachten, für alles andere, auch Schweißschirme, ist die Leuchtdichte zu hoch um noch Einzelheiten zu erkennen. So kann man endlich auch am (regnerischen) Tag Staub im Wohnzimmer im Lichtkegel des neuen Parabolreflektors beobachten.

Erste Messungen mit dem vierten? Prototypen der Streuscheiben ergeben bis auf Zone1 zulassungsfähige Werte (vgl. Bild 3.32).

[55]Standardfrage von Martin: Welches Stockwerk?

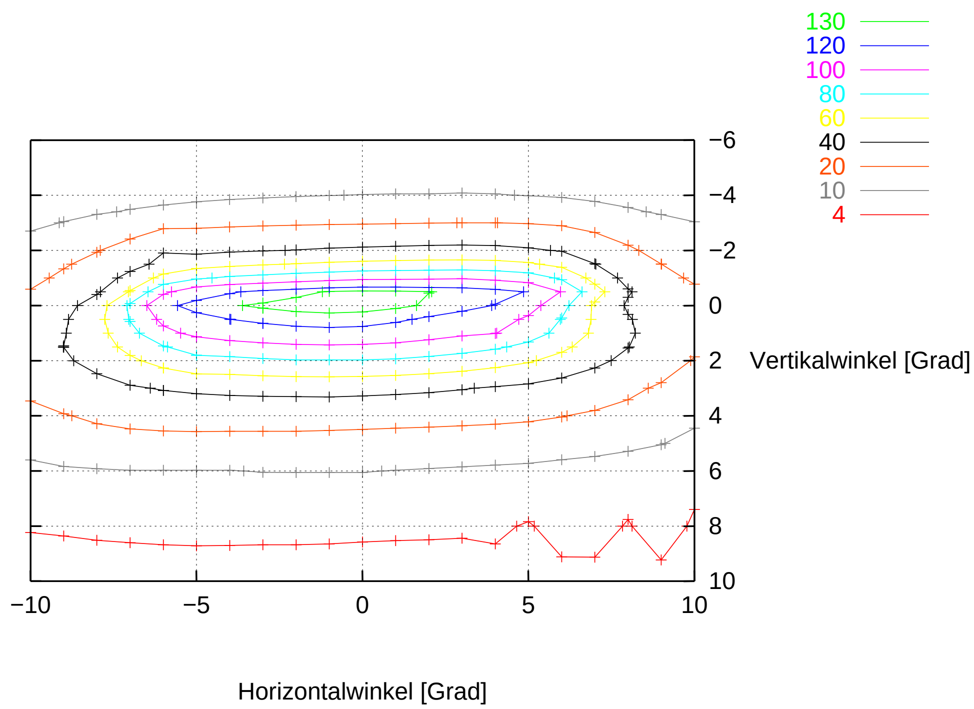


Bild 3.32: Beleuchtungsstärke Erste Messungen Solarc/Parabol/Streuscheibe4 (lx in 10 m Entfernung)

Auffällig ist eine äußerst gelungene, homogene Ausleuchtung ohne Strukturen. Für eine manuelle Herstellung von Linsen, Negativ etc. ein durchaus gutes Ergebnis. Macht Lust auf mehr. Die Abstrahlung erfolgt durch eine helle, aber nicht störend grelle Fläche. Die Streuscheibe strahlt homogen gleichmäßig.

Nach einigen Betriebsstunden erreicht der inzwischen verglaste (außen milchige) Brenner in der großen UK folgende Daten (vgl. Tabelle 3.21) an neuer Elektronik von Martin Schröferl.

Tabelle 3.21: Lichtstrom [lm] gealterer 10 W-Sōlarc bei 12 V/1,088 A (Eingang Elektronik) (C_K=0,176)

Randbedingung	Rand (Min.-Durchschnitt-Max.)	Mitte
Vergleich in MR11 (s. o.)	398	
Mit Streuscheibe im Parabol	405-422-458	
Ohne Streuscheibe im Parabol	422-458-564	
nackt (liegend)	524	
nackt (hängend)	564	534

Das Luxmeter ist frisch kalibriert, die UK1 seit den letzten Messungen wenig benutzt. Die Streuscheibe ist nicht laborsauber. Die Werte stimmen relativ gut mit den Katalogdaten und dem Betriebsverhalten der Solarc und den Meßerfahrungen mit der UK überein.

Kurz vor diesen Messungen ist mir das erste, originale Vorschaltgerät ausgefallen. Es fuhr bei dem Betrieb am Labornetzgerät bei 12 V nach einem Ausschalten nicht mehr hoch, bzw. der Wandler zog bei Strombegrenzung auf 2 A die Spannung auf 3 V runter. Der Brenner ist aber heil. Bedingt durch den Verguß mit sehr gut ausgehärteten Epoxidharz ist der Wandler bei solchen Schäden Totalschaden. Ich habe mir den „Spaß“ erlaubt, ihn ansatzweise mit der Proxxon freizulegen: Bis zu den Elkos, Spulen und der Funkenstrecke kommt man relativ einfach und schnell, danach wird's gefährlich für die Bauelemente. Und die Elkobeschriftung bleibt am Harz hängen… Viel Staub für wenig Erkenntnis. Diese Ausfälle nach einer bestimmten Zahl von Hochheizvorgängen der originalen Elektronik scheint normal zu sein. Die Wärmeausdehung der Elektronik ist ungleich der der harten Vergußmasse, so kann es mit der Zeit nur Problem geben! Das wird bei den meisten im Handel befindlichen Zeltstangen-Solarc1 auftreten, da diese meist die WA-Elektronik verwenden. Lupine verwendet in der Edison anscheinend eine andere, in Deutschland entwickelte, Elektronik.

3.7.4 35W-HID

Mitte 2010 kommt ein Satz noname[56] H4-2 HID-Brenner und Vorschaltgeräte auf den Labortisch und in die UK1. Es ist eine Version mit einer Farbtemperatur von nominell 4300K. Allgemein scheint es zu sein, daß bei solch niedrigen Farbtemperaturen die Lichtausbeute relativ gering ist. Zusätzlich sind Halogenlampen für das Fernlicht eingebaut, diese werden auch vermessen.

Die elektrische Leistungsaufnahme inkl. Vorschaltgerät liegt zwischen 10 und 16 V zwischen ca. 40 und 44 W bei einer Lichtausbeute von ca. 32 bis 40 lm/W.

Der Lichtbogen ist ca. 4,8 mm lang. Der Durchmesser beträgt im hellen, weißen Bereich ca. 0,8 mm und hat einen rötlichen Hof von ca. 2,1 mm. An den Elektroden ist ein ca. 0,4 mm langer Bereich hoher Leuchtdichte festzustellen. Mit dieser Bogenlänge ist er kaum in üblichen Fahrradscheinwerfern vernünftig implementierbar und was die Lichtausbeute angeht sind LEDs inzwischen auch besser, auch die „warmweißen“.

[56]Wirklich kein Hersteller erkennbar, auch kein *Made in…*

Der Brenner selber wird mit einem rechteckförmigen Wechselstrom und rechteckförmiger Wechselspannung mit 260 Hz betrieben. Die Effektivspannung beträgt 84 V, der Effektivstrom 380 mA. Bei 31,9 W Lampenleistung und 40–44 W Leistungsaufname ergibt sich ein Wirkungsgrad von 72–80 %.

Der Einschaltspannungsstoß ist mit 25 kV angegeben und wird hier nicht nachgemessen. Nur beschweren sich z.B. der 1 m neben dem Meßaufbau liegende Laptop bzw. dessen USB-Maus hörbar beim Einschalten der HID am Labornetzteil. Gut, wenn die Lampen heißzündbar sein sollen, dann muß die Zündspannung hoch sein.

Die wahlweise betreibaren eingebauten Halogenlampen kommen auf ca. 16 lm/W bei 13,2 V bis zu 20 lm/W bei 15,5 V.

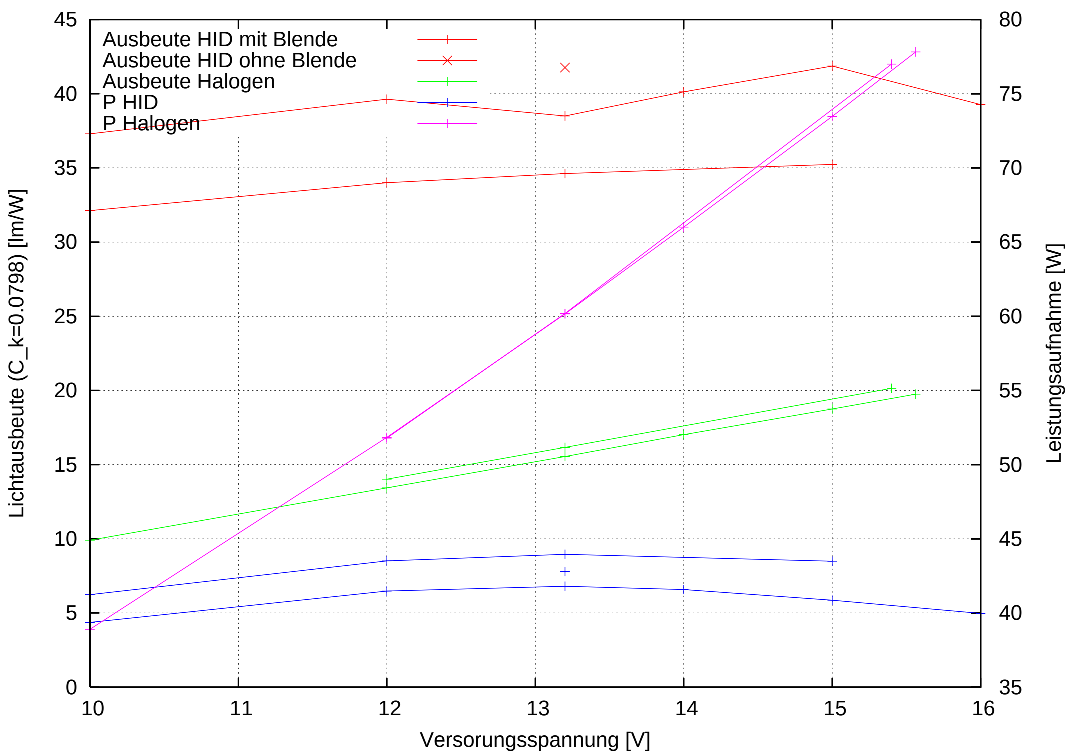


Bild 3.33: Ausbeute und Leistungsaufnahme noname 35 W-HID

3.8 Messungen an Gas-Scheinwerfern

Hierunter fallen Scheinwerfer mit direkter Flamme, klassische Fahrradlampen mit Karbidflamme, und Glühstrumpf. Glühstrumpflampen sind jedoch als Scheinwerfer an Fahrrarädenr her ungeeignet: Zu erschütterungsempfindlich, zu große Emitterfläche.

3.8.1 Häckel Karbidscheinwerfer

Keiner hat sie je vorher gesehen, aber alle wissen was der Blechhaufen darstellt. So kann der Autor die Erfahrung mit seiner ehemals arg renovierungsbedürftigen Karbidleuchte zusammenfassen.

Die Benutzung ist gewöhnungsbedürftig und teilweise gefährlich. Die Berührung von Calciumcarbid ist zu vermeiden und nach einem Hautkontakt sind die groben Teile zu entfernen und mit viel Wasser nachzuspülen. Zu erwähnen wäre hier u.a. die Erzeugung von Schwefelwasserstoff und Phosphorwasserstoff (Phosphin)[57] als unerwünschtes Nebenprodukt bei der gewollten Acetylenerzeugung (C_2H_2) aus dem Calciumcarbid (CaC_2).[58] Das Reaktionsprodukt Calciumhydroxyd ist wiederum stark alkalisch, auch nicht gut für die Gesundheit. Weiterhin ist Acetylen selbstentzündlich (Untere Entzündungsgrenze 2,3 Vol.%, obere Entzündungsgrenze 82 Vol.%) und kann durch Eigenreaktion bei einem Überdruck von 2 bar explodieren.[59] Das EU-Sicherheits-Datenblatt findet man u.a. im Internet bei Almamet unter www.almamet.de/d_c.htm.

Ja, es gibt sie noch. Unter anderem werden ganze Leuchten oder auch nur Zubehörteile von „Velo Classic“, Heinz Fingerhut, Gartenweg 46, 32609 Hüllhorst, Tel.: 05744/920528, Fax: 920529, D1: 0171/3341969 vertrieben.

Höhlenforscher benutzen heute noch Karbidleuchten. Petzl ist ein Hersteller. Höhlenleuchten haben/brauchen jedoch i.d.R. keinen Reflektor für eine enge, fahrradtaugliche, Abstrahlung sondern einen großen Öffnungswinkel mit weichem Übergang, also viel Leistung.

Als Lichtstärke gibt [StHü] ungefähr $10\,\mathrm{cd}_h$ bis $65\,\mathrm{cd}_h$ bei einem Gasverbrauch von $10\,\mathrm{l/h}$ bis $50\,\mathrm{l/h}$ an.

Sie geben ein angenehmes Licht, das jedoch in der Helligkeit mit dem der Halogenscheinwerfer nicht konkurieren kann. Auch sind sie nicht so mal eben anzustellen, es dauert schon 1–2 Minuten, bis sie eingeregelt sind. Und das ausmachen sollte aufgrund der Gaserzeugung ein Ausbrennen sein,[60] welches dann schon mal eine halbe Stunde betragen kann.

Reaktionsgleichung der Acetylenerzeugung:

$$\mathrm{CaC_2} + 2\mathrm{H_2O} \rightarrow \mathrm{C_2H_2} + \mathrm{Ca(OH)_2} + \text{Wärme} \tag{3.58}$$

Nähere Vergleichswerte der „Häckel“ mit Glashohlspiegel liefert der Autor, dann wenn sie neu vernickelt und der Spiegel neu belegt ist.

Und als Anhang eine e-mail von Peter Ludwig vom 12.01.98 bzgl. der obigen Anmerkungen:

[57] Phosphor und Schwefel sind entwicklungsgeschichtlich im Kalk (Sediment von Kleinstlebewesen) als organischer Begleitstoff vorhanden. Phosphin ist ein Nervengift.

[58] Schwefelwasserstoff ist giftig und man gewöhnt sich fatalerweise noch an den Geruch nach faulen Eiern.

[59] Deswegen sind die gelben Acetylenflaschen auch alle mit azetongetränktem Kieselgur oder Asbest gefüllt, in dem das Acetylen gelöst wird. Die Zersetzung findet als $C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2$ statt.

[60] Unschädlichmachen der Gase.

> ...Dein Kapitel über Karbidlampen schreit förmlich nach einer Entgegnung. Ich selber verwende Karbidlampen seit den 70er Jahren recht viel, hab sicher schon eine 4 stellige Gebrauchsstundenzahl dabei. Auch kenne ich sicher viele Hundert andere Karbidlampenanwender. Aber noch NIE ist m.W. eine Karbidlampe explodiert. Selbst wenn man absichtlich alles falsch macht, wird man kaum den nötigen Druck in der Lampe selbst zusammenbringen. Dafür hat dieselbe aber viele andere Vorteile: Man kann sie gut regeln und sie ist sehr robust, leicht instandsetzbar und man kann beliebig viel Reservekarbid mitnehmen (was man halt schleppen will). Außerdem spendet sie Wärme und Behaglichkeit. Und wenn sie gut brennt stinkt sie kaum bis gar nicht. Mit entsprechenden Zusatzteilen kann man sogar eine Tasse Tee wärmen. Voraussetzung ist freilich daß man mit solchem Gerät umzugehen weiß und nicht schlampert ist.
>
> Gruß aus Österreich
>
> Peter (Karbidlampensammler)

OK, das mit dem Explodieren ist dem Autor auch noch nicht vorgekommen. Ist halt eine Warnung. Das Einregeln hat der Autor inzwischen auch besser d'rauf. Die Wärmespendung, sowohl Gaserzeuger wie Gasvernichter werden schön warm, hat der Autor leider unterschlagen, obwohl das die erste Beobachtung war, als sie zum ersten Mal leuchtete! Und gegenüber Akkus ist Karbid, was die Energiedichte angeht, sicherlich besser.

Und noch ein Nachtrag von Peter Ludwig von 03/2005:

> ...Es gibt da noch einen Hersteller für Fahrradkarbidlampen:
> http://www.jkdey.com/cycle.htm Die werden aber nur auf Bestellung gebaut, vielleicht sollte man das der Kuriosität halber in die Gebetsmühle reintun. Der Text auf der Webseite ist ja schon witzig genug.
>
> Vor einer Woche bin ich in Kalkutta in das Geschäft des wahrscheinlich letzten richtigen Karbidlampenherstellers gegangen und wurde mit den Worten begrüßt: 'Hello, you are Mr. Peter, aren't you? We know you from a photo!' Ich war noch nie in diesem Geschäft und hatte auch sonst nie Kontakt mit diesem Menschen. Der hatte einen Höhlenkalender (wahrscheinlich hat ihm den wer geschickt weil auf irgendeinem Bild eine seiner Lampen drauf ist) wo u.A. ein Bild von mir drinnen ist.
>
> Leider hatten sie keine Fahrradlampe lagernd, sonst hätte ich natürlich eine mitgenommen. Die Lampen sind aber relativ teuer, ich rechne kaum mit unter 40 für eine Fahrradlampe, für indische Verhältnisse geradezu unerschwinglich. Ich bekomm den Preis für diese Lampe noch. Leider ist das Kapperl am Knie nicht abschraubbar wie es sich eigentlich für eine Fahrradlampe gehört, na vieleicht bring ich die Leute noch dazu.
>
> Nächstes Jahr nehm ich sicher eine mit und mach dann einen Test. Meine historsche Fahrradkarbidlampe ist ja leider nicht so recht funktionsfähig (wenn auch optisch in Ordnung).

Und ein Nachtrag von mir: Im Deutschen Fahrradmuseum in Bad Brückenau ist ein umfassende Sammlung von Fahrradkarbidlampen. Neben diversen anderen interessanten und gut erhaltenen Ausstellungsgegenständen.

3.9 Leuchtdioden

Vorbemerkung: Dieses Kapitel kann gar nicht akutell gehalten werden. Zwischendurch werden inzwischen sicherlich veraltete Leistungsdaten verwendet und aktuelle Leistungsdaten sind nach spätestens einem Jahr veraltet. Zudem ist aufgrund der stetigen technologischen Umbrüche eine Strukturierung schwierig, da immer neue Einschübe erfolgen! Das Hauptaugenmerk soll auf weißen LED's liegen. Rote und orange LEDs werden nur nebenbei betrachet.

Leuchtdioden (LED) haben einen großen Vorteil: Alle empfindlichen Teile sind vergossen und eingekapselt, dynamische Probleme sind vernachlässigbar. Aber es gibt auch Probleme (Wo Licht ist, da ist auch Schatten): LEDs können u.A. nur begrenzt Spannung in Sperrichtung vertragen, in der Regel sind es nur 5 V. Deswegen müssen sie u.U. mit Schutzvorrichtungen, wie z.B. Gleichrichtern oder Freilaufdioden (in Gegenrichtung parallel geschaltete Diode) versehen werden. Alle Punkte hier aufzuzählen sprengt den Rahmen.

Es gibt relativ wenige Hersteller von lichtstarken LEDs: Agilent[61], Nichia, Sharp, Luxeon und Infineon[62] sind wohl die nennenswerten, wobei jeder sein eigenes Produktspektrum hat und Bewegung im Markt ist.

Im Kingbright Rheinmetall Elektronik Katalog für 1999–2000 gibt es z.B. rote LED (Substrat GaAlAs) mit min./typ. 3/4,5 cd in 5, 8 und 10 mm Durchmesser mit 30–40° Sichtwinkel. Die hellsten diffusen roten haben immerhin noch 0,8/1,3 cd bei 60° Sichtwinkel. Die Betriebspannung liegt bei ca. 1,8 V. LEDs werden aufgrund der steilen Kennlinie mit konstantem Strom betrieben, die Spannung ist nur mittelbar zur Dimensionierung der Schaltung interessant! Die Lichtstärke ist durch die abzuführende Verlustleistung temperaturabhängig: 100 %@20 °C, 50 %@70 °C und 180 %@-15 °C. Der Lichtstrom ist vom Strom abhängig: 100 %@20 mA, 185 %@40 mA und 280 %@100 mA. Die Lebensdauer geht bei mehr als 20 mA Dauerstrom stark zurück (vgl. Formel (3.72), so daß eher ein gepulster Betrieb verwendet werden sollte. Die zulässige Pulsstromhöhe ist bei den neueren Hochleistungs-LEDs aber meist nur gering, so dürfte sich der Aufwand des Pulsens kaum noch lohnen.

3.9.1 Theoretische Vorüberlegungen zum LED-Scheinwerfer

Was für eine Strahlstärke und Strahlstärkenverteilung müßte eine LED aufweisen, um die erforderlichen Lichtwerte zu erzeugen?

$$I = E_{\mathrm{TA24}} r^2 \tag{3.59}$$

Für eine HS4 ergeben sich damit 2000 cd. Für die horizontale Ebene muß der Sichtwinkel $2\Phi_{1/2}$ größer als 8° sein. Vertikal dürfen oberhalb von 3,4° maximal 200 cd abgestrahlt werden, während unterhalb

[61] Agilent ist die verselbstständigte Halbleitersparte von HP.

[62] Infineon ist die verselbstständigte Halbleitersparte von Siemens.

bei 5° zu jeder Seite mindestens 100 cd gefordert sind. Dies erfordert eine stark angepaßte Auslegung der Abstrahlcharakteristik. Von Nichia gibt es schon LEDs mit einer ovalen Ausleuchtungsform, aber noch nicht in der hier geforderten Form. Für die genaue Bestimmung der Mindest-/ Maximalstärken ist die TA 23 (siehe Anhang, S. 576) heranzuziehen.

Da derzeit[63] so starke LEDs noch nicht erhältlich sind müßten andere Wege beschritten werden. Nur mal so, als abschreckendes Rechenbeispiel für diejenigen, die immer noch einem LED-Scheinwerfer hinterherhecheln: Nehmen wir mal an, eine weiße LED habe als Spitzenwert 5,6 cd und dabei einen Spannungsabfall von $U = 3{,}6\,\mathrm{V} @ I = 20\,\mathrm{mA}$ mit Stückkosten von 2 DM/Stk. Wieviele n LEDs braucht man, um zumindest in HV E_{TA24} zu erzeugen? Als Randbemerkung: Das Formelzeichen I wird hier sowohl für den Strom, Einheit A, wie für die Lichtstärke, Einheit cd, verwendet, bitte nicht durcheinanderbringen.

$$n = \frac{E_{\mathrm{TA24}}}{E_{\mathrm{LED}}} = \frac{E_{\mathrm{TA24}} r^2}{I \cos i} = \frac{10\ \mathrm{lx} \cdot 10^2\ \mathrm{m}^2}{5{,}6\ \mathrm{cd}} = 179 \qquad (3.60)$$

Den einstrahlenden Winkel legt die TA 23 (2) mit 0 Grad fest,[64] $\cos i$ ist folglich 1.

Mit 179 LEDs kostet der Scheinwerfer alleine an LEDs, je nach Händler, ca. 360 DM. Allerdings ohne Mehrwertsteuer, Arbeitskosten, Platine, Steuerung etc. Dabei verbraucht er dann auch noch mit

$$P = nUI = 179 \cdot 3{,}6\ \mathrm{V} \cdot 0{,}02\ \mathrm{A} = 12{,}9\ \mathrm{W} \qquad (3.61)$$

eine derzeit[65] unakzeptable Leistung. Diese beiden Preise sind wohl ein bißchen hoch für eine allerdings wahrscheinlich hohe Zuverlässigkeit. Auch bei LEDs gibt es zum Glück einen Fortschritt, also abwarten.

Und nun anders rum. Um die Stromwerte und elektrischen Leistungswerte einer HS3 zu erfüllen ist nur eine maximale Anzahl n von LEDs zulässig. Rechnen wir mal mit 20 mA/LED, bis auf einige Exoten, wie die Luxeon Star's, der Durchschnitt, so ergibt sich:

$$n = \frac{P_{\mathrm{HS3}}}{P_{\mathrm{LED}}} = \frac{2{,}4\ \mathrm{W}}{3{,}6\ \mathrm{V} \cdot 0{,}02\ \mathrm{A}} = 33 \qquad (3.62)$$

Bei 33 LEDs ist aber noch keine Sicherheitsreserve für die notwendige Stromregelung vorgesehen. Rechnen wir sicherheitshalber mal mit 30 LEDs weiter.

Noch eine Randbemerkung: Das Maximum des spektrale Helligkeitsempfindens des menschlichen Auges ist von den Lichtverhältnissen abhängig:

[63] Shit, kein Datum dazu geschrieben. Muß ca. anno 2000 gewesen sein. Anno 2003 sah es schon anders aus. Soviel sei Weihnachten 2006 nachgereicht.

[64] Senkrecht zur Oberfläche.

[65] Hm 2008 ist „derzeit“ aus wohl 2000 oder 2001 „etwas“ überholt.

- Das helladaptierte Auge hat seine größte Empfindlichkeit bei ca. 555 nm (Übergang Gelb-Grün). Hier haben die farbsensitiven Zäpfchen ihr Empfindlichkeitsmaximum. Ein Grund dafür ist in der Evolution zu finden: Unsere hellste natürliche Lampe, die Sonne, hat bei ca. 555 nm ihr Intensitätsmaximum.
- Das dunkeladaptierte Auge hat seine größte Empfindlichkeit bei ca. 507 nm (Übergang blau-grün). Ein Grund dafür ist wiederum in der Evolution zu finden: Hat schon mal jemand, außer bei Polarlichtern, Bränden o.ä. nachts einen roten Himmel gesehen? Bei 507 nm haben die Stäbchen ihr Empfindlichkeitsmaximum. Farben können nicht mehr erkannt werden (Nachts sind alle Katzen grau).

Der Übergang vom Zäpfchen- zum Stäbchensehen tritt laut [DTVLex] bei ca. $10^{-6} \ldots 10^{-3}$ sb, entspricht 0,1…100 cd/m^2, auf. Nach [HeMa] findet der Übergang bei ca. 0,001 cd/m^2 statt. Die Zapfen adaptieren sich relativ schnell innerhalb von fünf Minuten auf 10^{-3} cd/m^2, die Stäbchen haben sich nach ca. 20 Minuten weitgehend adaptiert. Mit einer verringerten Leuchtdichte geht eine vergrößerte Reaktionszeit einher. Hierzu gibt es mehrere Untersuchungen, z.B. [Bu99], auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

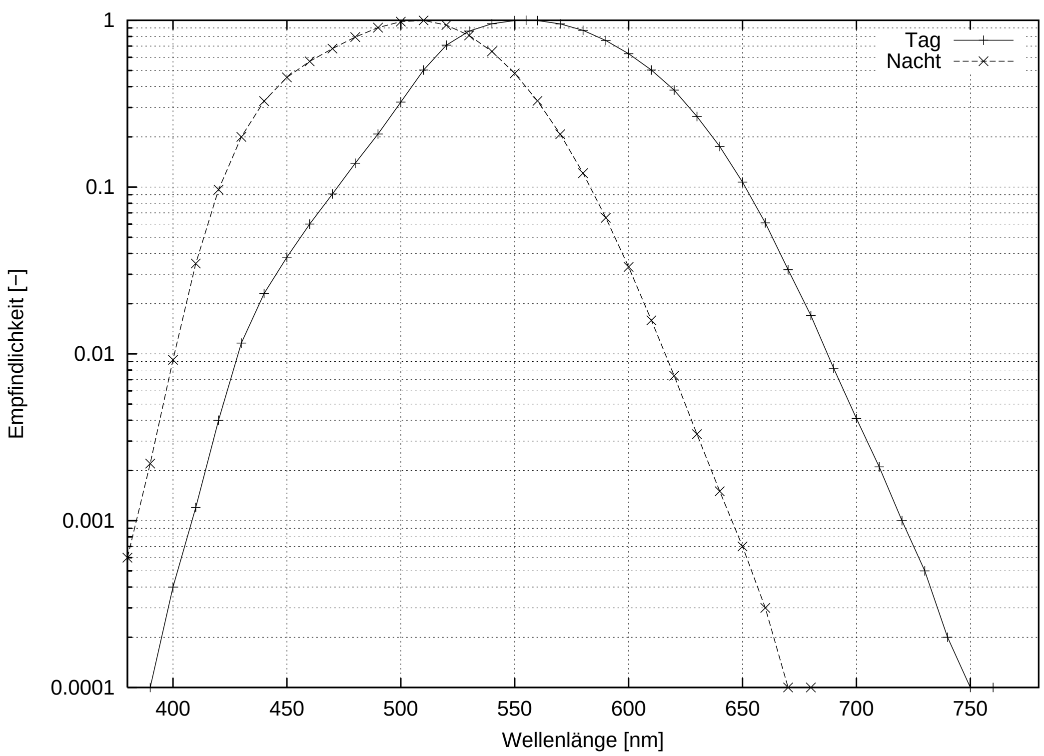


Bild 3.34: Spektraler Helligkeitsempfindlichkeitsgrad für photometrische Normalbeobachter nach CIE

Dunkeladaptiert ist eine rote LED bei gleicher Strahlstärke visuell dunkler als eine in blau oder grün. Unter anderem könnten deswegen die Xenon-Gasentladungslampen mit ihrem betont blauen Anteil nachts heller erscheinen als die eher rötlicheren Halogenlampen. Hier greifen auch die „modernen“ *blue vision*-Lampen ein. Dazu werden ausgesucht helle Halogenlampen genommen und mit einem bläulichem Lack überzogen. Die rötlichen Anteile, auf die das dunkeladaptierte Auge unempfindlicher ist, werden herausgefiltert. Da aber Radfahrer in der Regel nicht dunkeladaptieren können, die Lichtverschmutzung durch Auto- und Straßenbeleuchtung verhindert dies, dürften doch wahrnehmbar Lichtanteile fehlen. Solche Lampen werden teilweise als „Xenon-Licht“ beworben und wollen dadurch auf die Xenon-Gasentladungslampen zielen, sind aber nur mit Xenon gefüllte Glühfadenlampen. In diesem Zusammenhang: Ein vollständige Dunkeladaption ist erst nach ca. 40 Minuten erreicht,[66] ist aber in wenigen Sekunden rückgängig gemacht. Spezielle Adaptionsbrillen, die aus einem zwischen 640–680 nm durchlässigem Rotfilter bestehen, erhalten die Dunkeladaption [DTVLex].

3.9.2 Praktische Hindernisse LED-Scheinwerfern

Und nun zum Unterschied zwischen Theorie und Praxis. Mit einem Luxmeter (vgl. 483) werden in einem Abstand von 100 mm und 316 mm die maximalen zentrumsnahen Beleuchtungsstärken von LEDs gemessen ($E_{gem.}$) und mit dem theoretischen Wert (E_K) verglichen. Bei den Typen HLMP-ED31 und HLMP-EL31 werden in den Datenblättern keine typischen Strahlstärken angegeben sondern nur die Streubreite minimale und maximalen Auswahl. Für einen Anhaltswert wird einfach das geometrische Mittel zwischen Mittelwert Minimum-Auswahl und Maximum-Auswahl verwendet.[67] Die LEDs haben alle bei dem Teststrom von 19,78 mA einen *burn in* von ca. 7 Stunden erhalten. Bei mehreren (n) LEDs wird der Mittelwert gebildet. Eingeklammerte Werte sind die absoluten Maximalwerte bei LEDs, deren Maximum nicht im Strahlzentrum liegt; deren Lichtstärkenverteilung ähnelt eher einem Sattel als einem einfachen Berg.

Tabelle 3.22: Vergleich theoretischer und praktischer Beleuchtungsstärken (lx) bei 19,78 mA

Herst.	Typ	n	$2\Phi_{1/2}$	Farbe	I_K	10 cm		31 cm	
		[-]	[°]		[cd]	E_K	$E_{gem.}$	E_K	$E_{gem.}$
Agilent	HLMP-ED31-PS000	2	30	rot	1,61	161	95	16	13,2
Agilent	HLMP-CE23	2	23	grün	1,5	150	97	15	15,9
Agilent	HLMP-CB30	2	15	blau	1,58	158	22,3	15,8	3,1
Agilent	HLMP-EL31-QT000	2	30	gelb	2,1	210	133	21	17,6
Marl		1	60	weiß	1,0	100	65(75)	10	7,6(8,7)
Nichia	NSPW500bS R	1	20	weiß	$5{,}6_{20}$	560	319	56	44,9
Nichia	NSSW440	2	120×60	weiß	$0{,}66_{30}$		41		4,3
OSRAM	LW E673-S2	1	120	weiß	$0{,}2 - 0{,}32_{30}$		11		1,4

[66] Der erste Schritt, die Voradaption der Zapfen, ist nach ca. 3–5 Minuten abgeschlossen, die Adaption der Stäbchen ist nach ca. einer Stunde fast abgeschlossen. Es existieren Angaben, daß erst nach bis zu 24 Stunden keine Empfindlichkeitssteigerungen mehr stattfinden.

[67] P=880–1150, Q=1150–1500, R=1500–1900, S=1900–2500, T=2500–3200 mcd.

Auch wenn das hier verwendete Beleuchtungsstärkemeßgerät (Minolta) systembedingt stark mittelt, so fällt hier schon auf, daß anscheinend ein Diskrepanz zwischen Herstellerangabe und praktischem Wert vorliegt. Mit dem mit 1,1 % geringfügig unter den Nennbedingungen liegendem Strom sind Abweichungen von 80 % nicht erklärbar. Das Meßgerät ist kalibriert. Eventuell streuen die Dioden generell stark, hier sind Abweichungen von bis zu 20 % feststellbar. Agilent liefert aber auch eng ($\pm$15 %) tolerierte Gebinde, bloß wohl erst zu einem höheren Preis bzw. in größeren Stückzahlen.

Bei LEDs wird die Angabe $2\Phi_{1/2}$ für den Sichtwinkel verwendet. $\Phi_{1/2}$ ist der Winkel zwischen der Achse und dem Bereich, wo die Lichtstärke nur noch 50 % der Lichtstärke in der Achse erreicht. Bei der Nennlichtstärke ist in der Fußnote ein von 20 mA abweichender Nennstrom, in mA, aufgeführt. Nach Datenblätten von OSRAM zur LW E673 und Agilent zur HLMP-CW15 kann bei einer Erhöhung des Stromes auf 2$\times$Nennstrom nur von einer ca. 1,5–1,7-fachen Erhöhung der Lichtstärke ausgegangen werden.

Anfänglich wurden weiße LEDs durch eine additive Farbmischung von roten, grünen und blauen LEDs, meist in einem Gehäuse zusammengefaßt, erzeugt. Inzwisch werden weiße LEDs dadurch erzeugt, daß die Chips von blauen LEDs (Wellenlänge je nach Hersteller 445–470 nm) mit einer Phosphorschicht überzogen werden. Diese Phosphorschicht wird durch das blaue Licht angeregt und strahlt relativ breitbandig ab; das Maximum des Spektrums der Phosphorschicht liegt je nach Hersteller bei 550–560 nm bei 40–70 % des blauen Peaks. Bei der NSPW500 kann eine 50 %-Bandbreite von 165 nm abgeschätzt werden. Wenn man jetzt berücksichtigt, daß das menschliche Auge hell-/dunkeladaptiert das Empfindlichkeitsmaximum bei 555/507 nm aufweist, bei 450 nm nach der CIE-Kurve nur noch 3,8/45,5 % hat und bei den hier interessanten Leuchtdichten wohl nicht dunkeladaptiert (vgl. S. 243), so ist einsichtig, daß weiße LEDs meist heller sind als die blauen Basismodelle vergleichbaren Aufbaus. So schlecht kann die Transmission und der Floureszenzverlust im Phosphor nicht sein, als daß da der „miese“ Wirkungsgrad des menschlichen Auges im entsprechenden Spektralbereich unterboten werden kann.[68] Insofern ist es nicht sinnvoll, sich eine weiße Lampe aus LEDs in den drei Grundfarben rot, grün und blau zusammenzubasteln. Wenn jetzt noch der Wirkungsgrad der Phosphorschicht und der blauen Chips ein bißchen erhöht wird, so dürften LEDs Halogenlampen in absehbarer Zeit bei den lm/W übertrumpfen.[69] Nach den Datenblättern diverser Hersteller sind bei weißen LEDs 1999/2000 etwa 3-3,6 lm/W erreicht. Zwar haben Halogenlampen netto eine bedeutend höhere Ausbeute, aber Reflexions- und Transmissionsverluste der notwendigen Optik sind noch abzuziehen, bei LEDs z.Zt. nur Transmissionsverluste (es gibt noch keine, die von Haus aus die Ausleuchtung der TA erfüllen). Nach [He94] kommen in Leuchtstofflampen die in der Tabelle 3.23 aufgeführten Kristallphosphore zur Anwendung. Die Anregungsfrequenz beträgt dabei 254 nm (UV). Eine umfassender Liste von Phosphoren findet man auf den W3-Seiten von OSRAM/Sylvania oder in [Uy38].

[68] Grobe Messung einer LXHL-PW09 mit Acyl-Dom und Phosphor zur nackten Version ohne Phosphor bringt einen Gewinn von Faktor 3,25 zum blauen Grundchip!

[69] Bei roten LEDs sind ca. 18 lm/W erreicht (HPWT-).

Tabelle 3.23: Leuchtstoffe

Leuchtstoff	Aktivator	Emissionsfarbe
Zinksilikat	Mangan	grün
Calciumsilikat	Blei, Mangan	gelb–orange
Halophosphate	Sb, Mangan	blau–gelb
Aluminate	seltene Erden	blau, grün, rot

Für einen guten Wirkungsgrad ist eine hohe Reinheit und der passende Aktivator wichtig. Insofern ist es nicht abwegig, wenn z.B. die Chemiefirma Nichia die LED-Sparte für sich entdeckt. Kleine Randbemerkung: In der „Sendung mit der Maus" vom 20.10.2002 wurde die Herstellung von phosphororisierenden Farben (Zinksulfid, Kupfer als Aktivator) gut erklärt.[70]

Als Randdaten für das häufig in Fahrradscheinwerfern verwendete Polycarbonat (PC) mögen laut [DoHa] folgende Werte gelten: Brechungsindex 1,56–1,65 (abhängig von Temperatur und Molekulargewicht), Die Durchlässigkeit im sichtbaren Bereich liegt bei 85–90 % (ca. 80 % für 460 nm, das blau der blauen LEDs). Werden PC oder Polymetametylenacrylat (PMMA) (Handelsname z.B. Plexiglas[71] transparent rot eingefärbt, so ist mit einem Transmissionswirkungsgrad (für weißes Licht) von ca. 20 % zu rechnen; von den 3,3 lm/W der B2 bleiben also nur noch 0,73 lm/W über, dieser Wert ist von roten LEDs inzwischen locker mehrfach überschreitbar!

LEDs, die in HS3/HS4-LED-Scheinwerfern eingesetzt werden sollen, müßten ein $2\Phi_{1/2}$ von ca. $1\ldots2^\circ$ im horizontalen Schnitt haben.[72] Der vertikale Schnitt muß asymmetrisch und enger ausgestaltet sein.

Raumwinkelintegrierende Messungen bei OSRAM haben für aktuelle[73] (Sommer 2k) Nichia-LEDs NSPW500 inzwischen eine Lichtausbeute von 16 lm/W und 55 lm/W für die grüne NSPG500S und für rotorange (590 nm) von Agilent 21 lm/W ergeben. Damit wären inzwischen selbst weiße LEDs besser als HS3-Lampen, von grünen und roten ganz zu schweigen. Wenn jetzt die eventuell notwendige Vorschaltelektronik (Stromkonstanter) noch leistungsarm und der Preis entsprechend gestaltet wird, dann können HS3 und HS4-Lampen einpacken. Aber davor ist noch die geforderte Helligkeitsverteilung zu erfüllen.

In Bild 3.35 sind die Meßdaten, mit dem $X9_1$ aufgenommen, von einigen LEDs wiedergegeben. Der Sensor ist mit dem Abschattungstubus versehen und 0,6 m von den Lichtquellen aufgegestellt. Zwischen Lichtstärke I und Beleuchtungsstärke E kann dann mit $I[\mathrm{cd}] = E[\mathrm{lx}]r^2 = 0{,}36E[\mathrm{lx}]$ umgerechnet werden.

[70]For the english people: The Sendung mit der Maus is a famous weekly broadcasting, mainly for children, in the first german television programm.

[71]Nicht zu verwechseln mit dem Herbergsvater Plexiglas und dessen Vettern Demonstratos, Zehnprozentos, Mietkarros, Bratensos etc.

[72]Siehe hierzu Überlegung zur Beleuchtungsstärkeverteilung auf S. 3.12 ff.

[73]Nicha führt fortlaufend Verbesserungen durch, gibt die aber nicht immer durch einen Wechsel der Modellnummer bekannt.

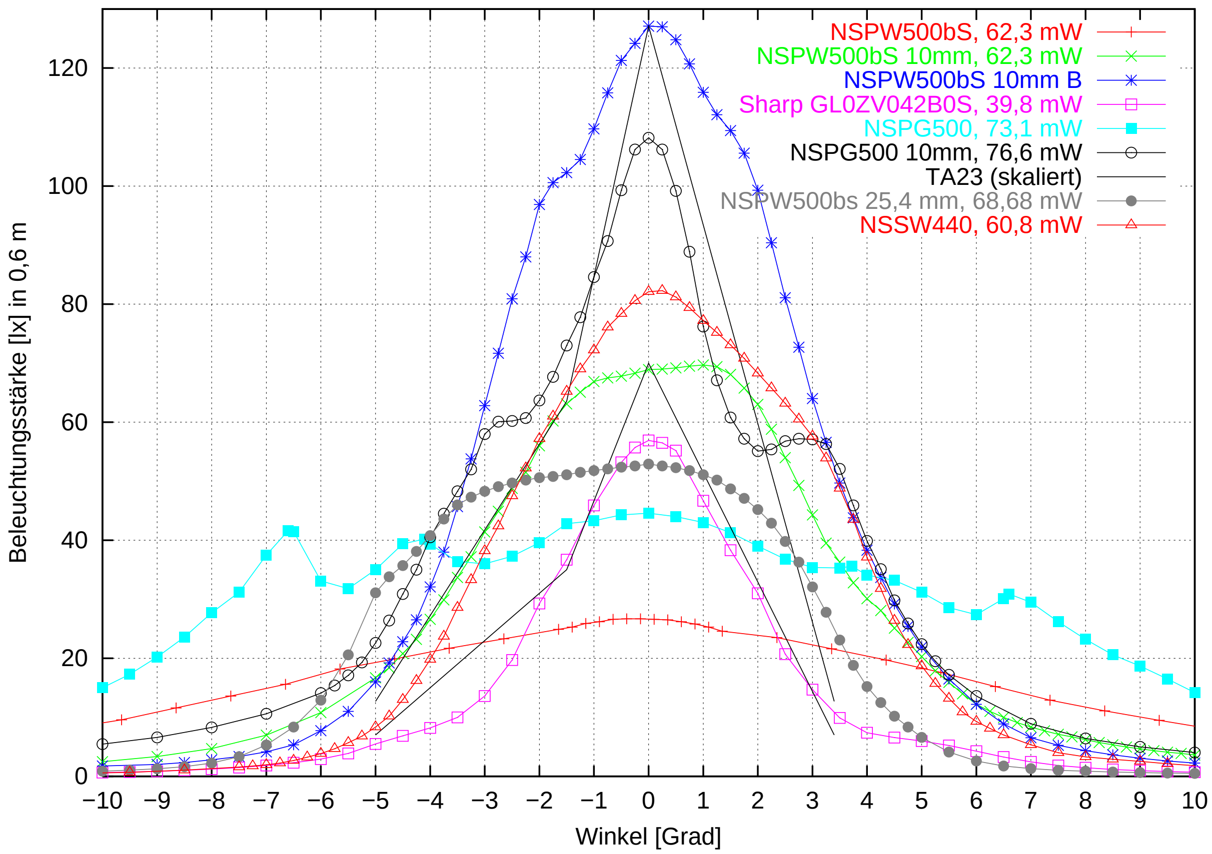


Bild 3.35: Beleuchtungsstärke von LEDs in 0,6 m Entfernung

Der Öffnungswinkel der Sharp GL0ZV042BOS ist schon vielversprechend. Die NSPW500bS 10 mm und NSPG500 10 mm sind mit dem UP-Harz 258 von R&G in einen Abguß der Sharp-LED eingegossen. Die Brennpunktlage ist ziemlich genau die der Sharp. Bedingt durch die Schrumpfung des Harzes (7 %) hat sich ein Teil vom Negativ aus Silikon abgelöst und eine schlierige bzw. stufige Oberfläche erzeugt. Neue Abgüsse[74] (B) haben bedeutend bessere Werte ergeben, allerdings ist der Fokus so genau, daß selbst die Bondingdrähte in der der Ausleuchtung deutlich wahrnehmbar sind.[75] Die NSPW500bS 25,4 mm ist eine NSPW500bS direkt hinter einem schlanken Konus [76] aus PMMA bei

[74]Silikonnegativ von den Sharp GL0ZV0. . . , in die „Kragenrille“eine 2,0 mm dicke Scheibe (D=11, d=5 mm) eingelegt, mit UP-Gießharz glasklar (z. B. von R&G) den Hohlraum füllen und LED von oben in das Loch der Scheibe stecken. Für 16 LEDs reichen ca. 15 ml Harz. Leider beträgt die Mindestabnahmemenge bei R&G 1 kg! Nach Vorgabe wurde für die ersten Abgüße 1 % MEK verwendet. Nach ca. 24 h bei 18 °C war das Harz gerade mal angeliert, dann bei ca. 80 °C zwei Tage nachgehärtet. Weitere Abgüße werden mit 2–3 % MEK durchgeführt.

[75]Mittelpunkt ist dann nicht HV sondern der Mittelpunkt zwischen den beiden Bondingdrähten, Bondingpunkte bei 135 und -45°, Schwenkrichtung von -90 nach 90°.

[76]Gleichmäßige Durchmesserreduzierung von 28 auf 11 mm über 190 mm. Gedreht, geschliffen und poliert.

dem Durchmesser von 25,4 mm.

Tabelle 3.24: Lichtstärke im Maximum-Punkt (Abstand 0,6 m)

LED	E [lx]	I [cd]	P [mW]	$2\varphi_{1/2}$ [°]	E/P [lx/mW]
NSPW500	26,7	9,61	62,3	15	0,43
NSPW500 10 mm A	69,7	25,1	62,3	7	1,12
NSPW500 10 mm B	127,1	45,7	62,9	6	2,02
NSPW500 25,4 mm	52,9	19,6	68,7	8,5	0,77
NSSW440 Glupsch	82,3	30,5	60,8	6,7	1,35
NSPG500	44,6	16,1	73,1	17	0,61
NSPG500 10 mm A	108,6	39,1	76,6	7	1,42
NSPG500 10 mm B	130,4	49,9	66,7	nb	1,95
GL0ZV04B0S	56,9	20,5	39,8	4,5	1,43
Luxeon Star/O A	490	176,4	1323	15	0,37
Luxeon Star/O B	515	185,4	1067	15	0,48

Die Lichtstärken der unmodifzierten LEDs stimmen ziemlich genau mit den Angaben der Hersteller überein. Allerdings streuen Ausleuchtung und Lichtstärke sowie Lichtfarbe relativ stark, und das, obwohl alle aus je einer Lieferung und einem Batch stammen. Die Serienstreuung ist nicht zu vernachlässigen. Die Sortierung der NSPW500BS wird bei *Rank* S mit minimal 6,8, typisch 8 und maximal 9,5 cd, also ±15 % angegeben.

Die Luxeon Star/O (LXHL-NW98) von *Lumiled Inc.* ist ein Modul (Grundfläche 25×25 mm, 16 mm hoch), das aus einer Hochleistungs-LED auf einem Aluminiumblech mit einer zusätzlichen Bündeloptik besteht. Die Solldaten (laut Datenblätter) betragen typisch Φ=18 lm (abzüglich 10 % für die Optik) bzw. Minimum 13,9 lm. Die Farbtemperatur ist mit 4500 K angegeben. Der Sichtwinkel $2\varphi_{1/2}$ beträgt 10° , die Strahlstärke in der Achse 180 cd. Der Nennstrom beträgt 0,35 A, die typische Vorwärtsspannung 3,42 V. Daraus ließen sich inkl. Optik ca. 13,5 lm/W errechnen und lägen damit im Bereich von typischen Halogenlampen im Fahrrad-Bereich (inkl. Optik). Messungen an zwei direkt nebeneinander liegenden[77] Exemplaren (Herbst 2001) ergeben in der UK1 12,75 bzw. 16,4 lm/W. Labormuster von Luxeon sollen inzwischen bedeutend besser sein. Genauere und aktuellere Daten sind bei www.luxeon.com zu finden. Analog zu den Messungen auf Seite 250 ergeben sich maximale Lichtausbeuten bei ca. 20–50 mA, die 47–74 % über denen im Nennpunkt liegen (vgl. Bild 3.40). Die Messungen sind in der UK1 gegenüber dem Sensor, ganz am Rand platziert, vorgenommen worden. Auch die Luxon Star'Os sind real noch viel zu blau (Peak bei 460 nm). Der Phosphor hat sein breitbandiges Maximum bei etwa 570 nm mit ca. 83 % des Peaks in Blau. Abweichend von bisherigen weißen LEDs taucht ein extrem heller Peak noch bei 615 nm auf, der ca. 11 % heller ist als der eigentlich anregende Blauanteil. Diese Spektralkurven differieren jedoch je nach Datenblatt, anscheinend ist eine relativ große Streuung bzw. Entwicklung bei den LEDs noch zu verzeichnen.

[77] Die Luxeon Stars kommen auf einem Blechstreifen daher.

In Bild 3.36 ist das Zonenlichtstromdiagramm einiger LEDs wiedergegeben. Der Winkel φ ist einfach angegeben, und nicht, wie sonst, als $2\varphi_{1/2}$.

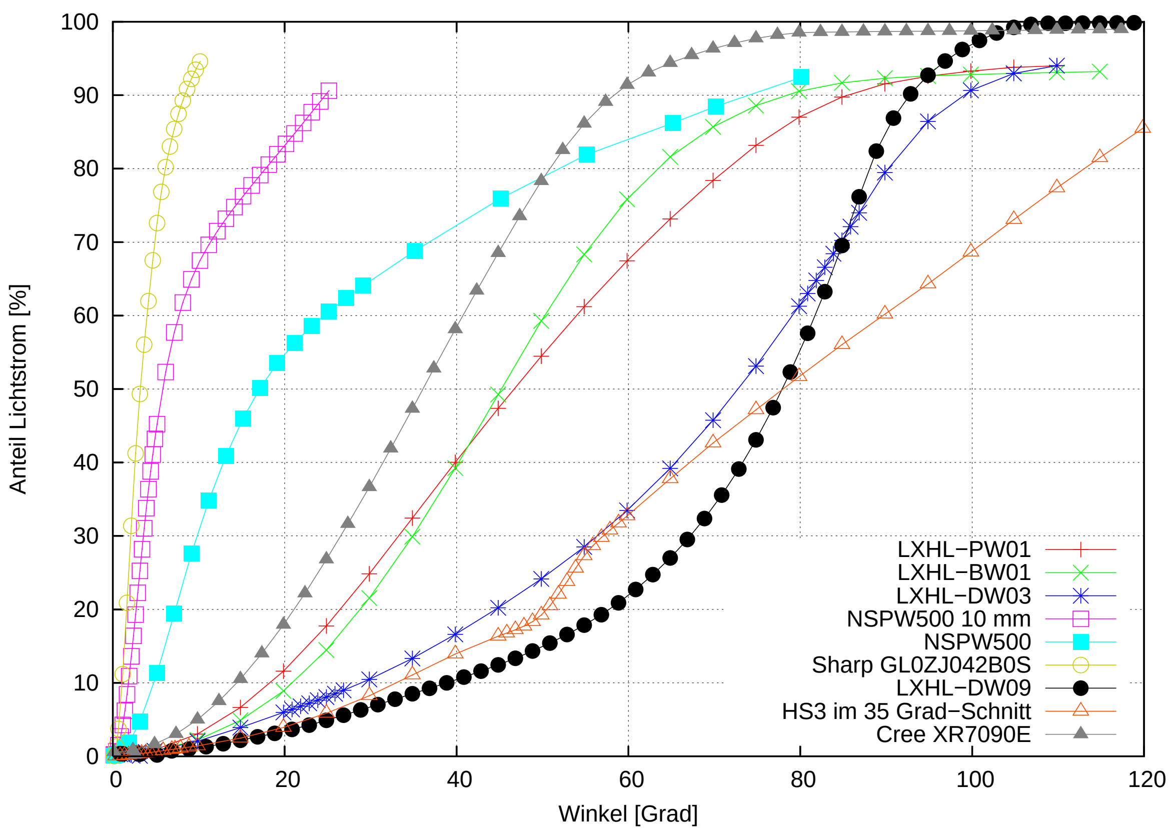


Bild 3.36: Zonenlichtstromdiagramm einiger LEDs

Die Sharp GL0ZJ042BOS strahlt 80 % ihres Lichtstromes in einem Winkel von ca. 2×6° aus. Die Nichia NSPW500 braucht dafür 2×50° , im Sharp-Gehäuse eingegossen sind es nur noch ca. 2×17° .

Die Zulassungsvorschriften (siehe S. 576) sehen im horizontalen Schnitt ein $2\varphi_{1/2}$ von mehr als 8° vor. Im vertikalen Schnitt werden asymmetrisch mindestens 3° (nach unten) und deutlich weniger als als 3° (Anforderungen an Zone 1) nach oben vorgeschrieben. Hier kommt man mit den LEDs alleine noch nicht ganz hin (vgl. Bild 3.35). Zieht man die Begrenzung für das Abblendlicht bei Kraftfahrzeugen in Zone 3 (vergleichbar der Zone 1 bei Fahrrädern) auf 4,4 lx in 10 m (ECE-Regelung 20, s. S. 431) heran, so erhöht sich der Spielraum. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei Kraftfahrzeugen sowohl die Scheinwerfer besser gegen unbeabsichtigtes Verstellen gesichert sind als bei Fahrrädern als auch durch den längeren Radstand und bessere Federung eine geringere Wippneigung vorliegt. Die Blendneigung sollte also geringer sein; in der Praxis ist dies aber nicht immer der Fall. Ein unvorsichtiges Aufweichen der Regelung bzgl. Zone 1 wäre aus Sicherheitsgründen sicherlich nicht sinnvoll, eine leichte Erhöhung des bisherigen Grenzwertes aber vertretbar.

Je nach Betriebsstrom kann sich bei LEDs eine andere Lichtausbeute einstellen. Es bringt nicht unbedingt mehr, die Leistung pro LED zu erhöhen, unter Umständen haben vielen LEDs bei niedriger Stromaufnahme einen höheren gesamten Lichtstrom zur Folge. Dies zieht aber viel Fläche und noch mehr Kosten nach sich. Einen groben Überblick mag das Bild 3.37 geben. Die weißen LEDs von Nichia erzeugen schon merkbar Licht, wenn man an 6 V den Vorwiderstand des menschl. Körpers von ca. 8 MΩ verwendet, also nur ca 1 µA fließen. Vergleiche dazu auch die Bemerkungen zum PAL-Light auf Seite 409 ff., welches bei den 33 µA in der niedrigsten Stufe nachts schon zur Orientierung reicht. Mit dem $X9_1$ vermessen ergeben sich folgende Meßwerte (Bild 3.37. Der Sensor ist dabei 0,6 m von den LEDs aufgestellt. Es werden zwei unterschiedliche NSPW500bS aus einem Batch vermessen. Die Sharp ist die GL0ZV042B0S, die rote 20 cd von Conrad. Die LEDs sind wahllos aus der Kiste gegriffen.

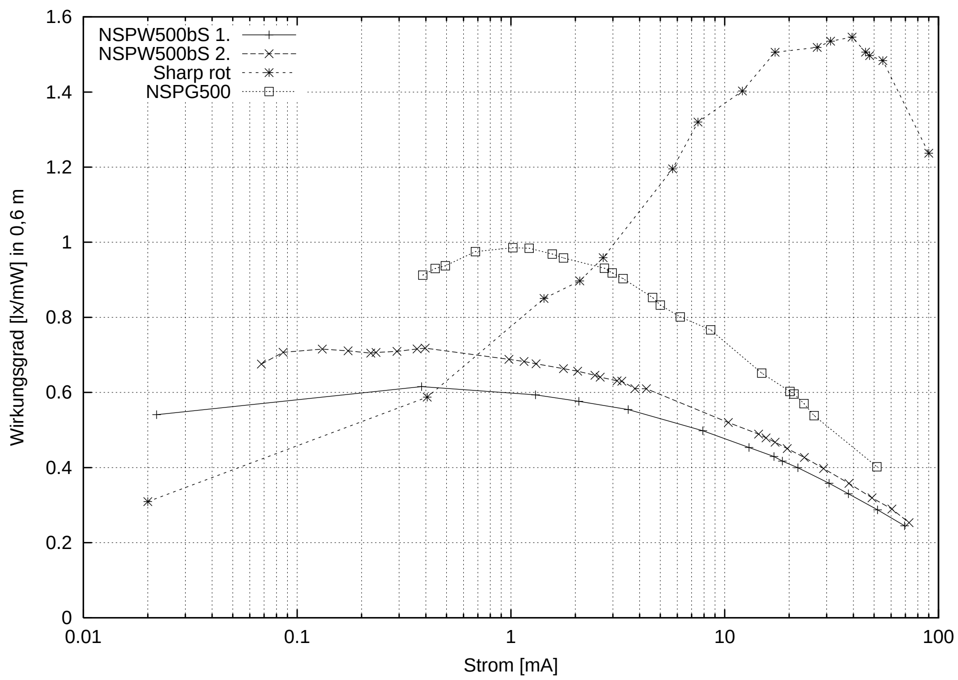


Bild 3.37: „Wirkungsgrad“ in Abhängigkeit des Stromes

Folgerung: Da die weißen LEDs noch einen starken Blauanteil haben kann man noch etwas grün und rot hinzumischen. Um einen effektiven LED-Scheinwerfer zu bauen braucht man einige Sharps bei 30 mA, einige NSPG bei 1–2 mA und viele NSPW bei 1 mA.[78] Dies wird leider teuer und groß. Wo man den Mittelweg bildet ist die eigene Entscheidung.

[78]Nach dieser Betrachtung stellt sich sowohl das Lupine Stuby (LED-Cluster) mit 4 W auf 26 LEDs=153 mW/LED, also ca. 40 mA/LED als auch das Supernova 24SevenLED mit 24 LEDs bei 3,5 W als Minimierung der Kosten, nicht als Optimierung des Wirkungsgrades heraus.

Ein exemplarischer Verlauf des Stromes über der Spannung von drei Nichias ist in Bild 3.38 aufgeführt.

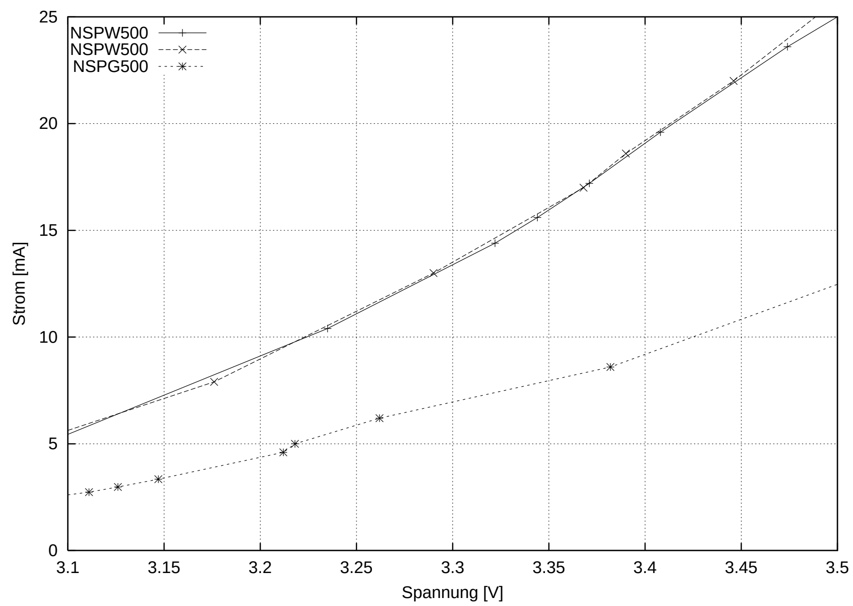


Bild 3.38: Strom über Spannung bei NSPW500 und NSPG500

Zusätzlich ist der Wirkungsgrad noch von der Umgebungstemperatur abhängig. Dies äußert sich ein bißchen bei den Wirkungsgradmessungen bei hohen Strömen, da kann man schlecht drei driftende Meßwerte (Strom, Spannung und Beleuchtungsstärke) gleichzeitig ablesen, es kommt zu leicht sprunghaften Graphen. Aus den Datenblättern zur NSPW kann man das Diagramm 3.39 entwickeln.

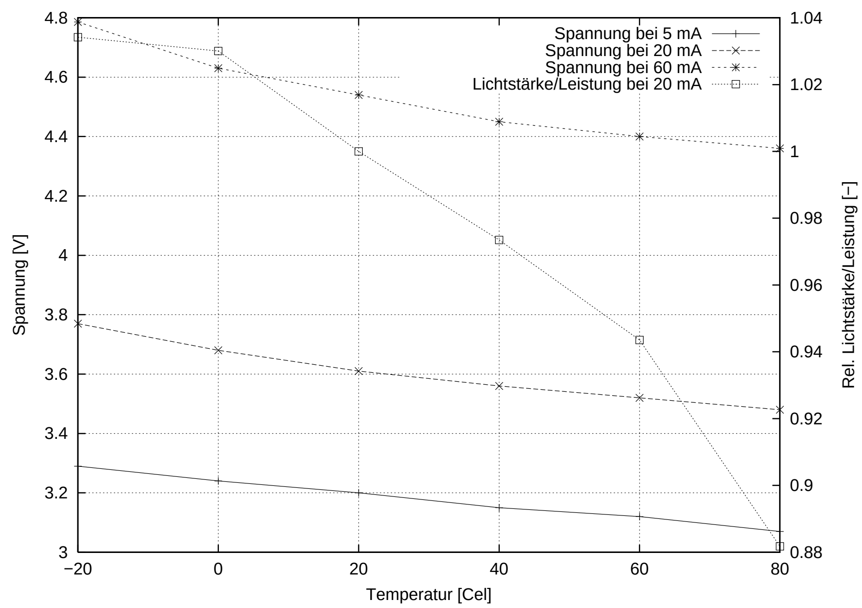


Bild 3.39: Einfluß der Temperatur auf Leistungsdaten der NSPW

Abkühlen bringen nur einen relativ geringen Anstieg des Wirkungsgrades (ca. 3 %) aber hohe Temperaturen reduzieren den Wirkungsgrad deutlich um bis zu 12 %.

Ein anderer interessanter Ansatz sind die von OSRAM in Kooperation mit Siemens hergestellten Power TOPLEDs vom Typ LW 673 . Diese LEDs sind von vorneherein für Beleuchtungszwecke ausgelegt, wobei die LEDs nach I in 6 Auswahltypen von 125. . . 200 mcd bis 400. . . 630 mcd selektiert werden. Sie werden im SMD-Gehäuse (P-LCC-2) geliefert und mit 30 mA betrieben. Die entstehende Wärme soll über großzügig dimensionierte Kupferflächen auf der Platine abgeführt werden. Die Strahlcharakteristik ist die eines Lambertstrahlers, d.h. $I(\varphi)$ ist im Polarkoordinatendiagramm nahezu ein Kreis. Der Sichtwinkel $2\Phi_{1/2}$ beträgt 120°. Hier wird eine bündelnde Optik notwendig sein. Das wird interessant und schwierig, da im Prinzip jede Einzel-LED ein Linse braucht oder der Reflektor bzw. eine einzige Linse für das LED-Array riesig wird, das gleiche Problem wie bei einer Leuchtstoffröhre (s. S. 225).

Nach einem Versuch mit den „Gluppschaugen“ von Conrad (Best.-Nr. 146455) ergeben sich die in der Tabelle 3.25 aufgeführten Meßwerte.

Tabelle 3.25: Beleuchtungsstärken [lx] in 10 m Abstand vom LED-Prototype

Scheinwerfer	Lampe	I [mA]	Zone1	HV	L1/R1	2	3	L4/R4	L5/R5
Sollwerte	HS3		≤2	≥10	≥HV/2	≥HV/2	≥1,5	≥1	-
TA23	HS4		≤2	≥20	≥HV/2	≥HV/2	≥2,5	≥2	≥2
Proto1	3LW+3NS	19,78	0,57	1,14	0,29/0,36	1	0,43	0,16/0,16	0,03/0,07
	3LW	19,78		0,16					

LW sind LW E673-S2, NS die NSSW440. Bei einer Messung sind die drei NSSW abgedeckt. Mit einer etwas besseren Optik als der hier verwendeten ist sicherlich mit 30 LEDs vorbehaltlich des Grenzwertes in Zone 1 ein zulassungsfähiger Scheinwerfer konstruierbar. Damit wäre auch gerade so eben der Punkt erreicht, wo sowohl die Lichtwerte und die Verbrauchswerte eingehalten werden.

Inzwischen (2003) sind die oben beschriebenen Versuche aus 1999/2000 veraltet. Luxeon/Lumileds hat inzwischen leistungsstarke LEDs auf dem Markt.

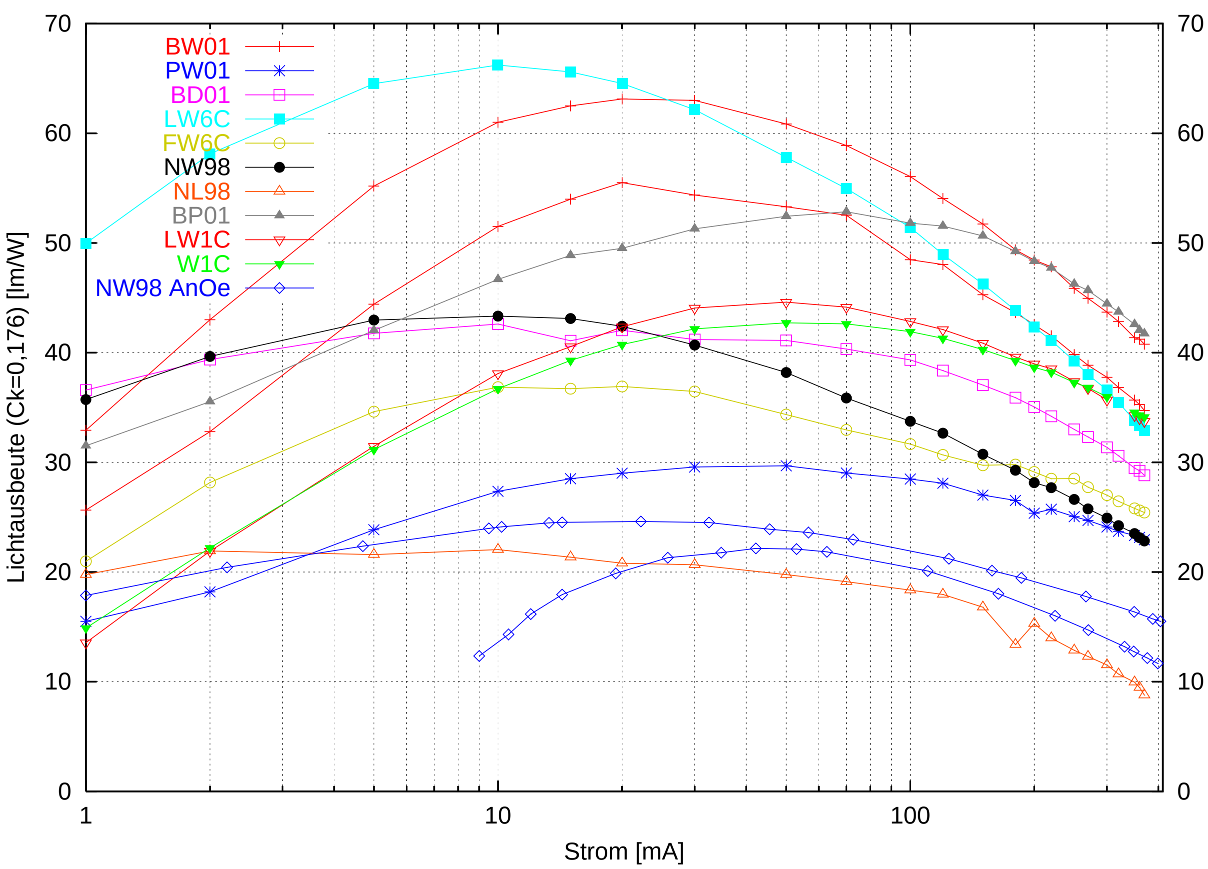


Bild 3.40: Lichtausbeute einiger Luxeon LEDs in Abhängigkeit des Stromes (Mai 2003)

Die Lichtausbeuten streuen stark. Siehe hierzu auch Bild 3.41, welches die Streubreite der lm/W-Messung fünf verschiedener DW03 zeigt.

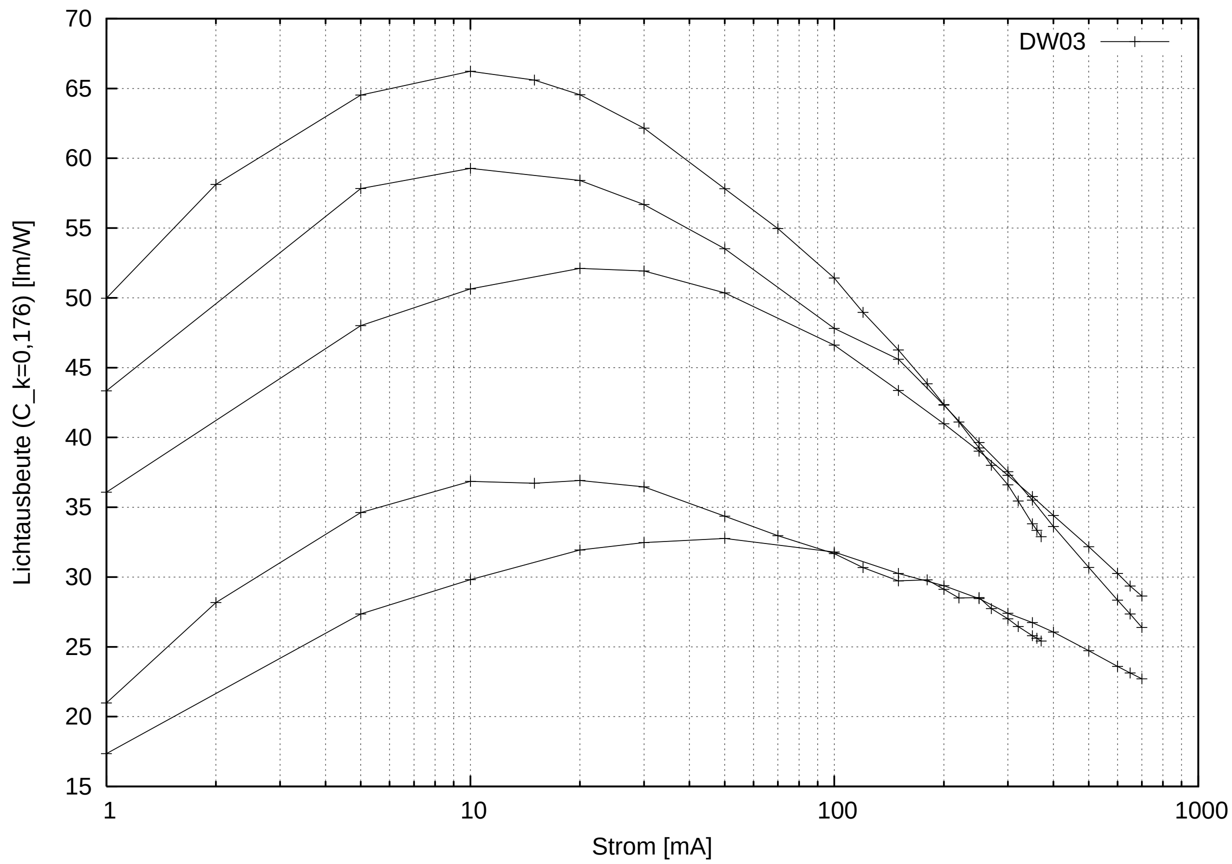


Bild 3.41: Streuung der Lichtausbeute der DW03 (Messdaten Mai–Sept. 2003)

Die Meßergebnisser einiger 3 W-Dioden sind in Bild 3.42 aufgeführt. Die Dioden der einzelnen Meßreihen stammen i.A. direkt nebeneinander aus einem Gurt.

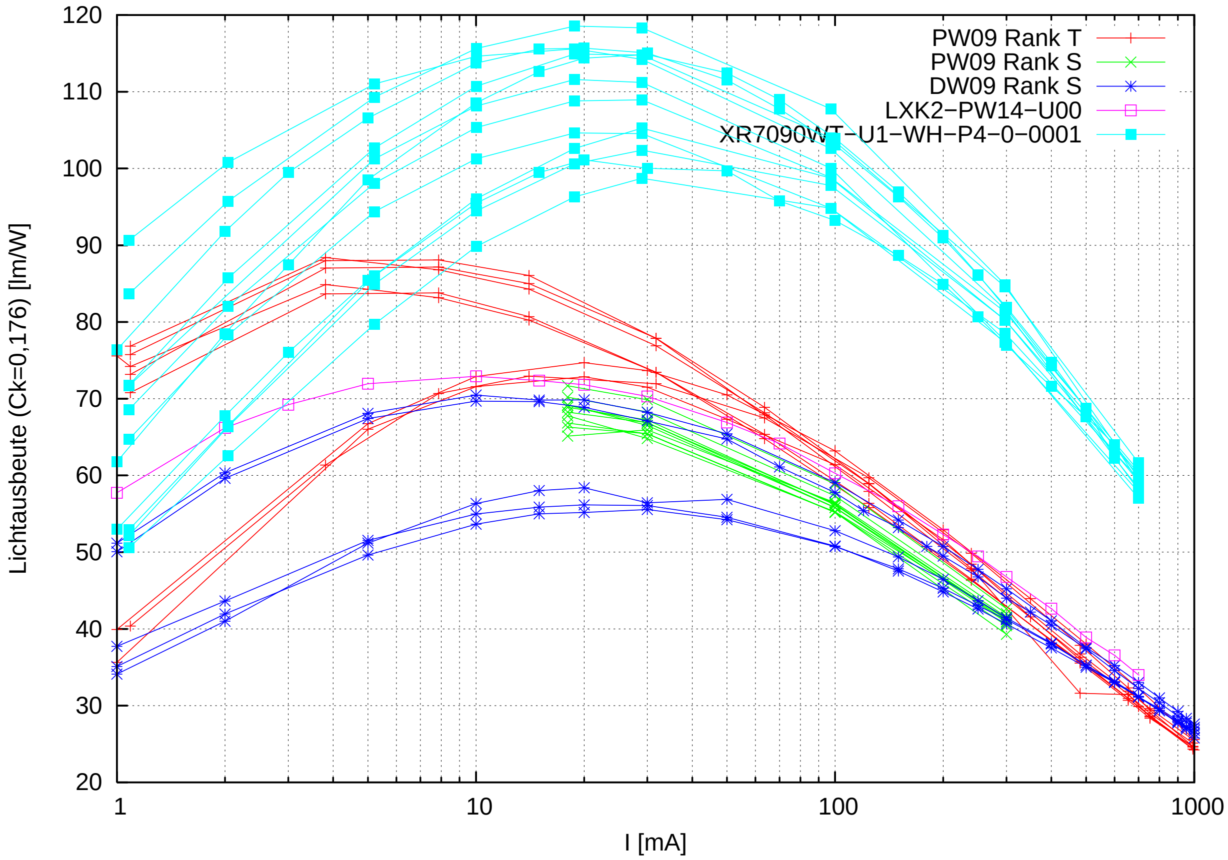


Bild 3.42: Lichtausbeute und -strom einiger LXHL-PW09 und LXHL-DW09, einer K2 und dreier Cree

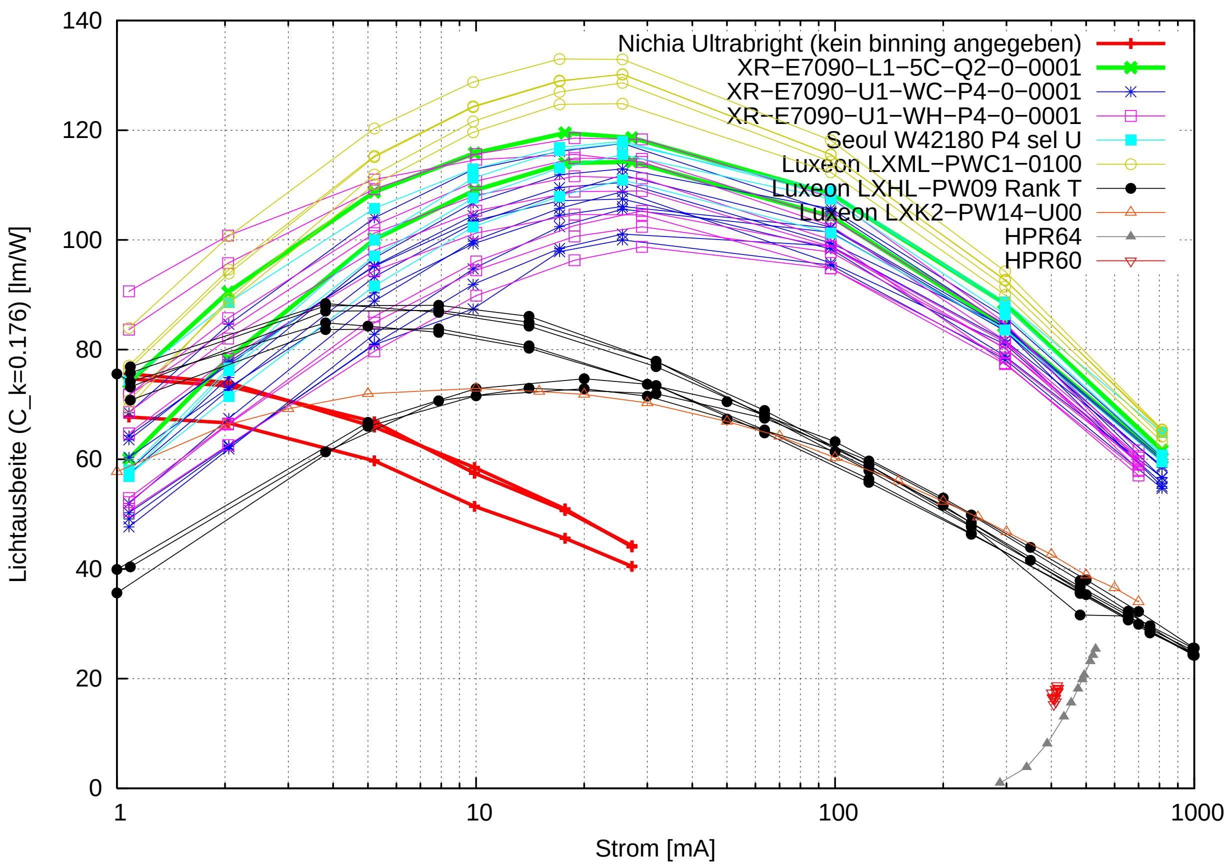


Bild 3.43: Lichtausbeute und -strom einiger LXHL-PW09 und LXHL-DW09, einer K2 und dreier Cree und einiger Philips-Glühlampen

Warum die Sideemitter (DW09) trotz identischen Chips sowohl hier wie nach den diversen Luxeon-Datenblättern einen geringeren Lichtstrom aufweisen als die Lambertstrahler ist noch nicht ganz geklärt. Ein Vermutung legt nahe, daß ein Teil des Lichtstromes nach hinten auf die Fassung fällt und entweder nicht von der Meßtechnik erfaßt und/oder von dem schwarzen Kunststoff adsorbiert wird.

Die Dioden in Bild 3.43 sind direkt nebeneinander aus je einem Gurt.

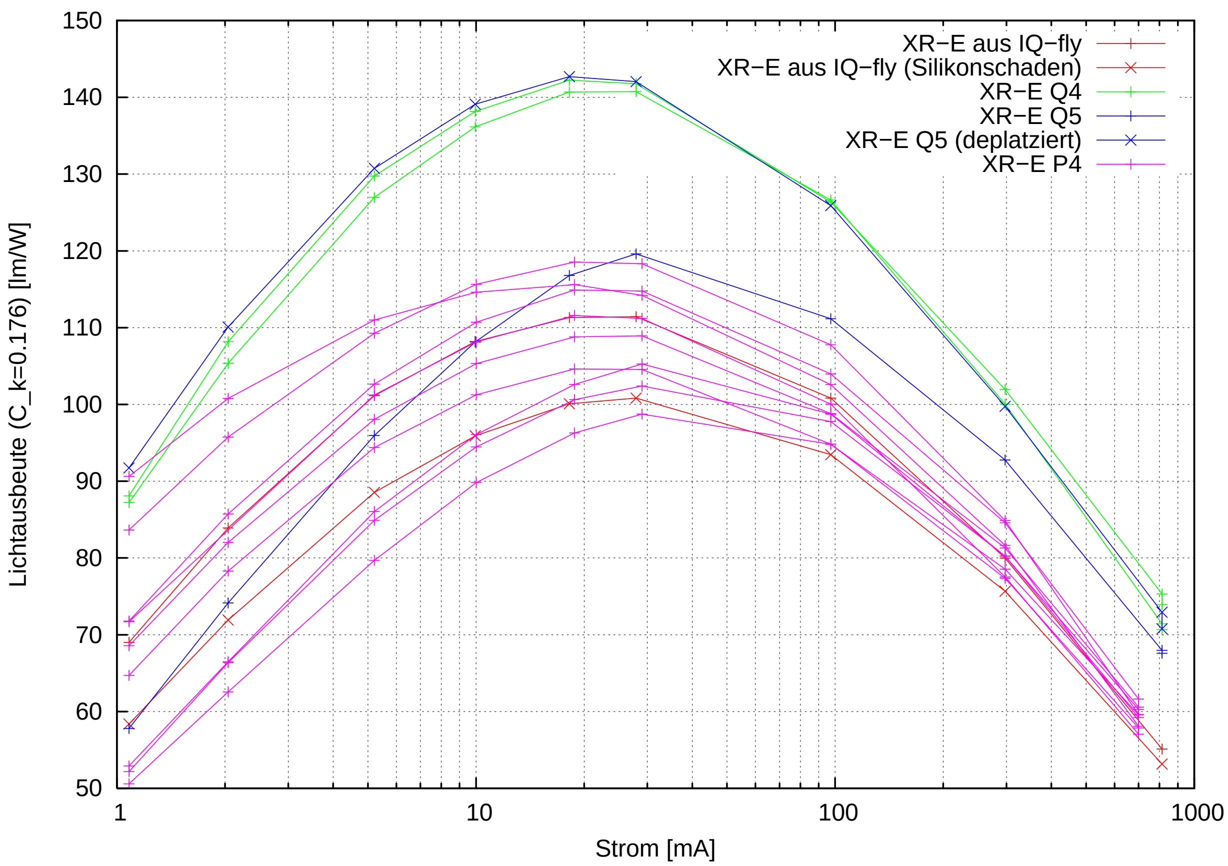


Bild 3.44: Lichtausbeute diverser Cree LED-Sortierungen

Bei der „deplatzierten " Q5 ist sowohl der Kupferring wie der Chip gegenüber dem Keramiksubstrat verschoben. Visuell ist der Chip 0,45 mm außerhalb der Mitte des Ringes. Dies ist muß ein extermer Ausreißer sein. In der Lichtausbeute macht sich daß nicht bemerkbar. Die Lichtausbeute der einen Q4 wird eher durch ein zu hohes Spannungsniveau gedrückt (vgl. Bild 3.46).

Wer immer noch meint, daß LEDs an Konstantspannung zu betreiben seien, möge sich bitte das Bild 3.45 anschauen. Selbst innerhalb LEDs, die nebeneinander im Gurt geliefert werden, bei identischen Umgebungsbedingungen betrieben und vermessen werden, streuen locker um ±100 mV. Oder +100 mV in der Flußspannung der LED, ich rede jetzt noch nicht Spannungskonstanz der Spannungsquelle, macht sich schnell in einer Verdopplung des Stromes und damit mehr als Verdopplung der Leistungsaufnahme bemerkbar. Zumal hier auch noch Temperatureffekte mitwirken.

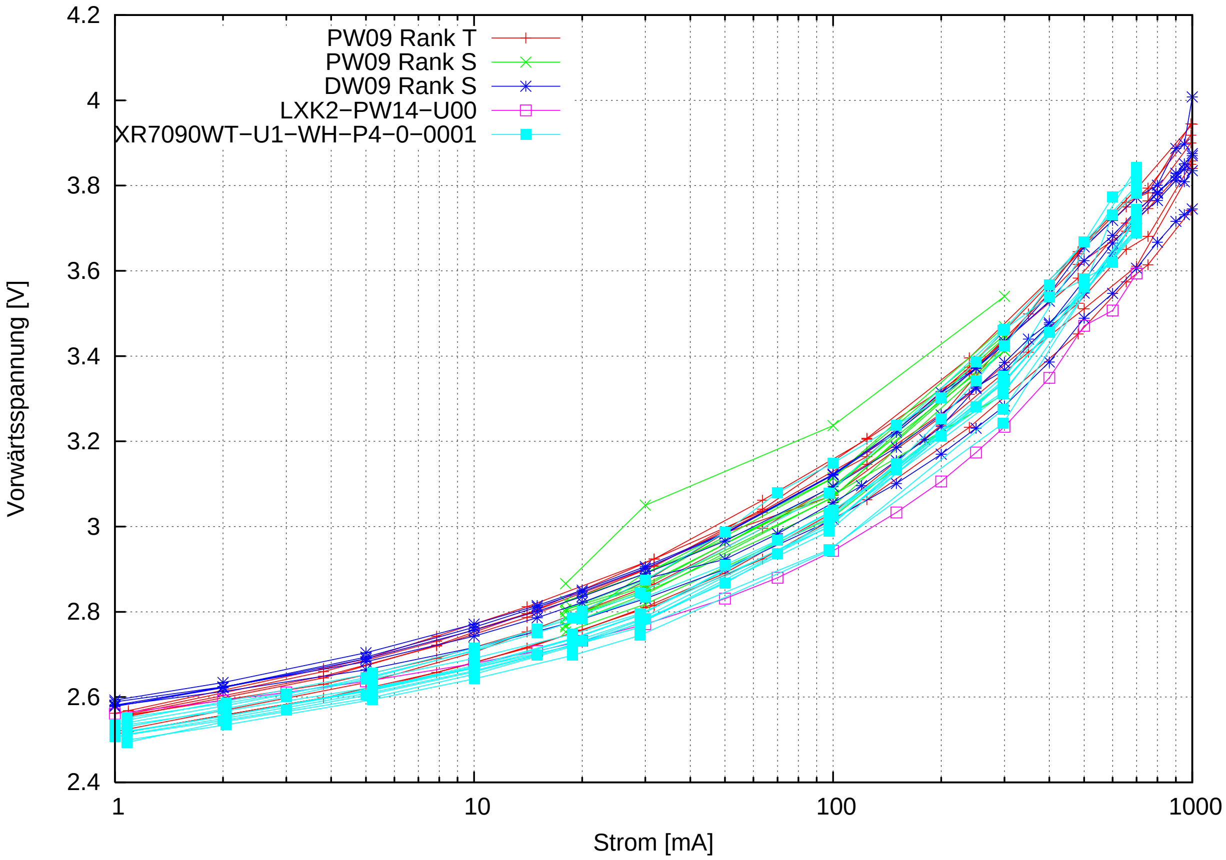


Bild 3.45: Vorwärtsspannung einiger LXHL-PW09 und LXHL-DW09, einer K2 und von 12 XR7090-WT-U1

Und da Statistik für große Zahlen gilt. . . noch mehr Meßarbeit 3.46

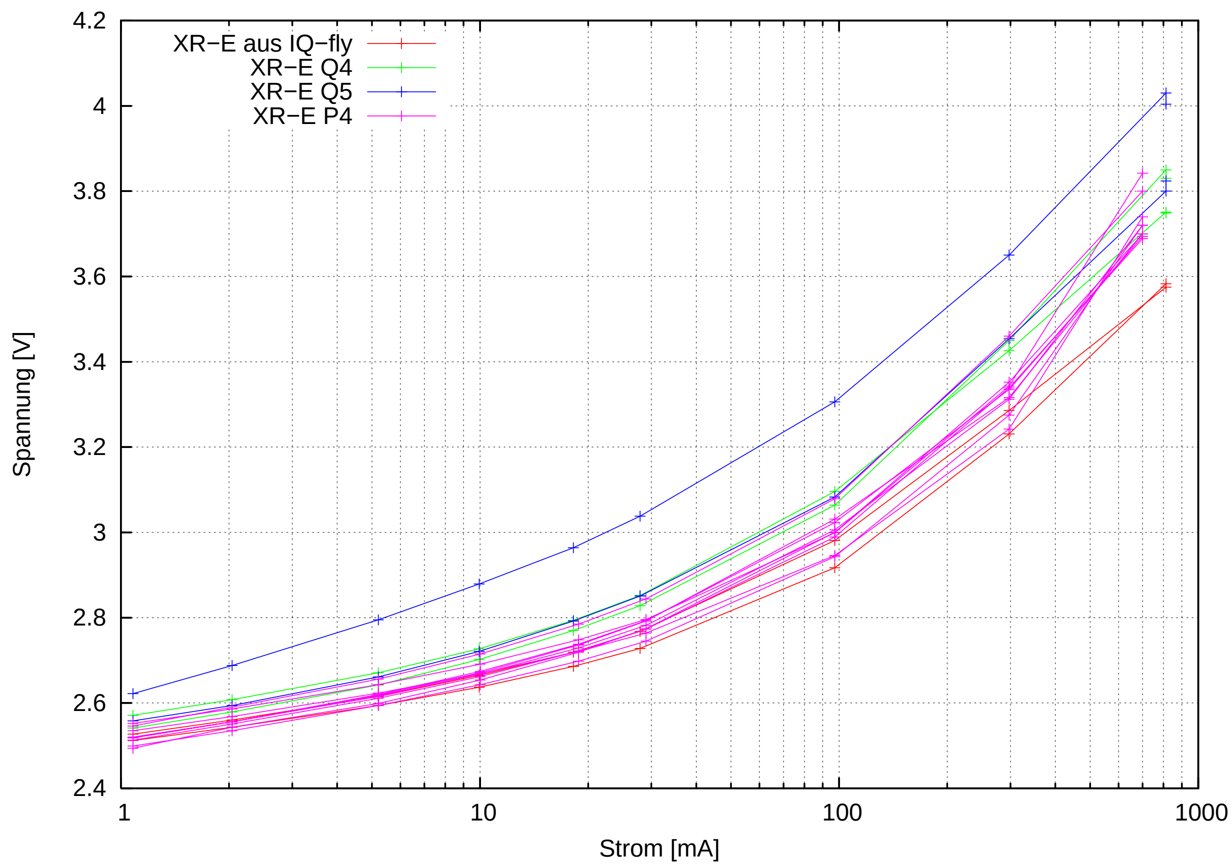


Bild 3.46: Vorwärtsspannung einiger XR7090-WT-U1

Die Crees sind einmal drei und einmal neun nebeneinander in einem Gurt. Die Luxeons sind ebenfalls meist in fünf bis zehn nebeneinander aus einem Gurt. Was in Bild 3.45 noch nicht auftaucht: Der V_f-Shift (s.S. 271).

Es ist derzeit eher ein Lotteriespiel, welche Lichtausbeute man erwischt. Allerdings relativiert sich dies, da im meist verwendeten Bereich über 300 mA die Streubreite nicht mehr so groß ist. Teilt man den Strom von normalen Fahrraddynamos auf zwei LEDs auf, so liefert der Betrieb bei ca. 300 mA mit 27–35 lm/W fast das 1,5–2-fache von Fahrrad-Halogenlampen bei deutlich größerer Lebensdauer. Da die Betriebsspannung ungefähr der von Fahrradhalogenlampen entspricht ist auch die aufgenommene Leistung vergleichbar, der Lichtstrom liegt aber deutlich dadrüber. Zur optischen Verwertbarkeit siehe dann Seite 339 ff.

Die teureren Versionen/Sortierungen *Rank T* lohnen sich für Höhlenforscher, wo es auf Lichterzeugung im absoluten Notfall ankommmt, im Straßeneinsatz ist es herausgeschmissenes Geld.

Auch die Luxeons weisen ihr Optimum nicht beim Nennstrom auf. Bei Strömen weit unter dem

Nennstrom weisen sie die höchste Lichtausbeute auf. Dann sind erheblich bessere Lichtausbeuten als bei Halogenlampen im Überspannungsbetrieb zu verzeichnen. Mal sehen, was die Zukunft bringt.[79]

3.9.3 Abstrahlverhalten von LEDs

Neben schmalen und weiten Keulen (bis hin zum Lambertstrahler) sind mehr oder weniger „deformierte“ Abstahlcharakteristiken zu finden, nennenswert sind hier *Batwing* und *Side-Emitter*. Wie genau die LEDs die Datenblattangaben einhalten kommt auf den Einzelfall an. Die DW09 ist als erste mit dem Goniometer mit 0,1 Grad Auflösung vermessen worden:-)

Lambertstrahler weisen im Polarkorrdinatendiagramm, siehe Bild 3.47 eher eine kreisförmige Intensitätskurve (vgl. PW01) mit einem Maximum nach vorne auf. Batwings haben zwei Maxima[80] und die Intensitätsverteilung ist eher herzförmig (vgl. BW01). Sidemitter haben ein fast zu normal auf der Achse stehendes Maximum und ein mehr oder minder ausgeprägtes Nebenmaximum nach vorne heraus (vgl. DW03 und DW09).

---

[79] November 2006: *Shit*, weiß nicht mehr, wann ich diesen Satz geschrieben hab, ist durch die Cree XR7090-WT-01 wohl bestätigt.

[80] Eigentlich nur eines, aber ringförmiges.

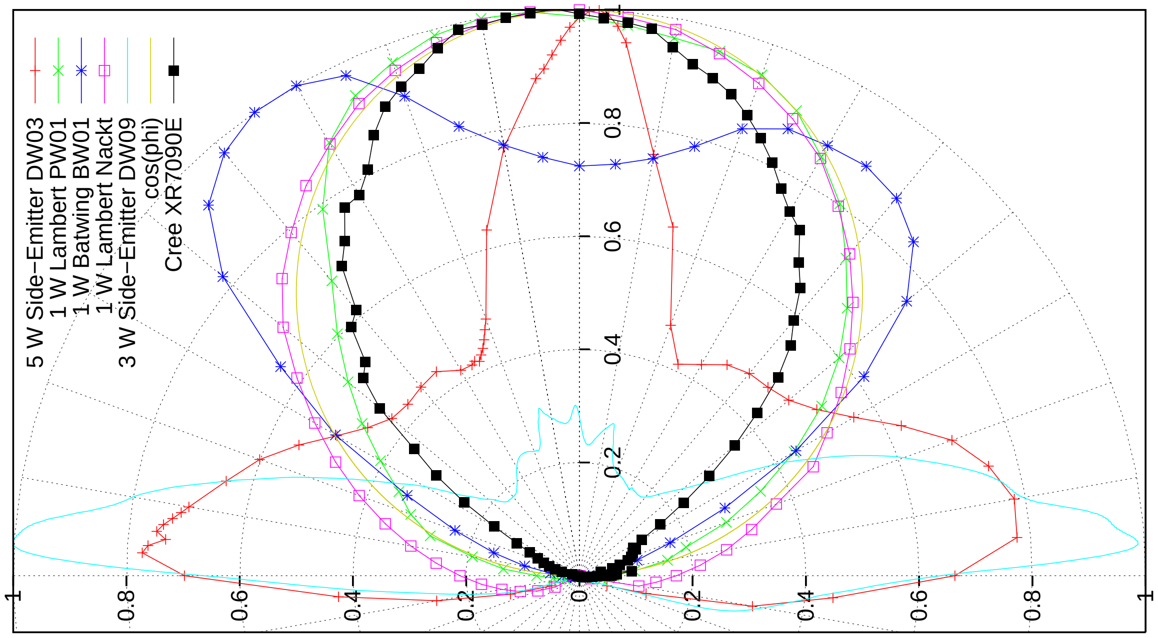


Bild 3.47: Normierte Abstrahlung einiger LEDs (polar aufgetragen)

Interessanter für die Auswahl des zur Abstrahlcharakteristik der LED passenden Reflektors ist aber eher die Betrachtung der Lichtstromsummenkurve bzw. des Zonenlichtstromdiagrammes (vgl. Bild 3.36) interessant. Dessen direkte Anwendung ist z.B. im Nomogramm auf Seite 425 vorgestellt.

Der Sinnspruch: „Der Unterschied zwischen Theorie und Praxis ist in Praxis meist größer als in der Theorie“wird mal wieder durch Bild 3.48 bestätigt.

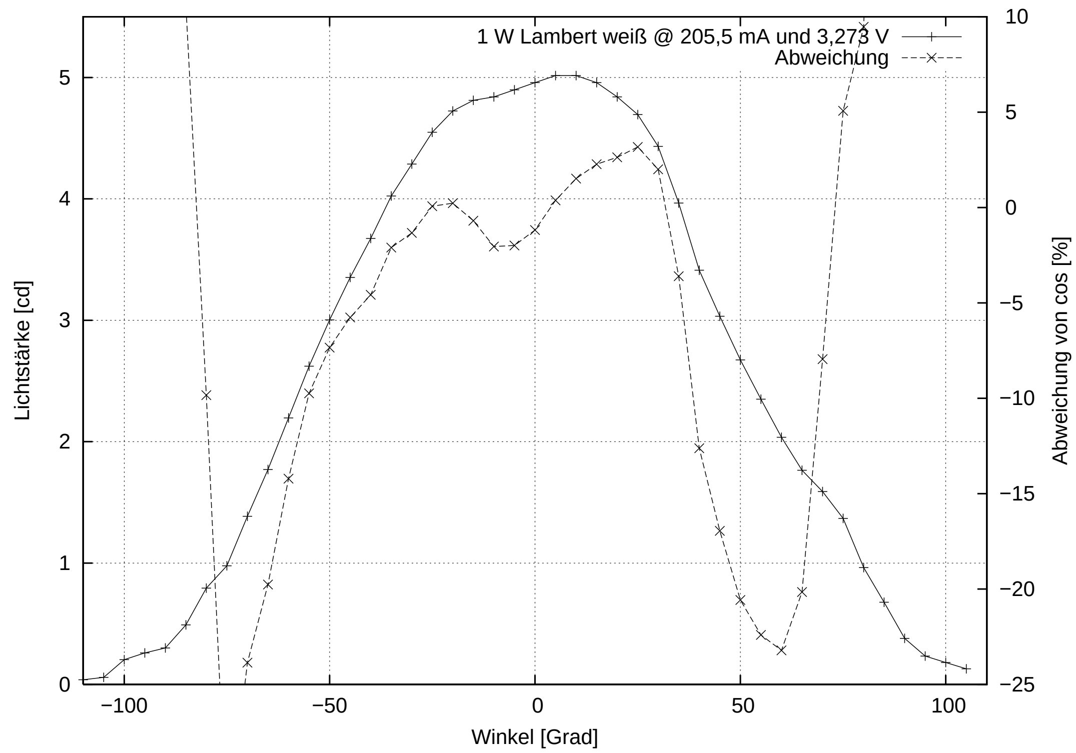


Bild 3.48: Lambertstrahler (hier Luxeon 1 W weiß)

Ob LEDs in existierende HS3-Scheinwerfern sinnvoll eingesetzt werden können ist unter anderem auch eine Frage der Ausdehnung der emittierenden Fläche. Hierbei sind sowohl die reale Chipfläche, mit einer Meßlupe an zerbröselten, nackten LXHLs gemssen, als auch die visuelle Größe von LEDs mit Optik (Side-Emitter, Batwing und Lambert), zurückgerechnet aus dem Vergleich der Projektion von LEDs mit Optik und von nackten LEDs, aufzuführen. Nebenbei ist noch die Überdeckung des emittierenden Phosphors von Interesse. Zum Beispiel haben die Luxeon I eine Phosphorüberdeckung, die deutlich größer als der Chip ist. Bei Luxeon II ist nur der Chip mit Phosphor bedeckt. Es wird die Grenze des leuchtenden Phosphors genommen, nicht die des Chips.[81]

[81]Das ist auch das, was Zone 1 versaut.

Tabelle 3.26: Kantenlänge von LED-Chips [mm]

LED		Generation	α 0	45	90	h_{90}	h_0	t_{Phospor}
			Luxeon					
1 W	nackt	II	1,3×1,3	?	1,3×0,5			
	SE		?	?	?			
	Lambert	II	1,8×1,8	?	1,8×0,5			
	Batwing	*I*	D 2,7	D 2,7	2,7×0,7			
3 W	nackt	II	1,2×1,2	?	?1,2×0,5			
	Lambert	II	1,8×1,8	1,6×1,3	1,6×0,3	3,30		0,5
5 W	nackt	II	2,0×2,0	?	?			
	SE	II	0,5×0,5	2,48×1,81	1,53×1,02			
	Lambert	II	3,05×3,05	3,05×3,0	3,05×0,44			0,44
K2			1,7×1,7			3,0		0,4
	nackt							
Rebel			1,55×1,55			0,8	0,95	0,18
	nackt							
			Cree					
XR7090-WT-U1			1,68×1,68	nb	nb			
			1,85×1,85	nb	nb			
	nackt		1,09×1,09		nb			
	nackt		1,0×1,0		nb			
XP-E			1,41×1,41			0,85	0,6	
XP-G			1,97×1,97			0,92	1,0	
MC-E	4x		1,62×1,62					
			Seoul					
SSC P4						2,60		
SSC P7	4x		1,05×1,05					
			Spalt 0,5					

Was spätestens bei den Projektionen auffällt: Gerade bei den Side-Emittern wandert, je nach Blickwinkel, der Schwerpunkt der emittierenden Fläche über die optische Achse. Dies macht die Implantation in existierende Scheinwerfer nicht einfacher. Die Höhe h_{90} ist der Abstand Rückenfläche–Vorderseite Phosphor, visuell von der Seite bestimmt. Die Höhe h_0 direkt von vorne, möglichst scharfer Eindruck im Zentriermikroskop (Mattscheibenprojektion in einem Zeiss…)

Die K2 ist hier zwar geringfügig kleiner als die PW09. Andere Messungen zeigen leicht größere Chipflächen. Hier dürften Formabweichungen der relativ weichen Silikonlinse der K2 ursächlich sein.[82].

[82]Könne man auch zu adaptiven Leuchtweitensteuerung mißbrauchen:-)

Zumindest ein Exemplar der K2 zeigt einen deutlich stärkeren Hof bzw. Streuung im Silikon als bisher von den anderen Luxeon LEDs mit hartem Acrylglasdom gewohnt.

Die Cree zeigt einen deutlichen ringförmigen Hof durch den Ring, der den Chip umgibt. Der Lichtstrom dieses Hofes sollte allerdings hinreichend gering sein um nicht zu sehr zur Blendwirkung beizutragen. Von der Seite ist die Cree nicht zu bestimmen, da der Ring („Reflektor“ laut Datenblatt) den Chip verdeckt. Die Kuppel ist 4,3 mm über der Rückfläche des Keramiksubstrates hoch, der Reflektor endet bei 2,32 mm.[83] Bedingt durch die Fertigungsstreuung der Glaslinse scheint es zu unterschiedlichen visuellen Chipgrößen zu kommen. Dies wird sich dann aber auch in unterschiedlichen Intensitäten der LEDs äußern.

Die Chipgröße selber wird bei der Cree XR-E mit $0{,}98 \pm 0{,}025$ mm angegeben.[84]. Ohne Glaslinse, frontal durch das Silikon mit Meßuhr am Kreuztisch und Zentriermikroskop werden an einem Exemplar $1{,}00 \times 1{,}00$ mm gemessen. Von der Chipfläche sind noch zweimal 0,1x0,1 mm große Flächen in zwei Ecken abzuziehen, dort sitzen bei der Cree die Bond-Drähte.

Bei der Cree MC-E sind die leuchtenden Flächen der Chips, von vorne betrachtet, ca. 0,2 mm entfernt. Die dunklen Bonding-Flächen, zwei je Chip, sind ca. $0{,}35 \times 0{,}35$ mm^2 groß und seitlich angeordnet. Die gesamte leuchtende Fläche mißt $3{,}5 \times 3{,}5$ mm^2. Kleine Strukturen von 0,015 mm sind auf den Chips zu sehen. Der „Glas“dom hat einen Durchmesser von 6,2 mm und eine entsprechende Vergrößerungswirkung. Ein „nackte“bzw mit planer Front versehene MC-E dürfte interessant sein.

An einer Cree wird durch einen Montageunfall die Glaslinse abgeschoben, ohne das Silikon zu trüben. Danach noch Aluspäne beim weiteren Bearbeiten des Kühlkörpers auf das Silikon aufgebracht und mit einer Pinzette abgeschoben (kleben erstaunlich gut). Mit dieser werden dann die Lichtströme in unterschiedlichen Malträtierungsstufen gemessen (vgl. Tabelle 3.27).

Tabelle 3.27: Lichtstrom einer Cree XR-E (bezogen auf Lieferzustand=1)

Zustand	Lichtstrom [-]
Lieferzustand	1,00
Silikon noch leicht verschmutzt, Linse wieder drauf	0,51
Silikon noch leicht verschmutzt	0,607
Silikon weitestgehend entfernt	0,679
Linsenhaltering entfernt	

Die Crees lassen sich deutlich schlechter *nacktisieren* als die Luxeon-LEDs. Das Silikon ist deutlich klebriger als bei den Luxeons, und die Linse aus ihrer Tasche herauszukriegen ist auch Geduldsarbeit. Insofern ruhig die LED so lassen, wie sie daherkommt.

[83] Laut extern durchgeführter Rasterelektronenmikroskopie ist das Lot, mit dem der SiC-Chip auf der Keramik befestigt ist ein Gold-Kupfer-Lot. Der eigentliche, ca. einen Mikrometer dicke, GaInN-Chip sitzt auf diesem SiC-Chip.

[84] Datasheet CPR3CR, Rev. -

Nach ersten Beobachtungen ist der Halbwertswinkel bzw. das Zonenlichtstromdiagramm bei der XR-E in den unterschiedlichen Sortierungen nicht unterschiedlich. Egal ob P4 oder Q5, die Schnitte sehen vergleichbar aus. Bis $\pm 60°$ bzw. $0{,}15 I_{\max}$ genügt eine Annäherung in der Form

$$I(\varphi) = I_{\max} \cos(1{,}4\varphi) \tag{3.63}$$

aus. Damit hat man laut Bild 3.36 schon ca. 90 % des verfügbaren Lichtstromes eingesammelt. Die restlichen 10 % verteilen sich bis +-95° .

3.9.4 EverLED

Von Ralf Geiger wird eine gebrauchte aber intakte weiße EverLED zeitweise zur Verfügung gestellt.

Verbaut ist anscheinend eine Luxeon LXHL-DW01 (1 W-Sideemitter mit einem internen Schaltregler im PX13.5-Sockel. Die Ausrichtungskerbe muß alledings ein bißchen breiter gefeilt werden, damit die EverLED z.B. in BiSy-FL-Reflektoren paßt. Dadrinn wird eine ziemlich gute Ausleuchtung erzeugt. Jedoch ist dadrauf zu achten, daß die Auflagefläche plan ist.

Von der Seite gesehen sind ab der Referenzebene[85] bis zum Begin des Phosphors 5,43 mm, hellsten Stelle 6,65 mm , Diabolo-zentrum 7,48 mm und der „Glas“körper ist bei 8,43 mm zuende.

Die Messungen erfolgen in der Ulbrichtkugel. Die Temperatur wird am Sockel der EverLED gemessen. Es wird langsam hochgeregelt. Anschließend wird der Startbereich des Wandlers bei ca. 1,5 V mit mehreren Messungen von oben und unten herantastend gemessen. Deswegen auch die stark wechslnde Temperatur.[86]

[85] Vorderseite Auflagefläche bzw. Flansch.
[86] Umgebungstemperatur 21 Grad Celsius.

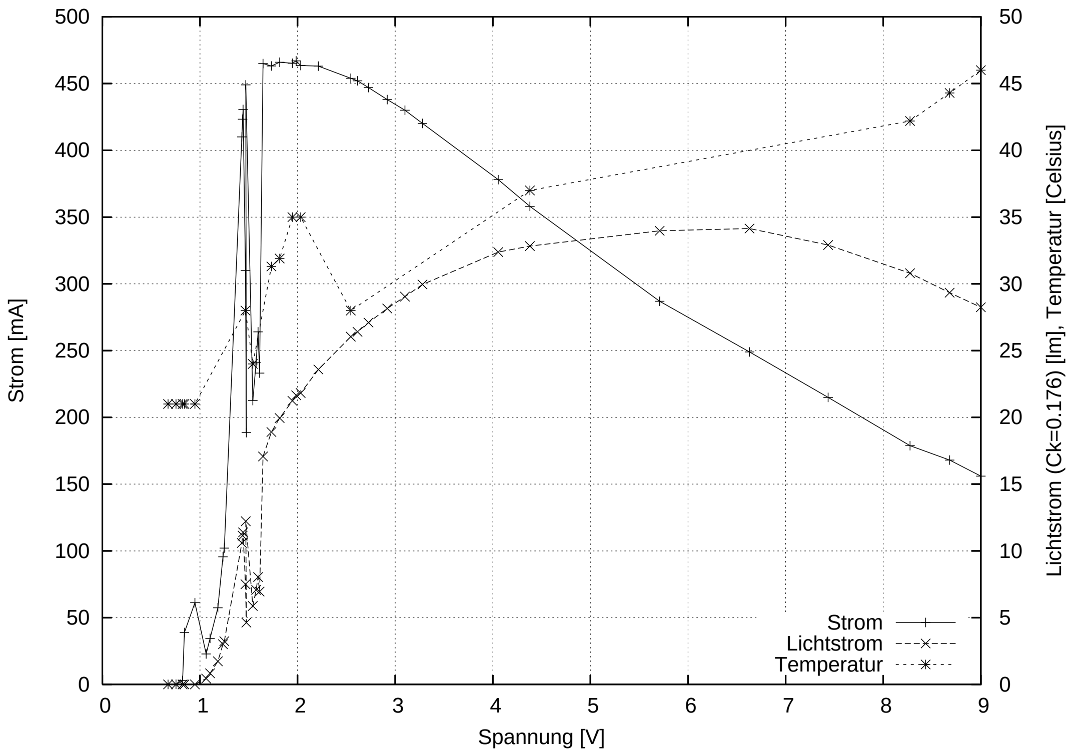


Bild 3.49: Abhängigkeit von Strom und Lichtstrom der EverLED

Eine Wirkungsgradmessung des Wandlers wird nicht vorgenommen, da dies elektrisch nur durch zerstörende Maßnahmen möglich wäre: Die Anschlüsse der LED sind nicht zugänglich.

Der Schaltregler arbeit mit einer variablene Frequenz. Von ca. 300 kHz bei 3 V bis 1,6 MHz bei 9 V.

3.9.5 Widerstand etc.

LEDs haben **keinen** linearen, geschweige denn einen konstanten Widerstand. Für theoretische Überlegungen ist ein funktionaler Zusammenhang wünschenswert. Leider streuen LEDs stark in ihrem elektrischen Verhalten (vgl. Bild 3.45) und damit auch die Parameter der Approximation. Hier wird eine mittlere Kurve von zwölf getesteten Cree XR7090-WT-U1 (XR-E) verwendet.

Grundlage ist die für „normale" Dioden gut zutreffende Exponentialfunktion für $I(U)$, der für LEDs ein Serienwiderstand (dI) hinzugefügt werden sollte.

$$U(I) \quad = \quad \frac{\ln(I/a) + c}{b} + dI \tag{3.64}$$

$$R(I) = U/I = \frac{\ln(I/a) + c}{bI} + d \tag{3.65}$$

$$I(U) = \tag{3.66}$$

Mit $a = 3{,}03178 \cdot 10^{-19}$, $b = 15{,}0063$, $c = 2{,}00675$ und $d = 1{,}13475$ für U in Volt, I in Ampere und R in Ohm ist die Annäherung schon recht gut (vgl. Bild 3.50)

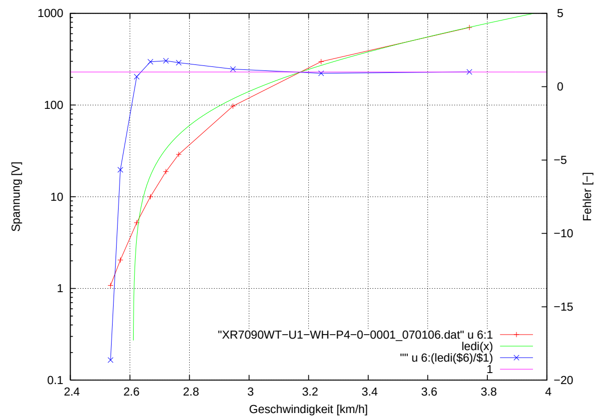


Bild 3.50: Spannung über Strom einer XR7090-WT-U1

$$I_{\text{Cree exp}} = \tag{3.67}$$

$$\tag{3.68}$$

Damit ist dann über $R = U/I$ der Einsatz in Gl. 2.1 möglich. Wobei noch der Gleichrichter etc. zu berücksichtigen wäre. Siehe hierzu Seite 539

In technisch interessanten begrenztem Bereich zwischen ca. 0,001…0,8 A kann auch folgender Zusammenhang verwendet werden:

$$R(I) = 3{,}6 I^{-0{,}94} \tag{3.69}$$

Die Parameter sind passen bei je vier Luxeon Rebel, vier Seoul P4 und zehn Cree XR-E hinreichend gut (vgl. Bild 3.51).

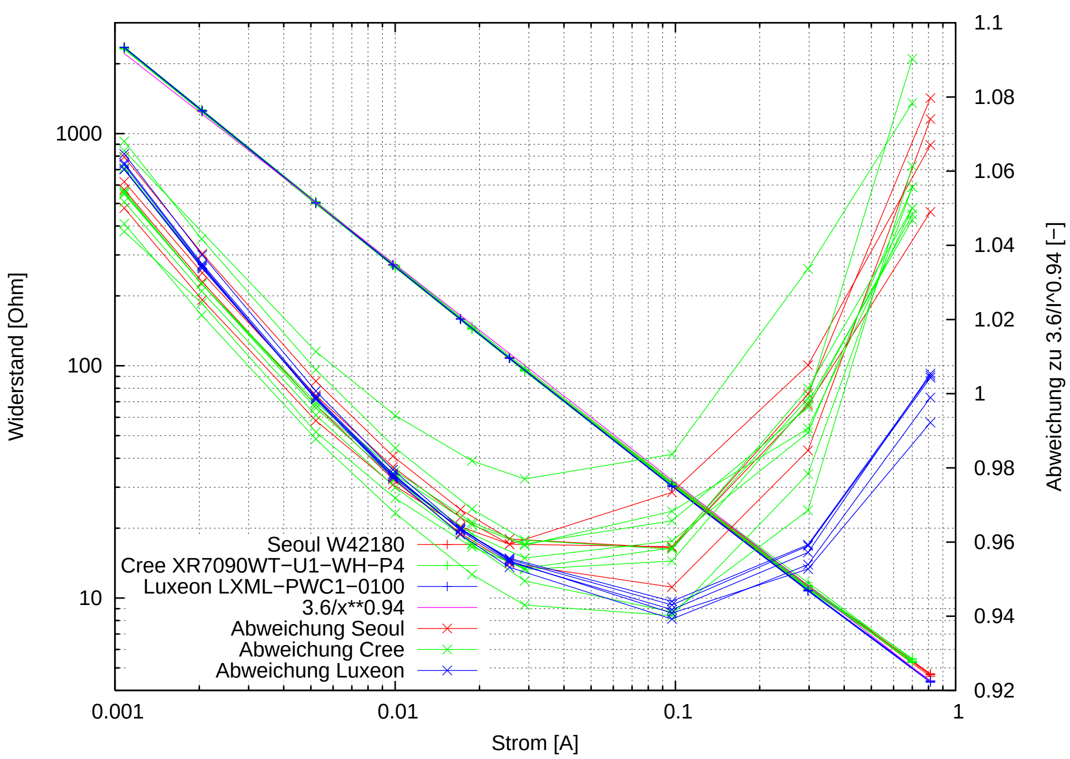


Bild 3.51: Widerstand von LEDs als Funktion des Stromes

Auch die die Helligkeit bzw. der Lichtstrom kann über die Spannung bzw. Strom angegeben werden. Jedoch bietet sich hier eher eine Bezug an, z.B. auf den bei 500 mA. Dann Der Verlauf ist für 2007/2008 aktuelle LEDs Cree XR-E, Luxeon Rebel und Seoul P4 nahezu identisch (vgl. Bild 3.52).

$$\Phi(I)/\Phi(500\,\text{mA}) = -0{,}0012 + 2{,}56I - 0{,}883I^2 \tag{3.70}$$

Mit U in Volt, I in Ampere und Φ bezogen. Weitere Approximationen sind auf Seite F.9 in Bild F.9 aufgeführt.

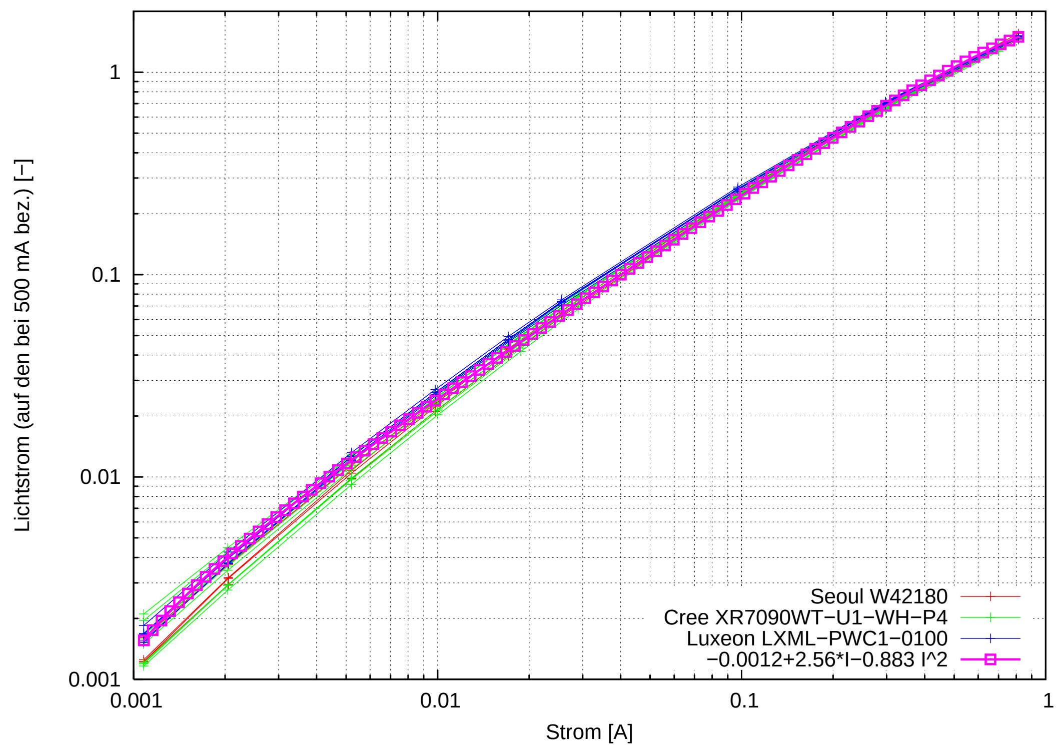


Bild 3.52: Lichtstrom von LEDs als Funktion des Stromes (bezogen auf den bei 500 mA)

Mit diesen Formeln, denen aus Abschnitt 2.1 bzw. F.1, J und 3.9.8 sollte dann eine hinreichend genaue funktionale Beschreibung des Verhaltens der Lichtanlage gegeben sein.

3.9.6 Alterung von Leuchtdioden

Die Lebensdauer einer LED kann nach [Reisch] berechnet werden. Dabei ist $\Phi(t)$ der Lichtstrom in Abhängigkeit vom Lichtstrom zum Neuzustand, MTBF[87] die Zeit, nach der der Lichtstrom auf die Hälfte des Ursprungslichtstromes gefallen ist.

$$\Phi_v(t) = \Phi_v(0)\mathrm{e}^{-\beta t} \tag{3.71}$$

$$\mathrm{MTBF} = \frac{\ln 2}{\beta} \tag{3.72}$$

$$\beta = \beta_0 I \mathrm{e}^{-W_A/kT} \tag{3.73}$$

$$\kappa = \frac{\mathrm{d}\Phi_e}{\mathrm{d}I} \tag{3.74}$$

[87] Mean Time Between Failure

mit der Betriebstemperatur T und dem Flußstrom I und der Modulationssteilheit κ. Die ausgesandte Strahlleistung ist Φ_e, W_A liegt zwischen 0,5. . . 0,8 eV.

Das führt dazu, daß bei Stromerhöhung die Lebensdauer zuerst linear abnimmt. Da die Stromerhöhung meist auch zu einer Temperaturerhöhung führt sinkt die Lebensdauer stärker als linear mit der Stromzunahme.

Leuchtdioden altern meist nicht so schnell wie Glühlampen. Bei LEDs ohne Phosphorbeschichtung beträgt die MTBF in der Regel bis zu 100000 h. Bei weißen LEDs, die aus phosphorüberzogenen blauen LEDs bestehen, sind Zeiten von 6000 h bekannt. Untersuchungen des LRC haben ca. 5000. . . 9000 h bei Nennstrom und ca. 2000 h bei 2,5-fachen Nennstrom ergeben. Je höher die Umgebungstemperatur, desto kürzer ist die MTBF bzw. desto geringer der zulässige Strom bei gleicher MTBF.[88] Einige Hersteller liefern LEDs speziell für die Lichterzeugung im Straßenverkehr, z.B. Autorücklichter, die gezielt mit höheren Strömen betrieben nur noch 1000 h erreichen (z.B. die HPWL-BD01 von Agilent). Damit ist die MTBF meist größer, als während eines Auto- oder Fahrradlebens erforderlich.

An der Abschwächung des Lichtstromes haben zu unterschiedlichen Teilen mehrere Effekte Anteil:

- Trübung des LED-Gehäuses (Epoxidharz) durch UV-Bestrahlung (vom Chip und Sonnenlicht).
- Umdotierung des LED-Chips durch die hohen Stromdichten.
- Bei weißen LED erfolgt eine Degradierung des Phosphors, u.a. durch die UV-Strahlung.

Wie stark die Effekte sind ist noch Thema der aktuellen Forschung (nein, nicht meiner:=)[89]. Auch werden meist keine Aussagen über den zeitlichen Verlauf (progressiv, linear, degressiv) gemacht. Nähere Informationen sollten z.B. beim Lighting Research Centers (LRC) des Rensselaer Polytechnic Institute www.lrc.rpu.edu zu finden sein.

3.9.7 Umwelteinflüsse auf die Alterung von Leuchtdioden

Die Lebensdauer für LEDs wird i.A. als die Zeit angegeben, in der der Lichtstrom auf 50 % des Startwertes abgefallen ist. Ursächlich sind bei weißen LEDs:

- Die Alterung des Chips selber.
- Die Alterung des Konverter-Phosphors.
- Die Alterung bzw. Vergilbung des Gehäuses/Einkapselung.
- . . .

[88] Ein Diagramm findet sich z.B. in den Unterlagen der LW T 673 von Infenion.
[89] Da war Stand 2000. Im 2005 dann doch auch meiner. . .

Teilweise werde die Daten über die Alterung bzw. Degradation in den Datenblättern der Hersteller angegeben. Aber meist nicht bei den hier relevanten Betriebsbedingungen.

Ziel ist es, nähere Daten über das Alterungsverhalten von Luxeon-LEDs zu erhalten. Das Augenmerk liegt dabei auf das Verhalten von Phosphor und Halbleiterwerkstoff bei „nacktem“ Betrieb. Der „nackte “ Betrieb hat den Vorteil, daß die visuelle Emitterfläche gegenüber den normalen Lieferformen *Lambert* und *Batwing* deutlich geringer ausfällt und die wirksame Leuchtdichte damit ansteigt. Dies ist für leistungsfähige Scheinwerfer mit begrenzten Abmessungen notwendig.

Nur ist dann sowohl der Phosphor als auch der Chip den Witterungseinflüssen mehr oder minder direkt ausgesetzt. Hierüber sind in den Datenblättern keine Angaben zu finden. Mit den unten vorgenommen Messungen soll dem abgeholfen werden.

Durch den abrupten Sprung des Brechungsindexes der nackten LED wird die Lichtausbeute ungefähr um 15 % reduziert. Aber die höhere Leuchtdichte kompensiert diesen Effekt: Die maximale Intensität des Scheinwerfers steigt, die Halbwertsbreite sinkt.

Die Versuchdauer zwischen den unterschiedlichen Härtestufen wird mit voraussichtlich 1000 h relativ kurz sein. Grund sind die verfügbare Zeit und auch das Ziel: Einsatz im Fahrradscheinwerfer. Soweit ich weiß werden selbst Autoscheinwerfer auf <10k Stunden ausgelegt (Soweit ich mir erinner, mit der Begründung, daß D2S/D2R-Lampen länger halten würden als ein durchschnittliches Autoleben). Außerdem sind sonst belastbare Meßergebnisse erst verfügbar, wenn die übernächste LED-Generation *in* der Tür steht.

3.9.7.1 Versuchsaufbau

Es werden zwei Versuche gefahren:

1. Zuerst gestartet wird eine Kaltversuchsreihe. Zeitweise wird versucht in diese nachträglich eine Warmversuchsreihe zu integrieren. Aufgrund von Problemem wird dann jedoch im
2. Mai 2006 wird eine Warmversuchsreihe parallel gestartet.

Daraus folgen unterschiedliche Handlungsstränge und Versuchsaufbauten.

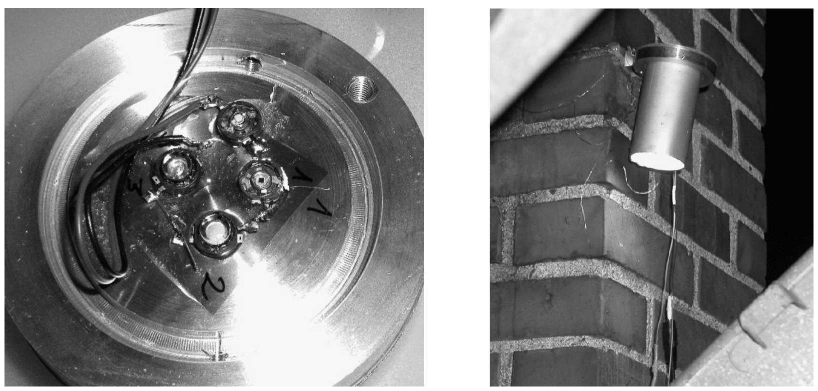
3.9.7.1.1 Kaltversuch Vier Luxeon-LEDs sind mit 5-Minuten-Epoxidharz auf eine ca. 13 mm dicke Aluminiumscheibe (AlMgSi) mit einem Durchmesser von ca. 90 mm aufgeklebt. Als Isolator wird eine 0,025 mm dicke PI-Folie[90] verwendet. Während des Klebens sind die LEDs angedrückt um eine möglichst dünne Klebung zu erzielen.

Als LEDs kommen zum Einsatz:

[90] Polyimid, Handelsname Kapton.

1. Luxon I Batwing, weiß, 1 W (beim nacktisieren komplett entphosphort)
2. Luxon I Batwing, weiß, 1 W
3. Luxon Batwing, rot, 1 W (als Meß-Normal)
4. eine schon nackte Luxeon 1 W III aus einem Basta Pilot Steady (dort nicht nackt)
5. nackte 3 W Luxeon III, Krücke in Isomatte (KiIm), da ein Bonddraht mit 150-Grad-Lot geflickt, mit 60Sn40Pb auf einigen Quadratzentimetern Kupferblech aufgelötet und mit Isomatte soweit isoliert, daß ca. 86–95 °C auf der Blechrückseite erreicht werden. Wird erst nach ca. 2040 h in das Versuchsprogramm aufgenommen. Läuft innen als (Dachbodenbeleuchtung). Nach ca. 10 h hat auch der heile Bondingdraht an der Bondstelle versagt. Damit ist die Diode vorerst nur als ein Meßpunkt verfügbar. Start 19.05.2006, Ende 20.05.2006.
6. nackte 1 W LW1C, auf kleinem Fingerkühlkörper mit Isomatte so isoliert, daß am Slug ca. 75 °C anliegen. Start 20.06.2006.

Eigentlich sollten nur die ersten drei Dioden verwendet werden, dann hätte auch ein in der Grabbelkiste liegendes modifiziertes NEC-Handy-Netzteil ausgereicht. Leider ist beim nacktisieren der schon aufgeklebten ersten Diode die Phosphorschicht am Silikon anhänglicher gewesen als am *silicon* (OK, ist wirklich InGaN:-) So sind es dann vier Dioden und ein *leicht überdimensioniertes* Voltcraft SNG-24-48W geworden.



(a) Versuchsträger (b) Außenanbringung

Bild 3.53: Versuchsausbau Bewitterungstest

Vor direkter Beregnung werden die LEDs durch ein ca. 85 mm langes Alurohr $D_\mathrm{i} \approx 50$ mm geschützt.

Betrieben wird der Cluster mit einem normalen Stecker-Schaltnetzteil. Dessen Ausgang ist auf 15 V geschaltet. Bei einem Vorwiderstand von 4,6 Ω fließen dann ca. 482-557 mA.[91]

[91] Am Anfang 482 mA, durch den V_f-Shift später 556 mA.

Das Schaltnetzteil hängt hinter zwei mechanischen 24-Stunden-Zeitschaltuhren. Die erste ist auf *23:45 an* und *0:15 aus* gesteckt. Die zweite auf wiederholend *2:00 an* und *2:00 aus* gesteckt. So kann sich der Cluster zwischendurch abkühlen und Feuchtigkeit kondensieren. Die erste Zeitschaltuhr sorgt dafür, daß mit der Zeit jede Tageszeit überstrichen wird.

Durch obige Bedingungen ($I > I_{\text{nenn}} = 350\,\text{mA}$) sollte der Test einigermaßen scharf sein.

Inbetriebnahme: 02.12.2005. Sorry, der Schornstein neben der Dachluke mit den LEDs bewegt sich leider relativistisch gleichschnell wie der Rest, also dauert es noch mit Meßwerten:-)[92]

3.9.7.1.2 Warmversuche Nachdem die ersten Versuche, im April/Mai 2006 weiße LEDs in die Kaltversuchsreihe einzugliedern, fehlschlugen (siehe oben LED 5 und 6) wird ein getrennter Warmversuch aufgebaut.

Die fehlgeschlagenen Versuche wurden allerdings mit „waidwunden“ LEDs vorgenommen: Geflickte Bonddrähte und noch heißer als die zuerst hier gefahrenen.

Hierführ wird eine dritte Ulbrichtkugel, die UK3, gebaut.

Die Meßtechnik beruht auf einer AD-Wandlerkarte RTX03b, welche Spannung und Strom der LED, sowie über einen NTC die Temperatur und mit einen LDR den Lichtstrom mißt. Parallel dazu werden mit einer NiCr-Ni-Perle, dem Gigaherz Optik (GO) $X9_1$ und dem GMC29s die Werte zu diskreten Zeitpunkten gemessen und die AD-Werte entsprechend korrigiert. Das Korrigieren ist bisher nur bei dem LDR notwendig. Die NiCr-Ni-Perle ist mit Sekundenkleber direkt neben dem Phosphor an den Chip geklebt und damit an diesen wärmetechnisch relativ gut angeschlossen.

Bisher wird eine nackte PW09 bei 500 mA, auf einem 10 mm Kupferpin aufgelötet, getestet.[93] Die Temperaturen am Pin betragen bis zu 50 Grad, die nahe der Sperrschicht etwa 11 Grad mehr.

Das Versuchsprogramm ist gegenüber dem Kaltversuch leicht abgeändert:

- Eine 24-Stunden-Zeitschaltuhr ist auf eine Stunde an, 15 Minuten aus geschaltet. Eine der An-Perioden ist etwas länger um die 24 Stunden aufzufüllen.
- Der Betriebsstrom beträgt derzeit 500 mA; geregelt durch das auf Stromregelung umgebaute NEC-Handy-Ladenetzteil.

3.9.7.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse kommen langsam rein und werden dann halt ergänzt.

[92] Folge des Versuchsaufbaues: Hausmitbewohner und Passanten gucken komisch und stellen wirre Fragen.
[93] Überbleibsel aus den ersten Touchdown/FL-Halbe-Versuchen.

3.9.7.2.1 Kaltversuch Die Dioden werden in unregelmäßigen Abständen in einer kleinen Ulbrichtkugel (UK2, $C_K \approx 0{,}0315$) vermessen. Der Meßstrom beträgt dabei ca. 99.5-100 mA. Das reicht für diesen Zweck und hat keine nennenswerte Erwärmung zur Folge. Muß nur von Messung zu Messung beibehalten werden, da die Lichtausbeute von LEDs stark abhängig vom Strom ist.

Zum Vergleich die Betriebsdaten der Dioden bei Versuchsstart.

Tabelle 3.28: Lichtausbeute [lm/W] bei Versuchsstart bei ca. 100 mA

Diode	Lichtausbeute
1	15,55
2	32,74
3	32,66
4	25,82
5	24,13

Zur besseren Vergleichbarkeit sind die Werte auf die Lichtausbeute bei Versuchsstart bezogen.

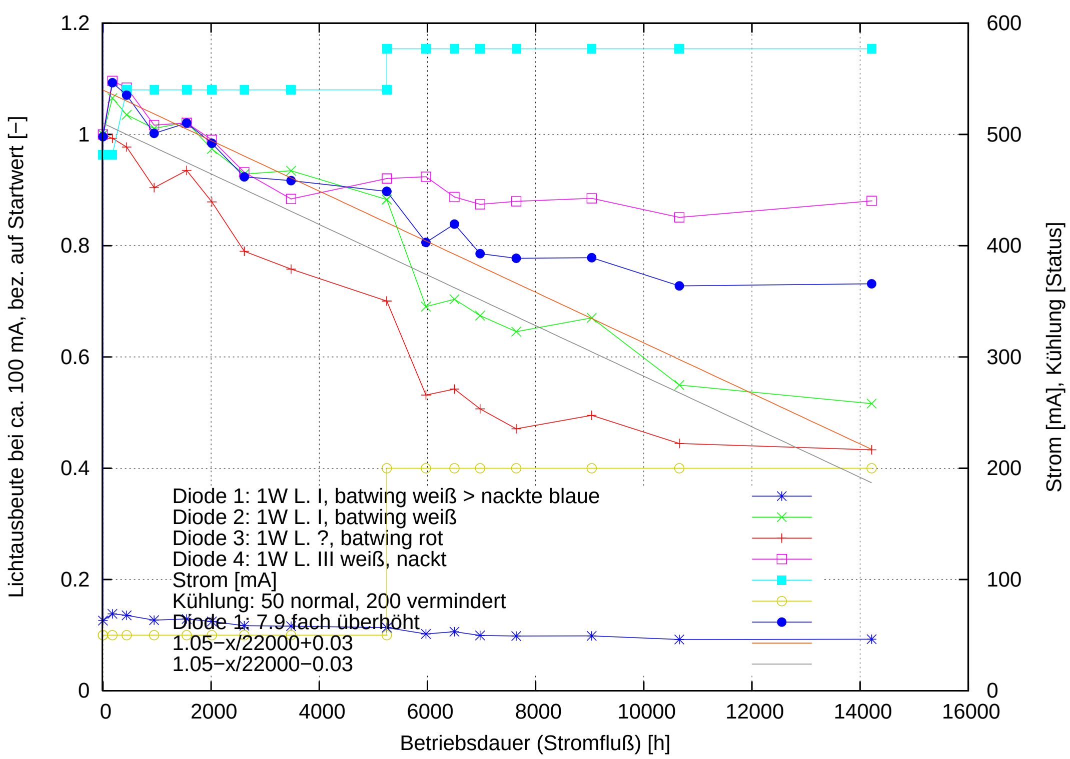


Bild 3.54: Alterung der LEDs im Bewitterungstest

- Nach 174 Stunden: Die Ergebnisse streuen zu stark? Scheint der Regelfall zu sein. Man schaue nur in den *application brief* AB07 von Luxeon.

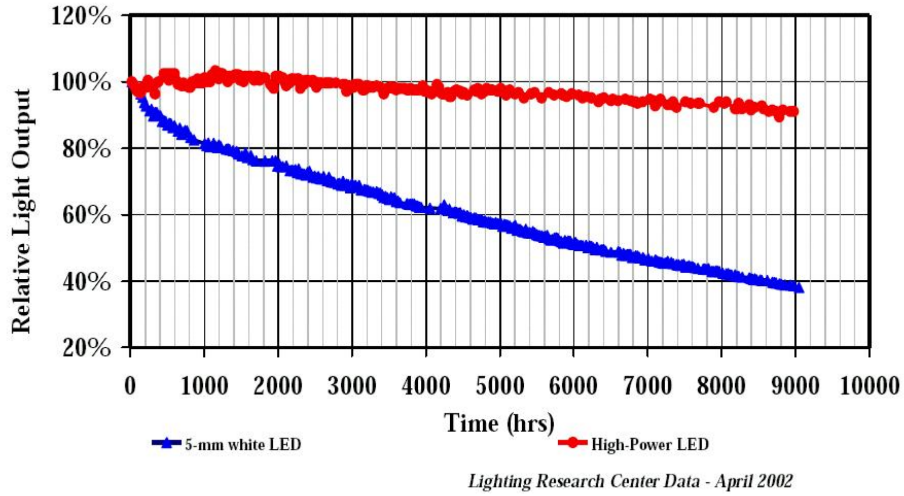


Bild 3.55: Alterung laut Luxeon *Application Brief* AB07

- Nach 440 Stunden: Wenn nach 1000 Stunden sich keine nennenswerte Verschlechtung zeigen sollte, dann werden die Daumenschrauben angezogen: Strom wird gesteigert. Sollten die LEDs der Folter nach weiteren 1000 h immer noch grinsend begegnen, dann wird die Kühlung verschlimmert und der eintreffende Sommer wird mir dabei helfen:-)[94]

- Nach 947 Stunden: Es scheint sich ein Trend herauszustellen. OK, Verschärfung der Betriebsbedingungen frühestens nach 2000 Stunden?

  Der Anstieg bis ca. 200 Stunden scheint ein V_f-Shift zu sein. Der Abfall der Durchbruchspannung überkompensiert hier noch andere Alterungseffekte.

  Die Spannungen sind dabei allgemein mit $U_{\text{Korr}} = U_{\text{gemessen}} + 1{,}77\text{mV}/{}^\circ\text{C}(t - 20)$ auf 20 °C korrigiert. Bei der roten LED könnte das noch zuwenig sein. Notwendig wurde diese Korrektur im Sommer beim 2600 h-Meßwert.

[94]So, genug Honigtöpfe ausgelegt:-)

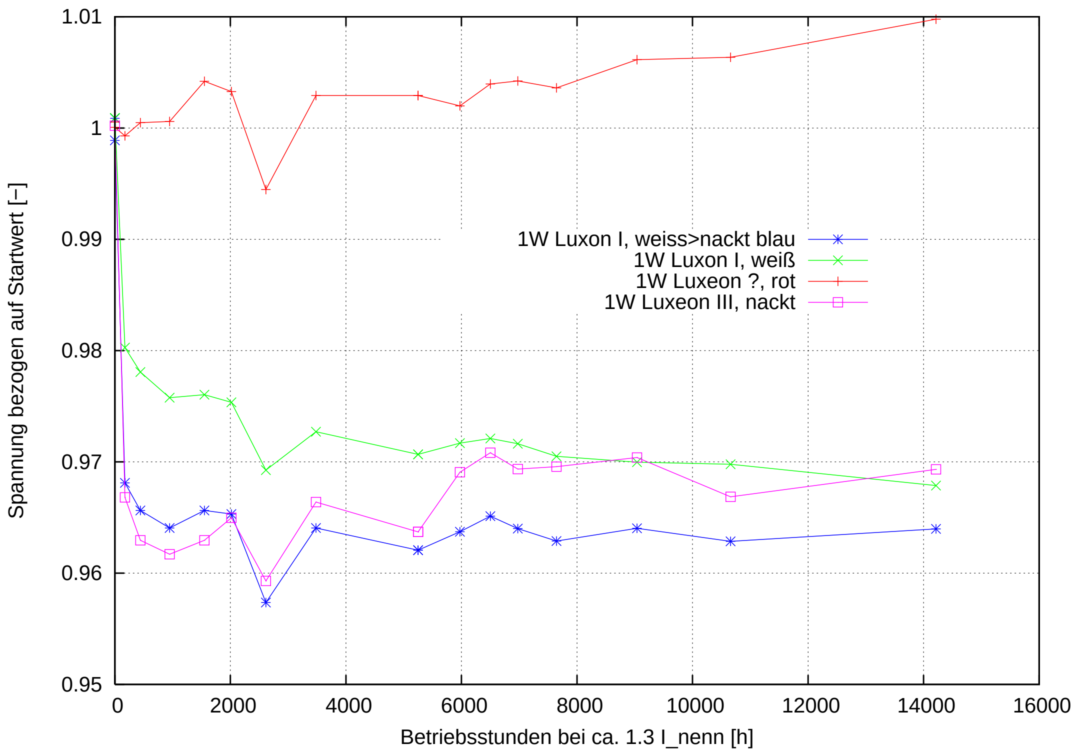


Bild 3.56: V_f-Shift der LEDs

Erst nach ca. 200 h scheint der V_f-Shift-Vorgang nahezu abgeschlossen zu sein und die anderen Alterungseffekte sind bemerkbar. Nachtrag aus den AD-Messungen des Heißtests: Es scheint eher eine sich fortsetzender Prozeß zu sein.

Auffällig ist, daß nur die blauen Chips (InGaN) den V_f-Shift aufweisen, die rote (OK, es ist nur eine) (AlInGaP) jedoch nicht.

- Nach etwa 2000 h kann der Lichtstromverlust mit ca. 6 %/1000 h bei den LEDs angenähert werden. Für die weiß>blau „genackte“ (LED1) sind es eher 0,7 %/1000 h.

- Nach etwa 2700 h wurden temporär die Zeitschaltuhren entfernt, da im Sommer eh nicht mit Kondensation zu rechnen ist.

- Nach 5250 h wird der Test verschärft: Ab in das Badezimmer als Dauerlicht in der dunklen und kalten Jahreszeit und weg mit dem Alurohr. Dies führt relativ schnell zu einer 60 °C heißen Aluscheibe. Also mehr als im Heißversuch (siehe unten). Zumal hier die LEDs mit 0,025 mm PI und Epoxidharz aufgeklebt und nicht mit 160-Grad-Lot aufgelötet sind. Meßwerte: Aluplatte 62 °C, Chip blau 86 °C und auf dem Phosphor der weißen 96 °C. Das ist aber immer noch weniger als in einigen komerziellen Fahrradscheinwerfern!

- Nach ca. 9000 h kann man auch dreist eine lineare Approximation durchlegen und fast alle Werte liegen innerhalb eines ±5 %-Bandes. Danach währe die Verschärfung nach 5000 h noch nicht ausreichend für eine Wirkung.

3.9.7.2.2 Warmversuch Nach dem ersten Versuch über etwas mehr als 3260 Stunden folgende Bemerkungen:

- Der V_f-Shift liegt genauso vor. Es sind etwa 10 mV, die die Durchbruchspannung im Laufe der Zeit abfällt. Zeitlich ausgedrückt kann man auch gelten lassen:

$$V_\mathrm{f} = 3{,}225 - 0{,}013 \ln(t) \tag{3.75}$$

mit t in Stunden (bei 500 mA und ca. 60 °C Chiptemperatur).

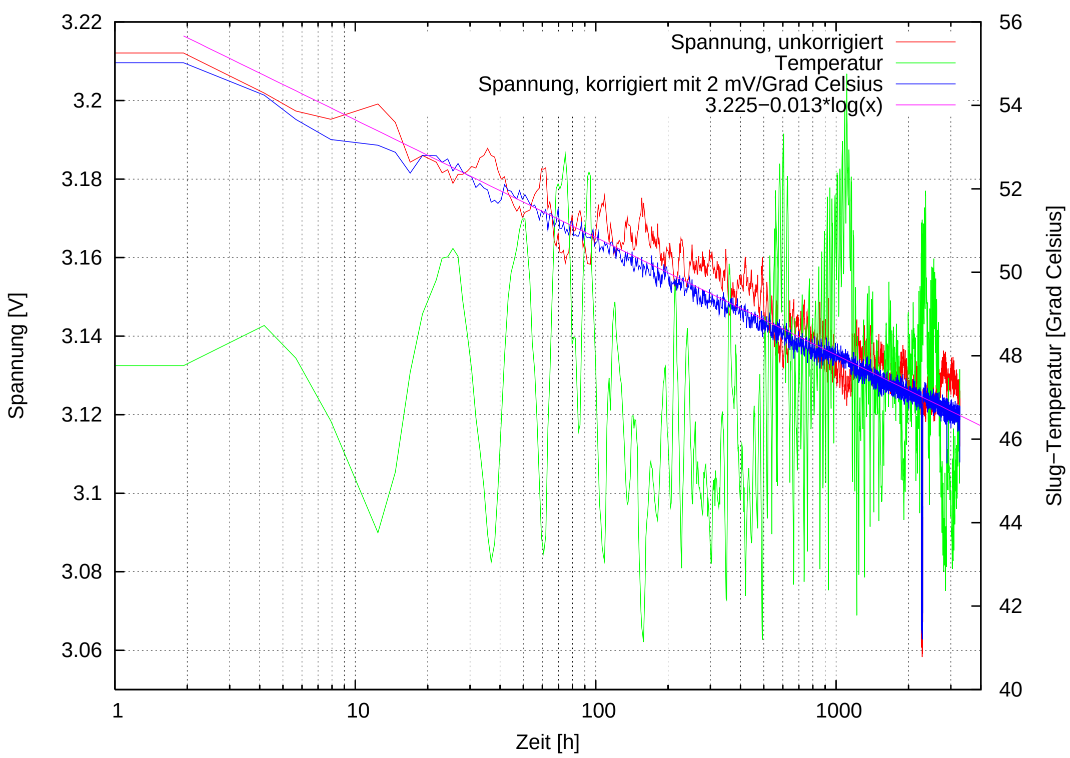


Bild 3.57: V_f-Shift und temperaturkorrigierte Spannung über der Zeit aufgetragen

- LDRs taugen nicht für Präzisionsmessungen, so man nicht ihre Vorgeschichte kennt.

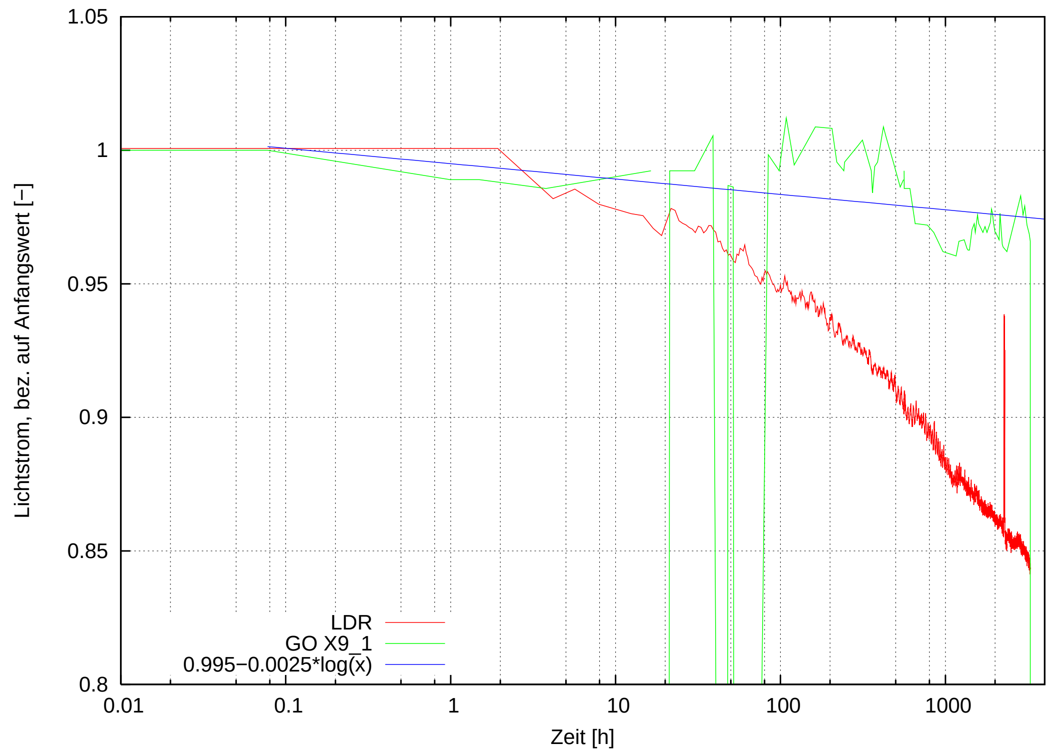


Bild 3.58: Vergleich LDR-Luxmeter über die Zeit

In rot die AD-gewandelten Werte des LDR (die anderen Werte für Strom, Spannung und Temperatur waren OK). In grün diskrete Meßpunkte mit dem GO $X9_1$. Das GO $X9_1$ war im Laufe des Versuches zweimal für andere Messungen demontiert und hatte danach einscheinend nicht ganz wieder die vorherige Position in der Aufnahme gefunden.

- Das Durchsuchen der am Ende etwas größeren Dateien über das Netzwerk[95] zum Plotten der Daten belastet das System ein wenig, wie man am Rauschen auf einigen Kanälen sehen kann. Hier werden nur die letzten 2000 Meßwerte des Versuches dargestellt.

[95] Der Meßrechner verfügt weder über Tastatur noch Bildschirm

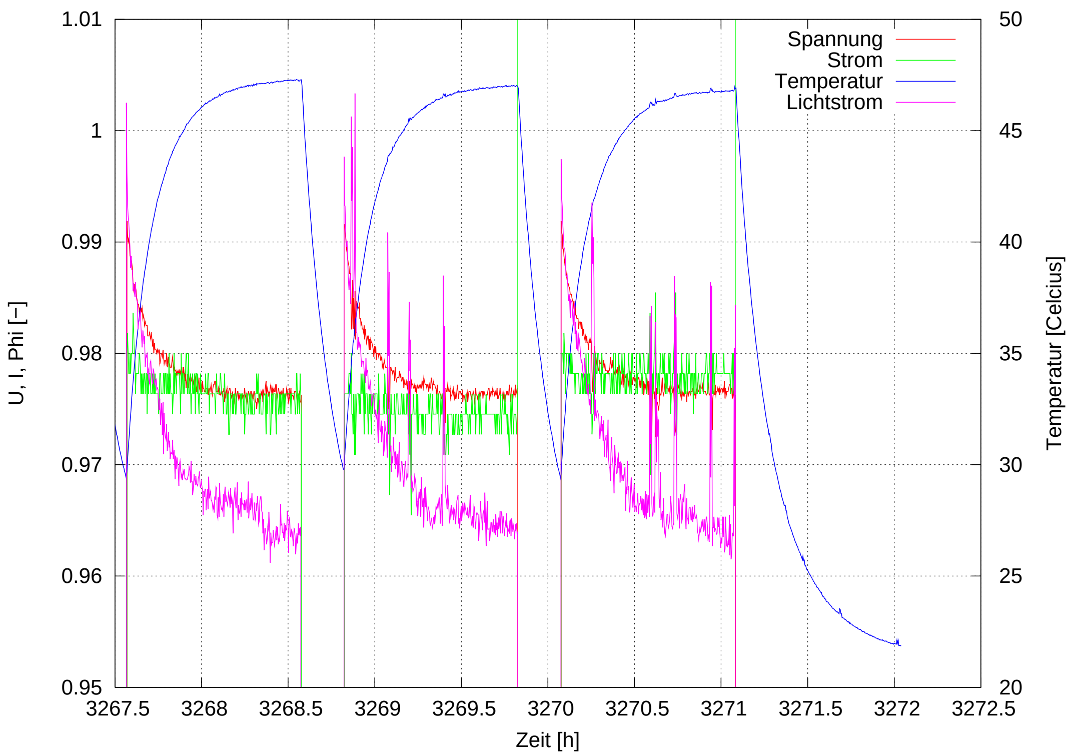


Bild 3.59: Letzte Zyklen erster Heißversuch

Weiterhin wird die Spannungs- und Lichtstromabhängigkeit von der Temperatur deutlich.

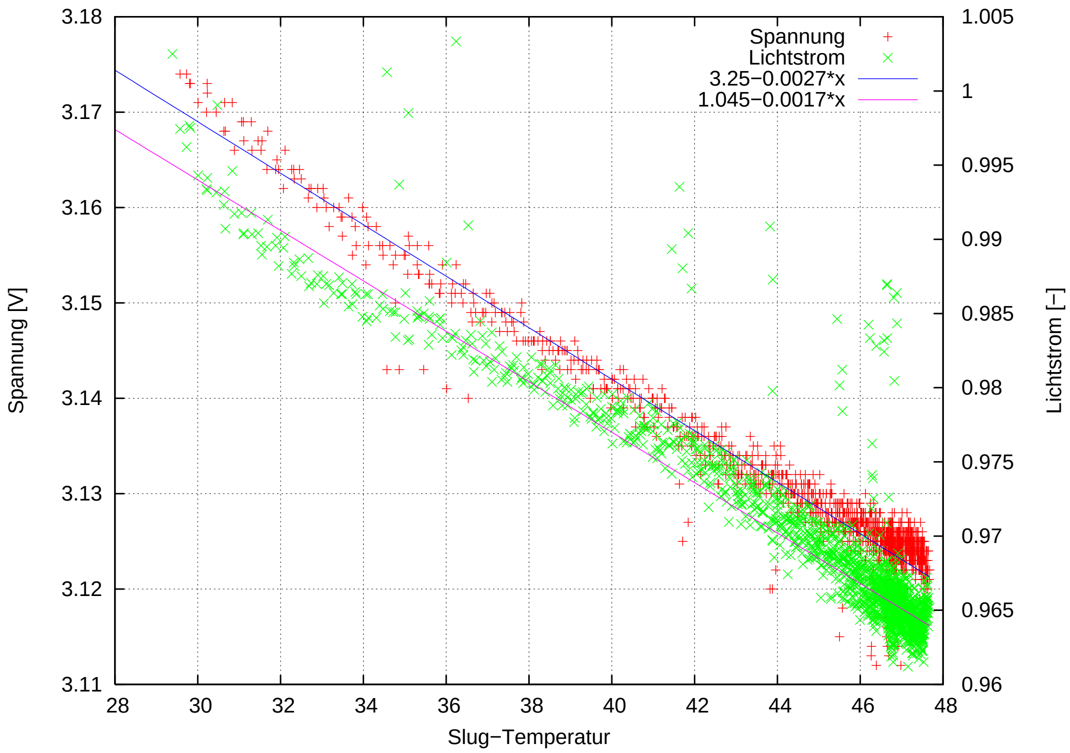


Bild 3.60: U und Φ gegenüber der Temperatur geplottet

Wobei die Kurve $3{,}25 - 0{,}0027x$ für die Spannung und die Kurve $1{,}045 - 0{,}0017x$ für den bezogenen Lichtsrom gilt. Merkwürdigerweise gilt hier entgegen der isolierten Temperaturmessungen (vgl. Seite 2beimportet) nur ca. 1,7 % Lichtstromverlust pro 10 °C Temperaturerhöhung. Dies kann zum Teil wohl aber damit erklärt werden, daß hier die Slug-Temperatur der Chiptemperatur im heißen Bereich um 11 °C hinterhereilt, im kalten Bereich nach ca. 15 Minuten abkühlen wohl aber nicht so stark. Auch könnte der höhere Strom sich hier noch auswirken. Für ein Vergleich mit den diversen Meßkurven bei den LED-Scheinwerfern fehlte mir bisher die Zeit.

Nach etwa 3260 h Versuchsdauer und 2600 Wärmezyklen ist festzustellen, daß der Lichtstrom der LED zwischen 100 und 1000 Stunden mit ca. 3 %/1000 h und zwischen 1000 und 3000 Stunden mit etwas weniger als 1 %/1000 h zurückgegangen ist. Zumindest soweit die Genauigkeit der Meßgeräte für diese Beurteilung hinreichend ist. Oder andersrum: Der Einfluß der Temperatur auf die Lichtausbeute ist deutlich stärker als der Betrieb bei bis zu 63 °C vorne am Chip und 55 °C hinten an der Kühlfläche.

Die Zeitangaben sind Absolutzeiten. Die reinen Betriebsstunden betragen das ED=0,8-fache der Versuchsdauer:

$$ED = 1 - \frac{19 \cdot 15\ \mathrm{min}}{24 \cdot 60\ \mathrm{min}}. \tag{3.76}$$

Wie es bei, von einigen Fahrradscheinwerferherstellern anscheinend bevorzugten, über 100 °C vorne am Chip aussieht müssen weitere Versuche klären. Bis dahin wird die UK3 aber auf einen anderen Lichtsensor und eventuell das Auslesen der seriellen Meßgeräte umgerüstet.

3.9.7.3 Fazit

LEDs kontrolliert zu zerstören ist schwieriger und langwieriger als gedacht. Bei Glühlampen geht das deutlich schneller. Dafür kriegt man LEDs aber auch genauso schnell wie Glühlampen um die Ecke gebracht, zumindest wenn man es gerade nicht so hart will, eine weiterer Beweis für die Existenz von *Murphys law*.

Des weiteren ist mal wieder die Meßtechnik mit Tücken behaftet.

So schlimm, wie befürchtet, ist die Alterung anscheinend nicht. Nach bisherigen Beobachtungen dürfte in der Zeit, in der die Lichtausbeute im realen Einsatz merklich abgefallen ist, die **über**nächste Generation von Fahrradbeleuchtung mit der viertnächstne Generation von LEDs (oder umgekehrt?) auf dem Markt sein.

Mit LEDs in Frontscheinwerfern wird wohl die Zeit anbrechen, in der funktionsfähige Fahrradbeleuchtung trotz *jahrelangen Gebrauchs* einfach nur durch bessere Fahrradbeleuchtung ersetzt werden wird.

Beispiel gefällig? Zumindest am ATB sind die Sideemitter-FLs seit 2003 problemlos im Einsatz und ein Ersatz ist noch nicht absehbar.[96] Ebenso sind am Baron die beiden Touchdowns unverwüstlich.[97]

Solange LED-Scheinwerfer wasser- und atmungsdicht sowie vor mechanischen Gewalteinwirkungen geschützt angebaut sind werden sie wohl an den meisten Fahrrädern dieselbigen bei reger Benutzung überleben![98]

Interessante Links:

- Application Brief 25 von Luxeon www.luxeon.com/pdfs/RD25.PDF. Generell sind die Dokumente bei Luxeon und bei anderen Herstellern, z.B. OSRAM oder Agilent lesenswert.
- de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode
- www.led-info.de/grundlagen/l_alter.htm
-

[96] Von zwei Lötstellenbrüchen im Drahtigel, der locker in einer kleinen Kunsstoffschachten liegt und einem im Rücklicht mal abgesehen.

[97] Zumindest solange man sie nicht bei einem Sturz/Unfall mechanisch aufbricht.

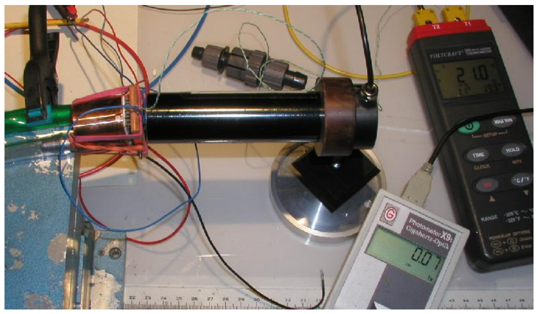
[98] Wenn Wasser eindringen kann, so muß es aber auch wieder herauslaufen bzw. verdunsten können.

3.9.8 Temperatureinfluß oder *Some don't like it hot*

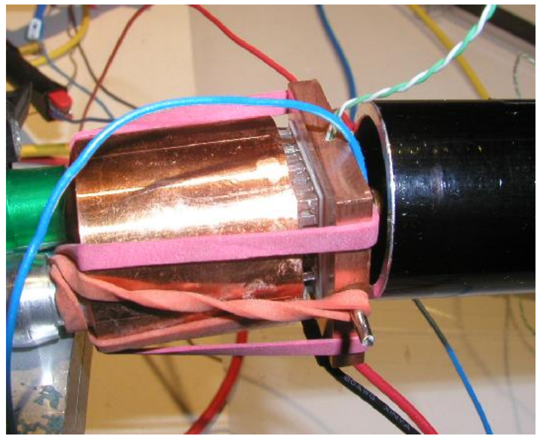
Wenn man sich die Temperaturabhängigkeiten der Meßergebnisse der LED-Scheinwerfer anguckt und in Datenblättern der LED-Hersteller (z.B. Luxeon Datasheet 45) auf die Temperaturabhängigkeiten stößt, so will man es selber mal nachvollziehen:-)

Der Versuchsaufbau ist relativ einfach: Ein etwa 27 mm langer Kupferzylinder ($D = 30$ mm) wird mit drei 6,8 mm Bohrungen versehen. Der notwendige Verbindungskanal kurz unter der einen Stirnseite wird dichtgesetzt. Ein 20x20 mm Peltier-Element (extra dafür angeschafft, Quelle: Conrad-Electronic) dient als „Wärmepumpe“. Auf der anderen Seite sitzt ein 30x30x5 mm Kupferblech, auf welches eine LXHL-PW09 Rank T mit 160-Grad-Lot aufgelötet ist. Die Übergänge Kupfer-Peltier sind mit Wärmeleitpaste verbessert. Der Andruck wird über zwei Gummibänder gewährleistet und ist mit diesen 24 Stunden vorbelastet.

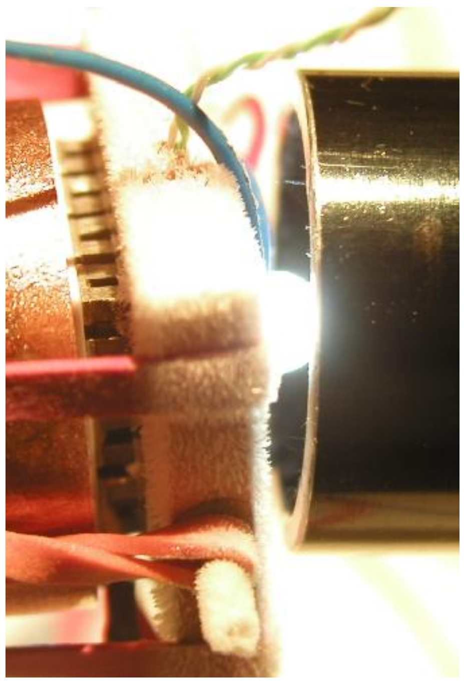
Wehe jemand sagt jetzt, man hätte auch Wasserkühlsets aus dem PC-Bereich benutzen können: Die E-Heim existierte schon, das Kupfer lag in der Grabbekiste und sowas ist fast schneller gemacht, als ich sowas bestellt habe. Zumindest schneller als eine käufliche Lösung einsatzbereit auf dem Tisch liegt.



(a) Aufbau



(b) Detail



(c) Reifbildung

Bild 3.61: Versuchsaufbau Temperatureinflußbestimmung

Die Kühlung wird durch eine Aquariumpumpe und 0 °C kaltes Wasser (Wasser-Eis Gemisch) unterstützt.[99]

Die LED wird bei den Messungen mit ca. 18 mA (niedrigster Konstantstrom des HM7042) versorgt.

[99]Zu irgendwas muß das Tiefkühlschrankabtauen doch gut sein:-)

Sinn ist, direkt den Einfluß der Temperatur zu messen, ohne noch groß den Wärmewiderstand Chip-Temperaturmeßstelle mit berücksichtigen zu müssen. Das wäre bei höheren Leistungen sicherlich notwendig.

Strom und Spannung werden mit Labormeßgeräten (HM8011) gemessen. Der Lichtrom interessiert nur relativ, daher ist das Luxmeter (GO X9$_1$) einfach mit dem Abschattungstubus davorgestellt. Die Resthelligkeit bei ausgeschalteter Stromversorgung ist hinreichend gering. Die Temperatur wird in einem ca. 8 mm tiefen Loch der Kupferplatte mit einem NiCr-Ni-Thermoelement gemessen.

Schwierigkeiten entstehen dadurch, daß besonders unter 0 °C auf der LED die Luftfeuchtigkeit kondensiert oder bei tiefen Temperaturen sogar gefriert. Dann muß die LED kurz abgewischt werden und der Sensor schnell (bevor erneut nennenswerte Kondensation eintritt) wieder repositioniert werden. Das scheint anhand der Meßergebnisse aber ausreichend gut gelungen zu sein.

Die Werte aus dem Diagramm im Luexon *data sheet* DS45 sind um drei Grad nach links verschoben, damit sie tangential mit der selbst aufgenommenen Meßkurve übereinstimmen. Anscheinend verwendet Luxeon 24 Grad als Bezugstemperatur.

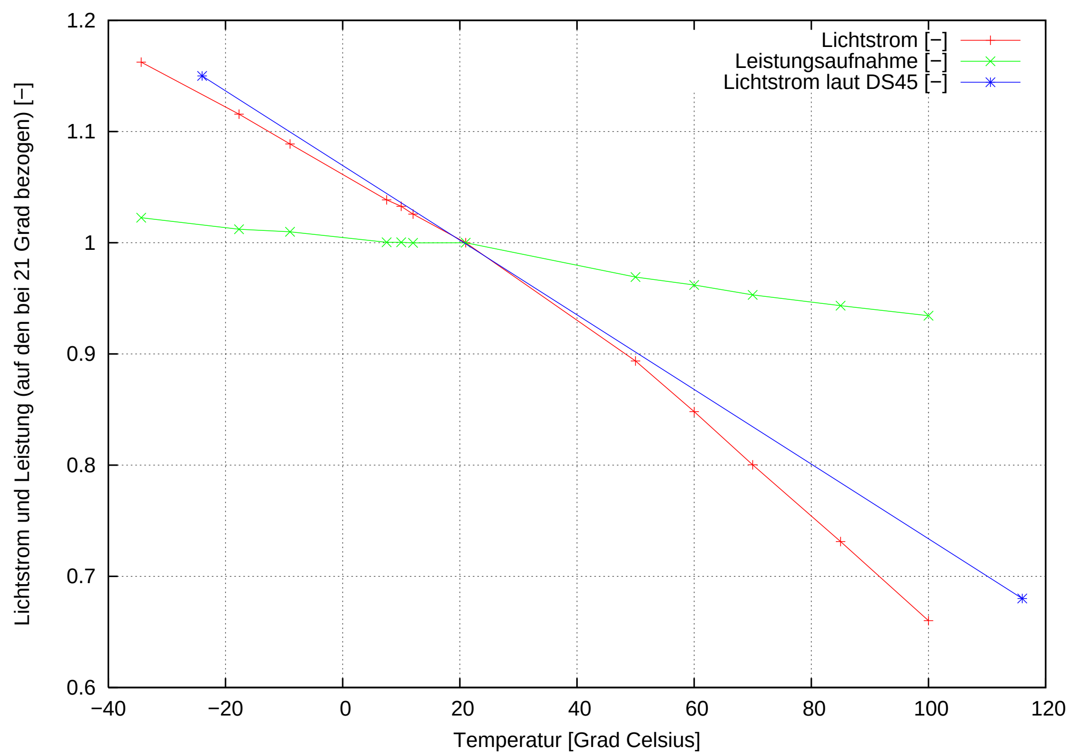


Bild 3.62: Temperatureinfluß auf eine PW09 Rank T

Für eine Cree XR-E 7090 P4 ergibt sich Bild 3.63. Hier wird sowohl bei 18,2 wie auch bei 500 mA gemessen. Die Temperaturen werden am Kupfering der LED und ca. einen Millimeter unterhalb der Unterseite des Keramikträgers (*Solderpoint*) in dem massiven Kupferzylinder[100] gemessen.[101]

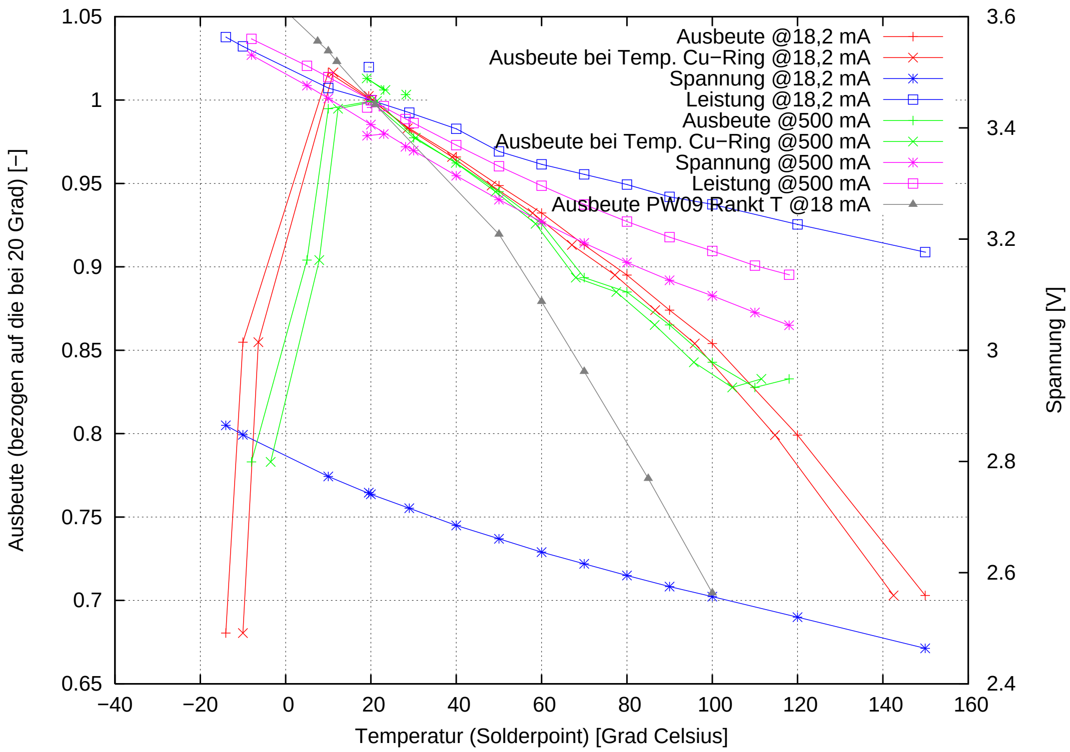


Bild 3.63: Temperatureinfluß auf eine XR-E 7090 P4

Unterhalb 10 °C beschlägt die LED, dadurch fällt dann die Intensität ab.[102] Real würde der Lichtstrom bzw. die Ausbeute noch weiter steigen. Nur ist leider keine trockene Atmosphäre verfügbar. Da die Versuche in endlicher Zeit durchgefahren werden sollten sind leicht instationäre Meßdaten vorhanden, vergleiche Temperaturen am Solderpoint und am Kupferring. Die Lichtausbeute der Crees sinkt offensichtlich deutlich weniger bei Temperaturzunahme als bei der Luxeon PW09.

[100]Durchmesser 14 mm, Länge 25 mm, von hinten bezheizt/gekühlt.

[101]Hier wird wieder das Peltier-Element verwendet, welches auf einem überdimensionierten CPU-Kühler (Freezer 64) sitzt.

[102]Es wird die ca. 97 mm for der LED die Helligkeit und nicht der Lichtstrom in einer integrierenden Ulbrichtkugel gemessen.

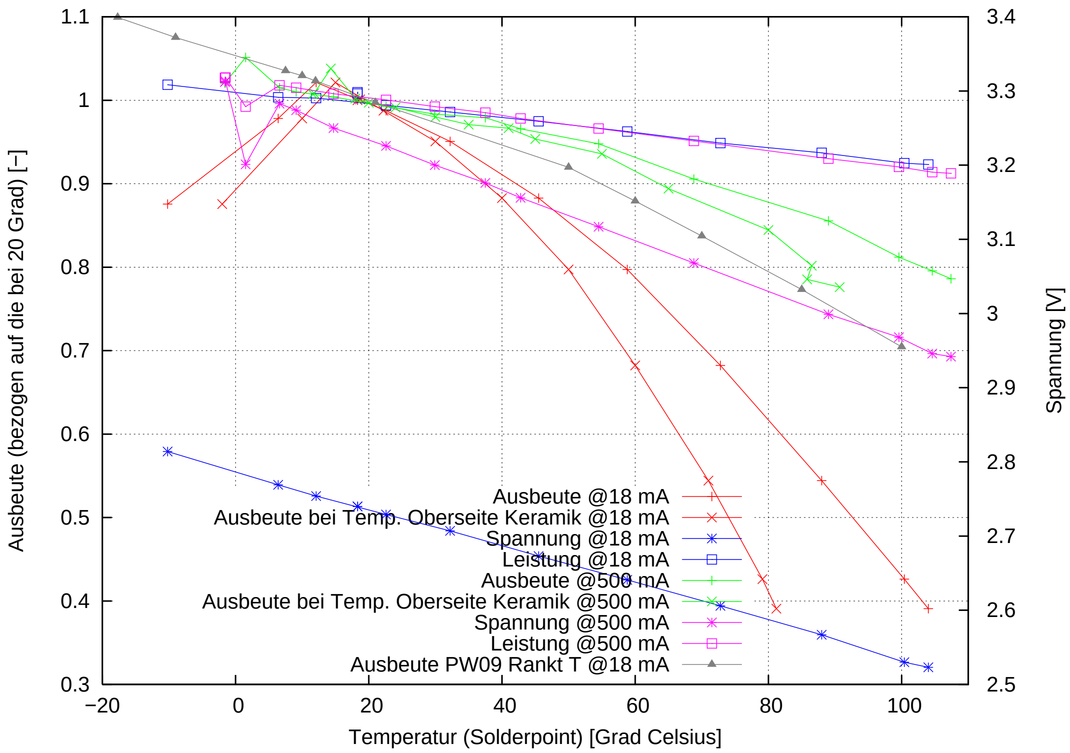


Bild 3.64: Temperatureinfluß auf eine Lumiled Rebel LXML-PW1C-0100

Beginn eines Traumes: Vielleicht sind obige Betrachtungen und Kurven endlich mal ernsthafter Anlaß für Hersteller von LED-Fahrradlampen dem Design und der Konstruktion eine effektive Kühlung ins Lastenheft zu schreiben. Chiptemperaturen von über 100 °C müssen einfach nicht sein! Ende der Träumerei: Solange die Lichtausbeuten der LEDs so schnell steigen scheint bei den Herstellern kein Denkprozeß zu fruchten, siehe der 2007er bumm IQ-Fly.[103]

Und wer es immer noch nicht glaubt im www.candlepowerforums.com gib es einen Beitrag vb/showthread.php?s=584ce3a13584b79d738b2711a5ee47a0&t=108102 der ähnliche Ergebnisse zeigt, wenn auch für andere Farben.

Und da Fahrradlampenhersteller es selbst 2007 anscheinend immer noch nicht beherrschen, LEDs nicht in Thermoskannen einzubauen Bild 3.65. Die Temperaturen sind so nah wie möglich an der LED aufgenommen worden. Die zum Vergleich herangezogene LXHL-PW09 Rank T ist nur mit ca. 18 mA bestromt (s.S. 282). Dies ist anscheinend aber, vgl. Bild 3.63 nicht relevant.

[103] Der IQ-fly wird wohl nicht 100 °C warm, aber das Gehäuse bleibt eine Thermoskanne.

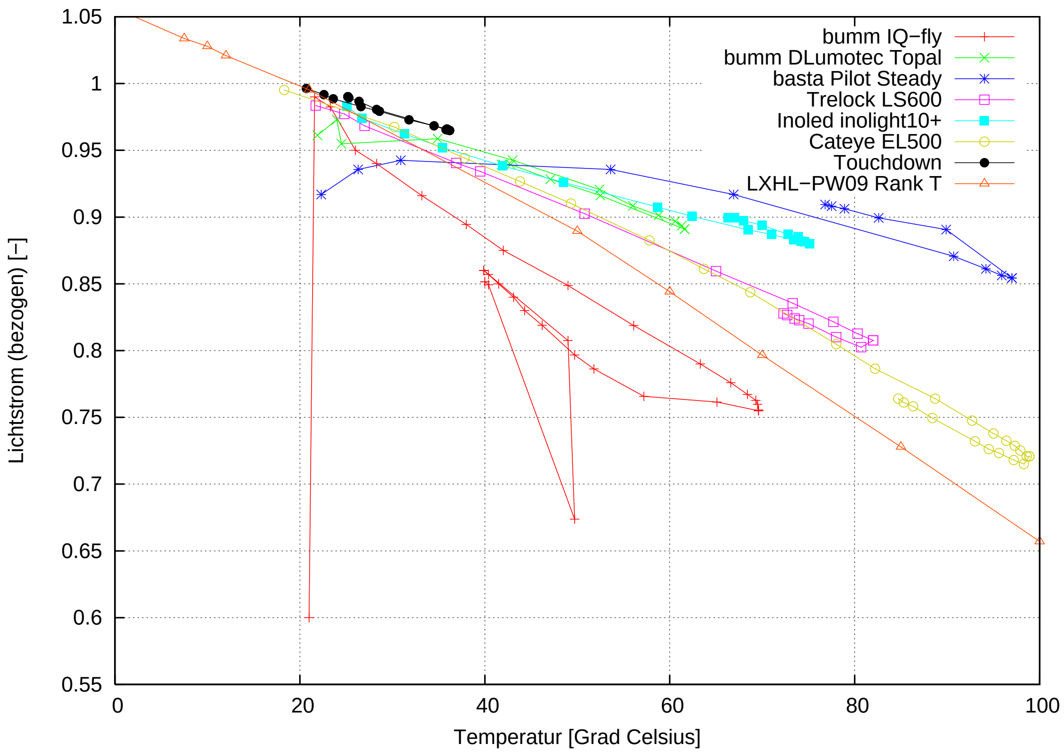


Bild 3.65: Temperatureinfluß auf reale Scheinwerfer

Die Meßwerte sind mit zimmertemperaturwarmen Scheinwerfern aufgenommen, die mit 400 mA 60 Minuten ungekühlt betrieben werden. Dann wird für 30 Minuten ein Ventilator angeschaltet, der die Scheinwerfer mit etwa von hinten 8 km/h kühlt. Beim IQ-fly wurde nach diesen 90 Minuten der Strom für 20 Minuten auf 547 mA erhöht und dann für 20 Minuten wieder auf 400 mA gesenkt.

Ebenso wie bis zu 100 °C LED-Temperatur unnötig sind ist der dadurch hervorgerufene Verlust an Lichtstrom einfach zu kurz seitens der Hersteller gedacht. Es geht hier um 5–20 %, die ein fahrtwindgekühlter Scheinwerfer nach einiger Zeit dunkler ist als bei Raumtemperatur.

Die Temperaturkoeffizienten von LEDs scheinen unterschiedlich zu sein. Üblicherweise werden -2 mV/ °C für Halbleiter genannt. Aber Vorsicht ist die Mutter der Porzellankiste und Herstellerangaben traue ich erstrecht nicht, wenn die überhaubt im interessanten Bereich vorliegen. Es folgt eine noch aufzufüllenden und verifizierende Aufführung. Die Daten dafür stammen aus Auswertungen bisheriger Messungen und sind teilweise „Abfall“ aus der Datenerhebung an Scheinwerfern. Zusätzlich zum üblichen Temperaturkoeffizienten, der sich auf die Spannungsveränderung bezieht, wird hier noch einer für den Lichtstrom eingeführt.[104]

[104] Hoffentlich bleiben die im für Fahrradscheinwerfer praktikablen Bereich einigermaßen linear, sonst wird es ja noch komplizierter.

Tabelle 3.29: Temperaturkoeffizienten von LEDs

Modell	U' in mV / °C				Φ' in %/10 °C				Meßaufbau
	Strom [mA]				Strom [mA]				
	18	400	500	800	18	400	500	800	
Cree									
XR7090-WT-01		−4,0				−1,9			TD070211
XR7090-WT-01						−4,4			IQfly
XR7090-WT-01					−2	−2			Peltier
Luxeon									
LXHL-PW09		−4,0				−2			Touchdown2
LXHL-PW01						−2			Pilot Stedy
LXHL-PW09					−3,5				Peltier

Für die Messungen mit dem Peltierelement kann vereinfacht ein Sekanten-Koeffizienten angegeben werden. Allgmein besser fittet jedoch eine kubische Gleichung auf $\Phi(\vartheta)$ oder eine Exponentialfunktion auf $U(\vartheta)$.

$$U(\vartheta) = a + \exp(\vartheta / b) \tag{3.77}$$

$$\Phi_{\text{bez.}}(\vartheta) = \frac{\Phi(\vartheta) P(\vartheta)}{\Phi(\vartheta_{\text{Ref}}) P(\vartheta_{\text{Ref}})} = c + d(\vartheta - \vartheta_{\text{Ref}}) + e(\vartheta - \vartheta_{\text{Ref}})^2 \tag{3.78}$$

Als Temperatur ϑ wird für die Werte in Tabelle 3.30 ϑ_{SP} herangezogen. Für den Polynomfit sollte e eigentlich 1,0 werden. Praktisch liegen jedoch nicht immer genau für 20 °C Daten vor und die Kurven sind dann leicht verschoben. Für die Parameterbestimmung werden die abfallenden Werte bei Betauung der LED bzw. Ausreißer (siehe Bilder 3.62 bis 3.64) auskommentiert.

Tabelle 3.30: Fit-Parameter für einige LEDs

Typ	Strom	$U(\vartheta)$		$\Phi_{\text{bez.}}(\vartheta)$		
	I	a	b	c	d	e
	[mA]	[V]	[]	$\cdot 10^0$	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-5}$
Cree						
XR-7090-WT-01 (P4)	18	1,806	−342,3	1,003	−2,236	0,417
	500	2,496	−195,9	0,995	−1,814	−0,063
Luxeon						
LXHL-PW09	18	1,786	−532,5	1,008	−2,863	−1,056
LXML-PW1C-0100	18	1,791	−345,4	1,011	−3,589	−4,511
	500	2,313	−237,8	1,008	−1,178	−1,474

Diese Werte werden von LED zu LED streuen! Welche Werte am stärksten streuen könne nur Meßreihen zeigen.

3.10 Messungen an LED-Scheinwerfern

Die Idee, sich aus LEDs einen Scheinwerfer zu bauen hört sich gut an. Aber was für Probleme treten dabei auf? Einige werden im folgenden beleuchtet.

Nachtrag 2007: Viele sind schon weiter oben erläutert worden. Allerdings wurde dieses Kapitel ca. anno 2000 angefangen:-) In diesem Zusammenhang wird auch die Entwicklung der Technik bei weißen LEDs deutlich.

Laut TA 4 Abs. 14 (10) (s. S.564) sind Scheinwerfer, sofern in ihnen keine Glühlampen verwenden werden, nach einer und 30 Minuten zu vermessen. Von einer Fahrtwindsimulation ist dort keine Rede. Betrachtet man die zeitabhängigen Diagramme (z.B. Bild 3.105), so kann man i.A. nicht von ausgehen, daß nach einer Minute ein stationärer Zustand erreicht ist. In der ersten Minute wirken sich noch Ladevorgänge der Kondensatoren aus, von Temperatureffekten ganz zu schweigen. Und selbst nach 30 Minuten ist die Temperatur häufig noch nicht stationär.

Falls die Hersteller-Angaben diejenigen nach 30 Minuten sind, so liegen im realen Alltag wegen der Kühlung durch den Fahrwind i.A. hXhere Lichtwerte vor.

3.10.1 Aliexpress

Ab 2020 kommen hier die ersten Aliexpress-Scheinwerfer auf den Prüfstand. Teilweise sind die namenlos und es kann nur eine Nummer angegeben werden.

3.10.1.1 4000394305332

Dies ist ein Dynamoscheinwerfer. Keine Zulassung für Deutschland. Es scheint eine Cree XM-L verbaut zu sein.

Zur Lichtverteilung: Siehe Webseite Goniometer.

Die LED ist auf einer kleinen Platine aufgelötet. Nur ist diese Platine nur mit einer von zwei möglichen Schrauben auf dem Zwischenkühlblech „befestigt“. „Befestigt“, da diese eine Schraube locker ist, die Platine auf dem Blech klötert und von Wärmeleitpaste auch jede Spur fehlt. Es war laut offener Bohrung auch nie eine Schraube verbaut. Nach 5 Minuten und 2,55 W Aufnahmeleistung offen auf dem Tisch werden ca. 50° an der LED gemessen. Dies scheint unkritisch, im Fahrbetrieb wird es weniger sein.

Am Gehäuse selber ist wenig auszusetzen: Stabil, einfach aufschraubbar. Nur keine Dichtungen in den Gewinden. Da wird sich mit der Zeit Wasser hineinziehen und nicht überall wieder hinausfinden.

Die Bohrung für den Halter hat 5 mm Durchmesser. Wer Standardmäßig auf M6 Schrauben und andere Halterungen setzt muß den Halter aufbohren.

3.10.2 Basta

Basta kam etwa 2004 mit den ersten LED-Scheinwerfern auf den Markt.

3.10.2.1 Basta PILOT Steady

Als Vorbemerkung: Der erste Teil bezieht sich auf getestete Exemplare vor Januar 2005. Ende 2004 bzw. Anfang 2005 wurden die ersten wirklich TA-geprüften Exemplare erst von Andreas Oehler und dann von mir getestet. Deren Ergebnisse stehen weiter unten.

Die Lichtverteilung entspricht, Stand ifma 2004, bei weitem nicht der TA 23.

Im November 2004 wird in de.rec.fahrrad von zugelassenen Exemplaren (~~~K 359) berichtet, die eine bessere Lichtverteilung hätten. Nur ist diese Zulassung die der HS3-Version. Hier wurde anscheinend dessen Gehäuse verwendet.

Mir wurde eim Dez. 2004 von Basta ein Exemplar zur Verfügung gestellt. Verbaut ist eine Luxeon LXHL-MW1D (1 W, Lambert). Als Optik wird eine totalreflektierende Plastiklinse (ca. 27 mm Durchmesser) ähnlich der FWHM 8° (Modbar bzw. Kollimator) verwendet. Allerdings ist die Frontfläche segmentiert um einigermaßen die gewünschte Ausleuchtung zu erhalten.

Interessant ist hier, daß in der An-Stellung der Scheinwerfer sichtbar heller ist als in der Automatik-Stellung und die Standlichtfunktion über die normale LED geleistet wird. Das Verhalten im Standlichtfall ist in Bild 3.67 wiedergegeben. Der Unterschied in der Helligkeit zwischen Automatik und An ist auch bei der HS3-Variante, dem Basta PILOT, zu beobachten.

Ab 6,7 V bzw. ca. 520 mA scheint die Begrenzungsdiode zu greifen. Dadrunter fließt der gesamte Strom durch die LED (siehe Bild 3.66).

Im Gegensatz zum DLumotec-Topal wird die Rücklichtversorgung zumindest in der ON-Stellung direkt durchgeschleift.

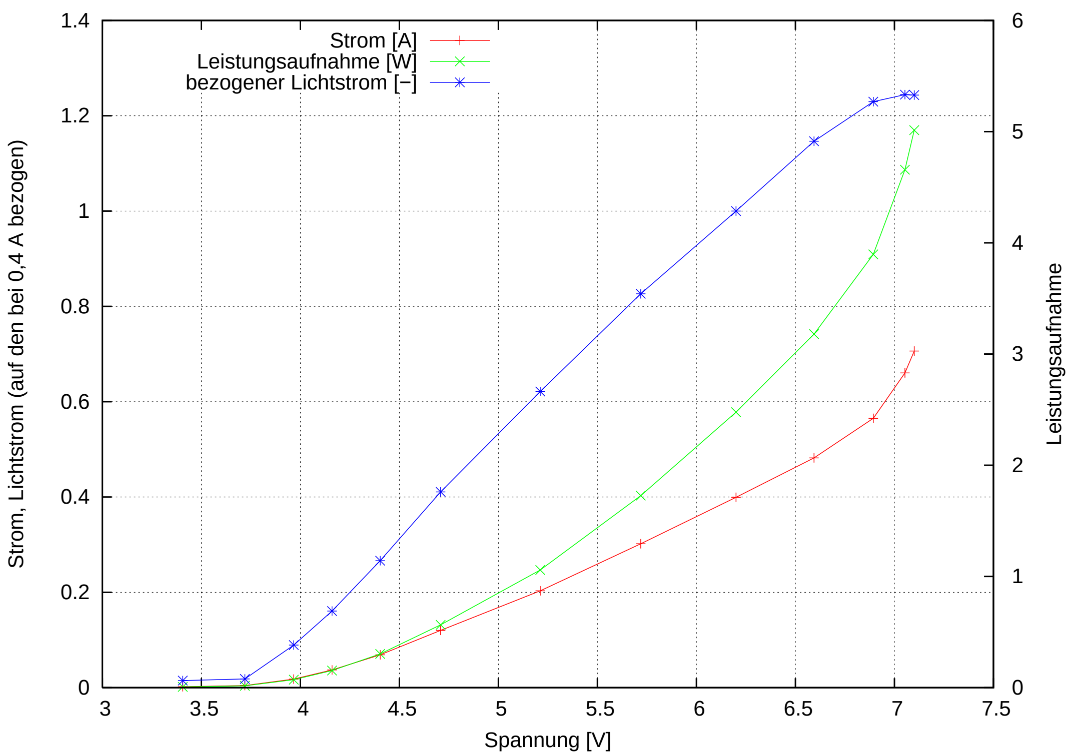


Bild 3.66: Strom- und Leistungsaufnahme sowie bezogener Lichtstrom des Pilot Steady

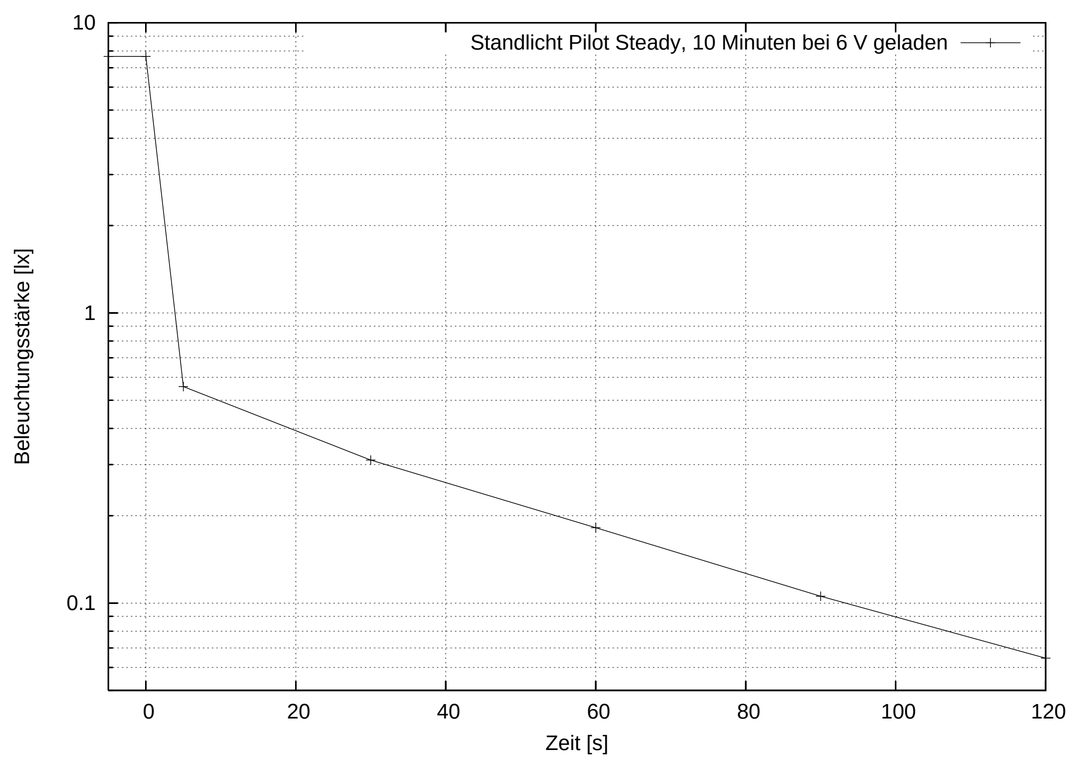


Bild 3.67: Standlichthelligkeit (10 Minuten bei 6V geladen, auf 10 m umgerechnet.

Als maximale Helligkeit werden bei diesem Exemplar bei 6,313 V bzw. 0,4 A 7,2 lx gemessen. Mit einem sparsamen Diodenrücklicht und bei einem starken Dynamo kann man von 0,5 A für den Pilot-Steady ausgehen. Aus Bild 3.66 kann man dann auf $1{,}16 \cdot 7{,}2$ lx $\approx 8{,}4$ lx schließen.

Verbesserungsvorschläge, die einem so direkt einfallen:

- 1 W-Lambert durch 1 W-Batwing ersetzen. Dies liefert mehr Lichtstrom im Bereich, wo der große Krümmungsradius der Optik eine schärfere Abbildung erzeugen kann.
- Sobald die 3 W-Diode als Batwing verfügbar ist (Dezember 2004 anscheinend nur Lambert und Sideemitter) die Batwingversion der PW09 verwenden.
- Die Kühlung dringend verbessern. Offen auf dem Tisch erreicht die Aluplatte in der Mitte 70 °C bei 0,42 A. Bei etwas höheren Strömen können es auch 91 °C sein. Zusammengebaut wird auch der Fahrtwind nicht besser kühlen. An diesem Problem kranken aber auch derzeit fast alle anderen käuflichen LED-Scheinwerfer. Die LEDs werden hart an den Grenzendaten der Datenblätter betrieben und damit sinkt nicht nur die Lichtausbeute deutlich. Der Lebensdauer kann man zugute halten, daß die Scheinwerfer eh nie die bis zu 100 kh fahren werden, die, je nach Datenblatt

den LEDs bescheinigt werden. Selbst 5000 h wären schon ein deutlicher Fortschritt in Punkto Ausfallsicherheit und Lampenverschleiß. Nur; wurden solche Tests schon durchgeführt?

Was ich Basta Ende 2004 in einem vorläufigen Testbericht auf vorgeschlagen habe. Kurz danach wurden erst Andreas Oehler und dann ich überrascht: Da hatten die doch tatsächlich an zwei deutlich verbesserten Prototypen die LED nacktisiert.[105] Weiterhin wurden diverse Änderungen an der Elektronik vorgenommen, die Kühlfläche innen deutlich vergrößert und einige provisorische Modifizierungen an der Optik sind festzustellen. Die Exemplare scheinen aber noch nicht Serienprodukte zu sein. Zumindest ist die Elektronik noch nicht reif für die Großserie.

Diese Prototypen haben inzwischen auch eine Zulassung: ~~~K423.

Auch der Basta PILOT Steady hat ein Problem mit der Wärme (vgl. Bild 3.68). Die Messungen werden mit einem NiCr-Ni-Thermometer, Meßperle oben zwischen dem großen Kühlblech und dem Reflektor am Rand des Star-Bleches eingeklemmt. Bei geschlossenem Gehäuse und 20 Grad Raumtemperatur gemessen. Nach einer Stunde wird ein Papst 4214GM (120 mm) mit 26 statt 24 V angeschaltet, der von hinten in einem Abstand von ca. 20 cm den Scheinwerfer runterkühlt.

Aber alles in allem ist ein deutlich positiver Sprung in der Entwicklung festzustellen.

---

[105] Den Acryl-Dom abgezogen, siehe www.enhydralutris.de

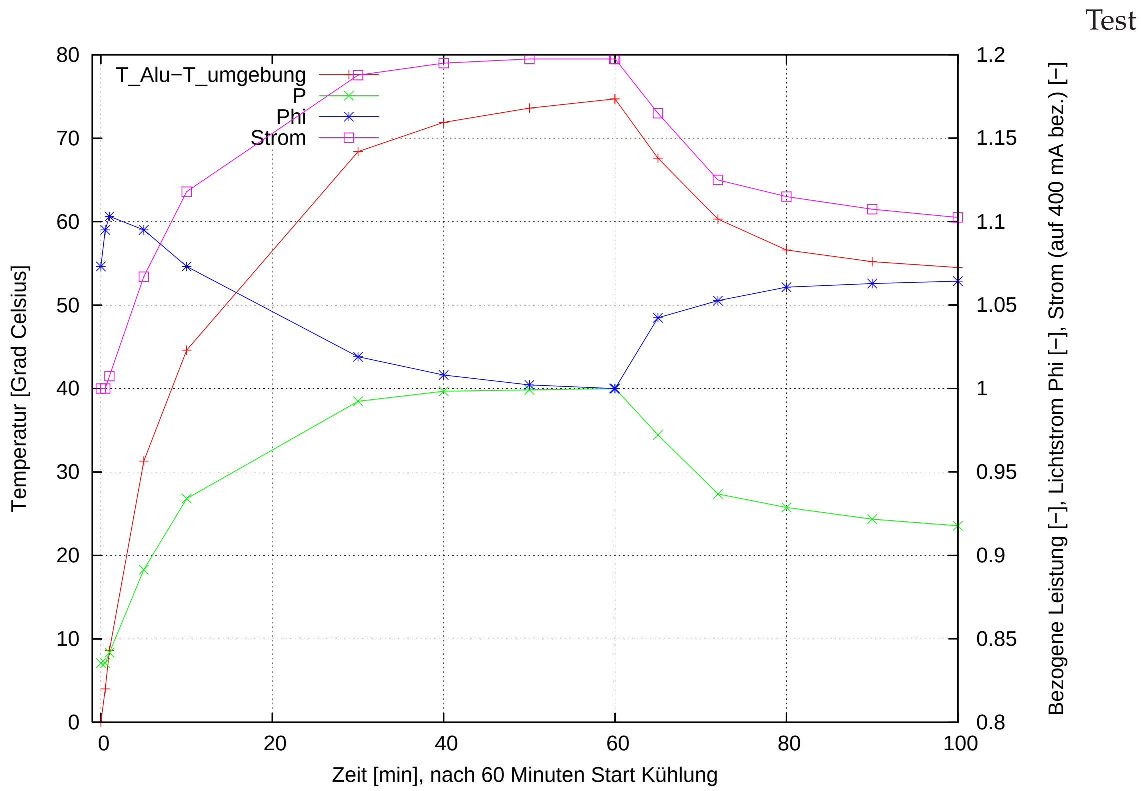


Bild 3.68: Temperatureinfluß beim basta PILOT Steady

Zu den Lichtwerten siehe u.a. www.enhydralutris.de beim Goniometer.

Montage: Von Haus aus nur an der Gabelkrone vorgesehen. Es gibt zwei unterschiedlich lange Nirohalter[106], die einen massiven Eindruck machen. Die Adaption an einen eigenen Halter dürfte aber relativ einfach sein.

3.10.2.2 Basta Sprint

Der Basta Sprint (~~~K665) existiert in mehrere Versionen:

- Einer Ursprungsversion für 10 lx
- Einer neueren Version für 20 lx

[106] Zumindest 2008 werden anscheinend auch galvanisierte Stahlbügel gesichtet.

3.10.2.2.1 10 lx-Sprint Der Basta Sprint (~~~K665) ist vom Gehäuse her dem Basta Pilot ähnlich. Das optische System ähnelt dem des Spanninga Luceo (LED strahlt nach hinten), allerdings ist der Spiegel (Durchmesser 43 mm) in drei Segmente geteilt. Die Beleuchtungstärke wird mit 10–15 lx angegeben.

Die Preisspanne beträgt angeblich 13–30 Euro, je nach Ausstattung (Standlicht+Schalter, Automatik).

Das Gewicht liegt mit Halter für die Gabelkrone (3 mm Nirodraht) bei 70,3 g und ohne Halter bei 57,2 g. Die Schraube (M6) und Mutter sind ebenfalls aus Edelstahl. Eine Montage an handelsüblichen anderen Scheinwerferhaltern erscheint problemlos möglich zu sein.

Wie sich der Sprint an einem Nabenynamo verhält ist in Bild 3.69 wiedergegeben. Dabei ist zu beachten, daß erst unterhalb von 25 km/h gemessen wurde und sich bei den hohen Geschwindigkeiten thermische Effekt schnell bemerkbar machen.

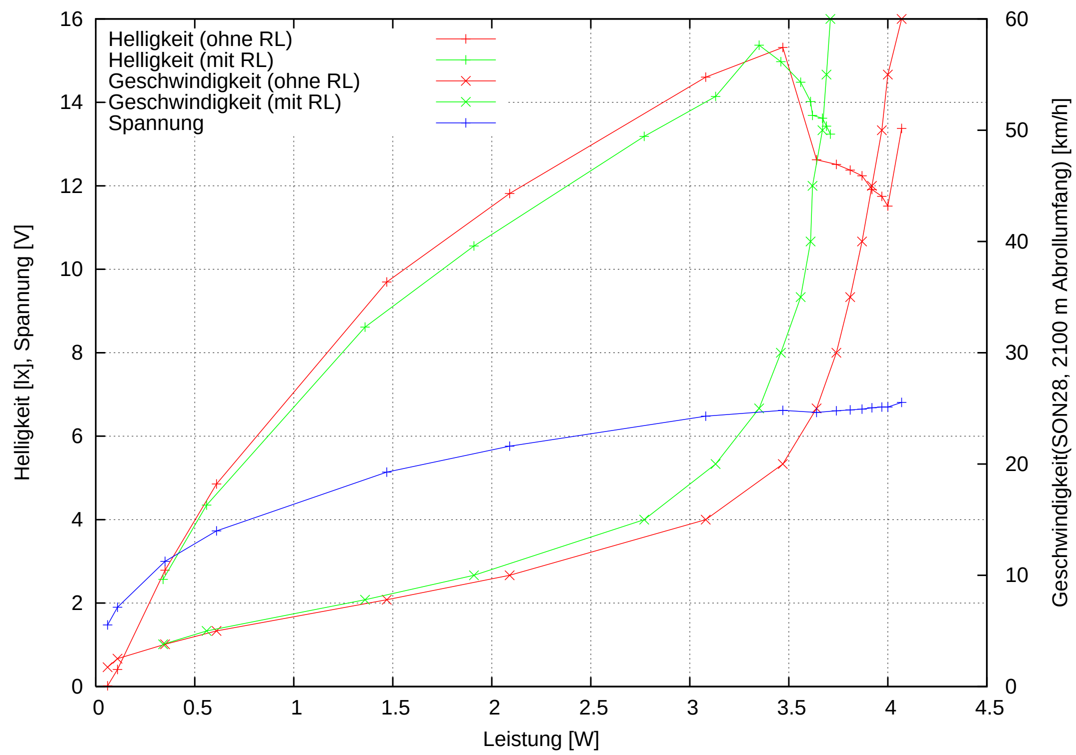


Bild 3.69: basta Sprint an realer Stromquelle (SONquelle)

Ein Temperaturgang kann an diesem Exemplar leider nicht gemessen werden. Der Einfluß scheint, vgl. Bild 3.69 aber nennenswert zu sein.

Ein Verschieben der LED nach vorne bzw. hinten verbessert nicht die Ausleuchtung.

Der Platinenfinger, auf dem die LED sitzt ist vorne und hinten mit Blechstreifen verstärkt bzw. gekühlt. Es scheint sich um vernickeltes Messingblech zu handeln.

Folgende Messungen werden an einem zweiten basta Sprint vorgenommen. Dieser wird geöffnet und die Temperatur mit einer NiCrNi-Perle direkt an der LED gemessen.[107]

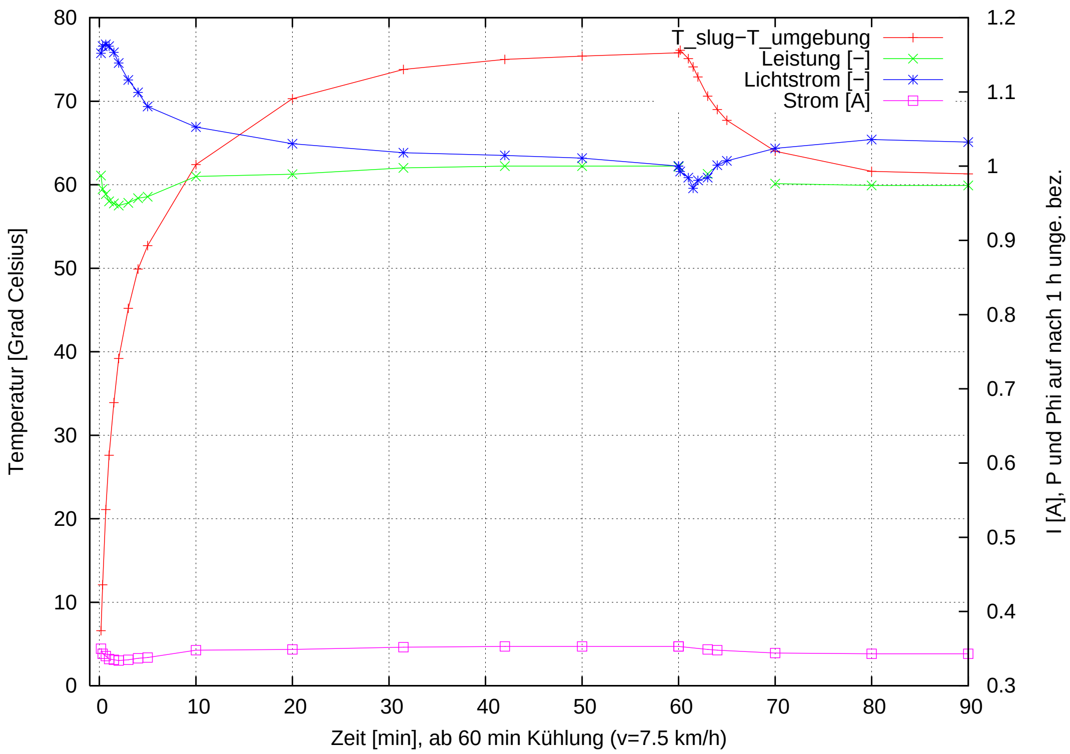


Bild 3.70: Temperaturgang basta Sprint

Der LED-Strom wird über dem 6,8 Ω-Widerstand auf der Platine gemessen.

[107]Mit reichlich Sekundenkleber seitlich in die Kehle LED-Platine gelötet.

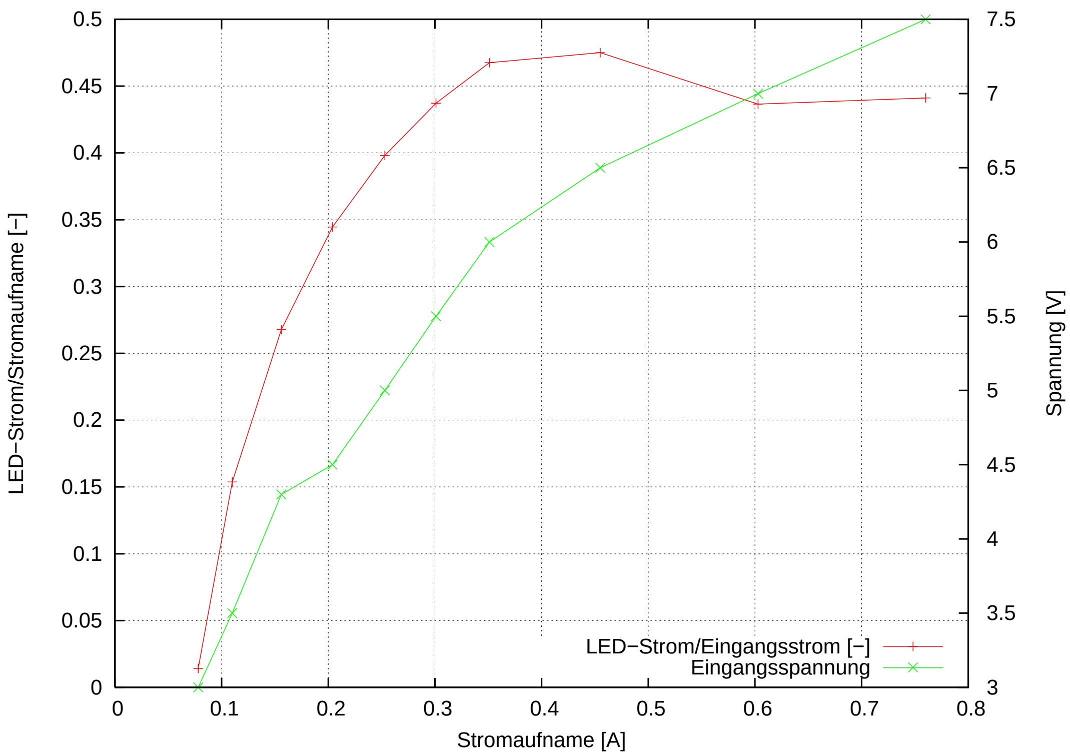


Bild 3.71: LED-Strom beim basta Sprint

Es wird reichlich Leistung im 6,8 Ω Sense-Widerstand der LED und im 39 Ω-Widerstand auf der Platine verheizt.

3.10.2.2.2 20 lx-Sprint Der 20 lx-Sprint kommt Ende 2010 / Anfang 2011 auf den Markt. Er ist erkennbar an einem mehrach segmentiertn Spiegel: Außen vier vertikal getreilte Segmente und innen ein horizontal geteilter Innenkreis. Der untere Halbkreis ist nochmal sgementiert.

Kleine (gehässige) Randnotiz: Mal wieder ein Scheinwerfer, der bei deutlicher Veränderung der Optik immer noch die gleiche Zulassungsnummer führt.

Mit zwei neuen Exemplaren von Anfang 2011 werden Messungen an der SONquelle vorgenommen und mit dem von Anfang 2010 (vgl. Bild 3.69) verglichen

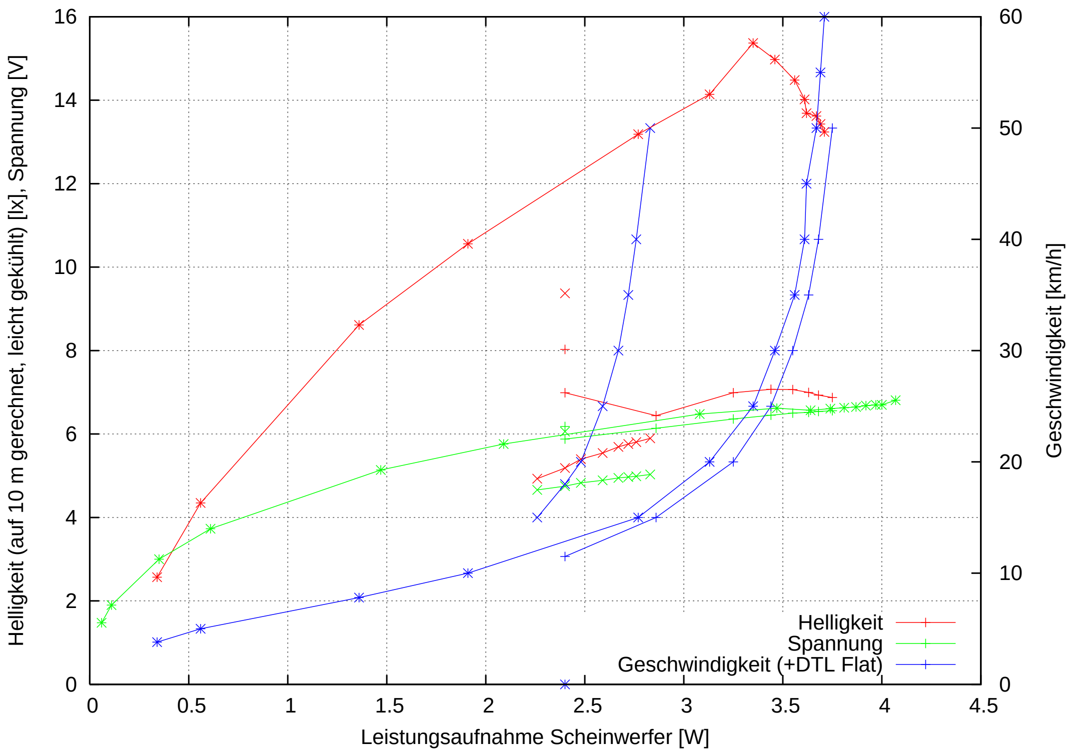


Bild 3.72: basta Sprints an realer Stromquelle (SONquelle, mit DTL Flat)

Die neuen Sprints sind durch + bzw. x gekennzeichnet, der alte durch *. Die Serienstreuung ist enorm bzw. einer scheint, trotz neuwertig, schon elektrisch geschädigt zu sein. Und die Helligkeit ist weiterhin nicht überragend. Die einzelnen Punkte sind zum Vergleich an Gleichspannung bzw. -strom aufgenommen.

3.10.3 Black Dingo

Der Black Dingo (~~~K1450) hat eine Osram LED (Black-Flat, Ra=67, T=6372 K) verbaut.

Die Menge der Wärmeleitpaste in den Spalten LED–Kühlkörperadapter–Gehäuse ist vVernachlässigbar. Die LED-Platine klötert zwischen Reflektor und Kühlkörperadapter hin und her. Der Wärmefluß hat damit ein deutliches Verbesserungspotential, ebenso die optischen Toleranzen. Das kühlende Gehäuse ist zu einem erheblichen Teil durch die breite Montageschelle aus Kunsttoff vom Luftstrom abgetrennt. Wenn in der IR-Thermografie das Kabel am Gehäuseeintritt heißer ist, also irgendeine Stelle des Gehäuses, dann ist die Wärmeleitung LED>Gehäuse mangelhaft.

3.10.4 Büchel

Büchel präsentiert auf der imfa 2003 einen Scheinwerfer (nur als Schnittmodell) mit eingebauter normaler 5 mm-LED und behauptet dafür eine Zulassung zu haben. Fast kein Kommentar. Nur sind an diversen Stellen in diesem Text Messungen und Rechnungen niedergeschrieben, nach denen das unmöglich ist.

Auf der ifma 2004 tauchte der Scheinwerfer wieder auf.

Außerdem taucht auf der 2004er IFMA zusätzlich einer mit kegeligem matten Reflektor und Luxeon-Lambert LED auf. Auch dieser Scheinwerfer wird nie der TA 23 gerecht sein. Das Modell war bei Messingschlager übrigens mit PX13,5-Halogenlampe zu sehen. Aber auch das Exemplar wird nicht der TA 23 gerecht sein.

3.10.4.1 Micro LED SL

Der Büchel Micro-LED SL (~~~K 791) taucht 2012 auf. Es ist ein zugelassener 6 V / 1 W-Scheinwerfer mit einer langen Parabol-Optik, vergleichbar dem inneren Kegel vom Cateye EL 500G. Vermessen wurde er noch nicht. Auffällig ist ein kleine SMD-LED mit realitiv kleiner Kantenlänge.

3.10.4.2 TS120

Der TS120 ist ein E-Bike-Scheinwerfer. Als LED wird eine OSRAM Black-Flat verwendet.

Die Kühlung könnte deutlich besser sein: LED auf Aluplatine>Aluwinkel>am Gehäuse festgeschraubt mit recht wenig Kontaktflächen. Da kann ein gut gearbeitetes Aluminiumgehäuse nicht mehr viel retten.

Die Bohrung für den Halter hat 5 mm Durchmesser. Wer Standardmäßig auf M6 Schrauben und andere Halterungen setzt muß den Halter aufbohren.

3.10.5 bumm

Bumm hat auf der imfa 2003 einen Topal mit Luxeon NW98 versteckt. Soll wohl zeigen, daß auch von bumm demnächst was kommen soll. Aber weder ist eine Luxeon NW98 zulassungsfähig noch sinnvoll. Mal sehen, was nach der ifma 2004 zu berichten ist.

3.10.5.1 DLumotec Topal

Im Juli 2003 kündigt Busch&Müller den bumm 173 an. Eine LED im Topalgehäuse. Angeblich soll der Schweinwerfer die TA für 10 lx erfüllen.

Der DLumotec Topal wird wohl im September/Oktober 2004 in den Läden auftauchen. Auf der ifma 2004 war er an diversen Rädern zu sehen.

Die Markteinführung fand ca. im November 2004 statt.

Auf der ifma 2004 war auch eine Akkuleuchten-Version des DLumotec als Prototyp zu sehen.

Verbaut ist eine Luxeon 1 W-Sideemitter mit einem Schaltregler. Das Standlicht wird von einer seperaten weißen LED übernommen. Bei 6,8 V am Eingang wird die LED mit ca. 600 mA betrieben.

Die Lichtwerte von Serienexemplaren sind auf www.enyhdralutris.de im Goniometer-Bereich zu sehen.

Interessant ist das Betriebsverhalten. An Gleichspannung (polungsabhängig) ergibt sich folgendes Bild

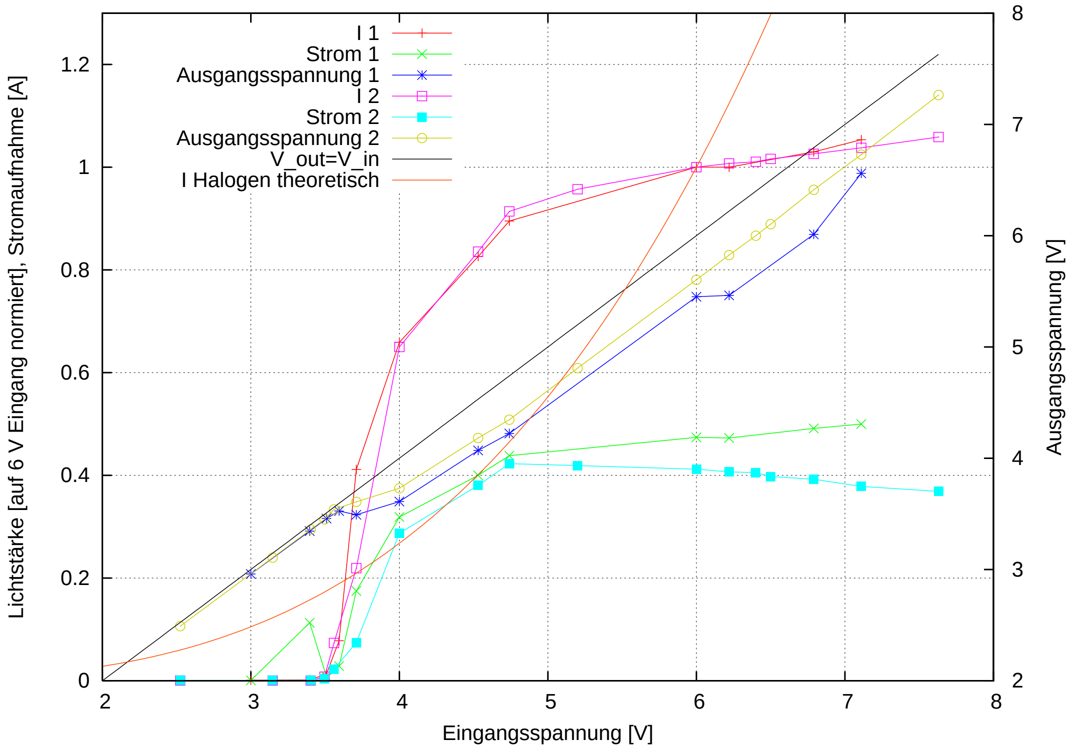


Bild 3.73: Verhalten des DLumotec Topal an Gleichspannung

Es wird also relativ früh schon Licht erzeugt, zumal die Stromaufnahme dabei gering ist. An Klauenpolgeneratoren also deutlich früher als mit Glühlampen. Allerdings ist nach oben hin sehr bald Schluß und vernünftige HS3-Scheinwerfer gewinnen deutlich. Also für langsame Fahrten als „Zweitscheinwefer“OK.[108]

[108]Nicht ganz StVZO-Konform:-)

Der Einfluß der Temperatur ist beim DLumotec Topal auch zu beobachten (vgl. Bild 3.74). Die Messungen werden mit einem NiCr-Ni-Thermometer, Meßperle von hinten in eine Kabelöffnung des großen Kühlkörpers geklemmt. Bei geschlossenem Gehäuse und 20 Grad Raumtemperatur vermessen. Nach einer Stunde wird ein Papst 4214GM (120 mm) mit 26 statt 24 V angeschaltet, der von hinten in einem Abstand von ca. 20 cm den Scheinwerfer runterkühlt.

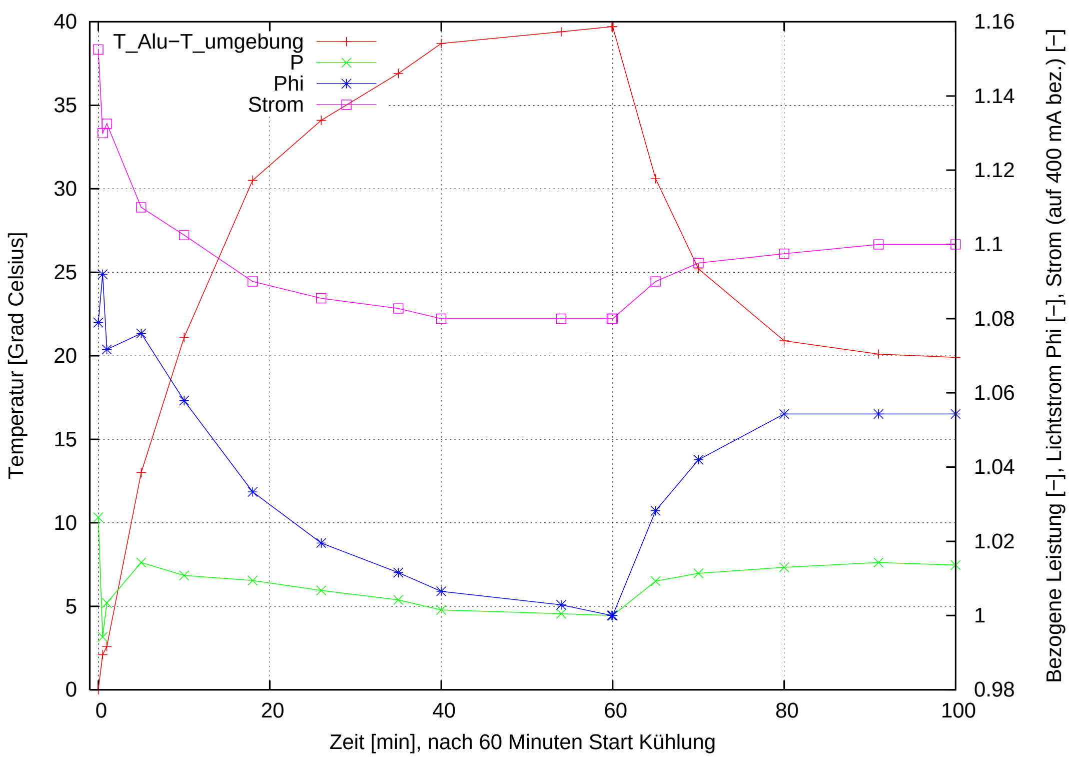


Bild 3.74: Temperatureinfluß beim DLumotec Topal

Zu den Lichtwerten siehe u.a. www.enhydralutris.de beim Goniometer.

3.10.5.2 bumm IQ fly

Der IQ fly (~~~K527, ~~~K537, ~~~K565) ist seit Herbst 2007 auf dem Markt. Es gibt unterschiedliche Ausstattungen (Standlicht, Sensor, Schalter, Akku etc.). Eingesetzt wird anfänglich eine Cree XR7090-

WT-U1[109][110] einem Offset-Spiegel.[111] Ein Spiegel mit vier Segmenten und relativ großer Brennweite erzeugt eine breite und gleichmäßige Fahrbahnausleuchtung. Die Bauform ist allerdings wieder eine weitere Re-Inkarnation der Thermoskanne.

Ein Schnitt durch den Reflektor (Bild 3.75) mit eingezeichneter Cree läßt als minimale Einsammelwinkel nach vorne 45° , nach hinten 63° und zur Seite 60,37° errechnen. Die Brennweite scheint bei ca. 9,8 mm zu liegen. Aus Bild 3.36 läßt sich dann abschätzen, daß vom Reflektor mindestens 70–80 % des Lichtstromes der LED eingesammelt werden. Als Vergleich (s. S. 3.126) sammeln typische HS3-Scheinwerfer ca. 75 % des Lichtstromes ein.

[109] Welches Binning ist unbekannt. Ein 2007 gekauftes Exemplar hat vier Bonddrähte, könnte P3 sein. Getrennt angeschaffte, schon ältere P4 haben drei Bonddrähte.

[110] Selbst bei mit Cree XR-E ausgestatten IQs werden unterschiedliche XR-Es beobachtet. Normalerweise ist bei den XR-Es nicht nur der Chip mit dem gelben Phospor überzogen, sondern fast die gesamte „Talsohle“ innerhalb des versilberten Kupferringes, inkl. Bondingdrähte und Keramikchip. Es gibt aber auch IQs, bei den nur der Chip selber mit dem Phosphor überzogen ist. Laut A. Oehler sind aber inzwischen selbst Q5 mit Phosphor nur auf dem Chip gesichtet worden.

[111] Ein uraltes Prinzip: Selbst bei alten Gasheizungen die eher an einen Kamin erinnern benutzen dieses Prinzip.

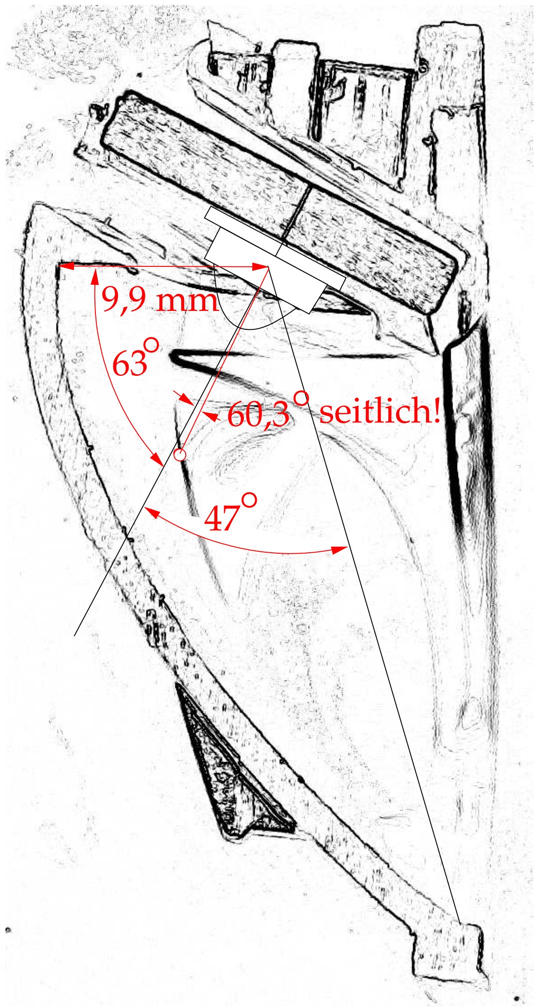


Bild 3.75: Schnitt durch den IQ-Reflektor

Ende 2007/Anfang 2008 tauchen dann die ersten IQ-flys mit Luxeon Rebel (LXML-PW1C-) noch mit altem, für Cree gerechneten, Spiegel auf. Ein solcher wurde auch vermessen[112]. Eigentlich ist für die Rebel ein anderer Spiegel sinnvoll. Die Rebel hat als Lambertstrahler einen größeren Abstrahlungswinkel als die Cree XR-E, was wohl mittelfristig zu einem andere Reflektor führen dürfte.

Bei der Rebel sammelt der Reflektor ca. 75 % des Lichtstromes der LED ein, bei der Cree XR-E ca. 90 %.

Zur Gehäusemechanik etc. siehe Seite 212.

[112]www.enhydralutris.de/Fahrrad/Goniometer/Gegenueberstellung_neu.html

Die Spule im Schaltwandler hat 0,2 Ω Gleichstromwiderstand. Eine Reduzierung auf 0,1 Ω würde einen ca. 5 % besseren Wirkungsgrad bringen.

Die LED, eine Cree XR7090-WT-U1, ist auf einer mehrfach durchkontaktierten Platine aufgelötet. Auf diese ist ein großes, mehrfach gekantetes Alublech (3,4 g, 0,9 mm dick) mit einer Feder angedrückt. Das Alublech füllt beim IQ-Fly das gesamte Gehäuse und ist von unten durch die Öffnung zu sehen. So sollte es etwas Fahrtwind abbekommen. Etwas Wärmeleitpaste zwischen Platine und Alublech wird sicherlich nicht schaden.

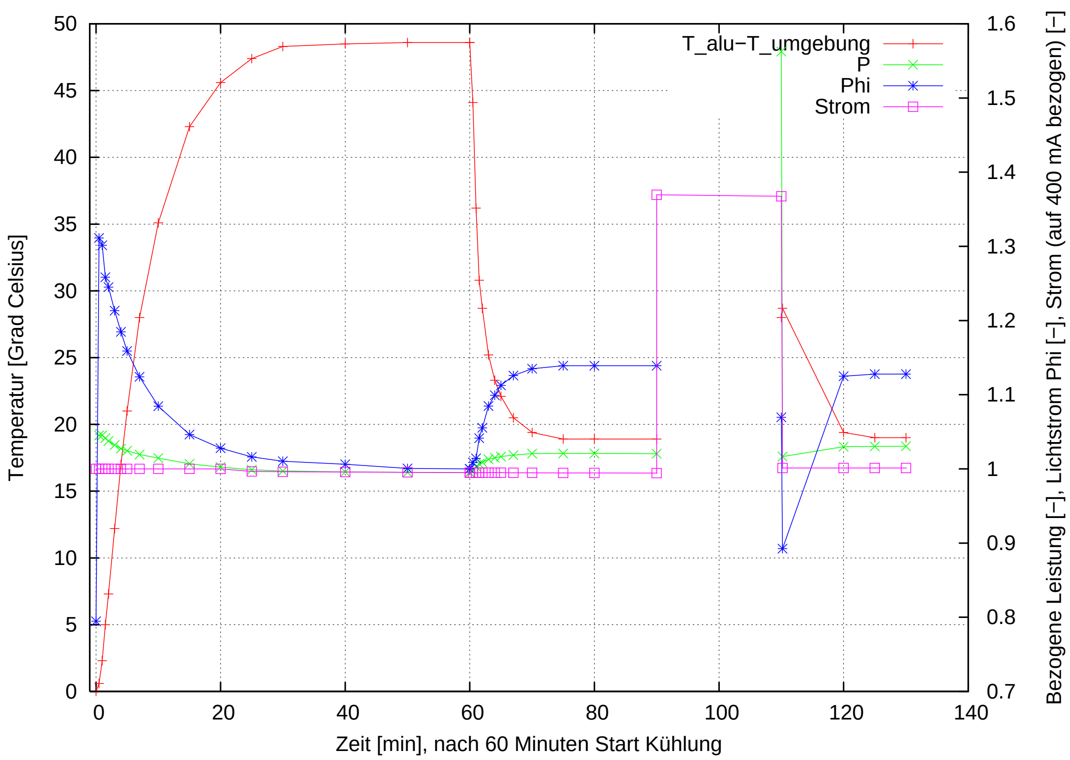


Bild 3.76: Temperatureinfluß beim bumm IQ-fly

Die NiCrNi-Perle ist zwischen Andruckklammer und Alublech geklemmt.

Zur Bestimmung der Wärmewiderstände werden an einem weiteren Exemplar (174 QDi) bei leichter Windkühlung getrennt Temperaturmessungen vorgenommen. Die NiCrNi-Perle ist am Cu-Ring mit Sekundenkleber kontaktiert, eine weitere unter der Metallklammer festgeklemmt. Nach zwei Stunden bei 0,317 A und 7,528 V Gleichspannung bzw. 2,38 W Eingangsleistung ergeben sich am Cu-Ring ϑ_{CuR}=91,3 °C und an der Klammer ϑ_{Alu} =76,2 °C. Zum Vergleich, der 174 QNDi aus Bild 3.76 wurde mit 2,69 W betrieben und erreichte ungekühlt nach ca. 60 Minuten 69,6 Grad an der Klammer.[113].

[113]Raumtemperatur ca. ϑ_U=21 °C.

Als LED-Leistung werden 73 % der Eingangsleistung,[114] also 2,15 W angenommen. Überschlägig ist damit ein Wärmewiderstand von

$$R_{\text{CuR-Alu}} = \frac{\vartheta_{\text{CuR}} - \vartheta_{\text{Alu}}}{P_{\text{LED}}} = \frac{91{,}3 - 76{,}2}{2{,}69 \cdot 0{,}73} = 8{,}9\,\text{K/W} \tag{3.79}$$

$$R_{\text{Alu-U}}(v < 8\,\text{km/h}) = \frac{\vartheta_{\text{Alu}} - \vartheta_{\text{U}}}{P_{\text{LED}}} = \frac{76{,}2 - 21}{2{,}69 \cdot 0{,}73} = 28{,}1\,\text{K/W} \tag{3.80}$$

$$R_{\text{CuR-U}}(v < 8\,\text{km/h}) = R_{\text{CuR-Alu}} + R_{\text{Alu-U}} = 8{,}9 + 28{,}1 = 37\,\text{K/W} \tag{3.81}$$

zu errechnen. Dabei sollte ϑ_{CuR} ungefähr der Temperatur am Lötpunkt ϑ_{sp} entsprechen. Laut Datenblatt zu den XR-E ist $\vartheta_{\text{j}} <150\,°\text{C}$ und $R_{\text{th j-sp}} = 8\,°\text{C/W}$.[115] Damit liegt

$$R_{\text{j-U}} = R_{\text{CuR-U}} + R_{\text{th j-sp}} = 37 + 8 = 43\,\text{K/W} \tag{3.82}$$

$$\vartheta_j(v < 8\text{km/h}, P) = \vartheta_{\text{U}} + R_{\text{j-U}} P_{\text{LED}} = \vartheta_{\text{U}} + R_{\text{j-U}} \eta P_{\text{IQ}} \tag{3.83}$$

Ehrlicherweise ist $R_{\text{j-U}}$ auch noch von der Geschwindigkeit abhängig (vgl. Gleichung 3.85). Damit können nun aber auch die Sperrschichttemperaturen abgeschätzt werden. Zum Beispiel für 0 °C Lufttemperatur und 25 km/h, also 4,12 W Eingangsleistung (vgl. Tabelle 3.31:

$$\vartheta_{\text{j}} = 0 + (25{,}7 + 8{,}9 + 8)0{,}73 \cdot 4{,}12 = 128\,°\text{C} \tag{3.84}$$

Ich schreib jetzt lieber nichts.

Der 174QDi wird auf einer Fahrt am MTB in Serie mit einem Touchdown[116] betrieben. Die NiCr-Ni-Perlen sind dabei unter der Andruckklammer bzw. in dem freien Fahrtwind angebracht. Die Meßrate beträgt 0,2 Hz. Bei den meist gefahrenen 25 km/h fallen über dem IQ 3,51 W bei 8,1 V und 0,497 A bzw. bei 32 km/h 4 W bei 8,17V und 0,546 A ab.[117] Die LED wird also mit ca. $3{,}51 \cdot 0{,}63 = 2{,}21\,\text{W}$ betrieben.

An einer realen Stromquelle (SON28) wird ein 174QDi bei unterschiedlichen Szenarien vermessen: Alleine, parallel zu einem DToplight FlatPlus (DTL FlatPlus) oder seriell zu einem Touchdown (zwei serielle LXHL-PW09 hinter der Graetz-Brücke aus Schottky-Dioden).

---

[114] Nach Messungen an einem 174QDI.

[115] Laut Cree-Datenblatt CLD-DS05.008 erhält man 70 % Lichtstromverlust nach 50.000 Stunden nur, wenn ϑ_{j} unter 80 °C bleibt.

[116] Zwei serielle LXHL-PW09, Brückengleichrichter, Glättungskondensatoren.

[117] Achtung, Serienschaltung, alleine wird mehr Leistung hineinfließen.

Tabelle 3.31: Leistungsaufnahme des 174QDi am SON28

		Eingang			LED	
v [km/h]	f [Hz]	P [W]	U [V]	I [A]	U [V]	I [A]
Einzelscheinwerfer						
10	18,8	2,02	6,89	0,333	3,237	0,462
15	28,3	3,27	7,96	0,459	3,386	0,737
20	37,73	3,82	8,20	0,512	3,455	0,838
25	47,17	4,12	8,28	0,545	3,462	0,907
35	66,01	4,37	8,39	0,571	3,502	0,944
Parallel zu einem DToplight FlatPlus						
10	18,8	1,76	6,63	0,296	3,183	0,407
15	28,3	2,86	7,68	0,413	3,346	0,655
20	37,73	3,17	7,92	0,441	3,384	0,717
25	47,17	3,63	8,06	0,493	3,435	0,806
35	66,01	3,70	8,09	0,503	3,460	0,825
Seriell zu einem TD						
10	18,8	0,49	3,61	0,153	2,966	0,122
15	28,3	1,31	5,87	0,257	3,089	0,318
20	37,73	2,24	7,26	0,354	3,297	0,512
25	47,17	3,07	7,89	0,439	3,372	0,683
35	66,01	3,88	8,26	0,521	3,46	0,855

Die Meßwerte in 3.31 sind die des 174QDi. Die anderen Verbraucher gehen nicht in die Meßwerte ein.

In Bild 3.77 sind die Abhängikeit von U und v von P aufgezeigt. Die Helligkeit E ist vorerst nur als Anhaltswert zu betrachten, es wurde dafür der Datensatz eines anderen und zudem warmen und ungekühlten IQs herangezogen. Der prinzipielle Verlauf von $E(P)$ sollte ungefähr stimmen, nur ist er nicht mit denen von Bild 3.126 und 3.112 etc. vergleichbar, da dort (spätere Messungen) die Scheinwerfer alle leicht gekühlt worden.

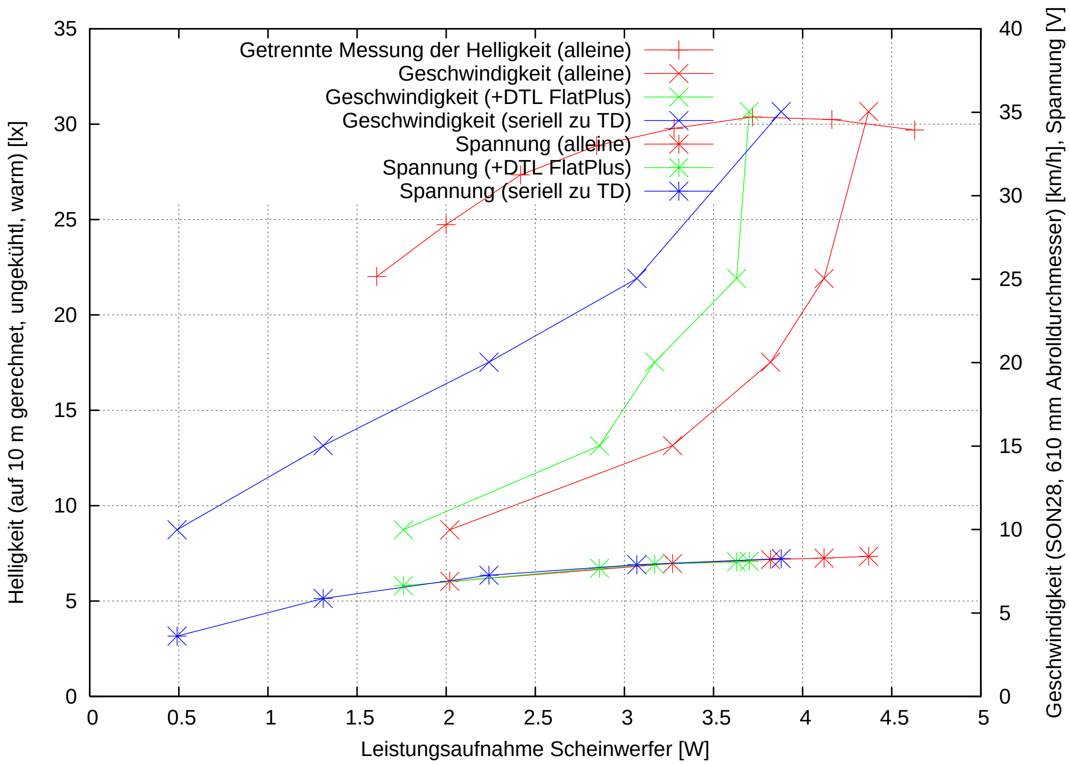


Bild 3.77: IQ an realer Stromquelle (Helligkeit nur zu Orientierung)

Die Leistung der Diode ist aufgrund pulsierenden Stromes nicht aus Spannung mal Strom berechenbar. Bei 37 Hz wird hier das GMC29s für eine Messung eingeschaltet. Es ergibt sich $P_{\mathrm{LED}} = 2{,}93\,\mathrm{W}$ bei $U_{\mathrm{LED}} = 3{,}58\,\mathrm{V}$ und $I_{\mathrm{LED}} = 0{,}853\,\mathrm{A}$, also $P_{\mathrm{LED}} = U_{\mathrm{LED}} * I_{\mathrm{LED}}/1{,}042$.

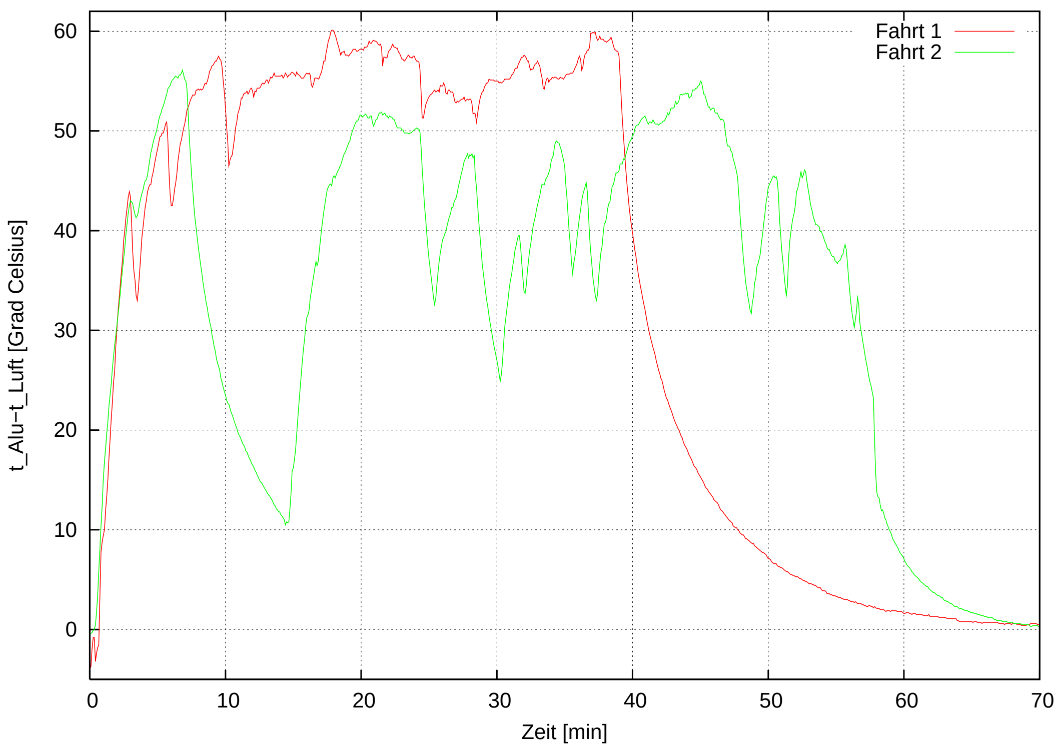


Bild 3.78: Temperaturen beim bumm IQ-fly im Fahrbetrieb

Die Temperatur wird an der Oberseite des Alubleches zwischen Alublech und Feder gemessen. Auf den Abschnitten mit durchgehend konstanter Geschwindigkeit wurde mit ca. 25–26 km/h gefahren.[118]

Damit ergeben sich

$$R_{\text{Alu-U}}(v = 25\,\text{km/h}) = \frac{\vartheta_{\text{Alu}} - \vartheta_{\text{U}}}{P_{\text{LED}}} = \frac{57}{2{,}21} = 25{,}7\,\text{K/W} \tag{3.85}$$

im realen Fahrbetrieb.

Zumindest der IQ-flyN hat, abhängig von der elektrischen Quelle, ein relativ komplexes Betriebsverhalten. Bei Gleichspannungsversorgung (Labornetzteil) hat die Stromaufnahme eine andere Abhängigkeit als bei Wechselspannungsversorgung (Frequenzgenerator und Leistungsverstärker) und diese ist wieder anders als die bei Wechselstromversorgung (z.B. ein Nabendynamo).

[118]So der Tacho bei Dunkelheit ablesbar war.

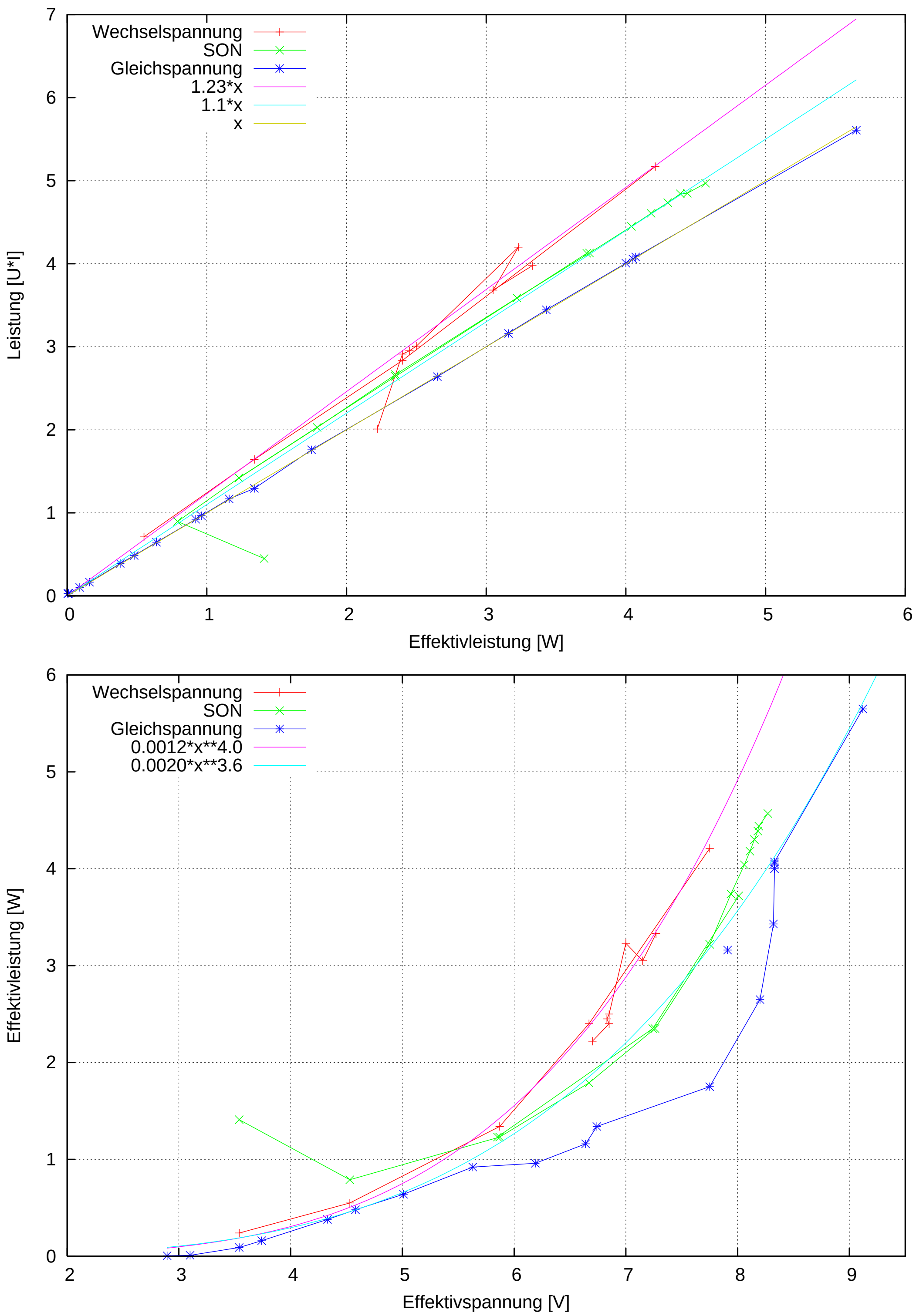


Bild 3.79: Einfluß der Spannungsversorgung auf den IQ-Fly N+ (betriebswarm, gekühlt)

Die Helligkeit ist von der Art der Versorgung in erster Näherung unabhängig.[119]

In den ersten Versionen 2007 wird als Standlichtkondensator ein Goldcap von Starcap eingesetzt. Dieser weist zumindest nach einigen Betriebstunden einen hohen Innenwiderstand und Kapapzitätsverlust auf. Siehe hierzu auch 540. Angeblich wird, Stand Ende 2007, aber dadrann gearbeitet.

3.10.5.3 bumm Fly-T IQ 24

Der Fly IQ 174RQRTSNi-04 (~~~K570) hat, zusätzlich der eigentlichen Fahrlicht-LED, dort, wo beim normalen Fly der Retroreflektor eingebaut ist, sechs LEDs für das Tagfahrlicht. Der Retroreflektor sitzt nun am Hautpscheinwerfer wie bei Cyo-R (bum 175QRDi etc.).

3.10.5.4 bumm Cyo IQ

Der Cyo (~~~K565) taucht Ende 2008 auf. Es ist im wesentlichen die IQ-Optik mit leichten Modifikationen.

Die Modelle 175QDi, 175QNDi und 175QSNDi sind auch als „Cyo-Sport“ bekannt.

Die Modelle 175QRDi, 175QRNDi und 175QRSNDi sind mit verbesserter Nahfeldausleuchtung und einem „Katzenauge“(~~~K570) versehen. Diese sind durch den Lichtstrom, der für den Nahbereich benötigt wird, etwas dunkler im Fernfeld als der „Cyo-Sport“. Außerdem schattet das „Katzenauge“ etwas Lichtstrom ab.

Es dürften auch hier Varianten mit Cree XR-E und Luxeon Rebel im Umlauf sein.

Eine wesentliche Änderung dürfte die deutliche Verbesserung der LED-Kühlung sein. Der Goldcap ist ein Tokin FGH 5,5 V/1 F. Die Spule hat mit 175 mΩ weniger Gleichstromwiderstand als in den IQ-flys.

Der hier vermessene Cyo (175QNDi) wiegt ca. 66 g (inkl. Kabel). Die Optik wiegt ca. 10,4 g, der Kühlkörper 11 g.

---

[119] Gleiche Effektivleistung rein, gleicher Lichtstrom raus.

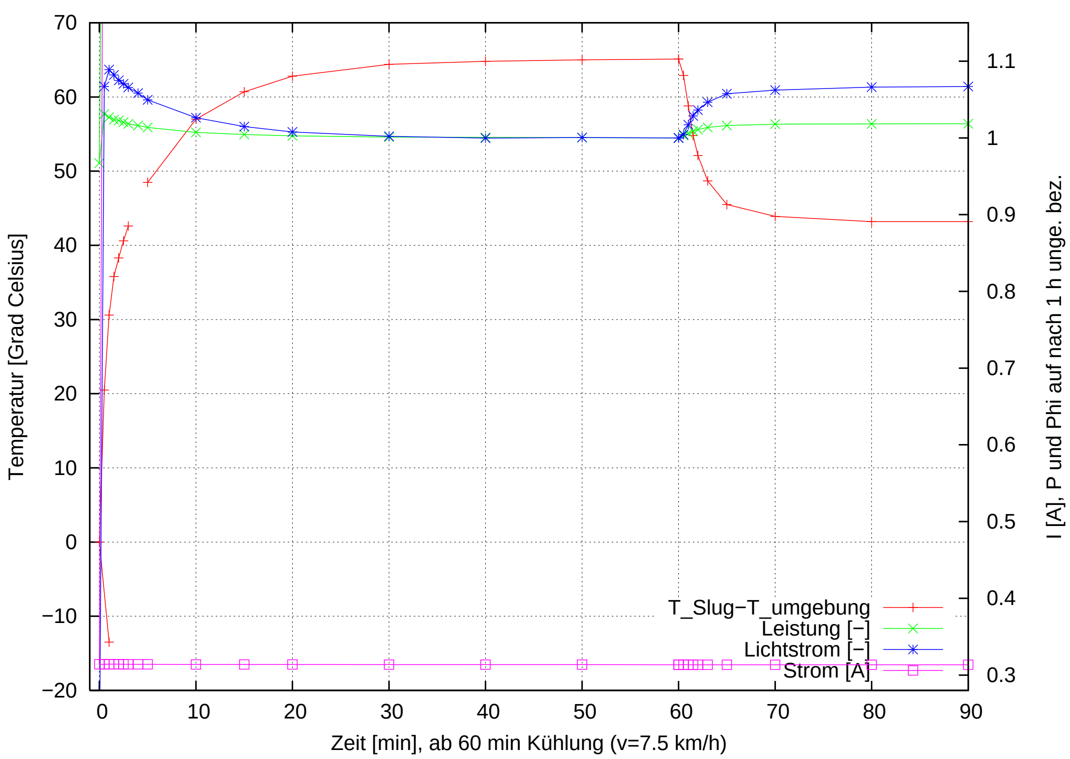


Bild 3.80: Einfluß der Temperatur beim Cyo 175QNDi (bei 0,314 A)

Die Temperatur ist wird Kupferring der LED (XR-E) gemessen.

Ungekühlt lassen sich folgende Abhängigkeiten errechnen:

$$E(t) = 86{,}258 + \frac{8{,}5767}{\exp(0{,}1358t)} \tag{3.86}$$

$$E(\vartheta) = 107 - 0{,}249\vartheta \tag{3.87}$$

mit E in lx, t in Minuten und ϑ in °C.

Wie sich der 175QNDI elektrisch verhält ist in Bild 3.81 wiedergeben.

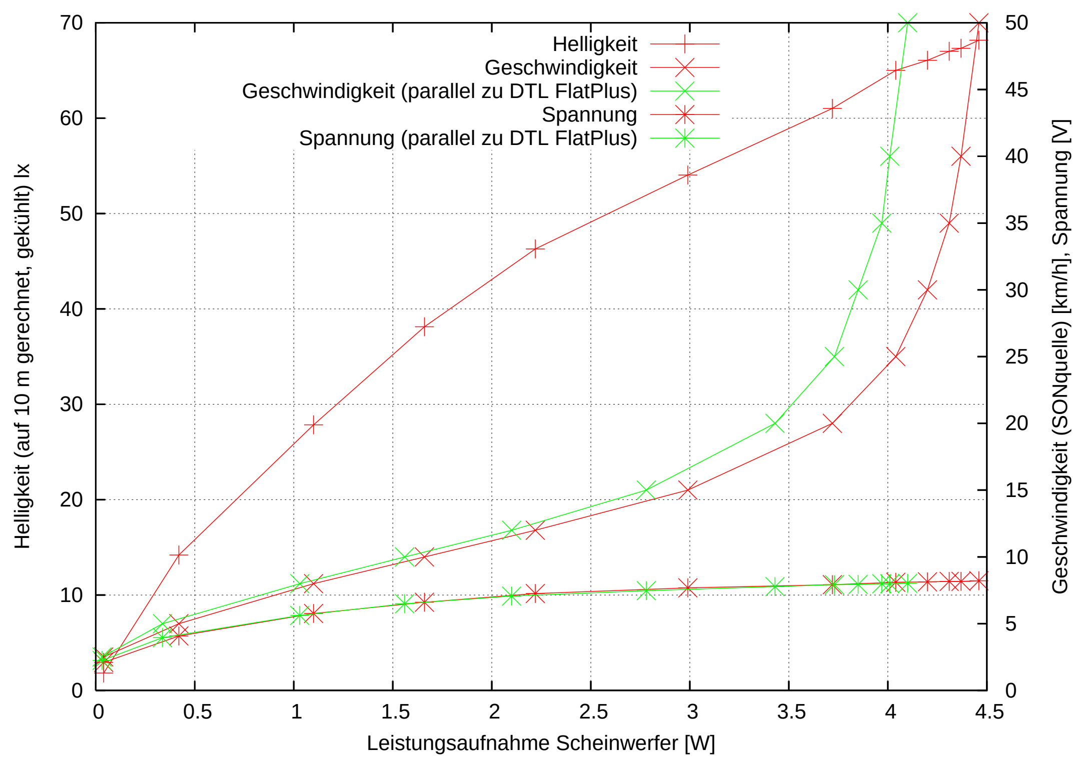


Bild 3.81: bumm 175QNDi an der SONQuelle

Die Helligkeit läßt sich grob mit

$$E(P) = 45{,}84P^{0{,}628} \tag{3.88}$$

mit E in lx und P in W beschreiben. Wobei

$$E(P) = 381{,}75P^{0{,}962} - 306{,}36P \tag{3.89}$$

besser paßt. In beiden Fällen ist der Dynamo nur mit dem Scheinwerfer belastet. Ein Rücklicht ist nicht angeschlossen! Der Einfluß des Rücklichtes läßt sich grob aus Bild 3.81 abschätzen.

Der 175QNDi hat an Gleichspannung eine andere Leistungsaufnahme als bei entsprechender Spannung an einem Nabendynamo, hier SONquelle, vgl. Bild 3.82.

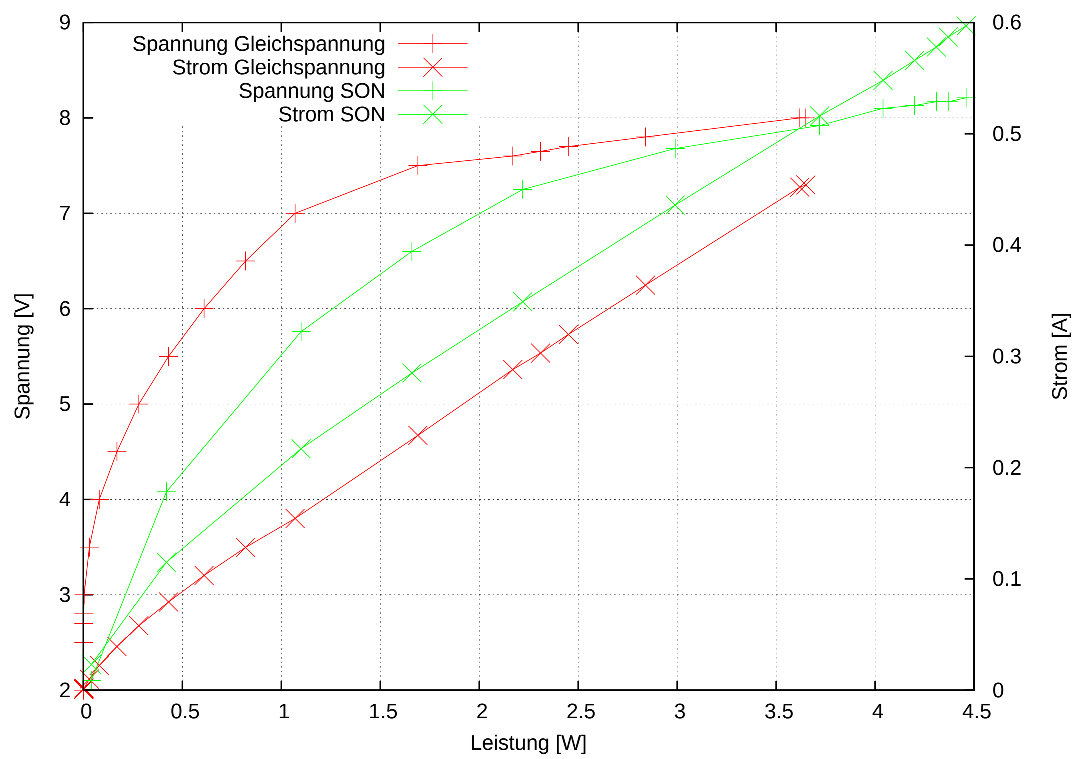


Bild 3.82: Einfluß von Gleichspannung und realem Dynamo auf den Cyo

Diese relativ steile Kennline erschwert den Betrieb vom Cyo an Akkus.[120] Die, während des Entladevorganges fallende Spannung, hat einen starken Leistungsabfall zur Folge. Eine Stromregelung sollte deutlich besser sein.

Die Leistungsaufnahme von zwei Cyos an der SONQuelle parallel oder seriell, mit und ohne Serienkondensator gemessen und mit Gleichung 3.88 verrechnet ergeben Bild 3.83. Durch Unterschiede in der Kühlung und da ein Cyo bei den Messungen keinen Goldcap eingebaut hatte kommt es zu leichten Abweichungen der Leistungsaufnahme zwischen den Messungen mit einem und mit zwei Cyos. Absolut werden die Kurven je nach Scheinwerfer unterschiedlich sein. Prinzipiell sollte diese Kurven jedoch auf alle IQ-ähnlichen Scheinwerfer, also auch den E*delux*, anwendbar sein.

[120]Dies gilt auch für den IQ, E*delux* und anderen vergleichbaren Scheinwerfern.

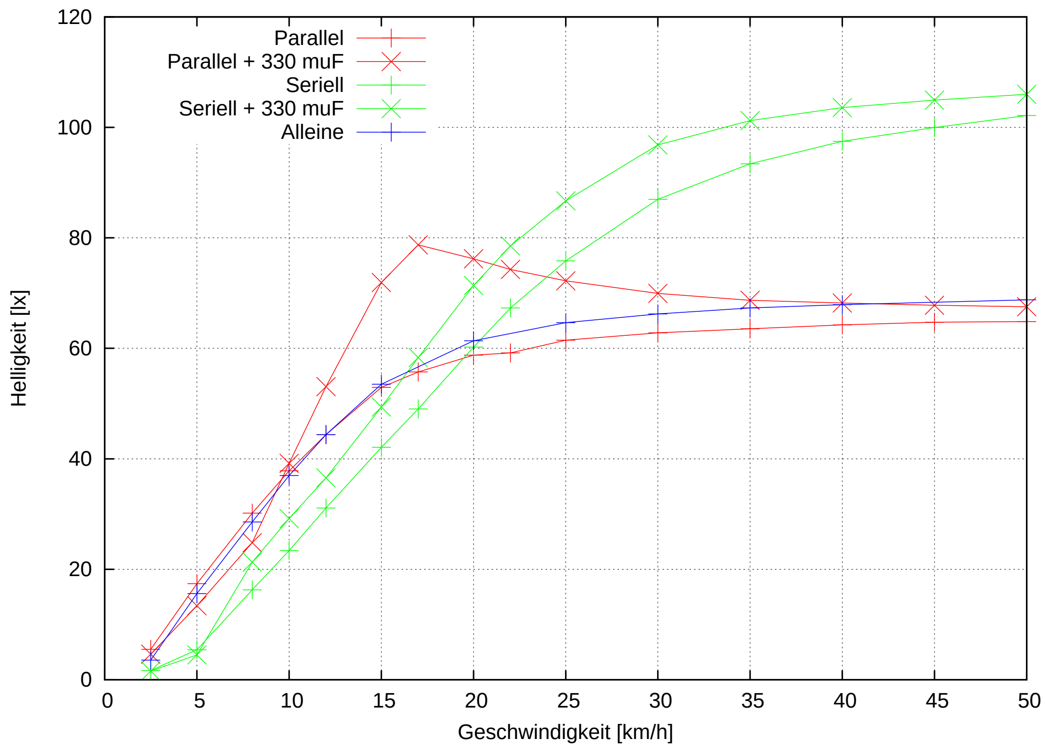


Bild 3.83: Cyo: Parallel, seriell oder alleine, mit und ohne Serienkondensator

Wenn also zwei Cyos o.ä. am Rad betrieben werden sollen, dann am besten mit Serienkondensator und seriell. Für langsamere Passagen dann einen Cyo inkl. Serienkondensator kurzschließen[121] oder parallel[122] schalten.

3.10.5.5 Cyo-T

Der Cyo-T (175QTSNDI-04, ~~~K 565) unterscheidet sich vom normalen Cyo im Wesentlichen dadurch, daß vier weise LEDs unterhalb des Scheinwerfers nebeneinander angeordnet sind. Diese strahlen eher als Lambertstrahlerin einem breiten Bereich ab und sollen als Tagfahrlicht für eine bessere Auffälligkeit sorgen.

Die vier LEDs sind über einen Kupferblechstreifen und die Montageschraube an den oberen Kühlkörper engebunden, schmoren also nicht im eigenen Saft.

Das Standlicht wird von den zweien der vier Tagfahrlicht-LEDs übernommen.

Ist der Scheinwerfer im „Nachtbetrieb“, so sind die Tagfahr-LEDs gedimmt, aber immer noch an.

[121] Also keine Änderung zum z.B. E6+E6Z.
[122] Ein vierpoliger Umschalter sollte so beschaltet werden können.

3.10.5.6 IQ-X

Der IQ-X (164TSNDI, ~~~1192) ist nicht an Gleichspannung betreibbar.

Die Haupt-LED und Tagfahrlicht-LEDs sitzen auf einer kleinen Aluplatine. Dies ist über ein Zwischenstück, ohne Wärmeleitpaste o.ä. an das Alugehäuse gedrcuckt. Es sind mehrere LEDs eingebaut. Neben der Hauptfahrlicht-LED (Doppel-LED) sind zwei LEDs für eine Tagfahrlichtfunktion und intern noch welche für eine Seitensichtbarkeit verbaut. Und blaue LEDs für die Funktionsanzeige nach hinten durch den Tasterabdichtung.

Ein direktes Blenden/Irritieren des Fahrers, wie früher beim Fly, ist nicht mehr möglich.

Der Betrieb ist nur an Wechselpannungs/-strom möglich. An Gleichspannung geht der IQ-X nicht.

An typischen Nabendynamos wird recht früh die maximale Leistung entnommen. Bei höheren Geschwindigkeiten aber nicht die dort maximale.

Als Haupt-LED ist eine mit zwei direkt nebeneinander liegenden Chips verbaut. Diese ergeben dann das breite Leuchtbild auf der Fahrbahn. Bei Tagfahrlicht und langsamer Fahrt leuchtet von der Haupt-LED nur eine der beiden und die Tagfahrlicht-LEDs

Tagfahrlicht wird von einem Sensor, der anscheinend von hinten durch die Schalterabdeckung beleuchtet wird, gesteuert.

Das Gehäuse ist ein Drehteil. Von vorne, hinten und oben gut gedichtet. Unten ist sowohl, verdeckt unter der Halteschelle wie durch die Kabeldurchführung ein Kondenswasserablauf vorhanden.

Achtung: Das Frontglas ist durch Nasen mit dem hinteren Teil fixiert und diese Rastnasen brechen beim Lösen des vorderen Ringes gerne ab, da die O-Ringe das Frontglas mitdrehen. Der Ring ist (M43x0.75 Feingewinde) aufgeschraubt und mit Schraubensicherungskleber gesichert.[123]

Gewicht 110 g (inkl. Halter). Die Schrauben sind TX20 und nur mit zwei TX20 (im Notfall auch passender Schlitz-Schraubendreher) auch einstellbar.

Ein ausführlicher *tear-down* war auch auf offline2k.de/AusfluginsBlaueWP/der-iq-x-von-innen-demontage-des-scheinwerfers/ zu sehen.

Der bumm 164/60TS7 ist die Pedelec/DC-Variante des IQ-X. Er wird mit Gleichspannung von 5–48 V betrieben. Die Nennleistungsaufname beträgt max. 7,5 W. Die Haupt-LEDs ist eine Osram Black-Flat mit zwei Chips. Es sind noch zwei weitere LEDs für das Nahfeld eingebaut. Die seitliche Abstrahlung (australische Vorschrift?) wird mit zwei LEDs erzeugt.

Bei Tageslicht werden zwei weitere LEDs hinzugeschaltet. Die Haupt-LEDs werden etwas dunkler. Die Leistungsaufnahme sinkt von ca. 6,7 W auf 3,2 W. Die Lichtausbeute (lm/W) bleibt nahezu unverändert.

[123]Ringfutter oder spezielle Werkzeuge sind hier zur Demontage notwendig.

3.10.5.7 IXON

Mit der Optik ähnlich der des Lumotec 12V, bumm-Produktnummer: 192.

Zulassung: 431

Gewicht: 99 g + Halter + Batterie. Von den 99 g entfallen 16 auf den verrippten Kühlkörper aus Aluguß. Bei dem zerlegten Exemplar war keine Wärmleitpaste o.ä. zwischen der LED-Platine und dem Kühlkörper aufgebracht.

3.10.5.8 IXON IQ

Die bumm-Produktnummer 192 des IXON bleibt erhalten. Auf dem Gehäuse taucht jetzt zusätzlich zu der ~~~K431 des IXON die ~~~K 568 des IQ auf. Gewicht: 88 g + 21 g Halter + 112 g Akkus.

3.10.5.9 IXON IQ Speed

Die Ixon IQ Speed mit der Produktnummer 193 hat die Zulassungen ~~~K 431 und 568.

Die vom IQ bekannte Optik wird mit einer Cree XR-E in einem Lampenkopf (ca. 84 g) betrieben. Der Lampenkopf wird mit einer Gummilasche am Fahrradlenker (15– ca. 40 mm) festgemacht und ist seitlich im Bereich von ca. ± 30 Grad einstellbar. Es stehen zwei Leuchtstärken (50 lx und 10 lx) zur Verfügung.

Als Akkupack (ca. 355 g) sind fünf serielle verschaltete NiMH mit 4,1 Ah im 18670-Format verbaut. Die Nennkapazität mit 24,6 Wh soll im hellen Modus für 10 h und im dunklen Modus 50 h ausreichen. Ein frischer Akkupack erreicht bei relativ starker Belastung mit 2 A ca. 10,9 Wh, am Speed selber 15,9 Wh und nach einigen weiteren Zyklen 21,7 Wh. Nach ca. zehn Zyklen sollte die Nennkapazität also vorhanden sein.

Der Akkupack ist, ebenso wie der Lampenkopf, werkzeuglos de- und montierbar.

Im hellen Modus werden an 6 V 0,361 A, also 2,17 W aufgenommen. Damit scheint die Laufzeitangabe realistisch zu sein.

Der Lampenkopf wiegt inkl. integriertem Lenkrhalter ca. 85 g, der Akkupack ca. 355 g.Das Systemgewicht liegt ohne Verlängerungskabel bei ca. 440 g.

Der Standbystrom liegt bei 26–30 µA bei 5–7 V.

Die Laufzeiten t in der Tabelle 3.32 sind aus der gemessenen Akkukapazität und der aufgenommenen Leistung errechnet.

Tabelle 3.32: Messdaten Ixon Speed

Stufe	E_{max} [lx]	P_{el} [W]	Φ [lm]	t [h]
1	10	0,413	27	52,4
2	41,5	2,282	111	9,5

Die Helligkeit E_{max} in Tabelle 3.32 ist aus den Lichtstromverhältnissen und der gemessenen Helligkeit bei Stufe 4 errechnet. Der Lichtstrom ist in der UK4 ermittelt, die Helligkeit auf dem Goniometer.

Unterhalb 5,5 V Akkuspannung steht der High-Modus nicht mehr zur Verfügung und der Eco-Mods regelt bis 5,2 V Akkuspannung dann die Leistung und die Helligkeit runter. Der Betriebszustand und Ladezustand des Akkus wird über eine rote und eine grüne LED signalisiert, die in unterschiedlichen Frequenzen blinken.

3.10.5.10 Ixon IQ Premium

Die breiter strahlende Premium-Optik im Ixon-Gehaüse. Bei ansonsten gleichen Zulassungs- und Produkt/Gehäusenummern wie die anderen Ixon IQs. Weiterhin zwei Leuchtstufen und mit normalen AA-Zellen zu betreiben. Von den anderen zu Unterscheiden durch den silbrigen Aufdruck auf dem Gehäuse und uf dem Spiegel steht „IQ-TEC P“.

Unterhalb 5,7 V fängt die Status-LED an zu blinken. Erst mit kurzen Aus-Phasen... bis sie dann nur noch kurz aufleuchtet.. Unterhalb 4,5 V wird vom hellen Modus mit 2,1 W in den Spar-Modus mit ca. 0,6 W umgeschaltet. Unter 4,5 V kann man auch nicht (dauerhaft) in den hellen Modus schalten.

Die Leistungsaufnahme ist im wesentlich konstant, von der Spannung unabhängig. Und zumindest auf dem Labortisch werden auch 8,2 V, die Ladeentspannung von seriell geschalteten 2 LiIon-Zellen angenommen und ausgehalten.

Unter 4,0 V geht die Lampe aus und ist auch nicht mehr anzuschalten. Das dient aber dem Zellenschutz falls die Lampe mit Akkus betrieben wird.

3.10.5.11 Ixon IQ-XM

Der IQ-XM (~~~1506) ist ein Pedelc/Gleichspannungsscheinwerfer mit Fernlicht.

Das Abblendlicht wird über 2 OSRAM OSLON LEDs erzeugt. Im Fernlicht werden vier weitere OSRAM OSLON hinzugeschaltet. Die LEDs haben eine, für übliche Fahrradscheinwerfer, niedrige Farbtemperatur (s. S. 155) und hohen Farbwidergabeindex.

Der hellste Punkt im Fernlichtfall liegt ca. 4,25 ° über dem Abblendlicht. Bei der Messung vergeht etwas Zeit und der Elektronik regelt sich noch ein.

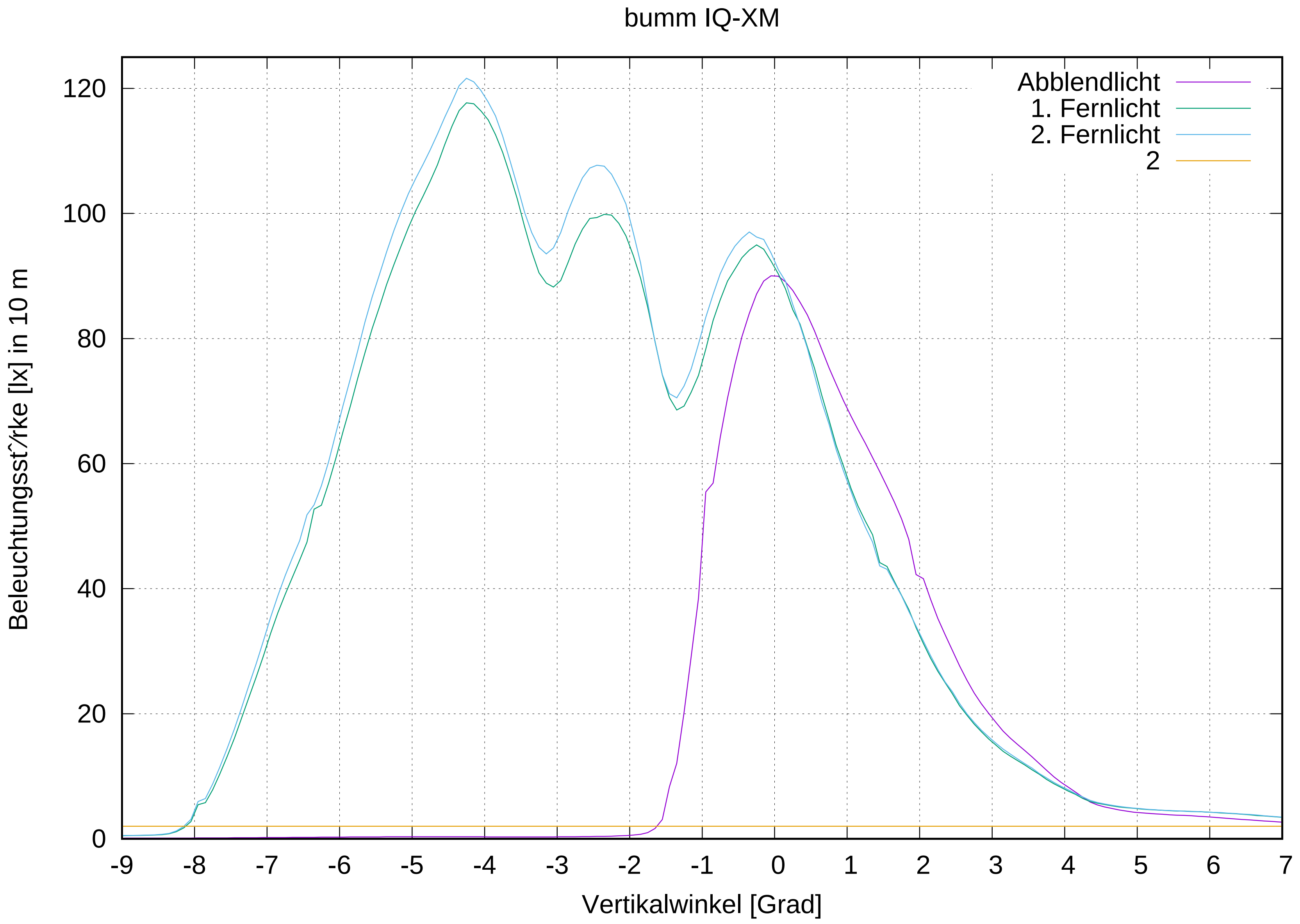


Bild 3.84: Höhenschnitte bumm IXON IQ-XM

3.10.5.12 Lyt

Der Lyt (~~~K 698) hat eine „Massivglas“-Optik und keinen Reflektor wie die IQs.

Das Gehäuse scheint wieder eine Thermoskanne zu sein. Allerdings tauchen unten zwei unscheinbare Aluminium-Bleche heraus, die zudem noch teilweise Kontakt zum Lampenhalter haben. Da scheint doch an eine Kühlung der LED gedacht worden zu sein.

3.10.5.13 bumm Eyc

Der kleine Eyc ist seit Ende 2013 im Handel. Zulassungsnummer ~~~K987 Gewicht 43,8 g (ohne Halter, mit Kabel)

Mit Gleichspannung am Eingang funktioniert der Eyc nicht. Vom Rücklichteingang her ist er mit Gleichspannung betreibbar. Zumindest mit 2,4 W am Goniometer.

3.10.6 Cateye LED-Scheinwerfer

Cateye bietet seit ca. 2001 meist für den internationalen Markt LED-Scheinwerfer an. Einige Varianten haben auch die Zulassung für den deutschen und andere für den britischen Markt.

3.10.6.1 Cateye HL-EL 100

Auf der ifma 2001 ist bei Cateye das HL-EL100 zu bewundern. Es ist ein LED-Frontlicht, daß bei drei LEDs mit 60 cd angegeben wird. Subjektiv erscheint es dunkler als ein altes HL-500 (direkt daneben am Stand). Die LEDs sind in einem, man beachte die Abstrahlung von LEDs, an anderer Stelle in diesem Text aufgeführt, Reflektor untergebracht. Daß die LEDs vom Reflektor zumindest ein bißchen profitieren ist aus Bild 3.36 ersichtlich. Trotzdem ist das Strahlbild aber um die horizontale Achse symmetrisch, und damit weder zulassungsfähig noch für den Straßeneinsatz sinnvoll.

Wenn die drei LEDs mit 60 cd, d.h. 20 cd/LED betrieben werden, so müssen die nach bisherigen Kenntnissen (es sind wohl NSPW500) deutlich über den Nenndaten betrieben werden. Die Lebensdauer der LEDs dürfte nicht allzu hoch, aber immer noch deutlich über Lebensdauer der Fahrräder der angepeilten Nutzergruppe, sein.

Es werden drei parallelgeschaltete LEDs mit einem 15 Ω-Vorwiderstand betrieben.

3.10.6.2 Cateye HL-EL 110

Diese LED-Lampe ist auf Herbstmessen 2002 das erste Mal zu sehen. Ob und wann sie auf den deutschen Markt kommt ist noch unklar. Zu den Zulassungsfähigkeiten gilt wohl auch hier die Bemerkung zum EL100.

Das EL 110 ist mit einer weißen LED, wahrscheinlich einer NSPW 500, ausgerüstet. Zur Optik siehe 3.10.6.3.

Die Ausleuchtung ist die eines Spots. Als maximale Strahlstärke werden 100 Candlepower, ca. 102 lx, angegeben.

3.10.6.3 Cateye HL-EL 200

Diese LED-Lampe ist auf den Herbstmessen 2002 das erste Mal zu sehen. Ob und wann sie auf den deutschen Markt kommt ist noch unklar. Zu den Zulassungsfähigkeiten gilt auch hier die Bemerkung zum EL100.

Das EL 200 ist mit drei weißen LED, wahrscheinlich NSPW500, ausgerüstet zu sein. Den LEDs ist eine Vorsatzline im Frontglas vorgeschaltet. Dies dürfte gegenüber dem EL 100 schon einiges bringen.

Die Ausleuchtung ist die eines Spots. Als maximale Strahlstärke werden 110 Candlepower, ca. 112 cd, angegeben.

3.10.6.4 HL-EL 300

Diese LED-Lampe ist auf den Herbstmessen 2002 das erste Mal zu sehen. Es wird mit vier Mignonbatterien (AA) betrieben. Ob und wann sie auf den deutschen Markt kommt ist noch unklar. Zu den Zulassungsfähigkeiten gilt wohl auch hier die Bemerkung zum EL100.

Das EL 300 ist mit fünf weißen LED, ausgerüstet. Zur Optik siehe HL-EL200. Die Spannung der vier Batterien liegt über einen Vorwiderstand von 10 Ω (2 parallel geschaltete 20 Ω) direkt an den fünf parallel geschalteten LEDs an. Die LEDs werden daraus folgend (bei vollen Akkus) mit

$$I_{\text{single LED EL300}} = \frac{4 \cdot 1{,}35\,\mathrm{V} - 3{,}6\,\mathrm{V}}{4 \cdot 10\,\Omega} = 45\,\mathrm{mA} \tag{3.90}$$

betrieben. Bei vollen Primärzellen etwas mehr. Jedoch wird durch den typ. Verlauf der Ausbeutekennlinie von LEDs die Leistungsänderung nicht so scharf in einer Lichtstromänderung abgebildet.

Die Ausleuchtung ist die eines Spots, weitab von jedem Gedanken einer Zulassung nach TA 23.[124] Als maximale Strahlstärke werden 400 Candlepower, ca. 407 cd, angegeben. Je nach Messung und Stromversorgung werden in HV 2–4,8 lx erzielt.

In den USA liegt der Straßenpreis bei 29–30 $.

[124] Auf der ifma 2002 getestet.

3.10.6.5 Cateye HL-EL300G

Ab Januar 2003 ist existiert eine in Deutschland zugelassene Version des HL-EL300, das HL-EL300G (~~~K19)! Der Straßenpreis liegt am Anfang bei ca. 49 Euro.[125] Typisch für für Deutschland zugelassene Versionen: Die Batteriezustandsanzeige, an internationalen Versionen häufig nicht vorhanden.

Im Gegensatz zu dem einfachen Vorschaltwiderstand der internationalen Version ist hier ein Aufwärtsregler (Meßwiderstand 18 Ω, Strom 50,5 mA)[126] eingebaut, der ca. 1,05 W in die nun in Serie geschalteten LEDs einspeist. Den Verlauf der Eingangsleistung und des Wirkungsgrades gegenüber der Betriebsspannung entnehme man Bild 3.85.

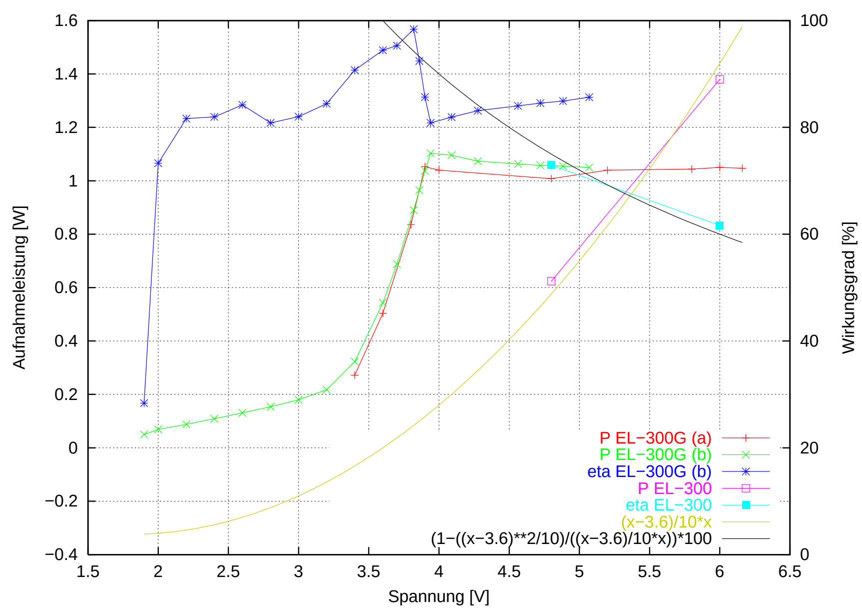


Bild 3.85: Wirkungsgrad EL300G (Quelle: eigene Meßdaten und Andreas Oehler)

Die ersten beiden Kurven stammen von Andreas Oehler, die des zweiten EL300G von mir (anderes Exemplar). Die des EL300 von Andreas, dessen Kurve ist unter Annahme einer Konstantspannungssenke von 3,6 V für die LEDs errechnet.

Im direkten subjektiven Vergleich zu einem Elio Nova oder BiSy FL bei 6 V/2,4 W einer neuen HS3-Lampe schneidet das EL300 sowohl dunkel, seitlich enger bebündelt und mit geringerer Trennschärfe in die Zone 1 ab. Erste Meßwerte von Andreas Oehler und mir an unterschiedlichen Exemplaren bestätigen dies (vgl. Tabelle 3.33). Die Zulassung kann eigentlich nur mit einem Mix aus Blendwerten nach neuer TA und Lichtanforderungen nach alter TA gedeichselt worden sein.

[125] Die internationale Version liegt in den Niederlanden z.B. bei ca. 35 Euro.

[126] Dessen Spannungs- bzw. Leistungsabfall von 45 mW ist alleine schon mit ca. 4 % am Wirkungsgrad der Elektronik verantwortlich.

Tabelle 3.33: Meßwerte HL EL300G (lx in 10 m)

	−8	−4	0	4	8
Zone 1			**1**,58		
0	0,27	**2**,19	**4**,24	**2**,21	0,25
-1,5			**3**,76		
-5	0,08	**0**,5	**1**,15	**0**,68	0,11

Zulassungsrelevante Meßwerte vor der Kommastelle fettgedruckt.

Im Vergleich zu selbst halbwegs modernen Halogenscheinwerfern ist es zu dunkel. Als Nischenprodukt zum „gesehenwerden“ mit, im Vergleich zu Glühlampen, langer Batterie-/ Akkulaufzeit wird es seinen Markt finden.

3.10.6.6 HL-EL 500

Der HL-EL 500 ist im Herbst 2004 auf den deutschen Markt gekommen. Eingebaut ist eine Luxeon-LED. Eine ausgeklügelte Optik erzeugt die Ausleuchtung. Ein erster Bericht tauchte in der aktiv Radfahren 6/2004 auf. Der Betrieb erfolgt mit vier Akkus oder Batterien. Eingebaut ist eine weiße Luxeon-LED (1 oder 3 Watt, ist unklar) als Lambertstrahler.

Auf der ifma 2004 war er in größeren Stückzahlen zu sehen und kurz vor der ifma tauchte die deutsche Version (HL-EL 500G) bei ebay auf.

Im Jan. 2007 wurde ein älterer EL500 näher untersucht.[127]

- Die Schalt-Elektronik im Batteriefach kann zwischen 3 und 6 V Eingangsspannung bei 12 bzw. 24 Ω Lastwiderstand als ein Widerstand von 0,8 Ω idealisiert werden.
- Die Eigenstromaufnahme bei angeschalteter Stellung, ohne Last, liegt bei etwa 4,1–5,5 mA. Eine hinreichend gute Vereinfachung lautet 1100 Ω.
- Die LED sitzt auf einer Aluplatte mit 1,7 mm Dicke und ca. 33,7 mm Durchmesser. Die Position ist nahezu (±0,1 mm) zentrisch auf die vier Bohrungen. Die wohl einzige Möglichkeit, den Lampenkopf unter Beibehaltung von Bajonett und Dichtigkeit, zu zerlegen: Mit einem Fingerfräser von hinten auf ca. 34 mm Durchmesser auffräsen.[128] Dann kann die Aluplatte nach dem Losschrauben nach hinten herausgezogen werden. Die Aluplatte wird durch vier Stifte mit 2 mm Durchmesser im Raster 11x19 mm positioniert. Die Aluplatte hat interessanterweise auch die Aussparung, die bei dem HL-EL 500G die LED für die Batteriekontrolle belegt.

[127] Dank Dieter Schmidt, der seinen eh auf Cree XR7090-WT-U1 umrüsten will.
[128] Sozusagen axiales Einstechen.

- Die „Elektronik“-Platine hinter dem Kühlblech im Lampenkopf ist mit drei parallelgeschalteten 20 Ω-Widerständen bestückt. Also fast dieselbe Beschaltung wie beim HL-EL 300. Die G-Version scheint einen Schaltwandler eingebaut zu haben.

  Wenn ein wenig Formeln schiebt:

$$\eta = \frac{P_{\mathrm{Nutz}}}{P_{\mathrm{gesammt}}} = \frac{P_{\mathrm{LED}}}{P_{\mathrm{LED}} + P_{\mathrm{R}}} \tag{3.91}$$

$$P_{\mathrm{R}} = RI^2 \tag{3.92}$$

$$P_{\mathrm{LED}} = U_{\mathrm{LED}} I \mathrm{LED} \tag{3.93}$$

Solange R bekannt ist, man für die LEDs U(I) mißt[129] kann man Graphen des Wirkungsgrades in abhängigkeit des Stromes erzeugen. plotten. Wobei die mittlere Kurve in Bild 3.86 für den HL-EL 500 mit einer vermessenen PW09 gelten kann.

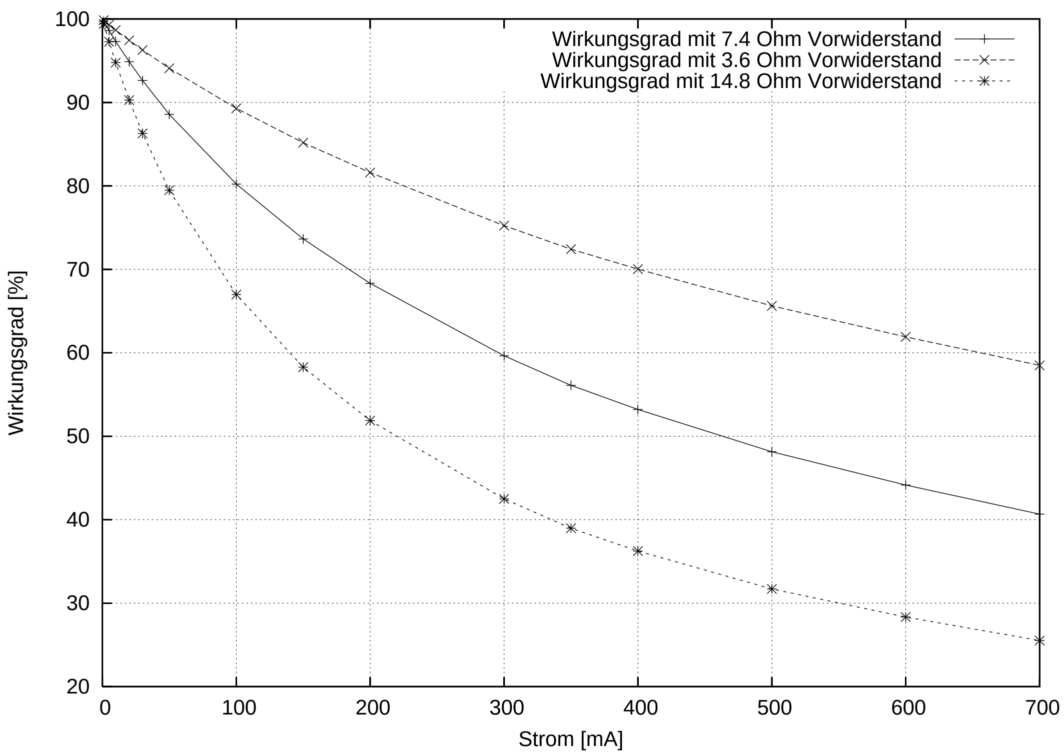


Bild 3.86: Wirkungsgrad HL-EL 500 über Strom

Über die Batteriespannung

[129] LEDs streuen in der Durchlassspannung durchaus um ±10 mV.

$$U_{\text{Batt}} = U_{\text{R}} + U_{\text{LED}} = R I_{\text{LED}} + U_{\text{LED}} \tag{3.94}$$

aufgetragen sieht es dann wie in Bild 3.87 aus.[130] Wobei hier noch die Werte zweier HL-EL 500G mitgeschrieben werden.

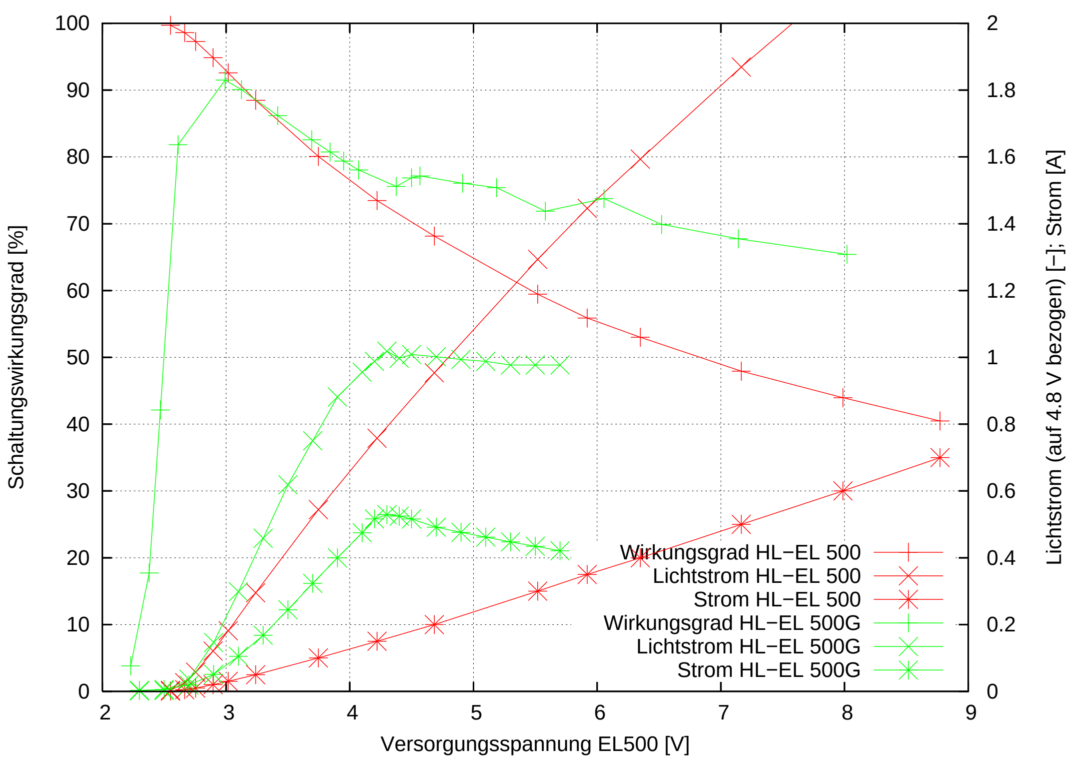


Bild 3.87: Wirkungsgrade HL-EL500 und HL-EL 500G über Batteriespannung

Der Wirkungsgrad des HL-EL 500G in Bild 3.87 ist an einem anderen Exemplar bestimmt als der Lichtstrom und der Strom.[131]

Bei geringen Spannungen bzw. entladenen Batterien steigt der Wirkungsrad der Schaltung des HL-EL 500. Auch haben die LEDs bei niedrigen Strömen i.A. einen höheren Wirkungsgrad. Insofern hat diese Schaltung den Vorteil, die Batterien nicht vollständig zu entladen, aber den Nachteil einer nachlassenden Leuchtstärke.

[130] Bei dem beim Autor beliebt verwendeten Tabellenformaten für LED-Vermessungen mit 1. Spalte I in mA und dann abwechselnd U in Volt und E in Lux…ergibt sich im gnuplot-Syntax für den Wirkungsgrad `u (7.46*$1/1000+$2):(($2*$1/1000)/($2*$1/1000+7.46*($1/1000)**2)*100)`.

[131] Wirkungsgrad: Andreas Roschies HL-EL 500G, Spannung mit Strom und Widerstand der Batteriefach-Elektronik korrigiert. Lichtstrom und Strom das HL-EL 500G von Günther Schwarz. Die Plot-Zeile in gnuplot ist daher etwas länglich:-)

- Zwar ist am Batteriefach ein Aufdruck *Battery Indicator* vorhanden. Zu entdecken ist allerdings nichts. Hier ist wohl ein Gehäuse für zwei Version verwendet worden. Siehe hierzu auch oben die Anmerkungen zum Kühlblech.

Soweit ersteinmal zum HL-EL 500.

3.10.6.7 HL-EL500G

Die Zulassungsnummer ist die ~~~K409. Wesentlicher Unterschied zu der internationalen Version sind ein Schaltregler im Lampenkopf und die Indikator-LED. Bei direktem Vergleich der Lampenköpfe der beiden Versionen nebeneinander ist kein Unterschied der optischen System und der Ausleuchtung feststellbar.

Die folgenden Meßwerte stammen von Andreas Oehler:

Tabelle 3.34: Leistungsaufnahme EL500G

U [V]	I [mA]	LED
4,0	440	an
4,25	520	an
4,6	500	an
4,8	460	aus
6,0	400	aus
6,5	360	aus

Unter 4,25 V sinkt die Helligkeit.

Von Günther Schwarz wurde mir ein Exemplar des HL-EL 500G für Meßzwecke geliehen. Die Meßdaten im Folgenden wiedergegeben.

Mechanisch ein sauberer Aufbau, der wasserdicht zu sein scheint. Lediglich beim Schalter muß man aufpassen, da er auch unbeabsichtigt in einer Tasche betätigt werden kann und dann sind die Akkus schnell alle.[132]

Da der Schaltwandler vorne im Lampenkopf sitzt sind dessen Wirkungsgrade nicht zerstörungsfrei bestimmbar.[133]

[132] Andreas Oehler schon einmal passiert.
[133] Im Januar 2007 an einem anderen Exemplar bestimmt.

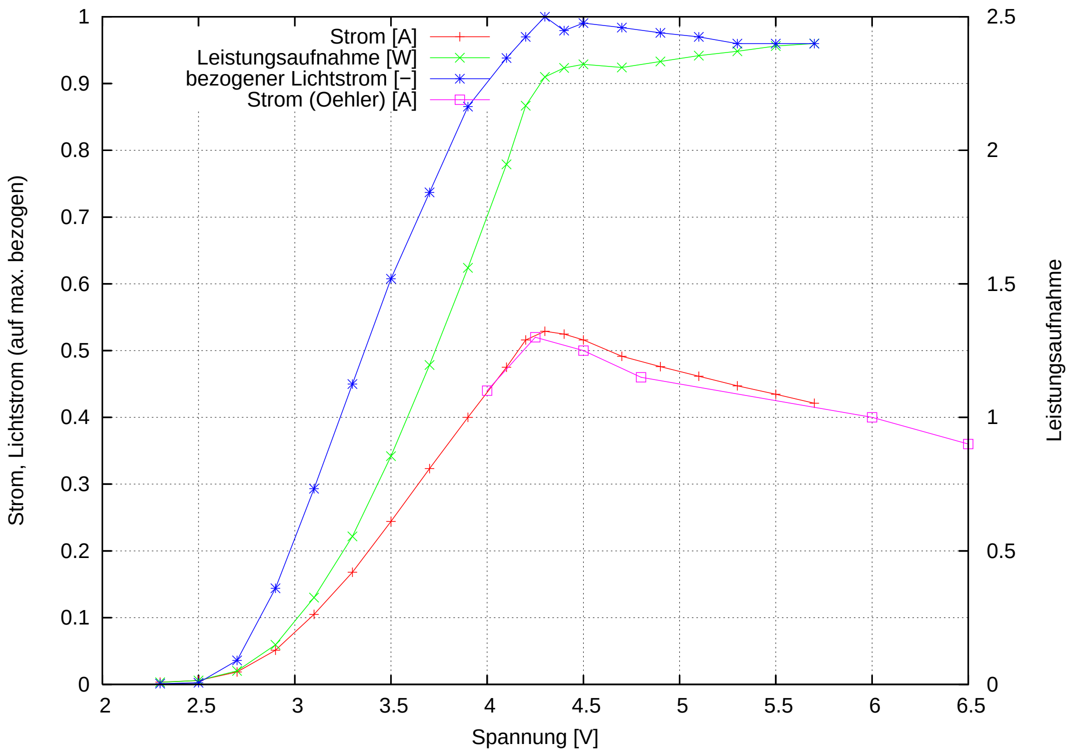


Bild 3.88: Strom und Leistungsaufnahme sowie Beleuchtungstärke EL500G

Eine Batwing-Diode dürfte mehr Lichtstrom bei großem Krümmungsradius erzielen, also einen deutlicheren *hot-spot* erzeugena (s. S. 328). Der zentrale Bereich, sprich das Direktlicht der Diode, erzeugt den größten Blendanteil.

Bei einem anderen HL-EL 500G durfte der Lampenkopf zerlegt werden.[134] So sind Wirkungsgradmessungen möglich. Die angegebene Eingangsspannung ist die am Lampenkopf, nicht die an den Batteriekontakten! Die Ausgangsleistung ist mittels Spannungsabfall über dem Stromshunt[135] und dem Spannungsabfall über der LED gemessen. Dabei ist die Schaltung ca. 8 Minuten bei 7 V warmgelaufen und die Rückseite des Alubleches hat 73 Grad.[136] Eingebaut im Scheinwerfer sind es dann fast 100 °C.

[134] Im Januar 2007, danke an Andreas Roschies.
[135] Drei parallel geschaltete 1 Ω-Widerstände.
[136] Offen auf dem Schreibtisch liegend.

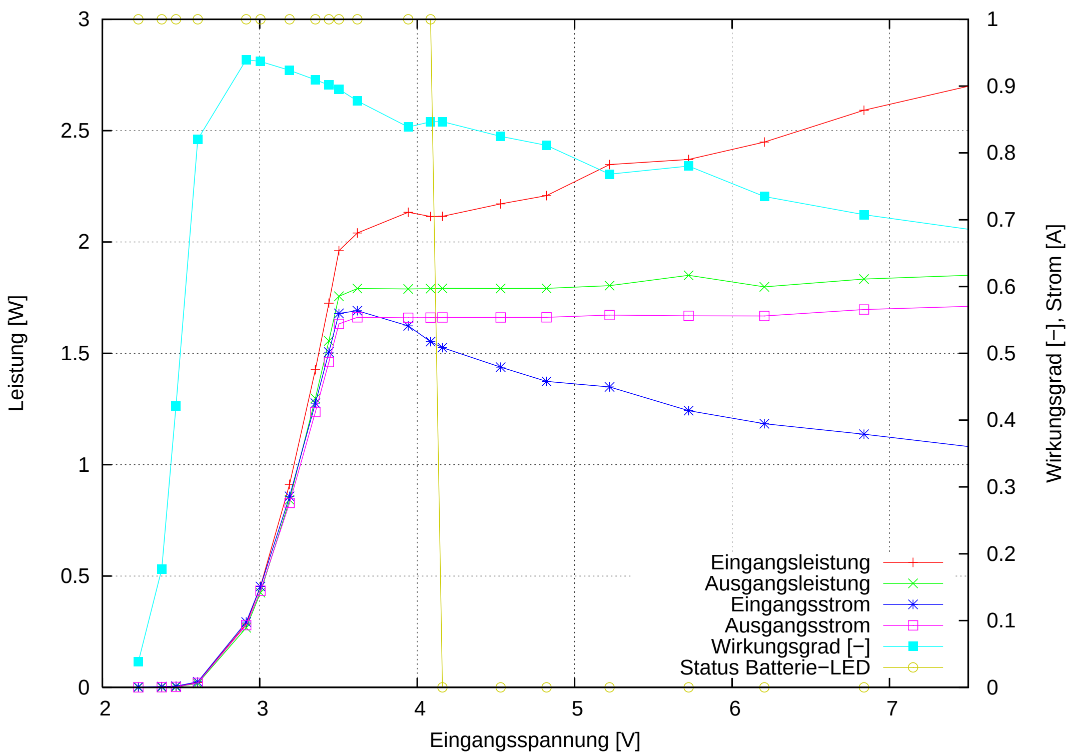


Bild 3.89: Wirkungsgrad und Ausgangsstrom Lampenkopfes vom HL-EL 500G

Der Schaltregler arbeitet bei ca. 75 kHz. Als Stromsensorwiderstände werden drei parallel geschaltete 1 Ω-Widerstände. Die Speicherspule ist hier mit $R_\mathrm{i} = 0{,}013\,\Omega$ vermessen.

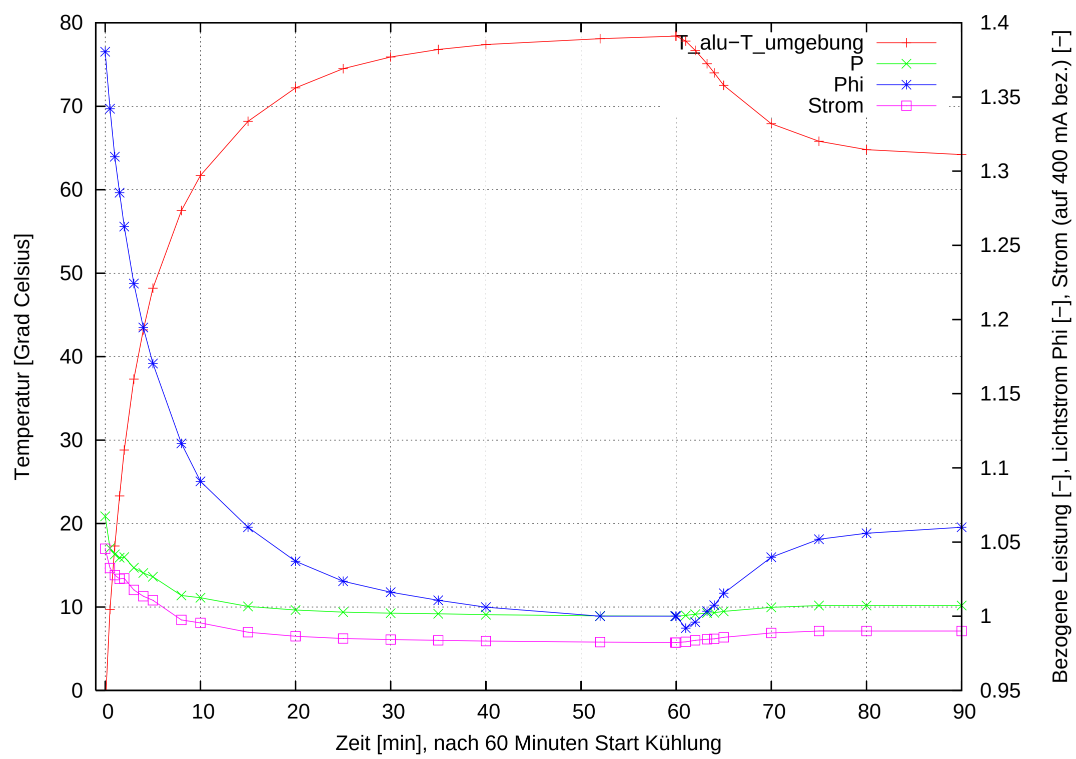


Bild 3.90: Temperatureinfluß beim HL-EL500G

3.10.6.8 Umrüstung des Lampenkopfes vom HL-EL 500 auf andere LEDs

Ein relativ einfach zu realisierendes Verbesserungspotential am HL-EL 500-Lampenkopf besteht nur im Austausch der LED und einer verbesserten Kühlung dieser.[137]

Die anscheinend verbaute LXHL-PW01 kann z.B. durch eine LXHL-PW09 oder eine Seoul P4 bei höherem Strom und damit höherem Lichtstrom ersetzt werden. Da beides ebenfalls Lambertstrahler sind wird sich in der Lichtverteilung nichts ändern. Die Helligkeit generell wird angehoben werden, jedoch auch die Blendung.

Die Verwendung einer etwas enger abstrahlenden LED, z.B. Cree XR7090-WT-U1, oder einer breiter abstrahlenden, z.B. BW09 (so es diese gäbe), ist schwieriger zu beurteilen. Der Lampenkopf des HL-EL 500 spaltet den Lichtstrom in drei Teile:

1. Direktlichtstrom.
2. Vom inneren Reflektor gesammelter Lichtstrom.

[137] Zu den notwendigen Vorarbeiten und Randbedingungen s. S. 322.

3. Vom äußeren Reflektor gesammelter Lichtstrom.

Hier ist sowohl die Kenntnis der Reflektorgeometrie als auch Abstrahlcharakterstik notwendig. Die Geometriedaten in der Tabelle 3.35 beziehen sich auf die internationale Version. Bei dieser sitzt die LED in einer ca. 0,32 mm tiefen Einprägung der Aluplatte. Bei der deutschen Version sitzt die LED plan auf der Aluplatte. Die Chips sind bei beiden Varianten gleichgroß. Allerdings hat die internationale Version hier einfach eine verschraubte Brille, die die LED das Blech andrückt und leicht abschattet. Die deutsche Version hat ein eingeschnapptes Plastikteil, in das die LED mit schwarzer Vergußmasse eingeklebt ist. Das elektrische Interface zwischen internationaler bzw. deutscher Version von LED-Träger und Platine ist komaptibel.

Für die Benennung der Geometrien vgl. Seite 418 ff.

Tabelle 3.35: Geometriedaten Reflektor HL-EL 500

	Reflektorteil					
	direkt	innen			außen	
		seitl.	vertik.	diag.	seitl.	vertik.
r_{von}	0	9,25	9,25	9,25	17,7	17,7
r_{bis}	9,25	4,5	4,6	4,9	10,75	10,75
a	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
c	0	$-4{,}4$	$-4{,}4$	$-4{,}4$	0,32	$-1{,}22$
α_{Start}	0	20	20	20	45,6	48,6
α_{Ende}	20	45,6	$\approx 47{,}5$	48,6	91,7	83
Beinflußt Zone 1						
rechnerisch	ja	?	ja	?	?	
experimentell		?		?	?	

Die Winkelangaben passen nicht unbedingt mit den Angaben von r, a und c überein, da besonders für den äußeren Reflektor gilt, daß Teile durch den inneren Kegel abgeschattet werden, zumindest solange man die LED als Punktquelle betrachtet. Durch die reale Kantenlänge der LED werden dann auch dieses Bereiche genutzt.

Damit fallen mit den Lichtstromsummenkurven nach Bild 3.36 auf die unterschiedlichen Anteile

Tabelle 3.36: Lichtstromanteil [%] im HL-EL 500 Lampenkopf

	Reflektorteil		
	direkt	innen	außen
Lambert	12,6	40,6	46,8
Cree XR-E	18	55	27
Batwing	9,5	47,3	43,2

Die experimentelle Ermittlung der Beeinflussung der Zone 1 erfolgt über Blenden auf der Frontscheibe.[138]

Der innere Bereich (Direktlicht und Reflektorlicht) ist relativ dunkel und schwammig. Der äußere Reflektor projeziert ungefähr einen nach oben offen Ring. Der Schwerpunkt des inneren Bereiches liegt sowohl bei unmanipulierten EL500G, wie bei EL500 (Original-LED-Platine oder XR-E-Implantat) recht genau auf der unteren Ring-Tangente.

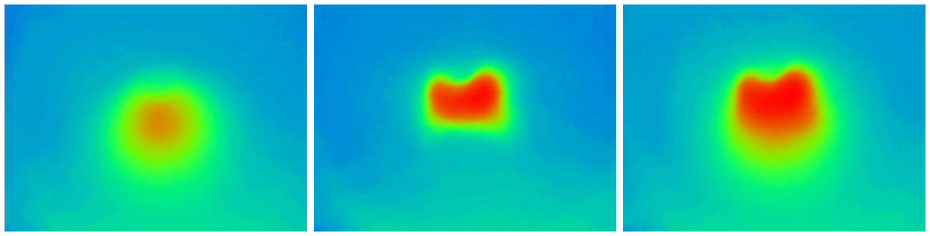


Bild 3.91: Lichtanteile HL-EL 500G (von links nach rechts innen, außen, alles)

Die Rohdaten der Bilder in Bild 3.91 kommen von Güther Schwarz HL-EL 500G.

3.10.6.9 Cateye HL-EL 530

Das HL-EL 530 scheint sich vom HL-EL 500 im wesentlichen dadurch zu unterscheiden, daß der innere Reflektor fehlt. Es wird also deutlich mehr Licht Direktlicht sein und folglich wird die Abbildung etwas unschärfer sein.

Tabelle 3.37: Lichtstromanteil [%] im HL-EL 530 Lampenkopf

	Reflektorteil	
	direkt	außen
Lambert	53,2	46,8
Cree XR-E	73	27
Batwing	56,8	43,2

Im Normalfall verpuffen also etwa die Hälfte der 53,2 % des Lichtstromes nach oben bzw. jenseits 10 m auf der Straße. Der Rest der 53,2 % Direktlicht dient zur diffusen Vorfeldausleuchtung.

3.10.7 DOSUN

DOSUN SOLAR TECHNOLOGY CO. ,LTD. (www.dosun.us) wird seit Ende 2008 hier aufgeführt.

[138] Auch wenn es wegen gleichen Austrittsquerschhnittes für Bereich 1 und zwei zu Überschneidungen kommen kann.

3.10.7.1 DOSUN m1

Die Dosun m1 (~~~K626) www.dosun.us/portablelight/index_light.html ist eine Akkulampe mit Offsetspiegel. Die LED (Cree XR-E) ist vergleichbar der IQ-Optik oben angeordnet.

Es gibt noch einen EMV-Bericht.[139]

Laut www.4sevens.com/product_info.php?products_id=486 kostet er 76 US$.[140]

Bis Ende 2008 ist mir nur der Testbericht vom ARTC (Taiwan) bekannt. [141] Danach entsprechen die Werte auf der Wand für eine Zulassung nach TA23(5), nach dem genannten Lichtstrom müßte jedoch nach TA23(6) zugelassen werden und dafür reicht es nicht. Die Batteriekontrolleuchte geht angeblich bei 4,31. . . 4,32 V an. Angebliche Lichtströme: 128 lm bei 6 h, 64 lm bei 13 h, 25,6 lm bei 45 h.

Ein erstes Testexemplar wurde von A. Oehler Ende 2008 zur Verfügung gestellt. An diesem sind die folgenden Meßwerte aufgenommen. Zur Montage der NiCr-Ni-Perle mußte allerdings die Platine mit der LED vom Reflektorgehäuse demontiert werden. Dadurch könnte es zu eine Dejustage gekommen sein (Stichwort Blendwerte). Allerdings ist die Passung so gut, daß praktisch kein wesentlicher Einfluß durch diese Modifikation vorliegen sollte.

Der Spiegel besteht aus 5 Segmenten. Die Brennweite liegt bei ca. 8,5 mm. Die Breite der Öffnung beträgt ca. 38,5 mm und ist max. 22 mm hoch. Die Segmente sind ca. 7 mm breit.

Der Dosun m1 wiegt ohne Batterien ca. 96 g.

Die Elektronik ist noch kleiner als die des IQ-Fly. Die Spule hat einen Gleichstromwiderstand von 28 mΩ. Der Shunt für die LED von 200 mΩ.

Unterhalb von ca. 2,7 V schaltet sich der Scheinwerfer ab. Oberhalb von 7,54 V fängt er auch in Stufe 1 an zu blinken, mit steigender Spannung steigt die Blinkfrequenz.[142] Verlieren durch Erschütterungen die Batterien kurzseitig den Kontakt, so bleibt der Scheinwerfer aus. Die Batteriekontrolleuchte wechselt bei ca. 3,75 V zwischen rot und grün.

Der Schaltwandler arbeitet erst ab ca, 3,81 V. Unterhalb dieser Spannung ist die Stromversorgung der LED konstant. Bis ca. 4,4 V arbeitet der Schaltwandler mit 100 kHz, dadrüber mit 125 kHz.

Die Dimmung wird über eine Pulsweitenmodulation des Schaltwandlers erzeugt, vgl. Tabelle 3.38. Nach Dimmstufe 5 kommt wird wieder bei Stufe 1 angefangen. Ausgeschaltet wird über längeres Drücken. Das Tastverhältnis g sollte sich direkt in der Helligkeit[143] und der Batterienutzungsdauer wiederfinden.

[139] http://www.dosun.us/portablelight/images/download/M1_EMC_report_copy.pdf
[140] Stand Ende 2008.
[141] http://www.dosun.us/portablelight/images/download/m1%20artc-report%28970527%29.pdf
[142] Sozusagen ein signalisierender Überspannungsschutz.
[143] real wird die Lampe etwas heller sein, da die LED nicht mehr so heiß wird.

Tabelle 3.38: Taktung des LED des Dosun M1

Stufe	an [ms]	aus [ms]	g [%]	f [Hz]	Bemerkung
1	$\approx \infty$	–	100	0	Hell
2	4,5	3	60	133	1. Dimmstufe
3	2	5,8	26	128	2. Dimmstufe
4	100	400	20	2	langsam
5	32	25	56	17,5	funkelnd

Die Meßwerte für Bild 3.92 werden an 6 V-Gleichspannung aufgenommen. Die Temperatur wird dabei mit einer NiCr-Ni-Perle am Kupferring der LED aufgenommen.[144]

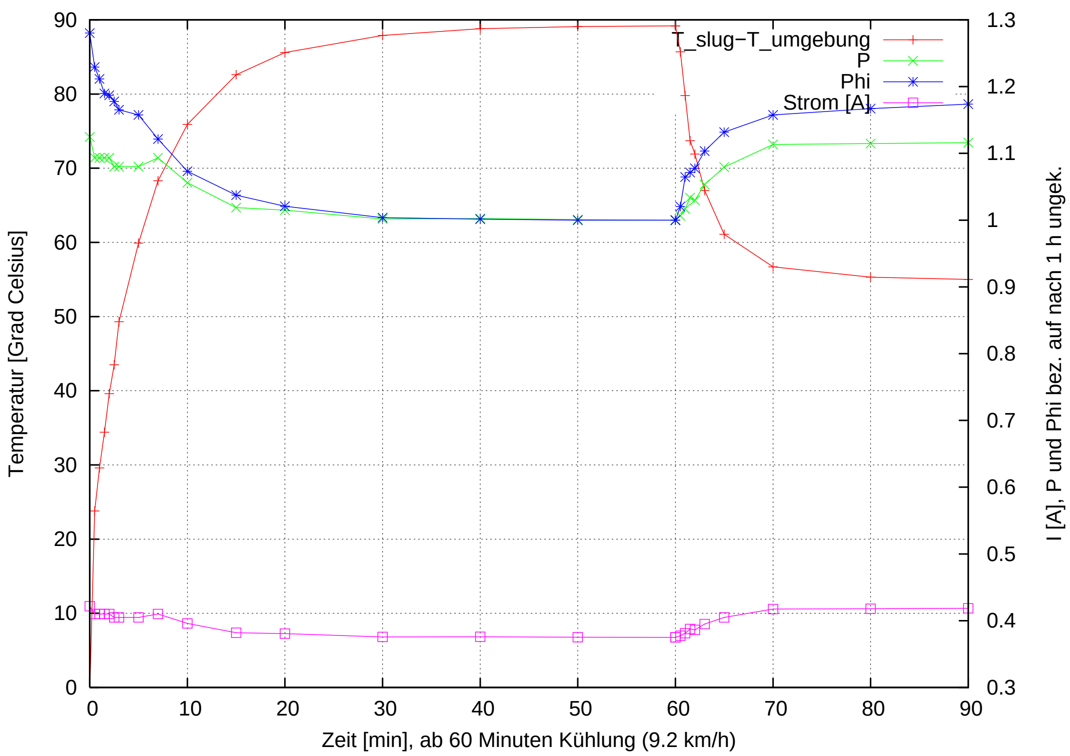


Bild 3.92: Einfluß der Temperatur beim Dosun m1

Die äußere Kühlfläche erreicht bei 6 V Speisespannung ungekühlt fast 73 °C (bei 22 °C Umgebung).[145]

[144]Mit Sekundenkleber in der Ecke zwischen Keramik und Kupferring angeklebt.

[145]Bei 9,2 km/h sind es immer noch ca. 38,7 °C.

In Bild 3.93 sind die Abhängigkeit von LED-Strom, Leistungsaufnahme etc. von der Versorgungsspannung wiedergegeben.

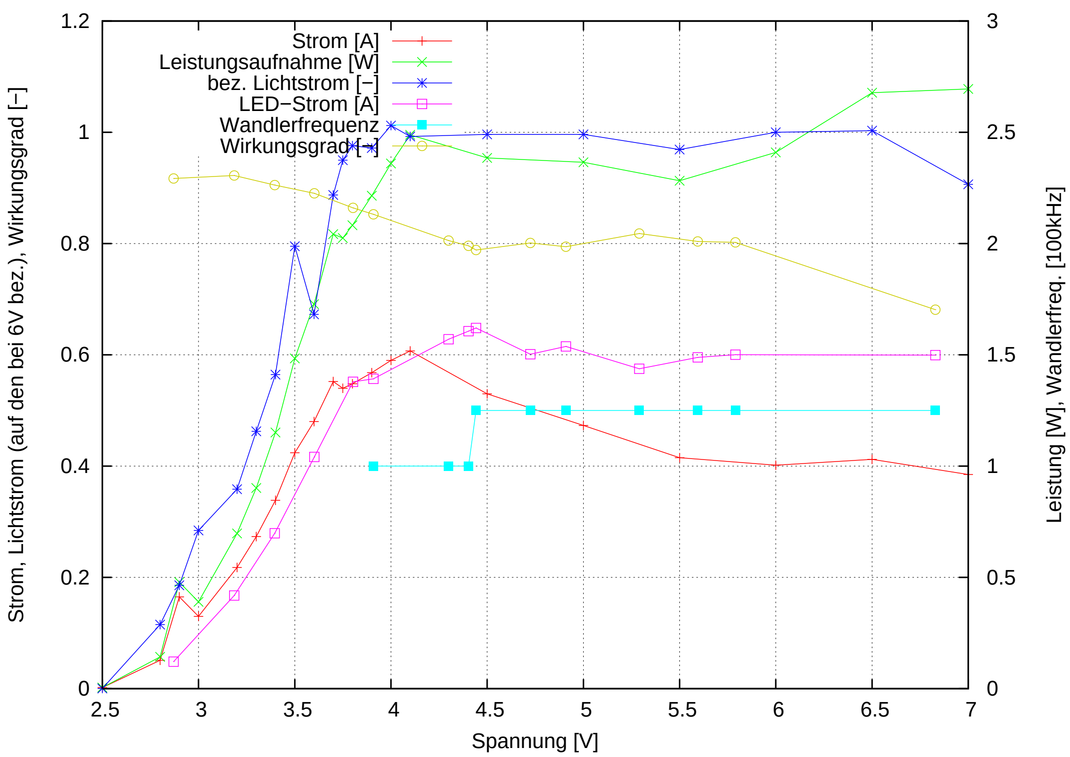


Bild 3.93: Spannungsabhängigkeit beim Dosun m1

Der Wirkungsgrad ist nicht ganz korrekt bestimmt. Für die Leistung der LED wurden Spannung über der LED mit dem Strom durch den 0,2 Ω-Shunt multipliziert. Korrekt ist diese Leistungsbestimmung nicht. Nur hätte das Einschleifen eines GMC29S in den Strang auch eine deutliche Auswirkung auf den Schaltregler.

Als erster Vertreter der Vermessungen mit der UK4 in **diesem** Dokument könnte sich der $C_K = 0{,}0196\,\mathrm{lm/lx}$ noch ändern. Die 128 lm für 6 h, die oben zitiert werden, werden es wohl aber nicht werden, weder bei einem Integrationswinkel von 180° , geschweige denn nützlich auf der Fahrbahn verteilt. Aus Bild 3.94 läßt sich die Abhängigkeit des Lichtstromes vom Sammelwinkel ablesen.[146]

[146]Sammelwinkel von rechts, Lichtstrom von Links, jeweils bei gleicher Entfernung (vgl. Bild G.4) ablesen.

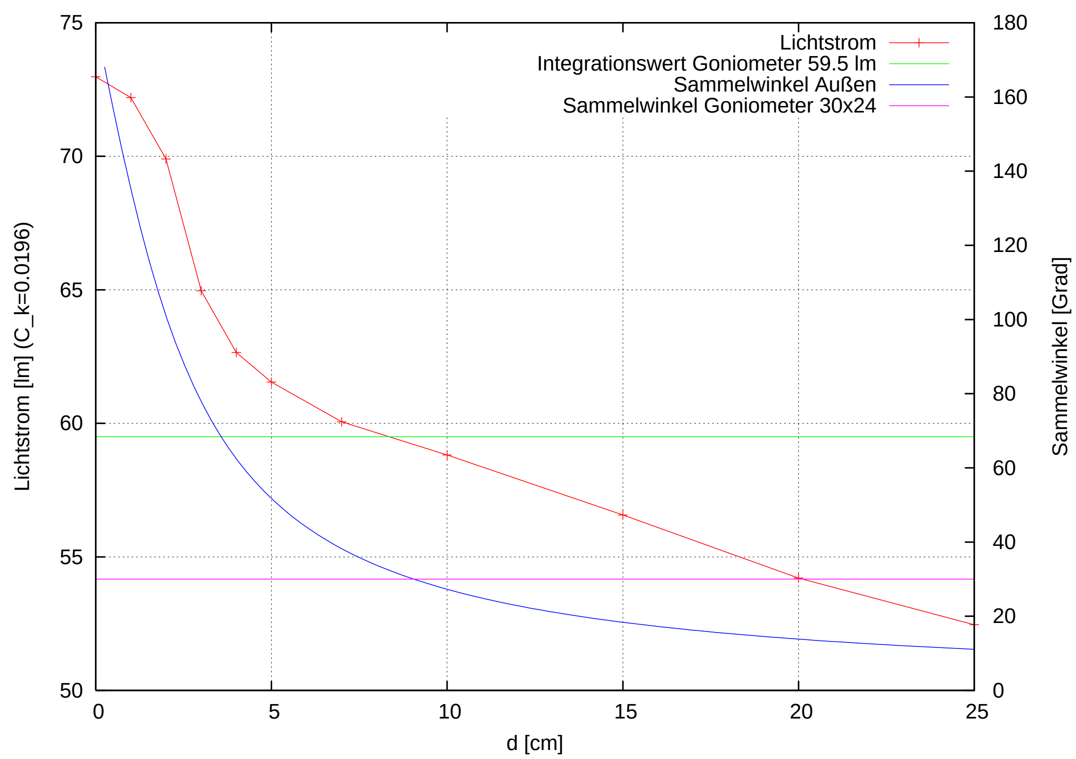


Bild 3.94: Lichtstrom und Sammelwinkel Dosun m1 (mit 9,2 km/h gekühlt)

3.10.8 Eigenbauten

Es gibt mehrere Eigenbauten, auf die im folgenden näher eingegangen werden soll.

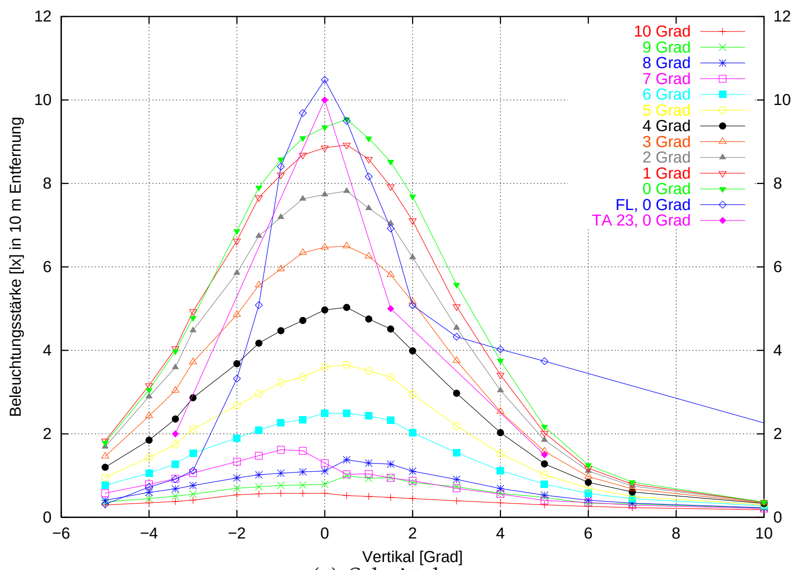
3.10.8.1 Prototyp LED-Scheinwerfer

Ein Prototyp (PTα_1) besteht aus 43 NSPW, 6 NSPG, alle in das Sharp-Gehäuse eingegossen. Alle LEDs sind auf einer Lochstreifenrasterplatine parallel geschaltet und durch einen hinreichenden Leitungsquerschnitt wird für max. 1,2 mV Differenzspannung in den Zuleitungen gesorgt.[147] Parallel zu den Nichias sind zwei orange Sharps (GL0ZS042BS) bei 21 mA (je 47 ΩVorwiderstand) geschaltet. Die

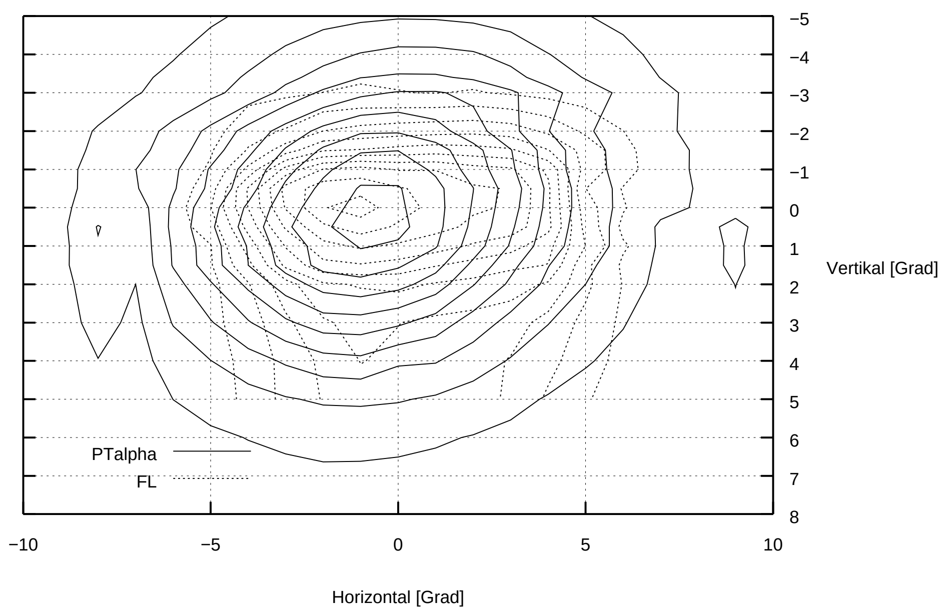
[147]Dies ist nicht die theoretisch saubere Schaltung von LEDs. Normalerweise werden bei LEDs für den Ausgleich der Fertigungstoleranzen und des Temperatureinflußes Serienwiderstände für die „Stromregelung“ verwendet. Da die Nichia-LEDs hier aber alle aus einem Batch sind, mit ca. 10 mA relativ weit weg von den maximalen Eckdaten betrieben werden und die grünen bei gleicher Spannung weniger Strom fließt (vgl. Bild 3.38) als bei den weißen und die Mehrzahl der weißen die Spannung bestimmt wird diese unschöne aber effektive Schaltung verwendet. Zumal der geringere Strom durch die NSPG durch einen besseren Wirkungsgrad ein wenig kompensiert wird.

LEDs werden durch einen Brückengleichrichter aus 4 MBR2545 vom Dynamo versorgt.[148] Die Gleichstromseite wird mit $4\times15\,\mathrm{mF}/6{,}3\,\mathrm{V}$-Elkos (Typ SE-M-KT) gepuffert. Die LEDs sind alle einzeln ausgerichtet, so daß die Punkte hellster Helligkeit sich in einem Rechteck von ca. $3{,}2\times8{,}8^\circ$ befinden. Die Strombegrenzung wird durch den Dynamo übernommen. Es ist keine Frontscheibe vorgesetzt.

[148] Interne Dioden parallel geschaltet. Für einen reinen LED-Scheinwerfer ist dies problematisch, da normale Rücklichter dann zuwenig Spannung bekommen. Als Serienscheinwerfer ist es akzeptabel. Ansonsten muß z.B. ein anderer, verlustbehafteterer Gleichrichtertyp verwendet werden.



(a) Schnittebenen



(b) Kontur-Plot (ab 1 lx in 1 lx-Schritten)

Bild 3.95: Beleuchtungsstärke PTα_1 bei 2,4 W (ohne Gleichrichter)

Die Messungen werden bei Gleichspannung vorgenommen. Die Beleuchtungsstärke ist der gemittelte Wert der Schnitte auf der linken und der rechten Seite.

Tabelle 3.39: Beleuchtungsstärke PTα (Meßabstand d auf 10 m umgerechnet)

Typ	I [mA]	P [W]	d [m]	P inkl. Gleichr.	Zone 1	HV	L1/R1	2	3	L4/R4	L5/R5
								[lx]			
TA23	370	2,4	10	-	< 2	> 10	>HV/2	>HV/2	$> 1{,}5$	> 1	–
	400	5	10	-	< 2	> 20	>HV/2	>HV/2	> 2	> 2	> 2
PTα_1	722	2,4	1,9	nein	4,1	9,5	6,2/6,9	8,1	2,1	0,93/1,63	0,33/0,55
PTα_2	650	2,49	2,02	ja	4,5	8,7	3,88/4,08	7,39	1,86	1,06/0,97	0,33/0,32

Bis auf die Überschreitung des Grenzwertes von 2 lx in der Zone 1 werden die nach TA 23 geforderten Werte fast erreicht bzw. erfüllt. Ein Feinrichten der LEDs dürfte, bis auf die Zone 1, die restlichen Anforderungen erfüllen. Die NSPW und NSPG werden im PT$\alpha_1$bei ca. 2,4 W mit 14 mA/LED betrieben. Zieht man die Erkenntnisse von Seite 250 heran, so ergibt sich:

- Eine Verdopplung der LEDs bringt bei gleicher Leistungsaufnahme ca. 3 % mehr Licht.
- Eine Halbierung der LEDs bringt bei gleicher Leistungsaufnahme ca. 15 % weniger Licht!

Mit einer Investition von knapp 200 DM alleine an LEDs kein ganz billiges Vergnügen und zwei FL mit aufeinander eingespielten Lampen bringen eine bedeutend bessere Ausleuchtung auf die Straße. Allerdings läßt sich mit diesem Aufbau relativ leicht ein adaptiver Scheinwerfer bauen: Man kann über eine Vorrichtung einfach die Platine durchbiegen und so von einem eng gebündelten auf einen aufgefächerten Strahl wechseln. Adaptive Optiken sind im Kfz-Sektor schon in der Entwicklung (ATZ 12/2000, S. 1042 ff.)

Eine Erweiterung (Platinenfläche auffüllen) führt zum PTα_2 mit 50 NSPW500 und 12 NSPG500. Dem sind zwei orange Sharp GL0ZS042B0S bei je 21 mA parallel geschaltet. Diese Einheit wird in einem Gehäuse mit einer Frontplatte aus 4 mm dickem PC[149] eingebaut und vermessen.

Ende Januar 2001 wird der PTα_2 am ATB als Zweitscheinwerfer im Probebetrieb getestet. Auf Asphalt ist das Ergebnis ernüchternd. Gegen einen FL mit einer frischen 6 V/3 W-Lampe (in Serie zum PTα_2) kann er auf Asphalt bei weitem nicht gegenanleuchten. Die Stromaufnahme am SON liegt bei ca. 0,65 A.[150] Ein Vorteil ist die sehr gute Lichterzeugung bei niedrigen Geschwindigkeiten, bzw. Strömen von ca. 120 mA, wo Glühlampen keine verwertbare Lichtstrom aufweisen. Zudem ist die selektive Rückstrahlcharakteristik von Schnee bemerkenswert, da (er)scheint der PTα_2 dann heller als ein FL in Serie mit gealterter Lampe bei gleichem Strom (0,75 A@6V bzw. 2,4V@0,5 A). Ein Nachteil hat sich schon herausgestellt: Das Gewicht von ca. 480 g (inkl. Befestigung und Kabel) und die starken Beschleunigungen haben den bewährten stabilen Leuchtenhalter aus 10x0,5 mm 25CrMo4 nach weniger als 100 km zerbrochen.

[149] Es wird eine Transmission von ca. 87 % gemessen.
[150] Mehr liefert der Dynamo einfach nicht, siehe Wullkopf.

Die folgenden Messungen der Lichtverteilung werden bei 0,65 A Gleichstrom vorgenommen. Dabei fallen über PTα_2 inkl. Gleichrichter ca. 3,84 V bzw. 2,49 W ab.[151] Damit wird bewußt von den Zulassungsbedingungen abgewichen: Der reale Einsatzfall interessiert, und nicht ein theoretischer Wert, der aufgrund der Systemcharakteristik selbst bei zugelassenen Systemen nicht eingehalten werden kann (siehe Lampenalterung).

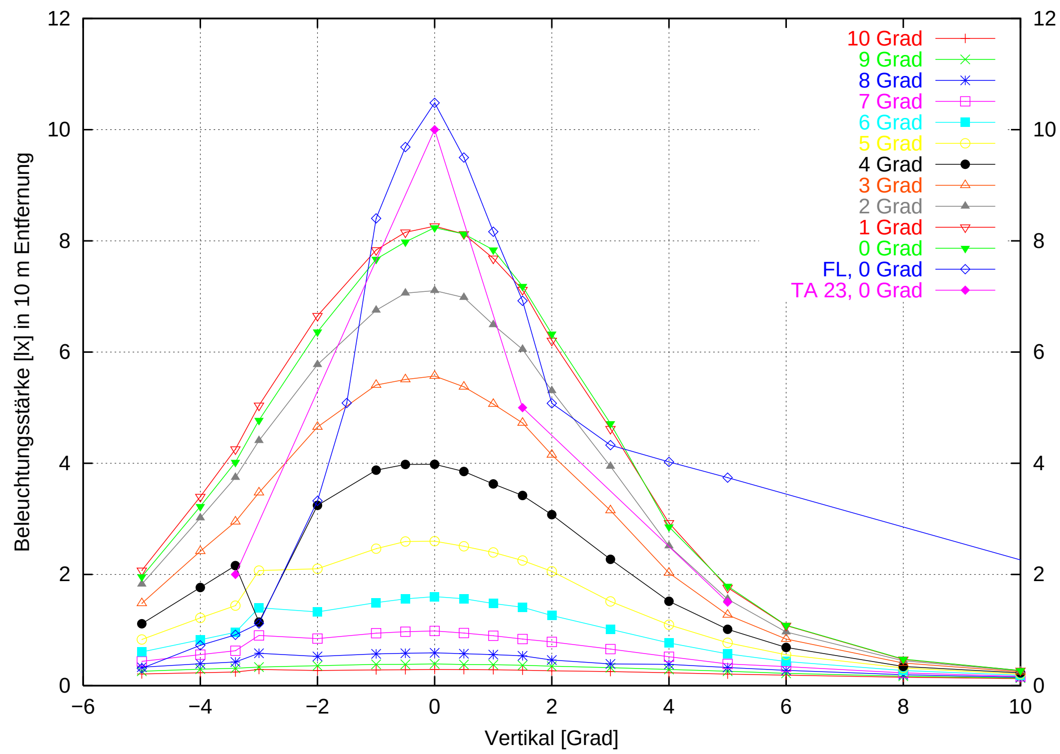


Bild 3.96: Beleuchtungsstärke PTα_2 bei 2,5 W

Zieht man die gegenüber dem PT$\alpha_1$vorgenommene Veränderungen (Frontscheibe, anderer Betriebspunkt der LEDs) in Betracht und vernachlässigt die Verlustleistung des Gleichrichters, so wird auch hier der höhere Wirkungsgrad der LEDs bei geringerem Strom bestätigt.

Eine, zunächst vereinfachte, Betrachtung ob Gleichrichter+Pufferung oder antiparallel Schaltung: Um einigermaßen flimmerfrei Licht zu haben ist bei den schnell ansprechenden LEDs eine Frequenz von ca. 50 Hz (Ausnutzung nur einer Halbwelle) notwendig. Bei antiparalleler Schaltung reichen also 25 Hz für eine flimmerfreie Beleuchtung. Selbst bei getriebelosen Nabendynamos wird dies ab ca. 10 km/h erfüllt. Inwieweit sich die pulsförmige Belastung bei mehr als doppeltem Spitzenstrom der LEDs nun gegenüber der gleichmäßigeren bei kondensatorgepuffertem Gleichstrombetrieb auf den

[151] Wird anstatt der vier MBR2545 ein B250C1500-Gleichrichter verwendet, so fallen bei der gleichen Stromstärke 5 V über dem Scheinwerfer ab. Die 0,4 W über dem MBR-Gleichrichter sind noch akzeptabel.

„Wirkungsgrad " äußert muß auch noch betrachtet werden. Aber vorerst wäre die Verlustleistung des Gleichrichters von ca. 0,3 W einsparbar.

3.10.8.2 FLDW03

Beim FLDW03 (FL und LXHL-DW03 kombiniert) ist der Blendwert (in Zone 1) noch geringfügig zu hoch. Die Mechanik ist relativ aufwändig, da ein komplizierteres Drehteil mit einigen Fräsoperationen notwendig ist.[152], Bilder siehe Webseite, CATIA V4-Zeichnung (3D-Volumen) auf Anfrage. Die Elektronik ist hinreichend einfach: Minimal ein Brückengleichrichter und ein Glättungskondensator. Etwas mehr, wenn es um Parallelschaltung von DW01 und BD01 (Rücklicht) geht.

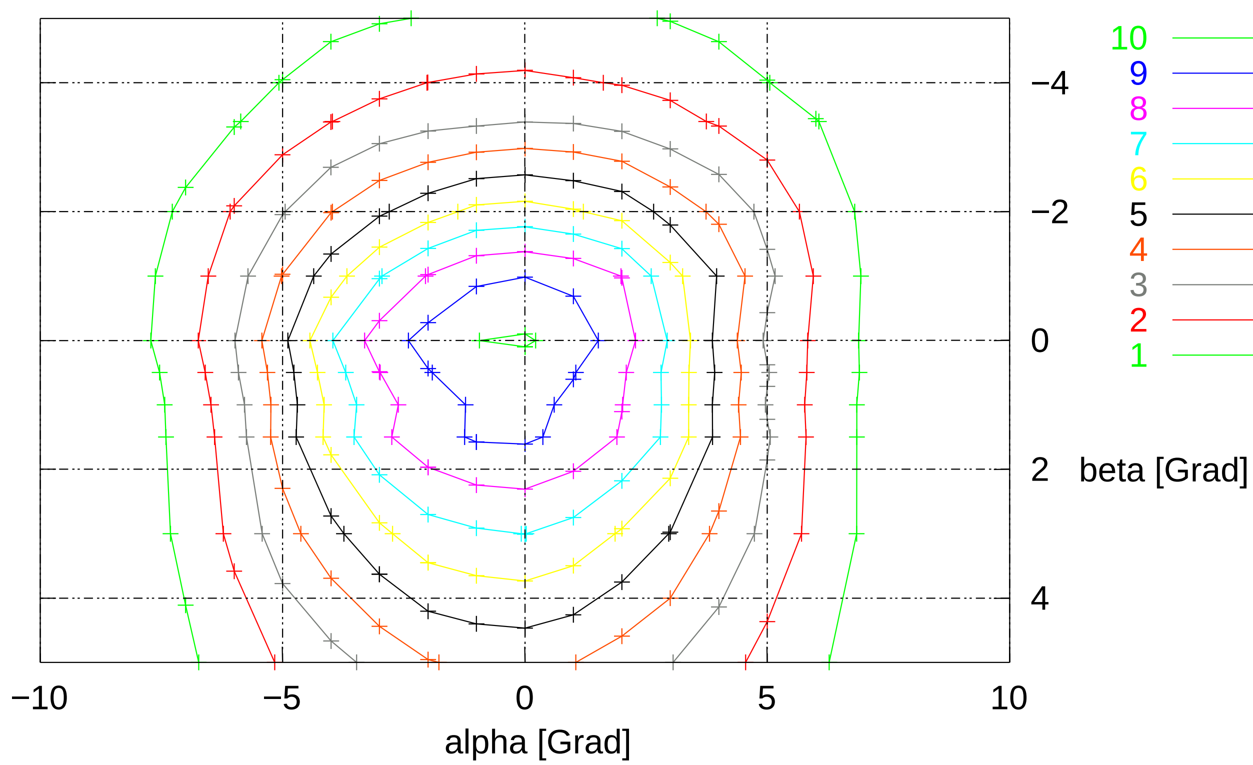


Bild 3.97: Erste Meßreihe FLDW03 (Mai 2003)

Die Option, anstatt des Emitters DW03 (Chipfläche $2 \times 2\,\mathrm{mm}^2$)einen der FW1C (DW01) zu benutzen hat einen Vor- und mehrere gekoppelte Nachteile:

Vorteil : ist der kleinere Chip ($1{,}3 \times 1{,}3\,\mathrm{mm}^2$) und damit die zu erwartende bessere Ausleuchtung (weniger Hineinleuchten in Zone 1).

[152]Ca. drei Stunden auf einer Hommel UWG1 und UWG2:-)

Nachteile : Der zu erzielende Lichtstrom fordert ein Übersteuern des Chips mit daraus folgender schlechter Lichtausbeute. Eine grobe Schätzung mit bisher bekannten Meßwerten der DW03 (FLDW03: 10 lx@6V44 0A2629) und DW01 läßt auf ca. 500 mA für die DW01 schließen. Diese liegt damit deutlich über den Spezifikationen und dürfte da „nur“ noch 30 lm/W erzielen. Ob eine gezieltere Ausleuchtung von HV durch die kleinere Fläche hier noch gegensteuern kann?

Einzelne 1 W-Side-Emitter DW01, der eigentliche Chip auf der LXHL-FW1C sind derzeit kaum zu erhalten. Beim Versuch, eine DW01 von der Backplane zu trennen hatte ich auf einmal eine W01 als allerbesten Lambertstrahler auf dem Schreibtisch. Oder andersrum: Das Optikgehäuse war vom Chipträger gelöst.[153] Am besten kriegt man die durch ein Verbiegen der Backplane von dieser gelöst, da gibt einfach die Verklebung auf.[154]

Wer hier bei den ganzen Namenskürzeln ins Schleudern gerät: Kein Wunder, passiert dem Autor auch. Die Händler führen nicht alle in den Datenblätter von Luxeon genannte Versionen (nackter Emitter, Emitter auf quadratischer Aluplatine mit unterschiedlichen Anschlüssen, Emitter auf sechseckiger Aluplatine, Emitter auf quadratischer Platine mit Optik davor. . .). Also muß man oft selber Hand anlegen und sich so selbst helfen. So werden Kürzel von bestellbaren Modellen teilweise weiterverwendet. Wenn im Text oder Bildern noch ab und zu von LW1C die Rede ist, so ist der Emitter DW01 gemeint, genauso bei der 5 W-Variante: FW6C ist der eigentliche Emitter DW03.

Noch eine Betrachtung zum Sideemitter zusammen mit Tabelle 3.57 und Bild 3.98

[153] Mehr als 12 Euro fast für den Arsch. Fast, da die Bondingdrähte am Chip geblieben sind.
[154] Klebungen reagieren auf renitente Schälbeanspruchung notorisch schwach:=)

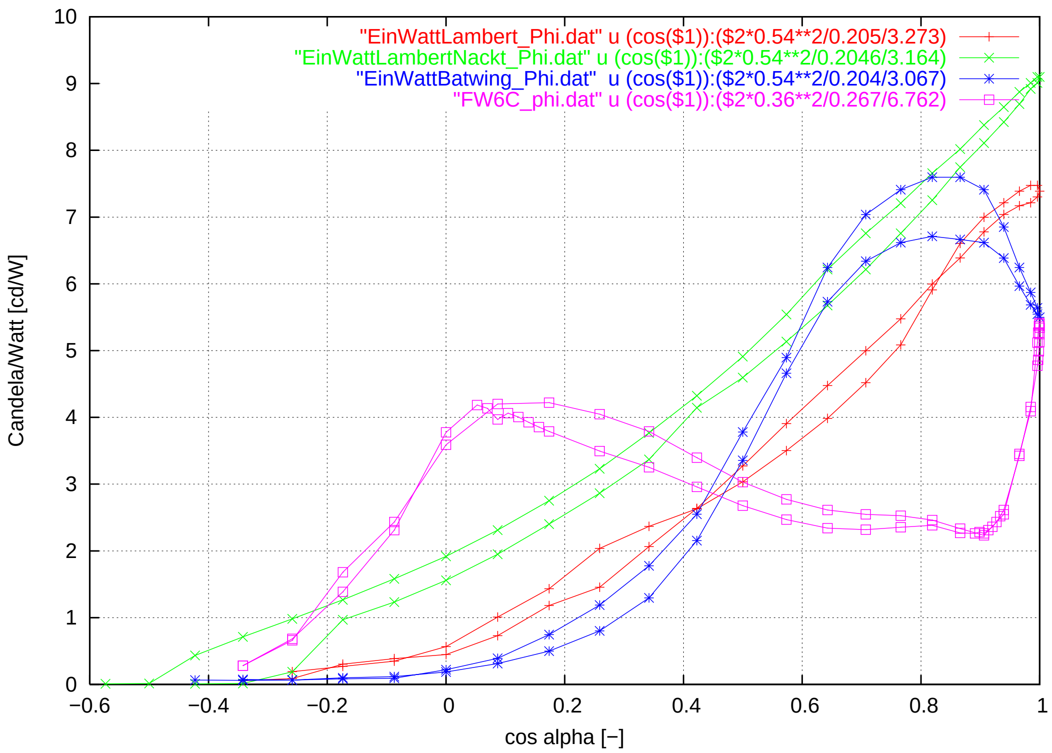


Bild 3.98: Abstrahlverhalten von Luxeon-LEDs, cos-Bewertet

Trägt man jetzt die Cosinus-Werte der Winkel aus Tabelle 3.57 in obiges Bild ein und veranstaltet ein fröhliches Kästchenzählen, so eriebt sich, daß der Lumotec und der Elio mit ca. 67 % nahezu gleich viel Licht einsammeln, der FL nur geringfügig mehr. Weit abgeschlagen liegen mit ca. 50 % die U70 und U100. Es geht immer noch ein zu großer Teil des Lichtstromes in dem Sektor nach vorne verloren! Zum Vergleich liefert ein Kästchenzählen in Bild 3.144, daß ca. 70 % des Lichstromes von HS3-Lampen im FL/Lumotec/Nova vom Reflektor gesammelt werden. Nicht berücksichtig bleiben dabei die 17 % bzw. 19$ des Lichtstromes, die im FL bzw. Nowa durch die Frontlinse und die Prismen zur Nahfeldausleuchtung verwendet werden.

P.S.: Viel Spaß beim Nachvollziehen und verdauen obigen Absatzes. So, Feierabend:=)

3.10.8.3 PTγ_1

Ausgehend aus den Untersuchungen zum FLDW03 ist die Entstehung des PTγ_1 zu betrachten. Mit den großen Leuchtflächen der LXHL-DW03 und verfügbaren Optiken ist der Blendwert in Zone eins wenn, dann nur schwer einhaltbar. Hier wird eine LXHL-DW01 verwendet. Allerdings hat die DW01 eine geringere Durchbruchspannung und nur 350 mA als Nennstrom. Damit stellt sich die Frage der

Beschaltung in einer Serienschaltung mit vorhandener Fahrradbeleuchtung.[155] Zusammen mit dem PTγ_1 ist das Rücklicht PT$\gamma_1 r$ zu betreiben. Ziel ist es, mit einer Parallelschaltung von zwei Dioden den gesamten Strom des Dynamos auszunutzen.

Tabelle 3.40: Kenndaten PTγ_1 und PT$\gamma_1 r$

	Diode	Optik	Strom
PTγ_1	LXHL-DW01	Nova	0-
PT$\gamma_1 r$	LXHL-BD01	8×16+Streus.	0-

Dazu ist eine Stromverteilung und eine Überstrombegrenzung notwendig. Die B4-Gleichrichtung mit Glättungselkos wird verwendet, da die antiparallele Schaltung zumindest am SON auch bei mehr als Schrittgeschwindigkeit zu deutlich sichtbaren Flackereffekten führte. Die Beschaltung ist entsprechend Bild 3.99 vorgenommen. Die Bauteile sind nach Verfügbarkeit in der Grabbelkiste ausgewählt, die krummen Widerstandwerte durch Parallelschaltung aus der E24-Reihe entstanden (11, 15 und 24 Ω reichen aus:=) Alles ist in der bewährten Drahtigelbauweise verschaltet.

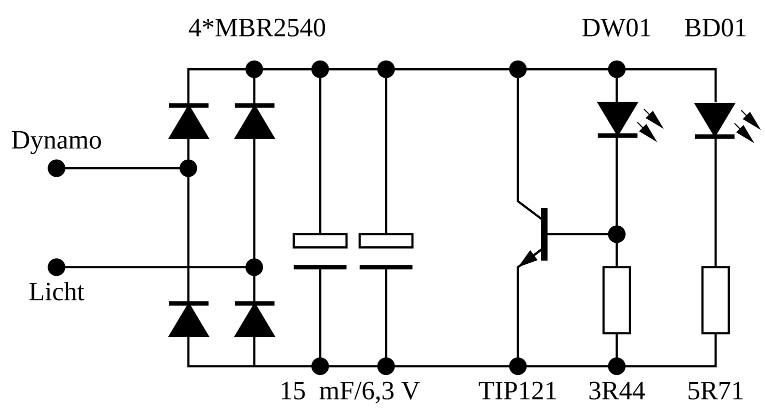


Bild 3.99: Schaltbild PTγ_1

Ein verringerter Wirkungsgrad, sprich Spannungsabfall, über die Widerstände R1 und R2 wird billigend inkauf genommen. So kann mit der einfachen Beschaltung des Transistors (TIP121) ein Überstromsicherung der DW01 vorgenommen werden.[156] Ein Ausfall des Rücklichtes, z.B. durch einen Kabelschaden, wird durch den Shunttransistor abgefangen. Für den Prototypenstatus mag das akzeptabel sein.

Die Stromaufnahme der Schaltung ist in Bild 3.100 wiedergegeben.

[155] Klauenpolgeneraturen verbieten die Parallelschaltung mit „normaler“ Fahrradbeleuchtung.
[156] Ab 1,22V fängt der TIP121 an zu leiten, also ab 354 mA durch die DW01.

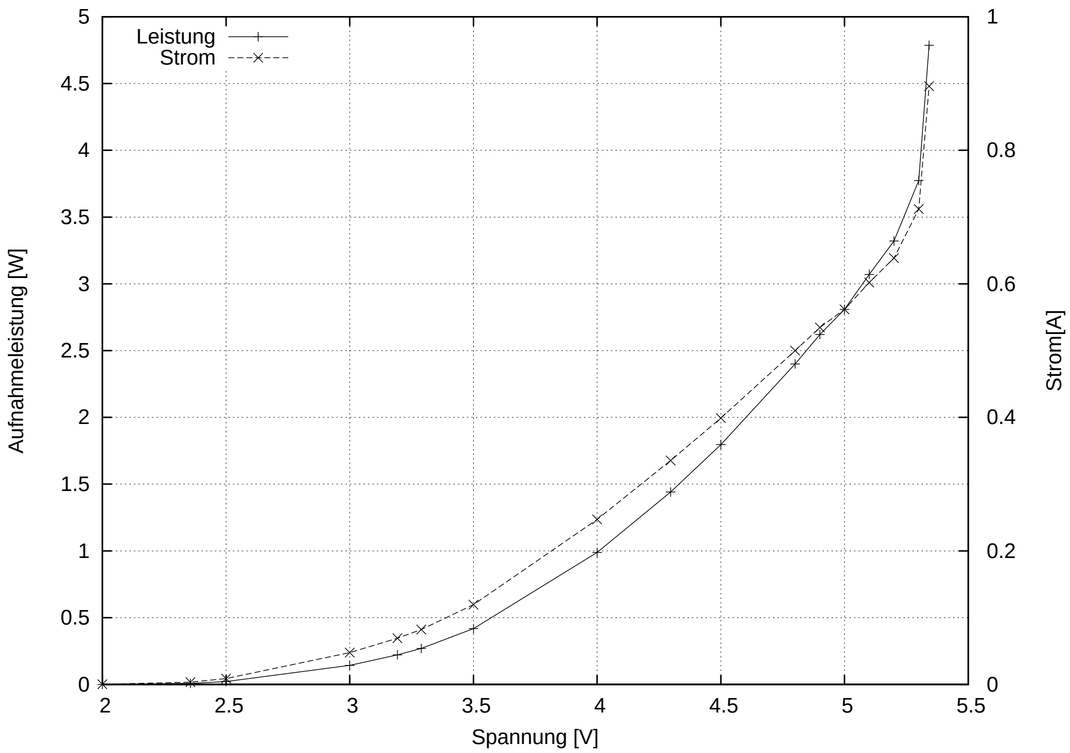


Bild 3.100: Aufnahmeleistung und Strom PTγ_1

Zumindest subjektiv ist diese Beleuchtung dunkler als die einer in Serie geschalteten HSP64 im FL. Allerdings wird in die DW01 auch nur ein Bruchteil der Leistung hineingesteckt. Dafür ist sie bisher wartungsfrei. Die Ergänzung mit einer DW03 gemäß PT$\delta_1$ist in Arbeit.

3.10.8.4 PTδ_1

Man nehme: Je eine DW03, DW01, BD01, einen Goldcap (1–22 F)[157], einen Widerstand, einen Elko und vier Schottkys. Heraus kommt die Elektrik für den PTδ_1. Ein bißchen Unverfrohrenheit: Nichtbeachten der elektr. Isolationsvorschriften des Kühlfläche[158] und niedrigschmelzendes Lot machten sogar eine Einleuchtdiodenbeleuchtung möglich.[159]

---

[157]Bei den hohen Kapazitäten kann es zu ungewollten Nebenerscheinungen kommen, z.B. verzögertes Leuchten der Rücklicht-LED wegen Ladestrom des Kondensators. Hier kann ein Vorwiderstand (z.B. 12 Ωbei 22 F) abhelfen. Mit den "hochohmigen„1 F-Typen geht es ohne Vorwiderstand.

[158]Der elektrische Widerstand zwischen dem Pin und den Pads bei den weißen ist hinreichend groß, so das parasitäre Ströme vernachlässigt werden können.

[159]Achtung: Einige LXHLs haben anscheinend statt eines (versilberten?) Kupferkernes zur Wärmeableitung einen aus Aluminium. Diese sind dann nicht lötbar. Das sollte aber nur einigen 1 W-Typen der Fall sein.

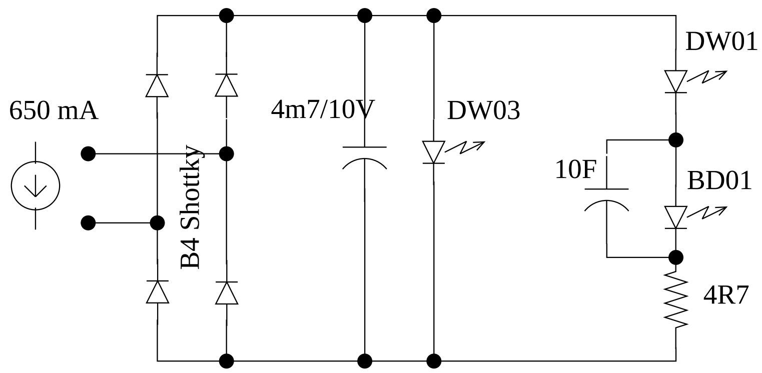


Bild 3.101: Schaltplan PTδ_1

Die Mechanik entspricht der des PTγ_1, als Optiken werden FL-Reflektoren verwendet.

Martin Schröferl hat mit einem NiCr-Ni-Thermoelement direkt an der Chipfläche einer angebohrten LED gemessen und kommt auf einen Wärmewiderstand ($R_{\Phi J-B}$) der aufgeklebten Emitter von 11 K/W (Fabriklieferung Hexagon). Durch Auflöten mit niedrigschmelzendem Lot kann dieser Widerstand auf auf 3 K/W gesenkt werden. Das erhöht die Lebensdauer und Belastbarkeit. Die Klebefilmqualität (Dicke und Porigkeit) schwankt relativ stark, so subjektiv beim Abbrechen mehrerer von der Platine enfernter Emitter festgestellt. Siehe hierzu auch Datasheet AB05 von Luxeon.

Der Vorwiderstand im DW01-BD01-Zweig muß genau augemessen werden, am besten über vorher genau vermessene Spannungs-Strom-Kennlinien der drei einzelnen Leuchtdioden. Die Dioden streuen dafür zu stark! Insofern sind die 4,7 Ω nur ein Daumenwert. Bei 1 Ωfließen ca. 0,23 A durch den 1 W-Dioden-Zweig.

Als Verlustleistung fällt bei dieser Schaltung ca. 0,22 W im Gleichrichter[160] sowie 0,05–0,42 W im Vorwiderstand ab. Das ist mit ein bißchen Aufwand mit einem Schaltwandler sicherlich noch verbesserbar. Nur steigen die Kosten und Bauvolumen relativ stark an. Es sei denn, man verlötet „Fliegendreck unterm Fingernagel“, äh SMD-Bauteile :=)

3.10.8.5 Rücklicht zu den Eigenbauten

Da ab und zu Autofahrer trotz DToplightPlus[161] über schlechte Sichtbarkeit von hinten meckern, wird halt nachgerüstet:=) Dabei ist's noch nichteinmal zu hell, so einige Autofahrer. Die Streuscheibe hinter den der Optik mit 8x16-Grad (*elliptical*) ist ein 10 mm dicke Plexiglasscheibe, die mit einem 10er Fräser 5 mm tief eingegfräst, geschliffen und poliert ist. Diese Scheibe erfüllt nach einer ersten Messung die Lichtabstrahlung, auch Seitensichtbarkeit, für Fahrradrücklichter, von der Überschreitung der derzeit

[160] Je nach verwendeter Diode, hier alte Schottky-SMDs aus Festplattenelektroniken.

[161] Eines der hellsten Rücklichter auf dem Markt, also keine Kritik an bumm sondern an den schlechten Augen der Dosenfahrer.

zugelassenen 12 cd (Autobremslichter müssen mindestes 30 cd haben) mal abgesehen (vgl. Kapitel T.2 und T.2.

3.10.8.6 FLhalbe

Man kann auch einen Lambertstrahler um ca. 90 Grad gedreht in einen halbierten Reflektor stahlen lassen. Heraus kommt hier ein halbiert FL.

Der gesammelte Lichtstrom liegt irgendwo über ca. 30 % eines Lamberstrahlers. Etwa, da 30 % des Lichtstromes in der $\beta = 0$ gesammelt werden. Je größer $|\beta|$, desto gröser der Lichtstrom. Ich bin derzeit zu faul, den Betrag auszurechnen:=)

Mit der LXHL-PW09 (3 W-Diode von Lumiled), die es wohl nur als Lambertstrahler geben wird, ist ein zulassungsfähiger LED-Fahrradscheinwerfer fast möglich. Fast? Der Absatz TA 23 (5b) und die elektrischen Kennwerte machen einen heftigen Strich durch die Rechnung. TA 23 (5b) muß deshalb genommen werden, weil die LXHL-PW09 bei Nennstrom weit über 42 lm abgibt. Die restlichen Meßpunkte sind nach bisheriger Beobachtung nicht das Problem, lediglich L4/R5 sind mit umgearbeiteten Optiken nicht so einfach zu erreichen. Die unzulässig niedrigen Verbrauchskennwerte kann man durch Vorwiderstände wieder geraderücken.

Für eine optimale Optik sollten die Chips nackt, also ohne schützendem Dom, verwendet werden. Langzeitbeobachtungen des Verhaltes des Phosphors bzw. des Chips bei diesem Betrieb liegen aber noch nicht vor. Wiederum ist der Chip für 700–1000 mA bei mangelhafter Kühlung ausgelegt. Die Fahrraddynamos liefern aber vielleicht gerade mal 650 mA und die Kühlung ist bei angedachter Montage locker ausreichend.

Man könnte natürlich auch jede andere Optik als einen FL dafür nehmen, z.B. einen Lumotec oder alten Union Ellipsoid. Der probehalber aufgesägte Lumotec ist aber bei weitem nicht so trennscharf wie der FL und auch nicht merklich breiter. Der Ellipsoid sammelt deutlich mehr Lichtstrom ein, da er tiefer ist (s. S. 419). Leider ist der Ellipsoid nur noch in geringen Stückzahlen verstaubten Grabbelkisten o.ä. vorhanden.

Ausreichend sollte es sein, die PW09 mit einem 170-Grad Lot auf ein 0,5–1,0 mm Kupferblech aufzulöten, daß etwas größer ist als der Reflektorquerschnitt. Der Reflektor wird waagerecht 3,3 mm unterhalb der optischen Achse aufgesägt.[162] Der Abstand von 3,3 mm ist genau die Höhe des Chips über der Montagefläche.

Es werden kein genauen Geometriedaten einer Basisplatine angegeben. Das muß man selber bestimmen.

Zur Elektrik und Verschaltung: Über der PW09 fallen ungefähr 3,5 V bei 550 mA ab. Über einem Brückengleichrichter fallen, je nach gewählten Dioden 0,4–1,2 V ab. Um auf 6–7 V zum Anschluß einen handelsüblichen Rücklichtes zu kommen braucht man dann entweder einen Vorwiderstand

[162] Beim FL ist hier der Gießgrad eine wunderbare Peilkante.

von 2,4–5,6 Ωund 1,7 W. Oder man sattelt auf etwas ähnliches wie Bild 3.101 um. Mit zwei PW09, eine im Nebenstrom mit einer BD01[163] und eine im Hauptstrom, sind dann ca. 120 lm zu verbraten. Drei PW09 (eine im Nebenstrom, zwei parallel im Hauptstrom) liefern ca. 135 lm. Drei parallele PW09 (und eine BD01) liefern ca. 75 lm, allerdings bei niedrigerer aufgenommener Leistung.

3.10.8.7 Theoretische Kenndaten

Einige theoretische Kenndaten, die mit Lucidshape[164] ermittelt wurden.

Zugrunde gelegt ist ein halber parabolförmiger Reflektor mit Brennweite 9,2 mm, Außendurchmesser 69 mm und Innendurchmesser 11 mm.[165]. Der Emitter ist als Quadrat mit 1,2 mm Kantenlänge mit Lamberteigenschaften und 100 lm Nennlichtstrom modelliert.[166] Der Emitter sitzt mit einer Ecke (45° diagonal gedreht) und strahlt normal zur optischen Achse des halben Reflektors in diesen hinein. Nimmt man sowohl den nach vorne auf die Straße projezierten Lichtstrom wie die maximale Helligkeit als Maßstab, so ergibt sich Bild 3.102. Der Kippwinkel ist positiv nach vorne und negativ nach hinten (in den Scheinwerfer hinein). In Realität ergibt sich bei dem originalen FL-Reflektor nicht dieser Verlauf, der Zentralberg (siehe Bild 3.148) ist da Schuld.

[163] BD01 bei 100 mA.
[164] http://www.brandenburg-gmbh.de/index_lucid.html
[165] Verblüffend ähnlich einem FL:-)
[166] Ist mehr, als eine PW09 in Realität derzeit liefert, ist aber einfacher zu rechnen:-)

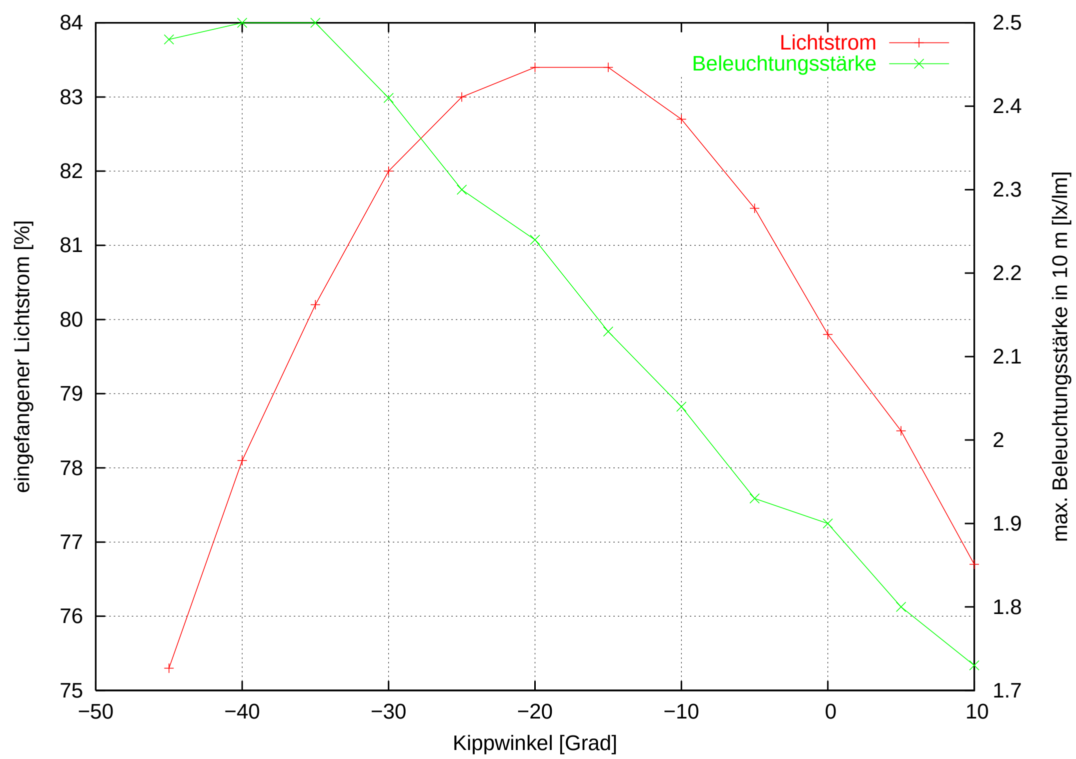


Bild 3.102: Auswirkung des Verkippens der LED

Eigentlich müßte noch eine dritte Kurve hinzu: Maximale Helligkeit im Vorfeld (vor dem Projektionspunkt von HV!) gegenüber HV. Idealerweise sollte dieser Wert konstant 1 sein, real ist es, je nach Scheinwerfer eine mehr oder minder buckelige Kurve, die Maximalwerte über eins erzielt! Da ist bei den derzeit verbreitet kleinen Brennweiten, auch der FL ist eigentlich zu klein, eine zu starke Vorfeldbeleuchtung festzustellen (siehe Bild 3.155) und 3.103).

Der in 3.103 verwendete FL ist ein Ausschußmodell. Sobald ein besserer Reflektor zur Verfügung steht wird das Verhältnis pro HS3 ausschlagen (noch). Die für das Bild notwendige Auflösung beträgt 0,1 Grad!

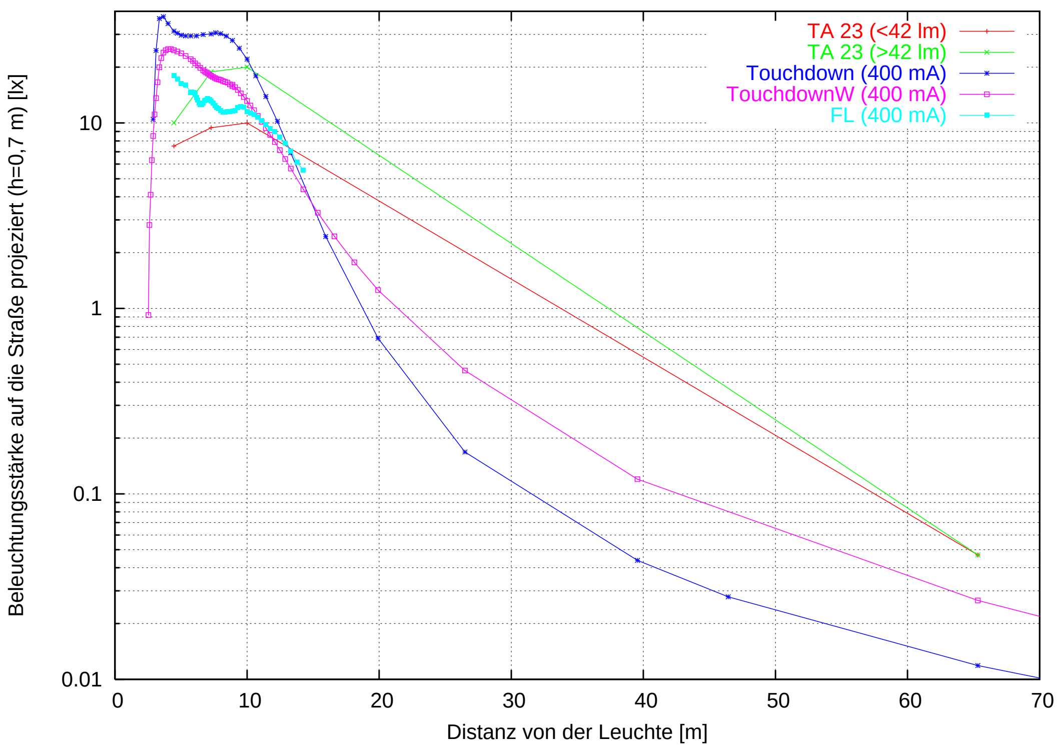


Bild 3.103: Rechnerische Projektion von einigen Schweinwerfern

Interessant ist hier nocheinmal: Selbst bei relativ niedriger Anbauhöhe darf man also gar nicht nachts Radwegschilder sehen können:-) Zumindest laut TA-Kurven.

In Bild 3.104 sind zwei Snapshots von Martins Schröferls Modellierungen gezeigt. Die Rechnungen erfolgen mit einem Lichtstrom von 80 lm. Die Optik ist relativ einfach zu fertigen, nur halt unkonventionell. Aber dadrann werden sich weitere LED-Scheinwerfer messen lassen müssen, nicht am EL300(G)!

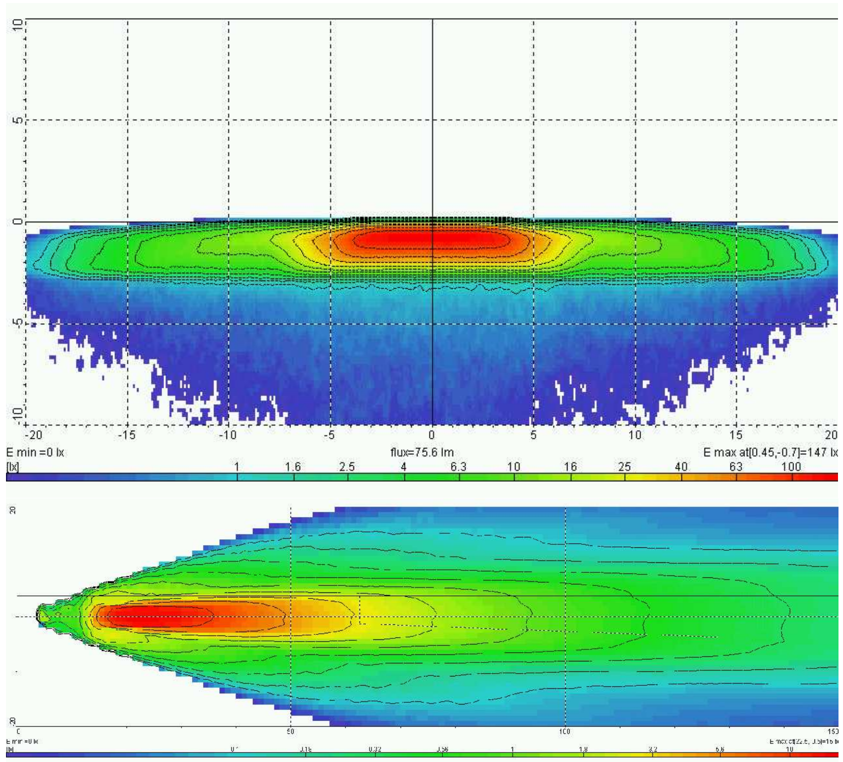


Bild 3.104: Berechnungen von Martin Schröferl

Der ideale Fernscheinwerfer mit einem BiSy als Nahscheinwerfer gepaart.

3.10.8.8 Touchdown

Zu den Touchdowns und weiteren LED-Scheinwerfern siehe vorerst
http://www.enhydralutris.de/Fahrrad/LEDWerfer0402/ Für den Beleuchtungstext ist mir da derzeit zu viel Bewegung drin:-)

In Bild 3.105 ist die Abhängigkeit der Leistungsaufnahme und des Lichtstromes von der Temperatur beim Touchdown (hier mit Alublech, nicht mit Kupferblech) aufgezeigt. Die Messungen werden mit einem NiCr-Ni-Thermometer, Meßperle in den durchgehenden Spalt eingeklemmt, und 20 Grad Raumtemperatur vorgenommen. Nach einer Stunde wird ein Papst 4214GM (120 mm) mit 26 statt 24 V angeschaltet, der von hinten in einem Abstand von ca. 20 cm den Scheinwerfer runterkühlt.

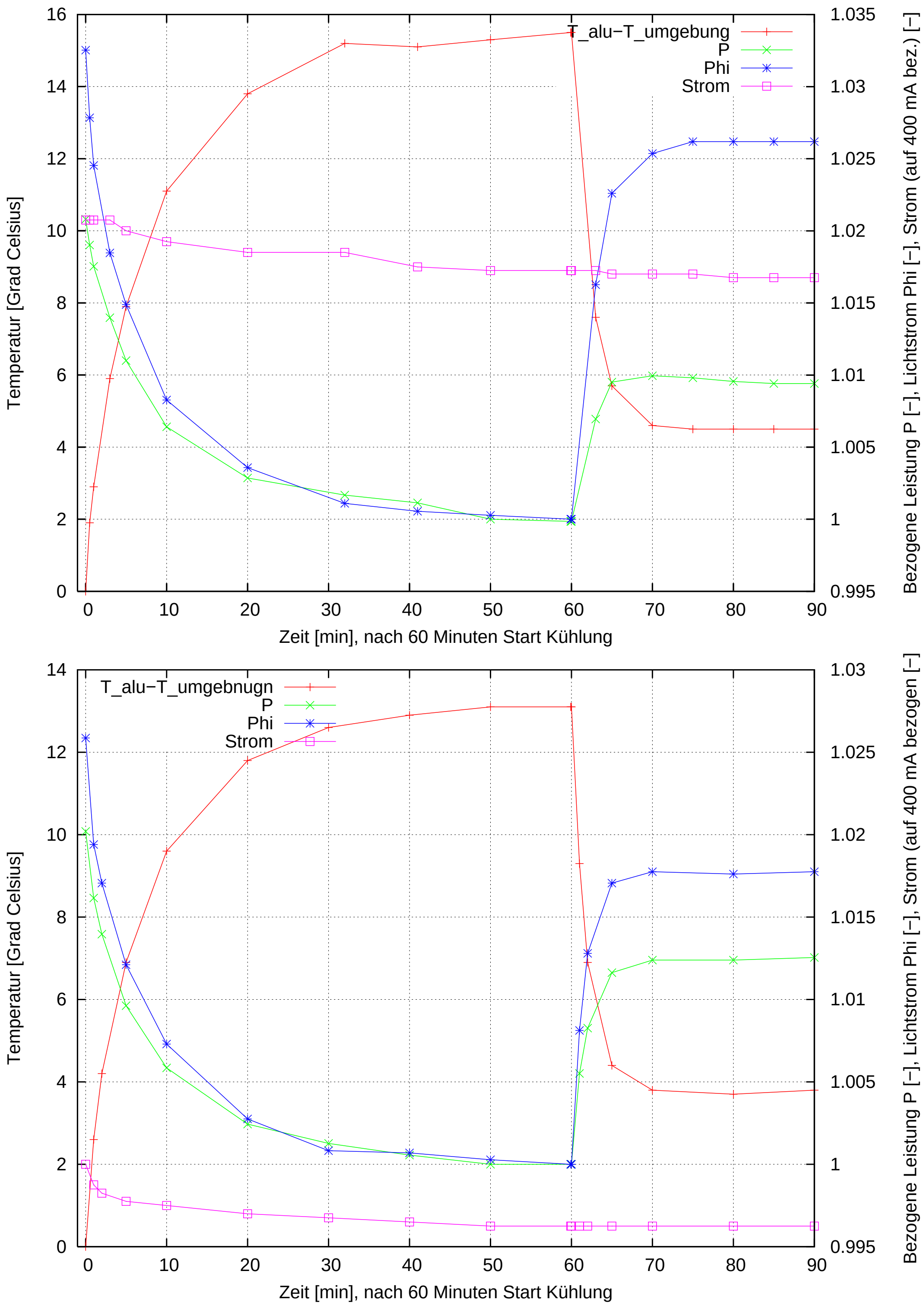


Bild 3.105: Einfluß von Temperatur auf Leistungsaufnahme (bei ca. 407 mA Konstantstrom) und Lichtstrom beim Touchdown (Alublech)

Eine exemplarische Darstellung der erzielten und der theoretisch wünschenswerten (vgl. Seite 428 ff.)Helligkeitsverteilung soll Bild 3.106 dienen. Hier werden diverse BiSy-FL-Reflektoren mit unterschiedlichen Lichtquellen betrieben und auf 10 lx im hellsten Punkt normiert. Ein FL mit einer HPR64 stellt das Vergleichsmaß da. Unterschiedliche Touchdown-Nachbauten, teilweise mit LXHL-PW09 (TD0511bS), teilweise nackte LXHL-PW09 (TD0511aS), teilweise mit Cree XR-E (TD07. . . , GuSc. . .) zeigen die Streubreite bei unsauberer Ausrichtung und die Empfindlichkeit selbst dieses großen und gutmütigen Reflektors auf eine Lichtquelle, die in vertikaler Richtung 1. . . 1,8 mm gegenüber den 0,3 mm einer HPR64 mißt.

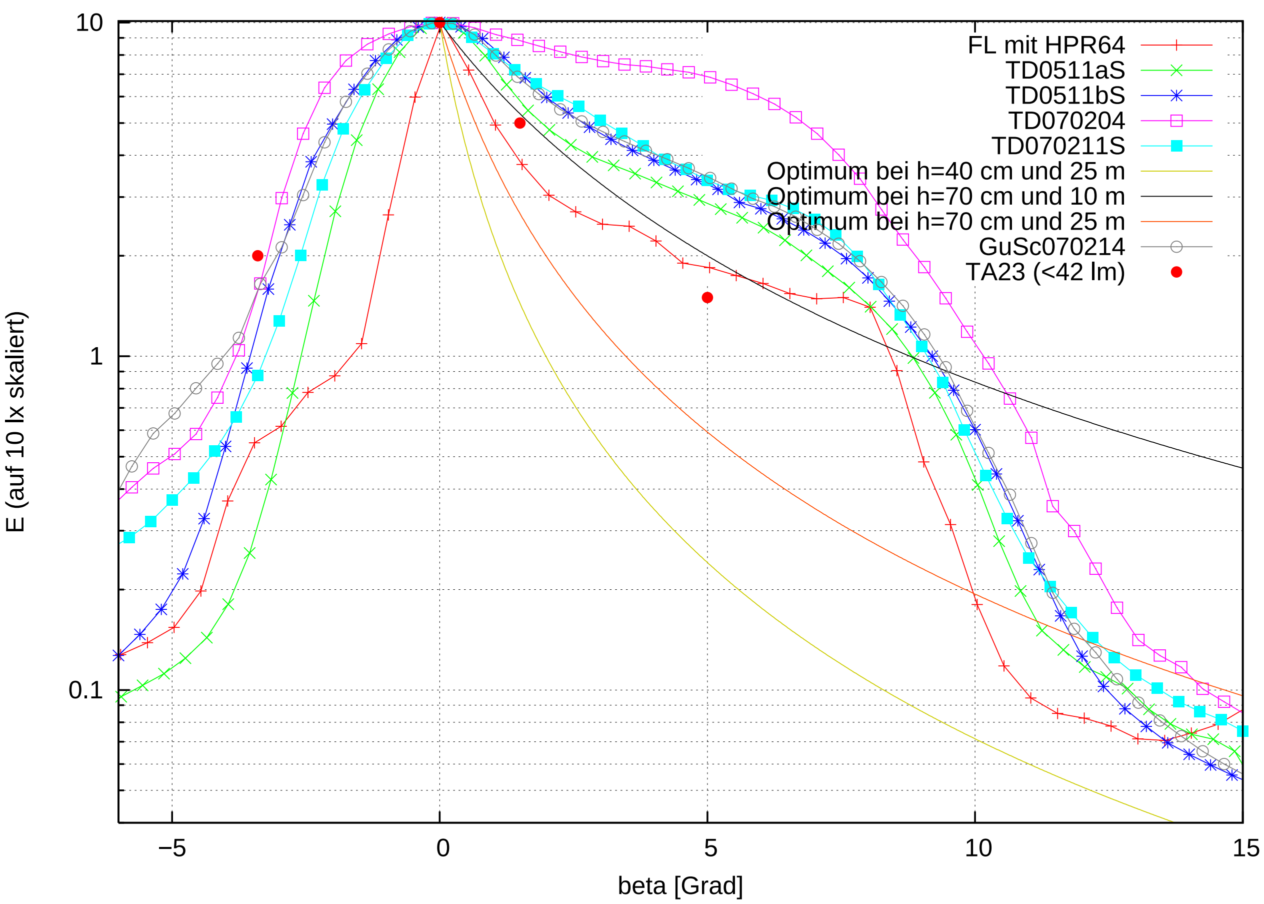


Bild 3.106: Vertikalschnitte bei unterschiedlichen Touchdown-Versionen

Betrachtet man, daß die Lichtausbeuten und damit die Helligkeiten der LEDs inzwischen ein vielfaches von den üblichen Halogenbirnen beträgt, so wird deutlich, daß nicht nur für die Blendwirkung sondern auch für eine homogene und weite Ausleuchtung nicht nur eine deutliche Verkleinerung der Emitterfläche bei Steigerung der Leuchtdichte notwendig ist, auch muß eine andere Reflektorgeometrie mit deutlich vergrößerter Brennweite her. Vergleich hierzu auch Bild 3.156, indem mit Touchdown und TouchdownL über FL und Lumotec-Reflektor unterschiedliche Brennweiten verglichen werden können.

3.10.9 Hella

3.10.9.1 Hella HL 2000 Micro Tech LED

Als Designstudie im fortgeschrittenen Prototypenstadium auf der 2003er ifma war das Hella Micro Tech LED zu sehen. Eine Luxeon-LED ist hinter einer Linse, die an die Luxeon-Linsen erinnert, aber einen größeren Durchmesser hat und nicht rotationssymmetrisch ist, platziert. Eine Ladestation für die 4 Mignon-Akkus (AA) und Dynamoladefähigkeit sowie mehrere Lichtstufen sind schon vorhanden. Britische (BS) und Deutsche Zulassung sind angestrebt. Die Lichtverteilung der Protoypen ist aber eindeutig noch nicht zulassungsfähig.

Allerdings fragt sich der Autor, wie Hella auf „Die eingesetzte weiße LED mit einer Lebensdauer von über 100.000 Stunden" kommt. Für die weißen 5 W-Typen gibt Luxeon 500 h an,[167] für 1 W-Typen ? h.[168] Dabei ist die LED auf dem sechseckigen Alublech (Luxeon-Star) im Gehäuse nicht weiter gekühlt, siehe unten. Auch zu behaupten „Hella Micro Tech LED – innen" ist wohl ein bißchen zu sehr Marketing, wenn das keine Luxon-LED ist, dann freß ich 'n Besen[169].

Info: www.hellabike.com

Ein Bericht mit vorläufiger Ausleuchtung war in der aktiv Radfahren 6/2004 abgedruckt.

Stand ifma 2004: Die deutsche Zulassung ist erfolgt (~~~K 411). Es wird eine Dynamoversion und eine reine Akkuversion geben. Die Ausleuchtung der BS und der G-Version unterscheiden sich deutlich. Markteinführung angeblich Nov./Dez. 2004

Ende 2004 bzw. im Januar 2005 tauchen die ersten Exemplare tatsächlich im Handel auf.

Original ausgeliefert wird der Scheinwerfer mit Primärzellen. Dementsprechend ist von leicht über 6 V maximaler Betriebsspannung auszugegen. Die Abhängigkeit der Helligkeit bzw. Lichtstrom, Strom und Leistungsaufnahme von der Betriebsspannung (an den Akkukontakten eingespeißt) zeigt Bild 3.107. Hierbei wird eine zügige Messung vorgenommen, da inzwischen der gravierende Einfluß der Temperatur auf den Lichtstrom bekannt ist. Einige Zwischenwerte wurden nach eine Abkühlpause bestimmt; daher der schwankende Verlauf über 4,5 V. Der Lichtstrom wird auf den bei 6 V bezogen.

[167]Seite 1 DS40 (10/02): „*500+ hours operation compared to just 20 hours for typical incandescent flashlight bulbs*".
[168]Datasheet DS23 (04/03) und DS25: Chiptemperatur 70 Grad Celsius, 30 % Verlust Lichtstrom nach 60000 h.
[169]Selbstverständlich aus Niederegger Marzipan:=)

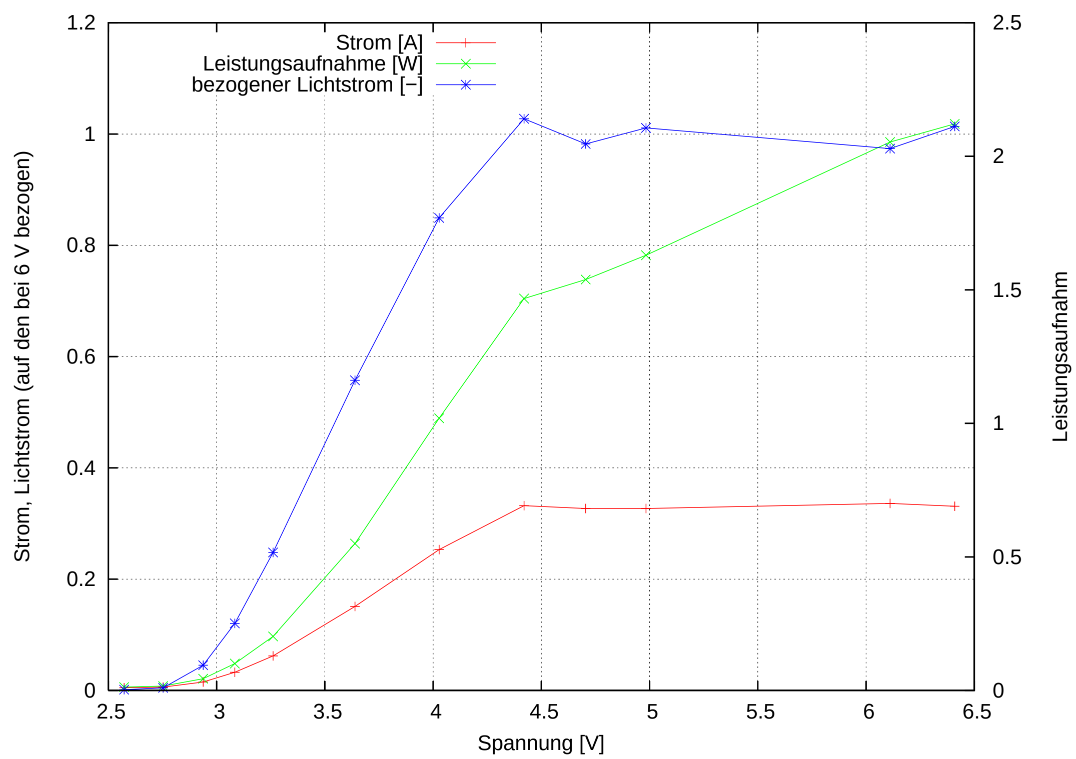


Bild 3.107: Strom und Leistungsaufnahme sowie Lichtstrom HL2000

Das 2003 vermutete Wärmeproblem taucht wirklich auf. Siehe Bild 3.108. Die Messungen werden mit einem NiCr-Ni-Thermometer, Meßperle oben zwischen Rückwand und Star-Platte eingeklemmt, bei geschlossenem Gehäuse und 19 Grad Raumtemperatur vorgenommen. Nach einer Stunde wird ein Papst 4214GM (120 mm) mit 26 statt 24 V angeschaltet, der von hinten in einem Abstand von ca. 20 cm den Scheinwerfer runterkühlt.

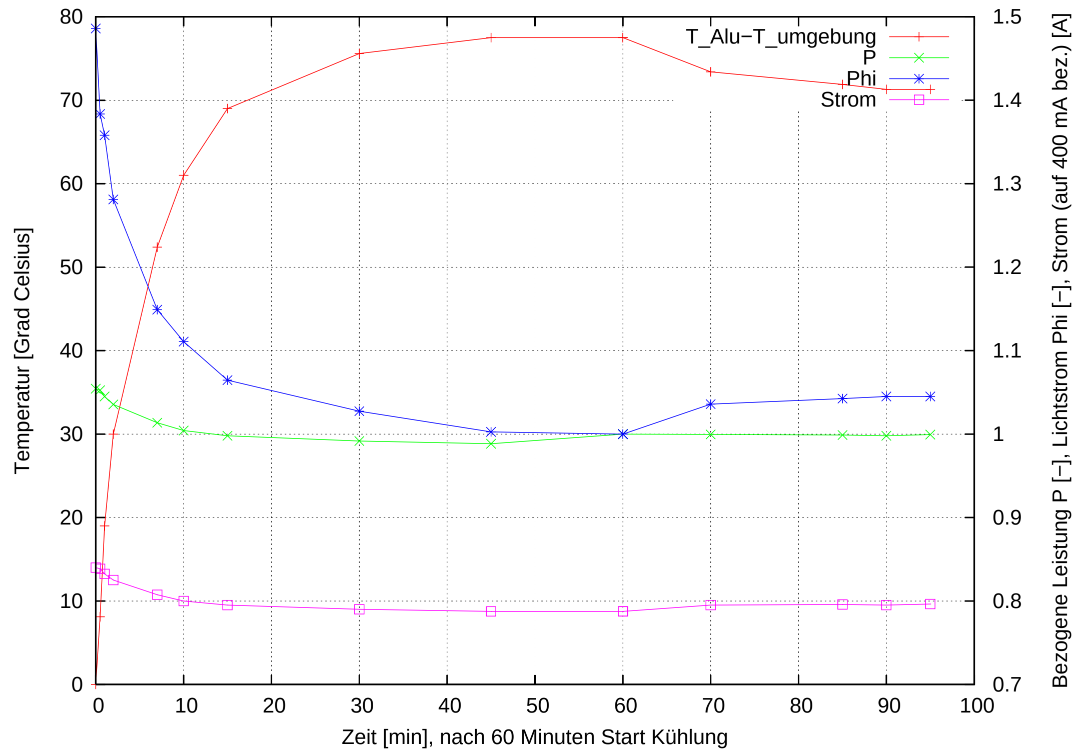


Bild 3.108: Temperatureinfluß beim HL2000

Zu den Lichtwerten siehe u.a. www.enhydralutris.de beim Goniometer.

3.10.9.2 M60 1TL998.670-021

Der Hella M60 wurde mir im Oktober 2020 anonym zugeschickt.[170] Es ist ein LED-Scheinwerfer mit Massivglasoptik. Die Austrittfläche hat einen Durchmesser von 46 mm. Die hier vermessene Variante hat eine Abblendlicht-Charakteristik. Sie ist für Landwirtschaft, Baugeräte und Motoräder nach ECE/SAE/CCC zugelassen.

Der M60 wird mit Gleichspannung zwischen 9 und 16 V betrieben. Er hat in diesem Bereich eine variable Stromaufnahme bei einer Leistungsaufnahme von ca. 14,2 W (nominal 16 W).

Es sind vier LEDs verbaut: Zentral ein Doppelchip, flankiert von zwei leicht versetzten Einzelchips. Der LED-Hersteller könnte ... sein. Die Farbtemperatur ist je nach Quelle mit 6000. . . 6500 K angegeben. Gemessen werden mit dem M600A 6447 K bei einem Farbwiedergabeindex Ra=62.

Durch Kühlung mit Anströmung von hinten mit ca. 8 km/h gewinnt man ca. 7,7% im Lichtstrom gegenüber dem ungekühlten, frei konvektierenden Betrieb.

[170] Hatte ich auch noch nicht erlebt.

3.10.10 Herrmans

Der finische Hersteller Herrmans hat einiges an Fahrradbeleuchtung im Programm. Die Produkte sind aber in Deutschland kaum aufzutreiben. Das wichtigere Standbein scheint die *heavy-duty*-Beleuchtung für **richtige** Schwerfahrzeuge zu sein.

3.10.10.1 Herrmans h-one

Erste Bilder des h-one tauchen Ende 2009 auf. Es ist ein Offsetspiegel, vgl. bumm IQ-fly, verbaut. Das Gehäuse soll aus Aluminium sein. Der Scheinwerfer wird mit StVO-Zulassung und 20 lx beworben.

Der Herrmans h-one (E4 023323) kommt 2010 auf den deutschen Markt. Noch ist keine deutsche Zulassung bekannt.

Das Gehäuse ist aus Aluminium. Es ist gegossen und außen geschliffen sowie lackiert. Die LED ist über einen gebogenen, federnden, Messingstreifen (11 mm breit und 0,3 mm dick) und Wärmeleitpaste oben an das Gehäuse kontaktiert.

Das Gehäuse hat zur Montage ein 21 mm langes Querloch mit 5 mm Durchmesser (Standard sind 6 mm). Ein passender, aus Nirodraht gebogener, Lampenhalter für die Gabelkronenmontage wird mitgeliefert.

Der Einfluß von Temperatur und Kühlung auf das h-one ist in Bild 3.109 wiedergegeben. Die NiCr-Ni-Perle ist mit Sekundenkleber in die Kehle zwischen Kupfer-Ring und Keramik-Substrat der LED geklebt.

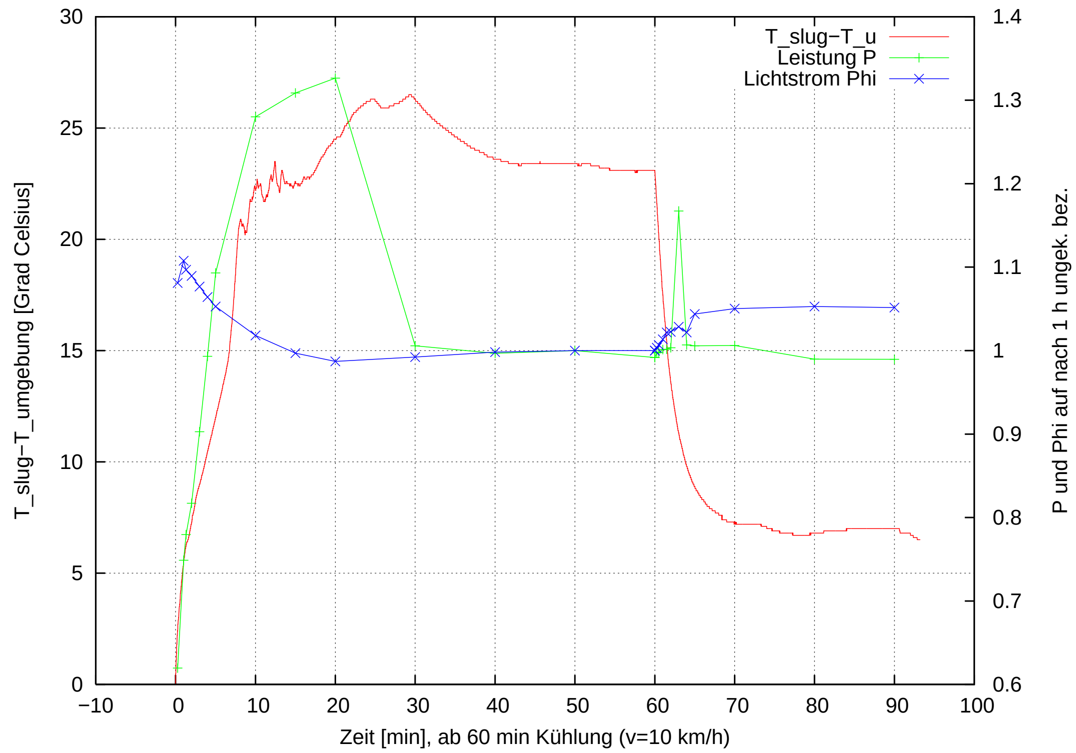


Bild 3.109: Temperatureinfluß beim Herrmans h-one

Nach einiger Zeit schwankt bei 0,4 A-Konstantstrom die Spannungs unregelmäßig zwischen ca. 8,3 und 11,4 V. Insofern liegt auch eine schwankende Leistungsaufnahme und damit wechselnde Temperatur vor. Der Leistungs- und Lichtstromschrieb erfolgte diskret im Abstand von 0,25–10 Minuten, der Temperaturschrieb im Sekundenabstand. Dadurch fallen bei P und Φ diese Schwankungen nicht auf. Die LED-Temperatur bleibt erfreulich niedrig.

3.10.11 Inoled

Die Gehäuse der Inoled inolight 10+ und 20+ sind nahezu identisch. Laut Stempel bestehen sie aus ABS.

Das Gewicht beider Versionen liegt bei ca. 107,4 g.

Der verripte, stabil erscheinende, Halter ist aus Polybutylentherephthalat (PBT).[171] Er wiegt 12,4 g. Die mitgelieferten Schrauben sind nichtrostend.

[171] Anscheinend nicht faserverstärkt.

Frühe Versionen hatten je zwei Einschnappungen der Frontscheibe oben und unten. Bei neuen sind je eine mittige Schnapptasche oben, unten, links und rechts. Dies sollte man von vorne durch genaues Hingucken an der Frontscheibe feststellen können. Die Frontscheibe klemmt zusammen mit dem Reflektor einen O-Ring von innen gegen das Gehäuse. So sollte zumindest von vorne Wasserdichtigkeit gegeben sein. Hinten sind O-Ringe in beiden Steckerbuchsen und die Gummikappe über dem Schalter für die Dichtigkeit zuständig. Falls ein Stecker nicht eingesteckt ist, so gibt es ein Gummiteil mit zwei Stöpseln. Also kleine durchdachte Details.

Der Kühlkörper ist bei neueren Versionen ein 13 g wiegendes schwarz exloxiertes Strangpreßprofil, während es in früheren Versionen noch ein fast vollständig gespantes Profil war. Die Focuslage der LED kann seitlich ca. $\pm$0,2 mm, nach vorne/hinten um ca. $\pm$2 mm eingestellt werden. Vertikal geschieht dies ggf. durch Unterlegscheiben.

Bei neueren Versionen sind die Stecker und die Gummistöpsel zum Abdichten der Buchsen farbig gekennzeichnet. Allerdings sind beim vorliegenden Exemplar die Farben von Stecker und Gummiteil vertauscht. Die Stecker sind leicht unterschiedlich, so daß der Versorgungsstecker nicht in die Rücklichtbuchse paßt, eine Versorgung von hinten also ausgeschlossen sein sollte.

Es ist also eine Modellpflege zu beobachten.

Allerdings kann es zu problematischen Situationen bei Betrieb an Dynamos kommen: Die Leistungsaufnahme des 10+ bzw. 20+ ist so geregelt, daß vom LED-Zweig maximal 2,5 bzw. 3,6 W aufgenommen werden. Nur liefern Fahrrad-Dynamos im Allgemeinen 500-550 mA. Siehe hierzu auch Seite 84 ff. und 133 ff. Wenn bei Verwendung einer PKE12 oder PKE18 bei 12 V bzw. 18 V die Begrenzung einsetzt,[172] so beträgt die Eigenstromaufnahme der LED via Schaltwandler ca. 150...300 mA (abhängig von Version und Modell). Der restliche Strom wird in den Begrenzungsdioden in Wärme umgesetzt und zwar bei dem Spannungsabfall, den die PKEs vorgeben. Es sind mit $12(0{,}5 - 0{,}3) = 2{,}4$ W bis $18(0{,}4 - 0{,}15) = 4{,}5$ W zu rechnen.[173] Erstens wird diese Leistung nur zur Heizung des Gehäuse verwendet, zweitens fehlt sie bei der Lichtausbeute. Die LEDs können, vernünftige Kühlung vorausgesetzt, mehr Strom bzw. Leistung aufnehmen.[174]

Eine Serienschaltung mit anderen Scheinwerfern ist nicht sinnvoll, eher eine Parallelschaltung von zwei Inoleds.

Hier setzt dann auch eine 2007 von Inoled auf deren Webseite angebotene Begrenzungsschaltung ein, die einfach parallel zum Scheinwerfer in den Dynamozweig gesteckt wird. Nur wird bei ausgeschaltetem Scheinwerfer diese Schaltung (wohl nur eine oder zwei entsprechende Begrenzerdioden) gegrillt.

Nach Berichten zu urteilen gibt es zumindest beim 20+ Versionen mit geregeltem und welche mit ungeregeltem Rücklichtausgang.

---

[172] Real fängt eine Spannungsbegrenzung erst bei höheren Spannungen an (vgl. Bild 2.48).

[173] 20"-SON bei 75 Hz.

[174] Laut Luxeon DS25 350 mA DC-forward für die PW01 und DS45 1000 mA DC-forward für die PW09.

3.10.11.1 inolight 10+

Zulassung K478, 6–14 V

Der Eingangsgleichrichter ist aus diskreten Schottky-Dioden aufgebaut.

Kurze Zusammenfassung zum Innenleben: Der Schaltregler betreibt die LED[175] mit 500 kHz bei ca. 522 mA mit einem Ripple von ca. 38 mA. Der Shunt für die LED hat 0,18 Ω, die Spule 25 mΩ. Bei typischen LEDs sind das bei 3,5 V bei 0,52 A ca. 1,82 W, die die LED aufnimmt.

Die Standlichtfunktion wird durch zwei parallel geschaltete 1 F/5,5 V-Goldcaps gestützt.

Als Begrenzungsdiode ist eine PKE18CA verbaut. Bei hohen Geschwindigkeiten am Nabendynamo kann es bei Nichtvorhandensein einer weiteren Last, z.B. Rücklicht, dazu kommen, daß durch den ausgangsleitungsgeführten Schaltregler (via ATMEL Tiny) die Eingangsspannung an Dynamos so weit angsteigt, daß die Begrenzungsdiode „abraucht“. Und dann danach dann der Rest mit den nun zu hohen Spannungen nicht zurande kommt und auch versagt.

Die Buchse für das Rücklicht gibt die Eingangsspannung ab (bis auf den Spannaungsabfall über dem mechanischen Schalter (vgl. Bild 3.111)

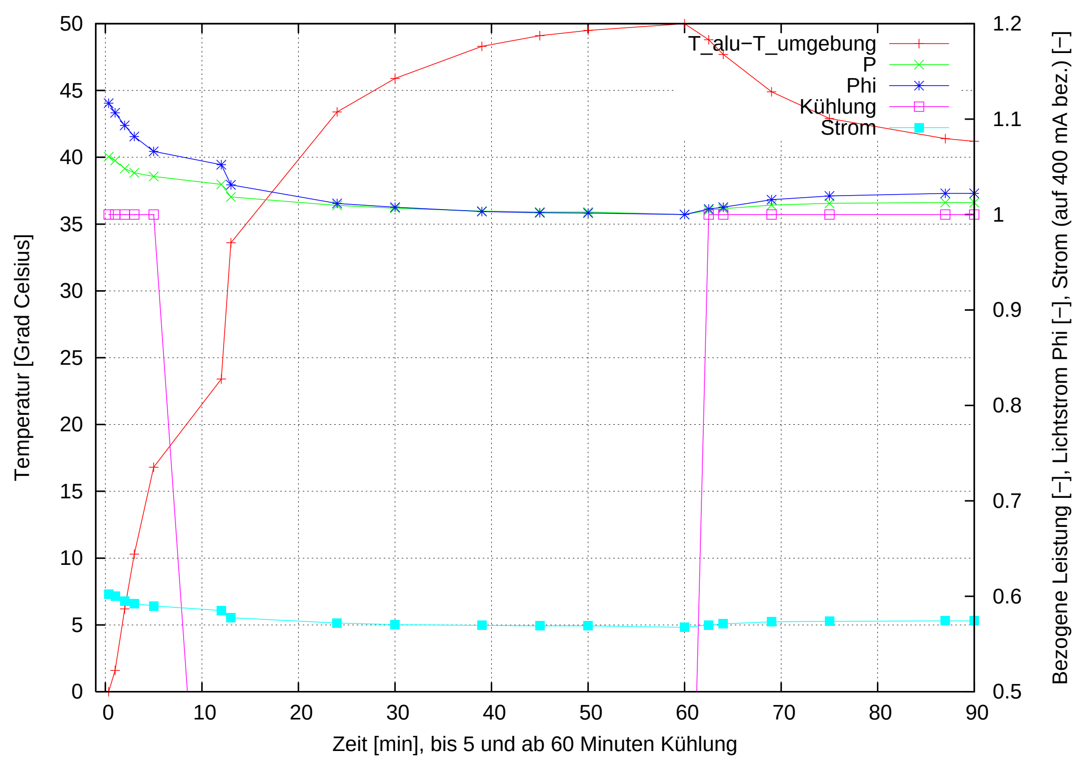


Bild 3.110: Temperatureinfluß beim inolight 10+

[175]In neueren ist ein Aufkleber, der eine LHXL-PW09 entlarft.

3.10.11.2 inolight 20+

Der inolight 20+ hat keine deutsche Zulassung.

Die Buchse für das Rücklicht gibt zumindest bei einem getesteten Exemplar eine auf maximal ca. 6 V geregelte Ausangsspannung ab. Dies ist unterschiedlich zum 10+! Bei neueren Version ist die Ausgangsspannung recht genau die Eingangsspannung.

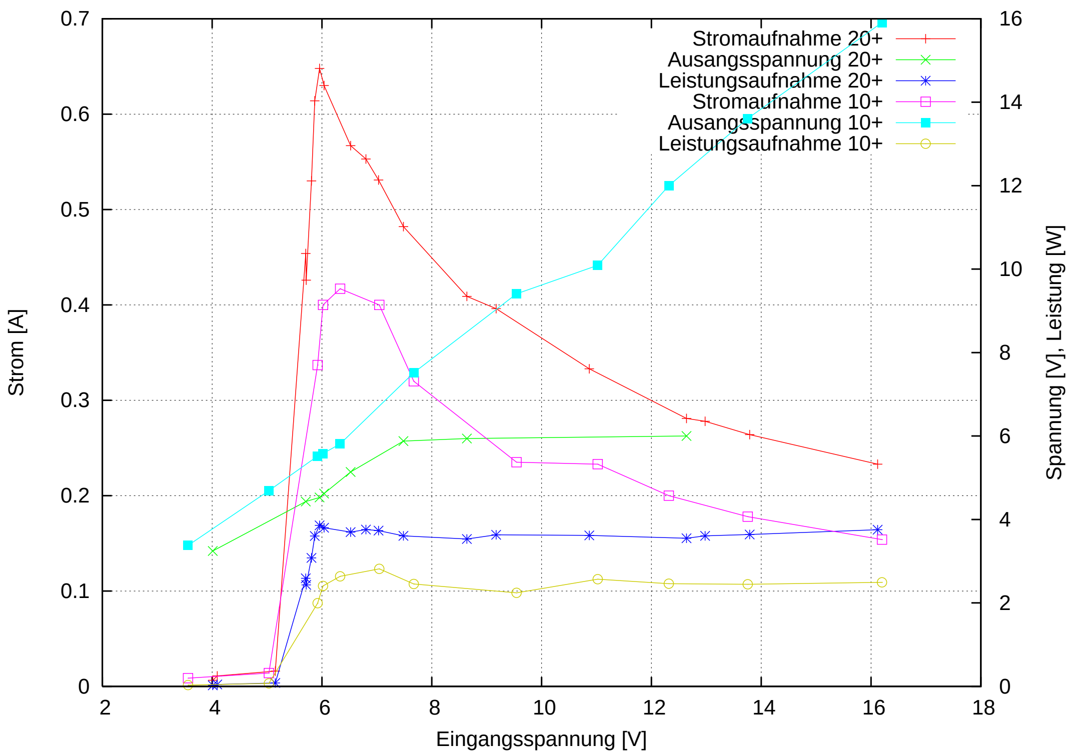


Bild 3.111: Elektrisches Verhalten vom inoled 10+ und 20+ an Gleichspannung

In neueren Versionen ist laut Aufkleber auf dem Kühlkörper eine LXHL-PW09-TXOJ verbaut.[176] Als Begrenzerdioden sind zwei antiparallel geschaltete PKE 12CA eingebaut.

Die LED wird mit ca. 772 mA betrieben.[177] Die aufgenommene Leistung liegt zwischen 6–16 V Gleichspannung bei ca. 3,6 W.

Der Kühlkörper sollte großzügiger dimensioniert werden: Offen auf dem Tisch erreicht er schnell 57 °C hinter der LED. Eingekapselt im Gehäuse wird es auch bei Fahrtwind nicht weniger sein.

[176] Laut Luxeon-Datenblatt: Lichtstrom 67-87,4 lm, Farbtemperatur 6700 K und Flußspannung 3,27–3,51 V.

[177] 0,139 V Spannungsabfall über dem 0,18 Ω-Widerstand.

3.10.11.3 Inoled extreme

Der Inoled extreme erscheint Ende 2007. Die ersten Prototypen haben anscheinend eine Cree XR-E 7090-WT verbaut. Gewichte: 105 g der Scheinwerfer, 18 g das Dynamokabel, 31 g das Rücklichtkabel bzw. alternativ 34 gf für das Inoguardkabel.

Der Inoled extreme verwendet zumindest in der hier (Januar 2008) vermessenen Version anscheinend eine Luxeon LXHL-PW09 (oder -PW01?) LED. Insofern ist deutlich zwischen den Meßwerten zu unterscheiden! Ende März 2008 wird ein Update des Extreme mit XR-E vermessen.

Der mitgelieferte Schutz (Inoguard) wird auf den Ausgang gesteckt und an ihm kann das Rücklicht angeschlossen werden. Frühe Versionen der Inoguard wurden angeblich zwischen Dynamo und Scheinwerfer gesteckt. Dies führt dann dazu, daß bei ausgeschaltetem Scheinwerfer ca. 4 W in den Begrenzerdioden verheizt werden. Alternativ kann u.U. ein aktuelles DToplight Plus[178] o.ä. verwendet werden.

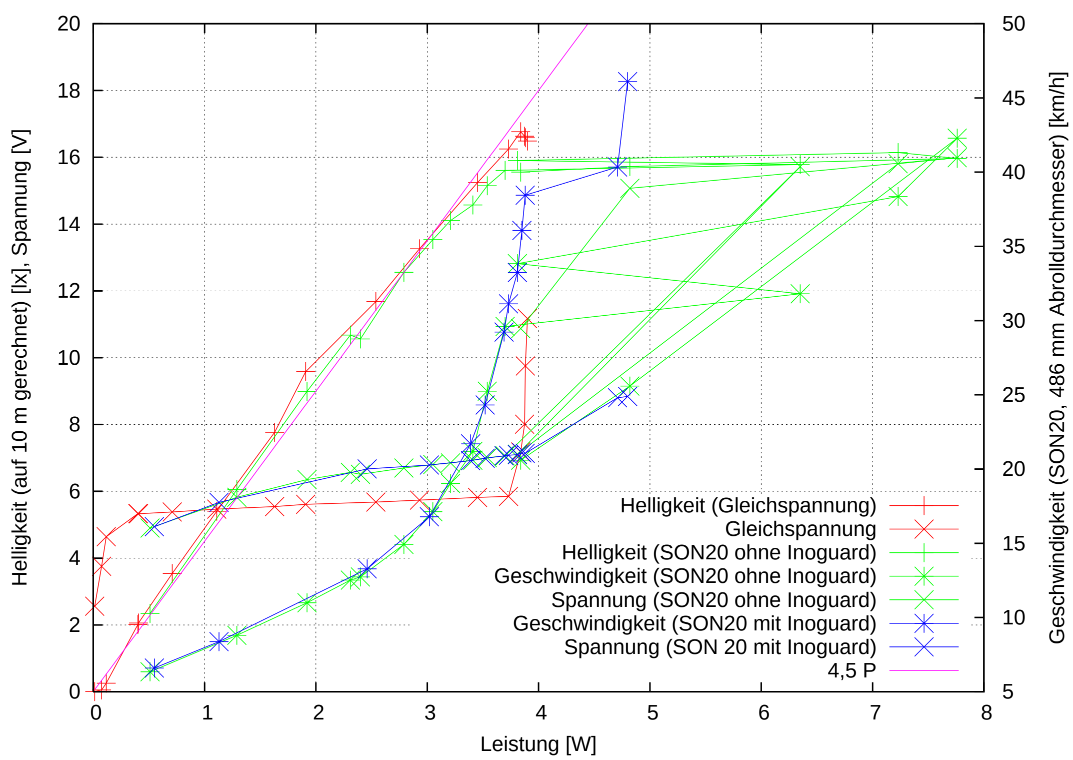


Bild 3.112: Inoled extreme an realer Quelle

Im Inoguard ist anscheinend ist dort eine Supressordiode, ähnlich der BZW04 7V8B, eingebaut. Die Durchbruchspannung liegt bei ca. 8,7 V

[178] Die mit eingebauter Schutzdiode, z.B. P6KE 9V1.

Ohne Inoguard kommt es ab einer bestimmten Last bzw. Leistungsbereichtschaft des Dynamos zu einem Umschlagen des Arbeitspunktes. In Bild 3.112 ist das ab ca. 30 km/h der Fall.[179] Der Laststrom fällt, die Spannung steigt. Nun greifen die im Inoled eingebauten Begrenzerdioden und müssen die überschüssige Leistung im Gehäuse verheizen. Von älteren Inoled 10+ und 20+ sind ausgefallene bzw. entlötete Begrenzerdioden bekannt.

Analog zu Bild 3.112 ist Bild 3.113 für einen Extreme Update (mit Cree XR-E) zu verstehen.[180]

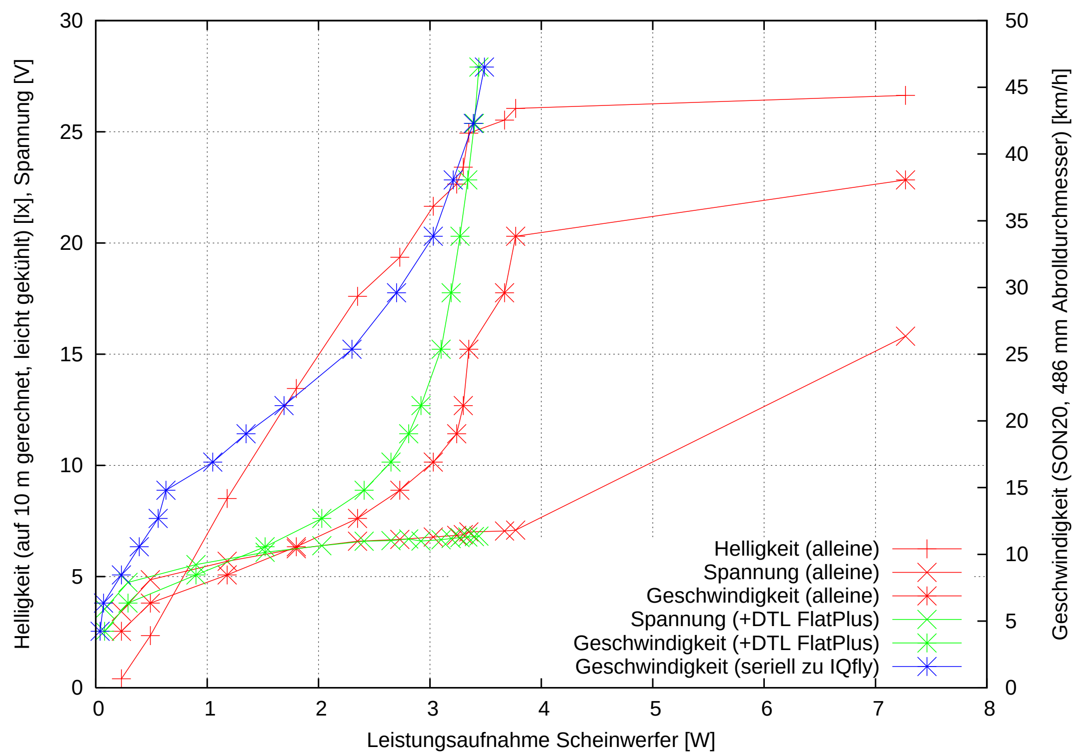


Bild 3.113: Inoled extreme (Update) an realer Quelle

Bei Variierung der Lasten (alleine, seriell zu einem IQ-fly oder parallel zu einem DTL FlatPlus) zeigt sich, daß sowohl die Spannung wie die Helligkeit nahezu von der aufgenommenen Leistung unabhängig sind.

Eingebaut ist die Platinenversion 2.00 (09.07). Der Gleichstromwiderstand der Spule beträgt 0,13 Ω der der Sense-Widerstände 0,235 Ω. Die Begrenzerdioden sind zwei antiparallele 1N5343B (Zenerdiode 7,5 V). Verbaut sind weiterhin zwei stehende Starcap 1 F/5,5 V (wie in den alten Versionen).

[179] Ab ca. 70 Hz. Erst wenn die Frequenz unter ca. 55 Hz bzw. xy km/h fällt wird keine Leistung mehr in den internen Begrenzern verheizt.
[180] Leicht gekühlt.

Die Elektronik hat sich also leicht weiterentwickelt. Die LED wird mit ca. 778 mA betrieben.[181] Der Schaltwandler arbeitet mit ca. 500 kHz, hat aber eine Tastlücke mit 2,5 kHz.[182]

Das elektrische Verhalten an Gleichspannung ist mit dem der älteren Versionen vergleichbar. Siehe hierzu auch Bild 3.114.

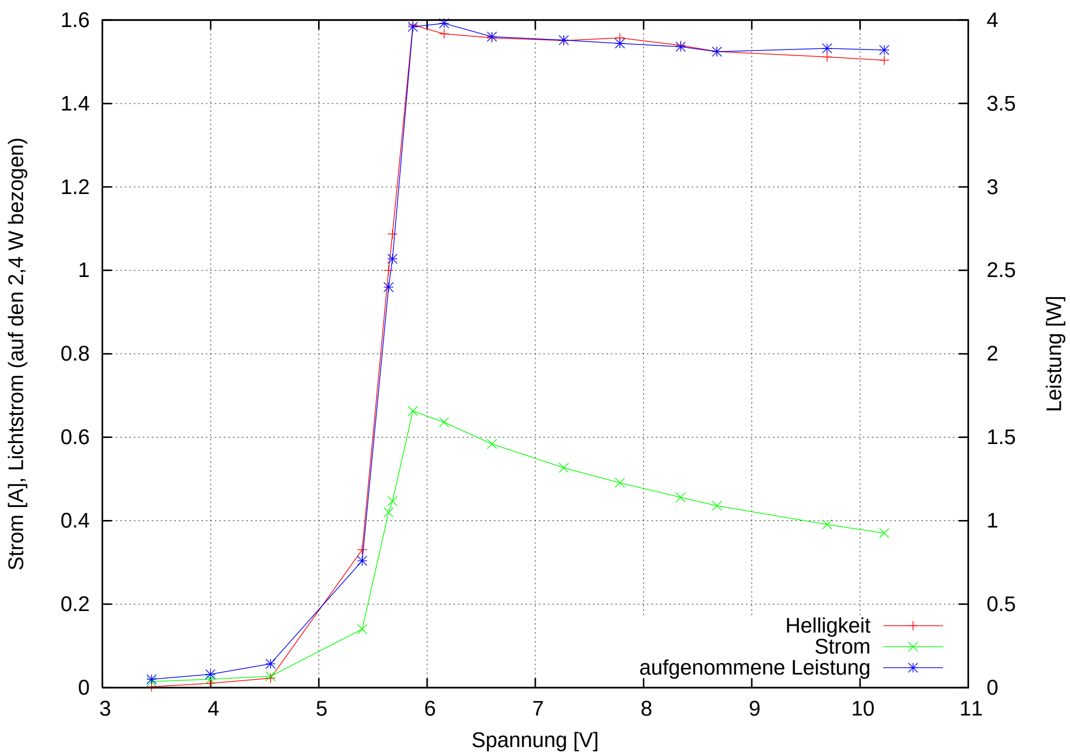


Bild 3.114: Extreme (Update) an Gleichspannung

Die LED ist mit einer silikonähnlichen Masse auf einem Alublech festgeklebt. Die Dicke des Klebefilmes sind ca. 0,4 mm. Das Alublech ist auf dem normalen Inoled-Kühlkörper festgeklebt. Daher wird noch eine Temperaturmessung vorgenommen (siehe Bild 3.115). Eine NiCrNi-Perle ist mit leichtem Kontaktdruck in die Rille zwischen Kupferring und Keramikträger der Cree gedrückt.

[181] 0,183 V fallen über den Sense-Widerständen ab.

[182] Im Leistungsgeregelten Betrieb unterhalb der Ansprechschwelle der Z-Dioden wird der Platinenbereich um die Sense-Widerstände am wärmsten, hier liegt also das Optimierungspotential. Alleine im Gleichstromwiderstand der Spule und den Sense-Widerständen werden $P = I^2R = 0{,}778(0{,}235 + 0{,}13) = 0{,}28\,\mathrm{W}$ verheizt.

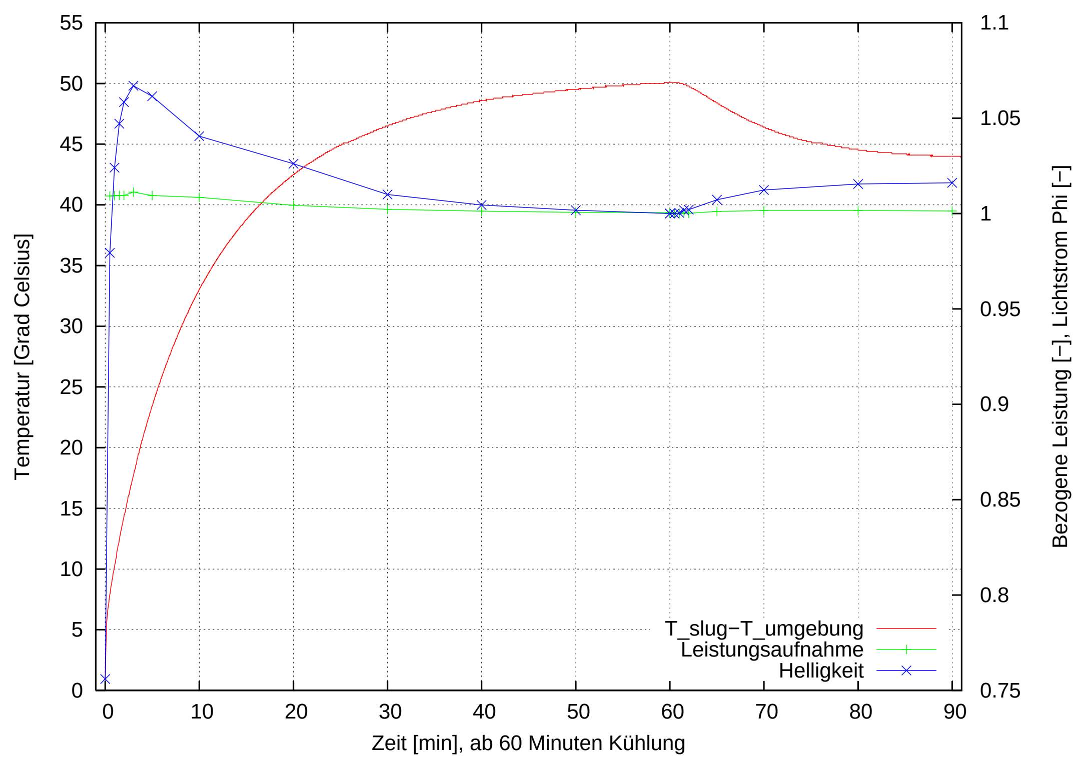


Bild 3.115: Temperatureinfluß beim Extreme (Update) bei 2,4 W aufgenommener Leistung

3.10.12 KLB

3.10.12.1 KLB LI-3A

Das LI-3A (~~~1505) von KLB/Diekbree) ist hier vom Frühjahr 2020 und wurde dort über LIDL vertrieben.

Die LED ist eine OSRAM OSLON mit ca. 5460 K und Ra=66.

Verbaut ist eine geschützte Li-Ion-Zelle Huawei 18500 mit 1,3 Ah. Die Elektronik kommt ohne Schaltwandler aus, es wird lediglich mit Pulsweitenmodulation gearbeitet.

Tabelle 3.41: Stromaufnahme LI-3A

Spannung [V]	Strom [A]	LED
2,6	0,01	dunkel rot
3,3	0,502	blinkend rot
3,4	0,508	blinkend rot
3,5	0,506	1 grün
3,6	0,51	2 grün
3,8	0,511	3 grün
4,0	0,513	4 grün
4,2	0,514	4 grün

Der Lichtstrom bzw. die Helligkeit wird recht gut in den Stufen 100 %, 50 % und 25 % geschaltet. Oder mit dem Sensor auf der Oberseite des Gehäuses automatisch eingestellt.

3.10.13 Lumen36

Lumen36 ist ein Projekt der FH Pforzheim mit zwei Luxeon NW98, zwei 1,8 Ah LiIon-Akkus und Schaltwandler. Klein und nett als Taschenlampe zu verwenden aber weder ist eine für den Straßeneinsatz sinnvolle noch eine zulassungsfähige Lichtverteilung vorhanden. Kontakt: Andreas Funke und Matthias Kolb (lumen_36@gmx.net).

War 2003 auf der imfa ausgestellt. „. . . Ziel der Entwicklung war eine kleine autarke Fahrradleuchte zu entwickeln. Eine Zulassung durch das LTI war nie vorgesehen. . . . “

3.10.14 Lupine

Die Zeltstangenscheinwerfer von Lupine sind (bisher) nicht für den Einsatz am Fahrrad im öffentlichen Straßenverkehr gedacht. Zumindest sind mir keine dafür zugelassenen und geeigneten bekannt. Die Montage an Zeltstangen mit einem Durchmesser von 22 mm erfolgt über einen Gummiring. Was dadrann patentfähig sein soll verschließt sich mir bisher.

3.10.14.1 Tesla P7

Eine neuwertige Tesla mit Seoul P7 verirrt sich Ende 2009 auf den Labortisch.

Die Tesla wiegt ca. 101 g. Davon entfallen ca. 6,2 g auf die Überwurfmutter für die Frontscheibe (inkl. Gummiring), 3,65 g auf das Frontglas, 3,1 g auf den Reflektor, 10,9 g auf den Halter inkl. Gummiring und die restlichen 77,3 g auf den nicht so einfach weiter demontierbaren Teil des Scheinwerfers.

Die Frontscheibe ist unvergütet und hat eine Transmission von 91,4 % im Licht einer weißen LED.

Der Reflektor hat eine Öffnung von ca. 32 mm und eine Tiefe von ca. 18 mm. Er sammelt damit den über ca. $2\times41°$ hinausgehenden den Lichtstrom ein. Die Seoul P7 ist mit $2\Phi_{1/2} = 130°$ angegeben. Laut Bild 3.36 werden etwa 60 % des Lichtstromes einer Cree XR-E[183] in diesem Winkel direkt nach vorne abgestrahlt und die restlichen 40 % durch den Reflektor erfaßt und dann noch von der Frontscheibe gedämpft. Der Faktor für die optischen Verluste beträgt damit

$$0{,}6 \cdot 0{,}9 + (1 - 0{,}6)0{,}9 \cdot 0{,}9 = 0{,}81 \tag{3.95}$$

Dabei ist der Reflektionsgrad des Reflektors mit 90 % angenommenen.

Nun wird noch aufgrund der erhöhten Temperatur ein weiterer Abschlag zu berücksichtigen sein. Laut Datenblatt von Seoul ist bei einer Junction-Temperatur von 100 °C nur noch mit ca. 85 % des Nennlichtstromes zu rechnen. Da die Temperatur am Kathoden-Beinchen der LED bei ca. 10 km/h Fahrtwind und 18 °C Umgebungstempertur mit ca. 60 °C gemessen wird sind 100 °C an der Sperrschicht wohl realistisch.

Damit bleiben vom gesammten Lichtstrom Φ_{Nenn} der LED, von Lupine mit 700 lm beworben,

$$\Phi = \Phi_{\text{Nenn}} 0{,}81 \cdot 0{,}85 = 700 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}85 = 482\,\text{lm} \tag{3.96}$$

über. Das entspricht ziemlich genau den 522 lm, die mit der Ulbrichtkugel im vorderen Halbraum gemessen werden. Nur acht Prozent Abweichung bei solch groben Annahmen und optischen Messungen sind schon eine gute Näherung.

Nicht, daß jetzt jemand behauptet, ich würde damit Lupine madig machen wollen. Mit diesen Rechnungen ist jeder Scheinwerfer(-hersteller) konfrontiert. Egal, ob Halogen (vgl. S. 434) oder LED. Egal, ob Schmidt, Supernova, bumm oder halt Lupine. Nur ist das Werben mit Nennlichtströmen der LED halt genauso „irreführend“ wie das verbreitete Werben mit Aufnahmeleistungen von Staubsaugern, Küchenmaschinen oder Bohrmaschinen.

Die Helligkeit ist in drei Stufen einstellbar (vgl. Tabelle 3.42).

Tabelle 3.42: Helligkeitsstufen Tesla

Stufe	P [W]	E [lx]
1	12,63	41,81
2	3,7	19,77
3	1,28	7,86

[183] Die XR-E wird mit $2\Phi_{1/2} = 100°$ angegeben.

Gekühlt wird im Breich von 50×40° ein Lichtstrom von 367 lm gemessen. Mit der UK4 wird ein gesamt abgegebener Lichtstrom von 522 lm gemessen. In einem Abstand von dem Port A[184], der ungefähr den 50×40° entspricht, werden 359 lm gemessen. Die Werte stimmen untereinander und mit obigen Abschätzungen (siehe optische Verluste und Temperatureinfluß) hinreichend gut überein.

Die aufgenommene elektrische Leistung ist zwischen 6,5 und 9 V relativ konstant. Die Elektronik ist anscheinend voll auf Akkus ausgerichtet:

- Von höheren Spannungen kommend geht die Tesla bei 6,0 V nach ca. 15 s aus. Ein Anschalten ist nicht mehr möglich. Damit werden LiIon-Akkupacks mit zwei Zellen effektiv vor Tiefentladung geschützt. (vgl. Seite 544.)

- Ist ersteinmal eine so niedrige Spannung erreicht, daß die Status-LED von blau nach rot/blau-blinkend wechselt und die LED-Leistung reduziert wird, so wird bei Erhöhen der Spannung nicht mehr LED-Leistung verfügbar.

- Erst durch das Trennen von der Versorgungsspannung (Akkuwechsel) ist nach dem Erhöhen der Versorgungsspannung wieder die volle Leistung einstellbar.

- Der Wechsel von blau nach rot/blau-blinkender Status-LED findet zwischen 6,4 und 6,3 V statt.

Der Temperaturgang der Tesla wird bei Nennleistung, 19 °C Umgegungstemperatur und 7,8 V Eingangsspannung aufgenommen. Die NiCrNi-Perle ist dabei unter das Kathodenbeinchen der LED geklemmt. Als thermischer Widerstand zur Sperrschicht–Montagefläche R_Φ werden 3 K/W angegeben. Das Beinchen hat in erster Näherung den gleichen thermischen Widerstand. Anstatt der Glasscheibe ist die Front mit Tesafilm abgeklebt, die NiCrNi-Leitung muß ja nach außen geführt werden. Ebenso ist der Reflektor nicht montiert. Das sollte allerdings im Temperaturgang vernachlässigbar sein. Der Kühlluftstrom läuft von unten nach oben mit ca. 10 km/h oberhalb der Tesla.

[184] vgl. Seite 523.

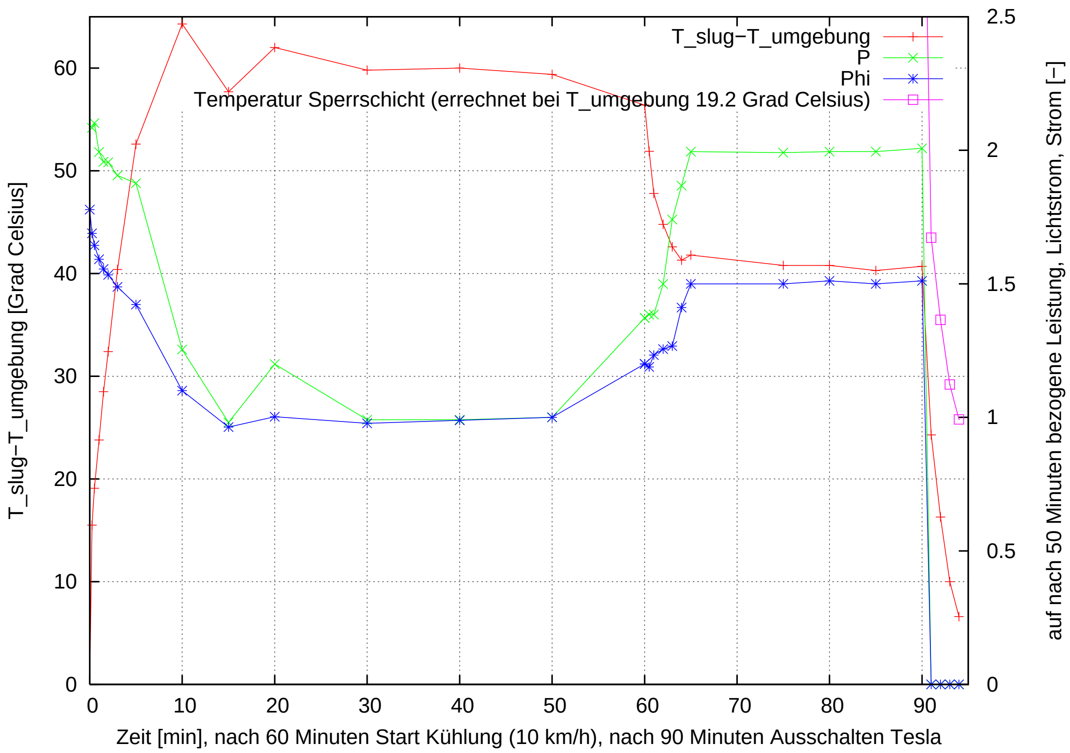


Bild 3.116: Einfluß der Temperatur auf die Tesla

Die Sperrschichttemperatur (ϑ_J) wird dabei mit $R_\Phi = 3\,\mathrm{K/W}$, der elektrischen Leistung sowie 90 % Wandlerverluste berechnet.

$$\vartheta_J = \vartheta_S + R_\Phi \cdot U \cdot I \cdot 0{,}9 \qquad (3.97)$$

Im folgenden Bild 3.117 werden zwei Lichtstromsummenkurven verglichen. Die Tesla als relativ breit ($2\Phi_{1/2} = 14°$) strahlende Lampe und der E*delux* als relativ eng ($2\Phi_{1/2} = 8{,}8°$) strahlender Scheinwerfer.

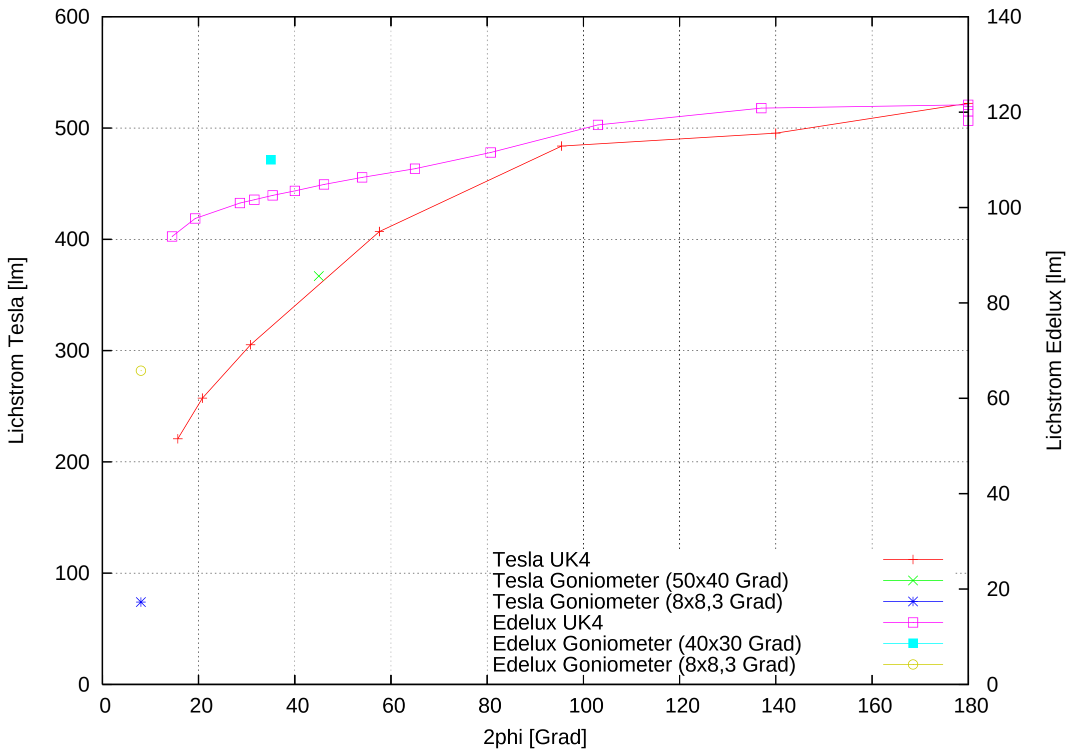


Bild 3.117: Lichtstrom Tesla und Edelux in Abhängigkeit vom Sammelwinkel

Die Skalen sind so skaliert, daß der Anteil der Lichtströme im abgestrahlten Winkel verglichen werden kann. Für einen absoluten Vergleich ist das Bild nicht primär gedacht.

3.10.14.2 Lupine SL F

Die SL F (~~~K 1552) ist ein Pedelec/E-Bike Scheinwerfer für 6-12 V und bis zu 16 W Leistungsaufnahme. LEDs sind 18 OSRAM OSLON Compact CL. Beim Abblendlicht sind 6 LEDs an. Beim Fernlicht 12 LEDs. Das Tagfahrlicht wird über 6 LEDs erzeugt.

Die Messungen mit dem Goniometer werden mit Werkeinstellungen vorgenommen. D.h. Abblendlicht mit 8 W. Die Fernlichtmessungen daueren recht lange und die Lupine regelt hier nach wenigen Minuten die Leistung runter. Es scheint an mangelnder Kühlunge zu liegen (8 km/h von hinten angeströmt bei 23°C)[185]. Das kleine Gehäuse mit der kleine Oberfläche bringt die Abwärme nicht weg. Außen bei Kälte und höheren Geschwindigkeiten sollte der Einfluß nicht so groß sein und wer fährt schon Minutenlang mit Fernlicht. Die reinen Fernlicht-Lichtströme zwischen den Goniometer- und

[185] 8 km/h mögen langsam erscheinen. Aber es ist optimal von hinten angeströmt. Die wärmeableitende Oberfläche liegt so nicht im Windschatten der Frontfläche wie bei Fahrrad.

Ulbrichtkugelmessungen (s. S. 409) sind nicht vergleichbar, da unterschiedliche Leistungen vorliegen.

Der hellste Punkt im Fernlichtfall liegt ca. 5,75 ° über dem Abblendlicht. Bei der Messung vergeht etwas Zeit und der Elektronik regelt sich noch ein. Die Helligkeit nimmer hier recht stark ab. Rechnerisch aus den Ulbrichtkugelmessungen ist das Fernlicht, daß sofort da ist ca. 40% heller als das nach 6 Minuten.

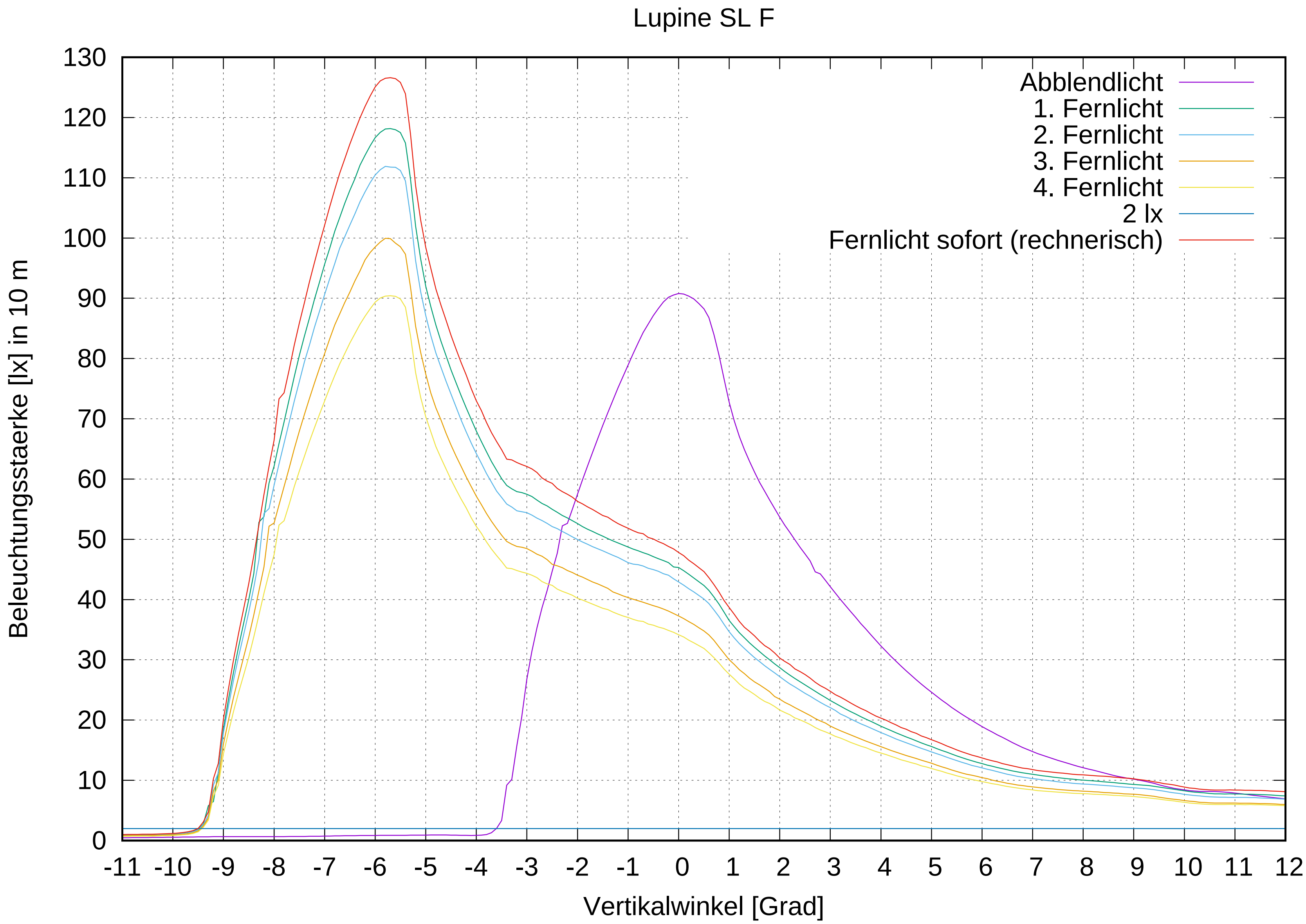


Bild 3.118: Höhenschnitte Lupine SL F

Was sich als nachteilig herausstellen kann: Der starke Reduzierung der Helligkeit vor dem Fahrrad direkt auf de Fahrbahn. Dies könnte das Sehverhalten irritieren.

3.10.15 My Tiny Sun

Die Firma My Tiny Sun aus Deutschland stellt „Zeltstangenbeleuchung“ her.

3.10.15.1 Sport 900X

Fast eine typische Zeltstangenlampe: Eine Seoul P7 mit (angeblich) 900 lm ist in einem ziemlich gut gedrehten/gefrästen Aluminiumgehäuse montiert. Das Gehäuse ist gut auf Wärmeabfuhr optimiert. Das Frontglas ist entspiegelt, als Transmission werden ca. 98 % gemessen.

Lobenswert ist die dausführliche, auch technische Details eingehende, Anleitung.

Was verwirrt: Anleitung und mitglieferter Akkupack weichen voneinander ab. Vier 16850-Rundzellen in 2S2P-Schaltung sollen laut Anleitung bei 8,4 V 4,5 Ah, also 37,8 Wh haben. Laut Akkupack (www.openlight.de) selber sollen es bei 7,2 V 5,8 Ah, also 41,76 Wh sein. Hier scheint die Anleitung veraltet zu sein. Eine eigene Ermessung ergibt 41,38 Wh bis zum Abschalten bei 4,0 V.

Die Schutzklasse ist laut Anleitung mit IP67 angegeben, ein Untertauchen sollte der Lampe also nichts ausmachen.

Die Steckerverbinder erinnern auf den ersten Blick an Lupine. Wenn man sich auf der Webseite des Akkuherstellers umguckt sind die ersten Akkus auch für Lupine.

Eine seitliche Einstellbarkeit ist nicht vorhanden.

Der Standby-Strom liegt bei 30,4–41,7 µA bei 6–8,4 V.

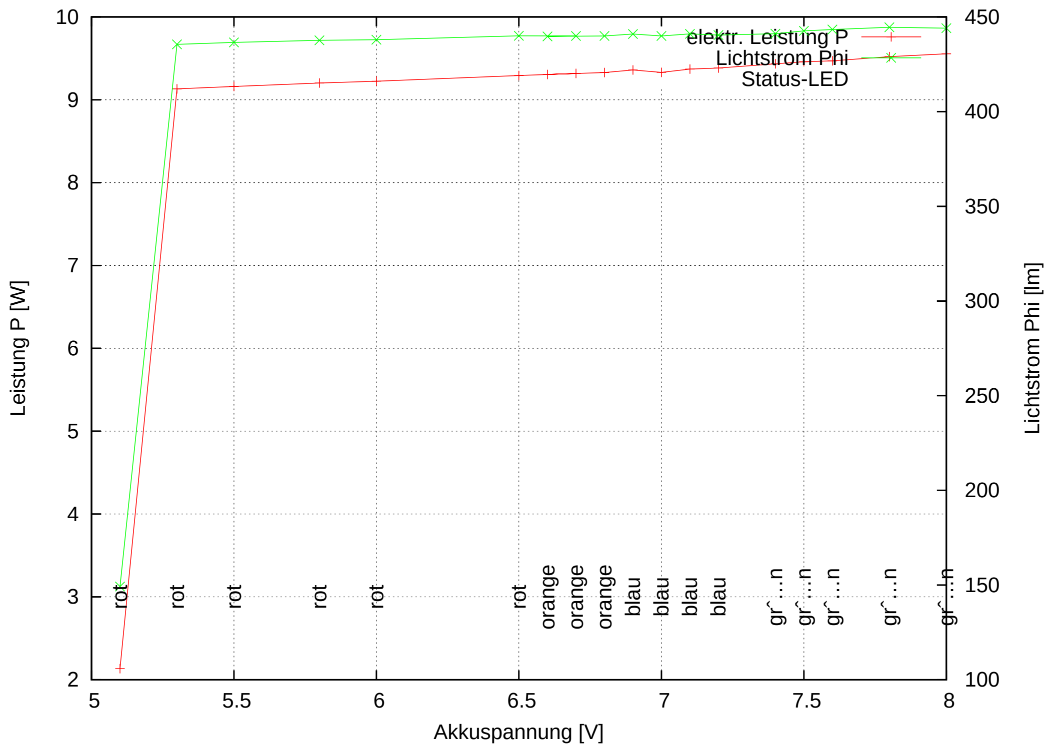


Bild 3.119: Betriebsverhalten Sport 900X bei hellster Stufe

Die Laufzeiten t in der Tabelle 3.43 sind aus der gemessenen Akkukapazität und der aufgenommenen Leistung errechnet.

Tabelle 3.43: Messdaten Sport 900X

Stufe	E_{max} [lx]	P_{el} [W]	Φ [lm]	t [h]
1	31,1	2,32	152	17,53
2	56,2	4,63	274	8,79
3	74,0	6,85	361	5,96
4	90,7	9,59	443	4,26

Die Helligkeit E_{max} in Tabelle 3.43 ist aus den Lichtstromverhältnissen und der gemessenen Helligkeit bei Stufe 4 errechnet. Der Lichtstrom ist in der UK4 ermittelt, die Helligkeit auf dem Goniometer.

3.10.16 panicmechanic

Unter diesem Pseudonym ist ein Eigenbauer akiv.

3.10.16.1 Lensor

Der Lensor von panicmechanic wurde mir Mitte 2010 zur Vermessung zugesandt.

Eine Cree MCE-4WT-A2-WG-M0 ist hinter einem Gleichrichter aus zwei IRF7319 (vgl. Seite F.3) etwas unüblich beschaltet: Die zwei oberen Chips sind seriell, die beiden unteren Chips parallel und dann seriell zu den oberen, verdrahtet. Über die beiden unteren Chips wird die Spannung für das Rücklicht, eine rote LED mit eiem Vorwiderstand von 16,5 Ω abgegriffen. Die mit weniger Leistung als die oberen betriebenen unteren LEDs sorgen für eine Nahfeldausleuchtung. Wird das Rücklicht kurzgeschlossen, so sinkt der Spannungsabfall des Scheinwerfers und das Nahlicht geht aus.

Als Optik wird eine Glaslinse mit 25,4 mm Durchmesser, ca. 10 mm dick, verwendet[186]. Diese ist 27 ° nach vorne gekippt, und etwas nach oben aus der Achse verschoben. Dadurch ergibt sich eine zulassungsfähige und und breite Ausleuchtung. Siehe hierzu die Meßwerte auf der Gegenüberstellungsseite.

Die Sammelwinkel sind nach unten ca 66 ° , nach oben 41 ° und seitlich ca. 57 ° . Damit dürften ca. 75 % des Lichtstromes der LED von der Linse gesammelt werden.[187]

Laut der Messungen mit der UK4 wird beim Betrieb mit Nah-LEDs ein Lichtstrom von ca. 197 lm in $2\varphi_{1/2}$=180 ° emittiert. Bei einem Sammelwinkel, der ungefähr dem der Goniometrierung, dort 160 lm, entspricht, sind es in der UK4 etwa 150 lm.

Der Einfluß der Temperatur auf die LED bzw. das Betriebverhalten des Scheinwerfers wird mit angeschlossenem Rücklicht und funktionierenden Nahlicht-Chips bestimmt (vgl. Bild 3.120).

[186] www.dealextreme.com, Nr. 5297
[187] Vergleiche Bild3.36

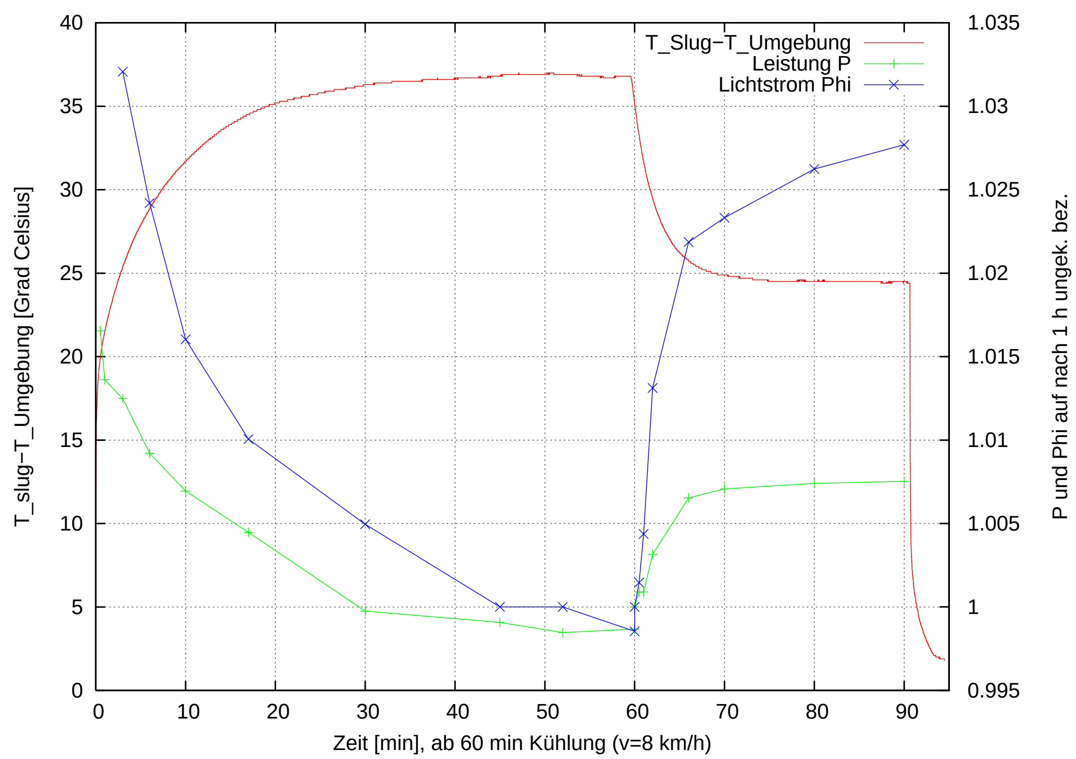


Bild 3.120: Temperaturverhalten lensor (bei 0,4 A)

Die Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn im mittleren Schnitt in unterschiedlichen Ausrichtungen ist in Bild 3.121 wiedergegeben.

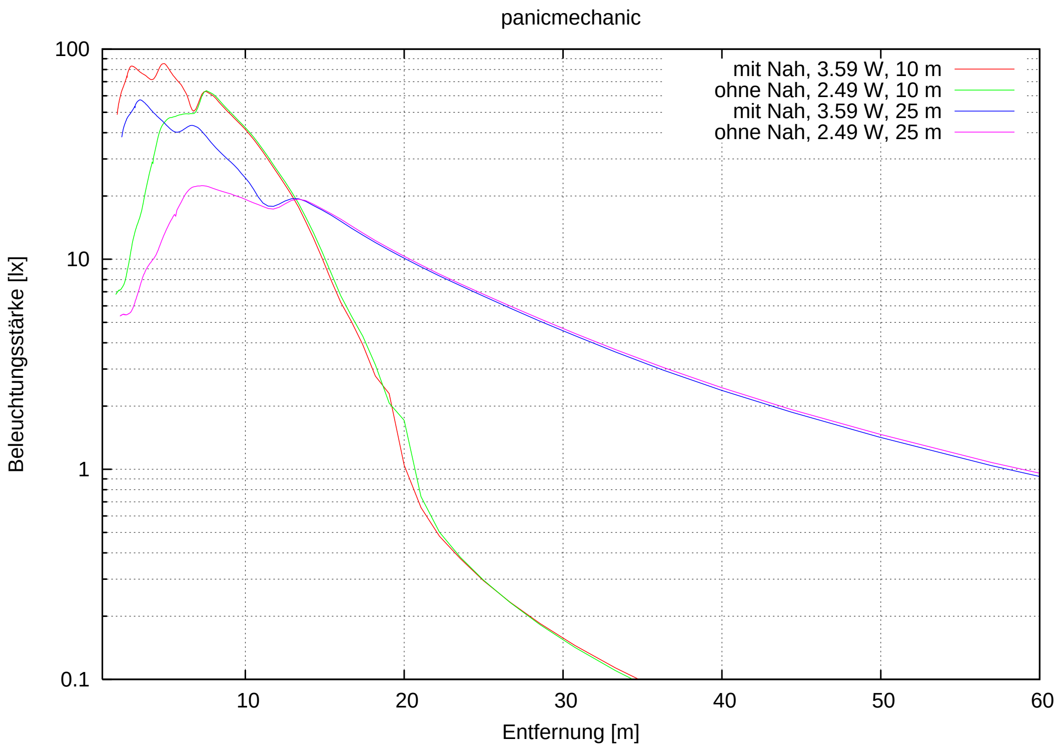


Bild 3.121: Straßenprojektion lensor

Die Nahlicht-LEDs sind noch zu dominant. Noch mehr Strom für das Rücklicht abzweigen? Oder eine weitere LED ganz eng gebündelt als Spot für das Fernlicht?

Fazit: Klein, einfach ziemlich gut. Wenn man jetzt Cree überzeugen könnte die MC-E ohne diese fiese Linse sondern mit planer Scheibe zu bauen und der Chip dadurch nicht mehr $3{,}5\times3{,}5\,mm^2$ groß erscheint, sondern wohl nur noch $2\times2\,mm^2$. Dann dürfte nicht nur dieses Scheinwerferprinzip davon profitieren.

3.10.17 Philips

Das auch Philips, als Aufkäufer von Luxeon und damit LED- Hersteller, im Fahrradlampenbereich mitmischen wird, das war nur eine Frage der Zeit.

3.10.17.1 LED-Bike Light Set BF48L20BBL

Das Philips LED Bike Set BF48L20BBL (~~~K676) ist ab Feb. 2010 auf dem deutschen Markt. Es stehen zwei Modi zur Verfügung: Laut Herstellerangaben High-Power mit 80 lx für 2 h und City-Eco mit 20 lx für 8 h.

Erste Untersuchungen können an einem Exemplar im Feb. 2010 durchgeführt werden. Das Gewicht liegt inkl. Akkus, ohne Lenkerhalter[188], bei 293 g, ohne Akkus bei 183,3 g zzgl. max. 35 g für den Lenkerhalter. Es werden zwei Luxeon Rebel mit einem Abstand von ca. 18 mm in einem gemeinsamen Offsetspiegel betrieben. Die Frontscheibe ist ca. 80 mm breit und 45 mm hoch. Das Gehäuse ist ca. 112 mm lang. Das gegossene Aluminiumgehäuse wird als Kühlkörper verwendet.

Geladen wird der Scheinwerfer über die mini-USB-Buchse in etwa 7 h am mitgelieferten Netzteil[189] mit 3,53–3,58 W[190] bzw. etwa 15 h am PC oder anderen USB-Netzteilen mit 1,62–1,71 W.[191] Mitgeliefert werden vier Philips-Akkus (Baugröße AA) mit 2450 mAh. Das Laden der Akkus ist im Gehäuse vorgesehen: Der Deckel der Akkuschale ist mit einer Inbusschraube (M4) verschraubt. Während des Ladens ist das Licht nicht einschaltbar bzw. es geht automatisch aus.

Die Bestückung der Platine macht einen sauberen und durchdachten Eindruck. Als zentraler Prozessor wird ein PIC16F722 verwendet. Durch dessen Programmierung könnten in Zukunft auch andere bzw. weitere LED-Taktungen vorkommen.

Drei blaue[192] Status-LEDs kennzeichnen die Restlaufzeit (vgl. Tab. 3.44) und den Ladezustand. Beim Ladevorgang ändern die LEDs in der jeweiligen Ladestufe ihre Helligkeit. Volle Ladestufen werden durch konstant leuchtende LEDs signalisiert.

Tabelle 3.44: Restlaufzeiten BF48L20BBL

LEDs	Katalog		Meßdaten	
Anzahl	H	Eco	High	Eco
Helligkeit	80 lx	20 lx	95 lx	28 lx
[-]	[min]	[min]	[min]	[min]
3	120	480	113	387
2	80	300	75–85	256–281
1	40	180	45–63	160–180

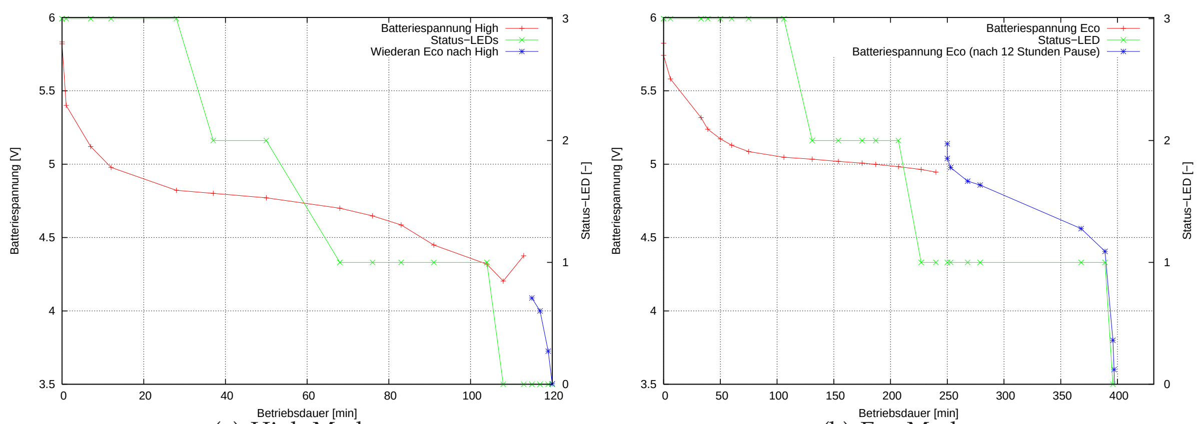
[188] Paßt für 21–32 mm Durchmesser

[189] 5 V, 1 A. Im Stecker ist ein 20 kΩ-Widerstand zwischen ID (Pin 4) und VCC bzw. +5 V (Pin 1) geschaltet.

[190] Stromaufnahme und Spannung durch die nahezu konstante Leistungsaufnahme variabel. Die zulässigen Grenzen?

[191] Zeitangaben: Hersteller.

[192] Ergonomischer dürften rote sein, nur entsprechen die wohl nicht der Corporate Identity von Philips.



(a) High-Modus (b) Eco-Modus

Bild 3.122: Batteriespannung und Status-LED BF48L20BBL

Die obigen Messungen werden mit ca. zehn Ladezyklen alten Original-Akkus durchgeführt. Die Akkus werden in einem AT-2 vollgeladen.[193] Die Messungen finden bei Raumtemperatur statt. Im High-Modus ist der Scheinwerfer gekühlt. Die Spannbreite der Umschaltpunkte ist durch die manuelle, nebenbei ablaufende, Ablesung verursacht. Die gemessenen Laufzeiten stimmen mit den Herstelleranageben relativ gut überein. Gutes Verhalten: Wenn die Lampe im High-Modus wegen leerer Batterie ausgeht und sie dann mehrfach wieder in den High-Modus gestartet wird geht sie zwar wieder aus, hat aber im Eco-Modus dann immer noch ca. fünf Minuten Restlaufzeit. Geht die Lampe im Eco-Modus wegen Batterieentladung aus, so ist nut noch ein kurzzeitiges Einschalten nach ca. zehn Sekunden möglich.[194] Die Akkus werden gut ausgenutzt: Die Lampe schaltet nicht vorzeitig ab, entlädt die Akkus aber nicht zu tief. Spätestens bei 3,4. . . 3,5 V, entsprechend 0,84 V pro Zelle, wird abgeschaltet.

Die Ruhestromaufnahme liegt zwischen 252 µA bei 4,0 V und 286 µA bei 6,0 V. Wenn nicht Akkus mit geringer Selbstentladung (z.B. Sanyo Eneloop) eingesetzt sind ist damit eher die Selbstentladung der Akkus und nicht die Dauerlast der Lampe das Problem.

Die beiden LEDs sitzen, in Serie geschaltet, auf einer Platine. Diese ist über die Verschraubung des Reflektors direkt auf der Oberschale der Lampe angedrückt. Zwischen der Platine und dem Gehäuse ist anscheinend ein Wärmeleitkleber aufgebracht. Auf der Platine findet sich noch ein angeschlosssener NTC. Damit sollte eine Abregelung bei Übertemperatur stattfinden. Bei ca. 21 °C Umgebungstemperatur war aber nach einer Stunde im High-Modus ungekühlt keine nennenswerte Leistungsreduzierung zu verzeichnen, das Gehäuse ist also üppig dimensioniert.

Es sind zwei Schaltregler[195] auf der Platine verbaut.

[193] Je nach Vorgeschichte und Ladedauer lädt das BF48L20BBL die Akkus auf 5,56. . . 5,84 V auf. Die Messungen im AT-2 werden mit auf 5,83 V aufgeladenen Akkus durchgeführt, sind also eher bei absolut voller Kapapzität anzusiedeln.

[194] Wenn sich die Zellen auf 4,09 V Leerlaufspannung erholt haben.

[195] Wandler PH323, Diode ZS20

LED-Schaltregler: Sense-Widerstand 0,145 Ω. Gleichstromwiderstand der Spule: 0,045 Ω. Spulenkörper 10x10x4,2 mm.

Akku-Ladeschaltregler: Sense-Widerstand 0,2 Ω. Gleichstromwiderstand der beiden Spulen: 0,2 Ω. Spulenkörper 8x8x4,2 mm

Über den Sense-Widständen lassen sich mit dem gemessenen Spannungsabfall die Ströme berechnen.

Tabelle 3.45: LED-Ströme BF48L20BBL

Modus	I [mA]	t_{An} [ms]	t_{Aus} [ms]	f [Hz]
High Power	689	Daueran		
City Eco	689	2,2	5,8	125

Der LED-Schaltwandler selber wird spannungsabhängig betrieben. Zwischen 3,6 und 5,5 V mit

$$f_{\text{BF48}}[\text{Hz}] = 170000U[\text{V}] - 230000 \tag{3.98}$$

also ca. 400–700 kHz betrieben. Ab etwa 5,5 V nähert sich die Frequenz ca. 715 kHz an. Ab ca. 6 V wird noch ein Frequenz von 6,6 kHz über die eigentliche Wandlerfrequenz gelegt. Die ohmschen Verluste des LED-Wandlers belaufen sich auf

$$P_{\text{V LED-Wandler}} = RI^2 = (0{,}145 + 0{,}05)\,\Omega \cdot 0{,}689^2\,\text{A}^2 = 0{,}092\,\text{W} \tag{3.99}$$

Der Einfluß von Temperatur und Kühlluft auf des BF48L20BBL wird in Bild 3.123 wiedergegeben.[196]

[196] Die Temperatur wird mit einer NiCrNi-Perle an dem Kermaikchip einer der beiden LEDs aufgenommen. Die Meßperle ist wegen der Unzugänglichkeit der Meßstelle nur leicht angedrückt und nicht, wie sonst üblich, mit Sekundenkleber angeklebt.

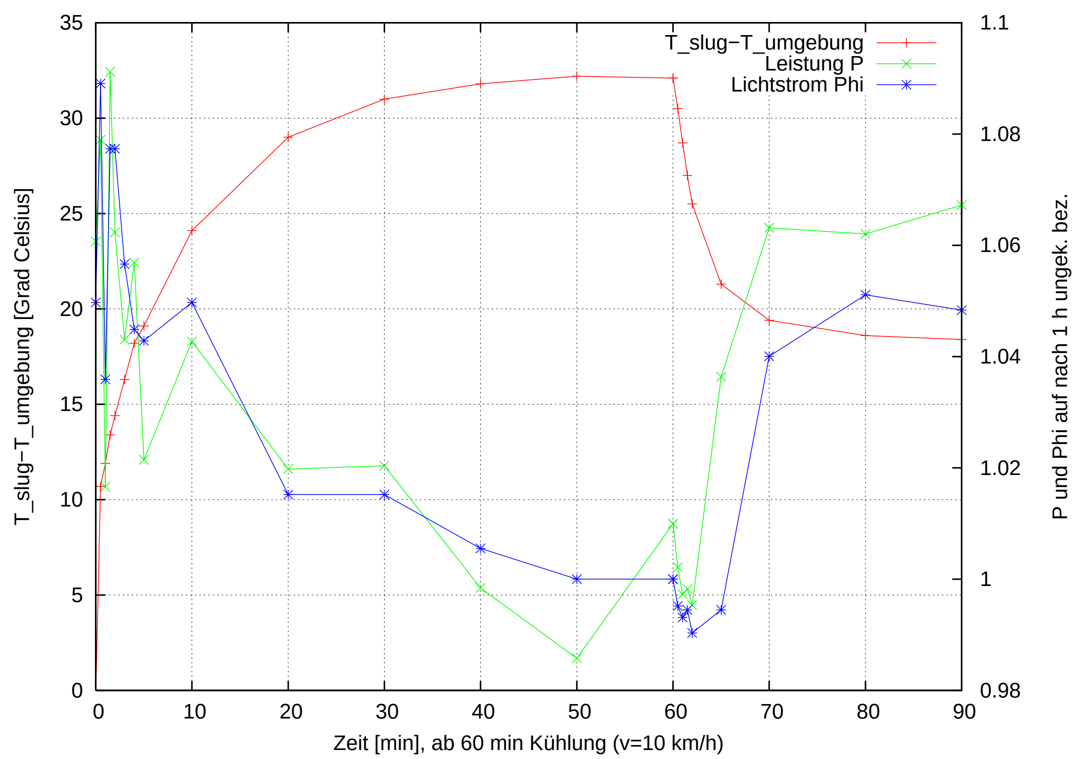


Bild 3.123: Temperatureinfluß beim BF48L20BBL (High-Modus)

Das Gehäuse funktionert gut als Kühlkörper.

Der gesamte Lichtstrom im vorderen Halbraum beträgt 291 lm.

3.10.17.1.1 Modell 2011 An einem 2011 neuen Exemplar für den Radtourenmagazin-Test werden weitere Messungen vorgenommen.

Ein vollständiger[197] Goniometerlauf im High-Modus ist nicht durchführbar. Unabhgängig von der Energiequelle bricht nach etwa einer Stunde die Lichtstärke auf die des Eco-Modus ein. Der Scheinwerfer wird dabei von hinten mit ca. 10 km/h gekühlt. Hier scheint die Elektronik einen Akku vorauszusetzen und Energiemengen zu bilanzieren, trotz an den Akkufahnen angelöteten Kabeln und Sense-Anschlüsse und Agilent 63322A als Versorgung. Dieses Verhalten ist bei der ersten Serie nicht zu beobachten gewesen.

Speisen über den USB-Stecker und parallel Betrieb der LED ist weiterhin nicht möglich. Man ist also auf die Akkupacks in der Lampe angewiesen und muß gegenbenfalls Ersatzakkus mitführen und mit einem 2,5 mm Inbus-Schlüssel austauschen.

[197] für 40x20 Grad ca. 24 Stunden

Der Standbystrom liegt bei 277...306 µA bei 4,4...5,4 V.

Im Eco-Modus zwischen 3,7 und 6 V bei werden bei 1,75 W ca. 82 lm emittiert. Im High-Modus zwischen 4 und 6 V bei 5 W ca. 280 lm.

Die Status-LEDs zeigen bei dieser Version beim schnellen Durchmessen der Spannungsabhängigkeit keine verwertbare Reaktion: Im High-Modus von 6 nach 4 V fallend leuchten immer alle drei LEDs, dann geht die Lampe bei 4 V in den Eco-Modus. Beim Durchmessen im Eco-Modus von 6 nach 3,5 V fallend dind bis 4,5 V drei LEDs an und ab 4,3 V dann nur noch eine blinkend.

Unter 4 V ist geht die Lampe vom High in den Eco-Modus über. Unter 3,7 V geht die Lampe aus. Das entspricht einer Spannung von 0,92 V pro Zelle.

3.10.17.2 Philips BF60L60BAL

Die Optik des Philips PF60L60BAL 3010-RV3 ist eine etwas kleinere Abwandlung des BF48L20BBL. Erste Messungen werden an Vorserien vorgenommen. Seit Anfang 2011 sind zugelassene Exemplare (~~~K 749) im Hande. Zwei Luxeon Rebel (LXML-) sind in einem gebürsteten und exloxierte Aluminium-Gußgehäuse eingebaut. Der Scheinwerfer ist ein reiner Dynamoscheinwerfer. Das Gehäuse ist dicht. Die Montagebohrung ist ein Querloch mit 5 mm Durchmesser und 22 mm Länge. Der Halter ist aus 4 mm-Nirodraht.

Die silbernen Exemplare sind natur eloxiert. Die schwarzen in der Vorserie schwarz eloxiert und in der Serie anscheinend matt lackiert.

Der Scheinwerfer macht einen guten Eindruck. Schwachpunkt dürften lediglich einige Kerben im Halter sein. Diese sehen nach Dauerbruchstelle aus. Der ca. 150 g schwere Scheinwerfer kragt relativ weit (Schwerpunkt ca. 70 mm) aus.

Das Gehäuse ist nicht öffnenbar und scheint wasserdicht zu sein.

Für die, denen es nicht nur auf die Scheinwerferfunktion selber ankommt: Das Gehäuse gibt es in Alu-Natur mit hellgrauen Kunststoffteilen und schwarz eloxiert mit schwarzen Kunststoffteilen.

Die Lichtverteilung ist, bedingt durch die kleinere Optik gegenüber dem BF48L20BBL schwammiger und in der Zone 1 ist der kleinere Dynamoscheinwerfer schon Unterhalb der Nennleistung heller als erlaubt und deutlich heller als der BF48L20BBL. Mal wieder ein Fall von „Brennweite ist nur durch noch mehr Brennweite zu ersetzen".

Die Serienstreuung der Ausleuchtung der BF60L60 ist ziemlich eng. Die Ausleuchtung der oben behandelten Vorserienexemplare weicht kaum von der der Serienexemplare (Anfang 2011) ab.

In hell (Alu natur, gebürste) sind Serie und Vorserie vertreten. In schwarz war die Vorserie exolixiert und gebürstet und die Serie matt lackiert. Vor und Nachteile werden sich mit der Zeit herausstellen. Bei dem großen Gehäuse sollte der Wärmeübergang durch den Lack nicht nennenswert behindert werden.

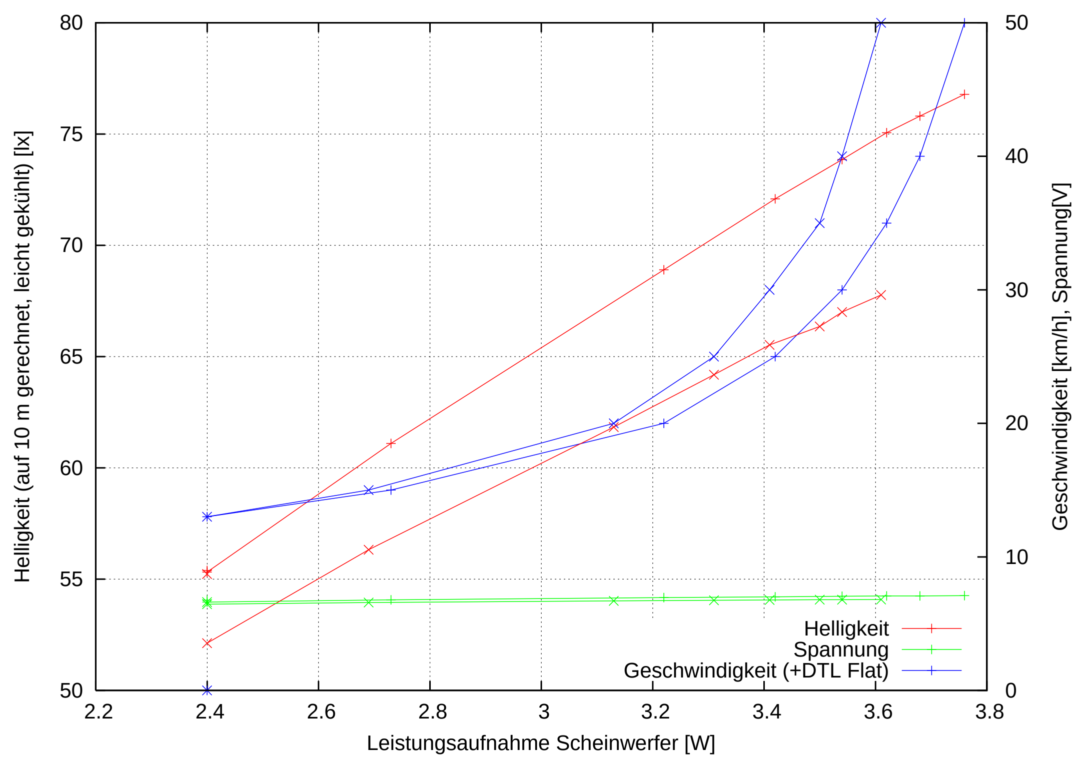


Bild 3.124: Zwei 6Philips BF60L60 an realer Stromquelle (SONquelle, mit DTL Flat)

Das zweite Exemplar (x) hat kein funktionierendes Standlicht. Elektrisch scheint es am Dynamo nicht richtig zu funktionieren.

3.10.18 Schmidt LED

Schmidt ist mit dem E*delux* seit 2008 auf dem Markt der LED-Scheinwerfer vertreten.

3.10.18.1 E*delux*

Der E*delux* (~~~K607) kommt im Frühjahr 2008 in einem kleinen Alugehäuse mit der Optik vom IQ-fly heraus. Die Elektronik entspricht weitgehend der vom IQ, also bitte gegebenenfalls dort nachschauen. Allerdings ist die LED deutlich besser gekühlt. Es wird eine Cree XR-E 7090, Selektion Q5 oder besser, verwendet. Die Frontscheibe ist entspiegeltes Glas. Alle Maßnahmen zusammen sorgen für deutlich mehr Lichtstrom auf der Fahrbahn. Das Gewicht liegt bei ca. 75 g, wovon alleine ca. 7,25 g auf die Glasscheibe entfallen.

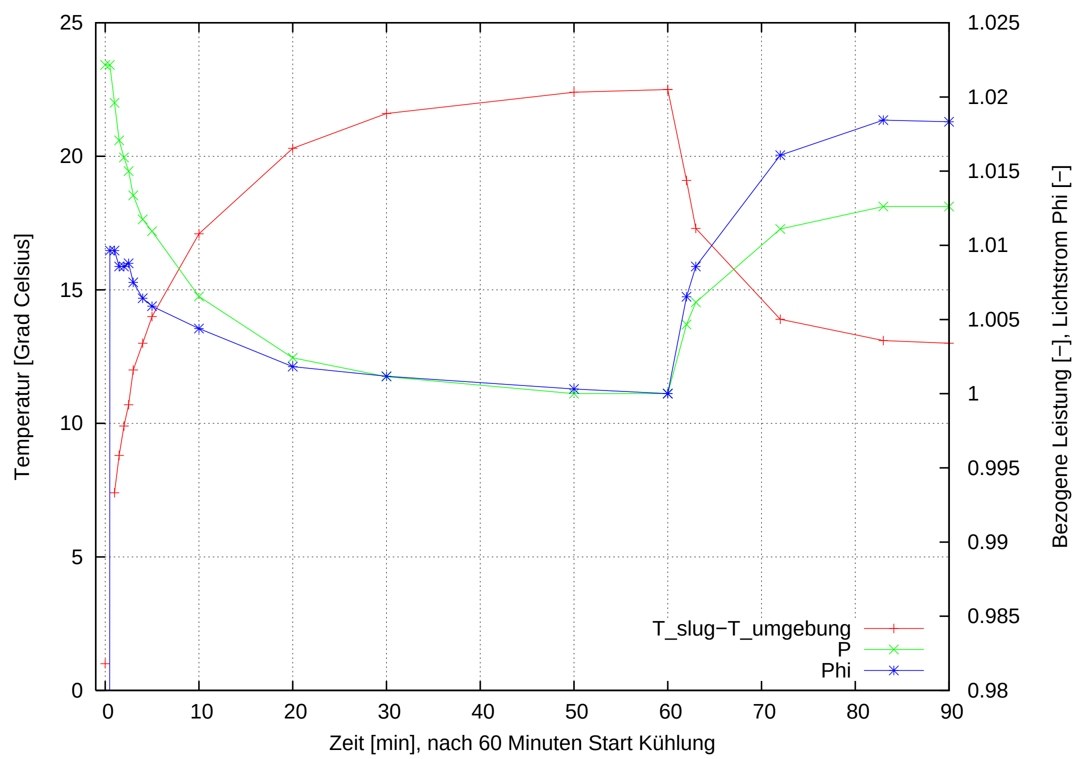


Bild 3.125: Temperatureinfluß beim Schmidt-LED-Scheinwerfer (Prototyp, 2,4 W, Konstantstrom, 17,4 Grad Umgebungstemp., NiCrNi-Perle am Cu-Ring der Cree)

Damit kann man den Wärmewiderstand

$$R_{\text{CuR-U}}(v = 0\,\text{km/h}) = \frac{\vartheta_{\text{CuR}} - \vartheta_{\text{U}}}{P_{\text{LED}}} = \frac{40 - 17{,}4}{2{,}4 \cdot 0{,}73} = 12{,}9\,\text{K/W} \tag{3.100}$$

$$R_{\text{CuR-U}}(v < 8\,\text{km/h}) = \frac{\vartheta_{\text{CuR}} - \vartheta_{\text{U}}}{P_{\text{LED}}} = \frac{30 - 17{,}4}{2{,}4 \cdot 0{,}73} = 7{,}2\,\text{K/W} \tag{3.101}$$

abschätzen. Dies möge mit dem IQ-fly (Gl. 3.81) verglichen werden.

An einer realen Stromqquelle vermessen ergibt sich Bild 3.126. Dabei wird der Scheinwerfer entweder alleine betrieben, erhält ein DToplight FlatPlus parallel oder einen IQ-fly seriell oder einen Touchdown (2 serielle LXHL-PW09 hinter einer Graetz-Brücke aus Schottky-Dioden) seriell hinzugeschaltet.[198] Die Leistung und Spannung ist jeweils die über dem E*delux* an/abfallende. Prinzipiell kann dieser Verlauf auch für einen IQ angenommen werden. Nur ist da die Helligkeit nichtlinear zu

[198]Nein, den Parameter Serienkodensator mit Kapazität x habe ich nicht auch noch hinzugenommen, sonst steigt auf R.M. aus F. nicht mehr durch die Digramme durch:=) Und ich will auch mal Feierabend haben!

skallieren, da die Lichtausbeute der LEDs im IQ geringer ist und dazu noch das Wärmemanagement schlechter als im E*delux*, $E(P)$ veräuft also deutlich flacher und ist stärker gekrümmt.

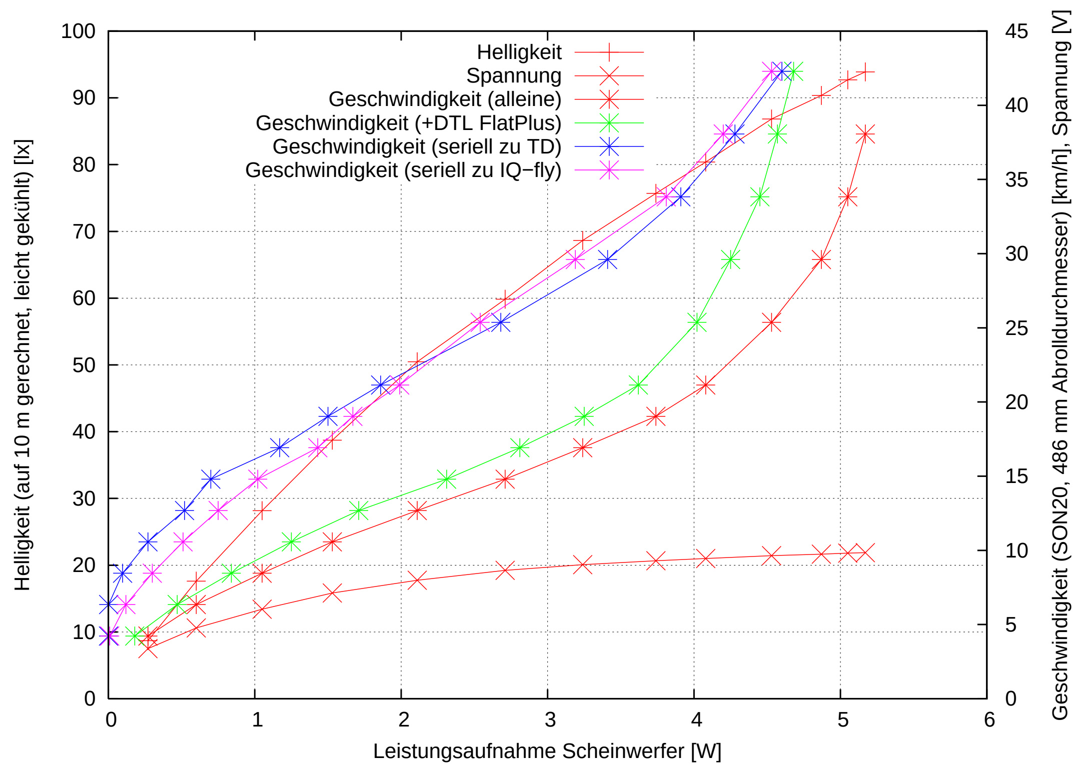


Bild 3.126: E*delux* an realer Stromquelle (SON20)

Die Art der zusätzlichen Lasten beeinflußt die Abhängigkeit von Helligkeit und Spannung als Funktion der Leistung vernachlässigbar. Deswegen wird dafür nur jeweils eine Kurve angegeben.

3.10.18.2 Edelux DC170

Gegenüber den alten Edeluxen hat der DC170 ein neues Gehäuse. Das Kabel ist auswechselbar mit Schneid-Klemmblock und Lötflächen. Es ist lediglich ein TORX-Schraubendreher für den Deckel notwendig.

3.10.19 Sigma

3.10.19.1 Karma Evo Pro X

Eine Cree XP-G sitzt in einer kleinen Massivglasoptik mit 19 mm Öffnung und erzeugt einen rotationssymmetrischen Leuchtfleck. Es sind drei Dimmstufen (30 %, 70 % und 100 % sowie ein Blinkmodus bei 30 % schaltbar)

Es wird ein 2S-LiIon Akkupack mitgeliefert. Dieser ist in hartem Kunststoff ummanteltet. Es sind anscheinend 18650-Rundzellen verbaut. Angaben über die Kapazität liegen nicht vor. Eine erste Messung ergibt bis zu einem Abschalten bei 4 V eine Kapazität von 14,74 Wh bzw. 14,26 Wh bis zum Abschalten der Karma. Die Laufzeiten sollen bei 3–11 h liegen. Mit den bekannten Verbrauchsdaten könnten die angegebenen Laufzeiten realistisch sein.

Der Lampenkopf wiegt ca. 60 g, der Zeltstangenhalter ca. 17,5 g, der Akkupack ca. 128,4 g und der Akkuhalter ca. 9 g. Das Systemgewicht liegt ohne Verlängerungskabel also bei mindestens 214 g.

Die Verbindung zwischen Akkupack und Lampenkopf erfolgt mit 3,75×1,25 mm-Rundsteckern und ist mit denen der bumm Ixon-IQ-Speed fast kompatibel.[199]

Ein leichter Designfehler der Elektronik: Am Labornetzgerät startet die Lampe auch bei 5,5 V, ist in 100 %-Modus schaltbar und zeigt dann bei runtergeregelt auf 4,1 V grün! Das dürfte für einen LiIon-Akkusatz ohne Zellenschutz ungesund sein.

Der Blinkmodus funktioniert sogar bis runter zu 3,1 V Versorgungsspannung!

Von der Mechanik und Bedienbarkeit her macht die Lampe einen guten Eindruck. Sie hat halt nur im Geltungsbereich der deutschen StVO nichts zu suchen.

Der Lenkerhalter faßt einen Durchmesser von 20–30 mm und kann rundum in Schritten von 15 Grad seitlich eingestellt werden.

Die Farbtemperatur liegt bei ca. 6450 K[200]. Der gesamte Lichtstrom im vorderen Halbraum liegt bei „kalter“ Lampe ca. 61,5, 132 und 174 lm in den drei Dimmstufen. Beworben werden hingegen 300 lm.

Der Standbystrom liegt bei 56–60 µA bei 5–7,4 V.

Tabelle 3.46: Messdaten Karma Evo ProX

Stufe	$E_{\max}$ [lx]	P_{el} [W]	Φ [lm]	t [h]
30 %	12,6	1,142	61,5	12,5
70 %	27,1	2,642	132	5,4
100 %	35,7	3,752	174	3,8

[199] Im Ixon-Speed kommt es mit den Sigma-Kabeln u. U. zu Wackelkontakten.
[200] Gossen Colormaster 3F

Die Helligkeit E_{max} in Tabelle 3.46 ist aus den Lichtstromverhältnissen und der gemessenen Helligkeit bei Stufe 4 errechnet. Der Lichtstrom ist in der UK4 ermittelt, die Helligkeit auf dem Goniometer.

Der Einfluß der Betriebsspannung auf die Karma (aufgenommene Leistung, Lichtstrom und Status-LEDs) zeigt Bild 3.127. Für 70 % wird zeitbedingt nur ein Meßpunkt aufgenommen.

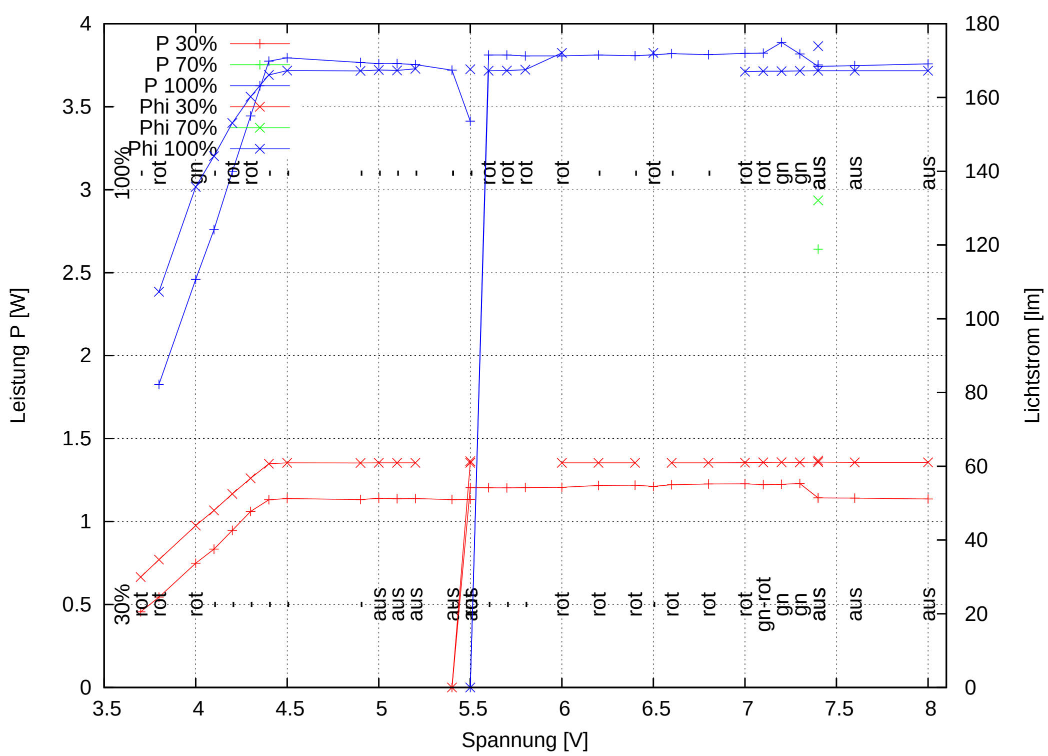


Bild 3.127: Einfluß der Spannung auf die Sigma Karma Evo ProX

3.10.19.2 Power LED Evo Pro X

Wohl eine Seoul P7 sitzt in einer kleinen Massivglasoptik mit 29 mm Öffnung und erzeugt einen rotationssymmetrischen Leuchtfleck. Es sind drei Dimmstufen (30 %, 70 % und 100 schaltbar)

Es wird ein 2S2P-LiIon-Pack in hartem Kunststoff ummantelter Akkupack mitgeliefert. Wohl aus 18650-Rundzellen zusammengestellt. Angaben über die Kapazität liegen nicht vor. Eine erste Messung ergab bis zu einem Abschalten bei 4 V eine Kapazität von 28,57 Wh bzw. 28,91 Wh bis zum Abschalten der PowerLED. Die Laufzeiten sollen zwischen 4 und 12 Stunden liegen. Das scheint mit den gemessenen Angaben realistisch

Der Lampenkopf wiegt ca. 136 g, der Zeltstangenhalter ca. 17,5 g, der Akkupack ca. 227,3 g und der Akkuhalter ca. 9 g. Das Systemgewicht liegt ohne Verlängerungskabel also bei mindestens 390 g, Die Verbindung zwischen Akkupack und Lampenkopf erfolgt mit 3,75×1,25 mm-Rundsteckern und ist mit denen der bumm Ixon-IQ-Speed fast kompatibel.[201]

Von der Mechanik und Bedienbarkeit her macht die Lampe einen guten Eindruck. Sie hat halt nur im Geltungsbereich der deutschen StVO nichts zu suchen.

Der Lenkerhalter faßt einen Durchmesser von 20–30 mm und kann rundum in Schritten von 15 Grad seitlich eingestellt werden.

Die Farbtemperatur liegt bei ca. 5400 K[202]. Der gesamte Lichtstrom im vorderen Halbraum liegt bei „kalter“ Lampe ca. 158, 318 und 407 lm in den drei Dimmstufen. Beworben werden 900 lm.

Der Standbystrom liegt bei 12–13,7 µA bei 5–7,4 V.

Tabelle 3.47: Messdaten PowerLED Evo ProX

Stufe	$E_{\max}$ [lx]	P_{el} [W]	Φ [lm]	t [h]
30 %	21,8	2,024	158	14,2
70 %	43,8	5,239	317	5,5
100 %	56,1	7,844	407	3,7

Die Helligkeit $E_{\max}$ in Tabelle 3.47 ist aus den Lichtstromverhältnissen und der gemessenen Helligkeit bei Stufe 4 errechnet. Der Lichtstrom ist in der UK4 ermittelt, die Helligkeit auf dem Goniometer.

Der Einfluß der Betriebsspannung auf die PowerLED (aufgenommene Leistung, Lichtstrom und Status-LEDs) zeigt Bild 3.128. Für 70 % wird zeitbedingt nur ein Meßpunkt aufgenommen.

[201] Im Ixon-Speed kommt es mit den Sigma-Kabeln u.U. zu Wackelkontakten.
[202] Gossen Colormaster 3F

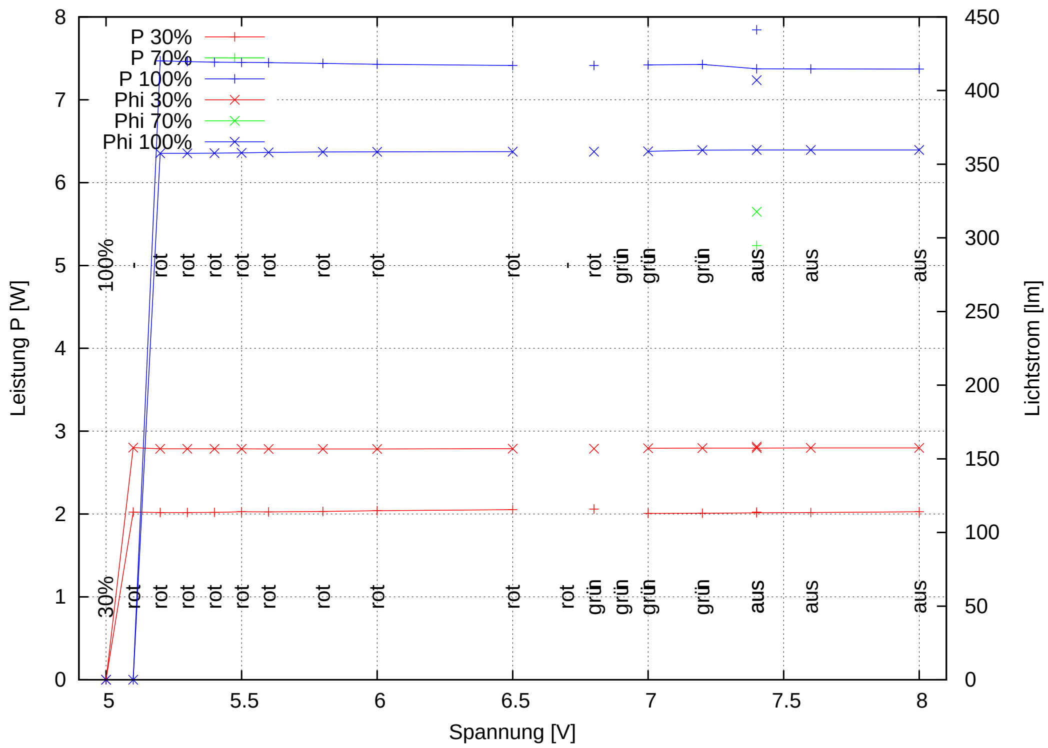


Bild 3.128: Einfluß der Spannung auf die Sigma PowerLED Evo ProX

3.10.20 Spanninga

Spanninga ist mir mit LED-Scheinwerfern zuerst im Herbst 2005 auf den Herbstmessen aufgefallen.

Auf dem Gehäuse ist eine Zulassungsnummer (~~~K 515) zu finden. Diese ist hoffentlich[203] nur für den Retroreflektor vergeben. Das Gewicht liegt bei ca. 86 g ohne bzw. 118 g inklusive Kabel.

Der Luceo benutzt eine LED, die nach hinten in einen parabolförmigen Spiegel strahlt. Die Kühlung erscheint stark verbesserungswürdig. In Deutschland ist er kaum zu erhalten. Der Luceo ist mir zuerst auf der ifma 2005 aufgefallen. Getestet wurde Ende 2007 ein Modell von 2006.[204] Im 5 mm-Gehäuse ist keine Standard LED: Eine relativ breite Abstrahlungscharakteristik und mehrere Chips und Bond-Drähte sind festzustellen. Die Durchbruchspannung liegt bei ca. 3 V, die Chips sind also parallel und nicht in Serie verschaltet. Als Vorwiderstand werden 27 Ωverwendet.

Aus dem Gehäuse kommen zwei zweipolige Kabel.[205] Das kurze, von hinten gesehen rechte ist für den Dynamo. Das lange, von hinten gesehen linke Kabel ist für das Rücklicht. Da die Kabel nicht

[203] Begründung siehe unten verstreut.
[204] Laut Stempeln in Guß bzw. Aufdruck: Gehäuse 1/2006, Reflektor 6/2006, Elektronik 5/2006.
[205] 90 cm für den Dynamo und 200 cm für das Rücklicht.

beschriftet sind und keine Anleitung beilag wurde der erste Luceo für die ersten Messungen (Goniometer, UEI) irrtümlich über den Rücklichtanschluß gespeist (A). Bei der ersten Dynamomessung ist dann bei ca. 40 Hz anscheinend eine der Eingangsgleichrichterdioden durchgebrannt. Diese wurde durch eine BAV99 ausgetauscht und dann nochmal einige Messungen (B), deren Ergebnisse unten aufgeführt sind, gemessen.

Das die Eingangsgleichriechter-Dioden bei Betrieb am Fahrraddynamo schnell versagen wird klar, wenn man sich auf einem Oszi den Spannungsverlauf am Eingang anguckt: 60 V_{SS} liegen schnell vor![206]

Innen sitzt ein kleiner Schaltwandler, der die Rücklichtspannung regelt. Für das Rücklicht steht am Ausgang eine Gleichspannung mit einer teilweise starken Brummspannung zur Verfügung (s. Tabelle 3.48). Die Frequenz beträgt das doppelte der Versorgungsspannung.

Das Gehäuse ist für den Betrieb mit drei AA-Batterien vorgefertigt, es fehlen aber noch die Anschlußfahnen. Im Gehäuse ist ein Aufdruck, daß nur Alkalines verwendet werden sollen. Dies läßt auf eine minimale Betriebsspannung von ca. 4,5 V schließen. Der Scheinwerfer selber ist massefrei.

Die Meßdaten in Tabelle 3.48 sind an einem SON20 bzw. an einem Labornetzgerät aufgenommen.

[206]Das Standard-Meßequimpent bei LED-Scheinwerfern scheint zu werden: GMC29s für die Leistungsaufnahme, GDM605 für die Frequenz und Kurvenform der Eingangsspannung, GBDSO für die Kurvenform der Ausgangsspannung, HM8011-3 für die Spannungsmessung der Ausgangspannung. Wat war das bei Glühobst-Scheinwerfern noch so schön einfach:-(

Tabelle 3.48: Luceo am SON20 und Labornetzgerät (E auf 10 m umgerechnet)

f [Hz]	U_{in} [V]	I_{in} [A]	P_{in} [W]	E [lx]	$U_{out\ DC}$ [V]	$U_{out\ AC}$ [V]	I_{LED} [A]
SON20, Offener Ausgang							
10	3,59	0,0131	0,0421	0,32	2,65	0,578	?
15	5,14	0,0771	0,367	2,54	4,23	0,923	?
20	6,44	0,1281	0,75	3,71	5,36	0,949	?
25	9,5	0,1376	1,033	4,27	5,97	0,757	?
30	11,95	0,139	1,304	4,69	6,38	0,563	?
35	14,54	0,140	1,587	5,02	6,726	0,187	?
40	15,26	0,1227	1,478	5,03	6,67	0,193	?
50	19,22	0,130	1,589	5,03	6,68	0,163	?
SON20, 115 Ω am Ausgang							
19,8	6,36	0,1413	0,841	3,89	3,48	2,8	?
35	14,68	0,1626	1,864	4,89	6,447	0,6	?
40	15,73	0,167	2,048	5,02	6,655	0,21	?
50	18,86	0,1496	2,036	4,98	6,493	0,86	?
Gleichspannung, Offener Ausgang							
0	4,46	0,0027	0,012	?	0	0	0,003
0	6,09	0,0422	0,262	?	4,382	0	0,038
0	6,11	0,0406	0,248	2,02	4,367	0	?
0	6,74	0,0604	0,408	2,88	4,985	0	?
0	7,84	0,095	0,746	3,93	5,987	0	?
0	8,9	0,164	1,460	4,94	6,810	0	?
0	8,9	0,16	1,425	5,15	6,868	0	?
0	8,89	0,1793	1,593	?	6,771	0	0,112

Bei der Messung an 4,46 V Gleichspannung wird die LED wohl noch aus dem geladenen Goldcap versorgt und verfälscht so die Messung. Ein Betrieb an 4,5 V mit drei Batterien scheint also fraglich.

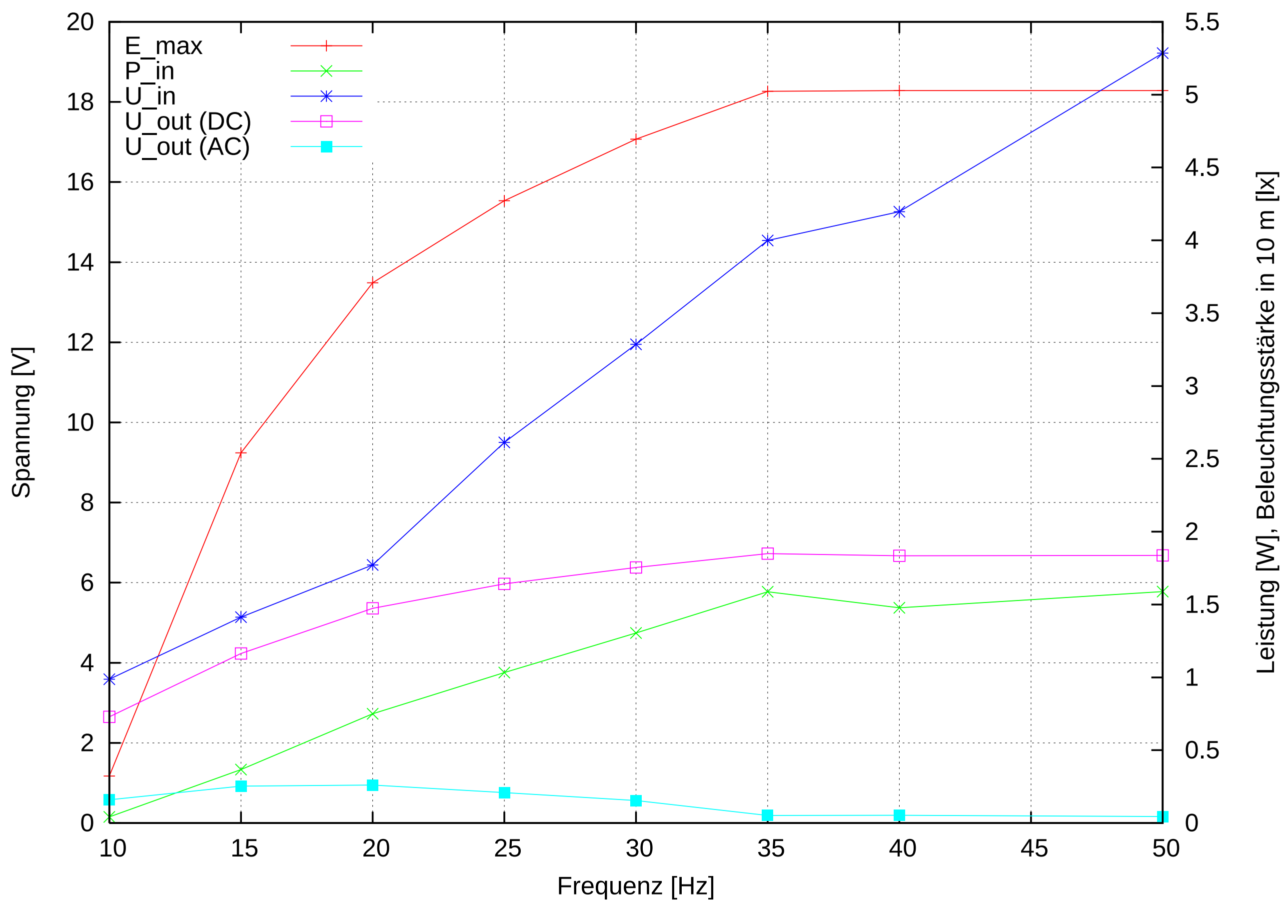


Bild 3.129: Spanninga Luceo am SON20

Parallel zum Luceo am Dynamo angeschlossen dürfte für die meisten Rücklichter eine recht geringe Restlebensdauer bedeuten. Rücklichter am Scheinwerferausgang des Luceo angeschlossen führt u.U. zu relativ wenig Spannung.

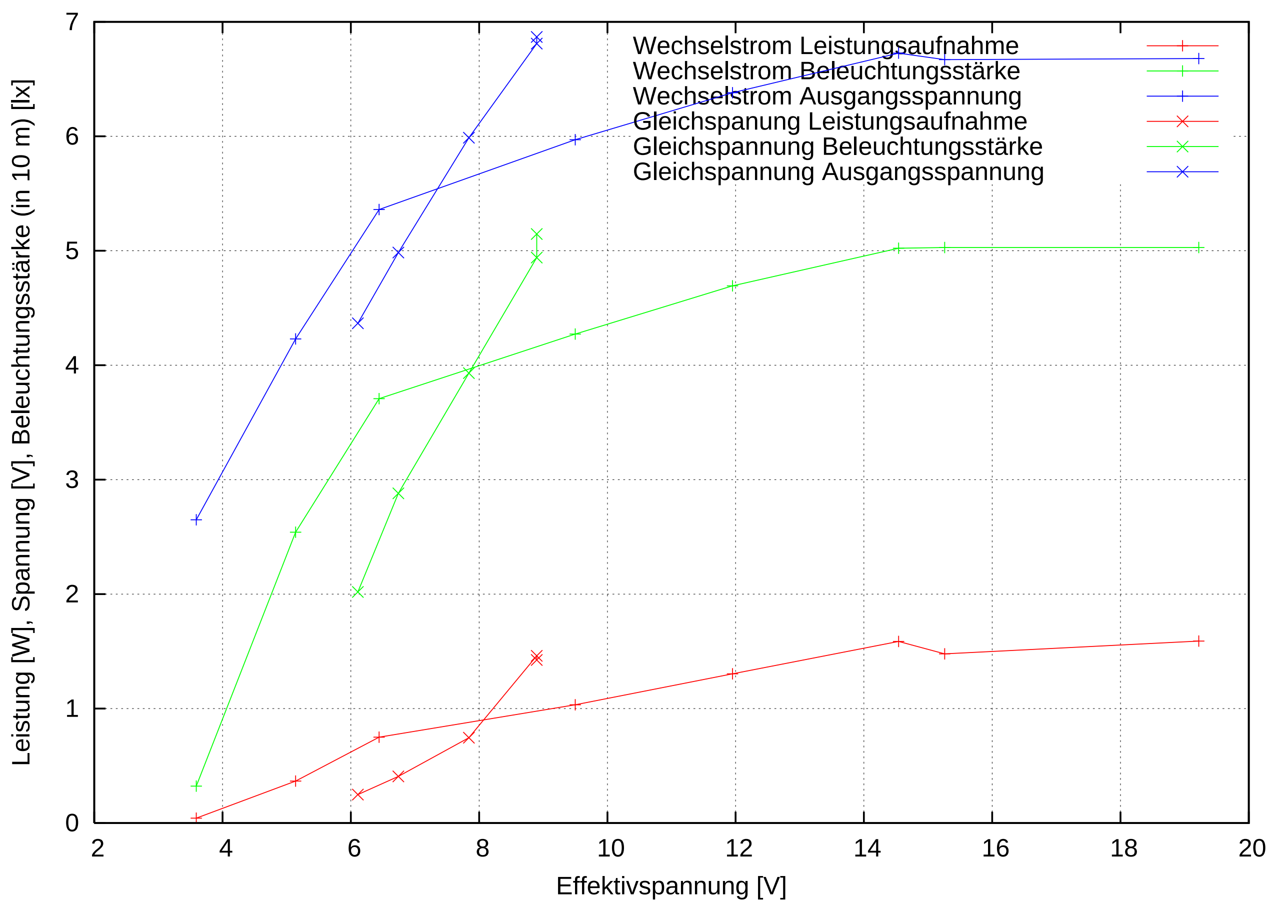


Bild 3.130: Spanninga Luceo am SON und an Gleichspannung

Es kommt also auch beim Luceo sehr genau dadrauf an, mit was für einer Quelle er versorgt wird.

Dafür, daß nur eine kleine unwesentlich gekühlte 5 mm-LED verwendet wird ist die Lichtausbeute enorm. Allerdings ist der Scheinwerfer für die Zulassung nach TA 23 eindeutig zu dunkel.[207]

3.10.20.0.1 Micro FF LED Der Micro FF LED ist anscheinend das Luceo-Prinzip im Gehäuse des Mirco FF (älterer Halogenscheinwerfer).

3.10.20.0.2 Power Eye Der Power Eye ist ein Offsetspiegel und wird exklusiv für Gazelle in der Gabelbrücke[208] für Federgabeln integriert. Ich haben ihn IIRC auf den 2005er Herbstmessen zuerst gesehen. Er taucht bei Spanninga nur auf der Messe aber nicht im Internetauftritt auf.

[207] Und mit hellerer LED wird er die Blendwerte nicht mehr einhalten.
[208] z.B. am Gold line „Lausanne“.

3.10.21 Supernova

Von Supernova sind seit 2004 LED-Scheinwerfer auf dem Markt.

Durchdacht, flexibel in der Einstellung und stabil erscheinen die Halterungen, die Supernova zu den Lampen mitliefert. Sowohl die Besenrohrhalterung als die Kabelkronenhalterung sind m.E. sehr gut.

Zumindest im Herbst 2010 sind die Stecker/Buchsen am Kabel vergoldte 2 mm-Laborstecker mit Multikontakt-Federn.

3.10.21.1 E3

Den E3 gibt es nicht. In einem identischen Gehäuse sind unterschiedliche Optiken und LEDs auf dem Markt. Auch besteht die Möglichkeit eines späteren Upgrades durch Supernova.

Die zugelassene Version (~~~K615) wurde für die *aktiv Radfahren* 11-12/2008 von Andreas Oehler vermessen. Eine der beiden Lampen wurde danach auch von mir vermessen. Deren Meßwerten sind auf www.enhydralutris.de/Fahrrad/Goniometer/AR2008/AR2008.html zu finden.

3.10.21.2 Pro E3

Die Pro E3 wird im Internet mit 370 lm Lichtstrom beworben. Real am Nabendynamo kommen bei zwei, für die aktiv Radfahren 2010 vermessenen Expemplaren ungefähr 140 lm bei 20 km/h am Nabendynamo heraus. Mit höheren Geschwindigkeiten ist da sicherlich noch mehr herauszuholen. Außerdem gibt Supernova wohl, wie Lupine, den Lichtstrom der LED laut Datenblatt an. Dazwischen liegen noch Elektronik und Optik.

3.10.21.3 Triple

Die Triple wird im Internet mit 800 lm Lichtstrom beworben. Real am Nabendynamo werden bei einem, für die aktivRadfahren 2010 vermessenen Expemplar ungefähr 270 lm bei 20 km/h am Nabendynamo gemessen.

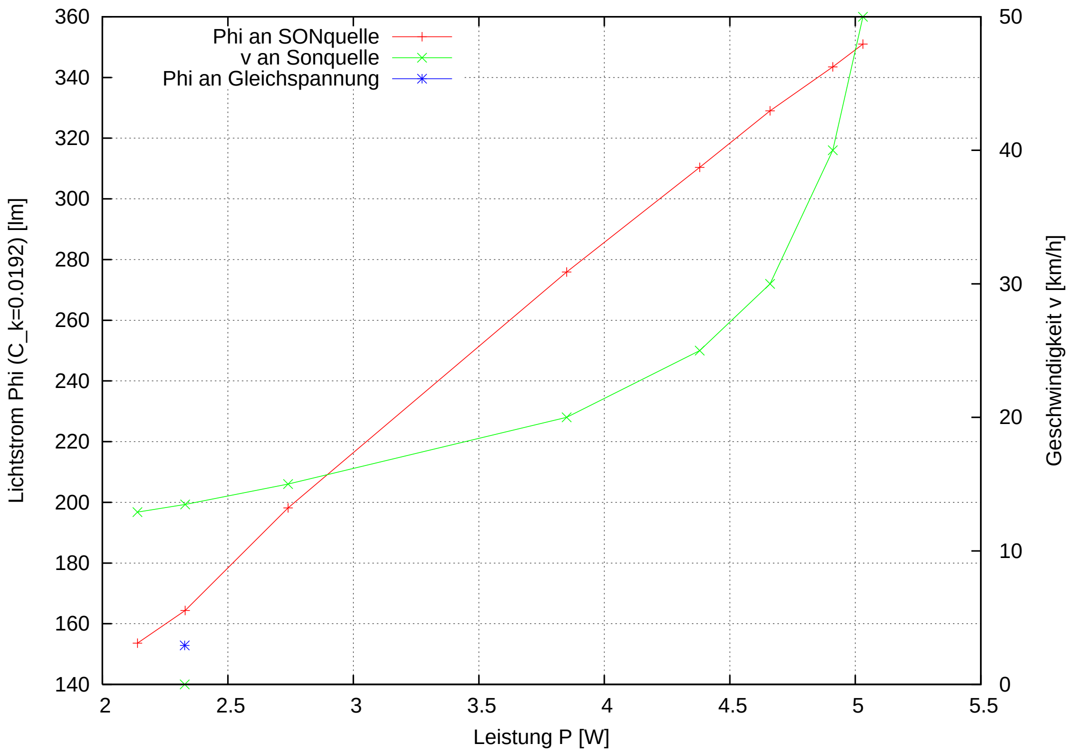


Bild 3.131: Supernova Triple am SON (in der UK4, bumm Flat parallel zur Triple)

Supernova gibt wohl, wie Lupine, den Lichtstrom der LEDs laut Datenblatt an.[209] Dazwischen liegen nur Elektronik und Optik.

Die Lichtverteilung der Triple entspricht im Bereich $\pm 7\,^\circ$ ziemlich genau der einer Cosinusfunktion mit einem $2\varphi_{1/2} = 15{,}2^\circ$.

Im Gleichspannungsbetrieb wird aus einer LED eine Intensität von $I_v = 1570$ cd bei 2,32 W erreicht. Daraus ergibt sich ein Lichtstrom von

$$\Phi = 2\pi I_v(1 - \cos(\frac{2\varphi_{1/2}}{2}) = 2\pi \cdot 1570(1 - \cos 7{,}6) = 86{,}6\,\mathrm{lm} \tag{3.102}$$

Ab etwa $\pm 7\,^\circ$ ist die Intensität größer als die eine Cosinusfunktion. Hier wird in einem großen Raumwinkelbereich noch ein erheblicher Lichtstrom abgestrahlt. In der UK4 werden für den vorderen Halbraum 151 lm gemessen. Aus einer überschlägigen[210] Integration der $\cos\varphi$-Bewertung ergeben sich ca. 137 lm. Damit ist die meßtechnische Abweichung der UK4 hinreichend gering:-)

[209]Im Globetrotter Katalog Herbst/Winter 2010/2011 ist die Fenix TK45 mit 3 XP-G R5 mit 760 lm angegeben. Bei überschlägig 10 W aus acht AA-Batterien in 2 h.
[210]Nur ein Schnitt

Im Wechselspannungsbetrieb an einem Nabendynamo werden alle drei LEDs angesteuert. Im Gleichspannungsbetrieb wird nur eine LED angesteuert.[211]

3.10.21.4 Supernova Airstream

Die Supernova Airstream gibt es in einer internationalen und einer StVZO-gerechten Version. Folgende Anmerkungen betreffen die StVZO-gerechte Version (~~~K 736). Die Optik ist eine Massivglaslinse. Als LED ist laut Datenblatt eine Cree XP-G R3 mit 6500 K verbaut.

Die Airstream ist eine Akkulampe mit einer 16850-LiIon-Rundzelle. Laut Datenblatt mit einer Kapazität von 9 Wh. Eine erste Messung ergibt 7,65 Wh bei 1,5 A Entladestrom. Geladen wird die Lampe über ein, mitgeliefertes 5,5 V-Netzteil in sechs Stunden.

Der Ladezustand wird über zwei LEDs, eine grün, eine rot, signalisiert (vgl. Bild 3.132).

Der Ruhestrombedarf liegt bei 46–108 µA bei 3,0–4,2 V.

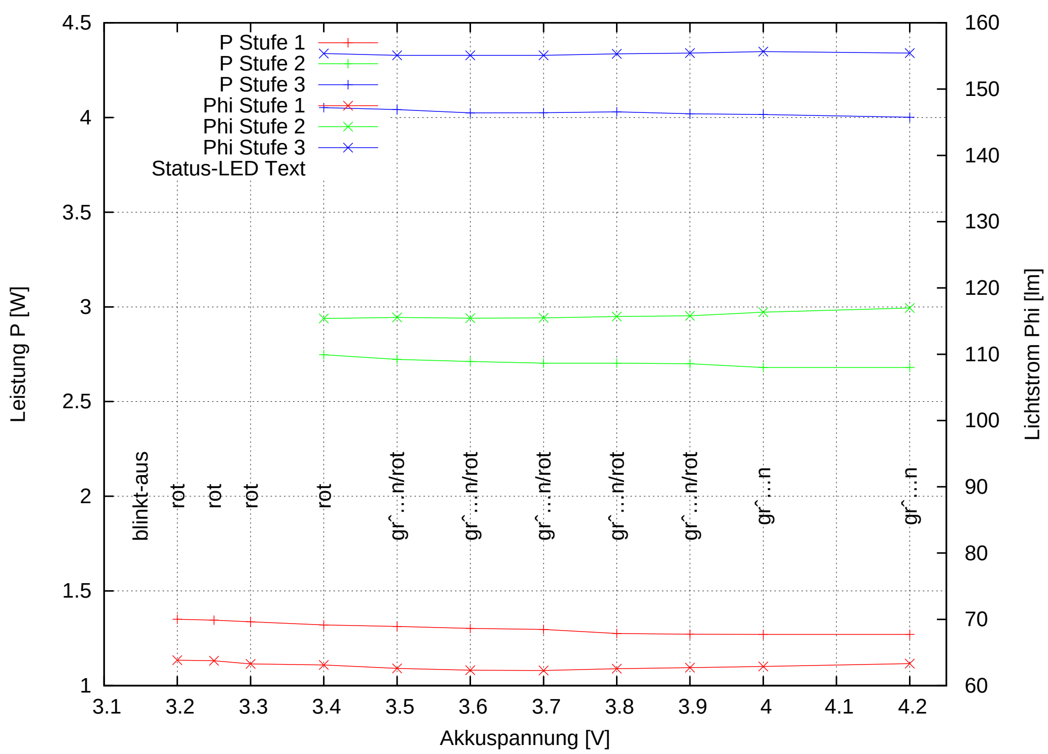


Bild 3.132: Verhalten Supernova Airstream

[211]Daher ist die Triple am Dynamo effektiver als an einer Gleichspannungsquelle. Siehe hierzu auch der Abschnitt über die Effektivität von LEDs in Abhängigkeit vom Strom.

Die Zeiten t in Tabelle 3.49 sind über die gemessen Akkukapazität und die gemessene Aufnahmeleistung errechnet. Real werden durch die einprogrammierte Abdimmung (vgl. Bild 3.132) nicht die vollen Stunden bei Stufe 1 und 2 zur Verfügung stehen. Dafür wohl aber mehr absolute Leuchtdauer, da in der dunkelsten Stufe mehr Restlaufzeit zur Verfügung steht. Die Helligkeit E_{max} der gedimmten Stufen ist über E_{max} bei hellster Stufe und Lichtstromverhältnisse gebildet. Der Lichtstrom ist in der UK4 ermittelt, die Helligkeit auf dem Goniometer.

Tabelle 3.49: Messdaten Airstream

Stufe	E_{max} [lx]	P_{el} [W]	Φ [lm]	t [h]
1	18,1	1,271	63,3	1,91
2	33,4	2,68	117	2,85
3	44,4	4,006	155,4	6,01

3.10.21.5 Supernova M99pro

Die Supernova M99pro ist ein E-Bike Scheinwerfer und nach ECE-Regelung zugelassen für E-Bikes.

Das Tagfahrlicht wird mit unterschiedlichen bzgl. Farbtemperatur und Abstrahlungscharakteristik 3 mm LEDs erzeugt.

Es sind neun OSRAM OSLON Compact CL verbaut. Das Abblendlicht wird mit 5 LEDs, das Fernlicht mit allens 9 LEDs erzeugt.

Der hellste Punkt im Fernlichtfall liegt ca. 1,6 ° über dem Abblendlicht. Bei der Messung vergeht etwas Zeit und der Elektronik regelt sich noch ein.

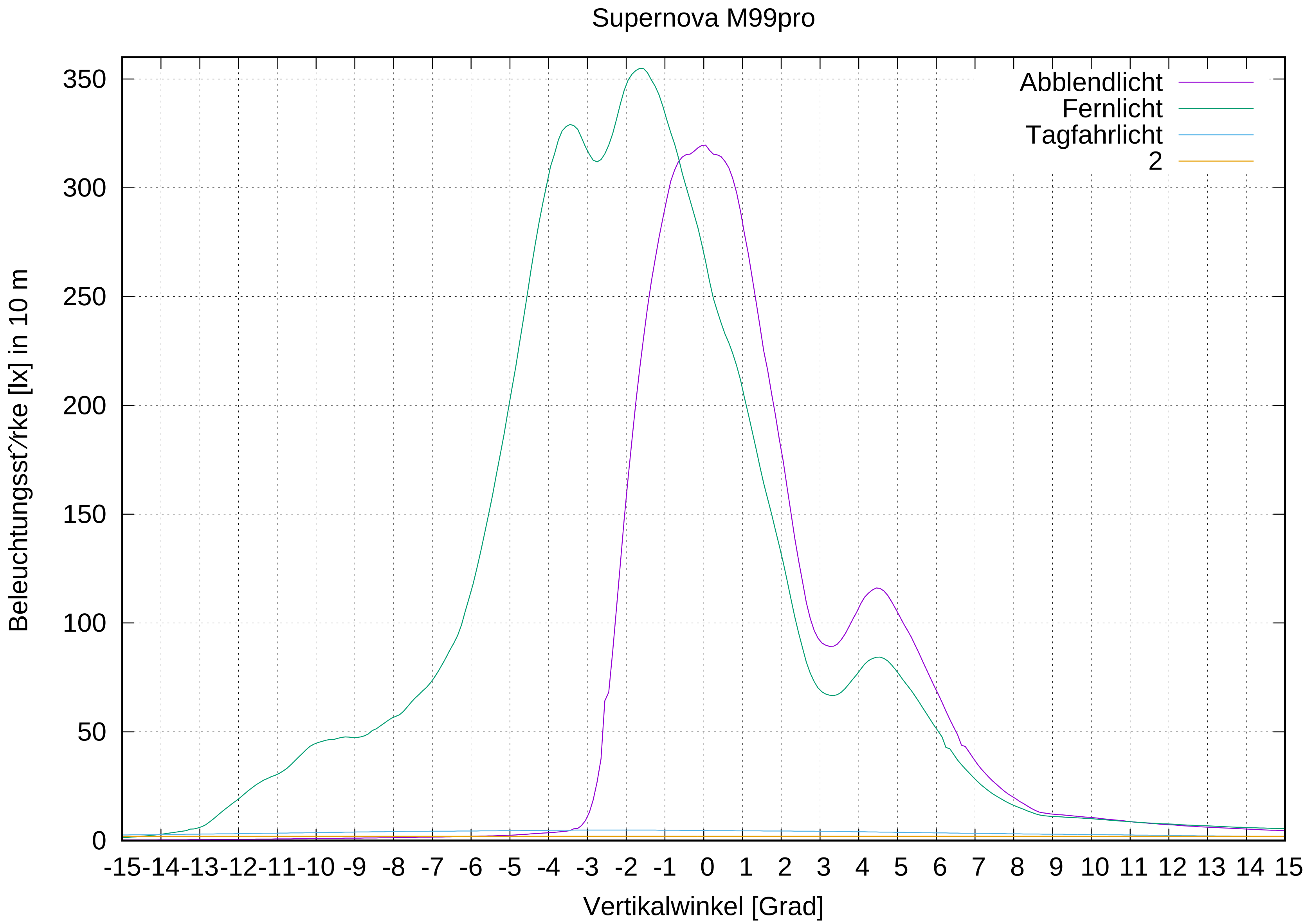


Bild 3.133: Höhenschnitte Supernova M99pro

3.10.22 Trelock

Auch von Trelock gibt es inzwischen mehrere LED-Lampen.

3.10.22.1 Trelock LS600

Die Zulassung (~~~K407) ist kurz vor der ifma2004 erfolgt. Die Markteinführung ist im Oktober 2004 erfolgt. Der Betrieb erfolgt mit fünf AA-Zellen (Batterie oder Akku). Eine Ladebuchse ist vorhanden.

Das Schaltbild (Dank an RobinJCommander) ist in Bild 3.134 wiedergegeben.

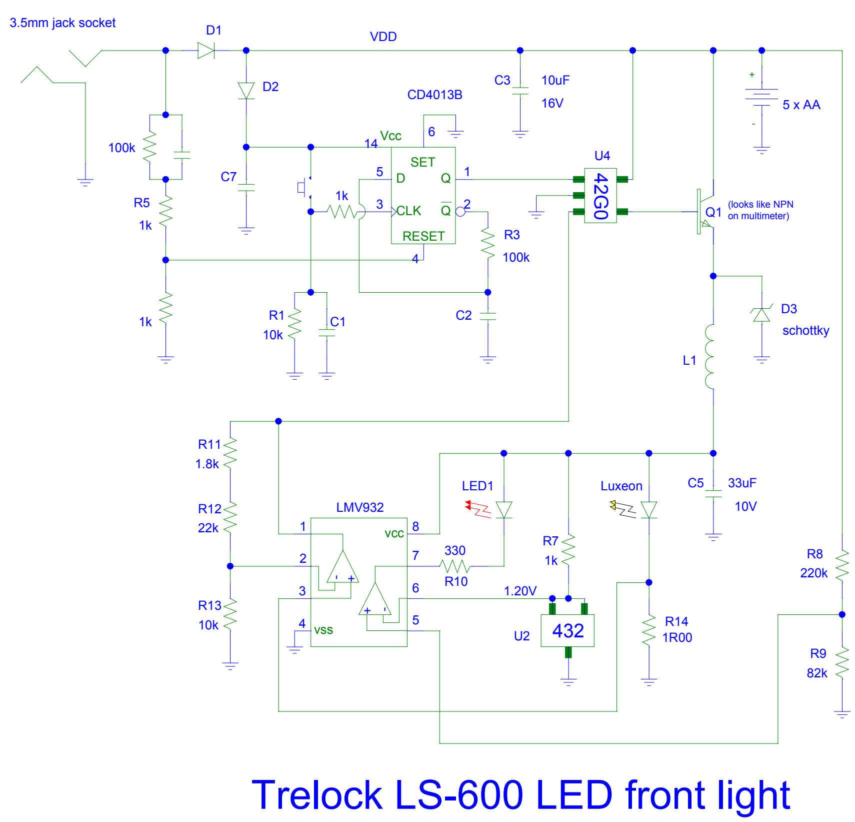


Bild 3.134: Schaltbild LS600

Wieso zum Henker 1 Ω als Sense-Widerstand. Alleine das sind schon > 0,3 W Verlustleistung. Dann noch der Gleichstromwiderstand der Spule L1 und R_{DSon} vom Q1.

Folgende Meßwerte von Andreas Oehler

Tabelle 3.50: Leistungsaufnahme LS600

U [V]	I [mA]	LED
5,3	370	an
6,0	325	aus
7,0	275	aus
7,5	260	aus

Den Wandlerwirkungsgrad hat von Andreas Oehler mit ca. 77 % vermessen. Die LED wird mit 422 mA bei 3,56. . . 3,6 V betrieben.

Mechanisch scheint er einfach zu sein. Die Akkus klötern bei unebener Strecke und führen zu Lichtaussetzern. Hier sollte Isomatte o.ä. helfen. Wiederum sitzen die Akkus in einigen Buchten ziemlich eng. Sie sind dann nur mit Hilfe einer Zange bzw. mit einer Häkelnadel o.ä. entnehmbar bzw. korrekt positionierbar, so daß vorne und hinten Kontakt hergestellt wird. Das könnte aber vorwiegend ein Montageproblem sein: Wenn das Gehäuse zusammengebaut wird, so scheint eine Seite des Schwalbenschwanzes nicht richtig zu greifen und verdrückt den Finger, der den mittleren Akku führt. Dann klemmen einige Akkus.[212] Auseinanderschrauben[213] und korrekt zusammensetzen sollte sowohl die Problem beim Akku-Ausrichten, wie die Aussetzer beheben.

In Bild 3.135 ist der Einfluß der Betriebsspannung auf Strom, Lichtstrom und die Leistungsaufnahme wiedergeben. Im Bereich unter 5 V kommt es stark dadrauf an, wie schnell und von welcher Seite man die Meßpunkte anfährt und wie lange man mit der Spannung da verharrt. Dieser Betriebszustand ist alles andere als stabil.

[212] Anscheinend bevorzugt der mittlere und der unten links.
[213] O-Ring vorne ab, Reflektor leicht ziehen, mit dann mit Kreuzschlitz links und rechts die Schrauben lösen, demontieren, richten, zusammenbauen.

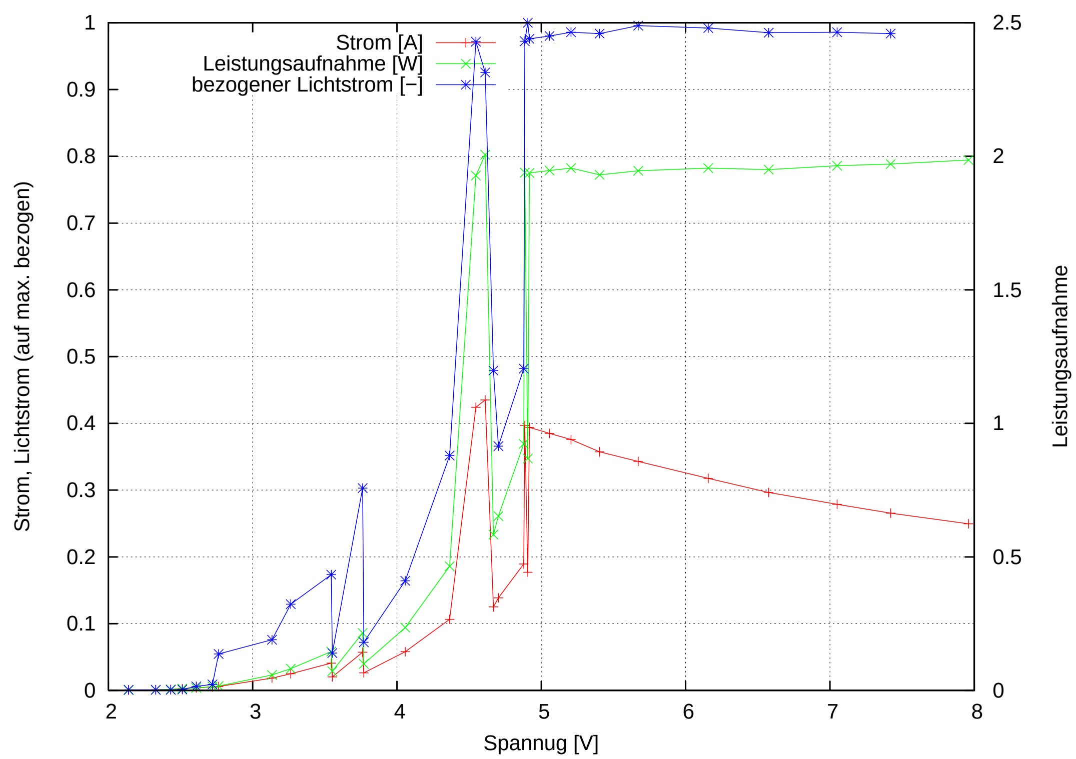


Bild 3.135: Einfluß der Spannung auf das LS600

Der Einfluß der Temperatur auf die Betriebsdaten des LS600 ist in Bild 3.136 wiedergegeben. Die NiCr-Ni-Meßperle ist von vorne in den Kabelkanal des Kupferblocks eingesteckt. Die Streuscheibe ist montiert.

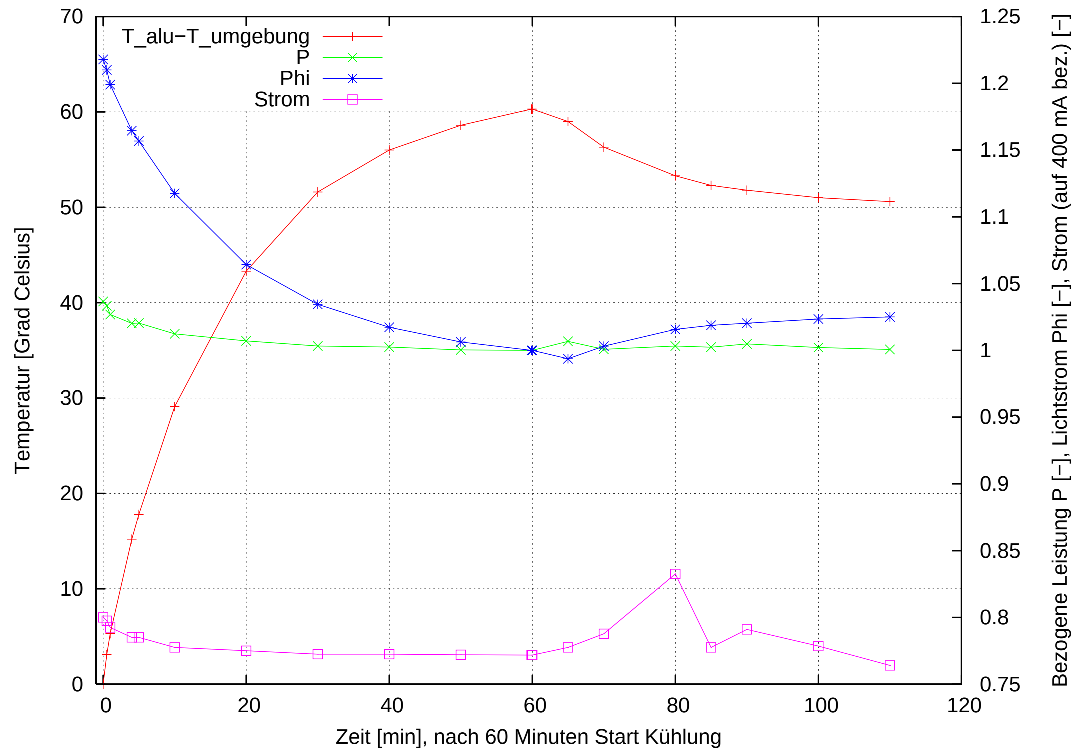


Bild 3.136: Einfluß der Temperatur auf das LS600

Was übrigens beim Messen der Temperatur zufällig festgestellt wurde: Wenn die Streuscheibe ab ist und der Reflektor so gegen die Wand strahlt, dann erhält man eher einen senkrechten Balken. Also testweise die Streuscheibe um 90 Grad gedreht vor den Reflektor gehalten und schon sah die ursprünglich chaotisch rund und schwammige Ausleuchtung gleich viel besser aus. Mal sehen, wann Trelock auch auf diese Idee kommt:-) Ist leider nicht so einfach in Praxis umsetzbar, da Streuscheibe und Reflektor mechanisch nur in einer Position zusammenpassen und auch der Reflektor nur in einer Position ins Gehäuse paßt.[214]

3.10.22.2 Trelock High Power LED

Der Trelock High Power LED (~~~K 464) wurde zuerst auf der IMFA 2005 gesehen. Sein kantiges Äußeres ist gewöhnungsbedürftig. Es ist ein LED-Scheinwerfer mit Side-Emitter und Sensorsteuerung. Dazu gedacht ist anscheinend das ebenso kantige Rücklicht (~~~K464).

Die Optik ist eine Kombination aus segementierten Freiformflächenreflektor und relativ großflächigen Linsen-/ bzw. Prismenteilen in der Streuscheibe.

[214]Trelock auf der IFMA 2006 darauf angesprochen und zu höhren bekommen, daß die Kunden das so wollten. Diese Ausrede kenn ich auch von Büchel.

Die Ausleuchtung des nur subjektiv beurteilbaren frühen Serienexemplares ist mittelmäßig.

Innen ist ähnlich wie beim LS600 ein relativ schwerer rotationssymmetrischer Kühlkörper angebracht. Dieser wird aber sein Wärme, wie bei (fast?) allen kommerziellen LED-Scheinwerfern nicht einfach nach außen los.

Auf der IFMA 2006 war die Kantigkeit des Gehäuses schon größtenteils verschwunden.

3.10.22.3 Trelock LS675 Bird

Der Trelock LS675 Bird (~~~K700) hat eine Optik vergleichbar dem bumm IQ. Das Querloch für die Befestigung hat einen Durchmesser von 5 mm. Die LED ist auf einem Platinenstück aufgelötet und dieses in eine Tasche im Kunststoff des Gehäuses eingesteckt. Also mal wieder die Reinkarnation einer Thermoskanne (vergl. Bild 3.137).

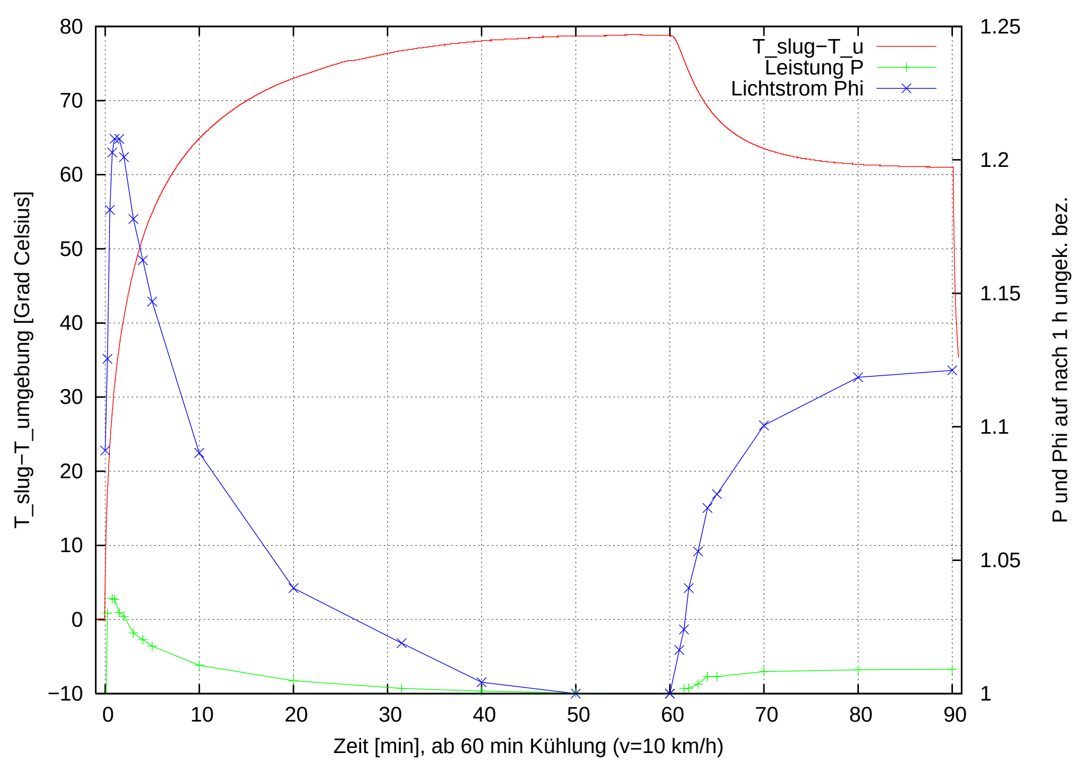


Bild 3.137: Temperatureinfluß beim LS675

3.10.22.4 Trelock LS875 Bike-I trio

Die Trellock Bike-I trios (~~~K656, ~~~K657) LS875, LS873 und LS873 sind eher eine Kopie des bumm IQ-fly und haben nicht den Retrofelektor im oberen Bereich der Scheinwerferfrontscheibe. Bei diesen wird allerdings der im Halter integrierte Retroreflektor an den Seiten durch zwei recht kaltweiße 3 mm-LEDs zusätzlich beleuchtet.

Der Trelock LS875 (~~~K657) hat einen Offsetspiegel. Das Querloch für die Befestigung hat einen Durchmesser von 5 mm. Die LED hat eine mit der Oberfläche verbundene Kühlfläche. Der Reflektor gleicht dem des 885.

3.10.22.5 Trelock LS885 Bike-I duo

Das Trelock Bike-I duo (~~~K656) ist seit Herbst 2009 auf dem deutschen Markt zu sehen. Es gibt folgende Varianten: Der LS885 hat Standlicht und Sensorautomatik, dem LS883 fehlt die Automatik und dem LS882 dann auch das Standlicht. Alle Modelle sind für Nabendynamos vorgesehen und haben einen An/Aus-Schalter.

Der Reflektor hat in der Mitte drei glatte Segmente und außen noch zwei geriffelte. Er ist nicht ganz glatt, die Bahnen des Formfräsers sind noch zu erahnen. Direkt in die LED kann man kaum hineingucken. Lediglich in einem Bereich. der wohl unter einem Meter vor dem Scheinwerfer ist wird direktes Licht der LED auf der Fahrbahn vorhanden sein.

Der Schalter ist als Drehschalter an der hinteren Stirnfläche augebildet und sollte auch mit Handschuhen gut bedienbar sein. Stellungen: Aus-Sensor-An. Die Sensor-Diode sitzt mittig, direkt nach hinten guckend.

Der Bike-I duo ist fast eine Kopie vom bumm Cyo. Sogar der Rücklichtanschluß über eine „Kabelpeitsche“ ist nachempfunden. Allerdings hat er eine breitere Lichtöffnung und der Retroreflektor ist nur oberhalb der LED angeordnet und damit eine Mischung zwischen den bumm 175 QNDi und 175 QRDi. Der Kühlkörper ist kleiner und weniger strukturiert.

Das Gewicht liegt bei 112 g mit Gabelkronenhalter und Kabel. Ohne Halter, mit Kabel ca. 100 g. Problematisch kann sein, daß die Schraube 5 mm Durchmesser hat und die zwei Augen am Scheinwerfer nicht für eine Montage an andern üblichen Lampenhaltern sprechen. Oder es ist halt etwas mehr Improvisation bzw. Basteln notwendig. Der Halter (gepreßtes Blech) könnte wegen einiger scharfkantiger Querschnitsübergänge deutlich dauerbruchgefährdet sein. Der Halter ist nur im unteren Teil aus Metall. Der Anschluß an das Scheinwerfergehause ist Kunststoff.

Wie sich der Trelock LS885 an einem Nabendynamo verhält ist in Bild 3.138 wiedergegeben. Dabei ist zu beachten, daß zuerst unterhalb von 25 km/h gemessen wurde und sich bei den hohen Geschwindigkeiten schnell thermische Effekte bemerkbar machen.

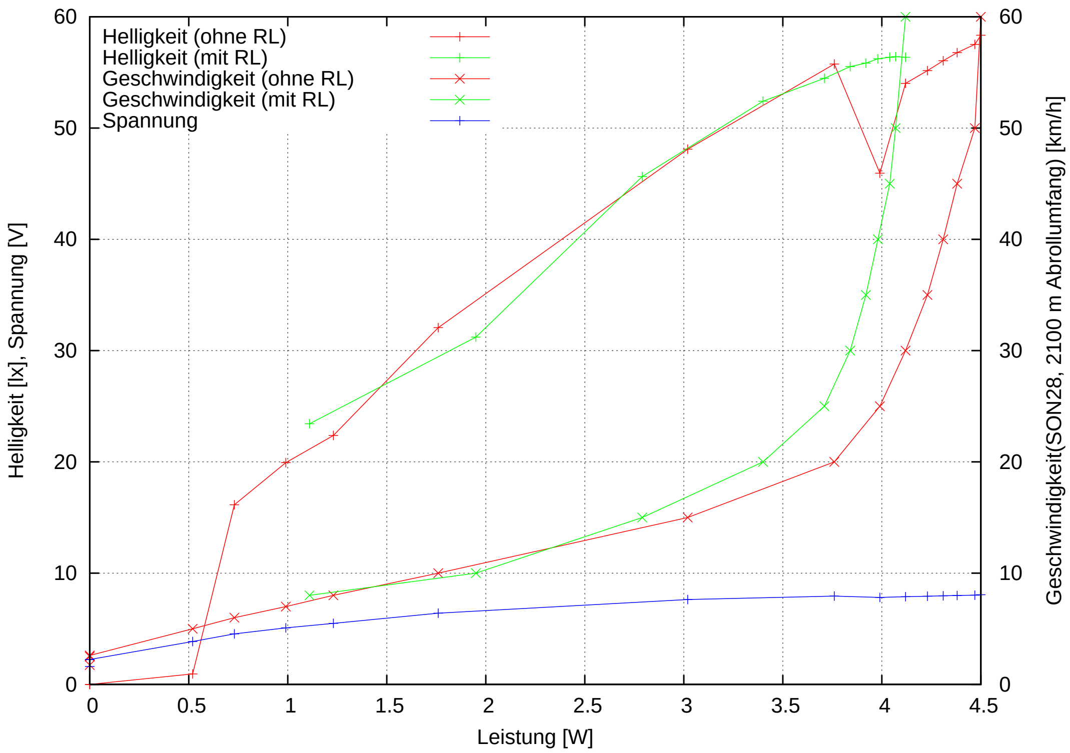


Bild 3.138: Trelock LS885 an realer Stromquelle (SONquelle)

Der Temperaturgang ist in Bild 3.139 wiedergegeben. Die Temperatur ist an dem Kupferring der LED (XR-E) gemessen. Es dürfte bei $R_\mathrm{J} = 8\,\mathrm{K/W}$ eine Sperrschichttemperatur von bis zu $86\,^\circ\mathrm{C}$ vorliegen.

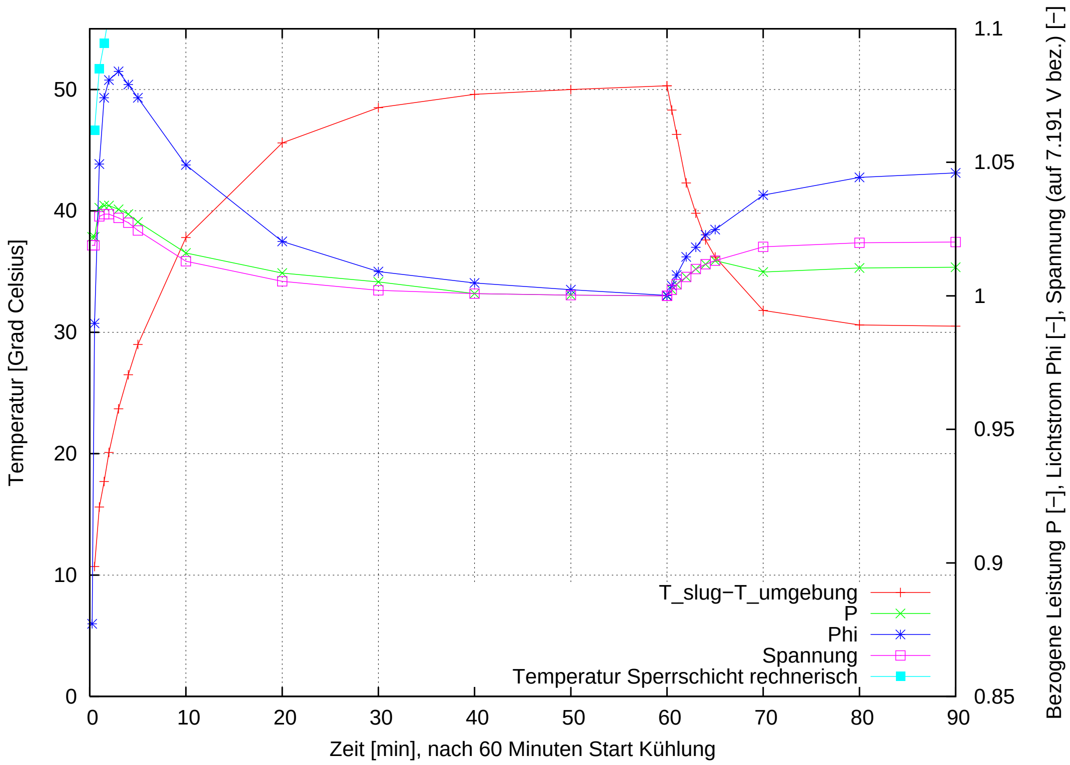


Bild 3.139: Temperatureinfluß Trelock LS885

Welche Temperaturen sich im realen Fahrbetrieb ergeben zeigt Bild 3.140. Es sind Differenztemperaturen zwischen der Temperatur am Kupferring und der Umgebungsluft.

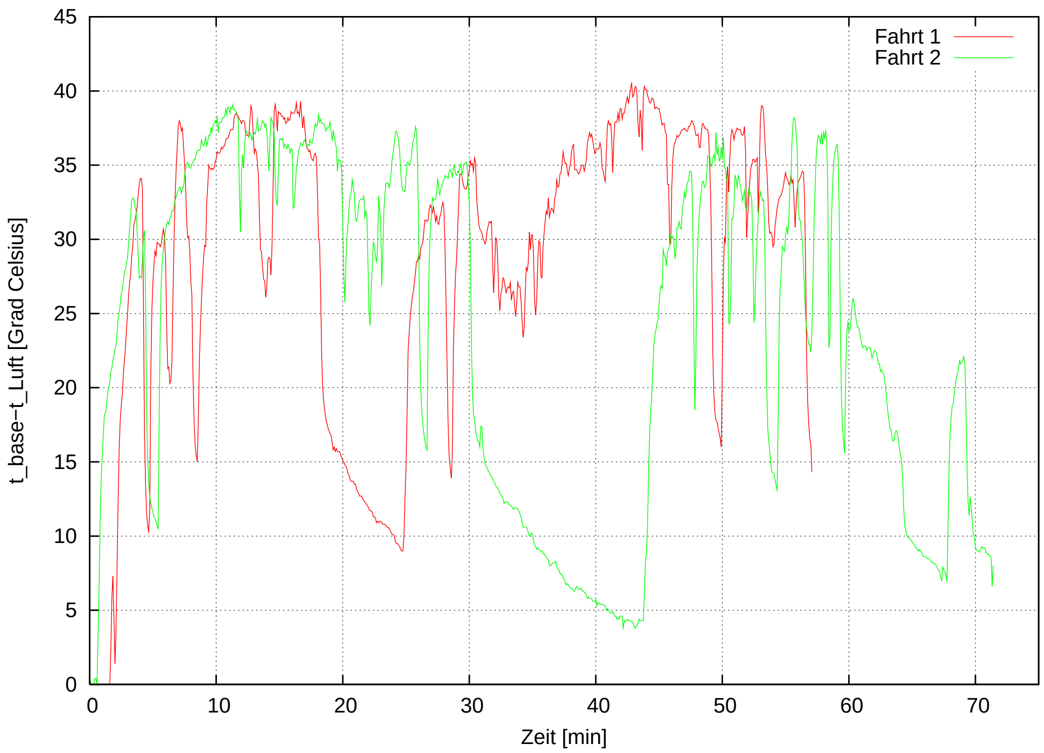


Bild 3.140: Temperaturen am LS885 im Fahrbetrieb

Die Temperaturen sind wieder am Kupferring der LED gemessen. Die Geschwindigkeiten liegen zwischen 10 und 35 km/h. Als Dynamo wird ein SON XS100i in einem 26"-Laufrad verwendet. Als Rücklicht ein DToplight LineTec.

Ein gehässiger Kommentar zu der Anleitung des LS885 (Stand 08/2009) kann hier nicht verkniffen werden: Den Bereich zwischen 1 und 4 m vor der Vorderradnabe *security zone* und den Bereich zwischen 5 und 10 m *long distance zone* zu nennen schließt auf extreme Langsamfahrer als Zielkundschaft. Entschärfend ist anzumerken, daß zwischen dem eigentlich hellen Bereich und dem Vorderrad ein fast durchgängig ca. 40 cm breiter Bereich ausgeleuchtet wird. Auch wenn man da wohl kaum noch reagieren kann, der Bereich ist nicht dunkel. Nervig hingegen ist die m.E. deutlich stärkere Eigenblendung durch die Frontscheibe als beim bumm IQ-fly.

3.10.22.6 Trelock LS950

Das Trelock LS950 (~~~K752) taucht ab 2011 auf. Es ist eine Akkulampe mit eingebautem zweizelligen (2P) LiIon-Akku. Die Optik ist ein, inzwischen typsicher, Offset-Spiegel. Als LED ist eine Cree XP-G eingebaut. Die LED ist thermisch gut an den oberen Alustreifen gekoppelt und sollte entsprechend kühl bleiben.

Die Helligkeit kann in fünf Stufen geregelt werden (vgl. Tab. 3.51).

Der Akku hat eine Nennkapazität von 16,38 Wh. Gemessen werden bei 1,1 A 15,27 Wh. Mehr als 1,3 A läßt die Schutzelektronik des Akkus nicht zu.

Geladen wird es über ein USB-Kabel. An der Lampe ist eine Mini-USB-Buchse. Der maximale Ladestrom beträgt 1,5 A. Die minimale Ladezeit ist mit ca. 3,5 h angegeben. Die Betriebsdauer liegt, so die Akkukapazität stimmt bei ca. 5,5–45 h.

Der Standby-Strom liegt bei 89–140 µA bei 3–4,42 V.

Die Akkuelektronik bilanziert anscheinend die aus dem Akku entnommene Lademenge. Es besteht kein erkennbar direkter Zusammenhang zwischen Akkuspannung und Kapazitätsbalken bzw. Laufzeitanzeige. Bei 4,2 V werden die in Tabelle 3.51 aufgeführten Laufzeiten t angezeigt. Unterschreitet die Akkuspannung 3,4 V, so geht die Lampe nicht mehr über Stufe 3. Unterschreitet die Akkuspannung 3,3 V, so geht die Lampe auf Stufe 1 und läßt sich dann nicht mehr auf eine höhere Stufe schalten.

Tabelle 3.51: Messdaten LS950

Stufe	$E_{\max}$ [lx]	P_{el} [W]	Φ [lm]	t [h]
1	11,8	0,344	25,5	43:11
2	28,2	0,795	60,8	18:05
3	43,2	1,311	93,1	11:17
4	55,6	1,843	119,8	7:56
5	66,4	2,313	142,9	5:49

Die Helligkeit $E_{\max}$ in Tabelle 3.51 ist aus den Lichtstromverhältnissen und der gemessenen Helligkeit bei Stufe 5 errechnet. Der Lichtstrom ist in der UK4 ermittelt, die Helligkeit auf dem Goniometer.

3.10.23 Zusammenfassung Scheinwerfer

Damit einige Vergleiche der LED-Scheinwerfer einfacher werden folgt eine kurze Zusammenfassung. 42!

Mehr Daten sind auf der Webseite im Bereich des Goniometers zu finden. Dort auch direkt vergleichbar gegenübergestellt.

Tabelle 3.52: Kenndaten von LED-Scheinwerfern und Auswirkung der Aufheizung

Hersteller	Modell	LED	Vers.	Typ.	~~~K	m [g]	P [W]	U [V]	I [mA]	k_{ϑ} [-]	k_{W} [-]
basta	PilotSteady	1 LXHL-MW01	DS	-	423	107	2,884	6,02	479	1,07	1,12
	Sprint	1 ?	DS	-	665	57	2,37	6,17	383	1,2	1,05

Fortsetzung nächste Seite

Hersteller	Modell	LED	Vers.	Typ.	~~~K	m [g]	P [W]	U [V]	I [mA]	k_ϑ [-]	k_W [-]
bumm	DLumot. Topal	1 LXHL-DW01	DS	-	402	140	2,596	6,01	432	1,055	1,1
	IQ fly	1 XR7090-WT-01	DS	-	565	75	2,694	6,77	398	1,14	1,32
	Cyo 175QNDi	1 XR7090-WT-01	DS	-	565	67	2,399	7,7	313	1,03	1,10
	IXON	1 LXHL-FW1C	AD	4 AA	431	120					
	IXON IQ	1 XR7090-WT-01	AD	4 AA	568	109					
	IXON IQ Speed	1 XR7090-WT-01	A	5 18670	568	439	< 2,28	5,0			
	Lyt	1 LXML-	DS	–	698	60					
Cateye	EL100	3 NSPW500 ?	A		-					?	?
	EL110	1 NSPW500 ?	A	2 AA	-					?	?
	EL200	3 NSPW500 ?	A	4 AA	-					?	?
	EL300	5 NSPW500 ?	A	4 AA	-					?	?
	EL300G	5 NSPW500 ?	AB	4 AA	19					?	?
	EL500G	1 LXHL-PW01 ?	A	4 AA	409		2,386	6,07	393	1,06	1,37
Dosun	m1	1 XR7090-WT-01	A	4 AA	-	96	2,539	5,98	425	1,09	1,28
Eigenbau	TD2 Alu	2 LXHL-PW09	D	-	-	91	2,751	6,76	407	1,027	1,033
	TD070211	2 XR7090-WT-01	D	-	-	91	2,608	6,52	400	1,018	1,025
Herrmans	h-one	1 XR7090-WT-01	DS	-	-	95	3,41	8,36	407	1,12	1,06
Hella	HL2000G	1 LXHL-PW01	ABDS	4 AA	411	74	2,13	6,07	315	1,05	1,5
inoled	10+	1 LXHL-PW09	ADS		478	107	2,279	10,04	227	1,02	1,12
	20+	1 LXWL-PW09	ADS		-	107				?	?
	extreme	1 XR7090-WT-01	DS	-	-	108					
Lupine	Tesla P7	1 SSC P7	A	2 LiIon	-	101	12,87	7,8	1650	1,8	1,5
panicmech.	lensor	1 MCE-4WT	D	-	-		3,58	8,93	402	1,035	1,03
Philips	BF48L20BBL	2 LXML-	A	4 AA	676	≤218	5,65	5,73	987	1,09	1,04
	BF60L60BAL	2 LXML-	D	-	749	150					
Spanninga	Luceo	1 ?	DA	3 AA	515?	86				?	?
	Micro FF LED	1 ?	D								
	Bird	1 ?	D								
Schmidt	E*delux*	1 XR7090-WT-01	DS	-	607	75	2,4	8,78	272	1,02	1,02
Supernova	Pro E3	1 XP-?	DS	-	-	130					
	Triple	3 XP-G R5	DS	-	-	116					
	Airstream StVO	XP-G	A	1 18650	736	187	< 4,0	3,5			
Trelock	LS600	1 LXHL-DW01 ?	A	5 AA	407	156	1,854	6,00	309	1,03	1,22
	LS675	1 ?	DS	-	700	83	2,62	6,60	398	1,2	1,12
	LS885	1 XR7090-WT-01	DS	-	656	112	2,4	7,35	326	1,1	1,045
	LS950	1 XP-G	A	2 18650	752	212	< 2,87	3,6			

Vers.: **A**kku, **B**atterie, **D**ynamo, **S**tandlicht.

Beachtet man, daß die K-Nummer i.A. seriell vergeben werden, so kann man auch das Alter der Scheinwerferkonstruktion abschätzen. Die Gewichtsangabe erfolgt mit angeschlossenem Kabel und Lenkerhalter und ohne Batterien.

Die effektive Leuchtdauer bei Akku/Batteriebetrieb bitte selber ausrechnen, dazu ist die Spannweite der Kapazität zu groß. Die Leistungsaufnahme ist, soweit vorhanden bzw. gemessen, angegeben.

Zu den Helligkeiten, die auf der Gegenüberstellungstabelle im Internet angegeben sind ist anzumerken, daß diese Anfangs ohne Kühlung ermittelt wurden. Die Kühlkörper in den Scheinwerfern erreichen unter diesen Umständen bis 100 °C. Dadurch geht die Lichtausbeute häufig stark zurück. Versuche mit simuliertem[215] Fahrtwind lassen Korrekturfaktoren k_ϑ abschätzen. Die reale Helligkeit bei Kühlung ist entsprechend $k_\vartheta E_{\mathrm{max}}$, falls die Scheinwerfer ohne Kühlung betrieben werden. Meßkurven im Goniometerbereich auf www.enhydralutris.de oder bei den Scheinwerfern. Der Korrekturfaktor k_{W} gibt an, wie stark der Lichtstrom beim Start gegenüber dem nach 60 Minuten ohne Fahrtwind ist.[216]

Die Angaben zur elektrischen Leistung, Spannung und Strom sind nach 60 Minuten Betrieb angegeben.[217]

3.10.23.1 Scheinwerfer mit Fernlicht

Für die seit etwa 2019 auf den Markt kommenden LED-Scheinwerfer mit Fernlichtfunktion werden einige Kenndaten in Tabelle 3.53 angegeben. Dies sind:

- α_{F} der Abstand zwischen E_{max} und der hellsten Stelle des Fernlichts E_{maxF}
- R_1: Das Verhältnis der Helligkeiten in E_{max} zwischen Abblend- und Fernlicht
- R_2: Das Verhältnis der Helligkeiten in E_{max} und E_{maxF}
- Φ_1: Lichtstrom Tagfahrlicht bei P_1 (nach 5 Minuten bei Kühlung)
- Φ_2: Lichtstrom Fernlicht bei P_2 (direkt nach Aufblenden)
- Φ_3: Lichtstrom Fernlicht bei P_3 (nach 5 Minuten bei Kühlung)

Wobei R_1 und R_2 für den Zeitpunkt „gleich“ nach Einschalten des Fernlichts angegeben sind. Die Lichtströme sind mit der UK4 (s. S. 523) bei Raumtemperatur gemessen. Die Scheinwerfer werden dabei mit ca. 4,6 km/h leicht seitlich/von hinten gekühlt, das kühlende Gehäuse liegt also nicht im Windschatten/der Wirbelschleppe der Frontfläche!

---

[215] 120er Papst 4214GM, der mit 8 % Überspannung im Abstand von 20 cm von hinten den Scheinwerfer anbläst und dabei laut Aneomemetermessung ca. 8 km/h Fahrtwind simuliert.

[216] Fahrradklingeln sind im Laden auch lauter als im Straßeneinsatz, genauso wie gerade eben erst angeschaltete LED-Scheinwerfer heller sind als solche, die schon 30 Minuten an sind.

[217] bevor die Kühlung angeschaltet wird

Tabelle 3.53: Kenndaten Fahrradscheinwerfer mit Fernlicht

Hersteller	Modell	α_F [°]	R_1 [−]	R_2 [−]	Φ_1 [lm]	Φ_2 [lm]	Φ_3 [lm]	P_1 [W]	P_2 [W]	P_3 [W]	Siehe Seite
b+m	IQ-XM	−4,25	1,06	1,3	175	426	382	5,9	14,8	12,6	318
Lupine	SL	−5,75	0,5	1,3	633	973	680	9,4	17,8	10,8	370
Supernova	M99pro	−1,6	0,85	1,11	954	1387	1342	15,3	22,6	23,1	396

Zu den Kurvenverläufen und dem Verhalten im Fernlichtfall siehe bei den einzelnen Scheinwerfern.

Da die meisten Pedelec/E-Bike Scheinwerfer für Fernlicht am Vorbau/Lenker montiert werden ist von einer Anbauhöhe von ca. 0,9 m auszugegen. Mit der derzeit noch gültigen Ausrichtungsvorschrift: E_{max} in 5 m Entfernung auf halber Austrittshöhe.[218] ergibt sich ein Neigungswinkel von 5,14° . Das heißt, bei $|\alpha_F| > 5{,}14°$ strahlt der Scheinwerfer mit dem hellsten Bereich deutlich über die horizontale hinaus nach oben und blendet potentiell den Gegenverkehr deutlich und das Licht wird nicht auf der Fahrbahn ankommen.

3.11 Messungen an LED-Taschenleuchten

Seit Ende 1999/Anfang 2000 gibt es einige Taschenleuchten mit weißen LEDs. Nach und nach sollen hier einige kritisiert werden.

Wer hier nicht fündig wird, der sei z.B. auf www.dansdata.com/ledlights.htm verwiesen.

3.11.1 PAL-Light Plus

Von *Light Technology Inc* (www.lighttechnology.com) gibt es eine ziemlich helle[219] LED-Taschenleuchte mit nur einer LED (scheint die NSSW440 von Nichia zu sein) und unterschiedlichen Betriebsstufen/Moden (vgl. Tabelle 3.54). Der Preis beträgt in den Staaten knapp 23 US$, bei einem deutschen Versender (www.lauche-maas.de) ca. 80 DM. Das Gewicht liegt bei ca. 86 g.

Tabelle 3.54: Verbrauchskennwerte des PAL-Lights

Modus	U_{LED} [V]	$I_{Batterie}$ [mA]	T_{PAL} [h]
1 Daueran	2,5	0,033	20000
2 Medium	3,1	5	200
3 Hell	4,1	76,5	20
4 Blink	2,5/4,1	0,033/76,5	200

[218] So auch in der Anleitung zum Lupine SL F vorhanden.

[219] Hm, das war 2001? 2010 sieht das anders aus. Aber die PAL-Light ist immer noch ein treuer Begleiter!

Die Werbung verspricht mit einem normalen 9 V-Block ziemlich lange Lebensdauern T_{PAL}. Bei den gemessenen Stromaufnahmen und der handelsüblichen Kapazität von bis zu 600 mAh für Alkaline bzw. 1200 mAh für einen „sau“teuren Lithium-Block tauchen hier so gewisse Diskrepanzen auf. Hier werden wohl wieder mal, wie z.B. bei Cateye, Werbetexter am Werk gewesen sein. Nach einem Jahr regelmäßiger Benutzung ist die mitgelieferte Batterie (Rayovac Maximum Alkaline) dann auch soweit leergelutscht, daß in Stufe 1 nur noch 7,3 V und in Stufe 3 6,5 V anliegen. Die Lichtleistung geht merklich zurück. Trotz der nicht zutreffen Werbeversprechungen eine beachtliche Dauer und eine zuverlässige Taschenlampe, die ich nicht mehr missen möchte. Nach weiteren 1,5 Jahren war dann auch ein Daimon-Block soweit leergelutscht, daß kein Unterschied zwischen Stufe 2 und 3 festzustellen war. Bis auf einige Wackelkontakte in der Kontaktierung des 9 V-Blockes: Keine Aussetzer, robustes, Immerdabeilicht. Zusammen mit einer NSPW500 in einem, seiner UV-LED beraubten, Geldscheinprüfer[220] am Schlüsselbund brauche ich keine anderen Taschenlampen mehr.

Als Beleuchtungswerte werden erreicht:

Tabelle 3.55: Beleuchtungsstärken des PAL-Lights in Lux

Modus	Mit Optik Abstand 10 m	Ohne Optik Abstand 1 m
2 Medium	$0{,}27 - 0{,}3$	$0{,}33 - 0{,}36$
3 Hell	$1{,}7 - 1{,}9$	$2{,}4 - 2{,}6$

Die Ausleuchtung ist nahezu rechteckig. Die 1 lx-Grenze liegt auf 10 m Entfernung bei einer Kantenlänge von ca. 0,6×0,95 m. Daraus läßt sich ein $2\varphi_{1\,\text{lx}}$ von ca. 3,4×5,4° errechnen. Etwas enger als die TA 23 für Fahrradscheinwerfer vorsieht, aber eine gleichmäßige Ausleuchtung. Nach grober Abschätzung würden schon 5 Dioden mit jeweils eigener Optik ausreichen um die 6 V/3 W-Forderungen zu erfüllen. Dann fallen ohne Ansteuerverluste ca. 5×4,1 V×0,077 A=1,6 W für den Scheinwerfer an. Kommentar: Hamm woll'n, hechel, sabber, lechts. Würde ein nettes Insektenauge, daß da die nächste Polizeikontrolle erstaunen ließe:) Aber erstmal das Datenblatt der LED besorgen. Bei 76 mA kann schon eine ziemlich starke Alterung eintreten und ein sehr grobe Abschätzung liefert bei wohl noch verträglichen 30 mA 0,7 lx, folglich 14 LEDs, die dann bei 14×3,45 V×0,03 A=1,5 W liegen.

Nachtrag 12/2020: Immer noch meine „Immer-Dabei-Taschenlampe“. Braucht gerne alte 9-V-Blöcke aus Feuermeldern auf. Noch nie so eine robuste zuverlässige Taschenlampe gehabt. Allerdings ist die Lichtleistung inzwischen „altertümlich“.

3.11.2 JeverLight

Der Name entstand auf dem ersten Hamburger Liegerad/ADFC-Stammtisch nach der eustaff 2003, wo die Lampe zuerst mitgeführt wurde. Sollte nur zeigen, daß die Lampe wasser-/ bierdicht ist:=)

[220] UV-LED und eine von vier Knopfzellen raus, NSPW500 und 147 Ω Vorwiderstand rein.

Man nehme ein Stück Alu mit 50 mm Durchmesser und ca. 110 mm Länge, zwei Nokia 3210 LiIon-Handyakkus (gibt's preiswert bei ebay), eine 5 W-LXHL (Lamberstrahler), eine 6-Grad-Optik, einen Haufen Widerstände[221] und ca. sechs Reed-Schalter, etwas weiteren Kleinkram, stelle sich ein Wochenende an die Drehbank und Fräse und heraus kommt eine kurze knackige, helle und dimmbare LED-Lampe, die ohne Schaltregler funktioniert, die Akkus nicht tiefentlädt und dimmbar ist. Hier habe ich die Widerstände so ausgelegt, daß von Stufe zu Stufe immer halber/doppelter Lichtstrom liegt. Bei den 1,1 Ah-Akkus reicht das für locker 1,5 h auf voller Stufe bzw. ca. 150 h bei minimaler Stufe. Minimal ist immer noch heller als die von mir sonst immer mitgeführte PAL. Genaue Zeichungen: Existieren nur für den hinteren Querschnitt: Minimierung des Rundmaterials bei Akkugröße, Verschraubung und O-Ring-Dichtnut:=) Ein Kupferblock mit 20° -Kegel und Wärmeleitpaste sorgt dafür, daß die Wärme der aufgelöteten[222] LED zuverlässig in das Gehäuse weitergeleitet wird. Achso, 10er Fräser mit 55 mm Tauchtiefe machen gut Musik. Und bei platzsparender Bauweise sollte sich auch mit dem Gedanken anfreunden, in den Ecken Stoßstähle zu verwenden oder viel Feilarbeit zu leisten bereit sein:=)

Wer jetzt über „primitive" Widerstände schmunzelt: Die Vorteile gegenüber Schaltwandlern sind bestechend: Erstens wird so ein LiIon-Akku nicht tiefentladen, da die „Brennspannung" der LEDs höher ist als die Entladespannung der Akkus und zweites ist, je nach Widerstand bzw. Strom, ein Wirkungsgrad der „Vorschaltelektronik" von 80–90% gegeben. So viel besser sind Schaltwandler auch nicht, zumindest nicht bei dem hier unschlagbaren Preis:=)

Anläßlich eines elektrischen Problemes, anscheinend sollte nicht auf die dauerhaftige Hochohmigkeit Kühlpin-Anschlüsse der Emitter vertrauen, wurde das JeverLight überarbeitet. Ca. 76 g Aluminium innen und außen abgefräst, Widerstände und Reed's auf Folienleiter, Kollimator statt 6-Grad-Optik. . . . Dabei wurde dann auch die Einzelgewichte gemessen, in Klammern die der unerleichterten Version:

Überwurfmutter 5 g (8,65 g), Kollimator 8,4 g, Akkupac 63,3 g, Schrauben 2,3 g, O-Ring 0,55 g, Deckel 12,1 g (18,25 g), Gehäuse 93,1 g (159,55 g), Kupferblock+LED 57,4 g, Stellring 3,45 g und Reeds und Widerstände 2,7 g. Summe: 248,4 g.

Der Kollimator (8°) Öffnungswinkel sammelt das Licht besser ein, als die 6° -Linsen und ist für den hohen Lambert-Dom der 5 W-Emitter besser geeignet.

Wer die Arbeit scheut: Zum Winter 2002/2003 tauchen schon die ersten einigermaßen vernünftigen LED-Lampen bei den Outdoor-Ausrüstern auf. Im Winter 2003/2004 sind vermehrt Lampen mit Luxeon-LEDs und vernünftigen Optiken zu bewundern. Teilweise in anscheinend vernünftigen Aufmachungen. Die werde ich hier aber nicht testen.

---

[221] Auf die LED und die Akkus angepaßt.
[222] Niedrigschmelzendes 170-Grad Lot.

3.12 Optimaler Scheinwerfer

Bis hier wurden nur existierende Scheinwerfer vermessen. Eigene Gedanken wurden, bis auf den PT_α, nur wenig verfolgt.

Ein optimaler Scheinwerfer läßt (nur) mit den Kenntnissen über die räumliche Abstrahlungs der Glühlampe und den Anforderungen an die Ausleuchtungscharakteristik konstruieren. Hier wird dann auch der (Un-)Sinn einiger Zulassungsvorschriften beleuchtet.

Die Gedanken sind vorerst nur für eine kritische Würdigung derzeitiger Scheinwerfer (rotationssymmetrische Paraboloid-Reflektoren mit Fresnelscher Stufenlinse[223]) geeignet. Bei Freiformflächenscheinwerfern (Frontscheibe hat keine nennenswerten Linseneigenschaften) treffen die Überlegungen nicht in vollem Umfang zu.

Einige nette Anmerkungen, durchaus kritischer Natur, sind auch im Kupferwurm [He61] zu finden. Der Kupferwurm hat dasselbe Schicksal wie das „Fahrrad-Rad“ von Jobst Brandt erlitten: Beides sinnvolle Bücher, die mir erst gegen Ende der Untersuchungen in die Hand kamen.

3.12.1 Räumliche Abstrahlung von Glühlampen

Für die sinnvolle Konstruktion von Scheinwerfern ist die Kenntnis der Verteilung der räumlichen Abstrahlungseigenschaften der Glühlampen[224] notwendig. Dabei werden hier die Winkel α, β und δ, wie in Bild 3.141 definiert, verwendet.

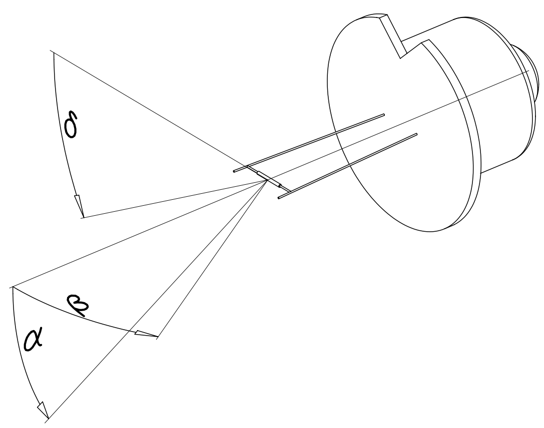


Bild 3.141: Winkeldefinitionen bei Beleuchtungsmessungen

In Bild 3.142 ist die Beleuchtungsstärke in Lux in einem Abstand von 600 mm zu einer HS3 bei 2,514 W und einer HS4 bei 5,468 W Leistungsaufnahme. Die Meßwerte sind auf Seite 531 zu finden. Ergän-

[223] Auch kurz Fresnel-Linse genannt.
[224] natürlich auch LED, HME...

zend ist die prozentuale Verteilung einer Halostar skaliert aufgeführt. Diese Messungen, die ersten mit dem $X9_1$, werden noch ohne Abschattungstubus durchgeführt. Reflexionen, u.a. auf dem Tisch, werden duch Abschattungsblenden aus schwarzem Tonpapier unterdrückt.[225] Die Lampe wird auf einen Rundtisch[226] befestigt. Das Sensorfenster des $X9_1$ hat einen wirksamen Durchmesser von 7 mm. Mit dem Abstand von 600 mm ergibt sich ein Winkel von 0,67°, über dem gemittelt wird.

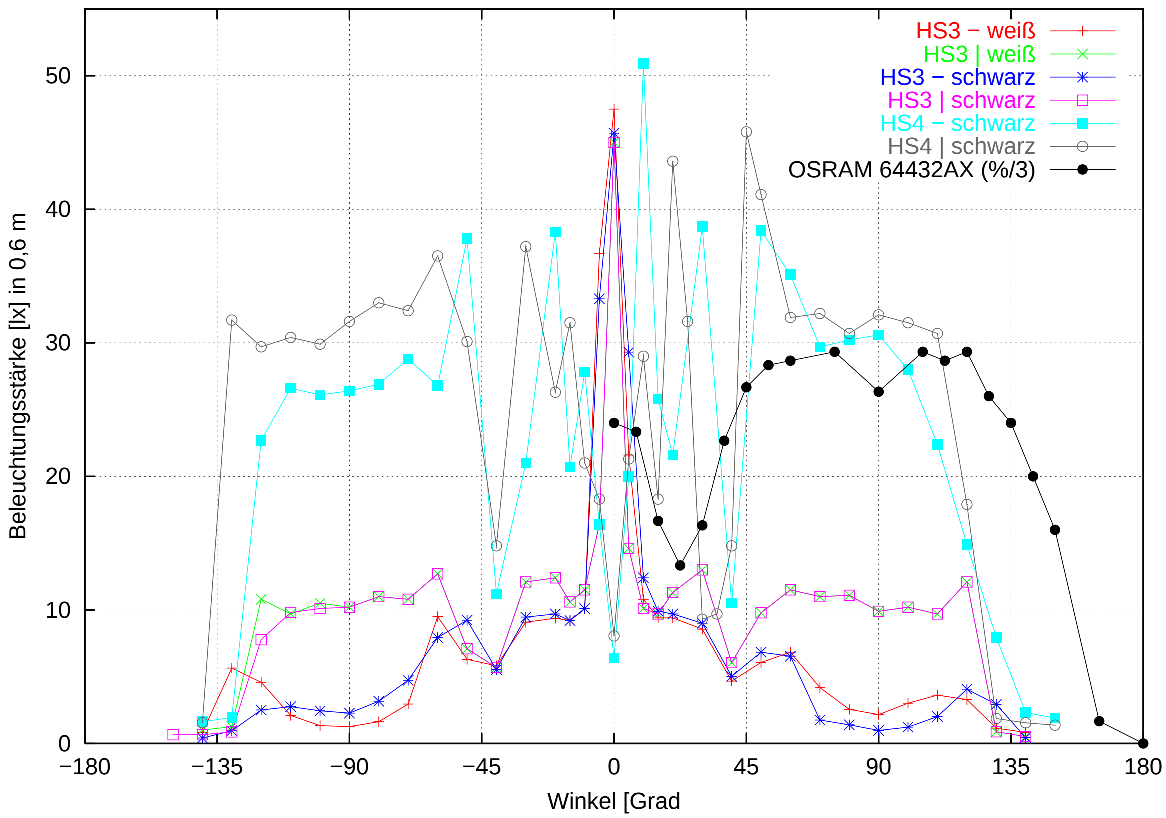


Bild 3.142: Beleuchtungsstärkeverteilung in Abhängigkeit der Winkel α (|) und β (-)

Es sind große Schwankungen der Beleuchtungsstärke durch Linseneffekte des Glaskolbens zu beobachten. Hier wirken sich die Toleranzen der Fadenlage und des Glaskolbens wesentlich aus. Insofern können die angeführten Meßergebnisse nur exemplarisch sein. Während sich bei der HS3 der Glühfaden duch den Linseneffekt der Pumpspitze abbildet erscheint bei der HS4 ein relativ dunkler runder Fleck durch die Pumpspitze. Da eine höhere Winkelauflösung notwendig ist wird eine weitere, wahl-

[225] Allerdings soll man die Reflexionen des seitlich hinter dem Versuchsaufbau sitzenden Personals mit einem weißen T-Shirt nicht unterschätzen, grummel:=) Hiervon sind aber nur die Meßwerte in Diagramm 3.142 betroffen, alle anderen Messungen werden mit dem Abschattungstubus durchgeführt. Ein weißes T-Shirt erzeugt ein deutliches Hintergrundrauschen, wenn dieses bei großen Winkeln von der Lampe direkt angeleuchtet wird.

[226] Ablesemöglichkeit 0,01°.

los gegriffene, HS3 bei 2,4 W vermessen (über 120 Meßpunkte/Datensatz) vgl. Bild 3.143. Bei einer weiteren Meßreihe wird die Lampe um 35 Grad aus der waagerechten Lage (β-Ebene) des Glühfadens verdreht, so werden Abschattungen durch die Fadenhalter fast unterdrückt und es sind schon ca. 57 % der Wendelfläche sichtbar.

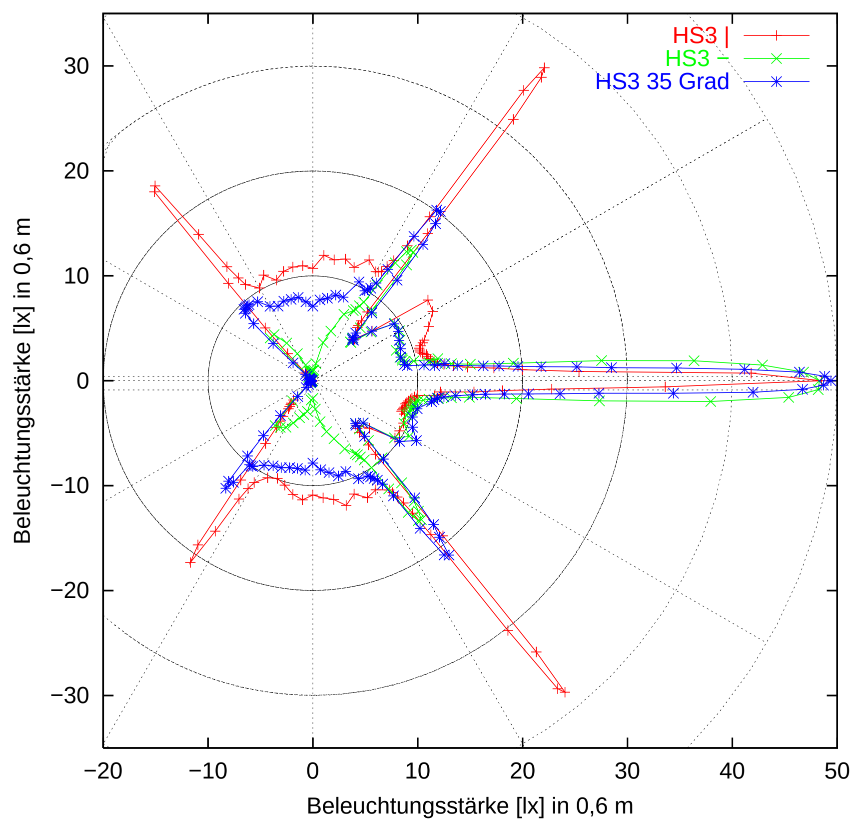


Bild 3.143: Polardiagramm der Beleuchtungsstärkeverteilung HS3 bei 2,4 W

Für das Rousseauverfahren muß eine Cosinus-Bewertung durchgeführt werden (vgl. Bild 3.144.

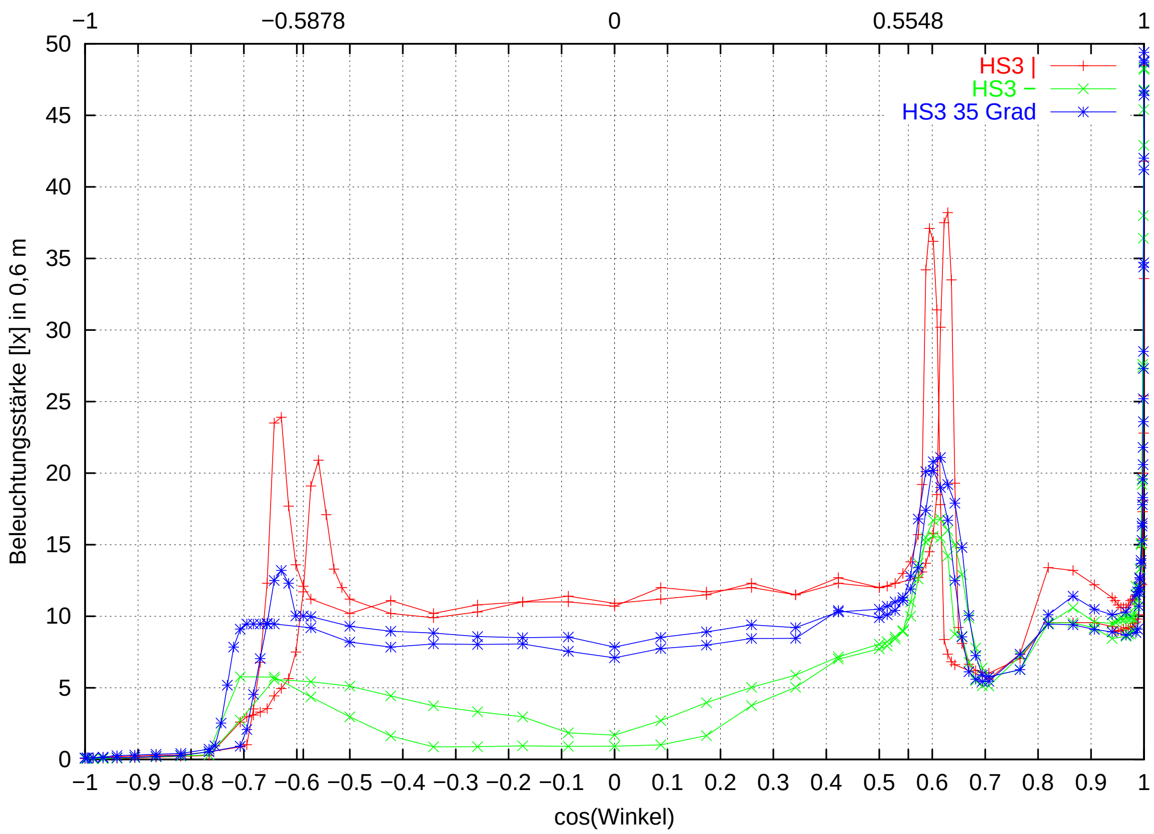


Bild 3.144: Beleuchtungsstärkeverteilung HS3 bei 2,4 W (cos-Winkel)

Nach hinten läßt sich die Grenze des praktisch sinnvoll sammelbaren Lichtstromes relativ scharf bei $-0{,}71 \mathrel{\widehat{=}} \cos(135^\circ)$ ziehen. Nach vorne ist diese Grenze weicher. Die Messungen legen einen Winkel von ca. 45 Grad nahe (vgl. Bild 3.144).

Ergänzend dazu die Verteilung in Abhängigkeit von δ bzw. bei einer Drehung um die Längsachse (vgl. Bild 3.145).

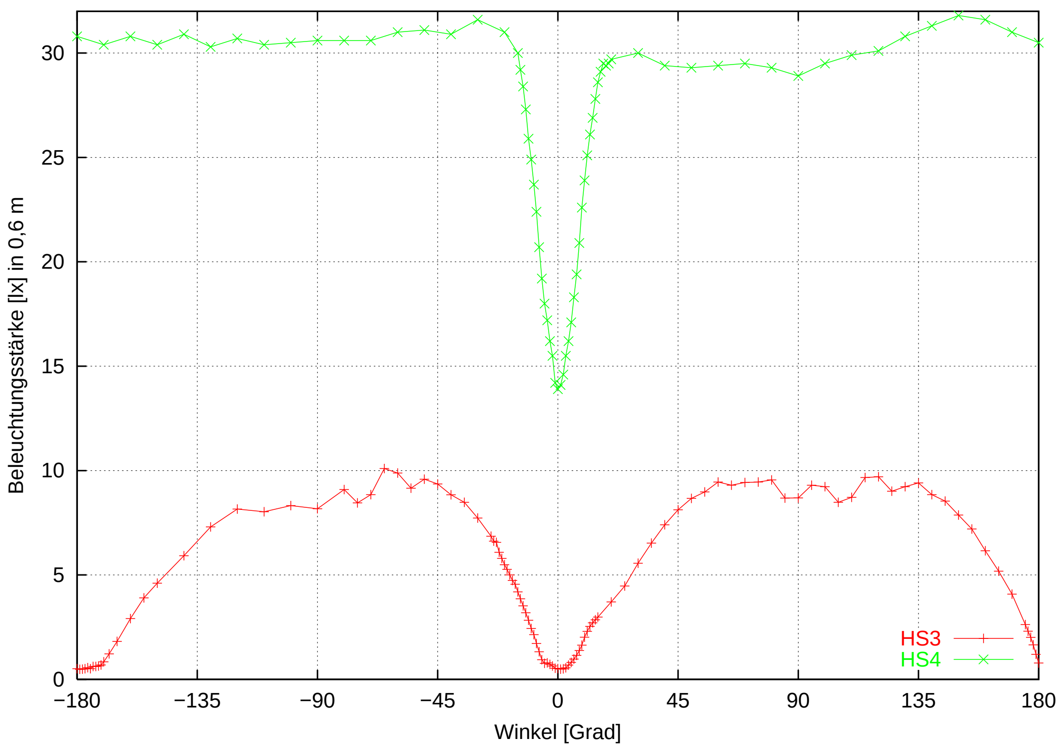


Bild 3.145: Beleuchtungsstärkeverteilung in Abhängigkeit vom Winkel δ

Die Abschattung durch die Fadenhalter sind zu beachten. Bei der HS4 ist nur einer wirksam, der andere ist zu kurz um die Abstrahlung in dieser Ebene zu beeinflussen.

Kombiniert ergeben die Meßwerte der Bilder 3.142 bis 3.145 einen erstmal ziemlich unübersichtlichen „Morgenstern“, der leider nicht so durchschlagende Wirkung auf die Dunkelheit hat wie die mittelalterlichen Namensgeber.[227]

Realsatire: Und wann kommt die Mondlichtbenutzungssonderabgabe?

---

[227] Auch gibt es von Christian Morgenstern ein hier passendes Gedicht: „Die Trichter“

Zwei Trichter wandeln durch die Nacht.
Durch ihres Rumpfs verengten Schacht
fließt weißes Mondlicht
still und heiter
auf ihren
Waldweg
u.s.
w.

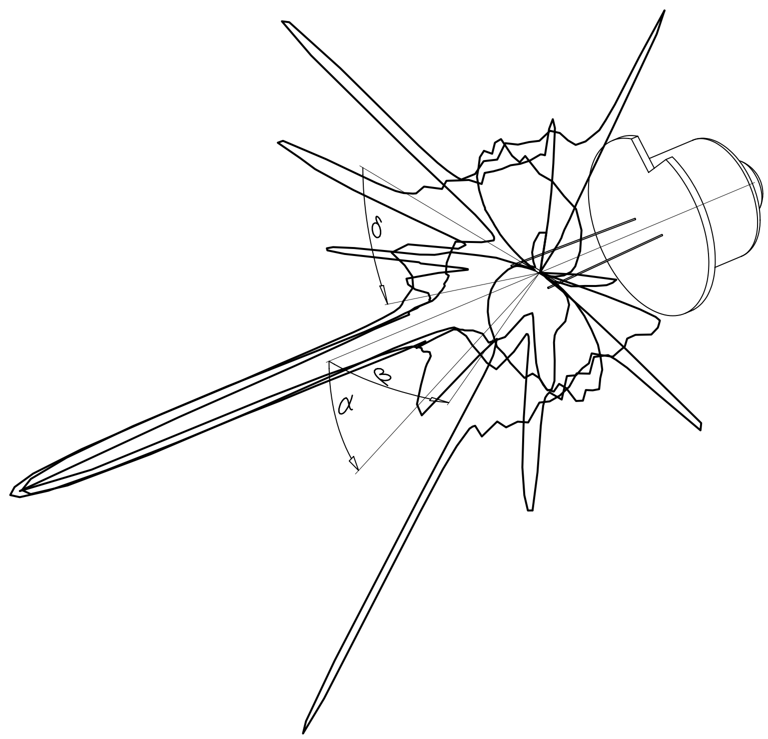


Bild 3.146: Morgenstern

Auf eine weitere Aufbereitung (Interpolation und Legen ein Hüllfläche) wird aus einem Überfluß an Zeitmangel verzichtet.

3.12.2 Auswirkung der Abstrahlung Glühlampen auf den Scheinwerfer

Die oben bestimmten Meßwerte wirken sich auf die Konstruktion der Scheinwerfer aus. Einige charakteristische Scheinwerfer werden vermessen um einen Anhalt über deren Nähe zum Optimum zu erhalten. Dazu werden einige geometrische Daten benötigt: Radius am Lichtaustritt (r_V), Radius hinten (r_H), Rücklage des Brennpunktes gegenüber dem Öffnungsquerschnitt (a) und die Tiefe $(a + c)$ (vgl. Bild 3.147). Als Motorradscheinwerfer ist ein Siem 2376 (Vespa?) beispielhaft angeführt.[228]

[228] Danke an Günther Schwarz.

Tabelle 3.56: Geometrische Randdaten charakteristischer Reflektoren [mm]

Scheinwerfer	r_V	r_H	$a+c$	a	d
Elio Nova	33,5	5	24	19,65	19,5 . . . 20
S'Light FL	34,5	5,5	29,5	23	26,5
Lumotec	18,75	5,1	16,2	12,15	10
Micro FF	18	4,7		6,15 . . . 16,05	
Union Ellipsoid	25,25	5,1	25	21,55	15
Union U70	32,25	8,25	21,7	10,2	–
Union U100	43,2	12,5	27	14	–
Siem K11110	51,3	18,5	31,5	16,2	–
inoled 10+	31,6	0	33	25,6	–

Ergänzend dazu wird exemplarisch von einigen Scheinwerfern die Erfassungswinkel des Reflektors aufgeführt (vgl. Tabelle 3.57). Als Vergleich der Bereich, in dem nach DIN 49848-3 der Kolben von HS3 (Form E) und HS4 (Form F und G) „. . . keine sichtbare Verzerrung hervorrufen. In diesem Bereich darf die Krümmung des Kolbens keinen kleineren Abrundungsradius als 50 % des aktuellen Kolbendurchmessers haben.“ Der Kolbendurchmesser beträgt max. 9,3 mm. Mit anderen Worten, daß ist der Bereich, in dem der Kolben zylinderförmig ist und die Glühlampe gleichmäßig abstrahlen sollte. Für einige Scheinwerfer wird die Brennweite F mit unterschiedlichen Methoden ermittelt.

1. Nach dem Vermessen des Reflektorquerschnittes kann die Gleichung eines Parabolspiegels

$$y = \frac{1}{4F}x^2 \tag{3.103}$$

   verwendet und ein Ausgleichproblem gelöst werden.

2. Schneller und fehlerbehafteter geht es nach dem Ausmessen des Radius der Öffnung r_V des Reflektors und der Rücklage des Glühfadens gegenüber der Frontebene des Reflektors a über Gleichung 3.104:

$$F_{0,1} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{r_V^2}{4}} \tag{3.104}$$

   Dazu müssen die Reflektoren nicht zerschnitten werden. Lediglich die Frontscheibe muß vom Reflektor abgenommen werden, da sonst keine sinnvollen Informationen über die Tiefe gewonnen werden können. Daten dazu siehe Tabelle 3.56.

3. Die jeweils zweiten Winkelwerte in der Tabelle 3.57 sind zeichnerisch aus durchgesägten Reflektoren ermittelt (vgl. Bild 3.148).

Einige Scheinwerfer verfügen über eine baulich von der Fresnel-Linse getrennte Linse (z.B. Nova, alter Lumotec). Bei anderen ist die Linse in der Mitte der Fresnel-Linse integriert und deutlich von der restlichen Fläche abweichend gestaltet.

Für einige Scheinwerfer sind zwei Angaben je Winkel vorhanden. Der erste Winkel ist anhand der Methode 2, der zweite anhand 3 bestimmt. Die Ergebnisse der beiden Methoden stimmen hinreichend gut überein.

Ergänzend sind Meßwerte des Anteils (κ) der Beleuchtungsstärke in HV durch die zentrale Linse in Relation zur gesamten Beleuchtungsstärke angegeben. Hierfür wird der innere bzw. der äußere Bereich mit schwarzer Pappe abgeschattet.

Tabelle 3.57: Erfassungswinkel von Reflektoren

Scheinwerfer	F	Winkel	Reflektor		Linse				
			von	bis	von	bis	d	κ_{HS3}	κ_{HS4}
	[mm]		[°]	[°]	[°]	[°]	[mm]	[%]	[%]
DIN 49848-3 E	–	α	65	120					
DIN 49848-3 F/G	–	α	50	125					
wünschenswert	6,6	α	45	139					
Elio Nova	9,6	α	58,5 59,6	130,8 125,3	12,3	47,3 45,8	20		
S'Light FL	9,2	α	56,3 57,1	126 128,7		39,1	26,5	25	18
bumm Lumotec	5,1	α	57,6 57,3	128,5 128,3	5,1	24,2 24,4	10		
Hella Micro-FF	3,7	α	+46,6	131,4	–	– –	–	–	–
	4,6	α	−66,3	131,4	–	– –	–	–	–
	4,4	β	60,1	131,4	–	– –	–	–	–
Union Ellipsoid	5,7	α	49,2	121,2	−41,3	30,9 –	15	0,3	
Union U70	11,1	α	72,4	144,4	–	– –	–	–	–
Union U100	14,8	α	72	136,1	–	– –	–	–	–
Siem K11110	18,9	α	72,5	130	–	– –	–	–	–
inoled 10+	7,4	α	51	180	–	– –	–	–	–
IQfly	9,8	α	s. S. 303		–	– –	–	–	–

Bei den (nahezu)[229] rotationssymmetrischen Reflektoren reicht α aus. Beim Hella FF reicht ein Winkel alleine nicht aus. Fast alle Reflektoren sammeln das Licht in einem größeren Raumwinkel als die DIN 49848-3 über die Winkelangaben vorsieht. Ein sehr großes Verbesserungspotential ist nicht mehr gegeben, aber ein paar Prozent sollten noch drin sein. Auch werden die Scheinwerfer kontinuierlich weiterentwickelt. Hier wird ein alter Lumotec mit Linse (Durchmesser d letzte Spalte in Tabelle 3.57) ähnlich Elio Nova vermessen, Inzwischen ist mindestens eine dritte Überarbeitung vom Lumotec auf dem Markt, die die Linse direkt in die Fresnel-Linse integriert hat.

[229] Einige, z.B. der Lumotec, weisen sektoriell am Rand Abweichungen vom Rotationsköper auf.

Der Siem ist normalerweise mit einer Ba20D (2-Faden Bilux-Lampe) ausgerüstet. Zur Brennpunktermittlung wird eine LED, seitlich strahlend, solange verschoben, bis die max. Beleuchtungsstärke (ohne Streuscheibe) erreicht wird. Mit einem Zentriermikroskop lassen sich dann die Geometrieunterschiede bestimmen:

Fernfaden: halbkreisförmig transversal ausgerichtet bei $x = -2{,}3 \ldots 0{,}7\,\text{mm}$ ($x = 0$ =Brennpunkt, x positiv nach vorne)

Abblendfaden: axial ausgerichtet bei $x = 2{,}8 \ldots 8{,}05\,\text{mm}$.

Die Linsen sammeln den Lichtstrom im vorderen Bereich. Werden sie zu groß, so schatten sie aber den Lichtstrom des Reflektors ab bzw. lenken ihn um. Die Linse des Nova dürfte zu groß, die des Lumotec zu klein sein. Es scheint so, daß beim Lumotec die Linse im Zuge des Kostendruckes wegrationalisiert wurde. Diese Linsen sind Einzelteile, die mit der Frontscheibe zusammengeschweißt werden müssen. Idealerweise soll die stielartige Verbindung klar sein und optisch keinen Einfluß haben, auch wenn der Lichtstrom in den vorderen $10 \ldots 20^\circ$ vernachlässigbar ist (vgl. Bild 3.144 und Kästchenzählen zwischen $\cos(20^\circ) = 0{,}93$ und 1).

Für die folgenden Berechnungen wird die Reflektorgeometrie vereinfacht aufgefaßt (vgl. Bild 3.147).

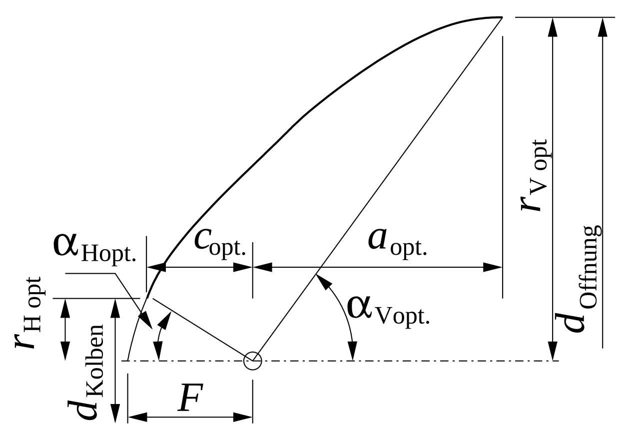


Bild 3.147: Bestimmende Geometriedefinitionen am Reflektor

Bei Vernachlässigung der Fläche, die die Lampe einnimmt, läßt sich der optimale Reflektorradius $r_{\text{V opt.}}$ aus der Geometrie als

$$r^2_{\text{V opt.}} - \frac{4F}{\tan \alpha_{\text{V opt.}}} r_{\text{V opt.}} - 4F^2 = 0 \tag{3.105}$$

$$r_{\text{opt}\,0,1} = \frac{2F}{\tan \alpha_{\text{V opt.}}} \pm \sqrt{\frac{4F^2}{\tan^2 \alpha_{\text{V opt.}}} + F^2} \tag{3.106}$$

mit dem gewünschten Winkel $\alpha_{\mathrm{V\ opt.}}$ (entspräche „α von“ in der Tabelle 3.57) und der Brennweite F berechnen. Praktisch relavant ist nur der Fall $r_{\mathrm{V\ opt.}} = \ldots + \sqrt{\ldots}$. Das Lösungsfeld ist relativ unübersichtlich (vgl. Bild 3.149).

Man kann auch direkt die optimale Brennweite ausrechnen:

$$F_{\mathrm{opt}\,0,1} = \frac{r_{\mathrm{H\ opt.}}}{2\tan\alpha_{\mathrm{H\ opt.}}} \pm \frac{r_{\mathrm{H\ opt.}}}{2}\sqrt{\frac{1}{\tan^2\alpha_{\mathrm{H\ opt.}}}+1} \qquad (3.107)$$

Bei dem Kolbendurchmesser von HS3-Lampen ergibt sich ein $r_{\mathrm{H\ opt.}} = 5\,\mathrm{mm}$. Daraus und mit einem $\alpha_{\mathrm{H\ opt.}} \approx 139\,^\circ$ ergibt sich eine optimale Brennweite von ca. 6,6 mm. Dummerweise liegt der Glühfaden bei HS3-Lampen 6,35 mm vor der Referenzebene des Sockels. Als Folge kollidieren Reflektor und Lampenhalter. Entweder man verkürzt die Brennweite und hat eine einfache Reflektorgeometrie oder man verlängert die Brennweite und erhält ähnliche „Zentralberge“ wie der Nova und der FL sie aufweisen (vgl. Bild 3.148).

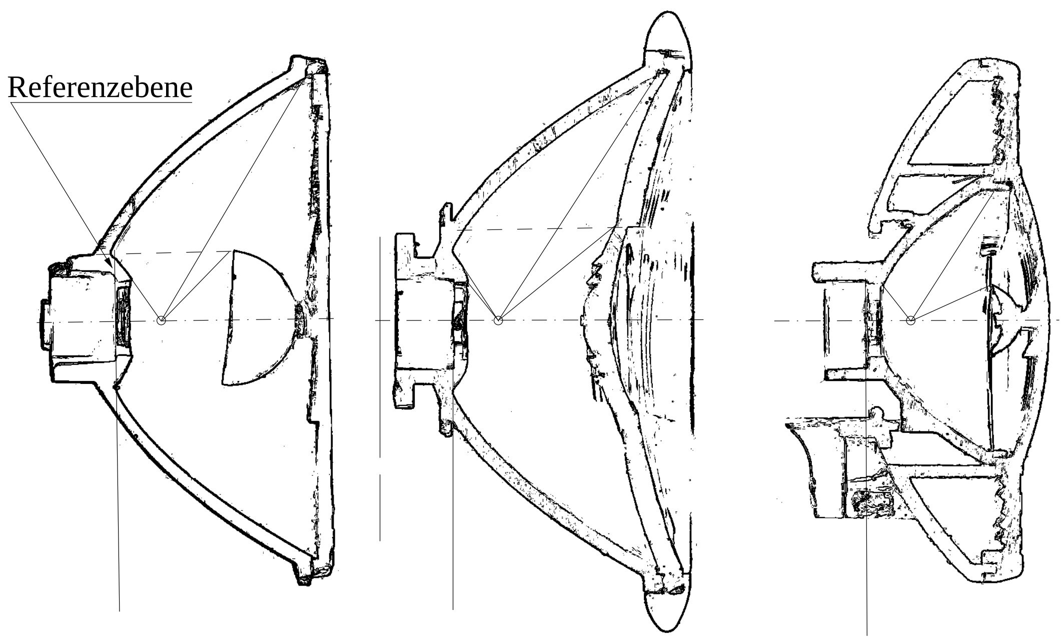


Bild 3.148: Gegenüberstellung von Reflektorgeometrien (von Links: Nova, FL, Lumotec älterer Bauart)

Eine deutliche Verbesserung wäre eine andere Lampengeometrie. Dieser Lösungsweg wird aber durch

Zulassungs- und Herstellungsprobleme[230] und -kosten etc. bis auf weiteres ein nicht zu überwindendes Hindernis bleiben.

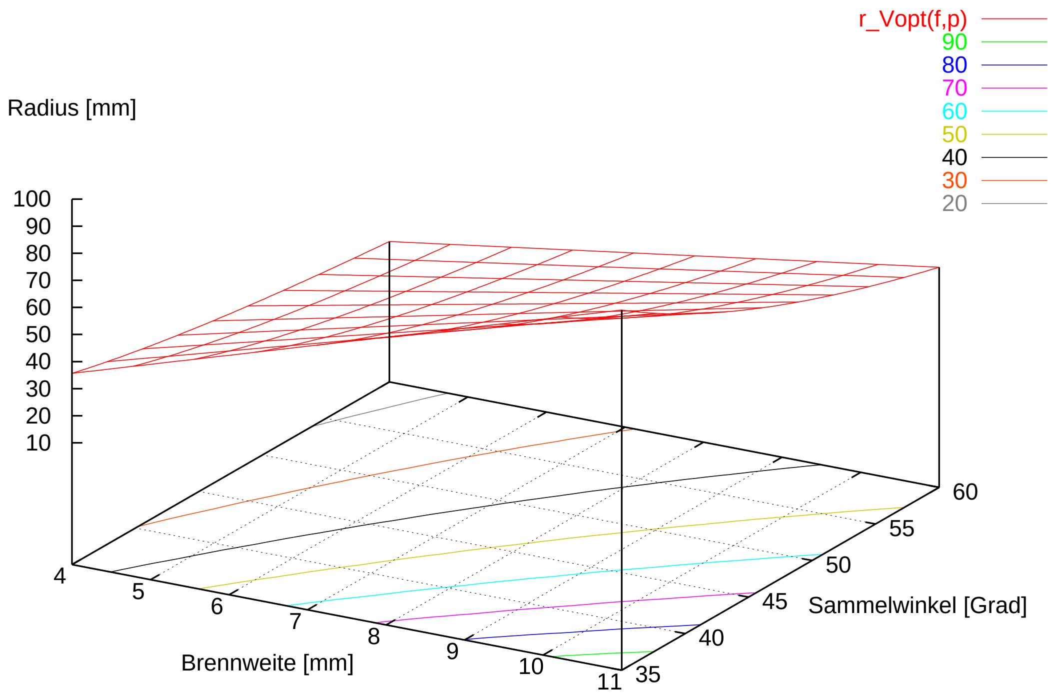


Bild 3.149: Optimaler Reflektorradius in Abhängigkeit von Sammelwinkel und Brennweite

Je größer der Sammelwinkel, desto größer der Reflektor. Je größer die Brennweite, desto größer der Reflektor.[231] Aber: Je kleiner die Brennweite, desto stärker ist die Abschattung des Reflektors durch die Glühlampe. Und je kleiner die Brennweite, desto größer wirken sich Toleranzen in der Fadenlage aus.[232] Die Toleranzen ergeben sich aus der Fassung mit einem Sockeldurchmesser von 13,39…13,54 mm für PX13,5s-Sockel (DIN EN 60061-1:1993 Bl. 7004-35), den unbekannten Toleranzen in der Leuchte und der Box, innerhalb der der Glühfaden liegen muß: Seitliche Kantenlängen in der α-Ebene 1,1 mm, in der β-Ebene 2,1 mm und Abstand von der Referenzebene (Kragen der Fas-

[230] Halogenbiren werden aus Quarzglasrohren, bei HS3 mit einer Wandstärke von ca. 1 mm, das am hinten Ende zusammengequetscht wird, hergestellt. Dadurch entstehen hinten zwangsläufig Linseneffekte.

[231] Die Geometrie von Fassung und Kolben sind wesentliche Randbedingungen!

[232] Eine seitliche Abweichung, u.a. bedingt dadurch das der Lampensockel zwecks „grobmotorischen“ Lampenwechsels nicht genau in Reflektor eingepaßt wird, wirkt sich sicherlich weniger aus als ein in axialer Richtung.

sung) $6{,}35 \pm (\frac{d}{2} + 0{,}25)$ mm.[233]

Der minimale Lochdurchmesser im Reflektor ergibt sich aus dem maximalen Kolbendurchmesser von 10 mm. Der minimale Abstand Frontscheibe–Focus beträgt ca. 10,75 mm.

Nach Bild 3.144 sind einige Schlußfolgerungen zulässig:

- Inwieweit die Lichtmengen (die Flächen bei cos(Winkel)=-0,6) nach hinten noch ausgenutzt werden können ist fraglich. Dort bestehen starke Einschränkungen aufgrund der Reflektorgeometrie und Lampenhalterung.

- Eher schmerzen die Lichtmengen (die Flächen bei ca. cos(Winkel)=0,6 machen ca. 10 % der Gesamtfläche bzw. des Gesamtlichtstromes aus), die vorne gerade nicht mehr vom Reflektor erfasst werden und von der Fresnel-Linse nicht nach vorne gebrochen werden. Dies ist aber nur durch einen noch größeren Reflektor möglich. Hier greifen aber Design- bzw. Akzeptanzprobleme. In einer Zeit, wo Scheinwerfer wie der Hella FF, Lumotec Oval etc. gewünscht sind ist *form follows function* nur an einen kleinen Kundenkreis verkaufbar. Außerdem erfordern große Reflektoren große Werkzeuge, viel Werkstoff. . .

- Der Lichtpunkt (vgl. Bild 3.142 und 3.143) direkt nach vorne ist, nach dem Lichtstrom bewertet, vernachlässigbar. Zusätzlich wird die Fertigungstoleranz der Pumpspitze kaum reproduzierbare Ergebnisse liefern.

3.12.2.1 Optimierung der Lichtsammlung

Auf dem Papier kann man die Optimierung auch durchführen. Zum Beispiel kann das Zonenlichtstromdiagramm (s. S. 249) zur Hilfe gezogen werden.

Mit ein bißchen Gleichungsschieben von Winkel- und Parabelgleichgungen ergibt sich

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\frac{D}{2F} - \frac{2F}{D}}\right) \tag{3.108}$$

mit der Brennweite F und dem Reflektordurchmesser $D = r_{\text{V opt.}}$. Daraus kann Bild 3.150 berechnet werden.

[233]Mit dem Leuchtkörperdurchmesser d. Beispielwerte für d sind in der Tabelle 3.9, s. Seite 177 zu finden.

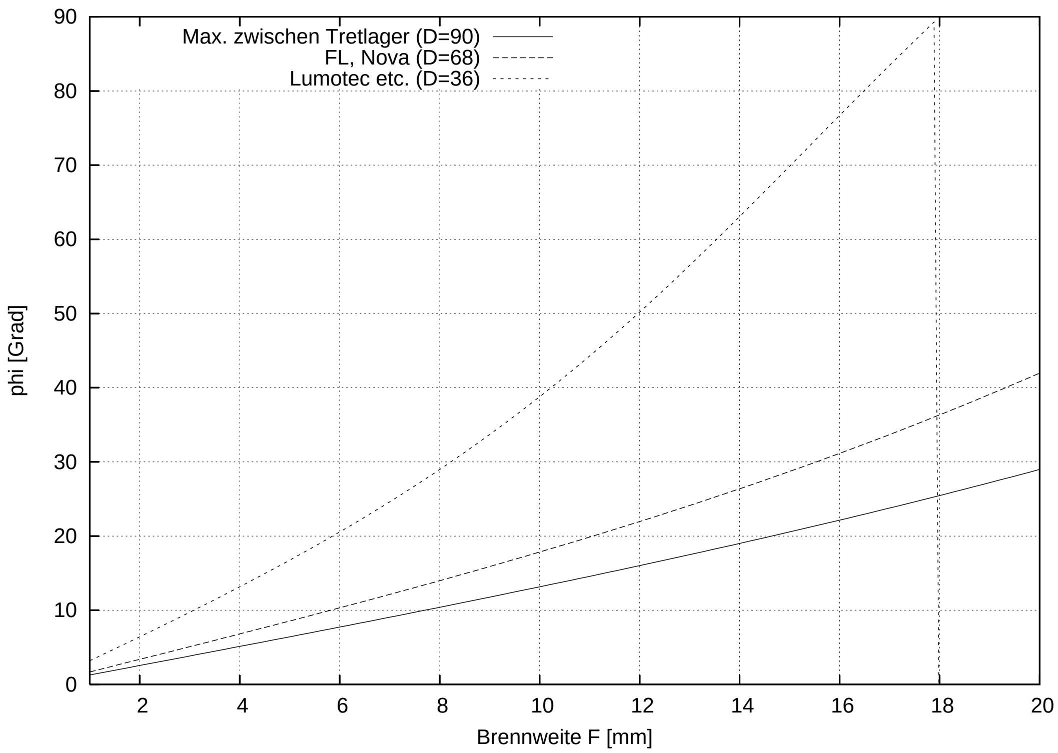


Bild 3.150: Startwinkel beim Sammeln (alpha) in Abhängigkeit von Durchmesser [mm] und Brennweite [mm]

In Bild 3.151 sind dann Bild 3.36 und 3.150 kombiniert. Damit können direkt die Auswirkungen der Summenkurve, des Öffnungsdurchmessers und der Brennweite aufeinander abgeschätzt werden. Eingezeichnet sind zwei exemplarische Linienzüge für Scheinwerfer vergleichbar Lumotec und FL.

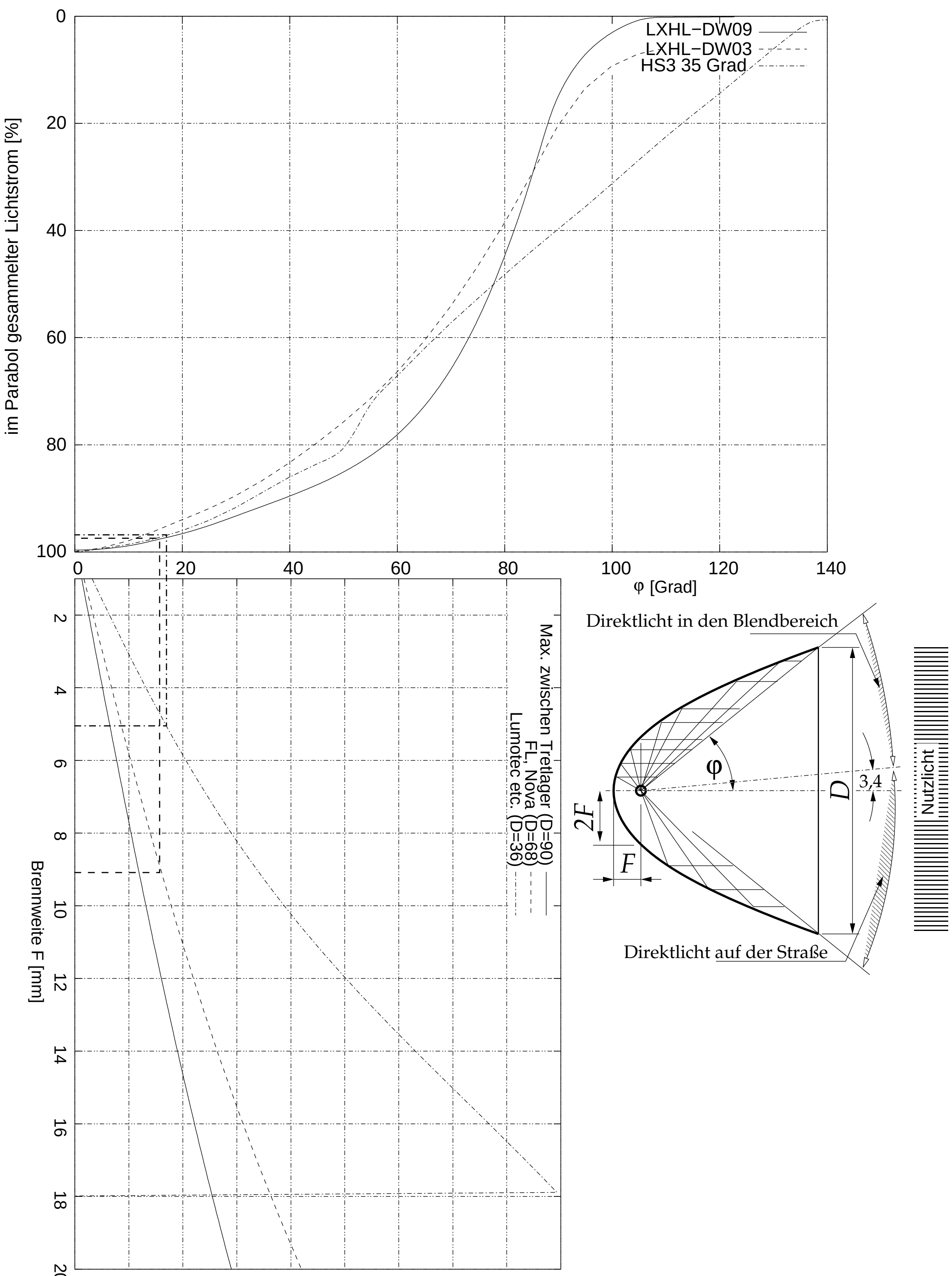


Bild 3.151: Nomogramm zur Abhängigkeit der Summenkurve, Brennweite und Durchmesser von Parabolreflektoren

Für weitere Lichtstromsummenkurven siehe Seite 249.

Ein Gedankenspiel: Wenn man auf fünf Prozent des Lichtstromes im Reflektor verzichten, davon fallen etwas mehr als die Hälfte eh als Direktlicht auf die Straße, 90 mm Durchmesser und eine DW09 verwendet, so kommt man auf eine Brennweite von ca. 18,5 mm. Damit sollte schon ein guter Hot-Spot erzielbar sein. Der Hot-Spot ist notwendig, um mit dem dann zur Verfügung stehenden Gradienten eine Streuscheibe auszulegen, die auch bei einer Ausrichtung auf mehr als 10 m nicht das Nahfeld überbelichtet. Siehe hierzu auch Formel 3.125 auf Seite 430. Dann wäre der Scheinwerfer allerdings

$$F + \frac{D}{2}\tan(\varphi) = 18{,}5 + \frac{90}{2}\tan 26 = 41\ \text{mm} \tag{3.109}$$

tief.

3.12.3 Annäherung an das reale Abstrahlungsverhalten eines Parabolreflektors

Der folgende Abschnitt kann nur eine näherungsweise Bestimmung des Abstrahlverhaltens eines Parabolreflektors sein. Motivation der Betrachtung ist die Abhängigkeit der Schärfe und Helligkeit von der Brennweite und dem Öffnungsdurchmesser.

Die verwendeten Geometriedefinitionen sind in Bild 3.152

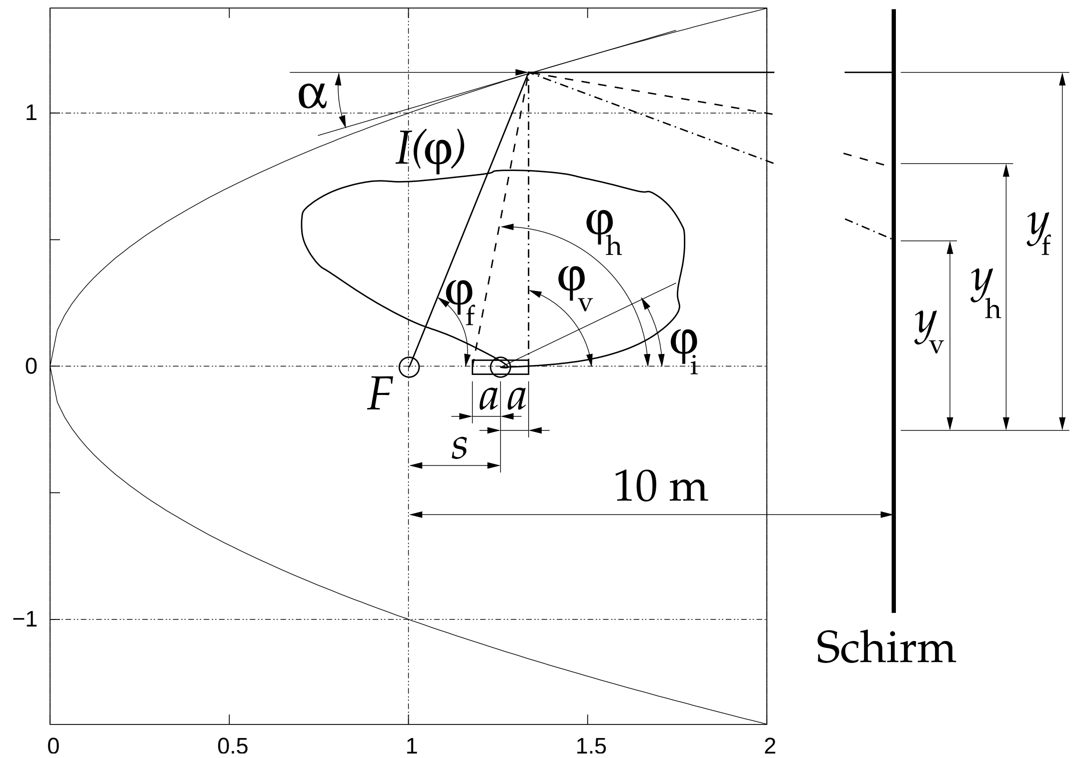


Bild 3.152: Geometriedefinitionen einer realitätsnahen Berechnung

Mit der Brennweite F, dem Offset der Platzierung der emittierende Fläche s, das Abstrahlverhalten $I(\varphi)$ und diversen Winkel φ und der halben Leuchtkörperlänge a.

Vernachlässigt wird dabei, daß die Oberfläche des Paraboles selber wieder unterschiedlich streut und dadurch das Rechenergebnis weiter verwischt. Rechnerisch wird nur ein Halbraum ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$).

Die Parabelgleichung $y(x)$, die Steigung der Parabel $y'(x)$ und der Steigungswinkel $\alpha(x)$ betragen

$$y = \sqrt{Fx} \tag{3.110}$$

$$y' = \frac{1}{2\sqrt{Fx}} \tag{3.111}$$

$$\alpha = \arctan y' = \arctan \frac{1}{2\sqrt{Fx}} \tag{3.112}$$

Als weitere Annahme wird die Projektion auf einen 10 m entfernten Schirm getätigt.

$$y_f = (x - F) \tan \varphi \tag{3.113}$$

$$y_v = y_f - \tag{3.114}$$
$$y_h = y_f - \tag{3.115}$$

Das Abstrahlverhalten $I(\varphi)$ kann z.B. für LEDs mit Lambertstrahler-Eigenschaften

$$I(\varphi) = I_{\max}\cos(\varphi) \tag{3.116}$$

angenommen werden. Besser ist es jedoch reale Abhängigkeiten aufzunehmen und zu verwenden. Diese Rechnung gibt aber nur einen Schnitt wieder, jetzt müßten entsptrechend noch andere Winkellagen vermessen und verrechnet werden.

Das ganze kann man natürlich auch durch kommerzielle Raytracer-Programme, z.B. Lucidshape von Brandenburg, erledigen lassen. Dann auch zusätzlich unter Annahme einer Streuung des Spiegels und einer streuenden Streuscheibe. Wenn man dann noch über entsprechende Strahlendateien von Lampen verfügt (aber bitte mindestens 1.000.000 Strahlen, dann fängt der Spaß erst an... Aber das geht über den hier angestrebten Umfang vorerst weit hinaus.

3.12.4 Anforderungen an die Lichtverteilung

Für folgende Betrachtungen wird vereinfachend davon ausgegangen, daß eine konstante Beleuchtungsstärke über einen möglichst weiten Bereich erzielt werden soll.

Randbemerkung: Historisch bedingt sind hier teilweise noch α und β gegenüber der allgemeinen Verwendung bei Scheinwerfern vertauscht. Ebenso ist die Laufrichtung noch nicht angepaßt. Dies wird bei nach und nach geändert.

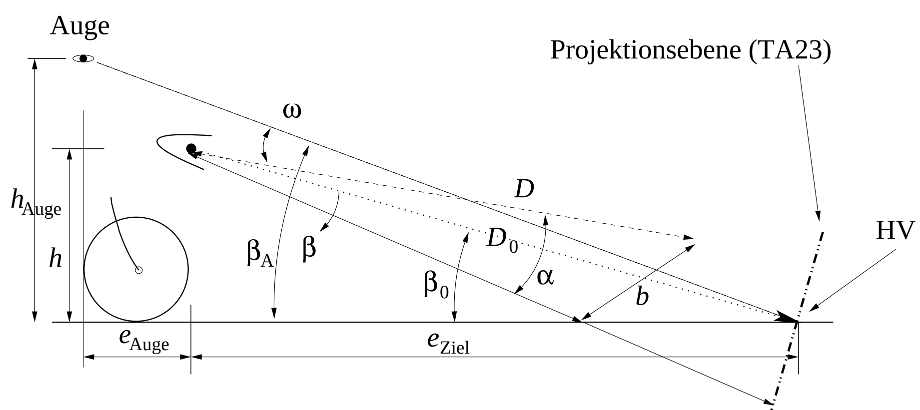


Bild 3.153: Geometriedefinitionen

Aus den geometrischen Randbedingungen und Formel (3.8) ergibt sich dann Formel 3.124. Dabei wird nicht diskutiert, ob nach TA23 der Scheinwerfer feststeht und die Meßebene eine ebene Fläche ist (m.E. Wortlaut der TA23) oder der Sensor feststeht, der Scheinwerfer verschwenkt wird und die Meßfläche dadurch zu einer Kugelfläche mutiert (meines Wissens nach beim LTI angewendet).

$$\begin{aligned}
E &= E_{\text{Ziel}} \frac{D^2}{D_0^2} && (3.117)\\
D_0 &= \sqrt{h^2 + e_{\text{Ziel}}^2} && (3.118)\\
D &= \sqrt{b^2 + h^2 + e^2} && (3.119)\\
e &= h \tan(\beta_0 - \beta) && (3.120)\\
b &= \sqrt{e^2 + h^2} \tan \alpha && (3.121)\\
\beta_0 &= \arctan \frac{e_{\text{Ziel}}}{h} && (3.122)\\
D &= h\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + (1 + \tan^2 \alpha) \tan^2(\beta_0 - \beta)} && (3.123)
\end{aligned}$$

Folglich ist

$$E = E_{\text{Ziel}} \frac{(1 + \tan^2 \alpha)(1 + \tan^2(\beta_0 - \beta))}{1 + \frac{e_{\text{Ziel}}^2}{h^2}} \quad (3.124)$$

und damit kann Bild 3.154 generiert werden.

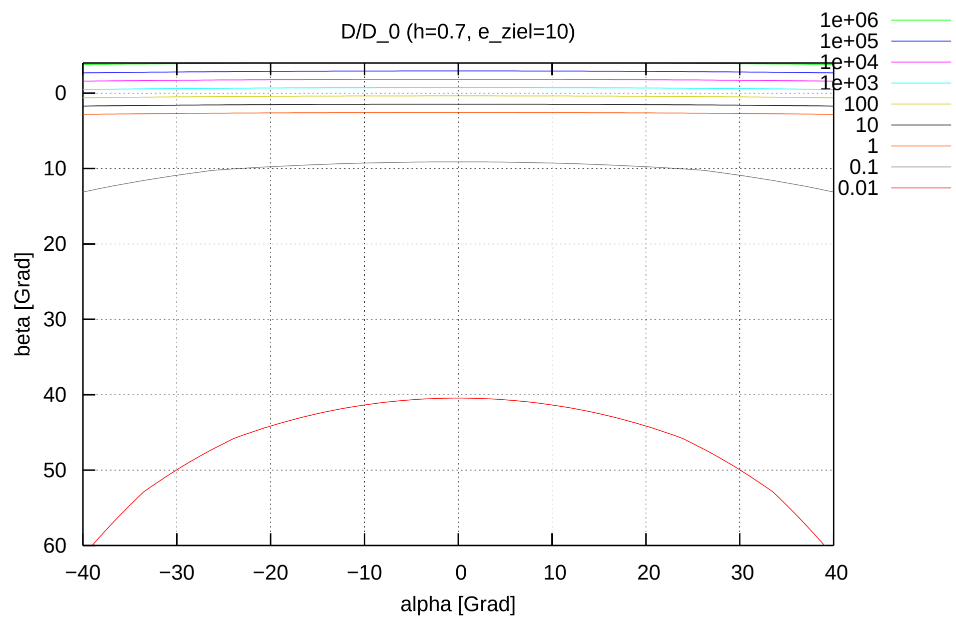


Bild 3.154: Korrekturfaktor für E um eine gleichmäßige Fahrbahnausleuchtung zu erreichen

Wenn nur der Schnitt bei $\alpha = 0$ genommen wird, dann kann Gl. 3.124 vereinfacht werden:

$$E = E_{\text{Ziel}} \frac{1 + \tan^2(\arctan \frac{e_{\text{Ziel}}}{h} - \beta)}{1 + \frac{e_{\text{Ziel}}^2}{h^2}} \qquad (3.125)$$

Diese Formel wird häufig für „Höhenschnitte“ verwendet.

Die Winkelabhängigkeit der Reflexion und der Retroreflexion auf der Straßenoberfläche wird vorerst nicht betrachtet, da sieht es bei regennasser Fahrbahn schlecht für den Fahrer aus (vgl. Seite 548 ff.). Es kann davon ausgegangen werden, daß sich die Lichtaustrittshöhe h der Fahrradscheinwerfer an klassischen Sicherheitsrädern[234] in ca. 70 cm Höhe und an Liege- und Falträdern in ca. 40–50 cm Höhe befindet. Aus den gesetzlichen Vorgaben (HV in 5 m Entfernung in 0,5 h) ergibt sich bei Sicherheitsrädern ein Neigungswinkel nach unten von 4°. Die Zulassungsvoraussetzungen geben für Lichtquellen mit mehr als 42 lm in 10 m Entfernung im Punkt HV $E_{\text{Ziel}(10\,\text{m})}$=20 lx als Mindestbeleuchtungsstärke vor. Mit den anderen Daten aus der TA23 kann man ausrechnen, daß in 4,42 m≙-5° mehr als 10,23 lx und in 7,27 m≙-1,5° mehr als 18,92 lx erzielt werden müssen. Da läge man mit konstant 20 lx darüber.

[234] Auch *Upright*, Buckelrad, Upleft, Upwrong genanntes Rad mit aufrechter Sitzposition und relativ großen Laufrädern.

Die 20 lx sind vorerst angenommen. Das menschliche Auge nimmt Leuchtdichten bzw. Kontraste war. Je nach den Reflexionseigenschaften des Gegenstandes bzw. der Fahrbahn wird die Beleuchtungsstärke umgewandelt. Soll der Fahrradscheinwerfer als Scheinwerfer und nicht nur als Positionslaterne dienen, so sind für eine genaue Auslegung der erforderlichen Beleuchtungsstärke also Kenntnisse über die erforderliche Leuchtdichte und die Reflexionseigenschaften notwendig: Versuche von Dunbar[Du38] ergaben eine minimale Leuchtdichte von 2 cd/m^2, bei der Hindernisse sicher erkannt werden können. Auch andere Untersuchungen haben diesen 1938 publizierten Wert bestätigt, so daß heute 2 cd/m^2 allgemein für Straßen mit größerer Verkehrsbelastung gefordert werden. Da die Reflexionseigenschaften des Bodens bzw. der Straße zu unterschiedlich sind kann nicht einfach von Leuchtdichte auf Beleuchtungsstärke umgerechnet werden. Spätestens hier wird der theoretisch radikale Ansatz ein Ratespiel. Deswegen folgt ein praktisches Schielen auf die Regelungen für motorisierten Verkehrsteilnehmer.

Bei Kraftfahrtzeugen sieht die ECE-Regelung 20 für Scheinwerfer mit Ablendlicht einige Richtwerte vor[Sc92]. So werden in 50 m Entfernung direkt vor dem Auto mehr als 6 lx, an der rechten Straßenseite[235] mehr als 12 lx und an der linken Straßenseite weniger als 15 lx gefordert. Die Beleuchtungsstärken sind für den Meßpunkt in 25 m Entfernung angegeben. Umgerechnet auf 10 m ergeben sich mehr als 37,5 lx vor dem Auto; auf 50 m 1,5 lx. In 25 m Entfernung werden an beiden Straßenseiten mehr als 2 lx gefordert. Das sind 12,5 lx in 10 m. Nach oben dürfen maximal 0,7 lx abgestrahlt werden. Das sind auf 10 m umgerechnet 4,4 lx, mehr als das Doppelte des bei Fahrrädern akzeptierten Wertes. Diese Werte sind mit der begrenzten Leistung am Fahrrad nicht sinnvoll zu erreichen.

Laut ECE-R112 (Halogenscheinwerfer) sind in 25 m Entfernung im Punkt B50L (Gegenspur, 50 m Entfernung, Augenhöhe entgegenkommender Kfz-Fahrer) max. 0,4 lx bzw. nach ECE-R98 (Gasentladungsscheinwerfer) max. 0,5 lx pro Scheinwerfer zulässig.

Zum Thema Blendung durch Scheinwerfer ist z.B. [Loch08] lesenswert.

Die Begrenzungen bestehen aus folgenden Randbedingungen:

1. Die Einhaltung des Grenzwertes von max. 2 lx bei 89,6°.

2. Die verfügbare Lichtleistung (die ausgeleuchtete Fläche ist auch vorgeschrieben).

3. Kurz vor dem Rad wird kein Licht mehr benötigt (da kann man während der Fahrt eh nicht mehr reagieren). Diese Zone wird vorerst mit 2 m abgeschätzt. Continental gibt 0,9 s als Zeit zwischen Erkennen des Hindernisses und vollem Bremsdruck an, in alten Führerscheinunterlagen stehen drei Sekunden.[236] Bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h=5,6 m/s sind 2 m auch für niedrigere Geschwindigkeiten ausreichend. Außerdem wird so nah am Fahrrad relativ wenig Lichtleistung benötigt.

[235] Die Straßenbreite wird mit 6 m angesetzt.

[236] So weit darf man als Radfahrer nicht sehen bzw. nicht so schnell fahren.

Daraus kann das Bild 3.155 der Beleuchtungsstärkeverteilung konstruiert werden. Man beachte die logarithmische Skalierung. Die gemessenen Daten der Scheinwerfer stammen, wenn nicht anders definiert, aus der Tabelle 3.18.

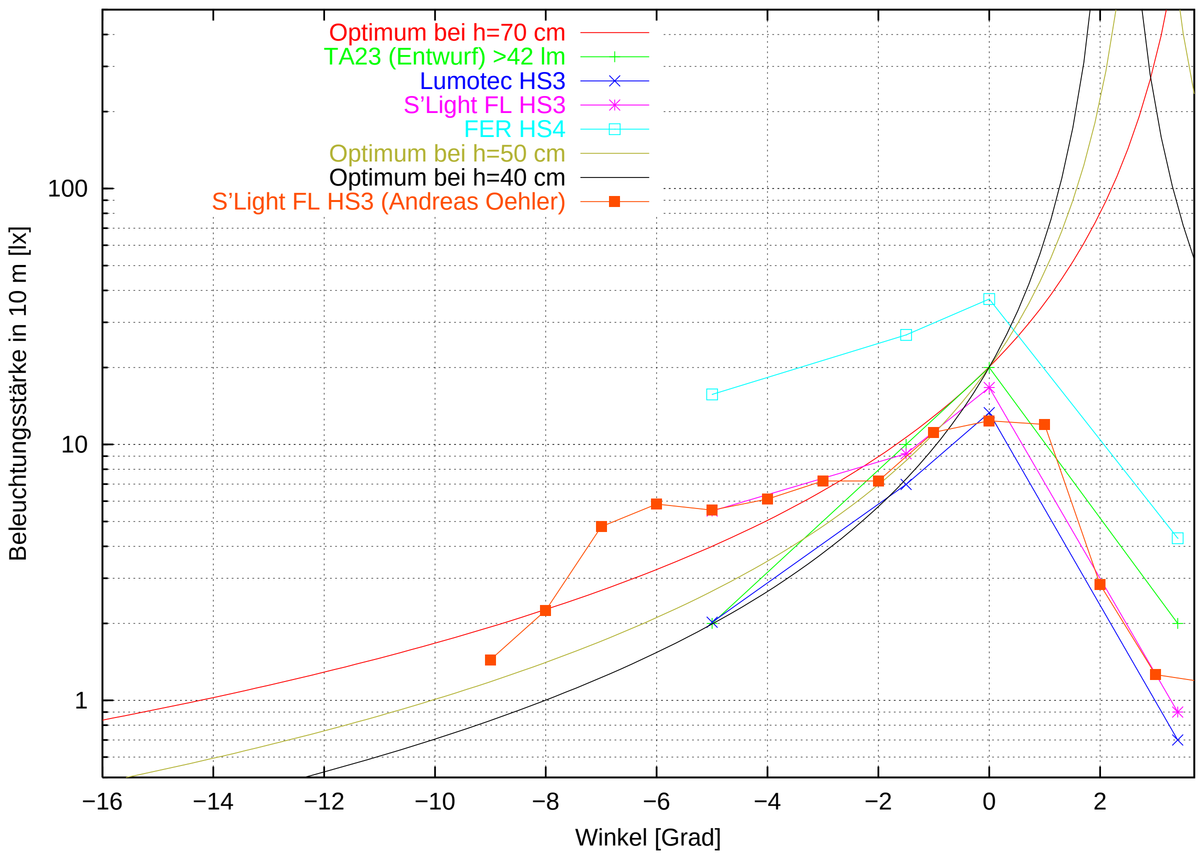


Bild 3.155: Beleuchtungsstärke (gewünscht, gefordert und erreicht)

Wie der *cut-off* über 0° erfolgt ist sowohl Geschmacksache als auch eine Frage der zur Verfügung stehenden Leistung und am Wesentlichsten: Fähigkeiten in der Herstellung der Optik.

Diverse Leute träumen immer noch von kleinen Reflektoren in Zusammenhang mit niedriger Anbauhöhe. Damit dieser Albtraum endlich ein Ende nehme wird hier ein Bild dagereicht, das durch die Verwendung einer einfachen linearen Skalierung und auf 10 lx in 10 m normierte Scheinwerfer hinreichend prägnant sein dürfte. Beispiel sind einfach nur drei ausgeführte Scheinwerfer und eine dichte Reihe von Meßpunkten.[237]

[237]Touchdown besteht aus vertikal geteilten BiSy FL in dem seitlich zwei nackte PW09 im Brennpunkt strahlen. Touchdown L ist vergleichbar mit zwei halben Lumotec aufgebaut. Näheres auf www.enhydralutris.de

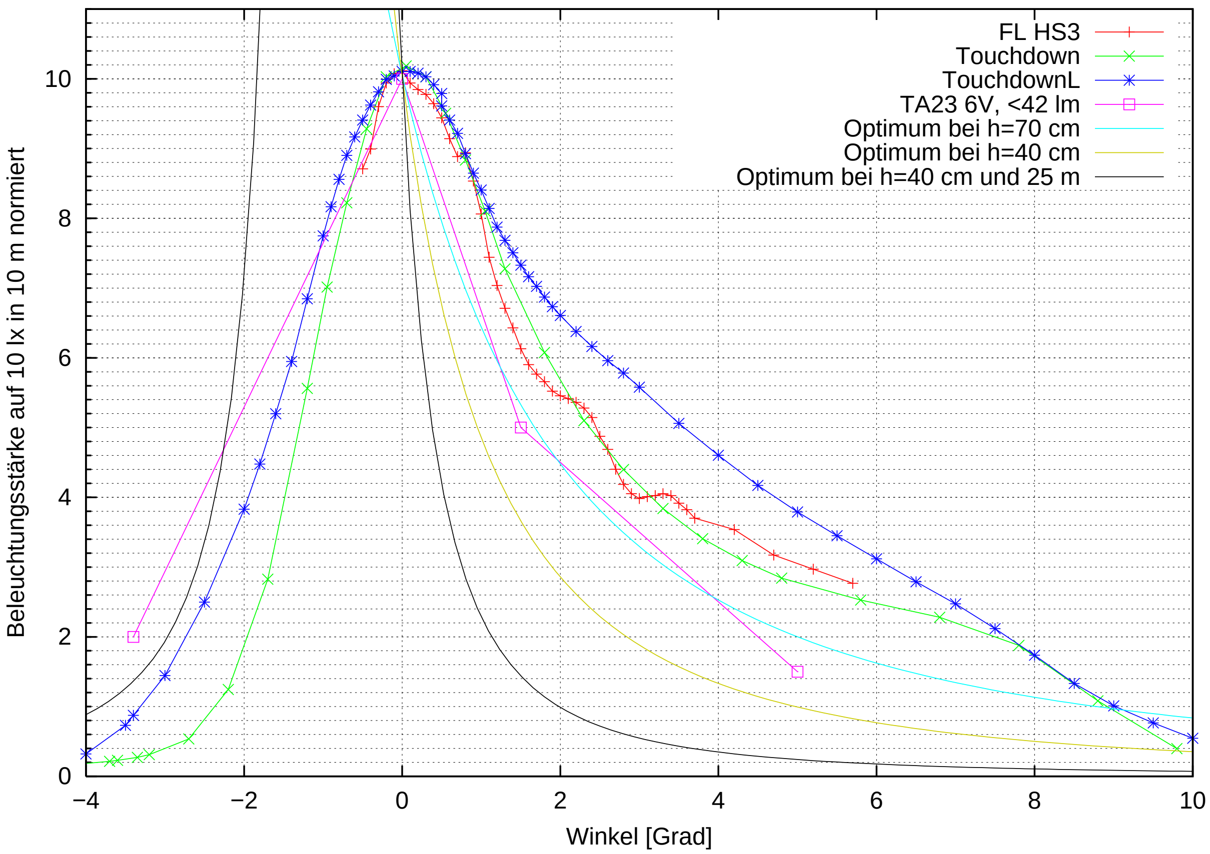


Bild 3.156: Beleuchtungsstärke, real und theoretisch erforderlich

Und je weiter man leuchten will, desto steiler muß die Höhenschichtung sein. Da hilft nur eines: Kleine lichtemittierende Fläche, große Brennweite des Reflektors und eine hohe Oberflächenqualität des Reflektors. Wer diese drei Punkte nicht beherzigt wird nie einen guten Scheinwerfer für den Fahrradbereich erhalten.

Einige weitere Anmerkungen hierzu s. S. 351.

Mit der bis hier entwickelten idealen Ausleuchtungscharakteristik direkt nach vorne können sicherlich alle leben. Die seitliche Ausleuchtungscharakterisitik ist nicht so klar definierbar. Eine schmale helle Keule spricht für viele Fahrten bei wechselnden Lichtverhältnissen und Nässe auf geraden schnellen Wegen. Eine breite Keule wird von Radfahrern bevorzug, die viele Kurvenfahrten haben oder z.B. auf unbefestigten Wege unterwegs sind. Breit und hell und lang geht aufgrund der beschränkten Leistung nicht, man muß sich für sein Optimum entscheiden oder z.B. einen zuschaltbaren (Serien-)Scheinwerfer als Fernlicht verwenden.

Für die Straßenbeleuchtung gibt die DIN 5044 Teil 2 einen üblichen Leuchtdichtekoeffizient von 0,05–

0,13 cd/(m^2·lx) an. Dies gilt bei einem Betrachtungswinkel von ca. 0,5–1,5°.[238] Bei der Beleuchtung durch den eigenen Fahrradscheinwerfer ist aufgrund des stark schräg aufkommenden Lichtes eher mit dem unteren Grenzwert, bei Nässe mit noch weniger, zu rechnen. Damit bleiben bei 20 lx ca. 1 cd/m^2 übrig. Dieser Wert liegt an der unteren Grenze zur Dunkeladaption (vgl. S. 243). Bei Nässe wiederum wird das Licht entgegenkommender Kraftfahrzeuge nur schwach gestreut und fast direkt reflektiert. Mit diesen Leuchtdichteunterschieden wird die Fahrradfahrt dann meist zum Blindflug.

Auf Reflexionsflächen ist, soweit möglich, zu verzichten, da der Reflexionsgrad b kaum über den 92 % für hochglanzpoliertes Silber liegen wird.[239] Hochglanzpoliertes Aluminium wird mit 80–87 % angegeben. Bei einem typischen Fahrradscheinwerfer werden ca. $a = 75\,\%$ des Lichtstromes reflektiert[240] und der gesamte Lichtstrom noch durch die Frontscheibe (Transmissionsgrad ca. $c = 87\,\%$) reduziert.[241]

Dann bleiben von der Nennlichtausbeute ($\eta_{\mathrm{HS3}} = 15\,\mathrm{lm/W}$) nur noch

$$\eta_{\mathrm{real}} = \eta(1 + a(b-1)) = 15\ \mathrm{lm/W} \cdot 0{,}87(1 + 0{,}67(0{,}87 - 1)) = 15\ \mathrm{lm/W} \cdot 0{,}79 = 11{,}9\ \mathrm{lm/W} \quad (3.126)$$

übrig. Die Frontscheibe ist meist als Fresnel-Linse ausgebildet und kann nur auf eine Lichteinfallrichtung optimiert werden: Entweder vom Reflektor kommendes oder von der Lampe kommendes Licht. Da bei normalen Scheinwerfern ein Großteil des Lichts reflektiert wird (vgl. S. 412 ff.), wird die Linse vorwiegend auf dahingehend ausgelegt, daß das reflektierte Licht optimal gerichtet wird. Daß heißt wiederum, daß bei normalen Scheinwerfern ca. 30 % des Lichtstromes außerhalb des zentralen Lichtkegels „verschwendet“ werden. Dies erhöht in erster Milchmädchenrechnung zwar die seitliche Ausleuchtung. Aber sobald man sich die Leuchtdichteunterschiede und die auszuleuchtenden Flächen vorstellt, geht diese Rechnung nicht mehr auf: Diese Lichtmenge ist als verloren zu betrachten!

Daraus folgt, daß bei symmetrischen Scheinwerfern mit durchschnittlicher Rücklage der Lampe fast der gesamte nutzbare Lichtstrom reflektiert wird. Damit sinkt die Lichtausbeute auf

$$\eta_{\mathrm{real}} = 15\ \mathrm{lm/W} \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}87 = 7{,}9\ \mathrm{lm/W} \quad (3.127)$$

Damit kann man sich wirklich schon im Jahre 2000 ernsthafte Gedanken um die Verwendung weißer LEDs machen.

Weiterhin verschwenden stark rückspringende Scheinwerfer mit einer Frontscheibe, die nicht als Fresnel-Linse ausgebildet ist, z.B. der Hella FF-Tech, viel Licht nutzlos nach oben.

[238] Augenhöhe 1,5 m, Betrachtungsabstand 60–160 m.

[239] Edmund Industrie Optik GmbH gibt im sichtbaren Bereich für *UV enhanced Aluminum* ca. 91 %, für *Enhanced Aluminum* ca. 97 % und für geschütztes Aluminium ca. 91 % an.

[240] Beim FL werden vom Reflektor Anteile zwischen 56 und 126° erfaßt. Das sind zwar nur ca. 7,2 sr bzw. ca. 56 % des Raumwinkels, entspricht bei der Lichtstärkeverteilung einer HS3-Lampe aber ca. 67 % des gesamten Lichtstromes.

[241] Weitere Werte s. S. 546

3.12.5 Anforderungen an das Ausleuchtungsfeld

An anderen Stellen wurde schon angerissen, daß die Grenze der seitlichen Ausleuchtung ein Streitpunkt ist.

1. Die TA23 geht auf Höhe HV ($\beta = 0°$) von $\alpha = \pm 4°$ und für $\beta = 5°$ (unterhalb HV) $\pm 4°$ (TA23(5)) bzw. $\pm 8°$ (TA23(6)) aus. Unter Annahme von HV in $e_{\text{ziel}} = 10$ m auf der Fahrbahn und einer Anbauhöhe von $h = 0{,}7$ m ergibt sich damit ein ausgeleuchtetes Feld von $\pm 0{,}701$ m in 10 m Entfernung und $\pm 0{,}313$ m bzw. $\pm 0{,}629$ m in 4,418 m Entfernung.

2. Ein weiterer Ansatz könnte sein, den Bereich vor dem Fahrrad in einer konstanten Breite, z.B. $b = \pm 1$ m auszuleuchten. Die Grenzen der Winkel sind dann von der Anbauhöhe abhängig.. . .

3. Als Erweiterung zu 2 könnte bis zu eine Entfernung e_1 vor dem Rad variabel breit (z.B. $b = \pm 2$ m ab $e = 0$ m) ausgeleuchtet werden und weiter weg konstantbreit (wie in 2).

Damit ergeben sich auf der Fahrbahn die in Bild 3.157 abgebildete Projektionen.

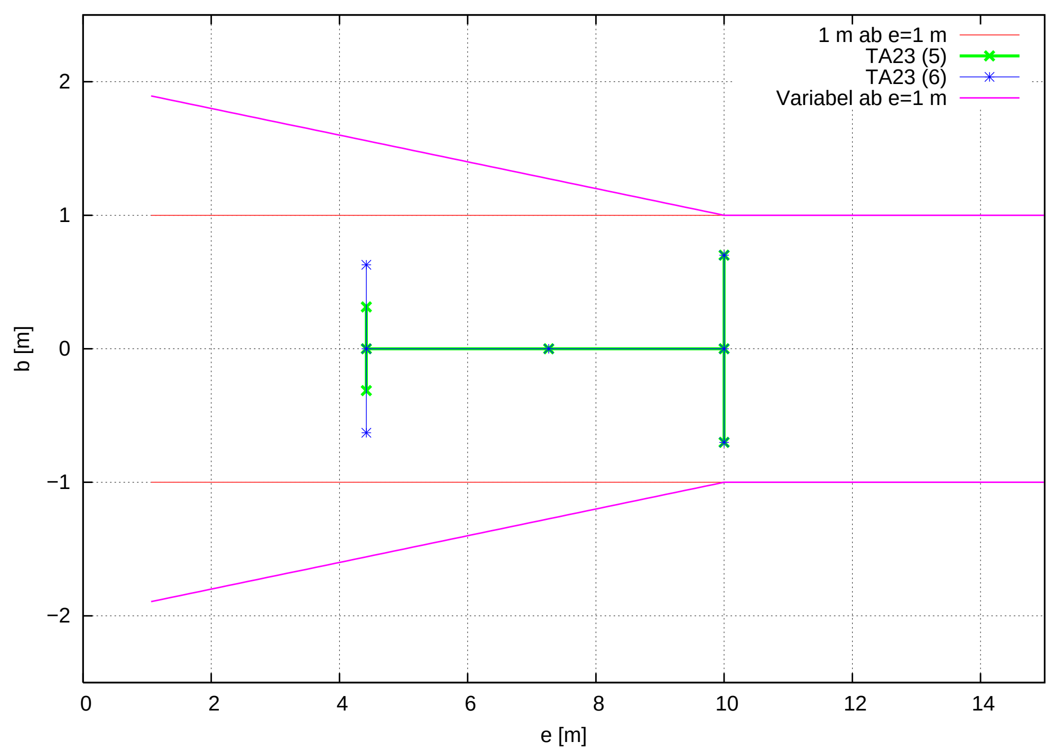


Bild 3.157: Möglicher Ausleuchtfelder in der Straßenprojekton

Scheinwerfer werden i.a. in einer Wandprojektion vermessen (vgl. Punkt 1) und konstruiert. Für diese muß die Straßenprojektion umgerechnet werden. Die Grenzen der Ausleuchtungswinkel lassen sich analytisch berechnen bzw. sind definiert:

Für den Fall 1: Siehe Seite 576 ff.

Für den Fall 2:

$$\alpha(\beta = 0) = \arctan \frac{h}{e} - \arctan \frac{h}{e_{10}} \tag{3.128}$$

$$\beta(\alpha) = \arctan \sqrt{\frac{b^2}{\frac{h^2}{\tan^2(\alpha - \arctan \frac{h}{e_{10}})} + h^2}} \tag{3.129}$$

$$e = \sqrt{\frac{b^2}{\tan^2 \beta} - h^2} \tag{3.130}$$

Für den Fall 3:

$$b = 2 - 0{,}1e \tag{3.131}$$

$$e = -\frac{0{,}2}{\tan^2 \beta - 0{,}01} + \sqrt{\frac{0{,}04}{(\tan^2 \beta - 0{,}01)^2} - \frac{h^2 \tan^2 \beta - 4}{\tan^2 \beta - 0{,}01}} \tag{3.132}$$

$$\beta(e) = \arctan \frac{2 - 0{,}1e}{\sqrt{h^2 + e^2}} \tag{3.133}$$

Damit ergibt sich mit $h = 0{,}7\,\mathrm{m}$ Bild 3.158 abgebildet.

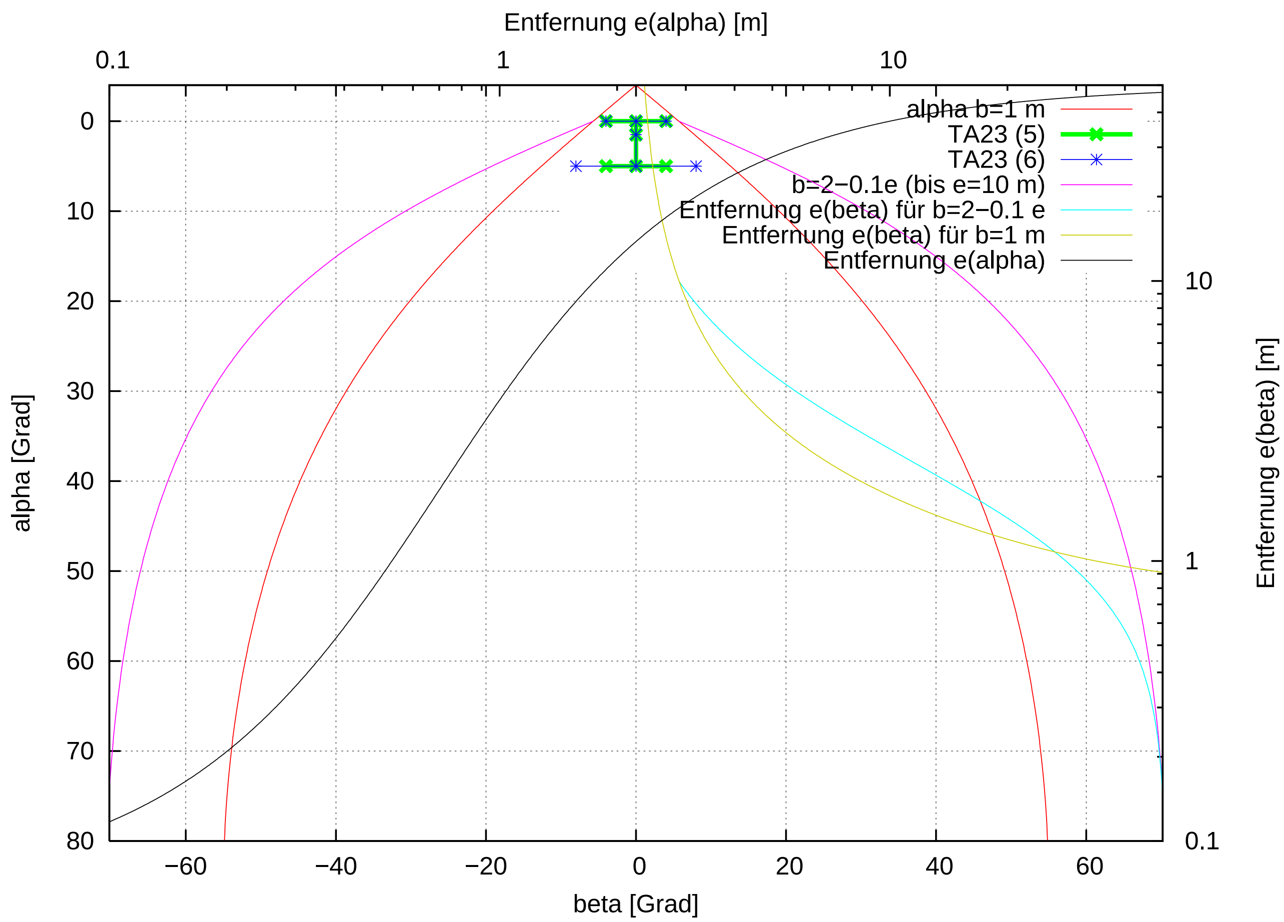


Bild 3.158: Mögliche Ausleuchtungsbilder in der Wandprojektion

Zusätzlich ist die Entfernung e vor dem Scheinwerfer in Abhängigkeit von α (für $\beta = 0$) bzw. β (für Fall 2 und 3) mit angegeben. Bitte die logarithmische-Skala für e beachten.[242]

Rechnet man für diese Ausleuchtungsbilder den erforderlichen Lichtstrom aus und bezieht ihn auf 1 lx und 1 m^2 ausgeleuchteten Boden, so ergibt sich Bild 3.159. Hierbei wird in den Schritten im Bereich +-0,5 m gerechnet.

$$E(\alpha,\beta) = \frac{D^2_{\alpha,\beta}}{D^2_{\alpha=0,\beta=0}} \frac{1}{\cos\beta} E_{\alpha=0,\beta=0} \qquad (3.134)$$

$$D = \sqrt{h^2 + e^2 + b^2} \qquad (3.135)$$

[242] Ja, es sind reichlich Kurven in Bild 3.158, aber ansonsten wären es mindestens zwei Bilder und mann kann nicht direkt untereinander vergleichen.

$$D(\alpha = 0,\beta = 0) \quad = \quad \sqrt{h^2 + e_{10}^2} = \sqrt{0{,}7^2 + 10^2} = 10{,}0245\,\mathrm{m} \tag{3.136}$$

Gleichung 3.134 enthält ein Korrekturfaktor für die Entfernungsverhältnisse und die schräge Einstrahlung. In den Grenzen α und β des gewünschten Leuchtfeldes muß diese integriert werden um den Lichtstrom zu erhalten.

To be created

Bild 3.159: Lumen pro Quadradmeter und Lux in Abhängigkeit von der Entfernung vom Scheinwerfer

Damit kann man dann ungefähr abschätzen, wie groß der Lichtstrom sein muß, den man für gewünschte Ausleuchtungsfelder benötigt. Randbemerkung: Natürlich wird allerdings nahe am Rad bei großem α der Lichtstrom ansteigen.

Rein theoretisch würden für 1 lx auf 1 m^2 wiederum 1 lm reichen (vgl. S. 3.7).[243]

3.13 Messungen an Rückleuchten

Bei den Rückleuchten wird nur ein unrepräsentativer Querschnitt getestet. Eben das, was gerade greifbar ist bzw. interessante Aufschlüsse verspricht.

3.13.1 basta

3.13.1.1 RIFF steady

Das basta RIFF steady taucht im Herbst 2009 zuerst auf. Zusammen mit dem Herrmans h-flame und dem bum LineTec ist es ein Vertreter der Rücklichter mit, über Lichtleiteffekt, verbreiterter bzw. vergrößerter Leuchtfläche. Wer hier von wem abgeguckt hat oder ob Ervin Peters Experimente dazu anstachelnd waren sei dahingestellt.

3.13.2 Bike Light

Von *Bike Light Innovation* aus der Schweiz gibt es einige Produkte.

[243] OK, da hätte ich vorher drauf kommen können:-) So habe ich wenigstens einen Weg gefunden meine Scripte zu kalibriren:).

3.13.2.1 Standlichtbirnchen (SLB)

Das Standlichbirnchen (SLB) von *Bike Light Innovation* ist eine anstatt einer B2-Birne (6 V/0,6 W) einsetzbare LED im E10-Sockel. Das SLB hat eine Standlichtfunktion integriert. Die LED ist noch mit einem klaren Harz tonnenförmig umgossen. Die Abstrahlcharakteristik ist nicht die einer B2-Birne und auch nicht die einer normalen LED im 5 mm-Gehäuse (vgl. Bild 3.160).

Die Lichtverteilung der LED ist eher rotationssymetrisch. Die einer B2 ist, je nach Schnitt, ungleichmäßig. Ist die B2-Birne mit den Fadenhaltern horizontal im Schraubsockel eingeschraubt, so verdecken diese den Faden von der Seite und die Sichtbarkeit von der Seite ist damit fraglich.[244][245]

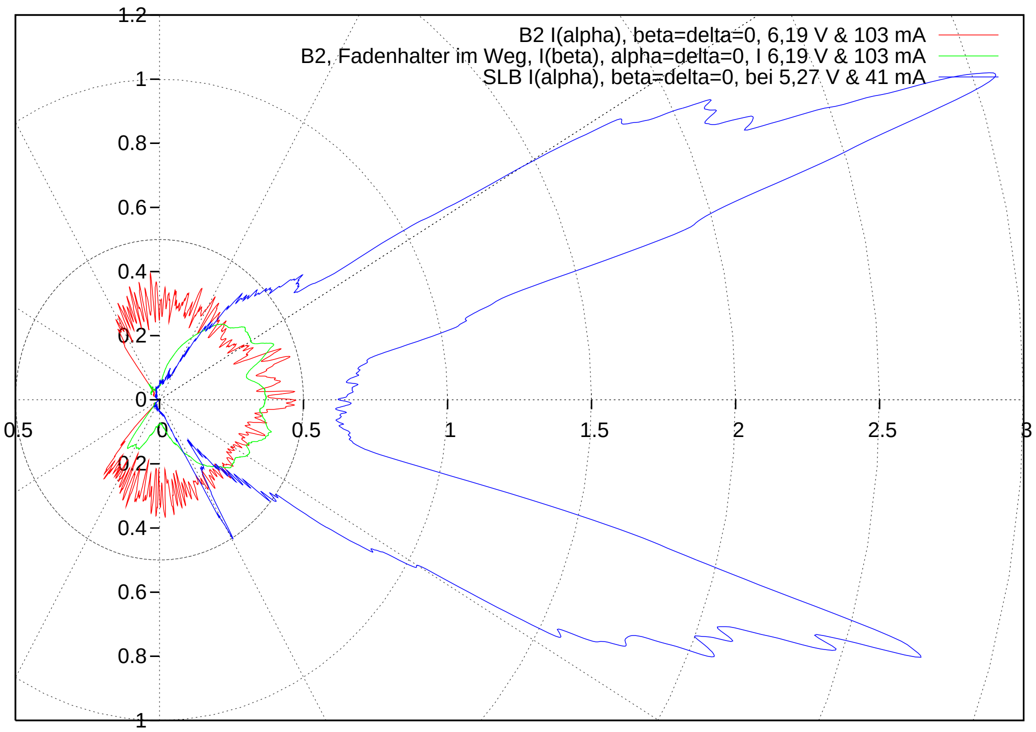


Bild 3.160: Polardiagramm der Intensität [cd] von B2 und SLB

Die stark „rauschende" Abstrahlung $I(\alpha)$ der B2, wenn die Fadenhalter nicht im Weg sind, ist damit erklärbar, daß durch lokale Ungleichmäßigkeiten im Glaskolben der Glühfaden sich in diesem mal besser, mal schlechter, spiegelt. Vergleiche Winkeldefintionen in Bild 3.141.

[244]Aber dazu sind auch mehere Kritikpunkte im Zusammenhang mit dem Sinn und Unsinn von Speichenreflektoren zu betrachten.

[245]Die Lage der Fadenhaltern ist nicht in den TAs vorgeschrieben und aus praktischen Erfahrungen zufallsgesteuert.

Direkt nach hinten ist das SLB schon bei weniger als der halben Leistung einer B2 deutlich heller als diese. Zur Seite es im besten Fall einer B2 mit horizontalen Fadenhaltern ebenbürdig. Da ist die Frage, was das Rücklicht selber aus dem SLB macht.

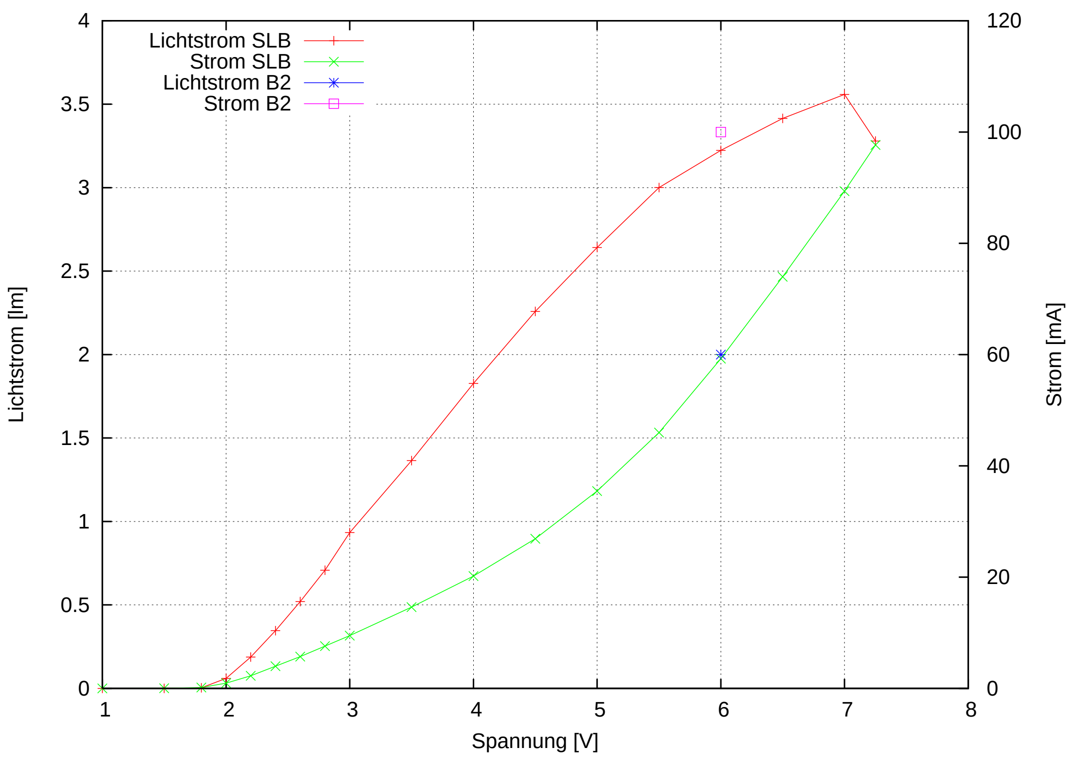


Bild 3.161: Lichtstrom und Strom der SLB bei Gleichspannung

Zu Berücksichtigen ist, daß die 2 lm der B2 durch das Rücklichtglas auf 20 % reduziert werden und das rote Licht des SLB nur auf ca. 70 %.[246] So wird klar, daß hier das SLB deutlich besser ist als eine B2. Etwas anderes wäre bei halbwegs aktuellen roten LEDs aber auch schon ein Wunder.

Bleibt jetzt also nur noch die Frage der praktischen Auswirkung auf die Lichtverteilung im realen Rücklicht. Die Lichtverteilung im Rücklicht wird an einem alten ULO 237 vermessen. Von diesem existieren auch Meßdaten mit einer B2-Birne. Die geplante Vermessung in einem bumm Toplight war nicht möglich, da das nicht so tief ausgeprägte Gewinde des SLB im bumm Toplight keinen Halt fand.

[246]Vergl. Seite 546.

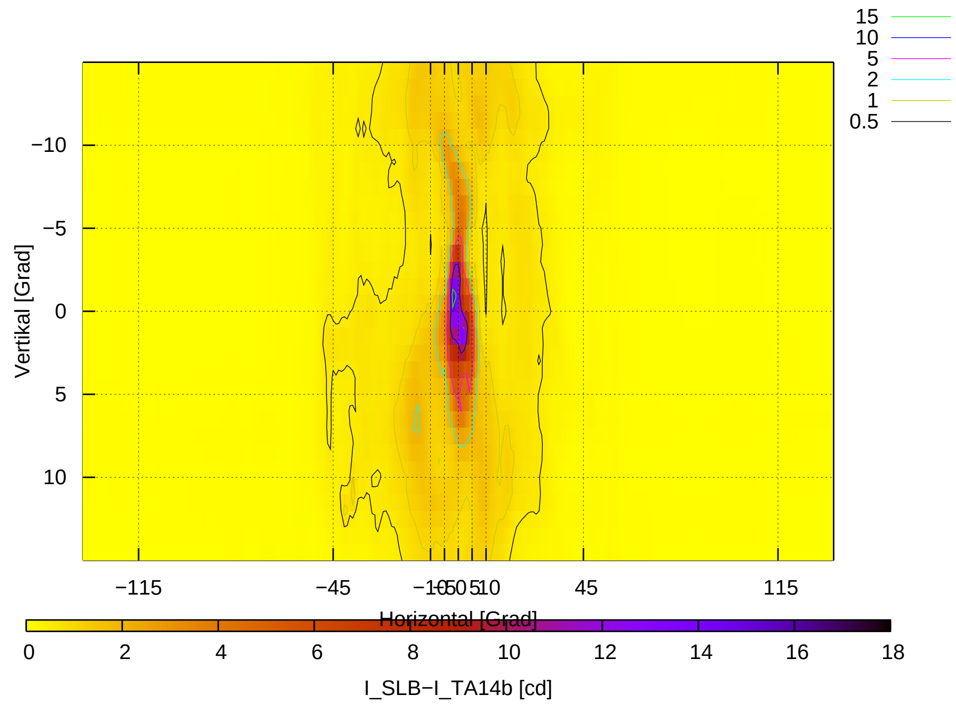


Bild 3.162: $I_{\mathrm{SLB}} - I_{\mathrm{TA\,14b}}$ im Ulo 237 bei 0,216 W

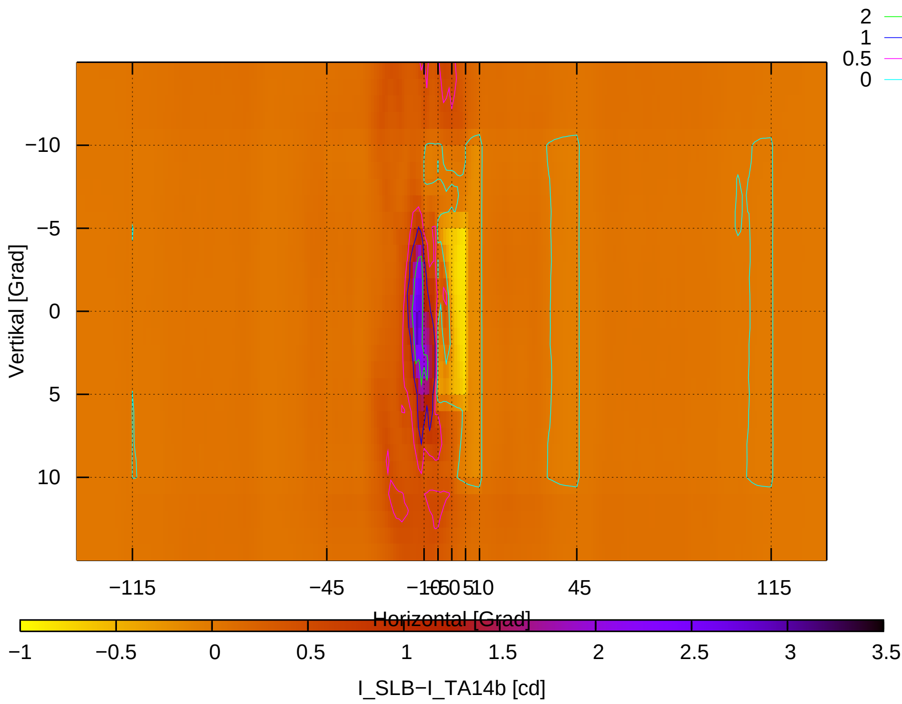


Bild 3.163: $I_{B2} - I_{TA\,14b}$ im ULO237 bei 0,6 W

Bei dem SLB im Ulo 237 ist in keinem zulassungsrelevanten Bereich die Differenz zwischen der gemessenen Intensität und der vorgeschriebenen Mindestintensität negativ. Bei der B2 im Ulo ist dies in einigen Bereichen der Fall (vgl. die Contourline 0) in Bild 3.163, also keine Erfüllung der Mindesanforderungen. Kritisch anzumerken ist, daß TA14b (5) u.U. nicht eingehalten werden kann: Das Ulo 237 mit der SLB erreicht schon bei 0,216 W mit 17 cd mehr als die zulässigen 12 cd. Wobei es garantiert Autofahrer gibt, die das als zu Dunkel reklamieren und diverse Autorücklichter diesen Wert heutzutage überschreiten dürften. Dieser Wert dürfte im realen Fahrbetrieb bei höheren Spannungen bzw. Strömen durch die SLB, vgl. Bild 3.161, noch größer sein.[247]

Über die Lebensdauer des Standlichtkondensator kann in diesem kurzen Überblick keine Aussage gemacht werden.

Zuletzt ein kritscher Punkt: Daß SLB ist in Deutschland nicht zugelassen. Dies kann im Extremfall, z.B. vor Gericht, negativ ausgelegt werden. Allerdings sind nach obigen Messungen am ULO 237 die lichttechnischen Werte eines Rücklichtes mit dem SLB besser als die mit einer B2. Fragt sich nur, ob nicht ein einfaches originales LED-Rücklicht mit Prüfzeichen nicht die sichere und preiswertere

[247]Parallel zu einem IQ-fly nimmt das SLB an einem SON bei 15 km/h ca. 60 mA auf, bei 40 km/h ca. 75 mA. Über 20 km/h ist ein Flackern am SON nicht mehr wahrnehmbar.

Lösung wäre. Das SLB ist in Deutschland über ebay für ca. 8 Euro zu erhalten. Einfache komplett LED-Rücklichter sind 2010 schon für ca. 10 Euro zu erhalten.

3.13.3 bumm

3.13.3.1 DToplight Plus

Der Markenname DToplight bzw. DToplight Plus für ein Gruppe von Diodenrücklichter von bumm ist inzwischen ein Sammelbegriff wie SON. Es existieren inzwischen mehr als vier Schaltungsvarianten (Varianten wie ohne/mit Standlicht oder Batterie/Senso nicht mitgezählt!), so kann hier nicht auf alle im Einzelnen eingegangen werden. Einige wenige sollen jedoch hervorgehoben werden. Die Unterscheidung erfolgt hier nach Platinenlayouts. Die ersten DToplights hatten noch Löschkontakte, mit denen der Kondensator entladen werden konnte (sonst wird man andauernd von Pasanten angenölt, daß das Licht noch brennen würde:-).

3.13.3.2 DToplight Plus

Diese Variante stammt aus dem Frühjahr 2000.

Das DToplight Plus von bumm kommt mit einer LED aus und ist eines der sparsamsten Diodenrücklichter auf dem Markt. Es ist sehr hell, man könnte es fast als zu hell bezeichnen.[248]

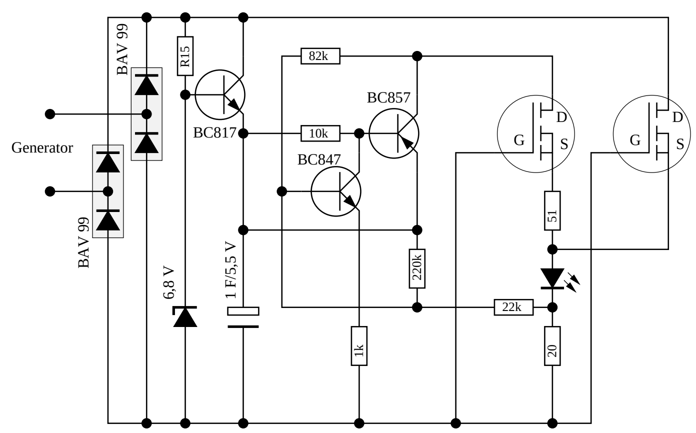


Bild 3.164: Schaltbild eines „DToplight Plus“

Es sind inzwischen mindestens zwei Varianten zu verzeichnen. Beiden ist eine Vollbrücke aus aus den bekannten Doppeldioden BAV99 gemeinsam.[249] Die Steuerlektronik hängt komplett am Gleichstrom-

[248]Wer nachts mal hinter einem DToplight hinterhergefahren ist, weiß was hier gemeint ist.

[249]Es kann vorkommen, däs ein Gleichrichterzweig verstirbt, zumindest sind beim Autor in beiden BAV99 jeweils eine Diode hochohmig geworden.

kreis. Ob die Leistungshalbleiter MOS-FETs oder z.B. Spannungsregler sind, ist noch nicht geklärt. Vorerst wurde das Anschlußbild für MOS-FETs verwendet.

Der Speicherelko wird bei einer Version direkt über die Löschkontakte (nicht bei allen Versionen vorhanden) entladen.

Die Stromaufnahme an einer Sinus-Wechselspannung von 6,43 V (TRMS) beträgt im Bereich 50–400 Hz 38,7–39,3 mA.

Ein Überspannungschutz im Sinne eines Parallelreglers ist nicht erkennbar. Diese Funktion muß vom Scheinwerfer oder vom Dynamo übernommen werden. Das kann bei defekten Scheinwerfern und defekter Scheinwerfersicherung zu einem Versagen der Elektronik führen. Aber einige Watt Dauerleistung in dem Gehäuse abzuführen ist eh nicht möglich, hier muß in jedem Fall auf die Intelligenz des Benutzers und dessen Reperaturtrieb gesetzt werden. Da eine fast identische Elektronik im verschweißten Seculite eingebaut zu sein scheint und vom Seculite auch Ausfälle bei wegfallender Glühlampe bekannt sind: Es lohnt sich auf alle Falle selber zwei Z-Dioden, z.B. 7,5 oder 8,2 V mit mindestens 1 W, [250] antiseriell an die Anschlüsse zu löten.

Ab Herbst 2000 ist ein DToplight mit zusätzlichen Überspannungsschutzdioden (zwei P6KE 8,2 V) auf dem Markt.

3.13.3.3 DToplight Plus M0601

Das M0601 ist seit Herbst/Winter 2001 im Handel. Es ist mit ziemlich vielen SMDs (ca. 22 Transistoren bzw. Doppeldioden und ca. 19 Widerstände) ausgerüstet. Damit ist ein starker Ausbau der Schaltungskomplexität zu erwarten. Inwieweit dies sich im Verbrauch äußert zeigen folgende Messungen. Dazu wird daß Rücklicht mit einer Wechselspannung veränderlichen Effektivwertes und Frequenz versorgt und der Strom und die Spannung gemessen.

Bei 6 V Effektivspannung zeigt sich im Bereich zwischen 30 und 600 Hz kein nennenswerter Einfluß der Frequenz auf den Stromverbrauch. Die folgenden Messungen werden bei 400 Hz vorgenommen.

Die Stromaufnahme ist kein Sinus sondern eher ein Trapez mit zwei Stufen, der einen Sinus versucht nachzubilden. Bei einem Exemplar wird nur eine Halbwelle zum Laden des Goldcaps herangezogen, beim zweiten Testexemplar beide.[251] Auch wird die Spannung am Speicherkondensator überwacht. Diese steigt bis auf 6 V (6,4 V zweites Exemplar) und liegt damit über der Nennspannung von 5,5 V. Zudem schlägt ein kleiner Rippel durch.[252] Ab ca. 8,5 V Speisespannung wird der Speicherkondensator noch noch mit einer großen Tastlücke geladen, auch sinkt der Lichtstrom der LED um ca. 27 %.

---

[250] Besser waren 5 W.

[251] Eine unbeabsichtigte Vorschädigung des ersten Exemplares kann nicht ausgeschlossen werden. Allerdings liefert der Leistungsverstärker maximal 35 V_{eff}.

[252] Laut einigen Herstellern von Superkondensatoren scheint ein überlagerter Ripple in gewissen Grenzen zulässig zu sein.

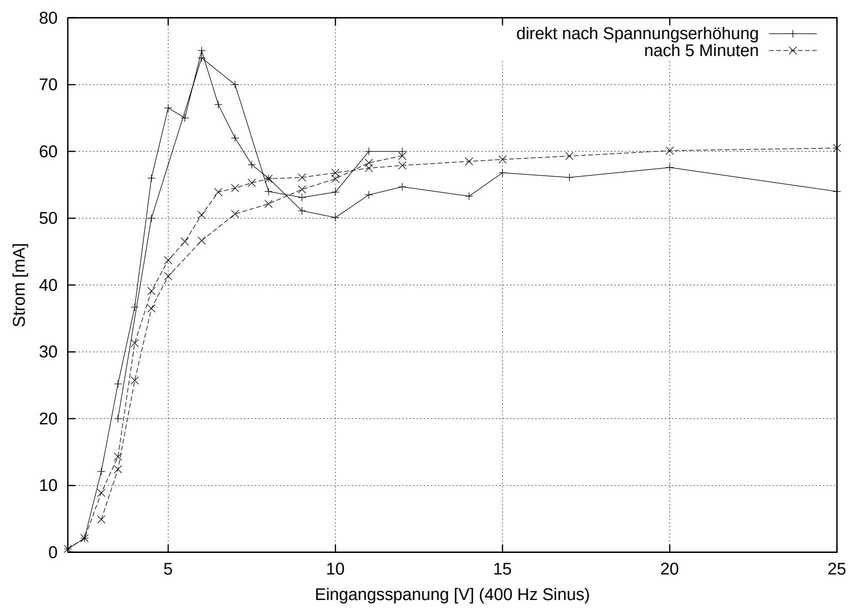


Bild 3.165: Stromaufnahme DToplight M0601

Die Stromaufnahmen in Bild 3.165 sind mit Vorsicht zu betrachten. Sie wurden zwar mit dem GDM705 bzw. dem (frisch kalibrierten) HM8011-3 aufgenommen. Aber da die Kurvenform gerade bei den hohen Spannungen eher ein „Sinus“ mit einem Tastverhältnis von 20 %, oder sogar weniger (vgl. Bild 3.166), ist sind die Meßgeräte daraufhin noch genauer zu überprüfen.[253]

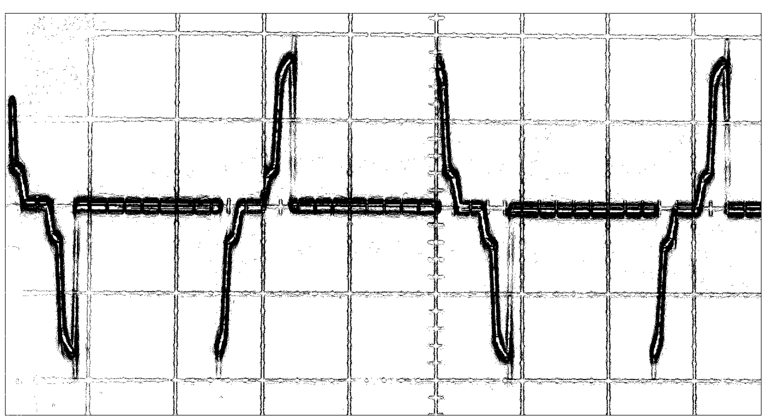


Bild 3.166: Stromaufnahme M0601 bei 20 V/400 Hz (0,1 A/Div und 5 ms/Div)

Ab ca. 12 V_{eff} wird beim ersten Exemplar ziemlich viel Leistung in einem oder zwei kleinen SMD-

[253]Und wer meint, mit galvanisch getrennten Geräten immer gut zu messen soll gerne weiter diesem Irrglauben verfallen bleiben:=(Und wieso zum Henker haben sich nicht optische Triggerein- und Ausgänge durchgesetzt?

Widerständen[254] ($10\,\Omega$ und $33\,k\Omega$) umgesetzt. Diese werden ca. 60–70 °C warm. Ein Einsatz an 12 V kann nicht bedenkenlos empfohlen werden, auch wenn die Elektronik mehrere Minuten $20\,V_{eff}$ standgehalten hat. Das zweite Exemplar hat mehrere Stunden bei 30 V/400 Hz überstanden, danach funktionierte noch die Standlichtelektronik. Allerdings ist nach einigen weiteren Stunden bei 25 V die Stromaufnahme asymmetrisch (wie beim ersten). Der komplette Ausfall vom Scheinwerfer (Lampe und Begrenzungsdiode) kann bei längeren Fahrten und Nabendynamos (es gibt viele Alltagsradler, die aus „Faulheit“[255] auch häufig tagsüber mit Licht fahren) also zu Schäden führen.

Neuere Varianten werden anscheinen mit einer P6KE 9V1 gegen Überspannung bei Aufall des Frontscheinwerfers gesichert. Dies hat auch zur Folge, daß Leistungsgeregelte Scheinwerfer, z.B. der Inoled, am Nabendynamo nicht in den Leistungsregelbreich kommen.

3.13.3.4 Seculite Plus

Das Seculite Plus (~~~K89) von b&m ist neu. Es kommt mit einer Diode und ein bißchen Optik aus.

3.13.3.5 Ixxy

Das Seculite Plus (~~~K993) von b&m, Type 383, ist ein kleines Rücklicht mit eingebautem Akku und Ladeanschluß über einen Micro-USB Anschluß.

Die Montage erfolgt werkzeuglos mit einem Gummiring. Vorgesehen ist eine Sattelkerze. Kleiner Rohre (z.b. 10 mm Durchmesser von Gepäckträgern sind nicht vergesehen.

Der Akku ist eine kleiner LiIon-Akku 1CR14280 mit 350 mAh. Die Selbstentladung ist gering. Einsatzbereitschaft nach mehr als einem halben Jahr Lagerung ist kein Problem.

Bei unglücklichemm Sturz kann sich intern die Verschweißung der Lötfahnen vom Akku lösen und/oder der Harken für den Gummiring abbrechen. Beides ist mit Heimmitteln reparierbar. Die Ultraschallverschweißung des Gehäuses kann mit den gummierten Backen eines Schraubstocks vorsichtig aufgebrochen werden. Danach der Akku wieder angelötet werden. Der Harken mit z.B. aufgekklebten 1 mm dickem Blech ersetzt werden.

3.13.4 Cateye

3.13.4.1 Cateye TL-LD300

Das alte, nicht zugelassene (da Blinkfunktion möglich und keine unnütze Batterie entleerende Batterieanzeige-LED) TL-LD300 von Cateye. Schon seit 1994 im Gebrauch, mit einer 3 V-Lithium Batterie (CR 17335) betrieben.

[254] Baugröße 0603, 0,063 W

[255] Faulheit den Lichtschalter zu bedienen.

3.13.4.2 Cateye TL-LD300G

Hier ein gebrauchtes, aber neuwertigkes, TL-LD300G (~~~K 40003) von Cateye. Es wiegt ohne Adapter und Akkus 50 g.

Es ist ungeregelt, wie aus Bild 3.167 ersichtlich ist. Die Low-Bat-LED fängt beim Unterschreiten von 2,4 V an zu leuchten und hört beim Überschreiten von 2,5 V auf zu leuchten.

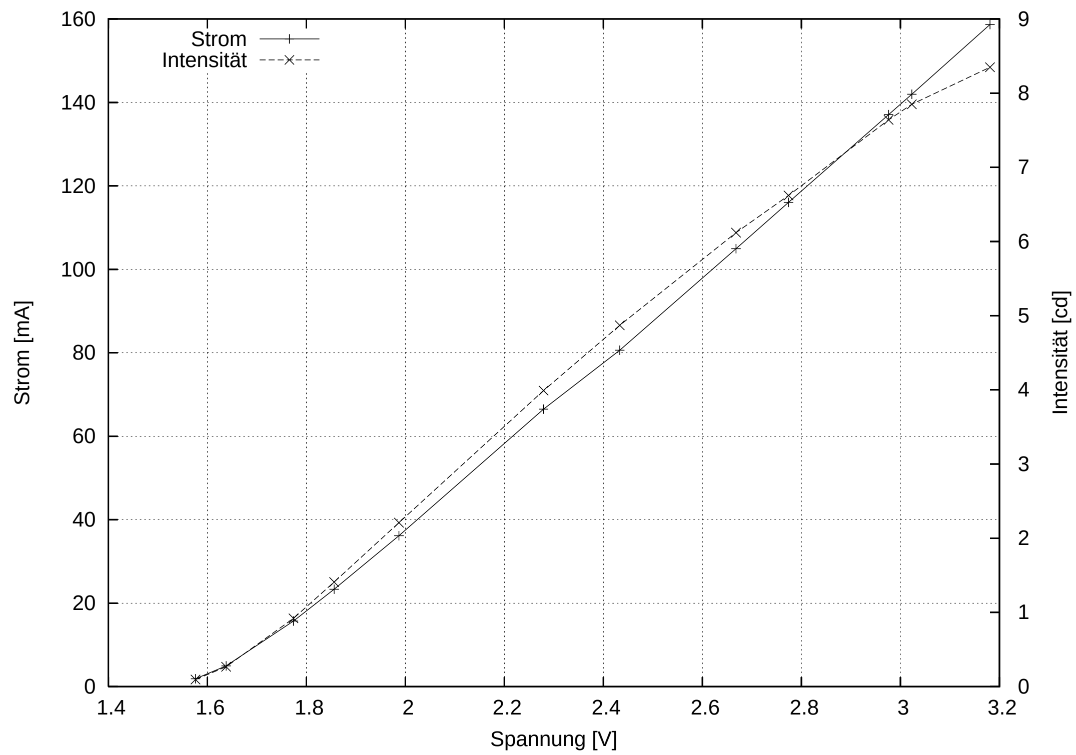


Bild 3.167: Einfluß der Betriebsspannung auf Stromaufnahme und Intensität des Cateye TL-LD300G

3.13.4.3 Cateye TL-LD1000

Von Günther Schwarz für Messungen geliehen bekommen. Es wiegt ohne Adapter und Akkus 63 g. Es hat keine Zulassung in Deutschland. Auch ist es laut TA 14b (5) keine bekommen.

Es ist ungeregelt, wie aus Bild 3.168 ersichtlich ist.

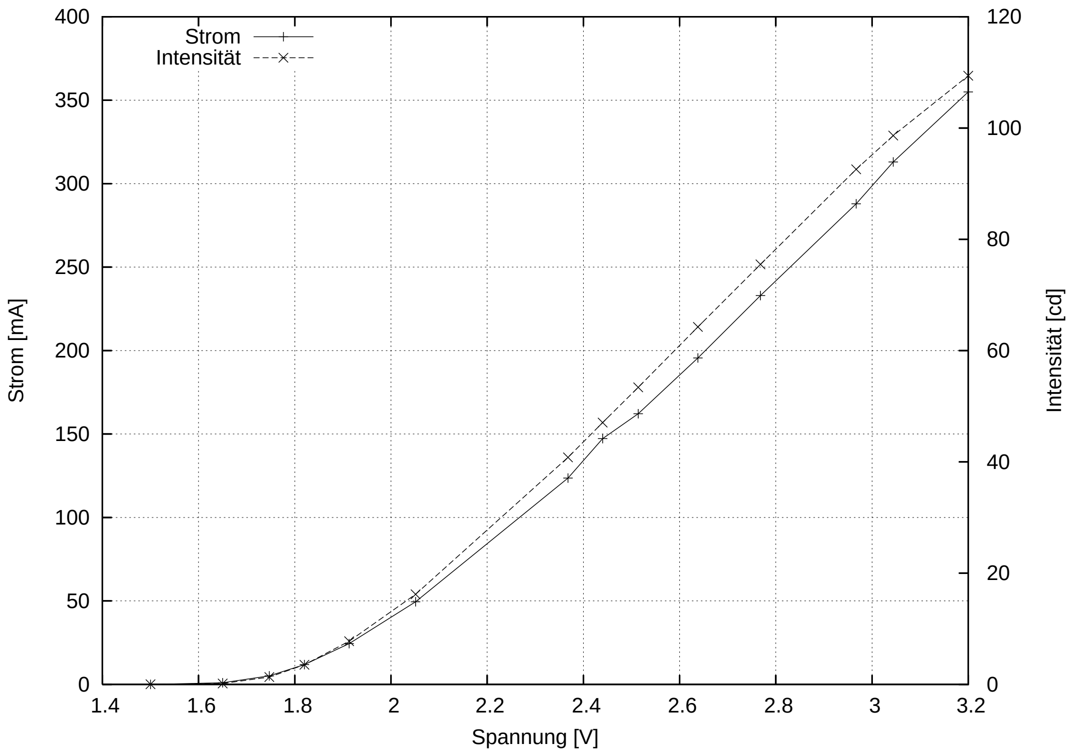


Bild 3.168: Einfluß der Betriebsspannung auf Stromaufnahme und Intensität des Cateye TL-LD1000

3.13.5 DT

3.13.5.1 S'Light RL

Das S'Light RL (~~~K30027) gehört zum S'Light-FL bzw S'Light-FLE von DT und wird derzeit (Sommer 1999) z.B. über Conrad Electronic verramscht. Es ist bei der Betrachtung der elektrischen Kennwerte mit Vorsicht zu genießen.

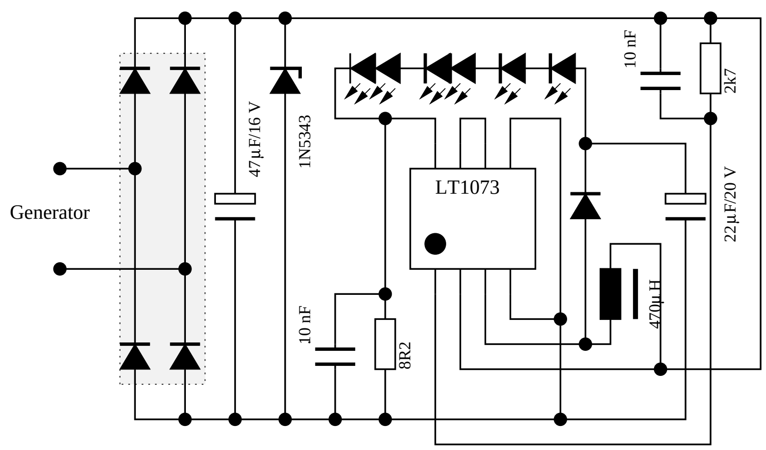


Bild 3.169: Schaltbild DT S'Light RL

Das Rücklicht hat 4 Dioden davon zwei sehr helle direkt nach hinten und zwei mit Doppelchips im Winkel von ca. 40 Grad zu jeder Seite. Die Begrenzerdiode 1N5343 ist eine 7,5 V/5 W-Z-Diode. Der Schaltregler, ein Linear Technology LT1073, wird im Step-UP-Modus betrieben und hat dann eine maximale Eingangsspannung von 16 V.

Die Stromaufnahmen des S'Light in Abhängigkeit von der Spannung und der Frequenz zeigen die Bilder 3.170 und 3.171. Die Messungen werden an zwei unterschiedlichen S'Lights vorgenommen. Das S'Light in Bild 3.170 wurde durch eine kurzzeitige Überspannung bei den hohen Frequenzen (nachdem die 50 Hz-Messungen schon durchgeführt waren) eventuell beschädigt.

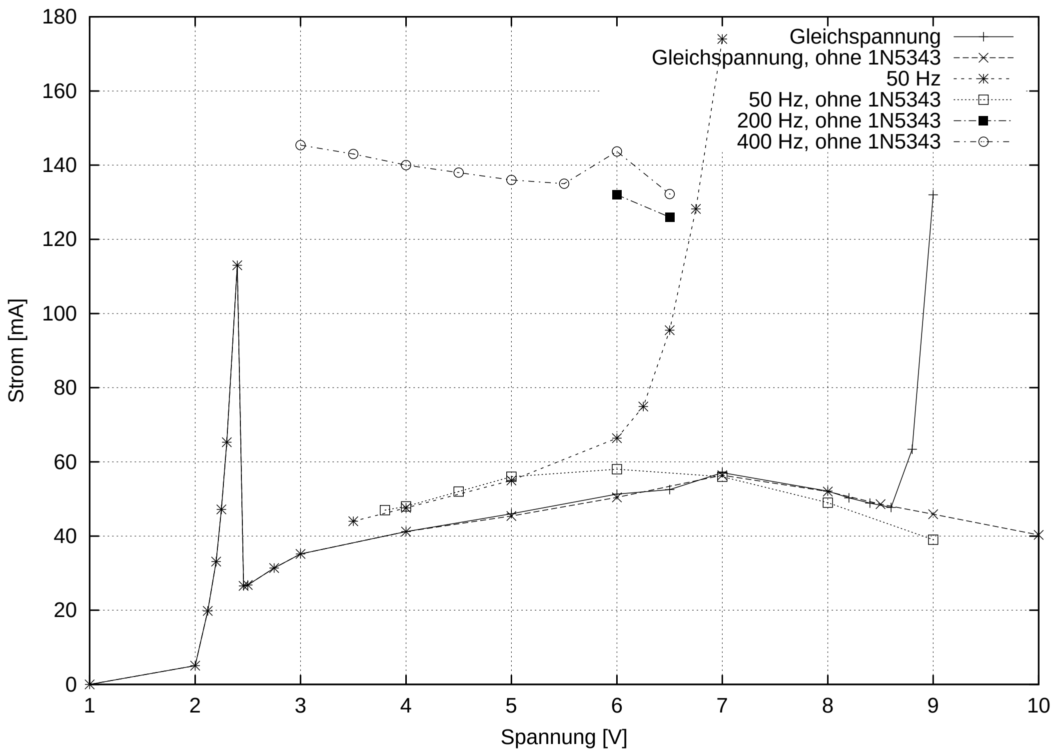


Bild 3.170: Stromaufnahme S'Light RL in Abhängigkeit der Spannung

Daß der Strom im Betrieb an Gleichspannung erst bei ca. 8,8 V stark ansteigt liegt an den Gleichrichterdioden. Deren Durchbruchspannungen müssen zu den 7,5 V der 1N5343 addiert werden, so daß sich eine Durchbruchspannung von ca. 8,7 V ergibt. Daß die Spannungsbegrenzung bei einer Wechselspannung bedeutend früher einsetzt ist dadurch erklärbar: Bei einer Effektivspannung von 6,2 V liegt ein Scheitelwert von 8,7 V vor. Ab U_{eff} von 6,2 V setzt schon die Begrenzung ein. Der *peak* bei 2,4 V ist mit dem Anlaufen des Wandlers zu begründen. Unter einer Effektivspannung von 3,5 V@50 Hz blinkt das Rücklicht.

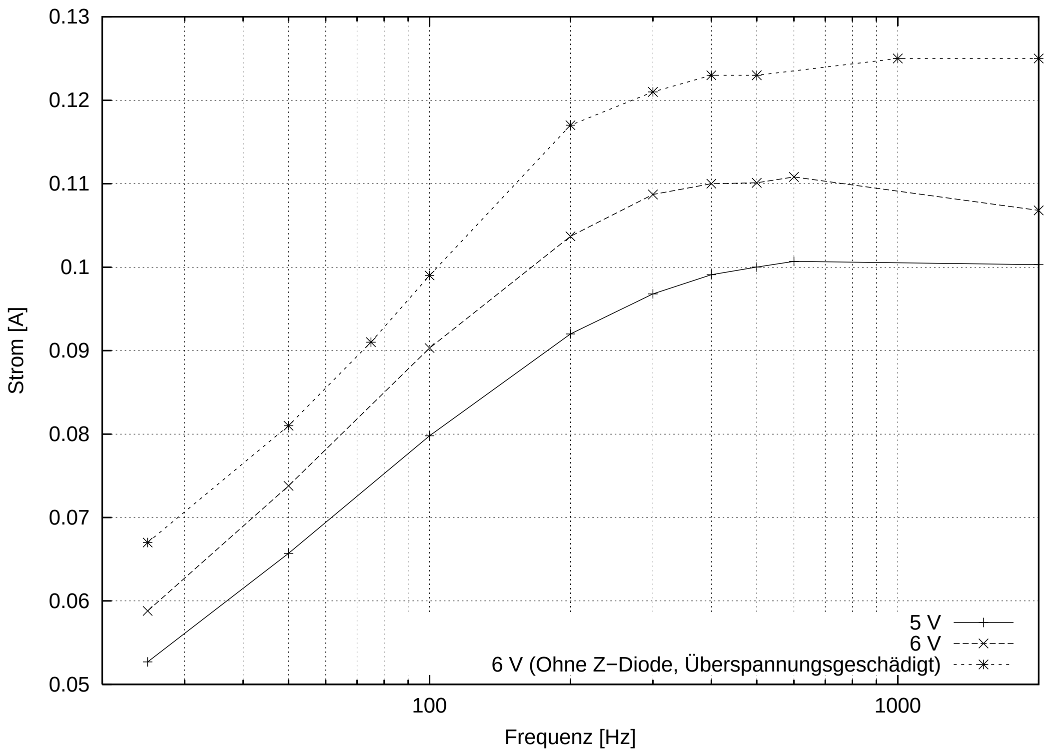


Bild 3.171: Stromaufnahme S'Light RL in Abhängigkeit der Frequenz

Bei den am Fahrrad eher vorkommenden Frequenzen bis 400 Hz (s. S. 481) steigt die Stromaufnahme stark an. Hier scheint der Glättungskondensator mit 47 µF der Verursacher zu sein, er wird deutlich warm.

Das S'Light wurde seinerzeits zusammen mit dem FL/FLE und dem dazugehörigen Nabendynamo RND (s. S. 116) auf den Markt gebracht. Der RND arbeitet als zehnpoliger Generator mit einer Übersetzung von vierzehn ungefähr im Frequenzbereich normaler Fahrraddynamos (ungefähr 10 h Hz/km). Wenn das S'Light bei den geringeren Frequenzen getriebeloser Nabendynamos betrieben wird, dann ist es bedeutend sparsamer.

3.13.6 Eigenentwicklungen

Ja, man kann sich sowas selber bauen.[256] Es ist zwar relativ teuer, hat aber dafür gegenüber den meisten kommerziell erhältlichen noch diverse Vorteile, was die Ausnutzung und Leuchtdauer der Leuchtdioden (LED) angeht.

[256] Früher mußte der Autor mangels Angebot, heute ist er bockig und baut teilweie weiterhin selber:=)

3.13.6.1 Eigenbau 1

Es paßt als Drahtigel[257] direkt in ein b&m Toplight rein. Das Schaltbild zeigt das Bild 3.172. Dies ist beileibe nicht die einzige Möglichkeit, weitere Beispiele findet man z. B. in diversen Elektors (aus dem Franzis-Verlag), so z.B.: Heft 2/95 S. 60 ff.[258] auf schwierig zu beschaffenden Schaltwandler-ICs auf. Weitere Schaltbilder findet man z.B. wenn man im Artikelarchiv der Elektor www.elektor.de oder auf www.smial.de/elektor.html sucht.

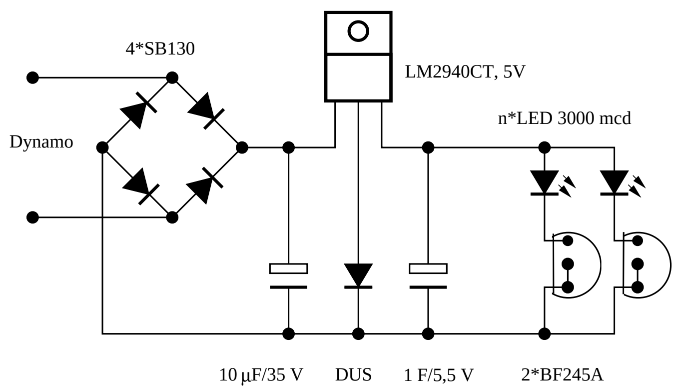


Bild 3.172: Schaltbild des Diodenrücklichtes

Die in Bild 3.172 vorgestellte Schaltung nimmt mit einer LED, wenn der Goldcap erst einmal geladen ist,[259] ca. 30 mA auf, wovon 10 mA vom Regler verbraucht werden.

Eh ich es vergesse: Es gibt auch noch eine andere Version hochkapazitiver Kondensatoren. Endrich (Tel. 07452/1470) in Nagold führt z.B. 2,5 V/140 F mit vernachlässigbarem Innenwiderstand in ca. 20 mm Durchmesser und 70 mm lang (Stück ca. 22 DM netto). Die gibt es auch in kleineren Baugrößen/ Kapazitäten.

Die Bauteile können auch vergleichbare sein. Quelle ist hier der Conrad-Electronic-Katalog.[260] Si-

[257] Fliegender Aufbau, keine Platine. Die Bauteile sind direkt aneinandergelötet.

[258] 10/98 mal aufgebaut und für untauglich befunden, zu kurze Leuchtdauer (45 Sekunden in der dort vorgestellten Version). Halt, erstmal unter Vorbehalt: Der Autor hat eine Drossel mit schlechtem Gütefaktor verwendet! Mit einem vernünftigen Schalenkern (Siemens P 11x7, $A_l = 250$) schafft die Schaltung bei 17 mA ca. 2,5 Minuten bei nahezu unveränderter Helligkeit und nimmt nur 23 mA an 6 V= auf. Auf die Spule kommt es an. Bei 6,5 V_{eff} sind es bei 50 Hz 69 mA, bei 400 Hz 76 mA.

[259] Goldcaps funktionieren über Ionentransport durch eine semipermeable Wand. Dies verursacht einen, gegenüber normalen Elektrolytkondensatoren, deutlichen Innenwiderstand von mehreren Ohm. Anscheinend kann man sagen: Je größer das Bauvolumen, desto geringer der Innenwiderstand. Zumindest dauert die Ladung bei den Typen von Conrad deutlich länger als bei denen von Tokin, die bumm etc. verwenden. Hochkapazitive Kondensatoren gibt es inzwischen bis zu 4 kF/2,3 V (Stand 10/98). Eine relativ gute Einführung in Doppelschichtkondensatoren oder auch Goldkondensatoren bzw. Goldcaps findet man in [Pana91].

[260] Conrad Electronic, Klaus-Conrad-Straße 1, 92240 Hirschau. Conrad hat in einigen Punkten Apothekenpreise. Andere Elektronikversender sind Segor (Berlin) Völkner-Elektronik (Braunschweig) (gibt es die noch?), RS-Elektronik, Bürklin und Schuricht (Bremen), wobei sich letztere mehr auf gewerbliche Abnehmer spezialisiert haben.

cherlich sind die Bauteile auch beim Elektronikhändler um die Ecke zu erhalten. Bei Conrad bezogen kostet der Spaß ohne Gehäuse ca. 30 DM, wobei der Goldcap mit fast 10 DM der teuerste Einzelposten ist.

Funktionsweise: Der Brücken-Gleichrichter aus den vier Schottky-Dioden[261] (SB130) richtet die Wechselspannung vom Dynamo gleich. Der kleine Elko (10 µF/35 V) sorgt für eine einigermaßen gleichmäßige Versorgungsspannung des Low-Drop[262]-Spannungsregler (LM2940). Der Spannungsregler erhält durch die Diode (DUS oder 1N1001) eine um 0,6 V hochgezogene Masse, so daß der Goldcap (1 F/5,5 V) besser ausgenutzt wird. Aus dem Goldcap werden dann die Leuchtdioden (3 cd) über die Feldeffekt-Transistoren (BF245) als Konstantstromsenke mit ca. 7–16 mA betrieben. Die BF245 FETs streuen ein bißchen, ausprobieren! Die A-Typen laufen bei mir ohne Widerstand (zwischen den beiden kurzgeschlossenen Beinchen) mit ca. 2,3. . . 4 mA, die C-Typen mit 11. . . 19 mA.

Das hier abgebildete Schaltbild kann elektrisch im wahrsten Sinne des Wortes „nach hinten losgehen“: Festspannungsregler sind nicht dafür gebaut, eine höhere Ausgangsspannung als Eingangsspannung angelegt zu bekommen, was im Standlichtfall aber passiert! Das kann einfach verhindert werden, indem hinter den Ausgang einfach eine Diode (vgl. Tabelle J.1) geschaltet wird. Aber nicht alles wird so heiß gegessen wie es gekocht wird: Beim Autor funktionieren mehrere Exemplare auch ohne Schutzdiode.

Über Leuchtdioden fallen bei Nennstrom von i.d.R. 20 mA bei roten ca. 1,7–1,8 V, bei gelben ca. 1,9–2,0 V ab. Die BF245 haben einen gemessenen Spannungsabfall von mindestens 0,04 V. Bei drei Dioden á 16 mA als Last kann das Licht noch nach mehr als 3 Minuten ein deutlich sichtbares Licht geben, mit einer Diode ist es nach 3 Minuten fast unverändert hell.

Drei Leuchtdioden sollten für ein Rücklicht locker ausreichen. Es reicht z. B. eine 10 mm-Diode im Top-Light, wenn man den seitlichen Lichtaustrittsbereich mit 400 er Schmirgelpapier bearbeitet. Der axiale Lichtaustritt (Durchmesser ca. 4 mm) darf nicht bearbeitet werden. Bei der Verwendung von drei 5 mm-Dioden kann man diese im Reflektor leicht auffächern und erreicht so eine gute Seitensichtbarkeit.

Martin Schöfferl aus München verwendet in seinem Rücklicht 16 Dioden. Damit ist es m.E. in der Helligkeit zwischen Autorücklicht und Autobremslicht einzuordnen. Man muß ja nicht alle Dioden an den Kondensatorzweig hängen.[263]

Der Low-Drop-Spannungsregler könnte sicherlich auch durch eine einfache Z-Diode ersetzt werden, bloß das diese dann eine ganze Ecke Leistung in Wärme umsetzt. Die teurere Lösung ist die elegantere. So kann man mit einer 10 mm Diode ein Rücklicht basteln, das mit unter 30 mA Stromaufnahme ausreichend leuchtet. Es gibt auch schon zugelassene Rücklichter mit nur einer LED.

Zur Dimensionierung mag folgendes dienen:

[261] Schottky-Dioden weisen eine kleinere Durchbruchspannung als Silizium-Dioden auf und dadurch funktioniert das Licht schon bei geringeren Geschwindigkeiten.

[262] Zur Begründung siehe Fußnote 261

[263] Martin hat aber auch einen selbstgebauten 50 W-Drehstromgenerator (Bauvolumen kleiner als ein UNION-Walzendynamo) an seiner Kreuzotter.

- Im schlechtesten Fall (ausgefallenes Vorderlicht, hochohmige Supressordioden, Kondensator voll) beim Leerlauf liegt ein $\hat{U}$ von leicht über 40 V am Gleichrichtereingang. Die Dioden im Gleichrichter reichen diese Spannung fast unreduziert an den Spannungsregler weiter. Dessen Verhalten bei diesen hohen Spannungen ist fraglich. Wenn der dort eingebaute Längsregler-transistor durchbrennt, so wird der Rest der Schaltung auch mit den 40 V versorgt und das wird schnell teuer.

- Im Lastfall reduzieren die Z/S-Dioden im Vorderlicht $\hat{U}$ auf 7,8 V, damit liegen ca. 7,2 V nach der Gleichrichtung vor. Würde jetzt ein normaler Spannungsregler (z.B.: 78S05) mit 2–3 V Spannungsabfall verwendet werden, so bliebe keine Reserve für den Regeler übrig, während ein Low-Drop-Regler mit ca. 0,5–1 V einen größeren Betriebsbereich aufweist.

Als ausdrückliche Warnung: Sowohl bei der Verwendung von Z-Dioden wie beim Spannungsregler kann bei nicht vorhandenem Vorderlicht die Elektronik zerstört werden. Die Belastung des Dynamos ist dann zu klein, die Spannung steigt an und liegt dann über der zulässigen Eingangsspannung des Reglers (ca. 30 V) bzw. die Schottky-Diode verbrät zuviel Leistung, und brennt durch. Als Folge liegt u.U. die volle, gleichgerichtete Dynanmospannung an Goldcap und Dioden an und diese brennen dann auch durch![264] Aber bisher hat die Schaltung ein paar mal den Ausfall der vorderen Glühlampe über eine länger Zeit überlebt.

Der ganze Drahtigel kann in ein b&m-Toplight eingebaut werden, wenn der Lampenträger und einige Abstandsnippel abgeschnitten werden. Zum Beispiel wird der Igel dafür in drei Baugruppen aufgeteilt: Ladeelektronik, Goldcap und Leuchtdioden mit BF245. Die Ladeelektronik-Gruppe kommt rechts neben dem Lampenfach in den Reflektor, der Goldcap in die linke Aussparung. Die Leuchtdioden mit den Stromreglern werden mit Heißkleber in den Reflektorschirm eingeklebt. Positionierung so, daß man beim von hinten d'raufgucken die angeschliffenen Seiten der Leuchtdioden im Reflektor sieht.

Das ganze wird dann mit Heißkleber zusammengeklebt. Natürlich aber erst, nachdem längere, nichtrostende Schrauben mit Heißkleber in das Rücklicht zur Montage eingeklebt wurden.

Dies ist nicht die einzige Schaltungsvariante, sie funktioniert aber seit mehreren Jahren ohne Ausfall an mehreren Rädern sehr zuverlässig.

3.13.6.2 Dino

Dino mag hier nur als Kurzfassung gelten für eine superhelle 10 mm LED, die in einem alten ausgehöhlten Toplight implantiert wurde (nach Resektion der B2-Lampe)

[264] Wie Goldcaps versagen weiß der Autor nicht. Wenn sie zu lange mit zu hoher Spannung betrieben werden, wird die semipermeable Wand löchrig. Normale Elkos haben häufig äußerst spektakuläre Eingänge in den Elektronikhimmel:=) Ansonsten siehe Seite 540 ff.

3.13.6.3 b&m 339 LED

In das b&m 339 hat der Autor die Elektorschaltung (10/98) mit einer 10 mm-LED eingebaut. Die LED ist an den Seiten leicht angeschliffen. Dadurch wird nicht mehr so viel Licht durch Totalreflexion direkt nach hinten gesammelt und die Seitensichtbarkeit steigt. Der Schaltwandler kann die LED ca. 150 s mit 15 mA betreiben. Die Schaltung nimmt geladen 23 mA an 6 V auf.

3.13.7 Herrmans

Zu Herrmans siehe auch Seite 355.

3.13.7.1 h-Flame

Das h-Flame scheint, trotz Batteriebetrieb, interessant zu sein. Durch eine Lichtleichteroptik soll es eine große emittierende Fläche aufweisen. Mehr dazu, sobald sich eines zu mir verirrt hat.

3.13.8 Lichtspeicher

Hier sei noch das Schaltbild des „Lichtspeichers“ (Bild 3.173) von Patrick Haack aus Hamburg erwähnt. Patrick hat als Schüler schon vor Jahren die ersten Diodenrücklichter auf den Markt gebracht, als b&m, UNION etc. nichts davon wissen wollten. Hier wird eine 10 mm-LED in einem modifizierten Rücklichtgehäuse verwendet.

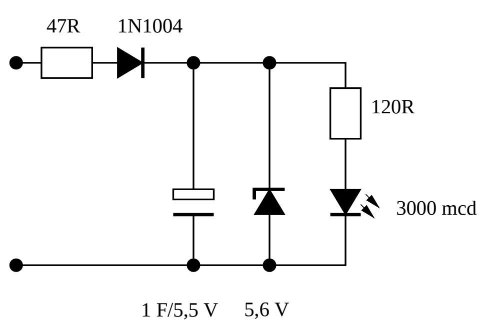


Bild 3.173: Schaltbild des „Lichtspeichers“

3.13.8.1 Drei-Bauteil-Diodenrücklicht

Jörg Werner (werner@amis.de) hat folgende, einfachen und preiswerten Umrüstungen entwickelt und durchgeführt:

Man nehme zwei helle LEDs, schalte sie antiparallel und dazu in Reihe einen PTC mit 160 Ω bei 80 °C. Den kleinen Drahtigel in dem Sockel (Gewindeteil) ausgedienten Glühlampe einlöten. Vorher natürlich den Glaskolben demontieren. Fertig ist die Dauerlampe. Das ist so einfach, daß hier kein Schaltbild geliefert wird! Wenn die LEDs, wie oben beschrieben, an der Seite noch leicht aufgerauht werden, so sollte die Sichtbarkeit von der Seite hervorragend sein.

Diese Dauerlampe hat eine Stromaufnahme von ca. 30 mA, leuchtet aber schon bei Schrittgeschwindigkeit sehr hell! Der Bauaufwand ist mit ca. 15 Minuten gering und auch von elektrotechnisch Unbeleckten durchführbar. Das vorhandene Rücklicht muß nicht ausgetauscht werden.

Selbst bei einer „Elektronikapotheke“ liegen die Baukosten bei nur ungefähr 11 DM. Nur zum Beispiel Bestellnummern bei Conrad-Electronic: LEDs 184390 (5 mm) oder 87500 (10 mm), Kaltleiter 449121.

Und wer ein Blinklicht (Achtung: Ist nicht StVZO-Zugelassen) mit drei Bauteilen bauen möchte, auch dazu hat Jörg eine Minimalschaltung erfolgreich ausprobiert: Eine Blink-LED (Conrad 173428) und einen Kondensator mit 0,1 µF (Conrad 453358) und entsprechender Spannungsfestigkeit (25 V reichen vollkommen) parallel schalten und dazu eine helle LED (siehe oben) in Reihe schalten. Das blinkt dann mit ca. 2 Hz@8 V und zieht 30 mA@8 V sowie 20 mA@6 V. Es fängt ab 3 V an zu leuchten. “Überlebt Spannungen bis 15V= man k:onnte noch eine Schutzdiode in Serie schalten, aber dann wär’s ja kein Dreibauteilerücklicht. Montage kann wieder in einem Lampensockel erfolgen.„

Kleine, nicht zu verkneifende, Nebenbemerkung: Komisch, hier wird eine PTC zum Schutz der LEDs verwendet, damit eine anfällige Lampe nicht mehr durchbrennen kann. In der Hifi-Technik werden gerne Sofittenlampen (im Prinzip auch PTCs) verwendet damit Hochtöner nicht überlastet werden. So können sich Einsatzpunkte verschieben. Was normalerweise schützt muß auch schützenswert sein:)

3.13.9 Relite 3D

Das Relite 3D (~~~K40002) ist eine älteres Batterierücklicht. Aus diesem Grund ist es mit 2,4 V (Akku) und 3 V (Batterie) getestet.

3.13.9.1 DToplight Flat Plus

Das DToplight Flat Plus wurde auf den Herbstmessen 2006 vorgestellt.

Es hat nur eine LED mit relativ kleine Austrittsfläche und direkt nach hinten hinaus eine hohe Leuchtdichte. Da schon die vorherige Version des DToplight mit der 5 mm-LED nachts teilweise blendend wirkte ist dies bei dem Flat noch eher zu befürchten. Leuchtdichten sind aber derzeit nicht reguliert, relativ schwierig zu messen und werden real noch subjektiver bewertet als die Helligkeit.

Vermessen wurde ein geliehenes Exemplar (~~~K515, E1 022294).[265]

[265] Danke Günter:-)

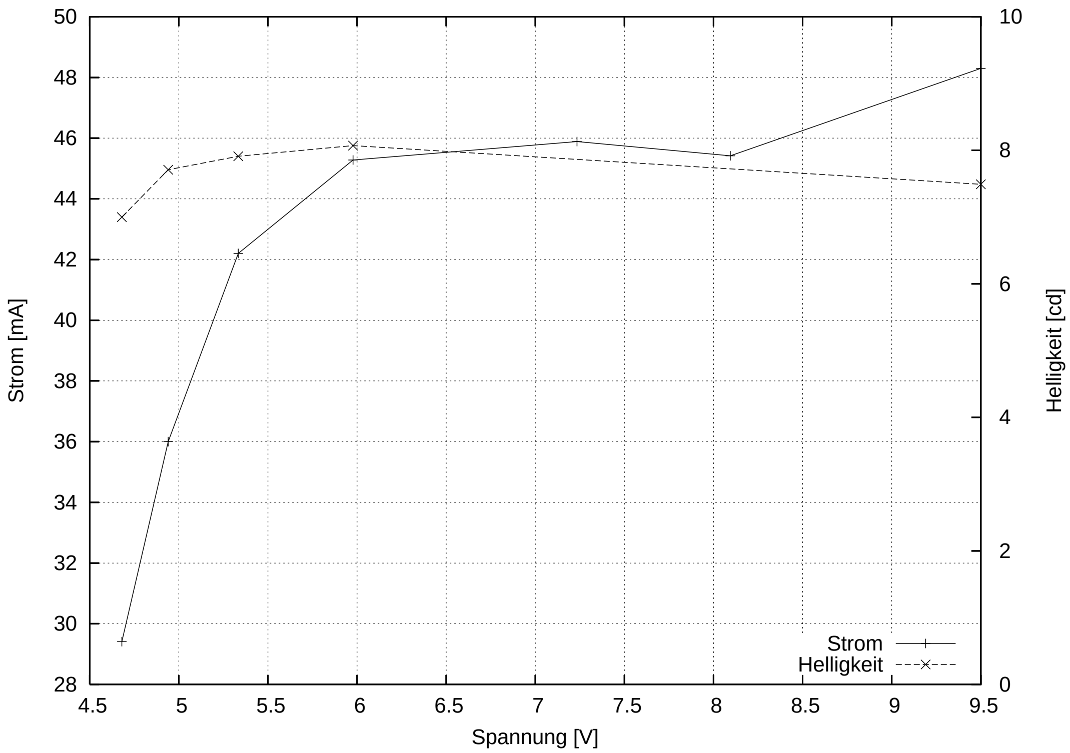


Bild 3.174: Stromaufnahme und Lichtstärke des DToplight Flat

Am Nabendynamo (SONquelle), parallel zu einem LED-Scheinwerfer (Basta Sprint) nimmt ein Flat (ohne Goldcap) ab 20 km/h ca. 0,3 W elektrische Leistung auf. Rein ohmsch gerechnet sind das bei der anliegenden Spannung ca. 45 mA.

Und auch hier fragt man sich mal wieder, wozu die TA4 (13) existiert.[266]

Nachtrag August 2010: Auch hier findet eine Modelpflege statt. Mittelalte Flats haben oben eine Nase um die Anforderungen im Konussektor der TA 14b besser zu erfüllen. Und auf der Platine ist die Elektronik geändert. Neue Versionen haben einen Ansatz von LineTec-Optik (noch nicht vermessen).

Das Flat kann angeblich am Nabendynamo ohne Scheinwerfer betrieben werden. Aus praktischer Erfahrung sollte man das jedoch nicht bei ca. 85 km/h (SONquelle) machen. Dort geht es selbst ohne Goldcap sofort an mehreren Bauteilen kaputt.

3.13.9.2 b&m 339

Das b&m 339 (~~~K30006) ist ein mit einer B2-Lampe ausgestattetes Rücklicht.

[266]Nicht daß heutzutage da noch viel Sinn drin läge, nur dieser Punkt wird bei der Zulassung anscheinend nicht überprüft. Also eher ein LTI-Problem.

3.13.9.3 DToplight Selectra

Das Selectra enthält drei LEDs. Eine 10 mm-LED, die direkt nach hinten leuchted (ein Teil wird für die Funktionskontrolle durch den Radfahrer ausgekoppelt). Zwei kleine LEDs leuchten an den Seiten seitlich.

An 6 V Gleichspannung nimmt es ca. 55 mA auf.

3.13.9.4 DToplight Linetec

Das LinePlus ist seit Herbst 2009 auf dem Markt.[267]

Das Line Plus strahlt über das die gesamte Breite ab.

Es nimmt bei 6 V Gleichspannung nur 17 mA auf. Ich frag mich echt, ob die TA 4 in Karslruhe noch für voll genommen wird.

3.13.10 Spanninga

3.13.10.1 SPX

Das Rücklicht trägt keine Herstellerkennzeichnung. Nach Studium der Unterlagen zum Pioneer ELS-100 scheint es ein Spanninga SPX zu sein. Der Hersteller sollte aber über die Zulassung (~~~K20) sicherer herausfindbar sein.

3.13.11 Reelite

Reelite (Reelite APS, Denmark) sind in Dänemark relativ weit verbreite Vorder- und Rücklichter.[268][269] Die Lichter werden unter die Achsmuttern geschraubt und je Lauffrad werden zwei Magnete auf die Speichen geschraubt. Die Magnete sind ziemlich stark. So verbiegen sich die Halterung elastisch, wenn der Magnet an den Spulen vorbeibewegen. Der Luftspalt wird vom Hersteller mit 1–3 mm angegeben. Allerdings ist der Anbau und die Justagemöglichkeit relativ gut durchdacht und wohl ziemlich narrensicher. Die bebilderte Anleitung auf dänisch ist auf des Dänischen nicht mächtigen Leuten verständlich.

[267] Ob hier diverse Versuche von Ervin Peters oder mein 2004? auf der IFMA gezeigtes massives Eigenbaurücklicht www.enhydralutris.de/Fahrrad/Goniometer/Gegenueberstellung_R.html > Eigenbau 4) mit großer Strahlfläche treibend waren sei dahingestellt.

[268] 2006 ca. geschätzt ca. 1/6 der Räder in Koppenhagen.

[269] Bei einer Strichlistenzählung Weihnachten 2007 in Koppenhagen hat Thomas Proell ca. 25–33Räder mit Reelite oder ähnlichem ausgerüstet beobachtet. Trotz der Nabennähe sind ihm jedoch auch diverse beschädigte oder schleifende Exemplare aufgefallen. Ebenso solche mit mehr Speichennagneten als vorgesehen.

Diese Lichter sind maximal reine „Gesehenwerdenlichter“. Selber etwas damit sehen ist nicht möglich. Und wohl auch nicht das Ziel dieses Produktes.

Der elektrische Aufbau ist relativ einfach: An einer Spule (Gleichstromwiderstand 142 Ω, 152 mH, $R_S = 1060\,\Omega$) sind zwei 5 mm-Leuchtdioden antiparallel geschaltet. Rote LEDs in einem roten Gehäuse für das Rücklicht, weiße LEDs in einem farblosen Gehäuse für das Vorderlicht.

Mit einem Meßwiderstand (1 Ω) im Stromkreis des Vorderlichtes mit den weißen Dioden und einem Oszilloskop werden Spitzenströme von 40 mA je LED mit einem sinusförmiger Verlauf gemessen. Wenn sich Magnet und Spule berühren können es auch 60 mA sein. Bei etwa 4 mm Abstand ca. 20 mA.

Eine Wirkungsgradmessung wird nicht vorgenommen. Die Schleppkräfte pulsieren zu stark für eine Messung mit der Schleppwaage. Und für den Aufwand einer Auslaufmessung sind die mir nicht interessant genug. Allerdings sind die Schleppkräfte verglichen mit einem Seitenläufer auch sehr gering.

3.13.12 Abstrahlflächen von Rücklichtern

Ausgehend von früheren Fahrten hinter DToplights auf Augenhöhe und später dann dem DToplight Flat, über Voruntersuchungen von Ervin Peters und dann dem LinePlus von bumm wird ab Ende 2009 der Kampf mit einem neuen Schlangenkopf aufgenommen: Blendwerte, Leuchtdichten und Erkennbarkeiten von Rücklichtern. Das Thema ist hochkomplex und wird daher hier vorerst nur angerissen werden können.

Im Straßenverkehr fallen dem Autor seit 2009 auch vermehrt Autos mit Rücklichtern auf (Volvo, BMW), die deutliche größere leuchtende Flächen haben als die wenige Jahre älteren Modelle. Rücklichthöhen oder breiten von über 30 cm scheinen keine Seltenheit mehr zu sein.

Rücklichter an Fahrrädern sind, wie die von Autos, über die TAs reglementiert. Hier sind es die TA 14a (O.8) und TA 14b (O.9). Dort ist aber nur die Lichtstärke (cd) und nicht die Leuchtdichte ($\mathrm{cd/m^2}$) festgelegt. Für die Blendung und Erkennbarkeit ist jedoch der Kontrast (Verhältnis der Leuchtdichten Rücklicht zu Umfeld) maßgeblich. Für die Entfernungseinschätzung dürfte die visuelle Abstandsänderung der Rücklichter (Fahradanhänger oder Pkw) oder die Größenänderung bei Annäherung maßgeblich sein. Hierzu gibt es Untersuchungen[Pa64] in [Mo99]. Diese kommen zu dem Schluß, daß erst unterhalb von 100 m eine Entfernungseinschätzung möglich ist. Diese wird in erster Näherung über den Abstand der Rücklichter ermöglicht. Dann über die Änderung der Helligkeit bei Annäherung und zuletzt die Änderung in der wahrgenommenen Größe der Rücklichter. Das wichtigste Signal: Der Abstand der Rücklichter voneinander ist bei nur einem Rücklicht am Fahrrad nicht vorhanden.

Für Voruntersuchungen werden einige Rücklichter aus 10 m Entfernung mit einer Digitalkamera (Olympus Camedia C5050) fotographiert. Die Fotos werden in `xv` in der Gradiation angepaßt, so daß nur die eigentlich emittierenden Flächenanteile einen „weißen“ Wert haben und als ppm (ASCII) gespeichert. Mit einer awk-Routine werden dann die weißen Pixel gezählt. Mit den Pixeln einer bekannten Referenzfläche kann dann die eigentlich leuchtende Fläche und deren Ausdehnung berechnet werden. Die Auswertung ist in der Tabelle 3.58 zusammengefaßt.

Tabelle 3.58: Leuchtflächen von Fahrradrücklichtern

Rücklicht	leuchtende			Bemerkung
	Breite [mm]	Höhe [mm]	Fläche [mm^2]	
Toplight	24	22	469	
DToplight Plus			108	
DToplight Flat Plus			91	
DToplight Selectra				noch nicht vermessen
DToplight LineTec	72	6	419	
Eigenbau 1			453	6 Grad+Streu, D=24 mm
Eigenbau 2			580	Elliptical Beam, D=23 mm, mit Plexi umrandet

3.13.13 Zusammenfassung Rücklichter

Die Tabelle 3.59 ist mal wieder „im Aufbau“.

Tabelle 3.59: Daten Rücklichter bumm

Modellname	Toplight	Seculight+	DTL+	Selectra	Flat	LinePlus
Nodellnummer	327	330	328	320ALK	329	323
Zulassung [~~~K]	30018	89	129+130	416	514	658+659
Z	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Bolzenabstand [mm]	80	0	80	80	50(80)	50
Gewicht [g]	102,25		92,2	97,2	71(82)	51
Stromaufnahme 6 V [mA]	100		37	55	44	17
Massefrei	(nein)	(nein)	(nein)	(nein)	ja	ja
StiWa-Test		11/98				

Erklärungen:

- Massefrei (nein): Lieferzustand ist nein, durch Aufschrauben und Umklemmen ist die Massefreiheit herstellbar.
- Gewicht inkl. Mutten und Befestigungsbolzen. In Klammern, wenn inkl. Adapter für anderen Bolzenabstand

- Bolzenabstand: 0 für Schutzblechmontage, in Klammern für mit erhältlichen Adaptern
- die Leuchtfläche ist direkt von hinten gemessen die Fläche. Dabei ist die leichtende Fläche in mm×mm die max. Ausdehnung und in mm^2 die Summe der leuchtenden Fläche. Beides muß nicht unbeding übereinstimmen, da die Rücklichter ungleichmäßig abstrahlen.

Tabelle 3.60: Meßwerte in 14,5 cm Abstand von gängigen Rücklichtern

Rücklicht	Dioden	U_{Nenn}	E_{max} [lx]	I_{max} [cd]	0 °	10 °	45 °	90 °	110 °
Sollwerte TA14b			-	1,0					
Seculite Plus	1	6	130	2,7					
SPX	1	6	180	3,8					
Dino	1	6	30	0,6					
Cateye TL-LD300	5	3	26	0,5					

Die Strahlstärken I werden aus den Beleuchtungsstärken und dem Abstand errechnet. Gemäß Gleichung (3.4) (s.S. 149) ergibt sich $I = Er^2$.

3.14 Fotographische Messung

Die TA 23 bewertet nur eine geringe Anzahl von Meßpunkten. Streupunkte, wie sie z.B. Rückstrahler im Strahlengang erzeugen, werden nicht berücksichtigt. Hier wird zusätzlich eine Bewertung des Gesamteindruckes durch Fotos vorgenommen.

Zur Begründung für den gewählten Testaufbau: Die Ergebnisse sollen möglichst verwendungsneutral sein. Wenn man einen „realen“ Test machen würde, der einen normalen Fahrradaufbau definiert, so treten mehrere Probleme zutage:

1. Was ist die „normale“ Austrittshöhe des Scheinwerfers über der Fahrbahn. Reise-/ Trekkingräder haben eine Austrittshöhe von 70–75 cm, Flevo ca. 60 cm, Tieflieger ca. 40 cm.
2. Was ist die „normale“ Augenhöhe des Fahrradfahrers.
3. Was ist die Mitte eines Fleckes unregelmäßiger Ausleuchtung?
4. Auf welche Entfernung soll die Mitte des Ausleuchtungsfleckes eingestellt werden?
5. Was wird als Testfläche definiert.

Alle 5 Fragen bzw. daraus folgende Versuchsaufbauten schränken die Allgemeingültigkeit der Meßergebnisse ein. Daher wird der unten beschriebene und fehlertolerante Versuchsaufbau gewählt.

Der zweite Punkt wurde am 19.03.2007 vom BMVBW auf eine mail-Anfrage von Bodo Eggert wie folgt beantwortet: „Das heißt, der Punkt HV (maximale Beleuchtungsstärke) des Messschirmes muß in 5 m Entfernung vor dem Scheinwerfer in halber Höhe der Mitte der Scheinwerferglühlampe den hellsten Punkt bilden.“ Hoffentlich gilt daß nur für die 2011 obsuleten Glühlampenscheinwerfer. Für die Big-Bang oder gute LED-Schweinwerfer wäre das absolut praxisfremd.

3.14.1 Aufbau

Der Versuchsstand wird an denen der IG-Velo [IGVe92] angelehnt.

Der Abstand zwischen Lichtaustrittsfläche und Leinwand beträgt 14,5 cm bzw. 117 cm. Als Leinwand wird weißes, gestrichenes Plotterpapier im Format DIN A1 verwendet. Die eingezeichneten Felder sind 4×10, 8×20, 16×30, 16×50 und 24×70 cm groß. Die angestrahlte Fläche wird mit einem handelsüblicher Dia-Film (Empfindlichkeit 100 ASA) fotographiert. Als Objektiv wird ein voll aufgeblendetes Olympus 1,4/50 mm verwendet. Es ist 162 cm von der Fläche, 45 cm höher als der Mittelpunkt und 52 cm seitlich aus deren Achse versetzt auf die Mitte der Fläche ausgerichtet. Die Verschlußzeit beträgt für Scheinwerfer 1/60 s und für Rücklichter 1 s.

Das Bild 3.175 zeigt die Aufteilung der Leinwand. Unten ist ein Detailausschnitt gezeigt. Die kleinen Punkte (im inneren Rechteck) zeigen die Meßpunkte nach TA 23 für den Abstand von 145 mm, die großen für den Abstand von 1170 mm.

Auf der nahen Einstellung bei 14,5 cm sind besonders gut die Streupunkte der im Strahlengang liegenden Rückstrahlern zu betrachten, der eigentliche Lichtfleck ist aber noch nicht unbedingt ausgebildet. Hingegen ist bei der entfernteren Einstellung von 117 cm der Lichtfleck schon ausreichend ausgebildet, die Streupunkte sind aber nicht mehr auf der Leinwand.

3.14.2 Auswertungsmethodik

Die Dias werden auf einem Dia-Scanner (Microtek 35t plus) bei folgenden Einstellungen gescannt:

Kleingeschriebene Dateien sind mit dem von Microtek mitgelieferten Tool unter Windows 3.11 eingescannt. Auflösung 600 DPI, Gamma-Korrektur 1,5, automatische Farbkorrektur. Alle anderen Einstellungen sind auf neutral belassen. Der Dia-Scanner wird unter Windows vor dem Scannen mit dem Testdia (Q-60E3 Kodak) kalibriert. Nach Hardwarearbeiten und nachfolgender Probleme den Scanner unter DOS auf dem zweiten SCSI-Kontroller anzusprechen werden folgende Aufnahmen mit *xscanimage* gescannt.

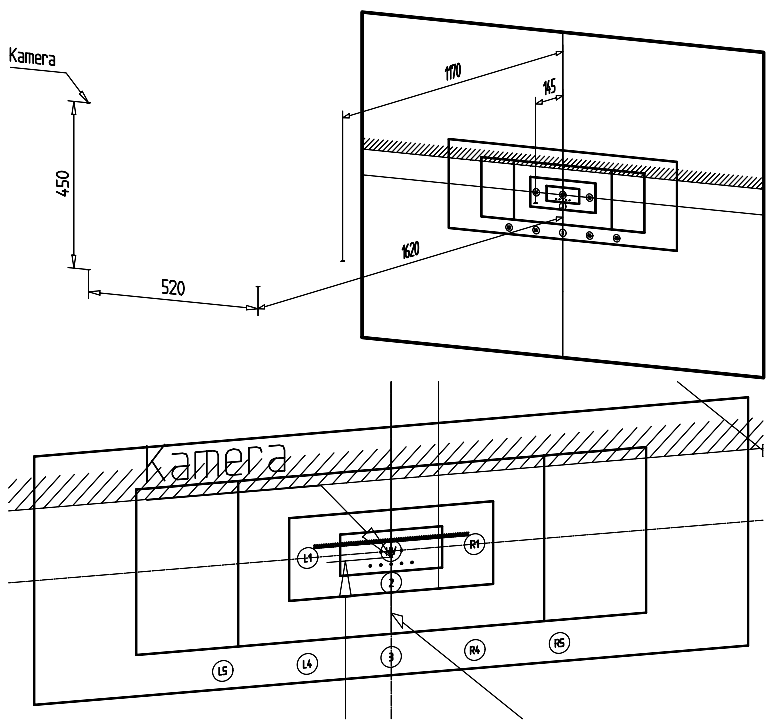


Bild 3.175: Aufteilung der Leinwand (oben räumliche Sicht, unten Detailansicht aus der Kameraposition)

Großgeschriebenen Dateien sind mit xscanimage gescannt. Für die Einstellungen werden 600 DPI mit 797x551 Punkten, *Exposure* 10 % (-18. . . 21 %), *Brightness* 7 % (-100. . . 100 %), *Contrast* 3 % (-42. . . 49 %) und *Gamma* 2,0 (0,1. . . 4) verwendet.

Das Testdia Q-60E3 von Kodak wird mitgescannt. Die Konstanz der mit *xscanimage* gescannten Bilder ist besser als der unter DOS. Diesbezüglich werden sicherlich einige Bilder nochmal neu gescannt und bearbeitet. Das kann aber erstmal dauern. Bei den Rücklichtern war es aber aufgrund des geringen Informationsinhaltes notwendig.

Die Bilder werden mit *Gnu Image Manipulation Program* (GIMP), einem leistungsfähigen Programm zur Bildbearbeitung, bearbeitet. Es läuft unter Linux und unter Win9x:

1. Die Bilder werden mit über eine *indexed* Palette mit zehn Graustufen (R/G/B: 0/0/0, 25/25/25, 50/50/50, . . . 225/225/225, 255,255,255) im Farbraum reduziert. So werden an die Drucktechnik nicht allzu große Anforderungen gestellt! Zu den Paletten s. S. 491.

2. ein *despeckle* mit eine Maskengröße von 5 entfernt den Großteil des Rauschens. Das Ergebnis wird auf einen zweiten Layer (in den Vordergrund) kopiert.

3. das Bild wird *invertiert* und die Gamma-Kurve bei 25 % um 12,5 % angehoben (bessere Abstufung im Drucktechnisch dunklen Bereich)

4. auf das Bild im Vordergrund wird ein *edge-detect* mit der Option *Amount* 8,4 gemacht, das Bild invertiert und der Gamma-Wert auf ungefähr 0,001 abgesenkt.

5. der Vordergrundlayer wird als *mulitply* eingestellt, so daß das Hintergrundbild durchscheint

6. ein dritter und abschließender Layer wird vor den beiden bestehenden erzeugt. Dieser ist durchsichtig und in diesem werden per Hand das Rauschen an den Kanten übermalt.

7. Abspeichern des Bildes als *.xcf*, erhält die Layerzuordnung.

8. nach einem *flatten layer*, *grayscale* abspeichern als .gif.

9. Das gif-Bild wird in xv eingelesen, nochmal überprüft und als PostScript abgespeichert.

Der ganze Zyklus ließe sich bis auf Schritt 6 sicherlich in der Lisp-ähnlichen Scriptsprache *scheme* machen, die zur Programmierung von GIMP verwendet werden kann (neben u.a. *TCL* und *PERL*). Aber die Zeit habe ich dann doch lieber in ein erstes schnelles Wandeln gesteckt.

3.14.3 Auswertung

Damit wird dieses Dokument teilweise unhandlich groß, aber leider ist dem Autor keine andere Möglichkeit bekannt, die Information platzsparender darzulegen. Vielleicht wird das Scheinwerferkapitel deswegen mal verselbstständigt.

Tabelle 3.61: Zuordnung der Bilder

Scheinwerfer								
	B1		Akku		HS3		HS4	
U [V]	6		4,8		6		13,5	
d [mm]	145	1170	145	1170	145	1170	145	1170
Soubitez	ab30	ab31	–	–	–	–	–	–
9430	–	–	–	–	ac05	ac04	ac13	ac12
TopLux	–	–	–	–	–	–	–	–
EP 95	–	–	–	–	ab32	ab33	–	–
Lumotec	–	–	–	–	ab26	ab27	ab28	ab29
S'Light-FLE	–	–	–	–	ab24	ab25	ab22	ab23
FER 3250	–	–	–	–	ab21	ab22b	ab19	ab20
Nova	–	–	–	–	ac09	ac08	ac10	ac11
FF-Tech	–	–	–	–	ab15	ab16	ac22	ac23
1500	–	–	ac14	ac15	–	–	–	–
500 II[270]	–	–	ac17	ac16	–	–	–	–
FL100	–	–	–	–	ac18	ac19	–	–
Häckel	ac21	ac20	–	–	–	–	–	–

Rücklichter						
U [V]	2,4		3		6	
d [mm]	145	1170	145	1170	145	1170
ReliteD	Ab12	ab	Ab11	ab	–	–
Seculite	–	–	–	–	Ab04	
10mm	–	–	–	–	ab06	–
LD300	–	–	ab02	–	–	–
SPX	–	–	–	–	ab03	–
b&m 339	–	–	–	–		
b&m 339 LED	–	–	–	–		

Die folgenden Bilder stellen keine absoluten Helligkeiten dar. Allerdings lassen sich die Scheinwercharakteristiken untereinander direkt vergleichen.

Ein *script-fu* habe ich noch nicht fertig geschrieben. Der Weg steht fest, und eine Anfang ist gemacht. Wer will mitmachen?[271]

[270] Der 500 II ist in der Überkopfmontage fotografiert.

[271] Linux und *gimp* lohnen sich. Während ich diesen Text auf meinem P133/64MB ohne Verzögerung schreibe, macht GIMP

3.14.3.1 Scheinwerfer

Die folgenden Bilder zeigen den Kernstrahl der Scheinwerfer

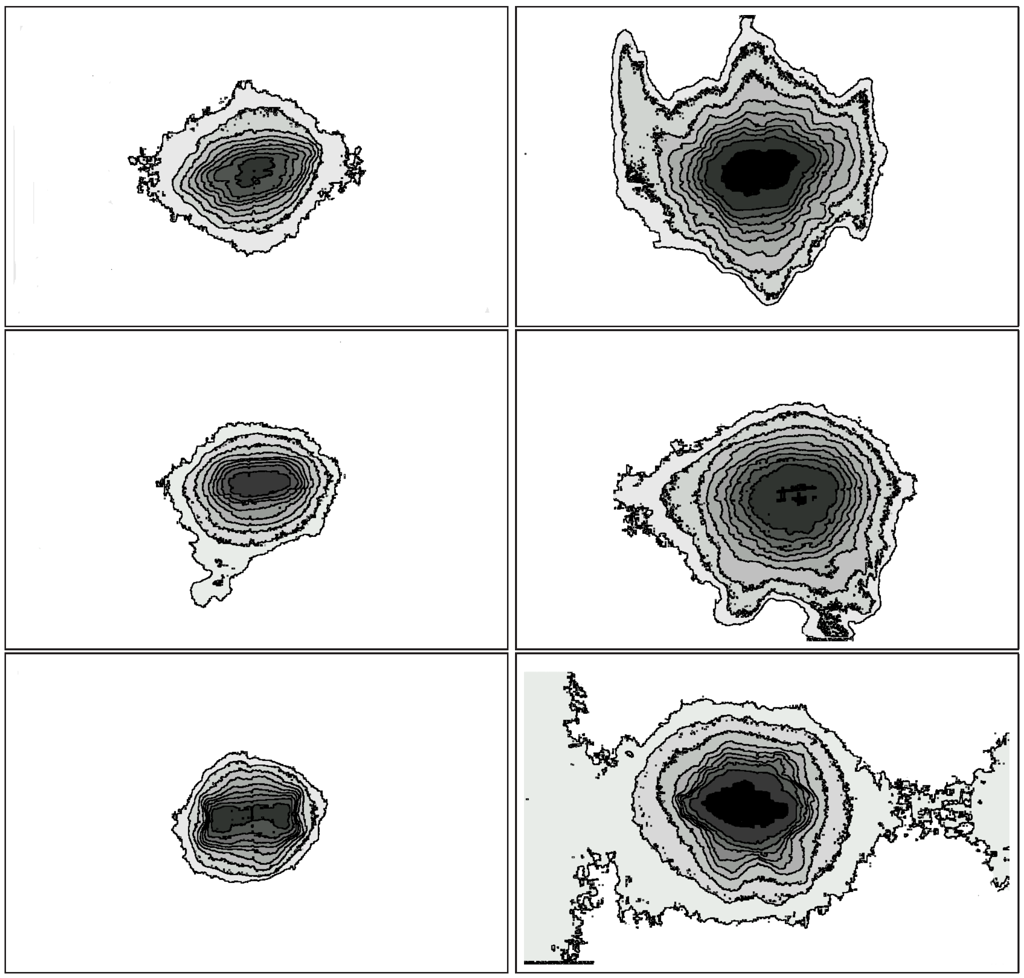


Bild 3.176: Von oben nach unten UNION9430, Lumotec, Hella FF (links mit HS3, rechts mit HS4), Abstand Schutzglas-Leinwand 1790 mm

---

ein despecle auf 6 Bilder gleichzeitig (load 6).

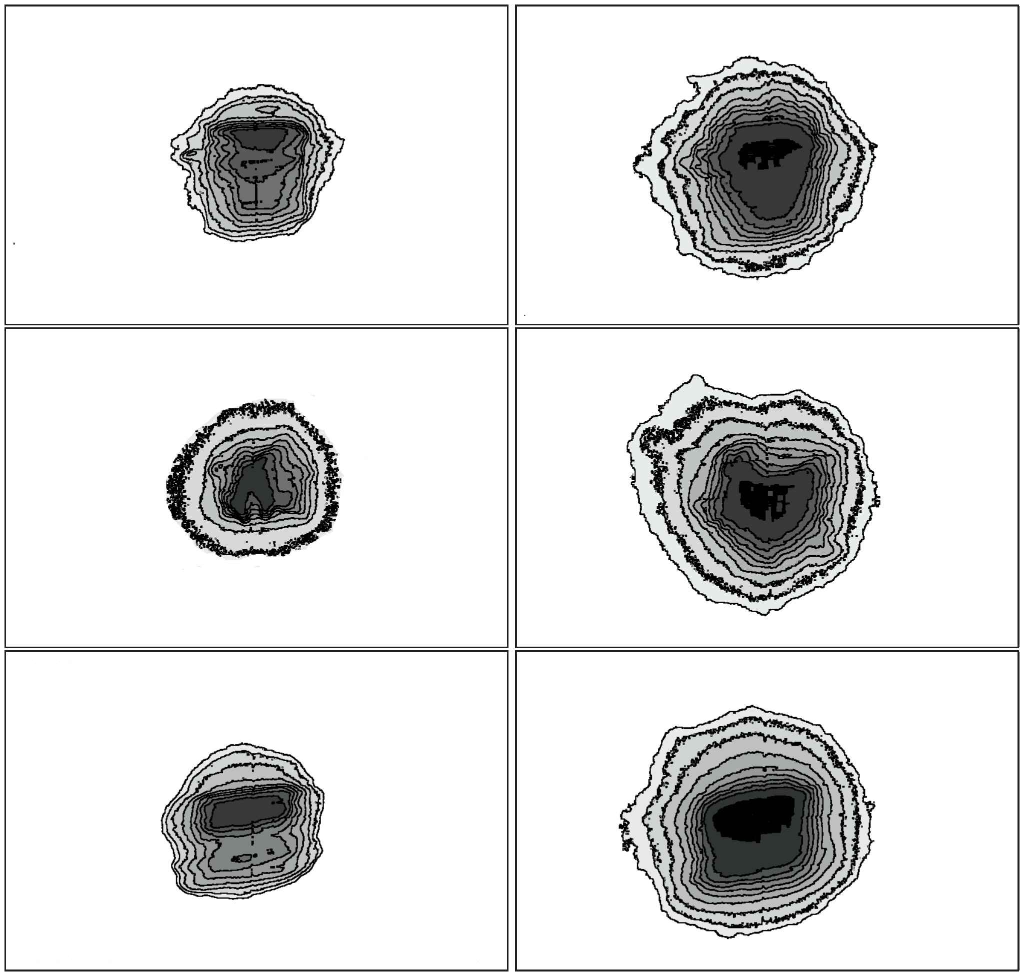


Bild 3.177: Von oben nach unten S'Light-FLE, FER 3250, Nova (links mit HS3, rechts mit HS4), Abstand Schutzglas-Leinwand 1790 mm

Die folgenden Bilder zeigen das Weitwinkelbild der Scheinwerfer

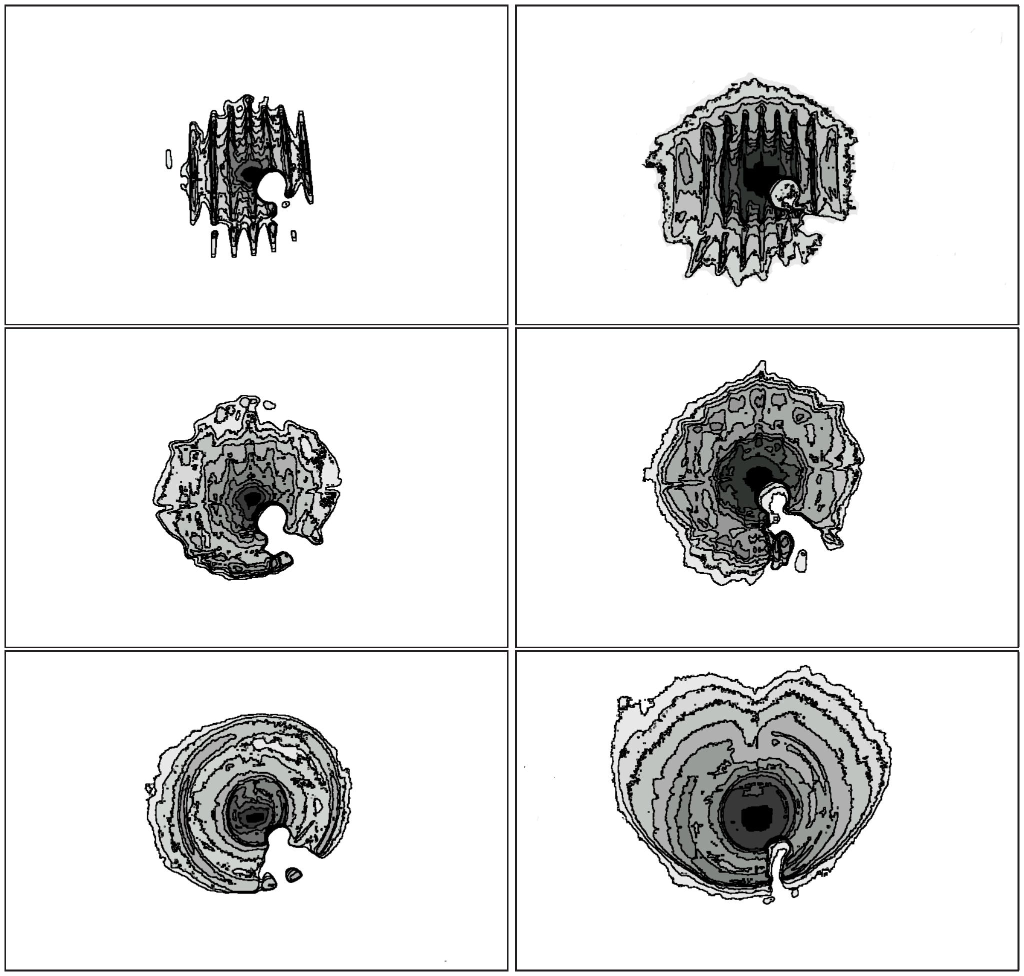


Bild 3.178: Von oben nach unten UNION9430, Lumotec, Hella FF (links mit HS3, rechts mit HS4), Abstand Schutzglas-Leinwand 145 mm

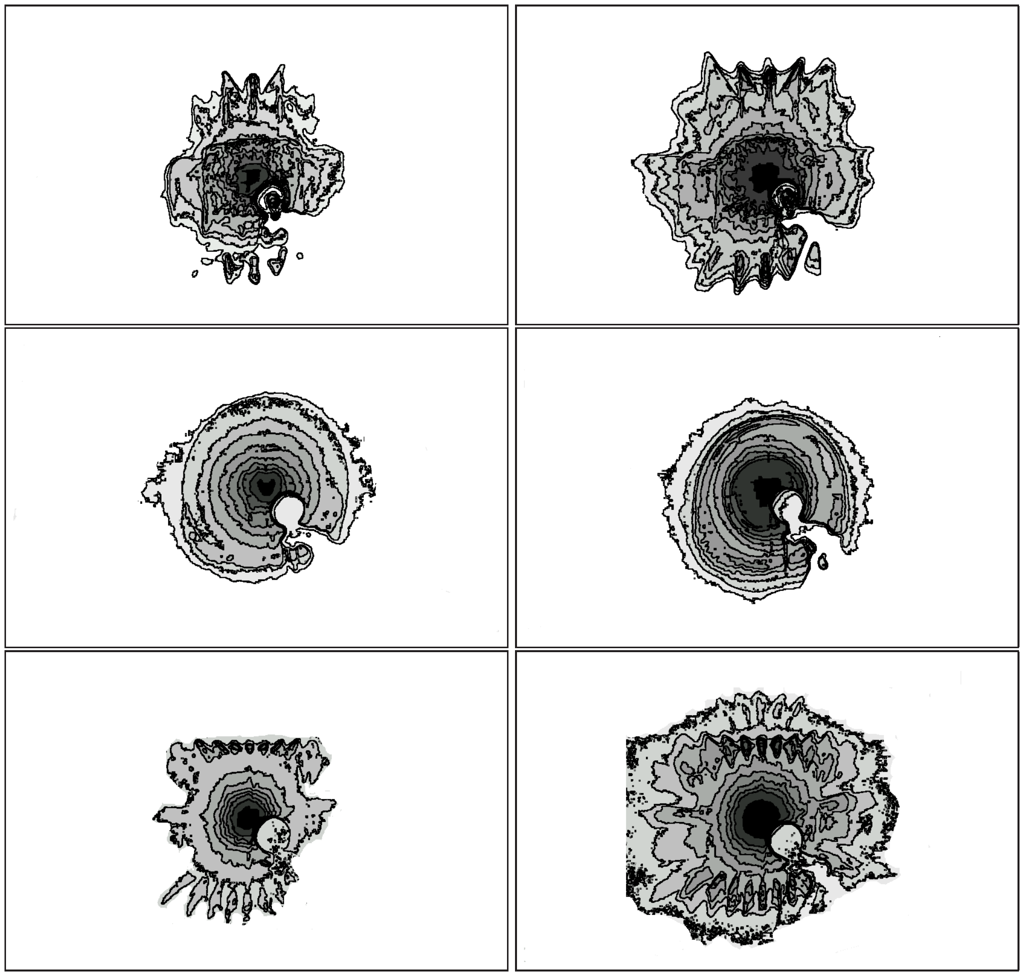


Bild 3.179: Von oben nach unten S'Light-FLE, FER 3250, Nova (links mit HS3, rechts mit HS4), Abstand Schutzglas-Leinwand 145 mm

Die folgenden Bilder zeigen die Weitwinkelbilder und Kernstrahlen von Scheinwerfern.

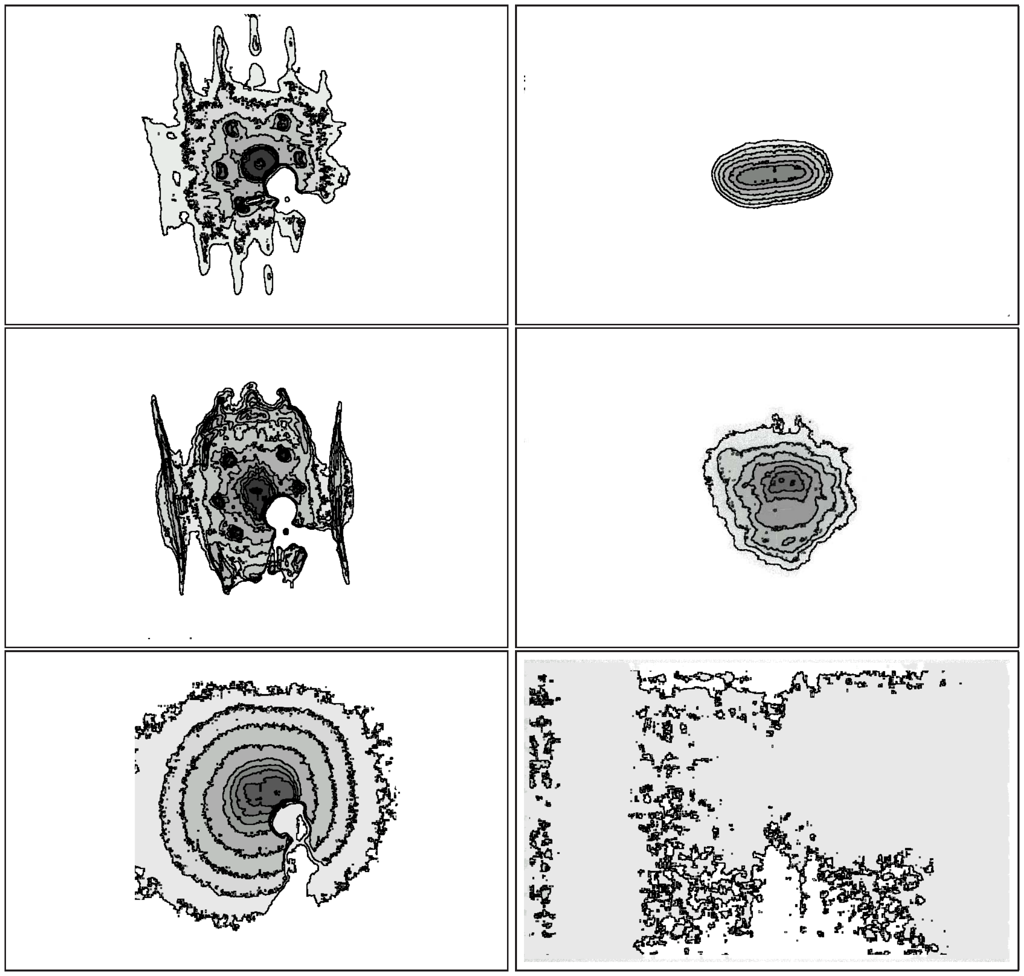


Bild 3.180: Von oben nach unten Soubitez, EP95, Häckel (links nah, rechts fern)

Die folgenden Bilder zeigen die Weitwinkelbilder und Kernstrahlen von Akkuscheinwerfern.

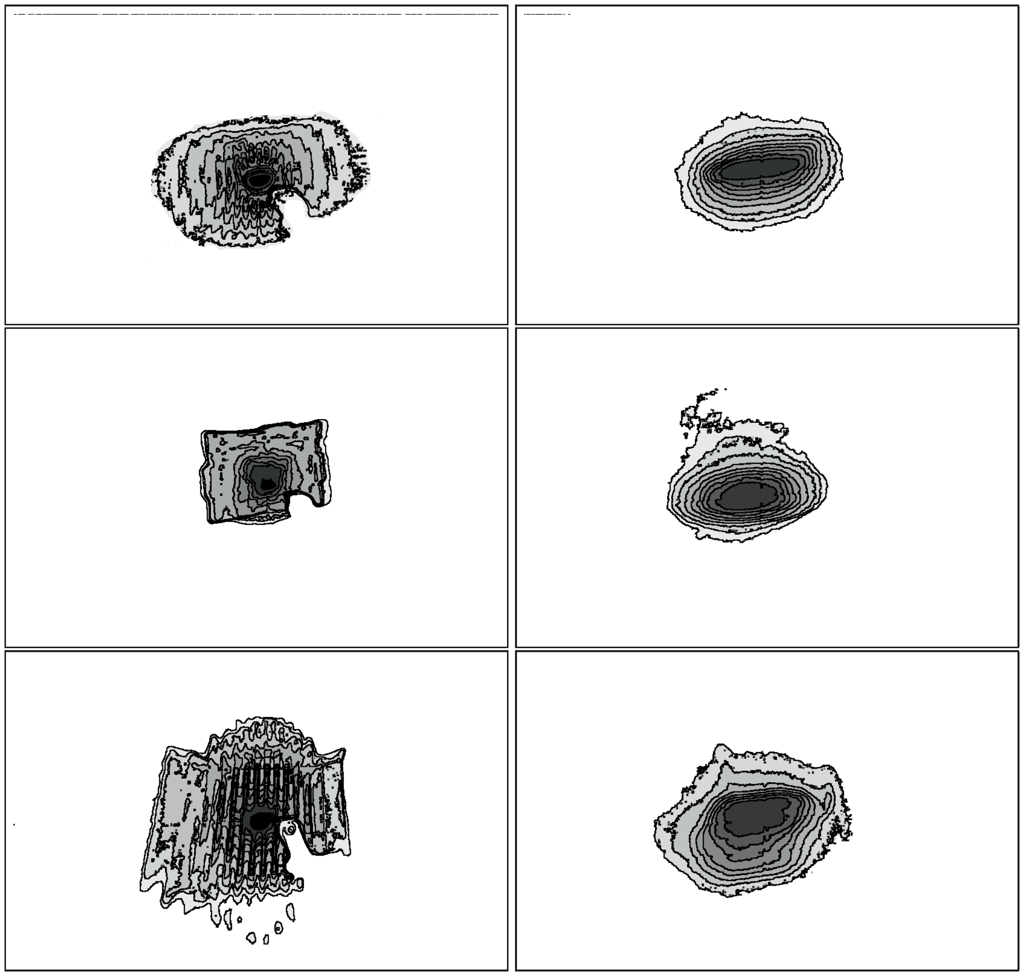


Bild 3.181: Von oben nach unten Cateye 1500, 550II, Sigma (links nah, rechts fern)

3.14.3.2 Rücklichter

Die folgenden Bilder zeigen die Weitwinkelbilder von Rücklichtern.

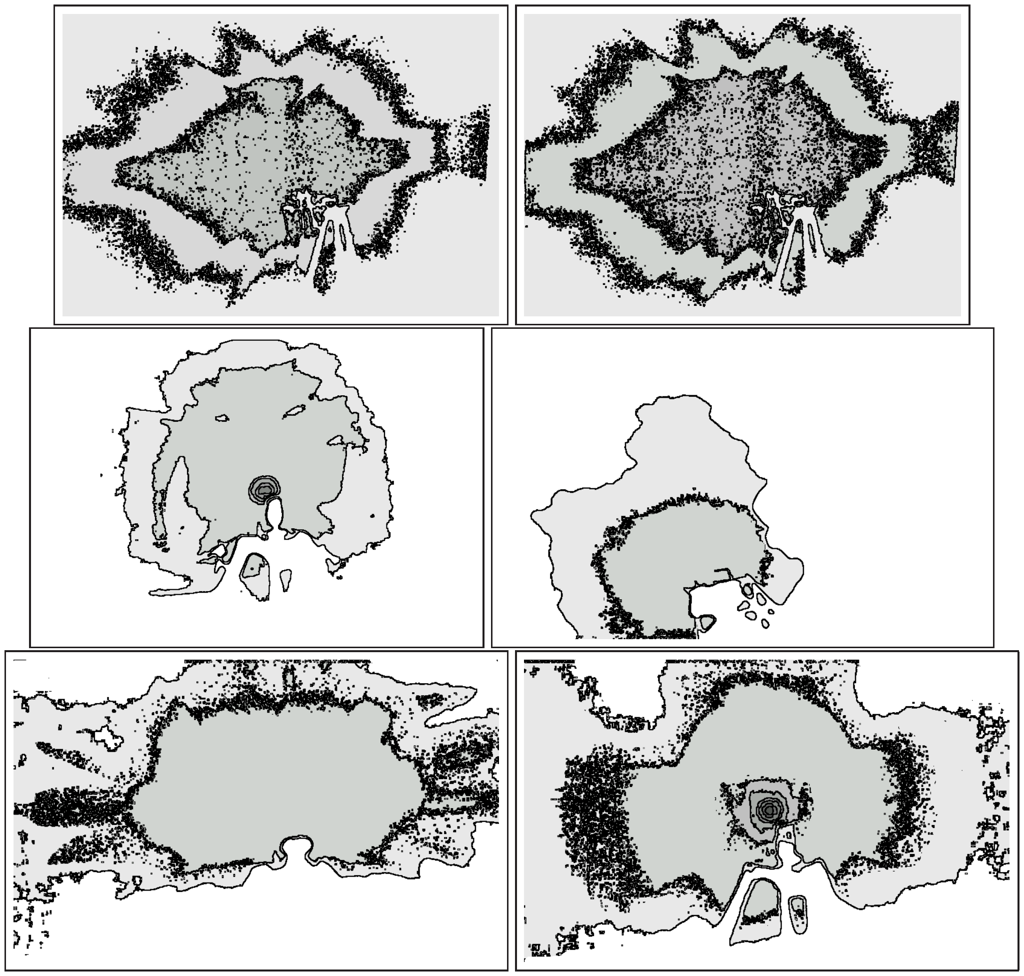


Bild 3.182: Von oben nach unten und links nach rechts: ReliteD 2,4 und 3V, Seculite, 10mm LED in Toplight, LD300, SPX (Abstand 145 mm)

Der bei den Vorderlichtern beschrieben Weg führt im ersten Anlauf nicht zu klaren Ergebnissen. Die Bilder in Bild 3.182 werden sicherlich nochmal anders ausgewertet.

3.15 Messungen mit dem Goniometer

Seit Juli 2004 ist das Goniometer in Betrieb. Da die Bilder doch etwas größer sind und damit das Dokument dann vom Umfang her langsam sprengen (es gibt noch Leute ohne DSL-Anschluß!) verweise ich auf die W3-Seite www.enyhdralutris.de/Fahrrad/Goniometer/index.html

Dort sind „einige“ Scheinwerfer und Rücklichter aufgeführt.

Kapitel 4

Reflektoren und Standlicht

Folgendes Kapitel ist seit Dezember 2008 in Aufbau. Es sind einige Voruntersuchungen angegeben.

4.1 Retroreflektoren

Als Retroreflektoren werden hier „Katzenaugen“, Microprismenfolien, Glaskugelfolien etc. verwendet.

Nein, es ist keine narzistische Kränkung, daß es keine interessanten Scheinwerfer mehr gibt, wie meine Holde Ende November 2008 meinte. Es geht mir nur dadrum: Ob, und wenn mit welchen, Reflexfolien die starren Katzenaugen ersetzt werden können.

Offene Kritikpunkte an folgenden Untersuchungen sind:

1. Als Lichtquelle wird eine „kalte“ LED[1] und nicht eine Lichtquelle mit 3000 K (DIN 67520 T1) verwendet.
2. Die Beleuchtungsstärke auf der Folie beträgt ca. 200 lx und nicht 1 lx, wie in der DIN 67520 T1 vorgesehen.
3. Der minimale Beobachtungswinkel (α) zwischen Lichtquelle und Sensor beträgt 0,53° und nicht 0,03° . Hier wurde als Lichtquelle die Kondensoreinheit eines alten Leitz Pradovit (läuft als gleichnamiger Scheinwerfer auf www.enhydralutris.de) und als Sensor vorerst das Objektiv (2,3/90 mm) des Pradovit vor dem Luxmeter-Kopf des $X9_1$ verwendet.[2]. Lichtquelle und Sensor sind 7,80 m von dem Meßobjekt entfernt. Dies wird entsprechend in der Umrechnung von gemessen Lux-Werten in cd/lx berücksichtigt.
4.

[1] Cree XR-E 7090 Q5

[2] Der Gewinn beträgt so Faktor 32,06 lx/lx

4.2 Standlicht

Welche Anforderungen an das Standlicht sollten bestehen?

1. Es sollte aus einer Entfernung von xy m und Betrachterhöhe von xy m sicher erkannt werden können.
2. Und dies selbst wenn es, der maximalen Wartezeit vor einer roten Ampel von xz min in Betrieb ist.
3. Es sollte nach xz min soweit geladen sein, daß es während der Wartezeit seine Funktion erfüllen kann. Ob alternativ Batterien/Akkus verwendet werden sei dahingestellt.

Der Punkt 1 kann für das vordere Standlicht mit den Anforderungen für Zone 1 ein Zielkonflikt darstellen.

Kapitel 5

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß bei genauer Betrachtung, das Zusammenspiel der Komponenten von Fahrradlichtanlagen nicht so trivial ist, wie es häufig angenommen wird. Physikalische, gesetzliche und ökonomische Randbedingungen engen den Lösungsraum häufig sehr stark ein oder lassen sinnvolle Lösungen gar nicht erst zu.

Man kann mit relativ wenig Aufwand die derzeitigen Anforderungen StVZO übererfüllen und fährt dann u.U. nicht zugelassen herum. Sicher, aber illegal. Manchmal ist die deutsche Regelungswut schon zum ko. . . . Na, wer klagt vor dem EG-Gerichtshof?

Fahrradfahrer sind eher ein zusammengewürfelter Haufen als eine homogene Gruppe. Der eine möchte entlang Bundesstraßen schnell fahren, der andere auf verwinkelten Waldwegen langsam bei Schneeregen. Es ist festzuhalten: Es gibt nach derzeitigen Maßstäben keine Allroundlichtanlage. Hier konnte nur aufgezeigt werden, worauf es ankommt, was man (selber) verbessern kann und was man besser nicht für seinen Einsatzbereich verwendet.

Über konstruktive Kritik ist der Autor per Briefpost oder email an O.Schultz@enhydralutris.de, Telefon und persönliche Gespräche dankbar.

Anhang A

Liefernachweis

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Hersteller bzw. die Generalimporteure von Fahrraddynamos und Scheinwerfern. Sie kann nicht vollständig sein und wird nur schlampig aktuell gehalten;-)

Tabelle A.1: Liefernachweis für Fahrradbeleuchtung

Firma Straße Ort *Hersteller*	Tel Fax e-mail W3-Präsenz
Attend Industry CoLtd. NO 2-1 Nanpei 1st Road, Tachia Town Taichung Hsien, Taiwan, ROC	886-4-6887996 886-4-6887985 attend@ms4.seeder.net
aufa-GmbH Am Höhenblick D-99817 Eisenach (ehem. FER)	036920/70060 036920/70066 fahrrad@aufa.de www.aufa.de
BASTA Deutschland Schleefstraße 4 D-44287 Dortmund	0231/4422990 0231/33229944 www.marwi.com
BASTA/MARWI Germany Ardeyer Straße 15	02373/753-0 02373/753-205

Weiter auf der nächsten Seite

Firma Straße Ort *Hersteller*	Tel Fax e-mail W3-Präsenz
D-58730 Fröndenberg	
UNION-Nachfolger	www.marwi.de
Büchel&Co. Fahrzeugteile GmbH	0661/9595-0
Niesinger Str. 115	0661/59621
D-36039 Fulda	
BiSy Bike Systems GmbH	07229/3047-25
Nordring 7	07229/61196
D-76473 Iffezheim	
busch&müller	02354/915-6
Auf dem Bamberg 1	02354/915-700
Postfach 1141	info@bumm.de
D-58527 Meinerzhagen	www.bumm.de
Dynosys AG	062827/4828
Hauptstraße 104	062827/4829
CH-9422 Staad	info@dynosys.ch
	www.dynosys-ag.ch
IBS Magnete	030/7063005
Kurfürstenstraße 92	030/8023094
D-12105 Berlin	vertrieb@ibsmagnet.de
	www.ibsmagnet.de
JOS	0474/759977
	0474/759977
F- Nantua	
Paul Lange	0711/2588-0
Hofener Straße 114	0711/2588-305
D-70372 Stuttgart	pauk-lange@t-online.de

Weiter auf der nächsten Seite

Firma Straße Ort *Hersteller*	Tel Fax e-mail W3-Präsenz
Shimano	www.shimano.com *NS oder IE >4.0 und Java*
POINT bike-innovation GmbH Hammermühle 13 D-51491 Overath *Pioneer*	02206/9580-0 02206/958012 infoline@pointbike.de www.pointbike.de
Renak Enparlite GmbH Liethberg 37a D-25524 Itzehoe	04821/778151 04821/778159 www.renak.de
Wilfried Schmidt Maschinenbau Aixer Straße 44 D-72072 Tübingen	07071/38870 07071/38876 Schmidt.Maschinenbau@gmx.de www.nabendynamo.de
Sigma Sport Dr.-Julius Leber Str. 15 D-67433 Neustadt	06321/9120-0 06321/9120-34 www.sigmasport.com *NS oder IE >4.0 und Java*

Anhang B

Meßtechnik

Die ersten elektrischen Daten 1997 werden am Fahrrad gemessen. Die verwendeten Meßgeräte sind auf Seite 484 aufgeführt. Die Scheinwerfer sind ein Lumotec als Standardscheinwerfer und ein UNION H70 als Zusatzscheinwerfer. Als Antrieb dient entweder die Kurbel bei angetriebenen Rädern oder eine Kleinbohrmaschine von Proxxon (FBS220E) mit 100 W Nennleistung und 220 V Wechselspannungsanschluß, welche mit den Schleifscheiben (Durchmesser 22 mm) als Reibradantrieb mißbraucht[1] wird. Die Geschwindigkeit wird mit Fahrradtachos (Sigma BC 800 und BC1100) aufgenommen. Bei dem 28 ″-Laufrad ist ein Radumfang von 2155 mm, bei dem 20 ″-Laufrad von 1470 mm eingestellt.

Die Meßdaten sind mit Vorsicht zu genießen. Die Spitzenspannung $\hat{U}$ beträgt in den Lastfällen A und B zwar maximal 8,5 V, jedoch zeigt das Meßgerät im Lastfall A korrekt am Anfang des Einsetzens der Begrenzung ein Wechselspannung von $U = 6\,\mathrm{V}{=}8{,}5\,\mathrm{V}/\sqrt{2}$ an, die sich jedoch bis auf ca. $U = 7{,}1\,\mathrm{V}$ bei 50 km/h und $\hat{U} = 8{,}5\,\mathrm{V}$ erhöht. Dies kann dadurch erklärt werden, daß bei höheren Ausgangsleistungen des Dynamos die Supressor-Dioden (S-Dioden) in einem phasenbezogen größeren Bereich leiten und dadurch die Sinusform der Spannungs-/ Stromkurve tendenziell zu einem Trapez degeneriert (vgl. Bild B.1). Dann wird bei gleichem $\hat{U}$ $U_{\mathrm{eff.}}$ größer. Über die S-Dioden im Lumotec[2] fließen bei 40 km/h ca. 30 mA (Mittelwert). Der UNION H70 hat eine BZW 06 7,0 V eingebaut.[3] Auch die Leerlaufspannung der Dynamos ist mit Vorsicht zu genießen, da der Kurvenverlauf alles andere als ein Sinus ist (siehe Bild B.1).

Die Spannung U_{B} ist über einem Scheinwerfer gemessen, nicht über dem Dynamo!

Der Spannungsverlauf von Fahrraddynamos ist nur unter besonderen Umständen sinusförmig. Das erschwert die Messung des Effektivwertes mit einem normalen Meßgerät erheblich, es sei denn, man hat ein Effektivwertmeßgerät, welches aber so ca. ab 300 DM kostet.

[1] Sie wird dabei teilweise überlastet, zumindest deutlich heiß.

[2] Am Trekkingrad zwei antiseriell geschaltete 7,5 V Z-Dioden, einer der ersten Lumotecs. Neuere Lumotecs haben eine BZW04 7,8 V eingebaut.

[3] Achtung, der Autor hat erst einen Stromwert für die BZW-Typen gefunden und danach dürfen maximal 10 mA über die Supressordioden fließen.

Im Leerlauf ist der Spannungsverlauf stark von einer Sinuskurve verschieden. Im Lastzustand kappen die Begrenzungsdioden zum Schutz vor dem Durchbrennen der Halogenlampen, die Spannungsspitzen. Damit ist die einfache Berechnen-/ Meßbarkeit der elektrischen Größen erschwert. Mit einem Tektronix-Oszilloskop werden die Kurvenverläufe des Turbo und des G-S 2000 gemessen (Bild B.1) und als ASCII-File exportiert. Die Belastung ist die Fahrradbeleuchtung (Lumotec und Diodenrücklicht 30 mA). Es ist nur eine Welle im Spannungsverlauf der Meßwerte abgebildet.

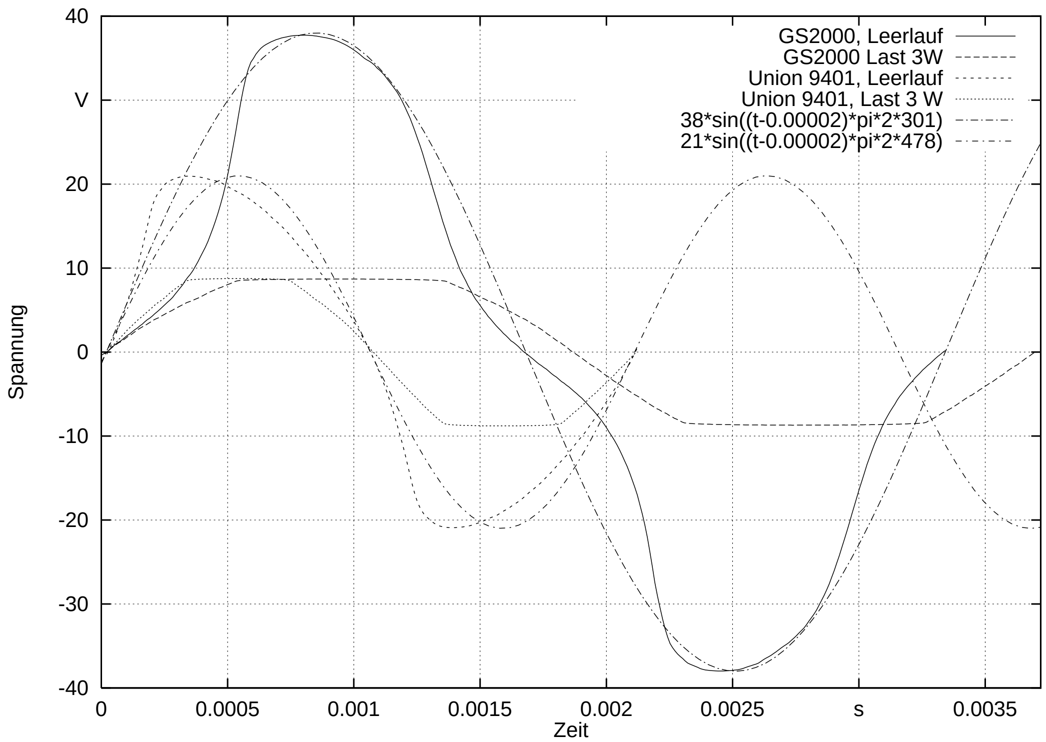


Bild B.1: Spannungsverläufe vom G-S 2000 und UNION 9401

Das Laufrad wird mit der Proxxon bei gleicher Drehzahlstellerstellung betrieben. Das Meßgerät kann die Daten als ASCII-Dateien ausgeben. Damit kann dann mit einem `awk`[4]-Skript[5] der Effektivwert berechnet werden. Der Effektivwert ist als

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2 \,\mathrm{d}t} \tag{B.1}$$

[4]Ein kleines nettes mächtiges Programm/Interpretersprache (unter UNIXen), das so manche Anwendung einer Tabellenkalkulation überflüssig macht.

[5]Zum Beispiel mit folgendem Kommando: `awk '{t=$1; u=$2; u2=u2+u*u*(t-tv); tv=t; ueff=sqrt(u2/t); print t " " ueff}' oink.dat | tail -n 1` gibt die Zeit und den Effektivwert auf dem Bildschirm aus.

definiert. Der zeitliche Mittelwert oder auch Gleichrichtwert $|\bar{U}|$ ist als

$$|\bar{U}| = \frac{1}{T} \int_0^T |u| \, \mathrm{d}t \tag{B.2}$$

definiert.[6] Der Formfaktor ist als

$$\frac{U_{\mathrm{eff}}}{|\bar{U}|} \tag{B.3}$$

definiert. Für einen sinusförmigen Stromverlauf beträgt er $\pi/(2\sqrt{2}) = 1{,}11$. Für die Ströme gilt das entsprechend auch. Wenn die Last rein ohmsch ist, wovon bei normaler Fahrradbeleuchtung ausgegangen werden kann, so auch für die Leistung, ansonsten müssen die Phasenwinkel berücksichtigt werden.

Damit ergeben sich die in der Tabelle B.1 wiedergegebenen Kennwerte.

Tabelle B.1: Beispielhafte Spannungswerte und Formfaktoren von Dynamos (bei 21–27 km/h)

	G-S 2000		Turbo	
	Leer	Last	Leer	Last
U_{eff}	24,5	7,1	14,9	6,8
U_{sin}	26,9	8,5	14,8	7,4
$\hat{U}_{\mathrm{sin}}$	38,0	12,0	21,0	10,5
$\hat{U}_{\mathrm{gemessen}}$	37,7	8,8	21,0	8,8
$\bar{U}$	19,9	6,5	13,3	6,2
Formfaktor	1,2	1,1	1,1	1,1
f	301,0	273,0	478,0	478,0
v	23,9	21,7	27	27

Die unterschiedlichen Frequenzen zwischen G-S 2000 und Turbo haben ihre Ursache in der Konstruktion der Dynamos: Der GS-2000 ist durch ein zweistufiges Zahnriemengetriebe zwischen Laufrad und Generator mit einen Übersetzungsverhältnis von $i = 24$ versehen, der Turbo mit einem Reibradgetriebe[7] von $i = 650\ \mathrm{mm}/19\ \mathrm{mm} = 34$.

Unter Last sehen die Kurven mit den Spannungsverläufen bzw. extrapolierten, ungekappten, Spannungsverläufen wie in Bild B.2 wiedergegeben aus.

[6] Das entsprechende Skript lautet: `awk '{t=$1; u=$2; ub=ub+sqrt(u*u)*(t-tv); tv=t; ubar=ub/t; print t " " ubar}' oink.dat | tail -n 1`

[7] Laufraddecke/Dynamoreibrolle

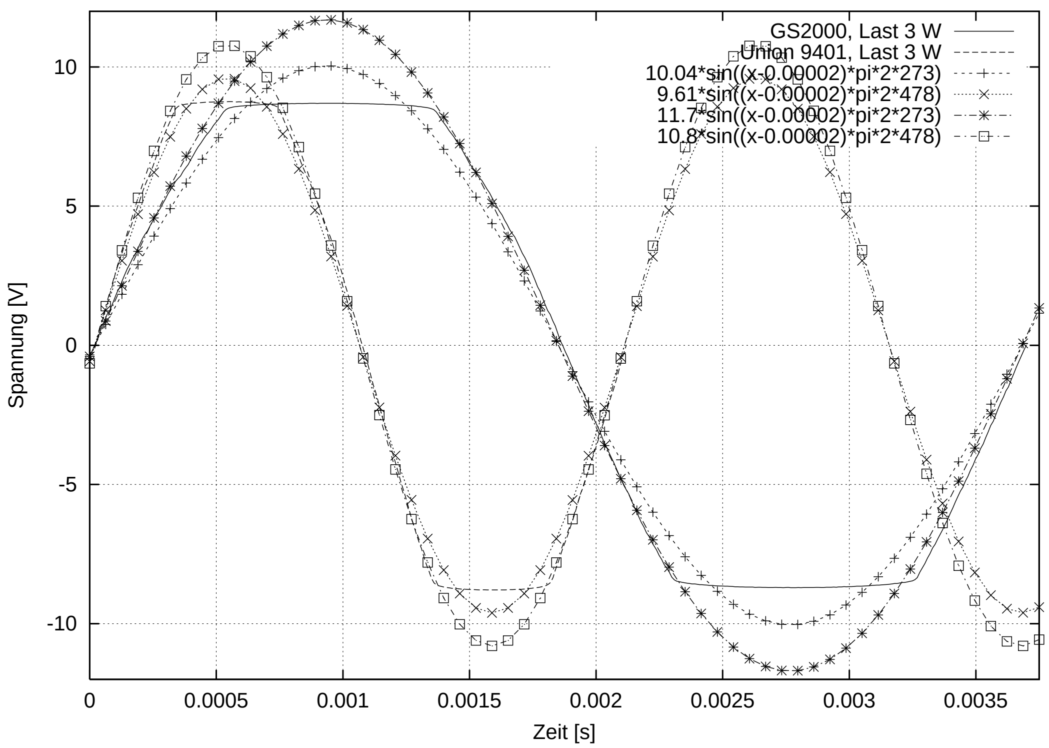


Bild B.2: Spannungsverläufe vom G-S 2000 und UNION 9401 unter Last

Vergleicht man die Spannungsverläufe unter Last, so ergibt sich, daß die Begrenzerdioden die Effektivspannung hier um ca. 15 % reduzieren.

Die Widerstandsbelastung des 17–20″ SONs wird mit einem 12 Ω/5 Watt Widerstand, die restlichen Dynamos mit einem Netzwerk[8], bei dem mit der 4-Draht-Meßmethode 11,988 Ω gemessen werden, belastet.

[8]Zusammengestellt aus zwei 30,3 Ω/50 Watt, 120,2 Ω/2 Watt und 115 Ω/1 Watt Widerständen.

Anhang C

Meßgeräte

Für die Messungen werden folgende Meßgeräte eingesetzt:

Tabelle C.1: Kenndaten der Meßgeräte

Meßgerät	Bereich	Bemerkung
Voltcraft 3830	20 A	$R_i = 0{,}1\,\Omega$ (0,193 inkl. 2 m 1 mm^2 Meßleitung)
	0,4 A	$R_i = 5{,}06...5{,}31\,\Omega$ (inkl. Sicherung)
	U	$R_i = 10\,M\Omega$
Voltcraft 401	0,2 A	$R_i = 1{,}34\,\Omega$
	U	$R_i = 1\,M\Omega$
HP3468A	4-Draht-Widerstand	$I_{Test} = 1\,mA$
Hameg 8018	200 µH, 2 mH	$f_{Test} = 15915{,}5\,Hz$
	20, 200 mH	$f_{Test} = 1591{,}55\,Hz$
	2, 20, 200 H	$f_{Test} = 159{,}16\,Hz$
Jaquet DHR 906	10-99999 min^{-1}	Reflexstreifen
Minolta Illuminance Meter	0–99999 lx	max. Abweichung von der Hellempfindlichkeitskurve nach CIE[1] ±2 %
Gigahertz Optik $X9_1$	0,01–200.000 lx	DIN 5032 B, Meßunsicherheit ±3,2 %
Gossen Colormaster 3F		
Gossen Mavospec600		
Voltcraft GDM705	20 A	$R_i = 0{,}025\,\Omega$
True RMS	0,4 A	$R_i = 1{,}58\,\Omega$
	$\approx U$	$R_i = 0{,}8\,M\Omega$
	$= U$	$R_i = 2{,}5\,M\Omega$
Metrahit GMC29s		ab 03/2006
Metrahit GMC29s		Zweitgerät, für Wirkungsgradmess., ab 04/2008
Metrahit GMC29s		Dritt- +Viertgerät, ab 12/2008

Das Jaquet, Minolta Illuminance und HP3468A standen nur bis 2001 zur Verfügung.

Für neuere Strommessungen wird ein Manganinwiderstand mit $R = 0{,}1\Omega \pm 0{,}5\,\%$ als Shunt verwendet. Die in den Versionen ab dem 25.01.98 angegebenen Glühlampenwerte sind so aufgenommen. Die Dynamoströme werden über den 0,1 Ω-Shunt gemessen.

Neuere Frequenzmessungen werden ab und zu auch mit dem Game-Boy Digital-Oszilloskop (GBDSO) oder den GMC29s vorgenommen. Nach 2001 kam auch einiges an Hameg Modulgeräten (2 8011-3, 8018, 8021, 8030) hinzu.

Das Voltcraft 3830 kann u.a. mit `multimeter` von home.pages.at/linux/ ausgelesen werden. Außerdem gibt es noch einige Programme, die auf einen Linux-Magazin von 1998 www.linux-magazin.de/Artikel/ausgabe/1999/08/Messen/messen.html aufbauen.

Das GDM705 wird in Deutschland von Conrad Electronic unter deren Hausmarke *Voltcraft* vertrieben. Die Innereien offenbaren allerdings *WENS Precision Co Ltd.* als Hersteller. Das GDM-705 läßt sich unter Linux hervorragend mit `vc-gdm70x` von Andreas Messer (andi.bupfen.de/computer/programming.html) auslesen.

Mit welchen Geräten wird hier was und wann gemessen?

- **Dynamokennlinien:**

  Spannung und Strom bei Glühlampenlast: Voltcraft M3830, in unterschiedlichen Meßreihen gemessen. Ansonsten M3830 und neue Messungen ab Oktober 1999 mit dem GDM705 bzw. ab 2001 mit den HM8011. Und ab 2006 mit eher mit den GMC29s

- **Glühlampenkennlinien:**

  – Spannung: Voltcraft 401, 20 V=-Bereich, Auflösung 2 Nachkommastellen
  – Strom: Voltcraft M3830, 400 mV-Bereich über 0,1 Ω±0,5 %-Shunt
  – Spannungsversorgung: Labornetzgerät, Gleichspannung

- **Dynamokennwerte:**

  – Induktivität, Serienwiderstand: L-Meter Hameg 8018.
  – Innenwiderstand: Multimeter HP3468A im 4-Draht-Modus. Später mit HM8014.

- **Effektivwertmessung:** Bis 2001 wenige mit Tektronix-Oszilloskop, Typ TDS744A[2] und `awk`-Skripte, neuere mit dem GDM705, HM8011-3, GMC29s

- **Leistungsmessung:** GMC29s

[1]CIE=Commission Internationale de l'Eclairage
[2]Hat ein Arbeitsbereich an der TU-HH:-)

- **Geschwindigkeit:** Fahrradtachos Sigma Sport BC800 und BC1100 oder bei Nabendynamos aus Frequenzen (GDM705) zurückgerechnet.
- **Drehzahl:** Bis 2001 Jaquet DHR 906, arbeitet berührungslos mit einem Optoreflexsensor.
- **Beleuchtungsstärken und daraus abgleitete Größen:** Bis Oktober 2000 mit dem Minolta, ab Oktober 2000 mit dem $X9_1$.

Das $X9_1$ hat einen sehr geringen Stromverbrauch. Die erste Batterie (Duracell) reichte bei regelmäßiger, auch länger anhaltender, Nutzung ca. 1,5 a. Die Betriebsdauer im Katalog scheint kein gutgemeinter Schätzwert zu sein. Hier wird ja sonst, zumindest bei Taschenlampen etc., gerne geflunkert.

Um die Einflüsse des Umgebungslichtes zu unterdrücken wird auf den Sensor VL-3704-3 des $X9_1$ ein selbstgebauter Vorsatz aufgeschoben. Ein Rohr (Innendurchmesser 24 mm, Länge 103 mm) wird mit schwarzem Baumwollsamt ausgekleidet. Im Rohr werden drei Blenden aus schwarzem Tonpapier (Lochdurchmesser 13 mm) eingeschoben (siehe Bild C.1).

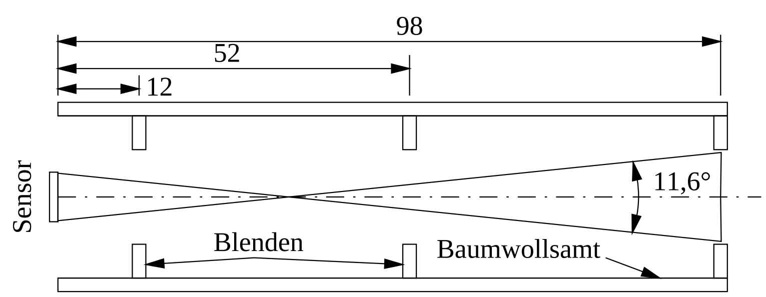


Bild C.1: Abschattungstubus

Damit ergibt sich, Beugungseffekte etc. vernachlässigt, ein Öffnungswinkel von 11,65°. Bei mäßiger ambienter Umgebungsbeleuchtung wird ein „Hintergrundrauschen" von max. 0,02 lx erzielt, die Umgebungsbeleuchtung wird so gestellt, daß maximal 0,01 lx Hintergrundhelligkeit gemessen werden. Das Eintrittsfenster des VL-3704-3 hat einen Durchmesser von 7 mm, bei 600 mm Meßabstand werden 0,67° Abstrahlwinkel der Lichtquelle gemittelt.

Später werden für andere Messungen (Scheinwerfer bzw. Rücklicht) noch weitere Abschattungstuben mit engerem bzw. durch eine Irisblende einstellbaren Öffnungswinkel gebaut.

Anzeigewert gegen Effektivwert

Der schon angesprochenen Problematik bei einer vom Sinus abweichenden Kurvenform einen Effektivwert zu bestimmen kann noch ein i-Tüpfelchen d'raufgesetzt werden: Eine deutlich von 50 Hz verschiedene Frequenz des Wechselspannung. Dahingehend werden im Oktober 1999 einige Messungen vorgenommen.

Die Meßgeräte GDM705, VC 3830 und VC 401 werden an einen Frequenzgenerator HP3325A (belastet mit 50 Ω) angeschlossen. An dem Frequenzgenerator wird ein Effektivwert von 2 V eingestellt. Die Frequenz und Kurvenform (Sinus, Rechteck, Dreieck, Sägezahn aufsteigend, Sägezahn absteigend) werden verändert. Der Anzeigewert wird notiert und über der Frequenz aufgezeichnet (vgl. Bild C.2 und C.4).

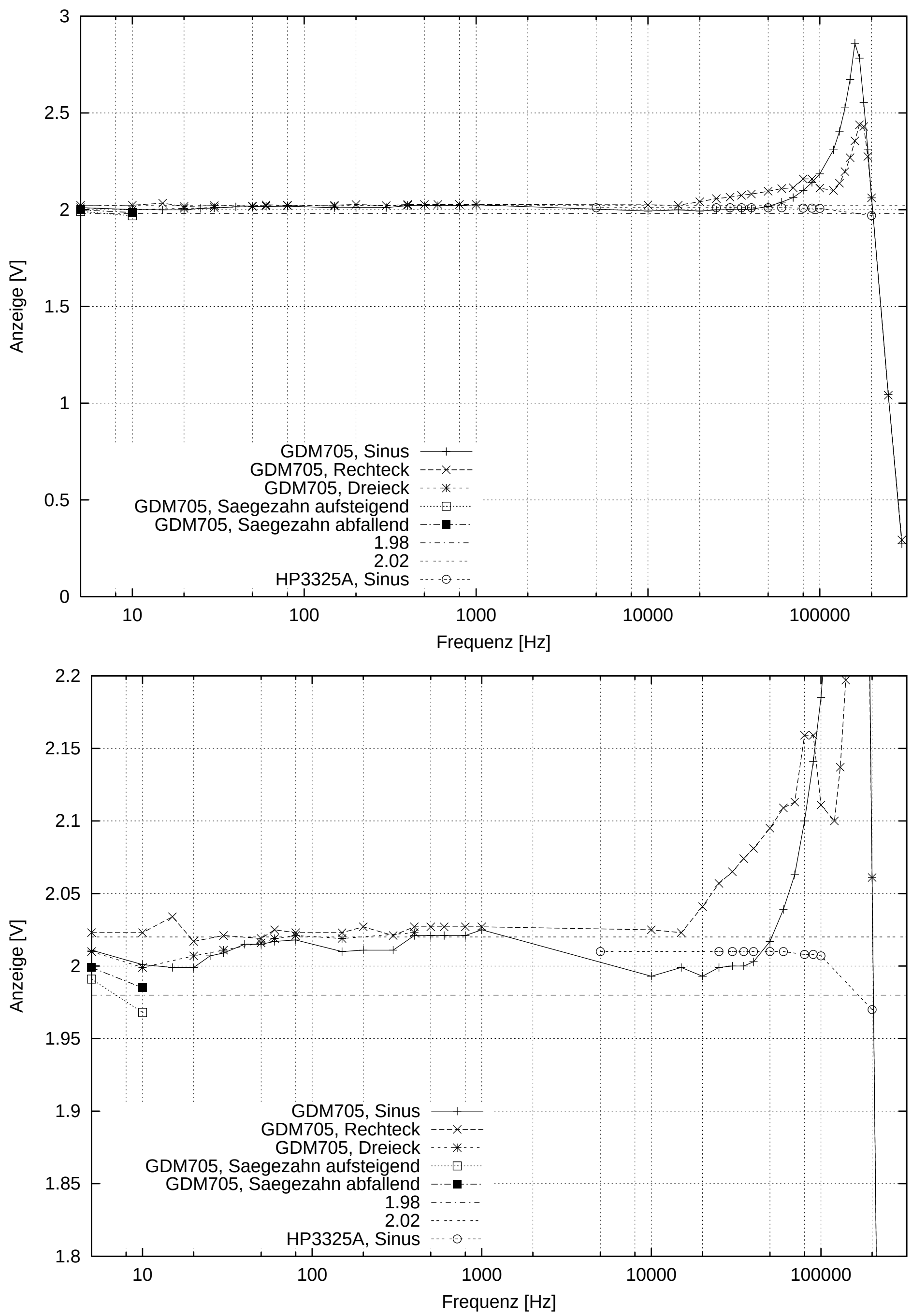


Bild C.2: Anzeigewert bei 2 V Effektivwert von True RMS-Meßgeräten

Zusätzlich wird ab Juni 2001 noch eine Hameg 2011-3 verwendet. In diesem Zusammenhang werden die Meßwerte am oben schon beschriebenen Aufbau, nun bei 1,5 und 1 V nocheinmal aufgenommen. Notiert wird Sinus und Rechteck. Dreieck und Sägezahn werden gut, in der Regel besser als beim Rechteck, wiedergegeben. Die Amplitude wird mit einem Oszi kontrolliert, es ist keine Überhöhung/Abfall der Quelle beoabachtbar.[3]

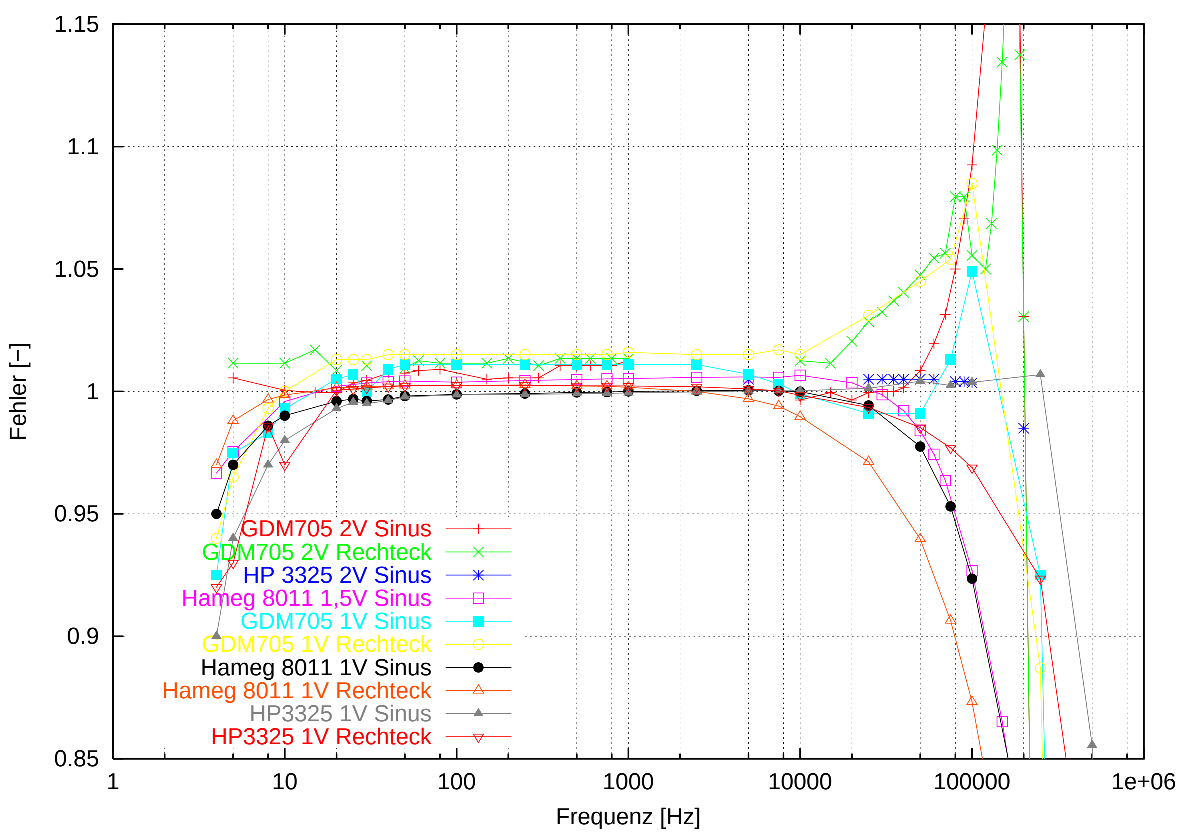


Bild C.3: Abweichung von True-RMS-Meßgeräten

Es kommt also auch noch auf die Höhe der Spannungen an, wie groß der Fehler ist. Interessant ist der deutliche Überschwinger des GDM 705 bei 2 V, der bei 1 V kaum noch erwähnenswert ist.

[3]Man ist ja mißtrauisch:=)

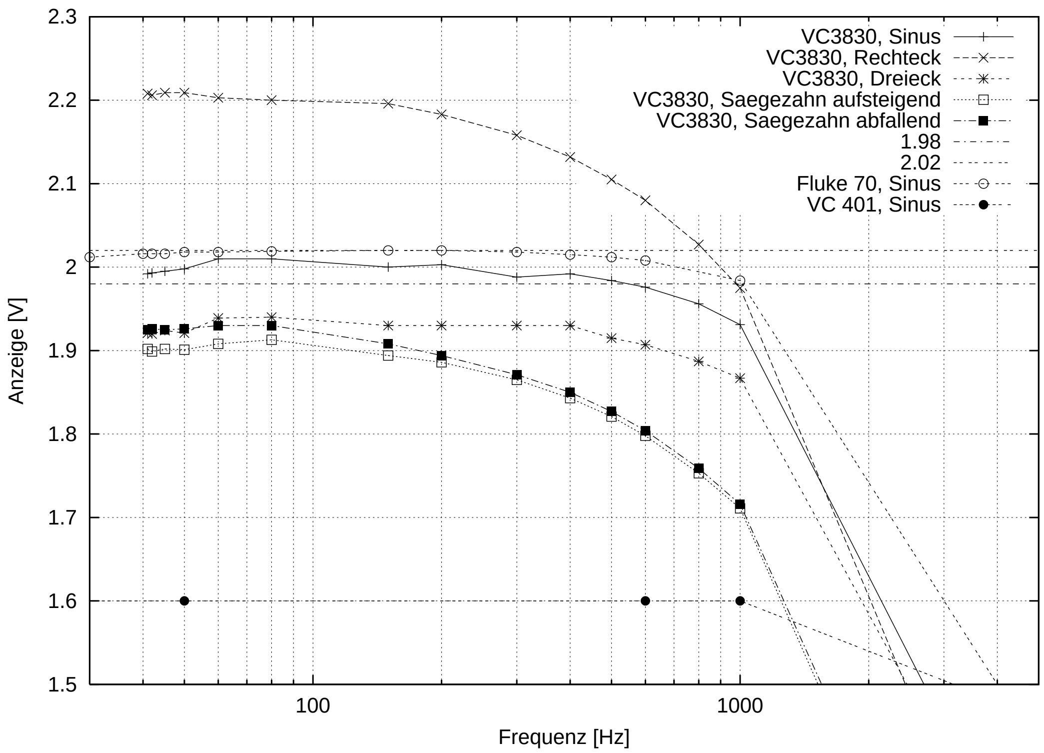


Bild C.4: Anzeigewert bei 2 V Effektivwert von Mittelwert-Meßgeräten

Das 3830 liefert bei 40 Hz und weniger keine stabilen Anzeigewerte. Das VC401 wird im kleinsten Meßbereich für Wechselspannung (200 V) getestet.

Besonders bei getriebelosen Nabendynamos ist deutlich auf die Eignung der Meßgeräte für die meist niedrigen Frequenzen zu achten. Ebenso bei Seitenläufern auf die Eignung für hohe Frequenzen. Sonst gilt mal wieder das Sprichwort „Wer mißt, mißt Mist“.

Vier-Punktmessung an Lampen

Für die korrekte Leistungserfassung von Glühlampen ist eigentlich eine Vier-Punktmessung an den Sockeln notwendig. Dabei sitzen auf Sockel und Kontaktperle je zwei Kontakte. Von diesen wird der eine für die Spannungsmessung und der andere für die Stromversorgung verwendet. Für E27-Allgebrauchslampen gibt es solche Fassungen. Bei dem typischen Sockel im Fahrradbereich PX13,5s sieht es schon ein bißchen enger aus. Erstrecht, wenn es darum geht, diesen Sockel auch noch in der Lampe einzusetzen. Die Zulassungsvorschriften für Fahrradelektrik erwähnen aber derart penible Meßvorrichtungen nicht und wären bei den Anforderungen an die übrige Gestaltung der Anschlüsse und der Betriebscharakteristik der üblichen Dynamos auch maßlos übertrieben.

Bei 0,4 A Stromfluß liegt an der Bleiperle ein Übergangswiderstand von ca. 31,3 mΩ und an der Fassung von ca. 2,5 mΩ vor.[4] Dazu kommen noch je 8,8 mΩ in der Zuleitung der Fassung (0,8 mm^2 versilberter Kupferdraht) und in der Zuleitung zu Lampe (1 mm^2 LIFY). Diese Werte sind nur als gemessenes Beispiel zu sehen. Im realen Alltag und oxidiert kann das ganz anders aussehen. Da auf Prüfständen für optische Versuche normalerweise die Spannung eingeregelt wird ergibt sich aus den Übergangswiderständen eine verminderte Spannung und damit auch Leistung der Lampe. Hier sind es z.B. mit Gleichung (3.17) ca. 0,5 % weniger Leistung. Andersherrum: Sparen an der Kontaktierung fällt nicht so schnell auf, durch sinnvolle Gestaltung kann aber das letzte Quentchen im Wettbewerb herausgeholt werden, gerade im Zulassungslabor.

Drei-Punktfassungen mit zwei Kontakten für die Bleiperle sind relativ einfach herzustellen. Hier wird schon die größte Fehlerquelle ausgeschaltet. Hierzu werden aus versilberten Kupferdraht zwei Ms gebogen, die 2,54 m breit sind. Wenn diese in eine Lochrasterplatine gesteckt werden, so ist nur noch wenig Richtarbeit notwendig. Für die Kontaktierung des Sockels reicht dann eine normale Bronze-Feder aus überflüssigen Scheinwerfern. Leicht gebogen kann die sich in der Positionskerbe im Kragen des PX13,5s-Sockels festkrallen bzw. sich dadurchwinden.

Eine selbstgebaute Vier-Punkt-Fassung ist auf http://www.enhydralutris.de/Fahrrad/HPVBilder-/OlafSchultz/Elektronik/020115_PX13-Vierpunktsockel/ abgebildet. Es ist sicherlich nicht die einzige Lösungsmöglichkeit, aber eine kleine und schnell selbst baubare. Bis auf die Sprengringnut für den Kragen der Lampe ist alles mit Zange, Säge und Bohrmaschine und Lötkolben herstellbar. Die Felder/Isolierungen auf der doppelseitigen Platine sind mit einem Fräser in der Proxxon erstellt. Die Kontaktkräfte auf der Perle betragen ca. 1 N.

[4] Fassung in der Messingrille der Vierpunktfassung mit starkem Anpreßdruck kontaktiert und Bleiperle mit frisch geschnittenem versilberten Kupferdraht.

Anhang D

Paletten

Die Paletten, die für die Weiterverarbeitung der Bilder verwendet werden sind im folgenden wiedergegeben:

ZehnGrau:

```
GIMP Palette
# ZehnGrau -- GIMP Palette file
0 0 0 Untitled
25 25 25 Untitled
50 50 50 Untitled
100 100 100 Untitled
125 125 125 Untitled
150 150 150 Untitled
175 175 175 Untitled
200 200 200 Untitled
225 225 225 Untitled
255 255 255 Untitled
```

ColdHot12:

```
GIMP Palette
# ColdHot12 -- GIMP Palette file
0 0 255 Untitled
37 0 219 Untitled
73 0 183 Untitled
110 0 145 Untitled
146 0 109 Untitled
183 0 72 Untitled
219 0 37 Untitled
255 0 0 Untitled
```

```
255 64 0 Untitled
255 128 0 Untitled
255 192 0 Untitled
255 255 0 Untitled
255 255 255 Untitled
```

In FEM-Programmen werden häufig gut unterscheidbare Paletten verwendet. Hier werden die von Patran herangezogen.

```
0.000 0.000 0.000 0.000 cmy
0.000 1.000 1.000 0.000 cmy
0.000 0.530 1.000 0.000 cmy
0.000 0.200 1.000 0.000 cmy
0.000 0.000 1.000 0.000 cmy
1.000 0.000 1.000 0.000 cmy
0.812 0.062 0.812 0.188 cmy
0.625 0.125 0.625 0.375 cmy
1.000 0.000 0.000 0.000 cmy
1.000 0.400 0.000 0.000 cmy
1.000 1.000 0.000 0.000 cmy
0.752 0.752 0.082 0.247 cmy
0.000 0.000 0.000 1.000 cmy
```

Die cymk-Werte wurden noch nach rgb umgesetzt.[1]

```
GIMP Palette
# Patran12 -- GIMP Palette file
255 255 255 Untitled
255 0 0 Untitled
255 120 0 Untitled
255 204 0 Untitled
255 255 0 Untitled
0 255 0 Untitled
0 191 0 Untitled
0 128 0 Untitled
0 255 255 Untitled
0 153 255 Untitled
0 0 255 Untitled
0 0 171 Untitled
```

```
GIMP Palette
# Patran16 -- GIMP Palette file
255 255 255 Untitled
```

[1] r=1.0-(c+k), g=1.0-(m+k), b=1.0-(y+k)

```
255 0 0 Untitled
255 120 0 Untitled
255 204 0 Untitled
255 255 0 Untitled
255 0 255 Untitled
255 102 255 Untitled
255 191 255 Untitled
0 128 0 Untitled
0 191 0 Untitled
0 255 0 Untitled
0 0 171 Untitled
0 0 255 Untitled
0 153 255 Untitled
0 255 255 Untitled
255 255 255 Untitled
```

Anhang E

Leistungsprüfstände

Die Messung der mechanischen Leistung wird auf unterschiedlichen Prüfstanden vorgenommen.

Einige wenige Wirkungradmessungen werden auf dem Prüfstand der Firma Schmidt Maschinenbau in Tübingen vorgenommen. Dies ist im obigen Text deutlich gekennzeichnet. Die meisten Tests werden auf eigenen Prüfständen durchgeführt.

E.1 Prüfstände für Nabendyamos

Für die Messung der mechanischen Leistungsaufnahme von Nabendynamos steht bis Februar 2000 in der TUHH eine Drehbank (Weiler Praktikant) zur Verfügung (vgl. Bild E.1). Siehe hierzu auch S. 26 ff.

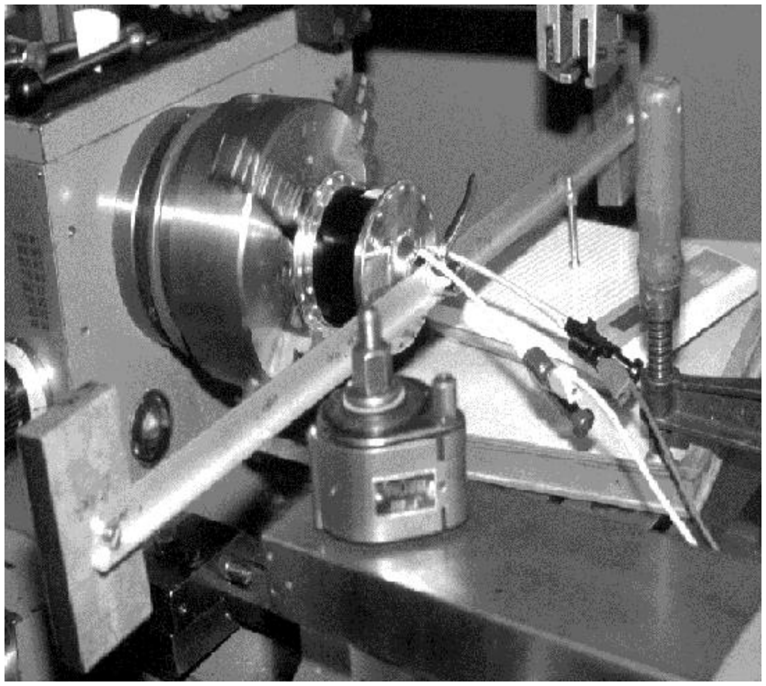


Bild E.1: SON auf der Drehbank (mit J_Z)

Für einige Messungen wird eine Zusatzmasse J_Z verwendet.

Seit März 2000 werden Leistungsmessungen an Nabendynamos an einem Multifunktionalen Zentrierständer (MufuZ) vorgenommen. Die Nabe wird zwischen zwei Druckstücken mit Schrägkugellagern (Typ 7202) gelagert. Ein Mitnehmer überträgt das Drehmoment von den „Konusmuttern" auf die Drehmomentstütze mit den Zusatzmassen und dem Reiter für die Waage.

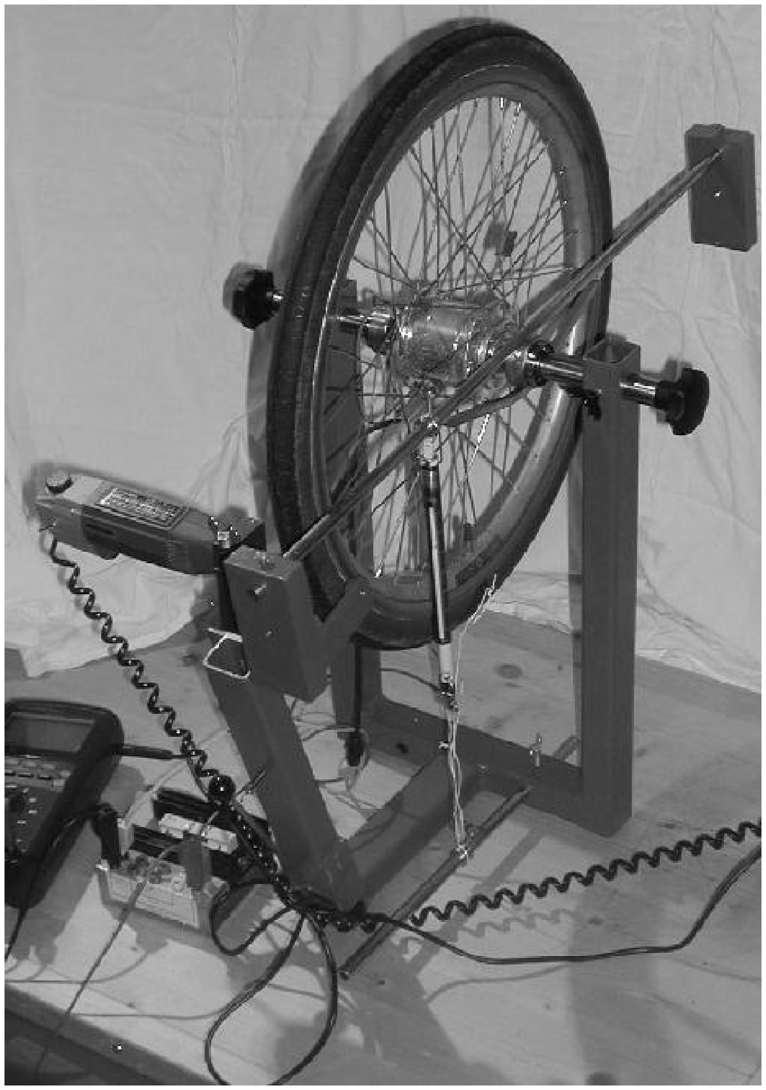


Bild E.2: MufuZ mit Wirkungsgradoption (mit J_{zn})

Der Vorteil des neuen Prüfstandes ist: Es können auch eingespeichte Laufräder verwendet werden. Dabei ist keine Drehbank mit extremer Spitzenhöhe oder herausnehmbaren Betten notwendig. Die bekannte Meßtechnik kann weiterhin verwendet werden.

Ab 2004 wird vermehrt auch die Hommel UWG1 zur Wirkungsgradmessung herangezogen.[1]. Für die in der Fahrrad-Zukunft veröffentlichten Test wurde noch mit liegender Achse gearbeitet. Inzwischen wird „stehende Achse“ verwendet. So muß man sich keine Gedanken mehr um irgendwelche Waagbalkenprobleme machen. Der beispielhafte Aufbau ist in Bild E.3 wiedergegeben. Das einzige,

[1]Nein, es gibt kein Grundrecht auf Hommel…

was beachtet werden muß: Die Federwaage muß normal auf den Waagbalken ausgerichtet sei, da reicht aber das Peilen über Achse der Waage und einen Strich auf dem breiten Balken vollkommen aus.

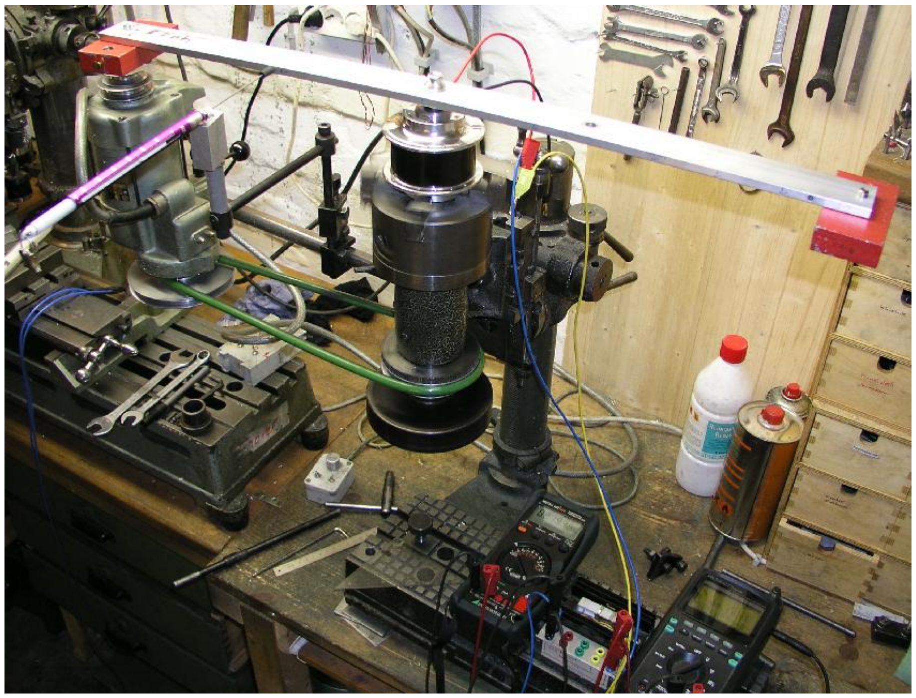


Bild E.3: Hommel UWG1 als Leistungsprüfstand

Eingespeichte 20″-Laufräder können so auch unproblematisch vermessen werden. Für 28″-Laufräder findet sich sicherlich auch eine Lösung:-)

E.2 Prüfstand für Reifenläufer

Für Wirkungsgraduntersuchungen an Reifenläufern wird ein eigener Prüfstand entwickelt (vgl. Bild E.4). Baubeginn ist im Oktober 1999, die ersten Wirkungsgradmessungen werden im November 1999 durchgeführt. Der Prüfstand ist bewußt einfach gebaut, so daß er ohne großen Aufwand von anderen nachgebaut werden kann.

Bild E.4: Nordlicht auf dem Schlepprüfstand (mit Lastwiderstand und Meßgeräten)

Der Prüfstand besteht aus einem alten Fahrrad-Hinterbau. Dieser wird soweit zusammengebogen, daß ein normales Vorderrad eingebaut werden kann. Das Vorderrad wird durch ein Reibradgetriebe angetrieben.

Die Dynamos werden auf einer Schwinge befestigt. Mit der Drehzahl des Laufrades und dem Drehmoment, mit dem die Schwinge mitgeschleppt wird kann die mechanische Leistungsaufnahme des zu testenden Dynamos sauber gemessen werden.

Der waagerecht liegende Rahmen wird auf Füßen hochgebockt. In die Füße werden zur Körperschallisolierung und Nivellierung des Prüfstandes Gummipuffer eingeschraubt.

Als Antriebsmotor haben sich 100 bzw. 140 W Allspannungs-/ Gleichspannungsmotoren aus alten Zauberstäben als zu schwach erwiesen. Es wird auf eine Einhandflex mit einer Leistungsaufnahme von 600 W ausgewichen; deren Schleifscheibenmuttern bilden das Reibrad. Die Drehzahlstellung wird über eine Phasenanschnittssteuerung vorgenommen. Diese Übersetzung reicht für eine Geschwindigkeit des Laufrades im unbelasteten Zustand von ca. 83 km/h. Hier ist unbedingt auf eine ausreichende Auswuchtung des Laufrades und stabile Befestigung der Ausgleichsgewichte im Laufrad hinzuweisen.

Für die Geschwindigkeitsmessung wird ein alter Fahrradtacho mit Trittfrequenzanzeige für die Drehzahl (Sigma BC900) verwendet.

Die Schwinge ist auf zwei kleinen leichtlaufenden, gedeckelten Radialrillenkugellagern (d=5 mm, D=10 mm, b=4 mm) gelager. Die Lager sind aus dem Kopfträgerlager alter Festplatten entnommen. Der Prüfstand muß so ausgerichtet werden, daß die Schwinge im freien Zustand ein indifferentes Gleichgewicht einnimmt bzw. die Kraftmessung muß eine Offset-Kompensation zulassen.

Die Kraftmessung wird mit einer Pesola Präzisions-Federwaage (Medio) vorgenommen. Der Meßbereich beträgt 600 g (Skalenteilung 5 g) für die Schleppkraft. Der Hebelarm beträgt ca. 495–505 mm und wird vor jeder Messung neu gemessen. Die Reifenandruckkraft wird mit einer Pesola Federwaage (Macro) mit einem Meßbereich von 5 kg (Skalenteilung 50 g) gemessen. Die Federwaagen haben eine typische Genauigkeit von 0,3 % des Skalenendwertes (Herstellerangabe). Sie wurden mit Gewichten kalibriert:

- Bei der anfangs verwendete älteren 500 g-Version ist bis 50 % des Meßbereiches kein ablesbarer Fehler vorhanden, erst in den letzten 10 % des Meßbereiches sind ca. 0,3 % Abweichung bemerkbar.
- Die neuen Waagen mit 600 g und 5 kg haben keine ablesbare Abweichung bis 600 g bzw. 2,4 kg.
- Nebenbei wird noch die Diätwaage (Tefal, Sensetive Computer, 0–2 kg/1 g und 2–4 kg/5 g) erneut kalibriert. Ergebnis ist eine Genauigkeit von besser 1 % bei 50 g bis besser als 0,2 % bei 500 g bei statischen Messungen. Das Meßergebnis ist unabängig von dem Punkt der Krafteinwirkung auf der Plattform.

Dabei werden mehrere Zwischenstufen: 2, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 600 g sowie 1,2, 2,4 kg verwendet. Bis 600 g werden 1995 geeichte Messinggewichte verwendet darüber mit der Satorius Universal vermessene Gewichte.

Dimensionierung des Antriebes

Nachträgliche Messungen haben folgende Verhältnisse zutage gefördert.

Hinter der Phasenanschnittssteuerung liegen bei „aufgedrehtem" Stellwiderstand je nach Meßgerät (M3830 bzw. GDM705) $|\bar{U}| = 209$ V bzw. $U_{\mathrm{eff}} = 224$ V an. Dabei werden die Halbwellen nicht komplett durchgeschaltet. Die Flex hat dann die, in der Tabelle E.1 aufgeführten, Stromaufnahmen. Die Flex ist mit einer kleinen Laufrolle versehen, die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades beträgt ca. 40 km/h. Der Strom wird als Spannung über einen Shunt mit 0,1 Ωabgegriffen;[2] je nach Meßbereich der Spannung (–750 V bzw. –0,4 V) werden unterschiedliche Spannungsabfälle respektive Ströme gemessen. Für die weiteren Berechnungen werden die im 0,4 V-Bereich ermittelten Werte verwendet.

[2] Das GDM705 weist bei der Strommessung nicht die Oszilloskopfunktion auf.

Tabelle E.1: Stromaufnahme der Flex bei $U_{\text{eff}} = 224\,\text{V}$ an einer Phasenanschnittssteuerung

Zustand	I [A]	I [A]	ΔP [W]
Meßbereich [V]	−0,4	−750	
Leerlauf	0,963	1,22	0
Laufrad läuft mit	0,993	1,25	8,7
Nordlicht an $12\,\Omega$	1,04	1,29	17,26

Das sich hier ergebende Bild wird auch mit einer phasenrichtigen Wirkleistungsmessung mit einem elektrodynamischen Wattmeter bestätigt.

Die Differenz in der Leistungsaufnahme $\Delta P = 224\ \text{V} \times I - 224\ \text{V} \times 0{,}963\,\text{A}$ läßt theoretisch auf die Leistungsaufnahmen der Verbraucher schließen. Nur hieße das dann, daß der Dynamo bei 40 km/h einen Wirkungsgrad von ca. 50 % hätte. Hier spielt die nichtlineare Kennlinie der Flex einen gehörigen Streich. Andere Motoren werden sich ähnlich verhalten. Eine Leistungs- und Wirkungsgradbestimmung des Fahrraddynamos auf diesem Wege ist mithin unzulässig! Es muß der korrekte Weg über die Erfassung der tatsächlich aufgenommenen mechanischen Leistung gegangen werden.

Anhang F

Stromversorgungen

F.1 Gleichspannung bzw. -strom

In diesem Zusammenhang: Die LED-Anzeigen der Hameg-Geräte oder die Floureszenzanzeige des Agilent lassen sich wunderbar, auch im Halbdunkeln, ablesen. Sollte IMHO für Labornetzgeräte unbedingt berücksichtigt werden.

F.1.1 PS 2403D

Seit ca. 1997 wird ein PS 2403D von Conrad als Gleichspannungs/ -stromquelle verwendet.

Nachteile: Hauptschalter auf der Rückseite, lausig verlötet, häufig Probleme mit Oxidation des Thermoschalters auf dem Kühlkörper, kein Sense. In *de.sci.electronics* wurde berichtet, daß nach zehn Jahren Alltagsbetrieb die Potis kratzen, die Spannung dann hochschnellen und entsprechend Schaltungen zerstören kann.

Vorteile: Schaltplan bei Conrad im Netz. Sense sollte nachrüstbar sein. Und die Reperatur bei durchlegierten Transistoren unproblematisch.

F.1.2 HM7042

Ab etwa 2002 übernimmt ein Hameg HM7042 den Part der Gleichspannungs- und -stromquelle.

Nachteile: Weniger Strom als das PS 2403D, akustisch wahrnehmbarer brummender Trafo.

Vorteile: Schnell ansprechende elektronische Sicherung, gut ablesbare Anzeigen. Paßt wunderbar in das Hameg-System (Turmbau zu Hameg;=). Der Lüfter ist extrem selten an.

Es ist immer noch mein Lieblingsgerät für die meisten Fälle.

F.1.3 Agilent 66332A

Ab Frühjahr 2008 kommt ein Agilent 66332A ersatzweise/parallel zum HM7042 hinzu.

Nachteile: 15 kg solide Technik, nicht so schnell einstellbar wie die anderen Geräte, Anschlüsse auf der Rückseite[1], deutliches Trafobrummen und ein lauter Lüfter (Papst 612 bei 8...12 V). Die Absicherung für den Senkenbetrieb ist innen ein 6x35 Schmelzsicherung. Dies spricht relativ schnell an; zumindest wenn man Laptopnetzteile, die etwas mehr Strom liefern können, vermessen möchte. Eine Anzeige (FUSE) o.ä. ist nicht vorhanden.

Vorteile: Gut ablesbar, zwei Schnittstellen (HP-IB und RS232), genaue Messung und Einstellung, Sense vorhanden, astreine Dokumentation. Zwei-Quadranten-Betrieb, also auch als Last verwendbar. Die Meßfunktion (Gleichspannung/Strom) ist so genau, daß selbst das GMC29s nicht zusätzlich benutzt werden muß.[2]

Jetzt muß ersteinmal die Ansprache unter Linux gelingen.

F.1.4 Agilent 6634

Ab Frühjahr 2012 kommt ein Agilent 6634 hinzu. Aus derselben Reihe wie das 66332A hat es auch 100 W Abgabe ode Aufnahme bei max. 100 V bzw. 1 A und ist damit prädestiniert für Nabendynamos bei höheren Geschwindigkeiten.

F.1.5 Fazit

Jedes dieser Geräte hat seine Berechtigung und wird nicht abgestoßen.

F.2 Wechselspannung bzw. -strom

Für Wechselspannung bzw. -strom kommen unterschiedliche Quellen zum Einsatz.

F.2.1 MufuZ

Ab etwa 2002 wird der MufuZ (s. S. 495) auch als Wechselstromquelle verwendet. Es werden unterschiedliche Laufräder mit SON20 bzw. SON28 benutzt. Der Antrieb erfolgt über eine Proxxon FBS 220E und unterschiedliche, der Geschwindigkeit und Motordrehzahl angepaßte Reibräder (Schleifstifte–Schleifscheiben).

[1] Können aber nach vorne gelegt werden. Die Frontplatte ist für 2×3 Buchsen im 19 mm-Raster vorbereitet;=)

[2] Wie es bei Verbrauchern mit Schaltnetzteilen bzw. gleichgerichteten Dynamos als Quelle aussieht ist noch zu betrachten.

F.2.2 Leistungsverstärker

Ab etwa 2000 wird ein selbstaufgebauter Leistungsverstärker (TDA7294) mit einem Frequenzgenerator (XR2206) als Wechselpannungsquelle verwendet. Siehe hierzu auch Erschütterungsmessung Glühbirnen (S. 194). Allerdings hat er auch schon wegen „weggelaufener“ Spannng einen IQ-fly auf dem Gewissen.[3]

F.2.3 SONquelle

Aufgrund der häufigen Messungen an Verbrauchern, die kein ohmsches Verhalten haben, z.B. LED-Scheinwerfern, wird ab Frühjahr 2008 aus einem B-Sortierungs-SON[4], einem 170 W Drehstrom-Motor (2700 und 560 min^{-1}, je nach Abtriebswelle)[5] und einem Frequenzumrichter[6] ein reale Stromquelle aufgebaut.

Vorerst wird der Drehstrommotor auf der Welle mit 560 min^{-1} ein Zahnriemenrad mit 20 und auf der Welle mit 2700 min^{-1} ein Zahnriemenrad mit 30 Zähnen haben. Als Zahnriemen kommt ein ISO5296 XL zum Einsatz. Dynamoseitig läuft der Zahnriemen auf einer zahnlosen Riemenscheibe mit 209,3 mm Durchmesser. Um eine gleichmäßige Drehbewegung durch die Schwungmassen[7] zu gewährleisten wird die Mindestfrequenz des Frequenzumrichters auf 8 Hz festgelegt. Aus bisherigen Erfahrungen mit diesem Motortyp sind maximale Frequenzen von 100 Hz unproblematisch. Bei den gewählten Drehstrommotor-Frequenzen von 8…100 Hz und rechnerischen 2100 mm Abrollumfang ist damit ein Geschwindigkeitsbereich von etwa 1,92…24 km/h und 13,6…170 km/h einstellbar.[8]

---

[3] 40106, ein Transistor und die LED.

[4] Nochmals Danke an Schmidt. $R_\mathrm{i} = 2{,}93\,\Omega$, $L_\mathrm{i} = 47{,}7\ldots75{,}3\,\mathrm{mH}$, $R_\mathrm{S} = 100\ldots276\,\Omega$, $Q = 2{,}72\ldots4{,}77$.

[5] Antriebsmotor einer Hommel UWG.

[6] Siemens Micromaster M250 (XAM503MM553D).

[7] Im wesentlichen sind dies der Läufer des Motors und die Riemenscheibe am Dynamo.

[8] Eventuell wird zukünftig auf der 2700 min^{-1}-Welle ein 15er Ritzel verwendet um so ohne umspannen einen Geschwindigkeitsbereich von $\approx$4…50 km/h einstellen zu können.

Bild F.1: SONquelle (von links: FU (mit 10-Gang-Poti), Tacho, IQ-fly, GBDSO, GMC29s)

Um diesen SON und sein Verhalten zu dokumentieren folgen ein paar Diagramme.[9]

[9] Wenige Stunden Messungen und mehrere Abende Auswertung und Darstellung.

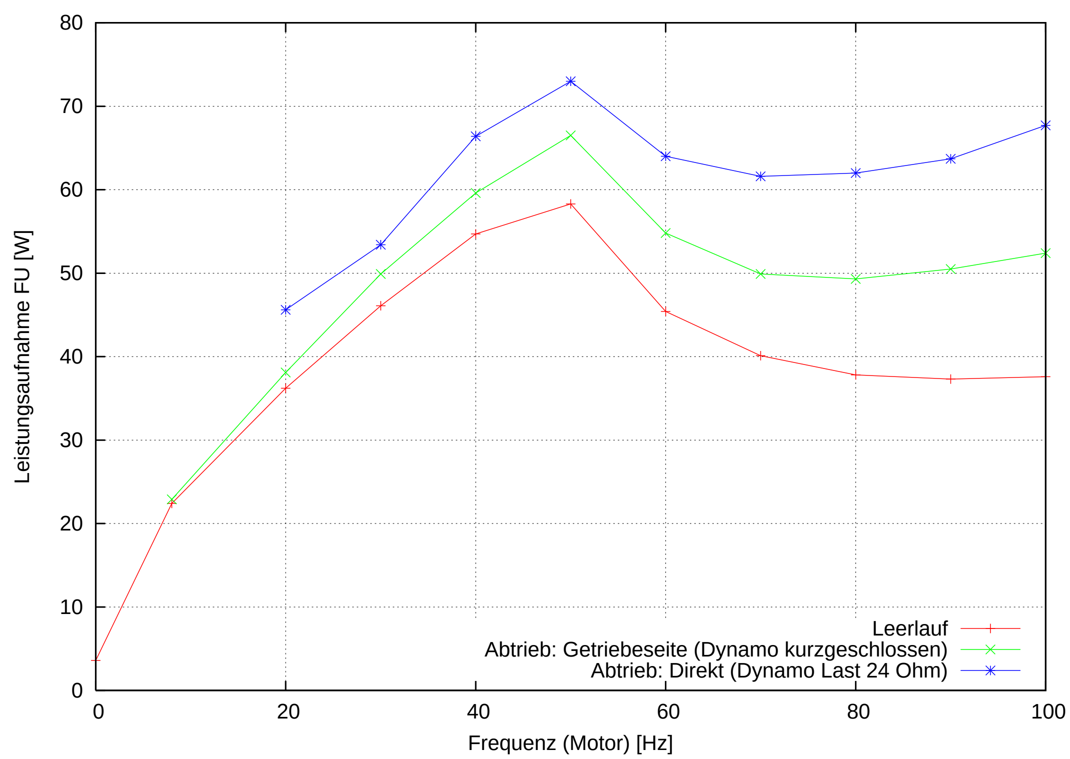


Bild F.2: Leistungsaufnahme Frequenzumrichter

Leerlauf heißt, daß der Zahnriemen nicht aufgelegt ist! Auch hier gilt wieder: Die Leistungsaufnahme des Antriebes nicht für die Wirkungsgradmessung des Dynamos heranziehen, auch nicht deren Differenzen![10]

Die Meßdaten an ohmschen Widerständen sind in Bild F.3 aufgeführt.

[10]Das wird anscheinend von einigen gerne vereinfachend gemacht.

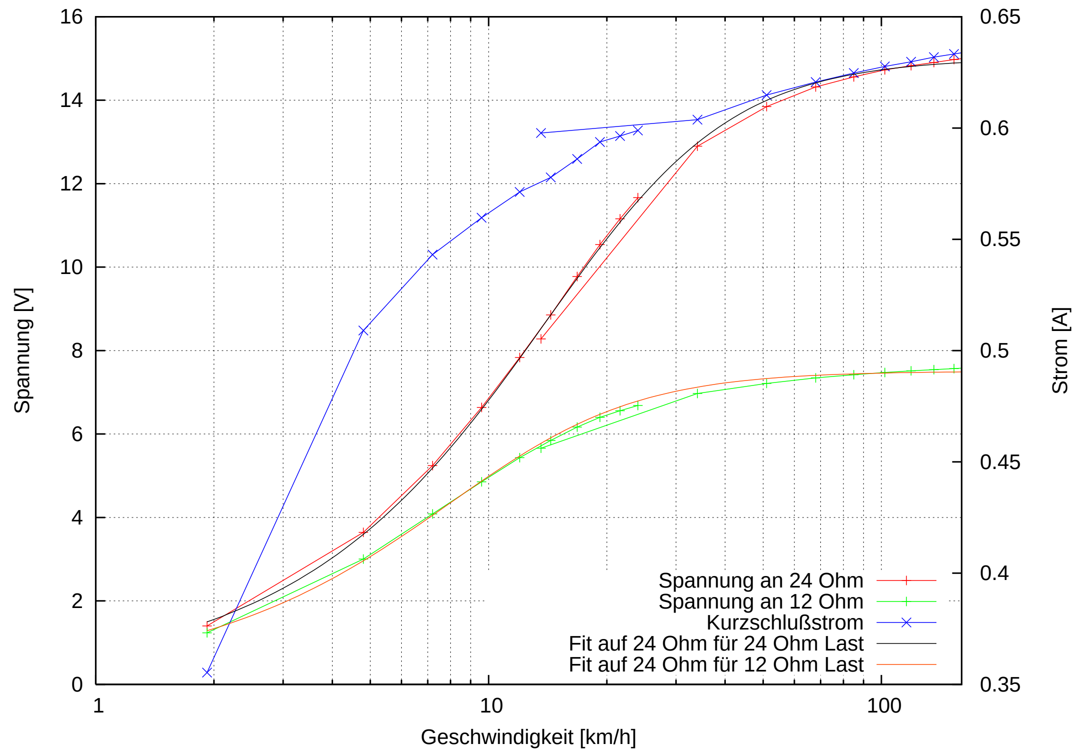


Bild F.3: Spannung und Strom der SON-Quelle

Der Sprung beim Kurzschlußstrom rührt durch einen noch nicht warmen bzw. schon leicht wieder ausgekühlten Dynamo bei diesem Meßpunkt her. Wird über einen möglichst großen Bereich ein Kurvenfit mit gnuplot durchgeführt, so ergeben sich für die Formel F.1 (vgl. 2.1)

$$U = \frac{aR_\mathrm{a}}{\left(1 + \left(\frac{R_\mathrm{a} + b}{cv}\right)^2\right)^d} \tag{F.1}$$

mit $a = I_\infty$, $b = R_\mathrm{i}$ und $c = 2\pi p L_\mathrm{i} U^{-1}$ die in der Tabelle F.1 aufgeführten Parameter.

Tabelle F.1: Parameterisierung SONquelle

Parameter	Fit auf		erwartet
	12 Ω	24 Ω	s. Fußnote 4
a	0,6254	0,6256	0,65
b	3,839	3,09738	2,93
c	1,299	1,39377	1,627
d	0,4633	0,49066	0,5

Mit den Parametern für den Kurvenfit auf 24 Ω und 2. . . 160 km/h liegen für 12 und 24 Ω die Abweichung zwischen Messwert und Funktion innerhalb einer Bandbreite ±2 %. Kurvenfits über die Teilbereiche 2. . . 24 bzw. 13. . . 170 km/h erbringen nur im jeweiligen Teilbereich befriedigende Parameter.

Es sind leichte Abweichungen zu den gemessenen Kenndaten bzw. theoretischem Ansatz feststellbar.[11]

Die Leerlaufspannung liegt bei etwa 0,946 Vh/km.

Fraglich ist noch, ob obige Betrachtungen auch einfach auf ohmsche Verallgemeinerungen nichtohmscher Verbraucher, z.B. LEDs, zutreffen. Dazu folgende Messungen und Diagramme. Als Last wird hier ein Brückengleichrichter aus SB130 und nachgeschaltetem 6800 µF-Elko für die Glättung verwendet. Hinter diesen werden ein, zwei bzw. vier LEDs (LXHL-PW09 bzw. XR-E7090) geschaltet. Vor den Brückengleichrichter wird gegebenenfalls ein Serienkondensator (330 µF) geschaltet. Die Leistungen, Ströme und Spannungen werden mit einem GMC29s zwischen Dynamo und Gleichrichter bzw. Dynamo und Serienkondensator gemessen.

Das die Phasenlage zwischen Spannung und Strom etwas komplexer ist als bei rein ohmschen Lasten soll Bild F.4 verdeutlichen. Hier sind die Oszilloskopbilder mit gnuplot möglichst genau nachgezeichnet worden.

[11] Der Unterschied zwischen Theorie und Praxis ist in der Praxis meist größer als in der Theorie.

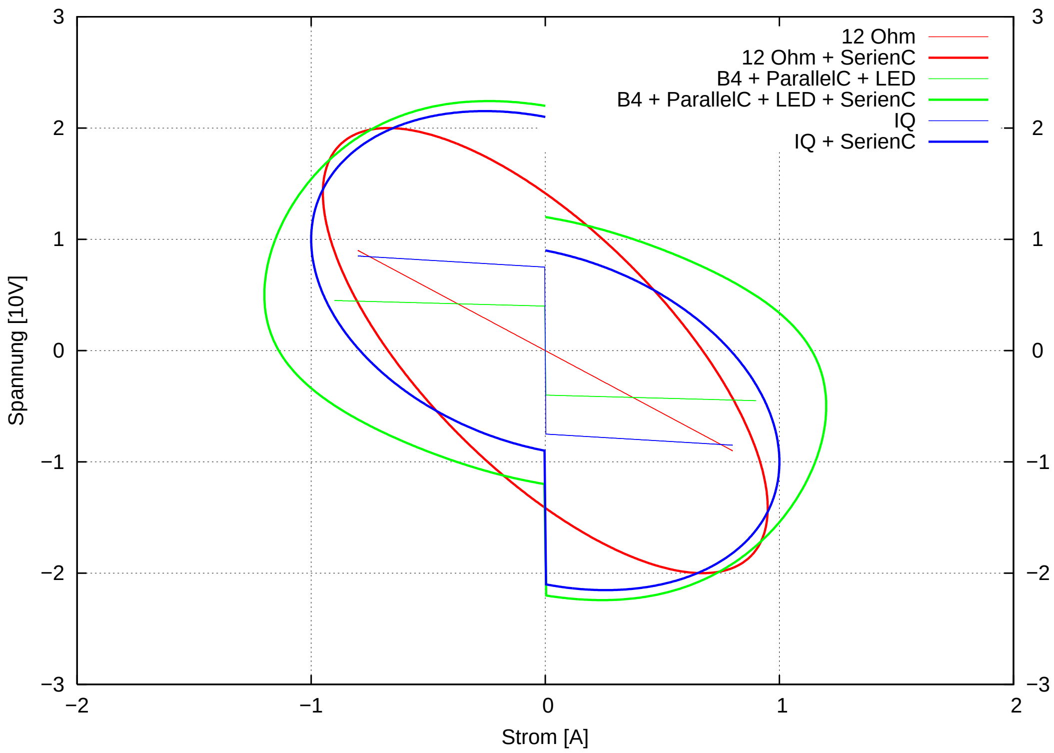


Bild F.4: Lissajous-Figuren unterschiedlicher Lasten

Die Kurven mit Serienkondensator sind wirklich so „verdellt“. Bei Bedarf können die Fotos vom GBDSO-Bildschirm zur Verfügung gestellt werden.

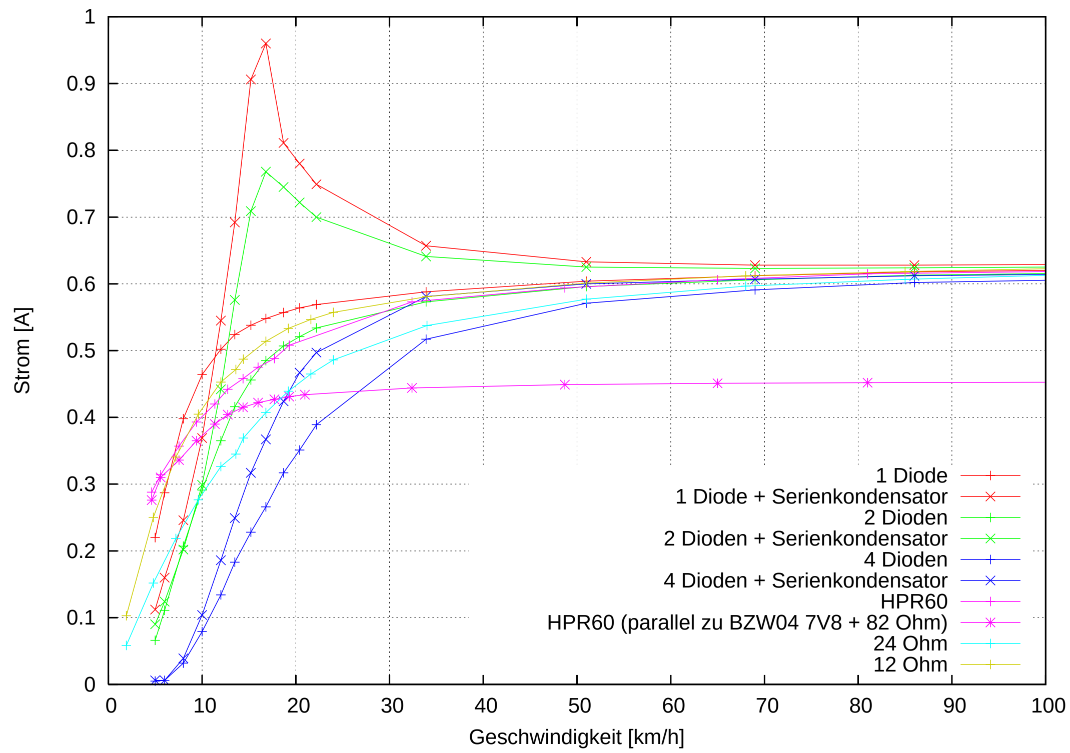


Bild F.5: Strom bei unterschiedlichen Lasten

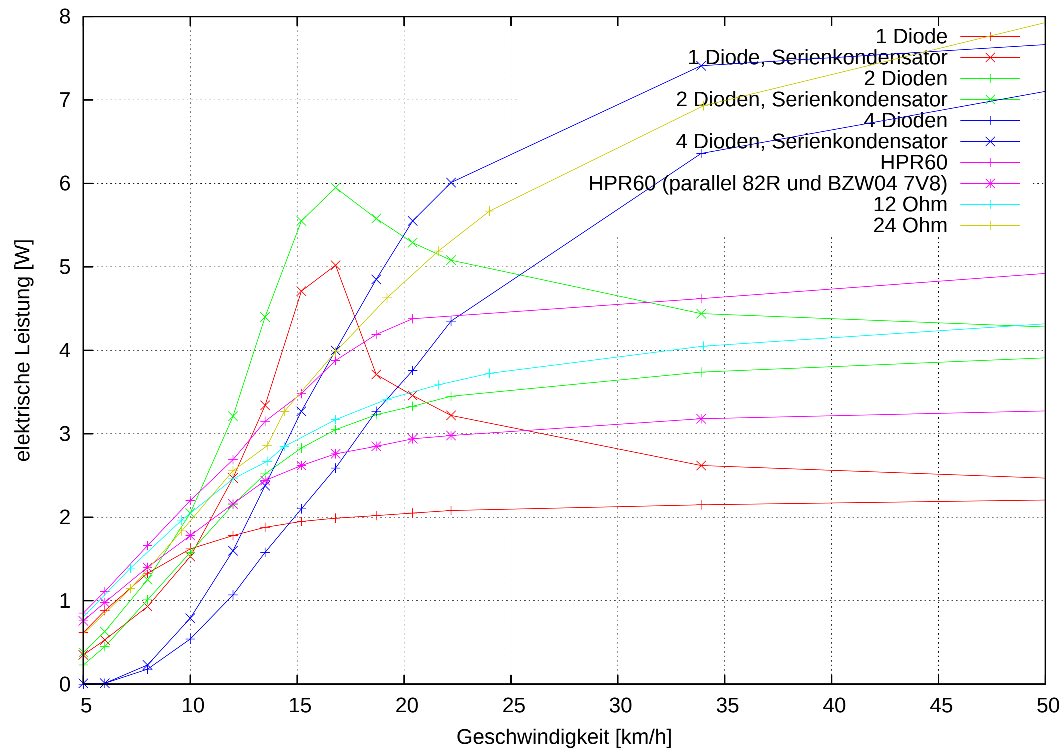


Bild F.6: Elektrische Leistung bei unterschiedlichen Lasten

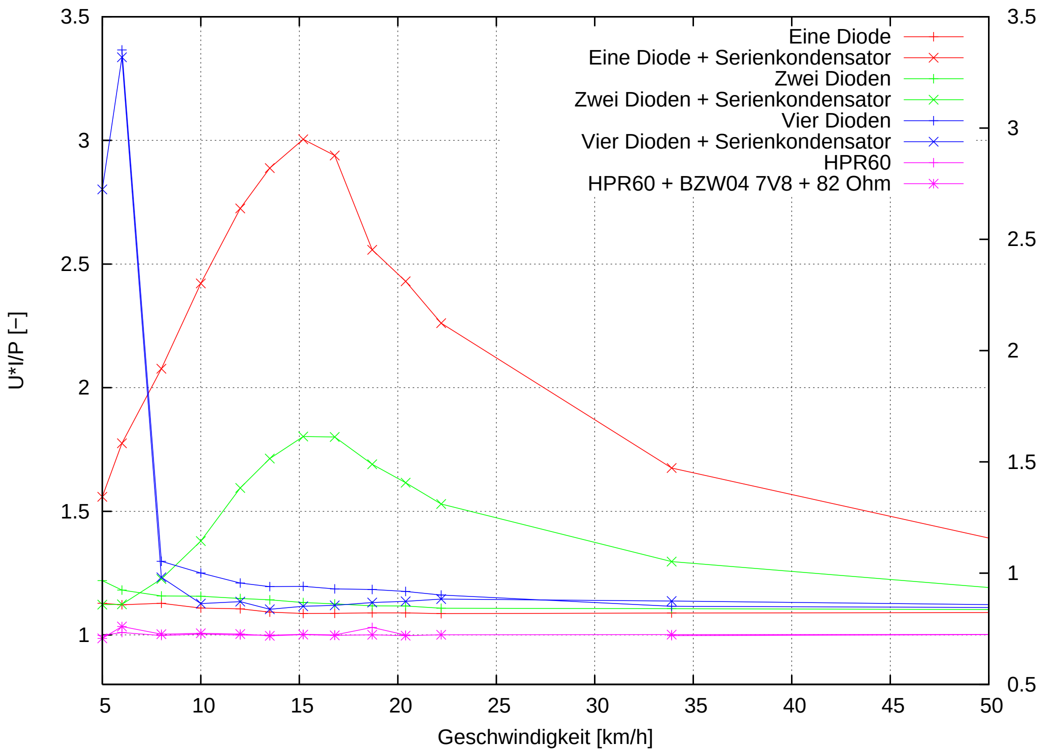


Bild F.7: Zusammenhang von U, I und P bei unterschiedlichen Lasten

Je nachdem, was man messen bzw. berechnen will wird die aufzuwendende Meßtechnik beliebig kompliziert. Ohmsche Verbraucher sind unkompliziert ($P = U * I$). Sobald Halbleiter die Quelle belasten und erstrecht wenn kapazitive Einflüsse hinzukommen ist eine echte Leistungsmessung unumgänglich.

Wird mit obigen Werten gearbeitet und die funktionalen Zusammenhänge 3.49 und 3.70 verwendet, so kann Bild F.8 erzeugt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß eine HPR60 bei $I_{\text{nenn}} = 400\,\text{mA}$ einen Lichtstrom $\Phi_{\text{HS3 Nenn}} = 42\,\text{lm}$ emittiert (vgl.O.15). LEDs weisen bei 500 mA einen Lichtstrom von etwa 35 lm (LXHL-PW09 Rank T), 67 lm (Cree XR7090-WT-U1-WH-P4), 75 lm (LXML-PWC1-0100) und 85 lm (Cree XR-E Q4) auf.[12] Diese Werte sind als Skalierungsfaktoren noch zusätzlich für Bild F.8 zu berücksichtigen.[13]

[12] Diagramme Seite 255 ff.

[13] Für einen mit Cree XR-E Q4 bestückten Scheinwerfer gilt dann, daß er $85/42 \approx 2$ mal heller ist als die Kurven in Bild F.8 zeigen, der mit HPR60 bestückte Scheinwerfer aber so beibehalten wird.

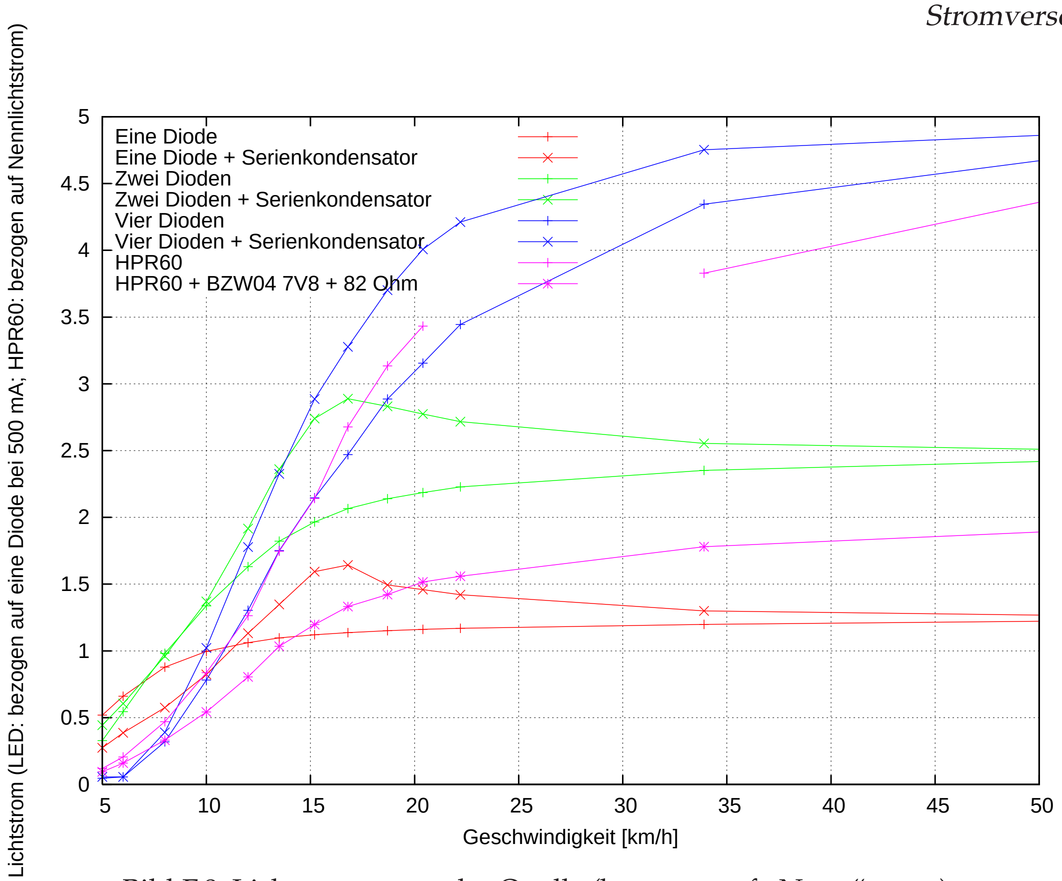


Bild F.8: Lichtstrom an realer Quelle (bezogen auf „Nenn“werte)

Die HPR60 war zu Beginn der Messungen neuwertig (5,8 V bei 0,4A). Nach diesen Messungen (zuletzt die belastenste: 20–160 km/h, ohne Rücklichtsimulation aus Parallelwiderstand und BZW04 7V8) wieß sie 3,58 V bei 0,4 A bzw. 6 V bei 0,545 A auf. Besonders der Kurvenabschnitt HPR60 (magenta, +) über 20 km/h ist daher kritisch zu betrachten.

Es stellt sich die Frage, ob Gl. 3.70 auch bei Einsatz eines Serienkondensators gilt. Zur Klärung wird ein alter TD in eine Ulbrichtkugel gelegt und nur eine Hälfte (eine LED) betrieben.[14] Wieder wird mit und ohne Serienkondensator gemessen und auf 500 mA bezogen.

[14]Es ist der *worst case* mit den größten Strömen.

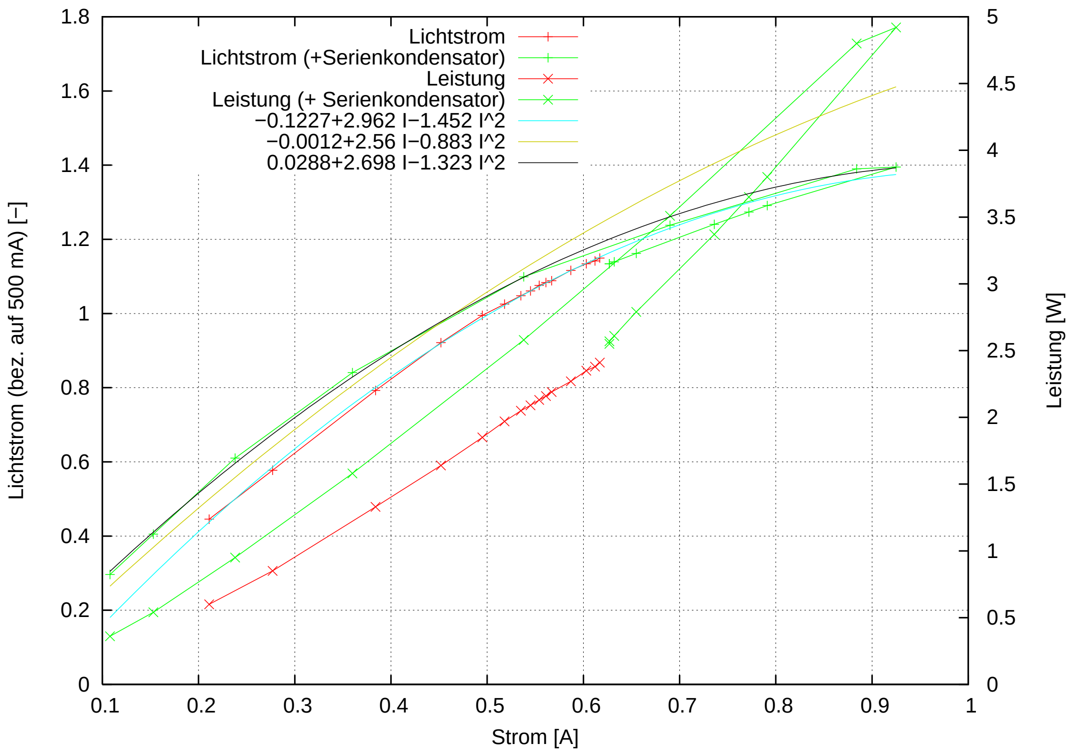


Bild F.9: Lichtstrom an realer Quelle (bezogen auf „Nenn"werte)

Der Lichtstrom mit Serienkondensator ist etwas größer als der ohne Serienkondensator. Die entsprechenden Polynome ($y = a + bx + cx^2$) für eine Aproximation sind angegeben.

Tabelle F.2: Fit-Parameter Lichtstrom LED bei unterschiedlichen Bestromungen

Versorgungs	a	b	c
Gleichstrom	$-0{,}0012$	2,56	$-0{,}883$
Wechselstrom	$-0{,}1227$	2,962	$-1{,}452$
Wechelstrom+Serienkond.	$-0{,}0288$	2,698	$-1{,}323$

Damit kann Gleichung 3.70 vereinfachend auch beim Einsatz von Serienkondensatoren herangezogen werden.

Hätte ja auch klar sein können. Wenn man sich mal im Oszilloskop den reinen LED-Strom[15] anschaut, so ist es im wesentlichen

Gleichstrom mit überlagertem Sinus-Anteil: ohne Serienkondensator, grüne Kurve.

[15] Zwischen Glättungselko und LED über einen 0,1 Ω-Shunt abgegriffen.

Gleichstrom mit überlagertem Sinus-Anteil: mit Serienkondensator im/über dem Bereich der „Resonanz“, rote Kurve.

Rechteck: mit Serienkondensator unterhalb der „Resonanz“, blaue Kurve.

Vergleiche hierzu Bild F.10.

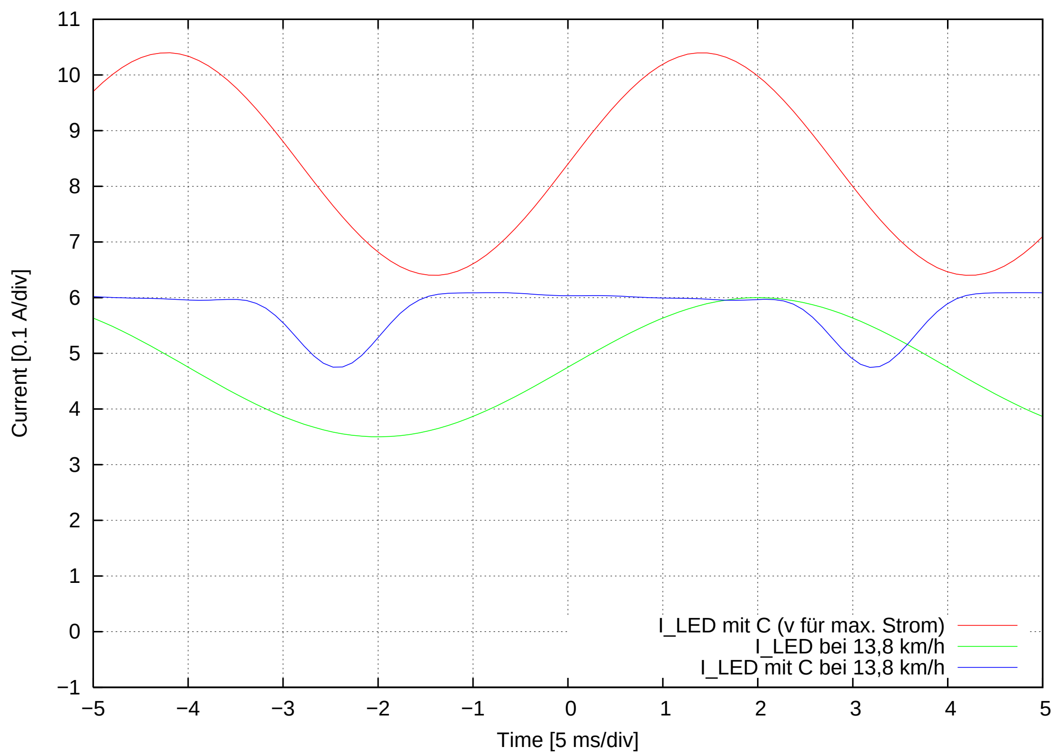


Bild F.10: LED-Strom

Die Kurvenverläufe sind vom Oszilloskop-Schirm möglichst realitätsnah nachgezeichnet und die Fourier-Synthese mit www.falstad.com/fourier/ durchgeführt.[16]

Eine kurze Dokumentation eines Vergleiches zwischen einem Brückengleichrichter aus vier MBR2545 und einer Schaltung aus zwei IRF7319 an 12 Ωan der SONquelle bei 49,94 Hz.

[16]Jaja, wäre schön, wenn das GBDSO mal die Auslese-Software, am besten gleich für Linux, bekommt oder ein anderes Oszi mit Schnittstelle oder Speicherkarte daherläuft.

Tabelle F.3: MBR2545 gegen IRF7319

	MBR2545	IRF7319	
vor Gleichrichtung			
P_{el}	4,21	4,01	[W]
U_{eff}	7,47	7,08	[V]
I_{eff}	0,567	0,567	[A]
nach Gleichrichtung			
U_{grw}	6,10	6,13	[V]
U_{eff}	6,78	6,82	[V]
η_{grw}	73,6	78,1	[%]
η_{eff}	91	96,7	[%]

Nachteile IRF7319:

- Hinter dem Gleichrichter aus IRF7319 ist kein Glättungskondensator o.ä. möglich.
- Als SMD-Bauteil entweder was für eine Platine oder ruhige Finger und Drahtigel.

Vorteile IRF7319:

- Bauch an Bauch baut so ein Drahtigel schön kompakt kleiner als ein einzelner MBR2545.
- Höherer Wirkungsgrad und höhere Spannungen für den Verbraucher als ein Gleichrichter aus MBR2545

Randbemerkung: Das GMC29s und das HM8011 auf = geschaltet zeigen U_{grw} an. Das GMC29s auf $\hat{=}$ geschaltet zeigt U_{eff} an.

Anhang G

Ulbrichtkugeln im Eigenbau

Für die Charakterisierung der Kugeln können folgende Kenndaten verwendet werden. Die gesamte Kugelinnenfläche A setzt sich aus der Kugelfläche und der Fläche des Schatters zusammen. Die Störflächen $A_{\text{Stör}}$ setzen sich aus der des Sensorfensters, des Eintrittsfenster und des Trennspaltes zusammen. Das Verhältnis (f) zwischen Störflächen und Gesamtfläche sollte unter 5 % liegen.

$$A = A_{\text{Kugel}} + A_{\text{Schatter}} = \pi D^2 + 2\frac{\pi}{4}\left(\frac{D}{3}\right)^2 = \frac{19}{18}\pi D^2 \tag{G.1}$$

$$A_{\text{Stör}} = \frac{\pi}{4}d_{\text{E}}^2 + \frac{\pi}{4}d_{\text{S}}^2 + \pi s D \tag{G.2}$$

$$f = \frac{A_{\text{Stör}}}{A} \tag{G.3}$$

$$\tau = \frac{\Phi_{\text{s}}}{\Phi} = \frac{\rho f_{\text{s}}}{1-\rho(1-f)} \tag{G.4}$$

$$f_{\text{s}} = \frac{\pi d_{\text{S}}^2}{4A} \tag{G.5}$$

mit dem Kugeldurchmesser D, der Trennspaltdicke s, dem Durchmesser des Sensorfensters d_{S}, dem Durchmesser des Eintrittsfensters d_{E} und dem Durchgang[1] τ. Die Reflektivität ρ der Beschichtung wird aus Formel (3.9) berechnet.

G.1 UK1

Im April 2001 ist der Bedarf für eine UK so groß, daß eine erste Kugel (UK1) selbst gebaut wird. Ich habe keine Lust mehrere kDM oder Kilo-Euro zu investieren, ist ja schließlich Hobby, und nicht be-

[1] In der englischen Literatur *throughput*.

ruflich. Ein Sitzball mit einem Durchmesser von 58 cm wird mit GFK überlaminiert. Außen wird ein normaler, schwarzer Buntlack in drei Schichten gestrichen. Nach mehreren, vergeblichen, Versuchen Farben mit Magnesiumoxid oder Barytweiß zu erhalten am Ende von einem UK-Hersteller sinngemäß mit „Wenn Sie nicht kallibrieren wollen, dann reicht 'ne Dispersionsfarbe. … Wir beschichten nicht selber, da die Farbe nur schwer homogen aufzubringen ist; wir haben da unser Lehrgeld bezahlt…" ergab, wird als Innenanstrich eine normale Dispersionfarbe (Alpina Universalweiß (AUW)) verwendet. Innen wird mit einer schmalen Schaumstoffrolle gemalt. Fellrollen ergeben eine zu grobe, Pinsel eine gerichtete Oberfläche. Als Schatter wird eine 2 mm dicke Blende, mit drei 2 mm GFK-Stäben am Rand an der Kugelwand befestigt, verwendet. Der Trennspalt zwischen den Halbschalen wird mit schwarzem Baumwollsamt (einseitig aufgeklebt) abgedichtet. Die Kugel ist nicht ganz lichtdicht: Außenlicht wirkt sich mit ca. $1{,}18 \cdot 10^{-5}$ lx/lx aus.[2] Die Eintrittsöffnung ist dabei abgedeckt. Ursache sind meist nicht komplett zulackbare Löcher im Laminat (180 g/m^2 Leinwand), zu groß für die Oberflächenspannung, zu klein die Höhlen darunter, als daß dort Lack einzubringen ist. Bei einer Bestrahlung mit „Schwarzlicht"-Neonröhren werden keine sichtbaren Floureszenseigenschaften festgestellt. Bilder aus der Bauphase sind auf http://www.enhydralutris.de/Fahrrad/HPV-Bilder/OlafSchultz/Elektronik/ zu finden.

Den folgenden Textstellen vorweggreifend: Mit drei, von Busch&Müller freundlicherweise vermessenen und zur Verfügung gestellten, HS3 Halogenlampen (OSRAM) ergibt sich ein bis Ende 2008 genutztes C_K von 0,176 lm/lx mit AUW. Eine Rekallibration im November 2008 mit drei neuen, ebenfalls wieder freundlicherweise von bumm zur Verfügung gestellter Birnen ergibt einen neuen C_K. Nach dieser Kallibration wird ein Neuanstrich mit OPD97 von Gigahertz-Optik durchgeführt.[3]

Grob überschlägig sollten bei zu erwartenden Lichtströmen von ca. 0,5 lm (NSPW500) … 36 lm (HS3) … 450 lm (10 W Sōlarc), Reflexionsgraden von $\varrho = 0{,}8$ sowie einer Innenfläche von ca. 1,1 m^2 Beleuchtungsstärken von

$$\overline{E}_\mathrm{ind} = \frac{\varrho}{A_\mathrm{H}(1-\varrho)}\Phi_\mathrm{L} \tag{G.6}$$

1,8 lx… 129 lx… 1614 lx meßbar sein. Je besser der Anstrich reflektiert, desto besser. Kleine Kugeln würden bei kleinen Lichtströmen besser sein, aber dann machen sich Oberflächenfehler[4] stärker bemerkbar. Allererste Gehversuche ergeben bei Betrieb mit einer neuen HS3 bei 2,504 W eine Beleuchtungsstärke 160 lx an den Rändern und 176 lx im Zentrum. Als Umrechnungsfaktor C_K wird 0,176 verwendet.

[2] Mit Sonnenlicht über mehrere Beleuchtungssärken vermessen.
[3] Aufgetragen mit eine Reval-Spritzeinheit.
[4] Zum Beispiel wächst die Länge/Fläche der störenden Trennfuge linear, die restliche Oberfläche hingegen quadratisch.

Tabelle G.1: Erste Gehversuche mit der UK1

Lichtquelle	U [V]	P [W]	E [lx]	[lx/W]	Φ [lm]	[lm/W]	Φ_{Nenn} [lm]
HS3	6	2,526	185	72,3	32,6	12,9	36
HS4	13,5	5,521	580	105,1	102,1	18,5	90
HPR64	6	2,964	274	92,4	48,2	16,3	46
Halotone 5 W	12	4,848	297	61,3	52,3	10,8	60
Halotone 10 W	12	10,536	733	69,6	129	12,2	140
Halotone 35 W	12	35,46	3150	88,8	554,4	15,6	600
Halolux BT 150 W	228,9	153,45	15100	98,4	2657,6	17,3	2100
Sōlarc 10 W	12	13,164	2260	171,7	397,8	30,2	450
	11	11,374	1730	152,1	304,5	26,8	
	10	9,81	1380	140,7	242,9	24,8	
Sōlarc nackt	12	13,056	3034	232,4	534	40,9	500
NSPW500 20 mA	3,418	0,068	9,04	132,2	1,6	23,4	
5 mA	3,104	0,016	2,67	172	0,47	29,4	

Die Sōlarc ist mit der Originalvorschaltelektronik vermessen, die Betriebsdauer beträgt ca. 9 h. Bei der „nackten"[5] Messung mehrere 10 Stunden. Die UK1 reagiert relativ empfindlich auf die Lage der stark gerichteten Strahler. So werden diese hier in der Mitte, mittig auf den Schatter strahlend, ausgerichtet. Die neuen Halotones werden mit einer Lebensdauer von 2000 h in der 5 W und 3000 h in der 10 W und 35 W-Ausführung angegeben. Zieht man Nennlichtströme[6] heran, so ergibt sich $C_K \approx 0{,}189$ lm/lx. Lediglich die HS4 und die NSPW500 weichen stark ab. Dem wird noch nachgegangen.

Ein Durchmusterung von über 40 Kleinleistungshalogenlampen (teilweise neu, teilweise gebraucht) ergibt mit einem $C_K \approx 0{,}176$ lm/lx Bild G.1. Dieser Wert wurde auch durch drei, von Busch&Müller ausgemessene und freundlicherweise zur Verfügung gestellte, HS3-Lampen bestätigt.

[5] Brenner ohne MR11 und ohne Schutzglas.

[6] Im Falle der Halotones werden in anfänglicher Ermangelung von Daten von Philips welche von OSRAM verwendet. Allerdings entsprechen nachträglich herausgefundene aktuelle Philips-Daten genau den zehn Jahre alte OSRAM-Daten.

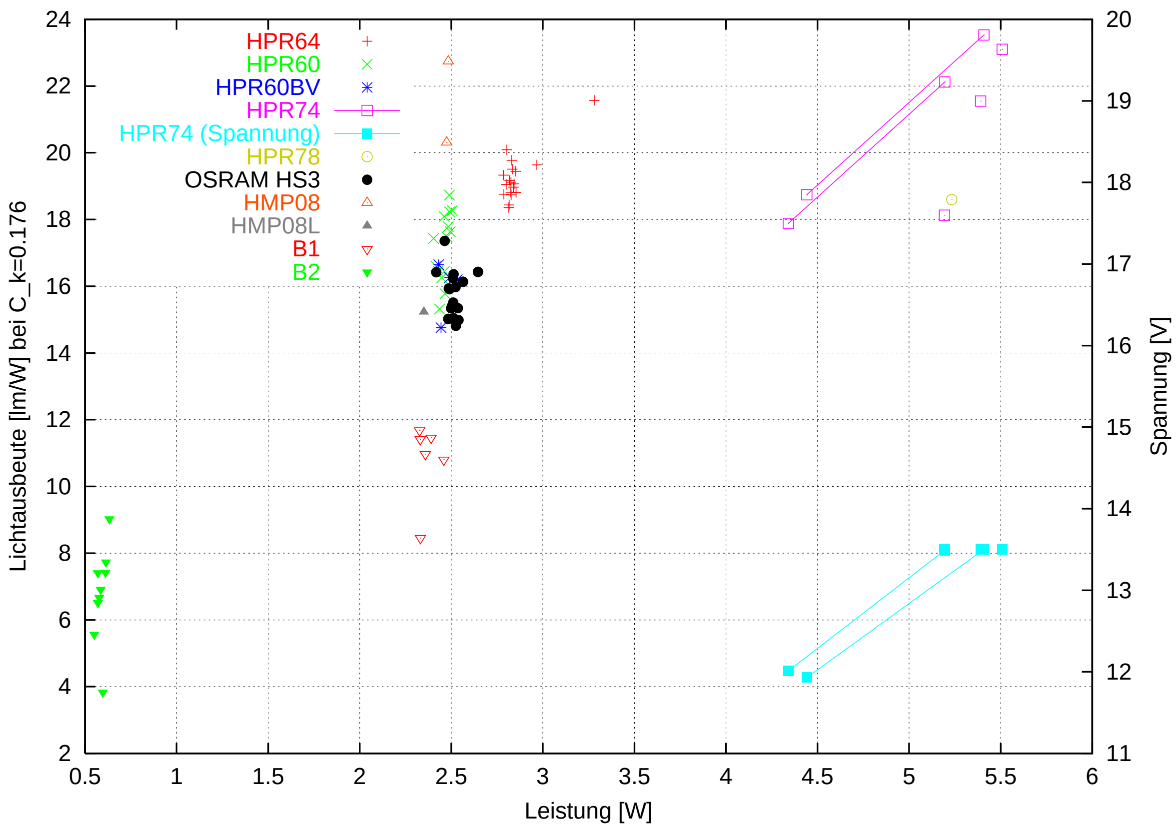


Bild G.1: Durchmusterung von Glühlampen in der UK1

Nebenbei sei bemerkt, daß einige Lampen schon gealtert sind (z.B. die beiden „Ausreißer“ bei den HPR64). Generell interessant ist das Streufenster der Lampen, die HPR64 soll eigentlich eine 6 V / 3 W-Lampe sein. An 6 V ist sie hier aber eher eine 2,8 W-Lampe. Zusammen mit einem DToplight (mir sind bisher meist nur Versionen mit <0,3 W in die Hände gefallen) also eine gute, wenn auch nicht zugelassene, Wahl, gerade an starken Dynamos! Frapierend ist die hohe Streubreite der unbenutzten B2-Lampen.

Und eine weitere Anmerkung ergibt sich aus der Zwickmühle der TA 23 (s. S. 576 ff.), die für die „einfachen“ Anfordungen von 6 V-Systeme bzw. unter 42 lm bei U_{Nenn} ausgeht: Lampen in 6V-Systemen dürfen nicht mehr als 17,5 lm/W haben. Die HPR60 dürfte nach bisherigen Messungen mit anderen Worten keine Zulassung erhalten haben bzw. nicht für 6 V-Scheinwerfer zugelassen sein. Also mal wieder ein Zwickmühle im Zulassungsdickicht.

Die UK1 reagiert auf die Position und Strahlcharakteritik der Lichtquelle. Für Lichtquellen mit einer kugelähnlichen Abstrahlung liefert die übliche Postition nahe der Kugelmitte stabile Meßwerte. Stark gerichtete Strahler, wie z.B. die Sōlarc, weisen größere Abweichungen auf. Für eine Auswahl an Luxeon-LEDs, eine HS3 und einen Solarc-Brenner siehe Bild G.2. Die Lichtströme sind auf den

Lichtstrom in der Mitte normiert. Die Eintauchtiefe ist ebenfalls normiert: Peripherie=1, Zentrum=0. Es werden folgende Achsendefinitionen verwendet: x-Achse=Achse des Sensors (pos. auf den Sensor zeigend), z-Achse senkrecht (Teilungsebene, pos nach oben (x liegt horizontal)), y-Achse normal auf x und y. Die einzelnen Kurven werden mit „Lichtquelle Achse,Strahlrichtung“ benannt.

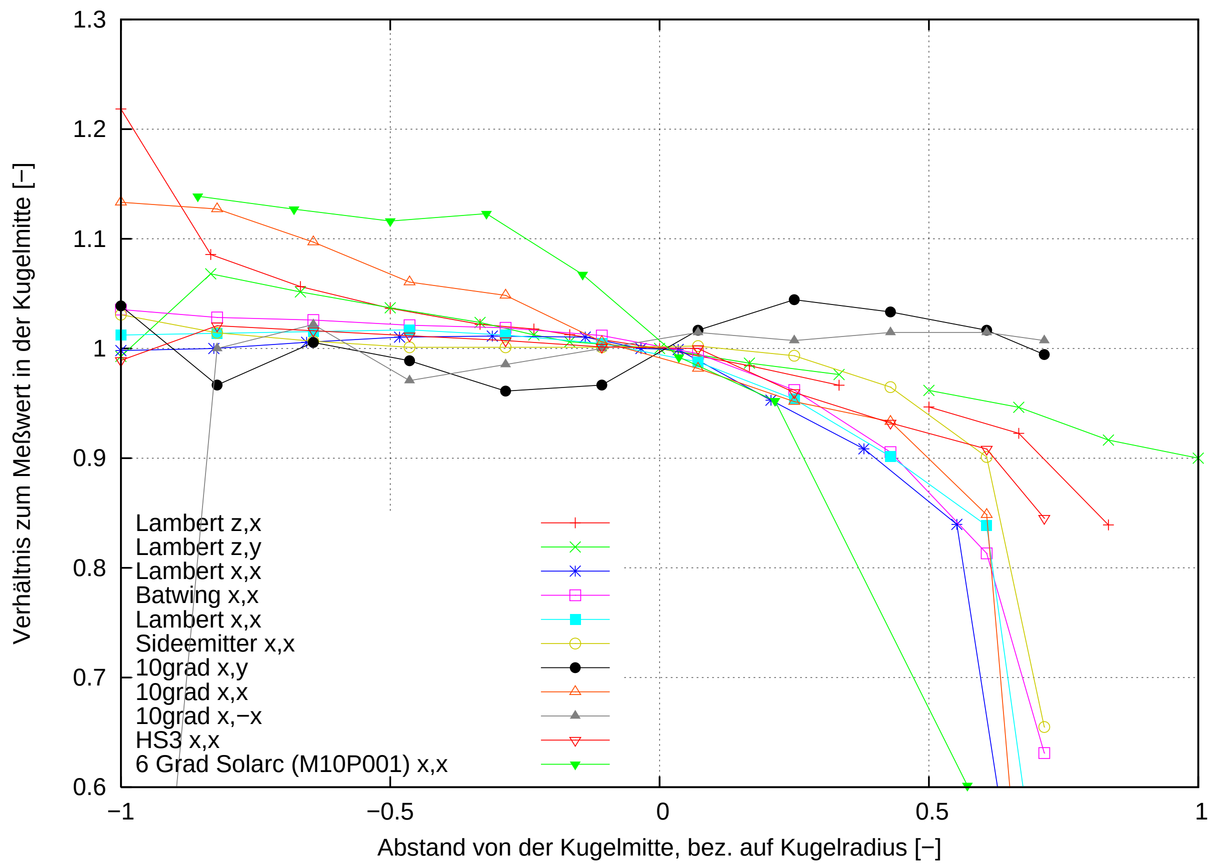


Bild G.2: Abhängigkeit des Meßwertes von der Strahlausbreitung und Position (normiert)

Damit ist die Abhängigkeit der Ulbrichtkugel auf Fehlpositionierungen einigermaßen beleuchtet.

Die Abhängigkeit der UK auf die Ausrichtung der Lichtquelle werden mit einem Lambertstrahler und einem Sidemitter in der Kugelmitte ausgetestet (vgl. Bild G.3).[7]

Laut AB08 (Stand 04/2006) mißt Luxeon von der Peripherie ($x = -1$ in Bild G.2).

[7] $\alpha = 0$ Richtung Abschatter, $\alpha = 90$ seitlich, $\alpha = 180$ vom Abschatter weg strahlende.

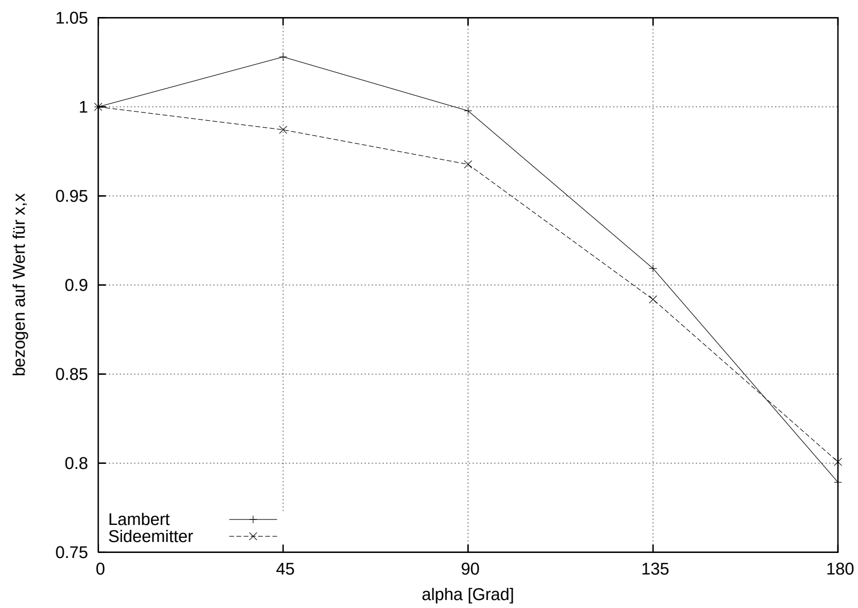


Bild G.3: Abhängigkeit der Meßergebnisse von der Ausrichtung in der Ulbrichtkugel

Der starke Abfall zwischen 135 und 180 Grad kann zum Teil durch die halbseitige Abschattung der LEDs durch die Halterung (8 mm breites Messingprofil) erklärt werden.

Für die Messung gerichteter Strahler ist es zumindet bei L.O.T üblich, den Strahler am Kugelrand zu plazieren, den Sensor quer dazu anzuordnen und diesen vor direkter Strahlung mit einem, dazwischen platzierten und bis an die Wand reichenden Schatter zu schützen (vgl. Bild 3.1). Bei einer Anstrahlung der Wand gegenüber dem Schatter reagiert die hier benutzte Bauversion relativ gering auf die Position der Strahlers, jedoch werden ca. 15 % geringere Lichtströme als bei der Anstrahlung des Schatters gemessen.

G.2 UK2

Im Dezember 2001 wird noch eine zweite, kleinere Kugel (UK2) gebaut.[8] Ein Globus (Durchmesser 25 cm) wird mit Gipsbinden abgeformt und diese mit Glasfaser/Epoxi verstärkt. Die restliche Behandlung erfolgt analog zur UK1. Das relativ große Fenster wird ggf. mit einem Stück weiß gestrichenen schwarzen, also lichtundurchlässigen, PE-Schaumes abgedeckt.

[8]Die UK1 nimmt viel Platz unter dem Schreibtisch ein.

G.3 UK3

Die UK3 ist ein preiswerter Schnellschuß um Lebensdauerversuche an beheizten bzw. ungekühlten LEDs vorzunehmen. Da sie nicht für absolute Lichtstrommessungen verwendet wird ist eine Kallibrierung nicht vorgesehen.

Es ist ein Konfektdose aus Edelstahl. Da der erste Versuch, Alpina Universalweiß rißfrei trocken zu kriegen nicht gelingt wird die Kugel mit Tipp-Ex ausgeschlämmt.

Im Zuge des ODP97-Anstriches von UK1, UK2 und UK4 wird auch UK3 im November 2008 mit ODP97 gestrichen.

G.4 UK4

Die UK4 ist für gerichtete Strahler, also komplette Scheinwerfer gedacht. Es ist ein alter Globus mit 32,5 cm Innendurchmesser. Das vorhandene große Loch am Südpol wird so aufgefräst, daß eine Big-Bang als derzeit größter Strahler hineinleuchten kann. Der Erstanstrich ist graue Metall-Rostschutzfarbe als Haftvermittler, gefolgt von einigen Schichten mit Schaumstoffrolle aufgetragenem AUW. In dieser Konfiguration wird eine Erstkallibrierung mit einigen konstanten und hinreichend weit goniometrierten Scheinwerfern (Elio-Nova, U100 ohne Streuscheibe, Radsonne. . .) vorgenommen. Nach der Beschichtung mit ODP97 wird die Kalibration erneut durchgeführt. Außerdem werden die im aktiv-Radfahren-Tests 11-12/2008 vermessenen Scheinwerfer und ein Spanninga Luceo (Batteriebetrieb) damit vermessen.

Diskussionbedarf besteht sicherlich über den Abstand des Scheinwerfers und den erfaßten Sammelwinkel (vgl. Bild G.4).

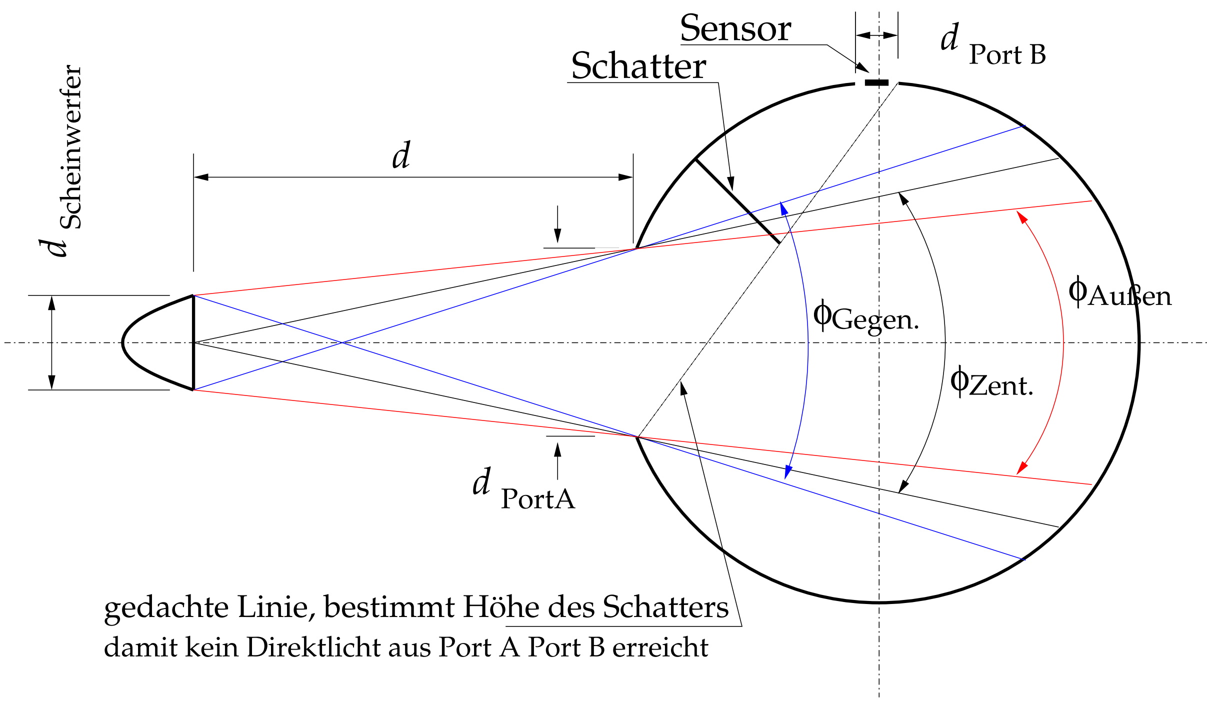


Bild G.4: Sammelwinkel an der UK4

Die einfachste Definition wäre sicherlich den Sammelwinkel über $\varphi_{\text{Zent.}}$ zu definieren. Über die Gegenseiten $\varphi_{\text{Gegen.}}$ wird allerdings deutlich mehr Licht eingesammelt. Praktisch sollte allerdings $\varphi_{\text{Außen}}$ eher zutreffen, da der Strahlengang außerhalb des Scheinwerfers hoffentlich nicht überkreuzt ist, wie φ_{Gegen} annimmt. Im Zweifelsfall ist der Scheinwerfer von vorne leicht seitlich anzugucken und zu beurteilen, welche Reflektoranteile in diesen Bereich hinenstrahlen.

Mit

$$\varphi_{\text{Außen}} = 2 \arctan\left(\frac{d_{\text{Port A}} - d_{\text{Scheinwerfer}}}{2d}\right) \tag{G.7}$$

ergibt sich Bild G.5.

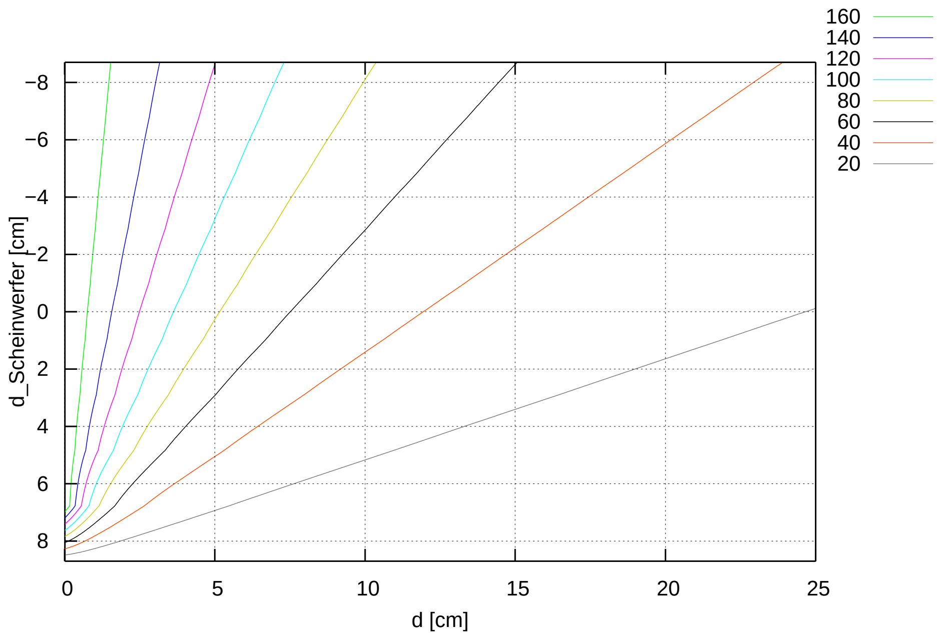


Bild G.5: Sammelwinkel UK4 bei Abstands- und Scheinwerferänderung

Negative Scheinwerferdurchmesser ergeben $\varphi_{\text{Gegen.}}$, positive $\varphi_{\text{Außen}}$. Bei einem Scheinwerferdurchmesser von 0 cm ergibt sich $\varphi_{\text{Zent.}}$

Je geringer d ist, desto größer ist der reflektive Anteil der Kugeloberfläche anzusetzen. Bei großem d die UK verlassendes Licht wird vom Scheinwerfer kaum wieder in die UK zurückreflektiert; C_K ist mit einer Abminderung zu versehen. Da die Störflächen aber bei der UK4 gerade mal $f = 2{,}15\,\%$ betragen wird vorerst dadrauf verzichtet.[9]

Was vorerst nicht weiter beachtet wird: Die Scheinwerfer sind so montiert, daß der Mittelpunkt der Austrittsfläche ungefähr im Zentrum des Port A liegt und E_{max} ungefähr den Pol beleuchtet. Dies führt bei größerem Abstand und nicht rotationsymmetrisch leuchtenden Scheinwerfern dann zu Abweichungen zwischen den rechteckigen Integrationsflächen des Goniometers und der rotationssymmetrischen Integrationsfläche/-blende der UK4. Diese sind zudem gegeneinander verschoben.

Der Ende 2008 bestimmte $C_K = 0{,}0192$ kann Ende 2010 durch Goniometrierung der Supernova-Tripple und integrativer Berechnung im wesentlichen bestätigt werden.

[9]Vgl. Tabelle G.2

G.5 Kenndaten der Ulbrichkugeln

Die UK1 und UK2 sind gemäß Bild 3.1(a), die UK3 und UK4 gemäß Bild 3.1(b) aufgebaut.[10]

Tabelle G.2: Kenndaten der selbstgebauten Ulbrichtkugeln

	Einheit	UK1	UK2	UK3	UK4	Bemerkung
D	[cm]	58	25,1	13,5	32,5	
d_E	[cm]	2,0	3,2	1,0	8,6	
d_S	[cm]	0,8	0,8	$0{,}8 + 1{,}0$	2,82	
A	[cm^2]	11332,6	2060,1	640,1	3441,3	
$A_{\text{Stör}}$	[cm^2]	15,98	16,91	6,48	65,6	
f	[%]	0,2	0,78	0,98	2,15	
τ	[-]	$1{,}71 \cdot 10^{-3}$	$2{,}22 \cdot 10^{-2}$			Startwert
τ	[-]	$\cdot 10^{-3}$	$\cdot 10^{-2}$		$1{,}87 \cdot 10^{-3}$	19.11.2008
ρ AUW	[-]	0,	0,	–	–	Startwert
ρ AUW	[-]	0,885	0,868			15.11.2008
ρ ODP97	[-]	0,934	0,924			19.11.2008
Außenlichteinfluß	[lx/lx]	$1{,}18 \cdot 10^{-5}$				Startwert
C_K AUW	[lm/lx]	0,176	0,0315	–	0,0329	Startwert
C_K AUW	[lm/lx]	0,147	0,0316	–	0,0329	15.11.2008
C_K ODP97	[lm/lx]	0,0798	0,01698	–	0,0192	19.11.2008

Vorläufige Werte für die UK2 ergaben ein C_K von 0,0346. Nachdem noch geringfügige Änderungen an Dichtspalt und Eintrittsöffnung vorgenommen wurden und die Kugel zwei Monate altern konnte ergibt sich der obige C_K von 0,0315. So macht sich das Abdichten des Dichtspaltes mit einer Lage schwarzen Baumwollsamtes nur am Rand des Flansches gegenüber direkt aufeinander liegenden Flanschen und äußerer Abdichtung dieser z.B. mit einem Anstieg von des C_K von 0,0289 auf 0,0346 bemerkbar.

[10]Bilder der Kugeln sind auf www.enhydralutris.de/Fahrrad/HPV-Bilder/OlafSchultz/Elektronik/ zu finden.

Anhang H

Alte Meßdaten

Im folgenden ist ein, inzwischen geringer, Teil der Meßdaten wiedergegeben. Es sind mit die ersten Daten, die die Grundsteine für diesen Text legten. Diese Meßdaten der Dynamos sind meist nicht reproduzierbar. Siehe hierzu die Begründung zu den Lebensdauern und Kennwerten von Glühlampen. Aus historischen Gründen werden diese Daten vorerst im Text belassen.

SON

Tabelle H.1: Meßdaten vom 17–20″-SON, Rücklicht 60 mA

v	I_A	U_A	I_B	U_B	U_0	I_∞	$U(12\Omega)$
10	0,39	5,0	0,29	2,0	8,6	0,60	5,0
13	0,45	6,0	0,34	4,6	10,7	0,60	5,5
17	0,50	6,9	0,38	5,7	13,2	0,61	6,0
20	0,53	7,3	0,42	6,3	16,5	0,62	6,3
23	0,55	7,5	0,44	6,7	18,2	0,63	6,5
28	0,58	7,8	0,49	7,1	22,3	0,64	6,7
32	0,60	8,0	0,52	7,4	25,4	0,64	6,9
42	0,62	8,2	0,56	7,9	33,1	0,65	7,1
51	0,63	8,3	0,59	8,1	40,7	0,66	7,2
64	0,64	8,4	0,61	8,3	50,0	0,66	7,4

Die letzten Spalten geben die Messungen der Leerlaufspannung U_0 (Lastwiderstand ist das DMM mit $R_i = 10\,\text{M}\Omega$), den Kurzschlußstrom I_∞ (Lastwiderstand DMM $R_i = 0{,}1\,\Omega$) und den Spannungsabfall $U(12\,\Omega)$ über einen Lastwiderstand R_a von $12\,\Omega$ an.

Tabelle H.2: Meßdaten vom 28″-SON, Rücklicht 60 mA

v	U_A	U_B	U_C
10	5,2	3,2	2,5
15	6,3	4,2	3,3
20	6,9	5,2	4,5
25	7,2	6,1	5,2
30	7,3	6,56	5,8
35	7,45	6,87	6,1
40	7,55	7,05	6,45
45	7,6	7,22	6,7
50	7,64	7,31	6,84
55	7,67	7,38	6,98
60	7,69	–	–

Im Lastfall B und C ist die zweite Lampe die „Ausreißerlampe“ aus Tabelle H.8.

UNION Turbo

Tabelle H.3: Meßdaten vom UNION 9401, Rücklicht 30 mA

v	I_A	U_A	I_B	U_B	U_0	I_∞	$U(12\Omega)$
10	0,34	4,2	0,24	2,3	6,7	0,66	4,5
13	0,36	5,4	0,27	2,9	8,3	0,66	5,0
16	0,38	5,8	0,29	3,2	9,8	0,66	5,3
18	0,40	6,2	0,30	3,6	10,6	0,66	5,5
25	0,45	6,8	0,32	4,3	13,5	0,66	6,0
30	0,48	7,0	0,34	4,8	15,3	0,65	6,3
35	0,48	7,2	0,35	5,2	17,0	0,64	6,5
41	0,50	7,3	0,36	5,5	18,7	0,64	6,6
47	0,50	7,4	0,36	5,9	20,5	0,64	6,7
57	0,52	7,5	0,37	6,3	23,3	0,63	6,8

G-S 2000

Tabelle H.4: Meßdaten vom G-S 2000, Rücklicht 30 mA

v	I_A	U_A	I_B	U_B	U_0	I_∞	$U(12\Omega)$
10	0,40	5,9	0,32	3,9	9,8	0,58	5,5
15	0,50	6,9	0,38	5,8	14,5	0,58	6,0
20	0,52	7,2	0,42	6,8	19,2	0,57	6,3
25	0,53	7,3	0,45	7,3	22,9	0,57	6,4
30	0,53	7,3	0,47	7,6	27,8	0,57	6,5
35	0,53	7,3	0,49	7,7	31,3	0,57	6,6
50	0,53	7,4	0,51	7,9	42,8	0,57	6,6

Soubitez EB 80

Tabelle H.5: Meßdaten vom Soubitez EB80, Rücklicht 50 mA

v	I_A	U_A	I_B	U_B	U_0	I_∞	$U(12\Omega)$
9,7	0,38	4,55	0,24	2,29	7,88	0,59	4,62
14,5	0,45	5,60	0,31	3,01	11,08	0,60	5,46
19,4	0,48	6,47	0,35	3,75	14,68	0,61	5,92
24,2	0,50	6,80	0,38	4,16	17,38	0,61	6,12
29,1	0,51	7,01	0,39	4,40	20,48	0,61	6,29
33,9	0,51	7,14	0,40	4,65	22,68	0,61	6,38
38,8	0,52	7,26	0,41	4,86	25,88	0,61	6,44
43,6	0,52	7,35	0,42	5,07	27,98	0,61	6,51
48,5	0,52	7,42	0,43	5,23	29,50	0,61	6,55
53,3	0,52	7,46	0,43	5,36	31,88	0,61	6,57

Nordlicht 2000

Tabelle H.6: Meßdaten vom Nordlicht 2000, Rücklicht 50 mA

v	U_A	U_B	U_0	I_∞	$U(12\Omega)$
10	4,28	2,98	6,5	0,6	4,20
15	5,50	4,10	9,3	0,61	5,25
20	6,80	5,28	12,3	0,62	5,8
25	7,25	6,18	15,3	0,62	6,04
30	7,48	6,78	18,3	0,61	6,23
35	7,62	7,00	20,7	0,61	6,23
40	7,73	7,30	23,1	0,61	6,43
50	7,80	7,80	27,4	0,61	6,54
55	7,83	8,00	29,2	0,60	6,58

Bosch RL/WQ2

Tabelle H.7: Meßdaten vom Bosch RL/WQ2

v	$U(R_a = 12\,\Omega)$	$U(R_a = 10\,\mathrm{M}\Omega)$	$I(R_a = 0{,}1\,\Omega)$
5	3,2	7,3	0,70
10	4,7	12,3	0,96
15	5,7	18,5	0,88
20	6,1	23	0,89
25	6,3	27,5	0,91
30	6,5	33	0,92
35	6,6	37	0,925
40	6,7	40	0,928
45	6,8	45	0,932

Glühlampen

Tabelle H.8: Meßdaten der OSRAM Lampen HS3 und B2

	HS3			B2			4,8 V/2,4 W		
U	I	R	P	I	R	P	I	R	P
1	0,189	5,291	0,189	0,036	27,778	0,036	0,297	3,367	0,297
1,5	0,216	6,944	0,324	0,046	32,609	0,069	0,335	4,478	0,503
2	0,241	8,299	0,482	0,054	37,037	0,108	0,374	5,348	0,748
2,5	0,264	9,470	0,660	0,061	40,984	0,153	0,409	6,112	1,023
3	0,286	10,490	0,858	0,067	44,776	0,201	0,442	6,787	1,326
3,5	0,306	11,438	1,071	0,073	47,945	0,256	0,473	7,400	1,656
4	0,325	12,308	1,300	0,079	50,633	0,316	0,503	7,952	2,012
4,5	0,344	13,081	1,548	0,084	53,571	0,378	0,531	8,475	2,390
4,8	0,354	13,559	1,699	0,087	55,172	0,418	0,548	8,759	2,630
5	0,361	13,850	1,805	0,089	56,180	0,445	0,558	8,961	2,790
5,5	0,378	14,550	2,079	0,094	58,511	0,517	0,585	9,402	3,218
6	0,395	15,190	2,370	0,098	61,225	0,588	0,612	9,804	3,672
6,5	0,410	15,854	2,665	0,103	63,107	0,670	0,637	10,204	4,141
7	0,427	16,393	2,989	0,107	65,421	0,749			

Tabelle H.9: Meßdaten der Philips Lampe HS4

	HS4		
U	I	R	P
1,0	0,152	6,579	0,152
2,0	0,182	10,990	0,364
4,0	0,231	17,316	0,924
6,0	0,273	21,978	1,638
8,0	0,311	25,724	2,488
10,0	0,346	28,902	3,460
11,0	0,363	30,303	3,993
11,5	0,372	30,914	4,278
12,0	0,380	31,579	4,560
12,5	0,387	32,300	4,838
13,0	0,395	32,911	5,135
13,5	0,404	33,416	5,454
14,0	0,411	34,063	5,754
14,5	0,420	34,524	6,090

Erläuterungen zur folgenden Tabellen s. S. 164.

Tabelle H.10: Beleuchtungsstärke [lx] von Lampen

U_{Nenn}	6 V				13,5 V	
		3 W	HS3	HS3		HS4
$I@U_{\text{Nenn}}$		0,47	0,42	$>$ 0,49		0,41
	U				U	
	1	0,31	0,25	0,37	5	1,36
	2	2,32	1,80	2,42	6	3,2
	3	7,89	6,25	7,3	7	6,21
	4	17,9	14,6	16,4	8	10,7
	5,5	24,9	20,5	22,6	9	16,4
	6	32,8	27,6	29,4	10	24,5
	6,5	42,8	35,6	37,4	10,5	28,9
	7	54,1	45,2	46,6	11	33,9
	7,5	66,4	56,3	58	11,5	39,4
					12	45,4
					12,5	52,3
					13	59,3
					13,5	66,8
					14	74,9
					14,5	84,1

Tabelle H.11: Beleuchtungsstärke [lx] im Abstand von 0,6 m

Winkel	HS3, 6 V, 419 mA				HS4, 13,5 V, 405 mA	
	weißes T-Shirt		schwarzes T-Shirt			
	–	|	–	|	–	|
-150	–	–	–	0,65	–	–
-140	0,81	1,00	0,41	0,66	1,63	1,56
-130	5,64	1,26	0,95	0,86	1,94	31,7
-120	4,58	10,8	2,51	7,77	22,7	29,7
-110	2,1	9,7	2,76	9,81	26,6	30,4
-100	1,34	10,5	2,45	10,1	26,1	29,9
-90	1,26	10,2	2,27	10,2	26,4	31,6
-80	1,76	11	3,16	11	26,9	33
-70	2,95	10,8	4,73	10,8	28,8	32,4
-60	9,5	12,7	7,93	12,7	26,8	36,5
-50	6,3	7,09	9,23	7,09	37,8	30,1
-40	5,72	5,69	5,54	5,69	11,2	14,8
-30	9,08	12,1	9,46	12,1	21	37,2
-20	9,38	12,4	9,7	12,4	38,3	26,3
-15	9,2	10,6	9,2	10,6	20,7	31,5
-10	10,1	11,5	10,1	11,5	27,8	21
-5	36,7	16,4	33,3	16,4	16,4	18,3
0	47,5	45	45,7	45	6,41	8,05
5	21,6	14,6	29,3	14,6	20	21,3
10	10,8	10,1	12,4	10,1	50,9	29
15	9,4	9,7	9,9	9,7	25,8	18,3
20	9,4	11,3	9,7	11,3	21,6	43,6
25	–	–	–	–	–	31,6
30	8,56	13	9	13	38,7	9,3
35	–	–	–	–	–	9,7
40	4,67	6,05	5,03	6,05	10,5	14,8
45	–	–	–	–	–	45,8
50	6,07	9,78	6,83	9,78	38,4	41,1
60	6,83	11,5	6,53	11,5	35,1	31,9
70	4,18	11	1,75	11	29,7	32,2
80	2,56	11,1	1,39	11,1	30,2	30,7
90	2,15	9,9	0,98	9,9	30,6	32,1
100	3,02	10,2	1,22	10,2	28	31,5
110	3,62	9,7	2,01	9,7	22,4	30,7
120	3,28	12,1	4,07	12,1	14,9	17,9
130	1,15	0,88	2,93	0,88	7,94	1,87
140	0,83	0,52	0,43	0,52	2,32	1,55
150	–	–	–	–	1,89	1,37

Anhang I

Trägheitseinfluß

Dynamos mit hohem Trägheitsmoment, wie z.B. der lightSPIN oder die HRs, haben eine relativ hohe Energiemenge gespeichert. Diese Energie wirkt sich bei der Bestimmung des Wirkungsgrades mittels der durch Drehgeschwindigkeitsveränderung ermittelten Leistung beschönigend auf die Meßergebnisse aus. Im folgenden wird das Massenträgheitsmoment bestimmt und der Einfluß auf die Meßergebnisse abgeschätzt. Das Hauptaugenmerk liegt auf dem lightSPIN, da dieser einen hohen Wirkungsgrad und geringe Lagerverluste aufweist.

Berechnung aus der Pendelzeit

Die Bestimmung des Massenträgheitsmoment aus der Pendelzeit mit dem Ansatz als physikalisches Pendel erlaubt eine zerstörungsfreie Messung. Der Dynamo muß dabei nicht zerlegt werden. Beim lightSPIN ist dies aufgrund der Leichtgängigkeit durch berührungslose Dichtungen und Kugellager möglich.

An dem Rotor (Massenträgheitsmoment J_1, Masse m_1) wird ein physikalisches Pendel bzw. Körperpendel (J_2, m_2) befestigt (vgl. Bild I.1).

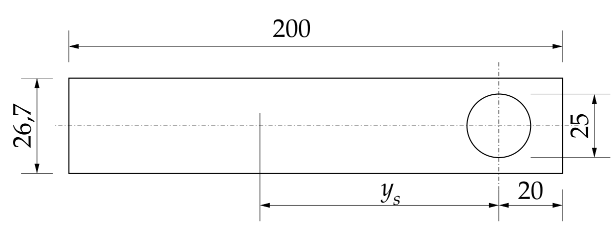


Bild I.1: Pendel J_2

Sowohl bei einer Anfangsauslenkung von 20 wie 30 ° beträgt die gemessene Periodenzeit (T) ca. 0,78 s (über 10 bzw. 17 Schwingungen gemittelt). Das Pendel ist ein 4 mm dicker Holzstab ($\varrho_{\text{Buche}} \approx$ 0,66. . . 0,67 kg/dm^3) mit der Masse m_b. Das Loch an einem Ende wird über die Masse m_k berücksichtigt; mit diesem Loch wird der Holzstab auf dem Reibrad montiert. Das Massenträgheitsmoment J_2 und der Abstand des Flächenschwerpunkt von der Rotationsachse y_2 des Stabes berechnet sich als:

$$
\begin{aligned}
y_2 &= \frac{\Sigma^i A_i y_i}{\Sigma^i A_i} - 20 = \frac{26{,}7 \cdot 200 \cdot 100 - \frac{\pi}{4} 25^2 \cdot 20}{26{,}7 \cdot 200 - \frac{\pi}{4} 25^2} - 25 = 88{,}1 \text{ mm} && \text{(I.1)} \\
m_2 &= m_b - m_k = \varrho_{\text{Holz}}(V_b - V_k) = 0{,}012 - 0{,}0011 = 0{,}0109 \text{ kg} && \text{(I.2)} \\
J_2 &= \frac{m_b(l^2 + b^2)}{12} + m_b y_2^2 - \frac{m_k r^2}{2} && \text{(I.3)} \\
&= \frac{0{,}012(0{,}2^2 + 0{,}0267^2)}{12} + 0{,}012 \cdot 0{,}088^2 - \frac{0{,}0011 \cdot 0{,}025^2}{2} = 1{,}335 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2
\end{aligned}
$$

Mit der Gleichung (I.7) für die Schwingungsdauer T eines physikalischen Pendels bei kleinen Ausschlägen ergibt sich das Massenträgheitsmoment des Rotors:

$$
\begin{aligned}
J &= J_1 + J_2 && \text{(I.4)} \\
m &= m_1 + m_2 && \text{(I.5)} \\
s &= \frac{m_1 \cdot 0 + m_2 y_2}{m_1 + m_2} && \text{(I.6)} \\
T &= 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgs}} = 2\pi \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{(m_1 + m_2) g \frac{m_2 y_2}{m_1 + m_2}}} && \text{(I.7)} \\
J_1 &= m_2 g y_2 \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 - J_2 = 0{,}0109 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}0881 \left(\frac{0{,}78}{2\pi}\right)^2 - 1{,}335 \cdot 10^{-4} = 1{,}17 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2
\end{aligned}
$$

Berechnung aus der Geometrie

Ein neuerer, zerlegter lightSPIN weist folgende, hier interessante, Bauteile auf:

1. Rückschluß außen: Stahlrohr, 2,3 mm Wandstärke, 22 mm hoch, 44,4 mm Außendurchmesser mit J_1.
2. Äußere Magnete: Vier Stück, 2,5 mm dick, 13,8 mm breit, ca. 20 mm hoch mit J_2. Als Dichte wird 7,4 kg/dm^3 für NdFeB angenommen.
3. Innerer Rückschluß: Vier Metallstücke

4. Innere Magnete: Vier Stück, ca. 4,7 mm breit, ca. 5,3 mm dick und ca. 20 mm hoch.

Alle zusammen ergeben ein J_r. Die leichten, dünnwandigen, eher achsnahen Kunststoffteile werden vernachlässigt! Der äußere Rückschluß berechnet sich als:

$$\begin{aligned}
m_1 &= \varrho V = \varrho\pi(r_a^2 - r_i^2)h = 50{,}3\ \text{g} && \text{(I.8)}\\
J_1 &= \int_K r^2\,\mathrm{d}m = m_1\frac{r_a^2 + r_i^2}{2} = 2{,}25 \cdot 10^{-5}\ \text{kgm}^2 && \text{(I.9)}\\
m_2 &= \varrho V = \varrho tbh = 7{,}85\ \text{kg/dm}^3 \cdot 2{,}5 \cdot 13{,}8 \cdot 20\ \text{mm}^3 = 5{,}4\ \text{g} && \text{(I.10)}\\
J_2 &= 4m_2r^2 = 4 \cdot 5{,}4\ \text{g} \cdot 18{,}25^2\text{mm}^2 = 7{,}2 \cdot 10^{-6}\ \text{kgm}^2 && \text{(I.11)}
\end{aligned}$$

Der innere Kreis wird als dickwandiges Rohr vereinfacht:

$$\begin{aligned}
m &= \varrho V = \varrho\pi(r_a^2 - r_i^2)h = 7{,}85\pi(12^2 - 5{,}5^2) = 56\ \text{g} && \text{(I.12)}\\
J_{3+4} &= m\frac{r_a^2 + r_i^2}{2} = 0{,}056 \cdot \frac{12^2 + 5{,}5^2}{2} = 4{,}9 \cdot 10^{-6}\ \text{kgm}^2 && \text{(I.13)}
\end{aligned}$$

Die gemessene Gesamtmasse des Läufers liegt bei 146 g, die der berechneten Metallteile bei 128 g. Der Unterschied liegt mit 13 % augenscheinlich hoch, allerdings ist die Differenz eher achsnah, also mit einem geringen Beitrag zum Trägheitsmoment, angeordnet. Damit ergibt sich ein J_r von

$$J_r = J_1 + J_2 + J_{3+4} = 2{,}25 \cdot 10^{-5} + 7{,}2 \cdot 10^{-6} + 4{,}9 \cdot 10^{-6} = 3{,}5 \cdot 10^{-5}\ \text{kgm}^2 \tag{I.14}$$

Dies ist zwar größer als der aus dem Auspendel berechnete Wert; für eine grobe Abschätzung reichen diese Werte aber.

Einfluß auf die Messung

Mit der schweren Schwungscheibe, einem ausgebeinten SON (nur das Gehäuse), einer Alesa 917, einem Panaracer Pasela 700×32 und einem 22–28er Gruppenschlauch hat der Prüfstand von Schmidt eine Schwungmasse von ca. 1,27 kgm^2. Setzt man Rotationsenergien jetzt zueinander in Beziehung, so ergibt sich:

$$\begin{aligned}
E_D &= \frac{J_D\omega_D^2}{2} = \frac{2{,}8 \cdot 10^{-5}\omega_D^2}{2} \\
E_S &= \frac{J_S\omega_S^2}{2} = \frac{1{,}25\omega_S^2}{2} \\
\omega_D &= \omega_S\frac{700 - 20}{24{,}5} = 27{,}75\omega_S \\
\frac{E_D}{E_S} &= \frac{2{,}8 \cdot 10^{-5}}{1{,}25}27{,}75^2 = 0{,}017 \qquad \text{(I.15)}
\end{aligned}$$

Der lightSPIN speichert knapp 2 % der Schwungscheibenenergie. Bei anderen Dynamos ist die rotatorische Energie i.d.R. bedeutend geringer, deren Einfluß kann vernachlässigt werden. Allerdings sind 2 % ein relativ kleiner Fehler und andere Meßfehler können größer sein.

Anhang J

Dioden

Voraussetzung für den Betrieb von LEDs ist ein Gleichstrom oder eine Schaltung, die die Einhaltung der zulässigen Sperrspannung von ca. 5 V gewährleistet. Über dem Gleichrichter[1] fällt aber wieder Leistung ab!

Wenn Wechselspannung gleichgerichtet werden soll, so ist man i.d.R auf Dioden angewiesen. Wie alles in der Technik sind auch Dioden verlustbehaftet. Dioden haben einen Spannungsabfall. Und der ist nicht zu vernachlässigen. Die Werte in der Tabelle J.1 sind in Vierleitermethode sauber gemessen. Bei 0,5 A machen sich schon die Übergangswiderstände in den Klepsen[2] bemerkbar. Die Dioden stammen aus dem Bauteil-Fundus des Autors und sind bis auf die BAT43, 1N4005 und MBR2545 gebrauchte Dioden.

[1] Gleichriechter sind unterdimensioniert.
[2] Kleps ist eine Art lange, flexible Krokodilklemmen von Hirschmann.

Tabelle J.1: Spannungsabfall über Dioden in V

Diode	I_{max} [A]	U_{max} [V]	Teststrom [A] 0,002	0,1	0,5	1,0
Silizium						
1N4005	1	600	0,60	0,8	0,89	0,95
BYY57/150	10	150	0,52	0,68	0,74	0,77
1N1200	12	100	0,52	0,69	0,75	0,77
Schottky						
BAT43	0,1	30	0,29	0,69	0,92	*ne*
SB130	1	30	0,20	0,31	0,36	0,4
SMS140	1	40	0,29	0,4	0,46	0,5
SMS1100	1	100	0,27	0,32	0,51	0,6
SB560	5	60	0,24	0,35	0,4	0,43
FI830	8	30	0,56	0,56	0,71	0,74
MBR1035	10	35	0,19	0,3	0,35	0,37
MBR1545	15	45	0,27	0,31	0,34	0,37
U1620	16	20	0,46	0,61	0,67	0,71
MBR2545	25	45	0,21	0,31	0,35	0,37
SD241	30	45	0,20	0,29	0,34	0,36
40CPQ045	40	45	0,15	0,24	0,28	0,30
C65-004	65		0,17	0,27	0,32	0,34
Germanium						
AAZ18	0,18	20	0,28	0,86	1,01	*ne*
Selen						
B20C300A7	0,3	30	0,58	0,68	1,26	1,63
B25/20-1			0,24	0,48	0,67	0,82

Auch Dioden streuen. Hier ist bei je zehn neuen, direkt nebeneinander abgepackten SMD-Schottkys (SMS1...) bei 2 mA eine Streubreite von ±5 % festzustellen.

Alleine über einer Graetz-Brücke fallen bei nicht mehr ganz billigen Leistungsschottkys ca. 0,28 W ab, fast 10 % der erzeugten elektrischen Leistung! Insofern ist es schon ein Rätsel, wie Dynosys den hohen Wirkungsgrad erreichen will. Außer über eine hohe Generatorspannung, die über einen Step-Down-Wandler (bei dem Schaltwandlerspezialist MAXIM im Bestpunkt 90 % Wirkungsgrad) auf 6 oder 12 V reduziert wird. Und ein gesteuerter Gleichrichter mit MOS-FETs braucht auch Ansteuerleistung. Als Beispiel für einen „einfachen“ MOS-FET-Leistungsdiode diene z.B. das Schaltungsbeispiel 061 aus der Elektor 7-8/95.

Der i.d.R. angegebene Ersatzwiderstand (vgl. [IXYS]) von Dioden zu Berechnung der Verlustleistung hilft nicht weiter. Er ist für hohe Lasten ausgelegt. Bei niedrigen Lasten ist der effektive Widerstand deutlich höher.

Oben wird als Regelfall die Diode für Gleichrichtungen vorgeschlagen. In Sonderfällen werden gesteuerte Schalter verwendet. Damit ist dann auch gleich eine Regelung möglich. Als Schalter werden MOS-FETs, IGBTs oder Triacs verwendet.

Bei hohen Leistungen interessiert der Leistungsbedarf der dafür notwendigen Ansteuerung nicht, am Fahrrad schon eher. Eine einfache Leistungsbetrachtung ergibt: Über schon besseren Schottky-Dioden fallen bei Brückengleichrichtung $P^* = 2 \cdot 0{,}5\ \mathrm{A} \cdot 0{,}31\ \mathrm{V} = 0{,}31\ \mathrm{W}$ ab. MOS-FETs in der 30 A-Klasse haben einen Widerstand von ca. 0,06 Ω (bei 30 A ?); bei zwei FETs ergibt sich dann bestenfalls eine Verlustleistung von $P^{**} = 2 \cdot 0{,}06\,\Omega \cdot 0{,}5^2\ \mathrm{A}^2 = 0{,}03\ \mathrm{W}$. Um wirkungsgradneutral zu bleiben, darf die elektronische Ansteuerung nur 0,27 W aufnehmen. Über die Entscheidungskriterien Preis der Leistungshalbleiter, der Ansteuerung und das zur Verfügung stehende Bauvolumen ist dann noch nicht nachgedacht.

Für theoretische Betrachtungen kann folgender Ansatz für die Diodenkennlinie verwendet werden:

$$I = a\left(\exp(bU) - c\right) \tag{J.1}$$

Für eine SB560 ergeben sich folgende Parameter für die Durchlaßrichtung: $a = 4{,}172536 \cdot 10^{-07}$, $b = 34{,}857844$ und $c = 753{,}11144$. Diese Werte werden natürlich streuen und für andere Dioden deutlich anders aussehen.

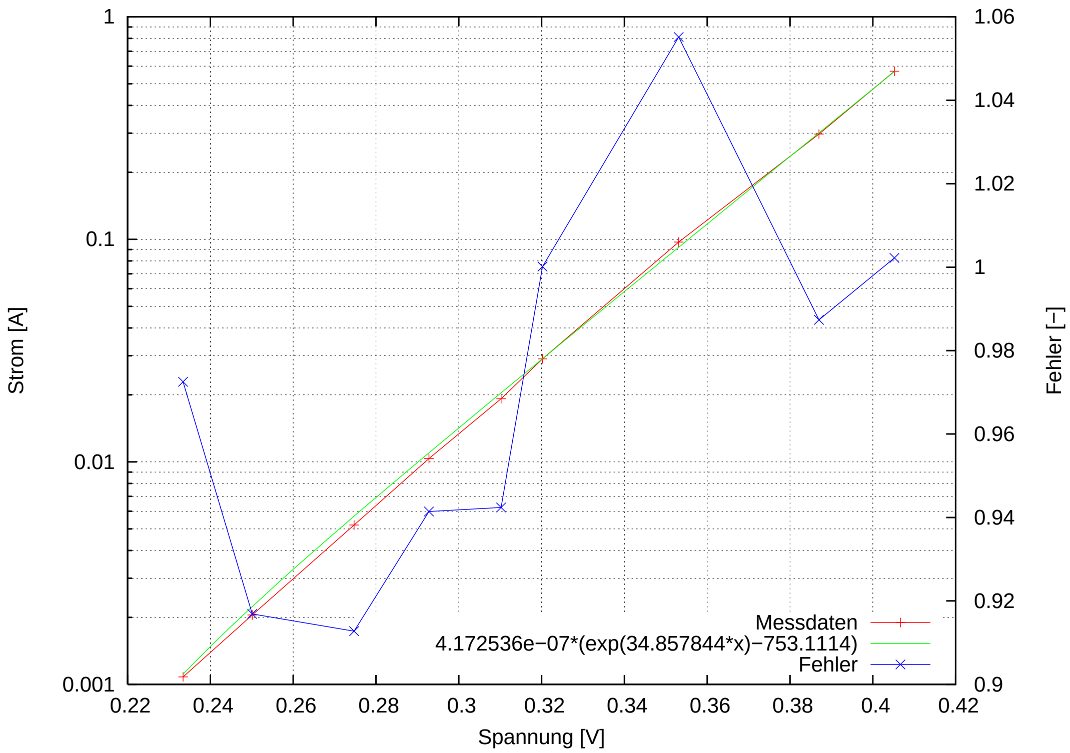


Bild J.1: Diodenfunktion (Durchlaßrichtung)

Anhang K

Kondensatoren

Kondensatoren kommen in unterschiedlicher Bauform zum Einsatz. Je nach Einsatz hat sich auch der Begriff Killko eingebürgert, da die gespeicherte Energie ab und zu locker reicht, selbst eine Leistungs-LED ohne wahrnehmbares Aufleuchten zu *killen*.

K.1 Elkos

Die Abkürzung für **El**ektrolyt**ko**ndensatoren. Vorerst nur eine Kapiteleröffnung.

K.2 Supercondensatoren

Doppelschichtkondensatoren, Supercaps oder Goldcaps sind unterschiedliche Namen für nahezu identische Bauformen. Kennzeichen ist eine hohe Kapapzität (i.A. ab 0,1 F) und niedrige Spannung pro Zelle (2,2. . . 2,7 V). Die im Fahrradbereich typischen 1 F/5,5 V-Kondensatoren (Standlichtschaltung) sind im Prinzip nur zwei hintereinandergeschaltete, hoffentlich gut gepaarte, einzelne Zellen in einem Gehäuse.

Maßgeblich für den Anwendungsfall kann der Innenwiderstand sein. Je nach Typ und Hersteller ist der in den Datenblättern, z.B. bei Tokin, angegeben. Je höher der Innenwiderstand, desto kleiner die Bauform und desto höher die Verluste, nicht nur, im Entladefall.

Nach ersten Beobachtungen können sich Kapazität und Innenwiderstand deutlich mit die Zeit verädern.

Als Beispiel seien ein (unbekannt alter) Tokin FGH[1] und ein Starcap[2] angeführt.

Nachdem folgende Messungen durchgeführt und veröffentlicht wurden meldete sich dankenswerterweise ein Tokin-Mitarbeiter und wies auf das Dokument www.nec-tokin.com/english/product/pdf_dl/supercapacitors.pdf hin. In diesem sind ab Seite 59 die korrekte Messung von Kapazität und Innenwiderstand beschrieben.

Die Kondensatoren werden an angegebener Spannung solange aufgeladen, bis der Ladestrom auf unter 1 mA zurückgegangen ist. Dann wird die Entladung an einem Lastwiderstand ($R_a = 470\,\Omega$) und AD-Wandlerkarte vorgenommen (s. Bild K.1).

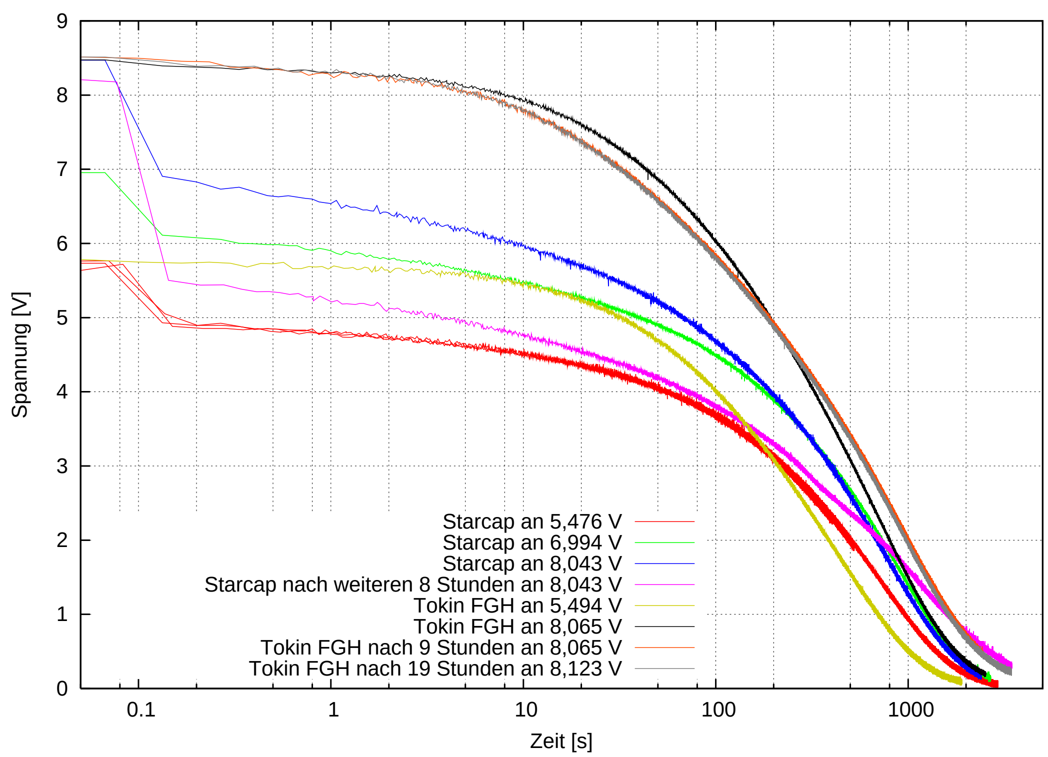


Bild K.1: Entladekurven von gebrauchten Ultracaps (1 F/5,5 V)

Zur Berechnung der Kapazität wird der Entladestrom ($I(t) = U(t)/R$) bis zu einer Restspannung von 0,1 V aufintegriert und dann durch die Startspannung (U_0) geteilt.

[1] Aus einem verstorbenen bumm Seculight Plus: HS3 im Lumotec verstorben, noch einige Zeit mit Dynamo gefahren. Ja, die BZW04 im Lumotec funktioniert. Nein, ich war es nicht:-)

[2] Aus einem ca. 30 Stunden alten IQ-fly N-plus. Nur Goniometrierung und einige weitere Messungen, während derer der Fly mit LED-, CD40106- und BC517-Tod verstorben ist. BEG:-)

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{1}{U_0}\int_t \frac{U(t)}{R}dt = \frac{\sum_{t_1}^{t(U=0{,}1V)} U(t)\Delta t}{U_0 R_\mathrm{a}} \tag{K.1}$$

Nicht alle Messungen gehen bis auf unter 0,5 V Entladespannung sondern werden bei ungefähr bzw. knapp unter 2 V abgebrochen. Deshalb ist auch die Kapazität für diese Entladespannung angegeben.

Der Innenwiderstand wird aus den Differenzen der Ladespannung und dem ersten Meßwert (U_1)[3] errechnet:

$$R_\mathrm{i} = R_\mathrm{a}\frac{U_0 - U_1}{U_1} \tag{K.2}$$

Es errechnen sich unter dieses Vorraussetzungen an den gebrauchten Kondensatoren folgende Kapazitäten und Innenwiderstände.

Tabelle K.1: Lebensdauerabhängiges Verhalten von 1 F/5,5 V Goldcaps

Messung	U [V]	C [F]	C_{2V} [F]	R_i [Ω]	Bemerkung
Starcap IQ-fly, ca. 30 Betriebsstunden alt					
1	5,476	–	0,58	70	
2	5,476	–	$>$ 0,49	66	
3	5,476	1,07	0,60	76	
4	6,994	1,15	0,74	25	
5	8,043	0,95	0,63	106	
6	8,043	1,20	0,58	228	nach 9 Stunden an 8,043 V
Tokin FGH, Seculight, unbekanntes Alter					
1	5,494	0,84	0,50	$<$ 0,5	
2	8,065	1,18	0,84	$<$ 0,5	
3	8,065	1,39	1,00	$<$ 0,5	nach 9 Stunden an 8,065 V
4	8,065	1,43	0,97	$<$ 0,5	nach 19 Stunden an 8,065 V

Die Streuung der Innenwiderstände wird mit der Messmethode erklärt: Die AD-Karte mißt nur mit ca. 15 Hz und triggert nicht das Abschalten der Ladespannung. Der Innenwiderstand des Tokin FGH ist schwierig zu bestimmen, deswegen ist eine obere Grenze angegeben.

Laut Tokin werden für die Kapazitätsbestimmung die Kondensatoren bei der Entlademessung mit 1 mA/F belastet. Hier sind es zu Anfang mehr als das zehnfache. Letzteres ist praxisorientierter:-)[4]

[3] Unter 1/15 Sekunde nach dem Abklemmen der Ladespannung ermittelt.

[4] *Nature is nonlinear*

Anhang L

Akkus

Anbei einige, kurz zusammengefaßte Messungen an einigen Akkus. Vorwiegend kompatibel zum Nokia 3310. Die Messungen werden i.A. an voll geladenen Akkus vorgenommen.[1] Die Akkus werden, so nicht anders erwähnt, an einem Leistungswiderstand entladen. Dabei wird mit einem AD-Wandler die Spannung mitgeschrieben (vgl. Bild L.1) und dann aus dem bekannten Widerstand und der Spannung sowie Zeit die Kapazität berechnet (vgl. Tabelle L.1).

[1] Der Restladestrom ist kleiner als 5 mA.

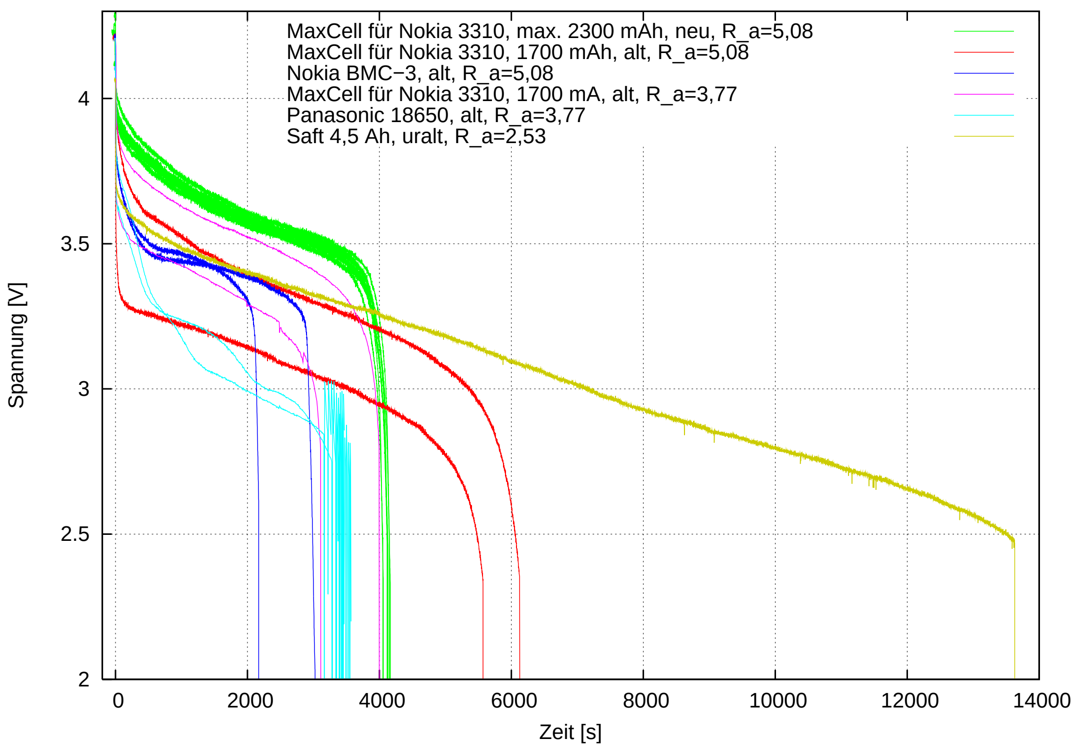


Bild L.1: Entladekennlinien diverser Akkus an Widerständen

Am Entladeende bei 2...2,5 V fallen die Akkus ohne Schutzelektronik am Lastwiderstand innerhalb einer Sekunde auf 0 V ab.

Die meisten Zellen werden ohne Akku-Schutzelektroniken vermessen.

Die Messungen an der Panasonic 18650 werden an einem Sony NP-F530 mit 1350 mAh Nennkapazität und Schutzelektronik vorgenommen. Diese Zellenschutzelektronik ist auch für das instabile Verhalten am Entlade-Ende verantwortlich.

Der hier angegebene Innenwiderstand ist

$$R_\mathrm{i} = \frac{U_0 - U_1}{U_1} R_\mathrm{a} \tag{L.1}$$

wobei U_1 der erste stabile Wandlerwert, i.A. zwei Sekunden nach Belastungsbeginn, ist. Übergangswiderstände in Ladebuchten[2]/Steckern[3] sind dabei nicht berücksichtigt. Es ist auch vorerst nicht ge-

[2]Die Nokia-Akkus sind vorwiegend in einer Orginal-Ladebucht eines ausgeschlachteten Handys geladen. Dort stellen vergoldete Federn den Kontakt her.

[3]I.A. Vierpunktmessung in SubD-9-Steckern.

klärt, ob R_i von I abhängig ist. R_i wird aber garantiert von der Temperatur, den Zyklen und dem Entladezustand abhängig sein.

Tabelle L.1: gemessene Kapazitäten von Akkus

Akku	U_0 [V]	$C_{3,0\,\mathrm{V}}$ [Ah]	$C_{0\,\mathrm{V}}$ [Ah]	R_a [Ω]	R_i [Ω]
Saft 4,5 Ah, LiIon, alt					
1	4,06	2,56	4,58	2,53	0,15
2	4,05	2,47	2,93	2,53	0,18
3				2,53	
Sony NP-F530 1,35 Ah, 2S LiIon, alt, inkl. Elektronik					
1	8,21	0,545	0,759	7,53	0,94
2	8,41	0,462	0,741	7,53	0,78
Nokia BMC-3, NiMH, alt					
C1	4,20	0,407	0,413	5,08	0,47
C2	4,20	0,552	0,568	5,08	0,47
MaxCell 1700 mAh, LiIon, alt					
C1	4,21	0,986	1,107	5,08	0,30
O1	4,21	0,602	0,934	5,08	0,85
1	4,19	0,827	0,956	5,08	0,73
MaxCell, max. 2300 mAh, LiIon, neu, 1. und 2. Entladung					
1	4,11	0,773	0,786	5,08	0,22
	4,22	0,79	0,804	5,08	0,28
2	4,27	0,81	0,82	5,08	0,32
	4,25	0,79	0,80	5,08	0,25
3	4,22	0,79	0,804	5,08	0,33
	4,22	0,793	0,806	5,08	0,30
4	4,22	0,799	0,81	5,08	0,28
	4,22	0,793	0,806	5,08	0,32
5	4,22	0,80	0,807	5,08	0,28
	4,22	0,8	0,808	5,08	0,27

Anhang M

Transmissionsgrade

Zur groben Orientierung werden die Transmissiongrade einige potentieller Frontscheibenwerkstoffe vermessen (vgl. Tabelle M.1).

Tabelle M.1: Transmission [%] von einigen Scheiben

Material	NSPW500	XR-E	HS3	GL0ZJ042B0S	Tageslicht	HCI
PC Hella FF	92,5					
PC DLumotec Topal	91,2					
PC 0,8 mm	88		90	90		
PC 4 mm	87		88			
PVC 0,8 mm (verkratzt)	80		77			
PMMA 8 mm	92		90			
PMMA 12 mm	90		85 – 90			
PMMA 3 mm (rot)	14,6		23	74		
Glas 2 mm (Bilderrahmen)	92		92			
Glas 2,6 mm (UV-Schutz HQI-Lampe)					70	78
Acrüpox 4,5 mm						88
Frischhaltefolie			90			
Noname Tesafilm (beschichtet)			92			
Noname UV	91		90			
Heliopan UV(0)	94,5		94,5			
Hoya UV(0)	97,4		97,5			
Hoya UV(0) HMC	97,5		97,3			
Rowi UV MC	98		98			
Ashai Pentax UV(0) SMC	99,3		99,3	99,3		
Hama C14:UV390	99,1					
Tokina Skylight	92,5		92,5			
Toshiba Skylight 1A	91,5		91,2			
Prototyp Frontscheibe E*delux*		98,1				
Lupine Tesla		91,4				
Philips MasterlineES		99				

Die Filter sind nicht extra geputzt. Ein Putzen der Glasscheibe mit einem alkohlhaltigen Reiniger bringt keine Verbesserung. Mehrfachvergütungen (MC, engl. *multicoating* etc.) erhöhen die Transmission nenneswert. Ob dies technisch bei PC herstellbar ist und sich ebenso auswirkt wäre eindeutig zu überlegen. So wären ca. 10 % mehr Lichtleistung nutzbar! Bei *Edmund Optics* liegt der Aufpreis für eine MgF_2-Vergütung allerdings bei ca. 20 DM!

Die UV-Schutzgläser der HQI-Lampen weisen schon einige Betriebsstunden auf. Das einfache Waschen mit Wasser und Seife bringt ca. 2 % Verbesserung. Sie sind in 70-W-Strahlern, Bauform SKA7003 von LTS (Ravensburg/Tettnang), eingebaut und haben eine leicht bräunliche Farbe. Irgendwie jämmerlich: Erst mit einem enormen Aufwand gutes Licht zu erzeugen und dann gleich mehr als 22 % wieder zu verschleudern. Dabei haben fast alle HQI-Brenner einen UV-Schutz schon eingebaut.

Anhang N

Retroreflexionseigenschaften von Straßenoberflächen

Die Reflexionseigenschaften von Oberflächen im Allgemeinen und Straßenoberflächen in Besonderen sind komplex. Hier interessiert (vorerst) nur die Retroreflexion ungefähr in Richtung der Lichteinfalls (Anleuchtungswinkel $\beta \geq 60°$). Für die Reflexion von Straßenleuchten im Fahrbahnbelag bei Winkeln ($\beta \leq 60°$) etc. gibt es mehrere Untersuchungen (siehe [He02] 7.3) und Meß- und Berechnungsvorschriften (z.B. DIN 5044T2). Für retroreflektierende Materialen zur Verkehrssicherung gilt die DIN 67520. Bei realen Straßenoberflächen gibt es sowohl mit der Probennahme[1] als auch mit den Rückstrahlwerten[2] Probleme.

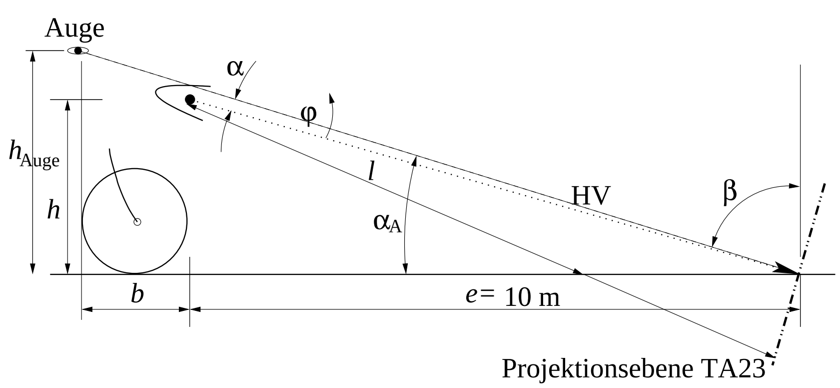


Bild N.1: Geometriedefinitionen

[1] Rechtlicher Art, da Proben mit 87 mm Durchmesser aus der Oberfläche zu entnehmen sind.

[2] Die DIN 67520 Teil 2 gibt selbst für weiße retroreflektierende Stoffe bei $\omega = 2°$ spezifische Rückstrahlwerte von $R'(\beta = 5°) = 4\,\mathrm{cd/(lx\ m^2)}$, $R'(\beta = 30°) = 2{,}4\,\mathrm{cd/(lx\ m^2)}$ und $R'(\beta = 40°) = 1{,}4\,\mathrm{cd/(lx\ m^2)}$. Für andere Farben sind extrem geringere Werte zu erwarten, von Straßenoberflächen ganz zu schweigen (vgl. Bild N.3(a)).

Für die Eingrenzung der zu erwartenden Winkel sollen als typische Maße ein 28″-ATB und ein Tieflieger (Baron) dienen (vgl. Tabelle N.1). Die Winkel sind auf eine Leuchtweite von 10 m umgerechnet. Sowohl in der TA23 wie der Ausrichtungsvorschrift (StVzO § 67 Abs. 3) stehen 10 m Bezugsentfernung. Bloß beziehen die sich auf unterschiedliche Maße. Nah am Fahrrad treten größere Unstimmigkeiten auf. Die Maße für's Auto entstammen der ECE bzw. sind (*b*) an einem Mittelklassewagen auf der Straße vermessen.

$$\beta = \arctan\left(\frac{e}{h}\right) \tag{N.1}$$

$$\alpha_{\mathrm{A}} = \arctan\left(\frac{h_{\mathrm{Auge}}}{e+b}\right) \tag{N.2}$$

$$\alpha = \alpha_{\mathrm{A}} + \beta - 90 \tag{N.3}$$

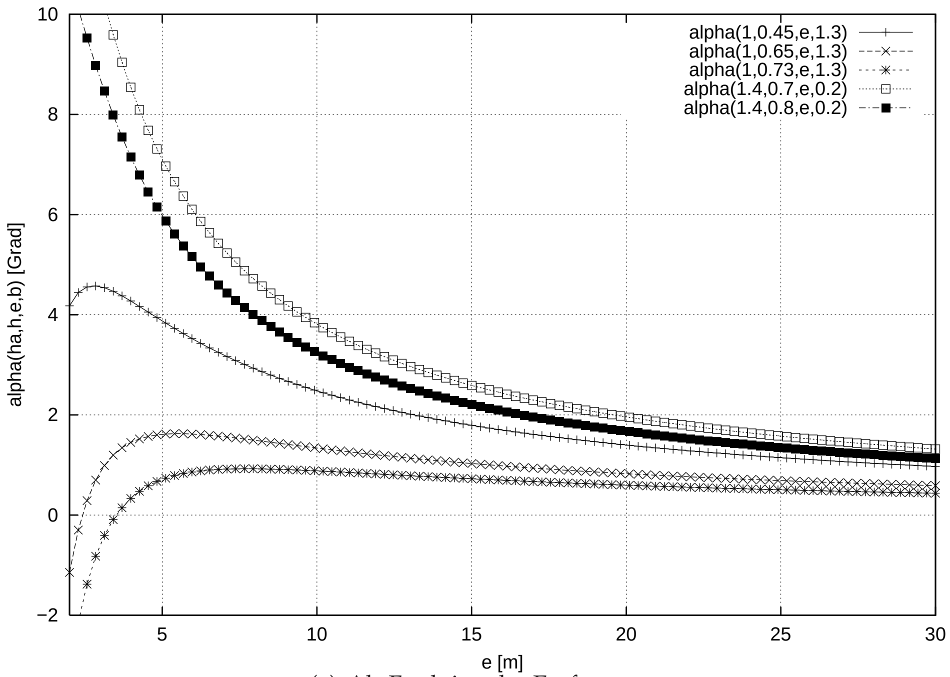
Der Beobachtungswinkel α ist hier die maßgebliche Große.

Tabelle N.1: Maße für die Winkelbestimmung bei Retroreflexion

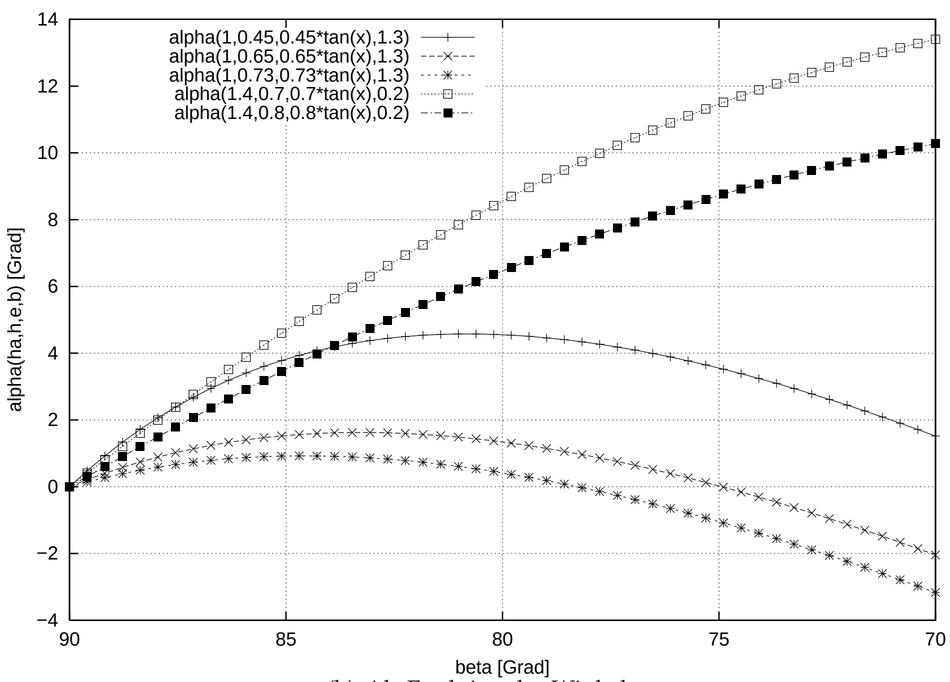
Rad	h	h_{Auge}	b	β_{10}	$\alpha_{\mathrm{A}\,10}$	α_{10}
Baron	0,45	1,0	1,3	87,42	5,057	2,48
	0,65	1,0	1,3	86,28	5,057	1,34
	0,73	1,0	1,3	85,82	5,057	0,88
ATB	0,7	1,4	0,2	86	7,815	3,82
	0,8	1,4	0,2	85,43	7,815	3,25
Kfz	0,75	1,25	1,8			

Bei derart kleinen Winkeln α ist von Retroreflexion zu sprechen. Der Verlauf des Winkel α in Abhängigkeit von Entfernung und Anbaubedinungen ist in Bild N.2 wiedergegeben.

Für Kfz-Scheinwerfer vorerst keine Werte, da die Meßvorschrift nach TA 6 noch schwammiger als die TA 23 ist (s. S. 567). Vorerst wird davon ausgegeangen, daß $E_{\max}$ 0,44° unter 50L liegt und $E(E_{\max}) \approx 1{,}6E(50\mathrm{L})$ ist. Diese Schlüsse legt Abb. 8 in [Le01] nah.



(a) Als Funktion der Entfernung



(b) Als Funktion des Winkels

Bild N.2: Retroreflexionswinkel in Abhängigkeit von Entfernung und Anbaubedingung

Im Sinne der TA 23 ist nur der Bereich $90 \ldots 88{,}8 > \beta > 80$ interessant. Der Retroreflexionswinkel ω dürfte praxisnah bei $1 \ldots 7°$ liegen. Hier wird vorerste mit einem $\beta \approx 3°$ gearbeitet.

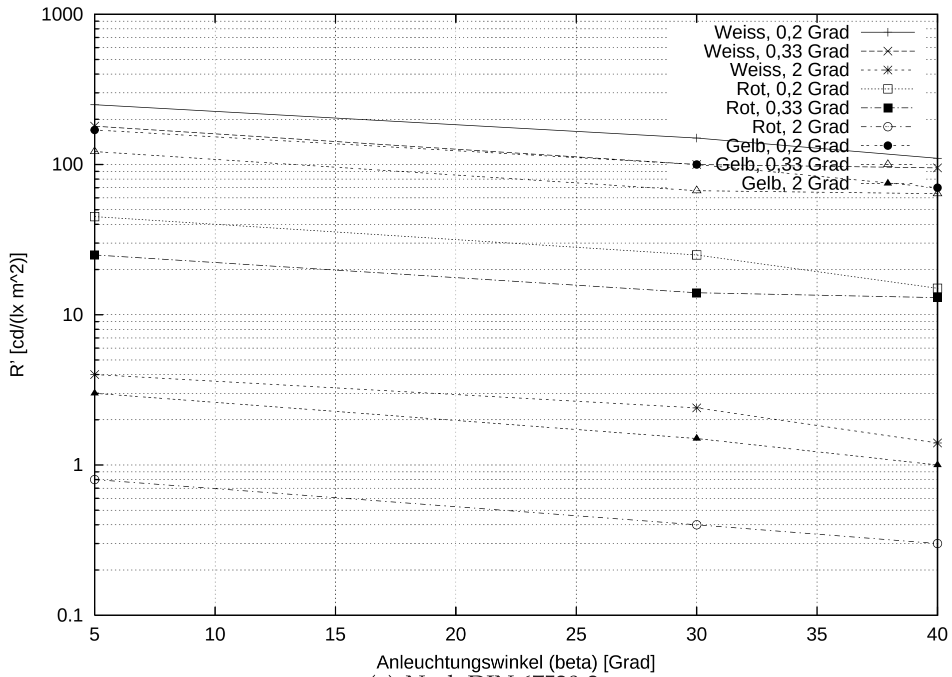
Der Reflexionsgrad wird allgemein als Verhältnis zwischen eingestrahltem Lichtstrom (Φ_0) und reflektiertem Lichtstrom (Φ_r) definiert.

$$\rho = \frac{\Phi_\mathrm{r}}{\Phi_0} \tag{N.4}$$

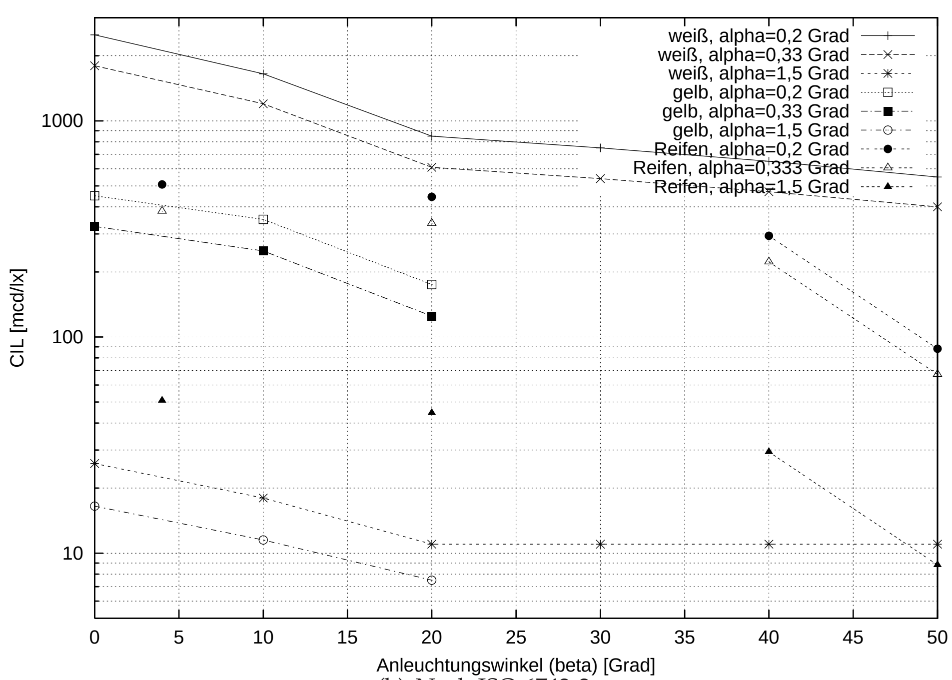
Diese Definition hilft hier nicht weiter, da der gesamte reflektierte Lichtstrom erfaßt wird. Für den Fahrer ist aber nur der in seine Richtung reflektierte Anteil interessant. Dies ist nur ein kleiner Teil des gesamten Lichtstromes. Die meßtechnische Erfassung der Retroflexion wird u.A. in der ISO6742/2 (1985) *Cycles – Lighting and retro-reflective devices – Photometric and physical requirements – Part 2: Retro-reflective devices* beschrieben. Mit dem Verfahren wird der *coefficient of luminous intensity* (CIL) bestimmt, dessen Einheit beträgt Millicandela/Lux (mcd/lx). Standardwinkel zwischen Lichtquelle und Sensor (α) betragen 0,2° , 0,33° und 1,5° . Der Winkel β beträgt dort, je nach Reflektor, 0, 10, 20, 30, 40 oder 50° . Für retroreflektierende Reifen wird noch bei -4° (Simulation großer Entfernung?) gemessen.

Für β =50° und α =1,5° ergeben sich Mindestanforderungen von 11 mcd/lx für weiße Reflektoren und 8,82 für retroreflektierende Reifen[3]. Für gelbe Reflektoren ist ein Tabellewert nur für max. β =20° angegeben; dort beträgt er 7,5 mcd/lx. Allgemein gilt sonst für gelbe Reflektoren ein Wert von >62,5 % der weißen und 25 % der weißen für rote Reflektoren (vgl. Bild N.3(b)).

[3]Mindestwert, ist von der Reifengröße abhängig: $0{,}021 \cdot D$ mit D in mm. Wobei $D \geq 420$ mm ist



(a) Nach DIN 67520-2



(b) Nach ISO 6742-2

Bild N.3: Mindestanforderungen nach DIN und ISO

Berücksichtigt man die geringe Beleuchtungstärke (max. 40 lx) so ergeben sich geringe Leuchtdichten. Hier sind wieder spezielle Meßgeräte notwendig. Ein einfacher Abschattungstubus auf dem $X9_1$ mit einem Erfassungswinkel von ca. einem Grad liefert nur Werte $\leq$0,01 lx.

Ziel der Untersuchungen ist es einen Korrekturfaktor ($k(\varphi)$) zu erhalten:

$$k(\varphi) = \frac{E_{0^\circ}}{E_\varphi} \tag{N.5}$$

Dieser Faktor ist z.B. bei Gleichung (3.125) (s.S. 430) zur berücksichtigen. Die Formel wird dann zu umgeschrieben.

$$E(\varphi) \quad = \quad k \frac{E_{\text{gewünscht(10 m)}}}{\left(\frac{10\,\mathrm{m}\cos(\varphi - (90 + \arctan\frac{h}{10\,\mathrm{m}}))}{h}\right)^2} \tag{N.6}$$

Leider sind empfindliche Leuchtdichtemeßköpfe nicht so weit gestreut und daher mit einem gewissen Kostenaufwand versehen. Vor einigen Jahren kursierte im Bekantenkreis mal die Summe von ca. 20 kDM. Der „einfache“ Meßkopf von Gigaherz-Optik, der LDM-9901, für das $X9_1$ liegt schon bei ca. 1 kEuro und hat bei einem Blickfeld von 1° eine maximale Auflösung von 50 mcd/m^2. Der LDM-9801 bzw. LDM9802 für das P-9710-1 (Auswertungselektronik) hat, je nach Sensor und Blickfeld, eine maximale Auflösung von 67. . . 2,5 µcd/m^2, liegt aber bei 2–3 kEuro zzgl. 1 kEuro für das GOP9710. Preise natürlich ohne Mehrwertsteuer. Bis hier Meßwerte auftauchen wird es leider ersteinmal dauern.

Als Anhaltswert ein Bild vom PAL-Sympsium 2003 in Darmstadt von Salvatore Pierro und Gianpiero Fusco, Automotive Lighting Veneria, Italy

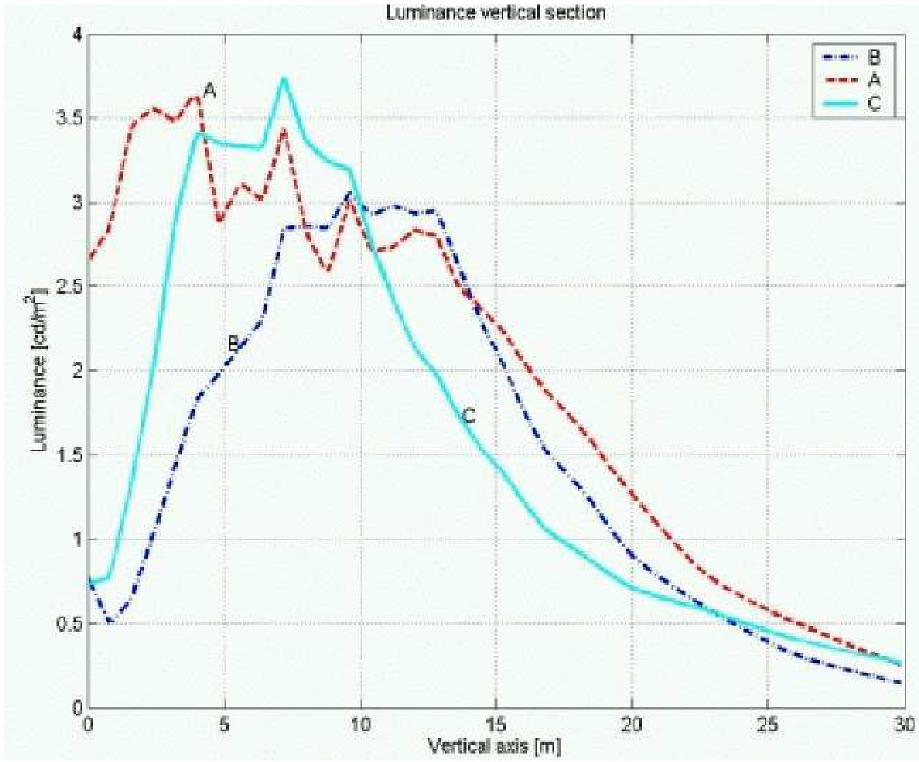


Bild N.4: Leuchtdichten einer Straßenoberfläche, von verschiedenen Autoscheinwerfern angestrahlt (AL Veneria, Italy, PAL2003)

Interessant ist, daß auch bei Autos nach 15 m ein deutlicher Abfall der Leuchtdichte auftritt. Da dürfte die Winkelabhängigkeit nicht mehr sehr groß sein, es kann also in grober Näherung behauptet werden, daß auch bei Autoscheinwerfern die Beleuchtungsstärke ab 10 m stark abnimmt. Insofern sind die dort verwendeten Scheinwerfer[4] nicht viel besser als gute Fahrradscheinwerfer!

[4]Nur, daß Kurve A ein relativ großer Scheinwerfer eines Vans, Kurve B und C von Pkw-Scheinwefern sind. A und B Halogenlampen und C eine Gasentladungslampe.

Anhang O

Technische Anforderungen

Die „Technische Anforderungen“ (TA) ergänzen die StVZO und beschreiben Anforderungen und Prüfungen besonders von lichttechnischen Einrichtungen im Straßenverkehr. Die TAs sind Anlagen zu § 22a StVZO. Die TAs werden nur auszugsweise wiedergegeben. Komplett sind sie angeblich nur im Kommentar zu StVZO Kotlitz/Braun (Kirschbaumverlag) für schlappe 173 Euro erhältlich. Im Hamburger Verbundkatalog ist nur eine „hochaktuelle “ Ausgabe von 1992 vorhanden, bei den Preisen kein Wunder. Aber wer sich auf die Hinterbein stellt, der erhält die ca. 116 Seiten umfassenden TAs auch vom Ministerium (immer noch in Bonn) zugeschickt:=)

Tabelle O.1: Liste der TAs (Stand Okt. 1998)

Teil I: Allgemeine Bestimmungen	
1:	Verfahren
2:	Allgemeine Anforderungen
Teil II: Prüfbestimmungen	
A. Lichttechnische Einrichtungen	
3:	Begriffe und Meßregeln
4:	Bautechnische Anforderungen
5:	Bautechnische Prüfungen
6:	Glühlampen
6a:	Gasentladungslampen zur Erzeugung von Lichtblitzen (Blitzröhren)
7:	Scheinwerfer für Fernlicht und symmetrisches Abblendlicht
7a:	Scheinwerfer mit Gasentladungslampe
8:	Scheinwerfer für Fahrräder mit Hilfsmotor sowie Kleinkrafträder bis einschl. 50 km/h
8a:	Rückfahrscheinwerfer
9:	Begrenzungsleuchten
10:	Spurhalteleuchten
11:	Parkleuchten
12:	Nebelscheinwerfer
13:	Kennleuchten für blaues Blinklicht (mit Rundumlicht)
13a:	Kennleuchten für blaues Blinklicht (mit nur einer Hauptausstrahlrichtung [Blitzlicht-Scheinwerfer])
14:	Schlußleuchten
15:	Nebelschlußleuchten
16:	Tragbare Blinkleuchten und rot-weiße Warnmarkierungen zur Sicherung von Hubladebühnen
17:	Bremsleuchten
18:	Rückstrahler
18a:	Retroreflektierende Streifen an Reifen von Fahrrädern
18b:	Park-Warntafeln
19:	Warndreiecke und Warnleuchten
20:	Zusätzliche Warnleuchten nach § 53 a Abs. 3 StVZO
21:	Fahrtrichtungsanzeiger
22:	Beleuchtungseinrichtungen für amtliche Kennzeichen
23:	Scheinwerfer für Fahrräder
24:	Fahrradlichtmaschinen
B. Andere Einrichtungen	
25:	Beiwagen an Krafträdern
26:	Sicherheitsgurte in Kraftfahrzeugen
27:	Heizungen
28:	Gleitschutzeinrichtungen
29:	Sicherheitsglas
30:	Auflaufbremsanlagen
31:	Einrichtungen zur Verbindung von Fahrzeugen
32:	Warneinrichtung mit einer Folge von Klängen verschiedener Grundfrequenzen (Warnvorrichtung mit einer Fogle verschieden hoher Töne)-Einsatzhorn
33:	Fahrtenschreiber
34:	Rückhaltesysteme für Kinder in Kraftfahrzeugen

Im folgenden ist der Stand der TA von 1998 mit den Änderungen laut Verkehrsblatt 22-2003 (soweit bekannt).

O.1 TA 1 Verfahren

(1) Die Technischen Anforderungen gelten für die Prüfung von Fahrzeugteilen, die nach §22a StVZO in amtlich genehmigter Bauart ausgeführt sein müssen.

(2) Das Kraftfahrt-Bundesamt kann von den Technischen Anforderungen abweichen, wenn die Verkehrssicherheit es zuläßt und die technische Entwicklung es erfordert.

Das Kraftfahrt-Bundesamt kann auch Prüfungen anerkennen. die von den zuständigen Prüfstellen anderer Mitgliedsstaaten der Europäischen Union oder Mitgliedstaaten des Europäischen Wirtschaftsraumes durchgeführt und bescheinigt werden.

(3) Änderungen von Technischen Anforderungen treten bei der Erteilung von neuen Bauartgenehmigungen und Nachträgen zu bereits erteilten Bauartgenehmigungen 1 Jahr, für andere Bauartgenehmigungen 3 Jahre nach ihrer Veröffentlichung im Verkehrsblatt in Kraft.

O.2 TA 2 Allgemeine Anforderungen

(1) Die Fahrzeugteile dürfen in ihrer Wirkung weder durch die Witterung noch durch die übliche Beanspruchung im Betrieb mehr als unvermeidbar beeinträchtigt werden. Dies muß durch Bauart, Werkstoff und Verarbeitung gesichert sein.

(2) Die Prüfmuster müssen der beabsichtigten Fertigung entsprechen. Jedes Prüfmuster muß mit allem Zubehöhr ausgerüstet sein, das zum Ein- oder Anbau in der der Normalgebrauchslage und zum ordnungsgemäßen Betrieb erforderlich ist.

(3) Die in diesen Technischen Anforderungen genannten DIN-Blätter können vom Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin, bezogen werden; sie werden der Bauartprüfung wie folgt zugrunde gelegt:

1. in der jeweils neusten Auflage, wenn diese den Vermerk trägt „Herausgegeben im Einvernehmen mit dem Bundesminister für Verkehr“
2. wenn ein solcher Vermerk fehlt - in der Ausgabe, die
   (a) am 15. Februar 1965 gültig war oder
   (b) in den Technischen Anforderungen neben der DIN-Blatt-Nummer angegeben ist.

(4) Die für bestimmte Fahrzeugteile geforderten Angaben können statt auf einem Fabrikschild unmittelbar auf dem Fahrzeugteil angebracht sein.

(5) Eine bei der Nachprüfung (§11 (*jetzt §9*) der Fahrzeugteilverordnung) lichttechnischer Einrichtungen festgestellte Unter- oder Überschreitung der photometrischen Mindest- oder Höchstwerte um nicht mehr als 20 %, die nicht auf eine Änderung der Bauart zurückzuführen ist, wird in der Regel nicht beanstandet, hierbei ist u.U. die Entnahme weiterer Proben erforderlich.

O.3 TA 3 Begriffe und Meßregeln

Stand: Ergänzungslieferung 1998

(1) Lichttechnische Einheiten sind:
Candela (cd) für die Lichtstärke,
Lux (lx) für die Beleuchtungsstärke,
Lumen (lm) für den Lichtstrom,
Candela je Quadratmenter (cd/m^2) für die Leuchtdichte.

(2) Als Beleuchtungsstärke gilt die zur Lichtrichtung senkrechte Beleuchtungsstärke. Für alle photometrischen Messungen müssen Prüflampen nach Absatz 3 verwendet werden. Sie sind bei einer Spannung zu betreiben, die nicht mehr als 5 % von der Prüfspannung der Lamppe abweicht. Die gemessenen lichttechnischen Werte sind auf den für jede Lampenart geltenden Mindestlichtstrom nach Nr. 6 Abs. 10 zu beziehen, Abweichungen hiervon sind in den Einzelbestimmungen anzugeben.

(3) Als Prüflampen sind Lampen für eine Nennspannung von 12 V zu verwenden, ausgenommen sind Lampen nach DIN 49840 und 49848 und soweit die Einzelbestimmungen keine abweichende Angaben enthalten.

Als Prüflampen dürfen nur solche Lampen verwenden werden, deren Leuchtkörperaufbau in allen wesentlichen Teilen der für jede Lampenart vorgeschriebenen Sollage möglichst nahe kommt. Abweichungen davon dürfen nicht mehr als 1/3 der bei der Bauartprüfung von Glühlampen nach Nr. 6 zugelassenen Toleranzen betragen. Ergebne sich hieraus kleinere Werte als in nachfolgender Tabelle zerzeichnet, so genügt für die aufgeführten Lampenarten die Einhaltung der Toleranzwerte aus der Tabelle:

	Glühlampen		
Bei Toleranzen für	für Scheinwerfer	über 15 W für Signalleuchten	unter 15 W für Signal- und andere Leuchten
Längenmaße (mm)	0,15	0,2	0,3
Winkelmaße (Grad)	0,5	1	3

Sind Abmessungen als Maximalmaß M oder als Minimalmaß m angegeben, so gelten als Sollmaße 0,8M$\pm$0,15M oder 1,2m$\pm$0,15m.

(4) Farbbestimmung:

Für die Farben und Farbgrenzen der vorderen Fahrbahnbeleuchtung und Signallichter gilt DIN 6163 Blatt 1 und 3. Für Nebelscheinwerfer ist außerdem ein Farbbreich „hellgelb“ zulässig, der durch folgende Farbgrenzen bestimmt wird:

Grenzen gegen Weiß:	$y = -x + 0{,}940$
und	$y = 0{,}440$
Grenzen gegen Grün:	$y = 1{,}29x - 0{,}100$
Grenzen gegen Rot:	$y = 0{,}58x + 0{,}138$
Grenzen gene den Spektralfarbenzug:	$y = -x + 0{,}992$

Die Bestimmungen gelten für alle Ausstrahlungsrichtungen einer Leuchte oder eines Rückstrahlers. Dabei sind in Leuchten die zugehörigen Glühlampen bei Nennspannung zu betreiben und

Rückstrahler mit einer Glühlampe der Verteilungstemperatur von 2850 K anzustrahlen. Bei kombinierten Geräten mit verschiedenfarbigen Leuchtenteilen darf das aus den benachbarten Leuchtenteilen u. U. austretende Streulicht nur so schwach sein, daß es in allen Ausstrahlungsrichtungen aus einer Entfernung von 10 m nicht mehr zu sehen ist; bei nur vorübergehend eingeschalteten Signalleuchten (z.B. Brems- oder Blinkleuchten) genügt es, wenn Streulicht der genannten Art in den für die Lichtverteilung verlangten photometrischen Winkelbereichen nicht beobachtet wird.

Der Farbeindruck eines Signals kann in vielen Fällen durch visuellen Vergleich mit farbeigen Lichtern beurteilt werden, deren Farborte die Farbgrenzen nach DIN 6163 Blatt 3 genügend genau darstellen. In Verbindung mit einer Glühlampe der Verteilungstemperatur 2850 K kann der Farbbereich Gelb A in seinen Abgrenzungen gegen Grün und Rot z.B. weitgehend durch Schott-Farbgläser OG 1 und OG 2 in einer Dicke von 2 mm dargestellt werden, ebenso stelt für den Bereich Rot A z.B. das Schott-Farbglas OG 3 in einer Dicke von 2 mm annähernd die Grenze gegen Gelb dar. Im Zweifelsfall ist auf farbmetrische Messungen zurückzugreifen.

(5) „Bezugsachse“ ist die Fahrzeugslängsmittelebene und zur Fahrbahn parallele Richtung.

„Normalrichtung“ einer Leuchte oder eines Rückstrahlers ist eine am Gerät festlegbare Bezugsrichtung, die vom Hersteller bestimmt wird. Ihre Lage relativ zur Bezugsachse ist anzugeben, wodurch die Anbaulage am Fahrzeug festgelegt ist. Die Prüfung kann bei Leuchten auf weitere Anbaulagen ausgedehnt werden, wozu der Anbaubereich dann abzugrenzen ist. Bei Rückstrahlern muß die Normalenrichtung in die Bezugsachse gelegt werden.

(6) „Ausstrahlungswinkel“ einer Leuchte ist der Winkel einer bestimmtem Lichtausstrahlung, bezogen auf die Bezugsachse. Die Winkel werden, in Richtung der Lichtausstrahlung gesehen, nach rechts und oben mit positiven, nach links und unten mit negativen Vorzeichen angegeben, außer bei Fahrtrichtungsanzeigern (vgl. Nummer 21). Bei den Messungen liegen die „Meridiankreise“ senkrecht und die „Parallelkreise“ waagerecht.

(7) Für Messungen an Rückstrahlern gilt als
„Anleuchtungswinkel“ der Winkel zwischen der Normalrichtung des Rückstrahlers und dem Hauptstrahl des einfallenden Lichtbündels mit Fußpunkt im Rückstrahler. Er liegt in einer horizontalen Ebene;

„Beobachtungswinkel“ der Winkel zwischen dem Hauptstrahl des einfallenden Lichtbündels und der Beobachtungsrichtung mit Fußpunkt im Rückstrahler. Er liegt in einer vertikalen Ebene;

„Rückstrahlwert“ die Lichtstärke des zurückgestrahlten Lichtes, bezogen auf die zur Richtung des des einfallenden Lichtes senkrechte Beleuchtungsstärke am Ort des Rückstrahlers.

Einheit: cd/lx ode mcd/lx.

O.4 TA 4 Bautechnische Anforderungen

In der TA 4 sind „Besondere bautechnische Anforderungen an lichttechnische Einrichtungen von Fahrrädern und an deren Versorgungssystemen“ einige grundlegende Sachen definiert. Alleine die Ergänzungen haben einen Umfang von ca. 4,5 Seiten. Quelle: (1)-(6) 1998, (7)-10) Verkehrsblatt 22-2003.

(1) Alle optisch wirksamen und zu ihrer Halterung oder Justierung wichtigen Teile müssen so gefertigt sein, daß ihre Lage zueinander nicht durch andere Zwischenglieder bestimmt wird. In diesen Teilen darf keine Korrosion, die das einwandfreie Arbeiten des Geräts beeinträchtigen kann, eintreten. Wenn die Bauart eine bestimmte Lage dieser Teile zueinander erfordert, ist deren Lage zu sichern. Bei verstellbaren Halterungen muß die vorgeschriebene Wirkung der Geräte über den gesamten Verstellbereich erhalten bleiben; dies gilt nicht, wenn besondere Einstellvorschriften bekannt sind, und nicht für Anbaunebelschlußleuchten, wenn ihre richtige Anbaulage auf der Abschlußscheibe in sinnfälliger Form deutlich sichtbar und dauerhaft angebracht ist.

(2) Die Geräte müsse in ihrer normalen Betriebslager gegne Eindringen von Staub und Wasser durch wetterbeständige Dichtungen ausreichend geschützt sein. Zerbrechliche Dichtungseinlagen zwischen abnehmbaren Teilen und Gehäusen sind unzulässig. Elektrische Verbindungen müssen dauerhaft und betriebsicher ausgeführt sein.

(3) Die Oberflächen der Abschlußscheiben der Leuchten und der Rückstrahler müssen gegen die Einwirkung von einem Gemisch aus 70 Volumen% n-Heptan und 30 Volumen% Toluol beständig sein. Die Oberfläche inbesondere die Lichtaustrittsfläche ist leicht mit einem Baumwollappen abzureiben, der mit dem Gemisch getränkt ist. Nach ungefähr fünf Minuten wird die Oberfläche besichtigt. Sie darf keine sichtbaren Veränderungen aufweisen. Leichte Oberflächenrisse können jedoch toleriert werden.

Die Oberfläche muß so beschaffen sein, daß Schmutz leicht entfernt werden kann.

(4) Sind mehrere Einrichtungen in einem Gerät vereinigt, so muß jede Einrichtung den für sie geltenden Vorschriften entsprechen.

(5) Abdeckende Aufschriften auf den Abschlußscheiben der Scheinwerfer und Leuchten sind unzulässig; dies gilt nicht für vorgeschriebene Aufschriften, fremde Prüfzeichen und Firmenzeichen, wenn hierdurch die lichttechnischen Eigenschaften nicht unzulässig beeinträchtig werden.

(6) die in Scheinwerfern, Signal- und anderen Leuchten verwendeten Glühlampen sind in Nr. 6 Abs. 2 zusammengestellt. An lichttechnischen Fahrzeugteilen ist die Leistungsaufnahme der zu verwendeten Glühlampe deutlich lesbar und dauerhaft anzugeben. Glühlampen müssen leicht auswechselbar sein.

(7) Die Einrichtungen müssen so beschaffen sein, daß sie bei üblicher Verwendung trotz der dabei auftretenden Erschütterungen die in den Technischen Anforderungen vorgeschriebenen Merkmale einhalten und ihre Funktion sichergestellt bleibt.

(8) Fahrräder und deren lichttechnische Einrichtungen sowie deren elektrische Versorgungssysteme müssen die folgenden besonderen bautechnischen bzw. messtechnischen Anforderungen erfüllen:

1. Lichttechnische Einrichtungen und Lichtmaschinen für Fahrräder müssen so ausgeführt und zu befestigen sein, daß sich ihre Lage zum Fahrrad im Betrieb weder von selbst verstellt noch leicht verstellbar ist (bei drehbaren Montage- bzw. Verstelleinrichtungen ist von einem für eine Verstellung aufzuwendenden Drehmoment von mindestens 5 Nm auszugehen).
2. Abnehmbare Scheinwerfer bzw. Leuchten müssen mit einfachen Mitteln entsprechend Absatz 1 am Fahrrad angebracht werden können.
3. Für den elektrischen Anschluss der lichttechnischen Einrichtungen und elektrischer Versorgungssysteme sollen Kabel mit einem Querschnitt von mindestens 0,4 mm^2 verwendet werden, deren Leitungswiderstand $R \leq 0{,}045\,\Omega/\text{m}$ ist. Kabelanschlüsse müssen so ausgeführt

werden, dass auch bei nur teilweiser Kontaktierung der Drähte die Funktion noch sichergestellt ist. Der Kontaktdruck von Kabelanschlüssen muß so stark sein, daß auch bei Reduzierung des erforderlichen Kabels auf eine blanke Kupferlitze mit nur drei miteinander verdrillten Adern von je 0,20 mm Durchmesser die Verbindung einer in Richtung des abgehenden Kabels wirkenden und am Kabel selbst ansetzenden Zugkraft von mindestens 10 N standhält. Bei Steckverbindungen muß die Zugkraft entgegen der Steckrichtung wirken. Im übrigen gelten die entsprechenden Anforderungen nach DIN 79100 Teil 2:1998-10.

4. Scheinwerfer und Leuchten müssen deutlich lesbar und dauerhaft mit der erforderlichen Nennspannung der Versorgungseinheit gekennzeichnet sein. Wenn in den von der Lichtmaschine des Fahrrades unabhängigen Fahrrad-Schlußleuchten bzw. Scheinwerfern die Lichtquelle fester Bestandteil der Lichttechnischen Einrichtung ust, ist eine Versorgungsspannung nach Angaben des Herstellers vorzusehen.

5. Scheinwerfer und Leuchten mit eigener Batterie- bzw. Akkuversorgung müssen ein Kontrolleinrichtung haben, die den Benutzer informiert, daß ein Batteriewechsel bzw. das Nachladen vorgenommen werden muß. Die Anzeige muß dann erfolgen, wenn die photometrischen Bedingungen gerade noch erfüllt werden.

   Bei separater Batterie-Akku-Einheit muß diese Anzeige spätestens dann erfolgen, wenn die Spannung an den Eingangsklemmen der lichttechnischen Einrichtung 80 % der Prüfspannung erreicht hat.

   Typ, Anzahl und Nennspannung der verwendeten Batterien bzw. Akkus sind auf den jeweiligen Geräten anzugeben. Ausgehend von geladener Batterie oder Akku darf diese Kontrolleinrichtung frühestens nach einer Stunde Brenndauer ansprechen.

6. Für die Ausgangsspannungen bzw. Klemmenspannungen separater lichttechnischer Einrichtungen und elektrischer Versorgungssysteme gelten folgende Festlegungen:

	6 V-System	12 V-System
Nennspannung	6 V	12 V
Prüfspannung	6 V	13,5 V
max. Ausgangsspannung[1]	7,5 V	15 V

   Spannungsbegrenzende Mittel dürfen erst oberhalb der Prüfspannung wirksam werden.

   Hierbei entspricht der Wert der Gleichspannung $U\_$ dem Effektivwert der Wechselspannung U_{eff}.

7. Lichttechnische Einrichtungen mit externer Versorgung müssen die lichttechnischen Anforderungen sowohl bei Wechsel-[2] als auch bei Gleichspannung erfüllen. Falls erforderlich, ist die Polarität anzugeben.

8. Bei getakteten Versorgungsspannungen muß die Taktfrequenz größer 25 Hz (bzw. Impulse/s) sein. Abweichend hiervon ist bei mit der Nabe gekoppelten Lichtmaschinen ohne Getriebe beim größten für diese Lichtmaschine zulässigen Radaußendurchmesser und einer Geschwindigkeit von 5 km/h eine Frequenz der Wechselspannung von mindestens 8 Hz zulässig.

[1] unter Last nach 9. (Für Lichtmaschinen gelten besondere Bedingungen).
[2] bezogen auf einen Frequenzbereich von 20 Hz–500 Hz.

9. Bei der Prüfung von Lichtmaschinen, Zusatzgeräten, zusätzlichen Versorgungseinrichtungen und Kombinationen von Zusatzeinrichtungen mit Geräten der lichttechnischen Grundausstattung ist die Lichtquelle durch folgende Lastwiderstände für den Scheinwerfer-(R_{SW}), die Rückleuchte (R_{SL}) oder die Gesamtlast (R_g) zu ersetzen.
   Hierbei betragen:

	6 V-System	12 V-System
R_g	12 Ω	29,4 Ω
R_{SW}	15 Ω	36,4 Ω
R_{SL}	60 Ω	152,0 Ω

   Genauigkeit der Messwiderstände ±0,5 %. In jedem Fall ist der Widerstand des Spannungsmessers in die jeweiligen Widerstände einzubeziehen.
10. Separate Zusatzgeräte müssen so gebaut sein, daß im Spannungsbereich U von 0,5× Nennspannung bis Prüfspannung bei allen möglichen Betriebszuständen und unter Belastung mit den in 9 genannten Widerständen die Spannung an den Lastwiderständen um nicht mehr als 3 % verringert wird, bezogen auf den Messwert ohne Zusatzeinrichtung.
    Für die Prüfung ist eine elektrische Versorgungseinrichtung zu verwenden, deren Spannungscharakteristik bei Belastung einer Lichtmaschine entspricht, die nach TA 24 Ziffer 4 an der zulässigen unteren Grenze liegt.
11. Die Klemmenspannung[3] von Versorgungs-Systemen, die eine Batterie oder einen Akku beinhalten und die zusammen mit der Lichtmaschine zur Fahrt- oder Standbeleuchtung betrieben werden sollen, muß unter Last nach 9. mindestens der Prüfspannung der elektrischen Versorgungssysteme entsprechen.
12. Fällt bei kombinierten Versorgungs-Systemen nach 11. die Spannung an der Lichtmaschine auf 80 % der Prüfspannung ab, muß eine automatische Umschaltung auf das Versorgungssystem erfolgen, das die höhere Spannung zur Verfügung stellt.
    Eine Standlichtbeleuchtung muß für eine Zeitdauer von mindestens 4 Minuten[4] nach Stillstand der Lichtmaschine in Betrieb sein.
13. Wird eine nicht bauartgenehmigte Lichtquelle verwendet, so muß sie fester Bestandteil des Scheinwerfers bzw. der Leuchte sein, und die Lebensdauer muß entsprechend DIN EN 60810: 1995-11 bei Prüfspannung[5] der Lampe unter der Lebensdauerbedingung B3 mindestens 50 h betragen.[6]
    Bei lichttechnischen Einrichtungen mit integrierter/m Batterie/ Akku darf die Nennspannung der Glühlampe nicht kleiner als das 0,8-fache der Batterie-Nennspannung und bei Akkusystemen nicht kleiner als die Akku-Nennspannung selbst sein. Bei Verwendung einer Vorschaltelektronik darf die Ausgangsspannung bei nicht auswechselbaren Glühlampen nicht mehr als 10 % der Nennspannung und bei auswechselbaren Glühlampen nicht mehr als 5 % der Prüfspannung betragen.[7]

[3] bezogen auf den geladenen Akku bzw. die volle Batterie.

[4] *Laut Entwurf und Verkündung Text der vorherigen Fußnote, was wenig Sinn macht.*

[5] Wenn nichts weiter angegeben ist, ist die Prüfspannung gleich der Nennspannung.

[6] Anmerkung des Autors: Lebensdauerbedingung B3 heißt nach DIN, daß 3 % der Testexemplare ausgefallen sind.

[7] *, Ja, steht wirklich so im Verkehrsblatt, Bahnhof, meinen die das wirklich so oder hat die Schlußredaktion geschlampt? Im Entwurf stand für diesen Satz:*b „Bei Verwendung einer Vorschaltelektronik darf die Ausgangsspannung um nicht mehr als -5 %, +10 % von der Nennspannung der Glühlampe abweichen.“

Bei Scheinwerfern und Leuchten mit nicht auswechselbarer Lichtquelle, deren Spannungsversorgung durch die Lichtmaschine erfolgt, muß:

- die Nennspannung der Glühlampe gleich der Nennspannung des Versorgungssystems sein (6 V bzw. 12 V) oder die Lichtquelle ist über eine geeignete Vorschaltelektronik zu betreiben;
- die lichttechnische Wirkung spätestens bei 0,5×Nennspannung einsetzen;
- die lichttechnische Beurteilung bei der Prüfspannung durchgeführt werden;
- die Leistungsaufnahme bei der jeweiligen Prüfspannung bezogen auf den Nennwert innerhalb der Grenzen für Scheinwerfereinheiten 2,4 W (6 V) bzw. 5,0 W (13,5 V) +10 % und -20 %
  sowie für Leuchteneinheiten 0,6 W (6 V) bzw. 1,2 W (13,5 V) +20 % und -50 %
  liegen.

Vorschaltelektroniken in diesen Einheiten müssen über eine ausreichende Belastbarkeit[8] verfügen.

14. Scheinwerfer und Leuchten mit integrierten Kondensator-LED-Standbeleuchtungen müssen so gebaut sein, daß die Last der gesamten Einrichtung für das Versorgungssystem nicht wesentlich größer ist als die für diese Einrichtung nach 9. vorgesehene. Die gesamte Einrichtung muß bei Prüfspannung die geforderten Bedingungen erfüllen, wobei, ausgehend vom entladenen Kondensator, eine Ladezeit von 2 Minuten bei Prüfspannung zugestanden wird und die Reduzierung der Lichtmaschinenspannung durch die Ladung des Kondensators folgender Bedingung genügt:

$$(U_0 - U_L)/U_0 < \mathrm{EXP}(-2t) \tag{O.1}$$

$U_0 =$ Spannung vor dem Ladevorgang
$U_L =$ Spannung beim Ladevorgang
$t =$ Zeit in Minuten
$\mathrm{EXP}(x) =$ die Exponentialfunktion

Danach darf $((U_0 - U_L)/U_0) \cdot 100$ nicht über 1,5 % liegen. Durch die Entladung des Kondensator wird eine zeitliche Änderung der Lichtstärke $I(t)$ verursacht; hierbei muß für die Zeit von 4 Minuten

$$I(t) \geq I(t = 1\,\mathrm{s}) \cdot \mathrm{EXP}(-t/3) \tag{O.2}$$

sein.

$I(t) =$ momentane Lichtstärke
$I(t = 1\,\mathrm{s})$ Startwert der Lichtstärke nach 1 s
$t =$ Zeit in Minuten
EXP(x)= die Exponentialfunktion

(9) Messungen an Leuchten mit nicht auswechselbaren Lichtquellen (Glühlampen oder andere) sind, wenn in den Einzelbestimmungen nicht anders festgelegt, mit 6,75 V, 13,5 V oder 28,0 V durchzuführen.

[8] 30 Minuten mit der maximalen Ausgangsspannung nach (6).

> Bei Lichtquellen, die von einer besonderen Stromversorgungsanlage versorgt werden, sind die vorstehenden Prüfspannungen an den Eingangsklemmen dieser Stromversorgungsanlage anzulegen. Der Technische Dienst kann die besondere Stromversorgungsanlage, die zur Versorgung dieser Leuchten benötigt wird, vom Hersteller anfordern.
>
> (10)Die photometrischen Messungen an lichttechnischen Einrichtungen, die mit anderen Lichtquellen als Glühlampen bestückt sind, werden nach einer Brenndauer von einer Minute und nach 30 Minuten durchgeführt. Die Lichtverteilung der Leuchte nach einer Brenndauer von einer Minute wird aus dem Verhältnis der Messwerte, gemessen in HV nach einer und nach 30 Minuten, berechnet. In beiden Fällen müssen die maximalen und minimalen photometrischen und kolorimetrischen Anforderungen erfüllt werden.
>
> Bei Einrichtungen, die ausschließlich blinkend betrieben werden sind die Messungen nach diesem Verfahren im vorgesehenen Blinkmodus vorzunehmen. Blinkende Scheinwerfer und Schlußleuchten sind an Fahrrädern unzulässig.
>
> Dieses Verfahren ist nicht auf Scheinwerfer mit Gasentladungslampe anzuwenden.

Kritikpunkte an der TA 4:

1. So die TA 4 seit der Verkündung im Verkehrsblatt Heft 22, 2003 nicht geändert wurde ist Absatz 13, letzter Satz zweiter Absatz gelinde gesagt mißverständlich. So, wie es dort geschrieben ist, sollen die Glühlampen mit $(6\ \text{V} \cdot 0{,}8 = 4{,}8\ \text{V}) \cdot 0{,}05 \ldots 0{,}1 = 0{,}24 \ldots 0{,}48\ \text{V}$ betrieben werden. Das ist doch wohl nicht ernst gemeint. Wurde nach einem Hinweis auch erkannt und wird hoffentlich in der Neuauflage korrigiert.
2. Absatz 13, zweiter Spiegelstrich mag für Scheinwerfer mit Glühlampen eine sinnvolle Anforderung sein. Beim Betrieb von LED-Scheinwerfern an realen Fahrraddynamos liefern jedoch selbst simpelste Eigenbauten deutlich früher die gleiche Helligkeit als Scheinwerfer mit Glühlampen.
3. Zu Abs. 7 kann man nur fragen, ja was denn nun?
4.

O.5 TA 5 Bautechnische Prüfungen

Hier in dem Stand der Ergänzungslieferung 08/1984:

> Wärmeprüfung von Abschlußscheiben aus Kunststoff: Das Prüfmuster wird 2 Stunden einer Temperatur von 60 °C±5 °C ausgesetzt. In ruhender Luft und bei der Umgebungstemperautr von 23 °C±5 °C sind Leuchten bei normaler An- und Einbaulage einem Dauerbetrieb von 20 Minuten für Brems- und Blinkleuchten und 12 Stunden für andere Leuchten zu unterwerfen. Die Leistung der Glühlampen muß dabei so eingeregelt werden, daß sie mit dem für die Lampenart vorgeschriebenen Mittelwert (Maximalwert, wenn nur dieser festgelegt ist) der Leistungsaufnahme bei Prüfspannung übereinstimmt, bei Blinkleuchten genügt die Hälfte davon. Die Abschlußscheiben

> dürfen nach dieser Prüfung keine Farb- und Formveränderung oder Verbrennungsmerkmale aufweisen, die die einwandfreie Funktion der Leuchten beeinträchtigen könnten. In Zweifelsfällen kann die Wärmeprfung wiederholt werden.

Ah ja, der Reflektor oder das Gehäuse wird nicht geprüft.

O.6 TA 6 Glühlampen

Hier ist aus dem Entwurf (11/96) zitiert.

Diese TA beschreibt die Anforderungen an die Lampen

Tabelle O.2: Anforderungen an Fahrradlampen nach TA 6

Kategorie	Nennwerte	Prüfspannung	Bezugslichtstrom
B1	6 V/2,4 W	6,0 V	21 lm
B2	6 V/0,6 W	6,0 V	2 lm
HS3	6 V/2,4 W	6,0 V	36 lm
HS4	12 V/5,0 W	13,5 V	90 lm

Weiterhin werden die Fahrzeugglühlampen in den DIN-Normen [DIN 49848] und [DIN EN 60809] behandelt.

Tabelle O.3: Anforderungen an Fahrzeugglühlampen nach DIN

Kategorie	U_{Nenn} [V]	P_{nenn} [W]	Prüfspannung [V]	E_{Nenn} [lm]
B1	6	2,4±0,24	6,0	$24 \pm 4{,}8$
B2	6	0,6±0,06	6,0	3 ± 1
B3	6	0,6±0,06	6,0	3 ± 1
HS3	6	2,4±0,2	6,0	$36 \pm 5{,}4$
HS2	6	15±0,9	6,75	320 ± 48
HS2	12	15±0,9	13,5	320 ± 48

Die HS2 entspricht im Prinzip der HS4 (Axialwendellampe) mit höherer Leistung!

DIN und TA widersprechen sich teilweise.

Weiterhin als Randbemerkung: OSRAM gibt in [OsHal] den Axialwendeln den gegenüber den bei der HS3 vorgeschriebenen Transversalwendeln eindeutig den Vorzug. FER hat bei der HS4 auch den Glühfaden als Axialwendel eingebracht.

O.7 TA 8 Scheinwerfer für Fahrräder mit Hilfsmotor und Kleinkrafträder bis einschl. 50 km/h

Stand: Mai 1994

(1) Scheinwerfer für dauerabgeblendetes Licht mit Glühlampe 15 W müssen so ausgeführt und zu befestigen sein, daß die Lage des optischen Systems zum Fahrzeug im Betrieb weder verstellt werden kann noch sich von selbst verstellt. Die Streuscheibe muß in ihrer Lage eindeutig bezeichnet und durch eine Arretierung zum Gehäuse gegen Verdrehen gesichert sein. Die wirksame Lichtaustrittsöffnung muß mindestens 45 cm^2 groß sein.

Die Scheinwerfer müssen eine Verstelleinrichtung haben, mit der die ordnungsgemäße Einstellung nach den „Richtlinien für die Einstellung von Scheinwerfern an Kraftfahrzeugen“möglich ist.

(2) Die Scheinwerfer müssen eine deutlich ausgeprägte Hell-Dunkel-Grenze erzeugen, die horizontal verlaufen und möglichst gerade sein soll, so daß mit ihrer Hilfe eine sichere Einstellung der Scheinwerfer möglich ist.

(3) Für die Prüfung wird der Scheinwerfer mit Hilfe einer Prüffläche nach den in Absatz 1 genannten Scheinwerfer-Einstellrichtlinien eingestellt. Die Prüffläche wird in 10 m Entfernung vor dem Scheinwerfer so aufgestellt, daß sie senkrecht zur Verbindungslinie zwischen Scheinwerferglühlampe und Zentralmarke steht und der Trennstrich horizontal verläuft.

In horizontaler Richtung ist der Scheinwerfer so einzustellen, daß die Lichtverteilung symmetrisch zur Vertikalen durch die Zentralmarke liegt.

In vertikaler Richtung ist der Scheinwerfer so einzustellen, daß die Hell-Dunkel-Grenze auf dem Trennstrich verläuft.

(4) Bei der photometrischen Prüfung wird die Beleuchtungsstärkeverteilung in 10 m Entfernung gemessen. Die Verteilung kann durch ein Meßschema (vgl. Absatz 6) wiedergegeben werden, wobei der Schnittpunkt HV der Linien H–H und V–V auf der Zentralmarke der Prüffläche liegt und die Linie H–H parallel zum Trennstrich verläuft. Die Empfängerfläche muß innerhalb eines Quadrats von 65 mm Seitenlänge liegen.

(5) In den Scheinwerfern dürfen die Glühlampen Form M 3 DIN 72601 oder Form HS 2 DIN 72601 (Entwurf) verwendet werden. Für die Messungen werden Prüflampen mit einer Nennspannung von 6 V verwendet. Die Scheinwerfermeßwerte sind je nach verwendeter Glühlampe auf folgende Lichtströme zu beziehen:

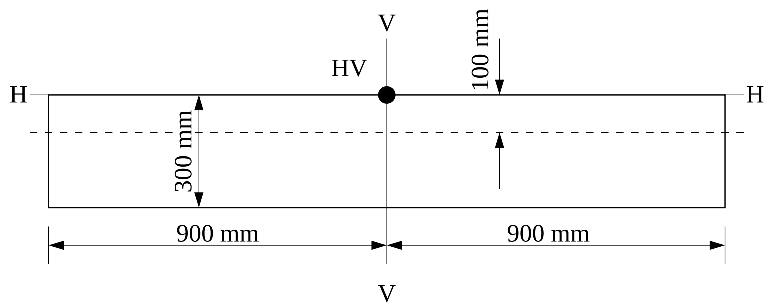
Form M 3	240 lm
Form HS 2	320 lm

(6) Bei der Einstellung nach Absatz 3 muß die Beleuchtungsstärke folgenden Werten entsprechen:

In der Linie H–H und darüber höchstens 2 lx, in der Linie 300 mm unter H–H in einer Breite von 900 mm beiderseits der Vertikalen V–V durch die Scheinwerfermitte:
bei Verwendung der Glühlampe Form M 3 mindestens 8 lx,
bei Verwendung der Glühlampe Form HS 2 mindestens 11 lx.

Meßschema

Maße in mm für 10 m Entfernung



(7) Schalter zu den Scheinwerfern müssen so gebaut sein, daß beim Einschalter des Scheinwerfers auch die Schlußleuchte mit eingeschaltet wird. Die Schlußleuchte darf nur mit dem Scheinwerfer zusammen einschaltbar sein. Die Anschlußklemmen der Scheinwerfer mit Schalter sind nach DIN 72552 zu bezeichnen.

(8) Für die Bauart und Prüfung gelten im übrigen die Nrn. 2 bis 5.

Die Anforderungen an Scheinwerfer nach TA 8 lassen bedeutend mehr Spielraum zu als die Anforderungen an Fahrradscheinwerfer.

Die Definition der Hell-Dunkel-Grenze (HDG) ist recht schwammig. Lehnert [Le01] zitiert Schmidt-Clausen [Sc79] und [Sc79]. Danach wird am besten der Wendepunkt der logarithmierten Beleuchtungsstärke oberhalb des hellsten Punktes herangezogen. Um den Punkt gut zu bestimmen kann das Maximum der Schärfe S verwendet werden:

$$\begin{aligned} S(\beta) &= \frac{\mathrm{d}(\lg E(\alpha,\beta))}{\mathrm{d}\beta} \\ &= \frac{1}{\ln 10}\frac{1}{E(\beta)}\frac{\mathrm{d}E(\beta)}{\mathrm{d}\beta} \end{aligned} \tag{O.3}$$

Für einen nicht näher benannten Gasentladungscheinwerfer aus einem Kfz läßt sich bei Lehnert [Le01] bei $\alpha = -3{,}43°$, im Bereich des asymmetrischen Abblendlichtes strahlend, ein Abstand zwischen der $E_{\max}$ und P_{HDG} von 0,73° und zwischen $E_{\max}$ und 50L von 0,44° ablesen.

O.8 TA 14a Schlußleuchten für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger

Quelle: Verkehrsblatt Heft 22-2003:

(1) Die Lichtstärke von Schlußleuchten muß in der Bezugsachse wengistens 4 cd erreichen.

(2) Die Lichtstärkeverteilung außerhalb der Bezugsachse muß der nachstend dargestellten Verteilung entsprechen, wobei die in den einzelnen Richtungen angegebenen Werte die auf die Mindeslichtstärke in der Bezugsachse H=V=0° (100 %) bezogene Lichtstärkewerte in Prozent darstellen.

In Ausstrahlungsrichtungen außerhalb der angegebenen Lichtverteilung muß die Lichtstärke bei Vertikalwinkeln von ±15° zur Bezugsachse und bei Horizontalwinkeln bis zu ±45° zur Bezugsachse nach der Fahrzeugseite und bis zu 80° nach der Fahrbahnseite mindestens 0,05 cd betragen.

Im Übrigen muß die Lichtstärke in dem durch das Gitter des Lichtverteilungsschemas dargestellten Ausstrahlungsbereich nach Abschnitt 2 möglichst gleichmäßig so verteilt sein, daß die Lichtstärke in den durch das Gitter gebildeten Teilbereichen den kleinsten in Prozent angegebenen Mindestwert angrenzender Gitterknotenpunkte nicht unterschreitet.

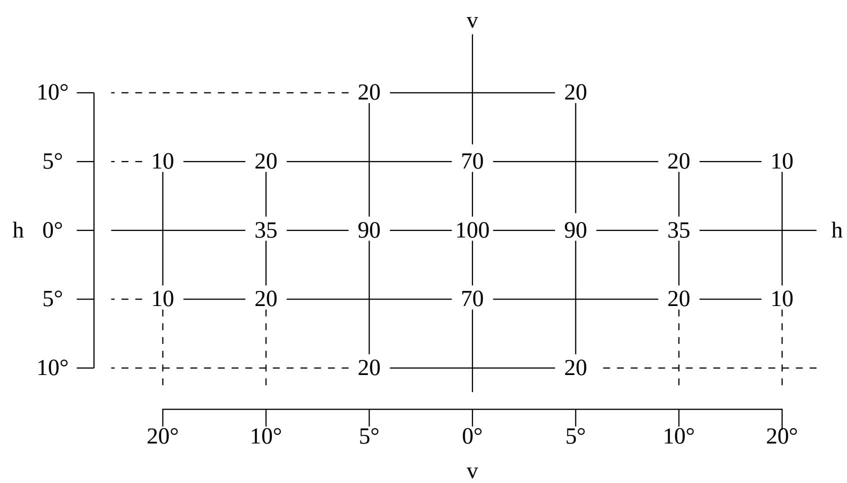


Bild O.1: Lichtverteilung

Abweichend von TA Nr. 3 Abschnitt 2 Satz 4 sind die gemessenen lichttechnischen Werte auf den Nennlichtstrom (mittlerer Lichtstrom bei Prüfspannung) der verwendenten Lampenart zu beziehen.

(3) Die Lichtstärke von Schlußleuchten darf oberhalb der Horizontalebene in keiner Richtung mehr als 12 cd betragen.

(4) Für die Bauart und Prüfung gelten im Übrigen die Nrn. 2 bis 5.

O.9 TA 14b Schlußleuchten für Fahrräder und ihre Anhänger

Quelle Verkehrsblatt Heft 22-2003:

(1) Die Lichtstärke von Schlußleuchten für Fahrräder mit 6 V-System bzw. bei ausschließlicher Batterie/Akku-Versorgung bis 7,5 V muß unter Berücksichtigung von TA Nr. 3 Abs. 2 in den Rich-

tungen innerhalb der in der folgenden Tabelle aufgeführten Winkelbereiche wenigstens die hierfür angegebene Mindestwerte erreichen:

innerhalb	innerhalb eines Horizontalwinkels			
Vertikalwinkels	±5°	±10°	±45°	±110°
von	[cd]	[cd]	[cd]	[cd]
±5°	1,0	0,33	0,1	0,033
±10°	0,33	0,33	0,1	0,033

Ausserdem muß mindestens in einer Richtung des Bereiches horizontal ±5° und vertikal ±5° eine Lichtstärke von wenigstens 2,5 cd vorhanden sein.

Schlußleuchten für Fahrräder müssen nach oben mindestens innerhalb eines Bereiches in Form eines Konussektors (s. Skizze) rotes Licht mit einer Lichtstärke von wenigstens 0,025 cd ausstrahlen. Die Begrenzung dieses durch die horizontale Schnittfläche A dargestellten Bereiches wird in Fahrtrichtung durch den Konussektor mit der auf die Schlußleuchte aufgesetzten Spitze mit dem Winkelbereich von 30° bis 45° und durch die beiden unter 20° beiderseits der Fahrtrichtung verlaufenden Radialschnitte gebildet.

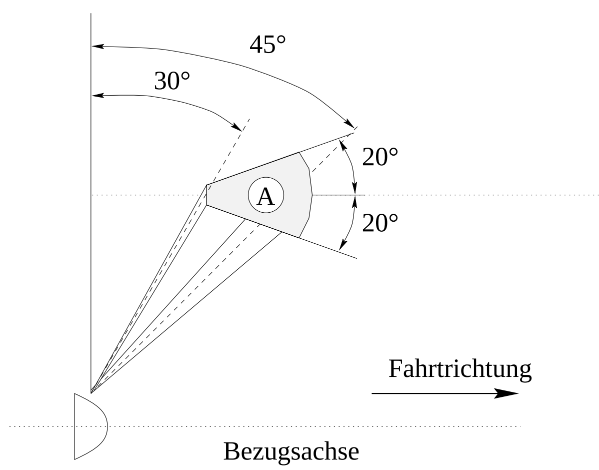


Bild O.2: Konussektor nach oben

Bei Schlußleuchten für Fahrräder, die ausschließlich für den Batterie/Akku-Betrieb vorgesehen sind, ist die Ausstrahlung nach oben nicht erforderlich.

(2) Bei Kondensator-LED-Standbeleuchtungen muß der Anfangswert der Lichtstärke, ausgehend vom vollständig geladenen Kondensator, mindestens den Werten der nachfolgenden Tabelle entsprechen.

innerhalb eines	innerhalb eines Horizontalwinkels		
Vertikalwinkels	±10°	±45°	±110°
von	[cd]	[cd]	[cd]
±10°	0,17	0,05	0,017

(3) Bei Schlußleuchten für Fahrräder mit 12 V-System oder bei ausschließlicher Batterie/Akku-Versorgung über 7,5 V müssen die zuvor in Abs. (1) genannten Mindestwerte für die Lichtstärken verdoppelt werden (mit Ausnahme des Konussektors nach oben).

(4) Schlußleuchten für Fahrräder, in denen ein Reflektor verwendet wird, müssen so abgedichtet sein, daß die Wirkung des Reflektors nicht durch Eindringen von Feuchtigkeit, Staub und Schmutz beeinträchtigt werden kann. Ist bei sinngemäßer Anwendung der für Rückstrahler vorgeschriebenen Prüfmethode nach TA Nr. 18 Abs. 6 Feuchtigkeit im Innern des abgesicherten Teils nachweisbar, so ist zu prüfen, ob die Spiegelschicht ausreichend gegen äußere Einflüsse geschützt ist.

Für dieser Prüfung ist der Reflektor 30 Minuten lang mit der Spiegelschicht nach unten unmittelbar über einem nach oben offenen Gefäß mit kochendem Wasser anzuordnen; der Abstand zwischen der Wasseroberfläche und der Unterkante des Reflektors muß hierbei 100($\pm$10) mm betragen.

Der Reflektor darf nach dieser Prüfung keine Veränderungen aufweisen.

Eine auf der Rückseite eines transparenten Materiales aufgebrachte Reflektorschicht muß darüber hinaus ausreichend gegen äußere Einflüsse geschützt und beständig sein. Dies wird geprüft, indem die Rückseite der aufgebrachten Schicht nach Abbürsten mit einer harten Nylonbürste mit einem Gemisch aus n-Heptan und Toluol (Volumenverhältnis 7:3) eine Minute lang gut benetzt wird. Danach lässt man das Gemisch abtropfen und die Oberfläche der Schicht trocknen.

Nach dem Verdampfen wird die Schicht nochmals mit derselben Bürste abgerieben. die Wirkung des Reflektors muß nach dieser Prüfung unverändert sein.

(5) Die Glühlampe darf nur von der Rückseite des Reflektors einsetzbar sein.

(5) Die Lichtstärke von Schlußleuchten darf oberhalb der Horizontalebene in keiner Richtung mehr als 12 cd und zur kurzzeitigen Signalgebung nicht mehr als 30 cd betragen.

(7) Für die Bauart und Prüfung gelten im Übrigen die Nr. 2 bis 5

Daraus ergeben sich eine ganze Reihe Ungereimtheiten, wenn man nicht von Bockschüssen reden möchte:

- Warum muß in einem „wahllosen“ Sector die 2,5 fache Lichtstärke des $5\times5^\circ$ Feldes erzielt werden. Die Chance, daß ein von hinten kommendes Auto genau auf diesem „Leitstrahl“ reitet ist verschwindent gering.
- Warum müssen die 12 V-Anlagen die doppelten Lichtstärken erreichen? Reichen die der 6 V-Anlagen nicht aus, dann kann man die bei der Neufassung gleich mit anheben.
- Bei Batteriebeleuchtung muß man sich nicht während der Fahrt mal vergewissern, daß das Rücklicht noch geht, aber bei LED-Dynamo-Rücklichtern. Ah ja.
- Versufftes Strahlwasser gibt’s am Fahrrad anscheinend nicht, aber Dampf in Hülle und Fülle, zumindest auf dünnsten Töpfen oder meinen die ’n Großküchenkessel?
- Wie die Helligkeit über die Zeit im Standlichtfall von Kondensatorstandlichtern aussieht ist also egal. Je nach Elektronik kann das Standlicht *ad absurdum* geführt werden.

Von der alltäglichen Präsenz von n-Heptan und Toluol im Fahrradrücklicht ganz zu schweigen </Sarkasmus>.

Hier wurde die Chance vertan, mal vernünftige Regelungen zu treffen.

O.10 TA 14c Begrenzungsleuchten für Krankenfahrstühle mit einer durch die Bauart bedingten Höchstgeschwindigkiet von nicht mehr als 6 km/h und für Fahrradanhänger

Quelle: Vekehrsblatt Heft 22-2003

> (1) Die Lichtstärke von Begrenzungsleuchten für Krankenfahrstühle und Fahrradanhänger muß in der Bezugsachse wenigstens 4 cd erreichen und darf oberhalb der Horizontalebene in keiner Richtung mehr als 200 cd betragen.
>
> (2) Die Lichtstärkeverteilung muß den Festlegungen nach TA Nr. 14a Abs. 2 entsprechen. Farbe des austretenden Lichtes ist weiß.
>
> (3) Für die Bauart und Prüfung gelten im Übrigen die Nr. 2 bis 5

O.11 TA 15 Nebelschlußleuchten

Stand Mai 1994

> (1) Die Lichtstärke von Nebelschlußleuchten muß in einem Ausstrahlungsbereich von $\pm 10°$ horizontal und $\pm 5°$ vertikal zur Bezugsache mindestens 150 cd betragen. Die Lichtstärke darf in keiner Richtung 300 cd überschreiten.
>
> (2) Die Lichtaustrittsfläche darf höchstens 140 cm^2 groß sein.
>
> (3) Für die Bauart und Prüfung gelten im übrigen die Nrn. 2 bis 5.

Oh Leuchtdichte, komme zu mir. SCNR:-)

O.12 TA 17 Bremsleuchten

Stand Mai 1994

> (1) Die Lichtstärke von Bremsleuchten muß bis zur Vertikal- und Horizontalwinkeln von je $\pm 5°$ zur Bezugsachse mindestens betragen:

für gelbes Licht	20 cd
jedoch für Kleinkrafträder	7 cd
für rotes Licht	30 cd
bis zu einem Vertikalwinkel von ±15°	
(bei Leuchten für rotes Licht vorläufig ±5°)	
und einem Horizontalwinkel von bis zu ±45°	0,3 cd

Bei den in einem Gerät vereinigten Brems- und Schlußleuchten für rotes Licht muß das Verhältnis der Lichtstärke der Bremsleuchte zur Lichtstärke der Schlußleuchte bis zu einem Vertikalwinkel von ±5° und einem Horizontalwinkel von bis zu ±10° mindestes 5:1 betragen.

(2) Für die Bauart und Prüfung gelten im Übrigen die Nrn. 2 bis 5.

O.13 TA 18 Rückstrahler

Stand Mai 1994

(1) Die Rückstrahler müssen bei der Anwendung der in der ECE-Regelung Nr. 3 Anhang 1 festgelegten Meßordnung beim Anleuchten mit weißem Licht der Verteilungstemperatur von 2856 K und einer Beleuchtungsstärke von 1 lx nach einer einstündigen Lagerung an der Luft bei 65°C±2 °C mindestens folgende Rückstrahlwerte haben:

Beobachtungswinkel α	Anleuchtungswinkel horizontal β_H	Anleuchtungswinkel vertikal β_V	Mindestrückstrahlwerte in mcd/lx für a) dreieckige Rückstrahler für Anhänger	b) Rückstrahler f. Kraftfahrzeuge und Fahrräder außer Rückstrahler nach c)	c) Rückstrahler f. Fahrräder der Kategorie „Z“
1/3°	0°	0°	1200	300	1000
1/3°	0°	±10°	800	200	700
1/3°	±20°	±5°	400	100	400
1,5°	0°	0°	48	12	30
1,5°	0°	±10°	36	9	20
1,5°	±20°	±5°	24	6	10

Die Rückstrahlwerte gelten für Rückstrahler in roter Farbe und Pedalrückstrahler in gelber Farbe. Für andere Rückstrahler sind die Mindestrückstrahlwerte unter b der Tabelle für Rückstrahler in gelber Farbe mit dem Faktor 2,5 und für Rückstrahler in weißer Farbe mit dem Faktor 4 zu multiplizieren. Diese Faktoren sind auch bei der Serienfertigung der gelben und weißen Rückstrahler zu berücksichtigen.

Bei der Zulassung von Rückstrahlern in mehreren Farben werde nur diejenigen in roter Farbe geprüft.

(2) Bei den Messungen ist nur derjenige Teil der Lichtaustrittsfläche zu verwenden, der im Inneren eines Kreises von 120 mm liegt, wobei diese Fläche auf einen Größtwert von 75 cm^2, bei Speichenrückstrahlern auf höchstens 25 cm^2 zu begrenzen ist, ohne daß die Fläche der Rückstrahloptik unbedingt diese Größen erreichen muß; der Hersteller hat den Umriß der zu verwendenden Fläche anzugeben, woebei für Speichenrückstrahler das Verhältnis der größten zur kleinsten Ausdehnung nicht größer als 4 sein darf. Bei dreieckigen Rückstrahlern ist die gesamte leuchtende Fläche ohne jede Begrenzung der Abmessungen zu verwenden.

Abweichend von Nr. 3 Abschnitt 5 darf die Normalrichtung der Rückstrahler bis zu $\pm 5°$ nach jeder Richtung von der Bezugsachse abweichen, wenn der Rückstahler Bestandteil einer Leuchte ist.

Zur Beseitigung eines nichtfarbigen Oberflächenreflexes muß die Normalrichtung des Rückstrahlers in der Ebene des Beobachtungswinkels einmal so weit gedreht werden, bis der Oberflächenreflex verschwindet. Er gilt als beseitigt, wenn er nicht mehr im Bereich der wirksamen Rückstrahlelemente erscheint. Bei mehrdeutigen Beseitigungsmöglichkeiten und bei Speichenrückstrahlern ist der Rückstrahler bei dem Beobachtungswinkel von $1/3°$ und dem Anleuchtungswinkel von V=H=0° um die Normalrichtung so weit zu drehen, bis der geringste Rückstrahlwert erreicht wird. Von dieser Lage des Verdrehwinkels ausgehend, sind die Mindestrückstrahlwerte nach Abschnitt 1 einzuhalten.

(3) Durch Anstrich gefärbte Rückstrahler sind unzulässig.

(4) Rückstrahler müssen verspiegelt sein, wenn die rückstrahlende Seite des Rückstrahlkörpers nicht dicht abgeschlossen ist. Bei Leuchten, deren Abschlußscheiben mit unverspiegelten Rückstrahlern verbunden sind, müssen die Rückstrahlkörper vom übrigen Teil der Leuchte dicht abgeschlossen sein. Rückstrahlkörper müssen, auch wenn sie verspiegelt sind, eine eigene Einfassung haben. Der Spiegelbelag ist gegen Korrosion und mechanische Beschädigung nach Maßgabe der Bedingungen in Nr. 2 Abschnitt 1 zu schützen. Schutzlacke müssen kraftstoffbeständig sein.

(5) Der dichte Abschluß von Rückstrahlern, deren rückstrahlende Elemente nicht verspiegelt sind, wird geprüft, indem der gesamte Rückstrahler 10 Minuten lang so in ein Wasserbad der Temperatur von 50 °C± 5 °C getaucht wird, daß sich der höchste Punkt des oberen Teils der Lichtaustrittsflache etwa 20 mm unter der Wasseroberfläche befindet. Diese Prüfung ist zu wiederholen, nachdem der Rückstrahler um 180° gedreht worden ist, so daß sich die Rückstrahloptik unten und deren Rückseite etwa 20 mm unter der Wasseroberfläche befindet. Diese Prüfung ist unverzüglich in Wasser mit einer Temperatur von 25 °C± 5 °C unter denselben Bedingungen zu wiederholen.

Rückstrahler, bei denen der Rückstrahlkörper in eine Fassung eingeklebt oder damit verschweißt ist, werden nach dieser noch eine Stunde lang an der Luft einer Temperatur von 65 °C± 2 °C ausgesetzt und nach Abkühlung auf Umgebungstemperatur 10 Minuten lang in ein Wasserbad von 25 °C± 5 °C getaucht; hierauf wird mit ihnen die Prüfung nach Satz 1 bis 3 wiederholt.

Zeigt sich nach diesen Prüfungen Feuchtigkeit an der Rückseite der rückstrahlenden Elemente oder ist schon während einer Teilprüfung offensichtlich Wasser in den Rückstrahler eingedrungen, so ist das Gerät unbrauchbar.

(6) Bei dreieckigen Rückstrahlern für Anhänger müssen die Seiten mindestens 150 mm lang sein. Die rückstrahlende Fläche muß zusammenhängen, darf aber aus höchstens 4 Rückstrahlkörpern zusammengesetzt sein. Nicht rückstrahlende geradlinige Streifen zwischen den aneinander grenzenden Rückstrahlkörpern sind zulässig, wenn sie nicht breiter als 15 mm sind.

(7) Großflächen-Rückstrahler für Fahrräder nach Abschnitt 1 Buchstabe c sind auf der Lichtaustrittsflache deutlich sichtbar und dauerhaft mit dem Buchstaben „Z“ (Schrifthöhe mindestens 8 mm) zu

kennzeichnen.

(8) Pedalrückstrahler, die in den beiden Längsseiten des Tretteils liegen und deren Form angepaßt sind, müssen senkrecht zu den Tretflächen stehen. Bei gekrümmten Rückstrahlkörpern muß die Sehne des Bogens parallel zur Pedalachse liegen. Läßt die Konstruktion des Pedals das Auswechseln der Rückstrahler zu, so müssen sie, auch wenn sie verspiegelt sind, eine eigene Fassung haben.

Bei am Pedal angebrachten Seitenrückstrahlern muß entgegen Nr. 3 Abschnitt 5 letzter Satz die Normalrichtung senkrecht zur Pedalachse liegen, bei gekrümmten Rückstrahlern die zugehörige Sehne des Bogens. Auswechselbare Pedal-Seitenrückstrahler müssen, auch wenn sie verspiegelt sind, eine eigene Fassung haben.

(9) Bei Speichenrückstrahlern muß entgegen Nr. 3 Abschnitt 5 letzter Satz die Normalrichtung senkrecht zur Bezugsachse gelegt werden.

Speichenrückstrahler müssen so beschaffen sein, daß sie an den Speichen des Vorder- und Hinterrades angebracht werden können und ihre Normalrichtung senkrecht zur Fahrzeuglängsmittelebene liegt. Abweichungen hiervon durch die unter- schiedliche Neigung der Speichen zur Fahrzeuglängsmittelebene bleiben unbe- rücksichtigt. Die Befestigung der Speichenrückstrahler muß dauerhaft sein und darf deshalb nicht allein durch federnde Teile bewirkt werden, sondern muß durch besondere Befestigungselemente, z.B. Schrauben, Bolzen oder Klammern, erfolgen, von denen nicht zu erwarten ist, daß sie sich bei üblicher Beanspruchung lösen können.

(10) Rückstrahler an Pedalen oder nachgiebigen Gestängen dürfen sich durch eine senkrecht zur Rückstrahlerfläche wirkende Kraft von 0,05 N je cm^2 der Rückstrahlerfläche nicht mehr als 10° aus der vorgeschriebenen Normallage bringen lassen.

Für die Berechnung der aufzuwendenden Gesamtkraft ist auch die Fläche des über die Rückstrahlerfassung hinausgehenden Teils des Pendels oder Gestänges zu berücksichtigen. Als Angriffspunkt für die wirkende Kraft wird hierbei der geometrische Mittelpunkt der Fassung für den Rückstrahlkörper angenommen. Der Rückstrahler muß nach Aufhören der wirkenden Kraft in die vorgeschriebene Normallage mit einer höchstzulässigen Toleranz von ±5° zurückkehren.

Dieses muß auch noch nach einer Dauerbelastung von 5 Stunden mit 200 N gewährleistet sein, wobei über eine Auslenkung des Rückstrahlers von 45° nicht hinausgegangen wird. Gleichfalls muß nach Aufbringen eines Drehmoments von 1 Nm um die vertikale Achse (größte Verdrehung 45°) die Bedingung für das Zurückkehren in die Nullage (±5°) erfüllt werden. Geprüft wird bei einer Umgebungstemperatur von 23 °C±5 °C.

(11) Für die Bauart und Prüfung gelten im übrigen die Nrn. 2 bis 5

O.14 TA 18a: Retroreflektierende Streifen an Reifen von Fahrrädern

Stand: Mai 1994

(1) Bei retroreflektierenden Streifen an Reifen muß entgegen Nr 3 Abschnitt 5 letzter Satz die Normalrichtung senkrecht zur Bezugsachse gelegt werden.

(2) Retroreflektierende Reifen müssen so beschaffen sein, daß die beiden Seitenflanken ringförmig zusammenhängend mit Reflexstoff im Sinne der Norm DIN 67520 Teil 1, Ausgabe April 1971,

versehen sind. Der Reflexstoff muß mit dem Reifenmaterial so fest verbunden sein, daß sich der Streifen bei Anwendung einer Abreißkraft von 1 N pro 1 mm Streifenbreite, die an einem vorher mit einer scharfen Klinge abgetrennten Streifen von etwa 5 cm Länge angreifen soll, noch nicht vom Untergrund ablöst. Die Haftfähigkeit gilt auch als ausreichend, wenn sich der Streifen vom Untergrund mit der Klinge nicht abtrennen läßt oder wenn der Streifen reißt oder wenn Reifenmaterial am Reflexstoffstreifen haften bleibt. Der retroreflektierende Streifen darf nicht in dem Bereich des Reifens liegen, der als Lauffläche für die Fahrrad-Lichtmaschine vorgesehen ist.

(3) Für die Bestimmung des Rückstrahlwerts von retroreflektierenden Reifen werden die Meßbedingungen aus DIN 67520 Teil 1 für Reflexstoffe angewendet.

Abweichend hiervon gilt:

1. Der Anleuchtungswinkel wird auf die Radachse des auf die zugehörige Meßfelge nach DIN 7815 bzw. DIN 7816 aufgezogenen Reifens bezogen, statt auf die Mittelsenkrechte auf der Probenfläche.
2. Wird der Rückstrahlwert aus der Messung am gesamten Reifen ermittelt, so darf der Öffnungswinkel des äußeren Randes des retroreflektierenden Streifens, vom Mittelpunkt der Lichtquelle aus gesehen, bis zu 4° betragen; ggf. ist hierfür die Meßentfernung größer als 10 m zu wählen.

Neue Reifen werden zur Alterung vor der Messung 30 Tage bei einer Umgebungstemperatur von 23 °C±5 °C ohne Lichteinwirkung und bei normaler Feuchtigkeit gelagert. Der Mindestrückstrahlwert R in mcd/lx des so gealterten und mit einem trockenen Lappen leicht abgewischten Reifens berechnet sich aus dem Produkt

$$R = AD$$

wobei D der Durchmesser des inneren Randes des reflektierenden Streifens in cm und A ein vom Beobachtungs- und Anleuchtungswinkel abhängiger Faktor ist, der sich für weiße Reflexstoffe aus nachfolgender Tabelle ergibt:

Faktor $A \frac{\text{mcd}}{\text{lx}\cdot\text{cm}}$

bei einem Beobachtungswinkel α von	und einem Anleuchtungswinkel $+\beta$ von			
	5 °	20 °	40 °	50 °
1/3°	16	14	7,5	2,1
1,5°	1,1	1,0	0,65	0,2

Für D darf kein kleinerer Wert als 45 cm angesetzt werden.

Für die Messung ist der Reifen auf die dazu passende Meßfelge aufzuziehen und auf normalen Luftdruck aufzupumpen. Die Mindestrückstrahlwerte gelten für jede Flankenseite des Reifens. Innerhalb des retroreflektierenden Streifens darf bei dem Beobachtungswinkel 1/3° das Verhältnis des größten zum kleinsten Rückstrahlwert, jeweils gemessen an dem Kreisringstück des Reifens, das in einem Kreisausschnitt mit dem Mittelpunktwinkel von 15° liegt, sowohl bei dem Anleuchtungswinkel von +5° als auch bei +30° den Wert von 3:1 nicht überschreiten.

(4) Der angeleuchtete retroreflektierende Streifen muß auch noch bei Radstellungen bis zu 30° zur Normalrichtung genügend als gleichmäßig leuchtender Ring erscheinen. Das wird als gegeben angesehen, wenn bei dem Beobachtungswinkel von 1/3° das Verhältnis der mittleren Rückstrahlwerte, jeweils gemessen an dem Kreisringstück des Reifens, das in einem Kreisausschnitt mit dem Mittelpunktwinkel von 30° liegt, zwischen beiden Reifenhälften sowohl bei dem Anleuchtungswinkel von +5° als auch bei +30° den Wert 5:1 nicht überschreitet; der Mittelwert wird dadurch erhalten, daß man das Rad bei den angegebenen Winkelstellungen hinter dem Kreisausschnitt genügend rasch rotieren läßt.

(5) Die Messung des Rückstrahlwerts nach 3 wird bei dem Beobachtungswinkel von 1/3° und dem Anleuchtungswinkel von +5° wiederholt, nachdem der Reifen 1 Minute lang in Wasser von 23 °C±5 °C getaucht war. Der 30 Sekunden nach Herausnahme aus dem Wasserbad gemessene Rückstrahlwert muß mindestens 50 % des nach 3 ermittelten Mindeswertes erreichen.

(6) Für die Bauart und Prüfung gelten im übrigen die Nrn. 2 bis 5.

O.15 TA 23 Scheinwerfer für Fahrräder

Quelle: Verkehrsblatt Heft 22-2003

(1) Die Streuscheibe muß in ihrer Lage eindeutig bezeichnet und gegen Verdrehen gesichert sowie fest mit dem Reflektor verbunden sein. Die Befestigung der Glühlampe im Scheinwerfer muß derart sein, daß die Leuchtkörperlage zum optischen System eindeutig fixiert ist; ist das nicht der Fall, so müssen die Scheinwerfer bei jeder möglichen Lage der Glühlampe Abschnitt 5 bzw. 6 entsprechen.

Die Scheinwerfer müssen eine Verstelleinrichtung haben, mit der sie ordnungsgemäß nach § 67c Abs. 2 StVZO) eingestellt werden können.

(2) Für die Prüfung wird der Scheinwerfer mit Hilfe eines Messschirmes ausgerichtet, auf dem die Linie H–H sowie der Punkt HV angegeben sind. Der Messschirm wird in 10 m Entfernung vor dem Scheinwerfer so aufgestellt, dass er senkrecht zur Verbindungslinie zwischen Mitte Scheinwerferglühlampe und dem Punkt HV steht und die Linie H-H horizontal verläuft. Der Scheinwerfer ist vertikal so auszurichten, daß die maximale Beleuchtungsstärke auf der Linie H–H und das Lichtbündel auf dieser Linie symmetrisch zur Linie V–V liegt.

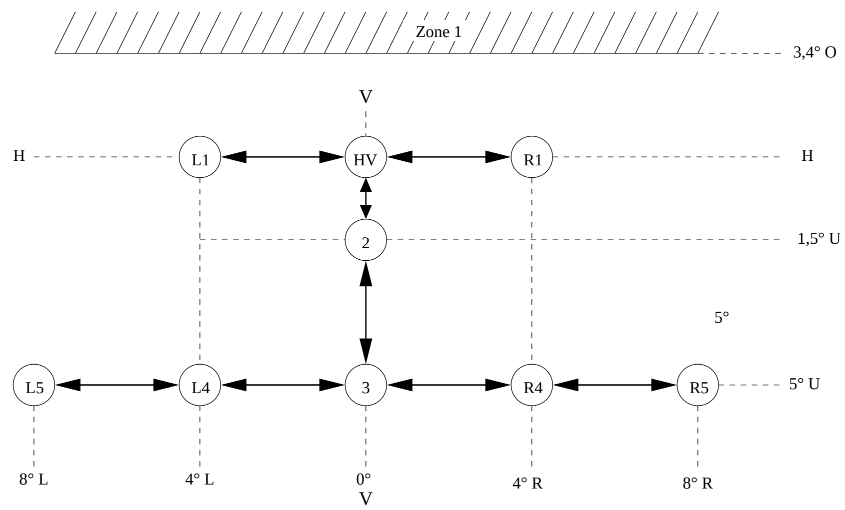


Bild O.3: Messschirm mit Angabe der Messpunkte, der Messlinien und der Zone 1

(3) Bei der photometrischen Prüfung wird die Beleuchtungsstärkeverteilung in 10 m Entfernung gemessen. Die Empfängerfläche muß innerhalb eins Quadrates von 65 mm Seitenlänge liegen.

(4) In den Scheinwerfern mit austauschbaren Glühlampen dürfen nur bauartgenehmigte Glühlampen nach § 22a StVZO verwendet werden. Die Messwerte der photometrischen Prüfung sind je nach verwendeter Glühlampe auf deren Bezugslichtstrom zu beziehen. Ist in der entsprechenden Norm kein Bezugslichtstrom genannt, so ist der mittlere Lichtstrom heranzuziehen[9]. Die Form/Kategoriebezeichnung der Glühlampe muß auf dem Scheinwerfer deutlich lesbar und dauerhaft angegeben sein.

(5) Bei Scheinwerfern für 6 V/3 W-Systeme bzw. Scheinwerfern mit einer Lichtquelle deren Lichtstrom bei Prüfspannung einen Wert von 42 lm nicht übersteigt, muß die Beleuchtungsstärke bei der Ausrichtung nach Absatz 2 folgenden Werten entsprechen:

> In HV mindestens 10 lx; an dieser Stelle soll die maximale Beleuchtungsstärke E_{max} liegen. Befindet sich E_{max} seitlich von HV, so darf deren Wert das 1,2-fache des Wertes in HV nicht übersteigen.
>
> Von HV aus 4° nach beiden Seiten bis einschließlich zum Punkt L1 bzw. R1 sowie 1,5° unter HV bis einschließlich zum Punkt 2 mindestens die Hälfte der maximalen Beleuchtungsstärke E_{max}.
>
> Bis 5° unter HV, zwischen Punkt 2 und einschließlich Punkt 3, mindestens 1,5 lx und von dort aus 4° nach links und rechts bis einschließlich zu den Punkten L4 bzw. R4 mindestens 1,0 lx.
>
> In der Horizontalen 3,4° über HV und darüber (Zone 1) höchstens 2,0 lx.

(6) Bei Scheinwerfern für 12 V/6,2 W-Systeme bzw. Scheinwerfern mit einer Lichtquelle deren Lichtstrom bei der Prüfspannung einen Wert von 42 lm übersteigt, muß die Beleuchtungsstärke bei der Ausrichtung nach Absatz 2 folgenden Werten entsprechen:

[9] Bezugslichtstrom für Glühlampen der Form B1: 21 lm.

> In HV mindestens 20 lx; an dieser Stelle soll die maximale Beleuchtungsstärke E_{max} liegen. Befindet sich E_{max} seitlich von HV, so darf deren Wert das 1,2-fache des Wertes in HV nicht übersteigen.
>
> Von HV aus 4° nach beiden Seiten bis einschließlich zum Punkt L1 bzw. R1 sowie 1,5° unter HV bis einschließlich zum Punkt 2 mindestens die Hälfte der maximalen Beleuchtungsstärke E_{max}.
>
> Bis 5° unter HV, zwischen Punkt 2 und einschließlich Punkt 3, mindestens 2,5 lx und von dort aus 4° nach links und rechts bis einschließlich zu den Punkten L5 bzw. R5 mindestens 2,0 lx.
>
> In der Horizontalen 3,4° über HV und darüber (Zone 1) höchstens 2,0 lx.

(7) Bei Batterie/Akkusystemen darf bei allen möglichen Betriebszuständen die Beleuchtungsstärke in der Horizontalen 3,4° über HV und darüber die jeweils vorgeschriebenen Höchstwerte nicht überschreiten.

(8) Für die Bauart und Prüfung gelten im Übrigen die Nrn. 2 bis 5.

Wenn man sich die dafür maximal[10] notwendigen Lichtströme ausrechnet, so kann Tabelle O.4 generiert werden.

Tabelle O.4: Maximal notwendige Lichtströme um die TA23 zu erfüllen ($D_{\mathrm{Sensor}} = 65\,\mathrm{mm}$)

		TA23(5)		TA23(6)	
	A [m²]	E [lx]	Φ [lm]	E [lx]	Φ [lm]
HV	0,004	10	0,042	20	0,085
L1-R1	0,091	5	0,455	10	0,91
HV-2	0,017	5	0,085	10	0,17
2-3	0,04	1,5	0,060	2,5	0,1
L4-R4	0,091	1	0,091	0	0
L5-R5	0,183	0	0	2	0,365
Summe	0,426		0,733		1,629

Es dürfte zwar technisch schwierig sein, solch eine Verteilung zu erzielen, aber reizen tut es schon mit einem Scheinwerfer in Karlsruhe anzutanzen und die Zulassung zu verlangen.[11] Verwehren können die das bei dem derzeitigen Wortlaut nicht!

Zusätzlich seien die Werte der alten TA23 aufgeführt:

[10] Zur maximalen Empfängerfläche siehe TA23(3).

[11] „Weißer“ Laserpointer und zwei gesteuerte Spiegel z.B.

Tabelle O.5: Beleuchtungsstärkeverteilung nach alter TA 23 (in Klammern Halogen HS3)

	-4°	0°	4°
>3,4°		$< 0{,}7$ lx	
0°	$\geq E_{\text{max.}}/2$	≥ 4 lx (≥ 7 lx)	$\geq E_{\text{max.}}/2$
-5°	($\geq 0{,}8$ lx)	($\geq 1{,}8$ lx)	($\geq 0{,}8$ lx)

Da dürften mit der Novelle die ganzen Scheinwerfer mit B1-Lampe herausfallen. Ebenso dürften die Scheinwerfer mit Reflektor im Strahlengang herausfallen. Aber so einige Punkte (Korrosion der Spiegelschicht, Wasserdichtheit) sind nicht geregelt, andere überreguliert (Standlicht). Eine kritische Anmerkung: Nach DIN5035 Teil 2 (Beleuchtung von Arbeitsstätten in Freianlagen) sind z.B. für Baustellen im Hochbau mindestens 20, für Gleisanlagen 30, für Docks und Kaianlagen 50 und für Tankstellen 100 lx vorgeschrieben. Sportstätten erfordern nach DIN 67526 Teil 1 die niedrigste Beleuchtungsstärke auf Sportplätzen beim Training mit mit 80 lx auf. Radfahrer mit einer deutlichen Relativgeschwindigkeit dürfen sich mit weniger begnügen. Da kann man nur mit dem Kopf schütteln.

O.16 TA 24 Fahrradlichtmaschinen

Quelle: Verkehrsblatt, Heft 22-2003:

> (1) Vor der Prüfung ist die Wicklung der Lichtmaschine im Leerlauf bei einer Drehzahl, die der Fahrgeschwindigkeit von 15 km/h entspricht, und einer Umgebungstemperatur von 23 °C+ 5 °C wenigstens fünfmal für eine Sekunde kurzzuschließen.
>
> (2) Die Lichtmaschine ist dann entsprechend TA 4 Abs. 8 Nummer 9. mit einem konstantem ohmschen Widerstand R_g zu belasten. Wird der Scheinwerfer und die Schlußleuchte von getrennten Wicklungen gespeist, so sind diese gleichzeitig entsprechend TA 4 Abs. 8 Nummer 9. mit einem Widerstand R_{SW} für den Scheinwerfer und R_{SL} Für die Schlußleuchte zu belasten.
>
> (3) Die nach Abs. 2 belastete Lichtmaschine ist vor den Messungen bei einer Umgebungstemperatur von 23 °C+ 5 °C ohne Zwangskühlung 20 Minuten bei einer Drehzahl zu betreiben, die einer Geschwindigkeit von 30 km/h entspricht. Bei Lichtmaschinen, deren Drehzahl vom Raddurchmesser abhängig ist, muß hierbei auf den kleinsten vom Antragsteller anzugebenden Radaußendurchmesser Bezug genommen werden.
>
> (4) Nach der Abkühlung der Lichtmaschine auf Umgebungstemperatur ist die Spannungscharakteristik sowie der Wirkungsgrad zu bestimmen. Lichtmaschinen mit Reibradantrieb sind an einem Antriebsrad mit eine Durchmesser von mindestens 600 mm anzulegen, dessen Oberfläche kein Profil aufweist.[12]
>
> Bei Lichtmaschinen, die in Drehzahl vom Raddurchmesser abhängig sind, wird die Messung der Mindestwerte der Spannung und des Wirkungsgrades auf den vom Antragsteller anzugebenden

[12] entsprechende Festlegungen für einen Prüfstand sind in Vorbereitung.

größten Radaußendurchmesser und die Messung der Höchstwerte der Spannung auf den vom Antragsteller anzugebenden kleinsten Radaußendurchmesser bezogen (siehe auch Abs. 8c).

Abweichend von TA 4, Abs. 8, Nummer 8., ist bei in die Nabe integrierten Lichtmaschinen ohne Getriebe beim größten für diese Lichtmaschine zulässigen Radaußendurchmesser und einer Geschwindigkeit von 5 km/h eine Frequenz der Wechselspannung von mindestens 8 Hz zulässig.

Die Messungen sind in folgendem Ablauf durchzuführen:

- nach 5 Minuten Dauerbetrieb mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h Ermittlung der abgegebenen Spannung und es Wirkungsgrades
- nach Verringern der Geschwindigkeit auf 10 km/h[13] sowie 5 km/h Ermittlung der abgegebenen Spannung
- nach Erhöhen der Geschwindigkeit bis maximal 30 km/h, Ermittlung der abgegebenen Spannung.

Hierbei müssen folgende Werte eingehalten werden:

Tabelle O.6: Spannungen und Wirkungsgradforderungen der TA 24

System	Geschwindigkeit km/h	15	≥ 5	≥ 10	≥ 15 ≤ 30
6 V	U_{eff} [V]	$\geq 5{,}7$ $\leq 7{,}5$	≥ 3 $\leq 7{,}5$	$\leq 7{,}5$	$\geq 5{,}7$ $\leq 7{,}5$
	η [%]	≥ 30			
12 V	U_{eff} [V]	$\geq 13{,}5$ ≤ 15	≥ 6 ≤ 15	≥ 12 ≤ 15	$\geq 13{,}5$ ≤ 15
	η [%]	≥ 50			

(5) Bei Lichtmaschinen, die über ein Schwenklager durch Federkraft an das Antriebsrad angedrückt werden, muß die Federkraft, gemessen senkrecht zur Drehachse der Lichtmaschine, innerhalb des gesamten Schwenkbereiches und unter Berücksichtigung der Hysterese mindestens 10 N betragen.

Dieser Wert ist auch für die Messung der Wirkungsgrade anzusetzen.

(6) Zum Schutz der Glühlampen gegen Überspannung, z.B. beim Ausfall einer der Glühlampen, ist die Bauart der Lichtmaschine so auszulegen, daß bei einer Last von 60 Ω(6 V-System) 9 V bzw. 152 Ω(12 V-System) 16 V nicht überschritten werden.

Ein hierzu gegebenenfalls notwendiger Überspannungsschutz muß mit der Lichtmaschine eine Einheit bilden, aber nicht integraler Bestandteil sein.

Bei ständig mitlaufenden Lichtmaschinen muß dieser Überspannungsschutz im Leerlauf nicht wirksam sein. Wird bei dieser Lichtmaschine innerhalb des festgelegten Geschwindigkeitbereiches im Leerlauf eine Wechselspannung von 50 V_{eff} bzw. eine Gleichspannung von 75 V überschritten, sind zusätzliche Maßnahmen zur Einhaltung dieser Grenzspannung vorzusehen.

[13]nur bei 12 V-Systemen

(7) Nach Abschluss der vorangegangenen Prüfungen müssen während und nach einem 30 minütigem Dauerbetrieb mit den unter Abs. 6 genannten Lastzuständen die mit 30 km/h betriebene Lichtmaschine und gegebenenfalls erforderliche elektronische Komponenten voll funktionsfähig bleiben.

(8) Auf jeder Lichtmaschine müssen folgende Angaben deutlich lesbar und dauerhaft angebracht sein:

1. das Prüfzeichen
2. die Nennwerte 6 V/3 W bzw. 12 V/6,2 W
3. bei Lichtmaschinen, die in ihrer Drehzahl vom Raddurchmesser abhängig sind, der Bereich der zulässigen Radaußendurchmesser (in mm), für die die geforderten Bedingungen erfüllt werden.

(9) Für die Bauart und Prüfung gelten im übrigen Nr. 2 und Nr. 4.

Das heißt, daß bei konventionellen Dynamoanlagen durch Ummagnetisierungs- und Wirbelstromverluste ein bedeutender Anteil der Energie im wahrsten Sinne des Wortes **verheizt** werden muß,[14] um bei hohen Geschwindigkeiten die geforderten Spannungen nicht zu überschreiten, was ein anständiger Generator ohne mit der Wimper zu zucken tun würde.

Nein, bei der Neufassung der TA24 hat kein Lobbyissmus stattgefunden, nein. Wenn man sich die geforderten Wirkungsgrade bei 15 km/h anguckt: 6 V-Anlagen über 30 % und 12 V-Anlagen über 50 %! Wo werden Lichtanlagen mit 12 V eingesetzt? Der Meinung des Autors nach an hochwertigen Rädern, und da ist auch genug Geld für vernünftig konstruierte Dynamos verfügbar. Am „Kaufhausschrott“ mit 6 V-Lichtanlage wird auch, getreu dem Motto „die fahren ja eh nur im Sommer bei Tageslicht, Nachts geht das Licht ja nicht oder nur so schwer“, eine miese Beleuchtung montiert. Das auch 6 V-Dynamos mit mehr als 50 % Wirkungsgrad herstellbar sind beweist u. a. Wilfried Schmidt.[15] Die traumhaften Wirkungsgrade von über 99,95 % von Großgeneratoren (über 1 GW) sind mit Kleinmaschinen nicht zu erreichen. Bei Kleinmaschinen (Elektromotoren, Verbrennungsmotoren und Glühlampen[16] ist der Wirkungsgrad zwangsläufig geringer als bei Großmaschinen. Da selbst ein „uralter“ Bosch LR/WQ2 die neuen Zulassungsvorschriften erfüllen würde ist kein Innovationsanreiz gegeben.

In Zukunft wird durch Abs. 6 wohl leider das „In Reihe schalten“ von zwei HS3-Lampen an 6 V-Dynamos verhindert. Ob Abs. 6 sinnvoll ist sei dahingestellt. Die 60 Ω(6 V) entsprechen der Rücklichtlampe. Diese wird bei 9 V allerdings auch so ziemlich schnell durchbrennen. Mal wieder nichts halbes und nichts ganzes. Grummel, Schreibtischtäter, nur Kaufhausradkenner.

[14] Die wenigsten Dynamos sind so intelligent wie der SON gebaut.
[15] Der SON hat nach Messungen von Schmidt bei 15 km/h einen Wirkungsgrad von mehr als 60 %.
[16] Siehe hierzu S.163.

Anhang P

StVZO §67c

Es folgt der Entwurf (05.08.1998):

> § 67c Lichttechnische Einrichtungen an Fahrrädern
>
> (1) Lichttechnische Einrichtungen an Fahrrädern müssen bauartgeprüft sein. An Fahrrädern dürfen nur die vorgeschriebenen und für zulässig erklärten lichttechnischen Einrichtungen angebracht sein. [Als lichttechnische Einrichtungen gilt auch Leuchtstoffe und rückstrahlende Mittel.] Es müssen mindestens folgende bauartgenehmigte (§ 22a) lichttechnische Einrichtungen sein:
>
> 1. nach vorne wirkend:
>   (a) ein Scheinwerfer für weißes Licht
>   (b) ein weißer Rückstrahler
> 2. nach hinten wirkend:
>   (a) eine Schlußleuchte für rotes Licht
>   (b) ein roter Rückstrahler, dessen höchster Punkt der leuchtenden Fläche sich nicht höher als 600 mm über der Fahrbahn befindet,
>   (c) ein roter Großflächenrückstrahler „Z"
> 3. nach beiden Seiten wirkend
>   (a) entweder mindestens zwei gleichmäßig verteilt angebrachte gelbe Speichenrückstrahler an den Speichen des Vorderrades und des Hinterrades oder
>   (b) ringförmig zusammenhängende retroreflektierende weiße Streifen an den Reifen oder der Speichen des Vorder- und des Hinterrades
> 4. nach vorne und hinten wirkend:
>   gelbe Rückstrahler an den Pedalen
> 5. für den Betrieb des Scheinwerfers und der Schlußleuchte eine Lichtmaschine als elektrische Versorgung
>   (a) mit einer Nennspannung von 6 V für 6 V-Scheinwerfer/Schlußleuchte und einer Nennleistung von mindestens 3,0 W oder

(b) mit einer Nennspannung von 12 V für 12 V-Scheinwerfer/Schlußleuchte und einer Nennleistung von mindestens 6,2 W

(2) Das Lichtbündel des Scheinwerfers muß so geneigt sein, daß seine Mitte in 10 m Entfernung von dem Scheinwerfer auf der Fahrbahn auftrifft. Der Scheinwerfer muß am Fahrrad so angebracht sein, daß er sich nicht unbeabsichtigt verstellen kann.

(3) Die lichttechnischen Einrichtungen müssen vorschriftsmäßig und fest angebracht sowie ständig betriebsbereit sein. Lichttechnische Einrichtungen dürfen nicht verdeckt sein. Sie müssen so angebaut sein, daß die Lichtverteilung durch keine Fahrradteile behindert wird. Hiervon darf nur abgewichen werden, wenn aus konstruktiven Gründen ein anderer Anbau nicht möglich ist.

(4) Scheinwerfer und Schlußleuchten dürfen nur gemeinsam in Betrieb sein. Eine Schaltung, die selbsttätig bei geringer Geschwindigkeit von Lichtmaschinenbetrieb auf Batteriebetrieb umschaltet (Standbeleuchtung), ist zulässig; in diesem Fall darf auch die Schlußleuchte alleine leuchten.

(5) Zusätzlich darf für den Betrieb des Scheinwerfers und der Schlußleuchte eine Batterie/Akku-Einheit

1. zur wahlweisen Versorgung
2. kombiniert mit der vorgeschriebenen Lichtmaschine, entsprechend der Nennspannung der elektrischen Versorgung nach Absatz 1 Nr. 5

verwendet werden.

(6) Bei Kombinationen von Zusatzeinrichtungen nach Absatz 5 mit Einrichtungen nach Absatz 1 dürfen sich die unterschiedlichen Betriebsarten gegenseitig nur soweit beeinflussen, daß die lichttechnischen Einrichtungen in allen auftretenden Betriebszuständen weiterhin vorschriftsmäßig wirken.

(7) Blinkende Leuchten und Scheinwerfer sind unzulässig

(8) An Fahrrädern muß die elektrische Verbindung zwischen einzelnen Teilen der Lichtanlage durch paarweise Leitungsführung erfolgen. Rahmen bzw. Anbauten gelten in diesem Sinne nicht als Leiter. Die Verbindung zwischen den Leitern und anderen Bauteilen der lichttechnischen Anlage muß korrosionsgeschützt und ohne Werkzeug lösbar und sicher wiederherstellbar sein. Kabelübergänge und Verbindungen müssen eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen. Die Zahl der stromführenden Kontaktstellen in Reihe ist so gering wie möglich zu halten.

(9) Sind Glühlampen in Scheinwerfer oder Leuchten auswechselbar, müssen sie bauartgenehmigt (§ 22a) sein.

(10) Für Wettkampfräder

1. Straßenwettkampfräder bis 11 kg und
2. Geländewettkampfräder bis 13 kg

gelten abweichend folgende Regelungen zu Benutzung dieser Fahrräder auf öffentlichen Wegen und Plätzen:

Anstelle der Lichtmaschine können auch Batterien/Akkus verwendet werden, die auch mit dem Scheinwerfer oder mit der Schlußleuchte zusammengebaut und getrennt einschaltbar sein dürfen. Die Nennspannungen dürfen in diesen Fällen von den in Absatz 1 Nr. 5 geforderten Werten abweichen.

Dieser Entwurf bzw. die sicherlich abgeänderte Fassung (umschreiben in eine *Fahrradausrüstungsverordnung* etc.) wurde im Bundesrat im April 2006 nach mehreren Anläufen endgültig abgelehnt. Hierzu mehr in der ersten Ausgabe der *Fahrradzukunft* (http://www.fahrradzukunft.de)

Anhang Q

DIN 33958

Die DIN 33958 (Stand April 2013) behandelt die lichttechnischen Einrichtungen an Fahrrädern. Sie ist die Fortschreibung der Technischen Anforderungen (TA). Wesentliche Modernisierung ist ein sinnvolle Aufweichung an die Anforderung des Meßpunktes 2 für Scheinwerfer:

Beleuchtungsstärke 10 lx bis 20 lx in 10 m: Von HV bis einschließlich 1,5° unterhalb HV mindestens 5 lx.

Beleuchtungsstärke >20 lx in 10 m: Von HV bis einschließlich 1,5° unterhalb HV mindestens 10 lx.

Schweinwerfer für 1,5 W-Systeme müssen die lichttechnischen Anforderungen auch bei Einsatz in 3 W-Systemen einhalten.

Ergänzt um Stoßprüfungen, Dauerschwingungsprüfung, 1,5 W-Dynamos und deren elektronische Testlast, Sprühwasserprüfung. . . .

Für Rücklichter ist für eine kurzzeitige Signalgebung nun $\leq 50\,cd$ zulässig.[1]

Nach DIN 33958 ist es zulässig, wenn Rücklichter mit fest eingebauten Lichtquellen nach Betriebsbedingung B3 gerade mal 100 Stunden halten.[2]

[1] Lex DiWa?

[2] Wenn das die Grünen wüssten.

Anhang R

DIN 79100

In der DIN 79100 (Stand April 2000) steht unter 4.13 und 5.13 noch etwas zu Kabelverbindungen an Fahrrädern. Es folgt eine kurze Zusammenfassung: Mindestleiterquerschnitt 0,4 mm^2. Weiterhin „…nach DIN ISO 6722-2 müssen bezüglich Kältebeständigkeit, Abisolierbarkeit, Ölbeständigkeit, Kraftstoffbeständigkeit und Abriebfestigkeit erfüllt werden.„Alle mit einem Haken (40 mm Durchmesser, rechtwinklig abgebogen und am Ende halbkugelförmig abgerundet, Kugelradius 40 mm von Drahtachse entfernt) erfassbaren Leitungen müssen eine Abzugskraft von mindestes 5 N aushalten. Bei der Überlastprüfung werden alle mit dem Haken erreichbare Leitungen mit mindestens 50 N belastet, alle gelösten Steck- und Klemmverbindungen dürfen wieder hergestellt werden. Für die Knickfestigkeitsprüfung werden die gegeneinander beweglichen Fahrradteile mit der maximal möglichen Auslenkung 10000 mal gegeneinander bewegt.

Anhang S

ISO

Die ISOs werden hier nur zitiert.

S.1 ISO 6742: Cycles – Lighting and retroreflective devices –

In der ISO 6742 ist die Fahrradbeleuchtung zusammengefaßt. In weiten Bereichen scheinen die TAs hier fortzubestehen.

S.2 ISO 6742-1: – Part 1: Lighting and light signalling devices

3. Fassung, 15.05.2015

S.3 ISO 6742-2: – Part 2: Retro-reflective devices

3. Fassung, 15.05.2015

S.4 ISO 6742-3: – Part 3: Installation and use of lighting and retro-reflective devices

1. Fassung, 15.05.2015

Hier sind die Vibrationsmessungen definiert.

S.5 ISO 6742-4: – Part 4: Lighting systems powered by the cycle's movement

1. Fassung, 15.05.2015

Nettes Schmankerl am Rande: Es wird zwischen *electric load* und *with fixed resistor* unterschieden. Ketzerische Frage: Ist ein Widerstand keine elektrische Last?

Wirkungsgradanforderungen für Dynamos: $\geq$30 %. Nichts neues im Westen... das schaft ja der Bosch RL-WQ2 immer noch. Entwicklung des Stand der Technik? Komplett „verschlafen“ von den Normungsgremien.

S.6 ISO 6742-5: – Part 5: Lighting systems not powered by the cycles's movement

1. Fassung, 15.05.2015

Anhang T

ECE-Regelungen

ECE-Regelungen findet man u.a. auf beim Verkehrsministerium:
www.bmvbs.de/Verkehr/Strasse/KfZ-technische-Vorschriften-,1446.1032708/ECE-Regelungen.htm

Im folgenden wird vorerst nur auf die photometrischen Anforderungen eingegangen. Ziel ist ein Vergleich zu Fahrradscheinwerfern.

Nicht nur für Autoscheinwerfer findet man die Vorgaben meist in den ECE-Regelungen. Unter anderem die R8 und R20 (Glühfadenlampen) sowie R98 für Gasentladungslampen. Zu beachten ist, daß die Winkelangaben nichts mit dem Meßraster für Fahrradbeleuchtung nach TA 23 gemeinsam haben. Die Meßentfernung beträgt 25 m, nicht 10 m wie in der TA 23, die Lux-Werte wären entsprechend auf 10 m Entfernung zu korrigieren. Außerdem ist eine Scheinwerferhöhe von 0,75 m, ein Augenhöhe von 1,25 m, ein Fahrbahnbreite von 6 m angesetzt. Der Scheinwerfer ist auf die Mitte der Fahrbahn ausgerichtet. Bei zwei Scheinwerfern macht das mit einem maximalen Scheinwerferabstand von ca. 1,6 m und 25 m einen „Schielwinkel“ von ca. 3,7° .[1] Weiterhin sind die Meßwerte nach Interpretation von Literaturstellen für einen Scheinwerfer, nicht für zwei! Insofern darf ein Auto mit Gasentladungslampe den Gegenverkehr in B50L mit $2 \times 0{,}5 \times (25/10)^2 = 6{,}25$ lx blenden. Für Radfahrer und Fußgänger auf der linken Seite sieht es wegen des asymmetrischen Abblendlichtes noch blendender aus.

[1] Achtet man bewußt dadrauf, so blenden auch bei den meisten Autos die linken Scheinwerfer mehr als die rechten (der Autos).

Tabelle T.1: Meßpunkte für Autoscheinwerfer

Meßpunkt	α [°]	β [°]	E R98 [lx]	R20 [lx]
B50L	$-3{,}43$	0,57	$\leq 0{,}5$	$\leq 0{,}4$
HV	0	0	≤ 1	$\leq 0{,}7$
50R	1,72	$-0{,}86$	≥ 20	≥ 12
50V	0	$-0{,}86$	≥ 12	≥ 6
50L	$-3{,}43$	$-0{,}86$	≤ 20	≤ 15
75R	1,15	$-0{,}57$	≥ 20	≥ 12

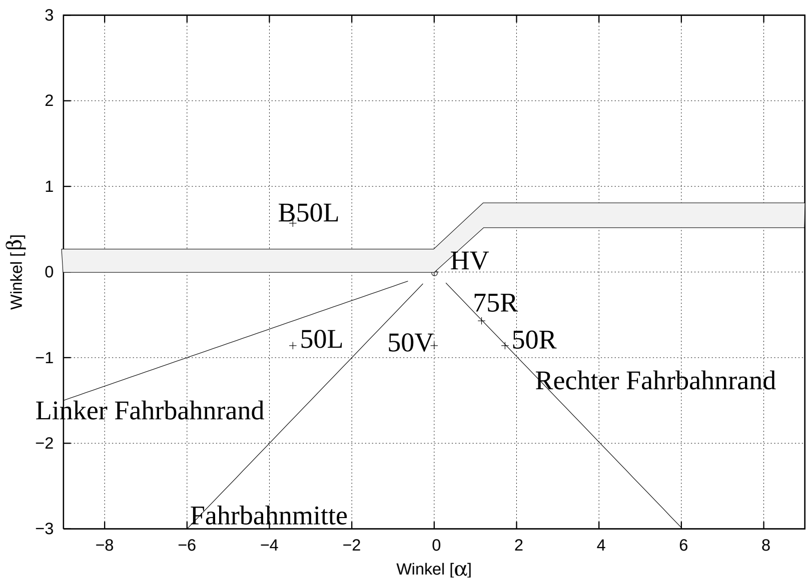


Bild T.1: Einige Punkte im ECE-Meß-Schema

T.1 ECE R6

Nach der ECE Regelung Nr 6, Revision 3, müssen Blinker nach hinten mindestens 50 cd in der Einstufenschaltung bzw. 40/175 cd (nachts/tags) aufweisen. Maximal sind für eine Einzelleuchte 350 bzw. 120/700 cd zulässig.

T.2 ECE R7

Nach der ECE Regelung Nr 7, Revision 3 sind folgende Lichtstärken zulässig.

Tabelle T.2: Lichtstärken nach R7 Rev. 3

	min. [cd]	max. [cd]
Schlußleuchte	4	12
Bremsleuchte einfach	60	185
Bremsleuchte tag	130	520
Bremsleuchte nacht	30	80

T.3 ECE R48

(Stand Rev. 9, 18. Jan. 2013)

„...2.29.1 "White" means the chromaticity coordinates (x,y)[2] of the light emitted that lie inside the chromaticity areas defined by the boundaries:

W_{12}	green boundary	$y = 0{,}150 + 0{,}640x$
W_{23}	yellowish green boundary	$y = 0{,}440$
W_{34}	yellow boundary	$x = 0{,}500$
W_{45}	reddish purple boundary	$y = 0{,}382$
W_{56}	purple boundary	$y = 0{,}050 + 0{,}750x$
W_{61}	blue boundary	$x = 0{,}310$

With intersection points:

	x	y
W_1	0,310	0,348
W_2	0,453	0,440
W_3	0,500	0,440
W_4	0,500	0,382
W_5	0,443	0,382
W_6	0,310	0,283

..."

Im CIE-Diagramm dargestellt siehe Bild T.2.

[2]CIE Publication 15.2, 1986, Colorimetry, the CIE 1931 standard colorimetric observer.

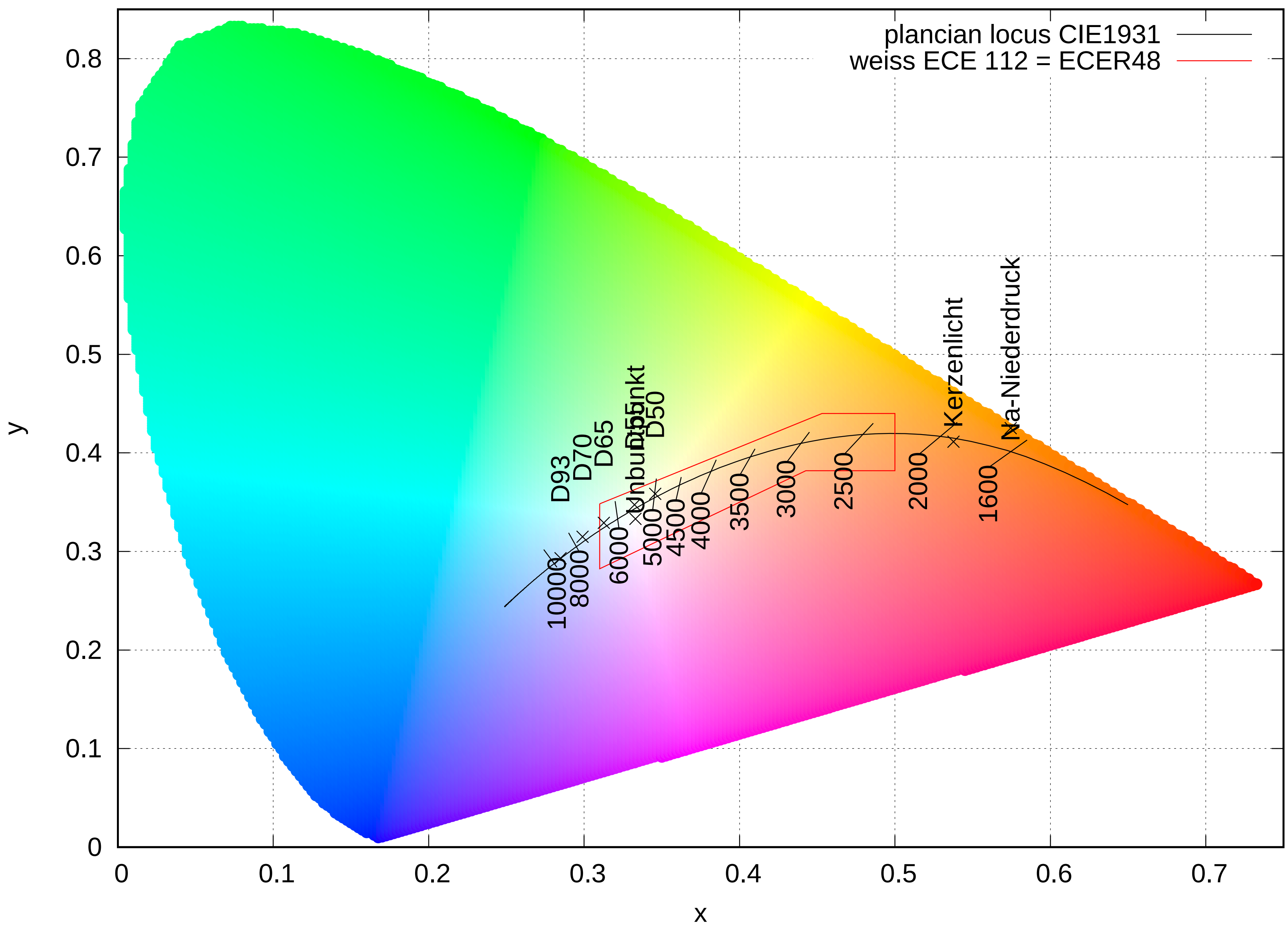


Bild T.2: Bereich Weiß nach ECE R48

T.4 ECE R76

Die ECE R76 behandelt die „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Schweinwerfer für Mopeds, die ein Abblendlicht und ein Fernlicht ausstrahlen“ (Stand 1.7.1988)[3]

T.5 ECE R82

Die ECE R82 behandelt die „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der von Mopedscheinwerfern, die mit Halogenglühlampen (HS_2-Glühlampen) ausgerüstet sind“ (Stand 17.3.1989)[4]

T.6 ECE R112

T.7 ECE R113

Die ECE R113 behandelt die „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für symmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht, die mit Glühlampen ausgerüstet sind“ (Stand 2.2.2007)[5][6]

In der deutschen Fassung der R113 ist die Hell-Dunkel-Grenze (HDG) mathematisch definiert.

Der Schärfefaktor[7] ist das Maximum von [ECE113 4.1.2]

$$G = \log E_\beta - \log E_{\beta+0,1^\circ} \tag{T.1}$$

Er darf im Untersuchungsbereich[8] bei Klasse B-Scheinwerfern nicht weniger als 0,13 und bei Klasse A, C und D nicht weniger als 0,08 betragen.

Für die automatische Einstellung soll nach [ECE113 5] der Wendepunkt von T.1

$$\frac{\mathrm{d}^2 \log E}{\mathrm{d}\beta^2} = 0 \tag{T.2}$$

unterhalb des Schnittpunkt der Linien H–H und V–V platziert werden. „. . . Bei der Messung und Einstellung der Hell-Dunkel-Grenze beginnt die Bewegung nach oben unterhalb der Soll-Lage.. . . “

[3] PDF der deutschen Übersetzung 01.01.2009 vom Server des BMVBW geladen. Ja, wirkliche Schweinwerfer:-)
[4] PDF der deutschen Übersetzung Dez. 2008 vom Server des BMVBW geladen.
[5] PDF der deutschen Übersetzung 01.01.2009 vom Server des BMVBW geladen.
[6] www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs/r113e.pdf ist die englische Fassung, Dez. 2009 vom Server geladen.
[7] v laut ECE R113 durch hier verwendetes β ersetzt.
[8] $\pm 2{,}5^\circ$ seitlich

T.8 ECE R324

Die ECE 324 (oder ist es die ECE 113?) beschreibt die Kriterien für symmetrisches Abblend- und Fernlicht für Scheinwerfer mit Glühfadenlampen. Die Meßdaten sind mit Lampen nach ECE 37 mit nicht mehr als 600 lm aufzunehmen. Das sind nach Tabelle 3.6 aber anscheinend Lampen mit deutlich weniger als 30 W.[9] Die Meßentfernung beträgt 25 m, dafür ist auch der Meßschirm (siehe Bild T.3) ausgelegt. Die 44 Seiten der Version vom 21.09.2001 sind hier nur auszugsweise wiedergegeben:=)

Tabelle T.3: Grenzbeleuchtungsstärken nach ECE324 [lux]

Punkt/Bereich	Class A	Class B
über h-h	$\leq 0{,}32$	$\leq 0{,}7$
auf 50L-50R (50R/50L$\geq$0,25		$\geq 1{,}5$
auf 25L-25R	$\geq 1{,}28$	≥ 3
auf 12.5L-12.5R	$\geq 0{,}64$	
Punkt 50V		≥ 3
Zone IV		$\geq 1{,}5$

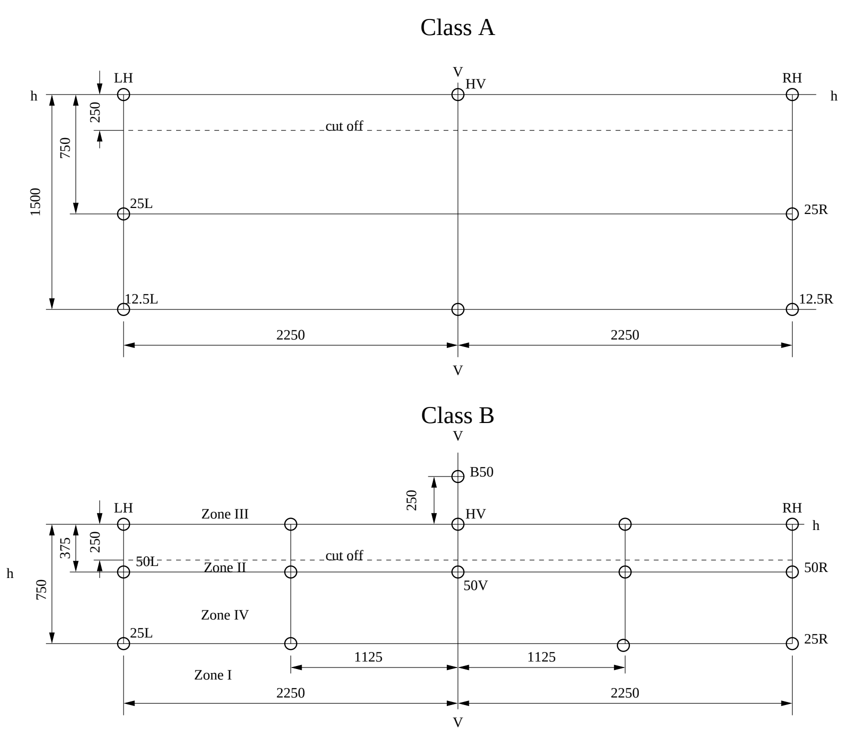


Bild T.3: Meßraster nach ECE324

[9]Nein, ich habe noch nicht die ECE 37 aus dem Haus das Verrückte Macht („Sie brauchen Passierschein A38“.) besorgt:=).

Anhang U

Regelungen anderer Länder

Nicht nur in Deutschland sind Regelungen für die Fahrradbeleuchtung vorhanden. Im Folgenden sollen einige, soweit verfügbar und beleuchtungsrelevant, vorgestellt werden. Solange nicht zu umfangreich wird auch die jeweilige Originalfassung mit aufgeführt, alleine um sie im Falle von Änderungen gesichert zu haben.

U.1 Deutsches Reich

Dietmar Kettler hat die „Oberpolizeilichen Vorschriften über den Radverkehr“ vom 29. September 1907 ausgegraben. Daraus:

> … B. Das Fahrrad §2 Jedes Farrad muß versehen sein: 1. mit einer sicher wirkenden Hemmvorrichtung; 2. mit einer helltönenden Glocke zum Abgeben von Warnungszeichen; 3. während der Dunkelheit und bei starkem Nebel mit einer hellbrennenden Lantern mit farblosen Gläsern, welche den Lichtschein nach vorn auf die Fahrbahn wirft.
>
> C. Der Radfahrer……

U.2 Australien

In Australien wird der *Australian Standard for Lighting Equipment for Bicycles - AS 3562-1990* verwendet. Angeblich ist diese Version derzeit in der Überarbeitung. Bei den „Grablichtanforderungen“ ist es aber auch notwendig.

Vorerst nur ein Auszug

Tabelle U.1: Leuchtstärken (cd) nach AS 3562-1990

	right					left	
$\alpha =$	80	15	4	0	4	15	80
$\beta = 0$	0,5	0,5	250	400	250	0,5	0,5

Hm, wenn ich mir das angucke, dann gute Nacht: 400 cd entsprechen 4 lx in 10 m Entfernung. Das ist ja schlechter als die alte TA 23.

U.3 Belgien

Quelle: http://www.mobielvlaanderen.be/wegverkeer/fietsen-011.php?a=5 . Von Andreas Oehler ausgegraben und grob übersetzt.

Auf www.wegcode.be habe ich inzwischen mal gesucht, aber nichts passendes vollständiges gefunden.

> Vraag: wat zegt de nieuwe wetgeving over fietsverlichting en reflectoren?
>
> Antwoord: hieronder volgt de nieuwe wetgeving, toepasselijk vanaf 18/05/2006.

neue Gesetzeslage seit Mai 2006

> de verplichting om permanent verlichting te voeren op een rijwiel wordt opgeheven.

fest angebrachte Lichtanlage ist nicht mehr vorgeschrieben

> Een wit of geel licht vooraan en een rood licht achteraan, dewelke niet verblindend mogen zijn, moeten alleen aanwezig zijn én in werking zijn tussen het vallen van de avond en het aanbreken van de dag, en in alle omstandigheden wanneer het niet meer mogelijk is duidelijk te zien op een afstand van ongeveer 200 meter.

Ein weißes oder gelbes Licht nach vorne und ein rotes Licht nach hinten, die nicht blenden dürfen, müssen vorhanden sein und funktionieren, vom Abend bis zum Morgen, und in allen Umständen, bei denen es nicht mehr möglich ist 200 m weit zu sehen.

> De verlichting, die in knipperstand mag werken, moet niet meer op het rijwiel zelf aangebracht worden. Ze mag op de bagage, de kleding, het lichaam, het rijwiel zelf,. . . aangebracht worden.

Es ist zulässig, die (Batterie-)Beleuchtung am Gepäck, der Kleidung, dem Körper und dem Fahrrad anzubringen.

> Indien door het rijwiel een aanhangwagen getrokken wordt, moet de aanhangwagen achteraan een rood licht voeren zodra de omvang van de aanhangwagen het door het rijwiel gevoerde rood licht onzichtbaar maakt.

Wenn ein Anhänger das Rücklicht des ziehenden Fahrrad verdeckt, so muß der Anhänger selbst ein rotes Rücklicht aufweisen.

> De lichten en reflectoren moeten altijd duidelijk zichtbaar zijn en goed uitkomen, alsook in goede staat zijn van onderhoud en werking.

Die Leuchten und Reflektoren müssen stets deutlich sichtbar sein, gut ausgerichtet und in gutem Zustand sein.

U.4 China

Siehe Seite 4

U.5 Dänemark

Etwas weitergeholfen wird hier: http://www.copenhagenize.com/2007/07/lights-of-my-life.html . Hier 2020 den Stand von 2007 eingefügt:

> The Danish Traffic Law has strict rules for bike lights. See how they compare with your laws at home:
>
> ...
>
> Specifications:
>
> - A bike light must be clearly visible from a distance of at least 300 metres without being blinding. The light must also be visible from the side.
> - The front light must be white, blueish or yellowish.
> - Front lights that are white og blueish can flash at least 120 times a minute.
> - Yellowish front lights must not blink.
> - Back lights must be red and a back light may flash but it must be at least 120 times a minute.

Kommentar: Was für ein Regelungsgefälle and der deutsch-dänischen Grenze. Und wo kommt der Autor her? Was haben die da für „Regelungen“?

U.6 Großbritanien

Vorerst nur gefunden, daß nach *British Standard* (BS) blinkende Beleuchtung nur für Notfallfahrzeuge zulässig ist. Die Verwendung von LEDs, besonders in Rücklichtern, scheint noch legislativ ungewollt zu sein, wird aber geduldet.

Rücklichter müssen die BS 6102 Part 3 erfüllen. Die BS9102 Part 3 kennt seit 1995 auch LEDs.

Im Jahr 1995 stand in einem Brief des *Department of Transportation* (DoT) (www.audax.uk.net/lights/-legal.htm) „the Regulations do permit cyclists to fit non-approved lights to their cycles if they are in addition to the obligatory approved lights."

Grüne oder gelbe Lichter nach vorne sind anscheinend auch zulässig. Bzw. rot ist nur nach hinten zulässig und blau für Notfallfahrzeuge reserviert, alle anderen Farben sind nach *Regulation 11* nach vorne zulässig.

U.7 Frankreich

Vorliegend ist die Fassung vom 29. August 1999, veröffentlich im *Journal officiel de la républicque française*.

Eine weitere Quelle: www2.equipement.gouv.fr/bulletinofficiel/fiches/Bo199916/A0160025.htm

Nach einem groben Überblick scheint das Meßraster der TA 23 übernommen worden zu sein.

U.8 Irland

http://www.citizensinformation.ie/en/travel_and_recreation/vehicle_standards/lighting_of_bicycles_in_ireland.html

http://www.irishstatutebook.ie/1963/en/si/0189.html#zzsi189y1963a29 http://www.irishstatutebook.ie/2009/en/si/0487.html

http://treaties.un.org/pages/ViewDetailsIII.aspx?&src=TREATY&mtdsg_no=XI B 19&chapter=11&Temp=mtdsg3&lang=en

http://www.eda.admin.ch/eda/de/home/topics/intla/intrea/dbstv/data44/e_19680244.html

U.9 Italien

Folgende Teile der italienischen Regularien wurden mir dankenswerterweise in einer Rohübersetzung Ende 2008 zugesandt. Ich habe sie teilweise ergänzt. Alles ohne Gewähr.

Das italienische Straßenverkehrsrecht umfasst unter anderem das gesetzesvertretende Dekret „(Neue) Straßenverkehrsordnung“= *(Nuovo) Codice della strada*:[1]

Art. 68 Bauart-, Funktions- und Ausrüstungsbestimmungen für Fahrräder

1. Fahrräder müssen ausgerüstet sein mit ...
   (a) ...
   (b) ...
   (c) Beleuchtungseinrichtungen: Nach vorne mit einem weißen oder gelben Licht, nach hinten mit einem roten Licht und rotem Rückstrahler; an den Pedalen müssen gelbe Rückstrahler angebracht sein, solche müssen auch an den Fahrradseiten angebracht sein.
2. Die in Absatz 1, Buchstabe c) genannten Beleuchtungseinrichtungen müssen zu den in Art. 152 Abs. 1 beschriebenen Tageszeiten und Fällen angebracht und in Betrieb sein
3. Die Vorschriften in den Buchstaben b) und c) von Absatz 1 gelten nicht für Fahrräder während sportlicher Wettbewerbe.
4. *Hinweis auf ein Ministerdekret, das Eigenschaften von Fahrrädern regelt, die mehrspurig sind und dem Transport einer anderen Person als der des Fahrers dienen*
5. *Hinweis zu Vorrichtungen für Kindertransport, Details in Art. 225 der Ausführungsbestimmungen.*
6. Wer mit einem Fahrrad fährt, welchem (...) eine der vorgeschriebenen Beleuchtungseinrichtungen fehlt oder bei welchem die Beleuchtungseinrichtung nicht den Bestimmungen dieses Artikels oder des Artikels 69 entspricht, kann mit einer Verwaltungsstrafe von 22 Euro bis 88 Euro belangt werden.
7. *Strafandrohung von 36 Euro bis 148 Euro gegen Fahrer, die Fahrräder fahren, die nicht den Bestimmungen des in Absatz 4 genannten Ministerialdekrets entsprechen.*
8. *Strafandrohung von 370 Euro bis 1485 Euro, falls Tat nicht vollendet, gegen Hersteller oder Inverkehrbringer von nicht typzugelassenen, aber typzulassungspflichtigen Fahrrädern oder typzulassungspflichtigen Ausrüstungsteilen.*

Das gelbe Frontlicht ist ja auch in Österreich für Fahrräder zulässig.

Art. 69 Eigenschaften der (...) Beleuchtungseinrichtungen der (...) Fahrräder

Besagt im wesentlichen, daß Anzahl, Farben, die Eigenschaften und Betriebsvorschriften geregelt sind.

Art. 152 Lichttechnische Ausrüstung der Fahrzeuge

[1]ist veraltend z.B. auf www.patente.it/codice/ind_cod.htm zu finden, die Ausführungsbestimmungen nichtamtlich z.B. auf www.aci.it/index.php?id=791

Zwingend ist die Verwendung der lichttechnischen Ausrüstung von einer halben Stunde nach Sonnenuntergang an bis eine halbe Stunde vor Sonnenaufgang, und auch in Tunneln, bei Nebel oder Schneefall, bei starkem Regen und in jedem anderen Fall schlechter Sichtbedingungen.

> Ausführungsvorschrift Art. 377 Radverkehr (zu Art. 182 der Straënverkehrsordnung)
>
> 1. …
> 2. …
> 3. …
> 4. Von einer halben Stunde nach Sonnenuntergang an nachts, bei jeglicher Dunkelheit, und am Tage, wann immer das Wetter die Beleuchtung erforderlich macht, dürfen Fahrräder mit fehlenden oder mangelhaften vorgeschrieben Beleuchtungseinrichtungen nicht benutzt, sondern nur schiebend mitgeführt werden.
> 5. …

Die Ausführungsbestimmungen sind z.B. auf www.aci.it/index.php?id=791 zu finden.

> Art. 224 Bestimmungen zu den Beleuchtungseinrichtungen der Fahrräder (zu Art. 68 und 69 der SVO)
>
> 1. Die vordere Leuchte besteht aus einem elektrisch gespeisten Scheinwerfer, der weißes oder gelbes Licht abstrahlt, mit einer Anbauhöhe von mindestens 30 cm und höchstens 100 cm vom Boden, und so ausgerichtet, daß seine optische Achse in höchstens 20 m Entfernung die Ebene vor dem Fahrrad schneidet.
> 2. Auf einem flachen Schirm, der aufrecht 10 m vor dem Scheinwerfer steht, muß der Scheinwerfer mindestens 2 lx erzeugen auf einer waagerechten Linie von 1 m links bis 1 m rechts des Schnittpunktes auf dem Schirm mit der der Lotgeraden durch die Scheinwerfermitte. Kein Punkt auf dem Schirm darf 60 cm über der waagerechten Linie eine Beleuchtungsstärke von mehr als 5 Lux aufweisen.[2][3]
> 3. Das rückwärtige rote Positionslicht wird elektrisch gespeist und symmetrisch auf der Längsmittelebene des Fahrzeugs und in bis zu 100 cm Höhe angebracht, aber nicht unterhalb des Rückstrahlers, und es muß nach hinten gerichtet abstrahlen.
> 4. Die Sichtbarkeit von hinten muß aus einem Winkelfeld von ±15 Grad vertikal und ±45 Grad seitlich gewährleistet sein.
> 5. Die Lichtstärke des ausgesendeten Lichtes muß im Winkelfeld von ±10 Grad vertikal und ±10 Grad seitlich nicht unter 0,05 cd liegen.

---

[2] *La luce emessa deve dare un illuminamento, misurato su uno schermo verticale posto a 10 m avanti al fanale, maggiore o eguale a 2 lux nel punto corrispondente alla proiezione sullo schermo del centro del fanale e su una linea orizzontale passante per detto punto per una estensione di 1 metro a destra e di 1 metro a sinistra di esso. In nessun punto dello schermo situato a 60 cm al di sopra di detta orizzontale l'illuminamento deve superare 5 lux.*

[3] besteht seit mindestens anno 1959, vgl. identische Passage wie Fußnote 2. Quelle: http://www.italgiure.giustizia.it/nir/lexs/1959/lexs_183988.html (1,2 MB)

6. Der rot rückstrahlende Reflektor muß auf der Längsmittelebene des Fahrzeugs montiert sein, nicht mehr als 90 cm über den Boden ragen,
7. …

Also ist die zulässige Leuchtweite schon mal weiter und anders definiert als im deutschen Regelwerk. Die 60 cm auf 10 m entsprechen den 3,4 Grad, also Zone1. Dort sind in italien 5 lx, in Deutschland 2 lx zulässig. Die Rücklichter haben keine $\pm 115^{circ}$-Anforderung wie in Deutschland. Die Anforderungen an das Rücklicht sind deutlich niedriger als in Deutschland, vgl. S. 568.

„… Steht hier zwar nicht, aber Tagfahrlicht oder bestimmte Fetischbekleidung brauchen Fahrräder und deren Fahrer 2008 nicht.…

Die Raumachsenbezeichnungen klingen komisch: *proiezione sullo schermo del centro del fanale* paßt nicht zu „Lotgerade“, und die 5 lx gelten sicher auch über 60 cm. „Fahrradessentials kompakt aber g10e-detailliert“ fand ich weder auf den Seiten der Landesverwaltung Bozen noch beim A„I“FC. Deshalb wurden die Links zu *codice della strada*, von deutschen Botschaft Rom, AutomobilClub-I, und I-Verkehrsministerium verglichen, und die Version mit den höchsten aufgerundeten Euro-Strafsätzen ist nach generalisierter Erfahrung die aktuellste. … Die technischen Ausführungsbestimmungen zu Fahrradlicht waren bei ACI natürlich weggespart und sonst nur vereinzelt zu finden. Deshalb eben alles ohne Gew(a)ehr, aber weil die italienischen Behörden straßenverkehrsvorschriftlich seit Jahren eher alles verschärfen, vermute ich, daß die Regeln nicht abgeschafft wurden.“

Danke an die Quelle. Alleine mit den italienischen Passagen ist es möglich via Suchmaschinen gute Quellseiten zu finden.

U.10 Neuseeland

Auf www.landtransport.govt.nz/road-user-safety/walking-and-cycling/lights.html findet man die für Neuseeland gültigen Regularien:

Cycle lights and reflectors

- Lights and reflectors you must have

  If you have good lights and reflectors on your cycle, you’ll greatly increase your visibility to other vehicles.

  Legally, you must have a rear reflector on your cycle when you ride on the road at any time. This must be red or yellow, and must be large enough to be seen from 100 metres, without causing undue dazzle or discomfort to other road users. Red reflectors on rear of bike.

  When you ride on the road during the legal hours of darkness, your bike must have:

  – a steady or flashing rear-facing red light that can be seen at night from a distance of 100 metres

- a steady or flashing forward-facing white light that can be seen at night from a distance of 100 metres.

In addition to the two lights above, you can also display a forward-facing white or amber light (only one forward-facing light may be flashing, however).

When riding during the hours of darkness, you must also have: Either yellow pedal reflectors on the forward and rearward facing surfaces of each pedal, or reflective clothing (eg, reflective straps attached to the lower part of your legs).

- Lights you shouldn't have

  Your cycle must not have:

  - white lights at the back
  - red lights at the front.

- When you should use your lights

  You're legally required to use your lights during the 'hours of darkness'. 'Hours of darkness' means from half an hour after sunset to half an hour before sunrise, or at any other time when there isn't enough light to see a person or vehicle that is 100 metres away.

- Penalties for not having legal reflectors or lights

  You can be fined $55 for not having the correct reflectors or lights fitted to your bike.

Die kompletten *Land Transport Rules* findet man auf www.landtransport.govt.nz/rules/docs/road-user-rule-2004.pdf.

Auf www.landtransport.govt.nz/rules/vehicle-lighting-2004.html#table32 sind die technischen Anforderungen aufgelistet.

U.11 Niederlande

In den ca. drei Seiten der *Voertuigreglement*, die Gerritsen 2005 auf http://www.m-gineering.nl/voertuigreglement.PDF bereitgestellt hat sind u.a. Anforderungen an die Beleuchtung gestellt. Der beleuchtungsrelevante Anteil wurde netterweise von meiner Freundin auf Deutsch übersetzt. Die (seltsame) Nummerierung wurde selbstverständlich beibehalten.

> Kapitel 5, Abschnitt 9 Fahrräder
>
> §10 Beleuchtung, Lichtsignale und rückstrahlende Einrichtungen
>
> Artikel 5.9.51
>
> Fahrräder mit zwei Rädern müssen versehen sein mit:
>
> a. einem nicht dreieckigen roten Rückstrahler an der Rückseite des Fahrzeugs;
>
> b. weißen oder gelben Rückstrahlern an den Laufrädern;
>
> c. vier bernsteingelben oder gelben Rückstrahlern an den Pedalen.

Fahrräder mit zwei mehr als Rädern müssen versehen sein mit:

a. einem nicht dreieckigen roten Rückstrahler an der Rückseite des Fahrzeugs;

b. eine nach vorn gerichteten weißen Rückstrahler, falls das Rad breiter ist als 0,75 m und ein einziges Vorderrad hat;

c. weißen oder gelben Rückstrahlern an den Laufrädern;

d. vier bernsteingelben oder gelben Rückstrahlern an den Pedalen.

Artikel 5.9.52

Beiwagen, die mit einem Fahrrad verbunden sind, müssen versehen sein mit:

a. einem nicht dreieckigen roten Rückstrahler an der Rückseite des Fahrzeugs;

b. einem weißen oder gelben Rückstrahler an dem Laufrad.

Artikel 5.9.54

1. Der rote Rückstrahler muß angebracht sein:

a. an Fahrrädern mit einem einzigen Hinterrad zwischen dem Gepäckträger und dem Schutzblech, falls kein Gepäckträger vorhanden ist, auf dem Schutzblech auf einer Höhe von nicht weniger als 0,35 m und nicht mehr als 0,90 m über der Fahrbahn, ansonsten unter dem Sattel;

b. bei Fahrrädern mit zwei Hinterrädern and der äußersten linken Seite, auf einer Höhe von nicht weniger als 0, 35 m und nicht mehr als 0,90 m über der Fahrbahn;

c. bei Beiwagen an der äußersten Außenseite, auf einer Höhe von nicht weniger als 0, 35 m und nicht mehr als 0,90 m über der Fahrbahn.

2. Der in Artikel 5.9.51, zweiter Abschnitt, Satz b, genannte weiße Rückstrahler muß an der äußersten linken Seite des Fahrzeugs angebracht sein.

3. Die weißen oder gelben Rückstrahler an den Laufrädern müssen der Umdrehung des Rades folgen und so dicht wie möglich an der Felge angebracht sein, so daß sie an beiden Seiten des Fahrzeugs sichtbar sind.

Artikel 5.9.55

1. Die in den Artikeln 5.9.51 und 5.9.52 genannten Rückstrahler dürfen nicht verdeckt sein.

2. Die in den Artikeln 5.9.51 und 5.9.52 genannten Rückstrahler dürfen keine Mängel haben, die die Retroreflexion beeinflussen.

3. Die nicht dreieckigen roten Rückstrahler und die weißen oder gelben Rückstrahler an den Laufrädern müssen versehen sein mit einer von unserem Minister bekannt gemachten Prüfkennzeichen.

Artikel 5.9.57

1. Fahrräder mit zwei Rädern und Fahrräder auf drei Rädern mit einem einzigen Vorderrad dürfen mit einem Scheinwerfer an der Vorderseite versehen sein.

2. Fahrräder mit mehr als zwei Rädern und mit zwei Vorderrädern dürfen mit zwei Scheinwerfern an der Vorderseite versehen sein.

3. Fahrräder dürfen mit einer Schlußleuchte versehen sein, die ein von Unserem Minister bekannt gemachtes Prüfkennzeichen trägt.

4. Fahrräder dürfen versehen sein mit: a. einem nach vorn gerichteten weißen Rückstrahler, falls dieser nicht aufgrund von Artikel 5.9.51 vorgeschrieben ist; b. bernsteingelben Rückstrahlern an den Seiten des Fahrzeugs.

5. Beiwagen, die mit einem Fahrrad verbunden sind, dürfen versehen sein mit: a. einem nach vorn gerichteten weißen Rückstrahler; b. bernsteingelben Rückstrahler an den Seiten des Fahrzeugs;

6. Fahrräder und Beiwagen dürfen dürfen versehen sein mit zusätzlichen weißen rückstrahlenden Einrichtungen an der Vorderseite, zusätzlichen nicht dreieckigen roten an der Rückseite und zusätzlichen bernsteingelben an den Seiten des Fahrzeugs.

Artikel 5.9.60

Der weiße Rückstrahler am Beiwagen muß an der äußersten Außenseite angebracht sein.

Artikel 5.9.64

1. Fahrräder dürfen nicht versehen sein mit einer blendenden Beleuchtung.

2. Fahrräder dürfen nicht versehen sein mit einer blinkenden Beleuchtung.

Artikel 5.9.65

Fahrräder dürfen nicht mit mehr Leuchten und rückstrahlenden Einrichtungen versehen sein, als in den Artikeln 5.9.51, 5.9.52 und 5.9.57 vorgeschrieben oder gestattet ist.

E. Fahrräder und von ihnen forbewegte Anhänger

Fahrräder

Artikel 5.18.39

1. Fahrräder, die bei Nacht oder bei Tag, wenn die Sicht schwer eingeschränkt ist, gebraucht werden, müssen mit einer Beleuchtung versehen sein, die den Abschnitten 2 bis 4 entspricht.

2. Fahrräder mit zwei Rädern und Fahrräder mit drei Rädern mit einem einzigen Vorderrad müssen versehen sein mit einem Scheinwerfer an der Vorderseite.

3. Fahrräder mit mehr als zwei Rädern und zwei Vorderrädern müssen versehen sein mit zwei Scheinwerfern an der Vorderseite.

4. Fahrräder müssen mit einer Schlußleuchte, die ein von Unserem Minister bekannt gemachtes Prüfkennzeichen trägt, versehen sein.

Artikel 5.18.40

1. Die in Artikel 5.18.39 genannten Leuchten müssen gut funktionieren.

2. Die Beleuchtungseinrichtungen und die Teile davon müssen am Fahrzeug in geeigneter Weise befestigt sein.

3. Die Gläser der Beleuchtungseinrichtungen dürfen nicht so beschädigt, repariert oder bearbeitet sein, daß der Lichtertrag oder die Funktion nachteilig beeinflusst wird.

4. Leuchten mit derselben Funktion müssen die gleiche Größe, die gleiche Farbe und die gleiche oder fast gleiche Stärke haben. Leuchten und rückstrahlende Einrichtungen mit derselben Funktion müssen auf gleicher Höhe symmetrisch links und recht von der Mitte des Fahrzeugs angebracht sein.

5. Die in Artikel 5.18.39 genannten Leuchten dürfen nicht verdeckt sein.

Artikel 5.18.41

> 1. Der Scheinwerfer an der Vorderseite darf nicht anders als weiß oder gelb strahlen.
>
> 2. Die Schlußleuchte darf nicht anders als rot strahlen.
>
> Artikel 5.18.42
>
> Die Schlußleuchte muß:
>
> a. falls das Fahrrad ein einziges Hinterrad hat, in der Mitte des Fahrzeugs angebracht sein in einer Höhe von nicht weniger als 0,25 m und nicht mehr als 1,20 m über der Fahrbahn;
>
> a. falls das Fahrrad zwei Hinterräder hat oder mit einem Beiwagen verbunden ist, an der äußersten linken Seite des Fahrrads angebracht sein und in einer Höhe von nicht weniger als 0,25 m und nicht mehr als 1,20 m über der Fahrbahn.
>
> E. Anhänger hinter Fahrrädern auf zwei Rädern
>
> Artikel 5.18.46 Anhänger hinter Fahrrädern auf zwei Rädern, die bei Nacht oder bei Tag, wenn die Sicht schwer eingeschränkt ist, gebraucht werden, müssen mit einer Schlußleuchte versehen sein, die ein von Unserem Minister bekannt gemachtes Prüfkennzeichen trägt.
>
> Artikel 5.18.47
>
> 1. Die Schlußleuchte muß gut funktionieren.
>
> 2. Die Beleuchtungseinrichtungen und die Teile davon müssen am Fahrzeug in geeigneter Weise befestigt sein.
>
> 3. Das Glas der Beleuchtungseinrichtung darf nicht so beschädigt, repariert oder bearbeitet sein, daß der Lichtertrag oder die Funktion nachteilig beeinflusst wird.
>
> 4. Die Schlußleuchte darf nicht verdeckt sein.
>
> Artikel 5.18.48
>
> Die Schlußleuchte darf nicht anders als rot strahlen.
>
> Artikel 5.18.49
>
> Die Schlußleuchte muß äußerst links an der Rückseite des Fahrzeugs angebracht sein auf einer Höhe von nicht weniger als 0,25 m und nicht mehr als 1,20 m über der Fahrbahn.

Dann, Mitte 2008, ist laut http://www.fietsberaad.nl/index.cfm?section=repository&repository=Fietslampje+op+de+jas+mag%2C+knipperen+niet noch folgende Änderung angedacht:

> Minister Eurlings wil het voeren van fietsverlichting op de jas toestaan. Maar knipperende verlichting zal niet worden toegestaan. De aangepaste regelgeving moet eind dit jaar van kracht worden.
>
> De minister baseert zijn voornemen op een onderzoek van TNO. De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn dat:
>
> - het dragen van verlichting op de persoon (de romp) geen noemenswaardige nadelige gevolgen voor de verkeersveiligheid heeft en dus toegelaten kan worden;
> - knipperen van fietsverlichting qua opvallendheid niet echt iets toevoegt ten opzichte van permanent brandende verlichting, maar dat er wel een aantal negatieve aspecten aan kleven en dat knipperen om die reden beter niet kan worden toegestaan;

> - een witte koplamp opvallender is dan de nu ook nog toegestane gele koplamp en er iets voor te zeggen is om gele koplampen – op termijn – te verbieden;
> - een juiste bevestiging van de verlichting erg belangrijk is voor de mate van opvallendheid en dat het aan te bevelen is hier in de communicatie aandacht aan te besteden.
>
> Het onderzoek werd begeleid door een projectgroep waarin naast V&W, Justitie, BiZa, de Fietsersbond en de SWOV participeerden. De in de projectgroep participerende organisaties onderschrijven de uitkomsten van het onderzoek, aldus de minister

Mal wieder den Vorteil einer niederländisch sprechenden Frau und eines niederländischen Kollegens auskostend, Marten G. hat's bestätigt:

> Der Minister begründet seine Pläne mit einer Untersuchung des TNO. Die wichtigsten Schlußfolgerungen dieser Untersuchungen sind, daß:
>
> - das Tragen von Beleuchtung an der Person (am Rumpf) keine nennenswerten nachteiligen Folgen fuer die Verkehrssicherheit hat und daher zugelassen werden kann.
> - Blinken von Fahrradbeleuchtung durch Auffälligkeit nicht wirklich etwas verbessert verglichen mit dauernd brennender Beleuchtung, aber daß es damit eine Zahl negativer Aspekte verbunden sind und das Blinken aus diesen Gründen besser nicht erlaubt werden sollte.
> - ein weißer Scheinwerfer auffälliger ist als der derzeit auch erlaubte gelbe Scheinwerfer und deshalb geraten wird, gelbe Scheinwerfer – mit einer Frist – zu verbieten.
> - eine geeignete Befestigung der Beleuchtung sehr wichtig ist für das Ausmaß, in dem sie auffällt, und daß es zu empfehlen ist, hierauf in der Öffentlichkeitsarbeit Aufmerksamkeit zu lenken.
>
> Die Untersuchung wurde begleitet durch eine Projektgruppe, in der neben V&W, Justitie, BiZa, Fietsersbond und SWOV teilnahmen. Die in der Projektgruppe teilnehmenden Organisationen unterschrieben die Ergebnisse der Untersuchung, folgendermassen der Minister.

Also keine Blinklichter und eine ansonsten pragmatisch unaufgeregte Herangehensweise.

.... Thomas Ribbrock emgaron@gmx.net

Ich kann den aelteren Stand nicht so schnell finden, aber die seit 1.7.2010 gueltige Fassung sieht in Artikel 35 vor (Uebersetzung von mir):

[...] 2. Ein Fahrrad auf zwei Raedern und ein Fahrrad mit drei Raedern mit *einem* Vorderrad muessen an der Vorderseite ein weisses oder gelbes Licht fuehren, es sei denn dass der Fahrzeugfuehrer ein weisses oder gelbes Licht auf seine Brust traegt. 3. Bei einem Fahrrad mit mehr als zwei Raedern und mit zwei Vorderraedern muessen an der Vorderseite zwei weisse oder gelbe Lichter symmetrisch links und rechts der Mitte gefuehrt werden. 4. Ein Fahrrad muss an der Rueckseite ein rotesRuecklicht fuehren, es sei denn dass der Fahrzeugfuehrer ein rotes Licht auf seinem Ruecken fuehrt. 5. Ein Fahrrad darf zwei (amber-?)gelb strahlende Richtungsanweiser an der Vorder- und zwei an der Rueckseite fuehren. 6. Es duerfen nicht mehr als die unter 2.-5. aufgefuehrten Lichter am Fahrrad, durch den Fahrzeugfuehrer oder einen hinter dem Fahrzeugfuehrer sitzenden Passagier gefuehrt werden.

Es ist mir nicht bekannt ob in einem anderen Gesetz noch genauere Angaben zu Leistung o.ae. stehen, das muesste ich erst suchen gehen.

(Quelle: http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/publicaties-pb51/verkeersborden-en-verkeersregels-in-nederland-nederlands/publicatie-verkeersborden-en-verkeersregels-nl.pdf) ....

U.12 Norwegen

Die norwegischen Vorschriften sind z.B. auf www.lovdata.no/for/sf/sd/td-19900219-0119-0.html zu finden.

> Forskrift om krav til sykkel.
>
> Fastsatt av Vegdirektoratet 19. februar 1990 med hjemmel i vegtrafikkloven av 18. juni 1965 §§13-16, jfr. Samferdselsdepartementets delegeringsvedtak av 24. november 1980. Endret ved forskrifter 27 juni 2001 nr. 813, 22 des 2006 nr. 1605.
>
> §1. Forskriftens virkeområde
>
> Forskriften gjelder for sykkel som tas i bruk første gang i Norge 1. januar 1971 eller senere.
>
> §2. Definisjon
>
> Sykkel: Kjøretøy som drives frem ved trå- eller veivanordning, unntatt kjøretøy som bare er beregnet for lek.
>
> §3. Alminnelige bestemmelser om konstruksjon, utstyr, merking m.m.
>
> 1. Sykkel skal være bygd, innrettet, utstyrt og vedlikeholdt slik at den tåler de påkjenninger som den vanligvis utsettes for og kan nyttes uten å volde unødig fare eller ulempe.
> 2. Sykkel skal være tydelig og varig merket med fabrikasjonsnummer, som skal være angitt på rammen. Det skal være plassert og utført slik at det er godt synlig og slik at det ikke lett kan fjernes eller endres.
>
> §4. Bremser
>
> 1. Sykkel skal ha minst to separate bremser, som er slik at bremsingen kan kontrolleres og sykkelen kunne stanses på sikker, effektiv og hurtig måte.
> 2. Den ene bremsen skal virke på forhjulet og den andre på bakhjulet.
> 3. Betjeningsinnretningene (håndtak, pedaler) skal virke uavhenging av hverandre. Den må kunne brukes med begge hendene på styret.
>
> §5. Lys og refleks

1. Sykkel skal ha rød refleks bak. På begge sider av pedalene skal det være hvit eller gul refleks. Ved bruk av sykkel utstyrt med klikkpedaler hvorpå det ikke kan monteres refleks, skal sykkelen ha refleks på pedalarmene. Refleksanordningene skal være av godkjent type.
2. Sykkel, som brukes i mørket eller i usiktbart vær på alminnelig beferdet veg eller område, skal foran ha lykt som gir gult eller hvitt lys og/eller flerfunksjonslykt som kan gi blinkende eller fast hvitt lys. Bak skal sykkel ha lykt som gir rødt lys og/eller lykt som gir blinkende rødt lys.
3. Lyktene skal være festet til sykkelen.
4. Lyktene skal kunne sees tydelig i en avstand på 300 m. Lykter som gir blinkende lys skal blinke med minst 120 blink pr. minutt.

   0 Endret ved forskrifter 27 juni 2001 nr. 813, 22 des 2006 nr. 1605 (i kraft 1 mars 2007).

§6. Lydsignal

Sykkel skal ha signalklokke. Annet varselapparat er forbudt.

§7. Ikrafttredelse

Denne forskrift trer i kraft 1. april 1990.

Im folgenden der Versuch einer Übersetzung:

§1 Wirksamkeit der Vorschrift

Vorschriften gelten für Fahrräder, die in Norwegen nach dem 1. Januar 1971 oder später in Gebrauch gegangen sind.

§2 Definition

Fahrrad: Fahrzeuge wie/als

§3 Allgemeine Bestimmungen zur Konstruktion, Ausstattung, …

1.
2.

§4 Bremsen

1.
2.
3.

§5 Licht und Rückstrahler

1. Ein Fahrrad soll hinten einen roten Rückstrahler haben. Auf beiden Seiten der Pedalen soll es weiße oder gelbe Rückstrahler geben. Bei Gebrauch eines Fahrrads mit Klickpedalen, an denen keine Rückstrahler montiert werden können, soll das Fahrrad Rückstrahler auf den Pedalarmen haben. Die Vorrichtung der Rückstrahler soll von einem genehmigten Typ sein.

2. Ein Fahrrad, das in der Dunkelheit oder schlechter Sicht auf einem öffentlich befahrenem Weg oder Gebiet benutzt wird, soll vorn einen Scheinwerfer haben, der gelbes oder weißes Licht abgibt und/oder einen Mehrfunktionsscheinwerfer, die blinkendes oder ununterbrochenes weißes Licht gibt. Hinten Ende soll ein Fahrrad eine Leuchte haben, die rotes Licht abgibt, und/oder eine Leuchte, die blinkendes rotes Licht abgibt.
3. Die Leuchten sollen am Fahrrad befestigt sein.
4. Die Leuchten soll man deutlich in einem Abstand von 300 m sehen können. Leuchten, die blinkendes Licht geben, sollen mindestens 120 mal pro Minute blinken.

Geändert durch Vorschriften 27. Juni 2001 Nr. 813, 22. Dezember 2006 Nr. 1605 (in Kraft 1. März 2007)

§6 Schallsignal

Fahrräder müssen eine Signalglocke haben. Andere Warnapperate sind verboten.

§7 Inkrafttreten

Diese Vorschrift tritt am 1. April 1990 inkraft.

Eine persönlich durchgeführte subjektive Datenerhebung in Südnorwegen 2007 erbrachte aber keinen wesentlichen Unterschied der norwegischen Alltagsräder gegenübger deutschen Bahnhofsgurcken. Allerdings eine deutlich höhere Quote von Helm- und Sicherheitswestenträgern, selbst am hellichten Tage. Liegt viellicht dadrann, daß trotz Tageslichtfahrgebot der Kfz viele mit defekter Beleuchtung herumfahren (wiederum subjektiv mit der Quote der in Island defekten Kfz-Beleuchtung).

U.13 Österreich

In Österreich ist zum 1. Mai 2001 eine neue Fahrradverordnung inkraft getreten. Im Folgenden in Ausschnitten wiedergegeben. Der Volltext ist u.a. auf
www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/recht/stvo/download/fahrradverordnung.pdf zu finden.

https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2013_II_297/BGBLA_2013_II_297.html

http://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2013_II_297/BGBLA_2013_II_297.rtf

Allgemeines

§1. (1) Jedes Fahrrad, das in Verkehr gebracht wird, muß – sofern sich aus den folgenden Bestimmungen nichts anderes ergibt – ausgerüstet sein:

1. mit zwei voneinander unabhängig wirkenden Bremsvorrichtungen, mit denen auf trockener Fahrbahn eine mittlere Bremsverzögerung von 4 m/sec^2 bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 20 km/h erreicht wird;

2. mit einer Vorrichtung zur Abgabe von akustischen Warnzeichen;

3. mit einem helleuchtenden, mit dem Fahrrad fest verbundenen Scheinwerfer, der die Fahrbahn nach vorne mit weißem oder hellgelbem, ruhendem Licht mit einer Lichtstärke von mindestens 100 cd beleuchtet;

4. mit einem roten Rücklicht mit einer Lichtstärke von mindestens 1 cd;

5. mit einem weißen, nach vorne wirkenden Rückstrahler mit einer Lichteintrittsfläche von mindestens 20 cm^2; der Rückstrahler darf mit dem Scheinwerfer verbunden sein;

6. mit einem roten, nach hinten wirkenden Rückstrahler mit einer Lichteintrittsfläche von mindestens 20 cm^2; der Rückstrahler darf mit dem Rücklicht verbunden sein;

7. mit gelben Rückstrahlern an den Pedalen; diese können durch gleichwertige Einrichtungen ersetzt werden;

8. mit Reifen, deren Seitenwände ringförmig zusammenhängend weiß oder gelb rückstrahlend sind, oder an jedem Rad mit mindestens zwei nach beiden Seiten wirkenden gelben Rückstrahlern mit einer Lichteintrittsfläche von mindestens 20 cm^2 oder mit anderen rückstrahlenden Einrichtungen, die in der Wirkung den zuvor genannten entsprechen;

9. wenn das Fahrrad für den Transport mehrerer Personen bestimmt ist, für jede Person mit einem eigenen Sitz, mit einer eigenen Haltevorrichtung und eigenen Pedalen oder Abstützvorrichtungen.

(2) Bei bestimmungsgemäßer Verwendung von Fahrrädern abseits der Fahrbahn muß die Bremsverzögerung - unbeschadet des Abs. 1 Z 1 - einen Wert erreichen, der einen sicheren Gebrauch des Fahrrades gewährleistet.

(3) Sofern Scheinwerfer oder Rücklicht mit einem Dynamo betrieben werden, gilt Abs. 1 Z 3 und Z 4 mit der Maßgabe, daß die dort genannte Wirkung ab einer Geschwindigkeit von 15 km/h erreicht werden muß.

(4) Bei Tageslicht und guter Sicht dürfen Fahrräder ohne die in Abs. 1 Z 3 und 4 genannte Ausrüstung verwendet werden.

Mehrspurige Fahrräder

§2. Die Bestimmungen des §1 gelten für mehrspurige Fahrräder mit folgenden Maßgaben:

1. es müssen jeweils zwei Rücklichter und Rückstrahler in gleicher Höhe so angebracht sein, daß sie die seitliche Begrenzung des Fahrrades erkennen lassen;

2. die Bremsen müssen auf alle Räder und innerhalb einer Achse gleichzeitig und gleichmäßig wirken;

3. wenn das Fahrrad für den Transport mehrerer Personen bestimmt ist, muß abweichend von §1 Abs. 1 Z 9 für jede beförderte Person lediglich ein eigener Sitz vorhanden sein.

Fahrradanhänger

§5. (1) Jeder Fahrradanhänger, der in Verkehr gebracht wird, muß ausgestattet sein:

1. mit einer vom Fahrrad unabhängigen Lichtanlage,

2. mit einem roten Rücklicht,

> 3. vorne mit einem weißen und hinten mit einem roten Rückstrahler; die roten Rückstrahler dürfen mit den Rücklichtern verbunden sein; sowie
>
> 4. jeweils einem gelben Rückstrahler an den seitlichen Flächen. Bei Anhängern, die breiter als 60 cm sind, sind jeweils zwei Rücklichter sowie zwei weiße und zwei rote Rückstrahler so anzubringen, daß die Breite des Anhängers zweifelsfrei erkennbar ist. Sämtliche Rückstrahler müssen eine rückstrahlende Fläche von jeweils mindestens 20 cm^2 aufweisen.
>
> ...

Damit sind in einigen Punkten bedeutend mehr Freiheiten gegeben und bei diesen Beleuchtungsstärken bzw. Intensitäten ist klar, daß Fahrradbeleuchtung nur als Positionslampe angesehen wird.

U.14 Preußen

Die 150 m-Sichtweiten-Regelung galt in Preußen ab 1.7.1929 [Hu03].

U.15 Schweden

Schweden orientiert sich anscheinend an der ISO 6742.

http://www.trafikverket.se/PageFiles/99018/rapport_12.pdf (Bemerkenswert primär S.37)

U.16 Schweiz

In der Schweiz sind diese Punkten in der „Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge" (VTS) geregelt. Dankenswerterweise sogar im Internet auffindbar:
http://www.admin.ch/ch/d/sr/741_41/

Es folgt der Stand vom 13. September 2005 (Copy and Paste:-)

Art. 216 Beleuchtung

Fassung gemäss Ziff. I der V vom 10. Juni 2005, in Kraft seit 1. Okt. 2005 (AS 2005 4111).

1. Fahrräder müssen, wenn eine Beleuchtung nach Artikel 30 Absatz 1 VRV erforderlich ist, mindestens mit einem nach vorn weiss und einem nach hinten rot leuchtenden, ruhenden Licht ausgerüstet sein. Diese Lichter müssen nachts bei guter Witterung auf 100 m sichtbar sein. Sie können fest angebracht oder abnehmbar sein.

2. Die Lichter an Fahrrädern dürfen nicht blenden.
3. Für die Farben zusätzlicher Lichter gilt Anhang 10.

So schön einfach geht es in der Schweiz (in diesem Punkt).

Art. 217 Rückstrahler

1. An Fahrrädern müssen mindestens ein nach vorn und ein nach hinten gerichteter Rückstrahler mit einer Leuchtfläche von mindestens 10 cm^2 fest angebracht sein. Die Rückstrahler müssen nachts bei guter Witterung auf 100 m im Scheine eines Motorfahrzeug-Fernlichts sichtbar werden.[4]
2. Mehrspurige Fahrräder sind auf jeder Seite an den äussersten Stellen mit einem solchen Rückstrahler nach vorn und nach hinten zu versehen.
3. Für die Farben der Rückstrahler gilt Anhang 10.[5]
4. Die Pedale müssen vorn und hinten Rückstrahler mit einer Leuchtfläche von mindestens 5 cm^2 tragen. Ausgenommen sind Rennpedale, Sicherheitspedale und dergleichen.
5. Anstelle der Rückstrahler können andere retroreflektierende Vorrichtungen verwendet werden, wenn sie in der Wirkung den Anforderungen an Rückstrahler nach Absatz 1 entsprechen.

[4]Fassung gemäss Ziff. I der V vom 10. Juni 2005, in Kraft seit 1. Okt. 2005 (AS 2005 4111).
[5]Fassung gemäss Ziff. I der V vom 10. Juni 2005, in Kraft seit 1. Okt. 2005 (AS 2005 4111).

Anhang V

Wullkopf

Da wahrscheinlich die meisten Leser dieses Textes keinen Zugriff auf ein Archiv mit der Elektrotechnischen Zeitschrift (ETZ) haben, hat der Autor den Artikel von Herrn Wullkopf [Wull59] hier eingesetzt.[1] Numerierungen von Formeln, Bildern und Tabellen beziehen sich auf diesen Text und sind nicht Original Wullkopf, die Bilder sind komplett neu gezeichnet, wobei die Meßwerte in Bild V.3 mit einer Meßlupe ausgemessen werden.

Kleinstgeneratoren mit permanentmagnetischem Läufer

Von Hellmuth Wullkopf, Hamburg-Stellingen[2]

DK 621.313.823.2-181.4

Dynamomaschinen mit permanentmagnetischem Läufer sind im allgemeinen Synchrongeneratoren kleiner Leistung. Solche Maschinen werden in der Regelungs- und Meßtechnik als Geber benutzt, ein anderes Anwendungsgebiet hierfür sind Fahrraddynamos. An diesem Beispiel sollen einige Betrachtungen zur Bemessung von Maschinen mit permanentmagnetischem Läufer angestellt werden.

Ziel der Untersuchung

An Hand einer kurzen Berechnung soll gezeigt werden, in welcher Weise die magnetische Induktion und Polzahl des Läufer, der Widerstand der Wicklung und die Windungszahl die vom Generator abgegebene Leistung, abhängig von der Fahrradgeschwindigkeit, beeinflussen. Insbesondere soll untersucht werden, welche magnetischen Werkstoffe für den Läufer besonders geeignet sind. Dabei hat

[1] War auch ein halber Tag (nicht auf der) Arbeit.

[2] Dipl.-Phys. H. Wullkopf ist Mitarbeiter im Applikationslaboratorium der VALVO GmbH, Hamburg-Stellingen.

sich aus Vergleichsversuchen an verschiedenen Fahrraddynamos ergeben, daß wegen der größeren Koerzitivkraft und wegen der kleineren Permeabilität und des damit verbundenen kleineren induktiven Widerstandes Läufer aus Ferroxdure denen aus Stahl überlegen sind. Außerdem lassen sich diese modernen keramischen Magnetwerkstoffe wegen ihrer sehr großen Koerzitivkraft in einfacher Weise mehrpolig mit kleinen Polabständen magnetisieren. Über die Wirkungsweise, Bemessung und Kenngrößen derartiger Kleinstgeneratoren wird nachstehend berichtet.

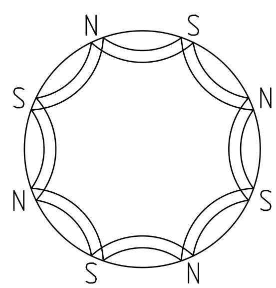


Bild V.1: Schematische Ansicht eines Läufers eines Fahrraddynamos

Ersatzschaltbild und Wirkungsweise

Ein Fahrraddynamo besteht aus einem zylindrischen, am Umfang mehrpolig magnetisierten Läufer (Bild V.1) und aus einem Ständer. Betrachtet man den Stromkreis eines Fahrraddynamos als aus einer Spannungsquelle E ohne Innenwiderstand, einem induktiven Widerstand ωL und einem ohmschen Widerstand R_i bestehend, so herrscht bei Abschluß des Systems mit einem ohmschen Widerstand R_a an diesem eine Spannung U (Bild V.2). Nach den Prüfbedingungen[3] für Fahrrad-Lichtmaschinen ist der Effektivwert der Spannung U an einem angeschlossenen Außenwiderstand $R_\mathrm{a} = 12\,\Omega$ zu messen. Für den Stromkreis nach (Bild V.2) gilt bekanntlich zwischen dem Effektivwert der elektromotorischen Kraft E und dem des Stromes I die Beziehung:

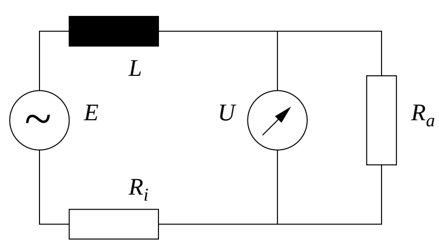


Bild V.2: Ersatzschaltbild eines belasteten Fahrraddynamos. Erläuterungen im Text.

[3] Richtlinien für die Prüfung von Fahrzeugteilen (20. Fahrradlichtmaschinen). Hrsg. Bundesminister für Verkehr, Bonn. Verkehrsblatt 1957, S. 213.

$$E = I\sqrt{(R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i})^2 + \omega^2 L^2} \tag{V.1}$$

Wirbelstromverluste und andere Verluste im Dynamo können hierbei, wie Messungen ergeben haben, vernachlässigt werden. Die Kreisfrequenz w in Gl. (V.1) ist proportional der Fahrradgeschwindigkeit v:

$$\omega = Av \tag{V.2}$$

Mit v in km, d als Durchmesser des Antriebsrädchens des Dynamos in mm und p als Polpaarzahl des Läufers ist die Kreisfrequenz ω in s^{-1}:

$$\omega = 2\pi \frac{10^6}{3600\pi d} pv \tag{V.3}$$

Hieraus ergibt sich A in km^{-1} mit Gl. (V.2):

$$A = 555p/d \tag{V.4}$$

Die elektromotorische Kraft E ist proportional der zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses. Diese zeitliche Änderung wiederum ist proportional der Umdrehungsgeschwindigkeit des Läufers im Dynamo, also proportional der Fahrradgeschwindigkeit v. Wenn die Amplituden der Schwingungen höherer Ordnung in der Spannungskurve klein gegen die Amplitude der Grundschwingung sind, ist in erster Näherung auch der Effektivwert der elektromotorischen Kraft E proportional der Fahrradgeschwindigkeit v:

$$E = B\omega = ABv \tag{V.5}$$

Aus Gl. (V.1) bis (V.5) folgt nun:

$$ABv = I\sqrt{(R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i})^2 + A^2 v^2 L^2} \tag{V.6}$$

Wenn U die vom Dynamo abgegebene und an $R = 12\,\Omega$ gemessene Spannung ist, dann gilt:

$$U = IR_\mathrm{a} \tag{V.7}$$

Eliminiert man I aus Gl. (V.6) und (V.7), so ergibt sich:

$$U = \frac{ABvR_\mathrm{a}}{\sqrt{(R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i})^2 + A^2 v^2 L^2}} \tag{V.8}$$

Solange im Eisen keine Sättigung eintritt, ist B direkt proportional der Windungszahl w, weil die gleiche zeitliche Flußänderung in w Windungen die w-fache Spannung einer Windung induziert; ferner ist die Induktivität L proportional w, also gilt mit den Proportionalitätsfaktoren b und l:

$$B = wb; L = wl \tag{V.9}$$

Mit Gl. (V.8) und (V.9) erhält man den Effektivwert der vom Dynamo abgegebenen Spannung U am Widerstand R_a, abhängig von der Geschwindigkeit v und von den den Dynamo kennzeichnenden elektrischen und mechanischen Größen:

$$U = \frac{AwbR_a v}{\sqrt{(R_a + R_i)^2 + A^2 w^4 l^2 v^2}} \tag{V.10}$$

Bemessung von Fahrraddynamos

Die in Gl. (V.10) enthaltene Größe b ist ein Maß für die Induktion des Läufers; in b sind die Induktion und die Länge des Läufers enthalten. l ist wegen Gl. (V.9) ein von der Windungszahl unabhängiges Maß für den induktiven Widerstand ωL. Bei hohen Fahrradgeschwindigkeiten kann im Nenner von Gl. (V.10) das Glied $(R_a + R_i)^2$ gegen das Glied $A^2 w^4 l^2 v^2$ vernachlässigt werden; es gilt also:

$$\lim_{v=\infty} U = \frac{AwbR_a v}{\sqrt{A^2 w^4 l^2 v^2}} = \frac{bR_a}{lw} \tag{V.11}$$

Bei hohen Geschwindigkeiten (z.B. $v = 30\,\mathrm{km/h}$) soll die Spannung U gemäß den Prüfbedingungen den Wert 7 V nicht überschreiten, möglichst aber bereits erreichen. Daher muß w so gewählt werden, daß sich bei $v = 30\,\mathrm{km/h}$ aus Gl. (V.10) $U = 7\,\mathrm{V}$ ergibt, bzw. daß nach Gl. (V.11) U etwas über 7 V liegt. Dieser sich aus Gl. (V.11) ergebende Wert soll möglichst auch bei kleinen Geschwindigkeiten schon erreicht werden. Dies bedingt einen mit der Geschwindigkeit steilen Anstieg von U nach Gl. (V.10) bei geringen Geschwindigkeiten, d.h.:

$$\left(\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}v}\right)_{v=0} = \frac{AwbR_a}{R_a + R_i} \tag{V.12}$$

Aus Gl. (V.12) folgt, daß w und b möglichst groß, R_i möglichst klein sein sollen, damit man ein rasches Ansteigen von U bei kleinen Geschwindigkeiten erhält. Wegen Gl. (V.11) ist mit b auch w bestimmt. Eine weitere Vergrößerung von w ist dann nur bei gleichzeitiger Vergrößerung von b sinnvoll. Man muß also entweder die Länge des Läufers vergrößern. oder ein besserer magnetischer Werkstoff muß gewählt werden. Ein größerer Anstieg der Kennlinie (Spannung U, abhängig von der Geschwindigkeit v) bei kleinen Geschwindigkeiten ist auch durch Vergrößerung der Polzahl erreichbar, da wegen

Gl. (V.4) die Beziehung nach Gl. (V.12) proportional p ist. Die Steilheit der Kennlinie nach Gl. (V.12) ist wegen Gl. (V.4) auch umgekehrt proportional zu d. Eine Verkleinerung des Durchmessers des Antriebsrädchens bewirkt also ebenfalls einen steileren Anstieg der Kennlinie bei kleinen Geschwindigkeiten.

Bestimmung der verschiedenen Konstanten

Um die in Gl. (V.10) vorkommenden Konstanten zu erhalten, ist es notwendig, mit dem betreffenden Dynamosystem die Funktion $U(v)$ möglichst genau aufzunehmen. Dazu muß die vom Dynamo abgegebene Spannung U am Widerstand R_a bei verschiedenen Geschwindigkeiten v gemessen werden. Dann sind der ohmsche Widerstand der Wicklung R_i zu messen und die Windungszahl w zu bestimmen. Ist p die Polpaarzahl des Läufers und d der Durchmesser des Antriebsrädchens, so ergibt sich A aus Gl. (V.4); aus Gl. (V.12) erhält man b zu:

$$b = \left(\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}v}\right)_{v=0} \frac{R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i}}{AwR_\mathrm{a}} \tag{V.13}$$

wobei das erste Glied auf der rechten Seite von Gl. (V.13) die Steilheit der Kurve $U(v)$ an der Stelle $v = 0$ ist und in Vh/km gemessen wird.

Aus Gl. (V.10) ergibt sich für l_2, wobei l zweckmäßig in Vh/A anzusetzen ist, die Beziehung:

$$l^2 = \frac{b^2 R_\mathrm{a}^2}{w^2 U_1^2} - \frac{(R_\mathrm{a} + R_\mathrm{i})^2}{w^4 v_1^2 A^2} \tag{V.14}$$

wobei die Werte von A, b, w, R_a, R_i wie vorher angegeben, anzusetzen sind und U_1, die bei einer bestimmten Geschwindigkeit v_1 gemessene Spannung am Widerstand R_a ist. Nunmehr sind alle Kenngrößen von Gl. (V.10) bestimmt, und $U = f(v)$ nach dieser Beziehung muß mit der aus der Messung sich ergebenden Kennlinie möglichst gut übereinstimmen. Aus Gl. (V.10), (V.11) und (V.12) ist der Einfluß der verschiedenen Größen auf die Kennlinie des Dynamos zu erkennen. Durch Veränderung einzelner dieser Größen gemäß vorherigem Abschnitt lassen sich unter Umständen die Eigenschaften des Dynamos erheblich verbessern.

Tabelle V.1: Kenngrößen von Fahrraddynamos

1	2	3	4	5
		Werkstoff des Läufers		
Kenngröße	Maßeinheit	Stahl	Ferroxdure	
			Qualität 1	Qualität 2
w	-	220	220	280
R_i	Ω	2,15	2,15	2,80
p	-	8	8	8
d	mm	22	22	22
A	km^{-1}	101	101	101
$\left(\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}v}\right)_{v=0}$	Vhkm^{-1}	0,8	0,8	1,2
b	Vh	$42{,}5 \cdot 10^{-6}$	$42{,}5 \cdot 10^{-6}$	$52{,}1 \cdot 10^{-6}$
$U(v = 30\,\mathrm{km/h})$	V	6,15	6,90	6,85
l^2	$(\mathrm{VhA}^{-1})^2$	$0{,}140 \cdot 10^{-12}$	$0{,}103 \cdot 10^{-12}$	$0{,}106 \cdot 10^{-12}$
$\lim_{v\to\infty} U$	V	6,20	7,20	6,85
R_a	Ω	12	12	12

Vergleich der Kennlinien von Dynamos mit verschiedenen magnetischen Werkstoffen des Läufers

Zunächst sei ein Dynamo mit Stahlläufer betrachtet: Seine Kennlinie soll am Anfang steil ansteigen, ohne jedoch bei Geschwindigkeiten bis zu 30 km/h den Grenzwert von 7 V überschreiten. Die vom Dynamo erzeugte Spannung an $R_i = 12\,\Omega$ wurde abhängig von der Geschwindigkeit gemessen. Die Meßergebnisse sind in Bild V.3, Kurve 1 eingetragen. Mit einer Widerstandsmeßbrücke wurde der Widerstand der Wicklung zu $R = 2{,}15\,\Omega$ gemessen. Der Ständer war mit $w = 220$ Windungen bewickelt, der Läufer hatte $p = 4$ Polpaare, der Durchmesser des Antriebsrädchens war $d = 22\,\mathrm{mm}$; aus Gl. (V.4) erhält man damit $A = 101\,\mathrm{km/h}$. Der Anstieg der gemessenen Spannung U an der Stelle $v = 0$ ergibt sich aus Bild V.3, Kurve 3, zu 0,80 Vh/km. Damit erhält man aus Gl. (V.13) $b = 42{,}5 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Vh}$. Bei $v = 30\,\mathrm{km/h}$ ergibt sich aus Bild 3, Kurve 1, $U = 6{,}15\,\mathrm{V}$. Aus Gl. (V.4) folgt hiermit $l^2 = 0{,}140 \cdot 10^{-12}\,(\mathrm{Vh/A})^2$. Diese Größen sind in Tafel 1, Spalte 3, zusammengestellt. Mit diesen Werten ergibt sich ein theoretischer Kurvenverlauf $U(v)$ nach Gl. (V.10), wie er in Bild V.3, Kurve 2 dargestellt ist. Bei $v = 0$ und $v = 30\,\mathrm{km/h}$ müssen sich die Kurven 1 und 2 definitionsgemäß decken. Aus Bild V.3 ist zu ersehen, daß der theoretische Verlauf von U, abhängig von v, aber auch im gesamten Geschwindigkeitsbereich nicht mehr als 3 % von dem gemessenen Verlauf abweicht.

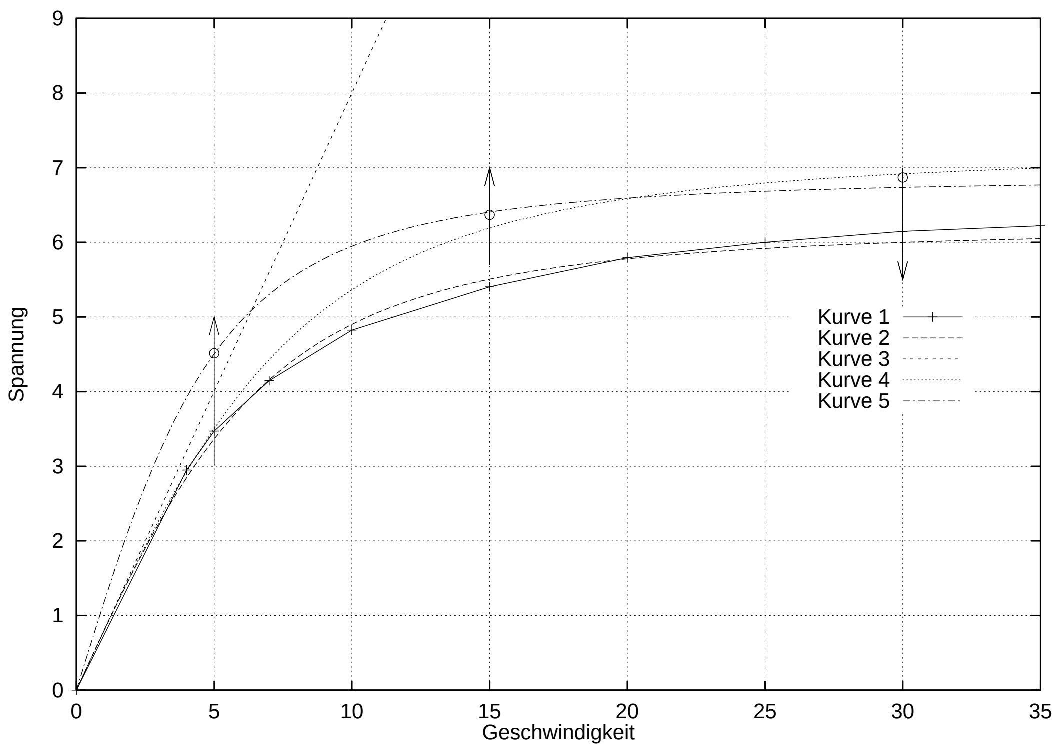


Bild V.3: Spannung U eines Fahrraddynamos, abhängig von der Geschwindigkeit v. Die Kurven 1 bis 3 beziehen sich auf Stahlläufer, die Kurven 4 und 5 auf Ferroxdure-Läufer; Meßwerte sind durch Kreise gekennzeichnet.
Kurve 1: Am Widerstand R_a gemessen
Kurve 2: Aus Gl. (V.10) mit Werten nach Tafel V.1, Spalte 3, berechnet
Kurve 3: Anfangssteigung bei $v = 0$
Kurve 4: Aus Gl. (V.10) errechnet mit Werten nach Tafel V.1, Spalte 4
Kurve 5: Aus Gl. (V.10) errechnet mit Werten nach Tafel V.1, Spalte 5
Die in den Prüfbedingungen geforderten kleinsten bzw. größten Spannungen sind durch Pfeile gekennzeichnet.

Nach Gl. (V.11) ist 6,2 V der Grenzwert, den U für $v \to \infty$ annimmt. Wegen dieses Endwertes wird bei 30 km/h erst 6,15 V und bei 15 km,h erst 5,4 V erreicht; die Prüfbedingungen werden also knapp unterschritten. Weil in Gl. (V.11) A im Nenner steht, wurde eine Vergrößerung der Windungszahl w bei höheren Geschwindigkeiten zu noch niedrigeren Spannungen führen, obgleich anfangs die Kurve wegen Gl. (V.12) steiler ansteigen wird.

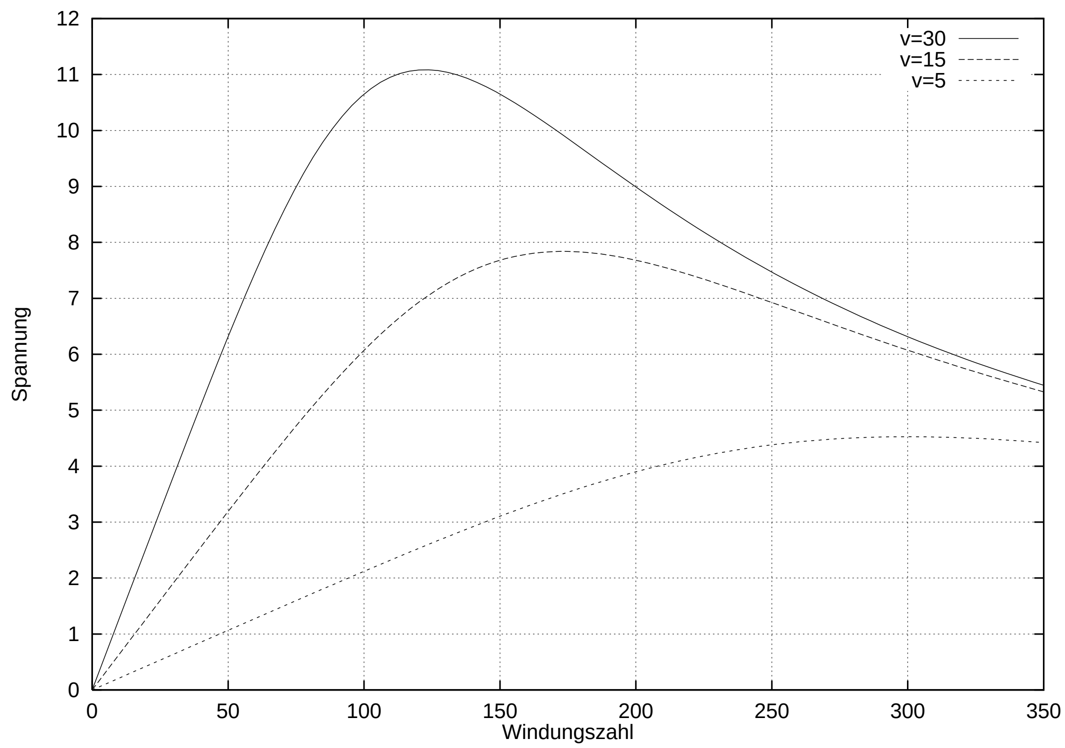


Bild V.4: Spannung U eines Fahrraddynamos mit Ferroxdure-Läufer, abhängig von der Windungszahl w für verschiedene Geschwindigkeiten v.

Wird der eben beschriebene Dynamo mit einem Ferroxdure-Läufer mit gleichem Wert b bestückt, so ergibt sich als Kennlinie die Kurve 4 in Bild V.3. Man erhält weiter die Kennwerte in Tabelle V.1, Spalte 4. Der Wert l wird wegen der geringeren Permeabilität des Ferroxdure-Werkstoffes kleiner als beim Dynamo mit Stahlläufer. Daraus folgt bei gleicher Anfangssteigung der Kennlinie ein späteres Sinken, also ergeben sich höhere Spannungswerte bei den höheren Geschwindigkeiten. Mit einem Dynamo aus diesem Werkstoff werden jetzt die Prüfbedingungen gut erfüllt.

Durch Verwenden eines noch besseren Ferroxdure-Werkstoffes ist es jedoch möglich, bei dem untersuchten Dynamo den Wert b auf $52{,}1 \cdot 10^{-6}$Vh anzuheben. Da in diesem Fall l wegen des gleichen Wertes der Permeabilität verändert wird, muß die Windungszahl $w = 280$ betragen, damit Gl. (V.11) mit $U = 7\,\mathrm{V}$ erfüllt wird. Bei gleicher Drahtdicke wird dann auch R_i geändert. In Bild V.4 sind für einen Dynamo mit den Kenngrößen nach Tabelle V.1, Spalte 5, die Spannung bei verschiedenen Geschwindigkeiten abhängig von der Windungszahl aufgetragen. Die sich hiernach aus einer Windungszahl von $w = 280$ ergebenden weiteren Kenngrößen sind in Tabelle V.1, Spalte 5, angegeben. Kurve 5 in Bild V.3 gibt die mit diesen Werten berechnete theoretische Kennlinie $U = f(v)$ wieder. Ein so bemessener Dynamo erfüllt die Prüfbedingungen sehr gut.

Um das eben mitgeteilte Rechenergebnis nachzuprüfen, hat man auf die Wicklung des vorhandenen

Dynamos noch 60 Windungen aufgewickelt, so daß sich $w = (220 + 60) = 280$ ergab. Dann wurde ein Ferroxdure-Läufer mit solchen magnetischen Werten eingesetzt, daß b den Wert $52{,}1 \cdot 10^{-6}$Vh annahm. Mit diesem Dynamo wurden die in Bild V.3 durch Kreise gekennzeichneten Meßpunkte ermittelt; sie weichen von den Werten nach Kurve 5 nur wenig ab.

Zusammenfassung

An Hand des Beispieles von Fahrraddynamos werden die wichtigsten Kenngrößen von Kleinstgeneratoren mit permanentmagnetischem Läufer untersucht. Dabei kommt es besonders auf die Werte an, die für die Kennlinie, d.h. die Abhängigkeit der abgegebenen Spannung von der Drehzahl maßgebend sind. Durch Wahl neuzeitlicher keramischer Magnetwerkstoffe an Stelle von Stahl für den Läufer lassen sich die Eigenschaften der Dynamos, besonders die Kennlinie, verbessern. Die Ergebnisse der Messung werden mit denen der Berechnung verglichen und in guter Übereinstimmung gefunden.

Anhang W

Steckverbindungen

Damit nicht alle die Fehler des Autors wiederholen. An Steckverbindungen am Fahrrad sind folgende Ansprüche zu stellen:

Korrosionsgeschützt: Salzwasser durch Streusalz bei gleichzeitiger Spannungsdifferenz hat verheerende Wirkungen auf elektrische Kontakte

Verpolungssicher: Bei der Fahrradelektrik nicht allzu wichtig, am Ladegerät oder bei gleichzeitigen Einsatz im Modellbau aber geldbeutelschonend

Kurzschlußsicher: Der Sinn der Kurzschlußsicherheit wird jedem einsichtig, dem schon mal in der Hosentasche eine Münze oder Schlüssel einen Akkupack kurzgeschlossen hat. Mit den über 70 A, die Hochleistungszellen dann liefern, ist eindeutig nicht zu Spaßen!

Zugentlastet: Gerade auf die Zugentlastung und den Kabelknickschutz ist großen Wert zu legen. Die bei Modellbaupack weit verbreiteten AMP-MateNLock/Tamiya-Stecker erfüllen beides nicht. Hier ist z.B. mit Schrumpfschlauchhüllen eine provisorische, nicht dauerhafte Abhilfe möglich.

Hier ist die Liste der vom Autor getesteten Steckverbindungen für die Stromversorgung am Fahrrad:

AMP-MateNLock/Tamiya: Ein, im Modellbau weit verbreitetes, zweipoliges, kurzschluß- und verpolungssicheres Steckersystem. Es ist weder wasserdicht noch -geschützt und die Kontakte biegen sich schnell auf, es folgen Wackelkontakte. Die Kontaktfedern korrodieren am Fahrrad spätestens im Winter.

Cinch: Das Steckersystem aus dem HiFi-Bereich. Gibt es auch in mehr oder minder vergoldet, verspricht korrosionsfest zu sein. Die gut vergoldeten kann man sich bloß nicht leisten, die anderen taugen mechanisch nichts.

BNC: Werden in der Meß- bzw. Vernetzungstechnik (10base2) verwendet. Es gibt vernickelte und versilberte Gehäuse; die Steckkontakte der Innenleiter sind i.d.R. vergoldet. Kurzschlußsicher, Abzugsicher, Handschuhbedienbar und Verpolungssicherheit sind gegeben. Bisher ist der zulässige Strom unbekannt. Nur mit Rundkabeln anwendungssicher einzusetzen.

Sub-D: Diese Stecker sind im Computerbereich weit verbreitet und zur Zeit Favorit des Autors. Das System ist skalierbar. Bei der neunpoligen Ausführung sind z.B. mit je 3 Plus und Minus der Batterie anschließbar, ein Mittenabgriff und zwei weitere Kontakte bleiben noch für ein Thermoelement zum Schnelladen des Akkupacks über. Die Stecker können pro Kontakt ca. 1 A ab und durch die Redundanz sollten sie zuverlässig sein. Der Preis ist niedrig, sie sind kurzschluß- und verpolungssicher. Die Steckergehäuse sind auch mit Fäustlingen bedienbar und ermöglichen Knickschutz und Zugentlastung.

Binder 719. . . : Diese (http://www.binder-connector.de) sind noch nicht von *mir* am Fahrrad getestet. AFAIK von Schmidt beim SON XS-M verwendet, bei jüngeren Versionen des GMC29s im Einsatz und von M. S. aus M. am Fahrrad im Einsatz. Die vierpoligen Typen können gut auf zwei Polen das Schmidtkabel aufnehmen, die Zugentlastung paßt beim Schmidt-Kabel hervorragend.

Es gibt sicher noch weitere Steckverbinder. Zum Beispiel gibt es von Hirschmann nette wasserdichte für „nur“ ca. 10 DM/Stecker bzw. Buchse, aber man soll’s ja nicht übertreiben.

Als Beispiel die Belegung eines Steckers für ein teilbares Fahrrad. Hier wird ein 15-poliger SUB-D Stecker verwendet, der wie in Bild W.1 wiedergegeben, verdrahtet wird.

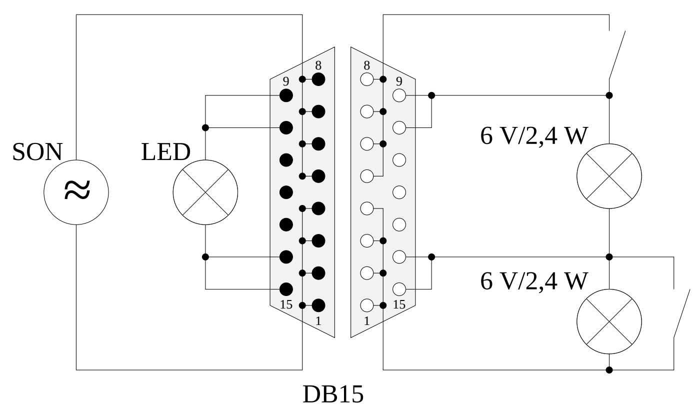


Bild W.1: Anschlußbelegung Flevo

Irgendwo muß ich es ja für mich dokumentieren:=)

Anhang X

Elektrolumineszenz

Neben den Leuchtdioden gibt es noch eine zweite Lichtquelle die nahezu kalt bleibt: Elektrolumineszenz-Folien. Das sind Plattenkondensatoren (typ. 9,3 pF/mm^2), deren Dielektrikum beim Anlegen einer Wechselspannung mit 1–2 cd/m^2 aufleuchtet.

Neuere Folien liefern bis zu 86 cd/m^2 bei 100V/0,09 mA/cm^2 (MRC, Tel. 08166-684400). Aber selbst mit dieser hellen Leuchtdichte braucht man bei den mind. 2,5 cd laut TA 14b für das Rücklicht ca. 0,03 m^2, also ein mit z.B. 10 cm$\times$30 cm relativ große Fläche bei ca. 26 mA@100 V=2,6 W. Dieser Leistungsbedarf ist inakzeptabel groß. Vielleicht läßt sich analog zu den Meßergebnissen der weißen LEDs mit verringerter Leistung die Lichtausbeute steigern, aber damit wird die Fläche schnell sehr groß.

Laut [He94] liegt das theoretische Maximum bei ca. 6 lm/W. Typisch werden U_{SS} $\approx$100–400 V bei 200–350 Hz verwendet. Es muß eine Wechselspannung sein, da bei Gleichspannung das Elektrolyt degeneriert! Es gibt mehrere Möglichkeiten, diese Hochspannung am Fahrrad zu erzeugen.

Die Leuchtstoffe weisen in der Regel eine grün-cyan Lumineszenzfarbe auf, das deutet auf CdS oder kupferaktiviertes Zinksulfid als Elektrolyt hin. Es gibt aber auch rote und blaue Leuchtstoffe. Das wäre für Rücklichter zumindest eine Überlegung wert. Der physikalische Effekt der Elektrolumineszenz ist mit der Photolumineszenz vergleichbar [Hä68], welche bei Leuchtstoffröhren verwendet wird.

Übertragerschaltung

Eine Variante (Sperrwandler?) ist in Bild X.1 aufgezeigt.

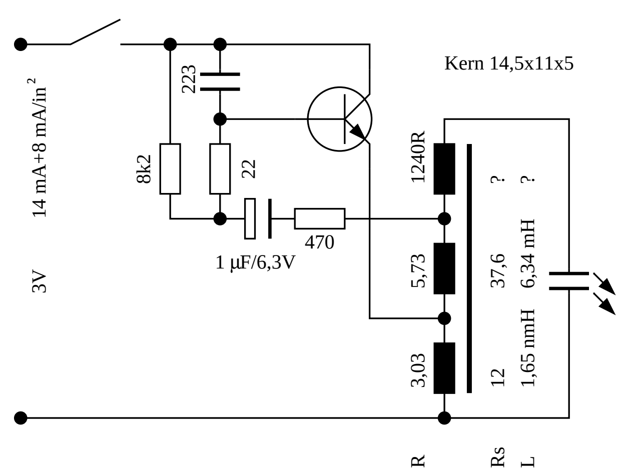


Bild X.1: Ansteuerung Elektrolumineszenz (Variante 1)

Die Schaltung hat der Autor aus einem Blinklicht mit 0,5 Hz (dann allerdings mit 220 µF anstatt 1 µF), das er beim Elektronikhändler mit einer 36×52 mm großen Folie erstanden hat. Der Trafokern hat eine Abmessung von 14,5×11×5 mm. Der Trafo hat leider nicht das Nachverfolgen der Anschlußbelegung überstanden, ein Drähtchen der Hochspannungswicklung ist abgerissen und nicht wieder auffindbar.

Schaltreglerschaltung

Eine andere Variante baut auf einem Schaltwandler auf. Hier bietet sich z.B. der SP4424A von Sipex (`www.sipex.com`) an. Mit noch nicht einmal einer Handvoll weiterer Bauelemente kriegt man die Schaltung komplettiert. Es gibt aber noch andere Hersteller/Vertreiber solcher Steuerchips (Novatech/MRC, Linear Technology. . .), z.B. www.durel.com, www.lightec.com, www.limate.com/1/01/001.htm, www.lcd-module.de. www.impweb.com etc. Der SP4424A liefert aus 2,2–5 V Gleichspannung bis zu U_{SS}=400 V. Der Standbystrom liegt bei nur 50 nA. Allerdings ist es schwierig, an diesen Schaltregler in kleinen Stückzahlen heranzukommen. Da nützt einem der Preis von nur 0,95 $/Stk bei 25 kStk auch nichts! Aber zumindest werden auf Anfrage Muster von Sipex verschickt.

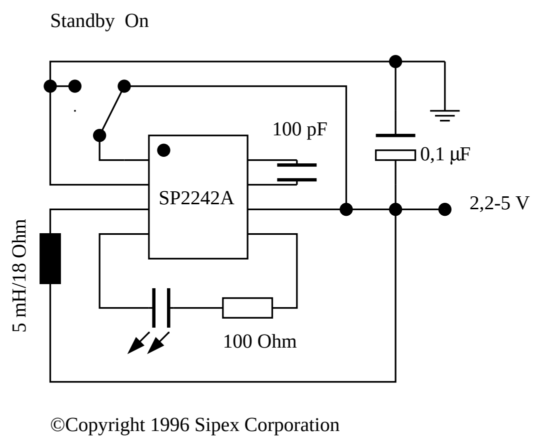


Bild X.2: Ansteuerung Elektrolumineszenz (Variante 2)

Der SP4424ACN ist das kleinste Bauteil an der Schaltung. Die gesamte Schaltung ist als Drahtigel locker in einem Bauraum von $8 \times 8 \times 14\,\mathrm{mm}^3$ unterzukriegen. Sollte es auch, denn die Anschlüsse sollen aus EMV-Gründen so kurz wie möglich gehalten werden. Die Spule hat der Autor aus dem BC1200 ausgebaut: Der fette „Widerstand“ mit $1\,\mathrm{k\Omega}$ ist in Wahrheit eine Spule mit 1 mH![1] Vergleichbare Spulen haben nach Katalogangaben Gütefaktoren von $Q = 40 \ldots 50$ bei einem $R_{\mathrm{DC}} = 30\,\Omega$. Mit anderen Worten: Bei den beleuchteten Sigmas sollte auch ein Sipex 442X eingebaut sein, bloß leider als *Die* und vergossen.

Nachtrag Oktober 2003

Dank der Nachfrage der Case-Modder werden EL-Kabel und -Treiber inzwischen preiswert auf dem Markt angeboten. Das Bikeclothmodding kann beginnen:=) Hier werden 2,3 mm-Kabel und Treiber von www.el-kabel.de näher betrachtet. Allerdings Vorsicht bei den Kabeln, allzuviel Biegewechsel dürften die massiven Zentralleiter mit einem Durchmesser von ca. 0,4 mm nicht aushalten. Also nicht über Hüft- und Kniegelenke hinwegführen.

Die untersuchten Treiber verwenden ähnlich Bild X.1 aufgebaute Schaltungen. Der IT-9372 ist ähnlich, wird hier aber nicht in allen Punkten mit vermessen.

Ergänzend wird der SP4424A nocheinmal mitvermessen. Allerdings ist er bei diesen EL-Kabeln nicht ausreichend, bei Tageslicht ist das glimmen der Kabel kaum erkennbar. Dafür fallen aber Pfeiffgeräusch, Bauvolumen und hoher Stromverbrauch weg.

[1] Die Basiseinheit der Farbkodierung von Spulen in Widerstandsbauform ist 1 µH.

Tabelle X.1: Leistungsaufnahme von EL-Treibern (2,3 mm dicke Schnur)

Treiber		Schnurlänge [m]		
		1	2	4
	Farbe	grün	gelb	orange
	U	I	I	I
	[V]	[mA]	[mA]	[mA]
IM-4	3	0,153	0,177	0,189
IT-9372	6	0,155	0,177	0,205
L8F08	6	0,171	0,221	0,288
SP4424A	3	0,048		
SP4424A	5	0,079		

Der L8F08 kann alternativ noch durch eine externe Quelle von 9 V betrieben werden. Eingebaut ist ein 7805, der als Längsregler die externe Quelle entsprechend runterregelt, der Wirkungsgrad verschlechtert sich also entsptrechend.

In der großen Ulbrichtkugel werden die Kabel als Torus/Donut mit ca. 6 cm Ringradius möglichst zentral aufgehängt und die Lichtströme am IM-4 und am L8F08 vermessen. Bis auf das weiße Kabel strahlt bei allen Kabeln die eigentliche EL-Schicht bläulich und wird erst durch Floureszenz und Filterung der Hülle in die entsprechende Farbe umgewandelt.

Tabelle X.2: Lichtströme von EL-Kabeln ($C_K = 0{,}176$)

Kabel		IM-4				L8F08						IT9372		
	$U =$	3 V		3,1 V		5,9 V		6 V		6,1 V		5,9 V	6 V	6,1 V
		I	Φ	I	Φ	I	Φ	I	Φ	I	Φ			
	l [m]	[A]	[lm]	[A]	[lm]	[A]	[lm]	[A]	[lm]	[A]	[lm]	[A]	[A]	[A]
grün	1											0,152	0,155	0,159
grün	2	0,181	0,62	0,188	0,66	0,267	2,16	0,216	2,24	0,223	2,31			
gelb	2	0,187	1,21	0,181	1,14	0,213	3,85	0,221	3,98	0,231	4,12	0,2	0,205	0,21
weiß	4	0,184	0,41	0,196	0,46	0,245	1,99	0,254	2,06	0,265	2,11			
orange	4	0,198	0,77	0,2	0,84	0,277	4,44	0,288	4,58	0,299	4,7	0,172	0,177	0,182
rot	2	0,187	0,4	0,188	0,41	0,211	1,67	0,218	1,2	0,225	1,23			

Tagesichtbarkeit: Kaum, Nachtsichtbarkeit: Mag gut gehen, ist nach StVZO am Fahrrad aber verboten. Bei den Leistungsaufnahmen aber auch nicht als Kleidungszuberhör zu empfehlen. Könnte im Winter bei ungenügender Isolierung aber ein prickelndes Erlebnis werden:=)

Anhang Y

Wire Gauge

Die Angabe *Gauge* wird häufig verwendet, ist aber selten in gedruckten (deutschsprachigen) Werken zu finden. Dem soll mit einer Gegenüberstellung von *Wire Gauge*s abgeholfen werden. Im Zeitalter des Internets sind mehrere Ausführungen auf diversen Web-Seiten vorhanden. Hiermit werden dann auch diejenigen endlich glücklich, die aus der Anleitung des Speichenspannungsmeßgerätes von *Hozan* nicht schlau werden, da dort der Speichendurchmesser in Gauges (ja, welche denn? Es scheint die Washburn&Moen zu sein) angegeben ist.

Gauge ist eine alte Angabe, die heute immer noch verwendet wird. Sie wurde früher unterschiedlich definiert; je nachdem, welcher „Nagel“ für die Drahtherstellung verwendet wurde, um eine ASTM-Schrift, die sich mit Einheiten und deren Definitionen beschäftigt, zu zitieren. Alleine für Drähte sind mehr als einundzwanzig verschiedene Gauges definiert:

B.&S.: *Brown and Sharpe Wire Gauge*. Wird für Drähte aus Kupfer (nicht Telefonkabel) und Bronze, Phosphor Bronze, Silber, Aluminium, Zinc … verwendet

AWG: Die ***A****merican (Standard)* ***W****ire* ***G****auge* ist mit der B.&S. identisch. Sie wird vorwiegend bei Elektrokabeln verwendet. Nach http://www.unc.edu/~Erowlett/units/dictG.html hat ein Draht von 0 AWG einen Durchmesser von 8,255 mm; eine Reduzierung des Drahtdurchmessers um ca. 11 % erhöht die Gauge-Nummer um 1. Dickere Drähte als 0 werden mit 00, 000… benannt; häufig wird anstatt 00 auch 0A… geschrieben. Ein Einstieg mag die EN2083 sein.

B.W.G.: Birmingham or Stubs Wire Gauge

Washburn&Moen: Mfg. Co, Worchester, Massachutches. Diese Angabe wird von vielen nordamerikanischen Drahtwebern verwendet und wird auch als *Steel Wire Gauge* bezeichnet. Die *Roebling-Gauge* ist identisch.

Trenton Iron Co, Trenton, New Jersey

G.W.Prentiss, Holyoke, Massachutches

Old English Brass Manufactures' List

S.W.G., *Britisch Standard Wire Gauge* oder *Imperial Wire Gauge*. Sie wird noch von europäischen Drahtwebern verwendet.

Stub's Steel Wire. Diese ist nicht in der Tabelle Y.1 aufgeführt. Der Durchmesserbereich geht von 0,227 ″ (Stubs 1) bis 0,013 ″ (Stubs 80) siehe [MH42]

Paris Gauge. Diese ist nicht in der Tabelle Y.1 aufgeführt. Der Durchmesserbereich geht von 0,02 ″ (Paris 0) bis 0,0394 (Paris 30)

U.S.G. *United States Standard Gauge*. Diese ist nicht in der Tabelle Y.1 aufgeführt. Der Durchmesserbereich geht von 0,312 ″ (U.S.G. 0) bis 0,0062 ″ (U.S.G. 38)

Westphalia Gauge : Dieser ist nicht in der Tabelle Y.1 aufgeführt. Der Durchmesserbereich geht von 0,6 mm (W.G. 0), 0,68, 0,76. . . , 8,8, 9,4, 10 mm (W.G. 29)

Music Wire Gauges (M.W.G.) werden u. a. von amerikanischen Drahtherstellern (siehe Washburn) verwendet. Sie sind gegenläufig zu den obigen den obigen definiert! Aufgeführt wird (vorerst) nur die der American Steel&Wire Co.. Weitere acht unterschiedliche (American Screw&Wire Co, Roebling&Trenton Iron Co., Wright Wire Co., Poehlmann Music Wire, Felten&Guilmore, Allhoff&Müller, W. N. Brunton Music Wire und English Music Wire) sind z.B. auf Seite 429 in [MH42] zu finden.

Alles klar? Fast wie in Deutschland zu den Zeiten der Elle! Heute wird vorwiegend die AWG verwendet. Aber um die Verwirrung komplett zu machen: Gauge wurde bzw. wird auch noch für folgende Maßangaben werwendet:

den Innendurchmesser von Gewehrläufen: Die Gauge-Nummer des Laufes entspricht dem Durchmesser einer Bleikugel von $1/i$ pound. Für kleinere Rohrdurchmesser wird meist der Laufdurchmesser in Inches direkt angegeben.

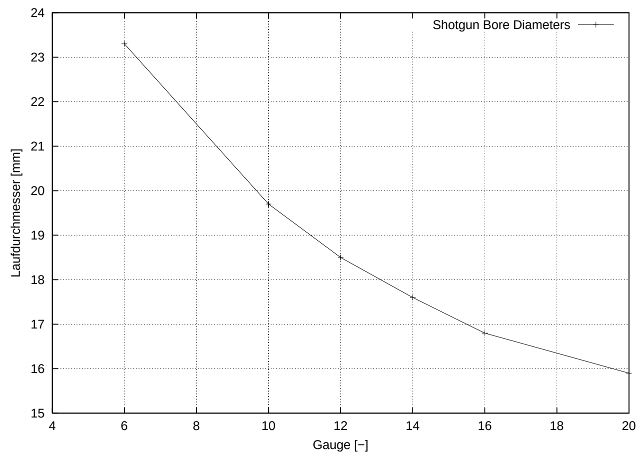


Bild Y.1: Laufdurchmesser

die Feinheit von Strickgarnen: Die Anzahl der Windungen bzw. Stricknadeln, die eine Breite von 38,1 mm aufweisen.

die Dicke von Blechplatten: Ausgehend von einer Blechdicke von 3,416 mm mit 10 Gauge erhöht sich bei einer Reduzierung der Dicke um 10 % die Gauge-Nummer um 1. Aber ganz so einfach läuft das dann doch nicht, wie die Daten von Rowlett angeben:

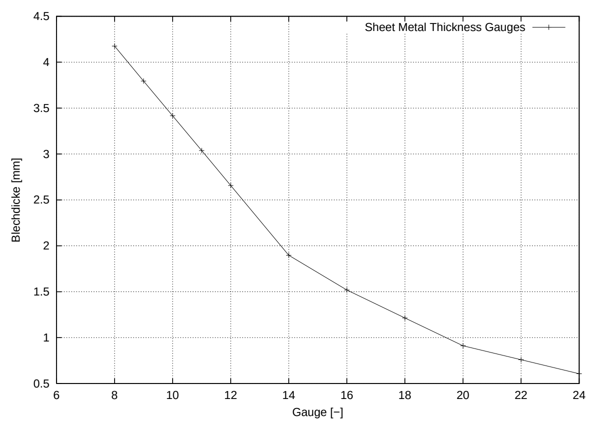


Bild Y.2: Blechdicke über Gauge

Also doch nichts mit „einfach rechnen“.

Obige Angaben stammen u.A. von www.unc.edu/~rowlett/units/dictG.html.

Die oben aufgeführten *Wire Gauges* werden zudem auch noch für Blechplatten verwendet.

Die Tabelle Y.1 ist im Wesentlichen [Gr21] entnommen und um metrische Einheiten erweitert.[1] Die Angaben zu den Litzen (Einzelleiter=1 oder Anzahl/Litze) stammen von *Alpha Wire International*; einige Drahtstärken, besonders die über 42 Gauge, sind von *Screen Technology* (www.wovenwire.com. Weitere Angaben (Paris, U.S.G. W.G) enstammen [We61].

Tabelle Y.1: Gegenüberstellung der *Gauge*-Angaben unter Angabe des Drahtdurchmessers

Gauge			Litzen-	AWG/B.&S.		B.W.G.	Wash	Trenton	G.W.P.	Old E.	S.W.G.	M.W.G.
		i	aufbau	["]	[mm]	["]	["]	["]	["]	["]	["]	["]
0000000	7/0	-6	1	–	–	–	0,49	–	–	–	0,5	
000000	6/0	-5	1	0,58	14,732	–	0,46	–	–	–	0,464	0,004
00000	5/0	-4	1	0,5165	13,119	0,5	0,43	0,45	–	–	0,432	0,005
0000	4/0	-3	1	0,46	11,684	0,454	0,393	0,4	–	–	0,4	0,006
0000	4/0	-3	427/23	0,522	13,259							
0000	4/0	-3	259/21	0,522	13,259							
000	3/0	-2	1	0,40964	10,404	0,425	0,362	0,36	0,3586	–	0,372	0,007
000	3/0	-2	427/24	0,464	11,786							
000	3/0	-2	259/22	0,464	11,786							
00	2/0	-1	1	0,3648	9,266	0,38	0,331	0,33	0,3282	–	0,348	0,008
00	2/0	-1	259/23	0,414	10,516							
00	2/0	-1	133/20	0,414	10,516							
0	1/0	0	1	0,32486	8,251	0,34	0,307	0,305	0,2994	–	0,324	0,009
0	1/0	0	259/24	0,368	9,347							
0	1/0	0	133/21	0,368	9,347							
1	1	1	1	0,2893	7,348	0,3	0,283	0,285	0,2777	–	0,3	0,01
1	1	1	2109/34	0,328	8,331							
1	1	1	817/30	0,328	8,331							
1	1	1	259/25	0,328	8,331							
1	1	1	133/22	0,328	8,331							
2	2	2	1	0,25763	6,544	0,284	0,263	0,265	0,2591	–	0,276	0,011
2	2	2	2646/36	0,292	7,417							
2	2	2	665/30	0,292	7,417							
2	2	2	259/26	0,292	7,417							
2	2	2	133/23	0,292	7,417							
3	3	3	1	0,22942	5,827	0,259	0,244	0,245	0,2401	–	0,252	0,012
4	4	4	1	0,20431	5,189	0,238	0,225	0,225	0,223	–	0,232	0,013
4	4	4	1666/36	0,232	5,898							
4	4	4	259/27	0,232	5,898							
4	4	4	133/25	0,232	5,898							

Weiter auf der nächsten Seite

[1] Bei Bücherflohmärkten und in Antiquariaten werde ich immer schwach, in diesem Fall am 22.12.1999 in Jackson/Kalifornien. Daher die alten Quellenangaben.

Gauge			Litzena.	AWG		B.W.G.	Wash.	Trenton	G.W.P.	Old E.	S.W.G.	M.W.G.
5	5	5	1	0,18194	4,621	0,22	0,207	0,205	0,2047	–	0,212	0,015
6	6	6	1	0,16202	4,115	0,203	0,192	0,19	0,1885	–	0,192	0,016
6	6	6	1050/36	0,184	4,674							
6	6	6	259/30	0,184	4,674							
6	6	6	133/27	0,184	4,674							
7	7	7	1	0,14428	3,665	0,18	0,177	0,175	0,1758	–	0,176	0,018
8	8	8	1	0,12849	3,264	0,165	0,162	0,16	0,1605	–	0,16	0,02
8	8	8	655/36	0,147	3,734							
8	8	8	133/29	0,147	3,734							
8	8	8	49/25	0,147	3,734							
9	9	9	1	0,11443	2,907	0,148	0,148	0,145	0,1471	–	0,144	0,022
10	10	10	1	0,10189	2,588	0,134	0,135	0,13	0,1351	–	0,128	0,024
10	10	10	105/30	0,116	2,946							
10	10	10	49/27	0,116	2,946							
10	10	10	37/26	0,115	2,921							
11	11	11	1	0,090742	2,305	0,12	0,120	0,1175	0,1205	–	0,116	0,026
12	12	12	1	0,080808	2,053	0,109	0,105	0,105	0,1065	–	0,104	0,029
12	12	12	165/34	0,095	2,413							
12	12	12	65/30	0,095	2,413							
12	12	12	19/25	0,093	2,369							
12	12	12	7/20	0,096	2,438							
13	13	13	1	0,071961	1,828	0,095	0,092	0,0925	0,0928	–	0,092	0,031
14	14	14	1	0,064084	1,628	0,083	0,08	0,08	0,0816	0,083	0,08	0,033
14	14	14	105/34	0,073	1,854							
14	14	14	41/30	0,073	1,854							
14	14	14	19/27	0,073	1,854							
14	14	14	7/22	0,073	1,854							
15	15	15	1	0,057086	1,45	0,072	0,072	0,07	0,0726	0,072	0,072	0,035
16	16	16	1	0,05082	1,291	0,065	0,063	0,061	0,0627	0,065	0,064	0,037
16	16	16	105/36	0,059	1,499							
16	16	16	19/29	0,058	1,473							
16	16	16	26/30	0,059	1,499							
16	16	16	65/34	0,059	1,499							
16	16	16	7/24	0,060	1,524							
17	17	17	1	0,045257	1,15	0,058	0,054	0,0525	0,0546	0,058	0,056	0,039
18	18	18	1	0,040303	1,024	0,049	0,047	0,045	0,0478	0,049	0,048	0,041
18	18	18	65/36	0,047	1,194							
18	18	18	41/34	0,047	1,194							
18	18	18	19/30	0,049	1,245							
18	18	18	16/30	0,047	1,194							

Weiter auf der nächsten Seite

Gauge			Litzena.	AWG		B.W.G.	Wash.	Trenton	G.W.P.	Old E.	S.W.G.	M.W.G.
18	18	18	7/26	0,048	1,219							
19	19	19	1	0,03589	0,912	0,042	0,041	0,04	0,0411	0,04	0,04	0,043
20	20	20	1	0,031961	0,812	0,035	0,035	0,035	0,0351	0,035	0,036	0,045
20	20	20	41/36	0,036	0,914							
20	20	20	26/34	0,036	0,914							
20	20	20	19/32	0,037	0,940							
20	20	20	10/30	0,035	0,889							
20	20	20	7/28	0,038	0,965							
21	21	21	1	0,028462	0,723	0,032	0,032	0,031	0,0321	0,0315	0,032	0,047
22	22	22	1	0,025347	0,644	0,028	0,028	0,028	0,029	0,0295	0,028	0,049
22	22	22	26/36	0,030	0,762							
22	22	22	19/34	0,031	0,787							
22	22	22	7/30	0,030	0,762							
23	23	23	1	0,022571	0,573	0,025	0,025	0,025	0,0261	0,027	0,024	0,051
24	24	24	1	0,0201	0,511	0,022	0,023	0,0225	0,0231	0,025	0,022	0,055
24	24	24	41/40	0,023	0,582							
24	24	24	19/36	0,024	0,610							
24	24	24	10/34	0,023	0,582							
24	24	24	7/32	0,024	0,610							
25	25	25	1	0,0179	0,455	0,020	0,02	0,02	0,0212	0,023	0,02	0,059
26	26	26	1	0,015940	0,405	0,018	0,018	0,018	0,0194	0,0205	0,018	0,063
26	26	26	7/34	0,019	0,483							
26	26	26	19/38	0,020	0,508							
26	26	26	10/36	0,021	0,533							
27	27	27	1	0,014195	0,361	0,016	0,017	0,017	0,0182	0,01875	0,0164	0,067
27	27	27	7/35	0,018	0,457							
28	28	28	1	0,012641	0,321	0,014	0,016	0,016	0,017	0,0165	0,0148	
28	28	28	19/40	0,016	0,406							
28	28	28	7/36	0,015	0,381							
29	29	29	1	0,011257	0,286	0,013	0,015	0,015	0,0163	0,0155	0,0136	0,075
30	30	30	1	0,010025	0,255	0,012	0,014	0,014	0,0156	0,01375	0,0124	0,08
30	30	30	19/42	0,012	0,305							
30	30	30	7/38	0,012	0,305							
31	31	31	1	0,008928	0,227	0,010	0,013	0,013	0,0146	0,01225	0,0116	0,085
32	32	32	1	0,00795	0,202	0,009	0,012	0,012	0,0136	0,01125	0,0108	0,09
32	32	32	19/44	0,009	0,229							
32	32	32	7/40	0,008	0,203							
33	33	33	1	0,00708	0,18	0,008	0,011	0,011	0,013	0,01025	0,01	0,095
34	34	34	1	0,006305	0,160	0,007	0,010	0,010	0,0118	0,0095	0,0092	0,1
34	34	34	7/42	0,0075	0,192							

Weiter auf der nächsten Seite

Gauge			Litzena.	AWG		B.W.G.	Wash.	Trenton	G.W.P.	Old E.	S.W.G.	M.W.G.
35	35	35	1	0,005615	0,143	0,005	0,0095	0,0095	0,0109	0,009	0,0084	0,106
36	36	36	1	0,005	0,127	0,0061	0,009	0,009	0,01	0,0075	0,0076	0,112
36	36	36	7/44	0,006	0,152							
37	37	37	1	0,004453	0,113	0,0054	0,0085	0,0085	0,0095	0,0065	0,0068	0,118
38	38	38	1	0,003965	0,101	0,0084	0,008	0,008	0,009	0,00575	0,0066	0,124
39	39	39	1	0,003531	0,0897	0,0043	0,0075	0,0075	0,0083	0,005	0,0052	0,13
40	40	40	1	0,003145	0,08	0,0039	0,007	0,007	0,0078	0,0045	0,0048	0,138
41	41	41	1	0,0028	0,071	0,0034	0,0066	–	–	–	0,0044	0,146
42	42	42	1	0,00249	0,063	0,0031	0,0062	–	–	–	0,004	0,154
43	43	43	1	0,00222	0,056	0,0027	0,006	–	–	–	0,0036	0,162
44	44	44	1	0,00198	0,05	0,0024	0,0058	–	–	–	0,0032	0,17
45	45	45	1	0,00176	0,045	0,0021	0,0055	–	–	–	0,0028	0,18
46	46	46	1	0,00157	0,034	0,0019	0,0052	–	–	–	0,0024	
47	47	47	1	0,0014	0,036	0,0017	0,005	–	–	–	0,002	
48	48	48	1	0,00124	0,031	0,0015	0,0048	–	–	–	0,0016	
49	49	49	1	0,00111	0,028	0,0013	0,0046	–	–	–	0,0012	
50	50	50	1	0,00099	0,025	0,0012	0,0044	–	–	–	0,001	

Werden die Drahtdurchmesser über der Ordnungszahl aufgetragen, so ergibt sich Bild Y.3.

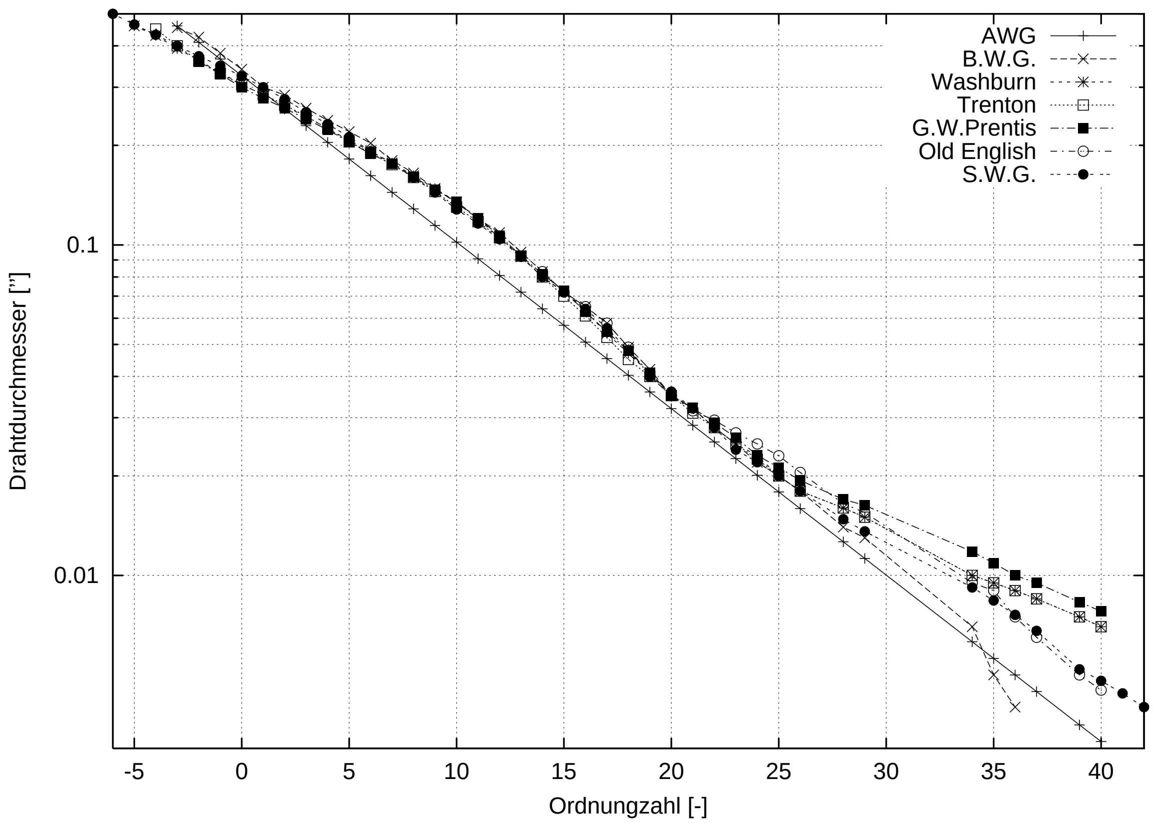


Bild Y.3: Drahtdurchmesser über Ordnungszahl (x-Achse: 0000000=-6, 000000=-5. . . 42=42)

Alleine die AWG läßt sich nachträglich in eine einfache Formel packen:

$$d[\mathrm{mm}] = e^{2{,}11 - 0{,}1159 i[\mathrm{AWG}]} \tag{Y.1}$$

mit . . . $i = -2$ für AWG 000, -1 für AWG 00, 0 für AWG 0. . . 40 für AWG 40. . . , aus der obigen Tabelle entwickelt, berechnet den Drahtdurchmesser mit einer Abweichung kleiner als 0,3 % hinreichend genau.

Wer sich die Tabelle Y.1 genauer anguckt, dem wird auffallen, daß der Aufbau der Kabel häufig aus 7, 19, 37, 65 . . . Litzen besteht. Dies liegt einfach dadrann, daß dies die maximale Füllung unverpresster aber sauber nebeneinandergelegter Litzen um eine Zentrallitze ist. Ein rein geometrisches Problem, in dem leider keine 42 vorkommt:-([2] Wobei auf 37 eigentlich 62 folgen sollte, aber praktisch drei Litzen mehr in Restlücken durch vorher nicht gefüllte Lagen reinrutschen können. Trägt man dann

[2]Lösung einer Denksportaufgabe aus dem Ingenieuralltag, auf einer Bahnfahrt HH–M am 06.05.06, ca. 7 Jahre nach Erstellung der Tabelle aufgetaucht.

Litzendurchmesser (bezogen auf Außendurchmesser), den Füllfaktor und die Lagenzahl (Einzeldraht = 0) über Litzenanzahl auf, so ergibt sich Bild Y.4.

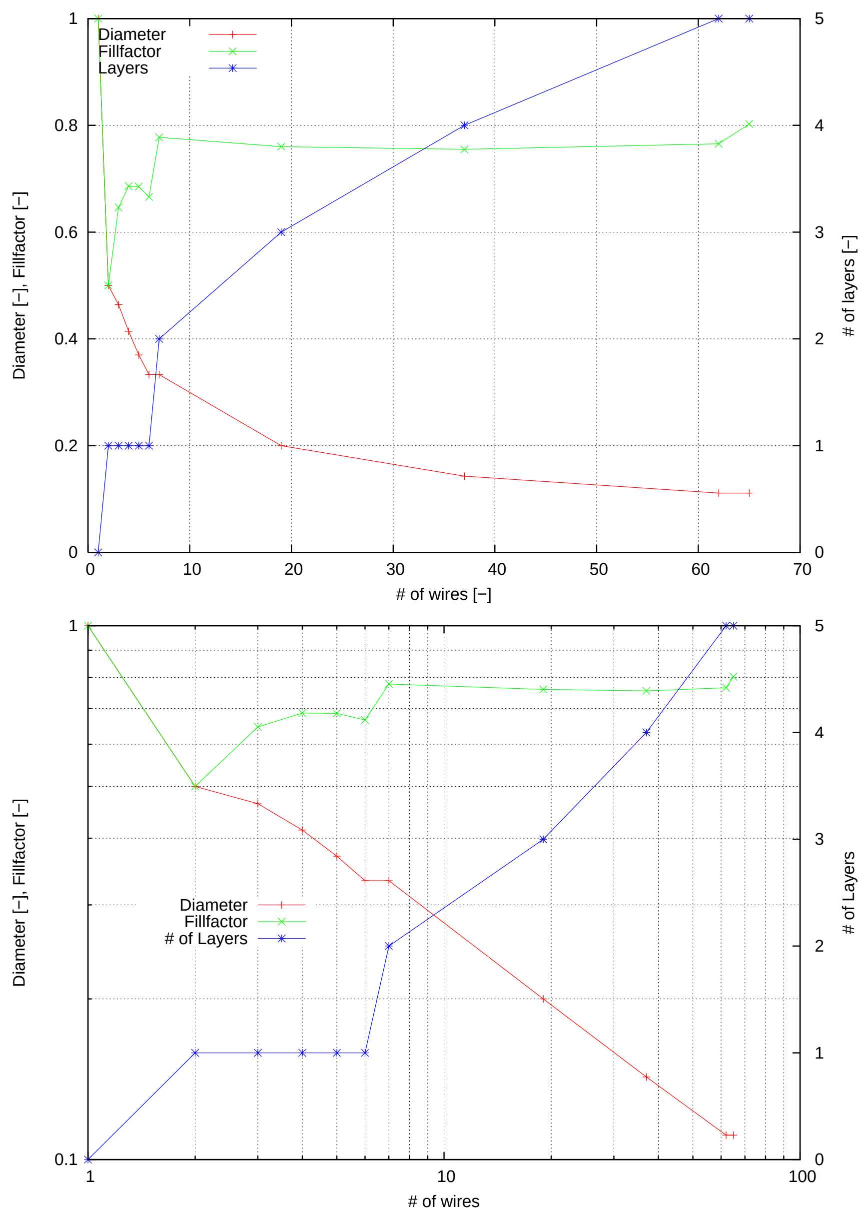


Bild Y.4: Füllfaktor, Litzendurchmesser etc.

Bei Drähten lassen sich wohl Zusammenhängen am besten logarithmisch linearisieren:-)

Anhang Z

Verzeichnis der Zulassungsnummern

Die folgende Tabelle Z.1 kann nicht vollständig sein. Teilweise werden alte K-Nummern wiederverwendet/weiterhin aufgedruckt, deswegen sind Mehrfachaufzählungen durchaus üblich.

Abkürzungen in fett vorangestellt: **D**ynamo, **G**lühlampe, **H**istorisch (inzwischen wiederverwendete Nummer), **R**eflektor, **S**cheinwerfer, **r**ücklicht.

Tabelle Z.1: Tabelle der K-Nummern

Nummer	Verwendet bei
16	**S** bumm DLumotec Oval 2,5 W
19	**S** Cateye HL-EL300G
20	**r** Spanninga SPX
62	**S** bumm Lumotec Oval 12 V
70	**R** Reflektor Pedale Cateye RR01
82	**G** Philips HPR74
86	**S** FER 3250
89	**r** bumm Seculight+ 330
126	**D** Büchel Nabendynamo
129	**r** bumm DToplight Plus
130	**r** bumm DToplight Plus
133	**D** bumm Dymotec 6
134	**D** bumm Dymotec S6
136	**S** Hella FF-Tech
141	**G** Philips HPR60BV
150	**S** Sigma Optaflux
157	**D** Attend H-6V-AL
161	**D** Attend D-6V-PL

Weiter auf der nächsten Seite

Nummer	Verwendet bei
164	**D** Shimano HB-NX30, HB-NX32
180	**G** Philips HPR78
182	**S** Sigma FL500
189	**S** ? Halogen 2,8V/0,58A
202	**S** Hella Micro FF
269	**S** bumm DLumotec Oval 2,5 W
269	**S** bumm Lumotec Oval 12 V
346	**D** Novatech EDH-1
357	**D** Shimano DH-3x70
359	**S** basta Pilot, basta Pilot Steady
388	**D** SRAM i-Light
402	**S** bumm DLumotec Topal
405	**D** Shimano DH-3N30
407	**S** Trelock LS600
409	**S** Cateye HL-EL500G
411	**S** Hella HL2000
416	**r** bumm DToplight Selectra 320ALK
423	**S** basta Pilot Steady
431	**S** bumm IXON, **S** bum IXON IQ speed
439	**D** SON XS
460	**S** bumm DLumotec Oval 2,5 W
464	**S** Trelock High Power LED
466	**S** Basta Clear
478	**S** Inolight Inoled 10+
491	**S** bumm Lumotec
492	**D** Suntour DH-CT600
514	**r** bumm DToplight Flat+ 329
515	**S** Spanninga Luceo, bumm DToplight Flat Plus
527	**S** bumm Lumotec Fly
528	**S** bumm BigBang
537	**S** bumm Lumotec fly
560	**R** 3M-Speichenreflektorsticks (36 Stück pro Laufrad)
565	**S** bumm Lumotec fly, bumm Cyo
570	**S** bumm Cyo Nahfeld
568	**S** bumm IXON IQ, bumm IXON IQ speed
571	**D** SRAM i-Light D7
607	**S** Schmidt Edelux + Edelux2 + Edelux DC170
615	**S** Supernova E3
626	**S** Dosun m1
631	**S** Ixon IQ Premium

Weiter auf der nächsten Seite

Nummer	Verwendet bei
649	**D** Shimano DH-F703 SB
656	**S** Trelock Bike-I duo LS88x, Trelock Bike-I trio LS87x
657	**S** Trelock LS875
658	**r** bumm DToplight LinePlus 323
659	**r** bumm DToplight LinePlus 323
665	**S** basta Sprint
676	**S** Philips BF48L20BBL
698	**S** bumm Lyt
700	**S** Trelock LS675
709	**S** Axa Nano50 Plus
736	**S** Supernova Airstream StVO
748	**S** Büchel
749	**S** Philips BF60L60BBL
751	**r** DToplight Line brake plus
752	**S** Trelock LS950
783	**r** Pedaluxx XC 103/Mini LED
791	**S** Büchel Micro LED SL
840	**D** Supernova Infinity 8
843	**D** Supernova Infinity S
845	**D** SP PV-8
895	**r** CycleMaster FlatLED XC-117
920	**r** bumm Toplight Line Small 53234ASK+ Schmidt Rücklicht
954	**S** bumm Luxos U
987	**S** bumm Eyc Nplus Typ 160
993	**r** bumm Ixxy Typ 383
1116	**D** Velogical 6V 1,5 W
1177	**S** Axa Blueline 50
1192	**S** bumm 164 TSNDI, 164/60TS7
1356	**S** CycleMaster XC-131L/Ecolux 60/30/15
1426	**S** bumm 167/12TS (IQ-XS T DC 12V)
1450	**S** Black Dingo
1467	**r** KLB Diekbree LR-2
1505	**S** KLB Diekbree LI-3A
1506	**S** bumm IQ-XM Typ 168
1552	**S** Lupine 6140 / SL F Purlon
1574	**S** Büchel TS120
10043	**r**
10684	**S** Radsonne
10725	**S** Union U100 Halogen
10744	**S** Union Ellipsoid

Weiter auf der nächsten Seite

Nummer	Verwendet bei
10757	**S** Elio Nova
10776	**S** AXA Trim, **S** Soubitez ARK-PPV034
10779	**S** FER 8707.31
10787	**S** bumm Lumotec
10798	**S** AXA Hilight
10872	**D** Soubitez EB80
10874	**D** Union 8201
10870	**D** Union 8601
10833	**D** FER 8007.4
10892	**D** AXA HR
10898	**D** Union Turbo
10903	**D** Union 9300 (Wing)
10914	**D** Renak Enparlite, Enparlite 2
16429	**G** Osram 64100 HS3
16442	**G** Philips HPR40 HS3
20606	**S** AXA Halogen
20611	**S** BiSy FL
20621	**S** JOS EP95
20630	**S** Union 9430
30006	**r** bumm 339
30018	**r** bumm 327
30027	**r** DT S'Light RL
31354	**r** ULO 237 Luxor37
31362	**R** Frontreflektor Cateye RR-180
40002	**r** Relite 3D
40003	**r** Cateye TL-LD-300G
40603	**S** Cateye HL-1500G

Bildverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Linkverzeichnis

Im Zeitalter des W3 gibt es den direkten Zugriff auf eine Menge an Informationen, von denen einige Quellen hier unsortiert aufgeführt sein sollen:

- Tandemfahren: www.tandem-fahren.de/Technik
- Francis Cooke (e-mail:aukhawk@aukhawk.demon.co.uk):
  www.audax.uk.net/lights/index.html
- Peter White Cylces:
  www.peterwhitecycles.com/lightingsystems.php
- Daniel: Einfache Standlichtelektronik
  www.nscl.msu.edu/~daniel/regulator.html
- Beleuchtungshandbuch (engl.)
  www.intl-lighttech.com/thank-you-light-measurement-handbook
- Don Klipsteins umfassende Seiten über Lichterzeugung etc. (engl.)
  www.misty.com/people/don
- *bike current* (engl.)
  www.topica.com/lists/bikecurrent/ www.topica.com/lists/bikecurrent/read

  Kein pic/Java/JS notwendig.
- Dieser Text und andere Dokumente mit Bezug zum Fahrrad
  www.enhydralutris.de/Fahrrad/
- Der Scheinwerfervergleichstest aus [OeSc02]:
  www.fa-technik.adfc.de/Komponenten/Scheinwerfer

Literaturverzeichnis

[DoAd] Adams, Douglas: The Hitch Hiker's Guide to the Galaxy, Pan Books Ltd, London

[DoAd3] Adams, Douglas: Das Leben, das Universmum und der ganze Rest, Rogner & Bernhard, 1983

[Ah58] Ahlfeld, Friedrich: Zinn und Wolfram, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1958

[Baer96] Baer, R.; Eckert, M.; Gall, D.; Schnor, R.: Beleuchtungstechnik Grundlagen, Verlag Technik Berlin, Berlin, 1996

[Banda99] Banda, Siegfried: Die lichttechnischen Grundgrößen, Expert Verlag, Renningen, 1999

[Dub16] Beitz, W.; Küttner, H.-H.: Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1987, 16. Auflage. *War schon in der neunten Auflage kein Taschenbuch mehr und viel hier Unwichtiges d'rinn, aber trotzdem in einigen Abschnitten zur Übersichtsgewinnung empfehlenswert.*

[Du38] Dunbar, C.: Necessary values of brightness contrasts in articially lighted streets, Trans. Illum. Engng. Soc., London, 3, 1938, S. 187

[BodePV19] Bode, Friedrich: Speichendynamo und Halogenlicht verbessern die Fahrradbeleuchtung, ProVelo **19**, S. 9 ff., Celle, 1989

[Brü94] Brümmer, Matthias: Wirkungsgradoptimierter Klauenpolgenerator, Diplomarbeit an der TH-Darmstadt, 1994

[Bu99] Bullog J.D. et al: Luminous Intensity for Traffic Signals: A Scientific Basis for Performance Specifications, Ligthing Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York

[Da95] Damasky, J.: Lichttechnische Entwicklung von Anforderungen an Kraftfahrtzeugscheinwerfer, Dissertation TH Darmstadt, 1995

[DIN 5031] DIN 5031: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Beuth-Verlag, Berlin, 1982

[DIN 49848] DIN 49848: Anforderungen an Fahrradglühbirnen, Beuth-Verlag, Berlin, 1990

[DIN 49848-3] DIN 49848-3 Entwurf: Fahrrad-Glühlampen, Form C, D und E, Beuth-Verlag, Berlin, 1998

[DIN 49848-4] DIN 49848-4: Fahrrad-Glühlampen, Form HS4, Beuth-Verlag, Berlin, 1998

[DIN 49848-5] DIN 49848-5: Anforderungen an Fahrrad-Glühlampen, Form TF5, Beuth-Verlag, Berlin, 1998

[DIN EN 60809] DIN EN 60809: Glühlampen für Straßenfahrzeuge, Beuth-Verlag, Berlin, 1996

[DIN EN 60810] DIN EN 60810: Glühlampen für Straßenfahrzeuge, Beuth-Verlag, Berlin, 1995

[DIN EN 79100-2] DIN 79100-2: Fahrräder Teil2: Sicherheitstechnischen Anforderungen und Prüfungen, Beuth-Verlag, Berlin, 1998

[DoHa] Domininghaus, Hans: Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, Springer Verlag, 5. Auflage

[Fo28] Fonda, G.R.: Phys. Rev (2), Bd. 31 (1928) S. 263

[HoDr] Holzweißig, F.; Dresig, H.: Lehrbuch der Maschinendynamik, Fachbuchverlag Leipzig-Köln, 4. Auflage 1994

[DTVLex] DTV: dtv-Lexikon der Physik, dtv, München, 1970

[Fi01] Fikurat, Daniel: Scheinwerfer, aktivRadfahren 11/12-2001, S. 38 ff., BVA, Bielfeld, 2001

[BuPV47] Fleischer, Burkhard: Nabendynamos, Allgemeine Einführung und erster Erfahrungen, Pro-Velo **47**, S. 4 ff., 1996

[Fo97] Forester, John: CPSC Reflector Research Goes Nowhere, While 3M Co. Threatens Great Changes, Report of the 16. July 1997 Meeting, CPSC, http://www.johnforester.com/Articles/Lights/cpsc9101.htm , 1997

[GmKr] Gmelin, Leopold; Kraut, Karl: Handbuch der anorganischen Chemie, Band 2, Zweite Abtheilung, Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, Heidelberg, 1897

[Gr21] Graham, Frank D.: Audels Engineers and Mechanics Guide 8, Theodor Audel&Co, New York, 1921

[Gr96] Groß, Eric: Betriebslastenermittlung, Dimensionierung, strukturmechanische und fahrwerkstechnische Untersuchungen von Moutainbikes, Fortschrittsbereichte Reihe 12 Nr. 308, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1997

[Gw12] Grünwald, Franz: Bau, Betrieb und Instandhaltung von Elektrischen Anlagen, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle, 1912, 12. Auflage

[GuYu98] Guo, Yunning: Untersuchungen zur Optimierung des von einer Glühlampe abgegebenen Lichtstromes unter Einsatz eines Glühfadens mit strukturierter Oberfläche, Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum, Fakultatät Elektrotechnik, 1998

[DiHa58] Haffer, Dieter: Dauerschwingversuche an Titan und Wolfram, Dissertation an der TH Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 1958

[Hä68] Hänisch, H.-J.: Mechanismus der Elektrolumineszenz von CdS, physica status solidi, Akademie Verlag Berlin, Juli 1968, phys. stat. sol. **28**, 255 (1968)

[HeMa] Hecht, S.; Mandelbaum, J.: The relation between vitamin A and dark adaption, J. Amer. Med. Ass. 112 (1939) S. 1910–1916

[He94] Hentschel, Hans-Jürgen: Licht und Beleuchtung, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1994

[He02] Hentschel, Hans-Jürgen: Licht und Beleuchtung, Hüthig Verlag, Heidelberg, 5. Auflage, 2002

[He61] Herweck, Carl: Kupferwurm, Motorbuchverlag, 1961

[EHo] E. Hornbogen: Werkstofftechnik, Springer Verlag, 1983

[Hu03] Huhn, Roland: Vorschriftsmäßige Fahrradbeleuchtung 1929–1960, Der Knochenschüttler, 1/2003

[StHü] Hütte: Hütte IV a, Elektrotechnik A, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1957, 28. Auflage

[Hü21] Hütte: Des Ingenieurs Taschenbuch, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1911, 21. Auflage

[IGVe92] IG Velo: Licht am Velo, IG-Velo Schweiz, Monbijoustraße 91, Postfach 6711, CH-3001 Bern, 1992

[1] [Il02] Illinger, Patrik: Kunstlicht, Süddeutsche Zeitung, Weihnachten 2002, Seite V2/7

[ISO6742/1] International Standard 6742/1: Cycles – Lightning and retro-reflective devices – Photometric and physical requirements – Part 1: Lightning equipment, ISO, 2. Auflage, 1987

[ISO6742/2] International Standard 6742/2: Cycles – Lightning and retro-reflective devices – Photometric and physical requirements – Part 2: Retro-reflective devices, ISO, 2. Auflage, 1985

[IXYS] IXYS: Ein- und Dreiphasen Gleichrichter-Brücken, IXYS-Semiconductor GmbH, Lampertheim, 1994, www.ixys.com

[CrJu98] Juden, Chris:Dynotest, Cycle Touring and Campaigning, February/March 1998, liegt bei Myra Van Inwegen: simon.trinhall.cam.ac.uk/bike/dynotest.html

[Kr84] Krämer, Erwin: Maschinendynamik, Springer Verlag, 1984

[Ky27] Kyser, Herbert: Die elektrische Kraftübertragung, Band 3, Springer Verlag Berlin, 1923, 2. Auflage

[KühPV18] Kühlring, K.: Verbesserung der Fahrradbeleuchtung mit dem G-S 2000, ProVelo **18**, S. 18 ff., 1989

[KusPV4] Kusmierz, Ralf: Grundlagen der Funktion von Fahrradlichtmaschinen, ProVelo **4**, S. 30 ff., 1987, *Besondere Betrachtung von Serienkapazitäten und -induktivitäten.*

[KusPV5] Kusmierz, Ralf: Leserbrief, ProVelo **5**, S. 38 f., 1987, *Gibt Berechnungsgrundlagen zur Serienkapazität an.*

[Le01] Lehnert, Peter: Auswirkungen der Fahrzeugdynamik auf die Lichtverteilung von Scheinerfern, Dissertation TH-Darmstat, 2001

[Loch08] Locher, J. et al: Blendung durch Gegenverkehr: Scheinwerfereigenschafte, Sehleisung und Blendgefühl, Zeitschrift für Verkehrswese, 2008

[Loew85] Loewenstein, Johannes: Licht im Dunkel, ADFC Bielefeld, 1985

[Mo99] Moore, David W., Kåre Rumar: Historical development and current effictiveness of rear lighting systems, University of Michigan, Transportation Research Institute, Report UMTRI-99-31, October 1999

[NiePV24] Niewerth, Reinhard: Digitale Fahrrad-Standlichtschaltung, ProVelo **24**, S. 16 ff., 1991

[MH42] Oberg, Erik; Jones, F.D.: Machinery's Handbook, The Industrial Press, New York, 1942

[OeSc02] Oehler, Andreas; Schultz, Olaf: Mach mich an, Radwelt 01/2002, S. 14 ff.

[OeAK05a] Oehler, Andreas: Hellaufbegeisternd?, aktivRadfahren, BVA, S. 54 ff., 11/2005

[OeAK05b] Oehler, Andreas: Test Marktübliche Nabendynamos, aktivRadfahren, BVA, S. 60, 11/2005

[OsHal] OSRAM: Halogenleitfaden, OSRAM GmbH, München, 1990

[OsQuick] OSRAM: Quicktronic, OSRAM GmbH, München, 1988

[OSRAMWolfram] OSRAM: Wolfram, OSRAM GmbH, München, Jan. 1997

[OSHM] Osram: Halogen-Metalldampflampen, Technik und Anwendung, Foto Optik, OSRAM

[Pana91] Panasonic: Technisches Handbuch Goldkondensatoren, Panasonic Industry Deutschland, Hamburg, 1991

[Pa64] Parker, J.F., Gilbert, R.R., Dillon, R.F.: Effictiveness of thre visual cues in the detection of rate of closure at night, (Report 64-1), Arlingtion VA> BioTechnology Inc.

[RadF89] Radfahren: Mehr Geld mehr Leistung, BVA, Radfahren **6**, S. 16 ff., 1989

[RadF9-10/02] Peter de Leuw, Andreas Oehler, Daniel Fikurat: Jetzt geht mir ein Licht auf, aktiv Radfahren, Bielefelder Verlagsanstalt, Bielefeld, Sep.-Okt., 2002

[Sc98] Schröder, Gottfried: Technische Optik, Vogel Buchverlag, Würzburg, 8. Auflage, 1998

[Radw 1/98] Seidelmann, Thomas: Mehr Licht macht an, Radwelt 1/98, S. 67 ff., Radwelt, Ravensberg Verlag, *Der Artikel in der VeloPlus [VP97/98] ist ausführlicher!*

[Reisch] Reisch, Michael: Elektronische Bauelemente, Springer Verlag, 1998

[RiePV8] Rieder, Klaus: Messung der mechanischen Antriebsleistung von Fahrradlichtmaschinen, ProVelo **8**, S. 19 ff., 1987

[RiePV17] Rieder, Klaus: Test: Der Speichendynamo G-S 2000, ProVelo **17**, S. 26 f., 1989

[RiePV20] Rieder, Klaus: Lebensdauertest des Speichendynamos, ProVelo **20**, S. 26 f., 1990

[RiePV42] Rieder, Klaus: 10.0000km-Test UNION Nabendynamo „Wing 1“, ProVelo **42**, S. 14 f., 1995

[Rusch83] Ruschmeyer, Karl: Motoren und Generatoren mit Dauermagneten, Expert Verlag, 1983, *nicht mehr lieferbar*

[Ryer] Ryer, Alex: Light Measurement Handbook, www.intl-lighttech.com/thank-you-light-measurement-handbook

[Sc92] Schmidt-Clausen, H.-J.: Lichttechnische Einrichtungen am Kraftfahrzeug, Handbuch für Beleuchtung, Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, 5. Auflage, 1992

[Sc79] Schmidt-Clausen, H.-J.: Methoden zur Bestimmung der Lage von Hell-Dunkel-Grenzen, CIE-Congress 1979, Kyoto, 1979

[Sc95] Schmidt-Clausen, H.-J.: Bewertung der Hell-Dunkel-Grenze bezüglich ihrer Qualität, Lage und Linearität, PAL-Symposium, TH-Darmstadt, 1995

[SchPV56] Schultz, Olaf: Die moderne Hydra: Fahrradlichtanlagen, ProVelo **56** S. 15 ff., 1999

[SchEL] Schultz, Olaf: enhydra lutris, http://www.enhydralutris.de/Fahrrad/

[StVO] Straßenverkehrs-Ordnung, Verkehrsblattverlag, Dortmund, 1997

[StVZO] Straßenverkehrszulassungsordnung,

[Test] N.N.: Sehen und gesehen werden, Test 11/98, Stiftung Warentest, Berlin, November 1998

[Test0902] N.N.: Mehr Schatten als Licht, Test 09/2002, Stiftung Warentest, Berlin, September 2002

[TitPV8] Titus Müller-Skrypski: Untersuchung an Fahrraddynamos, ProVelo **8**, S. 22 ff., 1987

[TitPV18] Titus Müller-Skrypski: Entwicklung eines Dynamo mit hohem Wirkungsgrad, ProVelo **18**, S. 22 ff., 1989

[TitPV24] Titus Müller-Skrypski: Untersuchung an Fahrraddynamos, ProVelo **24**, S. 14 ff., 1991

[Tour1093] TOUR 10/1993: , Globus Verlag GmbH, München, 1993

[Tour1097] TOUR 10/1997: Nabendynamos, Globus Verlag GmbH, München, 1993 *scheint systematische Fehler zu haben*

[Uy38] Uyterhoeven, W.: Elektrische Gasentladungslampen, Springer Verlag Berlin, 1938

[WiRa7] Winkler, Fritz; Rauch, Siegfried: Fahrradtechnik, Bielefelder Verlagsanstalt, Bielefeld, 1991, 7. Auflage. *Ein Sammelsurium von fahrradspezifischen Grundlagen*

[WSchmPV47] Schmidt, Wilfried: Aufbau und Wirkungsweise von Fahrradlichtmaschinen, ProVelo **47**, Riethweg 3, 29227 Celle, S. 15 ff., 1996

[Wei99] Weigl, Jörg; Jungk, Markus: Der Scheibenbrems-Dynamo, Beitrag zu „Jugend forscht", Landessieger Technik Hamburg 1999

[Wull59] Wullkopf, Hellmuth: Kleinstgeneratoren mit permanentmagnetischem Läufer, ETZ-A, Bd. 80, Heft 4 (11.2.1959), S. 117–119

[VP97/98] Wunderli, M.; Weilenmann, Theo : Spannungsgeladene Resultate, www.veloplus.ch Aktuell Winter/Frühling '89, CH-8620 Wetzikon, *Behandelt folgende Dynamos: AXA-HR, Phöbus, UNION Tramp, Turbo, Walze 8601, FER 2002, Spanninga, SON, Inter-L, RND2*

[VwV97] Allgemeine Verwaltungsvorschriften zur StVO, Verkehrsblattverlag, Dortmund, 1997

[We61] N.N.: Technische Daten (Katalog 24), Stahlwerke Südwestfalen AG, Geisweid, 1961

[MH Vol2] Cubberly, William H.: Metal Handbooks, Volume 2, American Society for metals, Metals Park, Ohio, 9. Auflage

[Zi96] Zieseniß, Carl-Heinz: Beleuchtungstechnik für den Elktrofachmann, Hüthig, Heidelberg, 6. Auflage, 1996

Index