

1 Vorwort

In diesem Reparaturbericht beschreibe ich die Instandsetzung eines Lichthauptschalters.

Wie in den meisten meiner Reparaturberichte will ich außerdem etwas ausführlicher auf die elektrischen, physikalischen und materialtechnischen Grundlagen und Zusammenhänge eingehen – und in einigen Abschnitten auch ein wenig mit Formel „spielen“.

Für mehr Informationen über die elektrotechnischen Zusammenhänge, Formeln, Berechnungen und auch über das für diese Schalterreparatur verwendete Messverfahren habe ich im Kapitel 7 (ab Seite 27) mehr Raum spendiert. Aber ich habe darauf geachtet, daß alle Formeln einfach gehalten sind. Das gilt auch für das Kapitel 7.8 (Seite 42) über die realen Verhältnisse in einem Stromkreis mit Glühlampen. Gleiches gilt auch für das Kapitel 7.9 ab Seite 44, wo ich ein wenig über das frequenzabhängige Verhalten von Kondensatoren und Spulen in Wechselstromkreisen und über das Speichern von Energie mittels Kondensatoren und Spulen schreibe. Eigentlich kein Hauptthema für Oldtimer Schrauberei, aber manche Funktionen, auch Symptome und Fehler lassen sich damit einfach erklären.

Ich lege auch in diesem Bericht Wert darauf, ein paar Tipps und Hinweise zu geben. Dies gilt auch in Bezug auf sicherheitsrelevante Aspekte. Die Elektrik-Fachleute unter uns Hobby-Schraubern werden diese natürlich kennen. Möglicherweise sind einige Tipps jedoch neu und hilfreich.

Nachdem der Bericht fertig war, mußte ich feststellen, dass etwa die Hälfte dieses Berichts „Randgebiete“ und nicht direkt das Thema „Lichthauptschalter“ betreffen. In der Schule würde man dazu sagen „Thema verfehlt, setzen - 6“. Aber ich will den Bericht auch dazu nutzen, ein paar zusätzliche Hintergrundinfos 'rüber zu bringen. Also akzeptiere ich gerne die Kritik „Thema verfehlt“.

Obwohl ich vermute, daß alle Schalter dieser Bauart identisch aufgebaut sind und ich es für ziemlich unwahrscheinlich halte, daß in unseren Mercedes Oldtimer dieser Baujahre Schalter mit anders konstruiertem Innenleben eingebaut wurden, sollte unbedingt beim Zerlegen eines Schalters verglichen werden, ob der Aufbau tatsächlich dem hier gezeigten Exemplar entspricht. Daher bitte beim Zerlegen eines Schalters diesen mit den Bildern in diesem Bericht vergleichen.

Falls Unterschiede festgestellt werden, mein dringender Ratschlag: Lieber 10 Photos und Skizzen zu viel machen, als ein Bild zu wenig!

Bei dem hier vorgestellten Schalter handelt es sich um einen Schalter mit Schaltkontakt für Nebelscheinwerfer. Ich vermute, daß Schalter ohne Nebelschalterfunktion im Aufbau sehr ähnlich sind, zerlegt habe ich einen Schalter ohne Nebelschalterfunktion aber noch nie.

Autor: 170Sb-Fahrer
(Hermann)

November 2018

Veröffentlicht im Forum www.170v.de

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort.....	1
2	Vorgeschichte.....	3
2.1	Schalter defekt - Ein Ersatz ist in Sicht?.....	3
2.2	Eine Aufgabe steht an.....	3
3	Beschreibung der Reparatur.....	6
3.1	Öffnen und Zerlegen des Schalters und Funktionsbeschreibung.....	6
3.2	Aufbau und Funktionsweise des Schalters.....	7
3.2.1	Funktion des Drehschalters.....	8
3.2.2	Funktion des Zugschalters.....	9
3.3	Schaltschema.....	11
3.3.1	Schaltschema Drehschalter.....	11
3.3.2	Schaltschema Zugschalter (für Nebelscheinwerfer).....	12
3.4	Fehlersuche Klemme KL30 – lockere Nietverbindung.....	13
3.5	Aufarbeiten der Messingteile, der Kontaktniete und der Kontaktbrücke.....	14
3.6	Reparatur des lockeren Kontaktniet.....	15
3.7	Vorbeugende Maßnahme gegen Beschädigung der Nietverbindungen.....	18
3.8	Sanieren der Schraubklemmen.....	19
3.9	Federn.....	19
4	Zusammenbau.....	20
5	Schaltkontakte, Eigenschaften und Pflege.....	21
5.1	Kontakte, Kontaktoberflächen.....	21
5.1.1	Kontakte reinigen.....	22
5.1.2	Kontaktoberflächen schmieren, oder nicht?.....	22
5.1.3	Besonderheit: Unterbrecherkontakte der Spulenzündung – nicht schmieren!.....	23
5.2	Schalter schonen mit Relais.....	23
6	Sicherheitshinweise für die Elektroinstallation im KFZ.....	25
6.1	Verbindungen, Klemmen, Stecker, Kabel und Leitungen.....	25
6.2	Verzinnen von Kabelenden und Crimp-Verbindungen?.....	26
7	Anhang: Elektrotechnik: Einfache Formeln, Schaltungen, Anwendungen, Messverfahren.....	27
7.1	Zusammenstellung der wichtigsten elektrotechnischen Größen.....	27
7.1.1	Zusammenstellung der wichtigsten Formeln, das Ohm'sche Gesetz.....	27
7.1.2	Die elektrische Leistung.....	28
7.1.3	„Leitwert“ - Was ist das?.....	28
7.2	Die Kirchhoffschen Gesetze.....	29
7.2.1	Erstes Kirchhoffsches Gesetz (Knotenpunktregel).....	29
7.2.2	Zweites Kirchhoffsches Gesetz (Maschenregel).....	30
7.3	Serienschaltung (Reihenschaltung) und Parallelschaltung von Widerständen.....	30
7.3.1	Unbelasteter Spannungsteiler.....	31
7.3.2	Belasteter Spannungsteiler.....	32
7.3.3	Stern-Dreieck und Dreieck-Stern-Umrechnung.....	33
7.4	Leistungsmäßige Dimensionierung der Widerstände, zulässige Leistung.....	33
7.5	Spannungsteiler mit Diodenstrecke.....	34
7.6	Prüftechnik und Messverfahren.....	37
7.6.1	Die Vierleiter Messmethode.....	37
7.7	Berücksichtigung der Übergangs- und Leitungswiderstände im Lastkreis.....	39
7.7.1	Beispiel: Messaufbau zur Messung des Schalters mit der Vierleiter Messmethode.....	40
7.7.2	Beispiel eines für diesen Zweck brauchbaren preisgünstigen Multimeters.....	42
7.8	Betrachtung der realen Verhältnisse mit einer Glühlampe als Lastwiderstand.....	42
7.9	Elektrische Wechselstromnetze, Kondensatoren, Spulen, Scheinleistung, Blindleistung.....	44
7.9.1	Kondensatoren und Spulen im Wechselstromnetz.....	45
7.9.2	Elektrische Leistung im Wechselstromnetz.....	47
7.10	Kondensatoren und Spulen als Energiespeicher, und Anwendung im KFZ.....	48
8	Abbildungsverzeichnis.....	49
9	Stichwortverzeichnis.....	50

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

2 Vorgeschichte

Seit längerer Zeit suchte ich einen Lichthauptschalter als Reserve oder zum Austausch des Schalters in meinem 170Sb. Der Schalter in meinem 170Sb hat zeitweise Kontaktprobleme, die dazu führen, daß ich häufig den Schalter mehrfach betätigen muß, um die Scheinwerfer einzuschalten. Außerdem wird der Schalter spürbar warm, wenn ich die Scheinwerfer längere Zeit eingeschaltet habe. Da ich auch tagsüber mit eingeschaltetem Licht fahre, ist auch eine geringe Erwärmung des Schalters zu viel. Die Erwärmung ist ein Hinweis, daß der Schalter etwas zu hohe Übergangswiderstände hat.

2.1 Schalter defekt - Ein Ersatz ist in Sicht?

Vor einigen Wochen habe ich bei Ebay ein, auf den ersten Blick günstiges Schnäppchen erwischt: Einen laut Beschreibung neuen Schalter zum Sofort-Kaufpreis von 100 Euro.

Artikelzustand laut Beschreibung: „*Neuer, unbenutzter Artikel, ohne Gebrauchsspuren. Die Originalverpackung ist unter Umständen nicht vorhanden.*“ Der Verkäufer hatte bei knapp 800 Verkäufen satte 100% positive Bewertungen erhalten. Das klang vertrauenerweckend.

Auf dem Bilden der Auktion war etwas Schmutz auf dem Gehäuse zu erkennen. Es sah nach üblichen Lagerspuren aus, nur leichter Schmutz, usw. Also kein Problem. Die Chromteile sahen wirklich gut aus. Meine Nachfrage beim Verkäufer, ob der Schalter eine Schaltfunktion für Nebellampen hat, ergab als Antwort „Ja“. Ein anderer Interessent hatte nochmal beim Verkäufer nachgefragt, ob der Schalter wirklich NEU ist. Die Antwort war „Ja“.

Also sofort gekauft, denn ich kenne die Preise, die üblicherweise für solche Schalter aufgerufen werden.

2.2 Eine Aufgabe steht an

Die Enttäuschung war jedoch groß, als ich den Schalter dann in den Händen hielt: Er hatte starke Gebrauchsspuren, erkennbar an Kratzern und Lackresten auf der Metallplatte, sowie an den korrodierten und stark verschmutzten Schraubklemmen. Der Chrom war aber noch wirklich gut. Somit zumindest als Ersatzteilstender zu gebrauchen.

Im Bakelitgehäuse ist die Typenbezeichnung Schalter *Type 20001* eingeprägt.



Bild 1: Schalter im Anlieferzustand

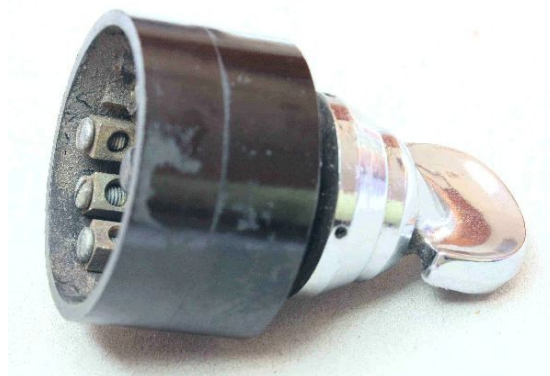


Bild 2: Schalter im Anlieferzustand

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters



Bild 3: Schalter im Anlieferzustand



Bild 4: Schalter im Anlieferzustand

Von „NEU“ konnte man also schon aufgrund des äußeren Zustands wirklich nicht sprechen. Der äußere Zustand des Schalters ließ Schlimmes bzgl. der Funktion befürchten. Also war als erstes ein Durchmessen der Kontakte, natürlich unter Last sinnvoll. Diese Prüfung ergab mangelhaftes Schaltverhalten.

Zum Messverfahren für sehr niederohmige Widerstandswerte schreibe ich ausführlicher in Kapitel 7.6.1, ab Seite 37, („Die Vierleiter Messmethode“).

Wenn sich bei der Messung gute Messwerte ergeben, kann auf eine weitere Untersuchung des Schalters verzichtet werden, die Kontakte sind dann offensichtlich (noch) in Ordnung. Ob trotzdem eine eingehende Kontrolle, eventuell auch ein Reinigen und Schmieren der Kontakte, also ein komplettes Zerlegen des Schalters sinnvoll ist, muß jeder für sich entscheiden. Siehe hierzu Kapitel 5.1.1 und 5.1.2, Seite 22.

Wenn sich aber fragwürdige, schlechte Messwerte ergeben, führt an einer weiteren Diagnose, Suche nach der Ursache und Reparatur kein Weg vorbei. Als Fehlerquellen kommen alle leitenden Verbindungen, z.B. Stecker, Schraubklemmen, Niete, Metallverbindungen, sowie die eigentlichen Schaltkontakte in Betracht. Alle Bauteile sind daher zu prüfen und gegebenenfalls instand zu setzen. Ebenso wie eine Kette nur dann stabil ist, wenn alle Kettenglieder in Ordnung sind, funktioniert ein Schalter nur dann einwandfrei, wenn alle Teile in einwandfreiem Zustand sind. Es bringt nichts, wenn nur die Schaltkontakte gereinigt werden, aber z.B. Schraubklemmen oder – wie in diesem Fall Nietverbindungen – schlecht sind.

Die gemessenen Werte bewiesen, daß dieser Schalter im Anlieferungszustand absolut unbrauchbar war.

Gemessene Übergangswiderstände

Schaltpfad	Gemessen (Ohm)	Anmerkung
KL30 nach KL56	0,152 Ω	Wert ist viel zu hoch
KL30 nach KL57	0,124 Ω	Wert ist viel zu hoch
KL30 nach KL58, Stellung 2	0,299 Ω	Wert ist viel zu hoch
KL30 nach KL58, Stellung 3	0,225 Ω	Wert ist viel zu hoch
N nach N (*)	0,540 Ω	Wert ist viel zu hoch

(*): Sehr unüblich und irreführend ist es, die beiden Anschlussklemmen des Schalters mit den gleichen Symbolen zu bezeichnen. Gleiche Symbole an einem Gerät bedeuten üblicherweise, daß die Klemmen miteinander verbunden sind, siehe z. B. die drei parallel geschalteten Klemmen KL30. Richtig wäre es, die beiden Klemmen „N“ zum Beispiel mit „N1“ und „N2“ zu bezeichnen.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Diese recht hohen Ohm-Werte deuten auf verschlissene und/oder extrem verschmutzte Kontakte hin. Eventuell kann auch ein zu geringer Kontaktdruck die Ursache sein. Jedenfalls ist der Schalter in diesem Zustand unbrauchbar.

Die drei Klemmen KL30 sind intern parallel geschaltet, also vermutlich fest miteinander verbunden. Demnach sollten die Messwerte zwischen den drei KL30 Schraubklemmen sehr geringe Werte ausweisen und außerdem nahezu identisch sein. Waren sie aber nicht:

Schaltpfad	Gemessen (*)	Anmerkung
KL30-1 nach KL30-2	0,0747 Ω 74,7 m Ω	Wert ist viel zu hoch
KL30-1 nach KL30-3	0,0012 Ω 1,2 m Ω	OK, ist plausibel für eine feste Verbindung
KL30-2 nach KL30-3	0,0746 Ω 74,6 m Ω	Wert ist viel zu hoch

(*) Zu den Messmethoden gebe ich in Kapitel 7.6 (ab Seite 37).

Zur besseren Lesbarkeit werden Zahlenwerte mit vielen Nachkommastellen oft in skalierten Einheiten dargestellt. Hier zum Beispiel $0,001 \text{ Ohm} = 10^{-3} \Omega = 1 \text{ m}\Omega$ (1 milli Ohm).

Bitte beachten: milli Ohm (nicht Mega Ohm).

Zum Vergleich: Mega Ohm, Schreibweise M Ω . Mit $1 \text{ M}\Omega = 1.000.000 \Omega = 10^6 \Omega$

Für eine feste Verbindung sind die beiden Werte in den Pfaden zur Klemme KL30-2 mit 0,0747 Ohm bzw. 0,0746 Ohm viel zu hoch. Es liegt also offensichtlich ein erheblicher Defekt im Bereich der Klemme KL30-2 vor. Diese Lokalisierung des Fehlers durch rein logisches Schlussfolgern lässt sich natürlich auch rechnerisch nachvollziehen.

E-Techniker denken jetzt an das Thema „Stern-Dreieck-Umrechnung“ und „Dreieck-Stern-Umrechnung“. Stimmt, mit den Formeln der Dreieck-Stern-Umrechnung (siehe Kapitel 7.3.3, Seite 33) ergibt sich

Interner Widerstand an der Klemme	Berechnet	Anmerkung
KL30-1	0,60 m Ω	ok
KL30-2	37,03 m Ω	Fehler, Wert ist zu hoch
KL30-3	0,59 m Ω	ok

Die Ursache des Fehlers bei KL30-2 ist auf jeden Fall zu ermitteln und zu beseitigen. Sonst ist der Schalter tatsächlich Schrott.

Einen Verkaufsartikel in derart miserablen Zustand als „Neu“ zu verkaufen, ist schon ein starkes Stück! Eine heftige Reklamation beim Verkäufer wäre durchaus gerechtfertigt gewesen, trotz des relativ günstigen Preises.

Da ich aber schon öfters Schalter und andere elektrische Komponenten, nicht nur von Oldtimer, repariert habe, habe ich den Schalter nicht zurückgeschickt, sondern bin die Reparatur angegangen.

Um das Ergebnis gleich vorweg zu nehmen: Die Reparatur ist gelungen, der Schalter arbeitet wieder einwandfrei und wird demnächst in meinen 170Sb eingebaut.

Danach wird der derzeit eingebaute Schalter ebenfalls repariert.

3 Beschreibung der Reparatur

3.1 Öffnen und Zerlegen des Schalters und Funktionsbeschreibung

Der Schalter ist mit 3 kleinen Rohrnieten verschlossen. Diese müssen vorsichtig aufgebohrt werden. Dabei sehr vorsichtig vorgehen, damit das Bakelit nicht beschädigt wird. Ersatz gibt es kaum und Reparatur durch Kleben ist kaum möglich, da dauerhaft hohe Kontaktdrücke aufgefangen werden müssen. Hinzu kommt die Beanspruchung der Klebestellen durch Temperaturschwankungen und Erschütterungen.

Die Niete werden später durch passende Schrauben und Muttern ersetzt. Selbstverständlich könnten auch wieder Niete eingesetzt werden. Dabei ist aber wiederum größte Vorsicht geboten, damit das Bakelitgehäuse nicht beschädigt wird. Die Niete nicht einschlagen, denn Bakelit ist sehr spröde und wie schon erwähnt, praktisch nicht zu reparieren.

Ich kannte den Innenaufbau dieses Schalter vorher nicht, war also entsprechend vorsichtig. Während des Aufbohrens und dem Entfernen der Niete wurde das Gehäuse fest zusammengehalten, damit nicht eventuelle Federn die Gehäuseteile schlagartig auseinander drücken und Teile das Innenlebens in der Werkstatt umher fliegen und sich schön gleichmäßig in allen Ecken und Winkeln verteilen.

Nachdem alle Niete entfernt waren, habe ich vorsichtig den Schalter geöffnet, den Metalldeckel abgenommen.

Das Schaltergehäuse besteht aus einem Bakelit Gehäuse, einem Schutzring, ebenfalls aus Bakelit und einer Metallplatte.

Das Gehäuse beinhaltet die Kontakte, die Schraubklemmen, sowie alle beweglichen Teile des Schalters. Der Bakelitring dient vorwiegend zum Schutz der Anschlussklemmen, vor allem gegen Kurzschlüsse. Die Anschlussleitungen werden in Richtung von innen nach außen in die Schraubklemmen eingeführt und festgeschraubt.

Das Festschrauben ist nicht ganz unkritisch, worauf ich später noch eingehen werde. Hohe Anzugsmomente der Klemmschrauben können den Schalter beschädigen. Näheres hierzu, siehe Seite 13.

Eine Gefahr bestand bei diesem Schalter aber kaum, denn die drei kleinen Federn im Innern des Schalters sind recht schwach und nicht stark genug, um die relativ großen Gehäuseteile durch die Werkstatt zu schießen. Außerdem waren alle Teile stark mit klebrigem Schmutz und Fettresten verschmiert. Aber besser Vorsicht, als Nachsicht!

Diese kleinen Federchen nicht verlieren, sie sind für die Funktion extrem wichtig!!

Im Innern des Gehäuses befand sich eine Menge Schmutz, Abrieb und alte Fett-Schmiere, was allein schon beweist, das dieser, als „NEU“ angebotene Schalter viele Jahrzehnte in Betrieb war. Kein Wunder, daß dieser Schalter nicht mehr funktioniert hat, wie die vorherige Prüfung ergeben hatte.

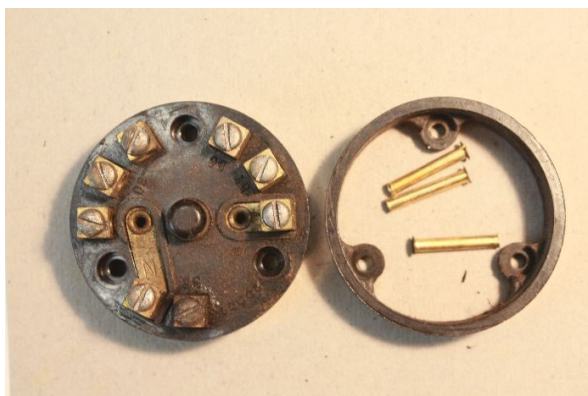


Bild 5: Klemmenplatte im Anlieferungszustand

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

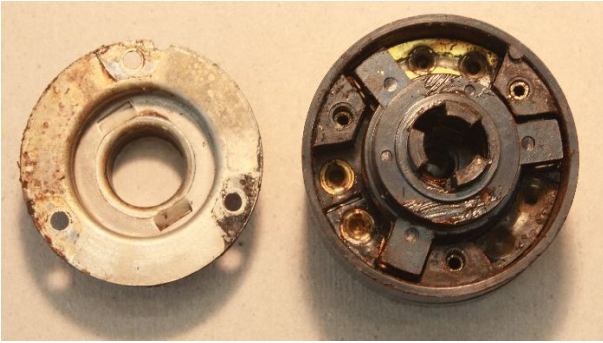


Bild 6: Gehäuse geöffnet

Diese Bilder zeigen den desolaten Zustand des Schalters innen.

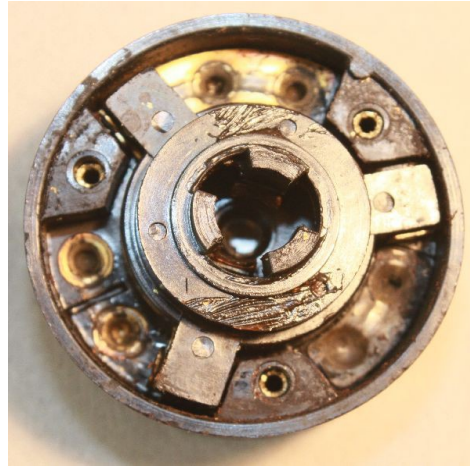


Bild 7: Gehäuse geöffnet

Hier ist der Mitnehmer (Bakelit) zu sehen, der mit 3 Fingern in die 3-armige Kontaktbrücke aus Messing greift.

3.2 Aufbau und Funktionsweise des Schalters

Beim schrittweisen Zerlegen des Schalters war die Funktionsweise der verschiedenen Bauteile schnell klar. Der Schalter ist sehr einfach aufgebaut und somit ideal für einen langzeitigen, fehlerfreien Betrieb. Aber auch der beste und solideste Schalter ist irgendwann verschlissen.

Nachdem der Schalter komplett zerlegt war, wurden alle Teile erst mal intensiv gereinigt. Bakelit ist beständig gegen Kraftstoff, Nitroverdünnung und Bremsenreiniger. Andere Kunststoffe sind in diesem Schalter nicht verbaut. Mit diesen bewährten Hilfsmitteln war daher es sehr einfach, allen Schmutz rigoros und restlos zu entfernen.



Bild 8: Kontaktbrücke Anlieferungszustand

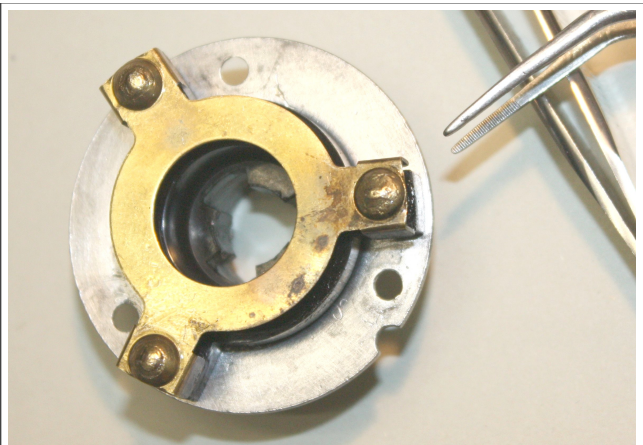


Bild 9: Kontaktbrücke saniert

Deutlich ist der desolote Zustand der Kontaktbrücke im Anlieferungszustand. Nach dem Polieren war zum Glück keine massive Beschädigung des Materials zu sehen, nur ein paar leichte Dellen durch Abbrand. Die Pinzette zeigt auf die vorher besonders desolote Kontaktwarze.

Nach dem Reinigen zeigten sich einige Teile in brauchbaren bis gutem Zustand, vor allem zeigten die Bakeliteile keine allzu großen Schäden, z.B. keine Brüche, keine Risse, keine Abplatzungen. Lediglich Einwirkungen von starker Hitze war an einer Stelle deutlich erkennbar. Hierzu komme ich später noch. Siehe Seite 9 und Seite 13.

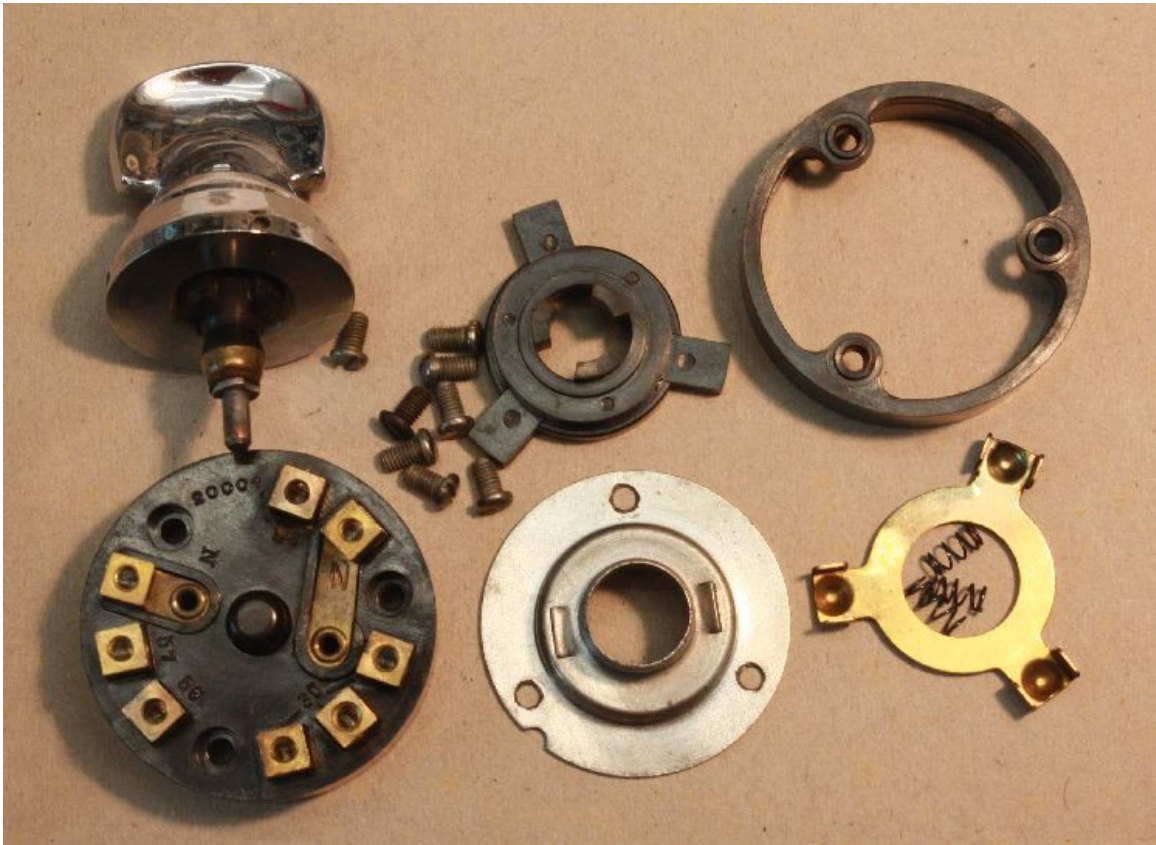


Bild 10: Schalter komplett zerlegt und alle Teile gereinigt.

3.2.1 Funktion des Drehschalters

Die Schraubklemmen für die Kabel sind entweder direkt im Bakelitgehäuse eingietet (Klemmen KI56 und KL57) oder zusätzlich in Messingstreifen innerhalb des Gehäuses eingietet (Klemmen KL30-1, KL30-2, KL30-2 und KL58).

Die Nieten sind gleichzeitig die Kontaktflächen des Schalters.

Die Kontakte KL56 und KI57 sind als Einzelkontakte ausgeführt. Die Klemme KL58 führt im Innern des Schalters auf 2 Kontaktflächen, die mit einem Messingstreifen verbunden sind.

Die Klemme KL30 (3 Schraubklemmen) führt im Innern des Schalters auf 3 Kontaktflächen, die ebenfalls mit einem massiven Messingstreifen verbunden sind.

Die 3-fache Klaue auf der Achse des Drehknopfes greift in eine ebenfalls 3-fache Kupplung des drehbaren Mitnehmers ein. Der Mitnehmer stützt sich innen an der Metallplatte des Gehäuses ab. Dieser Mitnehmer dreht die 3-armige Messing-Kontaktbrücke, wobei die Kontaktbrücke keine starre Verbindung zum Mitnehmer hat. Vielmehr befinden sich zwischen dem Mitnehmer und der Kontaktbrücke drei kleine Spiralfedern, die für den notwendigen Kontaktdruck sorgen.

Die 3-armige Kontaktbrücke aus Messing stellt beim Schaltvorgang die leitende Verbindung zwischen den zugehörigen festen Kontakten im Gehäuseunterteil her. Der erforderliche Kontaktdruck wird mittels 3 kleinen Federn erzeugt. Diese liegen einerseits in entsprechenden Vertiefungen des Mitnehmers und andererseits in den Mulden der 3-armigen Kontaktbrücke.

Befund: Eine der 3 Federn war stark zusammengedrückt, vermutlich durch Überhitzung plastisch verformt, denn diese Feder war über der Stelle, wo auch das Bakelit beschädigt war und der zugehörige Kontaktarm der Kontaktbrücke eine deutliche Anlauffarbe aufwies.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Da die Kontakte der Kontaktbrücke in die Mulden der Niete drückt werden, ergibt sich von selbst eine ausreichende Rastwirkung des Schalters. Zusätzliche Maßnahmen zur Arretierung in den jeweiligen Schaltpositionen sind daher bei dieser Konstruktion nicht erforderlich.

Der Drehschalter hat 3 rastende Stellungen:
Aus - Funktion 1 - Funktion 2.

Zur Veranschaulichung der Funktion des Schalters habe ich in diesem Bild die 3-armige Kontaktbrücke in das Gehäuse gelegt und den Mitnehmer mit den drei Federn daneben gestellt.

Vorsicht: Die Kontaktbrücke nicht verbiegen.

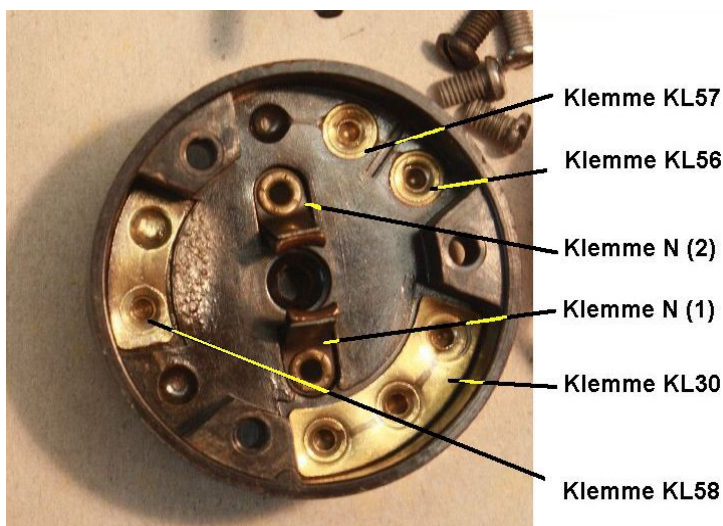


Bild 11: Schaltelelemente des Drehschalters

Im Bereich der Klemme KL58 ist das Bakelit beschädigt, aufgequollen. Um Bakelit in dieser Weise zu beschädigen, ist eine erhebliche Hitzeeinwirkung über längere Zeit erforderlich.

Die Beschädigung kann in diesem Fall toleriert werden, da die mechanische Stabilität noch nicht beeinträchtigt ist.

Heutzutage werden Schaltergehäuse üblicherweise aus Thermoplast hergestellt, also aus einem Material, daß sich bei Hitze verformt. Ein Schalter mit Thermoplastgehäuse wäre mit Sicherheit ein Totalausfall. Schlimmstenfalls hätte dieser sogar zum Fahrzeugbrand geführt.



Es ist erstaunlich, wie solide und langlebig diese „alte Technik“ unserer Oldtimer ist!

Bild 12: Kontaktstellen des Dreh- und des Zugschalters

3.2.2 Funktion des Zugschalters

Unabhängig und elektrisch von den Klemmen des Drehschalters vollkommen getrennt ist in dem Schaltergehäuse ein weiterer Schaltkontakt vorhanden, der als Zugschalter betätigt wird.

Hierzu sind im Gehäuseunterteil 2 federnde Kupferbügel vorhanden. Diese stützen sich an zwei eingennieteten Stahlfedern ab. Das sorgt für einen ausreichenden Kontaktdruck. Diese Kupferbügel sind potentialfrei nach außen auf zwei Klemmen mit den Bezeichnungen „N“ geführt. Potentialfrei bedeutet, daß die beiden Kupferbügel keine Verbindung zu anderen Kontakten oder Klemmen des Schalters haben.

Eine runder Messingring (Kontakttring) auf der Betätigungsachse des Drehknopfes verbindet die beiden Kupferbügel und schließt somit den Schaltkontakt. Der Messingring ist gegenüber der Achse isoliert.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Der Zugschalter wird üblicherweise für Nebellampen verwendet.

Auf diesem Bild sind die feststehenden Kontakte des Schalters für die Nebellampen zu sehen. Es handelt sich um 2 Kupferbügel, die sich an federnden Stahlbügeln abstützen.

Unverständlich ist, warum an dieser Stelle Kupferbügel und nicht ebenfalls Messingbügel verwendet wurde.

Wie schon beschrieben, ist die Bezeichnung der beiden Kontakte mit „N“ nicht nur irreführend, sondern falsch. Gleiche Bezeichnungen bedeuten, dass die Klemmen intern verbunden sind. Dies ist in diesem Fall aber nicht so.

Mir ist unverständlich, warum Mercedes einen solchen, überflüssigen Fehler eines Zulieferteils akzeptiert hat.

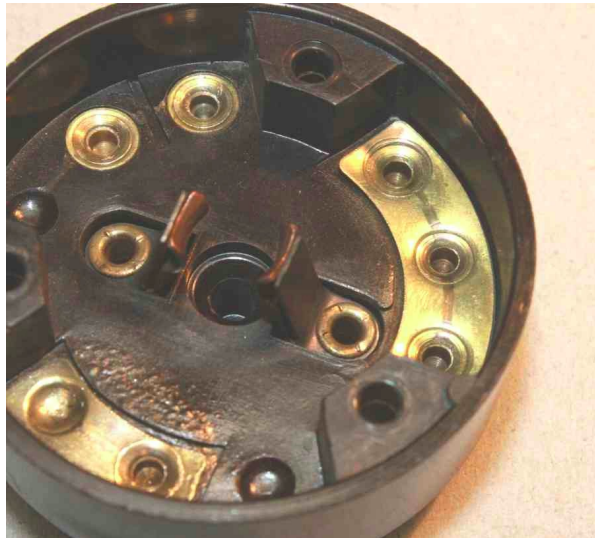


Bild 13: Kontaktstellen des Dreh- und des Zugschalters

Am unteren Ende des Schaltknopfes befindet sich bei Schaltern mit Zusatzschaltkontakt ein auf der Achse fest gelagerter Messingring. Dieser stellt bei gezogenem Schalterknopf die leitende Verbindung zwischen den beiden Kupferbügeln her. Über diesem Messingring ist ein ähnlich geformter Ring aus Bakelit, der bei gedrücktem Schalter die beiden Kupferbügel gegeneinander isoliert.

Die Rastwirkung wirkt allein durch die federnden Kupferbügel erzeugt.

Die „Schmiere“, die auf diesem Bild zu sehen ist, ist bereits das Siemens Wählerfett, denn dieses Bild wurde unmittelbar vor dem Zusammenbau aufgenommen.



Bild 14: Kontaktring des Zugschalters

3.3 Schaltschema

Die Funktion des Schalters ist sehr einfach. Im folgenden Bild (15) sind die Schaltelemente und Kontaktwege symbolisch als Schaltschema dargestellt. Daran lässt sich die Funktion am einfachsten und sehr übersichtlich nachvollziehen.

3.3.1 Schaltschema Drehschalter

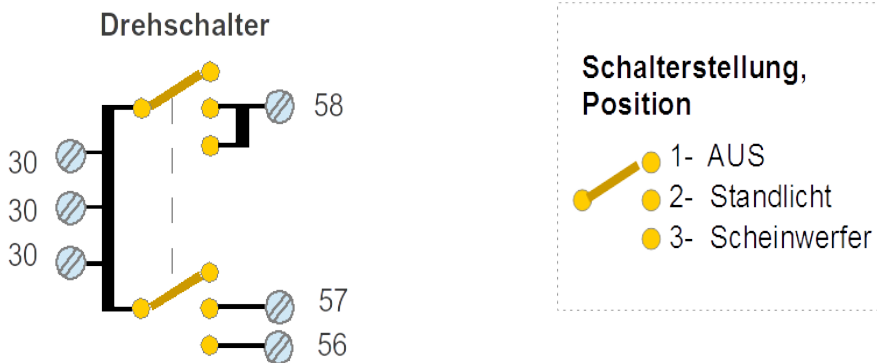


Bild 15: Schaltschema Drehschalter

Bild 16: Schaltfunktionen im 170S und 170Sb.

Die 3 intern parallel geschalteten Klemmen KL30 werden im Auto als Verteiler für Dauerstrom Batterie-Plus verwendet. Der erste Arm der Kontaktbrücke greift auf die drei Kontaktniete der Klemmen KL30. Im Folgenden werden die drei parallel geschalteten Klemmen als KL30-1, KL30-2 und KL30-3 bezeichnet.

Über den zweiten Arm der Kontaktbrücke wird in Schalterstellung 2 und 3 die Klemme KL58 mit der Klemme KL30 verbunden.

Der dritte Arm der Kontaktbrücke schaltet die Verbindung von Klemme KL30 auf die Klemmen KL57 (Stellung 2) oder KL56 (Stellung 3).

Die obere Schalterstellung (1) führt in's „Nichts“, was gleichbedeutend mit „AUS“ ist.

Klemmenbezeichnung nach DIN 72552

KL 30	Eingang von Batterie Plus
KL 56	Scheinwerferlicht
KL 56a	Fernlicht und Anzeigelampe
KL 56b	Abblendlicht
KL 57	Standlicht Kraffrad, Parklicht
KL 58	Begrenzungs-, Kennzeichen-, Instrumenten-, Schlussleuchten

Im 170Sb ist die Klemme KL57 nicht beschaltet.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Die Hauptscheinwerfer sind auf Klemme KL56 geschaltet und die Umschaltung Fern-, Abblendlicht erfolgt mit einem separaten Umschalter, der im Fußraum eingebaut ist.

Die Reparatur dieses Abblendlicht Schalters habe ich in einem anderem Bericht hier im Forum beschrieben, siehe (Suchbegriff) „Abblendlicht_Schalter“

Tipp: Dieser Abblendlicht Schalter wurde damals in vielen anderen Autos eingebaut, z.B. im VW Käfer. Die gleichen Teile sind in dieser Szene oft deutlich preisgünstiger zu haben, als in der „Sternen-Szene“. Sie wissen, was ich damit bezüglich einer Ersatzbeschaffung meine ;-),

3.3.2 Schaltschema Zugschalter (für Nebelscheinwerfer)



Unabhängig und elektrisch vollkommen getrennt von vom Dreh- schalter arbeitet der Zugschalter, dessen Anschlüsse auf die beiden mit „N“ bezeichneten Klemmen geführt sind.

Bild 17: Schaltschema Zugschalter

Da dieser zusätzliche Schalter keine interne Verbindung zu anderen Klemmen hat, ist eine sehr freizügige Schaltung im KFZ möglich. Mit dem Zugschalter können daher anstelle von Nebellampen ebenso gut zusätzliche Fernscheinwerfer oder sogar andere Einrichtungen und Funktionen geschaltet werden, zum Beispiel

- Hauptschalter für ein (Röhren-)Radio, oder
- wahlweise die Winkerfunktion ausschalten.

Die Nebellampen können eingeschaltet werden

- ohne daß Standlicht und Abblendlicht oder Fernlicht eingeschaltet sind,
- nur wenn Abblendlicht eingeschaltet ist,
- nur wenn Standlicht eingeschaltet ist,
- nur wenn Fernlicht eingeschaltet ist (laut STVZO nicht zulässig).

Gemäß STVZO ist der Betrieb von Nebellampen, bei denen der äußere Rand der Lichtaustrittsfläche mehr als 400 mm von der breitesten Stelle des Fahrzeugumrisses entfernt ist, jedoch nur zulässig, wenn gleichzeitig das Abblendlicht eingeschaltet ist.

Dieser Schalter erlaubt jedoch auch einen, von den Vorschriften der STVZO abweichenden Betrieb. Da dies aber eine originale Beschaltung dieser Fahrzeuge ist, wird diese Abweichung wohl immer toleriert werden.

Merkwürdig ist, daß in verschiedenen Schaltplänen des 170Sb die Nebelscheinwerfer direkt an KL-58 angeschlossen sind. Das ist meines Erachten falsch, denn dann würden die Nebelscheinwerfer immer eingeschaltet sein, egal, ob Standlicht, Abblendlicht oder Fernlicht eingeschaltet ist. Möglicherweise sind diese Schaltpläne aber nur ein Produkt eines „Hobbyisten“, der ein verbasteltes Auto „abgekupfert“ hat.

3.4 Fehlersuche Klemme KL30 – lockere Nietverbindung

Nach dem Öffnen des Schalters habe ich mir die interne, direkte Verbindung der drei Schraubklemmen KL30 näher angesehen. Gemäß Seite 4 mußte der Fehler auf KL30-2 zu finden sein. Auf den ersten Blick war keine Ursache erkennbar, warum die gemessenen Widerstandswerte ein derartiges Fehlerbild ergaben. Hier nochmal die Tabelle mit den Messwerten:

Schaltpfad	Gemessen (*)	Anmerkung
KL30-1 nach KL30-2	0,0747 Ω = 74,7 m Ω	Wert ist viel zu hoch
KL30-1 nach KL30-3	0,0012 Ω = 1,2 m Ω	OK, ist plausibel für eine feste Verbindung
KL30-2 nach KL30-3	0,0746 Ω = 74,6 m Ω	Wert ist viel zu hoch

Die Verbindung von KL30-1 nach KL30-3 ist offensichtlich OK, der gemessene Widerstandswert von 1,2m Ω (Milli-Ohm) ist einwandfrei. Die Fehlersuche konzentrierte sich also auf die feste Verbindung der Klemme KL30-2 zu dem massiven Messingstreifen, eine augenscheinlich einwandfreie Nietverbindung. Die Schraubklemme sah gut aus, ebenso der massive Messingstreifen im Schalter. Keine Anzeichen von Überlastung, keine Schmorstellen.

Bei angeschlossenem Laststromkreis und Messgerät am Strompfad KL30-1 nach KL30-2 schwankte der Spannungsabfall deutlich beim Bewegen der Krokodilklemme an Klemme KL30-2, während ein Bewegen Krokodilklemme an Klemme KL30-1 diesen Effekt nicht zeigte, was als Fehlerquelle die Verbindung von Klemme KL30-2 zum Messingstreifen vermuten ließ.

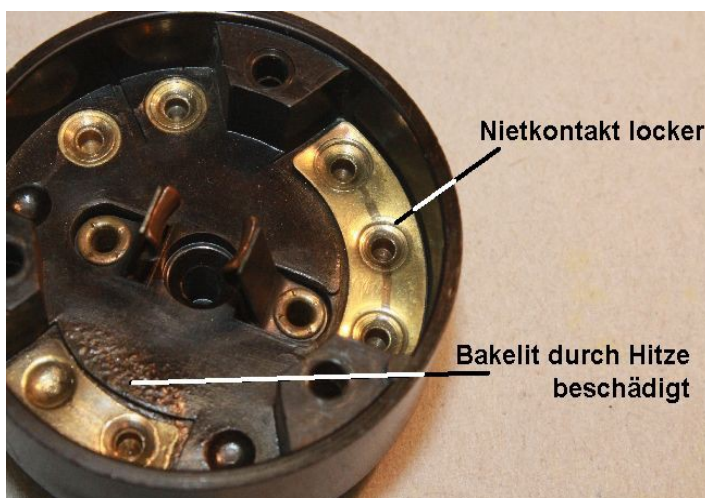


Bild 18: Nietkontakte

Mit bloßem Auge konnte man nicht erkennen, daß der Nietkontakt der KL30-2 locker war; eine Lupe mußte her. Damit war beim Bewegen der mittleren Schraubklemme (KL30-2) zu sehen, das sich der Niet in dem Messingstreifen ein winziges Stück drehte.

Ein wirklich heimtückischer Fehler.

Dieser Fehler konnte durch Löten behoben werden, siehe Seite 15

An zwei Stellen war das Bakelit durch übermäßige Hitze gequollen. Um Bakelit in dieser Weise zu beschädigen, ist eine erhebliche Hitzeeinwirkung über längere Zeit erforderlich. Zum Glück hat die Stabilität des Bakelits nicht gelitten.

Die Ursache, warum der Niet sich gelockert hatte, war vermutlich zu kräftiges Festschrauben des Kabels. Das Anzugmoment der Schraube muß nämlich von der Nietverbindung aufgenommen werden, eine Art „Drehmomentstütze“ ist nicht vorhanden. Ich habe bei den 3 Klemmen KL30 eine solche später nachgerüstet, siehe Abschnitt Seite 18

Das Festschrauben der Kabel ist daher nicht ganz unkritisch. Einerseits ist es für eine sichere und feste Verbindung notwendig, die Kabel ausreichend fest anzuschrauben, andererseits kann zu festes Anschrauben die Klemmenbefestigung beschädigen. Diesen Fehler merkt man bei der Montage normalerweise nicht. Die heutigen Steckverbinder sind diesbezüglich unkritischer, haben dafür aber andere Nachteile.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Die Kontakte selbst zeigten sehr deutliche Gebrauchsspuren, insbesondere die Kontakte im Bereich, wo auch das Bakelit durch Hitze beschädigt war. Hier zeigte auch die Kontaktbrücke deutliche Anlauffarben. Die zugehörige Kontaktwarze auf der Kontaktbrücke war ebenfalls angegriffen und mußte etwas angeschliffen und poliert werden.

Merkwürdigerweise war die Überlastung im Bereich der Klemme KL58, wo Gemäß DIN 72552 eigentlich nur das Standlicht angeschlossen wird. Auf die Abweichung in einigen Schaltplänen des 170Sb habe ich auf Seite 12 hingewiesen. Vielleicht waren in dem Auto, wo dieser Schalter eingebaut war, sehr starke Zusatzscheinwerfer montiert, die zu dieser massiven Überlastung und Beschädigung des Kontakts KL58 geführt haben.

Der Zustand der anderen Kontakte und Klemmen war auf den ersten Blick noch gut, von den üblichen Schleifspuren der Kontakte abgesehen. Diese Kontaktstellen mussten nur poliert werden

3.5 Aufarbeiten der Messingteile, der Kontaktните und der Kontaktbrücke

Alle Messingteile wurden mit einer feinen Messingbürste, eingespannt in einen Akkuschauber, poliert. Bitte niemals mit einer Stahlbürste an elektrische Kontakte ran gehen, diese hinterlässt tiefe Riefen in dem weichen Kontaktmaterial, eine satte Kontaktauflage, die wichtig für eine niederohmige und belastbare Schaltfunktion ist, wäre dann nicht mehr sichergestellt, siehe hierzu Seite 21. Insbesondere ist Messing ein weiches Metall (genauer: eine Legierung) und daher sehr empfindlich.

Die Vertiefungen der Kontaktните wurden ebenfalls gereinigt und poliert, obwohl in den Vertiefungen kein Kontakt stattfindet. Nur die Ränder sind Kontaktflächen. Aber auch in der „Tiefe“ mußte möglichst aller Schmutz und Abrieb weg, damit er sich nicht auf die Kontaktflächen hocharbeiten kann.

Auch die 3-armige Kontaktbrücke wurde poliert.

Eine einwandfreie, metallisch blanke Oberfläche ist wichtig für geringe Kontaktwiderstände. Unzulässig hohe Kontaktwiderstände (Übergangswiderstände) führen zu einem Spannungsabfall und somit zu hoher Verlustleistung an den Kontakten. Diese Verlustleistung erhitzt die Kontaktstelle und auch die umgebenden Teile. Im schlimmsten Fall können Bauteile verschmoren und sogar einen Brand auslösen.

Gemäß des Ohm'schen Gesetzes (siehe ab Seite 27) berechnet sich der Spannungsabfall an der Kontaktstelle zu

$$U_K = R_k * I \quad \text{mit} \quad U_k = \text{Spannungsabfall am Kontakt}$$
$$R_k = \text{Kontaktwiderstand, Übergangswiderstand}$$
$$I = \text{Strom der über den Kontakt fließt}$$

Die Verlustleistung am Kontakt berechnet sich mit folgender Formel

$$P_K = U_k * I \quad P_k = \text{Verlustleistung am Kontakt}$$

Beispiel:

Es sei bei einem nicht mehr einwandfreien Kontakt der Kontaktwiderstand = 50mΩ .

Bei einer 6V Anlage und einer Scheinwerferleistung von 2 mal 45 Watt, also zusammen 90 Watt, fließt über den Kontakt ein Strom von

$$I = \frac{90W}{6V} = 15A$$

Dieser Strom erzeugt am Kontakt einen Spannungsabfall von $U_K = 0,05 \Omega * 15A = 0,75V$

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Diese 0,75V fehlen am Scheinwerfer, die Leuchtkraft ist entsprechend schwach. Für die schlechte Lichtleistung wird „natürlich“ grundsätzlich die *altmodische* 6V Anlage verantwortlich gemacht. Aufgrund der höheren Ströme ist eine 6V Anlage tatsächlich empfindlicher gegen schlechte Übergangswiderstände und Leitungsverluste, als eine 12V Anlage. Aber sooooo schlecht ist eine richtig installierte und gut gewartete 6V Anlage wirklich nicht.

Die Verlustleistung an der Kontaktfläche beträgt $P_K = 0,75V * 15A = 11,25W$

Die Verlustleistung am Kontakt lässt sich natürlich auch direkt, ohne „Umweg“ über den Strom berechnen.

$$P_K = I^2 * R_k \quad \text{mit} \quad I = \text{Strom der über den Kontakt fließt}$$

Mit den Zahlenwerten aus obigen Beispiel ergibt sich $P_K = 15A^2 * 0,05\Omega = 11,25W$

Die Leistung von 11,25 Watt auf der relativ kleinen Kontaktfläche führt unweigerlich zu einer starken Überhitzung und auf Dauer zur Beschädigung des Materials. Bauteile aus Thermoplast würden schmelzen und könnten Folgeschäden verursachen.

Ausführlichere Informationen, auch über das Messverfahren, und auch ein wenig mehr Rechnerei zu diesem Thema, finden Sie auf Seite 37

Hinweis: Wenn sich der Knopf des Lichtschalters bei eingeschalteten Scheinwerfern spürbar erwärmt, ist dies ein Anzeichen dafür, daß die Kontaktgabe im Schalter nicht mehr ausreichend ist. Man kann sich gut vorstellen, daß es dann im Innern des Schalters deutlich wärmer (heißer) ist, als am Schaltknopf fühlbar. Es besteht dann Handlungsbedarf.

3.6 Reparatur des lockeren Kontaktniet

Die Anschlussklemme KL30-2 ließ sich leicht bewegen, denn der Niet, der die Anschlussklemme mit dem Messingstreifen im Innern des Schalters verbindet, war etwas lose. Es war wirklich nur eine ganz minimale Bewegung möglich, aber selbst das ist bei diesen Arbeitsströmen schon zu viel und nicht zulässig.

Neu vernieten oder den vorhandenen Niet durch Stauchen zu befestigen wäre an dieser Stelle sehr riskant, denn eine mechanische Beanspruchung könnte das Bakelitgehäuse beschädigen. Das wäre irreparabel.

Es blieb also nur die Möglichkeit, die Verbindung zu löten. Hierbei sollte darauf geachtet werden, daß möglichst kein Lötzinn auf die Kontaktflächen des Schalters gelangt. Das lässt sich jedoch leider kaum erreichen.

Vorsicht: In die Gewinde der Schraubklemmen darf auf keinen Fall Lötzinn laufen.

Üblicherweise wird das Lötzinn direkt mit dem LötKolben erhitzt, Nachteil: Dann entsteht an der LötKolbenspitze ein (kleiner) Tropfen, der dann auf die zu lötende Stelle gegeben wird. In diesem Fall ist es besser, wenn das Lötzinn die Hitze indirekt, d.h. von den zu verlötenden Teilen bekommt.

Ich habe daher mit einem (geregelten) LötKolben die Schraubklemmen von außen so lange erhitzt, bis das Messing der Klemme, der innen liegende Niet und der Messingstreifen genügend heiß waren. Das Lötzinn wurde dann direkt auf den Rand des Niet gehalten, ist dort sofort geschmolzen und in den sehr dünnen Spalt zwischen Niet und Messingstreifen gelaufen. Trotzdem ließ sich nicht ganz vermeiden, das ein ganz geringer Teil auch auf die Kontaktfläche gelangt ist.

Entsprechend dünnes Lötzinn mit Flussmittel-Seele erleichtert die Arbeit. Ich verwende normales bleihaltiges Elektronik-Lötzinn mit 1mm oder besser 0,5mm Durchmesser, Zusammensetzung Sn60Pb38Cu2 oder Sn60Pb40.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Wichtig ist, daß die Lötstelle beim Erkalten nicht bewegt wird, sonst entsteht eine „kalte“ Lötstelle und wir müssten nochmal nachlöten. Das Abkühlen dauert eine gute Weile, da die recht großen Metallteile viel Wärme speichern. Etwas Geduld ist also erforderlich.

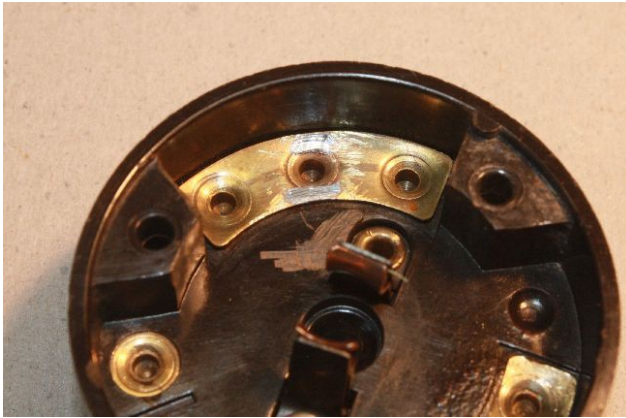


Bild 19: Nietkontakt befestigt (gelötet)

Nach dem Erkalten der Lötstelle muß überflüssiges Lötzinn entfernt werden.

Es darf kein Höcker verbleiben, denn dieser würde die Bewegung der Kontaktbrücke behindern. Eventuell würde der kleine Buckel aus Zinn den „Kontakt“ bilden, was unbedingt zu vermeiden ist, denn die Zinn/Bleiverbindung hat einen höheren spezifischen Widerstand als Messing.

Falls beim Löten etwas Lötzinn auf die Kontaktfläche kommt, muß dies wieder weitestgehend entfernt werden. Die geschieht am einfachsten mit Entlötlitze.



Bild 20: Entlötlitze

Entlötlitze ist ein Geflecht aus sehr dünnen Kupferdrähtchen, die mit einem Flussmittel benetzt sind.

Die Kapillarwirkung dieser Entlötlitze ist so stark, dass flüssiges Lötzinn in die Litze gesaugt wird.

Nach dem Vorgang ist dieses Stück der Entlötlitze verbraucht und wird einfach abgeschnitten.

Auf Bild 21 ist die Anwendung der Entlötlitze an einer Elektronik Baugruppe gezeigt; weil der Vorgang auf der flachen Elektronik Baugruppe besser zu sehen ist, als im engen Gehäuse des Schalters.

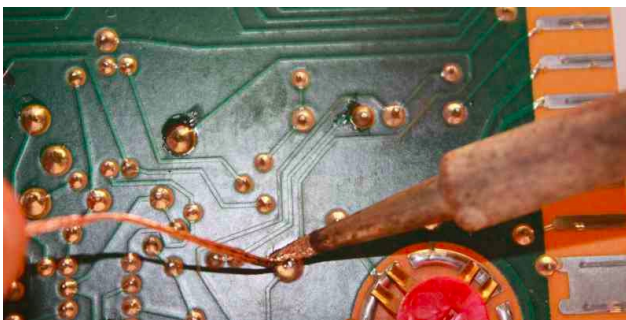


Bild 21: Anwendung der Entlötlitze

Die Anwendung der Entlötlitze ist sehr einfach.

Die Entlötlitze wird einfach auf die Stelle gelegt, wo der Lötzinn abgesaugt werden soll. Darauf kommt die Spitze eines heißen Lötkolbens. Nach kurzer Zeit erhitzt der Lötkolben die Litze und das Lötzinn darunter. Das nun flüssige Lötzinn zieht sich in die Entlötlitze. Der Vorgang ist gut zu beobachten.

Vorsicht: Kupfer ist ein sehr guter Wärmeleiter, die Entlötlitze wird sehr schnell sehr heiß.

Die Methode, Lötzinn mit einer Vakuumpumpe abzusaugen, ist bei Weitem nicht so wirkungsvoll.

Entlötlitze ist bei den meisten Elektronik Fachhändlern erhältlich, z.B. bei Conrad, Pollin, Reichelt, Bürklin.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Nachdem das Lötzinn mit der Entlötlitze weitestgehend entfernt wurde, ist die Fläche schon einigermaßen glatt. Trotzdem muß die Oberfläche noch poliert werden.

Eventuell entstehender Zinnstaub muß restlos aus dem Schaltergehäuse entfernt werden.

Ganz lässt sich das Lötzinn aber nicht mehr entfernen, da es eine Verbindung an der Oberfläche mit dem Messing eingeht. Auch nach dem Polieren verbleibt eine hauchdünne Zinnschicht, diese kann akzeptiert werden.

Ergebnis der Reparatur der Nietverbindung:

Auf Seite 13 habe ich beschrieben, daß die Messwerte der Widerstände zwischen den 3 parallelgeschalteten Klemmen KL30 stark unterschiedliche Werte aufwiesen. Alle Messwerte, bei denen KL30-2 im Messpfad liegt, waren deutlich zu hoch.

Hier nochmal zum Vergleich der Ausgangszustand:

Schaltpfad	Gemessen (*)	Anmerkung
KL30-1 nach KL30-2	0,0747 Ω = 74,7 m Ω	Wert ist viel zu hoch
KL30-1 nach KL30-3	0,0012 Ω = 1,2 m Ω	OK, ist plausibel für eine feste Verbindung
KL30-2 nach KL30-3	0,0746 Ω = 74,6 m Ω	Wert ist viel zu hoch

Nach dem Löten waren die gemessenen Werte deutlich besser:

Schaltpfad	Gemessen (*)	Anmerkung
KL30-1 nach KL30-2	0,0011 Ω = 1,1 m Ω	OK
KL30-1 nach KL30-3	0,0012 Ω = 1,2 m Ω	OK
KL30-2 nach KL30-3	0,0011 Ω = 1,1 m Ω	OK

Wer weiß, in welchen Aggregaten unserer Autos ähnliche Nietverbindungen vorhanden sind, die gerne zum schlechten Ruf von 6V Anlagen beitragen. Ich denke dabei an alle möglichen Lampenfassungen, das Zündschloss, usw..

Bei allen nächsten Reparaturen werde ich nach dieser Erfahrung auf alle Nietverbindungen, die Strom leiten, ganz besonders achten.

3.7 Vorbeugende Maßnahme gegen Beschädigung der Nietverbindungen

Ein prinzipieller Nachteil dieser Konstruktion der aufgenieteten Kabelklemmen ist, dass das Drehmoment beim Anschrauben der Kabel von den Nieten aufgefangen werden muß. Die Nieten können sich bei zu kräftigem Anziehen der Schrauben lösen. Um das in Zukunft zu vermeiden, habe ich die drei Klemmen KL30 mit kleinen, eingelöteten Kupferstücken untereinander verbunden, quasi eine Art *Drehmomentstütze* nachgerüstet.

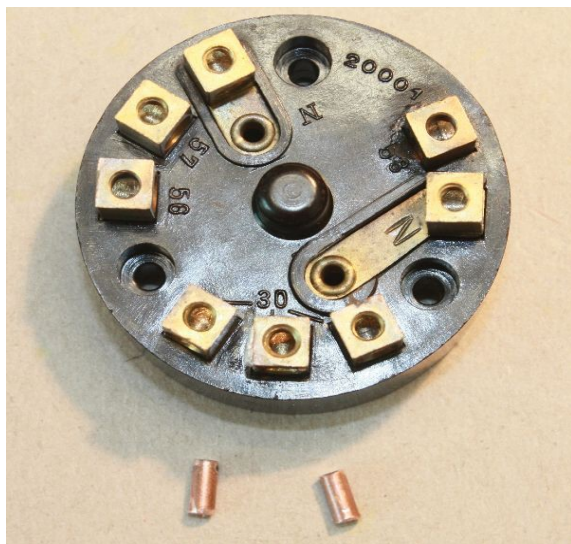


Bild 22: Vorbereitete „Drehmomentstütze“

Kleine runde Kupferstäbchen, aus Installationsdraht geschnitten, die Enden glatt gefeilt und ohne Sägegrat, wurden zwischen die drei Schraubklemmen KL30 gelötet.

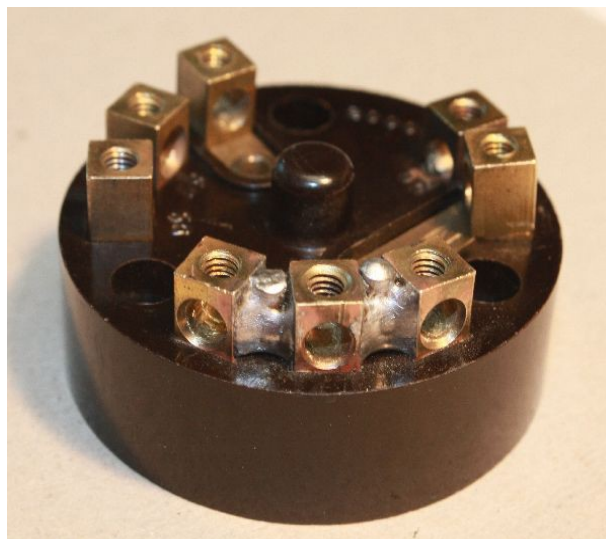


Bild 23: Eingelötete Drehmomentstütze

Die eingelöteten Kupferstäbchen wirken doppelt: Als „Drehmomentstütze“, und außerdem zur besseren Stromverteilung auf die 3 Nietverbindungen.

Im Folgenden habe ich noch weitere Nietstellen, die mir suspekt vorkamen, verlötet. Leider ist dies nicht bei allen Klemmen möglich, so z.B. nicht bei den Einzelklemmen KL56 und KL57. Die Klemme KL58 wiederum lässt sich mittels Löten mit dem Messingstreifen verbinden.

Ebenso wurden die beiden Schraubklemmen N(1) und N(2) des Zugschalters mit den Messingstreifen verlötet.

Problematisch sind auch die beiden Nieten, mit denen die Stahlfedern und Kupferbügel des Zugschalters mit den Messingstreifen verbunden sind. Die Stahlfedern werden beim Betätigen des Zugschalters jedes mal leicht verbogen. Die Biegekräfte wirken sich bis in den Niet aus und können diesen mit der Zeit lockern. Vor dem Löten mußten die Stahlfedern im Bereich um die Nieten mit einer Nadel etwas blank geschabt werden. An diesen Stellen mußte bei Löten auch mit etwas Lötflot nachgeholfen werden. Normalerweise sollte Lötflot auch bei solchen Lötstellen nicht benutzt werden. Im Elektronikbereich ist Lötflot sowieso nicht zulässig, da es säurehaltig ist. Die Säure des Lötflottes greift elektronische Bauteile an. Elektronik Lötflot enthält bereits einen säurefreien Flußmittelanteil.

Hier ging es aber nicht anders. Wichtig ist, daß die Reste des Lötflottes nach dem Lötvorgang abgewaschen werden. Heißes Wasser mit Spülmittel, Aceton, Benzin und ein dünner Pinsel mit kräftigen Borsten helfen dabei.

Messungen vor und nach dem Löten bestätigten, daß auch diese beiden Nieten lose waren. Nach dem Löten waren die Übergangswiderstände deutlich geringer.

3.8 Sanieren der Schraubklemmen

Auch die Schraubklemmen waren in innen, in den Kabeleinführungen ziemlich vergammelt und mussten mit einer dünnen Messingbürste poliert werden. An diesen Stellen bilden sich im Laufe der Jahre Korrosionsprodukte, die zu erhöhten Übergangswiderständen führen. Die Metallflächen müssen vollkommen sauber sein, dürfen nicht oxidiert oder verschmutzt sein, sonst ist keine sichere Kabelverbindung möglich.

3.9 Federn

Der erforderliche Kontaktdruck und die Rastfunktion wird mittels der drei kleinen Federn erzeugt. Eine dieser Federn war beschädigt, stark zusammengedrückt und deutlich kürzer, als die beiden anderen. Die beschädigte Feder konnte durch vorsichtiges Auseinanderziehen wieder auf Soll-Länge gebracht werden.

Mangelhafter Kontaktdruck durch erlahmte Federn führen zu erhöhten Übergangswiderständen oder sogar zu Wackelkontakten, selbst wenn die Kontaktflächen einwandfrei sind. Dadurch werden die Kontakte thermisch überlastet und nehmen auf Dauer Schaden.

Um gleichmäßigen Kontaktdruck auf allen Kontaktflächen zu haben, müssen alle Federn möglichst gleiche Werte haben. Überschlüssig habe ich hierzu nur die Länge ausgemessen.

Das Messverfahren ist hier im folgenden Beispiel an drei größeren Federn dargestellt, weil fotografisch besser darstellbar, als mit den zierlichen kleinen Originalfedern.

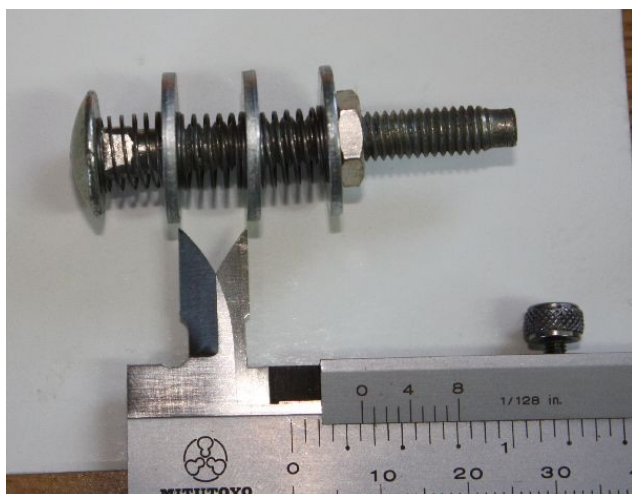


Bild 24: Federn ausmessen

Alle Federn werden auf eine dünne Schraube aufgefädelt, jeweils zwischen jeder Feder eine Scheibe. Die Scheiben zwischen den einzelnen Federn verhindern, daß sich die Windungen der Federn ineinander verschlingen. Alle Teile vorher wurden leicht eingefettet.

Alle Teile müssen sich auf der Schraube frei bewegen können und dürfen sich nicht verhaken.

Die „Serienschaltung“ dieser Federn wurde dann mit einer Mutter zusammengedrückt und alle Teile nochmal leicht bewegt, sodass sich die Druckkräfte gleichmäßig verteilen und die Teile nicht an den Gewindengängen der Schraube verhaken.

Alle drei Federn müssen sich gleichmäßig zusammendrücken, auch bei verschieden starkem Anziehen der Mutter. Die Länge der einzelnen Federn muß immer identisch sein - das war sie auch; Glück gehabt. (*)

Hintergrund dieser Messmethode ist das für Federn im elastischen Bereich geltende Hooke'sche Gesetz.

Das Hooke'sche Gesetz beschreibt die elastische Verformung von Festkörpern, z.B. Federn im elastischen Bereich. Die Längenänderung ist dann linear proportional zur Kraft, die auf die Feder wirkt. Im elastischen Bereich ist die Verformung reversibel, sobald die wirkende Kraft verschwindet.

Wird eine Feder jedoch zu stark belastet (gezogen oder gedrückt), gilt das Hooke'sche Gesetz nicht mehr, der elastische Bereich wird verlassen und im plastischen Bereich kommt es zu einer bleibenden Verformung.

Somit konnten alle Federn weiterverwendet werden. Nicht vergessen, vor dem Einbau die Federn wieder von Öl und Fett zu reinigen, damit nichts davon auf die Kontaktflächen gelangt.

(*) Bezüglich des werkstoff-richtigen Nachbiegens und evt. Nachbehandlung um die Federspannung wieder herzustellen, z.B. Glühen, Abschrecken usw. kenne ich mich nicht aus. Diesbezüglich bin ich kein Fachmann. Vielleicht ist jedoch im Forum jemand, der uns hierzu einen Tipp geben kann.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

4 Zusammenbau

Auf die Kontaktflächen wurde hauchdünn ein gutes Kontaktpflegemittel aufgetragen. Am besten ist das, leider seit Jahren nicht mehr erhältliche, Siemens Wählerfett. Weiße Vaseline ist auch OK. Auf keinen Fall darf „normales“ Schmierfett, Graphit oder Mehrzweckfett zum Schmieren von elektrischen Kontakten verwendet werden. Kontaktspray ohne leichte Schmierwirkung ist an dieser Stelle nicht optimal, da bei diesen Kontakten eine leichte Schmierwirkung erwünscht ist.

Prinzipiell soll jedes Kontaktpflegemittel säurefrei sein. Weitere Informationen zu Kontaktpflegemitteln, siehe Kapitel 5.1.2, Seite 22.

Den kleinen Stift am Ende der Bestätigungsachse ebenfalls leicht schmieren, wegen der Nähe zu den Schaltkontakten nicht mit Fett, sondern z.B. ebenfalls mit Vaseline.

Die Oberfläche des drehbaren Mitnehmers aus Bakelit und die Innenseite der Metallplatte werden dünn mit Fett geschmiert, denn diese Flächen reiben direkt aufeinander. Hier ist normales Fett ok, denn diese Schmierstelle ist weit genug von den Kontakten entfernt.

Beim Zusammensetzen der Teile darauf achten, daß die 3 Federn genau in den jeweiligen Vertiefungen des Mitnehmers einerseits und in den Mulden der 3-armigen Kontaktbrücke liegen und nicht verkanten.

Dann alle Gehäuseteile zusammendrücken, zum Beispiel mit einer kleinen Zwinge und mit den 3 Schrauben, Federringen und Muttern montieren. Die Schrauben von der Metallplatte her einschieben und auf der Innenseite verschrauben. Nicht anknallen, sonst kann das Bakelit brechen. Anstelle der Federringe kann auch Loctide Schraubensicherung verwendet werden.

Gemessene Übergangswiderstände nach der Reparatur

Schaltpfad	Gemessen		Anmerkung
KL30 nach KL56	0,0061 Ω	6,1 m Ω	OK
KL30 nach KL57	0,0067 Ω	6,7 m Ω	OK
KL30 nach KL58, Stellung 2	0,0046 Ω	4,6 m Ω	OK
KL30 nach KL58, Stellung 3	0,0048 Ω	4,8 m Ω	OK
N nach N (*)	0,0089 Ω	8,9 m Ω	OK



Bild 25: Endmontage



Bild 26: Endmontage



Bild 27: Draufsicht. Fertig



Bild 28: Anschlußseite. Fertig

Noch ein kleiner Hinweis zur Endprüfung: Beim Durchschalten der Schaltstellungen müssen die Messwerte jeweils stimmig sein, d.h. es dürfen keine größeren Abweichungen auftreten. Falls größere Abweichungen auftreten, oder gar unsichere Kontaktgabe, Wackler, usw. muss deren Ursache gesucht werden. Es könnten die Federn sein.

5 Schaltkontakte, Eigenschaften und Pflege

5.1 Kontakte, Kontaktoberflächen

Für eine gute Kontaktgabe, also ein möglichst geringer Übergangswiderstand, ist eine möglichst satte und großflächige Berührung der beiden Kontaktflächen erforderlich.

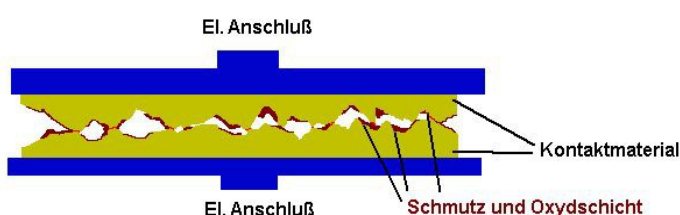


Bild 29: Kontaktoberflächen „Berg-und-Tal“

Metalle haben materialbedingt leider keine ideal glatte Oberfläche, selbst wenn dies mit bloßem Auge so aussieht. Ein Mikroskop zeigt auch bei den schönsten, spiegelglatten Kontaktflächen eine wahre Berg und Tal Landschaft.

Der Strom fließt bei geschlossenem Kontakt nur über die wirksamen Kontaktflächen, an denen die beiden Kontakte eine metallische Verbindung haben (Berge). Die freien Stellen (Täler) wirken als Isolator, ebenso wie Schmutz oder eine Oxidschicht.

Tatsächlich beträgt die wirksame Kontaktfläche auch bei guten und neuen Kontakten nur wenige Prozent der scheinbaren Kontaktfläche.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Ein ausreichend hoher Kontaktdruck bringt zwar eine leichte Verbesserung, da durch den Druck die „Berge“ ein wenig zusammen gedrückt werden, aber dieser Effekt ist extrem gering. Die Strombelastung der wirksamen Kontaktflächen kann diese winzigen Kontaktpunkte stark überlasten, es kommt zum Verzundern durch Schmelzeffekte. Lichtbogenbildung beim Öffnen der Kontakte verstärken diesen Überlastungseffekt. Die Zunder sind als Oxidationsprodukte sehr schlechte Leiter. Zusätzlich lagert sich Abrieb als ebenfalls schlechter Leiter auf den Kontaktflächen ab. All dies führt mit der Zeit zu immer größerem Übergangswiderstand, der Kontakt verschleißt.

Ein sehr hoher Kontaktdruck kann zwar vorübergehend eine Verbesserung bringen, da Schmutz und Oxidschichten eher durchstoßen werden, aber mit zunehmendem Kontaktdruck erhöht sich der Materialverschleiß.

Kontakte, die beim Betätigen aufeinander gleiten, haben eine Selbstreinigungswirkung, Beispiel hierfür ist dieser Schalter. Kontakte, die sich beim Betätigen lediglich berühren, haben diese Selbstreinigungswirkung nicht, ein Beispiel hierfür ist der Unterbrecherkontakt der Spulenzündung.

5.1.1 Kontakte reinigen

Alle Kontakte, mit Ausnahme von Reed-Kontakten neigen dazu, nach längerem Betrieb zu verschmutzen, wie im Abschnitt Seite 21 beschrieben.

Bei Reed-Kontakten sind die Kontaktflächen unter Schutzgas gehalten, Oxidationsprozesse finden daher nicht statt. Aber auch Reed-Kontakte sind nicht überlastungssicher.

Verschmutzte Kontakte funktionieren nicht mehr sicher und müssen gewartet, gereinigt werden.

Dabei ist einiges zu beachten:

Wenn Kontakte mit ungeeigneten Werkzeugen „gereinigt“ werden, wird die Oberfläche noch stärker aufgeraut. Daher niemals Kontakte mit (grobem) Schleifpapier, Feilen oder gar einer Stahlbürste säubern. Vermeiden Sie auch Stahlwolle, die winzigen Stahlfasern verstecken sich bei der Anwendung überall und sind dann mitunter schwer zu entfernen. Die Stahlfasern leiten Strom, das kann zu Kurzschlüssen führen.

Ich verwende zum Polieren eine feindrähtige rotierende Messingbürste, eingespannt zum Beispiel in einen Akkuschauber. Falls sich Messingdrähtchen lösen, sind diese in der Regel recht gut sichtbar und können leicht entfernt werden. Beim Polieren gefühlvoll vorgehen und nur minimalen Druck ausüben, denn wir wollen kein Material abtragen, sondern nur die Oberfläche blank und glatt machen.

5.1.2 Kontaktoberflächen schmieren, oder nicht?

Welchen Sinn macht es, Kontakte zu schmieren, da Schmierstoffe im allgemeinen schlechte Leiter sind?

Hierzu erstmal ein wichtiger Hinweis:

Bitte niemals normales Schmierfett, Graphit, Molybdän-Disulfid- oder kupferhaltige Schmiermittel verwenden.

Es gibt spezielle Kontakt-Schmierstoffe, die für diesen Einsatz entwickelt wurden.

- Schmierstoffe vermindern Verunreinigungen der Kontaktoberfläche durch Umgebungsluft und aggressive Gase und behindern dadurch die Oxidation der Metalloberflächen.
- Die Reibung der Oberflächen beim Öffnen und Schließen wird vermindert, was zu weniger Abrieb führt.
- Die Bildung von Mikro-Funkenstrecken wird durch den Schmierstofffilm behindert.

Die isolierende Wirkung des Schmierstoffes wird durch den Kontaktdruck vermieden, da der Schmierstoff an den Berührungspunkten verdrängt wird.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Durch den viskosen Fließeffekt verschleißt das Schmiermittel nach dem Öffnen des Kontaktes die Berührungspunkte wieder. Dieser Effekt lässt jedoch im Laufe der Zeit langsam nach. Außerdem zersetzt sich das Schmiermittel mit der Zeit, z.B. durch Funkenbildung, Temperatur, usw.. Der Kontakt müsste nun eigentlich gereinigt und neu geschmiert werden. Dies wird z.B. bei mechanischen Fahrschaltern von elektrischen Lokomotiven, historischen Straßenbahnen und in industriellen Schaltanlagen im Rahmen von Wartungszyklen durchgeführt, was zur deutlichen Verlängerung der Lebenszeit der Kontakte führt.

Aber wer öffnet und wartet (reinigt und schmiert) regelmäßig einen Lichtschalter im Auto ??? Ich nicht ;-)

Als die Bundespost noch elektromechanische Vermittlungseinrichtungen (Motor-Heb-Drehwähler) in Betrieb hatte, gab es das Wundermittel "Siemens Wählerfett" zur Pflege der zig-tausend Kontakte in den Vermittlungen. Dieses Pflegemittel ist seit langer Zeit leider nicht mehr erhältlich.

Zur Not kann weiße Vaseline verwendet werden, denn dieses Mittel ist säurefrei.

Stichwort „Säurefrei“: Es gab vor ein paar Jahren ein Kontaktspray, daß recht säurehaltig war. Wieviele Kontakte in elektrischen und elektronischen Geräten wurden durch dieses Mittel zwar anfangs schön sauber, dann aber mit der Zeit stark zerfressen. Ich rede aus Erfahrung, denn ein sehr gutes Tonbandgerät wurde vor Jahren leider ein Opfer dieses Mittels.

Inzwischen wurde die Rezeptur des Mittels geändert – trotzdem verwende ich es nicht mehr.

Säurehaltige Mittel haben natürlich den Vorteil, Schmutz rigoros zu lösen und abzuspolen. Bei sehr stark verschmutzten Kontakten kann dies eine gute Hilfe sein. Meine Empfehlung ist, nach einer „Säurebehandlung“ den kompletten Schalter intensiv zu spülen. Ich verwende dazu ganz normalen Bremsenreiniger. Zum Spülen eignet sich aber oft auch warmes Wasser und eine anschließende Trocknung mit warmer (nicht heißer!) Luft. Nach dem Trocknen kommt dann ein spezielles Kontakt-Schmiermittel zum Einsatz.

Sehr gute Erfahrung habe ich mit TESLANOL „Kontakt- und Tuner Spray, OSZILLIN“ gemacht. Dabei bitte beachten, daß der Schalter unmittelbar nach dem Einsprühen etwas schwergängig sein kann. Das gibt sich aber nach einiger Zeit wieder.

5.1.3 Besonderheit: Unterbrecherkontakte der Spulenzündung – nicht schmieren!

Wenn das Schmieren von Kontakten offensichtlich nur Vorteile bringt, warum dürfen Unterbrecherkontakte der Spulenzündanlage trotzdem nicht geschmiert werden?

Bei Spulenzündanlagen wird gemäß dem Induktionsgesetz auch auf der Primärseite der Zündspule beim Öffnen des Unterbrecherkontaktes eine hohe Spannung von mehreren 100V induziert. Der dem Unterbrecherkontakt parallelgeschaltete Kondensator hat in erster Linie die Aufgabe, den sogenannten „Öffnungsfunken“ am Kontakt zu löschen. Das funktioniert auch recht gut, aber leider nicht perfekt. Zum vollständigen Vermeiden dieses Öffnungsfunken müsste der Kondensator eine viel größere Kapazität haben. Die Folge wäre aber, dass die Zündanlage keine Zündfunken mehr liefern würde, denn die Zeitkonstante aus Spuleninduktivität und Kapazität des Kondensators wäre bei der notwendigen, schnellen Impulsfolge der Zündung zu groß, um eine ausreichende „Aufladung“ des Magnetfeldes in der Zündspule zu ermöglichen. Es verbleibt also ein nicht vermeidbarer, wenn auch geringer Öffnungsfunke, der mit hoher Wiederholrate auftritt. Dieser Öffnungsfunke würde schon nach kurzer Zeit jeden Schmierfilm verbrennen. Das Oxidationsprodukt würde die Kontaktflächen isolieren. Da Unterbrecherkontakte keine Gleitbewegung gegeneinander ausführen, findet keine Selbstreinigung statt.

5.2 Schalter schonen mit Relais

Viele Schalter für Oldtimer sind inzwischen rar geworden und es werden mitunter sehr stolze Preise für gut erhaltene Schalter verlangt. Es liegt daher der Gedanke nahe, ob es sinnvoll und möglich ist, Schalter zu schonen, indem der Laststrom über Relais geschaltet wird und nur der geringe Steuerstrom für das Relais über den Schalter geführt wird.

Möglich ist das auf jeden Fall.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Ob es sinnvoll ist, sollte jeder für sich selbst entscheiden. Eine Schaltungsänderung auf Relaisbetrieb stellt auf jeden Fall einen nicht unerheblichen Eingriff in die Schaltung, somit eine Veränderung des Originalzustands des Oldtimers dar. Ein gut erhaltener, gut reparierter oder neuer Schalter wird mit Sicherheit noch viele Jahre seine Arbeit tun, vor allem bei den relativ geringen jährlichen Laufleistungen unserer Oldtimer. Ich persönlich sehe daher wenig Sinn in einer Umrüstung auf Relaisbetrieb.

Eine Ausnahme ist der Stromkreis für die Hupe(n)

Der Schaltkontakt im Lenkrad wird bei 6V sehr hoch belastet. Außerdem ist dieser Schalter ein Spezialschalter, also nicht durch irgendein Standardbauteil, daß man beim „Elektro-Händler um die Ecke“ für kleines Geld kaufen kann, zu ersetzen. Der Schaltkontakt im Lenkrad des 170 ist recht empfindlich gegen Strom- und Spannungsspitzen, die in einem Stromkreis mit Induktivitäten und Unterbrecherkontakten, wie dies jede normale (Anschlag-) Hupe darstellt, stark auftreten. Gleiches trifft auch für den Hupkontakt im VW-Käfer zu.

Zwar sind nahezu alle Hupen dieser Bauart mit einer Kurzschlußwindung oder einen Schutzkondensator ausgerüstet, um Spannungsspitzen kurz zu schließen oder zu vermindern, aber diese Schutzmaßnahmen sind auf die Dauer nicht ausreichend. Vor allem, wenn man wie einige 170er und 220er Fahrer zwei Hupen eingebaut hat, ist die Belastung des Schalters sehr groß. Dann ist ein Relais für den Laststromkreis der Hupen sinnvoll, da dieses den Kontakt im Lenkrad optimal schont.

Im Notfall, wenn kein gut erhaltener Lichtschalter (Neu oder wirklich gut repariert) zu finden ist, oder wenn man nicht bereit ist, einen hohen Preis zu zahlen, ist die Relaislösung eine gute und preisgünstige Alternative. Voraussetzung ist allerdings, dass der vorhandene Schalter nicht vollkommen defekt ist, sondern noch in der Lage ist, die Steuerströme der Relais zu schalten. Da die Steuerströme der Relais sehr gering sind im Vergleich zu den hohen Lastströmen z.B. von Scheinwerferglühlampen, sind auch Schalter mit mäßig verschmutzten Kontakten normalerweise noch in der Lage, Relais anzusteuern. Voraussetzung ist aber, daß der Schalter keinen Wackelkontakt hat und das im Innern keine Teile zerbrochen oder verkohlt sind.

Bei solchen Änderungen im Fahrzeug ist sauberes Arbeiten Pflicht. Die zusätzlichen Relais müssen sicher und stabil befestigt werden. Am besten werden an einer zentralen Stelle alle Relais nebeneinander montiert. Für die Hauptscheinwerfer werden nur zwei Relais benötigt, für Nebellampen oder Zusatzscheinwerfer ein weiteres Relais.

Bastelmäßige „künstlerisch wertvolle“ Freiluft Verdrahtungen, sowie ungeeignete, zu dünne Kabel, schlechte Isolationen, usw. sollten im Sinne der Betriebssicherheit auf jeden Fall vermieden werden. erinnern wir uns daran, daß die Zuleitung von der Batterie zur Klemme KL30 nicht abgesichert ist. Ein Kurzschluss würde unweigerlich zu einem Kabelbrand führen.

Natürlich sollten (müssen) alle Änderungen ausführlich und präzise dokumentiert werden.

Wenn der Umbau gut geplant und fachgerecht ausgeführt wird, ist ein späterer Rückbau auf den Originalzustand leicht möglich, das technische Kulturgut Oldtimer bleibt also erhalten.

6 Sicherheitshinweise für die Elektroinstallation im KFZ

6.1 Verbindungen, Klemmen, Stecker, Kabel und Leitungen

Nicht nur, um die zur Verfügung stehende Spannung von z.B. 6V möglichst vollständig und ohne Verluste bis zum Verbraucher (z.B. Scheinwerfer) zu bringen, dürfen im gesamten Stromkreis keine unzulässig hohen Verluste durch zu hohe Übergangs- und Leitungswiderstände vorliegen. Mindestens ebenso wichtig ist dies aus Brandschutzgründen.

In der Haus-Installationstechnik gelten diesbezüglich entsprechende Vorschriften und Regeln, die zum Ausbildungsumfang eines Elektrikers gehören. Und dies mit Recht, denn fehlerhafte Elektroinstallationen sind für so manches Feuer verantwortlich. Oft wird bei Bränden als auslösendes Ereignis von „Kurzschluss“ gesprochen. Mindestens ebenso häufig ist jedoch Hitzeentwicklung durch Überlastung von zu schwach ausgelegten Leitungen, schlechten Kontakten oder unfachmännisch ausgeführten Verbindungsstellen die Ursache. Oft erfahre ich in Gesprächen, daß diese Aspekte kaum bekannt sind. Daher will ich hier etwas näher auf dieses Thema eingehen.

Was für Hausinstallationen gilt, ist ebenso für KFZ gültig. Wir haben im KFZ Bereich zwar deutlich niedrigere Spannungen im Vergleich zur Haus-Installation, aber oft hohe Stromwerte. Entsprechend sind unzulässige Übergangswiderstände und Leitungswiderstände auch in Stromkreisen mit 6V oder 12V sicherheitsrelevant.

An Übergangs- und Leitungswiderständen entsteht eine Fehlerleistung P_F , die sich berechnet zu $P_F = I^2 * R_U$, wobei I der im Stromkreis fließende Strom und R_U der Übergangswiderstand, bzw. bei einer Leitung der Leitungswiderstand ist. Diese Fehlerleistung wird direkt an der Übergangsstelle, bzw. in der Leitung in Wärme und Hitze umgesetzt. Diese Hitzeentwicklung kann schnell so stark werden, daß Bauteile, zum Beispiel die Kabelisolation überhitzt wird und es zum Schwelbrand und schließlich zum richtigen Schadensfeuer kommt.

Merke: Nicht nur „satte“ Kurzschlüsse und schlechte, spröde Isolationen können Brände auslösen, sondern auch zu hohe Übergangs- und Leitungswiderstände!

Ein nicht seltener Fehler bei Installationen ist, wenn die Isolation einer Leitung unvollständig entfernt wird und die Leitung in eine Schraubklemme oder eine Crimp-Verbindung eingesetzt wird. Dabei wird ein Teil der verbliebenen Isolation mit eingequetscht und verhindert eine ausreichend großflächige leitende Verbindung. Zudem „kriechen“ die Isolationsreste unter dem Druck der Klemmschraube oder der Crimp-Hülse und der Druck auf die Verbindungsstelle lässt nach, was den Übergangswiderstand noch weiter erhöht.

Leitungsenden müssen daher komplett abisoliert werden, korrodierte Kabelenden älterer Kabel sind blank zu schaben. Schraubklemmen sind ebenfalls im Innern metallisch blank zu machen. Crimp-Steckverbindungen (KFZ-Flachstecker) müssen einwandfrei blank sein, nicht nur im Bereich der Stecker, sondern vor dem Crimpen auch in der Crimp-Hülse. Überlagerte „neue“, aber korrodierte KFZ-Stecker besser wegwerfen und neue kaufen, es sind Pfennig, sorry (– *wishfull thinking* –) Cent-Artikel.

Besonders hinterhältig ist, daß auch eine schlechte Verbindung anfangs oft noch gute Werte, geringe Spannungsabfälle liefert. „Die Verbindung ist OK, der Strom fließt und die Lampe leuchtet“, so das augenscheinliche Ergebnis. Also muß ja alles in Ordnung sein. Aber der hinterhältige Fehler z.B. einer schlecht entfernten Isolation in einer Schraubklemme wartet nur darauf, im Laufe der Zeit *aktiv* zu werden.

Eine verborgene fehlerhafte Verbindung kann sich in Ruhe erhitzen. Die Folge sind Schmorstellen und im schlimmsten Fall ein Brand. Vom lokal begrenzten Kabelbrand, bis zu einem „richtigen“ Schadensfeuer ist es nicht weit.

Wenn erst mal ein offenes Feuer entstanden ist, ist oft keine Hilfe greifbar. Die logischen Schritte wären: Anhalten, Strom ausschalten – bzw. Batterie abklemmen und dann löschen (falls ein Feuerlöscher zur Hand ist). Reicht dafür die Zeit? Das Ergebnis vieler hundert Stunden Restauration wird vernichtet wegen einem ganz kleinen Stückchen Kabel, das nicht ordnungsgemäß angeschlossen wurde.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Auch alle anderen elektrischen Anschlüsse und Verbindungsteile, wie z.B. Sicherungen, Sicherungshalter, Steck- oder Schraubanschlüsse der Lichtmaschine, Regler, Anlasser, aller stärkeren Leuchtmittel (Scheinwerfer) müssen einwandfrei blanke Oberflächen haben. Das Zündschloss nicht vergessen.

Nach jeder Installation sollte sicherheitshalber die am Verbraucher anliegende Spannung gemessen werden, natürlich unter Last.

Messen im Leerlauf bringt nichts. „... *WoW! Ich messe 6,2V am Scheinwerfer, also ist alles OK...*“. Aber die Scheinwerferbirne war noch abgezogen, diese Messung war also vollkommen sinnlos; die Gründe hierfür sind nach dem Lesen dieser Texte klar.

Im Haus schützt (oft) ein Rauchmelder. Aber im Auto????

Vor einem Schmorbrand aufgrund schlechter Verbindungen schützt übrigens auch eine (Schmelz-) Sicherung nicht, denn Sicherungen sprechen auf zu hohen Strom oder Kurzschluss an. Ein zu hoher Strom liegt bei einem Schmorbrand aber nicht vor, im Gegenteil!
Sicherungen erkennen keine fehlerhaften Kontaktstellen oder zu dünne Kabel.

Über das Thema Absicherung von Stromkreisen im KFZ habe ich vor ein paar Jahren einen ausführlichen Bericht ins Forum gestellt. Daher erspare ich mir an dieser Stelle die Wiederholung und verweise auf den Bericht: „Stromkreisabsicherung_im_KFZ_Ein_kleines_Kompodium“

6.2 Verzinnen von Kabelenden und Crimp-Verbindungen?

Oft wird in gemütlicher Runde heftig diskutiert, ob es sinnvoll oder schädlich ist, gecrimpte Verbindungen zusätzlich zu verzinnen oder bei Schraubklemmen die Kabelenden zu verzinnen.

Lötzinn ist weicher als Kupfer, Eisen, Alu und Messing. Zinn „wandert“ im Laufe der Zeit, mit der Folge, daß die Verbindung sich allmählich lockert. Die Verbindungsstelle wird langsam hochohmiger, was bei Stromfluss zur Erwärmung führt. Diese Erwärmung fördert das Lösen der Kontaktstelle – ein Teufelskreis an dessen Ende nicht selten die übermäßige Erhitzung der Kontaktstelle steht – immer das gleiche Problem mit verschiedenen Ursachen.

Wenn Verzinnen, dann richtig. Aber Litzenenden NIE verzinnen!

Schraub- und Klemmverbindungen	Vom Verzinnen der Kabelenden ist grundsätzlich abzuraten. Im Laufe der Zeit wandert das Zinn. Da die Schraubklemme jedoch nicht federnd ist, löst sich unweigerlich die Schraubverbindung. Um bei Litzen eine dauerhaft sichere Verbindung zu gewährleisten, sind Kabel-Endhülsen zu verwenden. Diese kosten wirklich nicht viel und die Verwendung ist sehr einfach.
--------------------------------	---

Crimp-Verbindungen (z.B. bei KFZ-Flachsteckern)	Ein häufiger Fehler beim Konfektionieren von Crimp-Verbindungen ist, wenn die Kabelenden (Litzen) VOR dem Crimpen verzinnt werden. Das provoziert den gleichen Effekt, wie vorhin bei den Schraubverbindungen beschrieben. Durch das Wandern des Zinns lockert sich in der Crimp-Verbindung die Klemmung.
---	---

Gegen Verzinnen NACH dem Crimpen ist nichts einzuwenden, auch wenn hiervon ebenfalls zuweilen abgeraten wird. Eine stabile Crimp-Stelle sorgt für eine dauerhafte feste Verbindung.

Zusätzliches Lötzinn dringt durch die Kapillarwirkung zwischen die einzelnen eingeklemmten Litzendrättchen und verschließt die Zwischenräume gegen Umwelteinflüsse, was die Korrosionsgefahr verringert.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

7 Anhang: Elektrotechnik: Einfache Formeln, Schaltungen, Anwendungen, Messverfahren

In diesem Abschnitt werden wir ein wenig mit Grundlagen und Grundsaltungen der E-Technik und den zugehörigen Formeln „spielen“.

Elektrotechnik ist kein Hexenwerk und die im Folgenden geschriebenen Zusammenhänge sind einfach. Konkrete Anwendungsfälle gibt es im KFZ reichlich, ein Beispiel von vielen ist die Dimensionierung von Vorwiderständen für 6V Winker in einer 12V Anlage.

7.1 Zusammenstellung der wichtigsten elektrotechnischen Größen

Im Internationalen Maßsystem (SI-System, Systeme International d'unités) sind die folgenden Festlegungen vereinbart.

Größen, Einheiten und Formelzeichen

Größe	Formelzeichen	Einheit	
Spannung	U	Volt	V
Strom	I	Ampere	A
Widerstand	R	Ohm	Ω
Leistung	P	Watt	W

Hier eine kleine Merkhilfe zum Einprägen der Begriffe:

Wer kennt noch die deutsche Krautrockband *Guru-Guru* (gegr. 1968)?

Im Stück: „Der Elektrolurch (Was macht Ihr eigentlich, wenn Ihr einmal älter seid?)“ heißt es:

Gestatten, ich bin der Elektrolurch.

Ich wohne in der Lüsterklemme neben dem Hauptzähler.

Ich Sorge für Euren Saft.

Volt Watt Ampere Ohm – ohne mich gibt's keinen Strom.

7.1.1 Zusammenstellung der wichtigsten Formeln, das Ohm'sche Gesetz

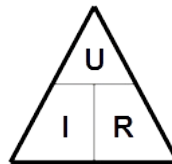
Die für unsere konkrete Anwendung wichtigste Formel ist zweifelsohne das Ohm'sche Gesetz. Es besagt, daß ein Strom I , der über einen Widerstand R fließt, an diesem eine Spannung von U erzeugt.

$$U = I * R \quad \text{die Umstellung der Formel ergibt} \quad I = \frac{U}{R} \quad R = \frac{U}{I}$$

In Zahlenwerten mit Einheiten

$$1V = 1A * 1\Omega \quad \text{die Umstellung der Formel ergibt} \quad 1A = \frac{1V}{1\Omega} \quad 1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

Anschaulich und gut zu merken ist diese Darstellung



Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

7.1.2 Die elektrische Leistung

Eine weitere wichtige Formel ist der Zusammenhang zwischen Leistung, Spannung und Strom.

Es gilt

$$P = I * U \quad \text{die Umstellung der Formel ergibt} \quad I = \frac{P}{U} \quad U = \frac{P}{I}$$

In Zahlenwerten mit Einheiten

$$1\text{W} = 1\text{A} * 1\text{V} \quad \text{die Umstellung der Formel ergibt} \quad 1\text{A} = \frac{1\text{W}}{1\text{V}} \quad 1\text{V} = \frac{1\text{W}}{1\text{A}}$$

Durch Einsetzen der Formeln des Ohm'schen Gesetzes ergeben sich folgende Zusammenhänge

$$P = \frac{U^2}{R} \quad U = \sqrt{P * R} \quad R = \frac{U^2}{P}$$
$$P = I^2 * R \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad R = \frac{P}{I^2}$$

7.1.3 „Leitwert“ - Was ist das?

In manchen Veröffentlichungen wird der Begriff *Leitwert* verwendet. Aber was ist ein Leitwert? Eine Art Widerstand?

Die Erklärung ist einfach, der Leitwert ist der reziproke Wert der Widerstands. Es gilt

$$Y = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad \text{in Zahlenwerten mit Einheiten} \quad 1\text{S} = \frac{1}{1\Omega} = \frac{1\text{A}}{1\text{V}}$$

Größe	Formelzeichen	Einheit
Leitwert	Y	Siemens S

Im Amerikanischen und Englischen werden mitunter anstelle von „Siemens“ (S) die *heiteren* Begriffe MHO, und als Formelzeichen oft ein auf-dem-Kopf stehendes Ω , also $\overset{\circ}{\Omega}$ verwendet. (Na-ja, wem's gefällt)

Das Rechnen mit Leitwerten vereinfacht zum Beispiel die Berechnung von Parallelschaltungen von Widerständen, siehe Kapitel 7.3, ab Seite 30. Umfangreiche Formeln mit Brüchen lassen sich in Leitwertdarstellung vermeiden.

Die bisher vorgestellten Formeln und Zusammenhänge gelten jedoch nur in Gleichstromkreisen.

Bei Wechselstrom wird es ein klein wenig komplizierter. Da diese Zusammenhänge im KFZ üblicherweise nicht vorkommen, habe ich hierfür ein separates Kapitel geschrieben; für die diejenigen Leser, die sich ein wenig auch über (einfache) Grundlagen der Wechselstromtechnik informieren möchten, siehe Kapitel 7.9, ab Seite 44.

7.2 Die Kirchhoff'schen Gesetze

Oft verwendet, aber vom Namen her bei Nicht-E-Technikern recht unbekannt, sind die Kirchhoff'schen Gesetze.

7.2.1 Erstes Kirchhoff'sches Gesetz (Knotenpunktregel)

Die Summe aller in einen Knotenpunkt hinein- und hinausfließenden Ströme = Null.

Das erste Kirchhoff'sche Gesetz wird an folgendem Beispiel erklärt: In einen Knoten (Verzweigungspunkt) fließt z.B. der Strom I_1 hinein und drei Ströme I_2 , I_3 und I_4 über die über drei Strompfade hinaus. Was hinein fließt muß auch wieder hinaus fließen.

Es gilt allgemein

$$\sum I_i = 0 \quad \text{mit } i = 1 \dots n$$

in anderer Schreibweise $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$

Die Aufstellung der Formel zur Berechnung der Ströme ist sehr einfach, wie an diesem Beispiel erklärt:

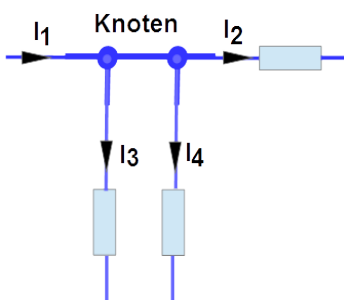


Bild 30: Kirchhoff'sche Knotenpunktregel

Im ersten Schritt zeichnet man den Knotenpunkt mit allen Strompfaden. Ströme die in den Knoten hineinfließen, erhalten ein positives Vorzeichen, Ströme die aus dem Knoten hinaus fließen erhalten ein negatives Vorzeichen.

Im zweiten Schritt werden alle Ströme an dem Knoten entsprechen ihrem Vorzeichen addiert. Die Summe ergibt Null.

Im Beispiel

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

Nach Umstellung der Formel

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

7.2.2 Zweites Kirchhoffsches Gesetz (Maschenregel)

In einem geschlossenem Stromkreis (Masche) ist die Summe aller Spannungen = Null.

Es gilt allgemein

$$\sum U_i = 0 \quad \text{mit } i = 1 \dots n$$

in anderer Schreibweise $U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = 0$

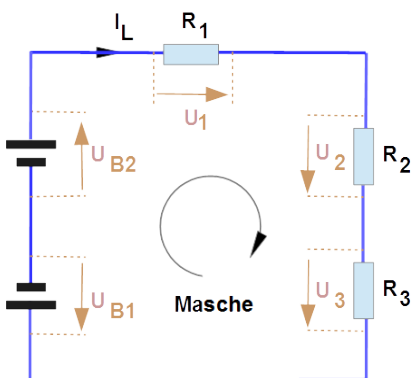


Bild 31: Kirchhoffsche Maschenregel

Die Aufstellung der Formel zur Berechnung ist wieder einfach.

Im ersten Schritt zeichnet man die Masche mit allen Bauteilen und Spannungsquellen. Darin zeichnet man alle Spannungspfeile ein.

Im zweiten Schritt folgt man der eingezeichneten Masche in Pfeilrichtung und addiert jede Spannung auf: Spannungspfeile in Maschenrichtung mit positivem Vorzeichen, Spannungspfeile entgegen der Maschenrichtung mit negativem Vorzeichen.

Die Summe aller Spannungen ist Null.

Im Beispiel

$$-U_{B1} + U_{B2} + U_1 + U_2 + U_3 = 0$$

Nach Umstellung

$$U_{B1} - U_{B2} = U_1 + U_2 + U_3$$

7.3 Serienschaltung (Reihenschaltung) und Parallelschaltung von Widerständen

Auch diese Themen kommen zuweilen bei Arbeiten an Oldtimern vor, denken wir nur mal an einen 6V-Winker, der mit 12V betrieben werden soll, weil das Fahrzeug auf 12V umgerüstet wird und kein 12V Winker zu haben ist. Ein Vorwiderstand kann dann die Lösung sein und schon haben wir eine Serienschaltung von Widerständen, siehe auch Seite 31.

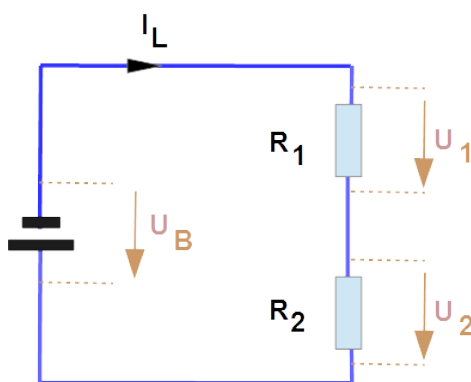


Bild 32: Serienschaltung von Widerständen

Die Spannung U_B teilt sich auf in die beiden Teilspannungen U_1 und U_2 .

Es gilt

$$U_B = U_1 + U_2$$

Die Berechnung einer Serienschaltung ist sehr einfach, der Gesamtwert des Widerstands ist die Summe beider Einzelwiderstände.

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$$

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Ein klein wenig komplizierter ist die Parallelschaltung von Widerständen zu berechnen.

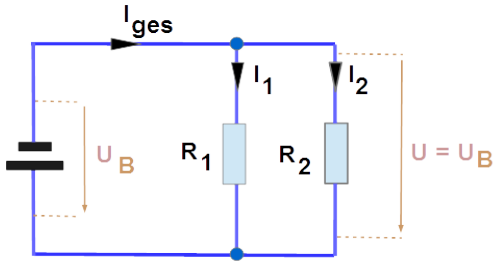


Bild 33: Parallelschaltung von Widerständen

Der Gesamtstrom I_{ges} verteilt sich auf die beiden Pfade der Widerstände R_1 und R_2 .

Es gilt

$$I_{ges} = I_1 + I_2$$

Für den Gesamtwiderstand der Parallelschaltung gilt

$$R_{ges} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Die Darstellung in Leitwerten sieht etwas übersichtlicher aus

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{bzw.} \quad R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

7.3.1 Unbelasteter Spannungsteiler

Eine Anwendung der Serienschaltung von Widerständen ist der Spannungsteiler, es gelten die gleichen Regeln und Formeln.

Die Berechnung ist einfach, denn es werden ausschließlich die ab Seite 27 aufgelisteten Formeln, bzw. deren Umformungen und Einsetzungen verwendet.

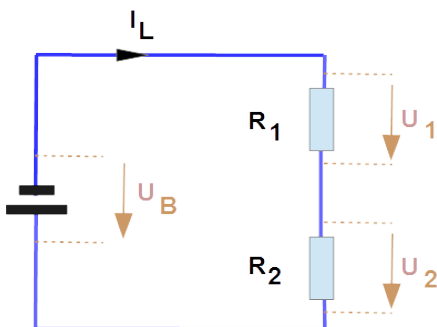


Bild 34: Spannungsteiler

$$\text{Es gilt: } I_L = \frac{U_B}{R_1 + R_2}$$

Für die beiden Teilspannungen U_1 und U_2 gilt

$$U_1 = R_1 * I_L = R_1 * \frac{U_B}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = R_2 * I_L = R_2 * \frac{U_B}{R_1 + R_2}$$

Für das Beispiel Vorwiderstand eines 6V Winkers an einer 12V Anlage wäre R_2 der Winker und R_1 der Vorwiderstand. Der Vorwiderstand wird so berechnet, dass an dem Winker in eingeschaltetem Zustand 6V anliegen. Die Belastbarkeit des Vorwiderstandes kann mit den bisher vorgestellten Formeln berechnet werden. Siehe hierzu Seite 33.

7.3.2 Belasteter Spannungsteiler

Bei einem belasteten Spannungsteiler ist die Berechnung ein klein wenig komplizierter, aber mit den bisher vorgestellten Formeln auch kein Problem.

Ein belasteter Spannungsteiler besteht aus der Serienschaltung der Widerstände R_1 und R_2 , zusätzlich wird der Widerstand R_2 durch einen Verbraucher, dem Widerstand R_L (Lastwiderstand) belastet.

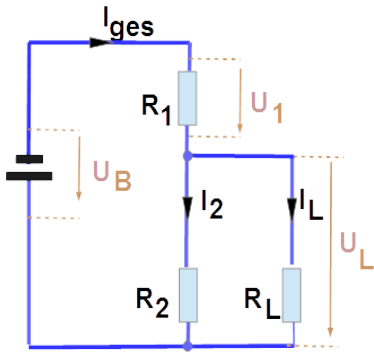


Bild 35: Belasteter Spannungsteiler

Die Schaltung besteht somit aus der Kombination von Parallelschaltung und Reihenschaltung.

Der Strom I_{ges} teilt sich am Knotenpunkt R_1 , R_2 und R_L in die beiden Teilströme I_2 und I_L .

Es gilt
$$I_{ges} = I_2 + I_L$$

und ferner
$$U_B = U_1 + U_L$$

Für die Parallelschaltung von R_2 und R_L gilt

$$R_{2L} = \frac{R_2 * R_L}{R_2 + R_L}$$

Der Strom I_{ges} berechnet sich zu
$$I_{ges} = U_B * \frac{1}{R_1 + R_{2L}}$$

Durch Einsetzen von $R_{2L} = \frac{R_2 * R_L}{R_2 + R_L}$ folgt
$$I_{ges} = U_B * \frac{R_2 + R_L}{R_1 * R_2 + R_1 * R_L + R_2 * R_L}$$

Daraus berechnen sich die Spannung
$$U_1 = R_1 * I_{ges} = U_B * \frac{R_1 * R_2 + R_1 * R_L}{R_1 * R_2 + R_1 * R_L + R_2 * R_L}$$

und die Spannung
$$U_L = R_{2L} * I_{ges} = U_B * \frac{R_2 * R_L}{R_1 * R_2 + R_1 * R_L + R_2 * R_L}$$

Wird der Spannungsteiler aus R_1 und R_2 mit einem Widerstand belastet, so führt dies zu folgenden Auswirkungen

- Der Gesamtwiderstand der Schaltung wird kleiner, in Folge dessen wird der Strom I_{ges} größer.
- Die Ausgangsspannung U_L wird kleiner.

Es ist sinnvoll, die Dimensionierung der Widerstände R_1 und R_2 so zu wählen, daß der Strom über R_2 etwa 5 bis 10 mal so groß ist, wie der Laststrom. Je kleiner der Laststrom im Vergleich zu I_2 ist, um so unabhängiger ist die Spannung U_L von Änderungen des Lastwiderstandes.

Andererseits dürfen die Widerstände R_1 und R_2 aber nicht zu klein sein, da sonst ein zu großer Strom (Querstrom genannt) fließt, der die Spannungsquelle stark belastet und außerdem die Verlustleistung erhöht.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

7.3.3 Stern-Dreieck und Dreieck-Stern-Umrechnung

Wie wir bei der Fehlersuche der Klemmen KL30-1, KL30-2 und KL30-3 gesehen haben, ist es nicht auszuschließen, daß die Stern-Dreieck, bzw. die Dreieck-Stern Umrechnung auch ein Thema ist, das uns bei der Reparatur der Elektrik von Kfz begegnen kann.

Die Herleitung der Umrechnungsformeln ist mit den bisher vorgestellten Formeln und Regeln leicht möglich, aber mit etwas Umformerei der Formeln verbunden. Der Einfachheit halber stelle ich daher hier die fertigen Formeln zusammen.

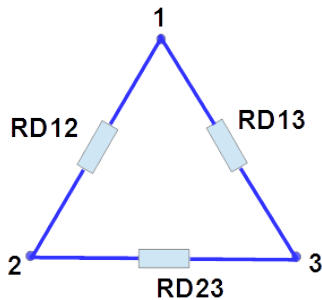


Bild 36: Dreieckschaltung

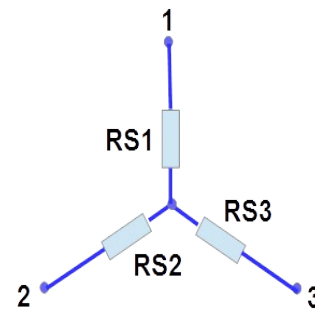


Bild 37: Sternschaltung

Umrechnung Stern in Dreieck:

$$RD12 = RS1 + RS2 + \frac{RS1 * RS2}{RS3}$$

$$RD13 = RS1 + RS3 + \frac{RS1 * RS3}{RS2}$$

$$RD23 = RS2 + RS3 + \frac{RS2 * RS3}{RS1}$$

Umrechnung Dreieck in Stern:

$$RS1 = \frac{RD12 * RD13}{RS12 + RD13 + RD23}$$

$$RS2 = \frac{RD12 * RD23}{RS12 + RD13 + RD23}$$

$$RS3 = \frac{RD13 * RD23}{RS12 + RD13 + RD23}$$

7.4 Leistungsmäßige Dimensionierung der Widerstände, zulässige Leistung

Bei der Dimensionierung von Widerständen bei Serien- und Parallelschaltungen muß beachtet werden, daß die zulässige Leistung der Bauteile nicht überschritten wird. Die Leistung P berechnet sich gemäß den Formeln auf Seite 27. Für jedes Bauteil muß daher die in Wärme umgesetzte elektrische Leistung berechnet werden und entsprechend müssen die Bauteile dimensioniert werden.

Diese Leistung (Verlustleistung) wird in den Widerständen in Wärme umgesetzt und diese Wärme muß derart abgeführt werden, daß die Bauteile nicht überhitzt werden. Daher ist für ausreichende Kühlung, zum Beispiel durch eine Kühlfläche, Kühlkörper und/oder Belüftung zu sorgen.

Unzureichende Kühlung führt zur Überhitzung der Bauteile, was zu einem Brand führen kann.

Es würde aber hier zu weit führen, konkrete „Bauanleitungen“ mit Zahlenwerten wiederzugeben, außerdem wären diese Zahlenwerte abhängig vom jeweiligen Einsatzfall und daher nicht allgemeingültig. Anhand der vorgestellten Formeln sollte die Berechnung jedoch kein Problem sein.

7.5 Spannungsteiler mit Diodenstrecke

Für Verbraucher mit stark schwankender Stromaufnahme ist die Lösung mit einem aus Widerständen bestehenden Spannungsteiler oder einem Vorwiderstand ungünstig, da hierbei die Spannung am Verbraucher stark von dessen schwankender Leistungsaufnahme abhängt und somit ebenfalls stark schwankt. Bei geringer Last kann die Spannung am Verbraucher zu hoch ansteigen, während bei hoher Last die Spannung am Verbraucher stark abnimmt. Man sagt „die Spannung bricht zusammen“.

In diesem Fall kann eine Lösung mit Halbleiterdioden günstiger sein. Anstelle des Widerstandes R1 in Bild 34 und Bild 35 wird eine Serienschaltung mehrerer Dioden (Diodenstrecke) verwendet. Das erspart zudem etwas Rechnerei, da kein Widerstand R1 berechnet werden muß.



Bild 38: Schaltbild einer Si-Diode

An einer Silizium-Diode (Si-Diode) fällt bei Stromdurchfluss eine Spannung (Schleusenspannung) von ca. 0,7V ab. Obwohl die Durchlassspannung gemäß der Kennlinie (Bild 39) stromabhängig ist, können wir für unseren Anwendungsfall, solange ein Mindeststrom fließt, durchaus mit 0,7V rechnen. Näherungsweise kann man auch die Temperaturabhängigkeit der Schleusenspannung U_D , auch Schwellenspannung genannt, für unsere Fälle vernachlässigen.

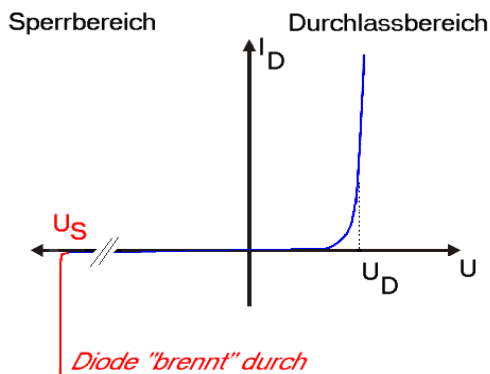


Bild 39: Kennlinie einer Si-Diode

Das Verhalten einer Diode lässt sich am Besten anhand der Kennlinie beschreiben. Die Formel zur Berechnung der Diodenkennlinie ist recht kompliziert und soll hier nicht betrachtet werden.

I_D = Durchlassstrom

U_D = Schleusenspannung (Schwellenspannung)

U_S = Sperrspannung

Die maximal zulässige Sperrspannung liegt bei Si-Dioden im Bereich von 400V bis 1000V und ist in den Datenblättern angegeben.

In Durchlassrichtung fließt bei geringer Spannung nur ein sehr geringer Durchlassstrom, der erst beim Überschreiten der Schleusenspannung stark ansteigt. Die Schleusenspannung beträgt bei Silizium ca. 0,7V und steigt bei höheren Strömen bis ca.1V. Die genauen Werte sind in den Datenblättern der Bauteile nachzulesen.

In Sperrrichtung fließt nur ein sehr geringer Sperrstrom, der bei Siliziumdioden im nA-Bereich liegt (nano Ampere = $10^{-9}A$). Erst beim Überschreiten der maximal zulässigen Sperrspannung steigt der Strom sprunghaft auf sehr hohe Werte und die Diode wird irreversibel beschädigt.

Die Diodenkennlinie ist temperaturabhängig. Bei steigender Temperatur erhöht sich der Strom. Dies sollte bei der Auslegung der Diodenstrecke beachtet werden, damit bei hoher Temperatur der Verbraucher nicht eine zu hohe Spannung erhält.

Bei einer Serienschaltung aus n Si-Dioden fällt somit an der gesamten Diodenstrecke eine Spannung von $n * 0,7V$ ab.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

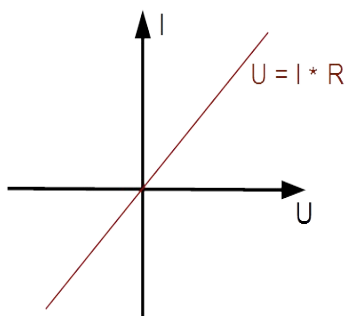


Bild 40: Kennlinie eines Widerstandes

Im Vergleich zur Diode ist die Kennlinie eines Widerstandes linear und lässt sich mit der einfachen Formel des Ohm'schen Gesetzes berechnen.

Die Steigung der Geraden wird durch die Größe des Widerstandes (Ohm Wert) bestimmt. Je hochohmiger der Widerstand ist, umso flacher verläuft die Gerade. Niederohmige Widerstände ergeben steilere Geraden.

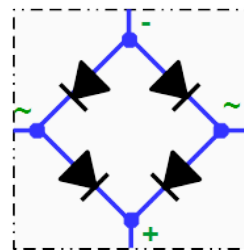
Es lässt sich einiges an Montageaufwand sparen, wenn anstelle von Einzeldioden Brückengleichrichter (GL-Brücke) verwendet werden.

Brückengleichrichter dienen in erster Linie zur Gleichrichtung von Wechselspannungen, z.B. in Netzgeräten. Sie können aber auch als jeweils zwei in Serie geschaltete Dioden angeschlossen werden und sind daher für diesen Zweck sehr gut geeignet.

Der Spannungsabfall an einer Gleichrichterbrücke mit jeweils einer Diode pro Pfad, also zwei Diodenstrecken in Serie, beträgt in Durchflussrichtung dann ca. 1,4V.

Wichtig ist die pol-richtige Beschaltung der Brücke gemäß Bild 42. Der Plus-Pol der Stromversorgung (Batterie) wird mit dem Minus-Pol der ersten GL-Brücke verbunden, dieser wiederum mit dem Plus-Pol der zweiten GL-Brücke, u.s.w..

Die ~ Anschlüsse bleiben unbeschaltet.



Die Symbole + - und ~ sind die Anschlußbezeichnungen der vier Anschlüsse der GL-Brücke.

Bild 41: Brückengleichrichter

Bitte beachten:

Nur bei Silizium-Dioden (Si) beträgt die Schleusenspannung ca. 0,7V. Es gibt jedoch Dioden aus anderen Halbleitermaterialien mit unterschiedlichen Schleusenspannungen, z.B. Schottky-Dioden (Schleusenspannung = 0,3V bis 0,4V) und Germanium-Dioden (Schleusenspannung = 0,1V bis 0,3V). Für unsere Anwendungen kommen im Wesentlichen Si-Dioden in Frage.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Die Spannung U_L am Verbraucher R_L berechnet sich unter Vernachlässigung der Temperaturabhängigkeit

bei n Einzeldioden zu

$$U_L = U_B - n * 0,7V$$

und bei n Brückengleichrichtern zu

$$U_L = U_B - n * 1,4V$$

Beispiel für $U_B = 12V$ und 4 Brückengleichrichter

$$U_L = 12V - 4 * 1,4V = 12V - 5,6V = 6,4V$$

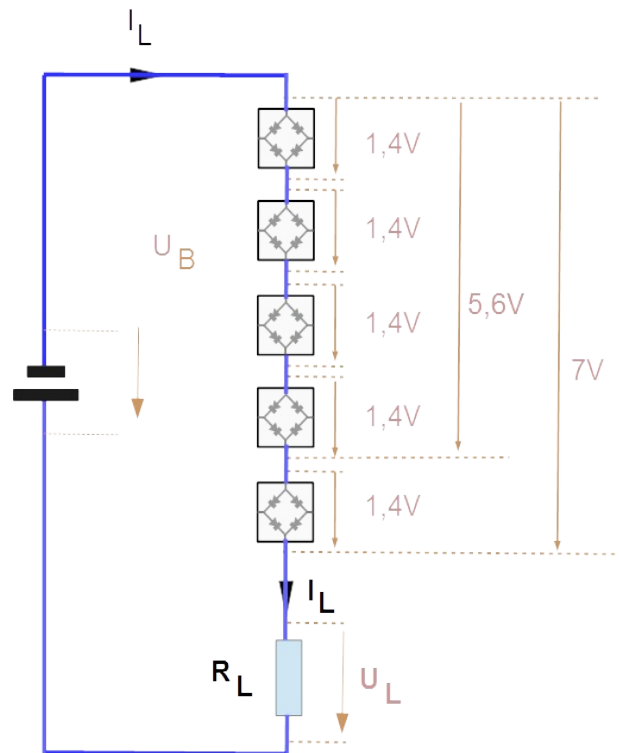


Bild 42: Spannungsteiler mit Si-Brückengleichrichtern

Selbstverständlich entsteht auch an der Diode eine Verlustleistung.

Diese berechnet sich zu

$$P_V = I_L * 0,7V \quad \text{bzw. bei Brückengleichrichtern} \quad P_V = I_L * 1,4V$$

Diese Verlustleistung erzeugt Wärme, die durch Kühlung abgeführt werden muß. Im Gegensatz zu den meisten (Hoch-) Lastwiderständen sind Halbleiterdioden deutlich temperaturempfindlicher. Die Dioden, bzw. die Brückengleichrichter müssen daher auf einen geeigneten und ausreichend dimensionierten Kühlkörper montiert werden. Dies wird deutlich erleichtert, wenn Dioden oder GL-Brücken mit isolierendem Kunststoffgehäuse verwendet werden, bzw. wenn die metallische Montagefläche der Bauteile gegenüber deren „Innenleben“ intern isoliert ist.

Die Dioden oder Gleichrichterbrücken werden dann einfach auf den Kühlkörper geschraubt. Etwas Wärmeleitpaste verbessert die Wärmeüberleitung zum Kühlkörper. Wärmeleitpaste ist z.B. in (fast) jedem Geschäft, das PC-Ersatzteile führt und natürlich bei den meisten Elektronik Fachhändlern erhältlich.

Gut geeignet sind z.B. folgende Typen mit Steckanschlüssen, passend für übliche 6,35mm KFZ-Flachstecker.

FAGOR FB5006 (max. 50A)
GBPC5002

Leistungs-Diodenbrücken sind im Elektronik Versandhandel oft preisgünstig erhältlich und auch preislich oft eine Alternative zu Hochlastwiderständen.

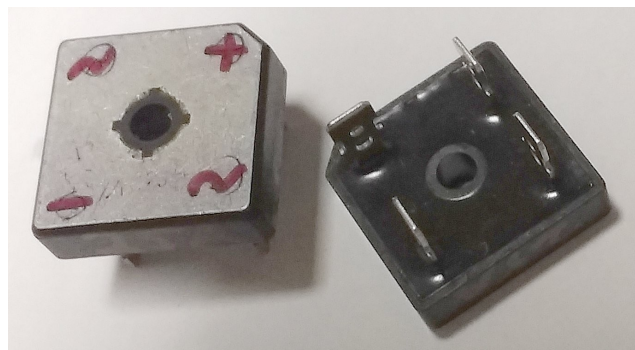


Bild 43: Beispiel für Dioden-Brückengleichrichter

7.6 Prüftechnik und Messverfahren

7.6.1 Die Vierleiter Messmethode

Ausgerüstet mit den Formeln aus den vorigen Abschnitten kehren wir nun wieder zu den Messverfahren zurück, die uns bei der Prüfung der Schalters helfen.

Eine direkte aussagekräftige Messung von Widerständen mit extrem niedrigen Widerstandswerten ist mit üblichen, preisgünstigen Messgeräten (Multimeter) nicht möglich. Wir sprechen hier von Widerstandswerten im sehr niedrigen Ohm oder mOhm Bereich ($m\Omega$).

$m\Omega$ = Milli Ohm, NICHT Mega Ohm

mit Zahlenwerten $1 m\Omega = 0,001 \Omega = 10^{-3} \Omega$

Zum Vergleich, Schreibweise Mega Ohm ($M\Omega$).

mit Zahlenwerten $1M\Omega = 1.000.000 \Omega = 10^6 \Omega$

Mit einfachen Widerstandsmessgeräten kann man im $m\Omega$ Bereich nur grob feststellen „Durchgang oder nicht“. Eine genaue Aussage über zu hohe Übergangswiderstände ist nicht möglich. Ein Problem ist z.B., daß Übergangswiderstände im Messkreis das Messergebnis verfälschen. Man misst mit einem einfachen Ohmmeter alle Übergangswiderstände im Messkreis mit, z.B. die Prüfspitzen, aber auch Messleitungen, die Bananenstecker des Messgerätes, usw. Da kommen in Summe schnell mal zusätzliche Werte von einigen zig bis mehreren 100 mOhm hinzu. Die Summe der Übergangswiderstände ist daher oft größer, als der zu messende Widerstandswert. Wie will man dann verlässliche Werte im mOhm-Bereich messen?

Hier gilt das Sprichwort

Wer mißt, mißt Mist

In unseren Oldtimern haben wir viele Bauteile und elektrische Verbindungen, deren Widerstandswerte im Milli-Ohm Bereich liegen. Denken wir nur mal an Kontaktwiderstände von Schaltern, an sehr niederohmige Spulen (z.B. Anlasserspulen, Lichtmaschine), und auch an Steck- oder Schraubverbindungen.

Die Lösung des Problems lautet *Vierleiter Messmethode (Vierleiter Messprinzip)*, früher auch „Kelvin-Messung“ genannt. Auch der Begriff „sense-and-force Prinzip“ ist zuweilen zu finden.

Das klingt erstmal kompliziert und man erwartet, das Messgeräte nach der Vierleitermethode teuer sind. Echte Messgeräte für Vierleitermessungen sind Spezialgeräte und somit tatsächlich teuer. Deren Anschaffung lohnt sich für unseren Hobbybereich bestimmt nicht.

Aber es geht zum Glück auch mit einfachen Mitteln, wie wir im Folgenden sehen werden. Ein preisgünstiges, am besten digitales, Multimeter ist dazu allemal ausreichend, denn wir brauchen für unsere Zwecke keine hochpräzisen Messergebnisse. Selbst einfache und preisgünstige Multimeter, z.B. das auf Seite 42 abgebildete Multimeter, bieten in den Spannungsmessbereichen 2,000V und 200,0mV eine für unsere Zwecke ausreichende Genauigkeit.

Bei der Vierleiter Messmethode sind der Laststromkreis und der Messkreis nur an den entsprechenden Messpunkten miteinander verbunden, der Laststrom fließt also nicht über die Messleitungen und Prüfspitzen. Die nicht zu vermeidenden Übergangswiderstände im Messkreis sind somit irrelevant, denn der Messkreis wird nur durch das hochohmige Voltmeter belastet. Digitale Voltmeter haben typische Eingangswiderstände von 10 M Ω . Bei einer zu messenden Spannung von z.B. 12V fließt daher im Messkreis nur ein sehr kleiner Strom von 1,2 μ A ($1,2 \times 10^{-6}$ A), der für die nachfolgenden Berechnungen vernachlässigt werden kann.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Die schematische Darstellung des Vierleiter Messprinzips wird an folgendem Beispiel erklärt.

Der Laststromkreis besteht aus der Stromversorgung (z.B. eine Batterie, hier 6V), dem Prüfling (hier der zu prüfende Schalter, die Kontaktstrecke zwischen KL30 und KL58), sowie einem Lastwiderstand R_L , z.B. einer Scheinwerferglühlampe mit der Nennleistung $P = 45W$.

Die Messung des Spannungsabfalls unter Last erfolgt direkt am Prüfling, in unserem konkreten Beispiel direkt an den Klemmen des Schalters.

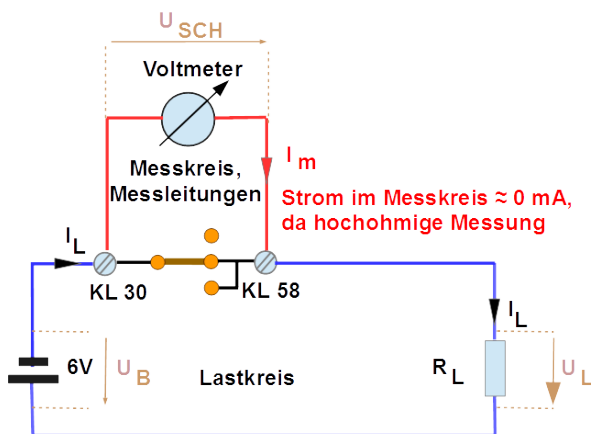


Bild 44: Messung des Übergangswiderstands unter Last

Hinweis:

Für die Berechnung des Stromes I_L wurden zur Vereinfachung alle Spannungsabfälle, z.B. an den Batterieklemmen, dem Schalter, den Anschlüssen der Glühlampe und auch den Leitungen vernachlässigt.

In Wirklichkeit erhält die Glühlampe keine vollen 6V, sondern wegen der Spannungsabfälle etwas weniger als 6V. U_L ist kleiner als U_B .

Für eine grobe, überschlägige Messung kann dies aber vernachlässigt werden. Diesen Aspekt werde ich im Kapitel 7.7, Seite 39 etwas genauer erklären.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wird hier erstmal, dass der Widerstand einer Glühlampe temperaturabhängig ist. Auf dieses Thema, und ob dies für unsere Schalterprüfung relevant ist, gehe ich auf Seite 42 näher ein.

Unter Vernachlässigung aller Spannungsverluste fließt z.B. bei einer Leistung von $P = 45W$ (Glühlampe) und einer Betriebsspannung von $U_B = 6V$ im Laststromkreis ein Strom von

$$I_L = \frac{P}{U_L} = \frac{45W}{6V} = 7,5A$$

Da das (Digital-) Voltmeter einen sehr hochohmigen Eingangswiderstand hat, fließt im Messkreis (rot gezeichnet) quasi kein Strom. Daher stören Übergangswiderstände im Messkreis nicht.

Angenommen, das Messgerät zeigt eine Spannung von $U_{SCH} = 0,375V$ an, dann berechnet sich der Übergangswiderstand R_{SCH} von KL30 nach KL58 im obigen Beispiel zu

$$R_{SCH} = \frac{U_{SCH}}{I_L} = \frac{0,375V}{7,5A} = 0,05\Omega = 50m\Omega$$

Für diese Messung ist einfaches und preisgünstiges Multimeter vollkommen ausreichend, es muß nur über einen Spannungsmessbereich verfügen, der 0,375V anzeigt (Messbereich 2,000V).

7.7 Berücksichtigung der Übergangs- und Leitungswiderstände im Lastkreis

Wenn die (unbekannten) Leitungs- und Übergangswiderstände im Lastkreis berücksichtigt werden sollen, weil die Messung und das Ergebnis genauer sein soll, muß der Strom im Laststromkreis genauer bestimmt werden, also tatsächlich gemessen werden. Hierzu ist ein Amperemeter erforderlich. Multimeter verfügen über Strommessbereiche.

Wir benötigen also zwei Messgeräte, eines für die Spannungsmessung am Schalter und eines für den Strom im Lastkreis.

Es bedeuten

U_{SCH} = Spannungsabfall am Schalter

U_{AM} = Spannungsabfall am Amperemeter.
Wegen des sehr geringen Innenwiderstands des Amperemeters kann der Spannungsabfall U_{AM} näherungsweise für diesen Anwendungsfall vernachlässigt werden.

U_L = Spannung am Lastwiderstand

I_L = Strom im Laststromkreis

I_M = Strom im Spannungsmesskreis.
Wegen des sehr hochohmigen Spannungsmessgerätes kann dieser Strom vernachlässigt werden.

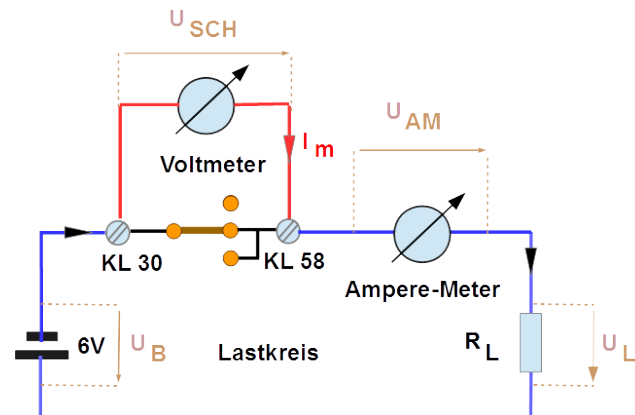


Bild 45: Messung nach der Vierleiter Messmethode mit zwei Messgeräten.

Der Übergangswiderstand des Schalters R_{SCH} wird mit der Formel $R_{SCH} = \frac{U_{SCH}}{I_L}$ berechnet.

Nachteil: Es werden zwei Messgeräte benötigt.

Da wir für unsere Aufgabe keine hochpräzisen Messungen benötigen, können wir geringe Fehlmessungen akzeptieren und kommen mit einem einzigen Multimeter aus. Wir müssen dann jedoch in zwei Schritten messen.

Im ersten Schritt wird der Strom gemessen und notiert. Für den zweiten Schritt wird das Multimeter als Voltmeter geschaltet und der Spannungsabfall gemessen. Selbstverständlich können die beiden Schritte 1 und 2 in der Reihenfolge auch vertauscht werden.

Leider birgt dieses Verfahren eine kleine Fehlerquelle, denn das Amperemeter hat einen, wenn auch sehr geringen inneren Widerstand, den *Shunt*. Wenn wir also das Amperemeter für den Schritt 2 aus dem Messkreis entfernen, entfällt dieser Widerstand, U_{AM} wird = 0V, und als Folge steigt der Strom im Lastkreis geringfügig an. Da wir aber, wie gesagt, keine hochpräzisen Werte benötigen, können wir diesen kleinen Fehler akzeptieren.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Schritt 1: Strommessung I_L .

Der gemessene Strom wird für die nachfolgende Berechnung notiert.

Bitte beachten: Die Anschlüsse des Messgerätes (Prüfspitzen und Messleitungen) müssen für die hohe Strombelastung ausgelegt sein. Sonst fließt während Schritt 1 ein deutlich geringerer Strom, als bei Schritt 2, nachdem das Strom-Messgerät entfernt wurde und die Übergangswiderstände der Prüfspitzen und Messleitungen entfallen.

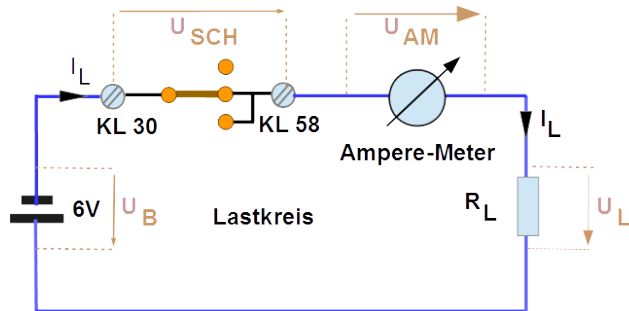


Bild 46: Messung nach der Vierleiter Methode mit nur einem Messgerät, Schritt 1.

Schritt 2: Messung des Spannungsabfalls am Schalter:

Im zweiten Schritt wird die Spannung U_{SCH} am Schalter gemessen und der Übergangswiderstand R_{SCH} mittels der inzwischen bekannten Formel

$$R_{SCH} = \frac{U_{SCH}}{I_L} \quad \text{berechnet.}$$

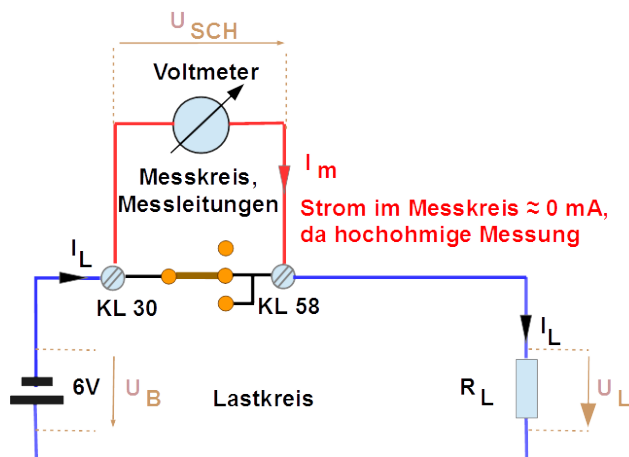


Bild 47: Messung nach der Vierleiter Methode mit nur einem Messgerät, Schritt 2.

7.7.1 Beispiel: Messaufbau zur Messung des Schalters mit der Vierleiter Messmethode

Der Schalter wurde vor und nach der Reparatur mit der Vierleiter Messmethode geprüft.

Die folgenden beiden Bilder zeigen den Messaufbau und den Anschluss der Messklemmen im Detail.

Um den kompletten Strompfad durch den Schalter, also einschließlich der Schraubklemmen und Nietverbindungen zu prüfen, wird das Messgerät direkt an den Schraubklemmen angeschlossen.

Als Stromquelle verwende ich ein regelbares Netzgerät, das bis zu 15V und maximal 20A liefert (Marke Eigenbau). Eine Autobatterie tut es natürlich auch.

Als Last verwende ich einen (selbst gewickelten) Lastwiderstand aus Konstantan-Draht mit den Werten 3,6Ohm und einer maximalen Belastbarkeit von 100Watt Dauerlast, 300Watt kurzzeitige Spitzenlast. Der spezifische Widerstand von Konstantan ist unabhängig von der Temperatur.

Diesen Widerstand verwende ich z.B. auch zum Durchmessen von Leistungsverstärkern.

Für die Schalterprüfung kann, wie bereits erwähnt, auch eine Scheinwerferglühbirne als Lastwiderstand verwendet werden, wobei deren Widerstand jedoch stark temperaturabhängig ist, siehe hierzu 7.8, Seite 42.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

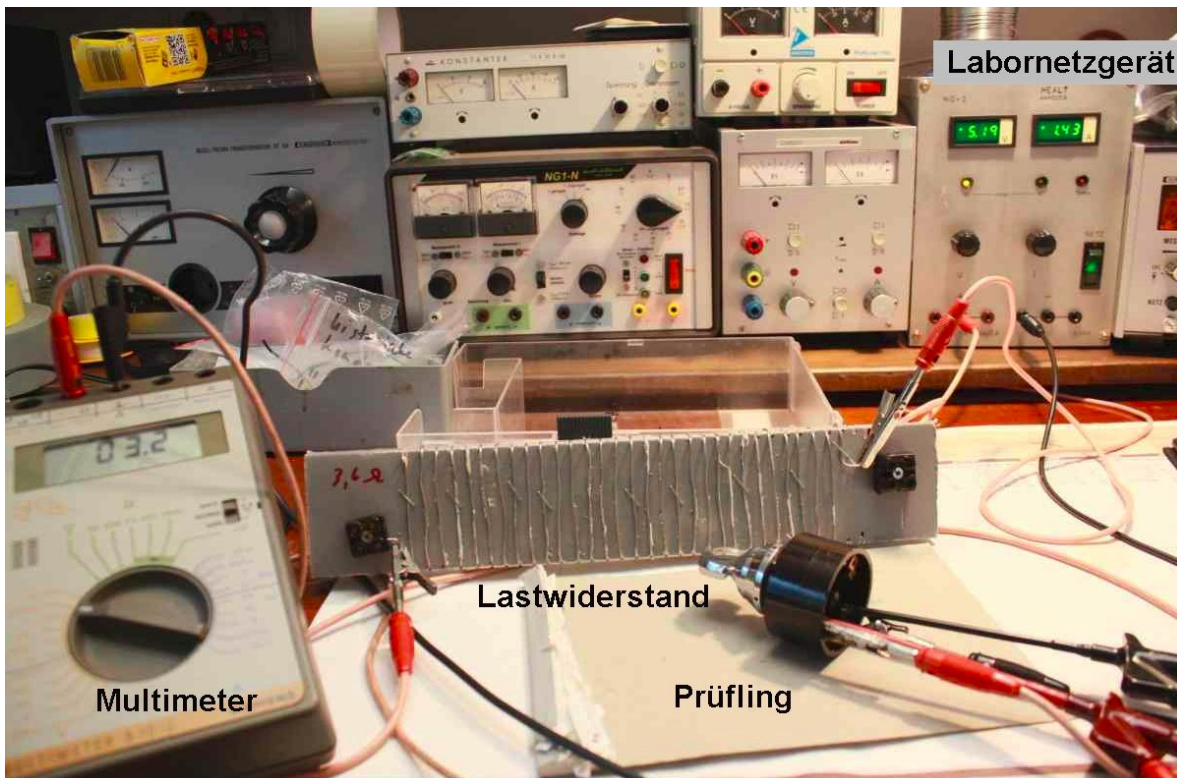


Bild 48: Messplatz, mit Prüfling, Multimeter, Lastwiderstand und Netzgerät

Bitte beachten: Im Laststromkreis fließen hohe Ströme, entsprechend sind die Leitungen im Lastkreis und die Klemmen (Krokodilklemmen) ausreichend zu dimensionieren.

Wegen der hohen Ströme im Laststromkreis entstehen auch zwischen den Krokodilklemmen und den Schraubklemmen Spannungsabfälle. Diese würden das Messergebnis verfälschen. Wir wollen schließlich nur die Werte des Schalters messen.

Daher dürfen die Messleitungen nicht an den Krokodilklemmen angeschlossen werden, obwohl dies einfacher wäre. Vielmehr müssen die Messleitungen direkt an den Schraubklemmen befestigt werden. Da wird es natürlich etwas eng, aber es geht und wenn man für die Messleitungen sogenannte „Hirschmann-Klemmen“ verwendet, ist das Anschließen recht einfach, siehe Bild 49.



Bild 49: Anschluss der Leitungen an die Klemmen KL30 und KL58 für die Vierleitermessung.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

7.7.2 Beispiel eines für diesen Zweck brauchbaren preisgünstigen Multimeters

Eine kleine Anzahl dieser Multimeter habe ich vor Jahren in einem Baumarkt zum Preis von ca. 8 Euro pro Gerät gekauft.

Ähnliche Messgeräte kosten heute im Baumarkt oder im Elektronikversand um die 10 bis 15 Euro. Manchmal findet man diese Geräte auch im (Lebensmittel-) Supermarkt zu noch niedrigeren Preisen.

Es handelt sich um ein einfaches Digital Multimeter mit 3 ½-stelligen Anzeige. Die für unsere Messungen wichtigen Messbereiche sind der 2,000V Bereich (max. Anzeige 1.999V) und der 200,0mV Bereich (max. Anzeige 199.9mV). Die Auflösung beträgt im empfindlichsten Bereich demnach 0,1mV.

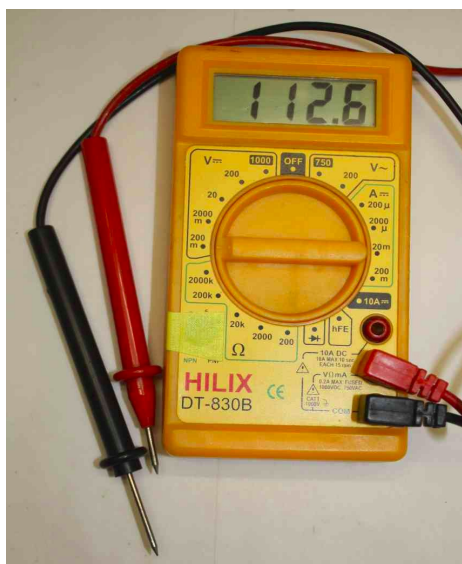


Bild 50: Beispiel eines preisgünstigen Multimeters mit 3 ½-stelliger Anzeige.

Gemessene Spannung = 112,6mV.

Alle Digitalvoltmeter haben auf der letzten Stelle aufgrund des Messverfahrens (Analog-Digital-Umsetzung, A/D-Wandler) einen Anzeigefehler von 1 Digit. A/D-Wandler formen das Messsignal stufenförmig in digitale Werte um. Innerhalb einer Stufe wird der gleiche Wert angezeigt. Man weiß daher nicht, ob der gemessene Wert in Wirklichkeit an der oberen oder an der unteren Grenze der Umschaltsschwelle (Stufe) des A/D-Wandlers liegt.

Hinzu kommt die Genauigkeit des Analog-Digital-Umsetzers, die im Datenblatt des Messgerätes in Prozent vom Messwert oder vom Anzeigewert angegeben wird.

Für unsere Fälle spielen diese Genauigkeitswerte keine wesentliche Rolle. Dieses Messgerät ist für unsere Messungen vollkommen ausreichend.

7.8 Betrachtung der realen Verhältnisse mit einer Glühlampe als Lastwiderstand.

Bisher haben wir zur Vereinfachung die Temperaturabhängigkeit des Widerstands der Glühlampe vernachlässigt und sind von einem konstanten Widerstandswert ausgegangen. Diese Annahme gilt bei Glühlampen näherungsweise jedoch nur im Bereich der Nennleistung der Lampe. Im Folgenden lässt sich nachweisen, daß für die konkrete Berechnung des Laststromkreises zur Reparatur des Lichtdrehschalters (und ähnlicher Schaltungen im KFZ) die Vereinfachungen durchaus zulässig sind.

Der Widerstand einer Glühlampe mit Wolframfaden ist über den Bereich von 0V (Strom $I = 0A$, Glühlampe ist kalt) bis zur Nennleistung sehr stark temperaturabhängig.

Wie auf Seite 38 erwähnt, möchte ich hier die Verhältnisse im Lastkreis ohne die auf der Seite 38 gemachte Vereinfachung etwas genauer erläutern. Allerdings werde ich nur die zugehörigen Grundformeln nennen, ohne die umfangreichen Berechnungen im Einzelnen wiederzugeben; das würde den Rahmen dieser kleinen Abhandlung sprengen.

Die Temperaturabhängigkeit von Widerständen lässt sich allgemein mit folgender Formel beschreiben, wobei in den meisten Fällen die quadratische Darstellung ausreichend ist.

$$R_{(T_2)} = R_{(T_1)} * (1 + \alpha * \Delta T + \beta * \Delta T^2) \quad \text{mit der Temperaturdifferenz } \Delta T = (T_2 - T_1)$$

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

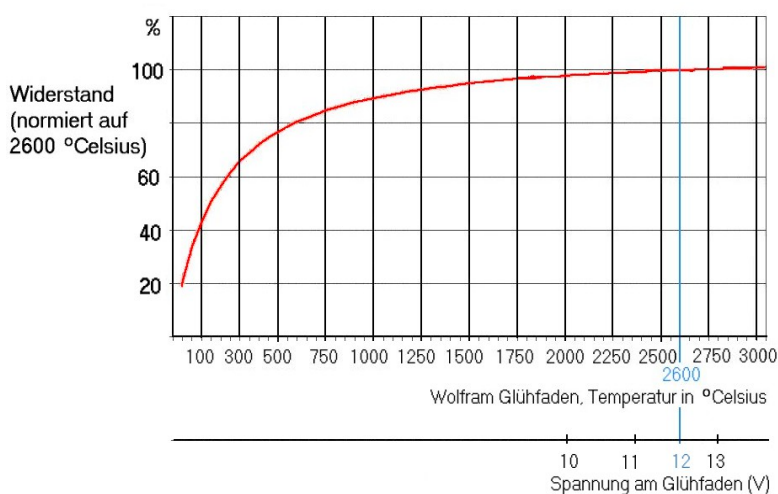
Die Konstanten α und β sind materialspezifische Temperaturkoeffizienten (TK), bezogen auf die Referenztemperatur 20°C (T_1), deren Werte aus Tabellen entnommen werden können, wobei α den linearen Zusammenhang und β den quadratischen Zusammenhang beschreibt.

Für Wolfram gilt

linearer Temperaturkoeffizient	$\alpha = 4.11 \cdot 10^{-3} /^{\circ}\text{C}$
quadratischer Temperaturkoeffizient	$\beta = 9.62 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$

Materialien mit positivem TK werden bei Temperaturerhöhung hochohmiger (Beispiel Wolfram), während Materialien mit negativen TK bei Temperaturerhöhung niederohmiger werden (Beispiel Graphit und die meisten Halbleiter).

Mit den angegebenen Formel lässt sich die Kennlinie berechnen und grafisch anschaulich darstellen.



Im Einschaltmoment (kalter Glühfaden) zieht die Glühlampe einen sehr hohen Einschaltstrom (niedriger Widerstand).

Im Betrieb erhitzt sich der Glühfaden, sein Widerstand steigt an und der Strom sinkt.

Eine Glühlampe zeigt also ein typisches Kaltleiterverhalten.

Bild 51: Widerstandskennlinie einer 12V Glühlampe mit Wolframfaden.

Der Nennstrom fließt nur bei der Nennleistung der Glühlampe. Diese wird aber nur dann erreicht, wenn an der Glühlampe die volle Nennspannung anliegt. Diese kann aber nicht an der Glühlampe anliegen, da im gesamten Stromkreis alle Verlustwiderstände berücksichtigt werden müssen, also neben dem Übergangswiderstand des Schalters auch alle anderen Übergangswiderstände, z.B. die Anschlüsse der Glühlampe (Stecker), sowie alle Leitungswiderstände. Diese Widerstände verringern die an der Glühlampe anliegende Spannung.

Wollte man die ganze Sache noch ein wenig komplizierter machen, müsste man auch noch berücksichtigen, daß nicht in allen Fällen bei gleicher Spannung auch immer die gleiche Fadentemperatur erreicht wird. Die Umgebungstemperatur beeinflusst die Fadentemperatur. Niedrige Umgebungstemperaturen, z.B. strenger Frost, kühlen die Oberfläche der Glühlampe, was zu höheren Abstrahlverlusten des Glühfadens führt. Aber diese Einflüsse sind im relevanten Temperaturbereich minimal und können vernachlässigt werden. Außerdem: Wer arbeitet bei strengem Frost in der Werkstatt und repariert einen Lichtschalter??

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Im Bereich um die Nennleistung hat der Wolframfaden eine Temperatur von ca. 2600°C. In einem engen Bereich um diese Temperatur ist der Widerstand des Glühfadens relativ konstant.

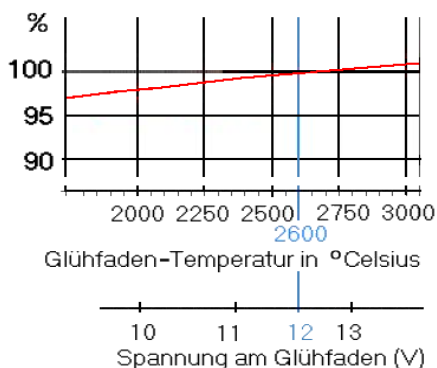


Bild 52: Widerstandskennlinie im Bereich der Nennleistung

Wie in Bild 52 zu erkennen, ist im Bereich von ca. 10V bis 13V die Widerstandskennlinie annähernd linear. Das beweist, daß unsere auf Seite 38 gemachte Vereinfachung für diesen Fall zulässig ist. Gleiches gilt bei 6V-Anlagen für den Bereich von ca. 5V bis 6,5V.

7.9 Elektrische Wechselstromnetze, Kondensatoren, Spulen, Scheinleistung, Blindleistung

Wie auf Seite 28 erwähnt, will ich hier noch ein paar Informationen über einfache Verhältnisse und Zusammenhänge in Wechselstromnetzen geben. Bei Wechselstrom ist es ein klein wenig komplizierter, als in reinen Gleichstromkreisen. Dieses Thema hat zwar nicht direkt mit dem Hauptthema dieses Berichtes „Reparatur eines Lichthauptschalters“ zu tun, aber vielleicht findet der ein oder andere Leser auch diese Thematik interessant.

Einen Bezug zur KFZ-Elektrik zeigen einige Anwendungen, z.B. Entstörfilter und Zündspulen. Ein paar interessante Anwendungen habe ich im Kapitel 7.10 ab Seite 48 beschrieben.

Anmerkung:

Drehstrom ist ebenfalls Wechselstrom (3-Phasen Wechselstrom). Eine Drehstromlichtmaschine mit Gleichrichterdiolen liefert zum Glück auch nur Gleichstrom in das Bordnetz eines KFZ.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

7.9.1 Kondensatoren und Spulen im Wechselstromnetz

Wir haben bisher nur das Verhalten von Ohm'schen Widerständen (Wirkwiderständen) in Gleichstromkreisen behandelt. Die zugehörigen Formeln sind einfach und reichen für Arbeiten an unseren Oldtimern vollkommen aus.

Für rein Ohm'sche Widerstände in Wechselstromkreisen gelten diese Formeln ebenfalls, da diese Widerstände keine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom verursachen.

Wenn Kondensatoren (Kapazitäten) und Spulen (Induktivitäten) in einen Stromkreis mit Wechselspannung eingefügt werden, fließt ebenfalls ein Strom, der aber nicht nach dem einfachen Ohm'schen Gesetz für Gleichspannung und Gleichstrom berechnet werden kann, denn Kondensatoren und Spulen bilden, im Gegensatz zu Ohm'schen Widerständen, frequenzabhängige Blindwiderstände (*Reaktanz*).

Diese Blindwiderstände (*Reaktanzen*) sind also keine feste Größe, sondern abhängig von der Frequenz.

Die *Reaktanzen* idealer Kondensatoren und idealer Spulen berechnen sich bei sinusförmigen Spannungen und Strömen zu

<u>Kondensatoren</u>	<u>Spulen</u>	
Reaktanz $X_C = \frac{1}{2 * \pi * F * C}$	Reaktanz $X_L = 2 * \pi * F * L$	$\pi = 3,1417$ $F = \text{Frequenz}$
mit $X_C = \text{Reaktanz}$ $C = \text{Kapazität}$	mit $X_L = \text{Reaktanz}$ $L = \text{Induktivität}$	Die Einheit der Reaktanz ist Ohm (Ω).
Gemäß dieser Formel ist bei Gleichspannung (Frequenz $F = 0 \text{ Hz}$) der Widerstand eines idealen Kondensators unendlich groß.	Gemäß dieser Formel ist bei Gleichstrom (Frequenz $F = 0 \text{ Hz}$) der Widerstand einer idealen Spule $= 0 \text{ Ohm}$.	
<u>Einheit der Kapazität</u> Farad, Abk. F 1 Farad = 1As/V.	<u>Einheit der Induktivität</u> Henry, Abk. H 1 Henry = 1Vs/A	<u>Einheit der Frequenz</u> Hertz, Abk. Hz 1 Hz = 1/s (1 Schwingung pro Sekunde)
Gängige Größen μF (mikro Farad, 10^{-6} F) nF (nano Farad, 10^{-9} F) pF (pico Farad, 10^{-12} F)	Gängige Größen H (Henry) mH (milli Henry, 10^{-3} H) μH (mikro Henry, 10^{-6} H) nH (nano Henry, 10^{-9} H)	Gängige Größen Hz (Hertz) kHz (Kilo Hertz, 10^3 Hz) MHz (Mega Hertz, 10^6 Hz)

Die obigen Formeln gelten für ideale Kondensatoren und ideale Spulen. Ein idealer Kondensator stellt für Gleichspannung einen Isolator dar und eine ideale Spule stellt hat für Gleichstrom einen Ohm'schen Widerstand von 0 Ohm.

Blindwiderstände bewirken eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom. Bei einer Kapazität eilt die Spannung dem Strom nach, während bei einer Induktivität der Strom der Spannung nachläuft.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

Ohm'sche Widerstände lassen sich natürlich mit Spulen oder Kondensatoren parallel und seriell schalten.

Der Gesamtwiderstand (komplexer Widerstand) wird in diesem Fall Scheinwiderstand (*Impedanz*) genannt und berechnet sich gemäß dem Pythagoreischen Lehrsatz zu

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

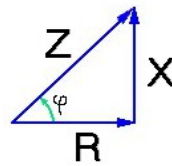


Bild 53: Scheinwiderstand (Z), Wirkwiderstand (R) und Blindwiderstand (X)

In der Realität besitzt ein Kondensator aufgrund interner Verluste zusätzlich einen hochohmigen Widerstand, der für einen Leckstrom sorgt. Verantwortlich hierfür ist hauptsächlich die Isolation zwischen den beiden Kondensatorbelägen, genannt Dielektrikum (gesprochen: „Di Elektrikum“). Je hochwertiger ein Kondensator ist, umso geringer ist sein Leckstrom. Mit der Zeit verschlechtert sich das Dielektrikum, der Kondensator altert, sein innerer Widerstand sinkt und sein Leckstrom steigt. Dadurch erwärmt sich der Kondensator immer mehr, was den Alterungsprozess verstärkt und letztlich bis zum Kurzschluss führen kann. Wir merken dies, wenn die Zündung schlechter wird. Zuerst sporadische Ausfälle, schließlich totales Versagen.

Eine reale Spule hat aufgrund der Wicklung (meistens Kupferdraht) einen, wenn auch geringen Ohm'schen Widerstand. Je besser eine Spule ist, umso geringer ist Ihr Ohm'scher Widerstand. Je dicker der Draht der Spulenwicklung ist, umso niedriger ist ihr Ohm'scher Widerstand – und umso teurer ist die Spule. Daher sind gute Frequenzweichen für Lautsprecherboxen deutlich teurer, als billiges Zeug für „Brüllwürfel“.

Für die Berechnung dieser Verhältnisse wird dies anschaulich dargestellt durch sogenannte Ersatzschaltbilder.

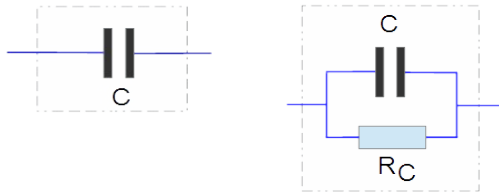


Bild 54: Idealer und realer Kondensator
Ein realer Kondensator verhält sich wie ein idealer Kondensator, dem ein hochohmiger Widerstand parallelgeschaltet ist.



Bild 55: Ideale und reale Spule
Eine reale Spule verhält sich wie eine ideale Spule, der ein Widerstand in Serie geschaltet ist.

Nur der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß es bei Kondensatoren noch einen weiteren, für einige Anwendungen sehr wichtigen Wert gibt, der insbesondere bei der Auswahl von Kondensatoren für Schaltnetzteile und Spannungswandler zu beachten ist: Der ESR (Ersatz-Serien-Widerstand, equivalent series resistance). Der ESR ist u.a. bedingt durch die Materialeigenschaften (Kondensatorbeläge, Zuleitungsdrähte) und den Aufbau des Kondensators (möglichst kurze interne Verbindungen).

Der ESR vermindert im Betrieb die Wirksamkeit der Kapazität. Außerdem entsteht am ESR eine Verlustleistung, die ebenfalls zur Erwärmung des Kondensators führt. Ein Kondensator mit zu hohem ESR kann z.B. in Schaltnetzteilen (PC!) zur Explosion durch Überhitzung führen.

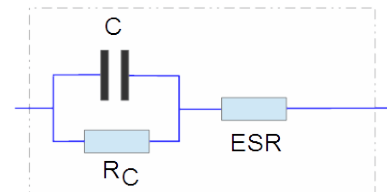


Bild 56: Realer Kondensator mit ESR

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

7.9.2 Elektrische Leistung im Wechselstromnetz

Wie vorhin beschrieben, sorgen Kapazitäten und Induktivitäten für eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Diese Phasenverschiebung muß bei der Leistungsberechnung berücksichtigt werden.

Aufgrund der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom in Wechselstromnetzen mit Kondensatoren und/oder Spulen lässt sich die elektrische Leistung nicht ausschließlich mit der einfachen Formel $P = U \cdot I$ berechnen; das ist, elektrotechnisch gesehen, die Wirkleistung. Die Wirkleistung bewirkt eine nutzbare Wirkung, z.B. als Wärme, Licht, Bewegung, Kraft. Den Benutzer elektrischer Geräte interessiert nur die Wirkleistung, denn diese kauft er beim Energieversorger.

Zusätzlich zur Wirkleistung existiert in Wechselstromnetzen eine weitere „Leistung“, nämlich die „Blindleistung“. Diese wird durch Kapazitäten (Kondensatoren) oder Induktivitäten (Spulen) „erzeugt“ bzw. „verbraucht“

Die Blindleistung „bewirkt“ erstmal nichts, erzeugt keine Wärme, kein Licht, keine Bewegung, usw., ist aber für die Funktion sehr vieler elektrotechnischen Vorgänge wichtig. In Elektrizitätswerken muß auch diese Blindleistung erzeugt werden, sonst funktionieren die Netze nicht. Dies geschieht durch Phasenschieber.

Die Gesamtleistung, genannt Scheinleistung besteht aus der Wirkleistung und der Blindleistung. Die formelmäßigen Zusammenhänge sind

	Formelzeichen	Einheit	Formel
Wirkleistung	P	W (Watt)	$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi$
Blindleistung	Q	Var oder VAR	$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi$
Scheinleistung	S	VA (VoltAmpere)	$S = \sqrt{(Q^2 + P^2)}$ Pythagoreischer Satz für ein rechtwinkliges Dreieck.

Das nebenstehende Zeigerbild (Vektordiagramm) zeigt die Zusammenhänge zwischen Scheinleistung, Wirkleistung, Blindleistung und Phasenwinkel.

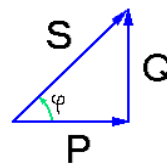


Bild 57: Vektordiagramm Scheinleistung (S), Wirkleistung (P) und Blindleistung (Q)

Der Begriff $\cos \varphi$ („Cosinus Phi“) für den Phasenwinkel wird vielen von uns bekannt sein.

Anschaulich lassen sich die unterschiedlichen Leistungsarten auch anhand des folgenden, oft praxisbezogenen und selbsterklärenden Beispiels verdeutlichen.

Einschränkend und als prinzipieller Unterschied zur Elektrotechnik muß jedoch zu diesem Beispiel festgestellt werden:

Wenn man den Blindleistungsanteil eine Weile ruhen lässt, setzt sich ein kleiner Teil davon als *Wirkleistung* ab, wenn auch mit verminderter Qualität, während sich ein größerer Teil der *Blindleistung* verflüchtigt.

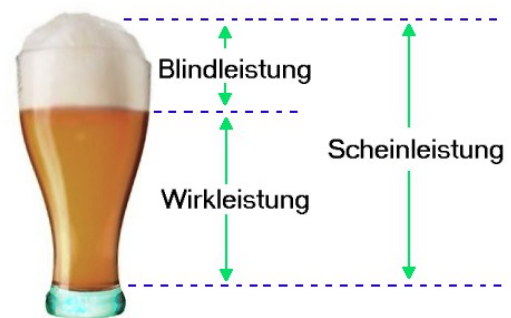


Bild 58: Beispiel für Scheinleistung, Blindleistung und Wirkleistung

Zum Schluß noch eine kleine, bösertige Anekdote (gilt jedoch nur im E-Technischen Formelwesen)

Warum sollte man einen super gebildeten Menschen nicht „Kapazität“ nennen?

Antwort: Eine ideale Kapazität erzeugt nur Blindleistung.

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

7.10 Kondensatoren und Spulen als Energiespeicher, und Anwendung im KFZ

Eine weitere, wichtige Eigenschaft von Kondensatoren und Spulen ist, daß diese Bauteile elektrische Energie speichern können; im Gegensatz zu Ohm'schen Widerständen, die zugeführte elektrische Energie in Wärme umwandeln.

Bezug zur KFZ-Technik:

Kondensatoren bilden für Wechselspannungen einen Blindwiderstand, der umso niedriger ist, je höher die Frequenz und je größer die Kapazität sind. Störfrequenzen haben oft eine hohe Frequenz. bzw. ein Frequenzspektrum und werden durch Kondensatoren quasi kurzgeschlossen.

Beispiel: Entstörkondensatoren.

Spulen haben einen Blindwiderstand, der umso größer ist, je größer die Induktivität und höher die Frequenz ist.

Beispiel: Filterdrosseln vor einem Autoradio oder Verstärker im KFZ.

Für Beispiele zur Anwendungen von Filtern, die oft erforderlich für störungsfreien Betrieb von Autoradios sind, verweise ich auf meinen Bericht „Autoradios im Oldtimer“, der hier im Forum zu finden ist.

Die Eigenschaft von Spulen, Energie zu speichern wird bei Spulenzündanlagen im KFZ genutzt. Während der Unterbrecherkontakt (UK) geschlossen ist, fließt Strom durch die Primärwicklung der Zündspule und baut in dieser ein Magnetfeld auf. In dem Magnetfeld wird Energie gespeichert.

Dieser Prozess verläuft nicht schlagartig, sondern einer zeitverzögert mit einer Exponentialfunktion. Daher benötigt der Vorgang eine entsprechende Zeit, bis das Magnetfeld ausreichend stark ist und die gespeicherte Energie ausreicht, um einen kräftigen Zündfunken zu erzeugen. Die Zeit wird durch den Schließwinkel bestimmt: Je größer der Schließwinkel, umso länger fließt Strom durch die Zündspule. Begrenzt wird die Möglichkeit, über den Schließwinkel die „Ladezeit“ des Magnetfeldes zu beeinflussen, daß der UK beim Abheben der Kontakte schnell einen Mindestabstand erreichen muß, damit kein Lichtbogen entsteht. Es ist also bei konventionellen Spulenzündanlagen mit Unterbrecherkontakt ein (mechanisch bedingter) Kompromiss erforderlich, der die Stromflußzeit begrenzt (*).

Nach dem Öffnen des UK bricht das Magnetfeld schlagartig zusammen und die gespeicherte Energie induziert in der Sekundärwicklung einen kurzen, aber sehr hohen Spannungsimpuls für die Zündkerze.

(*) Dieser Kompromiss kann auf elektronischem Wege durch eine gesteuerte Schließwinkel-Verlängerung entspannt werden, was sich besonders im oberen Drehzahlbereich positiv auswirkt.

Aber warum erwärmt sich eine Zündspule im Betrieb? Eine reale Spule hat Verluste, z.B. durch den (Wirk-) Widerstand der Kupferwicklung (siehe Ersatzschaltbild einer realen Spule, Bild 55), die Wicklung erwärmt sich. Hinzu kommen noch weitere Verluste, z.B. Wirbelstromverluste im Eisenkern.

Die Wärme, die durch diese Verluste in der Zündspule entsteht, kann die Zündspule beschädigen, bis hin zum Defekt. Daher sollte man die Zündung eines Autos nicht dauerhaft eingeschaltet lassen, denn es könnte zufällig der UK geschlossen sein und dann fließt ständig Strom durch die Zündspule. Leider werden Autoradios oft über das Zündschloß angeschlossen, damit auch im Stand bei eingeschalteter Zündung, aber stehendem Motor, Radio gehört werden kann. Ein Autoradio über das Zündschloß zu betreiben bezeichne ich daher als eine Unfug – es sei denn, im Auto ist eine elektronische Zündanlage mit Ruhestromabschaltung eingebaut. Diese unterbricht bei stehendem Motor den Zündstrom, schont somit die Zündspule und vermeidet außerdem eine Entladung der Batterie durch den Dauerstrom über die Zündspule.

Die Möglichkeit, auch mit Kondensatoren Energie zu speichern, wird in Hochspannungs-Kondensator-Zündanlagen (HKZ) eingesetzt. Diese werden vorzugsweise bei sehr schnell drehenden Motoren verwendet. Bei diesen Zündanlagen spielt der Schließwinkel des UK keine Rolle. Die Energie wird in Kondensatoren gespeichert, die sich schnell und einfach aufladen lassen. HKZ erzeugen besonders starke, aber auch extrem kurze Zündfunken. Meine Experimente um 1979 bis 1981 mit selbstgebauten HKZ in meinem VW-Käfer, Opel-Kadett-B, Opel Ascona-A und Mercedes 200 waren erfolglos, die Motoren sprangen nichtmal an. Der Alfa-Romeo eines Kommilitonen hingegen lief mit der HKZ wie ein "Blitz". HKZ-Anlagen sind deutlich aufwendiger und teurer, als elektronische Spulenzündanlagen.

8 Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Schalter im Anlieferzustand	3
Bild 2: Schalter im Anlieferzustand.....	3
Bild 3: Schalter im Anlieferzustand.....	4
Bild 4: Schalter im Anlieferzustand.....	4
Bild 5: Klemmenplatte im Anlieferzustand.....	6
Bild 6: Gehäuse geöffnet.....	7
Bild 7: Gehäuse geöffnet.....	7
Bild 8: Kontaktbrücke Anlieferzustand.....	7
Bild 9: Kontaktbrücke saniert.....	7
Bild 10: Schalter komplett zerlegt und alle Teile gereinigt.....	8
Bild 11: Schaltelemente des Drehschalters.....	9
Bild 12: Kontaktstellen des Dreh- und des Zugschalters.....	9
Bild 13: Kontaktstellen des Dreh- und des Zugschalters.....	10
Bild 14: Kontakttring des Zugschalters	10
Bild 15: Schaltschema Drehschalter.....	11
Bild 16: Schaltfunktionen im 170S und 170Sb.....	11
Bild 17: Schaltschema Zugschalter.....	12
Bild 18: Nietkontakte.....	13
Bild 19: Nietkontakt befestigt (gelötet).....	16
Bild 20: Entlötlitze.....	16
Bild 21: Anwendung der Entlötlitze.....	16
Bild 22: Vorbereitete „Drehmomentstütze“.....	18
Bild 23: Eingelötete Drehmomentstütze.....	18
Bild 24: Federn ausmessen.....	19
Bild 25: Endmontage.....	20
Bild 26: Endmontage.....	20
Bild 27: Draufsicht. Fertig.....	21
Bild 28: Anschlußseite. Fertig.....	21
Bild 29: Kontaktoberflächen „Berg-und-Tal“.....	21
Bild 30: Kirchhoff'sche Knotenpunktregel.....	29
Bild 31: Kirchhoff'sche Maschenregel.....	30
Bild 32: Serienschaltung von Widerständen.....	30
Bild 33: Parallelschaltung von Widerständen.....	31
Bild 34: Spannungsteiler.....	31
Bild 35: Belasteter Spannungsteiler.....	32
Bild 36: Dreieckschaltung.....	33
Bild 37: Sternschaltung.....	33
Bild 38: Schaltbild einer Si-Diode.....	34
Bild 39: Kennlinie einer Si-Diode.....	34
Bild 40: Kennlinie eines Widerstandes.....	35
Bild 41: Brückengleichrichter	35
Bild 42: Spannungsteiler mit Si-Brückengleichrichtern	36
Bild 43: Beispiel für Dioden-Brückengleichrichter.....	36
Bild 44: Messung des Übergangswiderstands unter Last	38
Bild 45: Messung nach der Vierleiter Messmethode mit zwei Messgeräten.....	39
Bild 46: Messung nach der Vierleiter Methode mit nur einem Messgerät, Schritt 1.....	40
Bild 47: Messung nach der Vierleiter Methode mit nur einem Messgerät, Schritt 2.....	40
Bild 48: Messplatz, mit Prüfling, Multimeter, Lastwiderstand und Netzgerät.....	41
Bild 49: Anschluss der Leitungen an die Klemmen KL30 und KL58 für die Vierleitermessung.....	41
Bild 50: Beispiel eines preisgünstigen Multimeters mit 3 ½-stelliger Anzeige.....	42
Bild 51: Widerstandskennlinie einer 12V Glühlampe mit Wolframfaden.....	43
Bild 52: Widerstandskennlinie im Bereich der Nennleistung.....	44
Bild 53: Scheinwiderstand (Z), Wirkwiderstand (R) und Blindwiderstand (X).....	46
Bild 54: Idealer und realer Kondensator	46
Bild 55: Ideale und reale Spule	46
Bild 56: Realer Kondensator mit ESR	46
Bild 57: Vektordiagramm Scheinleistung (S), Wirkleistung (P) und Blindleistung (Q).....	47
Bild 58: Beispiel für Scheinleistung, Blindleistung und Wirkleistung.....	47

Reparatur und Funktion des Lichthauptschalters

9 Stichwortverzeichnis

A/D-Wandler.....	42	Kabelenden.....	26	Relais.....	23f.
Amperemeter.....	39	Kabelisolation.....	25	Rohrnieten.....	6
Analog-Digital-Umsetzung.....	42	Kaltleiterverhalten.....	43	Scheinleistung.....	44
Anzeigefehler.....	42	Kapazität.....	45	Scheinwiderstand.....	46
Autobatterie.....	40	Kelvin-Messung.....	37	Schleifpapier.....	22
bleihaltiges Elektronik-Lötzinn.....	15	KFZ-Flachstecker.....	25	Schmorbrand.....	26
Blindleistung.....	44	Kirchhoffsches Gesetz.....	29	Schmorstelle.....	25
Blindwiderstand.....	45	Knotenpunktregel.....	29	Schraubklemme.....	5, 8, 18f., 25f., 40f.
Brandschutz.....	25	Kondensator.....	23, 44f., 48	Schraubverbindung.....	26
Brückengleichrichter.....	35	Konstantan-Draht.....	40	Schwelbrand.....	25
Crimp-Hülse.....	25	Kontaktbrücke.....	7	Selbstreinigungswirkung.....	22
Crimp-Verbindung.....	25f.	Kontaktdruck.....	5, 8, 19, 22	sense-and-force Prinzip.....	37
Digital Multimeter.....	42	Kontaktfläche.....	15	Serienschaltung.....	30
Digitalvoltmeter.....	42	Kontaktflächen.....	21	Shunt.....	39
DIN 72552.....	11	Kontaktflächen schmieren.....	22	SI-System.....	27
Diode.....	34	Kontaktpflegemittel.....	20	Sicherung.....	26
Diodenkennlinie.....	34	Kontaktwiderstand.....	14	Sicherungshalter.....	26
Drehmomentstütze.....	13	Krokodilklemmen.....	41	Spannungsabfall.....	14, 38
Drehschalter.....	9	kupferhaltige Schmiermittel.....	22	Spannungsabfall unter Last.....	38
Drehstromlichtmaschine.....	44	Laststromkreis.....	37	Spannungsmessbereich.....	38
Dreieck-Stern-Umrechnung.....	5, 33	Lastwiderstand.....	39f.	Spannungsteiler.....	31
Eingangswiderstand.....	38	Leckstrom.....	46	Spule.....	44f., 48
Einschaltmoment.....	43	Leistung.....	28	Spulenzündung.....	22f.
Elektroinstallation.....	25	Leitungswiderstand.....	25	Stahlbürste.....	22
Elektronik-Lötzinn.....	15	Leitwert.....	28	Stahlwolle.....	22
Endhülsen.....	26	Lichtleistung bei 6V-Anlage.....	15	Stern-Dreieck-Umrechnung.....	5, 33
Entlötlitze.....	16	Litzendrähtchen.....	26	Steuerstrom.....	23
Entstörkondensator.....	48	lockerer Kontaktniet.....	15	Störfrequenz.....	48
ESR, Ersatz-Serien-Widerstand.....	46	Lötfett.....	18	Strommessbereiche.....	39
Farad.....	45	Lötstelle.....	16	Strommessung.....	40
Federn.....	19	Lötzinn.....	26	Strompfad.....	40
fehlerhafte Elektroinstallation.....	25	Maschenregel.....	30	Systeme International d'unités.....	27
Feilen.....	22	Materialverschleiß.....	22	Temperaturabhängigkeit.....	42
Filterdrossel.....	48	Messingbürste.....	22	Übergangswiderstand.....	14, 39
Flußmittel.....	18	Messkreis.....	37, 39	Übergangswiderstände.....	25
Formelzeichen.....	27	Messleitungen.....	37, 41	Überlastung.....	25
Frequenz.....	45	MHO.....	28	Unterbrecherkontakt.....	22f., 48
Funkenbildung.....	23	Mikro-Funkenstrecken.....	22	Vaseline.....	20
Gleichstrom.....	44	Milli Ohm.....	5	Verlustleistung.....	14f., 33
Gleichstromkreis.....	28	Molybdändisulfid.....	22	Verlustwiderstände.....	43
Glühlampe.....	43	Multimeter.....	37, 39, 42	Verzinnen von Kabelenden.....	26
Glühlampe als Lastwiderstand.....	42	Nennleistung.....	43f.	Vierleiter Messmethode.....	37, 39f.
Graphit.....	22	Nennstrom.....	43	Voltmeter.....	38
Henry.....	45	Netzgerät.....	40	Wackelkontakt.....	24
Hertz.....	45	Nietverbindung.....	13	Wählerfett.....	10, 20, 23
Hirschmann-Klemmen.....	41	Öffnungsfunke.....	23	Wechselstrom.....	28, 44f.
Hitzeentwicklung.....	25	Ohm'sches Gesetz.....	27	Widerstandskennlinie.....	43f.
Hooke'sches Gesetz.....	19	Oxidation.....	22	Widerstandsmessgeräte.....	37
Impedanz.....	46	Oxidationsprodukt.....	22	wirksame Kontaktflächen.....	21
Induktionsgesetz.....	23	Oxidschicht.....	21	Wirkwiderstand.....	45
Induktivität.....	45	Parallelschaltung.....	28, 30f.	Wolframfaden.....	42
Innenwiderstand.....	39	Phasenverschiebung.....	45	Zugschalter.....	9
Isolation.....	25	Prüfspitzen.....	37	Zunder.....	22
Isolationsreste.....	25	Reaktanz.....	45	Zündschloss.....	26
Kabel-Endhülsen.....	26	Reihenschaltung.....	30	Zündspule.....	23

Autor: 170Sb-Fahrer
(Hermann)