

# Die grünen Seiten für die Aus- und Weiterbildung

# Gig

Inhalt 20/2005

## Schütze, Relais und ihr Einsatz

Teil 2: Anlassschaltung funktioniert  
nicht, Auswahl neuer Schütze

Jörg-Rainer Wurdak

**In der Firma Supermetall brannte ein Leistungsschütz aus. Der Handwerksbetrieb Universalelektro soll die Reparatur durchführen. Inhaber Sven Meisterlich beauftragt seinen Gesellen Harald Hurtig das Schütz auszuwechseln. Mit dabei ist Lehrling Lars Lerner, der die Schütztechnik kennen lernen will. Auf beide kommen weitere Aufgaben zu.**

Di., 8.30 Uhr. Geselle *Harald Hurtig* und Lehrling *Lars* haben gerade im Einspeisefeld eines Gleichrichterschrankes bei der Fa. Supermetall das Leistungsschütz ausgewechselt, da spricht Maschineneinrichter *Jochen Justier* die beiden auf Fehlfunktionen in einer anderen Motorsteuerung an. Alle drei gehen also zur Lüfteranlage für einen großen Wasser-Luft-Wärmetauscher. Im Wärmetauscher wird erwärmtes Kühlwasser von den Metallbearbeitungsanlagen zurückgekühlt. Das entmineralisierte Kühlwasser befindet sich in einem geschlossenen Kreislauf. Zwei Lüfter blasen die Kühlluft durch den Wärmetauscher (Bild 11).

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

Fortsetzung aus »de« 19/2005

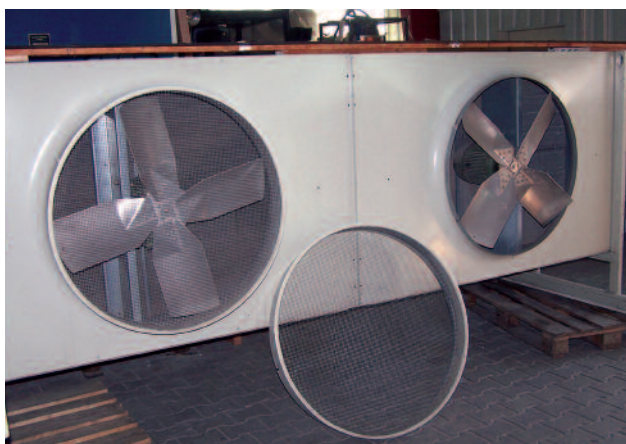


Bild 11: Wasser-Luft-Wärmetauscher

### Motor läuft nicht an – die Fehlersuche

*Jochen* erläutert: »In einer Motorzuleitung hatten wir einen Kurzschluss. Scharfkantige Metallabfälle müssen durch ein defektes Schutzgitter hindurch auf die Leitung geschleudert worden sein. Doch nach dem Auswechseln der Leitung läuft dieser Motor über die Steuerung nicht mehr an. Der betroffene Motor wird über einen Temperaturfühler zuge-schaltet, wenn die Kühlwassertemperatur über 40°C steigt. Der andere Motor ist immer bei eingeschalteter Anlage in Betrieb.«

Der Geselle lässt sich von *Jochen* die Schützsteuerung im Schaltschrank zeigen und sieht sich die installierten Bauteile an. Er bemerkt ein Schütz mit braunen Schmorsspuren in der Mitte der Kontaktabdeckung. Da die Anlage noch spannungsfrei und gegen Wiedereinschalten gesichert ist, zieht er die Kontaktabdeckung der Hauptstromkontakte ab. Wegen eines an einer Kontaktstelle verschweißten mittleren Brückenkontakts sind die drei Schließerkontaktbrücken nur wenig angehoben. Beim Versuch den verschweißten Kontakt mit Werkzeug zu lösen, bricht die durch Überhitzung porös gewordene mechanische Verbindung zur Betätigungsspule ab (Bild 12). Die Schweißspuren auf den feststehenden Kontakten lassen sich nun gut erkennen. *Harald* wundert sich über diese Kontaktüberlastung: »Wie war das denn genau mit dem Kurzschluss in diesem Motorstromkreis? Die Schmelzsicherungen für den Kurzschlusschutz müssen doch schnell angesprochen haben.« Der Maschineneinrichter antwortet, dass das Motorschutzrelais auslöste und er von ausgelösten Schmelzsicherungen nichts weiß. »Aha, die Schützkontakte haben über die Ansteuerung vom Motorschutzrelais den hohen Kurzschlussstrom abgeschaltet. Dafür sind Schütze aber nicht ausgelegt. Das hängt

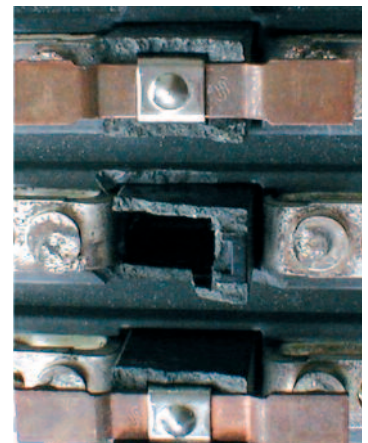


Bild 12: Überlastete Schützkontakte

Das hängt

### Klassifizierung von Schaltgeräten

Klassifizierung	Stromschaltvermögen	Beispiele
Leerschalter	nur für nahezu stromloses Schalten ausgelegt	Sicherungsleertrenner zum sicheren Trennen der Anlage von der Netzspannung
Lastschalter	Schalten bis zum doppelten Bemessungsstrom (Herstellerangabe beachten)	Lichtschalter, Fehlerstromschutzeinrichtungen, Befehlstaster, Endlagenschalter, Hilfsschütze, Kleinschütze
Motorschalter	Schalten der Anlaufströme von Motoren	Steuerschalter, Schütze
Leistungsschalter	Schalten von Kurzschlussströmen (Angabe des Schaltvermögens)	Leitungsschutzschalter Motorschutzschalter mit Kurzschlussauslöser

Tabelle 2: Einteilung der Schaltgeräte nach dem Schaltvermögen

mit dem Schaltvermögen von elektromechanischen Schaltgeräten zusammen«, stellt Harald fest.

Der Geselle erklärt dem Lehrling die Zusammenhänge (Tabelle 2): »Die Einteilung oder Klassifizierung der Schaltgeräte erfolgt nach dem Schaltvermögen in vier Gruppen. Schütze zählen zu den Last- oder Motorschaltern. Im Kurzschlussfall müssen vorgeschaltete Schmelzsicherungen, Leitungsschutzschalter oder Motorschutzschalter das Abschalten der Kurzschlussströme übernehmen. In diesem Fall kommt noch hinzu, dass der Kurzschlussstrom auch längere Zeit über die Schützkontakte fließt. Beim thermischen Motorschutzrelais sind die Abschaltzeiten länger als bei einem richtig dimensionierten Kurzschlusschutz. Es ist nur für den Überlastschutz ausgelegt. Wir müssen klären, warum der Kurzschlusschutz nicht angesprochen hat.«

### Kurzschlusschutz spricht nicht an

In der Schaltschranktür befindet sich der Stromlaufplan für den Hauptstromkreis der Lüftersteuerung (Bild 13). Der Lehr-

ling blickt mit auf den Plan: »Sind das nicht Stern-Dreieck-Anlassschaltungen für die beiden Lüftermotoren?«, fragt er Harald. »Ja, die findet man wirklich viel«, entgegnet der Geselle, der sich jedoch mehr für die Schmelzsicherungen zum Kurzschlusschutz interessiert und deshalb die Sicherungsgruppe F21 genauer unter die Lupe nimmt. Als er die Schraubkappen löst, fallen ihm sofort die manipulierten Sicherungen auf (Bild 14). Jochen Justier weiß angeblich nichts davon. Er erwähnt nur, dass man auf Grund des erhöhten Kühlbedarfs vor drei Jahren Lüftermotore mit größerer Bemessungsleistung einbauen ließ (Bild 15) und dass das der ehemalige Betriebselektriker übernahm. Jochen hatte dafür die größeren Lüfterpropeller ange-



Bild 14: Manipulierte Schmelzsicherung

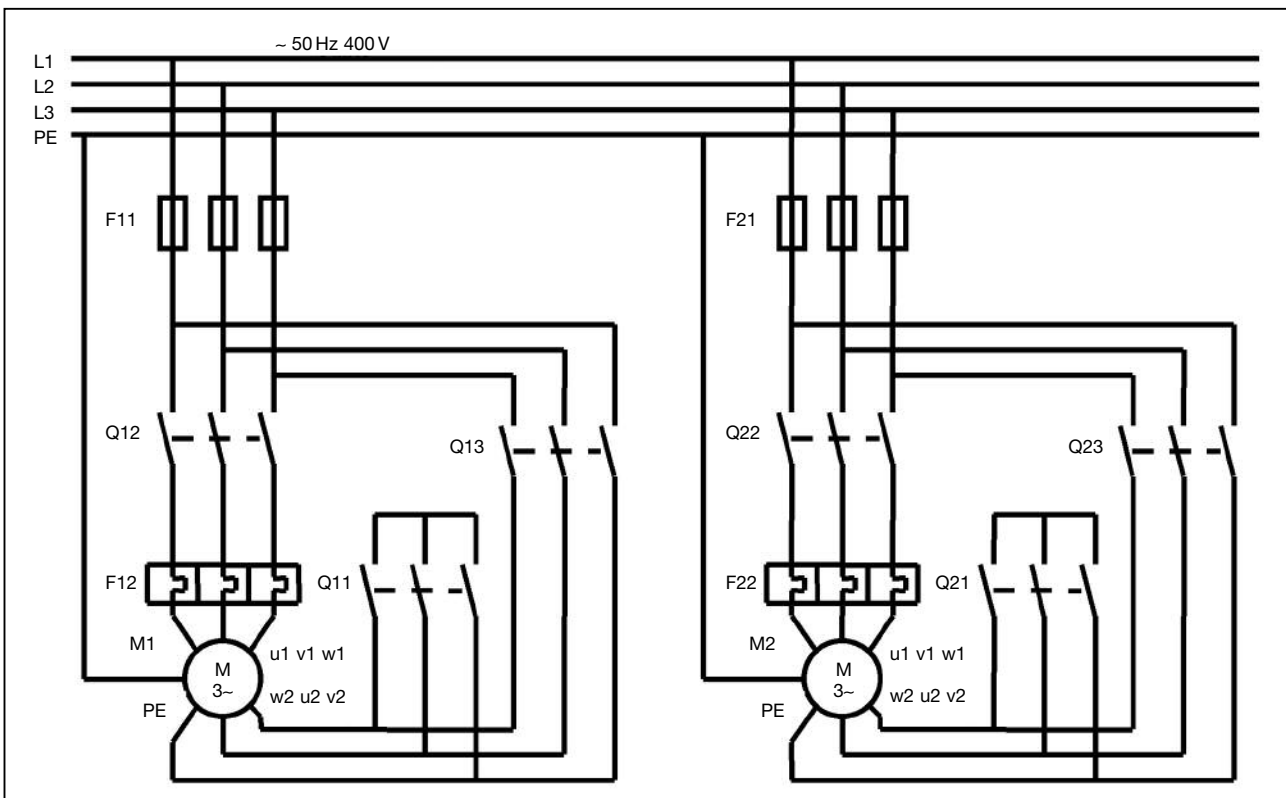
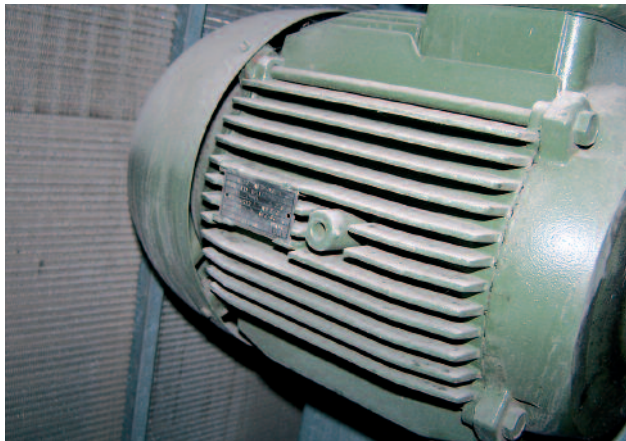
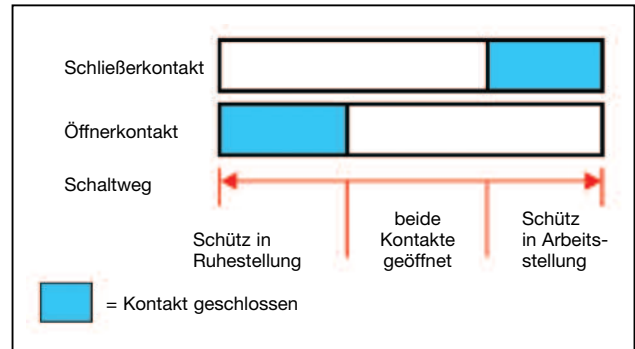


Bild 13: Hauptstromkreis Lüftersteuerung



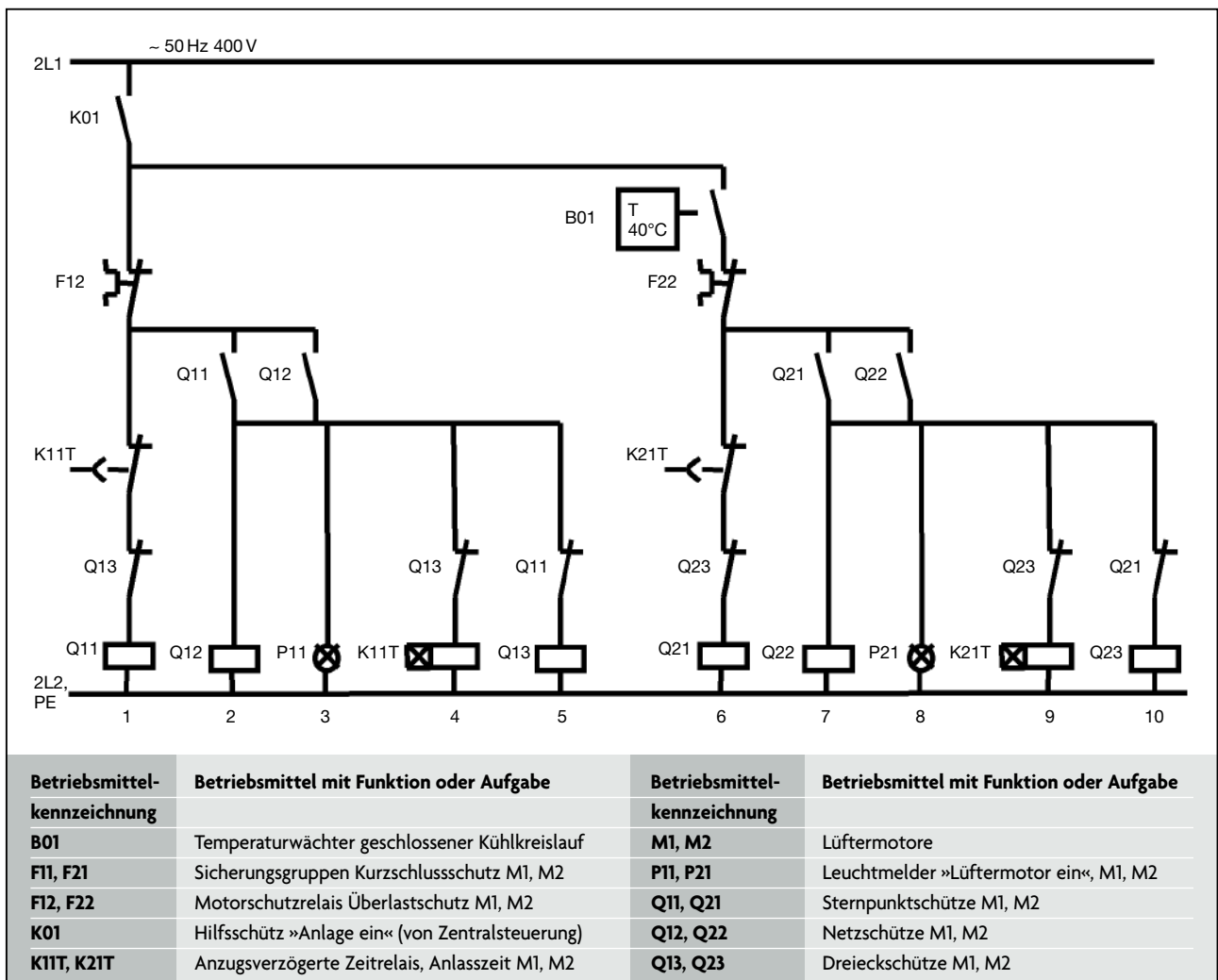
**Bild 15: Lüftermotor**

fertigt und montiert (Bild 11). »Die weitere Vorgehensweise müssen jetzt unsere Chefs klären«, sagt Harald, der an Hand einer weiteren Schaltungsunterlage noch herausbekommen möchte, warum der Lüftermotor M2 bei eingeschaltetem Temperaturwächter B01 nicht anläuft. Bei der Fehleranalyse soll auch der Lehrling mitwirken, der die Schaltung des Steuerstromkreises zur Hand nimmt (Bild 16). Beim fehlerhaften Schütz mit den verschweißten Kontakten handelt sich um Q23, dem Dreieckschütz für M2 (Bild 13).



**Bild 17: Prinzip Schaltwegediagramm zwangsgeführter Kontakte**

Auf Grund eines verschweißten Brückenkontaktes im Außenleiter L2 hatten sich die Schließer im Hauptstromkreis beim Abschalten nur wenig geöffnet (siehe »gig« 19/2005, Bild 2), und das gesamte Kontaktsystem kehrte nicht vollständig in die Ruhelage zurück. Der Geselle fragt seinen Lehrling: »Warum konnte denn der Motor M2 über Sternschütz Q21 und über Folgeschaltung Netzschütz Q22 nicht wieder anlaufen?« Lars sagt: »Das kann nur daran liegen, dass die Schützspule von Q21 im Strompfad 6 über den Öffnerkontakt vom Schütz Q23 keine Steuerspannung bekommt.« Unklar ist ihm, warum dieser Hilfskontakt nicht wieder geschlossen war – schließlich wurden nur die Hauptstromkontakte von Q23



**Bild 16: Schaltung Steuerstromkreis Teil Lüftersteuerung**



überlastet. Harald gibt etwas Nachhilfe. Schütze verfügen generell über zwangsgeführte Kontakte nach DIN EN 60947 (VDE 0660 Teil 100). Das bedeutet vereinfacht: Schließerkontakte und Öffnerkontakte sind mechanisch so miteinander verbunden (geführt), dass sie im Verlauf des Schaltweges nie gleichzeitig geschlossen sind (Bild 17). Das gilt auch für die mechanisch gekoppelten Haupt- und Hilfskontakte. So wird u. a. Umschaltbarkeit gewährleistet. Beim fehlerhaften Schütz Q23 öffneten zwar die Schließer im Hauptstromkreis, aber der durch das Verschweißen begrenzte Schaltweg reichte nicht aus, um den Öffner von Q23 im Steuerstromkreis zu schließen.

**Mitteilung an den Auftraggeber**

Di., 10.30 Uhr. Ingo Isenstein, der Geschäftsführer von Supermetall, kommt zu den beiden und erkundigt sich nach dem Stand der Dinge. Als er von der Fehlerursache erfährt, sagt er: »Früher waren 4-kW-Lüftermotoren eingebaut. Heute sind es 7,5-kW-Typen.« Er erinnert sich auch noch daran, dass sein ehemaliger Betriebselektriker versichert hat, dass die komplette Motorsteuerung so bleiben kann und nur die Querschnitte der Motorzuleitungen und die Einstellung des Motorschutzrelais verändert wurden. Harald vermutet wegen der beibehaltenen

Schmelzsicherungen, dass eine davon auf Grund des ständig höheren Motorstromes ansprach und einfach »geflickt« wurde.

Der Geschäftsführer, der den Wärmetauscher wieder bald in Funktion sehen will, ruft bei Elektromeister Sven Meisterlich an und bittet um die Reparatur des Schadens. Zur Schützauswahl benötigt der Inhaber von Universalelektro noch die elektrischen Daten der eingesetzten Motoren und die Typen der vorhandenen Schütze. Schließlich lässt es sich nicht ausschließen, dass die höheren Motorströme abermals die zulässige Strombelastung der Schützkontakte überschreiten. Das neue Schütz ist also dementsprechend auszuliefern.

Geselle Harald, der das Gespräch mitverfolgt hat, notiert sich die fehlenden Informationen.

Außerdem vereinbaren der Elektromeister und der Geschäftsführer, für die beiden Reparaturen eine Sammelrechnung zu erstellen. Nach der Lieferung des Ersatzschützes wird der Geselle wieder die Auswechselarbeiten übernehmen.

»Zweckmäßigerweise sollten wir auch die nicht beschädigten Schütze wechseln, und zwar dann, wenn die Strombelastung für die Schützkontakte zu hoch ist«, empfiehlt der Elektromeister dem Auftraggeber. Doch der wünscht zunächst nur eine Reparatur.

(Fortsetzung folgt)

**Berichtigung aus »de« 18/2005, Seite 105, 106**

Im Beitrag »Aktive Komponenten« haben sich leider im Druck drei falsche Bilder eingeschlichen. Ggf. können Sie die nun richtigen, nebenstehenden Bilder ausschneiden und in den Beitrag in »de« 18/2005 auf den S. 105 und 106 einkleben. Vielen Dank für Ihr Verständnis.

Die Redaktion

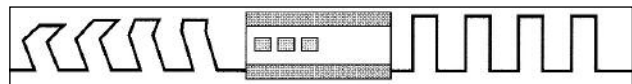
PS: Und nun noch eine gute Nachricht: Auf Grund des großen Interesses wird der Fotowettbewerb »Fehlerhafte Elektroinstallationen« im »gig« weitergeführt. Hier zwei Leserbriefe:

»Ich würde mich freuen, wenn Sie solche Bilder oder auch Kommentare oder Berichte über »Unfallinstallationen« weiter veröffentlichen würden.«

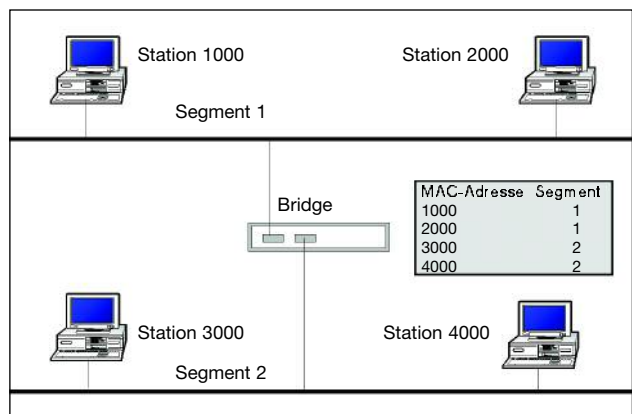
Hans-Peter Lässig, Celanese AG

»Ich bedauere sehr, dass der Fotowettbewerb »Fehlerhafte Elektroinstallationen« vorbei ist.«

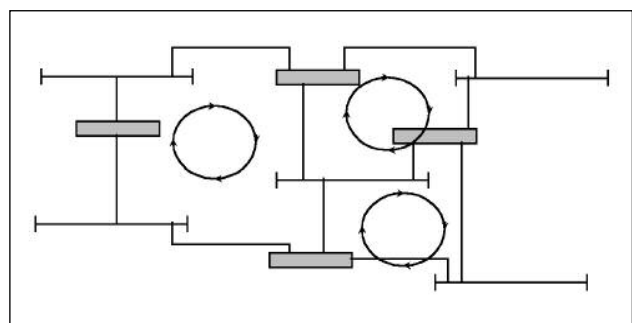
Robert Frommelt



**Bild 1: Signalauffrischung mit Repeater**



**Bild 2: Verbinden zweier Subnetze über eine Bridge**



**Bild 3: Zyklen in Netzen**

**FOTOWETTBEWERB**

Unter dem Motto »Aufgepasst und mitgemacht« läuft bei »de« ein Fotowettbewerb. Gesucht werden Fotos (Digitalfotos/Papierabzüge) von fehlerhaften Elektroinstallationen in Deutschland. Für Bilder, die veröffentlicht werden, erhält der Absender ein Fachbuch. Bitte vermerken Sie kurz und präzise den Fehler und teilen Sie uns auch Ihren Namen und Ihre Anschrift mit.

Senden Sie die Fotos bitte an:  
 Redaktion »de«  
 Aufgepasst und mitgemacht  
 Lazarettstraße 4  
 80636 München  
[decker@de-online.info](mailto:decker@de-online.info)



# Drehstromtransformatoren [ 2 ]

Helmuth Biechl

**Drehstromtransformatoren werden mit Bemessungsleistungen bis über 1000 MVA gefertigt. Bedeutsam bei derart großen Leistungen ist die Kühlungsart. Dieser Teil des Beitrags geht auf verschiedene Kühlungsarten ein, z.B. die Ölkühlung, und erklärt auch das die Kühlart beschreibende, genormte Kurzzeichen. Weiterhin wird erläutert, weshalb Transformatoren Geräusche entwickeln und welche Gegenmaßnahmen ergriffen werden können.**

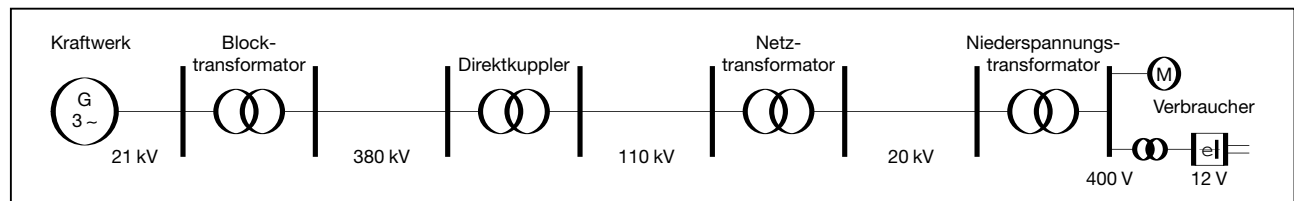
Der erste Teil ging ausführlich auf die Bedeutung der Drehstromtransformatoren in der elektrischen Energieversorgung ein. Bild 7 zeigt, wie die verschiedenen Spannungsebenen über Drehstromtransformatoren in Verbindung stehen. Der Kraftwerksgenerator erzeugt z.B. eine Spannung von 21 kV (der größte Wert kommt bei Kernkraftwerken vor, bei denen die Klemmenspannung der Generatoren 27 kV beträgt). Die Stand-

erfolgt die Energieübertragung auf der 110-kV-Ebene. Im lokalen Bereich (kürzere Entfernungen) wählt man die Mittelspannungsebene mit meist 20 kV. Für die Versorgung des Verbrauchers dienen in Westeuropa heute 400 V.

Bild 7 zeigt der Übersichtlichkeit halber jedoch nicht, dass z.B. auf der 380-kV-Ebene an verschiedenen Stellen Kraftwerke einspeisen und diese Stationen über Fernleitungen verbunden sind, d.h., ein vermaschtes oder auch ringförmiges Netz bilden. Dieser Sachverhalt trifft auch auf die anderen Spannungsebenen zu. Eine Vernetzung von Erzeugern und Verbrauchern bietet den Vorteil, dass die Verbraucher häufig gar nicht Ausfälle z.B. eines Kraftwerkes oder einer Freileitung bemerken, weil andere Betriebsmittel (Freileitungen, Transformatoren usw.) deren Funktion mit übernehmen.

## Aufbau des Eisenkerns, Wicklungsarten

Im ersten Teil des Beitrags wurde auch gezeigt, wie der Eisenkern zur Führung des magnetischen Feldes in einem Drehstromtransformator aussieht (Dreischenkelkern, Fünfschenkel-

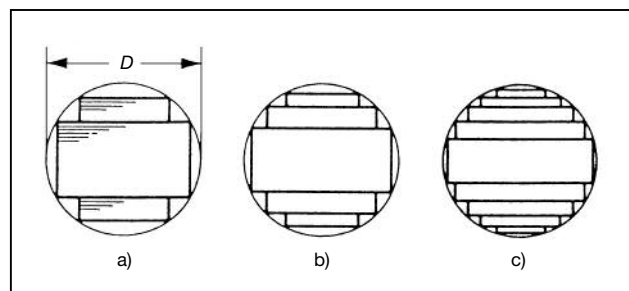


**Bild 7: Transformatoren in der Energieversorgung**

orte von Kraftwerken lassen sich i. d. R. nicht frei wählen (z. B. benötigen Kohle-, Gas-, Öl- oder Kernkraftwerke einen nahe liegenden Fluss zur Beschaffung eines Teils oder auch des gesamten Kühlwassers). Um die elektrische Energie über Leitungen an den Ort des Verbrauchs (Industriestandorte, große Städte) zu transportieren, ist wegen der auftretenden Verluste eine ausreichend hohe Spannung zu wählen. Die höchste in Westeuropa auftretende Netzspannung beträgt 380 kV. Diese Spannung wird am Kraftwerk über den so genannten Block- oder Maschinentransformator erzeugt. In regionalen Netzen

Prof. Dr.-Ing. Helmuth Biechl, Labor für Elektrische Antriebe und Mechatronik, Fachhochschule Kempten

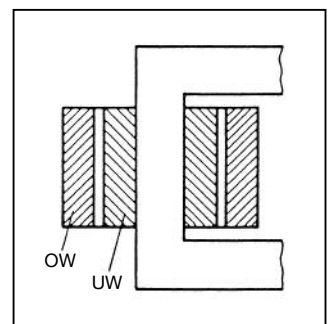
Fortsetzung aus »de« 18/2005



**Bild 8: Stufenweise Anpassung des Kernquerschnittes an die Kreisform ( $k_a$ : geometrischer Ausnutzungsfaktor)**

- a) zwei Blechbreiten:  $k_a = 0,787$
- b) drei Blechbreiten:  $k_a = 0,851$
- c) fünf Blechbreiten:  $k_a = 0,908$

kern). Bild 8 zeigt den Querschnitt durch einen Schenkel. Da dieser einen Wechselfluss führt, muss er aus gegenseitig isolierten Blechen aufgebaut sein, um die so genannten Wirbelstromverluste zu vermindern. Man verwendet heute durchweg kornorientierte Bleche mit einer Stärke zwischen 0,23 mm und 0,35 mm. Die Isolierung übernimmt eine dünne, bereits während der Herstellung der Bleche aufgebrachte Silikat-Phosphatschicht. Um den Innendurchmesser der Transformatorwicklungen möglichst gut auszunutzen, nähert man den Eisenquerschnitt durch eine 5- bis 15-fache Stufung der Blechbreiten an die Kreisform an.

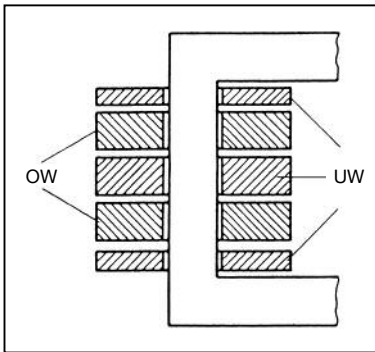


**Bild 9: Zylinderwicklung (UW = Unterspannungswicklung, OW = Oberspannungswicklung)**

Es gibt bei Drehstromtransformatoren grundsätzlich zwei Wicklungsarten, nämlich die Zylinderwicklung (Bild 9) und die Scheibenwicklung (Bild 10). Beide Wicklungsarten kommen in der Praxis vor. Welche jedoch konkret verwendet wird, hängt von der Spezifikation des Transformators ab (Spannungen, Leistung, Kurzschlussspannung).

## Kühlung, Kurzzeichen und Wirkungsgrad

Kleinere Transformatoren betreibt man mit Luftkühlung (so genannte Trockentransformatoren), größere mit Ölkühlung.



**Bild 10: Scheibenwicklung**  
(UW = Unterspannungswicklung,  
OW = Oberspannungswicklung)

Öltransformatoren werden in einen mit Transformatorenöl gefüllten Ölkessel gesetzt. Das Transformatorenöl dient nicht nur zur Kühlung (beim Öl sind die Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit deutlich höher als bei Luft), sondern auch zur besseren Isolierung (Transformatorenöl hat eine etwa fünfmal höhere Durchschlagfestigkeit als Luft).

Zur guten Abgabe der entwickelten Wärme versieht man den Ölkessel zur Vergrößerung der wärmeabgebenden Oberfläche mit Kühlrippen. Sehr große Transformatoren verfügen über außen angebrachte Kühlrohre (so genannte Radiatoren), durch die das erwärmte Öl von Pumpen angetrieben oder auf Grund von Konvektion fließt (warmes Öl steigt nach oben, fließt durch die Kühlrohre nach unten und kühlt sich ab – es entsteht eine natürliche Bewegung). Häufig blasen auch Lüfter die Radiatoren an. Je nachdem, ob die Öltemperatur hoch oder niedrig ist (hohe bzw. geringe Belastung), schalten sich die Lüfter automatisch (temperaturgesteuert) ein bzw. aus. Bei Blocktransformatoren kommt es auch vor, dass das Öl über einen Öl/Wasser-Wärmetauscher gekühlt wird, sofern sich ein Flusslauf in der Nähe befindet.

Zur Angabe der Kühlart eines Transformators dient ein Kurzzeichen (IC-Code), das sich entsprechend der VDE-Bestimmung VDE 0532 wie folgt zusammensetzt:

Wirkungsgrad	
$S_r$	$\eta_r$
100 kVA	0,977
1 MVA	0,988
10 MVA	0,992
100 MVA	0,995

**Tabelle 1: Mit zunehmender Bemessungsleistung steigt auch der Wirkungsgrad von Drehstromtransformatoren**

Der Wirkungsgrad von Drehstromtransformatoren ( $\eta = P_{ab}/P_{auf}$ ) ist besser als der von rotierenden elektrischen Maschinen. Es lassen sich heute in etwa Werte gemäß Tabelle 1 erreichen.

**Geräusche**

Wenn man sich in der Nähe eines Umspannwerkes<sup>4)</sup> aufhält, bemerkt man, dass Transformatoren zum Teil sehr störende Geräusche entwickeln. Die Ursache des Transformatorgeräusches liegt in der physikalischen Eigenschaft des Eisens, sich in einem Magnetfeld zusammenzuziehen, d. h. zu kontrahieren. Man bezeichnet dieses Phänomen mit Magnetostriktion – einer Längenänderung der Kernbleche, die von der Größe des Magnetfeldes abhängt und in der Praxis einige  $\mu\text{m}$  je m Blechlänge ausmacht. Durch das 50-Hz-Wechselfeld werden dadurch im Transformatorenkern mechanische Schwingungen mit einer Grundfrequenz von  $2 \cdot 50 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}$  hervorgerufen. Die Schwingungen übertragen sich teilweise über die mechanischen Verbindungen zwischen Kern und Kessel, vor allem aber über das Öl auf die Außenwand. Diese wird nun ebenfalls zu Schwingungen angeregt und wirkt wie ein großer Lautsprecher, d. h., sie

sendet Schall ab. In unmittelbarer Nähe von großen Transformatoren können so Geräuschstärken entstehen, die man regelrecht als Lärm empfindet. Da Transformatorbleche ohne Magnetostriktion noch nicht verfügbar sind, lässt sich die Geräuschquelle nicht wesentlich beeinflussen. Man muss bei der Konstruktion darauf achten, dass die mechanischen Resonanzfrequenzen des Kerns nicht mit der Schwingungsfrequenz übereinstimmen.

Die Lärmbekämpfung konzentriert sich auf sekundäre, die Schallausbreitung verhindernde Maßnahmen, wie an der Kesselwandung angebrachte Dämmschichten, die einen Teil der Schwingungsenergie absorbieren. Bei Transformatoren mit angebauten Lüftern treten zusätzlich Lüftergeräusche auf, weshalb man meist langsam laufende Gebläse verwendet. Die wirksamste Maßnahme, eine Lärmbelastigung der Umgebung zu vermeiden, stellt die Aufstellung des Transformators in einem geschlossenen Raum oder die Verwendung von Schallschutzwänden dar.

(Fortsetzung folgt)

**Kühlarten von Transformatoren nach VDE 0532**



Kurzzeichen	Kühlmittel	Kurzzeichen	Kühlmittelbewegung
O	Mineralöl oder synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit (brennbar)	N	natürlich
L	synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit (nicht brennbar)	F	erzwungen
G	Gas		
W	Wasser		
A	Luft		

Der erste Buchstabe kennzeichnet das Kühlmittel der inneren Kühlung (z.B. O für Öl), der zweite Buchstabe steht für die Kühlmittelbewegung (z.B. N für natürlich (Konvektion)). Der dritte Buchstabe gibt an, um welches Kühlmedium es sich im äußeren Kühlsystem handelt (z.B. A für Luft). Zuletzt kennzeichnet man auch noch, wie das äußere Kühlmedium bewegt wird (z.B. F für erzwungen (Lüfter)). Im geschilderten Beispiel ergäbe sich das auch auf dem Typenschild angegebene Kurzzeichen ONAF.

4) Ein Umspannwerk ist i. d. R. eine Freiluftanlage mit Sammelschienen, Trennern, Leistungsschaltern, Stromwandlern, Transformatoren usw., die zwei verschiedene Spannungsebenen verbindet



# Professionelle Wartung von Entladungslampen in der Innenbeleuchtung

Roland Heinz

**Wie die meisten technischen Einrichtungen sind auch Lichtanlagen regelmäßig zu warten. Doch selbst bei hochwertiger Geschäftsraum- oder Bürobeleuchtung lässt die Anlagenwartung heute oft noch zu Wünschen übrig. So sieht man in vielen Lichtanlagen tote Lichtpunkte, flackernde Lampen oder zyklisch an- und ausgehende Lichtpunkte. Dass hiermit gerade bei Entladungslampen erhebliche Sicherheitsrisiken einhergehen, lassen viele Anwender völlig außer Acht. Professionelle Lichtanlagenwartung reduziert nicht nur die Wartungskosten, sondern mindert auch die Sicherheitsrisiken der Lichtanlage.**

Abdeckscheiben und Reflektoren von Leuchten verstauben. Der Lichtstrom der Leuchtmittel geht alterungsbedingt zurück. Zudem stellt das Versagen der Leuchtmittel ein Sicherheitsrisiko für die Lichtanlage dar – insbesondere durch Überhitzen der elektronischen Leuchtenkomponenten. Aus diesen Gründen sollte man als ersten Schritt auf dem Weg zur Anlagenwartung einen Wartungsplan erstellen, der Folgendes beinhaltet:

- Zeitintervalle für die Leuchteninspektionen,
- Zeitintervalle für die Leuchtenreinigung und
- Zeitintervalle für den Lampenwechsel.

Beim Erstellen von Wartungsplänen kann das Internet basierte Lichtmanagement-Tool »Lightmaster« helfen ([www.lightmaster.philips.com](http://www.lightmaster.philips.com)). Wartungskosten lassen sich aber auch schrittweise berechnen ([www.philips.de/sparrechner](http://www.philips.de/sparrechner)), um anschließend einen Wartungsplan per Hand zu erstellen. Betrachten wir nun, auf welche Art und wann genau mit Entladungslampen bestückte Lichtanlagen zu warten sind.

## Gruppen- contra Einzelwechsel

Für die Lampenwartung gibt es zwei Wartungstypen, den Gruppen- und den Einzelwechsel.

Beim Gruppenwechsel werden alle Lampen nach einem festgelegten Zeitintervall gleichzeitig gewechselt. Folgende Vorteile bietet der Gruppenwechsel:

- Sicherheitsgewinn für die Lichtanlage durch minimierte Effekte am Ende der Leuchtmittellebensdauer,
- verringerte Personalkosten bei der Anlagenwartung durch das Zusammenlegen von Arbeitsflüssen,
- verbesserter Beleuchtungskomfort durch begrenzten Lichtstromrückgang und
- bessere Einhaltung der EU-Beleuchtungsnormen, die applikationsabhängig Mindestbeleuchtungsstärken vorschreiben.

Bei der Neuinstallation von Lichtanlagen ermöglicht ein im Vorfeld geplanter Gruppenwechsel einen günstigeren Wartungsfaktor und damit eine geringere Anschlussleistung bzw. weniger Lichtpunkte. Aus diesem Grund empfiehlt es sich

Dr. Roland Heinz, Philips Licht, Hamburg, und TU Graz,  
roland.heinz@philips.com

## IN ALLER KÜRZE: WARTUNG VON ENTLADUNGSLAMPEN

Kompakte Entladungslampen aller Hersteller sollten spätestens nach Erreichen der 20%-Ausfallrate innerhalb einer Lichtanlage im Gruppenwechsel getauscht werden. Zusätzlich muss bei bestimmten Lichteffekten (z.B. starke Veränderung der Lichtfarbe, Lampenschwärzung, Lampenflimmern oder plötzliches An- und Ausgehen einer Lampe) der betroffene Lichtpunkt sofort abgeschaltet werden. Anschließend ist dieser Lichtpunkt im Einzelwechsel zu warten bzw. abzuwägen, ob ein vorgezogener Gruppenwechsel aller Leuchtmittel der Lichtanlage nicht ratsamer erscheint.

bei allen Entladungslampen – unabhängig vom Typ und Hersteller – bereits beim Planen einer Lichtanlage die Wartungsintervalle zu kalkulieren.

Beim Einzelwechsel wird eine Lampe erst dann ausgewechselt, wenn sie ausgefallen bzw. die Sicherheit eines Lichtpunktes nicht mehr gegeben ist. Der Einzelwechsel gilt als viel kostenaufwändiger. Er sollte nur dann angewendet werden, wenn

- bereits vor Erreichen des Gruppenwechselintervalls einzelne Lichtpunkte einer Lichtanlage ausfallen und damit zu ersetzen sind,
- der äußere Hüllkolben von Lampen stark geschwärzt ist,
- sich die Farbe des abgestrahlten Lichts verändert oder
- Lampen zyklisch an- und ausgehen.

Einzelwechsel sollten also bei Entladungslampen den Gruppenwechsel nur ergänzen, diesen aus wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Gründen aber nie ersetzen (kombinierter Gruppen-Einzelwechsel). Verglichen mit dem Gruppenwechsel ist der Einzelwechsel immer die kostenintensivere und risikobehaftetere Variante der Lichtanlagenwartung.

## Wartungshinweise für kompakte Entladungslampen

Nahezu ausnahmslos bricht bei Allgebrauchslampen (Glühlampen) am Ende der Lebensdauer die immer dünner werdende Glühwendel. Probleme in der Leuchte treten hierbei i.A. nicht auf. Eine Ausnahme bilden nur die Hochvolt-Halogenlampen. Hier befinden sich im Lampensockel spezielle Sicherungen, die bei einem Wendelbruch die hohen Ströme begrenzen und das damit verbundene Explodieren der Leuchtmittel verhindern.

Bei kompakten Entladungslampen gibt es hingegen am Ende der Lebensdauer verschiedene, auch visuell beobachtbare Vorgänge. Im idealen und häufigsten Fall steigt durch den fortlaufenden Elektrodenabtrag die Brennspannung des Leuchtmittels. Später erlischt die Lampe ohne Bruch des Brenners oder des äußeren Hüllkolbens. Leider lassen sich bei Entladungslampen andere Mechanismen am Ende der Lebensdauer nicht völlig ausschließen. Zum einen kann der ursprünglich transparente Außenkolben völlig schwarz werden, zum anderen kann die Lampe beginnen, zyklisch an- und auszugehen. In sehr seltenen Fällen brechen der Brenner und der äußere Hüllkolben. Diese die Leuchte thermisch erheblich belastenden Vorgänge stellen für den Anlagenbetreiber ein latentes Sicherheitsrisiko dar.

Beim Gruppenwechsel der Leuchtmittel vor Erreichen der 20%-Ausfallrate innerhalb der Lichanlage lassen sich derartige Vorgänge kaum beobachten. Man sollte daher Entladungslampen nicht bis zum Erreichen ihrer natürlichen Lebensdauer betreiben, sondern aus Sicherheitsgründen spätestens nach 20% Frühausfall innerhalb der Lichanlage wechseln. Treten dennoch an einzelnen Lichtpunkten diese so genannten End-of-Life-Effekte auf, muss man in jedem Fall die betroffene Leuchte sofort abschalten.

### Lampenschwärzung und Veränderungen der Lichtfarbe

Bei CDM-Lampen (keramische, dimmbare Halogen-Metaldampfampe) nimmt die Wandstärke des Keramikbrenners mit zunehmender Alterung der Lampe ab. Gleichzeitig sinkt der effektive Lichtstrom des Leuchtmittels, und damit steigen die thermische Last im Brenner und der Betriebsdruck. Hierdurch kann der Brenner insbesondere an den Glaslot-Nahtstellen undicht werden. Metallhalogenide und Quecksilber treten aus dem Brenner in den äußeren, mit Schutzgas gefüllten Hüllkolben aus und färben ihn schwarz. Visuell geht mit der Schwärzung des Hüllkolbens ein drastischer Lichtstromrückgang einher – und zwar so lange, bis die Lampe schließlich mit bläulicher Lichtfarbe nur noch schwach glimmt oder flackert (Glimmentladung statt Bogenentladung). Oftmals bildet sich eine Glimmentladung im äußeren Hüllkolben aus, die das Leuchtmittel sehr stark aufheizt und u.U. die Leuchtenkomponenten überhitzt. Dies kann erhebliche Schäden an der Leuchte selbst und in der Leuchtenperipherie anrichten. Bild 1 veranschaulicht die verschiedenen Stadien der Lampenschwärzung. Bemerkenswert ist eines der Stadien, so ist die Leuchte unverzüglich abzuschalten und das Leuchtmittel zu wechseln.

Bei SDW-T- bzw. SDW-TG-Leuchtmitteln (Hochdruck-Natriumdampfampe) sinkt ab etwa 10000 Betriebsstunden der Brennerdruck, und zwar



**Bild 1: Verschiedene Stadien der Schwärzung des äußeren Hüllkolbens von CDM-T Lampen infolge gealterter Keramikbrenner (Undichtigkeiten)**



**Bild 2: SDW-TG Leuchtmittel nach 8000 Betriebsstunden (re.) und nach 14000 h (li.). Oberhalb von 10000 Betriebsstunden verändert sich die Lichtfarbe ins Gelbliche und die Farbwiedergabe geht zurück – ein Gruppenwechsel der Leuchtmittel nach 10000 Betriebsstunden ist daher neben kommerziellen und sicherheitstechnischen Aspekten auch aus optischen Gründen zu empfehlen**

infolge von in die Brennerwand eindiffundierendem Natrium sowie geringen Undichtigkeiten des alternden Keramikbrenners. Die Lichtfarbe verschiebt sich hierdurch ins Gelbliche (Bild 2) und ähnelt immer mehr der einer SON-Lampe (Natriumhochdrucklampe). Wird dies beobachtet, so ist die Leuchte unverzüglich abzuschalten und das Leuchtmittel zu wechseln. Ggf. lässt sich mit einem weißen Blatt Papier testen, das man zum Vergleich hinter verschiedene Leuchten hält, ob sich die Lichtfarbe eines Lichtpunkts vorzeitig geändert hat. Eine Schwärzung des äußeren Hüllkolbens kann ebenfalls auftreten, meist jedoch erst zu einem noch späteren Zeitpunkt. Auch in diesem Fall ist die Leuchte unverzüglich abzuschalten und das Leuchtmittel zu wechseln. In jedem Fall sind aber SDW-T- bzw. SDW-TG-Leuchtmittel spätestens nach 10000 Betriebsstunden im Gruppenwechsel zu tauschen.

### Zyklisches An- und Ausgehen von Leuchtmitteln

Mit zunehmender Lampenalterung steigt die Brennspannung des Leuchtmittels. Schließlich ergibt sich ein Zustand, bei dem das Leuchtmittel unter voller Betriebstemperatur die Brennspannung unterschreitet und erlischt. Wenn man wiederholt beobachtet, dass ein Lichtpunkt selbstständig verlöscht, sollte man die Leuchte unverzüglich vom Netz trennen und das Leuchtmittel wechseln. Denn dieses zyklische Verhalten der Leuchtmittel belastet die Leuchten- und Leuchtenperipherie erheblich, vor allem aber das Zündgerät.

An konventionellen Vorschaltgeräten zündet die Lampe nach einer Abkühlphase von 10...15 min erneut und erlischt schließlich wieder. Bei digitalen Zündgeräten oder Zündgeräten mit integrierter Zeitautomatik erfolgen nur etwa ein bis drei Zyklen pro Tag. Elektronische Vorschaltgeräte von Philips (HID-PVC, HID-DV) detektieren das durch die Lampenalterung hervorgerufene Überschreiten der Brennspannung und schalten sich ggf. automatisch ab. Die Lampe wird erst dann wieder gezündet, wenn zuvor die Netzspannung zumindest kurzzeitig unterbrochen worden ist (z.B. beim abendlichen Ausschalten der Beleuchtungsanlage).

### Fazit

Die moderne Innenbeleuchtung verlangt nach immer kleineren und leistungsfähigeren Entladungslampen. Entwicklungen wie die CDM-Elite-Lampen von Philips oder die HCI-Powerball-Lampen von Osram belegen diesen Trend. Bei Metallhalogenid-Lampen geht die Leistungssteigerung bzw. die Miniaturisierung der Leuchtmittel jedoch fast immer mit einer Erhöhung des Betriebsdrucks im Lampenbrenner einher. Das vergrößert sowohl die Anfälligkeit der Leuchtmittel gegenüber Überspannungen als auch das Risiko problematischer Effekte am Ende der Lebensdauer. Aus diesem Grund lassen sich moderne Entladungslampen nur dann mit ausreichender Sicherheit betreiben, wenn Leuchtenbauer thermisch hoch belastbare Komponenten bei der Leuchtenkonstruktion verwenden und die Grundlagen der professionellen Lichanlagenwartung sicher beherrscht werden. Durch einen Lampenbetrieb am elektronischen Vorschaltgerät mit Abschaltautomatik, der die Gruppenwechselintervalle gegenüber konventionellem Betrieb um bis zu 30% verlängert, lassen sich zwar die Sicherheitsrisiken durch mangelnde Fachkenntnisse bei der Lichanlagenwartung reduzieren, aber nicht völlig verhindern.