

# Optimale Auswahl und Betriebsweise von Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen

**Herausgeber:**  
Deutsches Kupferinstitut  
Auskunfts- und Beratungsstelle  
für die Verwendung von  
Kupfer und Kupferlegierungen

Am Bonnehof 5  
40474 Düsseldorf  
Telefon: 0211 4796300  
Telefax: 0211 4796310  
info@kupferinstitut.de  
www.kupferinstitut.de

**Erschienen**  
**im ep Elektropraktiker**  
**HUSS-MEDIEN GmbH, 10400 Berlin**  
Heft 11/03, Heft 04/05, Heft 11/06, Heft 12/06

# VVG-Vorschaltgeräte in der Beleuchtungstechnik

Wird über den sparsamen Betrieb von Leuchtstofflampen gesprochen, dann oft auch über elektronische Vorschaltgeräte (EVG), die weniger Verluste verursachen als konventionelle induktiv arbeitende Vorschaltgeräte (KVG) und Lampen schonen. Hierbei bleibt die Existenz der verbesserten induktiven Vorschaltgeräte (VVG) häufig unerkannt. Im Prinzip arbeiten diese wie ein KVG, sind aber auf das Betriebsverhalten optimiert und im Gegensatz zu den EVG nicht viel teurer als KVG.

## 1 VVG haben keine Lobby

VVG fristen ein Schattendasein, einige Elektrofachkräfte glauben gar, es gäbe keine induktiven Vorschaltgeräte mehr, obwohl diese noch immer einen EU-Marktanteil von 75 % einnehmen. Eine Fachzeitschrift berichtete, induktive Vorschaltgeräte seien bereits verboten worden. Dies ist nicht verwunderlich, denn EVG haben eine Lobby, VVG nicht. Das liegt an zwei strukturellen Eigentümlichkeiten des Marktes:

- Große Lampen-Hersteller treten teilweise auch als Hersteller ausschließlich elektronischer Vorschaltgeräte auf.
- Die wenigen Anbieter von KVG und VVG in Deutschland produzieren in einer anderen Abteilung oder außerhalb des Landes EVG und können ihre günstigeren Produkte mit der geringeren Wertschöpfung nicht bewerben.

Mit der ursprünglichen Absicht, induktive Vorschaltgeräte auf lange Sicht zu verbieten, hat die EU in ihrer Richtlinie 2000/55/EG Leuchtstofflampen und die jeweiligen Vorschaltgerä-

### Autor

Dipl.-Ing. Stefan Fassbinder ist Berater für elektrotechnische Anwendungen beim Deutschen Kupferinstitut, Düsseldorf.

te klassifiziert. Dies wurde von der beratenden Industrie empfohlen, jedoch anschließend verworfen. Geblieben ist ein vorteilhaftes Schema zum Einteilen von Vorschaltgeräten nach Wirkungsgradklassen (Tafel 1).

## 2 Vorteile eines EVG aus Sicht der Industrie

Die Industrie betont in Beratungen zur Energieeffizienz die Vorteile des EVG gegenüber den KVG und VVG wie folgt:

- ① Die Lampe wird im Hochfrequenz-Bereich 20 kHz...60 kHz betrieben, dadurch bedarf sie einer kleineren Leistungsaufnahme und ermöglicht einen besseren Gesamtwirkungsgrad der Leuchte. Effizienzklasse A2 in Tafel 1 ist für ein induktives Vorschaltgerät nicht zu erreichen.
- ② Bei einer hohen Betriebsfrequenz der Lampe entfällt das 100-Hz-Flimmern des Lichtes.
- ③ Die meisten EVG lassen sich durch eine Katoden-Vorheizung warm starten. Dadurch ist die Lebensdauer der Leuchtstofflampen um etwa 30 % höher.
- ④ Moderne EVG sind auch mit einer so genannten Cut-Off-Technologie erhältlich, die die Katodenheizung abschaltet, sobald die Lampe gezündet hat.

- ⑤ EVG werden auch mit Sofortstart-Fähigkeit angeboten.
- ⑥ Defekte Lampen werden automatisch abgeschaltet. Dadurch wird das Aufblitzen durch versuchte Neustarts verhindert.
- ⑦ Es lassen sich ausschließlich mit EVG effiziente T5-Lampen einsetzen.
- ⑧ EVG können durch Dimmbarkeit und eventuelle Lichtsteuerung zusätzlich Energie sparen.

## 3 Vorteile der elektronischen Vorschaltgeräte sind relativ

Diese erwähnten Vorteile der EVG relativieren sich wie folgt:

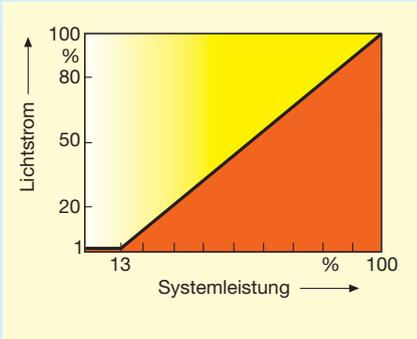
- ① Tafel 1 gibt nur die absoluten elektrischen Nennwerte wieder. Der Lichtstrom der Lampe ist beim Betrieb mit EVG nach Angaben der Beleuchtungs-Industrie 4 % geringer. Dieser Aspekt ist in das Klassifizierungsschema der EU nicht mit eingeflossen.
- ② Das Flimmern würde nicht thematisiert werden, hätte der Fachverband Lampen und Leuchten im ZVEI nicht das Bestreben, die bewährte Serien-Kompensation der Blindleistung von Leuchtstofflampen abzuschaffen und zur Parallel-Kompensation zurückkehren. Die gegen die Serien-Kompensation vorgebrachten Gründe sind nicht dem Prinzip zuzuschreiben, sondern einer vor Jahrzehnten unter anderen technischen Gegebenheiten zu groß festgelegten Kompensations-Kapazität [2].
- ③ Die Warmstart-Fähigkeit gehört bei KVG und VVG zum Funktionsprinzip. Für Lebensdauertests von Leuchtstofflampen an KVG und VVG werden statt vorteilhafter elektronischer Starter herkömmliche Glimmstarter verwendet. So gehen dem eigentlichen Startvorgang der Lampen meist mehrere Startversuche voraus. Die Anzahl der Startvorgänge wird jedoch als Bedingung für die Lebensdauer der Lampen genannt.
- ④ Die Cut-Off-Technik gehört ebenfalls zur Funktion der KVG/VVG.

Tafel 1 Auszug aus der EU-Richtlinie 2000/55/EG – Werte und Klassen stabförmiger Leuchtstofflampen mit Vorschaltgeräten. Klasse A1 ist dimmbaren EVG vorbehalten.

$P_{Lampe}$ in W		$P_{max}$ für Lampe mit Vorschaltgerät in W					
50 Hz KVG/VVG	HF EVG	Klassen					
		D	C	B2	B1	A3	A2
15	14	>25	25	23	21	18	16
18	16	>28	28	26	24	21	19
30	24	>40	40	38	36	33	31
36	32	>45	45	43	41	38	36
38	32	>47	47	45	43	40	38
58	50	>70	70	67	64	59	55
70	60	>83	83	80	77	72	68



1 EVG-Ausfälle an der ETH Zürich in einem Jahr  
Foto: Karl-Heinz Otto [1]



## 2 Verhalten eines dimmbaren EVG

Quelle: Osram



## 3 Prüflinge zu den dokumentierten Messungen

- 5 Werden EVG als „sofort startend“ angepriesen, bedeutet dies, dass die Lampen nicht warm gestartet werden – zum Nachteil der Lampen. Als Kompromiss werden sehr schnelle elektronische Starter angeboten, die die Vorglühzzeit auf etwa eine halbe Sekunde beschränken [3].
- 6 Der Einsatz elektronischer Starter verhindert das Neustarten defekter Lampen.
- 7 T5-Lampen wurden zwar speziell für den Einsatz mit EVG konzipiert, können jedoch auch mit VVG betrieben werden. Allerdings ist bei einer 80-W-Lampe eine Betriebsspannung von 400 V erforderlich. Ein entsprechender VVG-Prototyp ist erhältlich, ein entsprechender Starter ebenfalls [3].
- 8 Sollen EVG gedimmt werden, erfordert das Gerät eine zusätzliche Steuerleitung sowie das stetige Anliegen der Spannung für den Bereitschaftszustand. Wie einer Hersteller-Dokumentation zu entnehmen ist (Bild 2), entspricht das einem dauernden Verbrauch von 3...5 W. Dimmbare EVG sollten daher jenen Anwendungen vorbehalten bleiben, die aufwändige Lichtszenarien etwa in Konferenzräumen verlangen.

Darüber hinaus wird stets nur auf die Lebensdauer der Lampen eingegangen, leider überhaupt nicht auf die der Vorschaltgeräte. Diese ist bei EVG trotz des höheren Preises kürzer. Wie (Bild 1) zeigt, kommt es gelegentlich unter bestimmten Bedingungen zu rätselhaften Ausfällen von EVG. Hier betraf es innerhalb eines Jahres über die Hälfte eines Bestandes. Dies geschieht nicht oft, ist aber kein Einzelfall. Bisher wurde noch nicht herausgefunden, worin diese „bestimmten Bedingungen“ bestehen.

## 4 Vor- und Nachteile von EVG

Ein Vorteil der EVG liegt darin, dass die meisten Geräte mit unterschiedlichen Frequenzen bis hin zur Gleichspannung betrieben werden können. So wird deren Einsatz beispielsweise in Bereichen erforderlich, in denen Notlicht-Anlagen normalerweise vom Netz gespeist werden, bei dessen Ausfall jedoch aus einer Gleichspannungsquelle. Häufig zitiert, aber falsch ist, dass EVG generell das Netz durch Oberschwingungen verunreinigen. Dies ist

richtig für kleine EVG bis 25 W einschließlich Kompakt-Leuchtstofflampen. Oberhalb einer Nennleistung von 25 W gelten jedoch strengere Grenzwerte, die nur mit einer aktiven Korrektur des Leistungsfaktors einzuhalten sind. Alle gängigen EVG sind hiermit ausgestattet. Umstritten ist allerdings, inwieweit dadurch die Stör-Empfindlichkeit beeinflusst wird [8].

## 5 Messung des Wirkungsgrades verschiedener Vorschaltgeräte

An einem unabhängigen Institut für Lichttechnik [4] wurden zu einem mehrere Messungen bezüglich der elektrischen Leistungsaufnahme und des Lichtstroms bei verschiedenen Vorschaltgeräten vorgenommen. Zum anderen wurde der Wirkungsgrad von Leuchten-Systemen bei unterschiedlichen Leistungen untersucht. Denn es gibt einige Hersteller, die Energiespar-Systeme zum Betrieb von Beleuchtungs-Anlagen mit gedrosselter Leistung – über reduzierte Spannung – anbieten [5] [6] [7]. Es wurden fünf Vorschaltgeräte untersucht (Bild 3):

- Ein 220-V-KVG der Effizienzklasse D. Es stammt aus einer Anlage, die bereits 1987 abgerissen wurde.
- Ein neues, besonders schmales KVG der Klasse C.
- Ein neues VVG, Klasse B2.
- Ein neues VVG, Klasse B1.
- Ein neuwertiges EVG, Klasse A3.

Mit stets derselben Lampe, wurden an jedem der fünf Muster die erforderlichen Parameter gemessen: Wirk- und Blindleistung des Gesamtsystems, Wirkleistung (Verlust) des Vorschaltgeräts und der Lichtstrom der Lampe. Tafel 2 zeigt einen Auszug der Ergebnisse, die in einer 48-seitigen Informationsschrift [8] zusammengetragen wurden.

## 6 Auswertung der Messergebnisse

Aus Bild 4 lassen sich folgende Ergebnisse herleiten: Beim EVG ändern sich weder die Systemleistung noch der Lichtstrom mit der speisenden Spannung. Der Prüfling gleicht Schwankungen der Netzspannung im hier ge-

gebenen Rahmen aus. Das wird von EVG allgemein auch erwartet und kann prinzipiell als Vorteil angesehen werden. Eine gezielte Beeinflussung der Leistung und somit des Lichtstroms durch die Spannung scheidet dadurch jedoch aus. Erwartungsgemäß schnitt das EVG bei der Wirkungsgradmessung mit 230 V am besten ab. Jedoch mit 200 V gleichen die Ergebnisse des EVG, Klasse A3 etwa denen des VVG, Klasse B1 und sogar denen des Gerätes der, Klasse B2. Bei der Messung mit 190 V schneidet das EVG schlechter ab. Es findet die Angabe Bestätigung, dass bei Nennspannung der Lichtstrom mit EVG 4 % unterhalb des Lichtstroms mit VVG liegt. Die Lampen-Nennleistung stellt sich nicht immer bei Nennspannung ein. Im Gegensatz zu dem alten KVG erreichen die neuen induktiven Vorschaltgeräte aller Klassen ihre Nennleistung erst deutlich oberhalb der Nennspannung. Es besteht keine Vergleichbarkeit der elektrischen Werte, da der Lichtstrom des EVG bei etwa 4720 lm und der der drei anderen Geräte bei etwa 5000 lm liegt.

Bei Nennspannung speisen die gemessenen VVG statt 58 W nur etwa 53,5 W in die Lampe und erreichen dennoch einen 4 % höheren Lichtstrom als das EVG. Wird dann beim VVG B1 die Gesamtleistung auf den Lichtstrom des EVG interpoliert, ist nur eine geringfügig größere Gesamtleistung ersichtlich. Das relativiert die geringere Gesamtleistung des EVG und stellt den besseren Wirkungsgrad bei Hochfrequenz in Frage. Vorbehaltend muss erwähnt werden, dass die Lampenleistung beim EVG aufgrund der hohen Frequenz nicht gemessen werden konnte. Wird ein KVG, Klasse C durch ein VVG, Klasse B1 ersetzt, verbessert sich bei Lampen-Nennleistung die Lichtausbeute um 10 %, von 70,3 lm/W auf 77,4 lm/W. Das liegt daran, dass sich der Anteil der Vorschaltgeräte-Verlustleistung an der Gesamtleistung von 22,9 % auf 15,0 % verringert. Der höhere Preis für das VVG lohnt sich daher in fast allen Einsatzfällen. Kurze Amortisationszeiten sind garantiert. Werden sehr alte Vorschaltgeräte mit schlechten Wirkungsgraden oder noch auf 220 V Nennspannung dimensionierte Geräte eingesetzt, führt dies zu einer deutlichen Überlastung der Lampe mit stark überproportional ansteigenden Verlusten und reduzierter Lampen-Lebensdauer bei nur geringfügig erhöhtem Lichtstrom. Durch Reduktion der Betriebsspannung von 230 V auf 190 V verbessert sich die Lichtausbeute z. B. einer Leuchte mit KVG, Klasse C von 73,0 lm/W auf 84,1 lm/W, also um rund 15 %. Bei Verwendung des VVG, Klasse B1 steigt die Lichtausbeute von 80,6 lm/W auf 89,1 lm/W und damit immer noch um etwa 10,6 %. Die Absenkung der Spannung lohnt sich also ebenfalls, und zwar vor allem dann, wenn alte KVG nicht durch bessere Geräte ersetzt werden.

So positiv Langlebigkeit auch ist, so sollte doch dem Absenken der Spannung stets ein Einbau von VVG, Klasse B1 vorangehen.

Tafel 2 Protokollierte Messdaten (Auszug)

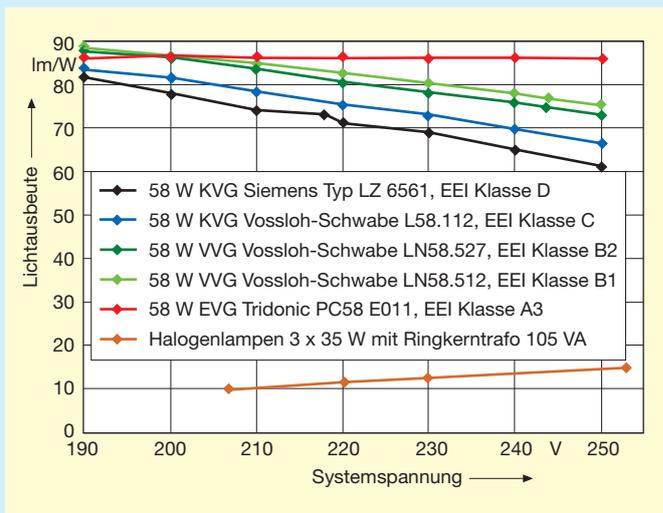
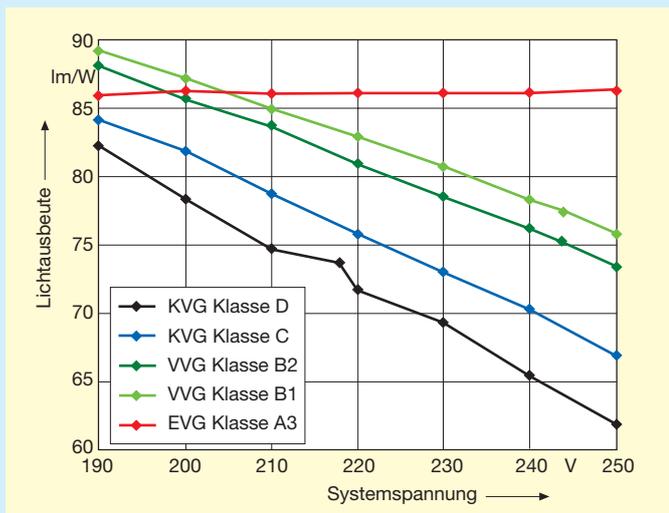
Prüfling	Messwerte DIAL				
	U in V	P <sub>ges</sub> in W	P <sub>Lampe</sub> in W	Lichtstrom in lm	Ausbeute in lm/W
58-W-VVG, Vossloh-Schwabe, Klasse B1	220,0	56,24	49,70	4662	82,89
	230,0 *	61,42	53,36	4952	80,62
	240,0	66,40	56,72	5198	78,28
	244,0	68,53	58,00 **	5306	77,42
58-W-EVG, Tridonic, Klasse A3	220,0	54,85		4723	86,12
	230,0 *	54,80		4718	86,10
	240,0	54,86		4724	86,11
	250,0	54,72		4723	86,32

\*Nennspannung; \*\*Lampen-Nennleistung

Tafel 3 Ergebnisse nach Herabsetzen der Spannung von 230 V auf 190 V (17,4 %)

Prüfling	Minderung P <sub>Verlust</sub> um	Minderung P <sub>Lampe</sub> um	Minderung Lichtstrom um	Verbesserung Wirkungsgrad um
KVG, Klasse D	65,9 %	31,2 %	27,1 %	18,6 %
KVG, Klasse C	70,2 %	38,3 %	36,5 %	15,2 %
VVG, Klasse B2	70,0 %	37,0 %	35,1 %	12,2 %
VVG, Klasse B1	69,5 %	38,3 %	36,2 % *	10,6 %
EVG, Klasse A3	≈ 0 %	≈ 0 %	≈ 0 %	≈ 0 %

\* Lichtstrom der Lampe war bei 230 V bereits um 4,7 % heller als mit EVG. Die wahre Einbuße beträgt somit nicht 36,2 %, sondern nur 31,5 %.



4 Kurven aus den Messwerten

6 Erweiterter Messbereich – im unteren Bereich erscheint das Ergebnis einer Leuchte mit drei Halogenlampen



5 Lichtstrom im Vergleich. Lampe links 20520 lx bei 111 W, rechts 21560 lx bei 145 W

## 7 Wirtschaftlichkeit Absenkung

Zur genaueren Untersuchung der Wirtschaftlichkeit, sind in Tafel 3 die Ergebnisse zusammengefasst. Es ist zu beachten, dass der Lichtstrom der Lampe mit dem VVG, Klasse B1

bei 230 V um 4,7 % höher ist, als mit dem EVG. Die wahre Einbuße beträgt somit nicht 36,2 %, sondern nur 31,5 %. Es müssten rechnerisch 46 % mehr Leuchten installiert werden, um den gleichen Lichtstrom zu erreichen. Diese Kosten sind bei der Ersparnis an Energie und Lampenwechsel zu berücksichtigen. Sie werden von einem Lichtplaner berechnet und können von Endkunden oder Auftragnehmern nur im Einzelfall konkret festgestellt werden. Im Allgemeinen wird ein Kompromiss gewählt, bei dem ca. 20 % bis 30 % mehr Leuchten installiert werden, auch deshalb, weil aufgrund der besseren Verteilung eine geringere Gesamt-Lichtmenge ausreicht. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass das menschliche Auge Helligkeit logarithmisch empfindet, das Maß aber – anders als bei der Lautstärke – linear ist. Somit wird eine Verzehnfachung der Beleuchtungsstärke nur als Verdopplung empfunden. In einem Versuch konnten mehrere Personen nicht beurteilen, ob bestimmte Leuchten mit Nennspannung betrieben wurden oder nur mit 190 V. Eine Firma [5] entwarf eigens für diesen Zweck ein Demonstrationsmodell mit 2 Leuchten (Bild 5). Als weiteren Vorteil der Spannungs-Absenkung machen einige Hersteller eine längere Lebensdauer der Lampen geltend. Der Fachverband Elektroleuchten im ZVEI betont dagegen, die Lebensdauer würde sich eher verkürzen, da die optimale Betriebstemperatur der Lampe nicht er-

reicht wird [9] [10]. Der Fachverband räumt auch ein, dass der stark gedimmte Betrieb die Lebensdauer der Lampen ebenfalls verkürzt und nicht verlängert. Er betont jedoch auch, die Absenkung der Spannung unter die zulässige Toleranzgrenze von -10 % stelle einen Betrieb außerhalb der Spezifikation dar, weshalb die Gewährleistung erlischt. Vorerst wird daher an dieser Stelle nur eine Absenkung bis auf 207 V empfohlen.

## 8 Die Direktive 2000/55/EG

Die Direktive 2000/55/EG las sich bei ihrer Veröffentlichung im September 2000 wie folgt: „Mit dieser Richtlinie soll der Energieverbrauch gesenkt werden, und zwar durch einen schrittweisen Übergang von den weniger effizienten zu den effizienteren Vorschaltgeräten, die außerdem weit reichende Energie-sparfunktionen aufweisen können.“ Keine Rede mehr von einem Ersatz, geschweige denn Verbot induktiver Vorschaltgeräte – und das ist auch gut so, denn sonst hätte man erst einmal über ein Verbot von Glühlampen sprechen müssen, um von 10 lm/W auf 80 lm/W zu kommen. Bild 6 zeigt im unteren Bereich des Diagramms eine Kleinspannung-Halogenglühlampe mit hochwertigem, verlustarmem Ringkern-Transformator. Allgebrauchs-

Glühlampen ähnlicher Leistung hätten ein noch kläglicheres Bild abgegeben. Erst wenn diese Leuchtmittel überall dort verschwunden sind, wo sie ersetzt werden könnten, ist es sinnvoll zu diskutieren, ob eine weitere Steigerung von 80 lm/W auf 86 lm/W lohnt, ob es vielleicht auch 90 lm/W sein dürfen und wie viel das kostet. In der Beleuchtungs-Industrie ist es üblich, sobald über Vorschaltgeräte gesprochen wird, die besten EVG unter Ausparung der VVG mit den schlechtesten KVG zu vergleichen. An dieser Stelle wurde das EVG, Klasse A3 mit dem VVG, Klasse B1 verglichen, nicht notwendigerweise die Nennwerte, sondern die Betriebspunkte tatsächlich

gleichen Lichtstroms. Es lässt sich hier schlecht eine Amortisationszeit bestimmen, da sich ein Kostenvergleich schwierig gestaltet. Wird jedoch bedacht, dass es unter ehrlichen Bedingungen fast 500 Stunden dauert, bis das EVG gegenüber dem VVG eine Kilowattstunde eingespart hat, ist das Resultat zu erahnen. Und dies sollte vor dem Hintergrund gesehen werden, dass Leuchtstofflampen sehr effiziente Lichtquellen darstellen, wie immer man sie auch betreibt. Vielleicht sollte der Lampe selbst etwas mehr Aufmerksamkeit gegönnt werden, denn der Markt bietet eine Vielzahl von Typen mit unterschiedlichen Wirkungsgraden.

**Literatur**

[1] www.sv-otto.de  
 [2] Fassbinder, S.: Blindleistungskompensation bei Leuchtstofflampen. Elektropraktiker, Berlin, 57(2003)11, S. 870, in diesem Sonderdruck ab S. 11  
 [3] www.palmstep.com  
 [4] www.dial.de  
 [5] www.buerkle-schoeck.de  
 [6] www.ecolight.de  
 [7] www.riedel-trafobau.de  
 [8] http://lighting.copperwire.org  
 [9] ZVEI, Fachverband Elektrische Lampen: Betrieb von Lampen an reduzierter Versorgungsspannung – Einsatz von so genannten „Energiesparsystemen“, Frankfurt, 1997,  
 [10] www.zvei.org/leuchten  
 www.zvei.org/lampen

# Tandemschaltung für Leuchtstofflampen

**Für bestimmte Leuchtstofflampen sind auch bestimmte Vorschaltgeräte erforderlich. Oftmals eignet sich ein Vorschaltgerät aber für verschiedene Lampentypen oder wahlweise zum Betrieb nur einer Lampe oder zweier gleicher Lampen. Daraus ergeben sich Unterschiede für das Betriebsverhalten der verschiedenen Zusammenschaltungen. Als Komponenten für Beleuchtungsanlagen sollten daher Vorschaltgeräte und Lampen ausgewählt werden, die bei durchdachter Verschaltung optimal zusammenwirken.**

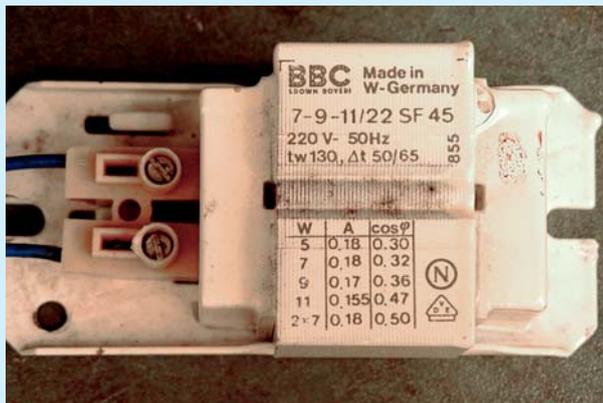
werden. Nun ist aber die Brennspannung bei TC-S-Lampen mit 5 W, 7 W und 9 W so gering, dass sich an der regulären Netzspannung von 230 V zwei Lampen in Reihe – in einer so genannten Tandemschaltung – an einem gemeinsamen Vorschaltgerät betreiben lassen (Bild 1). So verdoppelt sich die Brennspannung effektiv natürlich wieder, und der Spannungsfall am Vorschaltgerät wird etwas kleiner. Daher geht auch der Strom nur wenig zurück, was den Betrieb einzeln oder im Tandem am selben Vorschaltgerät erlaubt. Der Unterschied ist deswegen gering, weil sich die Spannungsfälle am Vorschaltgerät und an der Lampe näherungsweise quadratisch addieren. Das liegt daran, dass ihre Vektoren im Zeigerdiagramm senkrecht zueinander stehen, wenn der Spannungsfall am Vorschaltgerät als rein induktiv und die Lampe als Wirkwiderstand angesehen wird (Bild 2).

Im Prinzip ist eine Leuchtstofflampe nicht als linear anzusehen. Vielmehr ist der Spannungsfall bei kleinerem Strom größer (siehe Bild 1 in [1] oder Bild 4 in [5]). Dabei zeigt sich zwar in Bild 2, dass die Spannungen an Lampe und Vorschaltgerät nicht genau, sondern nur ungefähr senkrecht aufeinander stehen, wenn man die an den Lampen gemessenen Effektivwerte eingesetzt, doch als Vereinfachung zum

## 1 Verschiedene Lampen am gleichen Vorschaltgerät

Im Allgemeinen haben kleinere, also kürzere Leuchtstofflampen gleicher Typenreihen eine niedrigere Brennspannung als die längeren Röhren der jeweiligen Familie. Beim Betrieb an konventionellen induktiven Vorschaltgeräten (KVG) bzw. verbesserten induktiven Vorschaltgeräten mit minimierten Verlusten (VVG) fällt an den kleineren Lampen ein kleinerer Teil der angelegten Spannung ab. Der Spannungsfall am Vorschaltgerät ist entsprechend größer

und größtenteils induktiv – im Idealfall wäre er ausschließlich induktiv. Also nimmt eine Leuchte mit der kleineren Lampe einerseits zwar weniger Wirkleistung auf, andererseits aber mehr Blindleistung. Gemeinsam führen diese beiden Effekte bei kleinen Lampen zu einem erheblich kleineren Leistungsfaktor. Der Kompensationsaufwand ist demnach unverhältnismäßig viel höher als bei größeren Lampen [1]. An TC-S-Lampen mit 5 W, 7 W, 9 W und 11 W Nennleistung lässt sich dies recht gut beobachten, da diese vier Modelle alle mit dem selben Vorschaltgerät betrieben

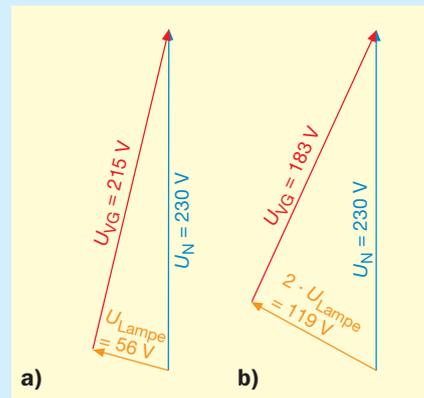


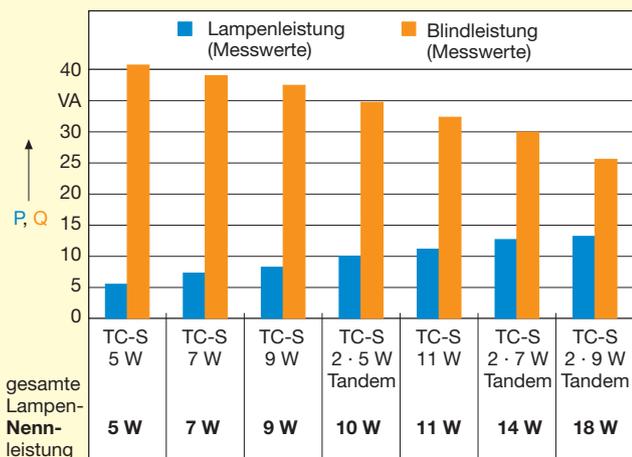
### 1 Beispiel für ein Vorschaltgerät, das sich für vier verschiedene Lampen sowie für drei mögliche Tandemschaltungen eignet

Leistungsfaktor  $\cos\phi$  steigt mit angeschlossener Lampen-Nennleistung erheblich

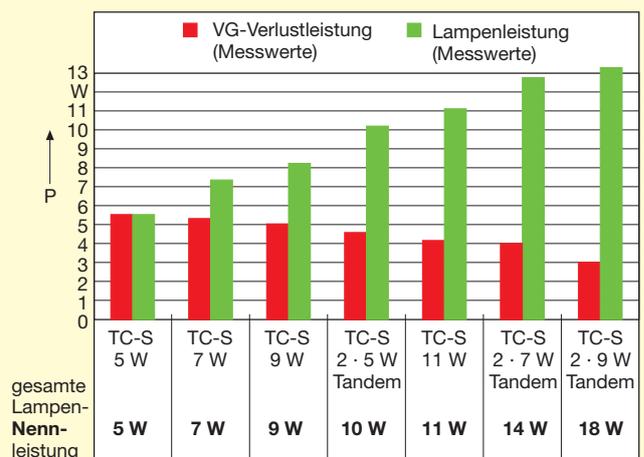
### 2 Zeigerdiagramme der Spannungen

- a) an einer TC-S-Lampe 9 W
- b) an zwei TC-S-Lampen 9 W in Reihe (beide Male am selben KVG)

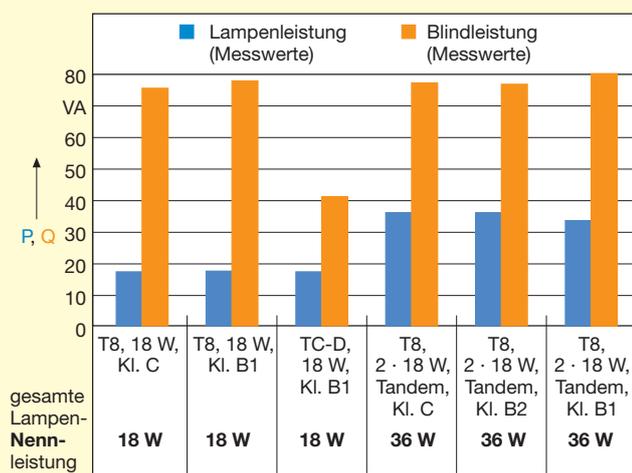




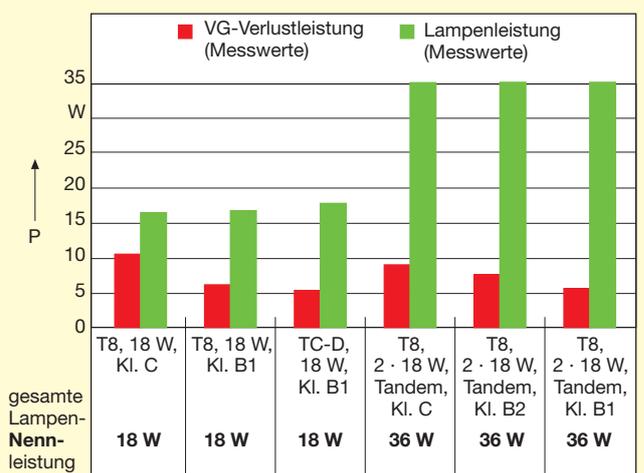
③ Blindleistung der kleinen TC-S-Leuchtstofflampen, jeweils mit identischem Vorschaltgerät



④ Aufteilung der gesamten Wirkleistungsaufnahme bei verschiedenen TC-S-Lampen-Konfigurationen, jeweils mit dem identischen Vorschaltgerät



⑤ Blindleistung verschiedener Leuchtstofflampen gleicher Nennleistungen an verschiedenen Vorschaltgeräten (einfach und in Tandemschaltung)



⑥ Wirkleistung verschiedener Leuchtstofflampen gleicher Nennleistungen an verschiedenen Vorschaltgeräten (einfach und in Tandemschaltung)

besseren Verständnis ist die hier getroffene Annahme linearer Verhältnisse vertretbar. Anscheinend ergibt sich dann die Erkenntnis  $2 \cdot 56 \text{ V} = 119 \text{ V}$ , obwohl der Strom bei der Tandemschaltung etwas kleiner ist. In diesem scheinbaren Widerspruch zeigt sich die inverse Charakteristik der Lampe mit steigendem Spannungsfall bei fallendem Strom. Deshalb ist der (Wirk-)Spannungsfall an zwei Lampen mehr als doppelt so groß wie an einer, während der (induktive) Spannungsfall am KVG beim Betrieb mit zwei Lampen etwas kleiner wird. Ein Vorzug des Tandembetriebs ist somit, dass zwei Lampen zusammen weniger Blindleistung verursachen als eine Lampe im Einzelbetrieb allein erzeugt (Bild ③). Zudem kann die Tandemschaltung auch noch weitere Vorzüge für sich geltend machen: In der Werbung für die elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) wird gelegentlich ins Feld geführt,

dass in induktiven (magnetischen) Vorschaltgeräten „bis zu 30 %“ der gesamten von einer Leuchte aufgenommenen Leistung als Verlust anfallen. Dabei ist zunächst anzumerken, dass die Angabe „bis zu“ ebenso beliebt wie in aller Regel völlig ungeeignet ist, um irgendeine Aussage zu treffen, solange nicht gleichzeitig auch erwähnt wird, wo das Minimum und wo das Mittel liegt [2]. So auch hier: Die größten anteiligen Verluste treten bei den kleinsten Lampenleistungen auf. Dies liegt an dem auch als „Witz der Großmaschine“ bezeichneten Naturgesetz [3]. Bei einer 58-W-Lampe mit VVG beträgt die Verlustleistung beispielsweise nur 13 %. Außerdem sind bei kleinen Lampenleistungen auch die in der Praxis eingesetzten Stückzahlen gering und ihr Anteil an der gesamten Lampenanschlussleistung bzw. dem gesamten erzeugten Licht ist damit erst recht klein. Die An-

gabe „bis zu 30 %“ sagt also überhaupt nichts aus. Dabei ist sie andererseits sogar noch untertrieben. Misst man z. B. die Leistungen an einer TC-S-Lampe von 5 W Nennleistung im Betrieb mit einem KVG, so kann man an der Lampe eine „Nutzleistung“ von 5,6 W und am KVG eine Verlustleistung in gleicher Höhe feststellen (Bild ④). Also darf man mit Fug und Recht von 50 % Verlust reden. Die Verluste im Vorschaltgerät hängen jedoch näherungsweise vom Quadrat des Stroms ab. Tauscht man also in einer Leuchte die 5-W-Lampe gegen eine 7-W-Lampe aus, was problemlos möglich ist, sofern die Lampe von der Baulänge her passt, so erhält man unter dem Strich mehr Lampenleistung bei weniger Verlustleistung. Doch da auch für die Tandemschaltung das gleiche Vorschaltgerät zum Einsatz kommt wie für den Einzelbetrieb, wird dieses Universalvorschaltgerät so ausgelegt,

dass die Ströme und somit auch die Lampenleistungen bei der Einzelschaltung bzw. kleineren Lampenleistungen meist etwas über dem Nennwert, bei Tandemschaltung bzw. größeren Lampenleistungen eher etwas darunter liegen. Insgesamt hat dies zur Folge, dass dieses Universalvorschalgerät umso weniger belastet wird, also weniger Verlustwärme und Blindleistung erzeugt, je mehr Last daran hängt. Mehr Lampenlast führt gleichzeitig zu mehr Licht und zu absolut fallenden Verlusten, spart also relativ gesehen, bezogen auf das erzeugte Licht, gleich doppelt (Bild 4) – bzw. dreifach.

Zusätzlich verbessern sich nämlich auch noch die Wirkungsgrade der Lampen, wenn diese nicht mit voller Leistung betrieben werden. Umgekehrt sind die Wirkungsgrade der Lampen bei Überlast schlechter als bei Nennlast. Eine Vergleichsmessung durch ein renommiertes unabhängiges Institut [4], bei der außer den elektrischen Daten auch die Lichtströme gemessen wurden, brachte dies zu Tage. Die 9-W-Lampe mit KVG landete darin auf dem letzten Platz. Allerdings sind die TC-S-Lampen mit 5 W und 7 W schon in der Vorrunde ausgeschieden und aus Kostengründen gar nicht erst zur Lichtstrommessung angetreten. Anderenfalls hätte die 5-W-Lampe im wahrsten Sinn des Wortes das Schlusslicht gebildet. Das stand bereits nach der Voruntersuchung fest (Bild 4).

Die Tandemschaltung zweier 9-W-Lampen an einem KVG jedoch lag in der Lichtausbeute gleichauf mit einer hochwertigen Marken-Kompaktleuchtstofflampe und war um 20 % besser als eine Billig-Sparlampe aus dem Baumarkt. Somit kann diese Schaltung im Wirkungsgrad prinzipiell einem EVG überlegen sein, denn Kompaktleuchtstofflampen sind heute stets mit einem integrierten EVG ausgeführt. Gegenüber der einzelnen TC-S-Lampe

mit 9 W erwies sich die Tandemschaltung mit 2 · 9 W als etwa 25 % effizienter – wohlge-merkt mit dem selben Vorschaltgerät. Allerdings ist die Tandemschaltung zweier Lampen nicht ganz doppelt so hell wie die einzelne Lampe. Dies muss beim Lichtbedarf berücksichtigt werden. Auch ist darauf zu achten, für die Tandemschaltung geeignete Starter einzusetzen. Werden TC-S-Lampen mit im Sockel eingebauten Startern ausgewählt, so sind diese für beide Betriebsarten geeignet. Allerdings handelt es sich hierbei um herkömmliche Glimmstarter und man verbaut sich damit die Möglichkeit, die vorteilhaften elektronischen Starter einzusetzen [5].

## 2 Eine Lampe an verschiedenen Vorschaltgeräten

Die Tandemschaltung funktioniert auch bei T8-Lampen der Leistungsstufe 18 W. Hierbei sind zwar verschiedene Vorschaltgeräte für Einzel- und Tandembetrieb vorgesehen, doch die Tandemschaltung erweist sich als ähnlich vorteilhaft. Die Blindleistung ist für zwei Lampen gerade so groß wie in der Einzelschaltung für eine (Bild 5). Die auf zwei Lampen aufzuteilenden Verlustleistungen [6] für Tandembetrieb sind hier sogar noch geringer als die der nur für eine Lampe zuständigen Vorschaltgeräte (Bild 6). Bei den Geräten für zwei Lampen in Klasse C ist die Verlustleistung deutlich höher als bei dem entsprechenden B2-Gerät und hier immer noch höher als in Klasse B1. Dies war naturgemäß zu erwarten.

## 3 Verschiedene Lampen mit gleicher Nennleistung

Nun gibt es auch noch andere Lampentypen mit einer Nennleistung von 18 W, z. B. die TC-

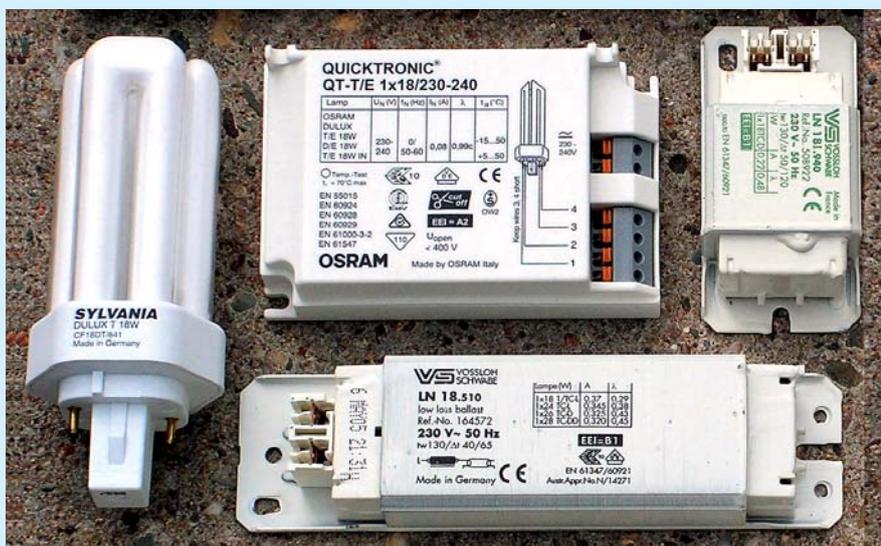
D-Lampe. Diese hat jedoch eine erheblich höhere Brennspannung und lässt sich daher nicht im Tandem betreiben. Da aber der Spannungsfall an der Lampe im Einzelbetrieb größer ist, ist er am Vorschaltgerät entsprechend kleiner. Die Blindleistung, für die das Vorschaltgerät ausgelegt sein muss, ist ebenfalls entsprechend kleiner – und somit auch das ganze Gerät. Doch das ist noch nicht alles. Wenn die Lampenspannung größer ist, ist der Strom bei gleicher Leistung entsprechend kleiner und reduziert abermals die erforderliche Blindleistungsauslegung des Geräts. Hierdurch kann ein induktives Vorschaltgerät für TC-D-Lampen extrem klein gebaut werden, selbst wenn es Klasse B1 entspricht – sogar kleiner als ein entsprechendes EVG (Bild 7). So spart speziell eine Leuchte mit TC-D-Lampe und VVG gleichzeitig Bauvolumen, Herstellkosten und Energie. In Bild 5 und Bild 6 wird dies deutlich, da die TC-D-Lampe zum Vergleich mit aufgenommen wurde. Gemäß Bild 6 ist die Verlustleistung bei praktisch gleicher Lampenleistung noch einmal deutlich kleiner als am VVG der T8-Lampe, obwohl beide VVG laut Aufdruck und Katalogangabe der Klasse B1 entsprechen. In noch viel größerem Maß gilt dies für die Blindleistung, die sich gegenüber der T8-Lampe fast halbiert und damit für die Einzellampe annähernd den gleichen Vorzug bietet wie die Tandemschaltung (Bild 5).

## 4 Messung der Lichtströme

### 4.1 Durchführung der Messung

Bei Betrieb der selben großen T8-Lampe (58 W) an KVG, VVG und EVG hatte sich schon früher die Richtigkeit der Aussage bestätigt, dass die Lampe bei Nennspannung am EVG 4 % weniger Licht liefert [7]. Auch hatte sich gezeigt, dass die Ersparnis bei der Systemleistung, wenn man diese Differenz einrechnet, was die EU-Direktive 2000/55/EG [8] nicht tut, nur noch 2,1 W beträgt (und bei Betrieb an Unterspannung ganz verschwindet). Nimmt man an, dass dieser Vorzug von 2,1 W zu gleichen Teilen auf einen besseren Wirkungsgrad des EVG gegenüber dem VVG und auf den theoretisch bei Hochfrequenz besseren Wirkungsgrad der Lampe zurückgeht, so beschränkt sich jeder der Vorzüge auf gut 1 W oder knapp 2 %.

Allerdings war damals nur ein EVG der EEI-Klasse A3 untersucht worden [7], und kleine Leuchtstofflampen waren mit Kompakt-Leuchtstofflampen verglichen worden. Nun galt es, die Lücken zu schließen und den Lampen im mittleren Leistungsbereich sowie den EVG der EEI-Klasse A2 auf den Zahn zu fühlen. Gleichzeitig sollten auch bei dieser Leistungsstufe – der größten, bei der diese Schaltung noch möglich ist – die Vorzüge der Tandemschaltung hinsichtlich der Lichteffizienz quantifiziert werden, nachdem die Vorzüge hinsichtlich Bauvolumen und Blind-



7 TC-D-Lampe 18 W, passendes EVG sowie VVG (obere Reihe) und VVG für eine T8-Lampe gleicher Leistung (unten)

**Tafel 1 Zusammenstellung der Messergebnisse an 18-W-Leuchtstofflampen mit VVG und EVG**

Typ (Prüfling)	Messpunkt (Bedingungen)	Messwerte (Fa. Dial)								Rechenwerte				
		U	P <sub>ges</sub>	P <sub>VG</sub>	P <sub>Lampe</sub>	I	U <sub>VG</sub>	U <sub>Lampe</sub>	φ	η <sub>Lampe</sub>	η <sub>ges</sub>	S <sub>ges</sub>	Q <sub>ges</sub>	P <sub>V</sub>
		V	W	W	W	mA	V	V	lm	lm/W	lm/W	VA	Var	P <sub>ges</sub>
18 W T8-Lampe;		207,0	19,10			98,4			1382		72,34	20,4	7,1	
EVG VS 188314;	Nennspannung	230,0	19,13			90,6			1381		72,19	20,8	8,3	
EEL=A2		253,0	19,10			85,0			1383		72,41	21,5	9,9	
18 W T8-Lampe;		207,0	20,96	4,70	16,23	304,7	186,6	62,7	1195	73,65	57,03	63,1	59,5	22,4 %
VVG VS 164572;	Nennspannung	230,0	24,47	6,24	18,21	354,6	211,2	60,6	1320	72,50	53,95	81,6	77,8	25,5 %
EEL=B1	φ <sub>VVG</sub> = φ <sub>EVG</sub>	241,7	26,18	7,21	18,94	382,2	223,8	59,0	1381	72,91	52,75	92,4	88,6	27,5 %
		253,0	28,19	8,22	19,94	410,6	235,5	58,2	1438	72,13	51,02	103,9	100,0	29,2 %
2 · 18 W T8-		207,0	36,59			181,0			2816		76,96	37,5	8,1	
Lampe; EVG VS	Nennspannung	230,0	36,58			164,2			2817		77,00	37,8	9,4	
188316; EEL=A2		253,0	36,53			149,7			2815		77,07	37,9	10,0	
2 · 18 W T8-		207,0	33,70	3,33	30,37	296,0	146,9	62,2	2330	76,72	69,14	61,3	51,2	9,9 %
Lampe; VVG Helvar	Nennspannung	230,0	42,24	5,34	36,90	379,0	179,2	58,6	2809	76,12	66,50	87,2	76,3	12,6 %
L36; EEL=B1	φ <sub>VVG</sub> = φ <sub>EVG</sub>	230,8	42,70	5,58	37,12	387,0	180,9	57,9	2817	75,90	65,98	89,3	78,5	13,1 %
		253,0	50,48	8,20	42,28	437,0	208,7	54,5	3169	74,95	62,77	119,7	108,5	16,2 %
18 W TC-D-Lampe;		207,0	16,09			78,5			1064		66,13	16,2	2,3	
EVG Osram QT-T/E;	Nennspannung	230,0	17,75			78,2			1173		66,11	18,0	2,9	
EEL=A2		253,0	19,84			79,8			1276		64,34	20,2	3,7	
18 W TC-D-		207,0	17,71	3,33	14,40	165,7	165,6	107,4	982	68,19	55,44	34,3	29,4	18,8 %
Lampe; VVG VS	Nennspannung	230,0	21,69	4,96	16,70	204,7	195,1	101,7	1117	66,87	51,48	47,1	41,8	22,9 %
508922; EEL=B1	φ <sub>VVG</sub> = φ <sub>EVG</sub>	241,4	23,86	6,01	17,80	225,7	208,9	99,0	1173	65,93	49,18	54,5	49,0	25,2 %
		253,0	26,53	7,48	19,05	250,5	222,4	96,5	1229	64,51	46,32	63,4	57,6	28,2 %

leistung bereits wie oben stehend offensichtlich geworden sind. Deshalb wurde nachfolgend der Einzel- und Tandembetrieb an einem VVG Klasse B1 dem Betrieb zweier Lampen an einem EVG der Klasse A2 für 18 W bzw. 2 · 18 W gegenüber gestellt. Es ergaben sich drei Blöcke zu je sieben Messungen des Lichtstroms φ, die in der Tafel 1 zusammen gestellt sind. Gemessen wurden jeweils an einem VVG und einem EVG:

- eine T8-Lampe in Einzelschaltung,
- zwei T8-Lampen in Tandem- bzw. Doppelschaltung und
- eine TC-D-Lampe.

Die EVG wurden je ein Mal an Nennspannung (230 V), an der unteren Toleranzgrenze 90 % (207 V) sowie an der oberen Toleranzgrenze 110 % (253 V) gemessen. Bei den VVG wurde ebenso vorgegangen und zusätzlich eine vierte Messung bei derjenigen Spannung durchgeführt, bei der sich der gleiche Lichtstrom ergab wie zuvor an der selben Lampe mit EVG bei Nennspannung. Für die Messung der einzelnen T8-Lampe mit EVG wurde ein EVG für nur eine Lampe eingesetzt statt dasjenige für zwei Lampen zu benutzen und nur eine anzuschließen, was funktioniert hätte, aber möglicherweise zu falschen Ergebnissen geführt hätte. Die entscheidenden Ergebnisse finden sich in Tafel 1 in Form des Licht-Wirkungsgrads η<sub>ges</sub> in Lumen pro Watt elektrischer Leistungsaufnahme des Systems aus Lampe und Vorschaltgerät. Der Licht-Wirkungsgrad lässt sich nicht in Prozent angeben, da das menschliche Auge für verschiedene Farben unterschiedlich empfindlich ist, was die wahrgenommene Helligkeit angeht. Deshalb ist in die Einheit für die Lichtleistung eines Leuchtmittels die Empfindlichkeit eines genormten

Durchschnittsauges bereits eingearbeitet. Die Einheit nennt sich Lumen (lateinisch für Licht). Somit muss der Wirkungsgrad von Lampen, Leuchten und Leuchtmitteln in Lumen pro Watt angegeben werden. Diese und nur diese Angabe ist also geeignet, um zu beurteilen, welches technische Gerät die größte wahrgenommene Helligkeit je aufgenommenener elektrischer Leistung erzeugt. Der Anteil der elektrischen Verluste im Vorschaltgerät an der gesamten aufgenommenen elektrischen Leistung lässt sich natürlich in Prozent angeben (siehe letzte Spalte der Tafel). Allerdings war die hierfür erforderliche separate Messung der Lampenleistung, also so zu sagen der Ausgangsleistung der Vorschaltgeräte, bei den EVG wegen der hohen Ausgangsfrequenz nicht möglich. Daher ließ sich hierfür der Wirkungsgrad η<sub>Lampe</sub> des Leuchtmittels allein auch nicht errechnen.

#### 4.2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus der Tafel 1 lassen sich folgende Ergebnisse ablesen und Schlüsse ableiten:

1. Die schon in der Voruntersuchung herausgestellten Vorzüge der Tandemschaltung und der TC-D-Lampe hinsichtlich der Blindleistung bestätigen sich.
2. Wie schon früher an der 58-W-Lampe beobachtet, steigt die Verlustleistung im VVG stark überproportional zur Betriebsspannung des Systems. Bei 253 V ist die Verlustleistung zu meist mehr als doppelt so groß wie bei 207 V. Zusammen mit der leichten Zunahme des Wirkungsgrads η<sub>Lampe</sub> bietet sich in allen VVG-Zusammenschaltungen der Unterspannungsbetrieb als Energiesparmaßnahme an.

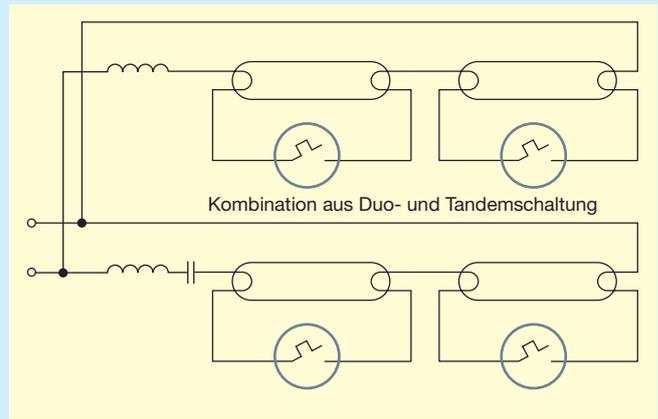
3. Die um 4 % schwächere Leuchtstärke der Lampe beim EVG-Betrieb, wie an der 58-W-Lampe festgestellt, bestätigt sich hier nicht. Im Gegenteil brennen die Lampen in Einzelschaltung am EVG um 4 % heller. Bei der Tandemschaltung im Vergleich zum Doppel-EVG muss die Betriebsspannung nahezu gar nicht verstellt werden, um die gleiche Helligkeit zu erreichen wie mit dem Doppel-EVG. Die Tandemschaltung lässt sich daher bequem direkt mit der Doppel-EVG-Schaltung vergleichen. Für die Einzelschaltungen müssen jedoch bei der Bewertung der Lichtausbeute zwei mögliche Vorgehensweisen unterschieden werden:

4. Entweder die Leuchten werden in beiden Fällen bei Nennspannung betrieben. Der Vergleich ist dann nicht objektiv, entspricht aber wahrscheinlich eher der gängigen Praxis. Dann steht einer Systemleistung von 19,13 W mit EVG eine Systemleistung von 24,47 W am VVG gegenüber. Eine Amortisationszeit für die eingesparten gut 5 W kann hier nicht gegeben werden, da der Mehrpreis für ein EVG sich sehr verschieden auf den Endpreis einer Beleuchtungsanlage auswirken kann. Bei einem Strompreis von 10 c/kWh dauert es jedoch 1872 Betriebsstunden, um den ersten Euro einzusparen. Von diesem Eckwert kann man ausgehen, indem man entsprechend umrechnet: Bei 5 c/kWh dauert es dann 3744 Stunden, bei 20 c/kWh 936 Stunden, bis ein Euro erspart ist.
5. Oder man rechnet objektiv. Niemand wird die Netzspannung herauf setzen, um mit den eingebauten/geplanten VVG exakt die gleiche Helligkeit zu erreichen wie mit den nicht verwendeten EVG, doch könnte der Lichtplaner



➤ **8** Für vier T8-Leuchtstofflampen, Leistungsstufe 18 W, genügen zwei Vorschaltgeräte und ein Kondensator

➤ **9** Optimale Verdrahtung der Leuchte im linken Bild



einige Leuchten mehr vorsehen, wenn die Entscheidung für VVG gefallen ist. Dies hätte praktisch den gleichen Effekt, als würde die gleiche Anzahl Leuchten an einer Spannung von 241,7 V betrieben, was der Differenz zwischen 19,13 W und 26,18 W Systemleistung, also rund 7 W, entspricht. Der wirkliche, objektive „Ersparnis-Eckwert“ beträgt dann also bei 10 c/kWh 1418 Betriebsstunden je Euro.

**6.** Zudem fällt auf, dass die Grenzen der EU-Direktive, die für die 18-W-Lampe in Klasse B1 bei 24 W und in Klasse A2 bei 19 W Systemleistung liegen, hier im Prinzip weder vom EVG noch vom VVG erfüllt werden. Nur mit zwei wegen möglicher Messabweichungen zuge-drückten Augen kann die jeweilige Klasse als gerade noch eingehalten betrachtet werden.

Diese Betriebsarten stellen aber auch beide nicht die optimale Kombination dar. Die Verlustleistung in einem 36-W-EVG ist nicht doppelt so groß wie in einem 18-W-EVG („Witz des Groß-EVG“), vom in dreifacher Weise vorteilhaften Tandembetrieb beim VVG ganz zu schweigen. Die Erkenntnisse der Punkte 4 bis 6 lauten für die Doppel- bzw. Tandemschaltung zweier 18-W-Lampen entsprechend:

**7.** Der Unterschied zwischen VVG- und EVG-Betrieb beläuft sich jetzt auf gut 6 W je System, also 3 W je Lampe, denn ein System umfasst nunmehr zwei Lampen und ein Vorschaltgerät. Bei einem Strompreis von 10 c/kWh dauert es also 1767 Betriebsstunden, um einen Euro einzusparen. Oder um ein anderes Beispiel zu wählen: Bei ununterbrochenem Dauerbetrieb von 8760 h/a und einem bei dieser Betriebsart typischerweise sehr günstigen Strompreis von z. B. 6 c/kWh spart das EVG mit zwei Lampen ziemlich genau drei Euro im Jahr.

**8.** Die Tandemschaltung erweist sich hier nicht nur als deutlich wirtschaftlicher als die Einzelschaltung, sondern macht auch deren direkten Vergleich zum EVG wesentlich einfacher, da sich die jeweils bei Nennspannung für

VVG und EVG gemessenen Helligkeiten praktisch nicht unterscheiden. Bei einem Strompreis von 10 c/kWh dauert es bei auf absolut gleiche Helligkeit getrimmter Spannung 1634 Betriebsstunden, bis das EVG einen Euro eingespart hat

**9.** Die EU-Direktive enthält zwar eine separate Zeile mit Grenzwerten für den Betrieb zweier Lampen an einem Vorschaltgerät, doch die Werte je Lampe sind identisch mit denen für den Einzelbetrieb wie unter Punkt 6. Dennoch werden die Grenzwerte hier, ganz im Gegensatz zu der in Punkt 6 beschriebenen Konfiguration, mit Glanz eingehalten: Das EVG bleibt gut 1,4 W unter dem Grenzwert für die Klasse A2, das VVG sogar fast 6 W unter B1. Um ein Haar (0,25 W) hätte es die Klasse A3 erfüllt.

**10.** An der TC-D-Lampe lässt sich Folgendes beobachten: Der Wirkungsgrad ist etwa um 5 % bis 10 % schlechter als bei der T8-Lampe. Dies mag an der kompakten Bauform liegen, die dazu führt, dass ein Teil des bereits erzeugten Lichts auf die Röhre zurückfällt.

**11.** Hier bringt der Einsatz des EVG eine ungewöhnlich hohe Einsparung von 28 % an gleicher Spannung bzw. 34 % bei gleicher Helligkeit. Es erfüllt die Bedingung für Klasse A2 mit Glanz, während das VVG die Grenze für Klasse B1 nicht wirklich einhält. Das VVG ist wohl doch zu Gunsten der Konstruktion kompakter Leuchten etwas zu klein geraten (Bild 7 oben rechts), denn das Sparen an aktivem Material (Kupfer und Eisen) geht in der Elektrotechnik immer auf Kosten des Wirkungsgrads. Allerdings muss man einschränkend sagen, dass diese beiden Messungen womöglich nicht ganz miteinander vergleichbar sind, da nicht an der selben Lampe gemessen werden konnte. Die TC-D-Lampe für KVG/VVG verfügt über einen eingebauten Starter und deshalb nur über zwei Anschlüsse (Bild 7). Hier ist der Starter intern verdrahtet. Die Version für EVG-Betrieb benötigt vier Stifte.

**12.** Das geprüfte EVG für die TC-D-Lampe verfügt nicht, wie die beiden anderen aus die-

sem Versuch, über eine Stabilisierung der Leistung bei Schwankungen der Eingangsspannung.

## 5 Fazit

Bei der Auswahl der Komponenten für eine Beleuchtungsanlage kommt es sehr genau auf die optimale Konfiguration von Vorschaltgerät und Lampe an. Eine günstige Wahl getroffen zu haben bedeutet:

- beim Kompensationsbedarf Einsparung von annähernd 60 % der Blindleistung,
- beim restlichen Investitionsbedarf Einsparung jedes zweiten Vorschaltgeräts,
- bei der Energieeffizienz Einsparung der Verluste der eingesparten Vorschaltgeräte und
- weitere Einsparungen durch Betrieb, sowohl der Lampen als auch der verbleibenden Vorschaltgeräte, in günstigeren Betriebspunkten. Man kann dieses Leistungsmerkmal also im Allgemeinen, aber nicht immer als gegeben voraussetzen.

Bei VVG, die für verschiedene Lampenleistungen und ggf. sowohl für Einzel- wie Tandemschaltung ausgewiesen sind, ist es stets wesentlich günstiger, die größte ausgewiesene Lampenleistung an das VVG anzuschließen als die kleinste (Bild 4). Zumeist führt eine solche Kombination zu einem Betrieb der Lampe bei etwa 90 % ihrer Nennleistung. Dies bringt sowohl eine leichte Verbesserung des Lampen-Wirkungsgrads [9] als auch eine verlängerte Lebensdauer der Lampe und reduziert die Verluste im Vorschaltgerät ganz erheblich. Die Unterschiede zwischen dem günstigsten und dem ungünstigsten Einsatzfall sind größer als die zwischen VVG und EVG, meist auch größer als die zwischen KVG und VVG. Ein Beispiel für eine in jeder Hinsicht günstige Anordnung zeigt Bild 3, insbesondere dann, wenn nach wie vor die Reihenkom-pensation eingesetzt wird, obwohl sie eigentlich aus der Mode kommt. Die für die Reihenkom-pensation angegebenen Kapazitäten führen nämlich zu einem erhöhten Strom im kapazitiven Kreis [1]. Dies wirkt wie ein Betrieb bei er-

höher Spannung, also oberhalb der Lampen-Nennleistung. Man könnte auch von Überlast reden. Die Tandemschaltung führt zu einem Betrieb unterhalb der Lampen-Nennleistung, wie an Unterspannung. Diese beiden Effekte heben sich, für die gesamte Leuchte nach Bild 8 betrachtet, gegenseitig mehr oder weniger auf, wenn diese vorteilhafterweise gemäß Bild 9 verschaltet ist. Insgesamt ergibt sich ein Betriebspunkt, der zwischen den Bedingungen nach Punkt 7 und 8 zu liegen kommt. Der geringe Aufpreis für ein VVG gegenüber einem KVG lohnt sich zwar in der Regel trotzdem noch, der hohe Aufpreis für ein EVG jedoch selten. Sollte das EVG tatsächlich die für die besten Modelle inzwischen angegebene Lebensdauer von 50 000 Stunden erreichen, so muss der Mehrpreis unter 10 Euro liegen,

damit noch eine Ersparnis übrig bleibt. Darin sind jedoch Kapitalkosten noch nicht eingerechnet, ebenso wenig die Wartungs- oder Reparaturkosten, die das VVG mit seiner Lebensdauer von gut 300 000 Stunden erspart. Der sachverständige Einsatz eines VVG kann zusammen mit einem elektronischen Starter fast alle Vorteile bieten, die gewöhnlich nur einem EVG zugeschrieben werden.

## Literatur

- [1] Fassbinder, S.: Blindleistungskompensation bei Leuchtstofflampen. Elektropraktiker 57 (2003) 11, S. 870-875, s. u.
- [2] Fassbinder, S.: Netzstörungen durch passive und aktive Bauelemente. VDE Verlag, Offenbach, 2002, S. 289.
- [3] Vidmar, M.: Die Transformatoren. Berlin 1921. Zitiert in: Elektropraktiker 58 (2004) 10, Berlin, S. 793.
- [4] www.dial.de
- [5] Fassbinder, S.: Elektronische Starter für Leuchtstofflampen. Elektropraktiker 60 (2006) 11; S. 937-941, in diesem Sonderdruck ab S. 15.
- [6] energy efficiency index EEI, www.celma.org
- [7] Fassbinder, S.: VVG – Vorschaltgeräte in der Beleuchtungstechnik. Elektropraktiker 59 (2005) 4; S. 284-287, in diesem Sonderdruck ab S. 3.
- [8] www.celma.org
- [9] <http://lighting.copperwire.org/83.php>

# Blindleistungskompensation bei Leuchtstofflampen

**Induktive Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen verursachen eine große Blindleistung, die meist wesentlich höher als die Wirkleistung ist. Das kommt in Industrie und Gewerbe einer Verpflichtung zur Kompensation gleich. Diese ist althergebrachte Technik und weder kompliziert noch teuer. Es bieten sich zwei Schaltungsmöglichkeiten an, die hier beurteilt werden.**

## 2 Gründe für Kompensation

Gewöhnlich werden als Grund für das Kompensieren die Kosten genannt, meist aber nur die Preise gemeint. Da ist einmal der Leistungspreis für die Bereitstellung der höheren Scheinleistung und zum Anderen der Arbeitspreis für die Blindarbeit, die der Blindarbeitszähler am Einspeisepunkt anzeigt. Die Kosten, die der Blindstrom beim Fließen durch die Anlage bis hierhin schon verursacht hat und die letztendlich vom Betreiber bezahlt werden müssen, bleiben in der Regel unberücksichtigt. Nicht so jedoch bei der Beleuchtung. Ausnahmsweise ist es bei Leuchtstofflampen-Beleuchtungen gängige Praxis, die Blindleistung am wirkungsvollsten direkt am Ort der Entstehung – im Inneren der Leuchte – zu kompensieren

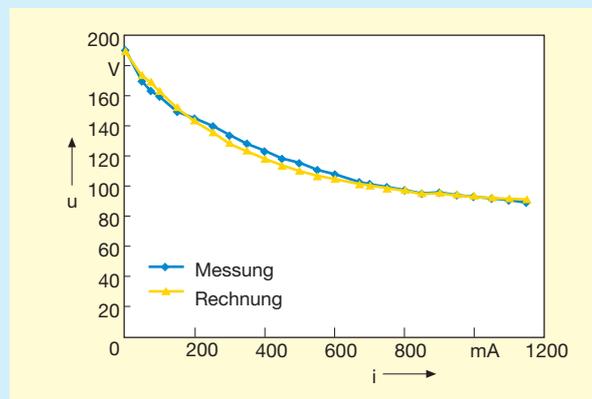
### 1 Blindleistung bei Leuchtstofflampen

Die Charakteristik einer Leuchtstofflampe als Gas-Entladungsstrecke bringt es mit sich, dass der Spannungsfall an ihr mit steigendem Strom fällt (Bild 1). Irgendeine Art von Bauteil muss also mit einer Leuchtstofflampe in Reihe geschaltet werden, wenn die Lampe in Betrieb gehen soll. Die billigste Methode, ein ohmscher Widerstand, käme einer Energie-Verschwendungsanlage gleich und würde den Gesamt-Wirkungsgrad beinahe auf das Maß einer Glühlampe herab ziehen. Diese Option findet daher außer in Einzelfällen bei kleineren Lampenleistungen (ortsveränderliche Arbeitsleuchten mit Widerstands-Anschlussleitung) keine Verwendung. Die zweitbilligste Lösung und noch dazu langlebig und robust ist ein induktiver Widerstand – eine Drossel. Eben hieraus besteht ein konventionelles (KVG) oder ein verbessertes Vorschaltgerät (VVG) mit reduzierten Verlusten. Was hier stört, ist lediglich die reichlich auftretende Blindleistung. Der Leistungsfaktor (für den normalen Betrieb zusammen mit der vorgesehenen Lampe) wird stets auf dem Vorschaltgerät angegeben (Bild 2). So weist eine Leuchte mit einer 58-W-Lampe und KVG oder VVG eine gesamte Wirkleistungs-Aufnahme

von 64 bis 70 W auf. Mit dem angegebenen Nennstrom von 0,67 A ergibt sich eine Scheinleistung von 160 VA mit einem Blind-Anteil von rund 144 var.

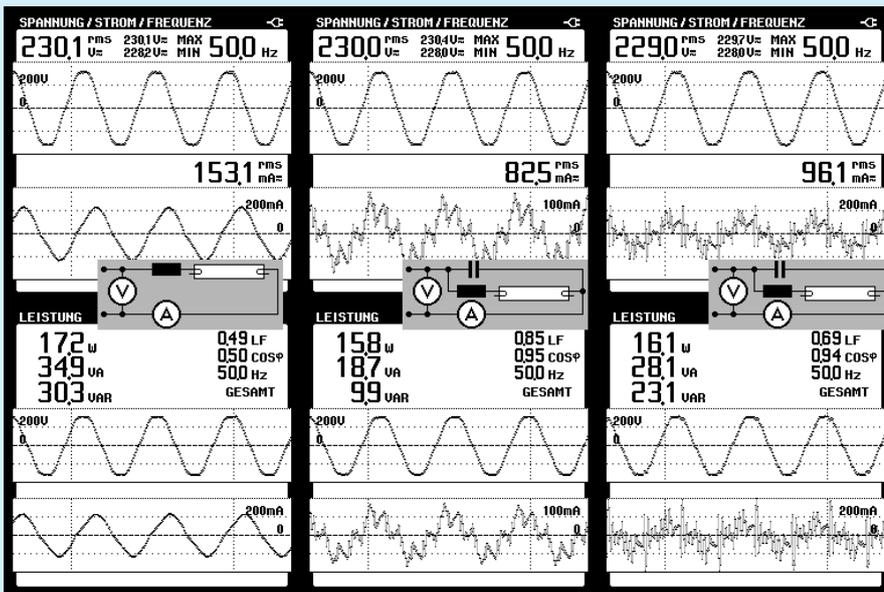
#### 1 Verhalten einer 58-W-Leuchtstoffröhre bei Gleichstrom

Messung und rechnerische Annäherung mit hieraus empirisch gewonnener Formel

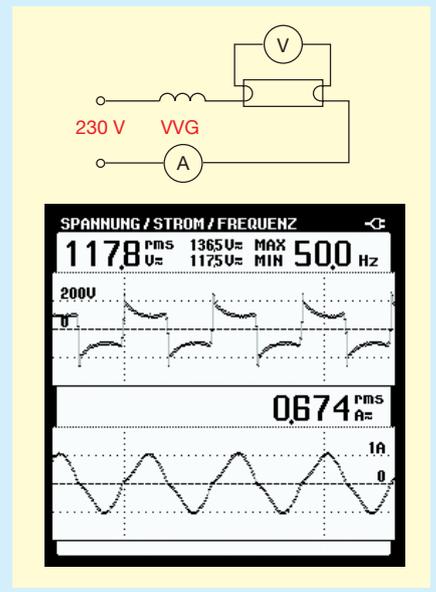


#### 2 Auf dem Vorschaltgerät wird stets der Leistungsfaktor angegeben





③ Leuchtstofflampe 11 W mit KVG, ohne (links) und mit Parallel-Kompensation (Mitte und rechts)



④ Spannung an einer 58-W-Leuchtstofflampe und Strom in der Lampe

sieren. Dies kann durch die übliche Parallel-schaltung einer Kapazität zu der nahezu ohmsch-induktiven Gesamtlast aus Lampe und Vorschaltgerät geschehen.

### 3 Nachteile und Risiken

Der kapazitive Blind-Widerstand fällt umgekehrt proportional mit steigender Frequenz. Die Nachteile oder Risiken, wie bei Kompensations-Anlagen allgemein, sind:

**Rundsteuer-Signale** zum Steuern von Straßenbeleuchtung, Nachtspeicherheizungen und dergleichen mit Frequenzen von etwa 133 bis 1350 Hz können verloren gehen.

**Kondensatoren** können **überlastet** werden, seit sich in neuerer Zeit jede Menge Oberschwingungen und andere höhere Frequenzen der Netzspannung überlagern.

#### 3.1 Beispiel Oberschwingungen

Im Bild ③ wurde die Eingangsleistung einer kleinen Leuchtstofflampe mit induktivem Vorschaltgerät in einem Bürogebäude aufgenommen, links zunächst ohne Kompensation. Die Netzspannung scheint „sauber“ zu sein, also nahezu sinusförmig bzw. nicht sichtbar von höheren Frequenzen überlagert. Obwohl die Spannung zwischen den Elektroden der Lampe (Bild ④) sehr stark verzerrt ist, findet sich diese Verzerrung im Lampenstrom kaum wieder. Die große Induktivität des Vorschaltgeräts verhindert dies. Nur die große Phasenverschiebung bleibt.

Das erfordert unbedingt Kompensation, doch ein Parallel-Kondensator überlagert dem Gesamtstrom jetzt ein hohes Ausmaß an Verzer-

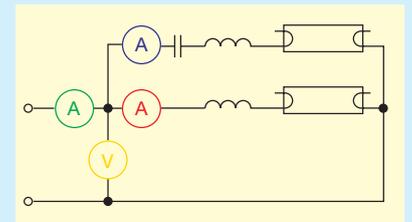
rung, also höherfrequenten Anteilen (Bild ③ Mitte). Obwohl die Kapazität richtig bemessen ist, gelingt es nicht einmal annähernd, die Blindleistung auf Null zu bringen.

Ohne dass an der Schaltung irgendetwas geändert wird, sondern nur dadurch, dass ein über einen Stromrichter gesteuerter Aufzug in dem Gebäude anfährt, nimmt die Verzerrung und somit der angezeigte Blindstrom abermals erheblich zu (Bild ③ rechts: der Strommessbereich wurde von 100 mA auf 200 mA hochgestuft).

Wegen der Komplexität der Materie [1] kann dieses jedoch hier nicht weiter vertieft werden. Es zeigt aber, dass der zusätzlich aufgenommene Strom in der Tat aus höherfrequenten Anteilen bestehen und ausschließlich durch den Kondensator fließen muss. Wenn der Kondensator entsprechend dimensioniert ist, ist dies vorteilhaft für das Netz, da es hierdurch um die so genannte Verzerrungs-Blindleistung entlastet wird. In der Praxis wird dies jedoch meist vergessen und der Kondensator für Netzspannung und Netzfrequenz bemessen, zumal das Ausmaß dieses erheblichen zusätzlichen Laststroms im Vorhinein nicht bekannt ist. Auch im vorliegenden Beispiel (Bild ③) wird die kleine Ursache für den großen Strom, die Beimischung höherer Frequenzen zur Netzspannung, nur im Oszillogramm des Stroms sichtbar.

### 4 Reihen-Kompensation: Duo-Schaltung

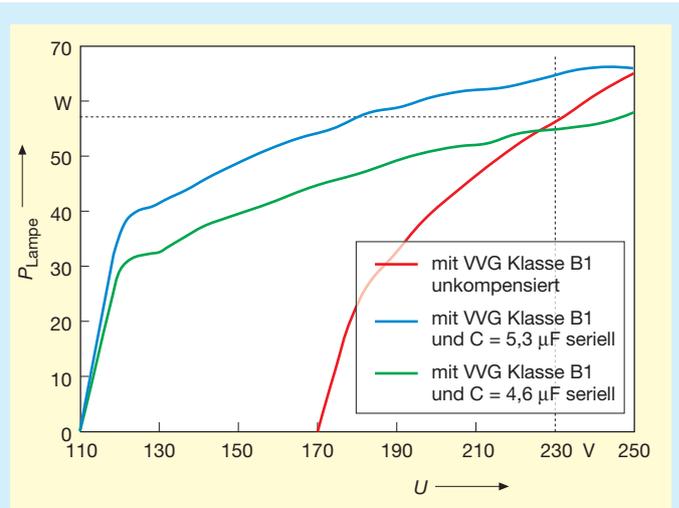
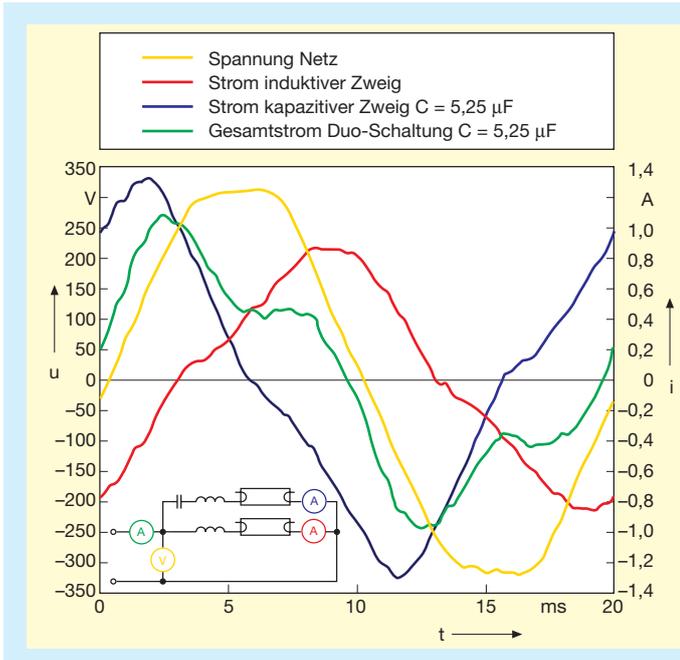
Nun begegnet man diesem Problem in Kompensations-Anlagen normalerweise durch Verdrosselung, also indem man die Kapazität mit einer Induktivität in Reihe schaltet,



⑤ Duo-Schaltung: Kombination aus einer reihenkompenzierten und einer unkompenzierten Lampe

die bei Netzfrequenz nur einige Prozent der Nenn-Blindleistung wegnimmt (kompensiert) [2]. Warum aber sollte man sich bei Leuchtstofflampen mit einer weiteren Drossel abgeben, wo doch schon eine vorhanden ist? Da Strom und Phasenwinkel bei dieser Last praktisch konstant sind, tut sich hier eine andere Möglichkeit auf, nämlich das Vorschaltgerät zugleich als Verdrosselung für den Kompensations-Kondensator zu verwenden (Bild ⑤). Das bedeutet, jede zweite Einheit aus Lampe und Vorschaltgerät mittels eines Reihen-kompensators – theoretisch – derart (über-) zu kompensieren, dass der Strom dem Betrag nach gleich dem einer unkompenzierten Lampe ist. Der Phasenwinkel nimmt dann ebenfalls den gleichen Wert an, jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen. Die Messung in Bild ⑥ zeigt, was für große Phasenwinkel die beiden Einzelströme haben, wie sie sich in der Summe aber zu einem Strom ergänzen, dessen Nulldurchgang beinahe wieder mit dem Nulldurchgang der Netzspannung zusammenfällt. Dies ist Sinn und Wirkungsweise einer jeden Kompensation.

Die Duo-Schaltung zwingt zugleich dazu, dies



7 Empfindlichkeit gegen Spannungs-Einbrüche ist im kapazitiven Zweig wesentlich geringer (Messung)

6 Spannungs- und Strom-Verläufe in einer Duo-Schaltung

auf die wirkungsvolle dezentrale Art zu tun – und verhindert darüber hinaus die sonst bei der Kompensation möglichen Nachteile und Risiken. Um alle Vorteile im optimalen Ausmaß nutzen zu können, finden sich die Lampen fast immer paarweise auf die einzelnen Leuchten verteilt.

#### 4.1 Neben-Effekte der Duo-Schaltung

Als Neben-Effekt sind die kompensierten Zweige viel weniger empfindlich gegen Spannungseinbrüche (Bild 7) und vollkommen geschützt gegen selbst kleinste Gleichspannungs-Überlagerungen der Netzspannung, die anderenfalls unverhältnismäßig großen Einfluss auf induktive Bauteile haben können [1]. Als weiterer Vorteil wird der Verschleiß an Schalter- und Schützkontakten stark gemindert. Beim Einschalten bleibt die typische Stromspitze des Kondensators aus. Auch der Stroboskop-Effekt, der anderenfalls beim Arbeiten an schnell laufenden Maschinen gefährlich werden kann, wird durch die Phasen-Verschiebung zwischen dem Zweig mit und dem ohne Kondensator minimiert. In einer Studie wurde festgestellt, dass nicht nur an rotierenden Maschinen, sondern auch an Bildschirm-Arbeitsplätzen die Fehlerrate mit flackerfreien elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) niedriger ausfiel. Dabei wird aber ausdrücklich darauf hingewiesen, dass „unkompensierte und parallel kompensierte KVG“ für diesen Vergleich mit EVG eingesetzt wurden. Leider fehlt eine Begründung für die Wahl dieses Versuchsaufbaus statt der (damals auf jeden Fall noch) üblichen Serien-Kompensation [3].

#### 4.2 Problem Kompensations-Kapazität

Der einzige Nachteil, den diese Art von Kompensation in sich hat, ist das Risiko, die Kom-

pensations-Kapazität falsch auszulegen oder auszuwählen. Dies würde bei Parallel-Kompensation lediglich etwas Über- oder Unterkompensation bedeuten, was dabei nicht von Bedeutung sein mag, doch bei der Duo-Schaltung ist es mehr als das! Es würde falschen Lampenstrom, mögliche Überlastung von Kondensator, Vorschaltgerät und Lampe, entsprechende Früh-Ausfälle, zumindest aber unnötig erhöhte Verluste bedeuten. Daher sind die Nenn-Toleranzen dieser Kondensatoren mit vormals 4 %, jetzt dank verbesserter Herstellungs-Verfahren nur noch 2 %, sehr eng bemessen. In der Massenproduktion von Leuchten ist hier eine fehlerhafte Bestückung gerade so unwahrscheinlich wie jeder andere Fehler auch, doch Vorsicht ist bei Reparatur mittels Ersatzteilen geboten. Eigentlich sollte dies kein Problem darstellen, da doch die jeweils richtige Kapazität für Längs- und Parallel-Kompensation stets auf dem Vorschaltgerät angegeben ist (Bild 2). In der Praxis kommen Fehler aber dennoch vor, wie Installationsfirmen berichten, da die Längs-Kompensation nicht als solche erkannt wird oder ihre Besonderheiten nicht bekannt sind. Das Wartungspersonal vor Ort entscheidet dann einfach, wenn zum Austausch eines defekten Kondensators der gleiche Typ nicht vorrätig ist, ein ähnlicher täte es ebenso gut oder sei zumindest weit besser als keiner. Dies hingegen ist höchstens bei Parallel-Kompensation richtig.

### 5 Diskussion um die Duo-Schaltung

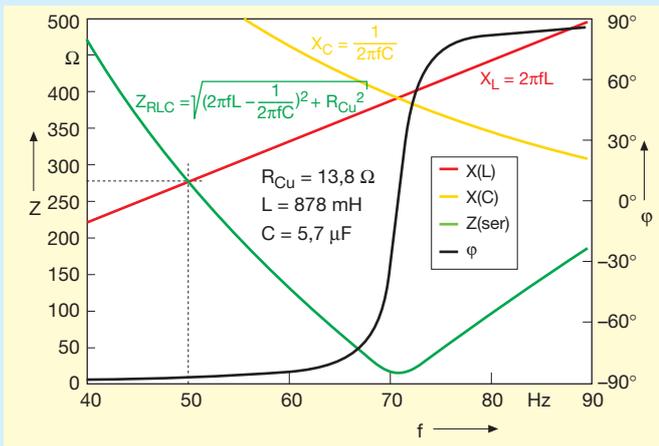
#### 5.1 4,6-µF-Kondensator

Ein weiterer Nachteil – jedoch nicht des Prinzips, sondern der derzeitigen Praxis – ist, dass die beiden Ströme der Zweige nicht wirklich

gleich sind. Beim Nennstrom einer 58-W-Lampe und 230 V Netzspannung liegt die Induktivität des erforderlichen Vorschaltgeräts bei 878 mH. Dies macht eine Kapazität von 5,7 µF erforderlich, um bei einer Resonanzfrequenz von 70,7 Hz zu landen, was theoretisch bei 50 Hz die Impedanz des Vorschaltgeräts allein oder mit Längs-Kondensator jeweils gleich groß werden ließe (Bild 3). Aus irgendwelchen Gründen jedoch, möglicherweise die extreme Verzerrung der Spannung zwischen den Elektroden der Lampe (Bild 4), werden sie ungleich. Standardmäßig verwendet man nur 5,3 µF oder 5,2 µF (Bild 2), doch dies gleicht den Unterschied bei Weitem noch nicht aus. Wie eine Messung (in Bild 7 mit aufgenommen) zeigt, wäre 4,6 µF der richtige Wert. Dieser könne nicht eingesetzt werden, wird argumentiert, um Zündprobleme der Lampen zu vermeiden, vor allem bei Unterspannung und extrem niedrigen Temperaturen. Mit dem Prinzip an sich hat dies nichts zu tun, wenn die Lampe erst einmal leuchtet, und die Zündprobleme ließen sich ebenso gut durch den Einsatz elektronischer Starter bewältigen, die ohnehin die bessere Wahl darstellen. Die entsprechenden Angaben der Lampen-Hersteller – denn um die handelt es sich – bedürfen offenbar einer Überarbeitung (die Werte sind in keiner Norm festgeschrieben).

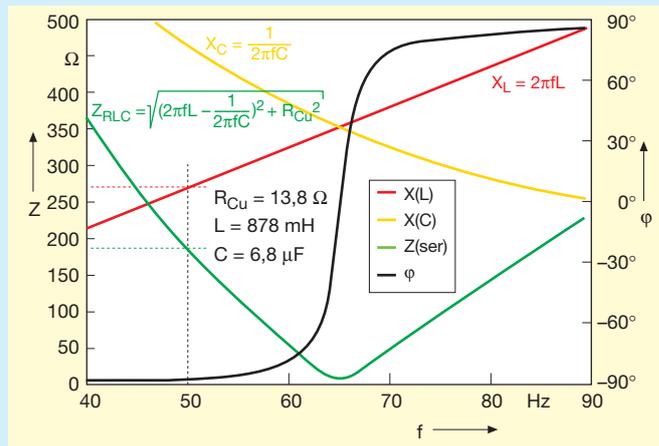
#### 5.2 Bestreben der Leuchten-industrie: EVG

Seitens der Beleuchtungs-Industrie hofft man jedoch langfristig auf einen vollständigen Ersatz aller induktiver Vorschaltgeräte durch EVG, die zwar teuer sind, aber keine Kompensation benötigen. Daher steckt man dort nicht allzu viel Ehrgeiz in die Anpassung irgendwelcher alter Vorgaben an neue VVG-Techniken. Während dessen befinden sich,



### 8 Richtige Auslegung der seriellen Kompensationskapazität (Rechnung)

Bei 50 Hz haben die beiden Zweige, nur mit Drossel und mit Drossel und Kondensator, gleich große Impedanzen.



### 9 Bei 20 % zu hoch bemessener Kapazität liegt der Strom schon 45 % über dem Sollwert!

anders als es vielleicht in der Fachwelt den Eindruck macht, noch immer 80 % des Marktes in der Hand induktiver Vorschaltgeräte, jedenfalls an verkauften Stückzahlen gemessen. Am Umsatz gemessen sind es jedoch nur etwa 50 % – wegen der bei EVG wesentlich höheren Wertschöpfung. Oder sollte man in diesem Fall eher von Preisschöpfung sprechen?

### 5.3 Verbot der Duo-Schaltung möglich

Leider ist zu allem Überfluss in letzter Zeit die Duo-Schaltung etwas in Verruf geraten [4]. Bei vorverdrahteten neuen Leuchten soll sie sogar verboten werden. Dies ist besonders befremdlich, da die Schweiz gerade den umgekehrten Weg geht und die Parallel-Kompensation verbieten will [5]. Weitaus ratsamer wäre es, die Vorgabewerte für die Längskapazität zeitgemäß zu revidieren, so dass sich mit oder ohne Längskondensator vielmehr in der Praxis statt in der Theorie stets die gleiche Wirkleistung einstellt und die Längskompensation eben nicht mehr zu höheren Verlusten führt. Eventuell könnte man bei Verwendung elektronischer Starter andere Werte vorgeben als für die herkömmlichen Glimmstarter, die eigentlich eine unsägliche Technik darstellen und selbst innerhalb der Beleuchtungs-Industrie zum Teil auch auf den vollkommen berechtigten Spitznamen „industrieller Wackelkontakt“ hören. Schließlich ersetzen sie einen Startvorgang durch mehrere Startversuche, während gleichzeitig die Anzahl der Zündungen als entscheidender Alterungsfaktor für die Lampe genannt wird.

### 6 Zentrale Kompensation

Setzt sich die neue Ansicht des ZVEI und damit die Parallel-Kompensation jedoch durch, wird dies unweigerlich auch wieder eine Ten-

denz zur zentralen Kompensation auslösen, weil ein Kondensator von 520 µF (im Einkaufspreis) billiger ist als 100 Stück zu je 5,2 µF. Nicht etwa preiswerter oder kostengünstiger oder was es sonst noch alles für beschönigende, leider aber falsche Umschreibungen hierfür gibt, sondern einfach nur billiger, denn dies beschränkt die Einsparung auf den Preis der Blindleistung am Zähler und klammert die Kosten aus, die die Blindleistung innerhalb der Anlage verursacht. Zudem können die Parallel-Kondensatoren zu den beschriebenen Problemen führen, die dann fälschlicherweise den Vorschaltgeräten angelastet werden. Offen bleibt auch die Frage, ob die zentrale Kompensations-Anlage mit abgeschaltet wird, wenn das Licht ausgeschaltet wird, sonst verkehrt sich die Kompensation in ihr Gegenteil und erzeugt zusätzlichen Blindleistungsfluss statt solchen zu vermeiden. Bei dezentraler Kompensation, wozu die Anwendung der Duo-Schaltung zwingt, stellt sich diese Frage nicht.

### 7 Verbesserung des Leistungsfaktors

#### 7.1 Methode zur Halbierung der Blindleistung bei Lampen von 5 bis 18 W

Man kann unter Umständen die je Lampe anfallende Blindleistung auch um mehr als die Hälfte senken, indem man je zwei Lampen in Reihe an ein gemeinsames Vorschaltgerät anschließt. Bei Lampen in den Leistungsstufen 5 W, 7 W, 9 W und 18 W ist dies möglich. Bei 18 W ist hierfür ein anderes Vorschaltgerät erforderlich als für eine einzelne Lampe, für die kleineren Lampen kann jeweils das gleiche verwendet werden (zuzüglich des Umstands, dass für die kleinen Lampen von 5 bis 11 W ohnehin jeweils das gleiche Vorschaltgerät eingesetzt wird).

Der Effekt liegt klar auf der Hand: Der selbe, einmal „lampengerecht“ gemachte Strom wird quasi zwei Mal ausgenutzt. Der Spannungsfall über zwei Lampen ist doppelt so groß wie über

einer oder sogar noch größer, daher nahezu doppelte Wirkleistung. Der Gesamtstrom wird durch die Reihenschaltung natürlich etwas kleiner, also ist die Blindleistung absolut mit zwei Lampen an einem Vorschaltgerät sogar geringer als mit einer, anteilig je Lampe gerechnet also weniger als die Hälfte der Einzelschaltung!

Abgesehen von einem Vorschaltgerät spart man auch noch jeden zweiten Kondensator ein, und die verbliebenen können (bzw. müssen bei Serien-Kompensation) noch dazu etwas kleiner bemessen sein.

Bei der Variante mit 2 mal 18 W ist der Gesamt-Spannungsfall – und damit auch die Wirkleistung, ebenso wie natürlich die Lichtleistung – deutlich größer als würde statt dessen nur eine Lampe zu 36 W angeschlossen. Somit ergibt sich also auch wieder ein größerer Leistungsfaktor und entsprechend geringerer Kompensations-Bedarf. In der Flächen-Beleuchtung sind daher quadratische Leuchten mit vier Röhren zu je 18 W, aber nur zwei Vorschaltgeräten und nur einem einzigen Kondensator, als kompakte und effiziente Sparversion sehr beliebt.

#### 7.2 Senkung der Versorgungsspannung

Damit des Sparens nicht genug. Die Charakteristik der Lampe als Gas-Entladungsstrecke (Bild 1) bringt es nämlich auch noch mit sich, dass der Spannungsfall an der Lampe mit fallendem Strom steigt. Dadurch fällt die Wirkleistung der Lampen unterproportional, die Scheinleistung des gesamten Kreises jedoch überproportional, wenn der Strom sich durch die Reihenschaltung zweier Lampen etwas vermindert, also ergibt sich eine zweimalige Verbesserung des Leistungsfaktors. Die Wirkleistung im Vorschaltgerät, also seine Verlustleistung, hängt darüber hinaus vom Quadrat des Stroms ab, und ganz nebenbei verbessert sich durch diese Betriebsart auch noch der Wirkungsgrad der Lampe. Wie bei vielen elektrischen Betriebsmitteln, von der Glühlampe einmal abgesehen, hat dieser bei voller Nenn-

leistung nicht gerade sein Maximum. Manchmal werden daher Leuchtstofflampen-Anlagen mit größeren Lampen, die nicht zu zweit in Reihe an einem Vorschaltgerät betrieben werden können, statt dessen gezielt mit Unterspannung gespeist. Die gleichzeitige Verbesserung der Wirkungsgrade sowohl der Lampe als auch des Vorschaltgeräts führen dazu, dass der Gesamt-Wirkungsgrad bei Betrieb an 200 V Speisespannung bereits dem eines EVG gleich kommt, und bei 190 V bietet eine Leuchte mit VVG einen **besseren** Wirkungsgrad als mit EVG [6]. So wie beim Senken der Spannung der aktive Spannungsfall über der Lampe sich erhöht und der reaktive über dem

VVG sich vermindert, verbessert sich natürlich auch wieder der Leistungsfaktor. Der ZVEI sieht diese Technik zwar mit gewisser Skepsis [7], doch viele zufriedene Kunden sind begeistert. Referenzen können über das DKI erfragt werden.

#### Literatur

- [1] Fassbinder, S.: Netzstörungen durch passive und aktive Bauelemente. Offenbach 2001.
- [2] Fassbinder, S.: Passive filters work. Leonardo Anwendungsleitfaden 3.3.1, verfügbar unter: [www.lpqi.org](http://www.lpqi.org)
- [3] Hartleib, M.; Witting, W., Dr.: EVG-Licht liefert geringere Fehlerraten. de 21(1997), S. 2032.

- [4] Rödiger, W.; ZVEI: Parallelkompensation – zukunftsweisende Technik. Gebäudetechnik und Handwerk 4(2000), S. 72.
- [5] Mathys, R.; Schreiber, R.: Rundsteuerpegelprobleme durch eine Beleuchtungsanlage. Bulletin SEV/VSE, 24(2000), S. 35.
- [6] Fassbinder, S.: KVG: Besser als ihr Ruf? ET Schweizer Zeitschrift für angewandte Elektrotechnik, 4(2003), S. 65.
- [7] ZVEI, Fachverband Elektrische Lampen: Betrieb von Lampen an reduzierter Versorgungsspannung – Einsatz von so genannten „Energiesparsystemen“. Frankfurt 1997.

## Elektronische Starter für Leuchtstofflampen

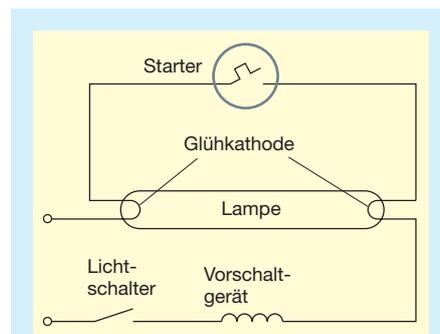
**Ist eine Leuchtstofflampe am Ende ihrer Lebensdauer angelangt, kommt es durch vergebliche Startversuche zum Flackern und Blitzen (Bild 1). Zwar sind elektronische Vorschaltgeräte in der Lage, defekte Lampen zu erkennen und dauerhaft abzuschalten, doch ihr Einsatz anstelle induktiver Vorschaltgeräte ist mit höheren Kosten verbunden. Zudem ist ihre Lebenserwartung kürzer und ihr Austausch komplizierter. Einfacher und kostengünstiger ist hier ein Ersatz der herkömmlichen Glimmstarter durch elektronische Starter.**



### 1 Funktionsprinzip einer Leuchtstofflampe

Die herkömmlichen induktiven – oder auch magnetischen – Vorschaltgeräte bestehen im Prinzip nur aus einer Drosselspule mit Eisenkern und sind als, auf niedrigsten Anschaffungspreis ausgelegte, konventionelle Vorschaltgeräte (KVG) oder als verbesserte Vorschaltgeräte mit minimierten Verlusten (VVG) erhältlich. Die Unterschiede sind im Internet sehr ausführlich beschrieben – und auch vermessen [1]. Ungeachtet des Umstands, dass laut EU-Verordnung [2] KVG in der EU gar nicht mehr in den Handel gelangen dürfen, werden sie für den Export nach Afrika und Asien noch in großen Mengen produziert. Seriöse Hersteller vermerken dies auf der Verpackung. Für den Starter und den Startvorgang jedoch sind die Unterschiede zwischen KVG und VVG ohne Belang. Beide stellen im Wesentlichen, ihrem Prinzip nach, nichts anderes als eine Induktivität dar, die mit der zu betreibenden

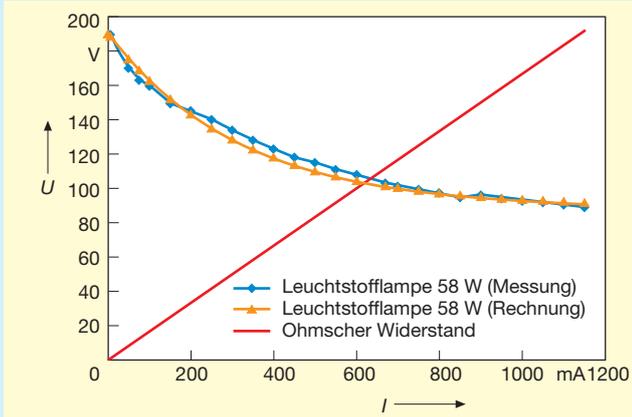
Leuchtstofflampe in Reihe geschaltet ist (Bild 2). Diese Induktivität ist in beiden Fällen, beim KVG wie bei einem entsprechenden VVG, gleich groß. Sie hat bedingt durch die in Bild 3 dargestellte spezielle Charakteristik



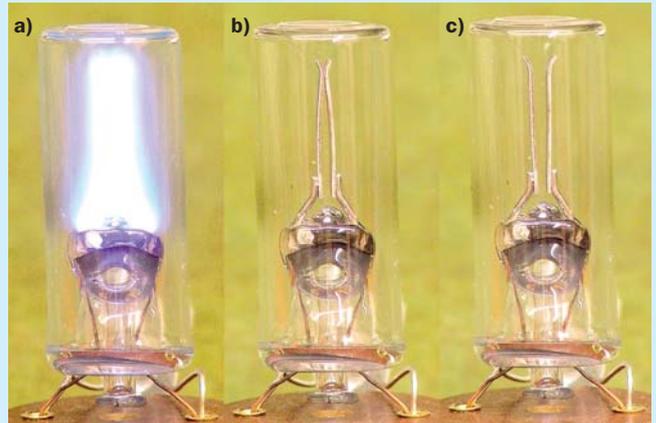
**2 Schaltung einer Leuchtstofflampe mit induktivem Vorschaltgerät und Glimmstarter**

einer Gas-Entladungsstrecke, die bei Leuchtstoff- und Entladungslampen vorliegt, folgende zwei Aufgaben zu erfüllen:

Zunächst muss die Induktivität dafür sorgen, dass Strom anfängt zu fließen, und dann muss sie diesen begrenzen, damit er nicht lawinenartig anwächst. Gase sind von Natur aus keine elektrischen Leiter, doch verlieren sie ihre isolierende Eigenschaft, wenn die Durchschlagsspannung überschritten wird. Diese liegt umso niedriger, je geringer der Gasdruck ist. Leuchtstofflampen sind mit Quecksilberdampf geringen Drucks gefüllt – nicht mit Neon. Die volkstümliche Bezeichnung Neonröhre ist also eigentlich falsch [3]. Um das Isolationsvermögen der Gassäule in einer T8-Lampe von 8 W Nennleistung zu überwinden und somit einen Strom zum Fließen zu bringen, ist eine Wechsellspannung von etwa 500 V erforderlich. Durch ein Beheizen der Kathoden kann der Wert auf etwa 400 V gesenkt werden. An eine kalte 58-W-Lampe ist hierzu eine Spannung von 1300 V anzulegen, bei geheizten Kathoden sind es immer noch 550 V. Da die Spannung im Netz jedoch nicht so hoch ist, befindet sich parallel zur Lampe ein Starter, zumeist der herkömmliche Glimmstarter (Bild 2). Wird die Netzspannung eingeschaltet, dann bildet sich im Glimmstarter eine Glimm-Entladung (Bilder 4a und 5a), die einen Bimetall-Kontakt erwärmt und zum Schließen bewegt (Bilder 4b und 5b). Nun fließt Strom vom Netz über das KVG oder VVG, die Glühwendel der Kathode, den Starter und die zweite Kathode. So werden die Kathoden vorgeheizt. Da die Glimm-Entladung im Starter nun aber durch den geschlossenen Bimetall-Kontakt kurzgeschlossen ist, kühlt sich dieser wieder ab und öffnet den Kontakt wenige Zehntelsekunden nach dem Schließen wieder. Durch das Unterbrechen des Stroms in der (recht großen) Induktivität des Vorschaltgeräts wird durch Selbst-Induktion in der Spule ein erheblicher Spannungsimpuls zwischen den Enden der Leuchtstoffröhre induziert, wodurch ein Stromfluss durch die Gasfüllung der Röhre einsetzt (Bilder 4c und 5c) – dies erhofft man sich jedenfalls.

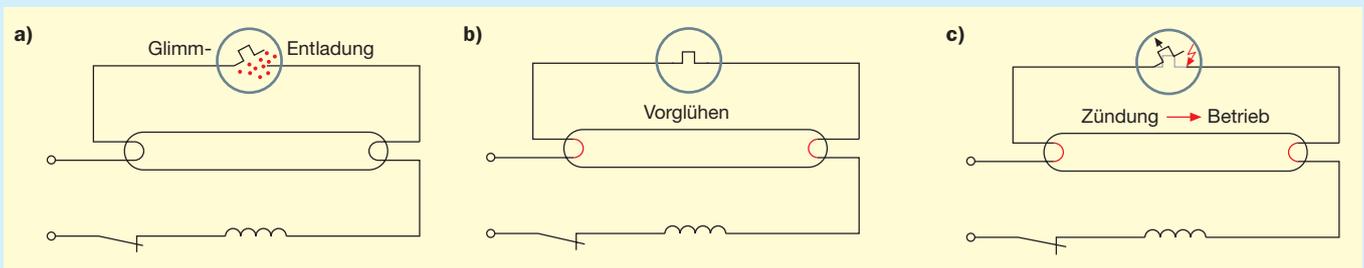


**3 Charakteristik eines ohmschen Widerstands und einer T8-Leuchtstofflampe 58 W an Gleichstrom**



**4 Glimmstarter während eines Startvorgangs**

a) Spannung liegt an und Bimetall-Kontakt glimmt; b) Kontakt schließt durch Erwärmung; c) Glimm-Entladung setzt aus, Kontakt kühlt ab und öffnet



**5 Prinzip des Zündvorgangs**

a) Spannung liegt an; b) Stromfluss heizt Kathoden vor; c) Starter öffnet und Vorschaltgerät zündet die Lampe

Tatsächlich wird die Leuchte mit Wechselstrom gespeist, und ob der Augenblickswert des Stroms im Moment der Zündung, also des Öffnens des Bimetall-Kontakts, gerade groß genug ist, um einen hinreichend hohen Spannungsimpuls zu induzieren, steht dabei in den Sternen. Aber was nicht ist, kann ja noch werden. Neues Spiel, neues Glück. Da jetzt, wenn die Zündung misslingt, wieder die volle Netzspannung am Starter anliegt, kommt es erneut zur Glimm-Entladung, so dass also nach einer bis einigen Sekunden der nächste Versuch erfolgt und so fort, bis einmal durch Zufall ein hinreichend großer Augenblickswert des Stroms getroffen wird. Dann erst setzt ein kleiner Stromfluss durch die Lampe ein, der sofort weitere Ladungsträger erzeugt, wodurch die Leitfähigkeit der Gasfüllung mit zunehmendem Strom gemäß Bild 3 lawinenartig zunimmt. Der induktive Widerstand des Vorschaltgeräts verhindert nun, dass hierdurch auch der Strom lawinenartig bis zum großen Knall anwächst. Die Spannung am Starter, die zu jedem Zeitpunkt identisch ist mit dem Spannungsfall an der Lampe, ist nun so klein, dass keine Glimm-Entladung mehr einsetzt – jedenfalls vorerst. Wenn die Lampe altert, steigt die Brennspannung und irgendwann ist diese so hoch, dass es doch wieder zum Glimmen reicht (Wiederschließspannung). Im Starter passiert dann Folgendes:

Der Starter wird ausgelöst, obwohl die Lampe noch brennt, und schließt sie kurz. Damit ist

sie aus – und wird natürlich gleich wieder gezündet. Fertig ist das Blitzlicht-Gewitter. Dieser Zustand setzt sich so lange fort, bis der Starter überlastet ist und seine Kontakte verschweißen. Dann fließt der Strom dauerhaft durch die Glühwendel der Kathoden, praktisch nur noch durch das Vorschaltgerät begrenzt, da der Widerstand der Wendel recht gering ist (in der Größenordnung um  $10 \Omega$ ), und ist damit rund 30% (beim VVG) bis 50% (beim KVG) höher als der Nennstrom der Lampe. Entsprechend verdoppelt sich der ohmsche Verlust im Vorschaltgerät. Zusammen mit der dauerhaft beheizten Wendel nimmt die Leuchte in dem nutzlosen Zustand nach Bild 1 immer noch etwa 30 bis 50 W auf. Mit einem VVG ist die Leistungsaufnahme immerhin schon deutlich geringer als mit dem ohne Reserven ausgelegten KVG, das hierbei bereits im Bereich der magnetischen Sättigung arbeitet. Dieser Betriebszustand strapaziert das Vorschaltgerät, nachdem er den Starter bereits bis zur Zerstörung strapaziert hat. Obwohl induktive Vorschaltgeräte so ausgelegt sind und auch sein müssen, dass sie diesen Überlast-Betrieb für eine begrenzte Zeit überstehen, ist nicht immer sicher gestellt, dass nach „einer begrenzten Zeit“ eingegriffen wird. In Einzelfällen haben vor allem die mager ausgelegten KVG angefangen zu brennen. Aus diesem Grund sind Glimmstarter ohne Sicherung gemäß dem neuen Entwurf der VDE 0100-559 in brand- oder explosionsgefährdeten Bereichen nicht mehr zulässig.

## 2 Sicherheits-Glimmstarter

Auch wenn es nicht zu einem Brand kommt, lässt sich der Zustand unnötiger Energieverschwendung und zwangsläufiger Zerstörung des Starters vermeiden, indem man spezielle Starter mit Rückstellknopf einsetzt (Bild 6 rechts), wie sie ein Hersteller z. B. unter dem Markennamen DEOS anbietet. Bei dem zuvor beschriebenen Zustand springt nach einer gewissen Zeit der Rückstellknopf heraus und unterbricht damit den Stromkreis. Nach einem Lampenwechsel wird der Knopf einfach wieder hinein gedrückt.

Diese so genannten Sicherungsstarter sind in der Anschaffung nicht mehr viel preisgünstiger als elektronische Starter und bieten lediglich diesen einen Vorzug, jedoch nicht die anderen Vorzüge des elektronischen Starters, wie etwa flackerfreien Start und die damit einher gehende Lampenschonung. Leider werden die Sicherungsstarter noch immer mit elektronischen Startern verwechselt, weil sie vor vielen Jahren einmal mit einer zusätzlichen Diode versehen wurden, die für einen schnelleren Start sorgte – mehr jedoch nicht.

Aus verständlichen Gründen tun die Hersteller wenig zur Ausräumung dieses Missverständnisses. Auch die Bezeichnung „Sicherungsschnellstarter“ ist heute teilweise noch gebräuchlich, obwohl diese nicht schneller starten als jeder gewöhnliche Glimmstarter.



⑥ Glimmstarter, davon zwei Sicherheitsstarter (rechts)



⑦ Elektronische Starter sind für jede Einbausituation verfügbar

## 3 Elektronische Starter

### 3.1 Funktionsweise

Diese Starter bestehen im Wesentlichen aus einem GTO-Thyristor. Während ein gewöhnlicher Thyristor sich über die Steuerelektrode (Gate) nur zünden lässt und dann so lange leitend bleibt, bis der Strom von sich aus seinen nächsten Nulldurchgang durchläuft, kann ein GTO-Thyristor (Gate Turn-Off) auch durch einen Zündimpuls mit umgekehrter Polarität wieder „gelöscht“ werden. Dadurch kommt es zum Unterbrechungsvorgang, der dem Öffnen des Bimetall-Kontaktes entspricht. Da hierbei jedoch Elektronik genutzt wird, lässt sich auch die Phasenlage erfassen und eine Elektronik aufbauen, die den Stromschiebel ermittelt und den Strom immer nur an diesem Punkt der Phase unterbricht. So ist eine erfolgreiche Zündung stets beim ersten Versuch gewährleistet. Derartige Starter sind für alle Lampenleistungen in allen möglichen Varianten verfügbar (Bild ⑦) wie zum Beispiel:

- für Einzel-, Tandem- und Duo-Schaltung,
  - für extrem kalte Umgebungen (Kühlhäuser),
  - mit extrem kurzer Startzeit (unter 0,5 s) und
  - für den zweiphasigen Betrieb (AC 400 V).
- Die optimale Lösung zum Betrieb einer Leuchtstofflampe besteht demnach aus einem VVG der Klasse B1 (im Allgemeinen die Klasse VVG mit dem niedrigsten, mit einem VVG noch realisierbaren, Verlustpegel) und einem elektronischen Starter (Bild ⑧).

### 3.2 Anwendungen

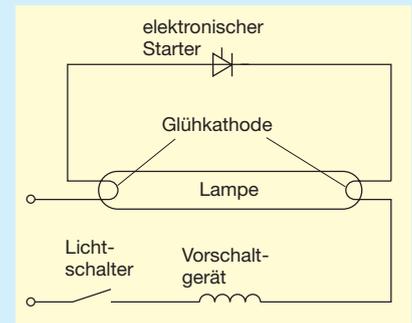
Der Starter für 400 V war ursprünglich eine Spezial-Entwicklung für eine Fertigungsstraße von T5-Leuchtstofflampen mit 80 W, bei der eine Stückprüfung mit 1 Stück je Sekunde durchgeführt wird. Bekanntlich sind T5-Lampen nur zum Betrieb an EVG vorgesehen. Die in der Lampen-Fertigung zur Prüfung eingesetzten EVG überstanden jedoch die hohe Schaltfrequenz nicht und fielen fortwährend aus, was jedes Mal einen Fertigungsstillstand mit sämtlichen damit verbundenen Kosten und Verlusten bedeutete. Im Prinzip lassen sich T5-Lampen auch mit herkömmlichen induktiven Vorschaltgeräten betreiben. Bei der 80-W-Lampe funktioniert es nur deshalb nicht, weil deren Brennspannung zu hoch ist. Zumindest

die Netzspannung von 230 V reicht nicht aus, doch in gewerblichen Anlagen ist stets auch eine zweite „Spannungsebene“ von 400 V verfügbar. So wurde ein 400-V-VVG für die 80-W-Lampe entwickelt und auf der Light & Building 2006 in Frankfurt ausgestellt. Diese Typen befinden sich nun in der Produktionsstätte für die erwähnte Endprüfung der Lampen im Einsatz. Bemerkenswerterweise bedeutet dies, dass jener Hersteller seine T5-Lampen implizit zum Betrieb an 50 Hz spezifiziert, da die Endprüfung ausschließlich hiermit durchgeführt wird. Der erforderliche 400-V-Starter ist bereits kommerziell verfügbar und befindet sich an der Produktionsstraße im Einsatz – wohl gemerkt in einem rauen Dauereinsatz mit einer Zündung jede Sekunde, bisher ohne Ausfälle. Zudem finden elektronische Spezialstarter für 230 V auch ihre Anwendung in Leuchten mit bis zu 165 W starken UV-C-Lampen zur Trinkwasseraufbereitung .

### 3.3 Vorzüge

Während die Anzahl der Startvorgänge als entscheidendes Kriterium für die Lebensdauer der Lampen gilt, ersetzt der herkömmliche Glimmstarter ebenso wie der DEOS einen Zündvorgang durch mehrere Zündversuche. So ist es kein Wunder, dass für den Betrieb mit EVG eine um etwa 35% längere Lampen-Lebensdauer angegeben wird als mit KVG und VVG, denn die Lebensdauer-Untersuchungen an Lampen mit KVG oder VVG werden mit herkömmlichen Glimmstartern durchgeführt, während EVG ebenfalls immer beim ersten Versuch erfolgreich zünden. Diesen Vorzug kann man aber preisgünstiger haben, denn dies ist der erste Aspekt, mit dem ein elektronischer Starter zur längeren Lebensdauer einer Leuchtstofflampe beiträgt.

Elektronische Starter sind zwar nicht billig, aber preiswert. Mit nicht einmal 3 € pro Stück für Lieferlose von 100 Stück sind sie auch nicht gerade teuer. Bei Abnahme größerer Mengen gelten die üblichen Rabatte. Entsprechende ökologische Vorzüge ergeben sich durch den geringen Ersatzbedarf und Schonung sowie längere Nutzung der Lampen. Ist die Wiederschließ-Spannung erreicht und das Blitzlicht-Gewitter setzt ein, muss nur der Glimmstarter durch einen elektronischen Starter ersetzt werden, und schon funktioniert die



⑧ Schaltung einer Leuchtstofflampe mit elektronischem Starter und VVG



⑨ „Innenleben“ von Glimmstartern links: gebraucht; rechts: neu mit zusätzlichem Entstör-Kondensator

Lampe wieder, unter Umständen sogar noch eine ganze Weile. Dies erklärt den zweiten Teil der beim Betrieb mit elektronischem Starter erreichbaren längeren Lampen-Lebensdauer. Bei Glimmstartern dagegen wird aus gutem Grund (Bild ⑨ links) der Austausch stets mit jedem Lampenwechsel empfohlen, auch wenn die Lampe unmittelbar nach oder bereits kurz vor ihrem Ausfall ersetzt wird. Dies ist unumgänglich, sobald der in Bild ① dargestellte Zustand erreicht ist. Dieser muss nur drei bis fünf Mal eintreten, und schon ist der herkömmliche Starter teurer als der elektronische – allein über den Ersatzbedarf gerechnet. Zählt man die Arbeitskosten für den Wechsel hinzu, so hat der Umstieg auf elektronische Starter sich schon nach dem ersten vermiedenen Wechsel bezahlt gemacht.

Elektronische Starter sind sehr langlebig und überdauern die Lebenserwartung der gesamten Leuchte. Die Ausfallrate ist sehr niedrig. Ausnahmen bilden Billigplagiate aus dem Ver-

ihrem elektronischen Starter inzwischen etwa 400 000 Starts absolviert. An dem Modell daneben mit dem gleichen Lampentyp, jedoch mit Glimmstarter müssen jede zweite Messe – nach etwa 10 000 Starts – sowohl Lampe als auch Starter ausgetauscht werden.

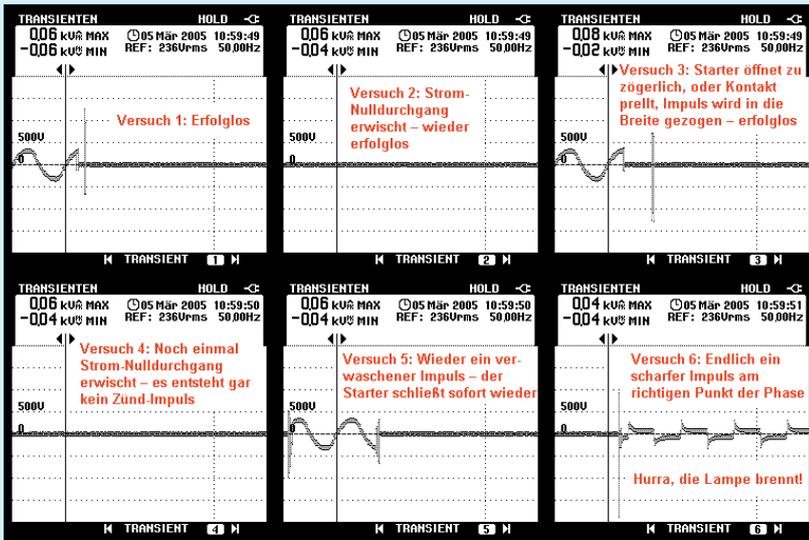
## 4 Fazit

Elektronische Starter ermöglichen bis auf die Einsparung von Energie die Nutzung fast aller Vorzüge, die normalerweise nur einem EVG zugeschrieben werden. Das gilt z. B. für die so genannte Cut-Off-Technologie. Dabei wird der Vorheizstrom abgeschaltet, sobald die Lampe brennt. Hingegen ist dies mit induktivem Vorschaltgerät – zum Wohl der Lampe – systembedingt immer der Fall und muss nicht, wie beim EVG, als Extra zum Extrapreis geordert werden. Im konventionellen Glimmstarter fließt während des Betriebs der Lampe nur ein vernachlässigbar kleiner Reststrom durch einen Entstörkondensator (in Bild 9 rechts zu sehen), im elektronischen Starter überhaupt kein Strom.

Darüber hinaus gelangen die konventionellen Glimmstarter bei extremen Umgebungsbedingungen schnell an ihre Grenzen, worauf auch die VVG-Hersteller hinweisen, die kein kommerzielles Interesse an irgendeiner Art von Startern haben: „Bei sehr hohen oder sehr tiefen Umgebungstemperaturen muss der Zeitpunkt des Starteröffnens optimiert werden. Ist die Temperatur extrem tief, gewährleistet nur ein elektronischer Starter den sicheren Start der Lampe“ [5]. Vom Energie-Sparpotenzial lässt sich der größte Teil bereits erschließen, indem man von einem KVG auf das beste verfügbare VVG übergeht und – wichtiger noch – auf die optimale Konfiguration von Lampe(n) und VVG achtet (Näheres zur dieser Konfiguration in diesem Band im Beitrag ab S. 6). Eine ökonomisch und ökologisch sinnvoll ausgelegte Leuchte ist daher mit VVG und elektronischem Starter ausgestattet – selbst in Anwendungsfällen, in denen die Lampe in ihrem Leben nur ein einziges Mal gezündet wird und anschließend durchgehend in Betrieb bleibt, da am Ende ihrer Tage das Blitzlicht-Gewitter mit seinen unangenehmen Folgen vermieden wird und die Lampe statt dessen länger betrieben werden kann.

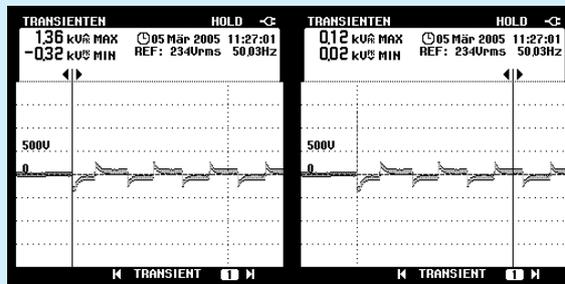
### Literatur

- [1] <http://lighting.copperwire.org>
- [2] [www.celma.org/pdf\\_files/CELMA\\_Ballast\\_Guide\\_2005.pdf](http://www.celma.org/pdf_files/CELMA_Ballast_Guide_2005.pdf)
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstofflampe>
- [4] [www.palmstep.com/html/de/starter/pruefberichte.htm](http://www.palmstep.com/html/de/starter/pruefberichte.htm)
- [5] [www.tridonic.at/kms/cms/kms.php?str\\_id=399](http://www.tridonic.at/kms/cms/kms.php?str_id=399)



### 10 Starten einer Leuchtstofflampe mit Hilfe eines Glimmstarters

### 11 Start einer Leuchtstofflampe mit einem elektronischen Starter



sandhandel, die, wie so oft, den guten Ruf zerstören. Bei einigen vom VDE durchgeführten Prüfungen auf Einhaltung gültiger Normen fielen solche Prüflinge samt und sonders durch. Ein Problem der elektronischen Starter ist ihre relativ geringe Bekanntheit, weswegen sie bedauerlicherweise manchmal auf Grund der für Glimmstarter geltenden Empfehlungen durch das Wartungspersonal routinemäßig beim Lampenwechsel weggeworfen werden, da sie nicht erkannt wurden. Ist das Personal aber entsprechend geschult, fängt das Sparen beim nicht mehr notwendigen Ersatzbedarf erst an. Danach kommt die Einsparung durch längere Lampen-Lebensdauer zum Tragen. Diese wird unmittelbar deutlich, betrachtet man die Messungen zum Startvorgang des gewöhnlichen Glimmstarters (Bild 10): Die Startversuche verfehlen entweder den Stromscheitel, oder der Impuls ist in die Breite gezogen und deswegen zu niedrig, weil die mechanischen Kontakte im Starter zu langsam öffnen, oder der Starter löst fälschlich einen erneuten Startversuch aus, obwohl die Lampe bereits brennt. Das bekommt der Lampe ebenso schlecht wie dem Starter. Beide altern rapide mit der Summe aus der Anzahl gelungener und erfolgloser Zündungen. Sollten also die in Bild 10 dargestellten Verhältnisse mit je fünf Fehlzündungen auf eine erfolgreiche Zündung repräsentativ sein, so hätte dies auf die Alterung der Lampe ungefähr den gleichen Einfluss wie die fünffache Ein-

schaltheufigkeit auf eine Lampe mit elektronischem Starter.

Ein Hersteller elektronischer Starter verfügt über ein Zertifikat der VDE-Prüfstelle, das ihm die Prüfungen bescheinigt, die er dort hat durchführen lassen [4]. Einen Prüfzyklus mit einer 58-W-Lampe und einem VVG der Klasse B2 von jeweils 20 s Ein- und 40 s Ausschalt-dauer überlebten 5 DEOS-Glimmstarter zwischen 28 000 und 32 000 Mal. Fünf gewöhnliche, ungesicherte Glimmstarter eines anderen Herstellers überstanden diesen Test zwischen 43 000 und 69 000 Mal.

Wie anders sieht dagegen der Zündimpuls eines elektronischen Starters aus (Bild 11): Er hat selbstverständlich die optimale Höhe und ist so schmal, dass man auf dem Gerätebildschirm die Markierungslinie zur Seite schieben muss, damit man den Impuls überhaupt sieht (Bild 11 rechts). Auch solche Starter wurden in der zuvor genannten Versuchsreihe beim VDE geprüft, jedoch verloren die Prüfer nach 100 000 Zündungen die Geduld, brachen den Versuch ab und bescheinigten den fünf Prüflingen ein gegenüber dem Zustand bei Versuchsbeginn unverändertes Verhalten. Eine Million Startvorgänge oder 25 Jahre Lebensdauer sind normalerweise von einem ordentlichen elektronischen Starter zu erwarten. In einem über Jahre immer wieder auf Messen ausgestellten und dort dauerhaft laufenden Demonstrationsstand hat eine ringförmige Leuchtstofflampe zusammen mit

# Verlagsprogramm

## Dach und Wand

Verhalten von Kupferoberflächen an der Atmosphäre; Bestell-Nr. s. 131

.....  
Dachdeckung und Außenwandbekleidung mit Kupfer; Bestell-Nr. i. 30

.....  
Ausschreibungsunterlagen für Klempnerarbeiten an Dach und Fassade

.....  
Blau-Lila-Färbungen an Kupferbauteilen

## Sanitärinstallation

Kupfer in Regenwassernutzungsanlagen; Bestell-Nr. s. 174

.....  
Metallene Werkstoffe in der Trinkwasser-Installation; Bestell-Nr. i. 156

.....  
Die fachgerechte Kupferrohrinstallation; Bestell-Nr. i. 158

## Werkstoffe

Schwermetall-Schleuder- und Strangguss – technische und wirtschaftliche Möglichkeiten; Bestell-Nr. s. 165

.....  
Zeitstandeigenschaften und Bemessungskennwerte von Kupfer und Kupferlegierungen für den Apparatebau; Bestell-Nr. s. 178

.....  
Ergänzende Zeitstandversuche an den beiden Apparatewerkstoffen SF-Cu und CuZn20Al2; Bestell-Nr. s. 191

.....  
Einsatz CuNi10Fe1Mn plattierter Bleche für Schiffs- und Bootskörper  
Use of Copper-Nickel Cladding on Ship and Boat Hulls; Bestell-Nr. s. 201

.....  
Kupfer-Nickel-Bekleidung für Offshore-Plattformen  
Copper-Nickel Cladding for Offshore Structures; Bestell-Nr. s. 202

.....  
Werkstoffe für Seewasser-Rohrleitungssysteme  
Materials for Seawater Pipeline Systems; Bestell-Nr. s. 203

.....  
Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing)  
Bestell-Nr. i. 5

.....  
Kupfer-Aluminium-Legierungen  
Bestell-Nr. i. 6

.....  
Niedriglegierte Kupferwerkstoffe  
Bestell-Nr. i. 8

.....  
Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)  
Bestell-Nr. i. 13

.....  
Kupfer-Nickel-Legierungen  
Bestell-Nr. i. 14

.....  
Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen)  
Bestell-Nr. i. 15

.....  
Röhre aus Kupfer-Zink-Legierungen  
Bestell-Nr. i. 21

.....  
Bänder, Bleche, Streifen aus Kupfer-Zink-Legierungen  
Bestell-Nr. i. 22

.....  
Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen)  
Bestell-Nr. i. 25

.....  
Kupfer – Das rote Metall

.....  
Kupfer – Werkstoff der Menschheit

.....  
Messing – Ein moderner Werkstoff mit langer Tradition

.....  
Von Messing profitieren – Drehteile im Kostenvergleich

.....  
Messing ja – Entzinkung muss nicht sein!

.....  
Dekorativer Innenausbau mit Kupferwerkstoffen

.....  
Bronze – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne

.....

## Verarbeitung

Konstruktive Gestaltung von Formgussstücken aus Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. s. 133

.....  
Kupfer-Zink-Legierungen für die Herstellung von Gesenkschmiedestücken; Bestell-Nr. s. 194

.....  
Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 7

.....  
Trennen und Verbinden von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 16

.....  
Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 18

## Elektrotechnik

Drehstrom, Gleichstrom, Supraleitung – Energie-Übertragung heute und morgen; Bestell-Nr. s. 180

.....  
Brandsichere Kabel und Leitungen; Bestell-Nr. s. 181

.....  
Energiesparen mit Spartransformatoren; Bestell-Nr. s. 183

.....  
Wechselwirkungen von Blindstrom-Kompensationsanlagen mit Oberschwingungen; Bestell-Nr. s. 185

.....  
Vom Umgang mit Blitzschäden und anderen Betriebsstörungen; Bestell-Nr. s. 186

.....  
Sparen mit dem Sparmotor; Bestell-Nr. s. 192

.....  
Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren; Bestell-Nr. s. 193

.....  
Energiesparpotentiale bei Motoren und Transformatoren; Bestell-Nr. i. 1

.....  
Kupferwerkstoffe in der Elektrotechnik und Elektronik; Bestell-Nr. i. 10

.....  
Kupfer in der Elektrotechnik – Kabel und Leitungen

.....  
Kupfer spart Energie

.....  
Geld sparen mit Hochwirkungsgrad-Motoren

## Umwelt/Gesundheit

Versickerung von Dachablaufwasser; Bestell-Nr. s. 195

.....  
Kupfer in kommunalen Abwässern und Klärschlamm; Bestell-Nr. s. 197

.....  
Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung; Bestell-Nr. s. 198

.....  
Sachbilanz zur Kupfererzeugung unter Berücksichtigung der Endenergien; Bestell-Nr. s. 199

.....  
Untersuchung zur Bleiabgabe der Messinglegierung CuZn39PB3 an Trinkwasser – Testverfahren nach British Standards BS 7766 and NSF Standard 61; Bestell-Nr. s. 200

.....  
Kupfer – Lebensmittel – Gesundheit; Bestell-Nr. i. 19

.....  
Recycling von Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. i. 27

.....  
Kupfer und Kupferwerkstoffe ein Beitrag zur öffentlichen Gesundheitsvorsorge; Bestell-Nr. i. 28

.....  
Kupfer – der Nachhaltigkeit verpflichtet

.....  
Kupfer in unserer Umwelt

.....  
Natürlich Kupfer – Kupfer ökologisch gesehen

.....  
Doorknobs: a source of nosocomial infection?

.....  
Kupfer – Hygienischer Werkstoff

.....  
Kupfer – Lebenswichtiges Spurenelement

## Spezielle Themen

Kupferwerkstoffe im Kraftfahrzeugbau; Bestell-Nr. s. 160

.....

Die Korrosionsbeständigkeit metallischer Automobilbremsleitungen – Mangelhäufigkeit in Deutschland und Schweden; Bestell-Nr. s. 161

.....  
Kupfer – Naturwissenschaften im Unterricht Chemie; Bestell-Nr. s. 166

.....  
Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?; Bestell-Nr. s. 210

.....  
Kupferwerkstoffe in Ammoniakkälteanlagen; Bestell-Nr. s. 211

.....  
Kupferrohre in der Kälte-Klimatechnik, für technische und medizinische Gase  
Bestell-Nr. i. 164

## DKI-Fachbücher\*

Kupfer

.....  
Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen

.....  
Chemische Färbungen von Kupfer und Kupferlegierungen

.....  
Kupfer als Werkstoff für Wasserleitungen

.....  
Kupfer in der Landwirtschaft

.....  
Kupfer im Hochbau  
EUR 10,00\*\*\*\*

.....  
Planungsleitfaden Kupfer – Messing – Bronze  
EUR 10,00\*\*\*\*

.....  
Architektur und Solarthermie  
Dokumentation zum Architekturpreis  
EUR 10,00

## CD-ROM des Deutschen Kupferinstituts

Werkstoffdatenblätter  
EUR 10,00

.....  
Solares Heizen  
EUR 10,00

.....  
Was heißt hier schon "harmonisch"?  
EUR 10,00

.....  
Faltmuster für Falzarbeiten mit Kupfer  
Muster für Ausbildungsvorlagen in der Klempnertechnik  
EUR 10,00

.....  
Werkstofftechnik – Herstellungsverfahren  
EUR 10,00

## Lernprogramm

Die fachgerechte Kupferrohr-Installation  
EUR 10,00 \*\*\*

## Filmdienst des DKI

Das Deutsche Kupferinstitut verleiht kostenlos die nachstehend aufgeführten Filme und Videos:

.....  
„Kupfer in unserem Leben“  
Videokassette oder DVD, 20 Min.  
Schutzgebühr EUR 10,00  
Verleih kostenlos

.....  
„Fachgerechtes Verbinden von Kupferrohren“  
Lehrfilm, DVD, 15 Min.  
Schutzgebühr EUR 10,00  
Verleih kostenlos

.....  
„Kupfer in der Klempnertechnik“  
Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.  
Schutzgebühr EUR 10,00  
Verleih kostenlos

.....  
\*Fachbücher des DKI sind über den Fachbuchhandel zu beziehen oder ebenso wie Sonderdrucke, Informationsdrucke und Informationsbroschüren direkt vom Deutschen Kupferinstitut, Am Bonneshof 5, 40474 Düsseldorf.

.....  
\*\*Dozenten im Fach Werkstofftechnik an Hochschulen erhalten die Mappen kostenlos

.....  
\*\*\*Sonderkonditionen für Berufsschulen

.....  
\*\*\*\*Sonderkonditionen für Dozenten und Studenten

**Auskunfts- und Beratungsstelle  
für die Verwendung von  
Kupfer und Kupferlegierungen**

Am Bonneshof 5  
40474 Düsseldorf  
Telefon: (0211) 4 79 63 00  
Telefax: (0211) 4 79 63 10  
info@kupferinstitut.de

[www.kupferinstitut.de](http://www.kupferinstitut.de)