

# Die grünen Seiten für die Aus- und Weiterbildung

## Projekt: Planung der Elektroinstallation am Beispiel eines Autohauses

### Teil 8: Innerer Blitzschutz, Über- spannungsschutz

Reinhard Soboll

**Seit diesem Jahr geht es bei den praktischen Übungen im Rahmen der Meistervorbereitungskurse im Elektrotechniker-Handwerk um reelle Kundenaufträge, z. B. um die Planung der Elektroinstallation eines Autohauses. Dieser Beitrag erklärt Schritt für Schritt, wie sich solch ein reeller Kundenauftrag fachmännisch bearbeiten lässt.**

*Bernd Blitz*, Geselle bei Elektromeister *Klaus Kabel*, hat sich um den äußeren Blitzschutz des Autohauses gekümmert (siehe »gig« 9/2003, S. 1ff.). Mittlerweile führte er auch vom neu verlegten Ringerder eine Anschlussleitung bis in den Hausanschlussraum. Jetzt geht es darum, das gesamte Blitzschutzsystem abzuschließen.

**Fr., 8.00 Uhr.** *Klaus Kabel* ruft *Bernd Blitz* zu sich: »*Bernd*, stell dir vor, wir haben gestern Nachmittag den großen Blitzschutzauftrag von *PC-Max* erhalten. Ich möchte gern, dass du die Gesamtverantwortung für die Planung dieses Projektes übernimmst. Schließlich hast du die meisten Erfahrungen und Kenntnisse auf diesem Gebiet.« Daraufhin *Bernd*: »Das freut mich. Dann muss ich aber ziemlich schnell noch ein Seminar besuchen. Du weißt doch, dass ich mich als VdS-anerkannter Sachkundiger für Blitz- und Überspannungsschutz sowie EMV-gerechte elektrische Anlagen zertifizieren lassen möchte. Das würde gut passen.« Daraufhin meint der Elektromeister, dass sich *Bernd*, um den Terminplan des neuen Großprojekts nicht zu gefährden, gleich anmelden soll. *Bernd* hakt nach: »Und wie geht es mit dem Auftrag vom Autohaus weiter?« »Darum kümmert sich *Uwe*, aber sage ihm noch nichts, es soll eine Überraschung werden«, entgegnet sein Chef.

**Mo., 8.00 Uhr.** *Uwe Ueberspannung* kommt wie immer pünktlich. »Hallo *Uwe*, guten Morgen, komm bitte mal mit in

Dipl.-Ing. *Reinhard Soboll* arbeitet als Fachlehrer am Bundes-  
technologiezentrum für Elektro- und Informationstechnik (bfe)  
in Oldenburg.

Fortsetzung aus »de« 9/2003

# Gig

Inhalt 10/2003

- |   |   |       |
|---|---|-------|
| 1 | Elektroinstallation<br>Projekt: Planung der<br>Elektroinstallation<br>am Beispiel eines<br>Autohauses | [ 8 ] |
| 5 | Grundlagen<br>Blindleistungs-<br>kompensation   | [ 1 ] |
| 7 | Elektroinstallation<br>Timerdiagramme<br>lesen und verstehen  | [ 1 ] |

mein Büro. Wir müssen was bereden«, begrüßt ihn sein Chef und klopft ihm leicht auf die linke Schulter. *Klaus Kabel* teilt *Uwe* mit, dass *Bernd* ab morgen ein Seminar besucht und er den Auftrag »Kfz-Feuerstuhl« zu Ende führen soll.

»Setze dich am besten gleich mit *Bernd* zusammen, er soll dir alle Planungsunterlagen geben«, sagt der Elektromeister.

**Mo., 9.00 Uhr.** »So, hier ist alles. Leider bin ich mit meiner Planung noch nicht besonders weit gekommen. Denn ich konnte erst jetzt die mit Überspannungsschutz zu versiehenden Komponenten klären«, sagt *Bernd* zu *Uwe* und gibt ihm den Projektordner. *Uwe* murmelt: »Da fange ich ja fast von vorne an, aber es hilft wohl nichts.«

### Der Blitzschutz-Potentialausgleich

**Mo., 10.00 Uhr.** *Uwe Ueberspannung* fährt zum Autohaus. Er möchte sich vor Ort einen Überblick verschaffen und macht sich Notizen, die er für die Planung und Ausführung benötigt.

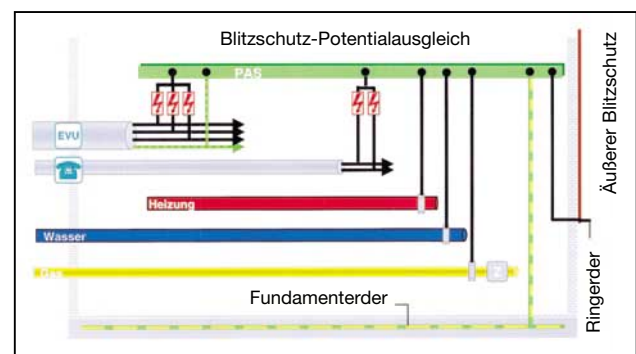


Bild 48: Blitzschutz-Potentialausgleich

*Uwe* beschließt, sich als Erstes mit dem Blitzschutz-Potentialausgleich zu befassen. Hier sind alle von außen eingeführten Leitungen und metallenen Rohrsysteme einzubeziehen. Man unterscheidet zwischen (Bild 48):

- Leitungen, die betriebsmäßig keine Spannungen oder Ströme führen – diese schließt man direkt über leitende Verbindungen an die Potentialausgleichschiene an – und
- Spannung führenden Leitungen – diese sind über Blitzstromableiter anzuschließen.

Potentialausgleichsleiter

Schutzklasse	Werkstoff	Querschnitt mm <sup>2</sup>
I bis IV	Kupfer	16
	Aluminium	25
	Stahl	50

Anmerkung: Soweit nicht nach mitgeltenden Normen, z.B. nach Klassifikation VDE 0100, größere Querschnitte gefordert werden.

Tabelle 8: Mindestabmessungen von Leitern, die verschiedene Potentialausgleichsschienen miteinander oder mit der Erdungsanlage verbinden



Bild 49: Potentialausgleichsschiene für den Blitzschutzpotentialausgleich

Uwe entnimmt die erforderlichen Mindestquerschnitte für die Potentialausgleichsleiter der Norm DIN V VDE V 0185 Teil 3 (Tabelle 8 und 9). Das geht problemlos, da für den Hauptpotentialausgleich schon beim Errichten der Kfz-Werkstatt 16-mm<sup>2</sup>-Kupferleitungen verwendet wurden. Trotzdem überprüft der Geselle alle Verbindungen vor Ort. Uwe muss nun nur noch die Zuleitungen der Energie- und Informationstechnik in den Blitzschutz-Potentialausgleich einbeziehen. Die vorhandene herkömmliche Potentialausgleichsschiene ersetzt er durch eine neue, und zwar eine, die sich für den Blitzschutzpotentialausgleich eignet (Bild 49).

Blitz- und Überspannungsschutz für die Energieseite

Mo., 13.00 Uhr. Uwe fährt zurück in die Firma. Er überlegt, was er bei der Realisierung des Überspannungsschutzes auf der Starkstromseite beachten muss, z.B. die Wahl der Überspannungsschutzgeräte sowie deren Installation nach Herstellerangaben und darüber hinaus die korrekte Leitungsverlegung.

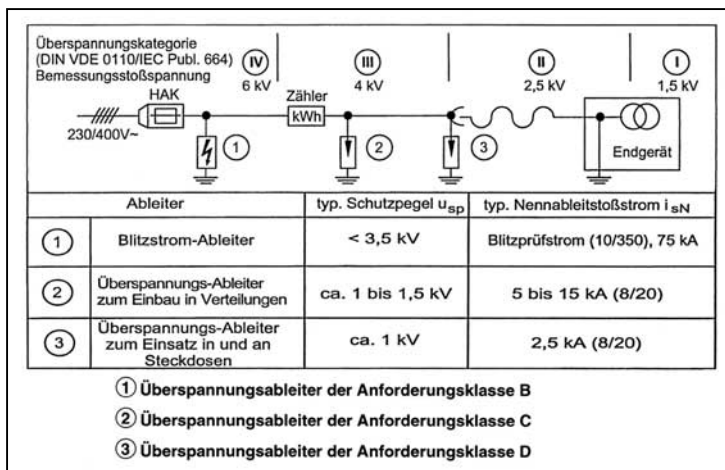


Bild 50: Anordnung der Überspannungsableiter der Anforderungsklassen B, C und D

Potentialausgleichsleiter

Schutzklasse	Werkstoff	Querschnitt mm <sup>2</sup>
I bis IV	Kupfer	6
	Aluminium	10
	Stahl	16

Anmerkung: Soweit nicht nach mitgeltenden Normen, z.B. nach Klassifikation VDE 0100, größere Querschnitte gefordert werden.

Tabelle 9: Mindestabmessungen von Leitern, die innere metallene Installationen mit der Potentialausgleichsschiene verbinden

Uwe entnimmt dem Projektordner, dass es sich bei Freds Anlage um ein TN-C-S-System handelt. Als Erstes wählt er für die Einspeisung Überspannungsschutzgeräte der Anforderungsklasse B. Diese so genannten Blitzstromableiter sind direkt an der Einführungsstelle des Kabels zu setzen, also möglichst in der Nähe des Hausanschlusskastens (HAK). Uwe entscheidet sich für eine Positionierung im Hauptverteiler, und zwar zwischen HAK und Zähler. Da er sich hier im plombierten Bereich der Hauptverteilung befindet, muss er sich die Genehmigung des zuständigen Elektrizitätsversorgungsunternehmens holen.

Nach den Blitzstromableitern, die einen Blitzstrom bis max. 100kA (im Folgenden »großer Blitzstrom« genannt) beherrschen und die Spannung auf maximal 6kV begrenzen<sup>1)</sup>, folgen zur Begrenzung auf 2,5kV bzw. 1,5kV Überspannungsschutzgeräte der Anforderungsklasse C und D (Bild 50).

Uwe blättert in seinen Unterlagen. Dort steht: *Mindestleitungs-längen zwischen den Überspannungsableitern oder andere Möglichkeiten der Entkopplung sorgen bei einem Blitzeinschlag für die energetische Koordination.*

Er erinnert sich an die Aufgabe der energetischen Koordination: Sie erreicht, dass der große Blitzstrom und damit die größte Energie zuerst über den dafür ausgelegten Blitzstromableiter fließt, also noch bevor die C-Ableiter durchschalten.

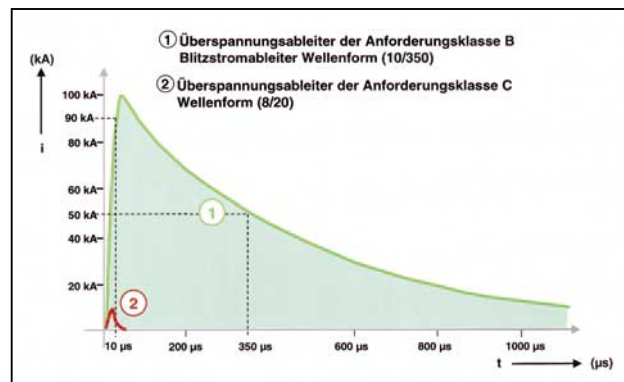


Bild 51: Vergleich von Prüfströmen

Uwe blättert weiter in seinen Unterlagen. Er findet ein Bild (Bild 51), das einen Vergleich der Prüfströme darstellt, und einen Hinweis dazu:

*Die Flächen unterhalb der Kurve symbolisieren den Energieinhalt, den die Schutzgeräte umsetzen können.*

*Merke: Ohne den vorgeschalteten Blitzstromableiter würden die Überspannungsableiter der Anwendungsklasse C bei*

1) Die den großen Blitzstrom beherrschenden Blitzstromableiter der meisten Hersteller begrenzen heute die Spannung auf Werte kleiner als 4kV.

ELEKTROINSTALLATION

einem direkten Blitzeinschlag überlastet. Sie können also alleine keinen Schutz für die Anlage darstellen.

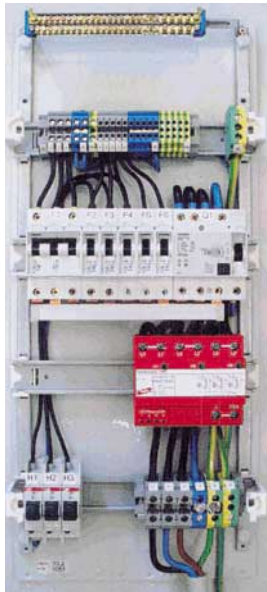


Bild 52: Dehn-Ventil TNC

Mo., 14.00 Uhr. Uwe nimmt einen Herstellerkatalog und stellt die Komponenten für die Energie-seite zusammen. Zum Einbeziehen der Starkstromleitungen in den Blitzschutzpotentialausgleich entscheidet er sich für den neuen mehrpoligen Kombi-Ableiter Dehn-Ventil TNC der Fa. Dehn (Bild 52). Dieser Kombi-Ableiter bietet u. a. zwei Vorteile:

- weil er nicht ausblased arbeitet, lässt er sich direkt in die Verteilung setzen und
- obwohl die Anlage Leitungen enthält, deren Länge bis zum nächsten zu schützenden Verbraucher geringer ist als 15 m, entfallen mit der Wahl dieses Kombi-Ableiters die sonst erforderlichen Entkopplungsdrosseln (Bild 53).

Für die neue Unterverteilung im Bürobereich sieht Uwe einen mehrpoligen Überspannungsableiter der Anforderungsklasse C vor. Für die 5-polige Zuleitung zum Unterverteiler wählt er den Dehn-Guard TNS 230/400, den er vor den Fehlerstromschutzeinrichtungen einbauen muss. Die verdrahtungsfertige Komplettseinheit besteht aus Basisteil und gesteckten Schutzbausteinen (Bild 54). Uwe empfiehlt Fred Feuerstuhl die gesteckte Variante, da sich beim Defekt eines Schutzbausteins dieser austauschen lässt, ohne Verdrahtungsaufwand und ohne die Verteilung abschalten zu müssen.

Übrigens erfordert der Schutz empfindlicher Geräte, die sich mehr als 5 m (Leitungslänge) von den C-Ableitern befinden, zusätzlich Überspannungsableiter der Anforderungsklasse D (Bild 55), die dann die nächsten 5 m (Leitungslänge) des entsprechenden Stromkreises schützen.



Bild 54: TN-S-System, vier Ableiter (Varistoren) gegen PE geschaltet

es denn?«, und zeigt Dennis seine Planungen. Dennis, der sich in einer Semesterarbeit mit dem Überspannungsschutz in unterschiedlichen Netzsystemen auseinandersetzt, fragt: »Ist die 3+1-Schaltung (Bild 56) wie im TT-System auch im TN-S-System vorgeschrieben?« »Nein, das nicht, aber sie wird für das TN-S-System empfohlen«, entgegnet Uwe und beide diskutieren die Vorteile dieser Schaltungsvariante. Dennis sagt schließlich: »Nehmen wir das TN-S-System mit vier gegen PE geschalteten Ableitern an. Wenn hier ein C-Ableiter zum Außenleiter defekt ist, er also leitend wird, fließt, wenn die vorgeschaltete Überstromschutzeinrichtung nicht anspricht, von diesem Außenleiter ein Strom über den Schutzleiter. Schließlich muss man bedenken, dass sich die Ableiter vor der RCD befinden.« »Ja, du hast vollkommen Recht«, entgegnet Uwe, »ich werde die 3+1-Schaltung einsetzen und mein Angebot ändern.«

Empfehlenswert: 3+1-Schaltung

Mo., 15.00 Uhr. Uwe sagt zu Dennis Schlaumichel, dem neuen Praktikanten: »So, nun bin ich mit der Planung des Überspannungsschutzes für das Autohaus Feuerstuhl fertig. Was gibt



Bild 55: Überspannungsschutzgerät der Anforderungsklasse D für den Einbau in Kabelkanäle

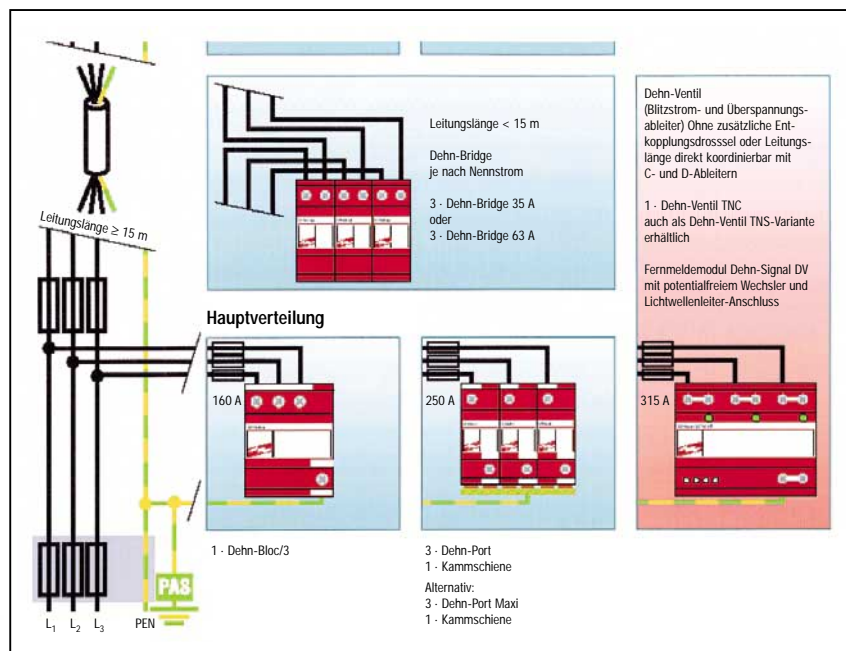
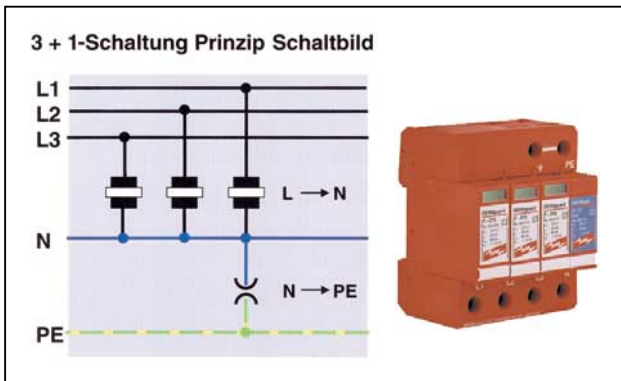


Bild 53: Auszug aus dem Überspannungskatalog eines Herstellers

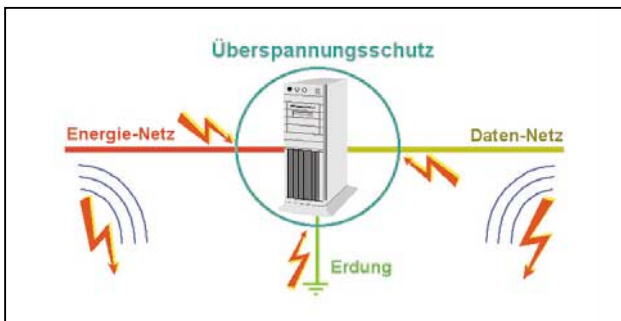
Der Überspannungsschutz für elektronische Geräte

Di., 8.00 Uhr. Uwe Überspannungs Pkw hat heute einen Termin zur Inspektion in Freds Kfz-Werkstatt. Der Geselle zeigt bei der Gelegenheit Fred Feuerstuhl den Installationsplan (siehe »gig« 8/2003, S. 2, Bild 35) und fragt: »Handelt es sich bei den hier eingezeichneten Monitoren um PC-Arbeitsplätze?« »Nein«, sagt Fred, »zurzeit gibt es nur zwei PCs bei uns. Einer soll nach wie vor im Geschäftsführerzimmer stehen und Internetzugang erhalten. Der andere in der Reparaturannahme dient nur z. B. zur Erstellung von Angeboten und Rechnungen.« Sie kommen überein, dass alle anderen Monitor-symbole in der Angebotszeichnung nur die vorgesehenen Datensteckdosen für PC und Telefon kennzeichnen. Der Kfz-Meister sagt: »Später möchte ich dann auch die PCs vernetzen lassen. Mehr als vier werden das dann aber wohl nicht sein.«



**Bild 56: 3+1-Schaltung, drei Ableiter (Varistoren) gegen N und ein Ableiter N gegen PE auf Funkenstreckenbasis geschaltet**

Fred möchte gern wissen, was der Überspannungsschutz kostet<sup>2)</sup>. Der Geselle holt seinen Notizblock raus und den Taschenrechner und sagt: »So genau kann ich das noch nicht sagen, aber mit 1500 € müssen Sie schon rechnen, evtl. sogar mehr.«



**Bild 57: Schutzkonzept für empfindliche elektronische Geräte**

»Jetzt sollte aber langsam Schluss sein«, entgegnet Fred. Daraufhin erklärt ihm Uwe Überspannung anhand einer Skizze (Bild 57) das Prinzip des Überspannungsschutzes für elektronische Geräte, die an zwei unterschiedliche Systeme (z.B. Starkstrom und Informationstechnik) angeschlossen werden: »Da Überspannungen sowohl über das Energienetz als auch über das Datennetz einkoppeln können, muss man immer beide Seiten schützen. Nehmen wir einmal an, dass nur die Energieseite mit Schutzgeräten beschaltet ist und in diese Energieseite Überspannungen einkoppeln, dann würden beim Auftreten von Überspannungen Störströme über den Schutzleiter und das Gehäuse abgeleitet werden. Das führt dazu, dass es zwischen dem Gehäuse oder auch dem Leitungsschirm der Datenleitung und der Datenschnittstelle zu sehr hohen Potentialunterschieden kommt, die möglicherweise Schäden im elektronischen Gerät verursachen. Würde man dagegen nur die »Datenseite« schützen,



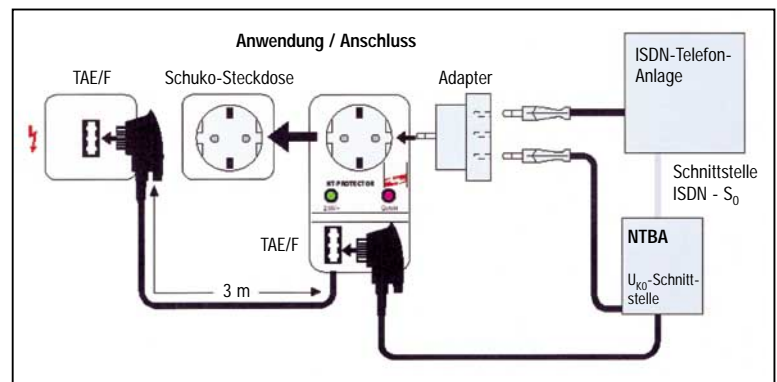
**Bild 58: Schutzgerät für den Blitzschutzpotentialausgleich (informationstechnisches Netz)**

»Datenseite« schützen,

so wären nach dem gleichen Prinzip Schäden auf der Netzseite zu befürchten. Durch die Überspannungsschutzgeräte, die Verbindung der Schutzleiter, des Leitungsschirms und des Gehäuses wird ein Schutzschild aufgebaut, der verhindern soll, dass zu hohe Überspannungen in das Gerät gelangen und hier an empfindlichen Bauteilen Schäden anrichten.« »Das glaube ich Ihnen jetzt einfach mal so, dass es nichts bringt, nur eine Seite zu schützen«, gibt Fred zu und ergänzt: »Allerdings möchte ich frühestens im nächsten Jahr in eine neue Computeranlage investieren. Aber wo Sie schon mal hier sind, könnten Sie mir auch bei Gelegenheit ein Angebot für die Vernetzung machen.«



**Bild 59: NT-Schutzgeräte**



**Bild 60: Prinzipschaltbild zum Schutz der TK-Anlage**

### Der Überspannungsschutz der ISDN-Anlage

Beide einigen sich, dass Uwe bis zur endgültigen Klärung und Realisierung der neuen informationstechnischen Anlage die erforderlichen Schutzgeräte für die zurzeit vorhandene ISDN-Anlage mit anbieten soll.

Der Blitzschutzpotentialausgleich und der Schutz der Telefonanlage erscheint dem Gesellen genauso leicht wie der Schutz der Energieseite. Er greift also wieder zum Herstellerkatalog. Dort steht, dass er sich für die Installation von Überspannungsschutzgeräten eine Genehmigung von der Telekom einholen muss.

Nach Absprache mit der Telekom setzt Uwe direkt hinter dem Anschlusspunkt den von der Deutschen Telekom zugelassenen Blitzductor CT Typ B 110V (Bild 58). Damit bezieht er die Telefonleitung in den Blitzschutz ein. Da es sich hier um ein Überspannungsschutzgerät für Hutschienenmontage handelt, muss er das Gerät in ein separates Gehäuse setzen.

Für den NTBA und die ISDN-Telefonanlage, die sich im Geschäftsführerbüro befinden, wählt Uwe ein kombiniertes Überspannungsschutzgerät (Bilder 59 und 60). Für die Telefonanschlüsse im Meisterbüro, in der Reparaturannahme sowie für das Faxgerät wählt er ISDN-Protectoren (Bild 61).



**Bild 61: Überspannungsschutzadapter mit kombiniertem Schutz für Netz- und S0-Eingang von ISDN-Anlagen und -Geräten**

(wird fortgesetzt)

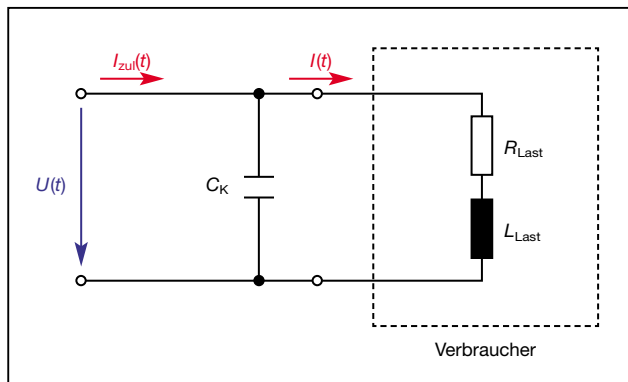
2) Das vollständige Angebot befindet sich unter [www.online-de.de/de/archiv/2003/10/a\\_gig01.html](http://www.online-de.de/de/archiv/2003/10/a_gig01.html)

# Blindleistungskompensation [ 1 ]

Helmuth Biechl

**Kompensiert eine Parallelkapazität die von einem ohmsch-induktiven Wechselstromverbraucher aufgenommene Blindleistung vollständig, sinkt der Zuleitungsstrom. Außerdem muss über die Zuleitung nur noch reine Wirkleistung übertragen werden.**

Es gibt Blindleistungsverbraucher und -erzeuger, und Blindleistung bedingt immer einen höheren Zuleitungsstrom im Vergleich zur reinen Wirkleistungsaufnahme oder -abgabe. Somit liegt der Gedanke nahe, einem Blindleistungsverbraucher einen Blindleistungserzeuger bzw. umgekehrt zuzuordnen, um den Blindleistungsbedarf zu kompensieren. Dann müsste nur noch reine Wirkleistung zugeführt werden. Der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  wäre somit eins und der Zuleitungsstrom minimal.



**Bild 1: Ohmsch-induktiver Verbraucher mit paralleler Kapazität  $C_K$  zur Blindleistungskompensation**

## Wichtige Gleichungen

Bild 1 zeigt einen ohmsch-induktiven Verbraucher mit parallel geschalteter Kapazität  $C_K$ . Dieser Kompensationskondensator kann die vom Verbraucher benötigte Blindleistung erzeugen. Wir ermitteln im Folgenden  $C_K$ , und zwar so, dass es zu einer vollständigen Kompensation der Blindleistung kommt. Von außen fließt dann nur noch reine Wirkleistung zu. Betrachtet man nur die Last, lässt sich ansetzen:

$$Q_{\text{Last}} = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

Weiterhin gilt:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (2)$$

und

$$\sin \varphi = \frac{X_L}{Z} \quad (3)$$

Setzen wir nun Gl. (2) und Gl. (3) in Gl. (1) ein, ergibt sich schließlich:

$$Q_{\text{Last}} = U \cdot \frac{U}{Z} \cdot \frac{X_L}{Z} = \left(\frac{U}{Z}\right)^2 \cdot X_L \quad (4)$$

Außerdem gilt:

Prof. Dr. Helmuth Biechl, Fachjournalist, Kempten

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad \text{und} \quad Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} \quad (5)$$

In den Formeln bedeuten:

$Q_{\text{Last}}$ : von der Last aufgenommene Blindleistung

$U$ : Effektivwert der Spannung

$I$ : Effektivwert des Stroms

$\varphi$ : Phasenverschiebungswinkel zwischen Strom und Spannung

$Z$ : Scheinwiderstand

$X_L$ : induktiver Blindwiderstand

$f$ : Frequenz

$L$ : Induktivität

$R$ : Widerstand

Für die von der Kapazität  $C_K$  erzeugte Blindleistung  $Q_C$  kann man ansetzen:

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_K \quad (6)$$

Eine vollständige Kompensation verlangt, dass beide Blindleistungen gleich groß sind, also  $Q_{\text{Last}} = Q_C$ . Wir setzen also Gl. (4) und Gl. (6) gleich:

$$U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_K = Q_{\text{Last}} \quad (7)$$

Wir erhalten schließlich für die gesuchte Kapazität  $C_K$ :

$$C_K = \frac{Q_{\text{Last}}}{2\pi \cdot f \cdot U^2} \quad (8)$$

## Ein Beispiel: $U$ , $I$ , $f$ und $\cos \varphi$ gegeben

**Aufgabe:** Eine Drosselspule liegt an der Spannung  $U = 230 \text{ V}$ . Die Frequenz beträgt  $50 \text{ Hz}$ , der Laststrom  $12 \text{ A}$  und der Leistungsfaktor  $0,8$ .

**Frage:** Gesucht ist die Kapazität  $C_K$  für eine vollständige Kompensation der Blindleistung.

**Lösung:** Die gesuchte Kapazität  $C_K$  ergibt sich mit der wichtigen Beziehung

$$\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1 \quad \Rightarrow \quad \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

und Gl. (1) sowie Gl. (8) zu:

$$Q_{\text{Last}} = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

$$Q_{\text{Last}} = 230 \text{ V} \cdot 12 \text{ A} \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} = 1656 \text{ Var}$$

$$C_K = \frac{Q_{\text{Last}}}{2\pi \cdot f \cdot U^2} = \frac{1656 \text{ Var}}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot (230 \text{ V})^2} = 99,6 \text{ }\mu\text{F}$$

**Weitergehende Überlegungen:** Wir interessieren uns nun für den Zuleitungsstrom  $I_{\text{zul}}$ . Als Erstes können wir feststellen, dass durch die Kompensation  $\cos \varphi = 1$  wird. Darüber hinaus ändert sich bzgl. der zu übertragenden Wirkleistung nichts, d. h., sie ist trotz Kompensation konstant. Deshalb können wir die Wirkleistungen  $P_{\text{unkomp.}}$  und  $P_{\text{komp.}}$  gleichsetzen:

$$P_{\text{unkomp.}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I_{\text{zul}} = P_{\text{komp.}} \quad \Rightarrow$$

$$U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I_{\text{zul}} \quad \Rightarrow$$

$$I \cdot \cos \varphi = I_{\text{zul}}$$

In diesem Beispiel erhalten wir damit:

$$I_{\text{zul}} = I \cdot \cos \varphi = 12 \text{ A} \cdot 0,8 = 9,6 \text{ A}$$

Die Blindleistungskompensation bewirkt in diesem Beispiel, dass der Zuleitungsstrom von  $I = 12\text{ A}$  auf  $I_{\text{zul}} = 9,6\text{ A}$  sinkt, also um 20 %.

Für die Zuleitungsverluste  $P_{V,\text{zul}}$  gilt:

$$P_{V,\text{zul}} = R_{\text{zul}} \cdot I_{\text{zul}}^2$$

Das bedeutet: Wenn der Zuleitungsstrom durch die Kompensation auf 80 % zurückgeht, dann sinken die Zuleitungsverluste auf 64 %. Beweis:

Nehmen wir einen Zuleitungswiderstand von  $10\ \Omega$  an, dann erhalten wir im unkompenzierten Fall:

$$P_{V,\text{zul,unkomp.}} = R_{\text{zul}} \cdot I^2 = 10\ \Omega \cdot (12\ \text{A})^2 = 1440\ \text{W}$$

und mit Kompensation:

$$P_{V,\text{zul,komp.}} = R_{\text{zul}} \cdot I_{\text{zul}}^2 = 10\ \Omega \cdot (9,6\ \text{A})^2 = 921,6\ \text{W}$$

Es gilt:

$$\frac{P_{V,\text{zul,komp.}}}{P_{V,\text{zul,unkomp.}}} = \frac{921,6\ \text{W}}{1440\ \text{W}} = 0,64 = 64\ \%$$

### Ein Beispiel: R, L, U und f gegeben

**Aufgabe:** Ein ohmsch-induktiver Verbraucher mit  $R_{\text{Last}} = 10\ \Omega$  und  $L_{\text{Last}} = 12\ \text{mH}$  liegt an Netzspannung (230 V, 50 Hz).

**Frage:** Wie groß muss man  $C_K$  für eine vollständige Blindleistungskompensation wählen?

**Lösung:** Wir berechnen zunächst mit Gl. (5) und Gl. (4) die Blindleistung  $Q_{\text{Last}}$  der Last:

$$X_{\text{Last}} = 2\pi \cdot f \cdot L_{\text{Last}}$$

$$X_{\text{Last}} = 2\pi \cdot 50\ \text{Hz} \cdot 12\ \text{mH} = 3,77\ \Omega$$

$$Z_{\text{Last}} = \sqrt{X_{\text{Last}}^2 + R_{\text{Last}}^2}$$

$$Z_{\text{Last}} = \sqrt{(3,77\ \Omega)^2 + (10\ \Omega)^2} = 10,69\ \Omega$$

$$Q_{\text{Last}} = \left(\frac{U}{Z_{\text{Last}}}\right)^2 \cdot X_{\text{Last}}$$

$$Q_{\text{Last}} = \left(\frac{230\ \text{V}}{10,69\ \Omega}\right)^2 \cdot 3,77\ \Omega = 1745,2\ \text{Var}$$

Nun können wir mit Gl. (8) die gesuchte Kompensationskapazität  $C_K$  bestimmen:

$$C_K = \frac{Q_{\text{Last}}}{2\pi \cdot f \cdot U^2}$$

$$C_K = \frac{1745,2\ \text{Var}}{2\pi \cdot 50\ \text{Hz} \cdot (230\ \text{V})^2} = 105\ \mu\text{F}$$

**Weitergehende Überlegungen:** Auch hier interessieren wir uns wieder für den Zuleitungsstrom  $I_{\text{zul}}$ . Wir berechnen hierzu den Strom  $I$  durch die Last:

$$I = \frac{U}{Z_{\text{Last}}} = \frac{230\ \text{V}}{10,69\ \Omega} = 21,52\ \text{A}$$

Die aufgenommene Wirkleistung  $P$  der Last erhält man zu:

$$P = I^2 \cdot R_{\text{Last}} = (21,52\ \text{A})^2 \cdot 10\ \Omega = 4631,1\ \text{W}$$

Nun lässt sich der Zuleitungsstrom  $I_{\text{zul}}$  bestimmen:

$$U \cdot I_{\text{zul}} = P \Rightarrow$$

$$I_{\text{zul}} = \frac{P}{U} = \frac{4631,1\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 20,13\ \text{A}$$

### Zusammenfassung

Bei einem ohmsch-induktiven Verbraucher lässt sich die aufgenommene Blindleistung  $Q_{\text{Last}}$  durch folgende Parallelkapazität  $C_K$  kompensieren:

$$C_K = \frac{Q_{\text{Last}}}{2\pi \cdot f \cdot U^2}$$

Der Zuleitungsstrom  $I_{\text{zul}}$  ergibt sich dann zu:

$$I_{\text{zul}} = \frac{P}{U} \quad \text{bzw.} \\ I_{\text{zul}} = I \cdot \cos \varphi$$

Dabei ist  $\cos \varphi$  der Leistungsfaktor der unkompenzierten Last.

### Teilweise Anhebung des Leistungsfaktors

Man kann die von einem ohmsch-induktiven Wechselstromverbraucher aufgenommene Blindleistung durch eine Parallelkapazität vollständig kompensieren lassen, es besteht aber auch die Möglichkeit, den Leistungsfaktor lediglich teilweise anzuheben (teilweise Kompensation). Nun fragen wir uns also, wie groß die Kapazität  $C_K$  sein muss, um den Leistungsfaktor von  $\cos \varphi_1$  auf  $\cos \varphi_2$  anzuheben. Es gilt (siehe auch »gig« 7/2003, S. 6):

$$\tan \varphi_1 = \frac{Q_1}{P} \Rightarrow Q_1 = P \cdot \tan \varphi_1 \quad (9)$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{Q_2}{P} \Rightarrow Q_2 = P \cdot \tan \varphi_2$$

In diesen Formeln bedeuten:

$Q_1$ : Blindleistung vor der Kompensation

$\varphi_1$ : Phasenverschiebungswinkel zwischen Strom und Spannung vor der Kompensation

$Q_2$ : Blindleistung nach der Kompensation

$\varphi_2$ : Phasenverschiebungswinkel zwischen Strom und Spannung nach der Kompensation

Mit  $Q_C$  bezeichnen wir die für das Senken von  $Q_1$  auf  $Q_2$  benötigte Blindleistung. Es gilt mit Gl (6):

$$Q_1 - Q_2 = Q_C = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_K \Rightarrow$$

$$C_K = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{U^2 \cdot 2\pi \cdot f}$$

**Aufgabe:** Ein Wechselstromverbraucher ( $U = 230\ \text{V}$ ,  $f = 50\ \text{Hz}$ ) nimmt eine Wirkleistung von 1,8 kW bei einem Leistungsfaktor von  $\cos \varphi_1 = 0,82$  auf.

**Frage:** Welche Parallelkapazität  $C_K$  hebt den Leistungsfaktor auf  $\cos \varphi_2 = 0,90$ ?

**Lösung:** Der Zusammenhang zwischen dem Cosinus und dem Tangens eines Winkels lautet (»gig« 7/2003, S. 6):

$$1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow \tan \alpha = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1}$$

Daraus folgt nun  $\tan \varphi_1 = 0,698$ ,  $\tan \varphi_2 = 0,484$  und:

$$C_K = \frac{1,8\ \text{kW} \cdot (0,698 - 0,484)}{(230\ \text{V})^2 \cdot 2\pi \cdot 50\ \text{Hz}} = 23,2\ \mu\text{F}$$

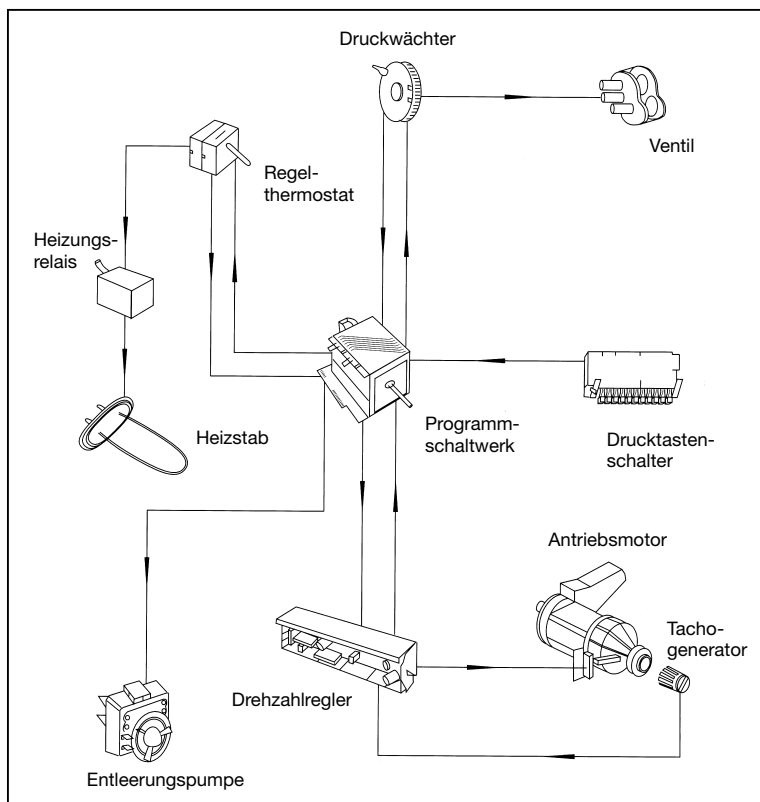
(Fortsetzung folgt)

# Timerdiagramme lesen und verstehen [ 1 ]

Günter E. Wegner

**Elektromotorisch angetriebene Programmschaltwerke, so genannte Timer, steuern den Programmablauf von älteren bzw. einfacheren Wasch- und Spülmaschinen. Dieser Programmablauf bzw. die Arbeitsweise der Automaten lässt sich mit Zeit- oder Timerdiagrammen beschreiben. Muss der Servicetechniker eine ältere Maschine mit Programmschaltwerk in angemessener Zeit reparieren, setzt das Kenntnisse bzgl. der Timerdiagramme voraus.**

Unter Programm versteht man die Folge der Arbeitsabläufe einer Waschmaschine oder eines Geschirrspülers. Nach Drücken der Starttaste laufen die einzelnen Funktionen selbsttätig und in logischer Reihenfolge ab, z.B. Wassereinlauf, Heizen, Spülen. Für die richtige Reihenfolge sorgt das Programmschaltwerk, der Timer (Bild 1).



**Bild 1: Herz eines Wasch- oder Spülautomaten: das Programmschaltwerk, auch Timer genannt**

## Aufbau des Timers

Der Timer lässt sich mit einer elektrischen Schaltuhr vergleichen, die z.B. die Schaufensterbeleuchtung einschaltet oder in den Nachtstunden die Außenbeleuchtung von Gebäuden. Dazu verfügt die Schaltuhr über einen Schaltkontaktsatz, den eine umlaufende Nockenscheibe schaltet (Bild 2).

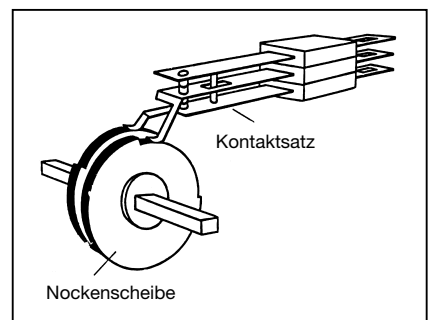
Ing. Günter E. Wegner, Fachjournalist, Seevetal



Quelle: Miele

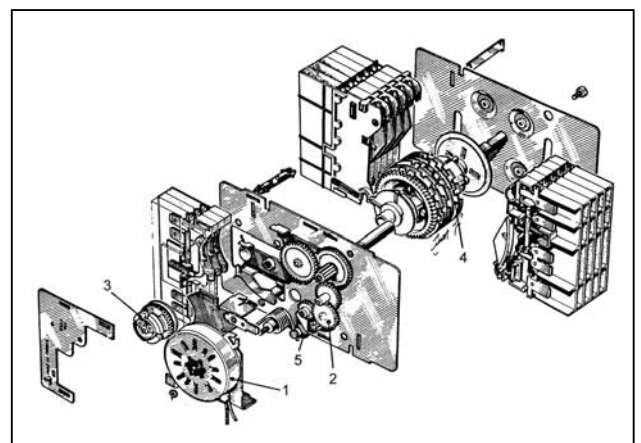
Umfangreiche Programmsteuerungen benötigen allerdings viele Nocken- oder Steuerscheiben für die Steuerung der einzelnen Funktionsabläufe und das Zusammenspiel der Bauelemente in der Maschine. Dazu ordnet man die Nockenscheiben auf einer Welle an

(Bild 3). Ein Synchronmotor dreht die Welle, die auch Nockentrommel heißt. Diese Nockentrommel betätigt bei ihrem Umlauf Mikroschalter, von denen es übrigens genauso viele gibt wie Nockenscheiben. Bei den Schaltsätzen handelt es sich



**Bild 2: Eine umlaufende Nockenscheibe steuert die Schaltkontakte**

meistens um so genannte Umschalter, so dass sich – je nach Kontaktbelegung und Bedarf – der Schaltkontakt öffnet oder schließt. Wie oft und wie lange das im Einzelnen geschieht, bestimmt die Anzahl der Nocken auf der Steuerscheibe und deren Breite.



**Bild 3: Elektromechanisches Programmschaltwerk für eine Waschmaschine in Explosionsdarstellung: 1 Motor, 2 Untersetzungsgetriebe, 3 Wendesteuerungsnocken, 4 Programmnocken, 5 Einstellsystem**

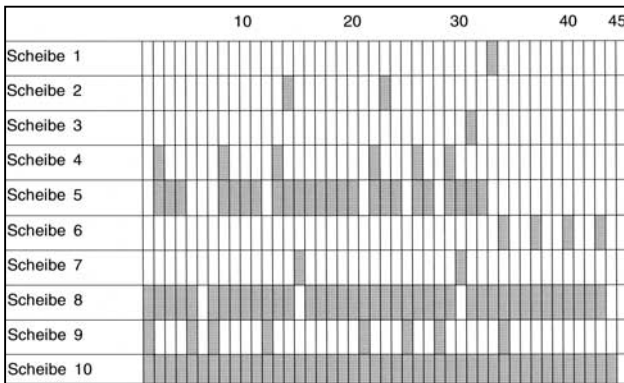


Bild 4: Zeitdiagramm für ein elektromechanisches Programmschaltwerk

So genannte Reversiernocken bei Waschmaschinen steuern übrigens die Drehrichtung des Waschtrommelmotors, z. B. für den Rechts-/Linkslauf der Wäschetrommel.

### Das Timerdiagramm

Das Ablauf- oder Zeitdiagramm des Timers beschreibt die Arbeitsweise des Programms und die Zuordnung der Schaltsätze. Aus diesem Diagramm geht hervor, zu welchem Zeitpunkt die Mikroschalter geschlossen (schwarzes Feld) oder geöffnet sind (Bild 4). Die Anzahl der Diagrammzeilen stimmt mit der Anzahl der Nockenscheiben überein (in Bild 4 sind es zehn Nockenscheiben), und die Spalten symbolisieren die gesamte Trommelumlaufzeit. Dauert ein Schaltschritt in Bild 4 1 min, beträgt die Trommelumlaufzeit also 44 min. Darüber

hinaus erkennt man in Bild 4, dass z. B. die Scheibe 2 zweimal und die Scheibe 6 viermal für jeweils 1 min einschaltet. Steuereinrichtungen, z. B. Wasserstands- und Temperaturregler, unterbrechen den Umlauf zeitweise, so dass damit die Zeit für das Arbeitsprogramm größer ist als die Trommelumlaufzeit.

Oft läuft der Timer schrittweise, also nicht kontinuierlich. Ausgelöst durch einen Zeitkontakt, bewegt sich die Nockentrommel z. B. alle 30 s weiter und löst einen Schaltschritt aus.

Das Timerdiagramm ist im Zusammenhang mit dem Schaltbild der Maschine zu sehen (Bild 5). An der durchgehenden Schwarzfärbung in Bild 5 erkennt man die während der ganzen Umlaufzeit geschlossenen Kontakte 1 und 9 des Hauptschalters. Beide öffnen erst in der letzten Schaltstufe, in der 45. Minute. Dagegen unterbricht der Programm-motor zeitweise (über Kontakt 2), und zwar zum einen in der 5. Minute nach dem Vorspülen, dann in der 15. und in der 30. Minute, wenn sich das Heizelement einschaltet. Man erkennt in Bild 5 auch die anderen Funktionen, z. B. den Wassereinlauf, die Spülmittelzugabe oder das Regenerieren.

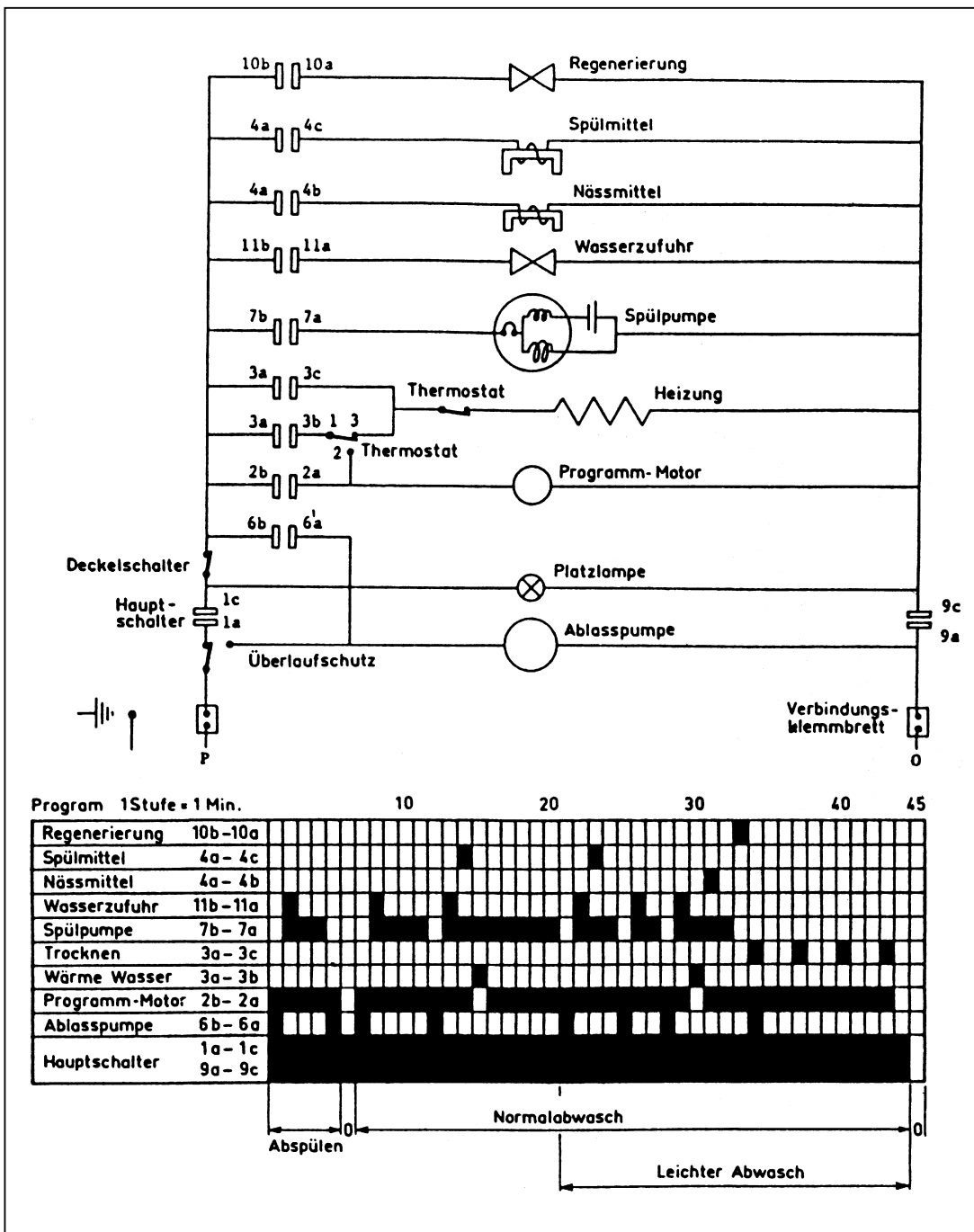


Bild 5: Schaltschema eines Geschirrspülers mit dazugehörigem Timerdiagramm

(Fortsetzung folgt)