

Absichern von elektrischen Stromkreisen im KFZ

Vorwort

Sicherungen: Eigentlich ein einfaches Thema - aber ein sehr Wichtiges! Die richtige Absicherung von Stromkreisen ist ein wesentlicher Aspekt der Betriebssicherheit von Kraftfahrzeugen.

Kurzschlüsse, oder bereits Überlastungen von elektrischen Einrichtungen können in einem KFZ zum Fahrzeugbrand und zum Totalverlust führen. Dabei sind Sicherungen nur Pfennigartikel.

Im Gegensatz zu elektrischen Sicherungen im Haushalt besteht beim Berühren von spannungsführenden Leitungen im Kraftfahrzeug keine unmittelbare Lebensgefahr, wenn man von den Hochspannungsleitungen der Zündanlage absieht.

Wir betrachten im Folgenden ausschließlich die Verhältnisse in "normalen" PKW, also mit Diesel- oder Benzinmotoren. Nicht relevant für diesen Bericht sind Spannungsverhältnisse in elektrisch angetriebenen Autos, in denen durchaus Netze mit lebensgefährlichen Spannungen vorkommen.

Warnhinweis:

! Niemals Sicherungen überbrücken!
! Auch nicht "mal eben schnell und nur zum Testen".
▪ Sehr schnell kann dieser "TEST" vergessen werden
und die Drahtbrücke bleibt versehentlich drin.

Diese Abhandlung ist, bis auf ganz wenige textliche Neuerungen, identisch mit einer Abhandlung, die ich vor etlichen Jahren, genauer im Sept. 2007 für andere Oldtimer Freunde (VW-Käfer Fahrer) geschrieben hatte. Ich habe den Text nun ein wenig überarbeitet und veröffentliche ihn hier im Forum, denn ich habe in einigen Gesprächen in den letzten Jahren bemerkt, daß zum Teil etwas Informationsbedarf besteht, zum Teil aber auch falsche Meinungen vorhanden sind.

viel Spaß beim Lesen
170Sb-Fahrer
(Hermann)

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabe einer Sicherung.....	3
2 Wichtigste Kenndaten.....	3
3 Ausführungsformen und Bauarten von Sicherungen.....	3
4 Berechnung und Auslegung.....	4
5 Grenzlastintegral, Schmelzintegral, Stromintegral.....	6
6 Sicherungen für „6V oder 12V Betrieb“?.....	6
7 Bauarten und Ausführungen von Schmelzsicherungen für KFZ Anwendungen.....	7
7.1 Schmelzsicherungen in Torpedoform	7
7.2 Flachstecksicherungen.....	8
8 Sind Sicherungen vielleicht doch spannungsabhängig?.....	8
9 Sicherungen reparieren?.....	9

Ich wurde darauf aufmerksam gemacht:

Leider muß man aus rechtlichen Gründen bei Beschreibungen, die sich mit Elektrik befassen, folgenden Hinweis geben.

**! Alle Arbeiten an elektrischen Einrichtungen erfolgen auf eigene Verantwortung
des Lesers. Der Verfasser übernimmt keinerlei Verantwortung. !**

1 Aufgabe einer Sicherung

Überlastungen oder Kurzschlüsse in Stromkreisen in Kraftfahrzeugen können zu Folgeschäden führen, die andere Bauteile beschädigen oder sogar Brände auslösen können. Zur Absicherung von Stromkreisen gegen erhöhte Strombelastungen oder Kurzschlüsse werden daher Sicherungen verwendet, die im Fehlerfall den betreffenden Stromkreis unterbrechen und somit die Gefährdung beseitigen. In Fahrzeugen deutscher Produktion, zum Beispiel im VW-Käfer und in MB-Fahrzeugen sind viele Sicherungen für die Stromkreise vorhanden, was im Fehlerfall die Suche deutlich erleichtert, da man durch einfaches Herausnehmen von Sicherungen komplette Stromkreise totlegen kann. In einigen Fahrzeugen ausländischer Produktion hingegen wird mitunter an Sicherungen gespart.

2 Wichtigste Kenndaten

Der wichtigste Kennwert einer Sicherung ist der Auslösestrom. Ein Überschreiten dieses, auf der Sicherung angegebenen Stromwertes führt zum Auslösen der Sicherung und somit zur Unterbrechung des Stromkreises.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bei Sicherungen ist die Auslösecharakteristik, siehe Abschnitt „Grenzlastintegral, Schmelzintegral“. Die Auslösecharakteristik beschreibt, einfach ausgedrückt, die Zeit bis zum Auslösen (z.B. Durchbrennen) der Sicherung. In der Praxis wird unterschieden zwischen superflink (FF), flink (F), mittelträge (M), träge (T) und superträge (TT) auslösenden Sicherungen. Superflinke und flinke Sicherungen werden für z.B. elektronische Kreise verwendet, da manche Halbleiter empfindlich auch gegen kurzzeitige Spannungs- oder Stromspitzen sind.

Anhaltswerte	Charakteristik	Auslösezeit
	flinke Sicherungen	weniger als 20 ms
	mittelträge Sicherungen	zwischen 50 und 90 ms
	träge Sicherungen	zwischen 100 und 300 ms.

Alle KFZ Standard-Sicherungen haben eine träge Auslösecharakteristik.

3 Ausführungsformen und Bauarten von Sicherungen

Schmelzsicherung

Die einfachste und preiswerteste Ausführung ist die Schmelzsicherung. Hierbei wird ein genau dimensionierter Schmelzdraht (Schmelzstreifen) vom Strom durchflossen. Der Schmelzdraht hat einen definierten Widerstandswert. Der Schmelzdraht wird durch den Strom erwärmt. Überschreitet der Strom den Bemessungsstrom (Nennstrom), brennt der Schmelzdraht durch und unterbricht den Stromkreis.

Der Spannungsabfall am Schmelzdraht ist im Normalbetrieb sehr gering und in der Regel für die Funktion einer Schaltung zu vernachlässigen.

Bei Stromkreisen mit hoher Spannung (z.B. größer als 240V) muß beachtet werden, daß bei ausgelöster (durchgebrannter) Sicherung der Abstand zwischen den Anschlüssen, bzw. den verbleibenden Enden des Schmelzdrahtes groß genug ist, um einen eventuell entstehenden dauerhaften Lichtbogen zu verhindern. Die maximal zulässige Spannung wird in den Datenblättern der Sicherungen angegeben (siehe unter Schaltvermögen).

Sicherungsautomat	<p>Andere Ausführungen von Sicherungen, z.B. magnetisch und elektronisch auslösende Sicherungen (z.B. Sicherungsautomaten) unterbrechen ebenfalls den Stromkreis. Diese Sicherungen sind in der Regel rücksetzbar, d.h. der unterbrochene Stromkreis kann durch einen entsprechenden Mechanismus wieder geschlossen werden.</p> <p>Diese Sicherungen sind deutlich aufwendiger in der Konstruktion und in der Herstellung und kommen in KFZ üblicherweise nicht zum Einsatz.</p> <p>Ausnahme: Für elektrische Fensterheber werden aus Sicherheitsgründen wegen des Einklemmschutzes häufig Sicherungsautomaten verwendet.</p>
-------------------	---

Im Folgenden sollen ausschließlich Schmelzsicherungen für den Einsatz in KFZ betrachtet werden.

Schmelzsicherungen werden in unterschiedlichen Bauformen angeboten.

Geschlossene Sicherungen	<p>Der Schmelzdraht liegt in einem Glas- oder Keramikröhrchen, einer keramischen Schraubfassung oder in einem Kunststoffeinsatz (KFZ-Sicherungen in der Bauform Standard-Flachsicherungen).</p> <p>Bei Schmelzsicherungen für hohe Ströme und Spannungen sind die Schmelzdrähte in sandgefüllte Glas- oder Keramikröhrchen eingebettet, um Brände durch glühende Reste des Schmelzdrahtes zu vermeiden und um einen eventuell auftretenden Lichtbogen zu löschen.</p>
Offene Sicherungen	<p>Der Schmelzdraht liegt offen, z.B. bei KFZ-Sicherungen in der Bauform <i>Torpedosicherungen</i>.</p>

4 Berechnung und Auslegung

Im Folgenden werden ausschließlich die Verhältnisse im Gleichstromkreis betrachtet, es wird also mit reiner Wirkleistung gerechnet. Die Verhältnisse im Wechselstromkreis sind etwas komplizierter, da in diesem Fall Kondensatoren (Kapazitäten) und Spulen (Induktivitäten) Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung verursachen. Die einfache Formel $P = U \cdot I$ gilt dann nicht mehr.

Die Auslegung einer Sicherung läßt sich am besten anhand eines einfachen Beispiels erläutern.

Beispiel:

In folgenden Beispiel ist der Verbraucher im Stromkreis eine Glühbirne mit dem Widerstand R .

Die Sicherung zur Absicherung des einfachen Stromkreises, bestehend aus der Spannungsquelle (Batterie) und dem Verbraucher (Glühbirne) soll dimensioniert werden. Zur Berechnung sollen zur Vereinfachung alle Übergangs- und Kontaktwiderstände, sowie alle Leitungswiderstände vernachlässigt werden.

Fall 1: Spannung: 6 V und Glühbirne: 55 Watt

Fall 2: Spannung: 12 V und Glühbirne: 55 Watt

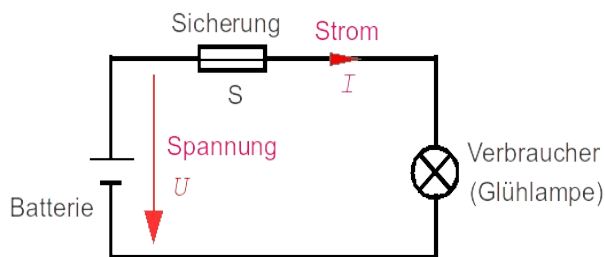


Abbildung 4.1: Abgesicherter Stromkreis

Eigenschaften einer Glühlampe:

Der Widerstand einer Glühlampe ist temperaturabhängig. Der Glühfaden einer kalten Glühlampe hat einen deutlich geringeren Widerstand, als der einer heißen (leuchtenden) Glühlampe. Daher fließt bei einer kalten Glühlampe, also kurz nach dem Einschalten, ein hoher Einschaltstrom. Nach dem Einschalten erhitzt sich der Glühfaden der Glühlampe, der Widerstandswert steigt und somit sinkt die Stromstärke I .

Diese Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes der Glühlampe wird bei den folgenden Berechnungen vernachlässigt und erst bei der endgültigen Dimensionierung der Sicherung berücksichtigt. Eine Sicherung mit träger Charakteristik verhindert, daß der kurzzeitige hohe Einschaltstrom die Sicherung zum Auslösen bringt.

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

Ohm'sches Gesetz

$$U = R \cdot I \quad I = U / R \quad R = U / I$$

Leistung

$$P = I \cdot U \quad I = P / U \quad U = P / I$$

Aus den gegebenen Werten berechnet sich der Strom für Fall 1 und Fall 2

Fall 1			Fall 2		
Leistung	$P =$	55 W	Leistung	$P =$	55 W
Spannung	$U =$	6 V	Spannung	$U =$	12 V
Strom	$I = P / U =$	9,17 A	Strom	$I = P / U =$	4,58 A

Im Fall 2 (12V) fließt also bei gleicher Leistung des Verbrauchers (Glühlampe) nur der halbe Strom im Vergleich zu Fall 1 (6V).

Die erforderliche Sicherung soll stets etwas stärker sein, als der im Stromkreis fließende Strom, damit diese nicht schon bei geringen Abweichungen durch Bauteiltoleranzen oder bei leichter Überspannung, die einen höheren Strom im Stromkreis bewirkt, auslöst (also durchbrennt).

Sicherungen sind in handelsüblichen Werten verfügbar, z.B. 1A, 5A, 8A, 16A, 25A, 40A. Diese Werte sind Kenndaten der Sicherung und in der Regel auf den Sicherungen aufgedruckt oder eingeprägt.

Für den Fall 1 wählen wir die nächstgrößere Sicherung, also eine 16A Sicherung.

Für den Fall 2 wäre gemäß obiger Berechnung eine 5A Sicherung knapp ausreichend. Diese wäre aber bereits bei geringen Toleranzen kritisch. Wir wählen daher für den Fall 2 eine 8A Sicherung.

Diese Dimensionierungen bieten auch bezüglich des Einschaltstromes genügend Sicherheit gegen Durchbrennen im Einschaltmoment.

Aus den hier gestellten Betrachtungen ergibt sich, daß Sicherungen grundsätzlich stromabhängig auslösen, und nicht spannungsabhängig.

5 Grenzlastintegral, Schmelzintegral, Stromintegral

Eine präzise Berechnung des Auslöseverhaltens einer Sicherung ermöglicht das Grenzlastintegral.

Bei Schmelzsicherungen wird auch der Begriff Schmelzintegral oder Stromintegral verwendet, der formelle Zusammenhang ist der gleiche.

Das Grenzlastintegral $\int_0^{t_1} i^2 dt$ wird auch $i^2 t$ Wert genannt, sprich: „I-Quadrat-t-Wert“.

Der $i^2 t$ Wert ist ein Kriterium für die Kurzzeitüberlastbarkeit einer Sicherung. Eine kurzzeitige Überlast durch Überschreiten des angegebenen Stromwertes führt nicht zum Auslösen (Durchbrennen) der Sicherung.

Stromkreise mit Bauelementen mit hohen Einschaltströmen, z.B. Glühlampen, werden mit einem höheren $i^2 t$ Wert abgesichert.

Empfindliche Bauelemente (Halbleiter, z.B. Transistoren) werden durch schnell reagierende Sicherungen (flick) mit geringem $i^2 t$ Wert gesichert. Das Schmelzintegral dieser Sicherung muß einen geringeren $i^2 t$ Wert, als das abzusichernde Bauelement haben, sonst schützt das Bauelement die Sicherung - und nicht wie gewünscht umgekehrt.

6 Sicherungen für „6V oder 12V Betrieb“?

Aus den obigen Betrachtungen und Berechnungen, insbesondere aus der Formel für das Grenzlastintegral folgt, dass das Auslösen einer Sicherung vollkommen unabhängig von der Spannung in einem Stromkreis ist.

Die mitunter zu hörende Behauptung, dass eine 8A Sicherung in einem 12V Stromkreis den doppelten Strom im Vergleich zu einem 6V Stromkreis „schafft“ (also 16A) ist daher absolut falsch. Ebenso falsch ist die umgekehrte Behauptung, daß eine 8A Sicherung in einem 6V Stromkreis den doppelten Strom im Vergleich zu einem 12V Stromkreis „schafft“.

Richtig ist hingegen, daß zum Beispiel eine 8A Sicherung in einem 6V Stromkreis einen Verbraucher mit bis zu 48W absichern kann ($8A \cdot 6V = 48W$), die gleiche Sicherung in einem 12 V Stromkreis hingegen einen Verbraucher bis zu 96Watt, also die doppelte Leistung absichern kann ($8A \cdot 12V = 96W$).

7 Bauarten und Ausführungen von Schmelzsicherungen für KFZ Anwendungen

7.1 Schmelzsicherungen in Torpedoform

Bis etwa 1980 wurden in KFZ nahezu ausschließlich Schmelzsicherungen in Torpedoform nach DIN 72581-1 eingesetzt.

Kenndaten:	Abschaltvermögen	bis zu	500 A bei 36 V (DC)
	Zulässiger Spannungsabfall über dem Sicherungstreifen		0,1 V
	Bauform, Zylindrischer Isolierkörper,	Durchmesser	6 mm
		Länge	25 mm

In einer Nut im Trägerkörper ist der Sicherungstreifen mit stirnseitig konischen Kontaktflächen eingelegt.

In der Regel sind die Nennstrom Werte dieser Sicherungen farblich kodiert

5 A	8 A	16 A	25 A	40 A
gelb	weiß	rot	blau	grau

Abweichungen sind insbesondere bei Importware möglich.

Diese preisgünstig herzustellende Bauform hat den Nachteil, daß die Kontakte ringförmig konusförmig sind und die daher die wirksamen Kontaktflächen relativ klein sind. Dies führt insbesondere bei geringem Kontaktdruck der gelochten Haltefedern der Sicherungshalter zu hohen Übergangswiderständen und somit zu hohen Spannungsverlusten. Bereits leichte Verschmutzungen verstärken diesen Effekt zusätzlich.

Bei Torpedosicherungen für KFZ Anwendungen wurden früher ausnahmslos keramische Trägerkörper verwendet. Diese sind temperatur- und formstabil.

Später wurden für den isolierenden Trägerkörper bei Sicherungen bis zu 5 A aus Kostengründen thermoplastische Kunststoffe verwendet. Die geringe Erwärmung des Kunststoffs bei Strömen bis zu 5A führt normalerweise nicht zu einer unzulässigen Verformung des Trägerkörpers. Allerdings besteht die Gefahr, daß aufgrund unsicherer Kontaktgabe der Sicherungshalter, z.B. durch zu geringen Federdruck auf die metallischen Kappen der Torpedosicherungen hohe Übergangswiderstände auftreten können, die aufgrund der Beziehung $P = U \cdot I$ zur Erhitzung der Kontaktstelle und dann zur Verformung des Trägerkörpers führen können.

Zu beachten ist, daß inzwischen auch Schmelzsicherungen für höhere Ströme als 5A in Torpedoform zuweilen in Kunststoffausführung angeboten werden. Dies betrifft vor allem Billigprodukte aus Fernost. Die Gefahr einer Verformung durch Erhitzung ist bei diesen Sicherungen besonders hoch, weshalb vom Einsatz dieser Billigprodukte abgeraten werden kann.

Tipp:

Es läßt sich leicht feststellen, ob es sich bei dem Sicherungsträger aus echter Keramik oder billigem Thermoplast handelt. Einfach mit einem heißen Lötkolben den Sicherungskörper berühren. Echte Keramik hält das dauerhaft aus, während das billige Thermoplast schon nach kurzer Zeit weich wird.

7.2 Flachstecksicherungen

Ab 1976 wurden im KFZ-Bereich immer häufiger Flachstecksicherungen nach DIN ISO 8820-3 eingesetzt. Diese sind, ebenso wie die vorher verwendeten Torpedosicherungen, nur für Kleinspannungen zulässig. Als Vorteil dieser Sicherungen ist vor allem die bessere Kontaktgabe durch Klemmkontakte zu nennen; vorausgesetzt, die Sicherungshalter haben eine ausreichend hohe Qualität.

Abschaltvermögen: bis zu 1000 A bei 32 V (DC)

Die angegebene maximale Spannung des Schaltvermögens ist durch die Berührungssicherheit und Lichtbogensicherheit gegeben, siehe hierzu folgendes Kapitel.

8 Sind Sicherungen vielleicht doch spannungsabhängig?

Zuweilen sorgen die detaillierten Angaben in Datenblättern zum „Schaltvermögen“ von Sicherungen zur Verwirrung, denn dort werden unter anderem auch Spannungswerte angegeben.

Sind Sicherungen also, entgegen den vorigen Angaben, doch spannungsabhängig?

Hierzu ist eine kurze Betrachtung des „Abschaltvorgangs“ im Auslösefall notwendig. Im Moment der Unterbrechung eines Stromkreises können durch Induktion Spannungsspitzen auftreten, wenn sich im Stromkreis Induktivitäten (Spulen) befinden. Diese Spannungsspitzen können deutlich über den im normalen Betrieb im auftretenden Spannungen liegen. Zum Beispiel kann die Selbstinduktionsspannung im Primärkreis einer KFZ-Zündanlage auch bei 6V Bordspannung durchaus Werte im Bereich von 400V betragen. Diese hohen Spannungen können zu einem Lichtbogen zwischen den Resten der Schmelzdrähte einer „durchgebrannten“ Sicherung führen. Im Falle einer Spannungsspitze aufgrund von Selbstinduktion erlischt dieser Lichtbogen, sobald die in der Induktivität gespeicherte Energie im Lichtbogen verbraucht ist, was nach wenigen Millisekunden der Fall ist.

Anders und deutlich kritischer ist der Fall, wenn die speisende Spannung im Stromkreis über der im Datenblatt der Sicherung angegebenen zulässigen Spannung liegt.

Betrachten wir hierzu folgenden Fall. Ein Stromkreis mit einer speisenden Spannung von 500V ist abgesichert mit einer Sicherung, deren Schaltvermögen 400V beträgt.

Stationärer Betrieb: Die Sicherung ist noch nicht durchgebrannt und der Spannungsabfall an der Sicherung beträgt nur wenige mV (Millivolt). Für das Auslösen, also das „Durchbrennen“ der Sicherung ist ausschließlich das Schmelzintegral ausschlaggebend, also die Werte Strom und Zeitdauer.

Sobald die Sicherung ausgelöst hat, also durchgebrannt ist, soll der Strom im Stromkreis unterbrochen werden. Zwischen den verbliebenen Enden des Schmelzdrahtes würde nun die volle Spannung des Stromkreises anliegen, also in diesem Fall 500V. Infolgedessen kann sich hier ein Lichtbogen bilden, der Strom fließt weiter, die Spannung an der „unterbrochenen Sicherung“ beträgt die Höhe der Lichtbogenspannung. Angenommen, die Lichtbogenspannung beträgt 70V (ein durchaus üblicher Wert), dann beträgt die resultierende Speisespannung im Stromkreis 430V ($500V - 70V$). Von einer Unterbrechung des Stromkreises kann also nicht gesprochen werden. Vielmehr fließt, hervorgerufen durch den Lichtbogen, ein unkontrollierter Kurzschlußstrom. Da die Speisespannung aus der Spannungsquelle ständig anliegt, also ständig Energie nachgeliefert wird, bleibt der Lichtbogen stabil, erhitzt die Umgebung der Sicherung und vor allem den Sicherungshalter, kann sogar den umgebenden Keramikkörper zerstören und schließlich einen Brand auslösen.

Eine für die hohe Betriebsspannung ausgelegte Sicherung mit einem Abschaltvermögen von z.B. 1000V würde diesen Fall verhindern.

Die Angabe des Schaltvermögens in den Datenblättern erfolgt meistens zusammen mit Betriebsspannung und Stromart:

- Das Schaltvermögen sinkt mit steigender Betriebsspannung. Gelegentlich werden in Datenblättern unterschiedliche Werte für verschiedene Spannungen angegeben.
- Das Schaltvermögen sinkt mit sinkender Wechselstromfrequenz. Sofern nicht abweichend spezifiziert, gilt als Bemessungsfrequenz 45 Hz bis 62 Hz.

Das Schaltvermögen der verschiedenen Sicherungstypen ist in den entsprechenden Abschnitten der Datenblätter angegeben.

9 Sicherungen reparieren?

Allein schon diese Kapitelüberschrift sollte heftige Proteste auslösen: Sicherungen kann man nicht *reparieren*, die Schmelzcharakteristik des Schmelzdrahtes muß genau stimmen, da kann man nicht einfach einen Draht einklemmen.

Anders sieht es aus, wenn man einen richtig dimensionierten Schmelzdraht zur Verfügung hat.

Aber woher nehmen?

Echte "alte" Keramik-Sicherungen werden seit vielen Jahren nicht mehr hergestellt und sind im Handel verschwunden. Selten werden in Auktionen noch solche Sicherungen angeboten. Ich habe im Sommer 2015 Jahr in der „Bucht“ auf ein vermeintlich gutes Angebot reagiert und gekauft. Angeboten wurde: „Original BOSCH KFZ-Sicherungen aus Keramik, NOS“. Der Preis war sehr günstig – also gekauft. Die Lieferung kam an: Es waren Sicherungen aus Thermoplast. Reklamation ja – aber das Rücksenden bei einem Kaufpreis von ca. 4 Euro war nicht lohnend. Ich habe daher den Mist behalten.

Kurze Zeit darauf ist eine 8A Sicherung in meinem 170Sb durchgebrannt. Idee: Den defekten Sicherungsdraht abnehmen, das geht sehr einfach. Dann den intakten Sicherungsdraht aus der Thermoplast-Sicherung vorsichtig abnehmen. Wichtig ist dabei: Auf keinen Fall den Sicherungsdraht knicken. Diese Schwachstelle würde die Auslösecharakteristik verfälschen. Da die Bauform des Sicherungsträgers gleich ist, kann man den neuen Sicherungsdraht auf den alten, echten Keramikkörper montieren. Das geht recht einfach. Es funktioniert einwandfrei.

Also: Auch durchgebrannte Sicherungen sind noch zu etwas Nütze :-)

170Sb-Fahrer
(Hermann)