

Wolfgang Bergter, Neubiberg

05/2002

Echte 12 V Standlichtschaltung

1. Motivation	2
2. Strombilanz bei 12 V	2
3. Vorüberlegungen zum Design	2
4. Schaltplan	3
5. Beschreibung der Funktionalität.....	6
5.1. Gleichrichtung der Dynamospannung und Serienkondensator	6
5.2. Verlust durch Schottky-Dioden	8
5.3. Auswahl der Anzahl an Akku-Zellen	9
5.4. Umschaltpunkt und Betriebsanzeige	9
5.5. Spannungsbegrenzung vor der Ladeschaltung	10
5.6. Ladeschaltung für den Akku	11
5.7. Gesicherter Einschaltvorgang.....	13
5.8. Kurzschlußfestigkeit und Tiefentladeschutz	13
5.9. Softstart.....	14
5.10. Restwelligkeit	14
5.11. Pin-Belegungen	14
6. Ladegerät	14
7. Anbindung der Beleuchtung.....	15
8. Strom- und Spannungskurven	16

1. Motivation

Nachdem ich ca. ½ Jahr den SON-Nabendynamo im Einsatz habe und diesen als 12 V-Gerät (ab ca. 20 km/h möglich) betreibe, kam mir die Idee, auch die vorhandene Union Standlichtanlage von 6 V auf 12 V umzurüsten. Dafür gab es zwei Gründe:

- Bei langsamer Fahrt wird die Beleuchtung schnell schwächer. Fährt man beispielsweise langsamer, um Hindernisse besser wahrnehmen zu können, wird zugleich die Beleuchtung schwächer. So hat man vom Langsam-Fahren gar nicht allzuviel.
- Ein zweiter Punkt kommt hinzu: Die vorhandene Standlichtanlage schaltet zwischen Dynamo- (mit Wechselstrom) und Akku-Betrieb (mit Gleichstrom) per Relais hin und her. Um ein ständiges Umschalten zu vermeiden, wird erst bei relativ geringer Dynamospannung auf Akku umgeschaltet. Das Schalten von Akku auf Dynamo erfolgt bei deutlich höherer Dynamospannung. So wechselt die Beleuchtung ständig zwischen hellerem und schwächerem Licht.

Es muß also eine Schaltung entworfen werden, die nicht erst bei langsamer Fahrt vom Dynamo- auf den Akku-Betrieb „hart“ umschaltet, sondern durch ein „soft takeover“ derart umschaltet, dass die Betriebsspannung für die Beleuchtung unter allen Betriebsbedingungen nahezu konstant bleibt. Ein ständig mitlaufender Nabendynamo bietet ideale Voraussetzungen für eine solche Lösung, ohne dass der Akku häufig von einem externen Ladegerät (Steckernetzteil) aufgeladen werden muß, da bei ausgeschaltetem Licht der Akku sofort wieder geladen wird.

2. Strombilanz bei 12 V

Nach dem Umbau der gesamten Fahrradelektrik auf ein 12 V-System wurden folgende Stromverbrauchsmessungen bei 12 V_{eff} gemacht:

Vorderlicht (12 V / 5 W), Osram Halostar / G4 Stiftsockel	417 mA (29 Ohm)
Rücklicht (LED)	30 mA (400 Ohm)
Tachobeleuchtung	3 mA (4000 Ohm)
Elektronik für Standlicht	3 mA (4000 Ohm)
SUMME	453 mA (26,5 Ohm)

3. Vorüberlegungen zum Design

Da ich als Front- und als Rücklampe elektronische Lampen verwende (vorn eine Leuchtstoffröhre, hinten LEDs), die intern den Dynamo-Wechselstrom zunächst gleichrichten, lag es nahe, die gesamte Fahrrad-Elektrik auf Gleichstrom umzustellen. Also: Gleichrichten des Dynamo-Wechselstroms gleich hinter der Quelle. Ab da gibt es nur noch Gleichstrom, was das gesamte Schaltungsdesign wesentlich vereinfacht. Höhere Verluste als vorher treten nicht auf, da in jedem Fall irgendwo vor der Lichterzeugung gleichgerichtet werden muß.

Der einfachste Fall einer Standlichtanlage besteht aus einem Brückengleichrichter, einer Spannungsstabilisierung auf 13,5 V und einem 12 V Blei-Gel-Akku. Dieses Vorgehen hat zwei Nachteile:

- Hohes Gewicht des Blei-Gel-Akkus von ca. 600 g. Dies sind die kleinsten verfügbaren Modelle mit 1,2 Ah Kapazität.
- Schneller Abfall der Kapazität bei Kälte, d. h. gerade im Winter, wenn man das Licht braucht.
- Rückgang der Kapazität durch das permanente Umladen.

Deshalb kommt man um die Verwendung von modernen NiMH-Zellen und einer intelligenteren Ladeschaltung nicht herum. Auswahlkriterien für die NiMH-Zellen sind:

- > 500 mAh Kapazität, d. h. knapp 1 Stunde Licht ohne jede Dynamounterstützung
- robust bezüglich dauernden Umladevorgängen, 1000 Ladezyklen bei völliger Entladung, sonst deutlich mehr.
- schnell-ladefähig bis 1 C, d.h. man kann mit voller Dynamoleistung (550 mA) aufladen.
- leicht und klein

All diese Kriterien erfüllen die Panasonic-Akkus im AAA-Format mit 650 mAh Kapazität und 14 g Gewicht je Zelle, wie sie in vielen Handys zum Einsatz kommen.

4. Schaltpläne

4.1. Variante mit Relais zur Einschaltsteuerung

Im folgenden Bild ist der Schaltplan wiedergegeben. Die gesamte Schaltung inclusive der Panasonic-Zellen kann in das vorhandene Gehäuse der alten Union 8520 e-Standlichtanlage eingebaut werden. Das Gewicht beträgt knapp 200 g. Als Steckverbinder zum Fahrrad dient ein 5 pol-DIN-Stecker. Über ihn lassen sich alle Verbindungen realisieren:

- 2 x Dynamo
- Masse (Minus)
- Licht (Plus geschaltet)
- Sonstige Verbraucher (Plus direkt vom Akku)

Eine Gummikappe, die über den Stecker und die passende Kupplung gezogen wird, dient als Nässe-schutz.

Anmerkung:

Als Verbindung bieten sich für Perfektionisten die neuen Mini-DIN-Stecker mit integrierter Schutzkappe an.

Eine detaillierte Beschreibung der Funktionalität folgt im Kapitel „Beschreibung der Funktionalität“.

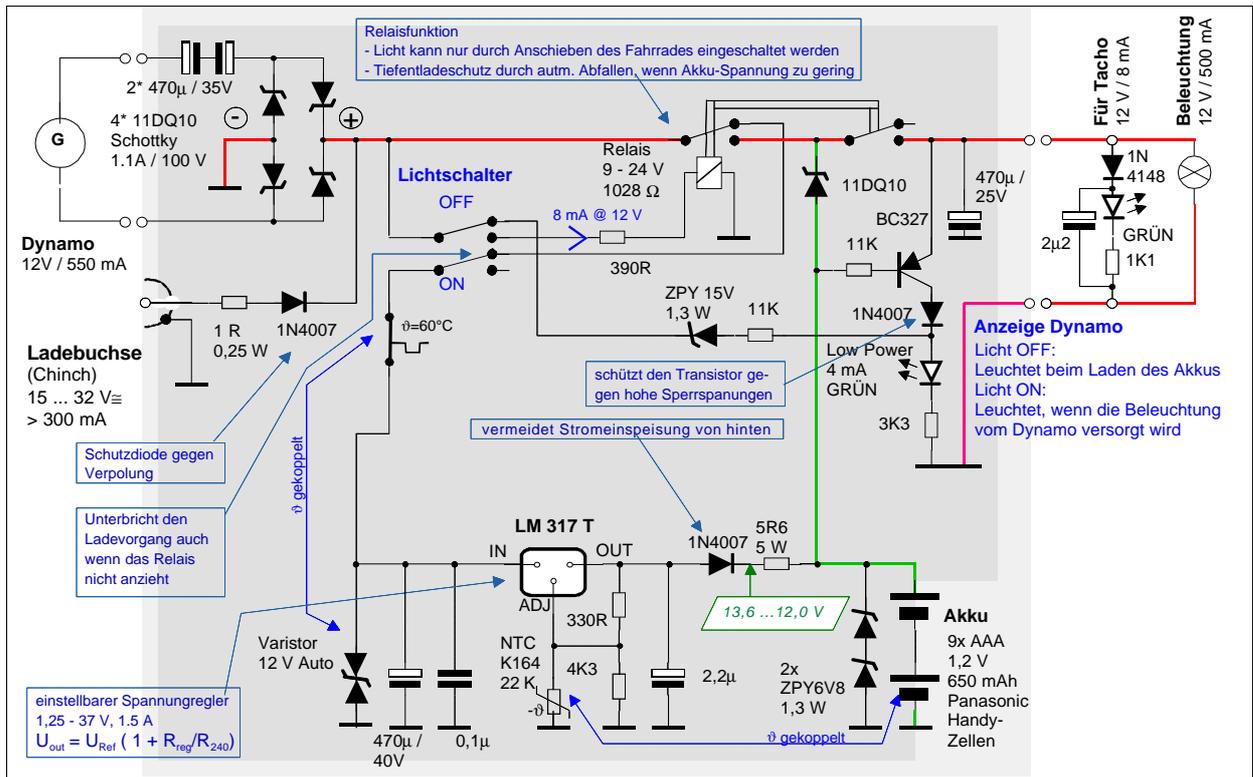


Abb. 1: Schaltplan Standlicht mit Relais

4.2. Variante mit Transistor zur Einschaltsteuerung

Es mag Leute geben, die keine Relais mögen (Wegen Mechanis, Verschleiß u.s.w.). Deshalb zeige ich im Folgenden eine Möglichkeit, wie man das Relais durch eine Transistorschaltung ersetzen kann.

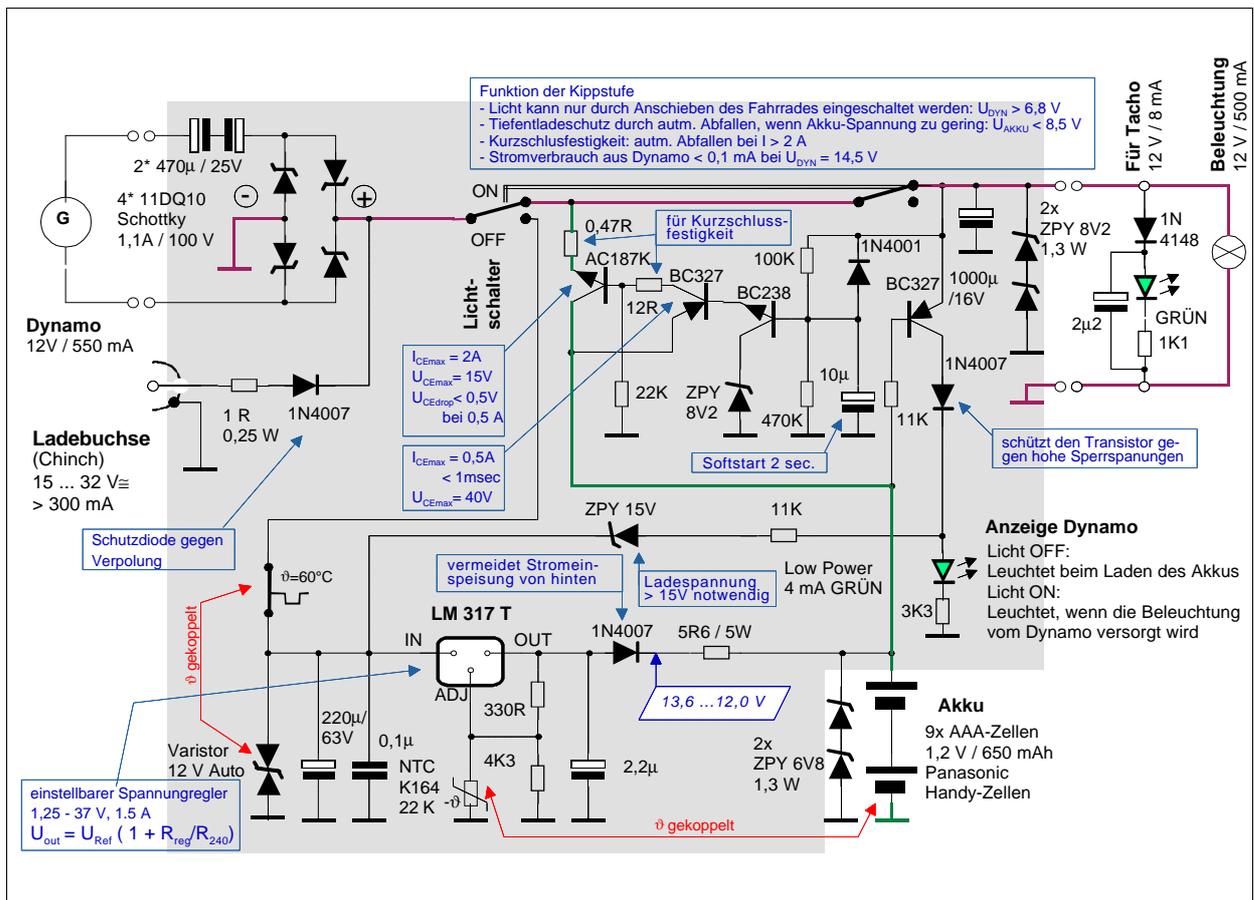


Abb. 2: Schaltplan Standlicht mit Transistor

4.3. Variante mit Relais und Zusatzbatterie

Um die Leuchtkraft des Frontscheinwerfers zu erhöhen, wird optional die bereits bekannte Relais-Schaltung mit einem weiteren Akkupack in Reihe geschaltet. Hierdurch wird das Halogenlämpchen zwar etwas gequält, die Lichtausbeute ist jedoch überragend. Gegenüber jeder Art von weiterem Zusatzscheinwerfer auf jeden Fall die beste und einfachste Möglichkeit, mehr Licht zu erhalten.

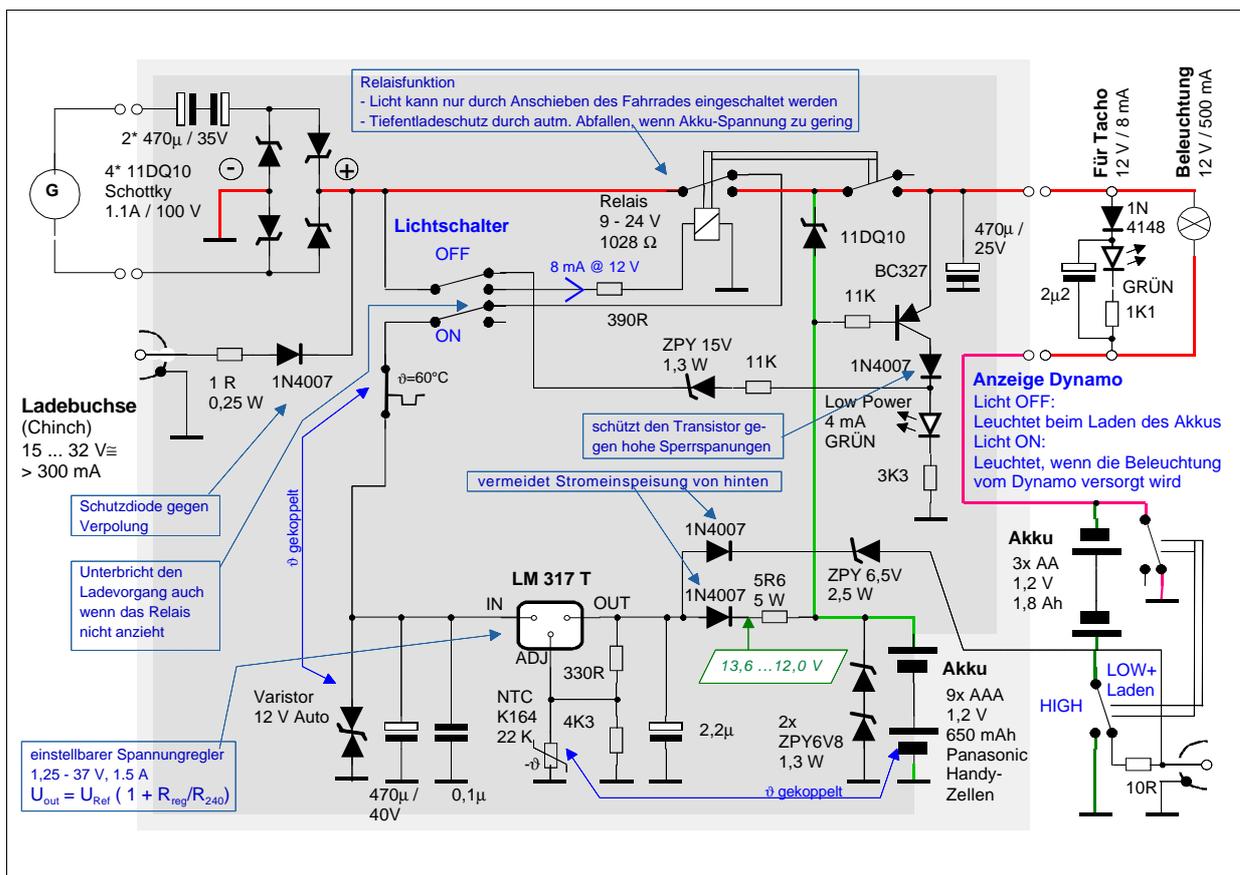


Abb. 3: Schaltplan Standlicht mit Relais und Zusatzbatterie

5. Beschreibung der Funktionalität

5.1. Gleichrichtung der Dynamospannung und Serienkondensator

Da der Dynamo Wechselspannung abgibt, alle folgenden elektronischen Elemente aber Gleichspannung brauchen, muß zunächst gleichgerichtet werden. Der Dynamo betreibt die Schaltung über zwei antiparallel geschaltete Elektrolytkondensatoren von je 470 µF / 25 V (= Serienkondensator). Bei ihnen ergibt sich nach Messung mit verschiedenen Kondensatoren die beste Spannungsüberhöhung im Bereich 20 ... 30 km/h.

Der Sinn der zwei antiparallel geschaltete Elektrolytkondensatoren ist, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten ($v < 16$ km/h) die Spannung kleiner, bei „normalen“ Geschwindigkeiten (16 km/h $< v < 45$ km/h) höher und bei großen Geschwindigkeiten ($v > 45$ km/h) unverändert ist (vgl. Olaf Schulz, Hamburg). Die kleinere Spannung bei niedrigen Geschwindigkeiten spielt keine Rolle, da hier ohnehin der Akku die Energie bereitstellt.

Rechnung:

Die Spannungsfestigkeit beider Kondensatoren in Reihe ist 50 V DC. Solange die Elektronik mit dem SON verbunden ist, bleibt die Spannung wegen des Schutzvaristors deutlich unter 40 V DC. Wird die Elektronik vom SON getrennt, fließt kein Strom und die volle Spannung fällt über den Dioden ab.

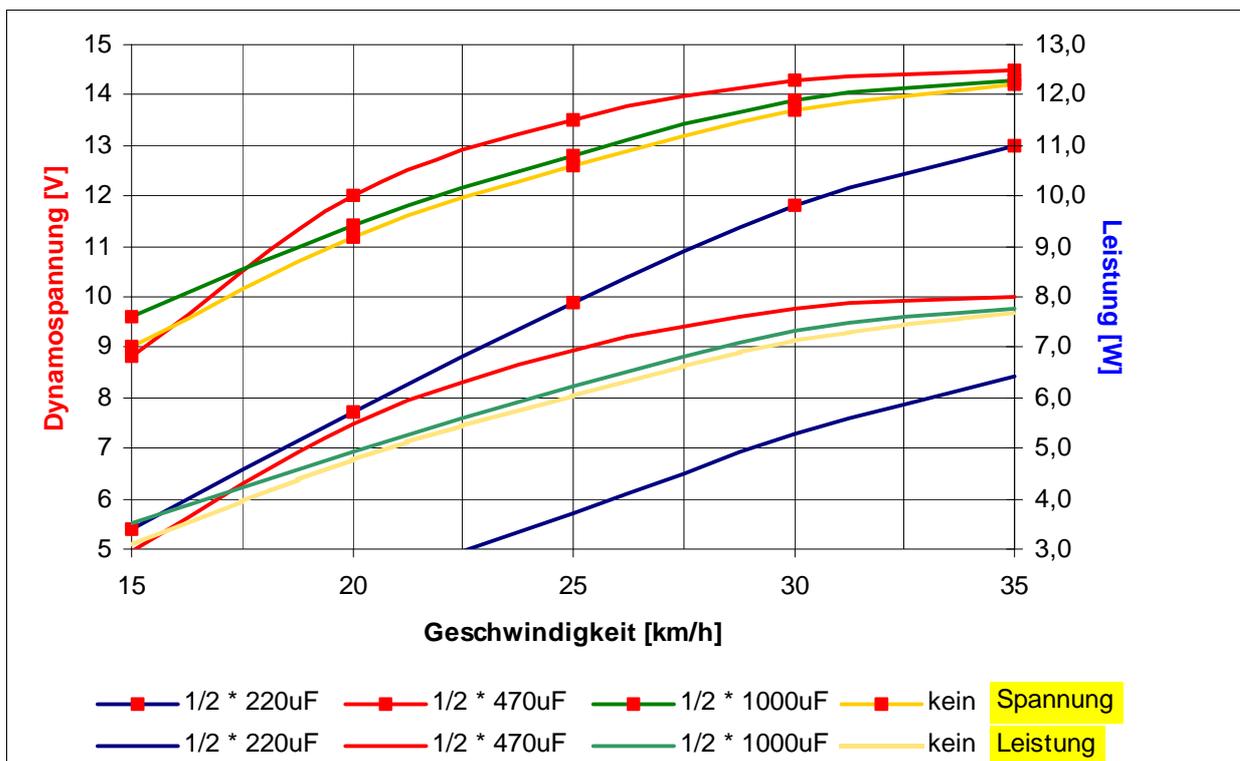


Abb. 4: Spannungsverlauf (Wechselspannung) und Leistung des Dynamos mit bzw. ohne verschiedene Serienkondensatoren bei Belastung mit 26,5 Ohm (14,5 V / 550 mA) nach der Gleichrichtung

Hinter den zwei antiparallel geschaltete Elektrolytkondensatoren wird der Strom über vier als Brücke geschaltete Schottky-Dioden 11DQ10 (1,1 A / 100 V) von International Rectifier gleichgerichtet. Silizium-Dioden kommen wegen des höheren Spannungsabfalls (0,7 V statt 0,3 V bei 500 mA) nicht in Frage. Die Spannungsfestigkeit bis 100 V ist notwendig, damit die Elektronik auch noch rasante Bergabfahrten überlebt.

Rechnung:

Die höchste Spannung wird erreicht, wenn die gesamte Elektronik vom Dynamo getrennt ist. Da zwei Dioden in Reihe liegen, erreichen beide zusammen eine maximale Reverse Spannung von 200 V. Die Peak Spannung von 200 V entspricht 142 V AC. Dies erreicht der SON erst bei 140 km/h. Die Dioden sind also ausreichend dimensioniert.

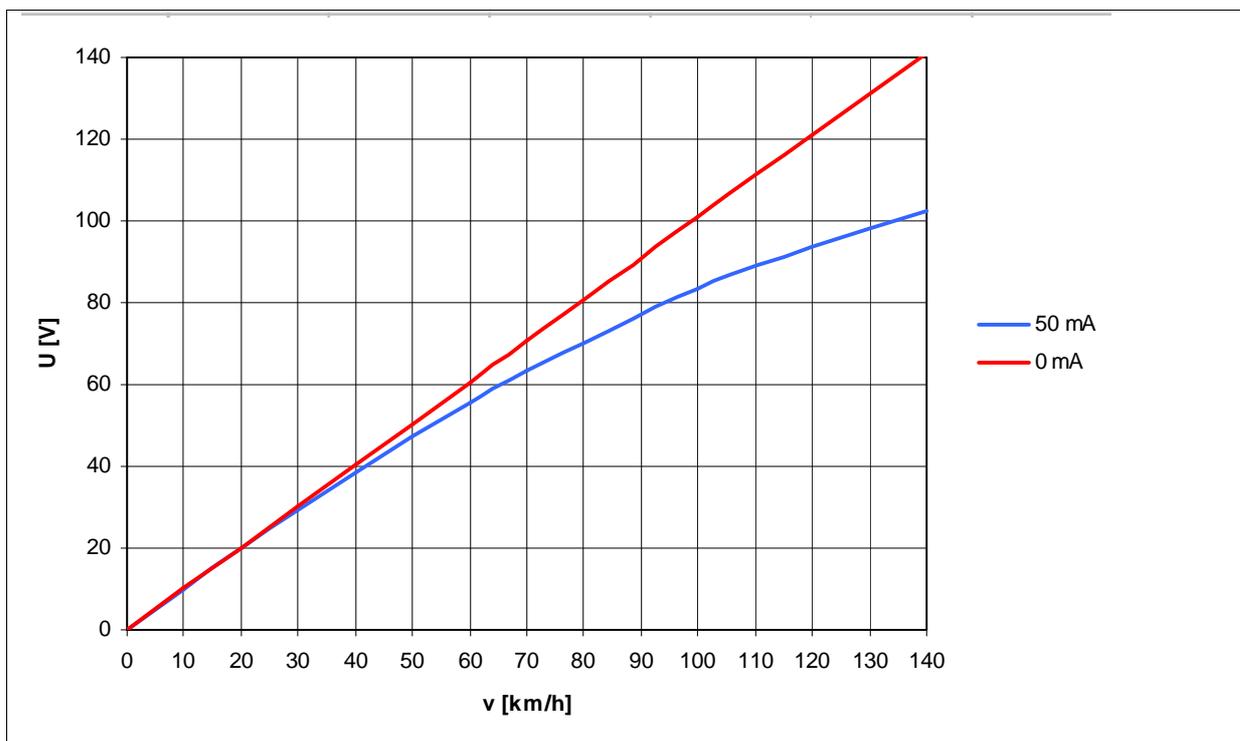


Abb. 5: Leerlaufspannung und Spannung bei Belastung mit 50 mA U[V] vom SON in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit

5.2. Verlust durch Schottky-Dioden

Selbstverständlich tritt an den Schottky-Dioden eine Verlustleistung auf. Für die 11DQ10 der Firma International Rectifier entnehmen wir aus dem Datenblatt für eine Umgebungstemperatur von 25°C und einen Durchlaßstrom von 0,5 A einen Forward Voltage Drop von ca. 0,5 V. Das entspricht einer Verlustleistung von 250 mW und einem virtuellen ohmschen Widerstand von 1 Ohm.

Wenn man sich die Kennlinien für den SON-Dynamo anschaut (Dazu gibt es diverse Veröffentlichungen im Internet) sieht man, dass der SON bei höheren Belastungswiderständen bei gleicher Drehzahl eine höhere Spannung abgibt. Im Bereich 25 ... 30 km/h und 25 ... 30 Ohm Belastungswiderstand ergibt sich eine höhere Spannung von etwa 0,35 V pro Ohm höherer Belastungswiderstand. Bei 2 Ohm Zusatzwiderstand (2 Schottky-Dioden vom Typ 11DQ10) ergeben sich also 0,7 V Mehrspannung. Abzüglich der 1 V Forward Voltage Drop für die Gleichrichtung erhält man also einen effektiven Verlust durch die Gleichrichtung von 0,3 V bzw. 150 mW.

Nehmen wir als Vergleich eine Leistungs-Schottky-Diode wie die MBR1060 (max. 10 A, 60 V) ergibt sich ein Forward Voltage Drop von ca. 0,35 V. Schottky-Dioden mit noch geringeren Werten sind technologisch nicht möglich. Bei 1,4 Ohm Zusatzwiderstand (2 Schottky-Dioden vom Typ MBR1060) ergeben sich also 0,49 V Mehrspannung. Abzüglich der 0,7 V Forward Voltage Drop für die Gleichrichtung erhält man also einen effektiven Verlust von 0,21 V bzw. 105 mW.

Setzen wir das noch in Relation zum Lichtverlust bei einer 5 W Halogenlampe.

- 0,3 V weniger entspricht 2,5 % weniger Spannung, also 10 % weniger Licht (Over- und Undervoltage-Kennlinie für Halogenlampen beachten !)
- 0,2 V weniger entspricht 1,6 % weniger Spannung, also 6,5 % weniger Licht

Resümee:

Mit Hilfe von dicken und teuren Leistungs-Schottky-Dioden anstelle der kleinen von mir eingesetzten gewinnt man genau 3,5 % an Licht.

5.3. Auswahl der Anzahl an Akku-Zellen

Normalerweise setzt man pro Akku-Zelle 1,2 V an. Um 12 V zu erreichen wären dann 10 Zellen notwendig. Im Normalbetrieb sind die Zellen jedoch immer recht gut geladen, so dass sich laut Datenblatt 1,3 ... 1,4 V pro Zelle ergeben, in Summe also 13 ... 14 V. Die Konsequenz ist, dass das Licht praktisch permanent vom Akku versorgt werden würde, da die Akkuspannung höher ist als die Dynamospannung.

Also kommen nur 9 Zellen zum Einsatz. Hierfür ergeben sich folgende Werte (messtechnisch evaluiert):

- Akku frisch voll geladen: 12,75 V
- Akku 10 Std. nach Voll-Ladung: 12,1 V 90 ... 100 % geladen
- Nennspannung: 10,8 V 20 ... 50 % geladen
- Akku entladen: 10,35 V

5.4. Umschaltpunkt und Betriebsanzeige

Der Umschaltpunkt zwischen Dynamo und Akku erfolgt gleitend dadurch, dass der Akku über den Transistor auf die Lampen geschaltet wird. Ist die Dynmospannung höher als die Akkuspannung, sperrt der Transistor und der Dynamo versorgt die Lampen. Ist die Dynmospannung niedriger als die Akkuspannung, leitet der Transistor und der Akku versorgt die Lampen. Gleitender Übergang bedeutet folgendes:

- Bei Geschwindigkeiten < 10 km/h läuft die Beleuchtung ausschließlich auf Akku.
- Ab 15 km/h Fahrtgeschwindigkeit stellt der Dynamo im Leerlauf 12 V bereit. Diese Spannung bricht jedoch bei Belastung zusammen. Erst ab 20 km/h ist der Dynamo in der Lage, auch bei einer Belastung von 460 mA wirklich 12 V bereit zu stellen. Im Geschwindigkeitsbereich 10 ... 20 km/h steuert der Akku immer genau den Strom für die Beleuchtung bei, die dem Dynamo fehlt. Die Stromverteilung zeigt die folgende Abbildung. Der Übergangspunkt hängt vom Ladezustand des Akkus ab: Je leerer er ist, desto früher kommt der Dynamo zum Zuge.
- Ab 20 km/h stellt der Dynamo auch bei voll geladenem Akku die alleinige Energiequelle dar.

Ob die Lampen vom Dynamo oder vom Akku betrieben werden, zeigt eine grüne Low Power LED an. Der Transistor BC327 leitet, wenn die Basis um 0,7 V negativer ist als der Emitter. Die LED leuchtet:

- bei eingeschalteter Beleuchtung: Wenn die Lampen vom Dynamo betrieben werden
- bei ausgeschalteter Beleuchtung: Wenn der Akku geladen wird.

Die 1N4007 Diode ist notwendig, da beim Ladevorgang bis zu 31 V am Kollektor des Transistors anliegen können. Der Transistor sperrt zwar „theoretisch“, ist jedoch nicht für so hohe Sperrspannungen ausgelegt.

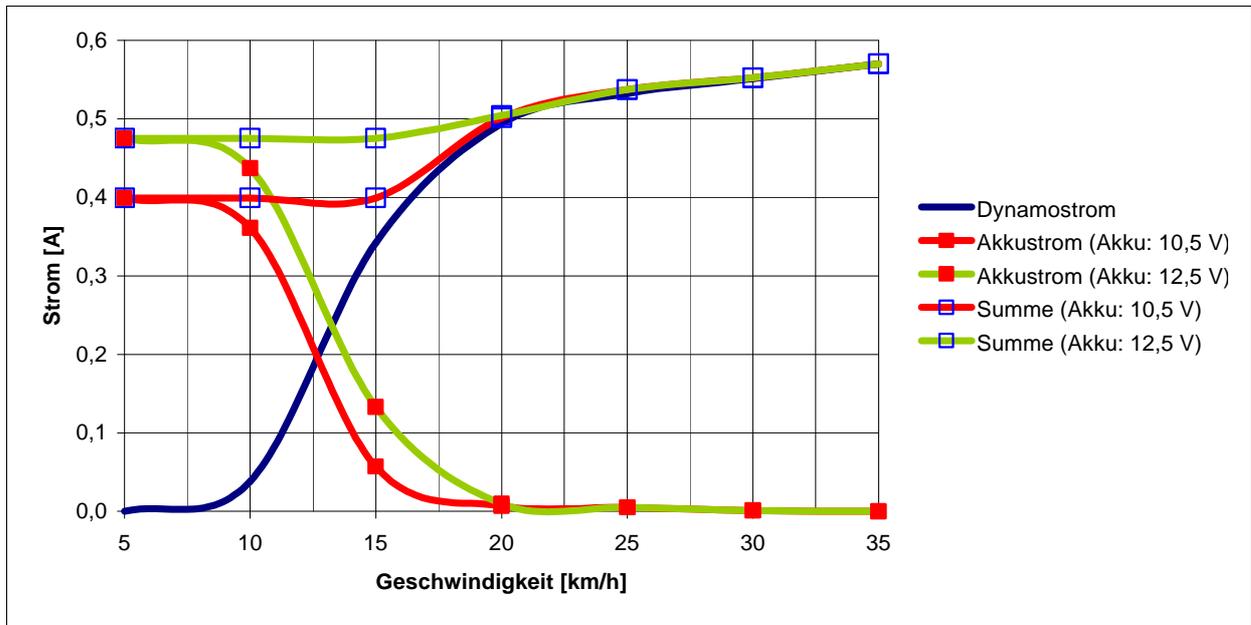


Abb. 6: Stromverteilung zwischen Akku und Dynamo für zwei verschiedenen Akku-Ladezustände

5.5. Spannungsbegrenzung vor der Ladeschaltung

Der LM 317 ist nur bis 40 V Gleichspannung spannungsfest, so dass eine Schutzschaltung notwendig ist. Höhere Dynamospannungen werden durch den Metalloxid-Varistor 12 V Auto kurzgeschlossen. Der Varistor wirkt zwischen 23 und 24 V_~, entsprechend 31 V Gleichspannung.

Aus dem nächsten Diagramm geht hervor, dass die Leistung bei voll geladenem Akku (d.h. Ladestrom 50 mA), die der Varistor aufnehmen muß, nicht ganz unerheblich ist. Bei 30 km/h sind es rund 3 W, bei 40 km/h fast 8,5 W. Deshalb wird der Varistor thermisch mit einem 60° Thermoschalter gekoppelt. Wenn der Thermoschalter öffnet, wird die Ladeschaltung vom Dynamo getrennt. Der Fahrbetrieb zeigt, dass bis zu Geschwindigkeiten von 40 km/h dies nie vorkommt.

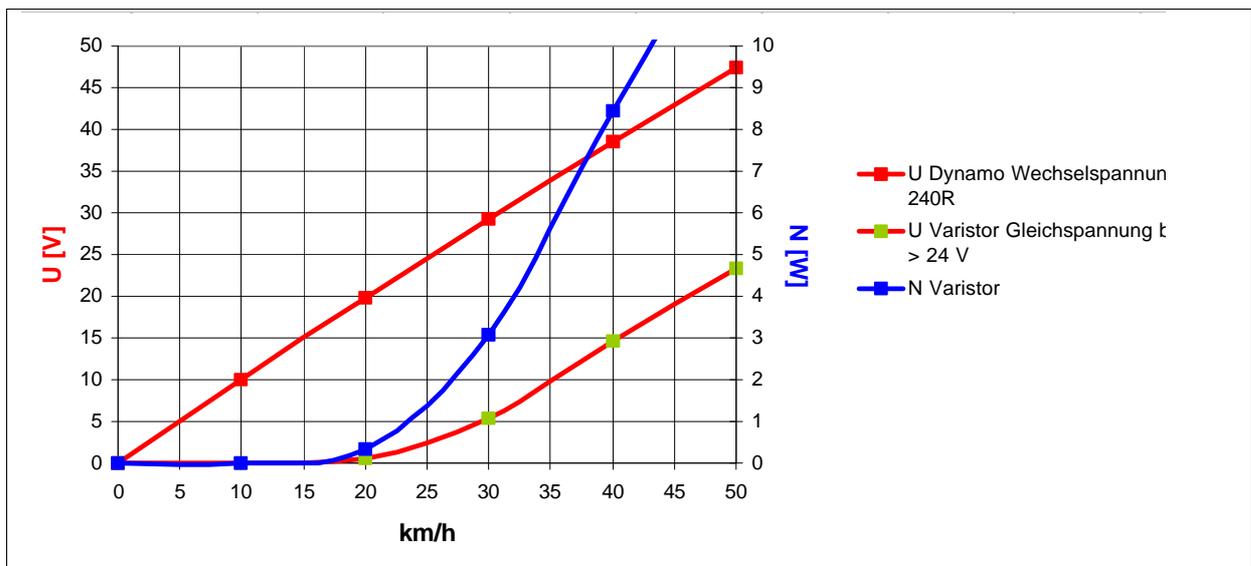


Abb. 7: Spannungsabgabe U[V] SON bei 50 mA in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit und Verlustleistung N[W] am Varistor

5.6. Ladeschaltung für den Akku

Konstantstromquelle:

Eine intelligente Ladeschaltung mit einem Mikroprozessor ist nicht anwendbar, da keine gleichmäßige Stromversorgung durch den Dynamo gewährleistet ist. Eine Konstantstromquelle, die über eine definierte Zeit wirkt, ist auch nicht anwendbar, da man die Ladezeit nicht sinnvoll messen kann. Statt dessen kommt eine Konstantspannungsquelle (wie bei Blei-Akkus) zum Zuge, in die jedoch ein bisschen Intelligenz gepackt wird.

Der LM 317 T wirkt als einstellbare Konstantspannungsquelle. Die Ausgangsspannung ergibt sich nach folgender Formel:

$$U_{\text{out}} = U_{\text{Ref}} (1 + R_{\text{reg}}/R_{\text{FIX}})$$

U_{Ref} beträgt 1,25 V. R_{reg} ist der Widerstand zwischen ADJ-Pol und Masse. R_{FIX} ist der Widerstand zwischen ADJ-Pol und OUT-Pol. Bei einer maximalen Eingangsspannung von 40 V läßt sich die Ausgangsspannung zwischen 1,25 ... 37 V mit maximal 1,5 A Strom einstellen.

Im kalten Zustand wirkt der Spannungsteiler 330R und 4K3 in Verbindung mit dem 22K NTC (ergibt zusammen ca. 3K6). Die Ausgangsspannung ist theoretisch:

$$1,25 (1 + 3600/330) = 14,9 \text{ V.}$$

Gemessen wurden **14,3 V**.

Bei einer höheren Akkutemperatur wird der NTC niederohmiger. Es stellen sich bei 40°C ca. 18K ein. Zusammen mit dem 4K3 ergibt das dann 2K9. Die Ausgangsspannung ist theoretisch:

$$1,25 (1 + 2900/330) = 12,2 \text{ V.}$$

Gemessen wurden **12,7 V**.

Zusätzlicher Schutz für die Akkus besteht durch die zwei Z-Dioden, die ab 13,6 V leiten. Sie erhitzen sich bei einer unzulässig hohen Akkuspannung (sollte, falls die Schaltung fehlerfrei arbeitet, nicht vorkommen) und steuern so ebenfalls die Spannung am LM 317 runter.

Für den LM 317 T ist es nicht gut, wenn durch den Akku am OUT-Anschluß eine Spannung anliegt, nicht jedoch am IN-Pol. Um eine solche Stromeinspeisung „von hinten“ zu vermeiden, dient die Diode 1N4007 zwischen OUT-Pol und 5R6-Widerstand.

Ladestrom:

Der maximale Ladestrom bei leerem Akku ($9 * 1,15 \text{ V} = 10,35 \text{ V}$) beträgt theoretisch

$$(14,3 \text{ V} - 0,7 \text{ V} - 10,35 \text{ V}) / 5R6 = 580 \text{ mA}$$

Die 0,7 V entstehen durch die eingefügte Schutzdiode. Da dies mehr ist, als der Dynamo liefern kann, beträgt der maximale Ladestrom also **550 mA** bei Fahrtgeschwindigkeiten > 25 km/h. Daraus ergäbe sich, dass ein leerer Akku nach rund 2 Stunden Fahrt wieder geladen ist.

Der minimale Ladestrom bei vollem Akku ($9 * 1,4 \text{ V} = 12,6 \text{ V}$) beträgt

$$(12,7 \text{ V} - 0,7 \text{ V} - 12,6 \text{ V}) / 5R6 \rightarrow 0 \text{ mA}$$

I.d.R. stellt sich die Temperatur so ein, dass eine Erhaltungsladung mit 60 mA erfolgt. Da der Ladestrom für den Akku mit zunehmender Ladung geringer wird, wird nach 2 Stunden Fahrt etwa eine 80 %-Ladung erreicht. Die Zeit für die restlichen 20 % zieht sich dann.

Interessant ist noch, wie schnell man mindestens fahren muß, um eine definierte Ladung zu erreichen. Die folgende Graphik zeigt den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und durch den SON erzeugte Spannung bei verschiedenen entnommenen Strömen. Anmerkung: Da hier ohne Serienkondensatoren gemessen wurde, ist die tatsächliche Dynamospannung etwas höher. Wir machen also eine Worst Case Abschätzung.

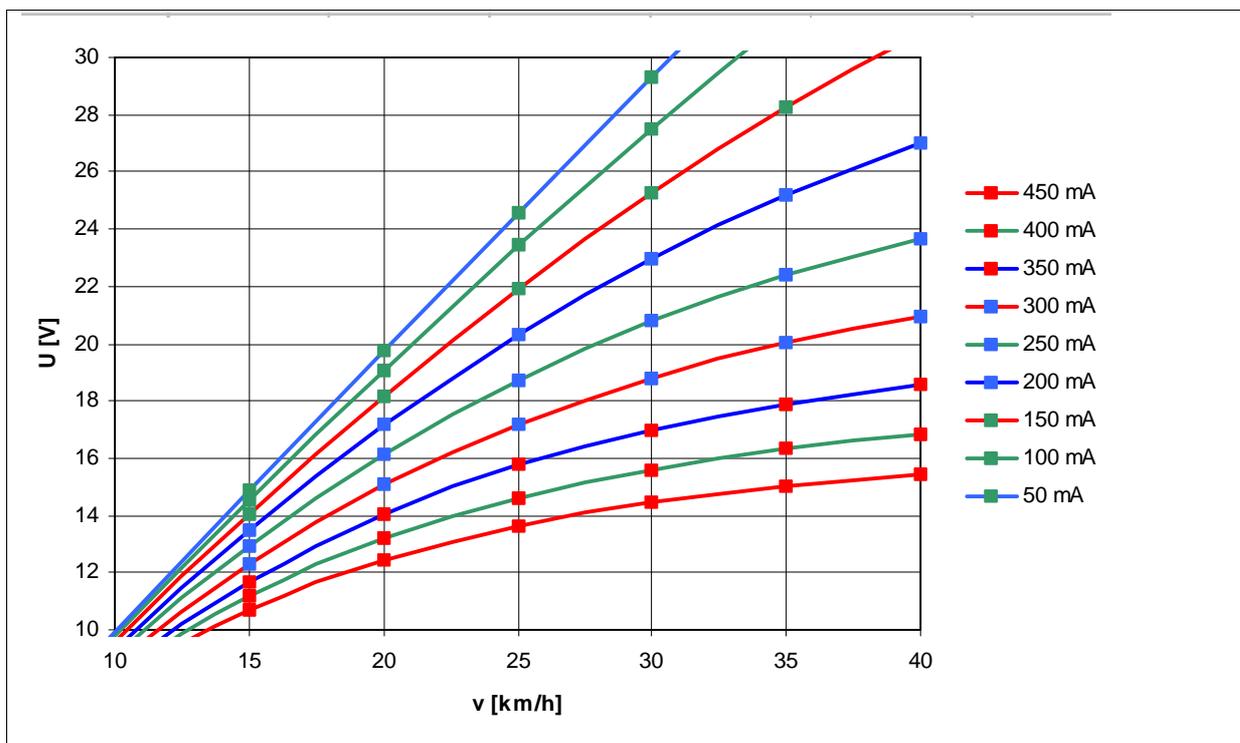


Abb. 8: Spannungsabgabe U[V] SON in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit bei unterschiedlichen entnommenen Strömen

Die folgende Tabelle geht davon aus, dass der Akku ganz leer ist, also nur eine Zellenspannung von 10,35 V hat. Je nach Ladestrom ist der Spannungsabfall am 5R6 und am LM317 unterschiedlich, so dass für höhere Ladeströme höhere Eingangsspannungen am LM317 notwendig werden. Auch der Wechselspannungsanteil ist bei höheren Ladeströmen höher. Er wurde mit einem Digitalvoltmeter vermessen. Volle Ladung ist erst möglich, wenn die Eingangsspannung am LM 317 abzüglich des Wechselspannungsanteils höher als mindestens zum Erreichen des Ladestroms notwendig liegt. Wie man sieht, wird ein Ladestrom von 250 mA bei leicht zu fahrenden 22 km/h erreicht. Maximal sind ca. 350 mA bei 40 km/h möglich. Bei höheren Akkuspannungen sind um rund 20% höhere Geschwindigkeiten notwendig. Es wären zwei Verbesserungen möglich:

- Ersetzen des LM 317 gegen einen Low Drop Spannungsregler, so dass der max. Spannungsabfall zwischen 0,4 ... 0,6 V liegt.
→ wird verworfen, da hohe Kosten, die überflüssig sind.
- Einbau eines Ladekondensators mit höherer Kapazität (z.B. 1000 µF)
→ wird verworfen, da bei 63 V Spannungsfestigkeit grosses Bauvolumen
→ und hohe Belastung des Schaltes und der Glühlampen durch Stromstoß beim Einschalten.

I [mA]	Spannungsabfall an 5R6 [V]	Input-Output Drop Voltage an LM 317 [V] nach Datenblatt National	notwendige Spannung an Input, um 10,35 V am Akku zu erhalten	Wechselspannungsanteil nach Siebung mit 220 µF	Wechselspannungsanteil [V]	notwendige Spannung an Dynamo, um 10,35 V am Akku zu erhalten	notwendige Geschwindigkeit [km/h]
50	0,28	1,55	12,18	4,2%	0,5	12,7	13
100	0,56	1,55	12,46	8,4%	1,0	13,5	14
150	0,84	1,6	12,79	12,6%	1,6	14,4	16
200	1,12	1,6	13,07	17,0%	2,2	15,3	18
250	1,4	1,7	13,45	21,0%	2,8	16,3	22
300	1,68	1,8	13,83	25,0%	3,5	17,3	26
350	1,96	1,85	14,16	29,0%	4,1	18,3	40
400	2,24	1,9	14,49	34,0%	4,9	19,4	n.a.
450	2,52	1,95	14,82	38,0%	5,6	20,5	n.a.

Anzumerken ist noch:

- Die Spannung am SON ist aufgrund der Serienkondensatoren höher als in der Tabelle angesetzt.

- Auch bei einem hohen Wechselspannungsanteil findet noch eine partielle Ladung in den Stromphasen statt, wo die Wellenberge liegen.

Verlustleistung:

Die maximale Verlustleistung am 5R6-Widerstand ist:

$$5R6 * (0,58 A)^2 = 1,9 W.$$

Dem entspricht ein Spannungsabfall von: $1,9 W / 0,58 A = 3,3 V$. Der Widerstand muss also so montiert werden, dass die entstehende Wärme abgestrahlt werden kann.

Die maximale Verlustleistung am LM 317 T ist:

$$(31 V - 10,3 V - 3,3 V) * 0,58 A = 10 W.$$

Dieser Wert ist theoretisch, da der Dynamo nur maximal 6 W aufbringen kann. Also sinkt die Eingangsspannung auf Werte deutlich unter 31 V, so dass sich maximal 3 W Verlustleistung ergeben (gemessen). Die Montage des LM 317 T auf ein Kühlblech ist dennoch erforderlich. Er besitzt aber eine interne Schutzschaltung, die den Strom bei Temperaturen $> 100^\circ C$ herunterregelt, so dass nichts passieren kann.

Stromverbrauch:

- Ruhestromverbrauch: praktisch 0, d. h. für die Akkus kommt nur die Selbstentladung zum Tragen
- Die gesamte Verlustleistung für die Elektronik im Betrieb ist
 - Schottky-Dioden: $P_D = 0,6 V * 0,55 A = 0,33 W$
 - Blindleistung des Elektrolyt-Siebcondensator: $P_B = 0,12 W$ $330 mW + 120 mW = 450 mW$

5.7. Gesicherter Einschaltvorgang im Falle Relais-Schaltung

5.8. Gesicherter Einschaltvorgang im Falle Transistor-Schaltung

Das Licht wird über den Lichtschalter direkt mit dem Dynamo verbunden. Um sog. „Spaßvögeln“ das Handwerk zu legen, die im Stand das Licht einschalten wollen, erfolgt die Versorgung vom Akku jedoch über eine Kontrollschaltung. Erst wenn das Licht eingeschaltet worden ist **und** eine Dynamospannung von $> 6,8 V$ anliegt, gibt die Schutzschaltung den Akku frei. Anschließend ist die Schaltung solange selbsthaltend, bis das Licht von Hand ausgeschaltet wurde oder die Akkuspannung unter $8,5 V$ fällt (Schutz gegen Tiefentladung).

Die Akkuspannung wird über den Transistor AC 187 K mit der Beleuchtung verbunden. Dieser Transistor muß zwei Aufgaben erfüllen: Der Emitter-Kollektor Spannungsdrop U_{CEdrop} soll möglichst gering sein und er muß sperren, wenn die Emitterspannung höher als die Kollektorspannung ist. Die erste Anforderung würde ein MOSFET-Transistor sicher besser erfüllen, für die zweite Anforderung wäre jedoch eine zusätzliche Diode erforderlich. Damit ist der Vorteil des geringen Innenwiderstandes eines MOSFET wieder dahin. Der Grund, dass ich einen alten Germanium-Transistor gewählt habe ist darin begründet, dass er bei $I_{CE} = 500 mA$ ein U_{CEdrop} von nur $0,5 V$ hat. Transistoren vom Typ BD xxx haben $U_{CEdrop} > 1 V$. Der Widerstand von $0,47 \Omega$ verhindert ein beliebiges Anwachsen des I_{CE} –Stromes im Kurzschlußfall bis die automatische Abschaltung bei $I_{CE} > 2 A$ greift. Der Transistor BC 327 dient allein der Polaritäts-umkehr. Der Emitter des BC 238 ist durch die Zenerdiode hochgelegt, damit die Schaltung erst bei einer definierten Dynamospannung in den leitenden Zustand kippt.

Kurzschlußfestigkeit und Tiefentladeschutz

Der Strom durch den AC 187 K wird unterbrochen, wenn der Strom $I_{CE} > 2 A$ wird. In diesem Falle fällt eine so hohe Spannung am $0,47 \Omega$ -Widerstand ab, dass der BC238 sperrt. Dieser Transistor sperrt ebenfalls, wenn die Akkuspannung unter $8,5 V$ fällt.

Softstart

Im kalten Zustand ist der Widerstand von Halogenlampen sehr gering. Es fließt ein hoher Strom, der – falls nicht begrenzt – zur Zerstörung der Lampe führen kann.

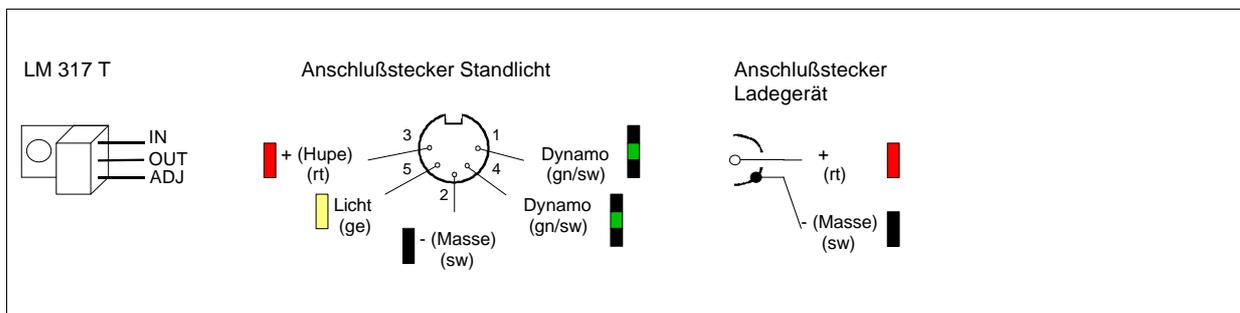
Beim Einschalten wird die Lampe mit dem Dynamo verbunden. Da der erste Siebkondensator von 220 μF per Schalter getrennt wird, der zweite Siebkondensator von 1000 μF aber erst aufgeladen werden muß, bricht die Dynamoleistung zusammen. So steigt die Spannung bis 6,8 V nur in dem Maße, wie der Innenwiderstand der Lampe sinkt.

Ab 6,8 V versorgt der Akku die Lampe. Da der Akku einen sehr niedrigen Innenwiderstand hat, bricht dessen Spannung nicht zusammen. Der Kondensator von 10 μF sorgt aber für ein sanftes Anwachsen der Spannung innerhalb 2 Sekunden. In dieser Zeit hat der AC 187 K zwar mit einer hohen Verlustleistung zu kämpfen. Da die Zeitspanne kurz ist, kann trotzdem auf eine feine Kühlung verzichtet werden.

5.9. Restwelligkeit

Bei eingeschalteter Beleuchtung steht als Siebkondensator die Kapazität von 1000 μF zur Verfügung. Bei einer Stromentnahme von 500 mA beträgt die Restwelligkeit 8%. Auf 12 V sind dies ca. 0,9 V.

5.10. Pin-Belegungen



6. Ladegerät

Die Standlichtschaltung beinhaltet eine Ladebuchse (Cinch), um die Akkus daheim nachladen zu können. Der Zugang wird über eine Verpolungsschutzdiode und einen kleinen Widerstand abgesichert. Das Nachladen ist sinnvoll, wenn z. B. im Winter viel mit Licht gefahren wurde und man lange vor Ampeln stand. Wegen der Parallelschaltung zum Dynamo entspricht die Ladefunktion inklusive Schutzschaltung der Ladung per Dynamo. Deshalb sollte das Ladegerät eine ähnliche Charakteristik haben wie der Dynamo.

Es liefert

- Im Leerlauf: 20 V=
- Bei Belastung mit 500 mA: 12 V=

Obwohl das Ladegerät simpel ist, kann genauso wie im Dynamobetrieb keine Überladung stattfinden. Man erkaufte dies jedoch damit, dass sich ab ca. 80% Akkuladung der Ladevorgang hinzieht, da ja jetzt der Ladestrom heruntergeregelt wird. In 1 Nacht (8 Stunden) ist aber auch ein total leerer Akku wieder fit.

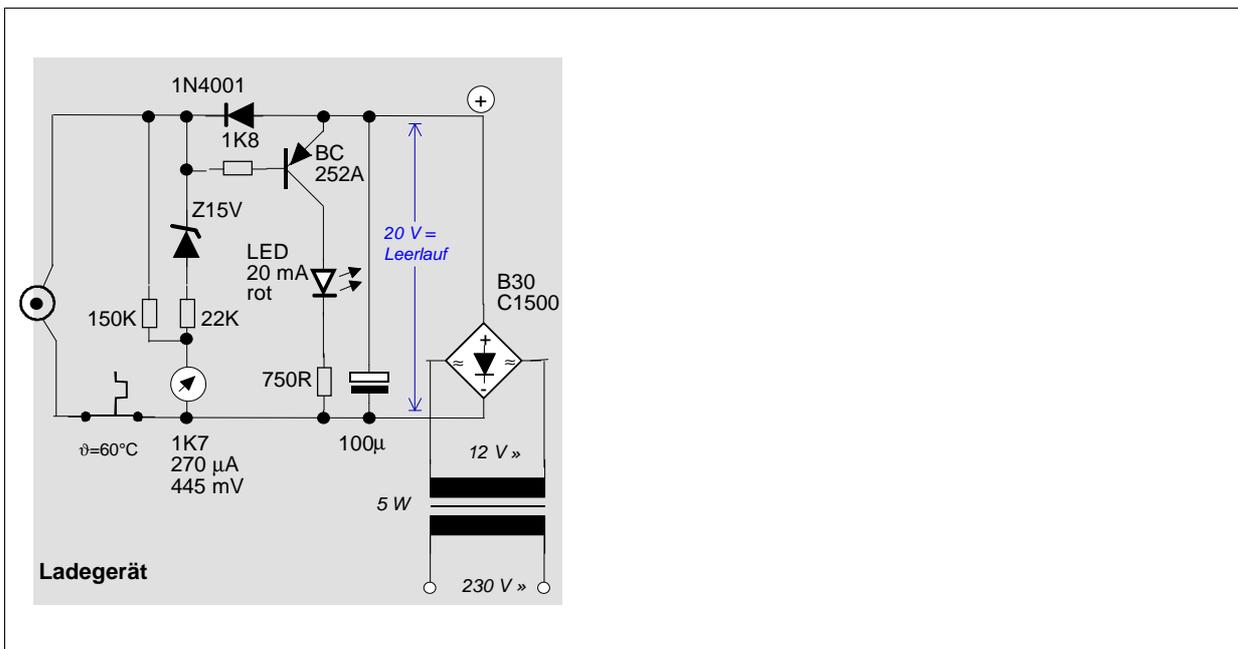


Abb. 9: Schaltplan externes Ladegerät für Standlicht

Wenn sich das Ladegerät durch irgendwelche Kurzschlüsse im Standlicht oder den Verbindungsleitungen zu sehr erhitzt, schaltet es der Theroschalter ab.

Wird das Ladegerät mit dem Netz und dem Akku verbunden, leuchtet eine rote LED, um den Ladevorgang zu signalisieren. Während des Ladens läßt sich grob auf dem analogen Anzeigeeinstrument aufgrund des aktuellen Ladestroms der Ladezustand des Akkus abschätzen. Steht die Anzeige auf 50 mA, kann der Akku als voll geladen betrachtet werden.

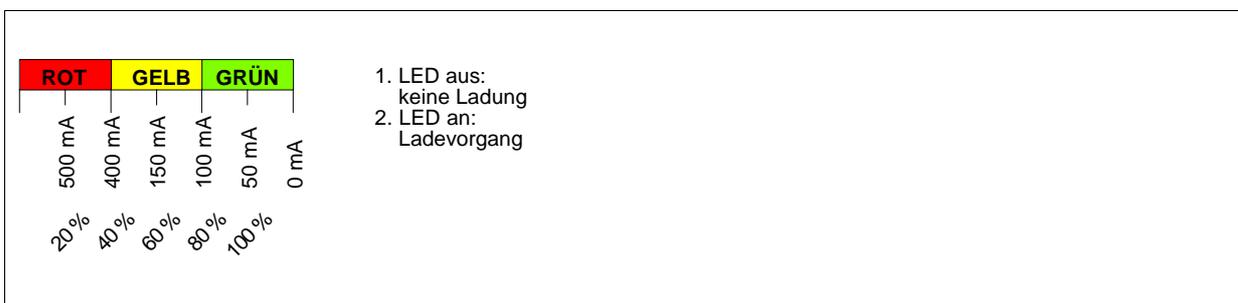


Abb. 10: Ladezustands-Anzeige

7. Anbindung der Beleuchtung

Das Rücklicht enthält nochmals einen eigenen Siebkondensator von 1000 µF. Unter Vernachlässigung des Innenwiderstandes der Zuleitung zum Rücklicht ergeben sich in Summe als Siebglied:

$$1000\mu\text{F (Standlicht)} + 1000\mu\text{F (Rücklicht)} = 2000\mu\text{F}$$

Damit erhält man eine Restwelligkeit von 3,9 %. Auf 12 V sind dies ca. 0,5 V. Diese Restwelligkeit ist auch zum LED-Betrieb geeignet.

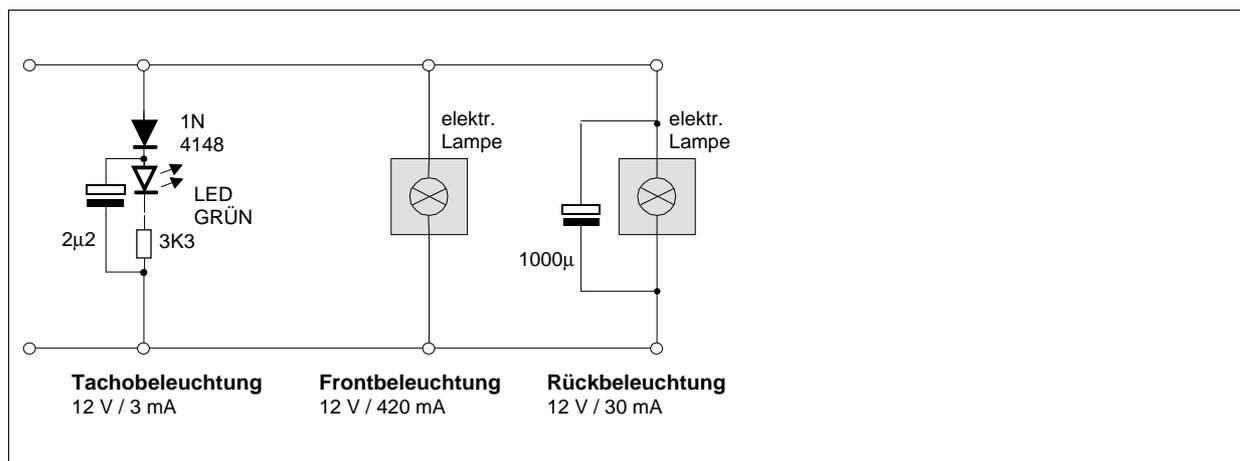


Abb. 11: Anschluß der Beleuchtung an das Standlichtgerät

8. Strom- und Spannungskurven

Die folgende Abbildung zeigt bei einer Fahrtgeschwindigkeit von ca. 20 km/h die Spannungskurven:

- Dynamospannung ohne Innenwiderstand, welcher mit 3Ω angenommen wurde
- Klemmenspannung des Dynamo bei Belastung mit $26,6 \Omega$ ohne Siebkondensator:
 $12,0 \pm 7 \text{ V}$
- Klemmenspannung des Dynamo bei Belastung mit $26,6 \Omega$ mit Siebkondensator von $2000\mu\text{F}$:
 $12,0 \text{ V} \pm 0,5 \text{ V}$

Und die zugehörige Stromkurve

- Dynamostrom mit Siebkondensator:
 $453 \text{ mA} \pm 10 \text{ mA}$

Wie man sieht, ist diese Siebung mehr als ausreichend, um die Spannung konstant zu halten.

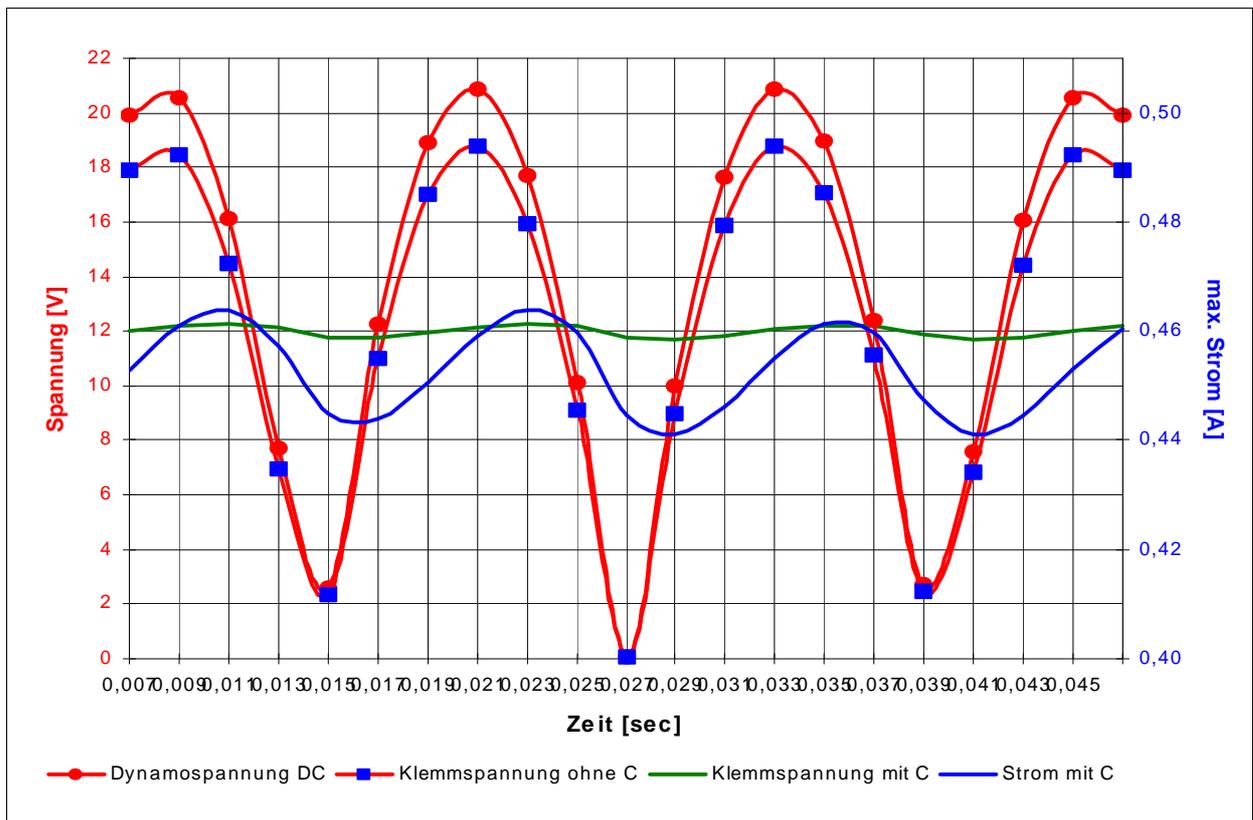


Abb. 12: Dynamospannung und Dynamostrom mit und ohne Siebung