

Fahrrad-Frontscheinwerfer mit Luxeon LEDs

1. Zielsetzung	1
2. Praktischer Aufbau	2
2.1. Auswahl der Anzahl der LEDs	2
2.2. Scheinwerfergehäuse-Auswahl	2
3. Licht.....	5
3.1. Von den LEDs emittiertes Licht.....	5
3.2. Vom Reflektor eingefangenes Licht.....	5
3.3. Helligkeitseindruck	7
3.4. Lichtverteilung	7
4. Schaltplan	9
5. Bewertung des Eigenbaus	10
5.1. Wartungsfreiheit.....	10
5.2. Weißes Licht	10
5.3. Preisvergleich.....	11
6. Was bringt die Zukunft	11

1. Zielsetzung

Für den Betrieb am SON-Nabendynamo und an einer Standlichtschaltung (10,8 V aus 9 x 1,2 V NiMH Akku-Pack) soll ein Frontscheinwerfer mit Hilfe von LEDs gebaut werden.

Von den ausführlichen Untersuchungen von Olaf Schultz (Hamburg) habe ich folgende Aspekte berücksichtigt:

- Scheinwerfer bündeln überwiegend nur das vom Reflektor eingesammelte Licht. Das direkt nach vorn abgestrahlte kann teilweise durch eine integrierte Frontlinse nutzbar gemacht werden, ist sonst aber verloren.
- Scheinwerfer mit großem Durchmesser und längere Brennweite reagieren weniger kritisch auf die Einbaulage des Leuchtmittels. Das heißt auch, dass Leuchtmittel mit einer größeren leuchtenden Fläche in Scheinwerfern mit großem Durchmesser und längere Brennweite besser gebündelt werden.
- Mit den heute angebotenen Luxeon-LEDs ist ein Scheinwerfer mit sinnvoller Strassenausleuchtung am besten zu realisieren, wenn man einen halben Fahrrad-Standardscheinwerfer hernimmt und die LED (Lambda-Strahler um 90⁰ gedreht in den Reflektor scheinen läßt.

2. Praktischer Aufbau

2.1. Auswahl der Anzahl der LEDs

Der SON ist eine Konstantstromquelle von ca. 550 mA. Je nach Belastung werden die 550 mA bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten erreicht. Bei einer (StVZO-) Standard-Belastung mit 12 Ohm fließt dieser Strom bei ca. 10 km/h, bei Belastung mit 25 Ohm bei ca. 20 km/h. Bei 12 Ohm entspricht die maximal abgegebene Leistung 3 W bei einer Spannungsabgabe von 6 V, bei 25 Ohm entspricht die maximal abgegebene Leistung 6,25 W bei einer Spannungsabgabe von etwas über 12 V. Bei 10 km/h werden dann 1,44 W bei 6 V erzeugt. Höhere Belastungswiderstände als 25 Ohm sind nicht sinnvoll, da die volle Leistung dann erst bei zu hohen Geschwindigkeiten anfällt.

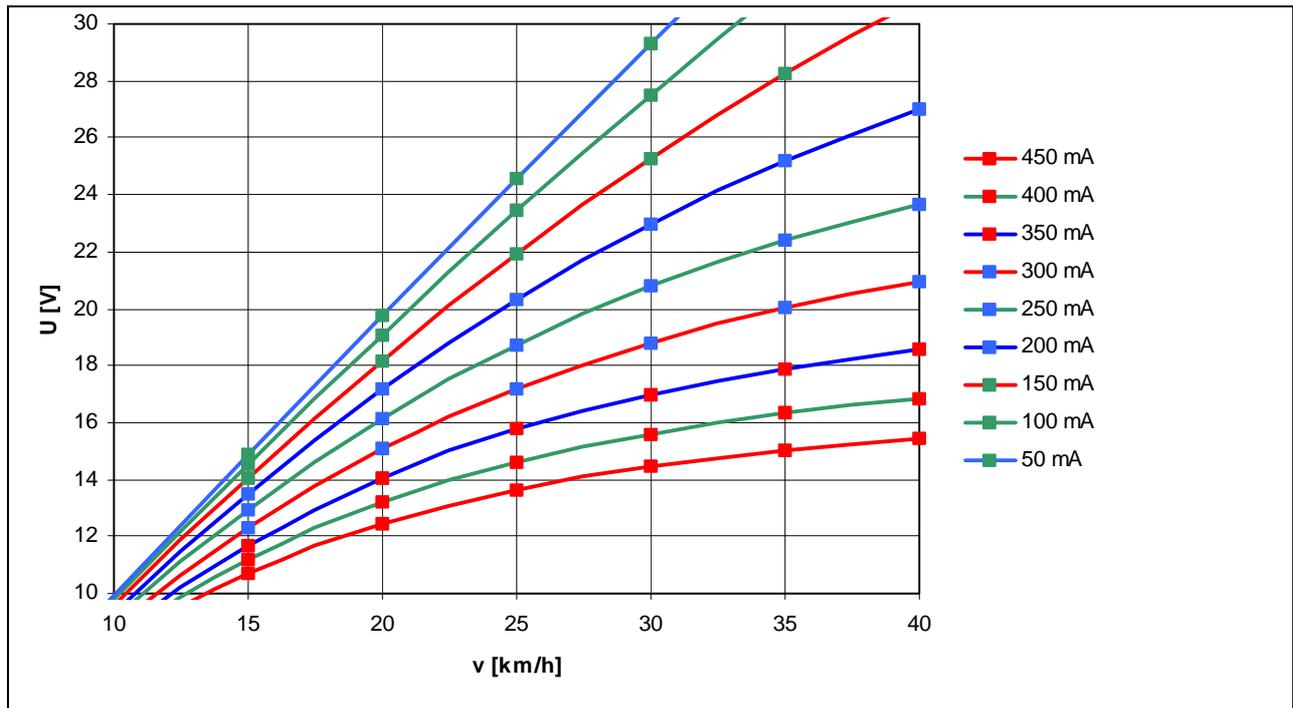


Abb. 1: Spannungsabgabe U[V] beim SON in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit bei unterschiedlichen entnommenen Strömen

Weiß LEDs haben eine Durchlass-Spannung von ca. 3,6 V. Für 3 LEDs in Reihe sind also 10,8 V, für 4 LEDs 14,4 V notwendig. Bei reinem Dynamo-Betrieb könnte man 4 LEDs in Reihe in Betracht ziehen. Wegen meiner Standlichtschaltung fiel die Wahl aber auf 3 LEDs in Reihe.

Praktisch hieß das:

- 1x Luxeon LX HL-PW09, 2/3 Watt, Durchlaß-Spannung ca. 3,7 V, I_{\max} 1000 mA
- 1x Luxeon LX HL-PW03, 5 Watt, Durchlaß-Spannung ca. 6,85 V, I_{\max} 700 mA

Im Gegensatz zu Halogen-Lampen mit ihrem positiven Widerstand (je höher die Spannung desto höher der Widerstand) haben LEDs einen stark negativen Widerstand. Dies hat einen großen Vorteil: Die LEDs belasten den Dynamo bis zu ihrer Gesamt-Durchlaß-Spannung von 10 V nicht, die bei 10 km/h Geschwindigkeit erreicht wird. Mit zunehmender Geschwindigkeit erhöht sich jetzt praktisch nur noch der Strom von anfänglich 20 mA auf die maximale Stromleistung von 500 mA, die bei ca. 20 km/h erreicht werden. Die 500 mA ergeben sich aus 550 mA Gesamtstrom vermindert um den Stromverbrauch des Rücklichtes (30 mA) und der Standlichtschaltung/ Tachobeleuchtung (20 mA).

2.2. Scheinwerfergehäuse-Auswahl

Die Wahl fiel als Ausgangsbasis auf einen alten Soubitez-Scheinwerfer aus meinem Fundus. Er hat eine für heutige Verhältnisse riesige Austrittsöffnung von 70 mm, einer Tiefe von 32 mm und einer Brennweite von

11 mm. Die Streuscheibe ist zweigeteilt: Der Teil oberhalb der Mitte dient zur Beleuchtung des Mittelbereiches (ca. 2 bis 5 Meter Entfernung), der Teil unterhalb der Mitte zur Fernausleuchtung. Durch die Randstrahlen wird auch der Bereich unmittelbar vor dem Scheinwerfer beleuchtet (0 bis 2 Meter).

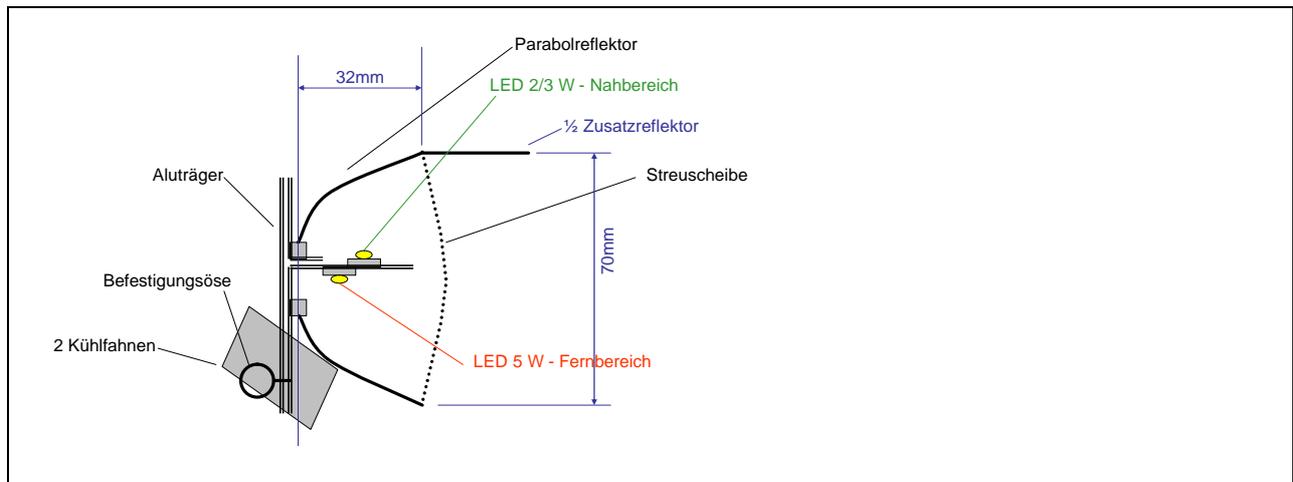


Abb. 2: Geometrie Soubitez-Scheinwerfer

Damit war das Grobdesign schon vorgegeben:

In die Mitte des Scheinwerfergehäuses leicht nach oben versetzt kommt ein Aluträger auf dem die zwei LEDs befestigt werden. Die 5 W LED wird nach unten gerichtet, da für den Fernbereich mehr Leistung gebraucht wird, die 2/3 W LED wird nach oben gerichtet. Wie bei H4-Lampen aus dem Automobilbereich wird die LED für den Fernbereich im Brennpunkt, die LED für den Nahbereich vor und oberhalb vom Brennpunkt montiert. Die LEDs werden mit Wärmeleitpaste auf den Aluträger gebracht und mit Kupferdraht fixiert.

Achtung:

Da bei der 5 W LED der Träger mit der Anode verbunden ist, muß später der ganze Scheinwerfer vom Fahrrad isoliert montiert werden. Wird zwischen der 5 W LED und dem Alu-Träger ein Wärmeleitpad eingefügt, reicht die Wärmeableitung nicht aus. (Eine LED habe ich so verbraten.) Als isolierende Verbindung zwischen Scheinwerfer und Fahrrad dient der alte Lampensockel aus Plastik.

Am Ende vom Aluträger werden zwei weitere Alubleche ca. 3 x 7 cm als Kühlflügel angebracht.

Dazu noch folgende thermische Betrachtung:

Aus dem Luxeon Datenblatt (DS40) kann man für $I_F = 500 \text{ mA}$ und $T_A = 20^\circ\text{C}$ als maximal zulässigen Wärmewiderstand zwischen Junction und Ambient $\Theta_{J-A} = 30^\circ\text{C/W}$ entnehmen. $T_A = 20^\circ\text{C}$ ist in unseren Breiten nach Sonnenuntergang (wenn man Licht braucht) wohl eine vernünftige Annahme.

Es gilt: $\Theta_{J-A} = \Theta_{J-S} + \Theta_{S-B} + \Theta_{B-A}$

Dabei ist $\Theta_{J-S} + \Theta_{S-B} = 11^\circ\text{C/W}$ durch den Aufbau der LED schon vorgegeben. Damit verbleibt für $\Theta_{B-A} = 19^\circ\text{C/W}$. Eine Modellrechnung für ein Alublech der Größe 70 x 18 x 2,5 mm bei ruhender Luft ergibt $\Theta = 15^\circ\text{C/W}$ (so was kann man aus dem Internet laden). Da ist also noch Abstand zu $\Theta = 19^\circ\text{C/W}$. Dazu kommen noch die beiden Kühlflügel, die im Modell nicht berücksichtigt worden sind. Beim Fahren kommt noch der Fahrtwind hinzu. Den LEDs sollte die Kühlung also locker reichen.



Abb. 3: Träger mit LEDs: Blick seitlich auf die Unterseite, von vorn auf die Unterseite und von der Seite

Und so sieht das Ganze am Fahrrad aus. Dabei habe ich zwei Grundsätze berücksichtigt:

- Lampe möglichst hoch montieren, damit der Winkel zwischen ausgesendetem Lampenlicht und vom Auge empfangenen Licht möglichst klein ist. Dann reflektieren alle Schilder besser, weil sie das Licht genau in die Richtung des einfallenden Lichtes zurückwerfen. Ausserdem verschmutzt der Scheinwerfer dann weniger als bei Montage nahe beim Schutzblech.
- Montage der Lampe möglichst weit vorn vermeidet Streustrahlung und damit Eigenblendung auf Vorderreifen und Schutzblech. Trotzdem ist eine Ausleuchtung ab Vorderreifen möglich.



Abb. 4: Lampe am Fahrrad montiert

Das ganze Konstrukt (Träger, Plastik-Halter ohne Vorbau, Reflektor, Kühlung, elektronische Steuerung) wiegt zusammen 61 Gramm. Das Dach über der Lampe schaut nicht besonders professionell aus, verhindert aber zuverlässig jegliche Eigenblendung und führt im Gegensatz zu einem simplem Abdeckstreifen zu einer deutliche Aufhellung unmittelbar vor dem Fahrrad, die bei Langsamfahrt um Hindernisse herum auch nicht zu verachten ist.

3. Licht

3.1. Von den LEDs emittiertes Licht

Die folgende Tabelle zeigt den vom Hersteller Luxeon angegeben mittleren Lichtstrom (Rank S) für die beiden verwendeten LEDs bei 700 mA, den aus den Messungen von Olaf Schulz ermittelten Wirkungsgrad bei niedrigeren Strömen, den daraus abgeleiteten Lichtstrom bei 500 mA, die von mir gemessene Durchlass-Spannung, die aus Strom und Spannung berechnete Leistung und den berechneten Wirkungsgrad.

	$\Phi@700$	rel. $\Phi@500$	$\Phi@500$	U@500	N@500	$\eta@500$
Luxeon 5 W	120 lm	75 %	90 lm	6,5 V	3,25 W	27,7 lm/W
Luxeon 2/3 W	65 lm	80 %	52 lm	3,51 V	1,76 W	29,6 lm/W

Für beide LEDs zusammen ergibt das

	$\Phi@700$	rel. $\Phi@500$	$\Phi@500$	U@500	N@500	$\eta@500$
beide	185 lm	77 %	142 lm	10,01 V	5,01 W	28,6 lm/W

Es stehen also rund 140 lm zur Verfügung. Als Vergleich:

- Eine HS3 Lampe erzeugt bei 6 V 36 lm (Nominal-Wert), bei 6,7 V ca. 45 lm (Optimal-Wert bei gutem Dynamo und neuer Lampe).
- Eine HS4-Lampe erzeugt bei 13,5 V 90 lm (Nominal-Wert), bei 13,9 V ca. 100 lm (Optimal-Wert bei gutem Dynamo und neuer Lampe).

Damit schlägt die Licht-Emission des LED-Scheinwerfer einen HS4-Scheinwerfer um 40 %, eine Doppellampen-Anlage aus zwei HS3-Scheinwerfern an einem SON (bringt ca. 12 V, also 72 lm) um 100%. Die Doppellampen-Anlage wird erst richtig hell, wenn man an die 30 km/h fährt.

3.2. Vom Reflektor eingefangenes Licht

Der Lambda-Strahler hat nach Olaf Schulz theoretisch folgende Abstrahlcharakteristik:

Grad	0	+/- 10	+/- 20	+/- 30	+/- 40	+/- 50	+/- 60	+/- 70	+/- 80	+/- 90
Faktor	1	0,97	0,92	0,85	0,75	0,6	0,43	0,3	0,05	0

Wir müssen zwischen Nah- und Fernbereich unterscheiden. Die folgenden angeführten %-Werte sind durch numerische Integration über die Abstrahlcharakteristik des Lambda-Strahlers zwischen den geometrisch gemessenen Winkeln hergeleitet.

- Nahbereich (obere LED)
 - Bezeichnen wir die LED-Achse mit 0 Grad, fängt der Reflektor alles Licht zwischen -88 Grad und +25 Grad ein. Das sind 80% des emittierten Lichtes, welches für den Bereich 2 bis 5 Meter zur Ausleuchtung zur Verfügung steht.
 - Der Reflektor wird oben durch ein halbrundes verspiegeltes Rohr von 30 mm verlängert. Dies fängt zwischen +25 Grad und +50 Grad weitere 13% des emittierten Lichtes ein, welches zu einem Teil (ca. 30%) für den Bereich 0 bis 2 Meter zur Ausleuchtung zur Verfügung steht.
 - Verloren für die Straßenausleuchtung sind damit nur ca. 16% des erzeugten Lichtes.
- Fernbereich (untere LED)
 - Der Reflektor fängt zwischen -65 Grad und +40 Grad das Licht ein. Das sind 84% des emittierten Lichtes, welches für den Fernbereich bei 10 m Entfernung zur Verfügung steht.
 - Die nach unten hin nicht eingefangenen 16 % stehen zu einem Teil zur Ausleuchtung des Nahbereiches von 0 bis 2 Meter zur Ausleuchtung zur Verfügung.
 - Verloren für die Straßenausleuchtung sind damit nur ca. 11% des erzeugten Lichtes.

Generell gilt, dass der bedampfte Reflektor einen Reflexionsgrad von ca. 85% und die Streuscheibe aus Polycarbonat einen Transmissionsgrad von ca. 88% haben. Das ergibt dann in grober Näherung:

- Nahbereich: $(100\% - 16\%) * 85 * 88\% = 63\%$ nutzbarer Lichtstrom
- Fernbereich: $(100\% - 11\%) * 85 * 88\% = 66\%$ nutzbarer Lichtstrom

Zum Vergleich: Olaf Schulz hat gezeigt, dass sehr gute „käufliche“ Fahrradscheinwerfer bis ca. 75% des verfügbaren Lichtstromes im Reflektor und 13% in der Frontlinse sammeln. Das ergibt dann einen Gesamtwirkungsgrad von $75\% * 85\% * 88\% + 13\% * 88\% = 67,5\%$

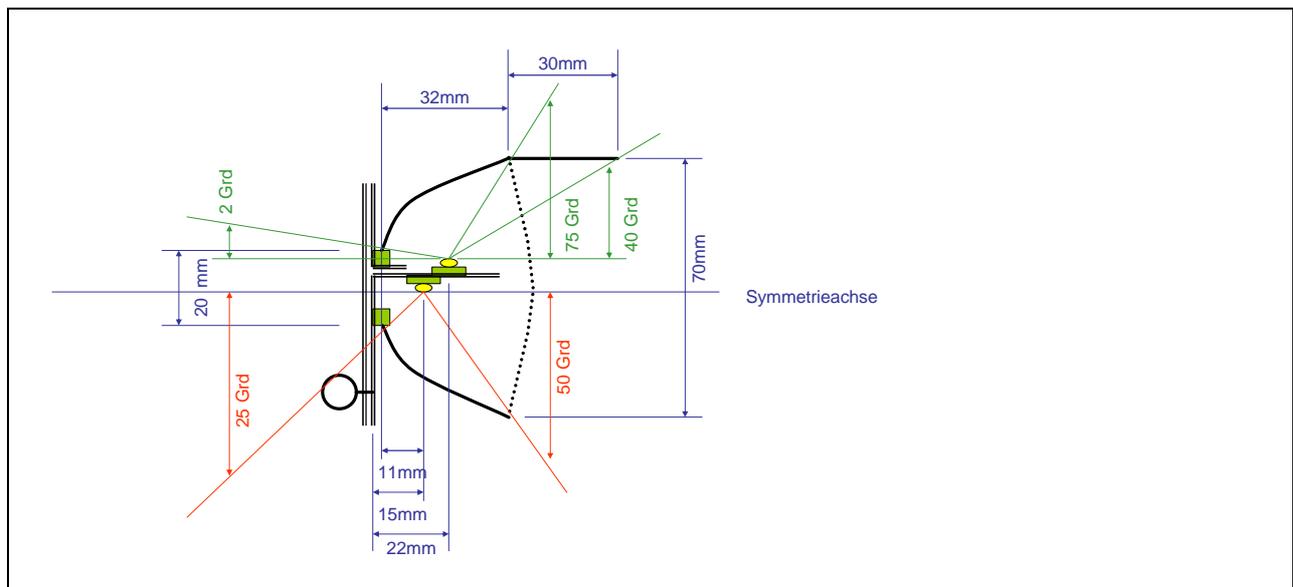


Abb. 5: eingefangener Lichtstrom und Winkelverhältnisse

Als nutzbarer Lichtstrom aus 140 lm bleiben uns bei diesem Scheinwerfer-Eigenbau effektiv **93 lm** zur Fahrbahnausleuchtung. Als Vergleich:

- Von den 45 lm (Optimal-Wert bei gutem Dynamo) einer HS3 Lampe bleiben bei 67,5% noch 30,4 lm zur Fahrbahnausleuchtung. Oder beim Doppelscheinwerfer 61 lm.
- Von den 100 lm (Optimal-Wert bei gutem Dynamo) einer HS4 Lampe bleiben bei 67,5% noch 67,5 lm zur Fahrbahnausleuchtung.

Was ist im Automobilbau üblich? Die Firma Hella, von der auch die Abbildung der Scheinwerfertypen stammt, gibt folgende Werte an:

- Paraboloid-Scheinwerfer (Reflexionsscheinwerfer, z.B. H4): 35% Ausbeute
- Freiformscheinwerfer (Reflexionsscheinwerfer, z.B. H7): 45% Ausbeute
- DE-Scheinwerfer (Projektionsscheinwerfer mit Linse): 36% Ausbeute
- Super-DE-Scheinwerfer (Projektionsscheinwerfer mit Linse und Freiform-Reflektor): 52% Ausbeute

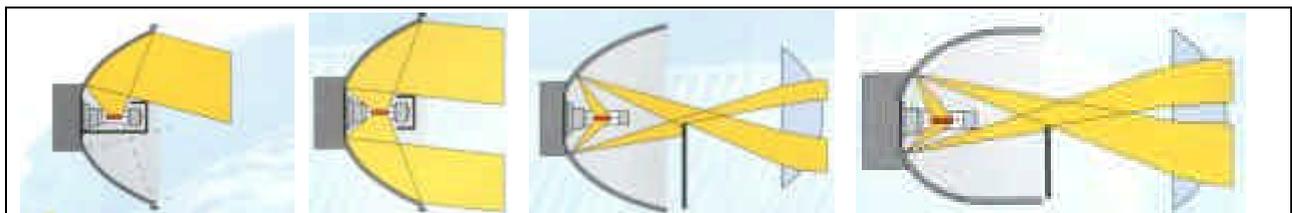


Abb. 6: Strahlverlauf bei Paraboloid-, Freiform-, DE- und Super-DE-Scheinwerfer von der Seite gesehen

Kurze Bewertung:

- Ein herkömmlicher H4-Scheinwerfer mit 55W Abblendlicht (1000 lm) nutzt zur Fahrbahnausleuchtung lediglich 350 lm. 4 mal mehr Licht mit 11 mal mehr elektrischer Leistung zu erzeugen ist keine tolle Engineerleistung. Die Wendel für das Abblendlicht sitzt weit vor dem Brennpunkt des Reflektors, so dass dieser das Licht nicht optimal parallel ausrichten kann. Um dennoch eine klare Hell-Dunkel-Grenze zu erzielen, werden 50% des Lichtes durch die Blechabschattung innerhalb der Lampe bereits vernichtet. Da die Lichtstrahlen nicht parallel sind, können auch die Prismen in der Streuscheibe nicht optimal arbeiten. Es geht nochmals viel Licht für die Fahrbahnausleuchtung verloren.
- Neue Freiformscheinwerfer mit H7 (1500 lm) kommen auf 675 lm. Die Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn ist gegenüber H4 etwa verdoppelt. Dieser Zugewinn ergibt sich überwiegend aus der verbesserten Halogenlampe (dünneres Filament, Infrarot Coated). Aus optischen Gründen (Stichwort: Klarglasoptik) wird auf eine integrierte Frontlinse verzichtet. Deshalb muß alles Licht, welches nicht vom Reflektor eingefangen werden kann, durch eine Blechabdeckung direkt vor der Lampe vernichtet werden. Aus Gründen eines guten CW-Wertes sind Freiformscheinwerfer oben stark nach hinten springend ausgebildet. Statt das nach oben austretende Licht nach unten zu reflektieren, muß die Blechabdeckung im oberen Teil noch extra groß sein. Da im Freiformscheinwerfer die Reflektorform für die Abbildung zuständig ist, muß die Fadenlage im Leuchtmittel wesentlich exakter sein als bei H4. Bei H7-Lampen stellt sich nach Werkunterlagen der Fa. Osram die optimale Fadenlage erst nach Erwärmung ein, weil schon die thermische Blechausdehnung zu Abbildungsfehlern führt.
- Xenon-Scheinwerfer in Super-DE-Technik mit D2S-Lampen (3200 lm) schaffen 1650 lm. Gegenüber H7 wird der Lichtzuwachs hauptsächlich zur besseren Breitenausleuchtung genutzt. Nachteil dieser Lampen ist ihre große Bautiefe. Wie beim Diaprojektor muß in der Blende viel Licht vernichtet werden. Zukunftsweisend ist dieses Konzept vor allem, weil durch verschieden gestaltete und durch einen Stellmotor bediente Blenden leicht verschiedene Lichtformen realisiert werden können (neben Abblend- und Fernlicht auch Stadtlicht, Autobahnlicht, ...)

3.3. Helligkeitseindruck

Ich hab mal den LED-Scheinwerfer mit zwei oft verwendeten Varianten 1x bzw. 2x Bumm Lumotec verglichen.

Geschwindigkeit [km/h]	1x Bumm Lumotec	2x Bumm Lumotec	LED-Scheinwerfer
0 - 5	Beginnt zu leuchten	dunkel	dunkel
5 - 10	Schwaches Leuchten, nicht sinnvoll nutzbar	dunkel	dunkel
10 - 15	Volle Leistung (ab ca. 12 km/h)	Schwaches Leuchten, nicht sinnvoll nutzbar	Beleuchtung sinnvoll nutzbar bei Langsamahrt
15 - 20	Volle Leistung	Beginnt zu leuchten	Leuchtet schon heller als 1x Lumotec, volle Leistung ab 19 km/h
20 - 25	Volle Leistung	Brauchbare Beleuchtung	Volle Leistung
25 - 30	Volle Leistung	Volle Leistung	Volle Leistung

3.4. Lichtverteilung

Im Folgenden ein paar Projektionen, um die Struktur des Lichtkegels zu bewerten.

Wichtig: Damit nur die Helligkeit und nicht die Lichtfarbe bewertet wird, sind alle Abbildungen auf s/w reduziert. Weiterhin sind alle Abbildungen auf eine mittlere Helligkeit über das Gesamtbild normiert.



Abb. 7: links Bumm Lumotec mit HS3 bei 6,5 V und rechts LED-Eigenbau bei 500 mA

Lt. Olaf Schulz soll der Bumm im HV 230 lx liefern. Noch zwei Bilder original von Olaf Schulz.



Abb. 8: links HalberFL mit 5W Lambert-Strahler bei 550 mA, rechts Aufa 12V mit HS4

Der Aufa soll im HV 663 lx liefern.

Was liefert der Eigenbau?

- Die Lichtstärke im HV entspricht der Lichtstärke bei einem Bumm Lumotec mit HS3 bei 6,5 V, ist aber deutlich geringer als beim Aufa 12 V.
- Der HV ist wesentlich breiter und etwas länger als bei einem Bumm Lumotec. Breiter ist ok. Länger ist nicht so gut, da der Cut Off nach oben verwischt ist. Das liegt an der größeren Ausdehnung der leuchtenden Fläche der 5W LED gegenüber einer Glühwendel. Dennoch ist der Cut Off deutlich besser als im HalbenFL.
- Der Eigenbau liefert vom Vorderrad an einen schmalen hellen und rel. homogenen Lichtkegel. Er ist aber leider nicht von oben nach unten gestuft, wie es wünschenswert wäre. Auch ist er nicht ganz so homogen wie beim HalbenFL.
- Zwischen HV und Nahbereich ist eine dunkle Zone. Die hab ich leider nicht wegbekommen. Unter dem gleichen Problem leiden viele Fahrradscheinwerfer – so auch der Lumotec.

- Bzgl. der Fahrbahnausleuchtung ist das Ergebnis besser als mit einer MR11 10 W-Halogenlampe mit 10° Öffnungswinkel an 14,4 V, aber schlechter als ein 20 W-Typ.

4. Schaltplan

Um die teuren LEDs zu schützen kommt eine Strombegrenzung auf 500 mA zum Einsatz. Dies braucht man nur, wenn man den Scheinwerfer auch an Akkus betreiben möchte.

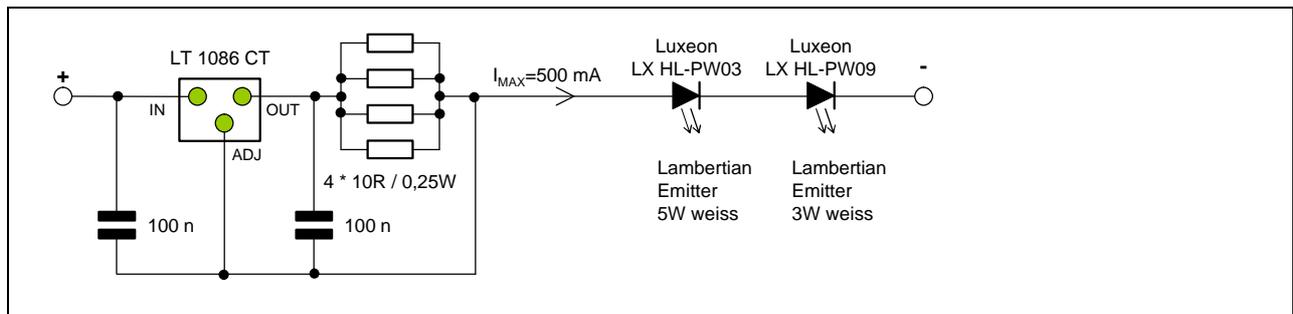


Abb. 9: Schaltplan zur Strombegrenzung durch die beiden LEDs

Frage ist natürlich, wieviel Leistung in der Strombegrenzung verbraten wird. Bei 500 mA sind es immerhin 1,1 W. Ist es sinnvoll, viel Energie in eine Reduzierung zu stecken? Mehr Licht bekäme man durch mehr Strom, aber mehr als 500 mA liefert der SON nicht. Die werden mit Strombegrenzung bei 19 km/h erreicht. Ohne Strombegrenzung (hab ich mal ausprobiert) erreicht man dies bei 16 km/h.

Man hat also die Wahl zwischen Akku und Strombegrenzung oder keine Akku und keine Strombegrenzung. Mit einem Transistor anstelle des Low Drop Reglers könnte man noch 30% weniger Verlustleistung in der Strombegrenzung herauskitzeln, das Ganze wäre dann aber weder kurzschlußfest noch thermisch geregelt.

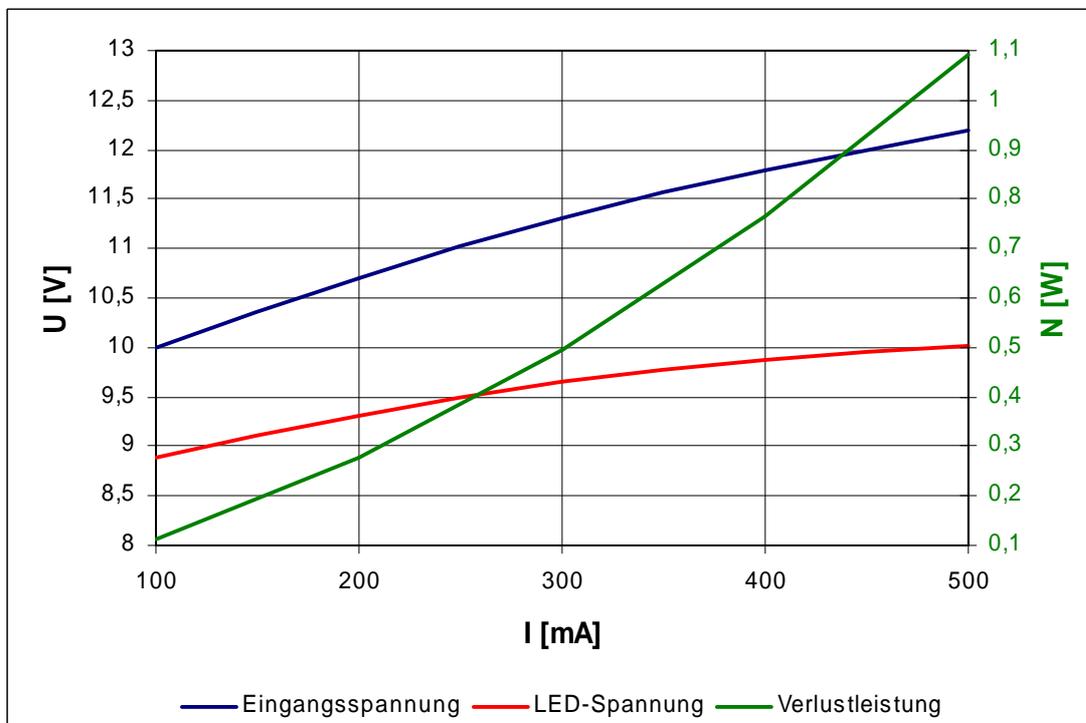


Abb. 10: Eingangsspannung, LED-Spannung und Verlustleistung in Abhängigkeit des Stromes

5. Bewertung des Eigenbaus

Gegenüber einem Standard HS3-Scheinwerfer ist ein dreimal höherer Lichtstrom auf der Fahrbahn auf jeden Fall ein Vorteil. Die 93 lm zur Fahrbahnausleuchtung nutzbarer Lichtstrom beim LED-Eigenbau-Scheinwerfer gegenüber 68 lm bei einem sehr guten HS4-Scheinwerfer sind hingegen kein großer Unterschied. Was verbleibt also an Vorteilen:

5.1. Wartungsfreiheit

Da HS4-Scheinwerfer eine lange, feine Wendel haben, ist ihre Lebensdauer ziemlich begrenzt. Als Maximalwert können 100 Stunden betrachtet werden.

Auch HS3-Lampen leben nicht wirklich lange. Bei zwei HS3-Lampen in Reihe dupliziert sich der Effekt noch. Ich habe lange einen Doppelscheinwerfer gefahren und aus leidlicher Erfahrung für jede Lampe einen Überbrückungsschalter vorgesehen, weil eine Lampe immer kaputt ging und man dann die kaputte mit dem Schalter leicht überbrücken konnte.

Die 5 W LED ist mit 1000 Stunden Betriebszeit bei 700 mA von Luxeon angegeben. Bei den verwendeten 500 mA kann von einer Verdopplung der Betriebszeit auf 2000 Stunden ausgegangen werden, da die thermische Belastung der Sperrschicht geringer ist. Dabei geht die LED auch nicht direkt kaputt, sondern der Lichtstrom sinkt auf $< 80\%$ des Nominal-Lichtstromes. 2000 Stunden mit 15 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit ergibt 30.000 km Fahrt mit Licht.

5.2. Weißes Licht

Die beiden folgenden Bilder zeigen dieselbe Strasse mit Xenon- und mit Halogenbeleuchtung. Da die Xenon-Beleuchtung nicht nur weisser, sondern auch heller ist als die Halogenbeleuchtung, wurde das linke Bild in der Helligkeit um 50% reduziert. Dennoch sind die Kontraste links deutlich besser.



Abb. 11: links Tageslichtweiß (Farbtemperatur 4500 K), rechts Halogenlicht (Farbtemperatur 3000 K)

Bei zwei Lampen seien der reine Lumen-Wert für Tageslichtweißes und Warmweißes Licht gemäß der menschlichen Tageslichtkurve gleich. Es wird dabei nicht berücksichtigt, dass etwa 9% der männlichen und 0,5% der weiblichen Bevölkerung eine Rot-Grün-Schwäche oder Rot-Grün-Blindheit haben. Bei einer Verminderung des Rotanteils um 25% ist die Auswirkung auf die Beleuchtung der Strasse mit Tageslichtweißem Licht wesentlich geringer als bei Beleuchtung mit Warmweißem Licht.



Abb. 12: Bild wie vorher, aber Rotanteil um 25% reduziert.

5.3. Preisvergleich

Alle Preise sind aus dem 2004/05-Katalog der Fa. Brügelmann, Frankfurt entnommen. Preise für die elektronischen Bauteile von Conrad Elektronik.

- Unschlagbar preiswert ist der Doppelcheinwerfer aus zwei Bumm Lumotec Standard.
 - 2x Lumotec Standard je 14,90 EUR
 - SON Nabendynamo: 149,00 EUR
 - Summe: 178,80 EUR
- Deutlich teurer der Aufwand für den Eigenbau
 - LEDs: 29,00 + 19,00 = 48,00 EUR
 - SON Nabendynamo: 149,00 EUR
 - Einfachscheinwerfer Soubitez: 10,00 EUR
 - Bauteile Strombegrenzung: 6,00 EUR
 - Summe: 213,00 EUR
- Zum Vergleich eine 12V Anlage von Bumm
 - Bumm Dymotec S12: 189,90 EUR
 - Lumotec 12 plus: 39,80 EUR
 - Summe: 229,70 EUR

6. Was bringt die Zukunft

Die von mir verwendeten LEDs entstammen dem Rank S. Dieser bietet für eine 2/3 W LED bei 700 mA lt. Datenblatt 51,7 – 67,2 lm. Inzwischen ist auch schon der Rank T erhältlich, der mit 67,2 – 87,4 lm spezifiziert ist. Bei 500 mA ist das eine Verbesserung von 29 lm/W auf 34 lm/W. Der Gesamtlichtstrom für meine Lampe würde sich von 140 lm auf 170 lm verbessern. Allerdings ist fraglich, ob es dann noch 5 W Luxeons geben wird. Mir scheint sich die Entwicklung derzeit auf die 2/3 W-Typen zu konzentrieren. Der Eigenbau müsste dann also auf 3 LEDs ausgebaut werden.

In 2006 dürften 50 lm/W realistisch sein. Dann sind mit einem LED-Scheinwerfer 250 lm machbar. Das entspricht in der Fahrbahnausleuchtung einer MR11 Halogenlampe von 20 W im 14,4 V-Betrieb, weil diese ja viel Licht verschwendet. Auch die Leuchtdichte von LEDs dürfte dann auf dem Niveau von Halogelampen liegen.

Eine professionell entworfene und zur den LEDs passende Streuscheibe bringt zwar nicht unbedingt mehr Gesamtlicht, könnte aber eine bessere Lichtverteilung liefern.

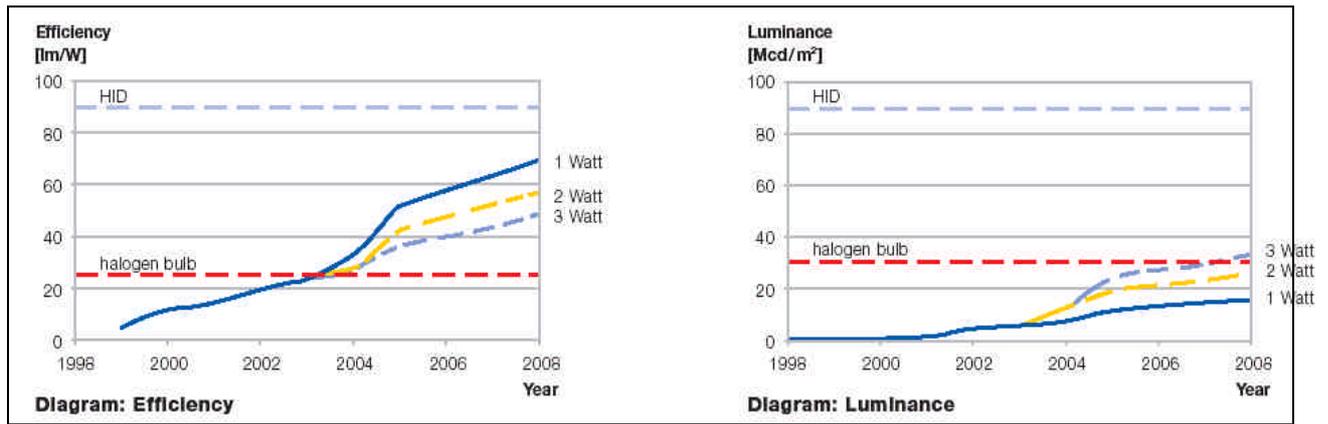


Abb. 13: Zukunftsprognose zur Entwicklung bei LEDs