

Reicht der Strom für die 6V-MZs?

Oft gibt es Überlegungen, ob und wie der große Strombedarf der 6V-MZs von der 6V-60/90W-Gleichstrom-Lichtmaschine bewältigt wird. Leider trifft man bei diesem Thema oft auf Vorstellungen oder Denkmodelle, die generell oder im Detail fragwürdig sind und somit zu unzutreffenden Schlussfolgerungen führen. Selbstredend werden diese „schrägen“ Ansichten nicht umso wahrer, je weiter sie verbreitet sind oder werden.

Ohne Zweifel sind das Thema und die damit zusammenhängenden populären Fragen „reicht die LiMa für den heutigen Betrieb aus oder nicht?“, „bleibt da überhaupt noch Ladestrom für die Batterie übrig?“ außerordentlich komplex, da fast alle relevanten elektrischen Größen von Drehzahl, aktueller Last, den Reglereigenschaften, der Batteriespannung, ja selbst von den Umgebungsbedingungen (Temperatur) abhängen. Dazu kommt, dass die in die Abschätzung einzubeziehenden Parameter mitunter grobe Toleranzen aufweisen. Man wird also ohne ein vernünftiges Maß an Vereinfachungen und der ausschließlichen Verwendung von typischen Werten in der Abschätzung nicht auskommen (z. B. Feldwicklungswiderstand $1,7 \pm 0,3 \Omega$ -> typisch $1,7 \Omega$).

Ziel dieses Textes ist, die vorliegenden Verhältnisse möglichst genau und übersichtlich zu erfassen, eine Bilanz zu ziehen und diese in den Zusammenhang zur Lade-/Entladecharakteristik der Batterie zu setzen.

Strom, Leistung, Spannung, Widerstand

Um den Bedarf der einzelnen Verbraucher quantifizieren zu können, müssen wir einen Normalwert – der Einfachheit halber einen konstanten Wert - für die Bordspannung festlegen. Es liegt nahe, den **optimalen Ladespannungswert des Bleiakkus von 6,9 V bei 25°C** anzunehmen, da ihn der Regler im normalen Fahrbetrieb (mehr oder weniger) konstant hält.

Damit können jetzt Strom, Leistung, Spannung und Widerstand miteinander in Relation gesetzt werden, um einen Vergleich oder eine Bilanz von Größen auf einer zulässigen physikalischen Ebene zu ermöglichen:

Umrechnung von

$$\text{Leistung in Strom:} \\ I[\text{A}] = P[\text{W}] / 6,9 [\text{V}]$$

$$\text{Widerstand in Strom:} \\ I[\text{A}] = 6,9 [\text{V}] / R[\Omega]$$

Das letzte 6V-Modell von MZ, die TS, ist der kritischste Fall in der Typenreihe, da hauptsächlich durch die Doppelblinker 2 x 21 W, durch das auf 21 W erhöhte Stopplicht und der zusätzlichen Instrumentenbeleuchtung für den Drehzahlmesser eine weitere Erhöhung des Strombedarfs einher ging. Insofern orientiert sich die folgende Abschätzung am Typ TS.

Dauerhafte Verbraucher bei Fahrt

Blau hervorgehoben: Ausrüstungs- oder Betriebsvarianten
MW bedeutet „mittlerer Wert“

Bilux Ablendlicht 40 W / 6,9 V
Fernlicht 45 W / 6,9 V =

5,8 A

6,5 A

Zündspule 6,9 V / $1,5 \Omega$ = 4,6 A
intermittierend 1:1 ->

2,3 A (MW)

Rücklicht 5 W / 6,9 V	0,72 A
Elektromechanischer Regler	
Eigenbedarf Spannungsspule 6,9 V / 10 Ω	0,69 A
ab ca. 1980 6,9 V / 21,5 Ohm	0,32 A
Elektronischer Regler Eigenbedarf	ca. 0,1 A
Standlicht 4 W / 6,9 V	0,58 A
Tachobeleuchtung 2 x 1,2 W / 6,9 V	0,35 A
Drehzahlmesserbeleuchtung 2 x 1,2 W / 6,9 V	0,35 A
	<u>Summe</u> 10,79 A

Bei Fernlicht kämen noch 0,7 A dazu, bei Einsatz eines elektronischen Reglers würden es ca. 0,59 A weniger sein, so dass ein Strombedarf von 10,2 A ... 11,5 A, also rund 11 A typisch ist.

Die Dauerbelastung der LiMa bei Fahrt ist damit mindestens 11 A * 6,9 V = 76 W.

Nicht eingerechnet ist der für die LiMa erforderliche **Erregerstrom**, der zwischen 4 A (6,9 V / 1,7 Ω) und 0 - je nach Leistungsbedarf und Drehzahl - schwankt. Messwerte zum Erregerstrom finden sich in

<https://pic.mz-forum.com/lothar/ELEKTRIK/GleichstromLiMa.pdf>

Bei 80 W Leistungsabgabe und 4000min⁻¹ ist der Erregerstrom typisch 1,3 A

Starken Schwankungen ist ebenso der Batterieladestrom unterworfen, der zunächst nicht eingerechnet ist. Größe und Verlauf des Ladestromes werden weiter unten veranschaulicht.

Spontane Verbraucher

Hupe

6,9 V / (ca.) 0,5 Ω = 14 A, intermittierend, Annahme 1:1 7 A (MW)

Lichthupe

45 W / 6,9 V 6,5 A

Stopplicht

21 W / 6,9 V 3 A

Blinker

2 x 21 W / 6,9 V = 6 A intermittierend 1:1 0 / 6 A

Leerlaufkontrolllampe

1,2 W / 6,9 V 0,2 A

Ladekontrolllampe

Bei Motorlauf „aus“ 0

Die aufgezählten spontanen Verbraucher wirken kurzzeitig und das oft bei Fahrzeughalt.

Wegen der geringen Drehzahl ist die LiMa dann meist nicht mehr in der Lage, eine Bordspannung von 6,9V zu halten. Um einen Rückstrom aus der Batterie in die LiMa bei

sinkender Spannung an D+ zu unterbinden, wird bei Unterschreitung von etwa 5,8V an D+ der Rückstromschalter geöffnet und damit die LiMa vom Bordnetz getrennt. Die Versorgung trägt jetzt zu 100% die Batterie ($\leq 6,2V$). Bei Dunkelheit und im Stand kann man den Wechsel zwischen LiMa- (6,9 V) und Batteriebetrieb ($\leq 6,2 V$) am Wechsel der Scheinwerferhelligkeit beobachten, wenn man etwas am Gas spielt. Dadurch, dass der Rückstromkontakt erst unter 5,8V öffnet, kann ein Teil des Batteriestromes bereits abfließen. Beim elektronischen Regler sperrt die Rückstromdiode jedoch schon bei Spannungsgleichheit von D+ und Batterie, so dass kein einziges mA zurückfließen kann.

Es ist sinnvoll, den **Einfluss der spontanen Verbraucher** nicht an deren Strombedarf, sondern an einer äquivalenten Kapazität (in Ah) festzumachen, weil der hauptsächlichste Fall ist, dass sie bei niedriger Drehzahl oder Leerlauf aus der Batterie gespeist werden. Sicher ist dabei die Betätigungszeit eine schwer fassbare Größe, für eine Abschätzung der Größenordnung sollten jedoch folgende Beispiele brauchbar sein:

1 min Blinkerbetätigung	$1/60 \text{ h} * 3 \text{ A} = 0,05 \text{ Ah}$
1 min Stopplicht	$1/60 \text{ h} * 3 \text{ A} = 0,05 \text{ Ah}$
3 s Hupenbetätigung	$3/3600 \text{ h} * 7 \text{ A} = 0,006 \text{ Ah}$
3 s Lichthupe	$3/3600 \text{ h} * 6,5 \text{ A} = 0,005 \text{ Ah}$
Leerlauf- und Ladekontrolllampe bleiben vernachlässigt	

Der Vollständigkeit und Vergleichbarkeit halber:

$$1\text{min Dauerlast } 11\text{A (bei Ampelstopp)} \quad 1/60 \text{ h} * 11 \text{ A} = 0,18 \text{ Ah}$$

Wie sich solche Entnahmen auf die Nachladung der Batterie auswirken, wird weiter unten betrachtet.

Lichtmaschinen - Nennleistung

Die Nennleistung der 6-V-Gleichstrom-LiMa ist mit 60 W / 90 W lt. Typschild angegeben. Die 60 W werden mit "Dauerleistung" und die 90 W mit "Spitzenleistung" in Verbindung gebracht. Unbekannt ist, ob es sich bei diesen Angaben um absolute Grenzwerte oder Grenzwerte handelt, die für eine gewisse Dauer überschritten werden dürfen und mit welchen Folgen bei der Überschreitung zu rechnen ist.

Es ist völlig klar, dass bei der Konstruktion einer solchen Maschine Parameter vorgegeben werden müssen, die als Richtwerte für die Auslegung der Mechanik (z.B. Festigkeit, Wärmeableitung), der Elektrik (z.B. Wicklungsgestaltung) und der magnetischen Eigenschaften (z.B. magnetische Sättigung im Eisen) bei entsprechenden Umgebungsbedingungen (z.B. Temperatur) dienen. Heutzutage sind solche Angaben auch unter dem Gesichtspunkt der Gewährleistung, d.h. der Durchsetzung von rechtlichen Ansprüchen von großer Bedeutung.

Da der Garantiezeitraum unserer LiMas aber schon länger abgelaufen ist ... (;-) ...erhebt sich eher die Frage, wie sind diese Leistungsangaben hinsichtlich des heutigen Gebrauchs zu bewerten?

Was ist, wenn ich andauernd 76 W entnehme, wann geht die LiMa kaputt, weil ich die angegebene „Dauerleistung 60W“ um 16 W überschreite?

Wie lange darf ich die „Spitzenleistung 90W“ entnehmen, dass sie nicht zur Dauerleistung wird?

Wie schnell geht die LiMa kaputt, wenn ich die Spitzenleistung für 10min um 50% überschreite?

Sind 10min mit 50% genauso schlimm wie 5min mit 100% oder 20min mit 25%?

Wie verändern sich dabei Lebensdauer oder Ausfallwahrscheinlichkeit der LiMa?

Alle diese fiktiven Fragen müssen unbeantwortet bleiben, weil keine Bedingungen für die Grenzbereiche definiert sind. Jedenfalls sind sie nicht bekannt.

Woran wir uns lediglich orientieren können, ist die Tatsache, dass noch Hunderte von 6V-TSsen mit Licht durch die Welt brummen, wobei ihre Fahrer ordentlich blinken, hupen und auf die Bremse treten. Es gibt keine Nachrichten, dass die LiMas seit der Einführung des Tagfahrlicht-Gebotes unter ansonsten normalen Gebrauchsbedingungen bei dieser "moderaten Überlastung" - so es denn überhaupt eine ist - sterben. Seltene Wicklungsschlüsse oder Unterbrechungen, üblichen Kollektor- und Bürstenverschleiß gab es auch schon vor 40 Jahren. Wir haben deshalb guten Grund, auch mit 6V optimistisch in die Zukunft zu blicken.

Batterieladung bei Fahrt

Wie verhält es sich aber nun mit dem Ladestrom für die Batterie, der bisher in der Betrachtung außer Acht gelassen wurde? Wie groß ist er?

Möglicherweise wird die folgende Tatsache das Weltbild einiger MZ-Fahrer erschüttern: **Ist eine intakte Batterie voll geladen, d.h., liegt seit längerer Fahrt die konstante Bordspannung von 6,9 V an, ist der Ladestrom der Batterie (nahezu) Null.**

Im Verlaufe einer **Konstantspannungsladung** – und damit haben wir es hier zu tun – sinkt der von der Batterie aufgenommene Strom für die Ladungsspeicherung je näher wir der Vollladung kommen kontinuierlich ab, weil die chemische Umwandlung der Platten nahezu abgeschlossen ist und die Batterie deshalb keine weitere Ladung aufnehmen kann. Nach sehr langer Zeit fließt lediglich ein geringer Reststrom ($\ll 0,01C$), der die unerwünschte Aufspaltung des Elektrolyts in Wasserstoff und Sauerstoff speist. Es handelt sich dann aber genau genommen nicht mehr um einen Ladestrom.

Bei einer Konstantspannungsladung außerhalb des Fahrzeuges beendet man üblicherweise die Ladung, wenn der Ladestrom $0,02C$, d.h. bei einer 12 Ah-Batterie 0,24 A unterschreitet. Dieser Strom liegt bereits unter dem der Tachobeleuchtung (0,35 A).

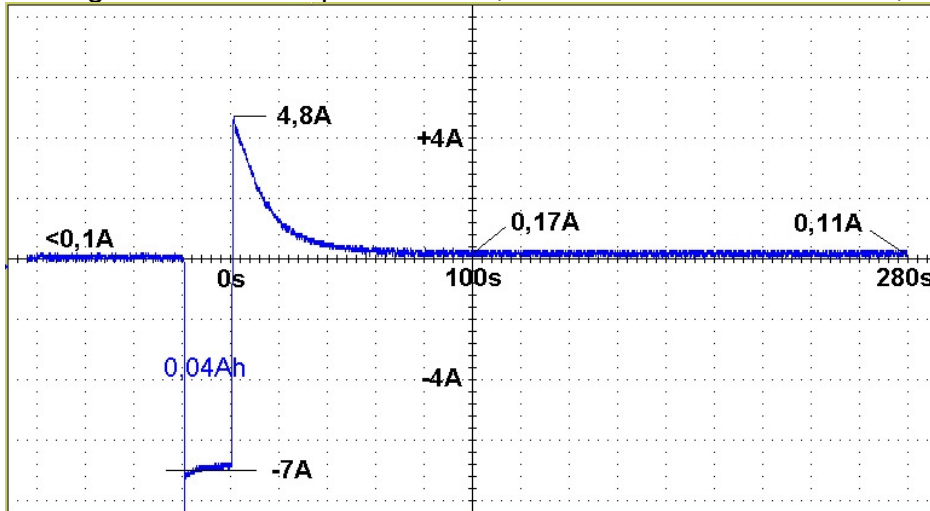
Wie verhält sich aber der Ladestrom, nachdem die Batterie Ladung abgeben musste; also z.B. nach einem 1-minütigen Ampelstopp mit der unvermeidbaren Dauerlast (0,18 Ah), Blinkerbetätigung (0,05 Ah) und Dauerstopplicht (0,05 Ah), zusammen 0,28 Ah.

Um diesen Prozess zu veranschaulichen, wurden die nachfolgenden Lade-/Entladekurven an einer 6V/8Ah-Batterie (PS682) gemessen.

Die Batterie wurde vor jedem Lade-/Entladeversuch mit einer Konstantspannung von 6,9V so lange geladen, bis der Ladestrom unter 0,1A (entspr. $0,0125C$) fiel, was eine volle Aufladung bedeutet.

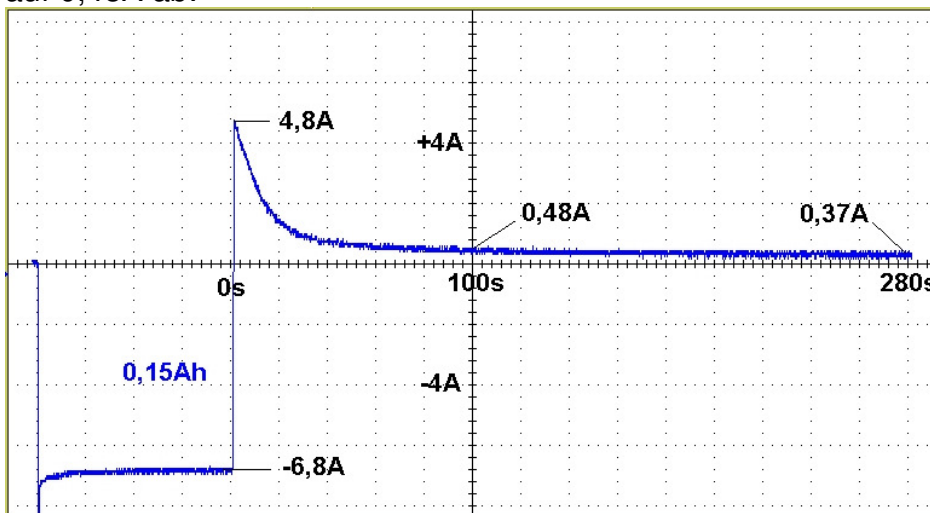
Als Entladelast diente der Hauptlichtfaden einer 6V-45/40W-Bilux-Glühlampe (etwa 7A).

Im ersten Experiment wurden 20s lang 7A entnommen und danach wieder mit konstant 6,9V geladen. Die entnommene Ladungsmenge entsprach $20s \cdot 7A = 0,04Ah$. Der Spitzenstrom zu Beginn der Aufladephase war 4,8A und fiel nach 100s auf 0,17A ab:

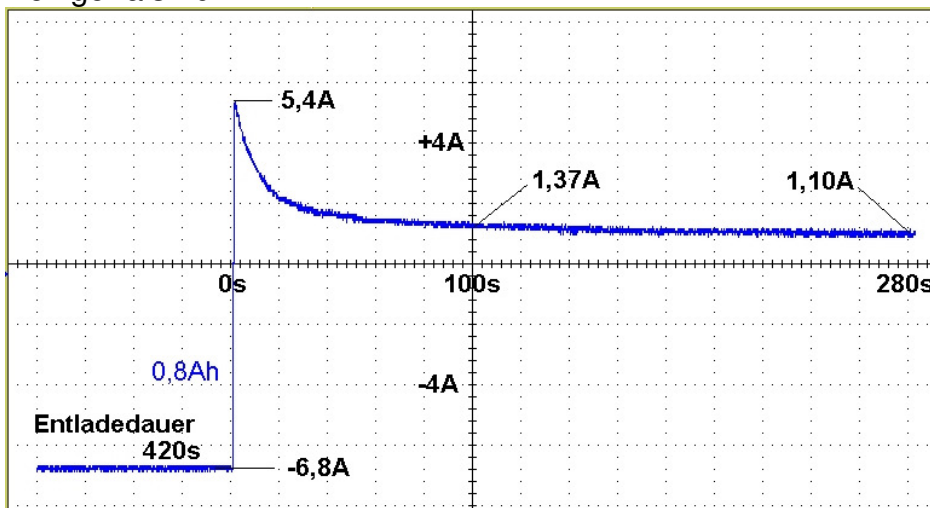


Die negative Spitze zu Beginn der Entladung mit der Glühlampe ist auf den hohen Einschaltstrom bei kaltem Glühfaden zurückzuführen.

Nach der Entnahme von $6,8A \cdot 80s = 0,15Ah$ fiel der Spitzenladestrom von 4,8A nach 100s auf 0,48A ab:



Auch nach der Entnahme von $420s \cdot 6,8A = 0,8Ah$, also bereits einem Zehntel der Batterie-Nennkapazität, kam es lediglich zu einem geringfügig erhöhten Spitzenstrom von 5,4A, der nach 100s auf 1,37A abfiel. Dieser Nachlade-Strom entspricht einer Leistungsaufnahme von weniger als 10W.



Der kurzzeitige Spitzenladestrom

**hängt von der Nennkapazität der Batterie ab,
nicht jedoch von der kurzzeitig entnommenen Ladungsmenge.**

Die Abhängigkeit von der Kapazität ist anschaulich verständlich, da man sich größere Batteriekapazitäten als Parallelschaltung einer entsprechenden Anzahl von Batterien gleichen Typs, jedoch niedriger Kapazität vorstellen kann, deren Ströme sich addieren.

Treten bei der 8Ah-Batterie ca. 5A Spitzenstrom auf, wären es bei einer 12Ah-Batterie etwa 7,5A und bei einer 4Ah-Batterie (z.B. CP640) etwa 2,5A.

Die eigentliche Nachladung der Batterie im Fahrbetrieb erfolgt über einen längeren Zeitraum mit einem Ladestrom, der von der vorangegangenen Kapazitätsentnahme abhängt und typisch unter 1,5A liegt.

Zusammenfassung

Die Dauerverbraucher der TS benötigen (Erregerstrom 0 ... typ. 1,3A ...4A nicht eingerechnet)	11A	76W	
Häufigster Fall zusätzlicher, spontaner Verbraucher			
	Stopplicht	3A	21W
	Blinker	0/6A	0/42W

Die Gesamtlast schwankt somit üblicherweise zwischen 11A (76W) und 20A (138W).

Erreger- (max. 4A) und Batterie-Spitzenladestrom (<7,5A) können kurzzeitig noch dazukommen, wobei sie nicht über die Plussicherung fließen.

Geht man von den genormten Eigenschaften träger Sicherungen aus, so halten die 16A-Sicherungen für eine Stunde 24A und für mindestens 2min 32A aus. Somit besteht keinerlei Gefahr, dass die Sicherungen im Fahr- oder Standbetrieb bei den auftretenden Lasten durchbrennen.

Eine Bewertung im Zusammenhang mit den Daten auf dem LiMa-Typschild 60W/90W ist wegen fehlender Kenntnis der Kriterien und Bedingungen nicht möglich. Weiterhin ist nicht bekannt, ob der für den Eigenbedarf generierte Erregerstrom in die Gesamtleistungsbilanz mit einzurechnen ist.

Über drei Jahrzehnte Betrieb von noch immer vielen Hundert 6V-TSsen, bei denen keine signifikante Ausfallerhöhung von LiMas durch Überlastung seit der Einführung des Tagfahrlicht-Gebots bekannt geworden ist, machen deutlich, dass das MZ-6V-System den üblichen Anforderungen durchaus gerecht wird.

Die Bordspannung ist **bei elektromechanischen Reglern** so einzustellen, dass bei mittleren Drehzahlen und Abblendlicht die optimale Spannung von 6,9V anliegt. Das sichert stets eine ausreichende Nachladung der Batterie. Die Regelcharakteristik elektromechanischer Regler ist so ausgelegt, dass bei höherer Stromentnahme die Bordspannung leicht absinkt und bei weniger Last ansteigt. D.h., bei abgeschaltetem Abblendlicht kann es zu einer übermäßigen Erhöhung der Bordspannung kommen, die der Batterie schadet.

Übliche **elektronische Regler** halten die Bordspannung unabhängig von der Last konstant, so dass die Batterie in jedem Belastungsfall bei Fahrt optimal geladen wird.

Wenn es dennoch Probleme gibt ...

... sind die Ursachen nicht in einer unterstellten mangelhaften konstruktiven Leistungsfähigkeit der LiMa zu suchen, sondern bestenfalls in deren Verschleißzustand (Kollektor, Kohlen, Kontakte).

Wird die Batterie bei Fahrt nicht ausreichend nachgeladen oder hält sie die Ladung nicht, so ist möglicherweise

- die Bordspannung zu gering eingestellt (Regler!)
- die Batterie verschlissen, so das sie nicht mehr ausreichend Ladung aufnehmen/abgeben kann
- das Bordnetz marode, so dass die erforderliche Nennspannung (6,9V) auf Grund von Spannungsabfällen (Kabel, Kontakte, Verbindungen, Sicherungen, Schalter) weder die Batterie noch die Zündspule erreicht
- das die Folge einer Selbstentladung über sehr lange Zeit (Monate)

Denkbar ist auch, dass „versteckte Verbraucher“, die ständig an der Batterie angeschlossen sind (bestimmte Typen von elektronischen Reglern, Spannungswandler für Bordsteckdosen, Uhren, Navigationsgeräte oder Bordcomputer im stand-by-Modus) zu einer allmählichen Batterieentladung führen.