

Kfz-Schaltungen

Achtung: Kfz-Änderungen und -Einbauten sind je nach Art/Land/Einsatzort evtl. genehmigungspflichtig!

- Kfz-Netzgerät mit LED-Anzeigen
 - 12-LED-Anzeige 5A (A277)
 - 13-LED-Anzeige 5A (A277, MIN-LED)
 - 14-LED-Anzeige 5A (A277, MIN/MAX-LED)
 - 10-LED-Anzeige 12V (LM3914)
 - 11-LED-Anzeige 12V (LM3914, MIN-LED)
 - 21-LED-Anzeige 12V (LM3914, MIN/Flash-LED)
- LED-Blitzer als Kfz-Betriebsanzeige
 - AMV-Blitzer mit 2 Transistoren
 - Blitzer mit komplementären Transistoren
 - Komplementär-AMV
 - Blitzer mit Thyristor-Nachbildung
- Akku-Wächter für 12V-Bleiakku
 - Allgemeines zum Bleiakku
 - Bleiakku-Betriebszustände und -Spannungen
 - Tiefentladeschutz
 - Tiefentlade-Überwachung
 - Tiefentladeschutz, Relais
 - Tiefentladeschutz, MOSFET
 - Tiefentladeschutz, 20A-MOSFET
 - Tiefentladeschutz, Relais bistabil
 - Tiefentladeschutz, Relais bistabil, TL081
 - Tiefentladeschutz, Relais, LM339
 - Tiefentladeschutz, Relais, LM741
 - Tiefentladeschutz, LVD1
- Beleuchtung
 - Umbau Camping-Leuchte auf 12V

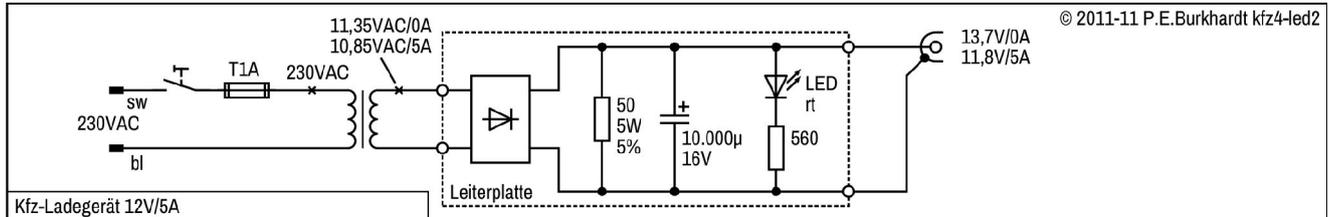
Kfz-Netzgerät mit LED-Anzeigen

Anwendung

Dieses industriefertige 12V-Netzgerät ist als Kfz-Batterie-Ersatz gedacht. Es läßt sich z.B. zur netzbetriebenen Versorgung von Kühlboxen einsetzen. Aber auch das Laden der 12V-Kfz-Batterie ist damit möglich.

Eigenschaften

- Ausgang 12 VAC (13,7 V bis 11,8 V je nach Belastung), max.5 A
- Ausgangsbuchse für Kfz-Stecker
- LED-Betriebsanzeige



Beim Einsatz als Ladegerät besteht allerdings keine Kontrolle über den Ladestrom bzw. über den Ladezustand der Batterie. Deshalb wäre zumindest die Anzeige des Ausgangsstromes zu wünschen. Da kein Platz für ein Anzeigeelement oder Display besteht, kommt nur eine genügend fein abgestufte LED-Punktanzeige (oder auch Bandanzeige) in Frage.

Im Folgenden sind mögliche Anzeige-Schaltungen für Strom und Spannung beschrieben.

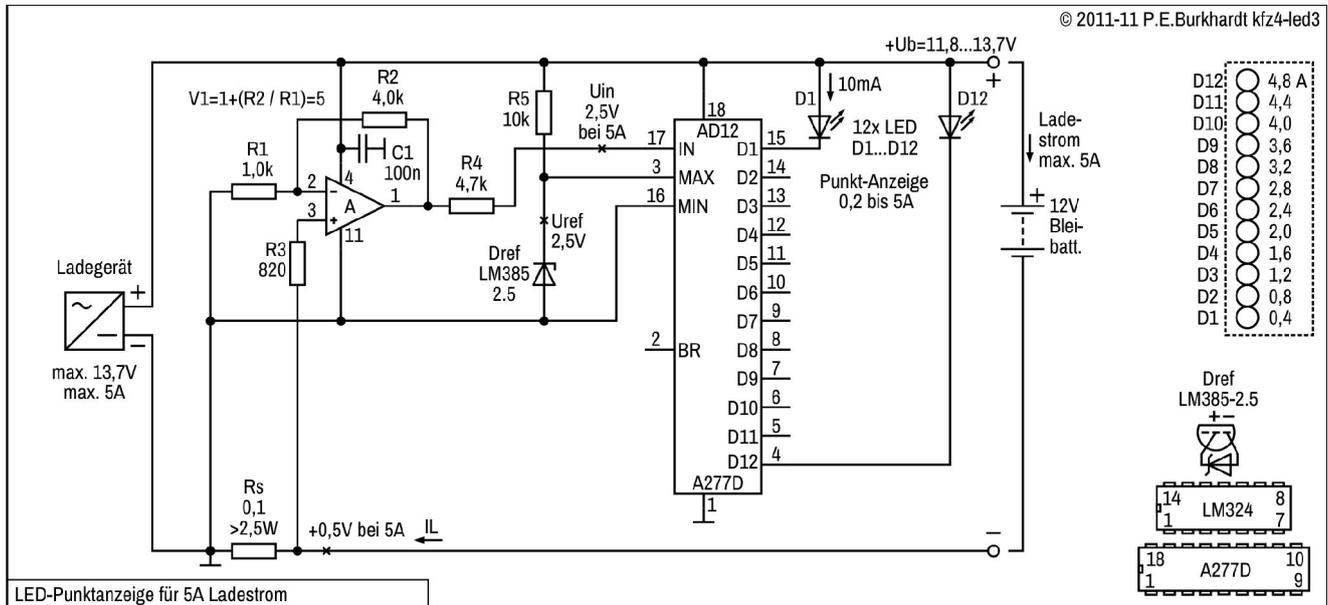
12-LED-Anzeige 5A (A277)

Anwendung

Einsatz als 5A-LED-Stromanzeige für 12V-Ladegerät oder allgemein als Stromindikator

Eigenschaften

- Punktanzeige mit 12 LEDs mit dem A277D (ehemaliger DDR-Typ, entspricht UAA180)
- Strombereichs-Schaltpunkte 0,4 A (erste LED) bis 4,8 A (letzte LED)
- Stromistwert-Erfassung mit dem OPV LM324
- Bandgap-Referenzspannung (LM385) für gute Anzeigekonstanz



Schaltungsprinzip

Die Schaltung entspricht weitgehend dem A277-Standard. Allerdings ist aufgrund der stromabhängigen Betriebsspannung der MAX-Referenzwert mit dem LM385-2.5 auf 2,5 V stabilisiert. So ergibt sich eine hohe Langzeitstabilität der Anzeige.

Stromistwert reduziert Ladestrom

Der Spannungsabfall über dem Shunt R_s beträgt beim 5A-Maximalstrom nur 500 mV. Aber um maximal diesen Wert wird die Ausgangsspannung des Ladegeräts verringert, so dass sich der maximal mögliche Anfangs-Ladestrom (bei leerer Batterie) ebenfalls verringert.

Mit zunehmender Ladung sinkt der Ladestrom und damit auch der Spannungsabfall über dem Shunt. Das bedeutet, die Ladeschluss-Spannung wird trotzdem erreicht und damit die Batterie voll geladen. Der ganze Ladevorgang dauert eben wegen der geringeren Anfangs-Ladestromstärke etwas länger.

Stromistwert-Verstärkung

Der Stromistwert wird mit dem OPV 5-fach verstärkt, so dass bei 5 A maximal 2,5 V am A277-IN-Eingang zur Verfügung stehen (siehe auch Formel im Bild). In Voraussicht auf mögliche Erweiterungen wurde der 4-fach-OPV LM324 eingesetzt.

Der OPV arbeitet mit nur einer positiven Betriebsspannung gegenüber GND (negativer Ausgang des Ladegeräts). Das ist möglich, da die OPV-Eingänge ab Null aussteuerfähig sind (siehe LM324-Datenblatt). Der Abstand zu $+U_b$ ist wegen $U_{ref} < U_b$ gewahrt.

Fazit

Es ergibt sich eine gute Stromkontrolle. Durch die Übergangsbereiche zwischen den LEDs ist die Anzeige gewissermaßen fließend. Ungünstig ist, dass die erste LED erst ab etwa 360 mA zu leuchten beginnt. Geringere Ströme werden also nicht angezeigt.

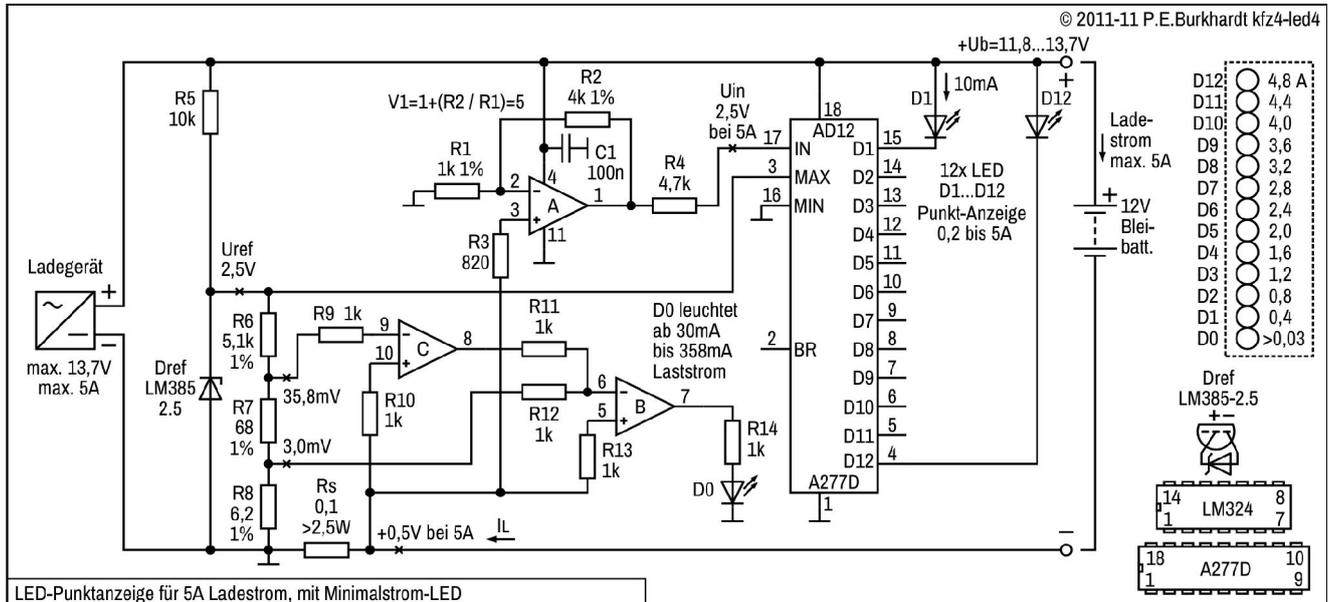
13-LED-Anzeige 5A (A277, MIN-LED)

Anwendung

Einsatz als 5A-LED-Stromanzeige für 12V-Ladegerät oder allgemein als Stromindikator

Eigenschaften

- Punktanzeige mit 12 LEDs mit dem A277D (ehemaliger DDR-Typ, entspricht UAA180)
- Strombereichs-Schaltpunkte 0,4 A (erste LED) bis 4,8 A (letzte LED)
- Minimalstrom-LED zur Anzeige kleiner Ströme ab 30 mA
- Stromistwert-Erfassung und MIN-LED-Steuerung mit dem OPV LM324
- Bandgap-Referenzspannung (LM385) für gute Anzeigekonstanz



Schaltungsprinzip

Die Schaltung entspricht weitgehend dem A277-Standard. Allerdings ist aufgrund der stromabhängigen Betriebsspannung der MAX-Referenzwert mit dem LM385-2.5 auf 2,5 V stabilisiert. So ergibt sich eine hohe Langzeitstabilität der Anzeige.

Außerdem ist zusätzlich zu den 12 A277-LEDs eine Minimalstrom-LED (MIN-LED) vorhanden, die schon ab 30 mA Laststrom zu leuchten beginnt.

Stromistwert reduziert Ladestrom

Der Spannungsabfall über dem Shunt R_s beträgt beim 5A-Maximalstrom nur 500 mV. Aber um maximal diesen Wert wird die Ausgangsspannung des Ladegeräts verringert, so dass sich der maximal mögliche Anfangs-Ladestrom (bei leerer Batterie) ebenfalls verringert.

Mit zunehmender Ladung sinkt der Ladestrom und damit auch der Spannungsabfall über dem Shunt. Das bedeutet, die Ladeschluss-Spannung wird trotzdem erreicht und damit die Batterie voll geladen. Der ganze Ladevorgang dauert eben wegen der geringeren Anfangs-Ladestromstärke etwas länger.

Stromistwert-Verstärkung

Der Stromistwert wird mit dem ersten OPV (LM324: 1) 5-fach verstärkt, so dass bei 5 A maximal 2,5 V am A277-IN-Eingang zur Verfügung stehen (siehe auch Formel im Bild). In Voraussicht auf mögliche Erweiterungen wurde der 4-fach-OPV LM324 eingesetzt.

Der OPV arbeitet mit nur einer positiven Betriebsspannung gegenüber GND (negativer Ausgang des Ladegeräts). Das ist möglich, da die OPV-Eingänge ab Null aussteuerfähig sind (siehe LM324-Datenblatt). Der Abstand zu $+U_b$ ist wegen $U_{ref} < U_b$ gewahrt.

MIN-LED-Steuerung

Die MIN-LED wird unabhängig vom A277 angesteuert. Dazu liefert der Uref-Spannungsteiler R6-R7-R8 zwei Referenz-Spannungen

- für die untere Schwelle 3 mV (MIN-LED-Einschaltschwelle)
- für die obere Schwelle 35,8 mV (MIN-LED-Ausschaltschwelle).

Diese Referenz-Schwellen liegen an den (-)-Eingängen der OPV-Komparatoren 2 und 3. Die (+)-Eingänge liegen dagegen am Shunt R_s und erhalten den Stromistwert.

Erreicht der Stromwert die 3mV-Schwelle, schaltet Komparator 2 die MIN-LED D0 ein. Steigt der Stromwert bis über 35,8 mV, schaltet Komparator 1 ein und damit den Komparator 2 aus. Die MIN-LED verlöscht wieder. Diese Schwellen entsprechen den Stromwerten 30 mA und 358 mA. Unter 30 mA ist auch die MIN-LED aus, d.h. geringere Ströme werden nicht angezeigt. Bei 358 mA leuchtet aber schon die erste A277-LED (LED D1), so dass ein fließender Anzeigeübergang von der MIN-LED zur ersten A277-LED gewährleistet ist.

Fazit

Es ergibt sich eine gute Stromkontrolle. Durch die Übergangsbereiche zwischen den LEDs ist die Anzeige gewissermaßen fließend. Die zusätzliche MIN-LED bringt schon Ströme ab etwa 30 mA zur Anzeige. Geringere Ströme werden also nicht angezeigt.

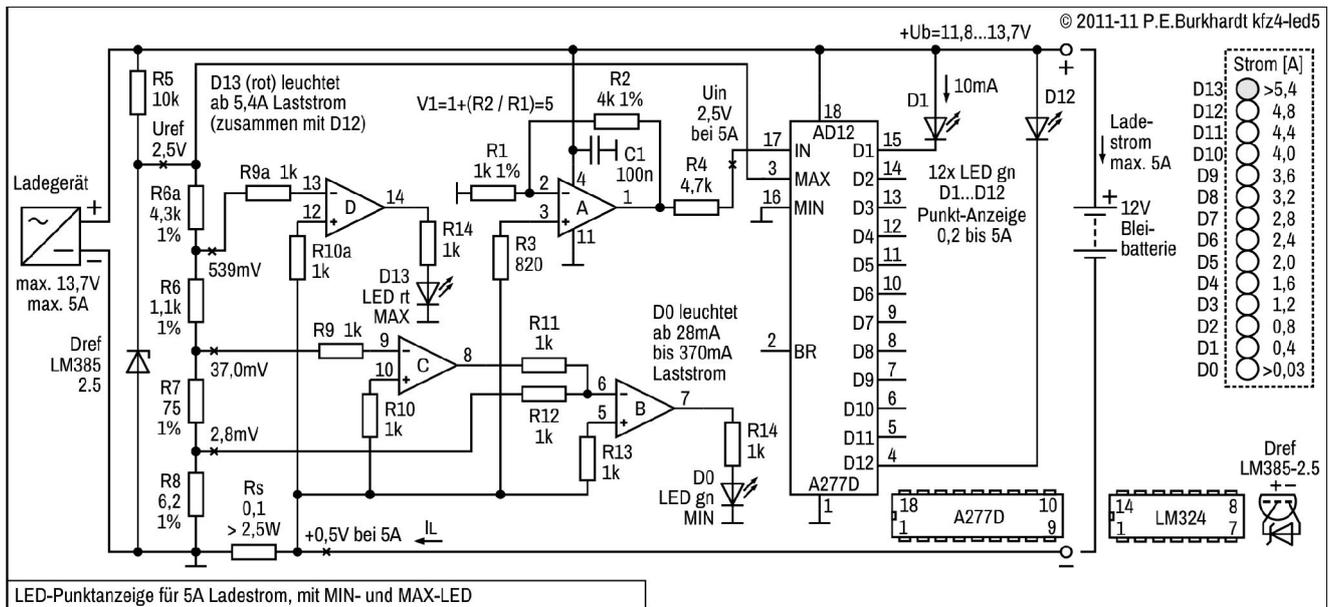
14-LED-Anzeige 5A (A277, MIN/MAX-LED)

Anwendung

Einsatz als 5A-LED-Stromanzeige für 12V-Ladegerät oder allgemein als Stromindikator

Eigenschaften

- Punktanzeige mit 12 LEDs mit dem A277D (ehemaliger DDR-Typ, entspricht UAA180)
- Strombereichs-Schaltpunkte 0,4 A (erste LED) bis 4,8 A (letzte LED)
- Minimalstrom-LED zur Anzeige kleiner Ströme ab 30 mA
- Maximalstrom-LED zur Stromanzeige über 5,4 A
- Stromistwert-Erfassung und MIN/MAX-LED-Steuerung mit dem OPV LM324
- Bandgap-Referenzspannung (LM385) für gute Anzeige Konstanz



Schaltungsprinzip

Die Schaltung entspricht weitgehend dem A277-Standard. Allerdings ist aufgrund der stromabhängigen Betriebsspannung der MAX-Referenzwert mit dem LM385-2.5 auf 2,5 V stabilisiert. So ergibt sich eine hohe Langzeitstabilität der Anzeige.

Außerdem ist zusätzlich zu den 12 A277-LEDs eine Minimalstrom-LED (MIN-LED) vorhanden, die schon ab 30 mA Laststrom zu leuchten beginnt. Bei größeren Strömen ab ca. 5,4 A leuchtet zusätzlich eine Maximalstrom-LED (MAX-LED) und signalisiert damit, dass der normale A277-Anzeigebereich überschritten wurde.

Stromistwert reduziert Ladestrom

Der Spannungsabfall über dem Shunt R_s beträgt beim 5A-Maximalstrom nur 500 mV. Aber um maximal diesen Wert wird die Ausgangsspannung des Ladegeräts verringert, so dass sich der maximal mögliche Anfangs-Ladestrom (bei leerer Batterie) ebenfalls verringert.

Mit zunehmender Ladung sinkt der Ladestrom und damit auch der Spannungsabfall über dem Shunt. Das bedeutet, die Ladeschluss-Spannung wird trotzdem erreicht und damit die Batterie voll geladen. Der ganze Ladevorgang dauert eben wegen der geringeren Anfangs-Ladestromstärke etwas länger.

Stromistwert-Verstärkung

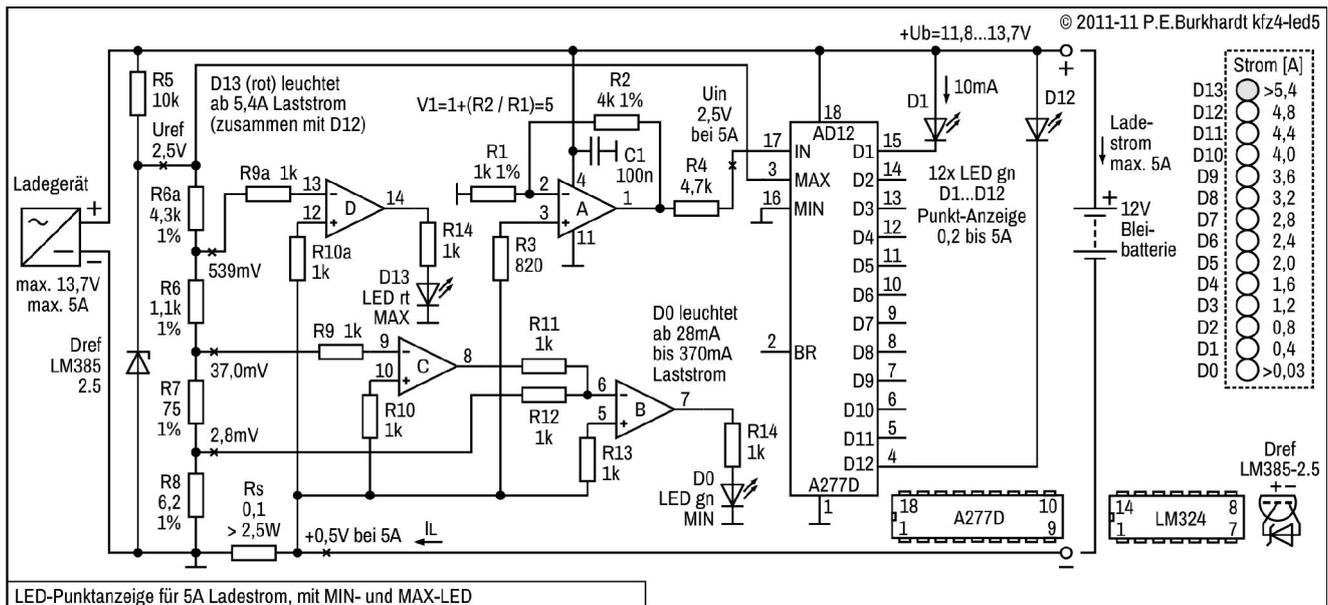
Der Stromistwert wird mit dem ersten OPV (LM324: 1) 5-fach verstärkt, so dass bei 5 A maximal 2,5 V am A277-IN-Eingang zur Verfügung stehen (siehe auch Formel im Bild). Die anderen 3 OPVs des 4-fach-OPV LM324 sind als Komparatoren für die MIN/MAX-LED-Steuerung eingesetzt.

Der OPV arbeitet mit nur einer positiven Betriebsspannung gegenüber GND (negativer Ausgang des Ladegeräts). Das ist möglich, da die OPV-Eingänge ab Null aussteuerfähig sind (siehe LM324-Datenblatt). Der Abstand zu $+U_b$ ist wegen $U_{ref} < U_b$ gewahrt.

MIN/MAX-LED-Schaltsschwellen

MIN- und MAX-LED werden unabhängig vom A277 angesteuert. Dazu liefert der U_{ref} -Spannungsteiler R_6a - R_6 - R_7 - R_8 drei Referenz-Spannungen:

- für die untere Schwelle 2,8 mV (MIN-LED-Einschaltsschwelle)
- für die mittlere Schwelle 37 mV (MIN-LED-Ausschaltsschwelle)
- für die oberste Schwelle 539 mV (MAX-LED-Einschaltsschwelle).



(Bild-Wiederholung)

MIN-LED-Steuerung

Die Referenz-Schwellen für die MIN-LED liegen an den (-)-Eingängen der OPV-Komparatoren 2 und 3. Die (+)-Eingänge liegen dagegen am Shunt Rs und erhalten den Stromistwert.

Erreicht der Stromistwert die 2,8mV-Schwelle, schaltet Komparator 2 die MIN-LED D0 ein. Steigt der Stromistwert bis über 37 mV, schaltet Komparator 1 ein und damit den Komparator 2 aus. Die MIN-LED verlischt wieder. Diese Schwellen entsprechen den Stromwerten 28 mA und 370 mA. Unter 28 mA ist auch die MIN-LED aus, d.h. geringere Ströme werden nicht angezeigt. Bei 370 mA leuchtet aber schon die erste A277-LED (LED D1), so dass ein fließender Anzeigeübergang von der MIN-LED zur ersten A277-LED gewährleistet ist.

MAX-LED-Steuerung

Die oberste Referenz-Schwelle für die MAX-LED liegt am (-)-Eingang des Komparators 4. Der (+)-Eingang liegt wie bei den anderen Komparatoren auch am Shunt Rs.

Erreicht der Stromistwert die oberste 539mV-Schwelle, schaltet Komparator 4 die rote MAX-LED D13 ein. Damit wird signalisiert, dass der normale A277-Anzeigebereich überschritten wurde. Die letzte A277-LED D12 leuchtet weiterhin. Ohne die MAX-LED wäre also keine Aussage möglich, ob der Strom wesentlich größer als 5 A ist.

Fazit

Es ergibt sich eine gute Stromkontrolle. Durch die Übergangsbereiche zwischen den LEDs ist die Anzeige gewissermaßen fließend.

Die zusätzliche MIN-LED bringt schon Ströme ab etwa 28 mA zur Anzeige. Geringere Ströme werden nicht angezeigt. Die MAX-LED signalisiert, ob der normale Strom-Bereich überschritten wurde.

Diese MIN/MAX-LED-Erweiterung erfordert neben dem sowieso notwendigen OPV-IC nur wenige weitere Widerstände, stellt aber eine sinnvolle Erweiterung des A277-Anzeigebereichs dar.

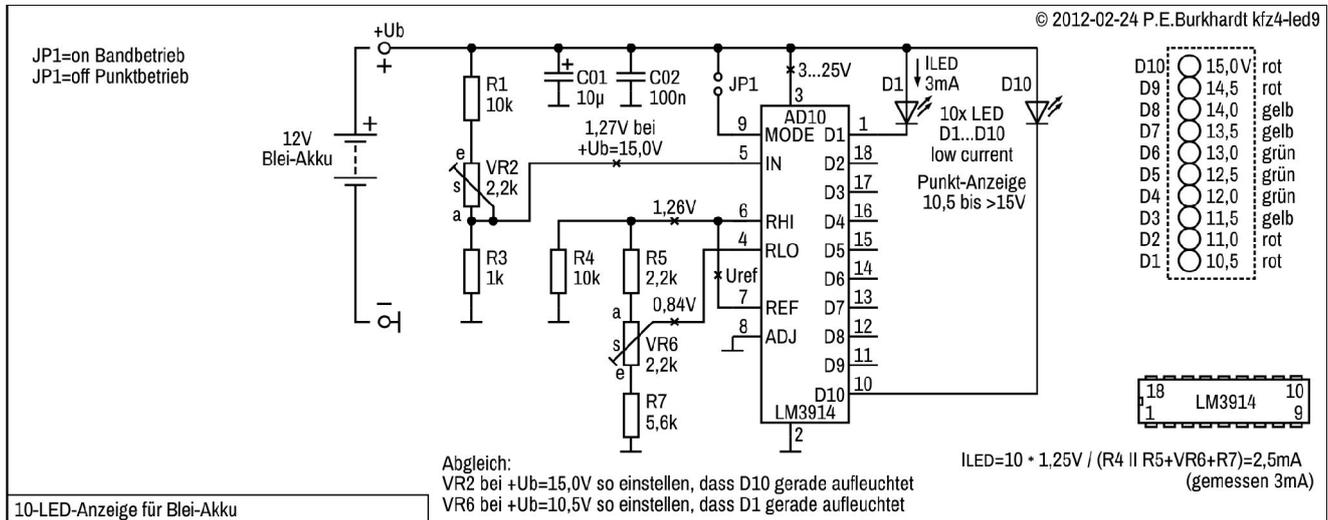
10-LED-Anzeige 12V (LM3914)

Anwendung

Einsatz als 10-LED-Spannungsanzeige zur Spannungsüberwachung (Monitoring) von 12V-Blei-Akkus

Eigenschaften

- Punktanzeige mit 10 LEDs mit dem LM3914
- Spannungsbereich 10,5 V (erste LED) bis 15,0 V (letzte LED)
- LED-Farben entsprechend Akku-Betriebszustand
- Bandanzeige möglich, hier aber m.E. wegen Stromverbrauch nicht sinnvoll



Schaltung

Die Schaltung entspricht weitgehend dem LM3914-Standard. Betriebsspannung (+Ub) und Mess-Spannung für die Anzeige sind identisch. Mit zwei Potis ist der Mess-Spannungsbereich für den interessanten Akku-Spannungsbereich 10,5 V bis 15,0 V abgleichbar. Als Spannungsreferenz dient die interne Uref = 1,25 V (nominal, gemessen 1,26 V).

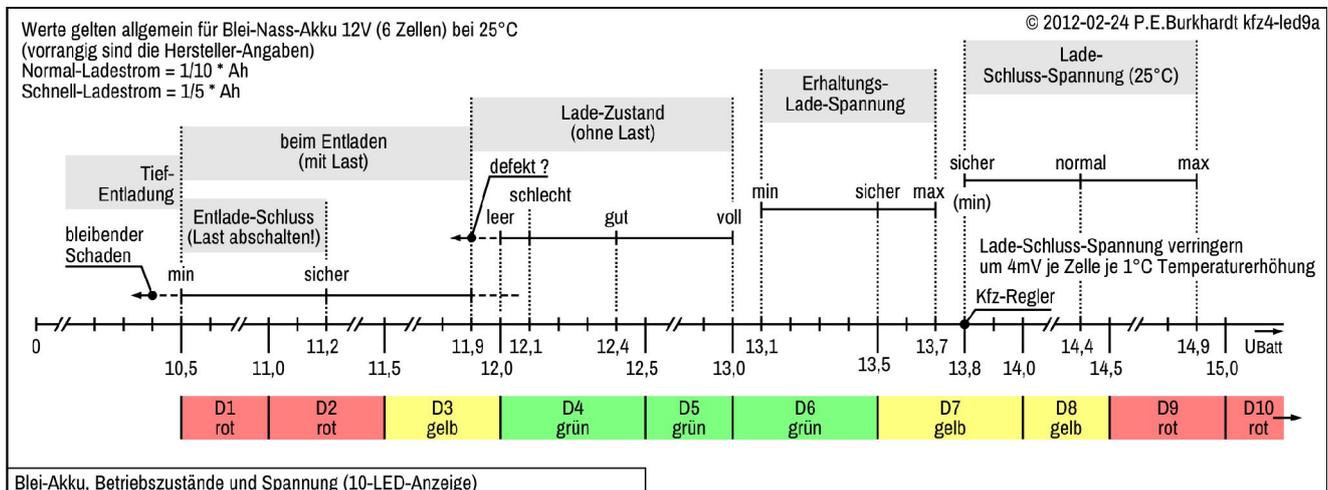
Abgleich

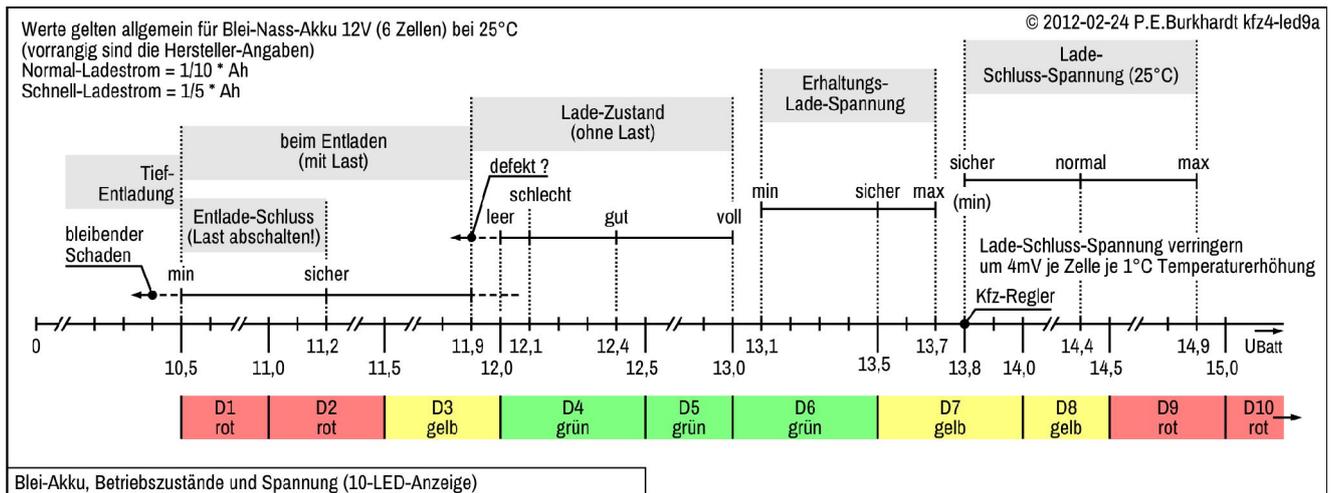
1. Betriebsspannung +Ub = 15,0 V an die Schaltung legen. Dann Poti VR2 so einstellen, dass LED D10 gerade zu leuchten beginnt.
2. Betriebsspannung +Ub = 10,5 V an die Schaltung legen. Dann Poti VR6 so einstellen, dass LED D1 gerade zu leuchten beginnt.
3. Anzeigebereich 10,5 bis 15,0 V nochmals überprüfen, gegebenenfalls Potis nachjustieren.

Anzeigebereich und Akku-Zustand

Zur Abschätzung, ob die Akku-Überwachung mit 10 LEDs genau genug ist, wurde die Akku-Spannung in Abhängigkeit vom Akku-Zustand näher untersucht. In der Literatur (Web) und abhängig vom Akku-Hersteller gibt es dazu zwar unterschiedliche, aber doch ähnliche Aussagen. Für die meisten Fälle zutreffend ergab sich das folgende Diagramm.

Das Diagramm gilt nur für Kfz-12V-Blei-Nass-Akkus (wartungsfrei oder wartungsarm) mit 6 Zellen bei 25°C.





(Bild-Wiederholung)

Im Bild sind die Akku-Betriebszustände in Abhängigkeit von der Akku-Spannung eingetragen. Das ist durchaus zulässig, da z.B. kleiner als 10,5 V eindeutig einer Tiefentladung, größer als ca. 13 V eindeutig dem Laden (Erhaltungsladen bzw. Ladespannung) zugeordnet werden kann.

Somit kann mit dem 10-stufigem LED-Monitoring eine Zustands-Aussage des Akkus beim Entladen (mit Last), in Ruhe (ohne Last) und beim Laden (Ladegerät, Lichtmaschine) getroffen werden. Die entsprechenden LED-Bereiche der Schaltung sind eingetragen. Doch wie genau ist diese Anzeige beim 0,5V-Abstand von einer LED zur anderen

1. Tiefentladung

Bei kleiner als 10,5 V und ohne Last ist der Akku defekt (Zellenschluss, Sulfatierung, Unterbrechung).

Ist der Akku mit einem Verbraucher belastet, sollte spätestens bei 10,5 V die Last abgeschaltet werden (automatische Abschaltung z.B. mit Akku-Wächter). Wird der Akku weiter belastet, ist mit Schäden zu rechnen. Allerdings kann beim Kfz-Anlassen die Spannung unter 10,5 V sinken, kurzzeitig ist dies durchaus zulässig.

Ein Akku-Wächter sollte den Verbraucher verzögert abschalten (Zeit vorzugsweise einstellbar). War es nur eine Last-Spitze, kann die (relativ kurze) Abschalt-Verzögerungszeit durchaus wieder von vorn beginnen.

Zur Schonung des Akkus und unter Berücksichtigung der Abschalt-Toleranz sollte die eingestellte Abschaltspannung aber bei 11,2 V liegen. Nur so kann die bleibende Akku-Schädigung durch Tiefentladung sicher vermieden werden.

Tiefentladene Blei-Akkus erreichen nie wieder die normale Akku-Kapazität! Ebenso wird die Akku-Lebensdauer verkürzt!

2. Entladen

Während des normalen Entladens (mit Last) ist eine Spannung messbar, die vom voll geladenen Akku (ca. 13 V) bis hin zur Tiefentladung reicht. Die messbare Spannung hängt von der Last, vom Akku-Innenwiderstand und von der Entladedauer ab. Da ohne Last kaum weniger als 12,0 V messbar sind (außer bei weit fortgeschrittener Selbstentladung oder Defekt), ist im Diagramm die Entladespannung im Bereich zwischen 12,0 V bis zum Beginn der Tiefentladung interessant.

Eine Akku-Spannung von bis zu 10,5 V bei entsprechend niederohmigen Verbraucher ist also noch normal. Wie hoch die Spannung ist, hängt vom Entladestrom und der geladenen Akku-Kapazität ab.

3. Lade-Zustand (ohne Last)

Die messbare Spannung ohne Last spiegelt den Lade-Zustand des Akkus wider. Bei 13,0 V ist der Akku voll, bei 12,0 V leer, bei geringfügig weniger wahrscheinlich defekt. Das ist zwar nur eine grobe Zuordnung, die aber ohne zusätzliche Hilfsmittel (Last) verlässlich genug ist.

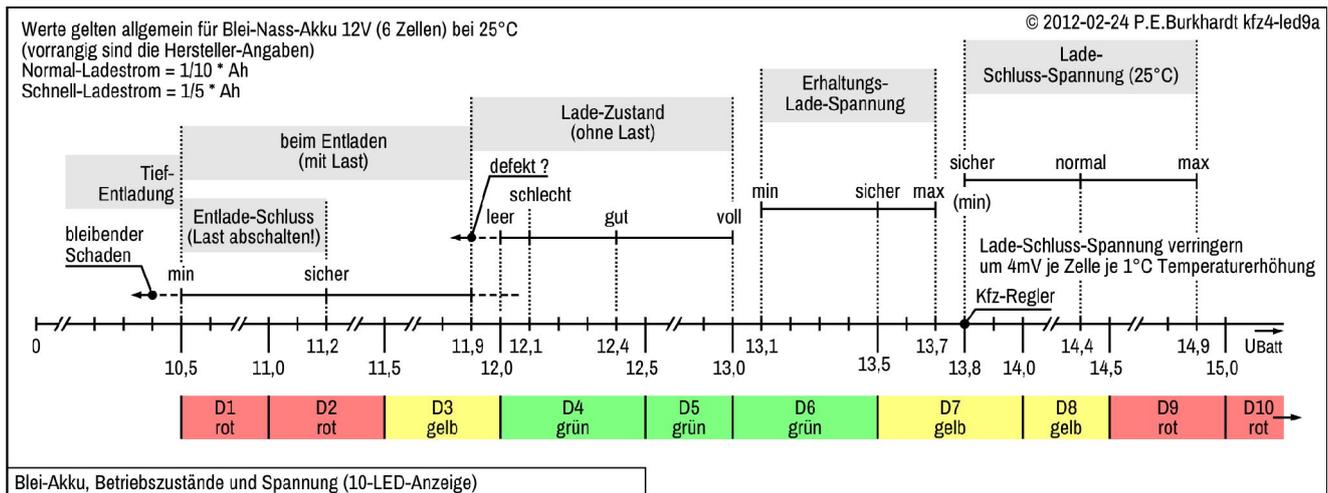
Der wirkliche Lade-Zustand (d.h. die zur Entladung verfügbare Akku-Kapazität) ist nur mit definierter Last unter Berücksichtigung der Batterie-Daten bestimmbar.

Alarmierend ist, wenn weniger als 12,0 V ohne Last messbar sind. Der Akku ist dann entweder zu tief entladen oder defekt!

4. Lade-Spannung

Die Akku-Spannung während des Ladens hängt von der Ladekennlinie des Ladegeräts, vom Akku-Typ und von der Ladephase ab. Dies alles soll im Zusammenhang mit der hier beschriebenen LED-Anzeige nicht betrachtet werden.

Es sei nur unterschieden, wie hoch die Ladeschluss-Spannung sein darf, bei der das Ladegerät abgeschaltet oder in die Betriebsart Erhaltungsladung übergehen muss.



(Bild-Wiederholung)

4.1 Ladeschluss-Spannung

Die Akku-Spannung steigt mit fortschreitender Akku-Ladung an. Entsprechend der Ladekennlinie ist das Laden bei einer bestimmten maximalen Lade-Spannung zu beenden. Wird diese Ladeschluss-Spannung überschritten, wird der Akku überladen und es können Schäden auftreten (Akku kocht, zu starke Gasung, Säure läuft aus, Schädigung der Platten, Defekt des Akku-Gehäuses u.a.).

Überladen des Akkus unbedingt vermeiden! Korrekte Ladeschluss-Spannung (temperaturabhängig) nicht überschreiten!

Die Ladeschluss-Spannung ist insbesondere von der aktuellen Akku-Temperatur abhängig. Die Angaben im Diagramm gelten für 25°C. Durchschnittlich ist die Ladeschluss-Spannung um 4 mV je Zelle und je 1°C Temperaturerhöhung zu verringern. Liegt beispielsweise die Temperatur bei 35°C, sollte die normale Ladeschluss-Spannung von 14,4 V nur noch 14,16 V betragen.

Die Korrektur kommt wie folgt zustande: Temperaturerhöhung 10°C * 4 mV * 6 Zellen = 240 mV. Um diese 0,24 V muss die Ladeschluss-Spannung verringert werden.

Das bedeutet aber, eine automatische Anpassung der Ladeschluss-Spannung durch das Ladegerät wäre wünschenswert. Gute Ladegeräte haben zur Anpassung einen externen Temperaturfühler. Ist die Ladeschluss-Spannung fest, sollte besser nur mit 13,8 V gearbeitet werden (siehe Bild), selbst wenn dadurch der Akku nicht ganz voll wird.

Dieser Wert liegt nahe beim Höchstwert von 13,7 V für die Erhaltungsladung.

4.2 Erhaltungslade-Spannung

Ist die Ladeschluss-Spannung erreicht, ist das Laden zu beenden oder es wird auf Erhaltungsladen umgeschaltet.

Der Übergang vom Laden zum Erhaltungsladen kann auch fließend sein. Das ist z.B. der Fall, wenn das Ladegerät mit zunehmender Akku-Ladung immer weniger Strom liefert. Das sind einfache Ladegeräte mit relativ konstanter Ausgangsspannung (Gleichrichter mit Lade-Elko), bei denen mit zunehmender Akku-(Gegen)-Spannung immer weniger Ladestrom fließt. Liegt diese Ausgangsspannung beim Maximalwert für die Erhaltungsladung (13,7 V), wird der Akku zwar nicht ganz voll, kann aber auch nicht überladen werden.

Der Erhaltungsladestrom gleicht durch einen geringen Strom nur die Akku-Kapazität aus, die der Akku durch Selbstentladung verliert. Der Akku wird also auf dem Spannungswert der Erhaltungslade-Spannung gehalten. In diesem Fall kann das Ladegerät dauerhaft (und unbeaufsichtigt) angeschlossen bleiben.

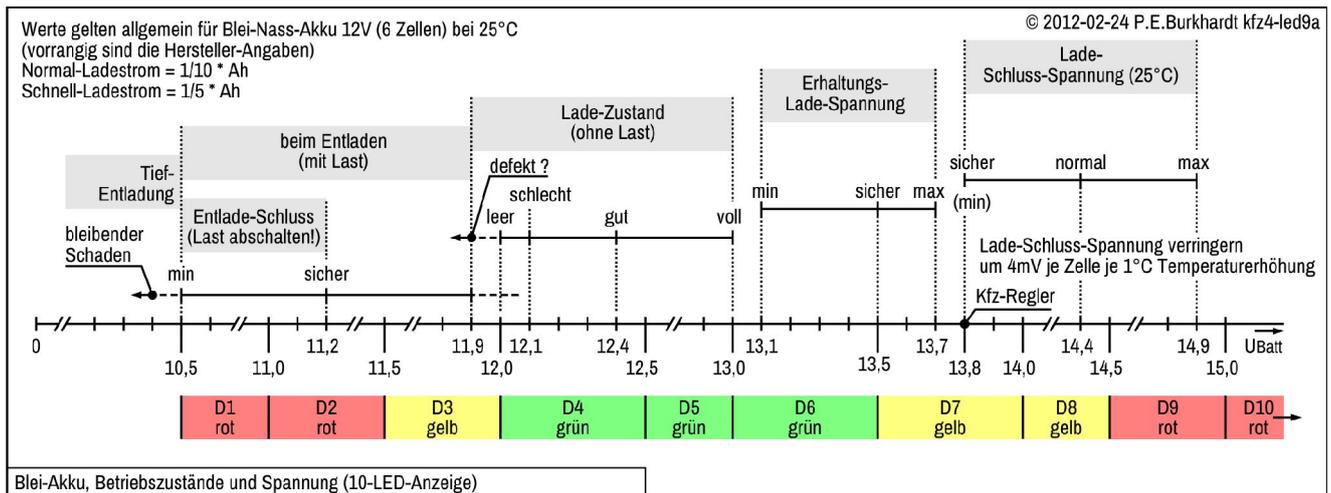
LED-Anzeige bezüglich der Akku-Betriebszustände

Soll, wie im vorliegenden Fall, die LED-Anzeige den gesamten Bereich der Akku-Betriebszustände überstreichen, sind in Abhängigkeit von der Anzeigen-Auflösung Kompromisse nötig. Bei nur 10 LEDs verbleiben 0,5 V pro LED, gleichmäßig verteilt über den gesamten Anzeigebereich.

Unter 10,5 V leuchtet überhaupt keine LED. Ist nun der Akku tiefentladen? Oder ist die Anzeigeeinheit defekt? Oder sind die Leitungen zum Akku unterbrochen?

Die "sichere" Lastabschaltgrenze von 11,2 V liegt nicht an einer LED-Umschaltgrenze sondern wird mit der roten LED D2 überstrichen. 11,2 V sind also nicht eindeutig signalisiert.

Der Lade-Zustand ohne Last wird gut abgebildet. Die grünen LEDs D4 und D5 decken diesen Bereich punktgenau ab. Allerdings ist Ladezustand "schlecht" mit 12,1 V auch nicht erkennbar. Für diese Spannung ist die grüne LED D4 bezüglich Ladezustand schon zu optimistisch, während für 12,4 V der Ladezustand "gut" gilt.



(Bild-Wiederholung)

Im oberen Spannungsbereich wurden von mir die LED-Farben relativ willkürlich gewählt. Auf jeden Fall ist die Ladespannung ab 14,5 V schon gefährlich, deshalb LED D9 in Farbe rot, D10 ebenfalls.

Übersteigt die gemessene Spannung (aus welchen Gründen auch immer) die 15V-Marke leuchtet die rote LED D10. Was darüber hinaus passiert, ist nicht signalisiert, da über 15,0 V die LED D10 immer leuchtet.

Fazit

Bei gründlicher Betrachtung der Akku-Betriebszustände ist das LED-Monitoring mit 10 LEDs eigentlich zu ungenau. Für den einfachen Überblick zum Ladezustand im Kfz reicht es zwar. Für eine Spannungsanzeige während des Ladens (z.B. im Ladegerät) oder während des Entladens (z.B. auch als Akku-Wächter) ist die LED-Anzeige zu grob.

Bei Verdopplung der LED-Anzahl auf 20 (2x LM3914) wären die unterscheidbaren Spannungsstufen nur 0,25 V weit entfernt. Die Anzeigegenauigkeit wäre entsprechend besser.

11-LED-Anzeige 12V (LM3914, MIN-LED)

Basierend auf der 10-LED-Standard-Anzeige mit dem LM3914 für den 12V-Akku-Spannungsbereich sind im Folgenden 2 Schaltungen beschrieben:

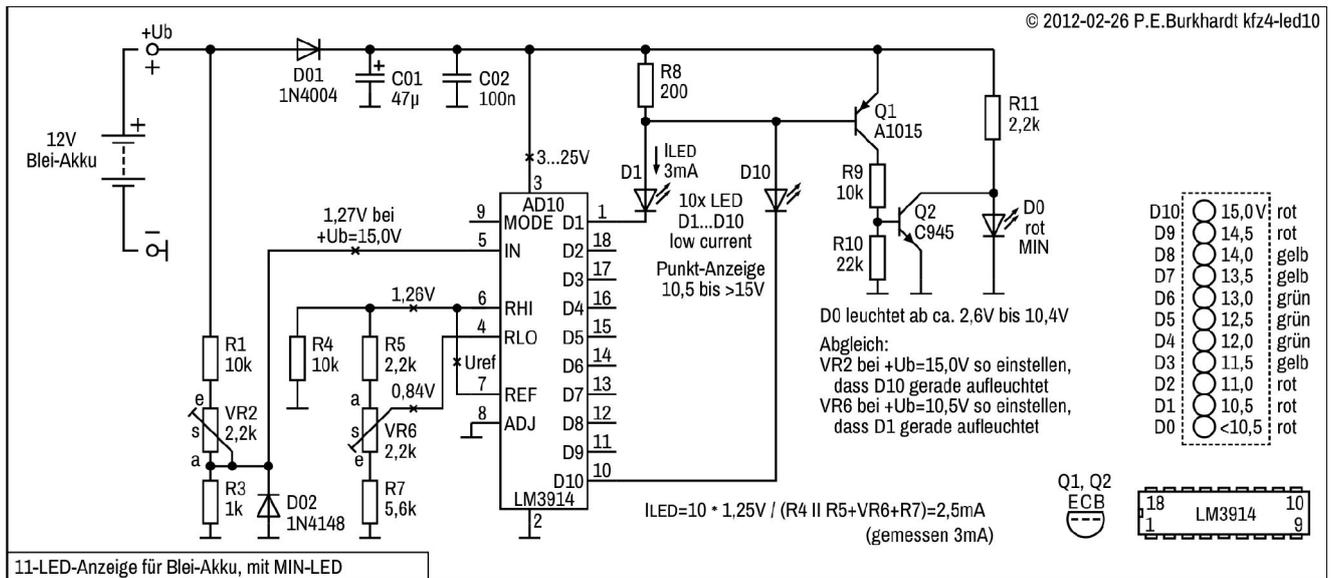
1. LED-Spannungsanzeige mit zusätzlicher MIN-LED für den Bereich unter 10,5 V
2. LED-Spannungsanzeige mit MIN-LED und blinkender LED ab 15,0 V (MAX-Flash-LED)

Anwendung

Einsatz als 11-LED-Spannungsanzeige zur Spannungsüberwachung (Monitoring) von 12V-Blei-Akkus

Eigenschaften

- Punktanzeige mit 11 LEDs mit dem LM3914
- Spannungsbereich ca. 2,6 V bis 10,4 V mit MIN-LED
- Spannungsbereich 10,5 V bis 15,0 V mit 10 LEDs
- Letzte LED (ab 15,0 V) blinkend (2. Schaltung)
- LED-Farben entsprechend Akku-Betriebszustand



1. Schaltung mit MIN-LED

Die Schaltung (Bild oben) ist gegenüber der LM3914-Standardanschaltung erweitert und besteht aus:

- Schutz gegen Falschpolung (D01, D02)
- Punktanzeige mit 10 LEDs (LM3914, D1 bis D10)
- Anpassung Meßbereich und Einstellung Meßbereichsende (R1, VR2, R3)
- Anpassung Referenzspannung und Einstellung Meßbereichsanfang (R4, R5, VR6, R7)
- MIN-LED für Spannungsbereich <10,5 V (D0, R11)
- MIN-LED-Maskierung des Bereichs ab 10,5 V (R8, Q1, R9, R10, Q2)

Schutz gegen Falschpolung

Normalerweise sind Betriebsspannung (+Ub) und Mess-Spannung identisch. Damit ändert sich mit der Mess-Spannung auch die Spannungsversorgung für den LM3914 und die LEDs. Die 3914-interne Uref-Regelung und Stromsenken für die LEDs sorgen dafür, dass sich die schwankende Versorgung nicht negativ auswirkt.

Deshalb kann auch Schutzdiode D01 eingefügt werden. Die Mess-Spannung muss natürlich unmittelbar am Akku abgegriffen werden. D02 ist ein zusätzlicher Schutz, obwohl am Pin 5 intern bereits ein Widerstand mit Diode vorhanden sind (siehe Datenblatt LM3914).

Einstellung des Meßbereichs

Mit zwei Potis ist der Mess-Spannungsbereich für den interessanten Akku-Spannungsbereich 10,5 V bis 15,0 V abgleichbar. Als Spannungsreferenz dient die interne Uref = 1,25 V (nominal, gemessen 1,26 V).

Abgleich

1. Betriebsspannung +Ub = 15,0 V an die Schaltung legen. Dann Poti VR2 so einstellen, dass LED D10 gerade zu leuchten beginnt.
2. Betriebsspannung +Ub = 10,5 V an die Schaltung legen. Dann Poti VR6 so einstellen, dass LED D1 gerade zu leuchten beginnt.
3. Anzeigebereich 10,5 bis 15,0 V nochmals überprüfen, gegebenenfalls Potis nachjustieren.

Punktanzeige mit LED1 bis LED10

Nach Abgleich schalten die 3914-Ausgänge D1 bis D10 im Spannungsbereich 10,5 bis 15,0 V mit je 0,5 V Abstand über Stromsenken auf GND. Entsprechend leuchten die LEDs D1 bis D10. Unterhalb 10,5 V leuchtet keine LED, oberhalb 15,0 V leuchtet LED D10 immer.

MIN-LED für Spannungsbereich < 10,5 V

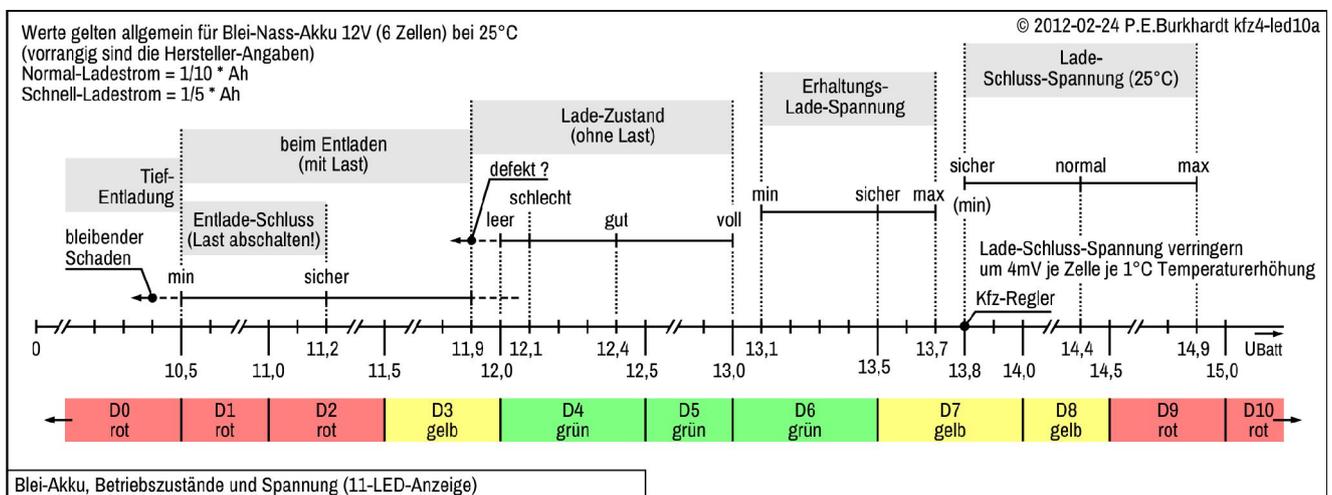
LED D0 hängt über R11 direkt an der Betriebsspannung. D0 leuchtet, sobald +Ub groß genug ist (ab ca. 2,6 V). Sobald die erste 3914-LED-Schwelle (10,5 V) überschritten wird, sollte D0 ausgehen, da ab hier die LEDs D1 bis D10 die Anzeige übernehmen.

Die nötige Maskierung für D0 erfolgt mit Transistor Q2, der die LED kurzschließt. Um das nötige Steuersignal zu gewinnen, ist R8 eingefügt. Immer wenn eine der LEDs D1 bis D10 leuchtet, entsteht über R8 ein Spannungsabfall, der den Transistor Q1 durchsteuert. Mit Q1 steuert auch Q2 durch, LED D0 ist aus.

Anzeigebereich und Akku-Zustand

Zur Abschätzung, ob die Akku-Überwachung mit 10 LEDs genau genug ist, wurde die Akku-Spannung in Abhängigkeit vom Akku-Zustand näher untersucht. In der Literatur (Web) und abhängig vom Akku-Hersteller gibt es dazu zwar unterschiedliche, aber doch ähnliche Aussagen. Für die meisten Fälle zutreffend ergab sich das folgende Diagramm.

Das Diagramm gilt nur für Kfz-12V-Blei-Nass-Akkus (wartungsfrei oder wartungsarm) mit 6 Zellen bei 25°C.



Im Bild sind die Akku-Betriebszustände in Abhängigkeit von der Akku-Spannung eingetragen. Das ist durchaus zulässig, da z.B. kleiner als 10,5 V eindeutig einer Tiefentladung, größer als ca. 13 V eindeutig dem Laden (Erhaltungsladen bzw. Ladespannung) zugeordnet werden kann.

Somit kann mit dem 10-stufigem LED-Monitoring eine Zustands-Aussage des Akkus beim Entladen (mit Last), in Ruhe (ohne Last) und beim Laden (Ladegerät, Lichtmaschine) getroffen werden. Die entsprechenden LED-Bereiche der Schaltung sind eingetragen. Doch wie genau ist diese Anzeige beim 0,5V-Abstand von einer LED zur anderen?

1. Tiefentladung

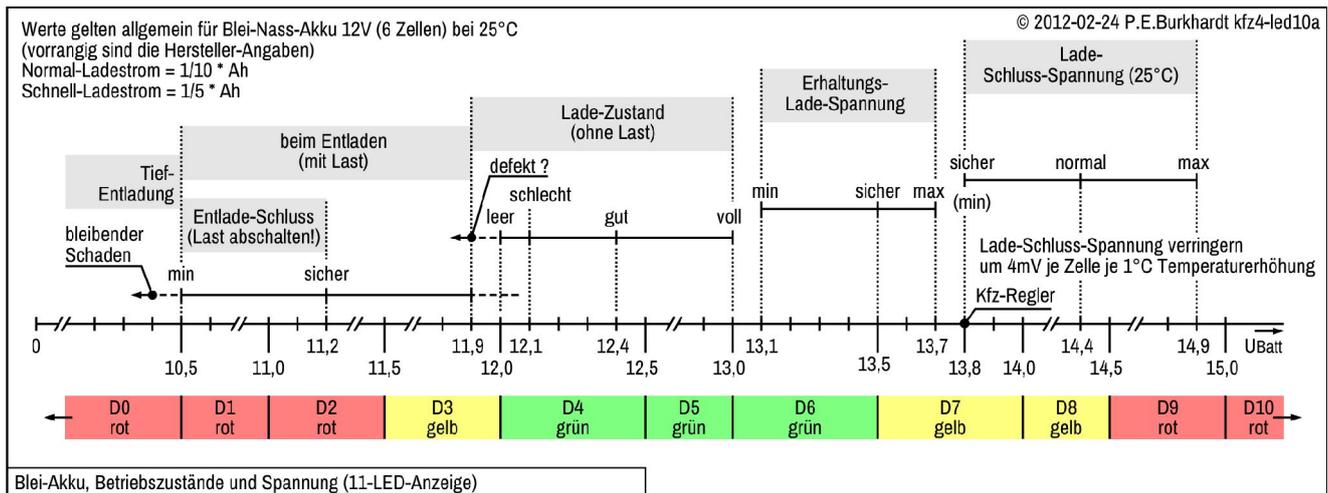
Bei kleiner als 10,5 V und ohne Last ist der Akku defekt (Zellenschluss, Sulfatierung, Unterbrechung).

Ist der Akku mit einem Verbraucher belastet, sollte spätestens bei 10,5 V die Last abgeschaltet werden (automatische Abschaltung z.B. mit Akku-Wächter). Wird der Akku weiter belastet, ist mit Schäden zu rechnen. Allerdings kann beim Kfz-Anlassen die Spannung unter 10,5 V sinken, kurzzeitig ist dies durchaus zulässig.

Ein Akku-Wächter sollte den Verbraucher verzögert abschalten (Zeit vorzugsweise einstellbar). War es nur eine Last-Spitze, kann die (relativ kurze) Abschalt-Verzögerungszeit durchaus wieder von vorn beginnen.

Zur Schonung des Akkus und unter Berücksichtigung der Abschalt-Toleranz sollte die eingestellte Abschaltspannung aber bei 11,2 V liegen. Nur so kann die bleibende Akku-Schädigung durch Tiefentladung sicher vermieden werden.

Tiefentladene Blei-Akkus erreichen nie wieder die normale Akku-Kapazität! Ebenso wird die Akku-Lebensdauer verkürzt!



(Bild-Wiederholung)

2. Entladen

Während des normalen Entladens (mit Last) ist eine Spannung messbar, die vom voll geladenen Akku (ca. 13 V) bis hin zur Tiefentladung reicht. Die messbare Spannung hängt von der Last, vom Akku-Innenwiderstand und von der Entladedauer ab. Da ohne Last kaum weniger als 12,0 V messbar sind (außer bei weit fortgeschrittener Selbstentladung oder Defekt), ist im Diagramm die Entladespannung im Bereich zwischen 12,0 V bis zum Beginn der Tiefentladung interessant.

Eine Akku-Spannung von bis zu 10,5 V bei entsprechend niederohmigen Verbraucher ist also noch normal. Wie hoch die Spannung ist, hängt vom Entladestrom und der geladenen Akku-Kapazität ab.

3. Lade-Zustand (ohne Last)

Die messbare Spannung ohne Last spiegelt den Lade-Zustand des Akkus wider. Bei 13,0 V ist der Akku voll, bei 12,0 V leer, bei geringfügig weniger wahrscheinlich defekt. Das ist zwar nur eine grobe Zuordnung, die aber ohne zusätzliche Hilfsmittel (Last) verlässlich genug ist.

Der wirkliche Lade-Zustand (d.h. die zur Entladung verfügbare Akku-Kapazität) ist nur mit definierter Last unter Berücksichtigung der Batterie-Daten bestimmbar.

Alarmierend ist, wenn weniger als 12,0 V ohne Last messbar sind. Der Akku ist dann entweder zu tief entladen oder defekt!

4. Lade-Spannung

Die Akku-Spannung während des Ladens hängt von der Ladekennlinie des Ladegeräts, vom Akku-Typ und von der Ladephase ab. Dies alles soll im Zusammenhang mit der hier beschriebenen LED-Anzeige nicht betrachtet werden.

Es sei nur unterschieden, wie hoch die Ladeschluss-Spannung sein darf, bei der das Ladegerät abgeschaltet oder in die Betriebsart Erhaltungsladung übergehen muss.

4.1 Ladeschluss-Spannung

Die Akku-Spannung steigt mit fortschreitender Akku-Ladung an. Entsprechend der Ladekennlinie ist das Laden bei einer bestimmten maximalen Lade-Spannung zu beenden. Wird diese Ladeschluss-Spannung überschritten, wird der Akku überladen und es können Schäden auftreten (Akku kocht, zu starke Gasung, Säure läuft aus, Schädigung der Platten, Defekt des Akku-Gehäuses u.a.).

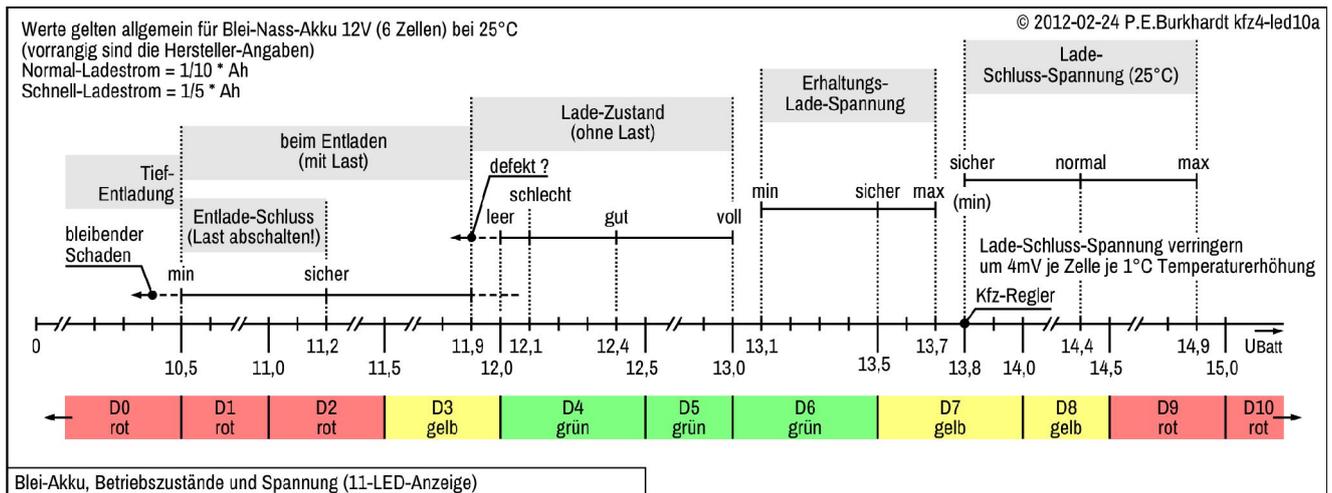
Überladen des Akkus unbedingt vermeiden! Korrekte Ladeschluss-Spannung (temperaturabhängig) nicht überschreiten!

Die Ladeschluss-Spannung ist insbesondere von der aktuellen Akku-Temperatur abhängig. Die Angaben im Diagramm gelten für 25°C. Durchschnittlich ist die Ladeschluss-Spannung um 4 mV je Zelle und je 1°C Temperaturerhöhung zu verringern. Liegt beispielsweise die Temperatur bei 35°C, sollte die normale Ladeschluss-Spannung von 14,4 V nur noch 14,16 V betragen.

Die Korrektur kommt wie folgt zustande: Temperaturerhöhung 10°C * 4 mV * 6 Zellen = 240 mV. Um diese 0,24 V muss die Ladeschluss-Spannung verringert werden.

Das bedeutet aber, eine automatische Anpassung der Ladeschluss-Spannung durch das Ladegerät wäre wünschenswert. Gute Ladegeräte haben zur Anpassung einen externen Temperaturfühler. Ist die Ladeschluss-Spannung fest, sollte besser nur mit 13,8 V gearbeitet werden (siehe Bild), selbst wenn dadurch der Akku nicht ganz voll wird.

Dieser Wert liegt nahe beim Höchstwert von 13,7 V für die Erhaltungsladung.



(Bild-Wiederholung)

4.2 Erhaltungslade-Spannung

Ist die Ladeschluss-Spannung erreicht, ist das Laden zu beenden oder es wird auf Erhaltungsladen umgeschaltet.

Der Übergang vom Laden zum Erhaltungsladen kann auch fließend sein. Das ist z.B. der Fall, wenn das Ladegerät mit zunehmender Akku-Ladung immer weniger Strom liefert. Das sind einfache Ladegeräte mit relativ konstanter Ausgangsspannung (Gleichrichter mit Lade-Elko), bei denen mit zunehmender Akku-(Gegen)-Spannung immer weniger Ladestrom fließt. Liegt diese Ausgangsspannung beim Maximalwert für die Erhaltungsladung (13,7 V), wird der Akku zwar nicht ganz voll, kann aber auch nicht überladen werden.

Der Erhaltungsladestrom gleicht durch einen geringen Strom nur die Akku-Kapazität aus, die der Akku durch Selbstentladung verliert. Der Akku wird also auf dem Spannungswert der Erhaltungslade-Spannung gehalten. In diesem Fall kann das Ladegerät dauerhaft (und unbeaufsichtigt) angeschlossen bleiben.

LED-Anzeige bezüglich der Akku-Betriebszustände

Soll, wie im vorliegenden Fall, die LED-Anzeige den gesamten Bereich der Akku-Betriebszustände überstreichen, sind in Abhängigkeit von der Anzeigen-Auflösung Kompromisse nötig. Bei nur 10 LEDs verbleiben 0,5 V pro LED, gleichmäßig verteilt über den gesamten Anzeigebereich.

Unter 10,5 V leuchtet LED D0. Ein tiefentladener Akku unterhalb 10,5 V wird also auch sicher erkannt. Leuchtet überhaupt keine LED, ist entweder die Anzeigeeinheit defekt oder die Leitungen zum Akku sind unterbrochen.

Die "sichere" Lastabschaltgrenze von 11,2 V liegt nicht an einer LED-Umschaltgrenze sondern wird mit der roten LED D2 überstrichen. 11,2 V sind also nicht eindeutig signalisiert.

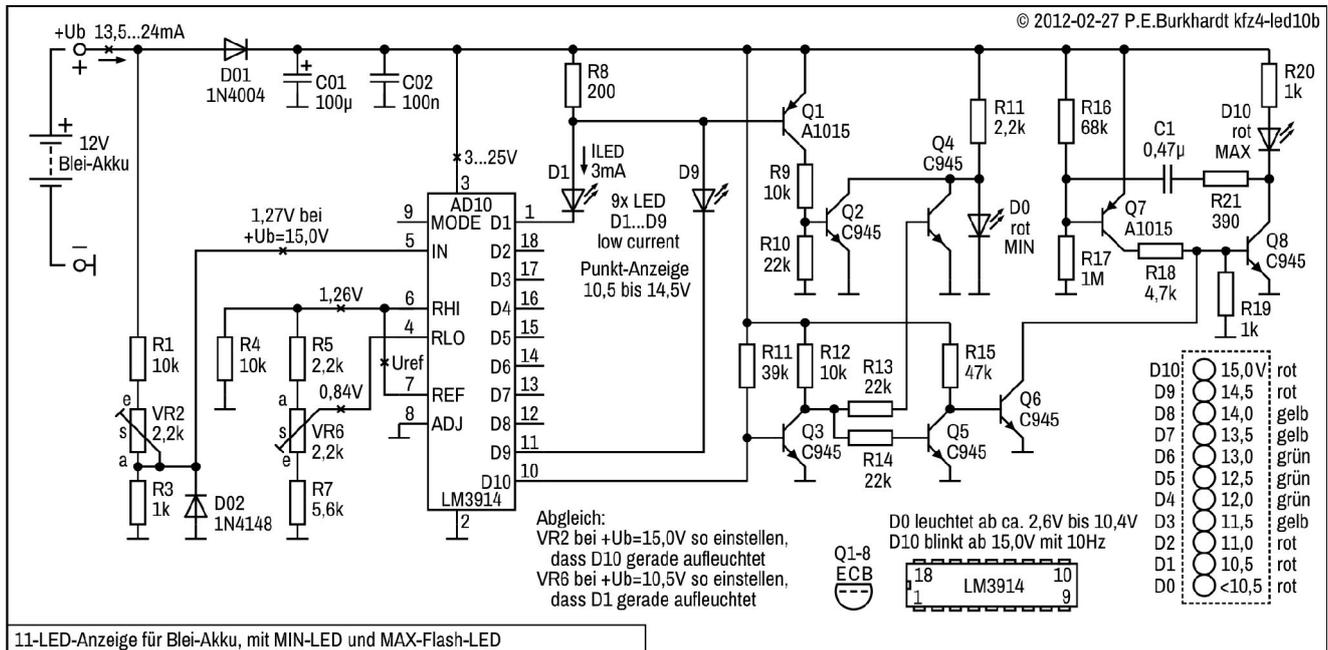
Der Lade-Zustand ohne Last wird gut abgebildet. Die grünen LEDs D4 und D5 decken diesen Bereich punktgenau ab. Allerdings ist Ladezustand "schlecht" mit 12,1 V auch nicht erkennbar. Für diese Spannung ist die grüne LED D4 bezüglich Ladezustand schon zu optimistisch, während für 12,4 V der Ladezustand "gut" gilt.

Im oberen Spannungsbereich wurden von mir die LED-Farben relativ willkürlich gewählt. Auf jeden Fall ist die Ladespannung ab 14,5 V schon gefährlich, deshalb LED D9 in Farbe rot, D10 ebenfalls.

Übersteigt die gemessene Spannung (aus welchen Gründen auch immer) die 15V-Marke, leuchtet die rote LED D10. Was darüber hinaus passiert, ist nicht signalisiert, da über 15,0 V die LED D10 immer leuchtet.

Schaltungsvariante mit MAX-Flash-LED

Um das Überschreiten der oberen Messgrenze deutlicher darzustellen, wurde in der folgenden Schaltung die letzte LED D10 zum Blinken gebracht.



Diese Schaltung mit blinkender LED D10 ist gegenüber der 1. Schaltung weiter oben wie folgt ergänzt:

- Ersatz der Normal-LED D10 durch R11 und Bildung des Steuersignals (Q3, R12)
- MIN-LED-Maskierung des D10-Bereichs ab 15,0 V (R13, Q4)
- Steuer-Schaltung des Flashers (R14, R15, Q5 und Schalter Q6)
- Komplementärer LED-Flasher (R16 bis R21, Q7, Q8, C1, D10)

LED-Flasher

Die mit zwei komplementären Transistoren (Q7, Q8) arbeitende Schaltung ist bekannt und wurde für die relativ hohe Spannung (ab 15,0 V) optimiert. LED D10 blinkt mit einer Frequenz von ca. 10 Hz, die Leuchtdauer liegt bei 4 ms. Damit ist auffällig signalisiert, wenn die am Akku liegende Spannung (Ladespannung) größer als 15,0 V ist.

Steuer-Schaltung zum LED-Flasher

D10 soll nur blinken, wenn der 3914-Ausgang D10 über die interne Stromsenke auf GND liegt. In diesem Fall ist Q3 gesperrt, Q5 durchgesteuert und Q6 gesperrt. Das Potential an der Q8-Basis wird also nicht beeinflusst, D10 kann blinken.

Andererseits soll D10 nicht leuchten oder blinken, wenn der 3914-Ausgang D10 inaktiv ist. In diesem Fall ist Q3 über R11 durchgesteuert, Q5 ist gesperrt und Q6 ist über R15 ebenfalls durchgesteuert. Das bedeutet aber, die Q8-Basis liegt auf GND. Q8 ist gesperrt, der Flasher arbeitet nicht, D10 bleibt dunkel.

MIN-LED-Maskierung des D10-Bereichs

Da die Maskierung über R8-Q1-Q2 für den aktiven D10-Ausgang nicht funktioniert, ist der zusätzliche Transistor Q4 vorgesehen. Sobald der 3914-Ausgang D10 aktiv ist, wird Q3 gesperrt, Q4 ist durchgesteuert. Damit bleibt D0 dunkel.

D0 darf ja nur leuchten, wenn keiner der 3914-Ausgänge Q1 bis Q10 aktiv ist (d.h. Akku-Spannung <10,5V).

Fazit

Bei gründlicher Betrachtung der Akku-Betriebszustände ist das LED-Monitoring mit 10 LEDs eigentlich zu ungenau. Für den einfachen Überblick zum Ladezustand im Kfz reicht es zwar. Für eine Spannungsanzeige während des Ladens (z.B. im Ladegerät) oder während des Entladens (z.B. auch als Akku-Wächter) ist die LED-Anzeige zu grob.

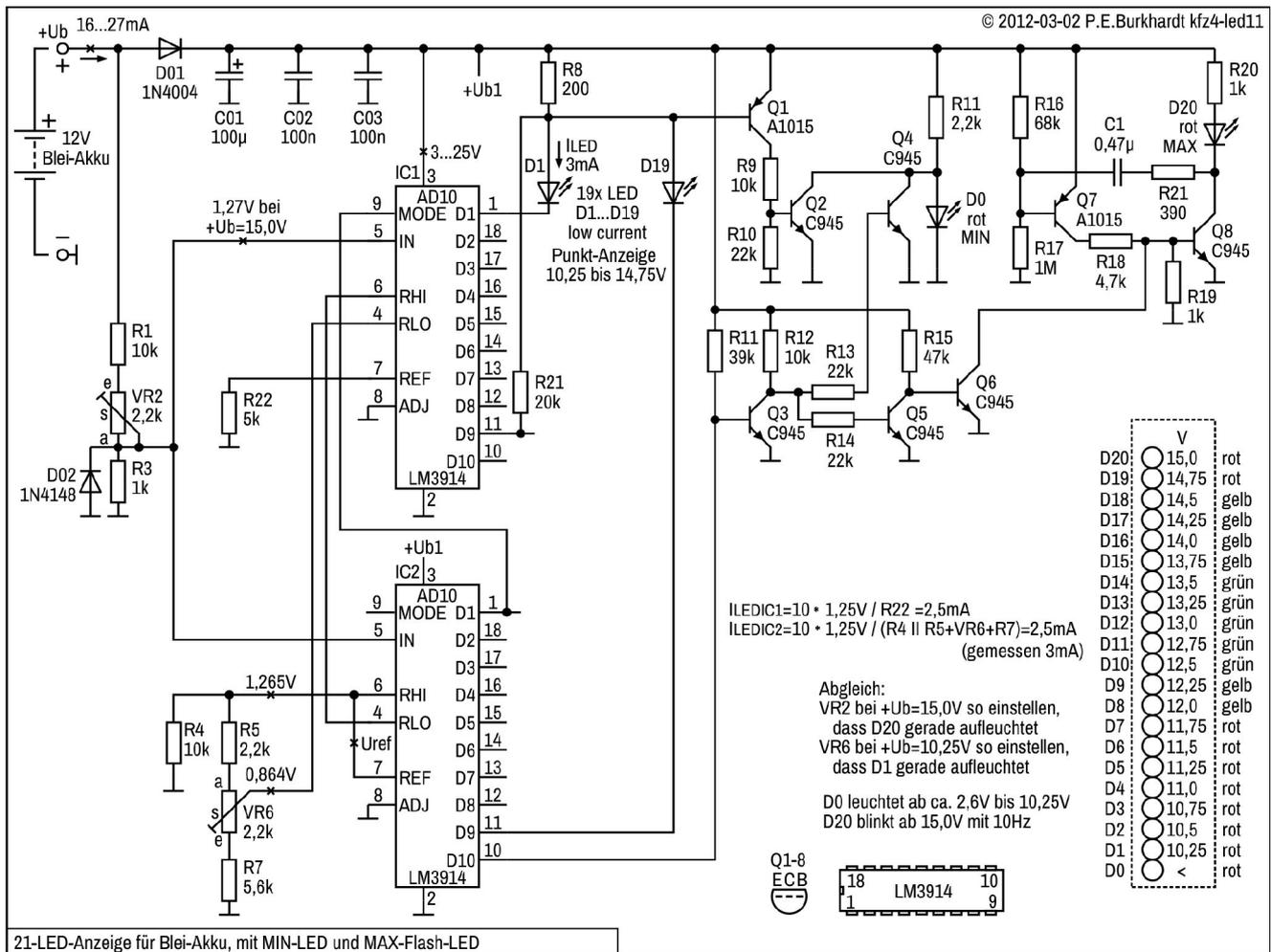
Allerdings ist durch die zusätzliche MIN-LED mehr Sicherheit für den Bereich unter 10,5 V gegeben. Das Blinken der D10-LED (2. Schaltung) ist zwar aufwendig, liefert aber nebenbei ein Schaltsignal (Q3-Kollektor oder Q5-Kollektor, je nach Bedarf) für eine Ladegerät-Not-Abschaltung.

21-LED-Anzeige 12V (LM3914, MIN/Flash-LED)

Eine 10-LED-Standard-Anzeige mit dem LM3914 für den 12V-Akku-Spannungsbereich ist nicht ausreichend, wenn bestimmte Betriebszustände des Akkus genau angezeigt werden sollen. Die folgende Schaltung bietet eine 0,25V-Auflösung, realisiert mit zwei LM3914.

Eigenschaften

- Punktanzeige mit 21 LEDs mit 2x LM3914
- Spannungsbereich ca. 2,6 V bis 10,25 V mit MIN-LED
- Spannungsbereich ab 10,25 V bis 15,0 V mit 20 LEDs
- Letzte LED (ab 15,0 V) blinkend
- LED-Farben entsprechend Akku-Betriebszustand

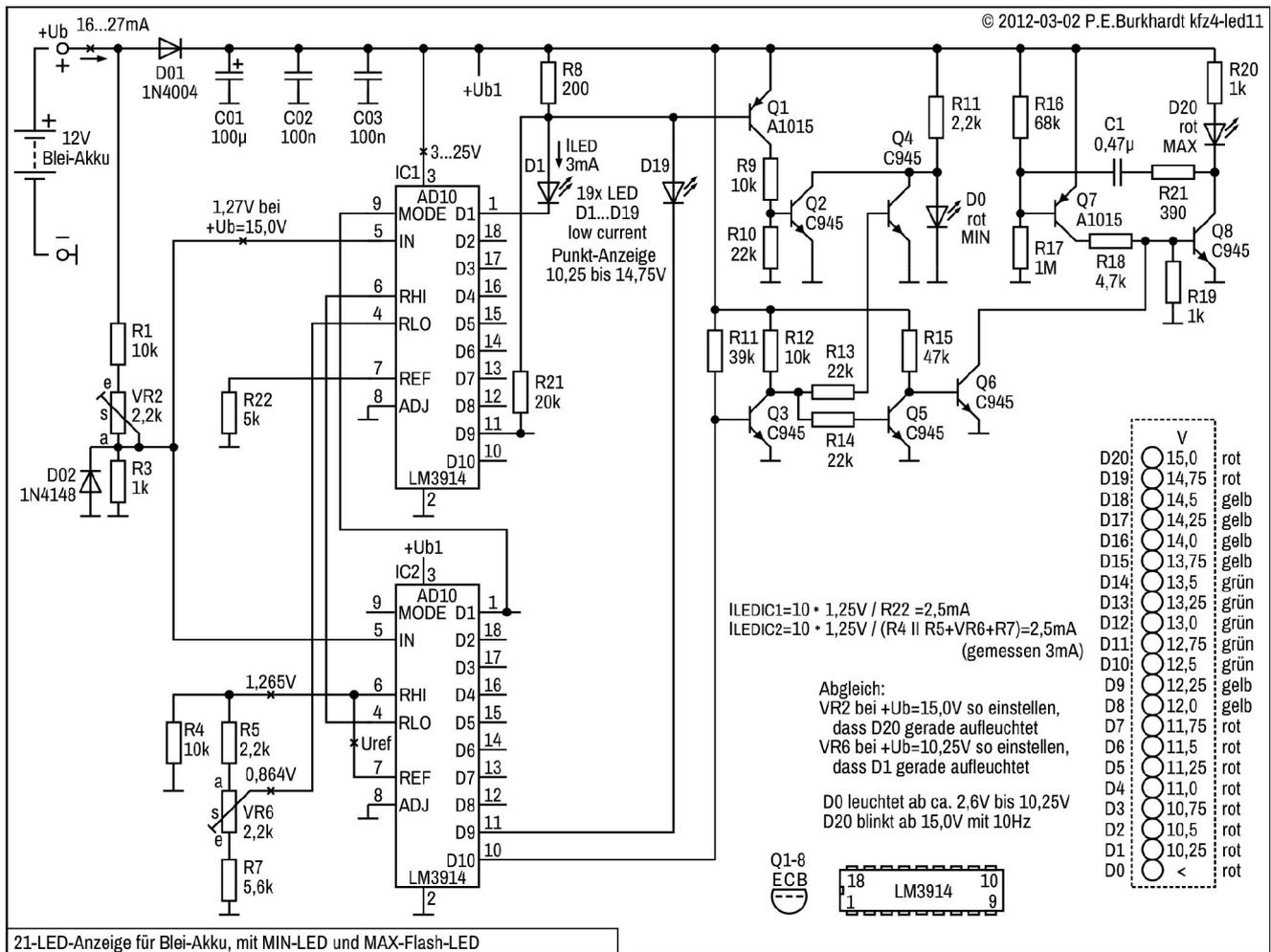


Schaltungsteile

- Schutz gegen Falschpolung (D01, D02)
- Punktanzeige mit 20 LEDs (LM3914, D1 bis D20)
- Anpassung Meßbereich und Einstellung Meßbereichsende (R1, VR2, R3)
- Anpassung Referenzspannung und Einstellung Meßbereichsanfang (R4, R5, VR6, R7)
- MIN-LED für Spannungsbereich <10,25 V (D0, R11)
- MIN-LED-Maskierung des Bereichs ab 10,25 V (R8, Q1, R9, R10, Q2)
- Ersatz der Normal-LED D20 durch R11 und Bildung des Steuersignals (Q3, R12)
- MIN-LED-Maskierung des D20-Bereichs ab 15,0 V (R13, Q4)
- Steuer-Schaltung des Flashers (R14, R15, Q5 und Schalter Q6)
- Komplementärer LED-Flasher (R16 bis R21, Q7, Q8, C1, D10)

Schutz gegen Falschpolung

Normalerweise sind Betriebsspannung (+Ub) und Mess-Spannung identisch. Damit ändert sich mit der Mess-Spannung auch die Spannungsversorgung für die LM3914 und die LEDs. Die 3914-interne Uref-Regelung und Stromsenken für die LEDs sorgen dafür, dass sich die schwankende Versorgung nicht negativ auswirkt.



(Bild-Wiederholung)

Deshalb kann auch Schutzdiode D01 eingefügt werden. Die Mess-Spannung muss natürlich unmittelbar am Akku abgegriffen werden. D02 ist ein zusätzlicher Schutz, obwohl am Pin 5 intern bereits ein Widerstand mit Diode vorhanden sind (siehe Datenblatt LM3914).

Punktanzeige mit 20 (19) LEDs

3914-intern ist zwischen RHI (RHigh) und RLO (RLow) die Vergleichs-Widerstandskette der LED-Komparatoren geschaltet. Für die durchgehende Anzeige sind beide Widerstandsketten (beginnend bei der höchsten LED, das ist Ausgang D10 von IC2) in Reihe geschaltet.

Es ergibt sich der Pfad RHI(IC2)-Kette-RLO(IC2)-RHI(IC1)-Kette-RLO(IC1). Am oberen Ende RHI(IC2) liegt die Referenzspannung Uref(IC2), am unteren Ende RLO(IC1) die für 10,25 V (LED1) geltende minimale Vergleichsspannung.

Somit gilt der Referenzspannungsbereich für alle 20 LEDs der beiden 3914, und die zugehörigen Komparator-Schaltspannungen sind von 10,25 V bis 15,0 V gleich verteilt. Dazu erhalten beide ICs die geteilte Mess-Spannung von 1,27 V an IN(IC1) und IN(IC2), eingestellt bei 15,0 V Mess-Spannung.

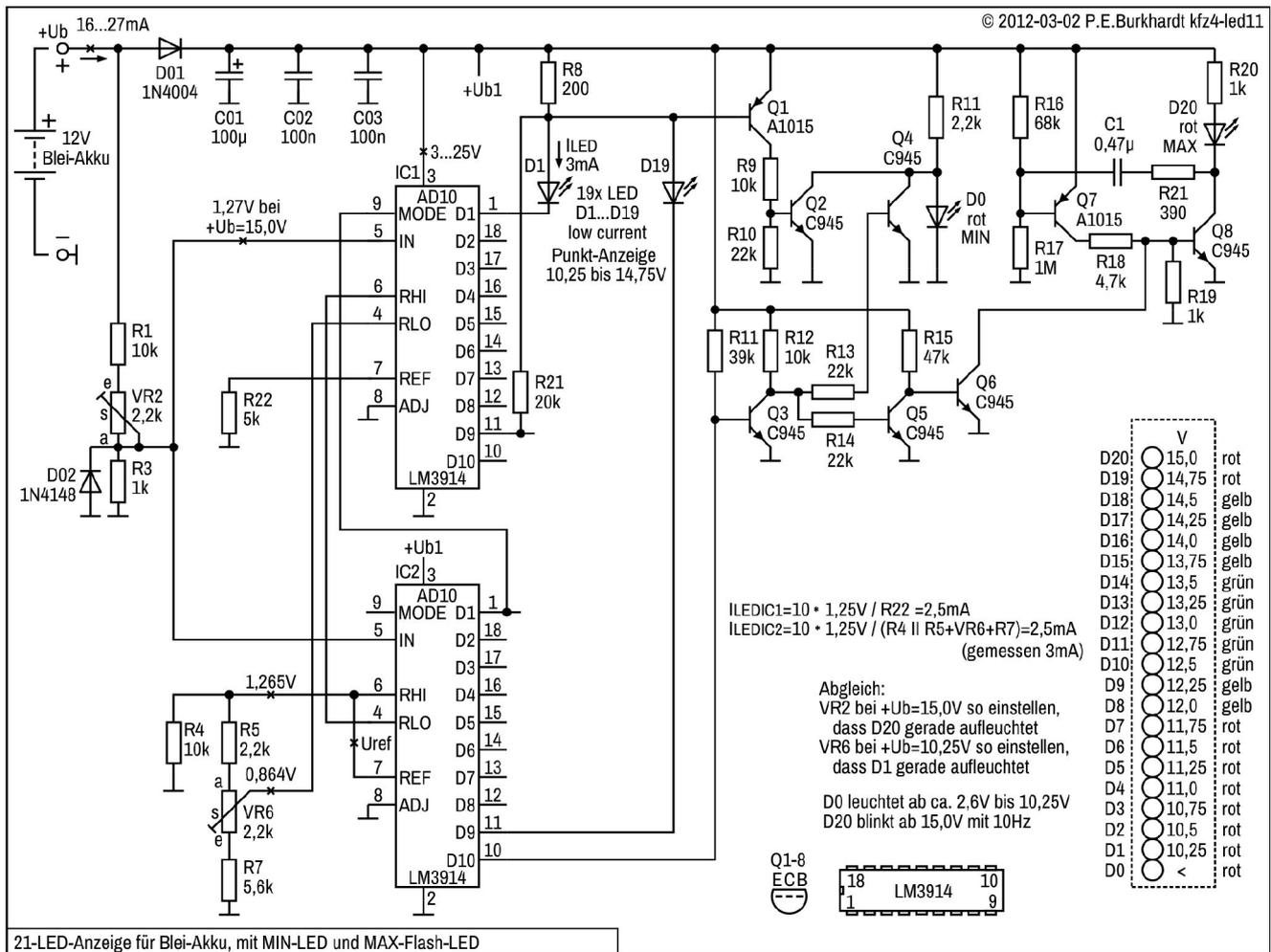
Damit der Übergang von IC1 zu IC2 klappt, ist R21 sowie die Verbindung MODE(IC1)-D1(IC2) erforderlich (siehe auch Datenblatt zum LM3914). R22 sorgt mit dem gleichen Widerstandswert wie die Parallelschaltung $R5 + VR6 + R7 \parallel R4$ an REF(IC2) für die gleiche Helligkeit der LED-Ketten beider 3914.

Einstellung des Meßbereichs

Mit zwei Potis ist der Mess-Spannungsbereich für den interessanten Akku-Spannungsbereich 10,25 V bis 15,0 V abgleichbar. Als Spannungsreferenz dient die interne Uref = 1,25 V (nominal, gemessen 1,265 V).

Abgleich

1. Betriebsspannung $+U_b = 15,0 V$ an die Schaltung legen. Dann Poti VR2 so einstellen, dass LED D10 gerade zu blinken beginnt.
2. Betriebsspannung $+U_b = 10,25 V$ an die Schaltung legen. Dann Poti VR6 so einstellen, dass LED D1 gerade zu leuchten beginnt.
3. Anzeigebereich 10,25 bis 15,0 V nochmals überprüfen, gegebenenfalls Potis nachjustieren.



(Bild-Wiederholung)

Nach Abgleich schalten die 3914-Ausgänge (jeweils D1 bis D10) im Spannungsbereich 10,25 bis 15,0 V mit je 0,25 V Abstand über Stromsenken auf GND. Entsprechend leuchten die LEDs D1 bis D19. Unterhalb 10,25 V leuchtet die zusätzliche MIN-LED D0. Oberhalb 15,0 V wird der Ausgang D10(IC2) ausgewertet und mittels Flasher die LED D20 zum Blinken gebracht.

MIN-LED für Spannungsbereich < 10,5 V

LED D0 hängt über R11 direkt an der Betriebsspannung. D0 leuchtet, sobald +Ub groß genug ist (ab ca. 2,6 V). Sobald die erste 3914-LED-Schwelle (10,25 V) überschritten wird, sollte D0 ausgehen, da ab hier die LEDs D1 bis D20 die Anzeige übernehmen.

Die nötige Maskierung für D0 erfolgt mit Transistor Q2, der die LED kurzschließt. Um das nötige Steuersignal zu gewinnen, ist R8 eingefügt. Immer wenn eine der LEDs D1 bis D19 leuchtet, entsteht über R8 ein Spannungsabfall, der den Transistor Q1 durchsteuert. Mit Q1 steuert auch Q2 durch, LED D0 ist aus.

LED-Flasher

Die mit zwei komplementären Transistoren (Q7, Q8) arbeitende Schaltung ist bekannt und wurde für die relativ hohe Spannung (ab 15,0 V) optimiert. LED D20 blinkt mit einer Frequenz von ca. 10 Hz, die Leuchtdauer liegt bei 4 ms. Damit ist auffällig signalisiert, wenn die am Akku liegende Spannung (Ladespannung) größer als 15,0 V ist.

Steuer-Schaltung zum LED-Flasher

D20 soll nur blinken, wenn der 3914-Ausgang D10(IC2) über die interne Stromsenke auf GND liegt. In diesem Fall ist Q3 gesperrt, Q5 durchgesteuert und Q6 gesperrt. Das Potential an der Q8-Basis wird also nicht beeinflusst, D20 kann blinken.

Andererseits soll D20 nicht leuchten oder blinken, wenn der 3914-Ausgang D10(IC2) inaktiv ist. In diesem Fall ist Q3 über R11 durchgesteuert, Q5 ist gesperrt und Q6 ist über R15 ebenfalls durchgesteuert. Das bedeutet aber, die Q8-Basis liegt auf GND. Q8 ist gesperrt, der Flasher arbeitet nicht, D20 bleibt dunkel.

MIN-LED-Maskierung des D20-Bereichs

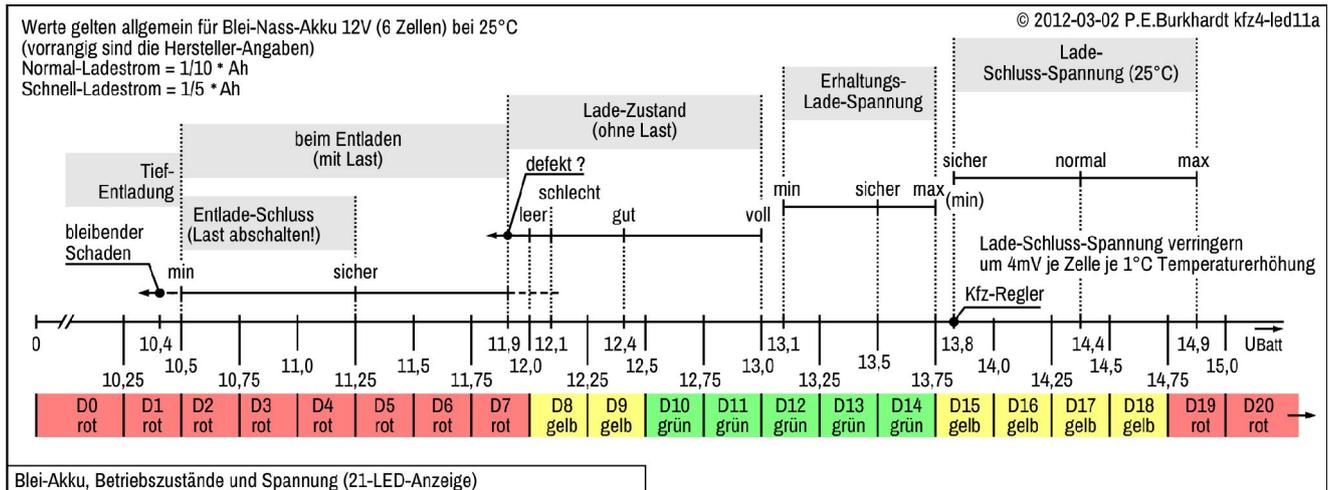
Da die Maskierung über R8-Q1-Q2 für den aktiven IC2-D10-Ausgang nicht funktioniert, ist der zusätzliche Transistor Q4 vorgesehen. Sobald der 3914-Ausgang D10(IC2) aktiv ist, wird Q3 gesperrt, Q4 ist durchgesteuert. Damit bleibt D0 dunkel.

D0 darf ja nur leuchten, wenn keiner der 20 3914-Ausgänge Q1 bis Q10 aktiv ist (d.h. Akku-Spannung < 10,25V).

Anzeigebereich und Akku-Zustand

Zur Abschätzung, ob die Akku-Überwachung mit 20 LEDs genau genug ist, wurde die Akku-Spannung in Abhängigkeit vom Akku-Zustand näher untersucht. In der Literatur (Web) und abhängig vom Akku-Hersteller gibt es dazu zwar unterschiedliche, aber doch ähnliche Aussagen. Für die meisten Fälle zutreffend ergab sich das folgende Diagramm.

Das Diagramm gilt nur für 12V-Blei-Nass-Akkus (wartungsfrei oder wartungsarm) mit 6 Zellen bei 25°C.



Im Bild sind die Akku-Betriebszustände in Abhängigkeit von der Akku-Spannung eingetragen. Das ist durchaus zulässig, da z.B. kleiner als 10,5 V eindeutig einer Tiefentladung, größer als ca. 13 V eindeutig dem Laden (Erhaltungsladen bzw. Ladespannung) zugeordnet werden kann.

Somit kann mit dem 20-stufigem LED-Monitoring eine Zustands-Aussage des Akkus beim Entladen (mit Last), in Ruhe (ohne Last) und beim Laden (Ladegerät, Lichtmaschine) getroffen werden. Die entsprechenden LED-Bereiche der Schaltung sind eingetragen. Doch wie genau ist diese Anzeige beim 0,25V-Abstand von einer LED zur anderen?

1. Tiefentladung

Bei kleiner als 10,5 V und ohne Last ist der Akku defekt (Zellenschluss, Sulfatierung, Unterbrechung).

Ist der Akku mit einem Verbraucher belastet, sollte spätestens bei 10,5 V die Last abgeschaltet werden (automatische Abschaltung z.B. mit Akku-Wächter). Wird der Akku weiter belastet, ist mit Schäden zu rechnen. Allerdings kann beim Kfz-Anlassen die Spannung unter 10,5 V sinken, kurzzeitig ist dies durchaus zulässig.

Ein Akku-Wächter sollte den Verbraucher verzögert abschalten (Zeit vorzugsweise einstellbar). War es nur eine Last-Spitze, kann die (relativ kurze) Abschalt-Verzögerungszeit durchaus wieder von vorn beginnen.

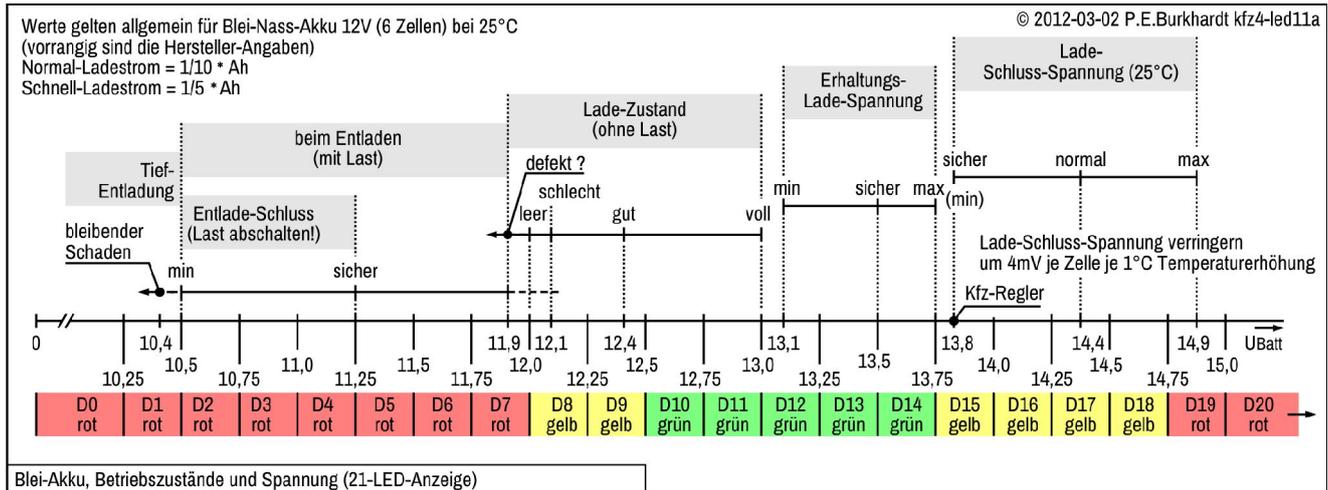
Zur Schonung des Akkus und unter Berücksichtigung der Abschalt-Toleranz sollte die eingestellte Abschaltspannung aber bei 11,25 V liegen. Nur so kann die bleibende Akku-Schädigung durch Tiefentladung sicher vermieden werden.

Tiefentladene Blei-Akkus erreichen nie wieder die normale Akku-Kapazität! Ebenso wird die Akku-Lebensdauer verkürzt!

2. Entladen

Während des normalen Entladens (mit Last) ist eine Spannung messbar, die vom voll geladenen Akku (ca. 13 V) bis hin zur Tiefentladung reicht. Die messbare Spannung hängt von der Last, vom Akku-Innenwiderstand und von der Entladedauer ab. Da ohne Last kaum weniger als 12,0 V messbar sind (außer bei weit fortgeschrittener Selbstentladung oder Defekt), ist im Diagramm die Entladespannung im Bereich zwischen 12,0 V bis zum Beginn der Tiefentladung interessant.

Eine Akku-Spannung von bis zu 10,5 V bei entsprechend niederohmigen Verbraucher ist also noch normal. Wie hoch die Spannung ist, hängt vom Entladestrom und der geladenen Akku-Kapazität ab.



(Bild-Wiederholung)

3. Lade-Zustand (ohne Last)

Die messbare Spannung ohne Last spiegelt den Lade-Zustand des Akkus wider. Bei 13,0 V ist der Akku voll, bei 12,0 V leer, bei geringfügig weniger wahrscheinlich defekt. Das ist zwar nur eine grobe Zuordnung, die aber ohne zusätzliche Hilfsmittel (Last) verlässlich genug ist.

Der wirkliche Lade-Zustand (d.h. die zur Entladung verfügbare Akku-Kapazität) ist nur mit definierter Last unter Berücksichtigung der Batterie-Daten bestimmbar.

Alarmierend ist, wenn weniger als 12,0 V ohne Last messbar sind. Der Akku ist dann entweder zu tief entladen oder defekt!

4. Lade-Spannung

Die Akku-Spannung während des Ladens hängt von der Ladekennlinie des Ladegeräts, vom Akku-Typ und von der Ladephase ab. Dies alles soll im Zusammenhang mit der hier beschriebenen LED-Anzeige nicht betrachtet werden.

Es sei nur unterschieden, wie hoch die Ladeschluss-Spannung sein darf, bei der das Ladegerät abgeschaltet oder in die Betriebsart Erhaltungsladung übergehen muss.

4.1 Ladeschluss-Spannung

Die Akku-Spannung steigt mit fortschreitender Akku-Ladung an. Entsprechend der Ladekennlinie ist das Laden bei einer bestimmten maximalen Lade-Spannung zu beenden. Wird diese Ladeschluss-Spannung überschritten, wird der Akku überladen und es können Schäden auftreten (Akku kocht, zu starke Gasung, Säure läuft aus, Schädigung der Platten, Defekt des Akku-Gehäuses u.a.).

Überladen des Akkus unbedingt vermeiden! Korrekte Ladeschluss-Spannung (temperaturabhängig) nicht überschreiten!

Die Ladeschluss-Spannung ist insbesondere von der aktuellen Akku-Temperatur abhängig. Die Angaben im Diagramm gelten für 25°C. Durchschnittlich ist die Ladeschluss-Spannung um 4 mV je Zelle und je 1°C Temperaturerhöhung zu verringern. Liegt beispielsweise die Temperatur bei 35°C, sollte die normale Ladeschluss-Spannung von 14,4 V nur noch 14,16 V betragen.

Die Korrektur kommt wie folgt zustande: Temperaturerhöhung 10°C * 4 mV * 6 Zellen = 240 mV. Um diese 0,24 V muss die Ladeschluss-Spannung verringert werden.

Das bedeutet aber, eine automatische Anpassung der Ladeschluss-Spannung durch das Ladegerät wäre wünschenswert. Gute Ladegeräte haben zur Anpassung einen externen Temperaturfühler. Ist die Ladeschluss-Spannung fest, sollte besser nur mit 13,8 V gearbeitet werden (siehe Bild), selbst wenn dadurch der Akku nicht ganz voll wird.

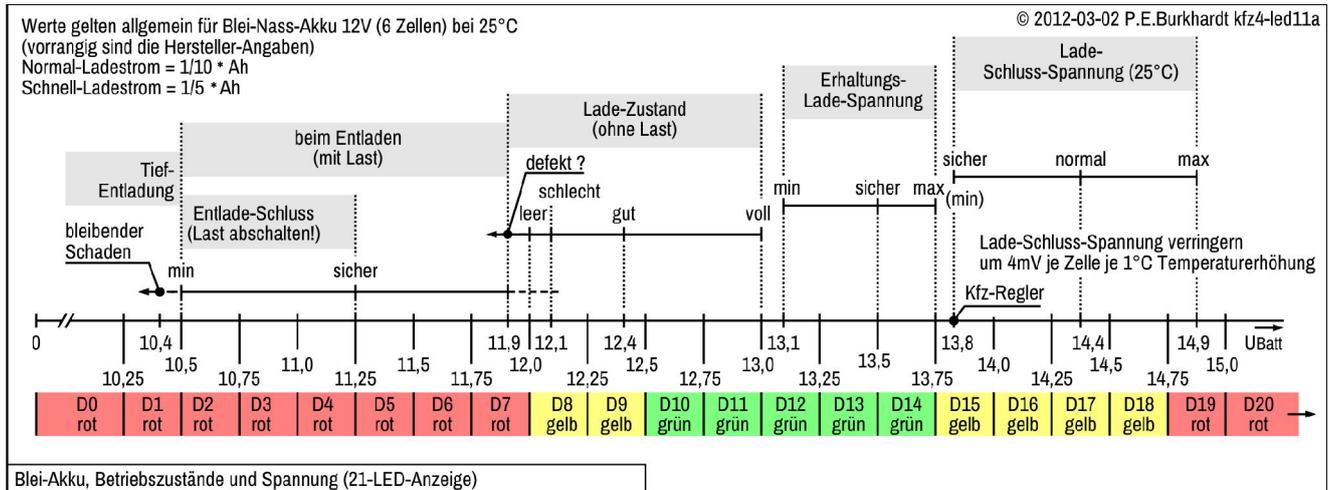
Dieser Wert liegt nahe beim Höchstwert von 13,7 V für die Erhaltungsladung.

4.2 Erhaltungslade-Spannung

Ist die Ladeschluss-Spannung erreicht, ist das Laden zu beenden oder es wird auf Erhaltungsladen umgeschaltet.

Der Übergang vom Laden zum Erhaltungsladen kann auch fließend sein. Das ist z.B. der Fall, wenn das Ladegerät mit zunehmender Akku-Ladung immer weniger Strom liefert. Das sind einfache Ladegeräte mit relativ konstanter Ausgangsspannung (Gleichrichter mit Lade-Elko), bei denen mit zunehmender Akku-(Gegen)-Spannung immer weniger Ladestrom fließt. Liegt diese Ausgangsspannung beim Maximalwert für die Erhaltungsladung (13,7 V), wird der Akku zwar nicht ganz voll, kann aber auch nicht überladen werden.

Der Erhaltungsladestrom gleicht durch einen geringen Strom nur die Akku-Kapazität aus, die der Akku durch Selbstentladung verliert. Der Akku wird also auf dem Spannungswert der Erhaltungslade-Spannung gehalten. In diesem Fall kann das Ladegerät dauerhaft (und unbeaufsichtigt) angeschlossen bleiben.



(Bild-Wiederholung)

LED-Anzeige bezüglich der Akku-Betriebszustände

Soll, wie im vorliegenden Fall, die LED-Anzeige den gesamten Bereich der Akku-Betriebszustände überstreichen, sind in Abhängigkeit von der Anzeigen-Auflösung Kompromisse nötig. Bei nur 10 LEDs (siehe vorige Beiträge) verbleiben 0,5 V pro LED, bei 20 LEDs dagegen 0,25V pro LED, jeweils gleichmäßig verteilt über den gesamten Anzeigebereich.

Unter 10,5 V leuchtet LED D1, bei weniger als 10,25 V leuchtet D0. Ein tiefentladener Akku unterhalb 10,5 V wird also sicher erkannt. Leuchtet überhaupt keine LED, ist entweder die Anzeigeeinheit defekt oder die Leitungen zum Akku sind unterbrochen.

Die "sichere" Lastabschaltgrenze von 11,25 V liegt an einer LED-Umschaltgrenze und ist damit eindeutig signalisiert. Man könnte hier ein Schaltsignal für die automatische Lastabschaltung generieren.

Der Lade-Zustand ohne Last wird ebenfalls gut abgebildet. Die gelben LEDs D8 und D9 markieren den fast entladenen bzw. wenig geladenen Akku. Die grünen LEDs D10 und D11 zeigen den gut bzw. sehr gut geladenen Akku an.

Im oberen Spannungsbereich ist in jeden Fall die Ladespannung ab 14,75 V schon gefährlich, deshalb LED D19 in Farbe rot, D20 ebenfalls.

Übersteigt die gemessene Spannung (aus welchen Gründen auch immer) die 15V-Marke, blinkt die rote LED D20. Was darüber hinaus passiert, ist nicht signalisiert, da über 15,0 V die LED D20 immer blinkt.

Fazit

Bei gründlicher Betrachtung der Akku-Betriebszustände ist das LED-Monitoring mit 20 LEDs ausreichend und bedeutend besser als mit nur 10 LEDs. Für den schnellen Überblick zum Ladezustand im Kfz sind 20 LEDs geeignet. Für eine Spannungsanzeige während des Ladens (z.B. im Ladegerät) oder während des Entladens (z.B. auch als Akku-Wächter) ist die 20-LED-Anzeige ebenfalls ausreichend.

Schaltsignale für Akku-Wächter und/oder Lade-Abschaltung sind, falls erforderlich, einfach über die 3914-Schwellwerte generierbar.

LED-Blitzer als Kfz-Betriebsanzeige

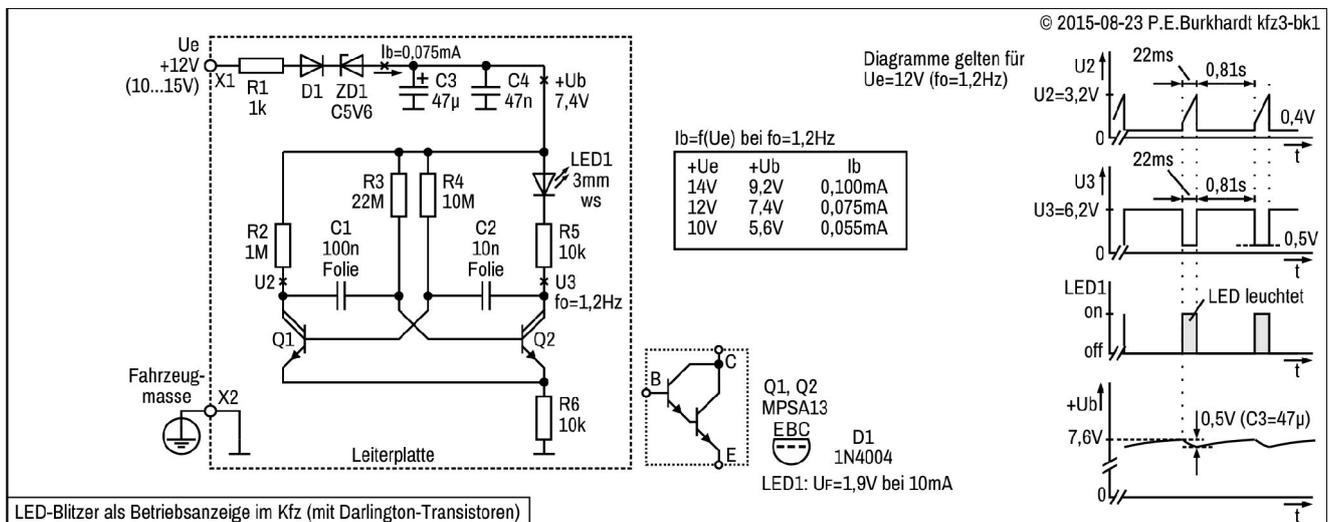
Werden im Kfz Verbraucher über Dauerplus gespeist, soll möglichst wenig Strom fließen, wenn der Verbraucher inaktiv ist. Wäre das nicht so, würde die Batterie zu schnell entladen, wenn das Fahrzeug abgestellt ist. Eine an Dauerplus angeschlossene Steckdose z. B. darf die Batterie ohne angestecktem Verbraucher überhaupt nicht belasten. Andererseits ist es aber wünschenswert, mittels LED eine Anzeige zu haben, ob die Steckdose unter Strom steht.

Die folgenden Schaltungen realisieren eine LED-Betriebsanzeige mit einem Stromverbrauch von weniger als 0,1 mA. Dieser Strom ist wesentlich niedriger als der natürliche Selbstentladungsstrom der Bleibatterie.

AMV-Blitzer mit 2 Transistoren

Eigenschaften

- LED-Blinken zur Betriebsanzeige, sobald die Bordspannung anliegt
- AMV mit Transistoren zur Erzeugung der Blinkimpulse
- Optimierung auf geringste mittlere Stromaufnahme von ca. 0,08 mA
- Schutzschaltung gegen Falschpolung und Überspannung aus dem Kfz-Bordnetz



Schaltungsbeschreibung

AMV mit großem Tastverhältnis

R3 und C1 bestimmen die LED-Dunkelphase. Die Hellphase wird dagegen von R4 und C2 bestimmt.

Aufgrund der entsprechenden Zeitkonstanten ist Q1 lange, Q2 dagegen nur kurz durchgesteuert. LED1 im Q2-Kollektorkreis leuchtet also nur kurz auf, gefolgt von einer langen Dunkelphase, in der Q1 durchgesteuert ist.

Damit Q1 und Q2 sicher durchsteuern, wurden Darlington-Transistoren verwendet. Zusätzlich sind beide Transistoren über den gemeinsamen Emitter-Widerstand R6 gekoppelt, so dass sich steile Schaltflanken und ein sicheres Schwingverhalten ergeben.

Das große Tastverhältnis spart wegen der langen Dunkelzeit Strom. Trotzdem ist das Aufblitzen deutlich zu erkennen, wenn Bordspannung anliegt. Im Bild sind die benötigten Betriebsströme bei unterschiedlichen Bordspannungen angegeben.

Optimierung auf geringe Stromaufnahme

Da Q1 fast immer leitend ist (nur während des LED-Blitzes nicht), darf R2 nicht zu klein sein. Eine weitere Stromsparmaßnahme ist die Verringerung der Betriebsspannung U_b auf ca. die Hälfte der Kfz-Bordspannung. Das wird mittels ZD1 erreicht, die ca. 5,6 V von der 12V-Bordspannung subtrahiert. D1 dient zusätzlich als Verpolungsschutz und vernichtet weitere 0,6 V. Die sich ergebenden Spannungswerte U_b für den AMV bei verschiedenen Bordspannungen (U_e) sind im Bild angegeben.

Auswahl der LED

Bei so geringem LED-Strom sollte die LED einen hohen Wirkungsgrad haben. Es gibt auch farbige Mini-LEDs (Low-Current-LEDs), die diese Bedingung erfüllen. Da nur normale 3mm-LEDs zur Verfügung standen, wurde eine glasklare LED ausgewählt. Deren Blitz war gegenüber farbigen 3mm-LEDs wesentlich besser erkennbar. 5mm-LEDs sind zu unempfindlich und eignen sich deshalb nicht.

Schutz vor Falschpolung

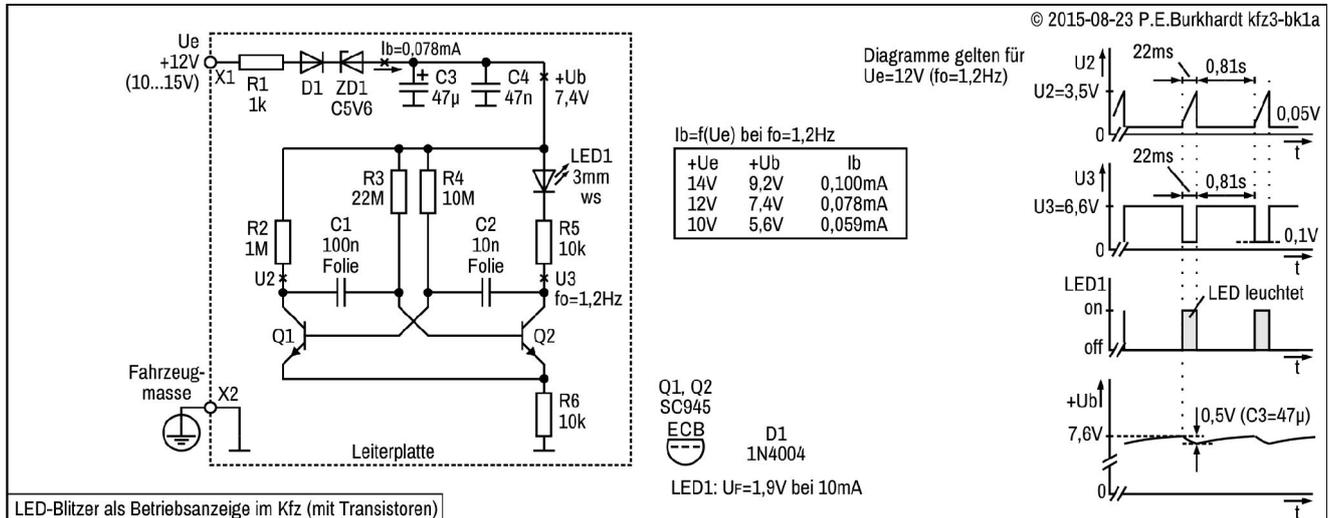
LED1 ist auf der Leiterplatte angeordnet, so dass nur 2 äußere Anschlüsse nötig sind. D1 verhindert, dass die Schaltung bei Falschpolung Schaden nimmt. R1 schützt zusätzlich vor Überspannung.

Stromversorgung

Wie bereits gesagt, die Schaltung arbeitet mit ca. der halben Bordspannung. Der Elko C3 stützt +Ub soweit ab, dass in der LED-Hellphase der Spannungseinbruch nur ca. 0,5 V beträgt. C4 könnte evtl. entfallen, sollte aber zur HF-Entkopplung eingefügt sein.

Schaltung mit Standard-Transistoren

Es zeigte sich, dass auch normale Standard-Transistoren einsetzbar sind. Die Stromverstärkung sollte allerdings wenigstens 200 sein. Es werden fast die gleichen Werte wie bei der vorigen Schaltung erreicht. Der Stromverbrauch ist unwesentlich höher, Schwingverhalten und Impulsform sind nahezu gleich.



Zur Funktion der Schaltung siehe vorige Variante mit Darlington-Transistoren.

Fazit

Der Verzicht auf eine LED-Betriebsanzeige auch bei stehendem Kfz und inaktivem Verbraucher ist nicht nötig. Der geringe Betriebsstrom beider Schaltungen ist unbedeutend. Darlington-Transistoren bringen keinen Vorteil, Standard-Kleinleistungs-Transistoren reichen aus.

Blitzer mit komplementären Transistoren

Wird ein AMV mit komplementären Transistoren aufgebaut, vereinfacht sich die Schaltung wie folgt.

Eigenschaften

- LED-Blinken zur Betriebsanzeige, sobald die Bordspannung anliegt
- AMV mit komplementären Transistoren zur Erzeugung der Blinkimpulse
- Optimierung auf geringste mittlere Stromaufnahme von ca. 0,08 mA
- Schutz vor Falschpolung und Überspannung durch hochohmige Vorwiderstände

Komplementär-AMV

Mit $R1=18k$ ist $U_{emin}=4V$ bei $0,067mA/10\mu/1Hz$.

LED1: $U_f=1,9V$ bei $10mA$

$I_b=f(U_e)$

+Ue	Ib
14V	0,098mA
12V	0,080mA
10V	0,065mA
6V	0,036mA

$f_o=f(C1)$ bei $U_e=12V$

C1	fo	LEDon	Ib
1,0µ	9,5Hz	3,5ms	80µA
3,3µ	2,6Hz	12ms	80µA
4,7µ	1,9Hz	17ms	80µA
10µ	0,86Hz	30ms	80µA

Q1 SC945 Q2 A1015

ECB ECB

LED1 on LED leuchtet

LED1 off

© 2015-08-25 P.E.Burkhardt kfz3-bk3

LED-Blitzer als Betriebsanzeige im Kfz (mit komplementären Transistoren, Vers. 1) | Bei niedriger fo ist der LED-Blitz deutlich besser sichtbar, da der LED-Impuls länger ist.

Schaltungsbeschreibung

Die Schaltung ist einfach, erfüllt aber alle Anforderungen für eine blinkende Betriebsanzeige der Kfz-Bordspannung. Der eingangsseitige Widerstand R1 schützt die Schaltung bei Falschpolung und Überspannung. Der komplementäre AMV kommt mit wenigen Bauelementen aus. Nur ein einziger Kondensator C1 ist erforderlich. Allerdings sollte C1 ein MKT-Typ o.ä. sein (kein Elko). Immer wenn Q1 und damit Q2 durchschalten blitzt die LED auf.

Bemerkenswert ist, dass bei C1-Änderung die sich ergebende Frequenzänderung keine Änderung der Stromaufnahme bewirkt. Mit C1-Vergrößerung verringert sich die Frequenz, d.h. die Abstände der LED-Blitze werden größer. Gleichzeitig werden aber die LED-Impulse länger. Dadurch ergibt sich trotz Frequenzänderung eine nahezu konstante Stromaufnahme von 0,08 mA (bei nominal 12 V).

Auswahl der LED

Auch bei dieser Schaltung wurde keine Low-Current-LED, sondern eine normale glasklare 3mm-LED verwendet. Deren Blitz ist gegenüber farbigen 3mm-LEDs wesentlich besser erkennbar. 5mm-LEDs sind zu unempfindlich und eignen sich deshalb nicht so gut.

Blitzer mit Thyristor-Nachbildung

Mit $R1=18k$ ist $U_{emin}=4V$ bei $0,067mA/10\mu/1Hz$.

LED1: $U_f=1,9V$ bei $10mA$

$I_b=f(U_e)$ bei $R1=1M$

+Ue	Ib	fo
14V	0,078mA	1,1Hz
12V	0,063mA	1,1Hz
10V	0,049mA	1,0Hz
9V	0,044mA	1,0Hz
8V	0,037mA	0,9Hz

$I_b=f(U_e)$ bei $R1=100k$

+Ue	Ib	fo
14V	0,160mA	11,9Hz
12V	0,131mA	11,5Hz
10V	0,104mA	10,8Hz
8V	0,076mA	10,0Hz
6V	0,048mA	9,0Hz
4V	0,019mA	8,9Hz

Q1, Q3 SC945 Q2 A1015

ECB ECB

Uc 25ms 1,2s

7,2V 2,2V

0

LED1 on LED leuchtet

LED1 off

© 2015-08-30 P.E.Burkhardt kfz3-bk4

LED-Blitzer als Betriebsanzeige im Kfz (mit komplementären Transistoren, Vers. 2)

Schaltung

Diese Thyristor-Ersatzschaltung ist noch etwas einfacher als der vorige komplementäre AMV. Außerdem ist die Stromaufnahme bei der 1Hz-Variante noch geringer. Bei 12 V fließen im Mittel nur 0,063 mA. Auch diese Schaltung ist durch die sowieso nötigen Widerstände R1 und R2 gut vor Spannungsspitzen des Kfz-Bordnetzes geschützt.

Akku-Wächter für 12V-Bleiakku

Allgemeines zum Bleiakku

Die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit von Bleiakkus ist hauptsächlich von der Betriebstemperatur und von den sonstigen Betriebsbedingungen (Lade-/Entladezyklen) abhängig. Je nach Bauart (Nass-Akku, Gel-Akku, Vlies-Akku), Nennkapazität und Anwendungsbereich gelten andere vom Hersteller festgelegte Werte. Hier sollen nur die Nass-Akkus (mit flüssiger Schwefelsäure) in der Anwendung als Kfz-Starterbatterie betrachtet werden. Es spielt dabei keine Rolle, ob der Nass-Akku als wartungsfrei oder nicht gilt. Einziger Unterschied ist, dass beim wartungsfreien Nass-Akku die Kontrolle des Flüssigkeitsstandes und das Nachfüllen von destilliertem Wasser entfällt.

Sowohl Batteriekapazität als auch Lebensdauer hängen stark von der Umgebungstemperatur ab. Ursache sind die temperaturabhängigen Korrosionsvorgänge in der Blei-Säure-Batterie. Daneben werden aber auch die möglichen Lade-/Entladezyklen einer Batterie signifikant von der Umgebungstemperatur beeinflusst.

Batteriekapazität

Bei -25°C sinkt die Batteriekapazität beispielsweise auf bis zu 50 % ab, bezogen auf eine 100%-Kapazität bei 20°C . Der günstigste Betriebstemperatur-Bereich liegt zwischen 10°C (95 %) und 30°C (105 %).

Nennkapazität

Die angegebene Nennkapazität in Ah (Amperestunde) einer Kfz-Starterbatterie bezieht sich auf eine bestimmte Temperatur (z.B. 25°C). Die Batterie kann 10 Stunden lang 1/10 der angegebenen Kapazität als Entladestrom liefern. Eine 48Ah-Batterie liefert also mindestens 10 Stunden 4,8 A, ehe die Batteriespannung auf eine bestimmte definierte Entladespannung abfällt. Die angegebene Nennkapazität kann sich auch auf eine Entladedauer von 20 h beziehen. Der mittlere Entladestrom ist dann 1/20 der Nennkapazität.

Lebensdauer (Design Life)

Näherungsweise kann davon ausgegangen werden, dass eine Erhöhung der Umgebungstemperatur um 10 Grad die Korrosion in der Batterie verdoppelt (Arrhenius-Gesetz). Der Korrosionsgrad korreliert näherungsweise linear mit der Batterie-Lebensdauer. Die kalendarische Lebensdauer wird also bei 10 Grad höherer Temperatur auf die Hälfte reduziert.

Gitterkorrosion

Als Gitterkorrosion wird beim Bleiakku die im Laufe der Zeit erfolgende Umwandlung der positiven Bleigitter in Bleidioxid bezeichnet. Diese Bleikorrosion führt letztlich zur Stromunterbrechung der Bleizelle und damit zum Zellenausfall. Aber nicht nur die Erhöhung der Umgebungstemperatur ist Ursache für das Ansteigen der Gitterkorrosion, sondern auch eine zu hohe Ladespannung gegen Ende der Batterieladung (das "Gasen" der Batterie). Ist die Batterie zu 70 % aufgeladen, was mit relativ hohem Ladestrom erfolgen kann, muss darüber hinaus die Ladespannung und damit der Ladestrom reduziert werden, um die zunehmende Gitterkorrosion zu vermeiden.

Zyklen-Lebensdauer

Zusätzlich wirkt sich eine höhere Umgebungstemperatur auch auf die Zyklen-Lebensdauer aus, d.h. die mögliche Anzahl der Lade-/Entladezyklen bei gegebener Kapazität sinkt mit steigender Temperatur ebenfalls. Sind z.B. bei 20°C 1500 Ladezyklen möglich (reguläre Entladetiefe 80 %), verringert sich dieser Wert bei 10 Grad höherer Temperatur auf nur noch 1150 Zyklen, das sind rund 77 %. Auch diese Temperaturabhängigkeit ist nahezu linear. (Hinweis: Die angegebene hohe Zyklenzahl bezieht sich auf eine stationäre Batterie. Normale Kfz-Batterien erreichen derartige Zyklenzahlen kaum. Die Temperaturabhängigkeit ist aber genauso gegeben.)

Einfluss der Entladetiefe

Berücksichtigt man zusätzlich zur Umgebungstemperatur die Entladetiefe, d.h. um wieviel Prozent Batteriekapazität eine Entladung erfolgt, ergeben sich bei Temperaturerhöhung noch ungünstigere Werte für die mögliche Zyklenzahl. Bei geringer Entladetiefe, z.B. 20 %, ist der Temperatureinfluss auf die Zyklenzahl besonders groß, die absoluten Werte der Zyklenzahl sind aber höher als bei vergleichsweise 80 % Entladetiefe. Bei z.B. 80 % Entladetiefe schrumpft die Zyklenzahl, ist aber nicht mehr so temperaturabhängig.

Für normale Starterbatterien ist oft nur eine Zyklenzahl von 400 bei einer Entladetiefe von 100 % (oder 80 %) spezifiziert. Das klingt wenig, doch im praktischen Kfz-Betrieb erfolgt immer nur eine geringe Entladung (geringe Entladetiefe) bei anschließend sofortiger Wiederaufladung. Deshalb halten Starterbatterien wenigstens 3, meist aber 5, in wenigen Fällen auch bis zu 7 Jahre. Selbst das Anlassen verursacht nur eine geringe Entladetiefe, da die hohen Ströme von über 100 A nur im Sekundenbereich fließen. Wichtiger ist hier ein niedriger Innenwiderstand, damit die Batteriespannung nicht zu sehr abfällt.

Gefrierpunkt des Elektrolyten

Der Gefrierpunkt der Schwefelsäure hängt unmittelbar vom Ladezustand der Blei-Batterie und damit von der Konzentration der Schwefelsäure ab. Ist die Batterie noch halb voll, d.h. die Entladetiefe beträgt 50 %, liegt der Gefrierpunkt bei etwa -22°C . Ist die Batterie aber um z.B. 80 % entladen, steigt der Gefrierpunkt auf etwa -12°C . Im Winter sollte eine Batterie also nicht zu sehr entladen sein. Zusätzlich wirkt sich die bei niedrigeren Temperaturen geringere Batteriekapazität aus. Zum Start werden aber besonders bei kaltem Motor wegen des zähflüssigen Öls sehr hohe Ströme verlangt. Das verschärft die Anforderungen an die Batterie bei niedriger Temperatur zusätzlich.

Sonstige Betriebsbedingungen

Voraussetzung für ein langes Akku-Leben sind die vom Hersteller vorgegebenen Einsatzgrenzen. Werden einzelne Parameter nicht eingehalten, kann das katastrophale Folgen haben. Das betrifft z.B. die Spannungs- und Stromgrenzen beim Batterie-Laden und beim Entladen sowie deren zeitliche Verlauf. Aufgrund der speziellen Eigenschaften einer Bleizelle ist besonders die Tiefentladung schädlich.

Tiefentladung

Wird der Bleiakku zu weit entladen und hält dieser Zustand längere Zeit an, führt dies zu irreversiblen Schäden. Im vollständig (zu weit) entladenen Zustand wird das feinkristalline Bleisulfat des Akkus im Laufe der Zeit in grobkristallines Bleisulfat umgewandelt. Dieses grobkristalline Bleisulfat schränkt die Speicherkapazität enorm ein. Es lässt sich auch durch vorschriftsmäßige Aufladung nicht zurückbilden. Die zugeführte Ladeenergie kann nicht gespeichert werden, sie wird nur noch in Wärme umgesetzt. Auch kann es zu einer stark erhöhten Abschlamung der aktiven Masse aus der positiven Elektrode und dadurch zu inneren Kurzschlüssen kommen, die das Laden unmöglich machen. Der "sulfatierte" Akku ist aufgrund des jetzt erheblich höheren Innenwiderstands nur noch eingeschränkt oder für den vorgesehenen Zweck überhaupt nicht mehr einsetzbar.

Schutz vor Tiefentladung

Für Blei-Zellen gilt eine bestimmte Entladeschluss-Spannung, die bei Belastung des Akkus nicht unterschritten werden darf. Spätestens beim Erreichen dieser minimalen Zellenspannung muss die Entladung gestoppt werden, um bleibende Schäden zu vermeiden. Ist die Gefahr einer Tiefentladung gegeben (z.B. unbeaufsichtigter Verbraucher an der 12V-Kfz-Batterie), sollte die Abschaltung der Last automatisch erfolgen. Das ist durch ständiges Messen der Batteriespannung und einer geeigneten Abschalteneinrichtung (Relais oder Transistor bzw. Mosfet) möglich.

Für eine mögliche Tiefentladung spielt es keine Rolle, ob dies mit hohem Strom (Kühlbox) oder niedrigem Strom (vergessene Parkleuchte) geschieht. Maßgebend ist das Absinken der Batteriespannung bis über den festgelegten unteren Grenzwert, egal wie lange die Entladung dauert. Es gibt genügend Beispiele dafür, dass besonders im Winter kein Start am frühen Morgen möglich war, nur weil das Parklicht die ganze Nacht brannte.

Entladeschluss-Spannung

Der genaue Wert, bei dem ein bleibender Schaden durch zu weit absinkende Batteriespannung auftritt, ist nicht so einfach festzulegen. Die Entladeschluss-Spannung, bei der spätestens die Last abgeschaltet werden muss, hängt nämlich vom Entladestrom, von der Dauer der Entladung und von der Temperatur ab. Typisch wird bei 20-stündiger Entladung mit $1/20$ Entladestrom der Nennkapazität von einer Entladeschluss-Spannung von 1,75 V je Zelle ausgegangen, das sind bei einem 12V-Akku mit 6 Zellen 10,5 V. Wird dieser Wert durch weitere Entladung unterschritten, ist mit einem bleibenden Schaden zu rechnen.

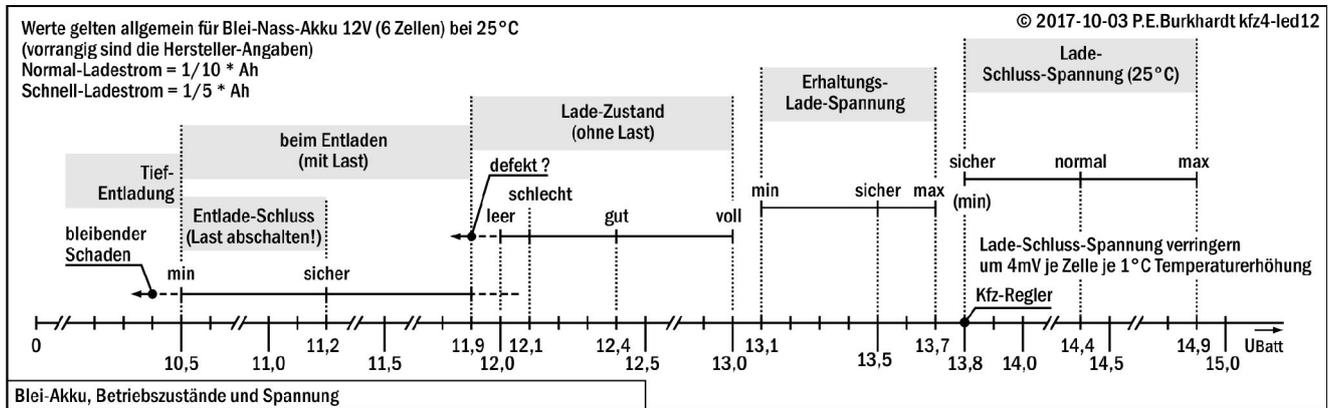
Allerdings kann beim Kfz-Anlassen die Spannung durch den hohen Anlasser-Strom auch unter 10,5 V sinken. Kurzzeitig ist dies durchaus zulässig und wird vom Batteriehersteller als Hochstromentladung extra spezifiziert.

Leerlauf-Spannung

Zu beachten ist, dass eine gemessene Akku-Spannung ohne Last den Ladezustand nur näherungsweise widerspiegelt, aber nicht die wirklich entnehmbare Energie. Ist ohne Last die Spannung kleiner als 11,9 V, kann man nicht nur von einer entladenen Batterie ausgehen, sondern es ist auch wahrscheinlich, dass die Batterie defekt ist. Mit anderen Worten, ohne Last darf die Batteriespannung nicht viel unter 12,0 V sein, selbst wenn die Spannung vorher mit Last auf niedrigere Werte (z.B. 10,5 V) abgesunken war.

Bleiakku-Betriebszustände und -Spannungen

Im folgenden Diagramm sind die allgemein gültigen Akku-Betriebszustände eines 12V-Blei-Nass-Akkus in Abhängigkeit von der Akku-Spannung eingetragen. Für eine bestimmte Batterie gelten im Zweifel die Angaben des Herstellers. Für die meisten Fälle dürfte aber das Diagramm zutreffen.



Beschreibung der Akku-Betriebszustände

1. Tiefentladung

Bei kleiner als 10,5 V und ohne Last ist der Akku defekt (Zellenschluss, Sulfatierung, Unterbrechung).

Ist der Akku mit einem Verbraucher belastet, sollte spätestens bei 10,5 V die Last abgeschaltet werden (automatische Abschaltung z.B. mit Akku-Wächter). Wird der Akku weiter belastet, ist mit Schäden zu rechnen. Allerdings kann beim Kfz-Anlassen die Spannung unter 10,5 V sinken, kurzzeitig ist dies durchaus zulässig.

Zur Schonung des Akkus und unter Berücksichtigung der Abschalt-Toleranz sollte die eingestellte Abschaltspannung bei 11,2 V liegen. Nur so kann die bleibende Akku-Schädigung durch Tiefentladung sicher vermieden werden.

Tiefentladene Blei-Akkus erreichen nie wieder die normale Akku-Kapazität! Ebenso wird die Akku-Lebensdauer verkürzt!

2. Entladen

Während des normalen Entladens (mit Last) ist eine Spannung messbar, die vom voll geladenen Akku (ca. 13 V) bis hin zur Tiefentladung reicht. Die messbare Spannung hängt von der Last, vom Akku-Innenwiderstand und von der Entladedauer ab. Da ohne Last kaum weniger als 12,0 V messbar sind (außer bei weit fortgeschrittener Selbstentladung oder Defekt), ist im Diagramm die Entladespannung im Bereich zwischen 12,0 V bis zum Beginn der Tiefentladung interessant.

Eine Akku-Spannung von bis zu 10,5 V bei entsprechend niederohmigen Verbraucher ist also noch normal. Wie hoch die Spannung ist, hängt vom Entladestrom und der geladenen Akku-Kapazität ab.

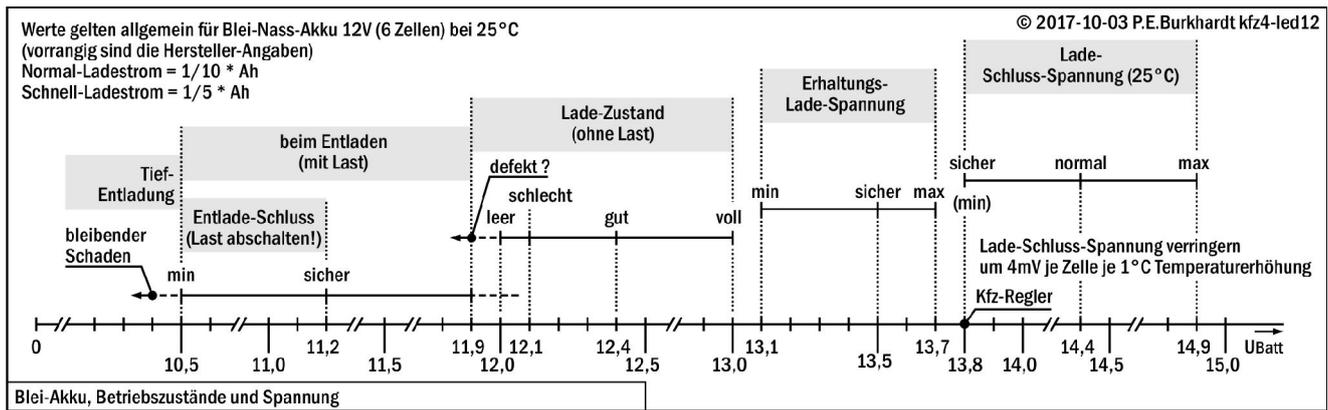
3. Lade-Zustand (ohne Last)

Die messbare Spannung ohne Last spiegelt den Lade-Zustand des Akkus wider. Bei 13,0 V ist der Akku voll, bei 12,0 V leer, bei geringfügig weniger wahrscheinlich defekt. Das ist zwar nur eine grobe Zuordnung, die aber ohne zusätzliche Hilfsmittel (Last) verlässlich genug ist.

Bei der Messung sollte sich der Akku in Ruhe befinden, d.h. er sollte kurz vorher weder geladen noch belastet worden sein.

Der wirkliche Lade-Zustand (d.h. die zur Entladung verfügbare Akku-Kapazität) ist nur mit definierter Last unter Berücksichtigung der Batterie-Daten bestimmbar.

Alarmierend ist, wenn weniger als 12,0 V ohne Last messbar sind. Der Akku ist dann entweder zu tief entladen oder defekt!



Blei-Akku, Betriebszustände und Spannung

(Bild-Wiederholung)

4. Lade-Spannung

Die Akku-Spannung während des Ladens hängt von der Ladekennlinie des Ladegeräts, vom Akku-Typ und von der Ladephase ab. Dies alles soll hier nicht näher betrachtet werden.

Es sei nur unterschieden, wie hoch die Ladeschluss-Spannung sein darf, bei der das Ladegerät abgeschaltet oder in die Betriebsart Erhaltungsladung übergehen muss.

4.1 Ladeschluss-Spannung

Die Akku-Spannung steigt mit fortschreitender Akku-Ladung an. Entsprechend der Ladekennlinie ist das Laden bei einer bestimmten maximalen Lade-Spannung zu beenden. Wird diese Ladeschluss-Spannung überschritten, wird der Akku überladen und es können Schäden auftreten (Akku kocht, zu starke Gasung, Säure läuft aus, Schädigung der Platten, Defekt des Akku-Gehäuses u.a.).

Überladen des Akkus unbedingt vermeiden! Korrekte Ladeschluss-Spannung (temperaturabhängig) nicht überschreiten!

Die Ladeschluss-Spannung ist insbesondere von der aktuellen Akku-Temperatur abhängig. Die Angaben im Diagramm gelten für 25°C. Durchschnittlich ist die Ladeschluss-Spannung um 4 mV je Zelle und je 1°C Temperaturerhöhung zu verringern. Liegt beispielsweise die Temperatur bei 35°C, sollte die normale Ladeschluss-Spannung von 14,4 V nur noch 14,16 V betragen.

Die Korrektur kommt wie folgt zustande: Temperaturerhöhung 10°C * 4 mV * 6 Zellen = 240 mV. Um diese 0,24 V muss die Ladeschluss-Spannung verringert werden.

Das bedeutet aber, eine automatische Anpassung der Ladeschluss-Spannung durch das Ladegerät wäre wünschenswert. Gute Ladegeräte haben zur Anpassung einen externen Temperaturfühler. Ist die Ladeschluss-Spannung fest, sollte besser nur mit 13,8 V gearbeitet werden (siehe Bild), selbst wenn dadurch der Akku nicht ganz voll wird.

Dieser Wert liegt nahe beim Höchstwert von 13,7 V für die Erhaltungsladung.

4.2 Erhaltungslade-Spannung

Ist die Ladeschluss-Spannung erreicht, ist das Laden zu beenden oder es wird auf Erhaltungsladen umgeschaltet.

Der Übergang vom Laden zum Erhaltungsladen kann auch fließend sein. Das ist z.B. der Fall, wenn das Ladegerät mit zunehmender Akku-Ladung immer weniger Strom liefert. Das sind einfache Ladegeräte mit relativ konstanter Ausgangsspannung (Gleichrichter mit Lade-Elko), bei denen mit zunehmender Akku-(Gegen)-Spannung immer weniger Ladestrom fließt. Liegt diese Ausgangsspannung beim Maximalwert für die Erhaltungsladung (13,7 V), wird der Akku zwar nicht ganz voll, kann aber auch nicht überladen werden.

Der Erhaltungsladestrom gleicht durch einen geringen Strom nur die Akku-Kapazität aus, die der Akku durch Selbstentladung verliert. Der Akku wird also auf dem Spannungswert der Erhaltungslade-Spannung gehalten. In diesem Fall kann das Ladegerät dauerhaft (und unbeaufsichtigt) angeschlossen bleiben.

Tiefentladeschutz

Solange im Auto nur die serienmäßig eingebauten Verbraucher wirksam sind, ist eine Tiefentlade-Überwachung der Batterie eigentlich nicht nötig. Wenn kein Fehler im elektrischen System vorliegt, könnte höchstens das vergessene Parklicht eine Tiefentladung verursachen. Da nützt dann auch kein akustisches oder optisches Signal, um auf die drohende Gefahr der Batterieschädigung hinzuweisen, denn wer steht schon nachts neben seinem Auto und passt auf.

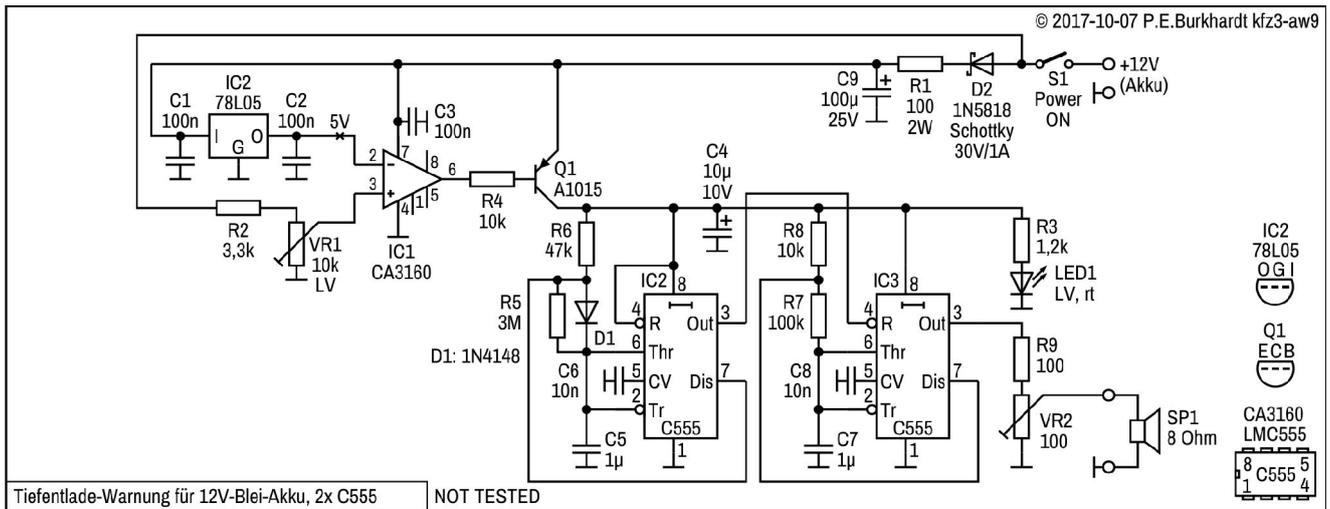
Zwar wird auch in der normalen Standzeit des Autos (alle schaltbaren Verbraucher AUS) von verschiedenen Komponenten (Steuergerät, Uhr usw.) der Batterie ein geringer Strom entnommen. Doch das wirkt sich nur negativ aus, wenn der allgemeine Batterie-Ladezustand schlecht ist und/oder das Auto monatelang nicht benutzt wird und damit keine Nachladung der Batterie erfolgen kann. In diesem Zusammenhang darf man auch die Selbstentladung der Batterie nicht vergessen.

Anders sieht es aber aus, wenn zusätzliche Verbraucher an die Kfz-Steckdosen angesteckt oder auch fest angeschlossen sind. Besonders wenn die Batterie ohne Aufsicht belastet wird (Anschluss direkt am Pluspol ohne Zündung EIN), ist eine Überwachung, vorzugsweise mit automatischer Abschaltung der Last, dringendst zu empfehlen.

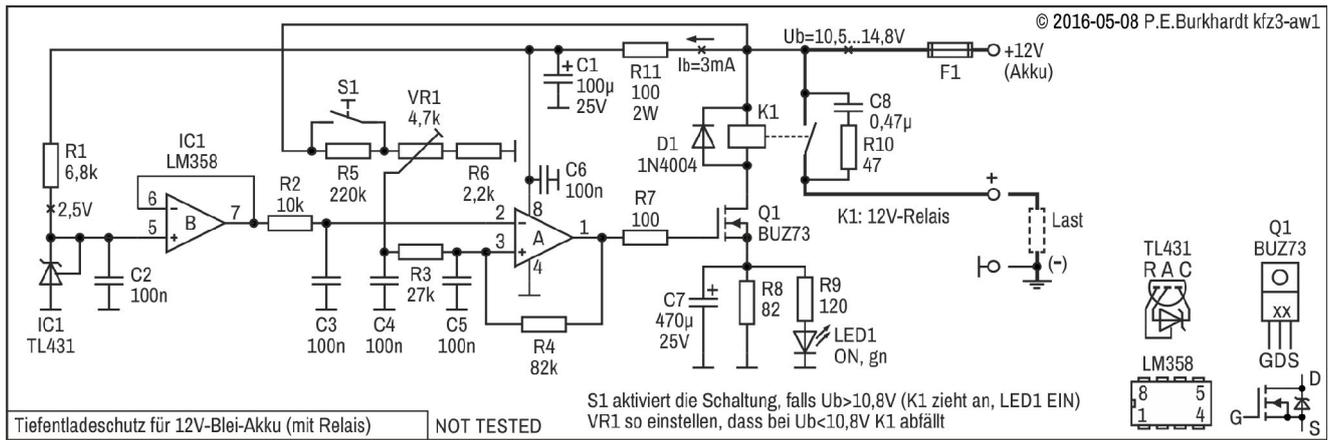
Forderungen an eine Tiefentlade-Schutzschaltung

- Sicheres Erkennen der Entladeschluss-Spannung von 10,5 V. Toleranzen der verwendeten Spannungsreferenz, der sonstigen Schaltung und der Einfluss wechselnder Umgebungstemperatur dürfen diesen unteren Schalterpunkt nicht so beeinflussen, dass die Abschaltspannung unterschritten wird. Die nominale Abschaltspannung sollte bei 11,2 V liegen (1,87 V je Zelle).
- Abschalten der Last bei Unterschreitung der Entladeschluss-Spannung. Die Abschaltvorrichtung (z.B. Relais) sollte großzügig dimensioniert sein, damit der zu erwartende Laststrom langfristig sicher zu- und abgeschaltet werden kann.
- Zuschalten der Last nur, wenn der Ladezustand der Batterie gut genug ist (mindestens 12,1 V Batterieklemmenspannung). Das heißt, die Batteriespannung muss beim Zuschalten größer sein als die Entladeschluss-Spannung. Daraus ergibt sich, dass Abschaltspannung und Zuschaltspannung verschiedene Werte haben und möglichst getrennt voneinander einstellbar sein sollten.
- Optische und/oder akustische (vorzugsweise) Signalisierung des Schaltzustandes der Schutzschaltung (bei möglichst wenig Strombedarf).
- Möglichst geringer Eigenstromverbrauch der gesamten Schutzschaltung, damit die Kfz-Batterie wenig belastet wird.

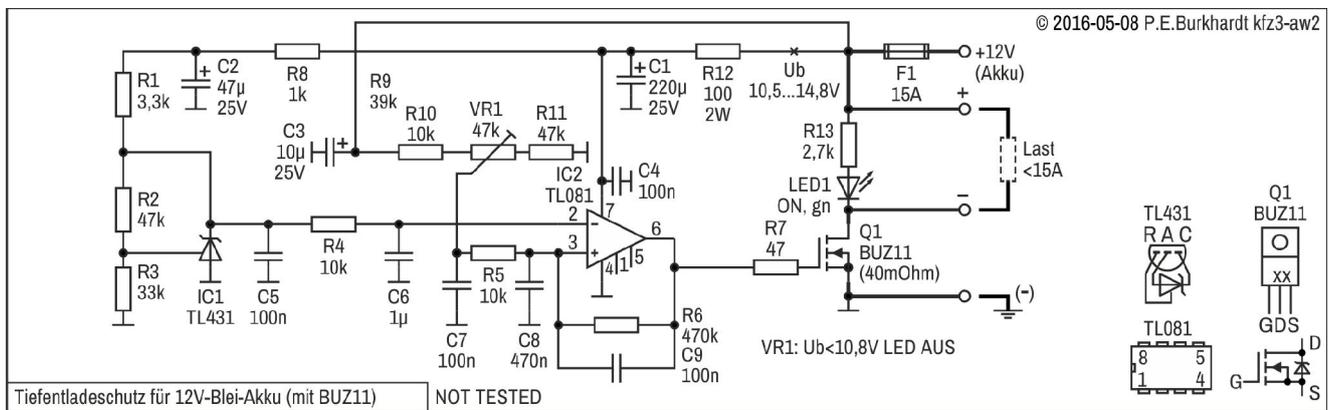
Tiefentlade-Überwachung, 2x C555



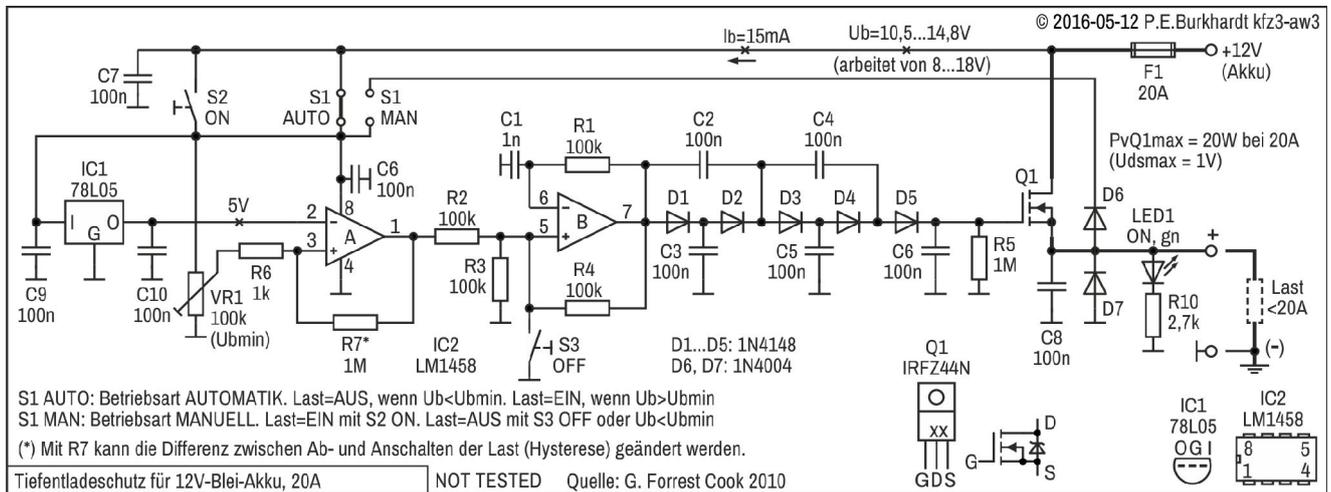
Tiefentladeschutz, Relais



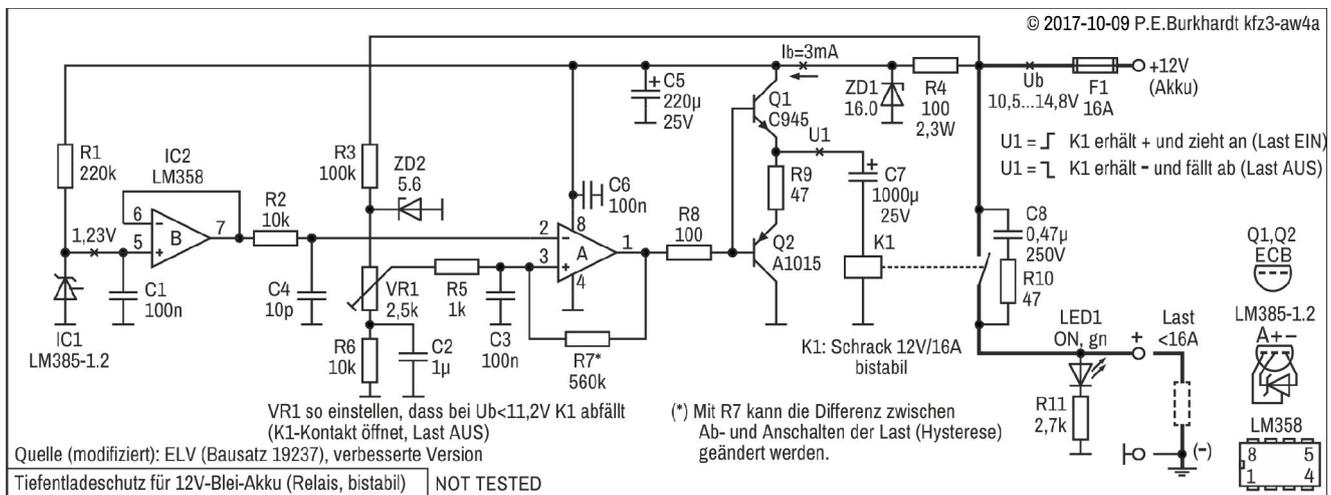
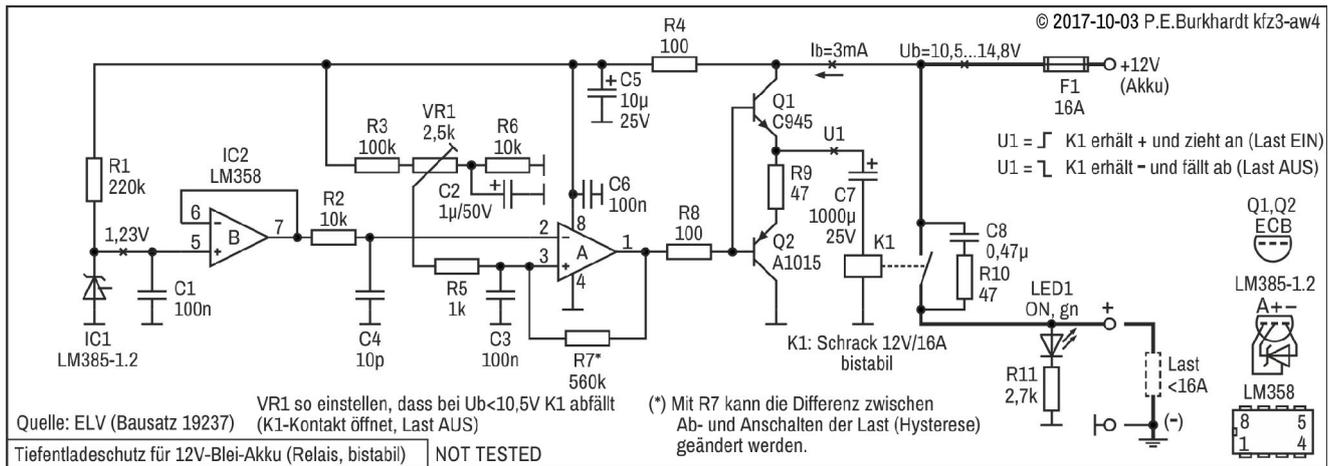
Tiefentladeschutz, MOSFET



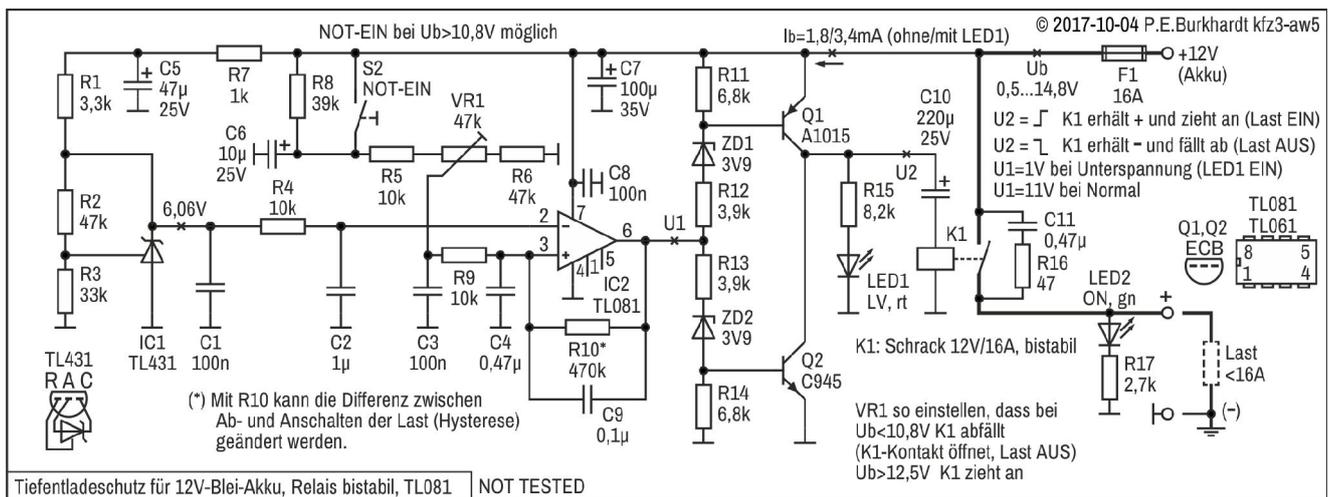
Tiefentladeschutz, 20A-MOSFET



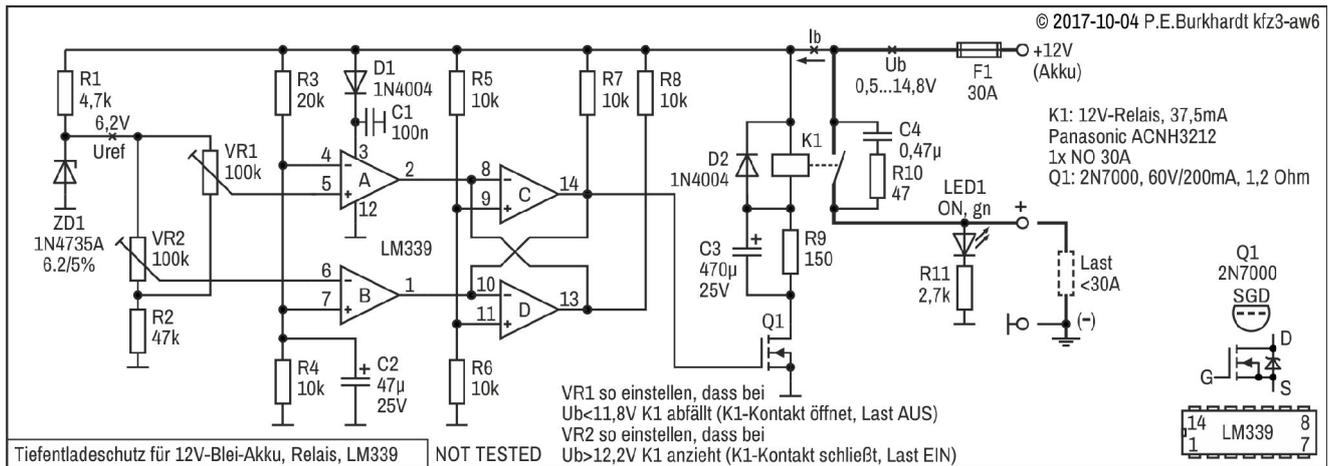
Tiefentladeschutz, Relais bistabil



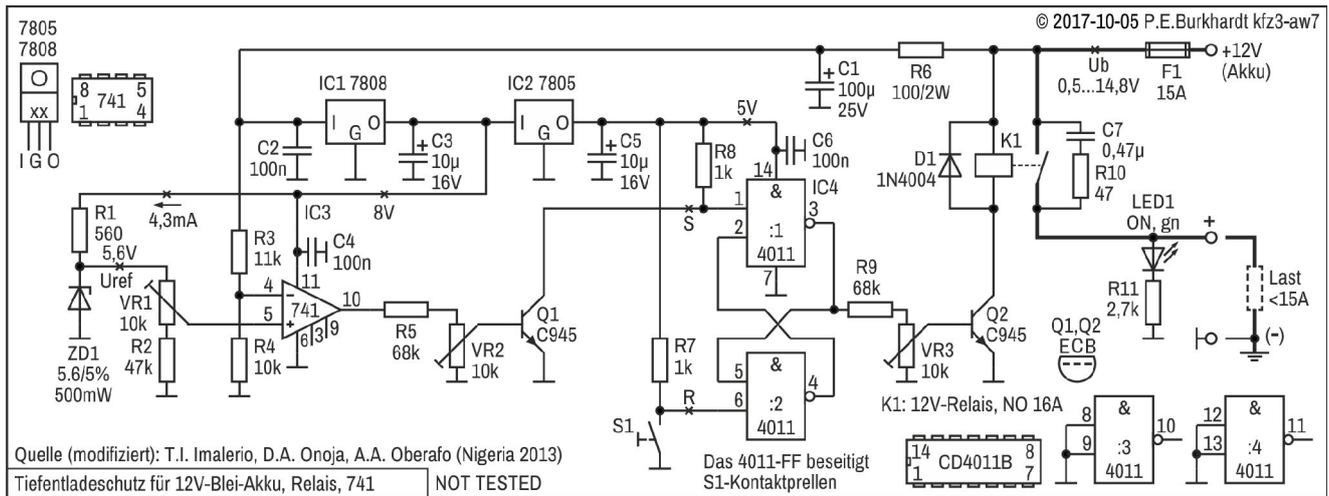
Tiefentladeschutz, Relais bistabil, TL081



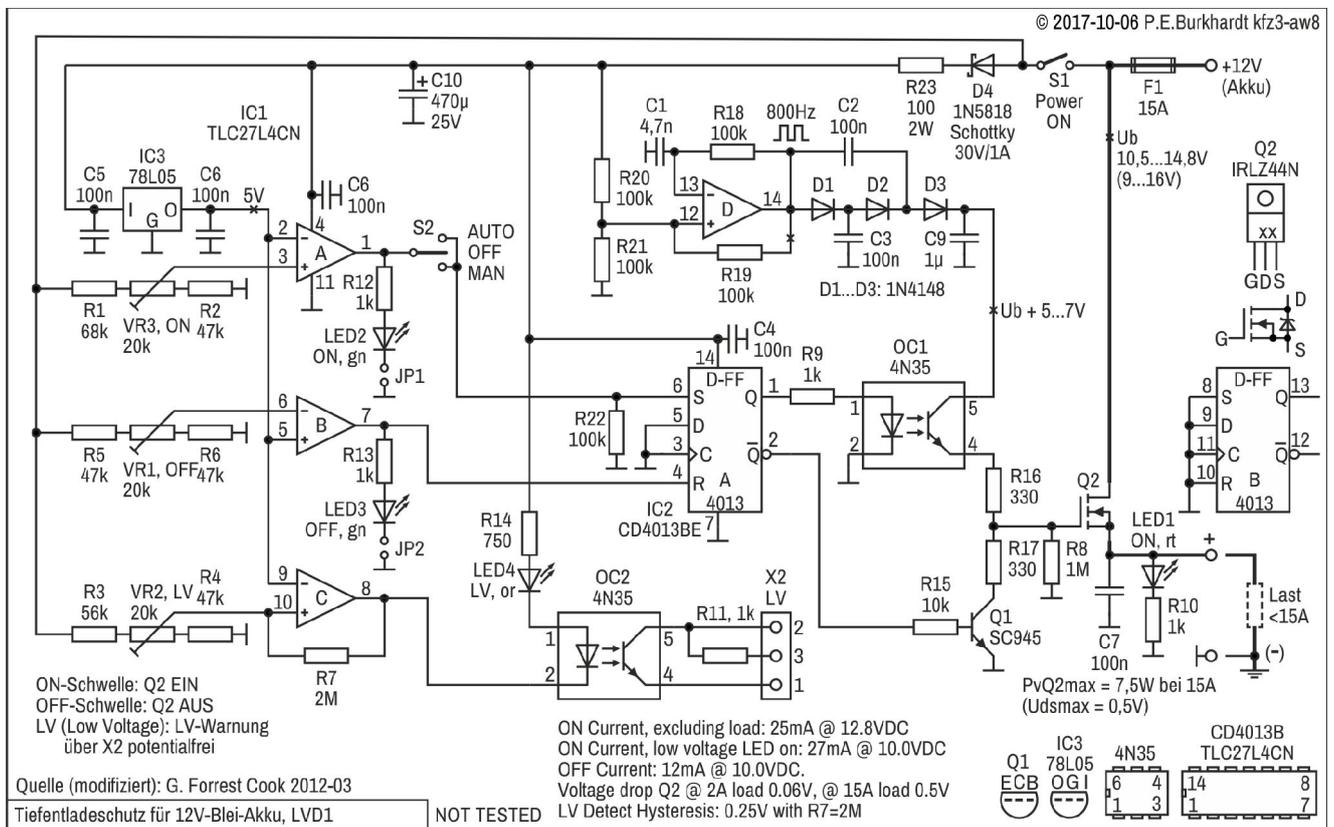
Tiefentladeschutz, Relais, LM339



Tiefentladeschutz, Relais, LM741



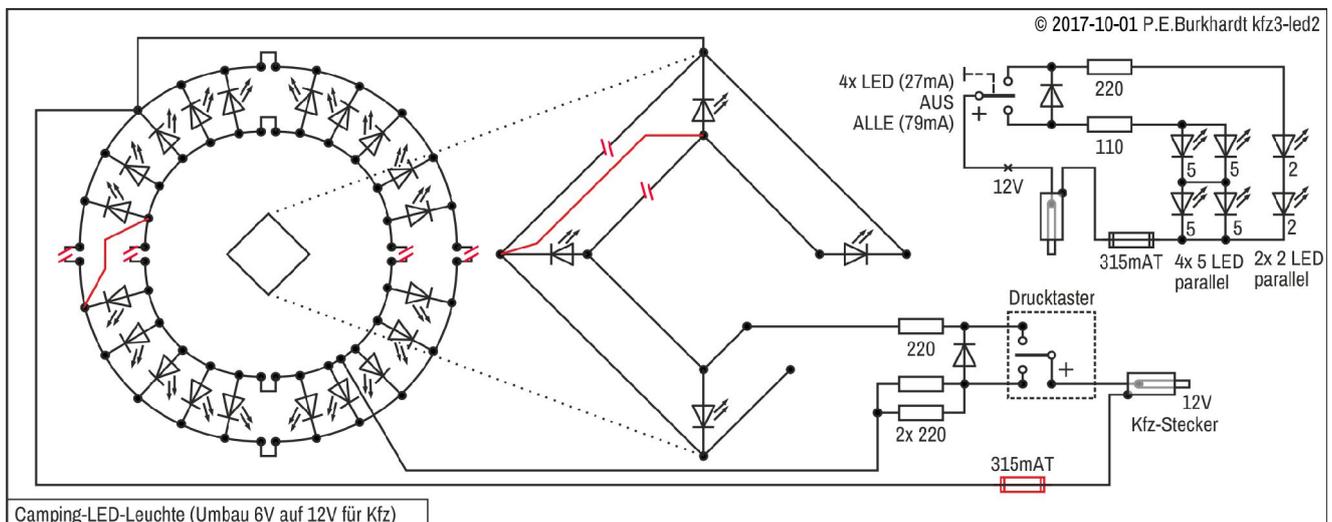
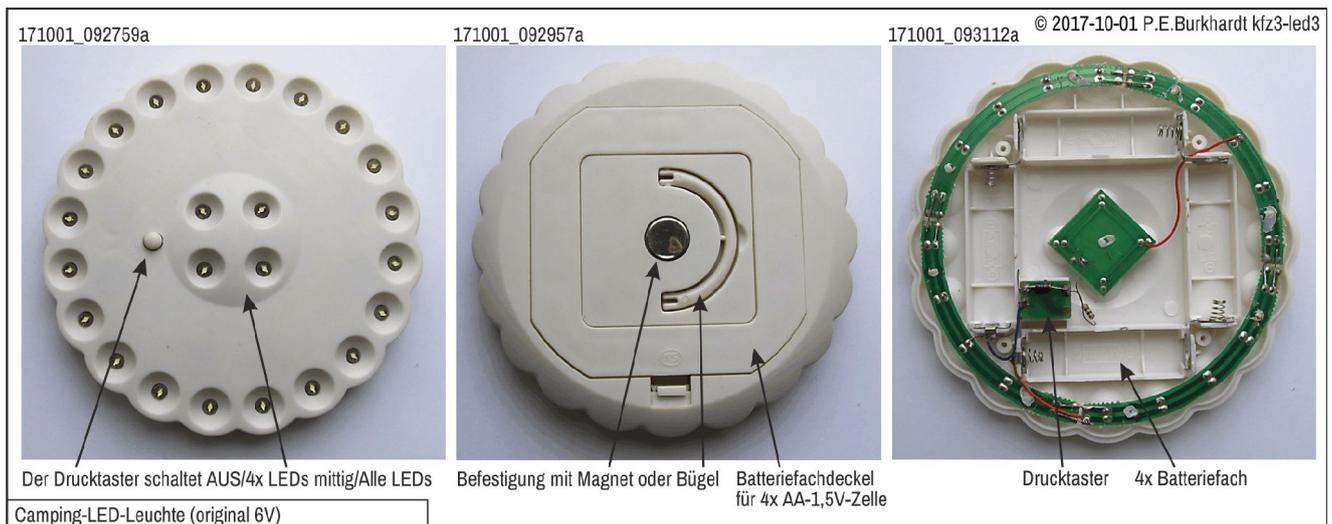
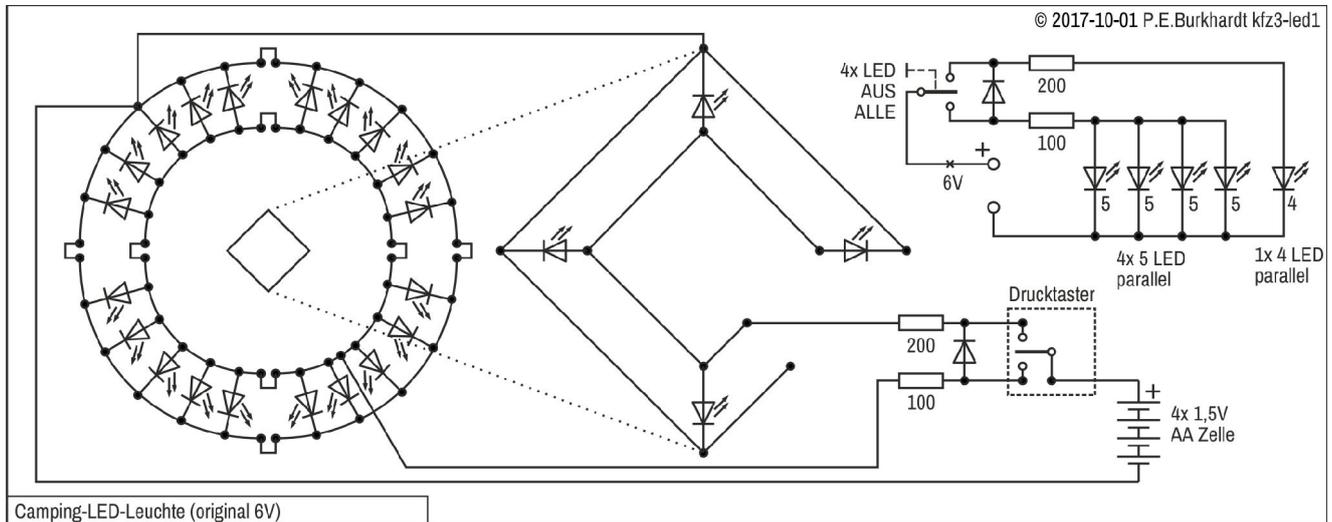
Tiefentladeschutz, LVD1



Beleuchtung

Umbau Camping-Leuchte auf 12V

Die 6V-Camping-Leuchte wurde für 12 V umgebaut und mit einem Kfz-Stecker versehen. Dadurch ist die Leuchte flexibel im Auto verwendbar.



Es sind nur wenige Änderungen erforderlich (im Bild rot). Die Sicherung wurde eingefügt, um bei Lampendefekten einen zusätzlichen Schutz zu haben. Den Schutz der Stecker-Zuleitung übernimmt die Absicherung der speisenden Kfz-Steckdose.

Neue LED-Gruppen

Im Original gibt es 20 parallel geschaltete LEDs, die den äußeren Ring bilden und über einen Vorwiderstand an der 6V-Quelle liegen. Zusätzlich sind 4 LEDs parallel geschaltet, die in Leuchtenmitte angeordnet sind. Auch sie werden über einen eigenen Vorwiderstand versorgt. Über einer LED fallen ca. 2,9 V ab. Somit ist eine Reihenschaltung von z.B. 2 LEDs nicht möglich. Für den nötigen Vorwiderstand würde keine Spannung mehr übrig bleiben.

Bei 12-Versorgung sind aber bis zu 3 LEDs in Reihe möglich. Mit Rücksicht auf die 4 Kreissegmente mit je 5 LEDs wurden aber nur 2 LEDs in Reihe geschaltet, so dass nur geringe Verdrahtungs-Änderungen erforderlich sind. Je 2 Segmente sind parallel (10 LEDs) geschaltet, diese Gruppen dann in Reihe. Die mittleren 4 LEDs sind ebenfalls zu 2 Gruppen mit jeweils 2 LEDs aufgeteilt.

Vorwiderstände

Die Vorwiderstände wurden für geringen Strom bei noch ausreichender Helligkeit dimensioniert. Die Leuchte wird sowieso nur bei Dunkelheit benutzt und kann aufgrund der Sparschaltung (4 LEDs) auch längere Zeit eingeschaltet sein, ohne die Autobatterie nennenswert zu belasten. Die Leuchte ersetzt nicht die Kofferraumleuchte.

