Deutsches Kupferinstitut
Copper Alliance

Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen

Optimale Auswahl und Betriebsweise

Technologie Forum Kupfer
Wissen · Verstehen · Anwenden

DKI-S180-2014; erweiterte Auflage, 2/2014

Sonderdruck aus

ep Elektropraktiker
HUSS-MEDIEN GmbH, 10400 Berlin
Heft 11/03, Heft 04/05, Heft 11/06, Heft 12/06,
Heft 12/08, Heft 05/09; Heft 10/11, Heft 4/12

Autor:
Dipl.-Ing. Stefan Fassbinder, Deutsches Kupferinstitut Berufsverband, Düsseldorf

In der Reihe Technologie Forum Kupfer im Verlag des Deutschen Kupferinstituts
erscheinen rein technisch ausgerichtete Broschüren.

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 Betriebs-Verhalten 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. Gründe dafür sind zwei strukturelle 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 Direktive 2000/55/EG Leuchtstofflampen und die jeweiligen Vorschaltgeräte 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

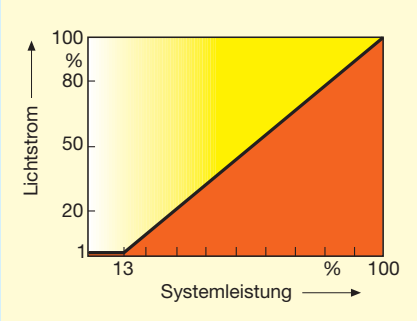
Diese erwähnten Vorteile der EVG relativieren sich wie folgt:

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 veraus. 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.
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 Vorglühzeit auf etwa eine halbe Sekunde beschränken [3].

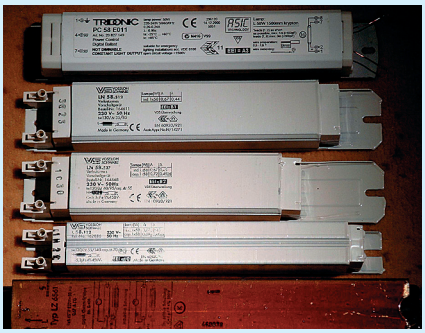
Tafel 1 Auszug aus der EU-Direktive 2000/55/EG – Werte und Klassen stabförmiger Leuchtstofflampen mit Vorschaltgeräten. Klasse A1 ist dimmbaren EVG vorbehalten.

PLampe in W		Pmax für Lampe mit Vorschaltgerät in W					
		Klassen					
50 Hz KVG/VVG	HF EVG	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]



❷ Verhalten eines dimmbaren EVG
Quelle: Osram



❸ Prüflinge zu den dokumentierten Messungen

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 35-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 ❷), 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 ❶ 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. Bislang 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 zum einen mehrere Messungen bezüglich der elektrischen Leistungs-Aufnahme 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 ❸):

- 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 ❷ zeigt einen Auszug der Ergebnisse, die in einer 48-seitigen Informationsschrift [8] zusammengetragen wurden.

6 Auswertung der Messergebnisse

Aus Bild ❹ 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 gegebenen 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 beseren 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 ❷ Protokollierte Messdaten (Auszug)

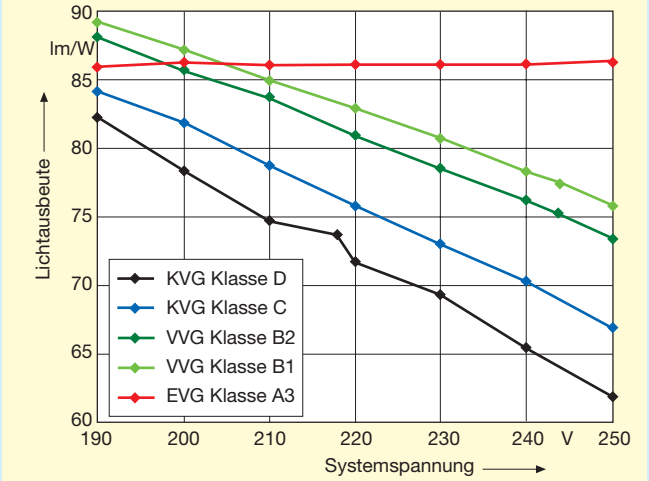
Prüfling	Messwerte DIAL				
	U in V	P_{ges} in W	P_{Lampe} in W	Lichtstrom in lm	Ausbeute in lm/W
58-W-VVG, Vossloh-Schwabe, Klasse B1	220,0	56,24	49,70	4662	82,89
	230,0 *	61,42	53,36	4952	80,62
	240,0	66,40	56,72	5198	78,28
	244,0	68,53	58,00 **	5306	77,42
58-W-EVG, Tridonic, Klasse A3	220,0	54,85		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

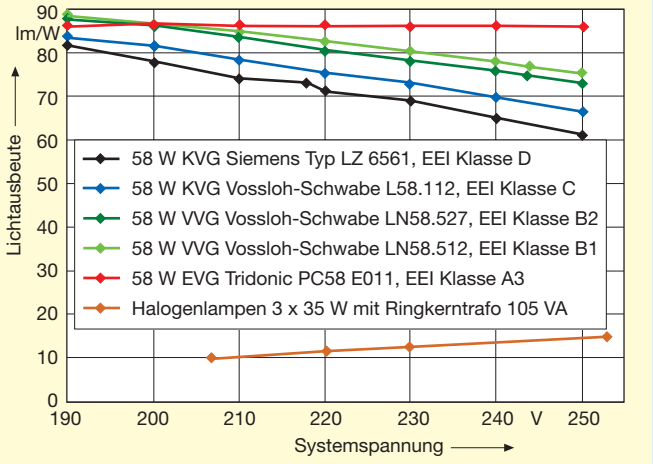
Tafel ❸ Ergebnisse nach Herabsetzen der Spannung von 230¾V auf 190¾V (17,4 %)

Prüfling	Minderung $P_{Verlust}$ um	Minderung P_{Lampe} 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 %.



❹ **Kurven aus den Messwerten**



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

❺ **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 ❸ 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 Demonstrations-Modell mit 2 Leuchten (Bild ❺). 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 erreicht 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 ❻ zeigt im unteren Bereich des Diagramms eine Kleinspannungs-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 Aussparung 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. 15
[3] www.palmstep.com
[4] www.dial.de
[5] http://sicherheitstechnik.buerkle-schoeck.de/EMU-Energiesparsysteme_I1089.whtml
[6] www.ecolight.de/energiespartechnik/Energiespartechnik.html
[7] www.stilaenergy.de
[8] www.technologieforumkupfer.de/anwendungen/e-energie/licht/vvg-evg/stoerungen-evg/empfindlichkeit
[9] ZVEI, Fachverband Elektrische Lampen: Betrieb von Lampen an reduzierter Versorgungsspannung – Einsatz von so genannten „Energiesparsystemen", Frankfurt, 1997,
[10] www.zvei.org/licht

Neue EU-Richtlinie und nicht ganz neue Vorschaltgeräte

Das VVG ist tot? Lang lebe das VVG. – Auch auf der Regionalmesse Belektro 2008 in Berlin waren sich wieder fast alle Fachleute einig: Durch eine neue Verordnung der EU werden die induktiven (magnetischen) Vorschaltgeräte auf längere Sicht vom europäischen Markt verbannt. Welch ein Irrtum, das Gegenteil ist der Fall. Wie es zu einem solchen Missverständnis kommen konnte und was wirklich geplant ist, wird nachfolgend erläutert.

1 Missverständnis – erster Akt

Zur Zeit wird der Einsatz von Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen durch die Richtlinie 2000/55/EU [1] geregelt. Während deren Entstehen erwuchs bereits das erste Missverständnis, denn **im Entwurf hierzu hieß es**:

„Das Fernziel dieser Direktive ist eine Ablösung der verlustreichen induktiven Vorschaltgeräte durch die verlustärmeren elektronischen, die zusätzlich umfangreiche Sparmöglichkeiten wie Dimmung bieten können...", gerade so als seien die induktiven Vorschaltgeräte generell verlustreich und die elektronischen generell dimmbar. Dieser Entwurf erregte in der Fachwelt jedoch Interesse und wurde aufgrund seiner Bedeutung für die Praktiker trotz aller Hektik des Büroalltags aufmerksam gelesen. Allerdings lautet der entsprechende Passus **in der endgültigen, in Kraft getretenen Fassung aber**:

„Mit dieser Richtlinie soll der Energieverbrauch [von Lampen, Leuchten, Beleuchtungsanlagen und dergleichen] gesenkt werden, und zwar durch einen schrittweisen Übergang von den weniger effizienten zu den effizienteren Vorschaltgeräten, die außerdem weit reichende Energiesparfunktionen aufweisen können."

Kein Wort mehr darüber, welche Technik denn nun die effizientere sei. Aber wie das so geht, fiel der Blick vieler Fachleute wohl nur ein Mal kurz auf den Titel, das Schriftstück wanderte als „schon bekannt" ungelesen in den Aktenordner und man wandte sich wieder dem dringenden Tagesgeschäft zu. Momentan werden die Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen noch immer nach dieser Richtlinie je nach ihrem Energieverbrauch in die Effizienzklassen A1, A2, A3, B1, B2, C und D eingeteilt. Dies ist als Energy Efficency Index EEI bekannt. Dabei werden in einer mehrseitigen Tabelle jeder Klasse und jedem Lampentyp Höchstwerte für die Leistungsaufnahme des Systems aus Lampe und Vorschaltgerät zugeordnet. Die Klassen C und D, entsprechend den konventionellen Vorschaltgeräten (KVG), dürfen in der EU seit November 2005 bzw. Mai 2002 nicht mehr in den Handel gelangen. Geblieben sind nur die „verbesserten Vorschaltgeräte" (VVG) der B-Klassen und die elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) der A-Klassen – was nicht ausschließt, dass auch einmal ein VVG die Anforderungen der Klasse A3 erfüllen könnte, doch marktgängige Typen sind zur Zeit nicht bekannt.

KVG werden zwar nichtsdestoweniger noch millionenfach für den Export produziert, aber seriöse Hersteller geben dies auf der Verpackung entsprechend an (Bild ❶). Doch ändert auch das Verbot der ineffizienten Klassen nichts daran, dass diese Art der Einteilung ein wenig zu stark vereinfacht ist, um ein geeignetes Werkzeug zur Bewertung des Wirkungsgrads von Vorschaltgeräten abzugeben, denn:

❶ Nicht EU-konformes KVG: Datiert 17.07.2006, aber dennoch ohne EEI-Kennzeichnung
Laut Katalog entspricht es der Klasse C – für den Export noch erlaubt und hier auch auf der Verpackung entsprechend als Exportware etikettiert

- In dem Vorschaltgerät auftretende Verluste machen in aller Regel nur einen vergleichsweise geringen Anteil an der Leistungsaufnahme der Lampe bzw. Leuchte aus.
- Zur Bewertung wird aber die Nennleistung der Lampe herangezogen, nicht etwa die tatsächlich in die Lampe eingespeiste elektrische Leistung.
- Gänzlich ohne Betracht bleibt, was man für sein Watt bekommt. Gemessen wird nur, was in das Beleuchtungssystem hinein geht, aber nicht, wie viel Licht denn dabei heraus kommt.

Dies eröffnet Herstellern die Möglichkeit, ein Vorschaltgerät so auszulegen, dass es etwas weniger als die Nennleistung in die Lampe „füttert". Am Eingang des Systems wird diese relativ kleine Differenz als eine relativ große Verminderung der Verluste im Vorschaltgerät interpretiert. Dass man in Wirklichkeit vielleicht etwas weniger Licht erhält, fällt wahrscheinlich niemanden auf. Darauf kann man jedenfalls spekulieren und zumindest die bestehenden, aus historischen Gründen unnötig großen Toleranzen gezielt ausnutzen.

Dass dies nicht gerade das Ei des Kolumbus darstellt, hat wohl auch die EU-Kommission für Energie erkannt und plant zur Zeit die Ablösung der Richtlinie 2000/55/EU durch eine Durchführungsverordnung für den Bereich der Lampen und Leuchten in der „Ökodesign-Richtlinie" 2005/32/EC (EuP-Directive – Energy using Products). Wann diese in Kraft treten wird, steht jedoch noch nicht fest. Man wartet derzeit noch weitere Kommentare aus der Fachwelt ab.

Nach der Verabschiedung ist ein Inkrafttreten in drei Stufen vorgesehen: Ein Jahr nach dem Inkrafttreten werden vorläufige Grenzwerte gültig, und jeweils drei und acht Jahre nach der Verabschiedung werden diese noch einmal verschärft. Dadurch möchte man der Industrie hinreichend Zeit für die Umstellung geben. Dies jedenfalls stellt das Prinzip dahinter dar. Praktisch fallen die Verschärfungen allerdings zum Teil recht gnädig aus. Für Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen bleiben effektiv nur zwei Stufen übrig.

2. Die neue EU-Verordnung – Vieles ist wirklich neu

1. Als „Ökodesign-Richtlinie" gibt sie nicht nur elektrische Werte vor, sondern z. B. auch Höchstgrenzen für den Quecksilbergehalt und Mindestwerte für die Lebensdauer von Leuchtmitteln.
2. Aussagen zu kompletten Leuchten wurden aufgenommen – welche sich jedoch in der Forderung erschöpfen, dass die Leuchten für die von dieser Verordnung geforderten Lampen und Vorschaltgeräte geeignet sein müssen. Das sollte eigentlich banal sein, da sich an den Bauformen nichts ändert.
3. Für alle Leuchtstoff- und Gasentladungslampen werden Mindest-Wirkungsgrade (Licht-Ausbeuten) eingeführt – also für die Lampen allein ohne Betrachtung des Vorschaltgeräts. Dies ist sehr wichtig, da die Lampe den weitaus größten Teil der Energie immer noch selbst verbraucht (und nicht etwa das Vorschaltgerät), sodass eine Verbesserung der Effizienz hier deutlich mehr Energie einspart als am Vorschaltgerät.
4. Daneben gibt es gesonderte Grenzwerte für die Wirkungsgrade der Vorschaltgeräte, gemessen als Verhältnis der Ausgangs- zur Eingangsleistung, also gemäß der üblichen Auffassung des Wirkungsgrads elektrischer Betriebsmittel.
5. Andererseits entfällt dafür die Einteilung der Systemleistungen in Klassen. Zusammen mit den Punkten 3 und 4 ist dies eine deutliche Verbesserung, denn so kann nun durch eine entsprechende Auswahl das effizienteste System aus den effizientesten Bauteilen aufgebaut werden. Zudem wird nicht mehr von der **Leistung des Systems** gesprochen und damit **allein der Wirkungsgrad des Vorschaltgeräts** gemeint, was bisher zu vielen Missverständnissen geführt hat.
6. Ein besonders wichtiger Unterschied besteht darin, dass die Tabelle 17 der neuen Umsetzungsverordnung (hier auszugsweise als Tafel ❷ wiedergegeben) bei Lampen drei verschiedene Leistungswerte unterscheidet: Die Nennleistung, die Bemessungsleistung für den Betrieb an der Netzfrequenz und die Bemessungsleistung für den Betrieb an Hochfrequenz. Die Nennleistung, die, wie der Name schon sagt, nur den Namen der Lampe darstellt, ist gewöhnlich mit der Bemessungsleistung für Netzfrequenz identisch – es sei denn, diese wäre nicht ganzzahlig. Dann werden einfach nur die Nachkommastellen weggelassen. Etwa eine Lampe vom Typ FD-38-E-G13-26/1050 nach ILCOS (International Lamp Codification System) mit einer Bemessungsleistung von 38,5 W bei Netzfrequenz und 32,0 W bei HF-Betrieb hat eine Nennleistung von 38 W und nennt sich folglich „T8-Lampe 38 W". Die alte Richtlinie 2000/55/EU ließ die Differenz von 6 W zwischen der Nennleistung von 38 W und der HF-Bemessungsleistung von 32 W als Vorteil für den HF-Betrieb, also für das EVG, erscheinen. Die neue Methode besteht darin, den Wirkungsgrad eines „VVG für eine T8-Lampe 38 W" auf Basis einer Abgabeleistung von 38,5 W und den Wirkungsgrad eines „EVG für eine T8-Lampe 38 W" auf Basis einer Abgabeleistung von 32,0 W zu bestimmen statt nur die Eingangsleistungen zu betrachten. Die 6 W bzw. 6,5 W Einsparung werden also nicht mehr dem EVG zu Gute geschrieben.
7. Für dimmbare EVG und andere fernsteuerbare Betriebsgeräte gibt es Obergrenzen für den Leerlauf-Verbrauch (Stand-by).
8. Zudem ist die Leistungsaufnahme – sowohl die der Lampe als auch die Verlustleistung des Vorschaltgeräts – nun an dem Punkt zu messen, an dem der Lichtstrom dem Nenn-Lichtstrom der jeweiligen Lampe bei 25 °C Umgebungs-Temperatur entspricht. Dies ist eine wesentliche Verbesserung gegenüber der derzeitigen Vorgehensweise, bei der nur die elektrische Leistung des gesamten Systems klassifiziert und etwaige Unterschiede bezüglich der Lichtleistung ein- und derselben Lampe bei dem Betrieb an verschiedenen Vorschaltgeräten ganz einfach ignoriert werden.

Tafel ❶ Mindest-Bemessungswerte der Lampen-Wirkungsgrade, 100-h-Anfangswerte für T8- und T5-Lampen (Tabelle 1 der Richtlinie 2005/32/EC)

T8 (26mm)		T5 (16 mm)			
		HE (High Efficency)		HO (High Output)	
Nennleistung	Wirkungsgrad	Nennleistung	Wirkungsgrad	Nennleistung	Wirkungsgrad
15 W	63 lm/W	14 W	86 lm/W	24 W	73 lm/W
18 W	75 lm/W	21 W	90 lm/W	39 W	79 lm/W
25 W	76 lm/W	28 W	93 lm/W	49 W	88 lm/W
30 W	80 lm/W	35 W	94 lm/W	54 W	82 lm/W
36 W	93 lm/W			80 W	77 lm/W
38 W	87 lm/W				
58 W	90 lm/W				
70 W	89 lm/W				

3 Missverständnis – zweiter Akt

Doch leider ereignete sich an dieser Stelle die endgültige Zementierung des zuvor erwähnten Missverständnisses. Die Fußangel ist, dass weiterhin die Bezeichnungen A1, A2, A3, B1 und B2 verwendet werden. A1 steht weiterhin für dimmbare EVG. Daneben werden zwei neue Klassen A1 BAT und A2 BAT („best available technology" – beste auf dem Markt verfügbare Technik, also keine Labormuster) eingeführt, wovon erstere nach wie vor für dimmbare EVG steht. Jedoch bezieht sich keine der Klassen auf die alte Richtlinie 2000/55/EU. Vielmehr werden diese Klassen innerhalb der neuen Richtlinie 2005/32/EC neu definiert (Tafel ❶), und zwar, wie bereits beschrieben, anhand der echten elektrischen Wirkungsgrade der Vorschaltgeräte in Prozent. Hingegen wurden die alten Werte in Watt angegeben. Jetzt ist keine Klasse mehr mit der Anwendung einer bestimmten Technik verknüpft, wie bisher A für EVG, B für VVG und (vormals) C und D für KVG, abgesehen davon, dass die Klassen A1 und A1 BAT per Definition, wie erwähnt, für dimmbare EVG stehen. Deren Wirkungsgrade werden jedoch anhand der anderen Klassen festgelegt.

Die **Wirkungsgrade der Lampen** sind dagegen nicht in Klassen unterteilt. Das hätte angesichts der großen Typenvielfalt viel zu weit geführt. Diese Grenzwerte sind direkt aus einer der jeweiligen Tabellen zu entnehmen, beginnend mit Tabelle 1 (hier als Tafel ❶ wiedergegeben), in der die zweiseitig gesockelten Leuchtstofflampen in T8, T5HO sowie T5HE unterteilt werden. Diese Tabelle verdeutlicht, wie stark die T5HO-Lampen sowohl hinter die T5HE- als auch hinter die T8-Lampen zurück fallen. T5-Lampen sind keineswegs generell effizienter als T8-Lampen, wie vielfach angenommen wird, sondern allenfalls dann, wenn T5HE-Lampen ausgewählt wurden. Dies wird in der neuen Darstellung auf den ersten Blick deutlich.

4 Die neuen Lampen-Wirkungsgrade

- **Anforderungen der Stufe 1:** Ein Jahr nach dem Inkrafttreten der neuen Richtlinie müssen die Lichtwirkungsgrade von T5- und T8-Lampen mindestens denen der Tabelle 1 aus besagter Richtlinie [1] entsprechen (siehe Tafel ❶), alle bei Nenn-Lichtstrom sowie bei 25 °C Umgebungstemperatur gemessen.
- **Anforderungen der Stufe 2:** Drei Jahre nach Inkrafttreten werden die Anforderungen für T8-Lampen auf alle zweiseitig gesockelten Lampen ausgeweitet. Dies wird wohl das Aus für T5HO-Lampen bedeuten, wenn sie bis dahin nicht noch erheblich verbessert werden.
- **Anforderungen der Stufe 3:** Acht Jahre nach Inkrafttreten tritt keine direkte Verschärfung der Anforderungen an Leuchtstofflampen mehr ein. Es heißt dort lediglich, sie „müssen sich mindestens mit einem Vorschaltgerät der Klasse A2 … betreiben lassen", doch dies lässt sich bereits heute von allen handelsüblichen Leuchtstofflampen sagen. **Dort steht nicht:** „Das Vorschaltgerät bzw. das System muss die Anforderungen der Klasse A2 nach 2000/55/EU erfüllen", was etwas völlig anderes gewesen wäre. So wurde es beim flüchtigen Lesen aber vielfach verstanden.

5 Die neuen Vorschaltgeräte-Wirkungsgrade

- **Anforderungen der Stufe 1:** Ein Jahr nach Inkrafttreten der neuen Richtlinie müssen Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen nach Tabelle 17 mindestens der Effizienzklasse B2 (gemäß Tabelle 17 der 2005/32/EC, **nicht** der dadurch abgelösten 2000/55/EU; siehe Tafel ❷) und dimmbare Vorschaltgeräte nach Tabelle 19 entsprechen. Wie in der alten Richtlinie bedeutet dies, dass der Wirkungsgrad des Vorschaltgeräts im ungedimmten Betrieb der Klasse A3 entsprechen muss und bei 25% der größtmöglichen Helligkeit die Leistungsaufnahme 50% des Höchstwerts der Klasse A3 nicht überschreiten darf.
- **Anforderungen der Stufe 2:** Drei Jahre nach Inkrafttreten gibt es keine neuen Grenzwerte für nicht dimmbare Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen. Verändert werden die Grenzwerte für Entladungslampen, und der Grenzwert für den Ruheverbrauch dimmbarer Vorschaltgeräte wird von 1 W auf 0,5 W gesenkt.
- **Anforderungen der Stufe 3:** Acht Jahre nach Inkrafttreten gelten die folgenden Grenzwerte für Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen:

– η = 71 % für Vorschaltgeräte bis 5 W (Nennleistung),

– η = 91 % für Vorschaltgeräte ab 100 W,

– $$\eta = \frac{P_{Lampe}}{2 \cdot \sqrt{\frac{P_{Lampe}}{36}} + \frac{38}{36} P_{Lampe} + 1}$$

für Vorschaltgeräte zwischen 5 W und 100 W.

Der so berechnete Wirkungsgrad η wird in 2005/32/EC als EBb_{FL} bezeichnet. Diese Berechnung ergibt für den Betrieb ein- und derselben Lampe unterschiedliche Werte, je nach dem, ob es sich um ein VVG oder EVG handelt, da für die unterschiedlichen Betriebsarten unterschiedliche Bemessungsleistungen angegeben werden. Die geforderten Wirkungsgrade sind für EVG geringfügig niedriger, was logisch ist, wenn man etwas niedrigere Werte für P_{Lampe} in die Formel einsetzt.

6 Die alten und neuen Klassen

Von einem pauschalen Verbot induktiver (magnetischer) Vorschaltgeräte ist also auch in diesem Schriftstück nirgends die Rede. Vielmehr ist hier in dem bislang gültigen Schema nach 2000/55/EU eine verborgene Schieflage zugunsten der EVG zu verzeichnen: Während in der Fachwelt ständig argumentiert wird, einer der Vorteile des EVG läge in der gegenüber VVG geringeren Verlustleistung, stand schon in der alten Verordnung, auf die sich all diese Quellen beziehen, das genaue Gegenteil. Da heißt es z. B. für die T8-Lampe mit 58 W:

- Lampenleistung mit einem **VVG**: 58 W,
- Systemleistung mit einem **VVG** Klasse B1 alt: ≤ 64 W.
- Dies lässt im VVG eine Verlustleistung von ≤ 6 W zu.
- Umgerechnet auf die neue Bewertungsmethode entspräche das dem geforderten Mindest-Wirkungsgrad von
  $\eta \geq 58\ W/64\ W \approx 91\%$,
  was der neuen Klasse A2 entspricht, statt nur die Anforderungen nach B2 zu erfüllen, und für Stufe 1 der neuen Richtlinie schon gereicht hätte. Die EBb_{FL}-Anforderung für die Stufe 3 lautet lediglich
  $\eta = EBb_{FL} \geq 89{,}6\ \%$,

Tafel ❷ Anforderungen an den Energie-Effizienz-Index EEI für nicht dimmbare Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen
(Auszug aus Tabelle 17 der Richtlinie 2005/32/EC)

Lampendaten				Wirkungsgrade nicht-dimmbarer Vorschaltgeräte (PLampe/PEingang)						
Lampentyp	Nennleistung	Bemessungsleistung		EEI-Klasse (für Stufen 1 und 2)			EBbFL			
		50 HZ	HF	A2 BAT	A2	A3	B1	B2	50 HZ	HF
T8	15 W	15,0 W	13,5 W	87,8 %	84,4 %	75,0 %	67,9 %	62,0 %	82,8 %	81,9 %
T8	18 W	18,0 W	16,0 W	87,7 %	84,2 %	76,2 %	71,3 %	65,8 %	84,1 %	83,2 %
T8	30 W	30,0 W	24,0 W	82,1 %	77,4 %	72,7 %	79,2 %	75,0 %	87,0 %	85,8 %
T8	36 W	36,0 W	32,0 W	91,4 %	88,9 %	84,2 %	83,4 %	79,5 %	87,8 %	87,3 %
T8	38 W	38,5 W	32,0 W	87,7 %	84,2 %	80,0 %	84,1 %	80,4 %	88,1 %	87,3 %
T8	58 W	58,0 W	50,0 W	93,0 %	90,9 %	84,7 %	86,1 %	82,2 %	89,6 %	89,1 %
T8	70 W	69,5 W	60,0 W	90,9 %	88,2 %	83,3 %	86,3 %	83,1 %	90,1 %	89,7 %
T5-E	14 W	–	13,7 W	84,7 %	80,6 %	72,1 %	0,0 %	0,0 %	–	82,1 %
T5-E	21 W	–	20,7 W	89,3 %	86,3 %	79,6 %	0,0 %	0,0 %	–	85,0 %
T5-E	24 W	–	22,5 W	89,6 %	86,5 %	80,4 %	0,0 %	0,0 %	–	85,5 %
T5-E	28 W	–	27,8 W	89,8 %	86,9 %	81,8 %	0,0 %	0,0 %	–	86,6 %
T5-E	35 W	–	34,7 W	91,5 %	89,0 %	82,6 %	0,0 %	0,0 %	–	87,6 %
T5-E	39 W	–	38,0 W	91,0 %	88,4 %	82,6 %	0,0 %	0,0 %	–	88,0 %
T5-E	49 W	–	49,3 W	91,6 %	89,2 %	84,6 %	0,0 %	0,0 %	–	89,0 %
T5-E	54 W	–	53,8 W	92,0 %	89,7 %	85,4 %	0,0 %	0,0 %	–	89,3 %
T5-E	80 W	–	80,0 W	93,0 %	90,9 %	87,0 %	0,0 %	0,0 %	–	90,5 %
T5-E	95 W	–	95,0 W	92,7 %	90,5 %	84,1 %	0,0 %	0,0 %	–	90,9 %
T5-E	120 W	–	120,0 W	92,5 %	90,2 %	84,5 %	0,0 %	0,0 %	–	91,0 %

also erfüllt das alte VVG selbst diese noch mit Leichtigkeit.

Gleichzeitig aber heißt es in der alten 2000/55/EU auch:

- Lampenleistung (derselben Lampe wie oben) mit einem **EVG**: 50 W,
- Systemleistung mit einem **EVG** Klasse A3 alt: ≤ 59 W.
- Dies lässt im EVG eine Verlustleistung von ≤ 9 W zu.

- Umgerechnet auf die neue Bewertungsmethode entspräche dies dem geforderten Mindest-Wirkungsgrad von
  $\eta \geq 50\ \text{W}/59\ \text{W} \approx 85\ \%$,
  also B2 (neu) bestanden, aber bei B1 (neu) durchgefallen, daher gerade mal Stufe 1 entsprechend. Die EBbFL-Anforderung der Stufe 3 ist hier
  $\eta = EBb_{FL} \geq 89{,}1\ \%$,
  also ebenfalls durchgefallen! Mit anderen Worten: Die alte Verordnung ordnete einer „besseren" Klasse also den schlechteren Wirkungsgrad zu und umgekehrt.

Nun verlangt die **neue Klassifizierung** z. B. von einem Vorschaltgerät für eine T8-Lampe von 58 W einen Mindest-Wirkungsgrad von 84,7 % in Klasse A3 bzw. 86,1 % in Klasse B1. Zunächst mag man sich hier wundern, warum in der neuen Klasse B1 ein besserer Wirkungsgrad gefordert wird als in der neuen Klasse A3. Auch hier wird einer formal besseren Klasse der schlechtere Wert zugeordnet. Dies ist zwar nicht bei allen, jedoch bei einigen Leistungsstufen der Fall und mag ein Überbleibsel aus den **alten Definitionen** der Klassen B1 und A3 sein. Dort war es vielleicht besser verborgen (siehe oben) und tritt nun zu Tage. Letztendlich ist dies aber kein Grund sich zu grämen, da diese Werte nur ein Übergangsstadium darstellen. In Stufe 3 kann die Tabelle im Prinzip entfallen, da dann zu einer kontinuierlichen, berechneten Methode für die Ermittlung der Grenzwerte übergegangen wird, um Schlupflöcher „zwischen den Tabellenwerten" zu schließen. Schlechte Lampen oder Betriebsgeräte, deren Nennwerte in keiner Tabelle zu finden sind (für die somit geltend gemacht werden kann, dass es „keine Grenzwerte gibt"), können so nicht mehr in den Markt gelangen.

7 Fazit

Man darf sich fragen, ob die T5-Lampen nicht ein wenig zu schlecht abschneiden, wenn verlangt wird, die Messungen für alle Lampen grundsätzlich bei 25 °C zu durchzuführen; sind T5-Lampen doch aus gutem Grund auf eine Umgebungstemperatur von 35 °C optimiert. Zudem findet der bei Hochfrequenz-Betrieb bessere Wirkungsgrad der Lampen nun keinen Niederschlag mehr in der Bewertung – ebenso wenig der des Vorschaltgeräts. Die EU mag anzweifeln, dass es mit diesem Verbesserungs-Effekt so weit her ist wie allgemein behauptet wird und Messungen bestärkten die Zweifel. Bei Lampen gibt es für die Leistungsaufnahme am EVG und am VVG zwar getrennte Bemessungswerte, aber nur einen Grenzwert für die geforderte Effizienz. Offenbar hat niemand dagegen protestiert.

Zu begrüßen ist aber, dass es nun überhaupt Effizienz-Grenzwerte für die Lampen gibt, und dass die Vorschaltgeräte getrennt davon bewertet werden. Das Messen mit zweierlei Maß, ohne Betrachtung des Lichtstroms, der am EVG etwas geringer sein durfte, hat ein Ende – die Gleichbehandlung von EVG und VVG ist gewährleistet. Am Beispiel der T8-Lampe 58 W wurde gezeigt, dass ein **VVG der bisherigen (alten) Klassifizierung B1 wesentlich geringere Eigenverluste aufweist als der neuen Klasse A3 entspräche** – dass das VVG sogar die neue Klasse A2 erfüllt. Das EVG der alten Klasse A3 dagegen erfüllt nur knapp die Anforderungen der neuen Klasse A3. Nach einem Verbot induktiver Vorschaltgeräte sieht das nicht gerade aus, ganz im Gegenteil.

Literatur

[1] Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. ■

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.

1 Verschiedene Lampen am gleichen Vorschaltgerät

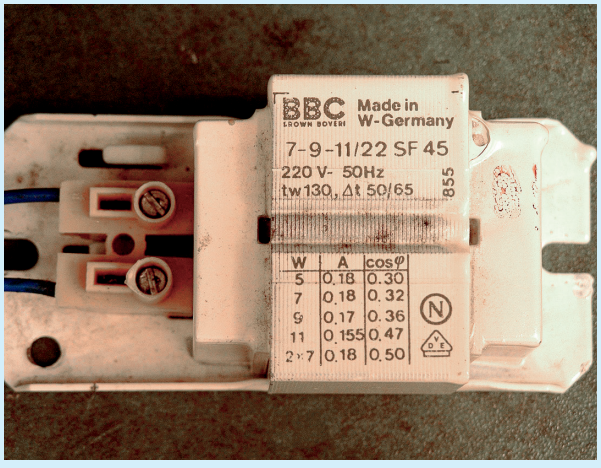
Im Allgemeinen haben kleinere, also kürzere Leuchtstofflampen gleicher Typenreihen eine niedrigere Brennspannung als die längeren Röhren der jeweiligen Familie. Beim Betrieb an konventionellen induktiven Vorschaltgeräten (KVG) bzw. verbesserten induktiven Vorschaltgeräten mit minimierten Verlusten (VVG) 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 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 ❶). 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 angesehenen wird (Bild ❷).

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 ❷, 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 besseren Verständnis ist die hier getroffene Annahme linearer Verhältnisse vertretbar. Anscheinend ergibt sich dann die Erkenntnis 2 · 56 V = 119 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 ❸).

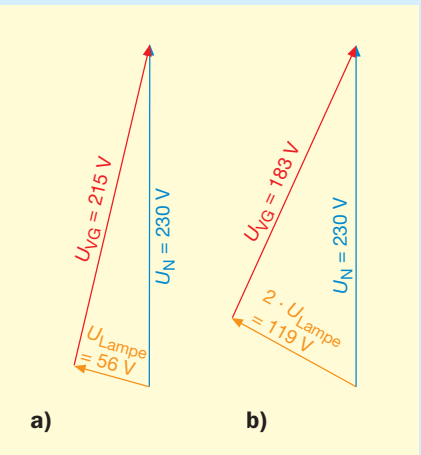
Zudem kann die Tandemschaltung auch noch weitere Vorzüge für sich geltend machen: In der Werbung für die elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) wird gelegentlich ins Feld geführt, dass in induktiven (magnetischen) Vorschaltgeräten „bis zu 30 %“ der gesamten von einer Leuchte aufgenommenen Leistung als 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 Lampen-Anschlussleistung bzw. dem gesamten erzeugten Licht ist damit erst recht klein. Die Angabe „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 ❹). Also darf man mit Fug und Recht von 50 % Verlust reden.

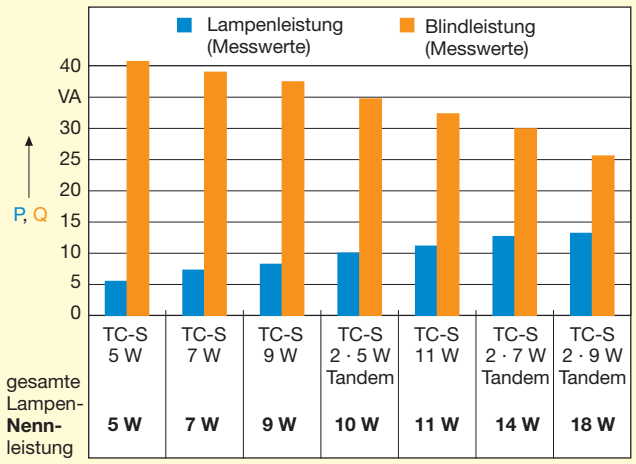
Die Verluste im Vorschaltgerät hängen jedoch näherungsweise vom Quadrat des Stroms ab. Tauscht man also in einer Leuchte die 5-W-Lampe gegen eine 7-W-Lampe aus, was pro-



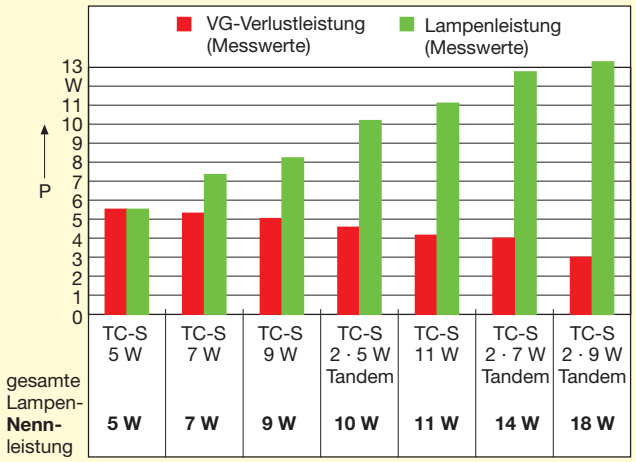
◀ **❶ Beispiel für ein Vorschaltgerät, das sich für vier verschiedene Lampen sowie für drei mögliche Tandemschaltungen eignet**
Leistungsfaktor *cosφ* steigt mit angeschlossener Lampen-Nennleistung erheblich



❷ 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)



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



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

blemlos 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 Universalvorschaltgerät 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 ❹) – 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 ❹).

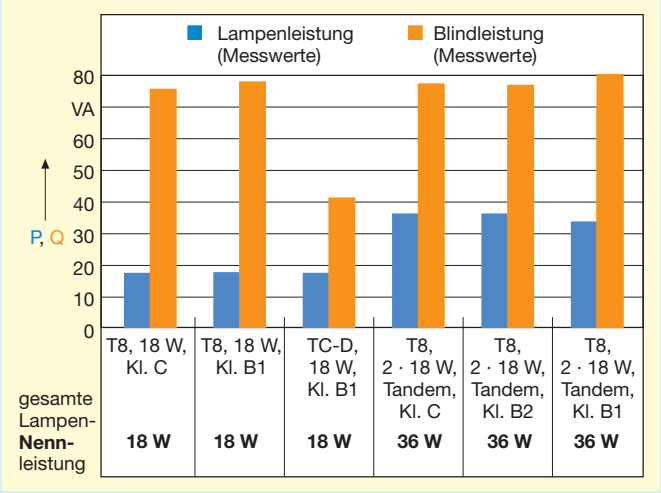
Die Tandemschaltung zweier 9-W-Lampen an einem KVG jedoch lag in der Lichtausbeute gleichauf mit einer hochwertigen Marken-Kompaktleuchtstofflampe und war um 20 % besser als eine Billig-Sparlampe aus dem Baumarkt. Somit kann diese Schaltung im Wirkungsgrad prinzipiell einem EVG überlegen sein, denn Kompaktleuchtstofflampen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

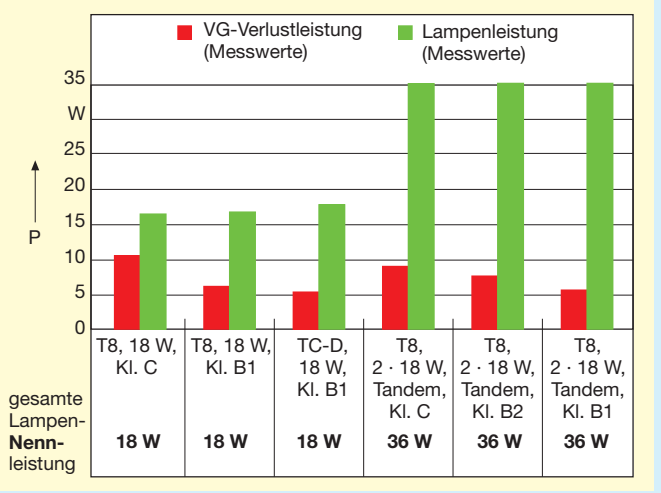
Die Tandemschaltung funktioniert auch bei T8-Lampen der Leistungsstufe 18 W. Hierbei sind zwar verschiedene Vorschaltgeräte für Einzel- und Tandembetrieb vorgesehen, doch die Tandemschaltung erweist sich als ähnlich vorteilhaft. Die Blindleistung ist für zwei Lampen gerade so groß wie in der Einzelschaltung für eine (Bild ❺). Die auf zwei Lampen aufzuteilenden Verlustleistungen [6] für Tandembetrieb sind hier sogar noch geringer als die der nur für eine Lampe zuständigen Vorschaltgeräte (Bild ❻). 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 ❼). So spart speziell eine Leuchte mit TC-D-Lampe und VVG gleichzeitig Bauvolumen, Herstellkosten und Energie. In Bild ❺ und Bild ❻ wird dies deutlich, da die TC-D-Lampe zum Vergleich mit aufgenommen wurde. Gemäß Bild ❻ 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 entsprachen. 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 ❺).



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



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

4 Messung der Lichtströme

4.1 Durchfühung 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 Blindleistung 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 ❶ zusammengestellt 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 ❶ in Form des Licht-Wirkungsgrads η_{ges} in Lumen pro Watt elektrischer Leistungsaufnahme des Systems aus Lampe und Vorschaltgerät. Der Licht-Wirkungsgrad lässt sich nicht in Prozent angegeben, 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 aufgenommener 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_{Lampe} des Leuchtmittels allein auch nicht errechnen.

4.2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus der Tafel ❶ 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 zumeist mehr als doppelt so groß wie bei 207 V. Zusammen mit der leichten Zunahme des Wirkungsgrads η_{Lampe} bietet sich in allen VVG-Zusammenschaltungen der Unterspannungs-Betrieb 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:

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

Typ (Prüfling)	Messpunkt (Bedingungen)	Messwerte (Fa. Dial)								Rechenwerte				
		U	P_{ges}	P_{VG}	P_{Lampe}	I	U_{VG}	U_{Lampe}	ϕ	η_{Lampe}	η_{ges}	S_{ges}	Q_{ges}	P_v / P_{ges}
		V	W	W	W	mA	V	V	lm	lm/W	lm/W	VA	Var	
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	
EEI=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 %
EEI=B1	$\phi_{VVG} = \phi_{EVG}$	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; EEI=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; EEI=B1	$\phi_{VVG} = \phi_{EVG}$	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	
EEI=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; EEI=B1	$\phi_{VVG} = \phi_{EVG}$	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 %

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 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 zugedrückten 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:

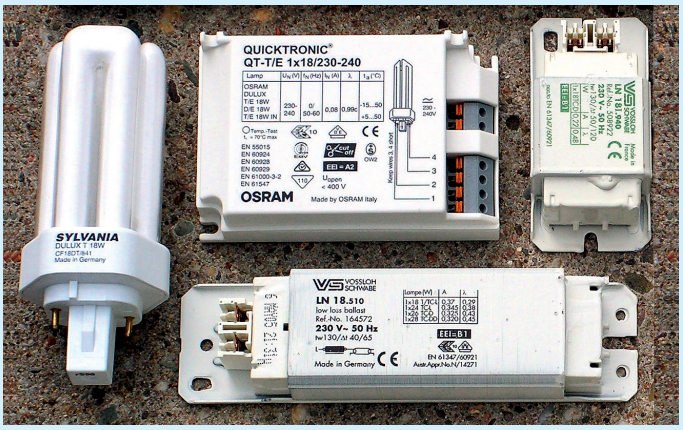
7. Der Unterschied zwischen VVG- und EVG-Betrieb beläuft sich jetzt auf gut 6 W je System, also 3 W je Lampe, denn ein System umfasst nunmehr zwei Lampen und ein Vorschaltgerät. Bei einem Strompreis von 10 c/kWh dauert es also 1767 Betriebsstunden, um einen Euro einzusparen. Oder um ein anderes Beispiel 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 ❼ 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-



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

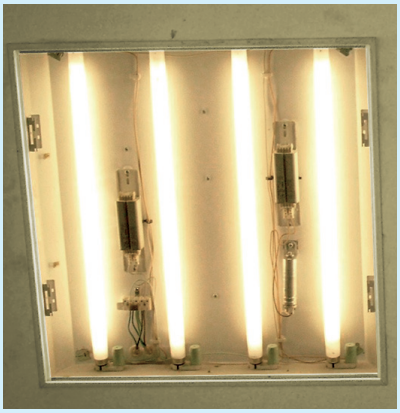
Lampe für KVG/VVG verfügt über einen eingebauten Starter und deshalb nur über zwei Anschlüsse (Bild ❼). Hier ist der Starter intern verdrahtet. Die Version für EVG-Betrieb benötigt vier Stifte.

12. Das geprüfte EVG für die TC-D-Lampe verfügt nicht, wie die beiden anderen aus diesem Versuch, über eine Stabilisierung der Leistung bei Schwankungen der Eingangsspannung.

5 Fazit

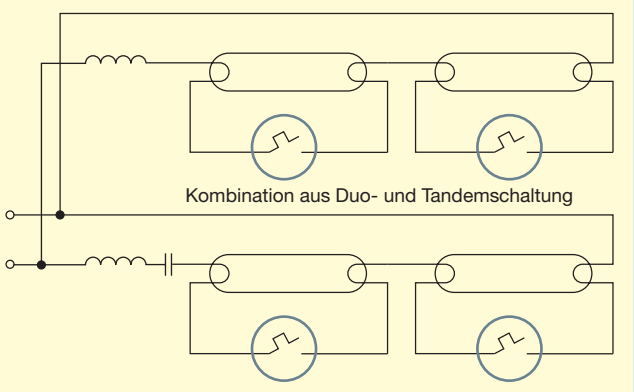
Bei der Auswahl der Komponenten für eine Beleuchtungsanlage kommt es sehr genau auf die optimale Konfiguration von Vorschaltgerät und Lampe an. Eine günstige Wahl getroffen zu haben bedeutet:

- 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.



❽ Für vier T8-Leuchtstofflampen, Leistungsstufe 18 W, genügen zwei Vorschaltgeräte und ein Kondensator

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 ❹). 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 ❽, insbesondere dann, wenn nach wie vor die Reihenkompensation eingesetzt wird, obwohl sie eigentlich aus der Mode kommt. Die für die Reihenkompensation angegebenen Kapazitäten führen nämlich zu einem erhöhten Strom im kapazitiven Kreis [1]. Dies wirkt wie ein Betrieb bei erhöhter 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 ❽ betrachtet, gegenseitig mehr oder weniger auf, wenn diese vorteilhafterweise gemäß Bild ❾ 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.



❾ Optimale Verdrahtung der Leuchte

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. 19.
[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] www.technologieforumkupfer.de/anwendungen/e-energie/licht/vvg-evg/wirkungsgrad/neue_eu-verordnung

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.

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 ❶). 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 ❷). 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.

2 Gründe für Kompensation

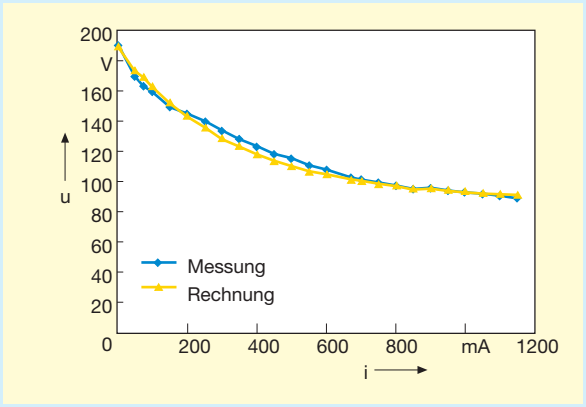
Gewöhnlich werden als Grund für das Kompensieren die Kosten genannt, meist aber nur die Preise gemeint. Da ist einmal der Leistungspreis für die Bereitstellung der höheren Scheinleistung und zum Anderen der Arbeitspreis für die Blindarbeit, die der Blindarbeitszähler am Einspeisepunkt anzeigt. Die Kosten, 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. Dies kann durch die übliche Parallelschaltung einer Kapazität zu der nahezu ohmsch-induktiven Gesamtlast aus Lampe und Vorschaltgerät geschehen.

3 Nachteile und Risiken

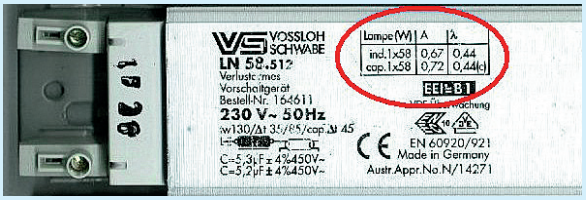
Der kapazitive Blind-Widerstand fällt umgekehrt proportional mit steigender Frequenz. Die Nachteile oder Risiken, wie bei Kompensations-Anlagen allgemein, sind:
Rundsteuer-Signale zum Steuern von Straßenbeleuchtung, Nachtspeicherheizungen und dergleichen mit Frequenzen von etwa 133 bis 1350 Hz können 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

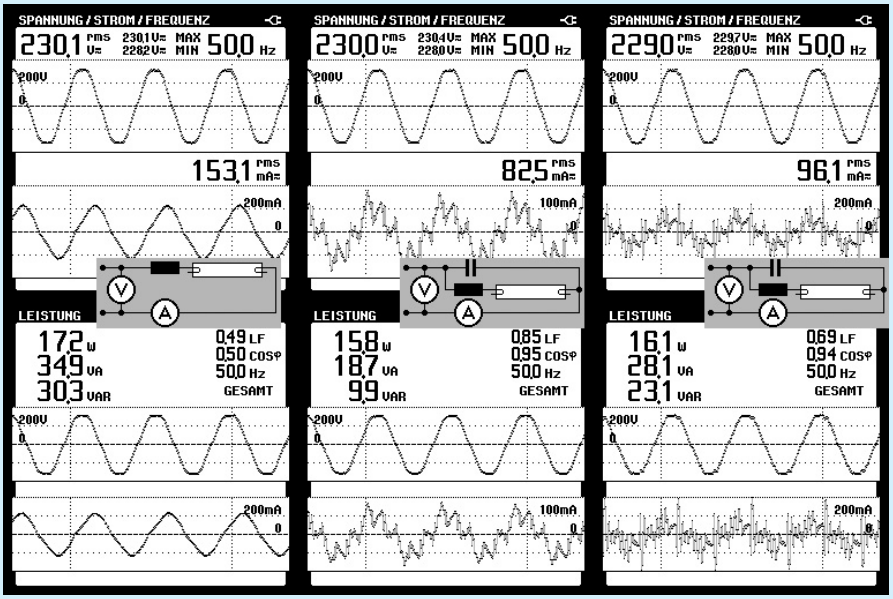
Im Bild ❸ wurde die Eingangsleistung einer kleinen Leuchtstofflampe mit induktivem Vorschaltgerät in einem Bürogebäude aufgenommen, links zunächst ohne Kompensation. Die Netzspannung scheint „sauber“ zu sein, also nahezu sinusförmig bzw. nicht sichtbar von höheren Frequenzen überlagert. Obwohl die Spannung zwischen den Elektroden der Lampe (Bild ❹) sehr stark verzerrt ist, findet sich diese Verzerrung im Lampenstrom kaum wieder. Die große Induktivität des Vorschaltgeräts verhindert dies. Nur die große Phasen-Verschiebung bleibt.
Das erfordert unbedingt Kompensation, doch ein Parallel-Kondensator überlagert dem Gesamtstrom jetzt ein hohes Ausmaß an Verzerrung, also höherfrequenten Anteilen (Bild ❸ 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 ❸ rechts: der Strom-Messbereich 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 ❸) wird die kleine Ursache für den großen Strom, die Beimischung höherer Frequenzen zur Netzspannung, nur im Ozillogramm des Stroms sichtbar.



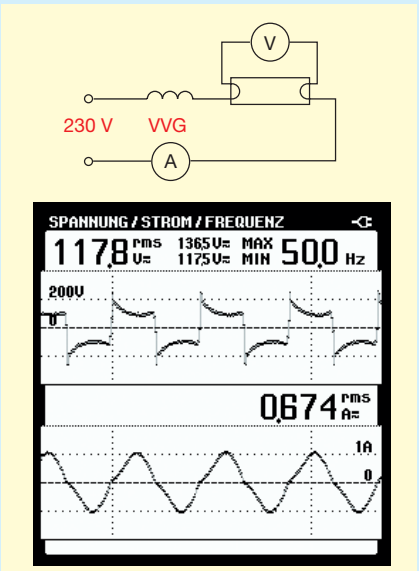
❶ Verhalten einer 58-W-Leuchtstoffröhre bei Gleichstrom
Messung und rechnerische Annäherung mit hieraus empirisch gewonnener Formel



❷ Auf dem Vorschaltgerät wird stets der Leistungsfaktor angegeben



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



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

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, 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 ❺). Das bedeutet, jede zweite Einheit aus Lampe und Vorschaltgerät mittels eines Reihenkondensators – theoretisch – derart (über-) zu kompensieren, dass der Strom dem Betrag nach gleich dem einer unkompensierten Lampe ist. Der Phasenwinkel nimmt dann ebenfalls den gleichen Wert an, jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen. Die Messung in Bild ❻ zeigt, was für große Phasenwinkel die beiden Einzelströme haben, wie sie sich in der Summe aber zu einem Strom ergänzen, dessen Nullduchgang beinahe wieder mit dem Nullduchgang der Netzspannung zusammenfällt. Dies ist Sinn und Wirkungsweise einer jeden Kompensation.

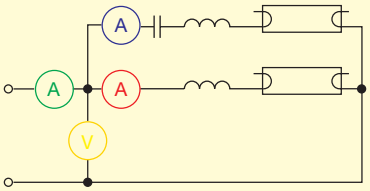
Die Duo-Schaltung zwingt zugleich dazu, dies auf die wirkungsvolle dezentrale Art zu tun – und verhindert darüber hinaus die sonst bei der Kompensation möglichen Nachteile und Risiken. Um alle Vorteile im optimalen Ausmaß nutzen zu können, finden sich die Lampen fast immer paarweise auf die einzelnen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

4.1 Neben-Effekte der Duo-Schaltung

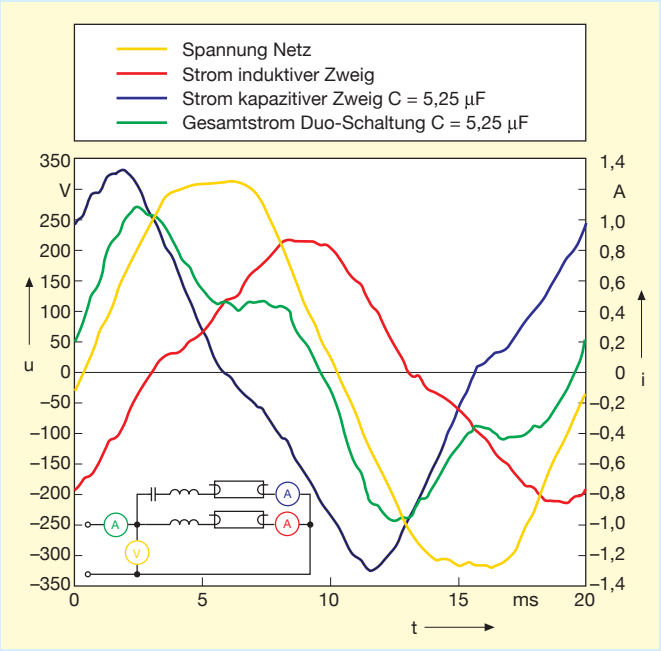
Als Neben-Effekt sind die kompensierten Zweige viel weniger empfindlich gegen Spannungs-Einbrüche (Bild ❼) und vollkommen geschützt gegen selbst kleinste Gleichspannungs-Überlagerungen der Netzspannung, die anderenfalls unverhältnismäßig großen Einfluss auf induktive Bauteile haben können [1]. Als weiterer 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].

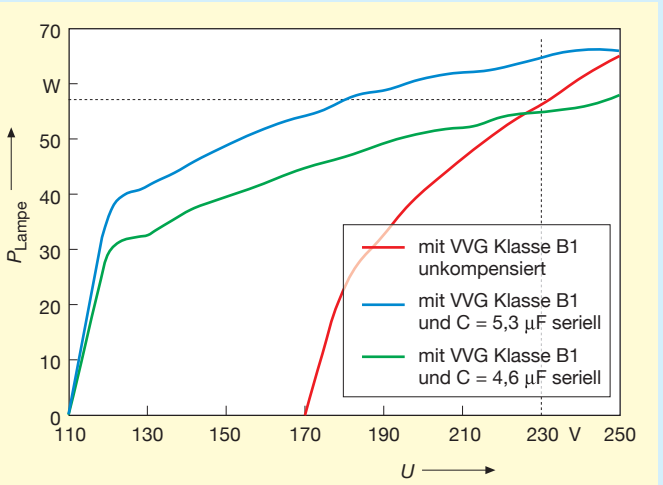
4.2 Problem: Kompensations-Kapazität

Der einzige Nachteil, den diese Art von Kompensation in sich hat, ist das Risiko, die Kompensations-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 ❷). 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.



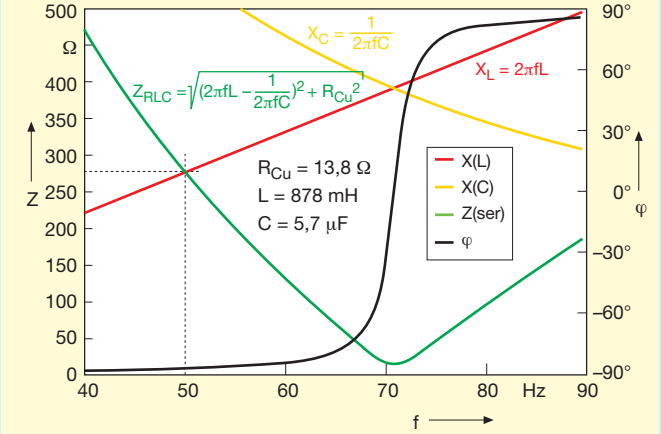
❺ Duo-Schaltung: Kombination aus einer reihenkompensierten und einer unkompensierten Lampe



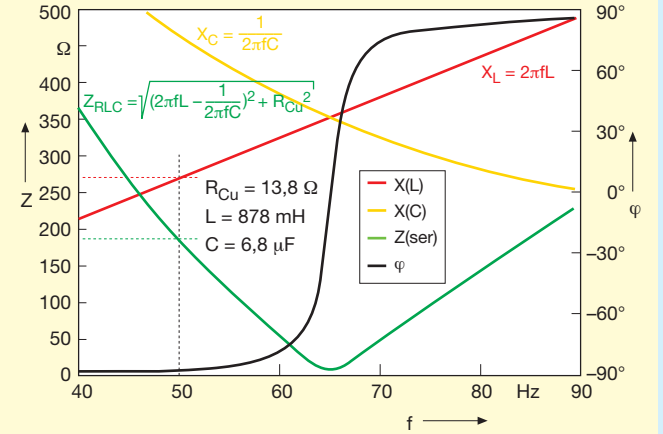


❼ Empfindlichkeit gegen Spannungs-Einbrüche ist im kapazitiven Zweig wesentlich geringer (Messung)

◄ ❻ Spannungs- und Strom-Verläufe in einer Duo-Schaltung



❽ Richtige Auslegung der seriellen Kompensations-Kapazität (Rechnung)
Bei 50 Hz haben die beiden Zweige, nur mit Drossel und mit Drossel und Kondensator, gleich große Impedanzen.



❾ Bei 20 % zu hoch bemessener Kapazität liegt der Strom schon 45¾% über dem Sollwert!

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 ❽). Aus irgendwelchen Gründen jedoch, möglicherweise die extreme Verzerrung der Spannung zwischen den Elektroden der Lampe (Bild ❹), werden sie ungleich. Standardmäßig verwendet man nur 5,3 µF oder 5,2 µF (Bild ❷), doch dies gleicht den Unterschied bei Weitem noch nicht aus. Wie eine Messung (in Bild ❼ 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 Leuchtenindustrie: 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,

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 Tendenz 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 18 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

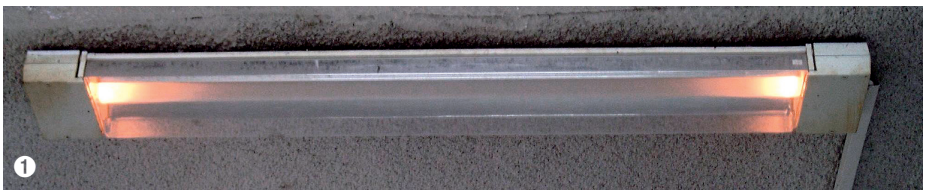
Damit des Sparens nicht genug. Die Charakteristik der Lampe als Gas-Entladungsstrecke (Bild ❶) bringt es nämlich auch noch mit sich, dass der Spannungsfall an der Lampe mit fallendem Strom steigt. Dadurch fällt die Wirkleistung der Lampen unterproportional, die Scheinleistung des gesamten Kreises jedoch 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 Nennleistung 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
[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 ❶). 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.

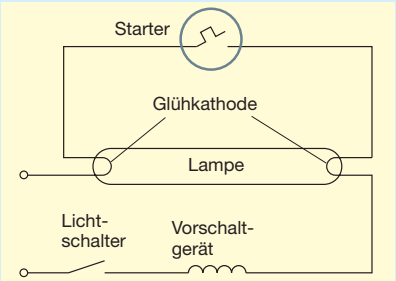


❶

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 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 ❷). Diese Induktivität ist in beiden Fällen, beim KVG wie bei einem entsprechenden VVG, gleich groß. Sie hat bedingt durch die in Bild ❸ dargestellte spezielle Charakteristik einer Gas-Entladungsstrecke, die bei Leuchtstoff- und Entladungslampen vorliegt, folgende zwei Aufgaben zu erfüllen:

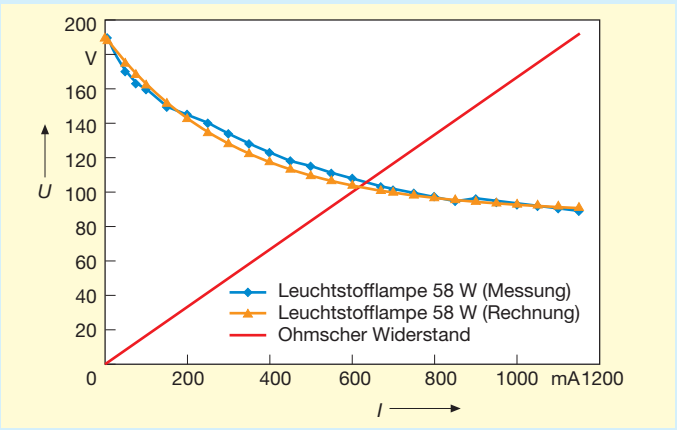
Zunächst muss die Induktivität dafür sorgen, dass Strom anfängt zu fließen, und dann muss sie diesen begrenzen, damit er nicht lawinenartig anwächst. Gase sind von Natur aus keine elektrischen Leiter, doch verlieren sie ihre isolierende Eigenschaft, wenn die Durchschlagsspannung überschritten wird. Diese 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 [2]. Um



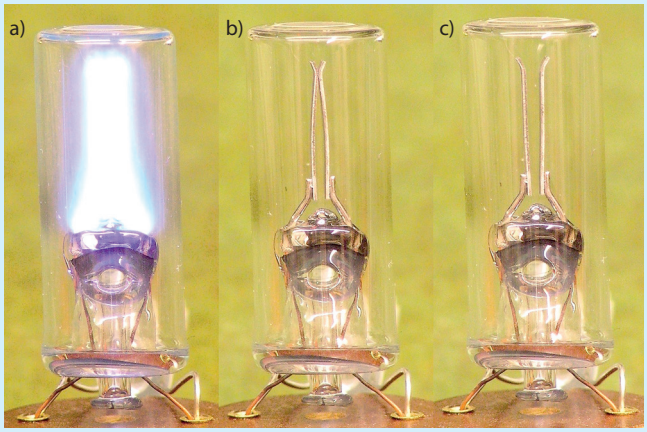
❷ Schaltung einer Leuchtstofflampe mit induktivem Vorschaltgerät und Glimmstarter

das Isolationsvermögen der Gassäule in einer T5-Lampe von 8 W Nennleistung zu überwinden und somit einen Strom zum Fließen zu bringen, ist eine Wechselspannung von etwa 500 V erforderlich. Durch ein Beheizen der Kathoden kann der Wert auf etwa 400 V gesenkt werden. An eine kalte T8-Lampe 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 ❷). Wird die Netzspannung eingeschaltet, dann bildet sich im Glimmstarter eine Glimm-Entladung (Bilder ❹a und ❺a), die einen Bimetall-Kontakt erwärmt und zum Schließen bewegt (Bilder ❹b und ❺b). 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 ❹c und ❺c) – dies erhofft man sich jedenfalls. 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 ❸ 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 (Wiederschließ-Spannung). Im Starter passiert dann Folgendes:

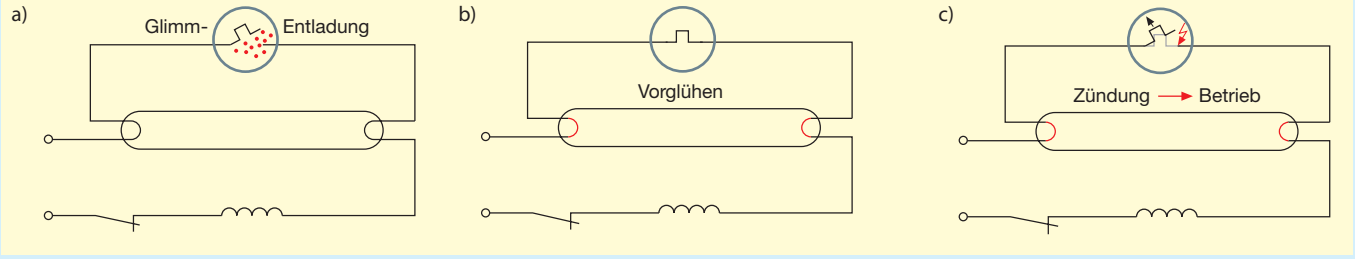
Der Starter wird ausgelöst, obwohl die Lampe noch brennt, und schließt sie kurz. Damit ist sie aus – und wird natürlich gleich wieder gezündet. Fertig ist das Blitzlicht-Gewitter. Dieser Zustand setzt sich so lange fort, bis der Starter überlastet ist und seine Kontakte verschweißen. Dann fließt der 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 Ω), 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 ❶ 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



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



❹ 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



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

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 ❻ 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.

3 Elektronische Starter

3.1 Funktionsweise

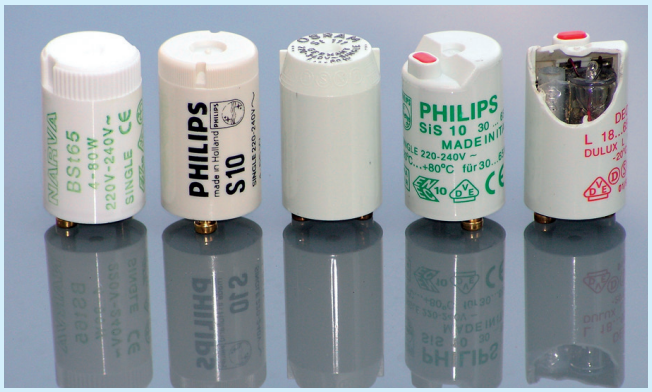
Diese Starter bestehen im Wesentlichen aus einem GTO-Thyristor. Während ein gewöhnlicher Thyristor sich über die Steuerelektrode (Gate) nur zünden lässt und dann so lange leitend bleibt, bis der Strom von sich aus seinen nächsten Nulldurchgang durchläuft, kann ein GTO-Thyristor (Gate Turn-Off) auch durch 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 Stromscheitel 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 ❼) 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 mit dem niedrigsten, mit einem VVG noch realisierbaren, Verlustpegel) und einem elektronischen Starter (Bild ❽).

3.2 Anwendungen

Der Starter für 400 V war ursprünglich eine Spezial-Entwicklung für eine Fertigungsstraße von T5-Leuchtstofflampen mit 35 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 Schalthäufigkeit 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 35-W-Lampe funktioniert es nur deshalb nicht,



❻ **Glimmstarter, davon zwei Sicherheitsstarter (rechts)**

❼ **Elektronische Starter sind für jede Einbausituation verfügbar**

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 35-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 .

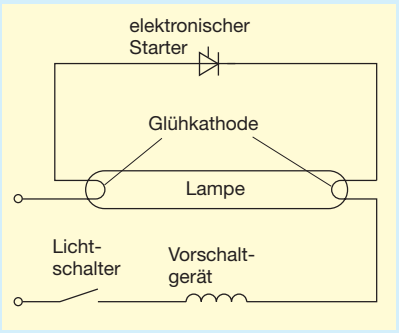
3.3 Vorzüge

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 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 ❾ 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 ❶ 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.

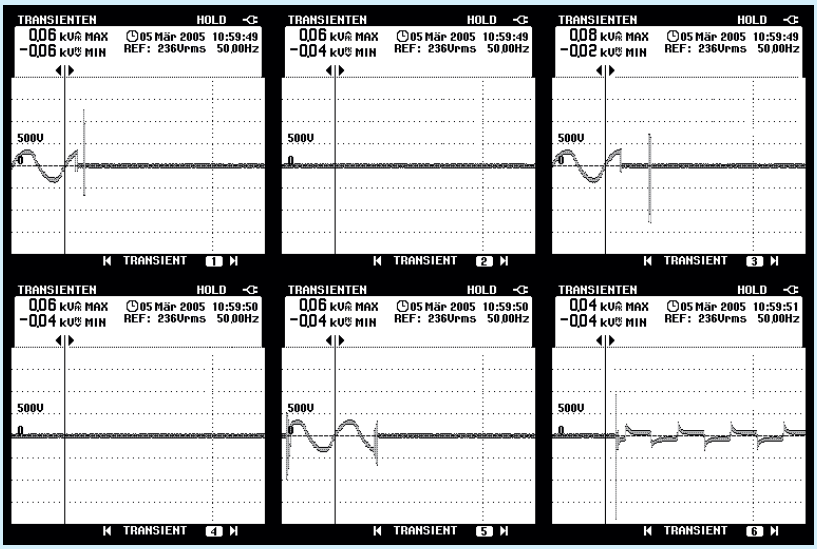
Elektronische Starter sind sehr langlebig und überdauern die Lebenserwartung der gesamten Leuchte. Die Ausfallrate ist sehr niedrig. Ausnahmen bilden Billigplagiate aus dem Versandhandel, die, wie so oft, den guten Ruf zerstören. Bei einigen vom VDE durchgeführten Prüfungen auf Einhaltung gültiger Normen 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 ❿): 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 ❿ 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 Einschalthäufigkeit

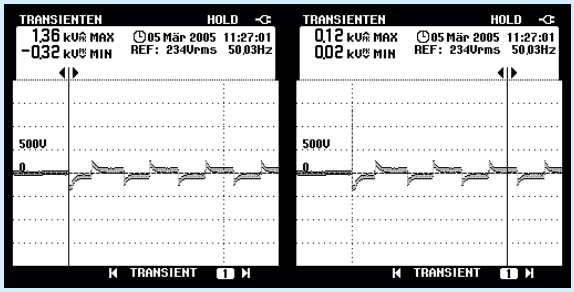


❽ **Schaltung einer Leuchtstofflampe mit elektronischem Starter und VVG**

❾ **„Innenleben" von Glimmstartern**
links: gebraucht; rechts: neu mit zusätzlichem Entstör-Kondensator



▲ ⑩ Starten einer Leuchtstofflampe mit Hilfe eines Glimmstarters



⑪ Start einer Leuchtstofflampe mit einem elektronischen Starter

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 [3]. Einen Prüfzyklus mit einer 58-W-Lampe und einem VVG der Klasse B2 von jeweils 20 s Ein- und 40 s Ausschaltdauer überlebten 5 DEOS-Glimmstarter zwischen 28000 und 32000 Mal. Fünf gewöhnliche, ungesicherte Glimmstarter eines anderen Herstellers überstanden diesen Test zwischen 43000 und 69000 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 100000 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 ihrem elektronischen Starter inzwischen etwa 400000 Starts absolviert. An dem Modell daneben mit dem gleichen Lampentyp, jedoch mit Glimmstarter müssen jede zweite Messe – nach etwa 10000 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 Umgebungs-Bedingungen 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“ [4]. 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://lleonardo-web.org/de/licht
[2] http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstofflampe
[3] www.palmstep.com/html/de/starter/pruefberichte.htm
[4] www.tridonic.at/kms/cms/kms.php?str_id=399

Lichtstrombestimmung an Leuchtstofflampen

Wir befinden uns im dritten Jahrtausend unserer Zeitrechnung. Alle Licht- und Elektrofachkräfte schwärmen von immensen Energiespar-Potentialen, die erst durch die Kombination von T5-Leuchtstofflampen und dimmbaren Vorschaltgeräten erschließbar werden. Dennoch glaubt eine kleine Gruppe unbelehrbarer Skeptiker noch immer, es gäbe auch andere einfachere Methoden, um den Leuchtstofflampen das Sparen zu lehren.

1 Angaben in der Europäischen Richtlinie

Die EU-Richtlinie 2000/55/EU [1] beschreibt u. a. Folgendes: Eine T8-Lampe 58 W nimmt beispielsweise zusammen mit einem verbesserten induktiven Vorschaltgerät (VVG) der Effizienzklasse EEI = B2 (Energy Efficiency Index) eine elektrische Leistung von höchstens 67 W auf. Ein VVG der Klasse B1 vermag diesen Wert noch auf 64 W zu senken, aber dann ist Schluss. Bessere VVG sind auf dem Markt nicht erhältlich. Beim Übergang auf ein elektronisches Vorschaltgerät (EVG) der Effizienzklasse A3 fallen dann nur noch 59 W an. Zudem ist es auch möglich, auf die Effizienzklasse A2 aufrüsten, um den Verbrauch auf nur 55 W zu begrenzen. Das lohnt sich, denn wie jede Fachkraft eigentlich weiß, sind die inneren Verluste bei einem EVG wesentlich geringer als bei einem VVG.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob dies wirklich so ist. Wenn man sich die in [1] enthaltene Tabelle ansieht, so ist zu erkennen, dass die 58-W-Lampe an einem VVG – wer hätte es gedacht – eine Leistung von 58 W aufnimmt. Dies lässt in einem VVG der Klasse B1 eine Verlustleistung von 64 W - 58 W = 6 W zu. Am EVG begnügt sich dieselbe Lampe aber formell mit 50 W. Einem EVG der Effizienzklasse EEI = A3 wird also eine Verlustleistung von 59 W – 50 W = 9 W zugestanden. Nach einem besseren Wirkungsgrad sieht das aber nicht gerade aus.

Dies rief die besagten Skeptiker auf den Plan. Denen hält man dann vor, der Wirkungsgrad der Lampe sei beim Betrieb am EVG besser, doch dieser Unterschied erklärt nicht den vollen Unterschied in der Nenn-Leistungsaufnahme zwischen 58 W und 50 W. Messungen ergaben vielmehr, dass dieselbe Lampe am EVG 5% weniger Licht liefert – aber das hatten wir schon [2]. Hier wird also mit zweierlei Maß gemessen. Doch damit ist bald Schluss, denn die aktuelle, nach meiner Meinung etwas „krumme“ Richtlinie [1] wird demnächst durch die Durchführungsverordnung zu der, wiederum meiner Meinung nach, besseren Richtlinie [3] begradigt. Noch ehe es aber so weit sein wird, wollten die Skeptiker herausfinden, was denn nun wirklich Sache ist.

2 Lichtstrom-Messungen

2.1 Gemessene Systeme

Bei einem unabhängigen, akkreditierten Lichtlabor (DIAL) gab das Deutsche Kupferinstitut (DKI) zusammen mit der Firma M&R Multitronik Messungen in Auftrag, um die prinzipiellen Potentiale von zwei recht unterschiedlichen Energiespar-Methoden in der Beleuchtungstechnik besser abschätzen zu können. Untersucht wurden die folgenden Möglichkeiten:

- T8-Leuchtstofflampen mit VVG und Spannungs-Absenkung (sogenannte Energie-spar-Anlagen – dem DKI sind mindestens zehn Hersteller der verschiedensten Ausführungen solcher Apparate bekannt) und
- T5-Leuchtstofflampen mit dimmbaren Vorschaltgeräten (EEI = A1).

Tafel ❶ Effizienz-Vergleich von T5-HE-Lampen, T5-HO-Lampen und T8-Lampen

Lampe	T5 HE	T8 (Messwerte)			T5 HO (Katalogwerte)	
Länge	1449 mm	1500 mm			1449 mm	
Nennleistung	35 W	58 W			49 W	80 W
betrieben mit	EVG (HF)	VVG (50 Hz)			EVG (HF)	
angegebene Nennleistung	42 W (A3) 39 W (A2)	– –	67 W (B2) 64 W (B1)	– –	58 W (A3) 55 W (A2)	92 W (A3) 88 W (A2)
gemessene Lampenleistung	–	49 W	53 W	58 W	–	–
gemessene Systemleistung	37 W (A1)	55 W	61 W	69 W	–	–
Systemspannung	207...253 V	217 V	230 V	244 V	207...235 V	207...235 V
Lichtstrom	3300 lm	4596 lm	4951 lm	5305 lm	4300 lm	6150 lm
Lichtausbeute des Systems	79 lm/W (A3) 85 lm/W (A2)	84 lm/W (B1)	81 lm/W B1)	77 lm/W (B1)	74 lm/W (A3) 78 lm/W (A2)	67 lm/W (A3) 70 lm/W (A2)

2.2 Durchführung der Messungen

Um bei den Messungen zu objektiven vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, wurden jeweils handelsübliche Lampen (Lichtfarbe 840) sowie von jeder Technik die jeweils beste im Handel verfügbare Variante gewählt, nämlich:

- Die bei der T8-Lampe größte gängige Ausführung mit 58 W Nennleistung (dieselbe Lampe für alle Messreihen) und ein VVG der Effizienzklasse EEI = B1 (Vossloh-Schwabe LN58.512, Ref-No. 164611),
- bei der T5-Lampe ein Doppel-EVG 2*35 W (Vossloh-Schwabe ELXd 249.614, Ref-No. 188343), da sich in weiteren, hier nicht aufgeführten Messungen gezeigt hatte, dass ein Doppel-EVG im Allgemeinen weniger Verlustleistung aufweist als zwei einzelne EVG zusammen. Außerdem fiel die Wahl auf T5-Lampen vom Typ HE (High Efficiency), da die T5-Lampen vom Typ HO (High Output) schlechtere Wirkungsgrade aufweisen (vgl. Tafel ❶). Hier wurde wiederum die größte verfügbare Nennleistung von 35 W gewählt, da diese die höchste Effizienz erwarten ließ.

Die Messungen für alle Lampen erfolgten gemäß der internationalen Norm IEC 60081 bei einer Umgebungstemperatur von 25°C, bei der die Lampen in der Regel den besten Wirkungsgrad entwickeln. Darüber hinaus sind die Messungen der T5-Lampen, abweichend von der Norm, auch bei einer Umgebungstemperatur von 35°C durchgeführt worden, da T5-Lampen aus guten Gründen auf diese Temperatur hin optimiert sind (Tafel ❶).

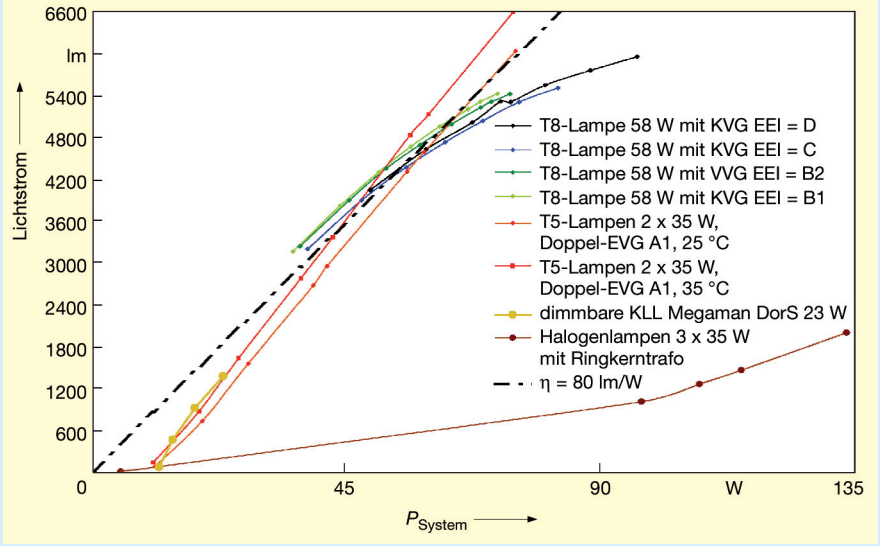
3 Auswertung der Messergebnisse

3.1 Lichtstrom bei aufgenommener Leistung

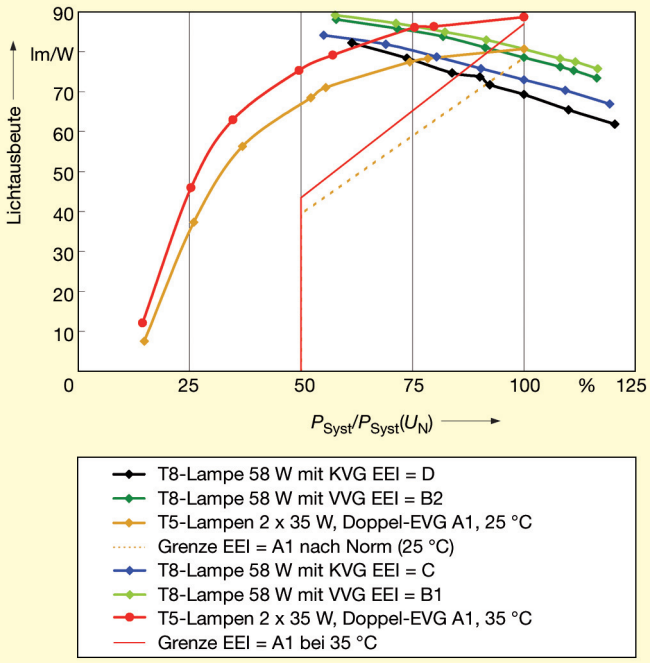
Die Messergebnisse sind zusammengefasst in Bild ❶ dargestellt, in dem die Lichtleistung der Systeme über der jeweiligen elektrischen Leistungs-Aufnahme aufgetragen wurde. Die in diesem Diagramm eingetragene schwarz gestrichelte Gerade entspricht dabei einer konstanten Effizienz von $\eta = 80$ lm/W. Diese Effizienz sollte heutzutage als eine Leitlinie für die Beleuchtungstechnik gelten.

Aus Bild ❶ ist somit Folgendes abzulesen:

- Die Effizienz eines jeden T8-Systems nimmt beim Drosseln der Leistung zu. Tendenziell liegen die Werte im unteren Leistungsbereich oberhalb der „Leitlinie“, während sie nach oben hin darunter fallen und insbesondere bei Überlast stark verflachen.
- Die T5-Lampen weisen das umgekehrte Verhalten auf: Ihre Effizienz nimmt nämlich beim Dimmen ab. Tendenziell liegen die Werte im oberen Bereich oberhalb der „Leitlinie“ und im unteren Bereich darunter. Dieses Verhalten ist „normal“ und lässt sich übrigens auch an dimmbaren Kompakt-Leuchtstofflampen (KLL) beobachten: Ein 23-W-Modell nahm bei 5% Lichtstrom noch



❶ Lichtströme verschiedener Systeme mit Leuchtstofflampen T5 und T8, aufgetragen über der absoluten Systemleistung



❷ Effizienzen verschiedener Systeme mit Leuchtstofflampen T5 und T8, aufgetragen über der relativen Systemleistung

50% der Nennleistung auf. Damit sparen die dimmbaren KLL zwar relativ viel Energie, weil sie den Ersatz der beliebten, problemlos dimmbaren Glühlampen erleichtern, jedoch ist die Dimmbarkeit an sich keine besonders wirksame Sparmethode und dient eher der Gemütlichkeit. Eine Glühlampe weist im Übrigen das gleiche Verhalten auf, nur auf vier Mal höherem Niveau (siehe braune Linie in Bild ❶).

- Die bei einer Umgebungstemperatur von 35 °C gegenüber 25 °C bessere Effizienz der T5-Lampen ist deutlich zu erkennen.

Diese Art der Darstellung ist jedoch leider für einen direkten Vergleich der beiden Systeme wenig geeignet, weil keine T5- und T8-Lampen mit den jeweils gleichen Nennleistungen am Markt verfügbar sind.

3.2 Lichtausbeute bei relativer Leistung

Um einen Vergleich der beiden Systeme zu ermöglichen, wurde eine andere Methode gesucht und gefunden, indem die Lichtausbeute über der relativen Systemleistung aufgetragen wurde (Bild ❷). Mit dieser Darstellungsform sollte ein direkter Vergleich der beiden unterschiedlichen Systeme bei Beachtung der nachfolgenden Erläuterungen möglich sein:

- Unter relativer Systemleistung versteht man beim T8-System das Verhältnis der im jeweiligen Punkt gemessenen Leistungsaufnahme zu der bei Nennspannung gemessenen Leistungsaufnahme desselben Systems (so liegt z. B. der Bezugspunkt des KVG EEI = C bei 69 W, des VVG EEI = B1 bei 61,4 W, was den System-Messwerten bei 230 V entspricht).
- Bei dem T5-System ist unter der relativen Systemleistung das Verhältnis der im jeweiligen Punkt gemessenen Leistungsaufnahme zu der im ungedimmten Zustand gemessenen Leistungs-Aufnahme zu verstehen.
- Gemäß der Direktive 2000/55/EU [1] muss ein EVG der Effizienzklasse EEI = A1 mindestens bis 10% des Lichtstroms (also um ≥ 90%) dimmbar sein, muss im ungedimmten Zustand der Effizienzklasse A3 entsprechen und darf bei 25% des Nenn-Lichtstroms nicht mehr als 50% der Nennleistung (derer der Klasse A3) aufnehmen. Diese Anforderung wurde im Diagramm in Bild À sowohl für die Messung bei 25 °C als auch bei 35 °C Umgebungstemperatur zur Orientierung mit aufgenommen.
- Das ebenfalls in die Messreihen aufgenommene nicht dimmbare EVG lässt sich in dieser Form nicht darstellen, da seine Leistungsaufnahme (ebenso wie der Lichtstrom) konstant bleibt – auch bei Veränderungen der Eingangsspannung, denn EVG sind üblicherweise mit Regel-Elektronik ausgestattet, die Spannungsschwankungen ausgleicht. Dies ist im praktischen Betrieb vorteilhaft, da Spannungsschwankungen dann nicht zu flackerndem Licht führen, schließt aber auch aus, dass die Leistung von EVG bewusst über die speisende Spannung gesteuert wird.

Somit ermöglicht die Darstellung folgende Beobachtungen:

- Das gemessene T5-System übertrifft die Mindest-Anforderungen bei Weitem.
- Man sieht jetzt noch deutlicher, dass die Effizienz der T8-Systeme beim Drosseln der Leistung zunimmt (und bei Überlast unverhältnismäßig stark abfällt) sowie dass die Effizienz des T5-Systems bei voller Last am besten ist und beim Dimmen abfällt.
- Unter voller Last bei 25 °C Umgebungstemperatur ist das T5-System etwa gleich gut wie das beste T8-System (EEI = B1).
- Unter voller Last bei 35 °C Umgebungstemperatur ist das T5-System um ≈ 10% effizienter als das beste T8-System mit EEI = B1 bei 25 °C.
- Bei Reduktion bzw. Dimmung auf ≈ 75% (hier der jeweils bei 230 V bzw. ungedimmt gemessenen elektrischen Leistung, nicht des Lichtstroms) entspricht die Effizienz des besten T8-Systems etwa der des T5-Systems bei 35 °C.
- Bei Reduktion bzw. Dimmung auf ≈ 60% fällt das T5-System auch hinter ein T8-System mit einem uralten KVG EEI = D zu-

rück, das etwa im Jahr 1986 aus einer Schrottkiste geborgen wurde.
- Bei Reduktion auf ≈ 50% endet der mögliche Anwendungsbereich der Spannungs-Absenktechnik. Die Lampen verlöschen sonst vollständig. Weitergehende Dimmung ist nur mit dimmbarem EVG möglich.

Dies erlaubt die folgenden Schlüsse:
- Das Energiespar-Potential dimmbarer EVG ist recht begrenzt. Wer Energie sparen will, setzt sinnvollerweise auf eine Kombination aus Spannungs-Absenktechnik und anschließender gruppierter Abschaltung (z. B. von der Fensterseite zur Gangseite hin) nach Ausschöpfung des (begrenzten) Absenk-Potentials – möglichst unter Einsatz einer Technik, die ohne Leerlauf- und Bereitschafts-Verbrauch auskommt und unter Verwendung elektronischer Starter, die bei häufiger auftretenden automatischen Schaltungen sowohl die Lampen als auch die Nerven der Beschäftigten schonen, da sie flackerfrei starten.
- Die Spannungs-Reduziertechnik ist kein Ersatz für Dimmung, sondern ausschließlich eine Energiespartechnik. Wer dimmen will, muss dimmbare EVG einsetzen. Alle Techniken zur Dimmung von KVG, die es je gegeben hat, sind aus heutiger Sicht und bei der heute verfügbaren Technik unbrauchbar und kommen für eine Anwendung in neuen Anlagen nicht mehr in Betracht.

4 Schlussbetrachtung

Die zuvor angeführten Schlussfolgerungen berücksichtigen jedoch noch nicht folgenden Umstand:
Der Dimmbetrieb von Leuchtstofflampen ist ein Kathoden-Dauerheizbetrieb. Die Stellung „Licht aus“ ist oftmals identisch mit der „Dimmstufe 0“. Sofern nicht dafür Sorge getragen wird, dass z. B. in einem Büro nach dem Feierabend und am Wochenende die Spannungsversorgung abgeschaltet wird, verbleiben die Leuchten in „Dimmstufe 0“. Dies sabotiert dann die zugrunde liegenden Bemühungen um die Energie-Einsparung – z. B. mit den folgenden Annahmen:
- An einer T8-Lampe 58 W (Systemleistung 59 W in Klasse A3 bzw. A1) sei eine Einsparung von 55,8 W möglich („Dimmstufe 0“ mit 3,2 W Restverbrauch),
- ein durchschnittliches Büro sei 3000 h/a in Betrieb,
- das Licht brenne üblicherweise über 2/3 der Zeit, also 2000 h/a,
- während der Hälfte dieser Zeit, also 1000 h/a, genüge die halbe Leistung, also 500 h/a Sparpotential, in Volllast-Stunden umgerechnet,
- jedoch der Bereitschaftsverbrauch bliebe während der gesamten Zeit (8760 h/a) bestehen.

Somit ergibt sich folgende Rechnung für die eingesparte Energie pro Lampe:

$$W = 500\frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 55{,}8\ \text{W} = 28\frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Ein im Prinzip unnötiger zusätzlicher Verbrauch pro Lampe errechnet sich zu:

$$W_0 = 8760\frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 3{,}2\ \text{W} = 28\frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

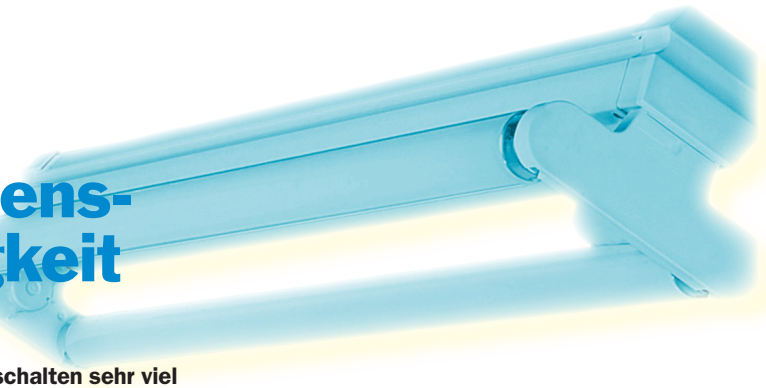
Damit besteht ein Einsparpotential nicht mehr. In löblichen Ausnahmen wird dies berücksichtigt und entsprechend installiert, sodass dem Betreiber nicht nachts „durch das Netz geht“, was er am Tage eingespart hat. Jedoch darf bezweifelt werden, dass so viel Umsicht bei Planern und Errichtern die Regel ist. Ehe man hier das Kind mit dem Bade ausschüttet, sollte man sich ansehen, wie die meiste Energie-Verschwendung bei der Beleuchtung insbesondere etwa in Schulen und Büros zustande kommt: Das Licht wird eingeschaltet, weil es am Morgen vielleicht für eine Stunde gebraucht wird, und wird anschließend vergessen. Wenn die Sonne erst einmal scheint, fallen nutzlos brennende Lampen überhaupt nicht mehr auf. Eine Technik, die auf echter Abschaltung der Beleuchtung beruht, würde das bestehende Sparpotential nicht nur teilweise, sondern vollumfänglich erschließen, wäre einfacher, zu geringeren Kosten zu verwirklichen und fände bei den Nutzern wahrscheinlich auch mehr Akzeptanz als eine oftmals als kompliziert empfundene Elektronik. Die Technik der Wahl bestünde also aus Leuchtstofflampen mit den besten verfügbaren VVG, elektronischen Startern und Helligkeitssensoren, die zuerst eine Anlage zur Spannungs-Reduzierung aktivieren und dann das Licht zu gegebener Zeit ganz abschalten – sich selbst gleich mit. Ein Mal am Tag aufzustehen – oder einige Male, wie etwa bei Aprilwetter möglicherweise erforderlich – um bei Bedarf das Licht manuell wieder einzuschalten, dürfte für die Beschäftigten zumutbar sein.

Literatur

[1] 2000/55/EG Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Energieeffizienzanforderungen an Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen.

[2] *Fassbinder, S.:* VVG – Vorschaltgeräte in der Beleuchtungstechnik. Elektropraktiker, Berlin 59 (2005) 4; S. 284–287.

[3] 2005/32/EG Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 über Ökodesign-Anforderungen.



Leuchtstofflampen-Lebensdauer und Schalthäufigkeit

S. Fassbinder, Düsseldorf

Ein altes Gerücht besagt, Leuchtstofflampen verbrauchten beim Einschalten sehr viel Strom und sollten deshalb lieber eingeschaltet bleiben, wenn sie für kürzere Zeit nicht benötigt würden. Was ist davon zu halten? Zur Klärung dieser Frage wird unter anderem auf die Normlebensdauer und die Start-Problematik der verschiedenen Technologien (VVG, EVG, Glimm- und elektronische Starter) eingegangen.

1 Stromverbrauch oder Wirtschaftlichkeit

Zunächst kann erfahrungsgemäß niemand, der diese alte Weisheit zitiert, spezifizieren, was „beim Einschalten“ in diesem Zusammenhang besagen soll oder wie lange eine „kurzzeitige“ Ausschaltung währt. Jeder hat das nur so – ohne spezifische Angaben – irgendwo gehört. Die Erkenntnis, sofern es sich um eine solche handelt, ist wesentlich älter als das elektronische Vorschaltgerät (EVG), muss sich also auf den Betrieb an induktiven (magnetischen) Vorschaltgeräten (KVG/VVG) beziehen. Diese sind noch lange nicht so ‘tot’ wie es oftmals den Anschein hat, daher bleibt die Beschäftigung mit dieser Thematik entsprechend spannend. Was also steckt hinter der alten ‘Bauernregel’? Das kommt zunächst einmal darauf an, wie sie denn gemeint ist:

- Sollte der Begriff „Stromverbrauch“ wörtlich zu nehmen und darunter die Stromstärke zu verstehen sein, ist die Aussage innerhalb enger Grenzen wahr. Von gewisser Bedeutung kann dies bei der richtigen Bemessung des Leitungsschutzes sein, denn die Lampe wird zuerst praktisch kurzgeschlossen, und der Strom, jetzt nahezu ausschließlich durch die Drosselwirkung des Vorschaltgeräts begrenzt, steigt um etwa 35 % über den Bemessungswert.
- Tatsächlich jedoch ist hier natürlich der Energieverbrauch bzw. die Leistungsaufnahme der Lampensysteme gemeint. Dann ist die Aussage völlig falsch. Die Wirkleistung und damit der Energieverbrauch sind beim Vorglühen der Kathoden ebenso wie während des Warmlaufs der Lampe sogar geringer als im stationären Zustand (Bild ❶).

Gemeint war vermutlich, dass es unwirtschaftlich ist, Leuchtstofflampen zu häufig zu schalten, da dies bekanntlich einen bedeutenden Alterungsfaktor darstellt.Doch wie groß ist dieser Einfluss nun?

Nach einem vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie angegebenen Richtwert ist es nicht der Mühe wert, sondern eher kontraproduktiv, eine Leuchtstofflampe für weniger als 10 Minuten abzuschalten, da der zusätzliche Verschleiß der Lampe mehr kostet als die eingesparte Energie [1]. Als grober Richtwert mag das richtig sein, doch muss man die Dinge differenziert betrachten, denn der zusätzliche Alterungseffekt hängt in entscheidendem Maße von der Betriebsweise der Lampe ab.

Autor
Dipl.-Ing. *Stefan Fassbinder* ist Berater für elektrotechnische Anlagen beim Deutschen Kupferinstitut (DKI), Düsseldorf.

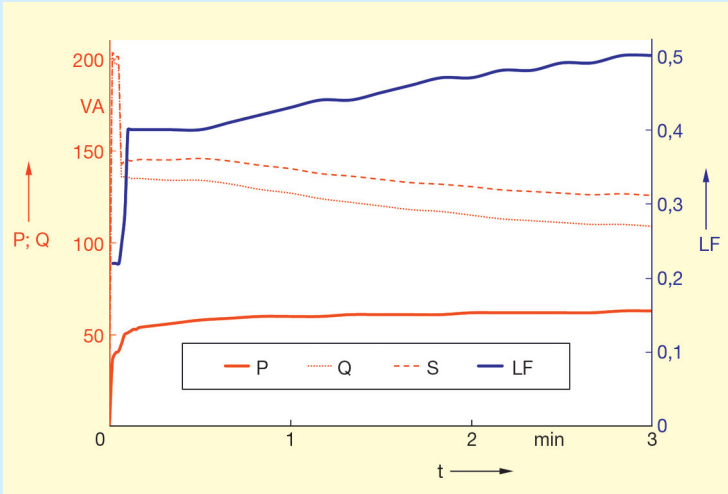
2 Norm-Lebensdauer von Leuchtstofflampen

Es gibt in verschiedenen Normen verschiedene Definitionen von Lebensdauer. Es gibt eine Nutzlebensdauer (bis 10 % oder 20 % Abfall des Lichtstroms), eine mittlere Lebensdauer (bis 50 Ausfälle in einer Probe aus 100 Lampen) und eine durchschnittliche Lebensdauer (durchschnittliche Zeit bis zum Ausfall der einzelnen Lampe, was nicht notwendigerweise das Gleiche ist). Das Kriterium des Lichtstrom-Verlusts der einzelnen Lampe lässt sich natürlich auch noch mit der Ausfallrate kombinieren (z. B. Abfall auf 80 % des ursprünglichen Lichtstroms einer gesamten Anlage – Wartungsfaktor 0,8). Die Lebensdauer wird in der Regel mit dem in der IEC 60081 [2] angegebenen Prüfzyklus bestimmt, nach dem die Systeme jeweils für 2:45 h ein- und für 15 min ausgeschaltet werden. Die Lampe gilt als ausgefallen, wenn ihr Lichtstrom auf 92 % des Anfangswerts abgefallen ist. Die dabei verwendeten Starter, so heißt es dort, müssten der Norm IEC 60155 (VDE 0712-101) [3] entsprechen. Diese wiederum bezieht sich auf Glimmstarter, und somit bezieht sich der für den Betrieb an VVG angegebene Wert der Lampen-Lebensdauer auf Zündung durch Glimmstarter.

Entscheidend für die praktische Lebensdauer der Lampe bzw. für den Einfluss der Start-Vorgänge ist die optimale Vorheizung. Für den Betrieb derselben Lampe an einem Warmstart-EVG wird ein Lebensdauer-Vorteil von manchmal 30 %, manchmal 50 % angegeben. Angaben für den Betrieb an Sofortstart-EVG findet man dagegen nicht, obwohl diese die Standard-Anwendung darstellen. Beim VVG wählt man den umgekehrten Weg und setzt den – leider sehr niedrigen – Standard des Glimmstarters als die Messlatte der Norm.

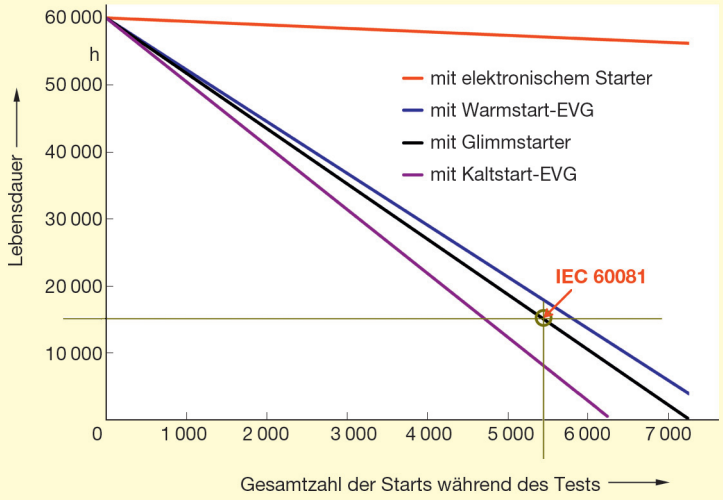
Allerdings wird von einigen Fachleuten der Vorglüh-Vorgang auch am Warmstart-EVG nur als lauwarm angesehen. Zur optimalen Lampenschonung, heißt es dort [4], müssten die Kathoden schon 2 s lang vorgeheizt werden, und der Vorglühstrom sei auch nicht immer das, was er sein sollte, doch eine derart lange Vorwärmzeit scheint dem Nutzer heute wohl nicht mehr zumutbar zu sein.

Dem Hersteller der Lampen auch nicht, denn nach Angaben von Philips hält eine Dreibanden-Leuchtstofflampe im Dauerbetrieb ohne Schalten um 60000 h und im Norm-Zyklus,



❶ Start- und Hochlauf-Vorgang einer Leuchtstofflampe 58 W mit VVG

❷ **Messe-Demo – unten rechts wurden sowohl Lampe als auch Starter schon 12- bis 14-mal ersetzt, oben links noch nie**



❸ **Lebensdauer handelsüblicher Dreibanden-Leuchtstofflampen in Abhängigkeit von der Anzahl der Startvorgänge und der eingesetzten Betriebsgeräte**

also mit 8 Schaltungen täglich, um 15000 h. Eine Einbanden-Lampe schafft etwa die Hälfte dieser Werte, spezielle Longlife-Typen können es auf mehr als das Doppelte bringen – mit allem Vorbehalt, denn ehe eine mehrjährige Erfahrung vorliegt, müssen zwangsläufig mehrere Jahre vergehen. Ob die gerade eben erst vervollständigte Erfahrung bis dahin noch aktuell ist, die betroffenen Typen also in dieser Ausführung überhaupt noch lieferbar sind, ist eine andere Frage.

3 Optimaler Start außerhalb der Norm

Die dritte Frage ist, wie lange eine Leuchtstofflampe denn nun hält, wenn sie wirklich optimal vorgeglüht wird. Keine Frage ist es dagegen, dass der herkömmliche Glimmstarter weit hinter dieses Optimum zurück fällt, da er einen Start-Vorgang durch mehrere Start-Versuche ersetzt und so die Zahl der Start-Vorgänge vervielfacht. Auch derjenige Versuch, der letztendlich zum Erfolg führt, kann nur in seltenen Glücksfällen optimal verlaufen sein. Vielmehr wird oftmals der Augenblickswert des Stroms im Moment der Zündung nur gerade eben statt mit Glanz ausreichen, was den Glühwendeln wiederum zusetzt. Der unvermeidliche Entstör-Kondensator im Starter (Bild ❾ in [5]) dämpft den Impuls, rundet ihn ab, nimmt ihm also die Spitze und mindert so die Wirksamkeit. Wie groß ist folglich das Verbesserungs-Potential „anderer als Glimmstarter“ gemäß IEC 60927, etwa elektronischer Starter [5], die, abhängig u. a. von der Umgebungstemperatur, immer nach optimaler Vorglühzeit und immer am Stromscheitel und daher immer im ersten Versuch erfolgreich und mit größtmöglicher Impulshöhe zünden? Auch hierzu fehlen Angaben der Industrie. Selbst die Hersteller solcher Starter haben keine, weil diese Firmen klein und entsprechende normgemäße Untersuchungen dem Aufwand gemäß teuer sind. Wenn aber die gängigsten Lampentypen im Dauerbetrieb 4-mal so lange halten wie im Norm-Zyklus, dann erlaubt dies den Schluss, dass bei der oben genannten Norm-Schalthäufigkeit von 1 Mal je 3 h nur 1/4 des Lampen-Verschleißes auf die eigentliche Erzeugung von Licht, aber 3/4 auf das Konto der Schaltungen gehen. Darüber hinaus gibt es immerhin einige Hinweise und Erfahrungen zur weitaus überlegenen Lampenschonung durch elektronische Starter.

So muss an der regelmäßig auf Fachmessen ausgestellten Demonstrationstafel eines Herstellers die am Glimmstarter betriebene Lampe (Bild ❷ unten rechts) – samt dem Starter – nach jeweils zwei Messen ausgewechselt werden. Die Lampen werden hier in dem extrem schnellen, nach IEC 60155 zur Prüfung von Startern vorgesehenen Schaltrhythmus betrieben, also 40 s ein und 20 s aus. Die Lampe hat dann etwa 6000 Zündungen hinter sich. Schon nach einer Messe sind die Enden so schwarz, dass die Lampe die 92 % des Anfangs-Lichtstroms wohl kaum noch erbringen dürfte. Nach zwei Messen ist dann regelmäßig entweder eine der Glühwendeln durchgebrannt, oder die Starterkontakte sind verschweißt, so dass die Sicherung des Sicherungsstarters anspricht, oder die Lampe flackert nur noch statt durchgehend zu leuchten, was ebenfalls die Startersicherung auslöst und die Lampe still setzt. Dies ist ohne jeden Interpretationsspielraum das eindeutigste Ende der Lebensdauer, das es geben kann.

Die mit elektronischem Starter betriebene Lampe hat hingegen nach inzwischen 25 Messe-Auftritten in nur etwa 1300 Leuchtstunden annähernd 120000 Starts überstanden, ist noch immer intakt und kaum geschwärzt (Bild ❷ oben links). Hiervon abweichend ist der Lampentest nach IEC 60081, wenn er mit Glimmstartern zu einer Lebensdauer von 15000 h führt, bei einer Netto-Betriebszeit von 2:45 h je 3 h Brutto-Versuchsdauer mit einer Gesamtdauer von 16364 h verbunden. In diesen Zeitraum fallen also 5455 Starts, die, wie ausgeführt, für 3/4 der Alterung verantwortlich zeichnen. Noch 1/4 drauf, und die Leuchtstofflampe wäre also theoretisch nach 7264 Glimmstarts schon ‘erledigt’, ohne überhaupt geleuchtet zu haben. Einen Moment muss sie dazwischen natürlich immer geleuchtet haben – wenigstens ausreichend lange, um die erfolgreiche Zündung nachzuweisen. Dies deckt sich recht genau mit der Beobachtung an der Messetafel. Waren es dort nicht „ungefähr 6000 Starts“, sondern genau 7264 Starts in 81 h Betrieb, so liegt dieser Punkt zusammen mit den beiden Punkten „5455 Starts bei 15000 h“ und „60000 h bei nur einem Start“ genau auf der in Bild ❸ dargestellten schwarzen Geraden.

Es lässt sich also – bei aller Vorsicht wegen fehlender Daten – aus den vorliegenden Beobachtungen folgern, dass im Normzyklus mit einer Ein- und einer Ausschaltung je 3 Stunden der größte Teil der Alterung handelsüblicher Leuchtstofflampen auf das Konto der Start-Vorgänge geht. Bei Verwendung derselben Lampe und desselben VVG jedoch trägt die Schalthäufigkeit ganz offensichtlich so gut wie überhaupt nicht zur Alterung bei, sobald der Glimmstarter durch einen elektronischen ersetzt wird! Dies gilt selbst dann noch, wenn die hier zu Grunde liegenden ‘unwissenschaftlichen’ Ad-Hoc-Werte z. B. um den Faktor 4 zu gut liegen sollten – einschließlich der hier nur beispielhaft genannten Preise.

4 Die Logik des Marktes

Der Vorteil bei der Lampen-Lebensdauer, den EVG üblicherweise für sich beanspruchen, nimmt sich im Vergleich hierzu äußerst marginal aus. Der Effekt der längeren Gebrauchsdauer der gleichen Lampe am EVG liege u. a. auch darin begründet, so wird argumentiert, dass die elektronische Regelung des EVG den Lampenlichtstrom konstant – oder zumindest doch konstanter – halte als das passive VVG. Dadurch bleibe die vorgeschriebene Mindest-Beleuchtungsstärke länger erhalten. Dies ignoriert zum Einen schon wieder den Umstand, dass, wenn man nachmisst, die Lampe am VVG anfangs heller ist als am EVG [6]. Deswegen werden die Diagramme immer in Prozent des Anfangs-Lichtstroms angegeben. Tatsächlich aber liegt der Anfangswert als normative Messlatte beim EVG niedriger.

In einer Informationsbroschüre des Fachverbands Licht im ZVEI findet sich eine solche Gegenüberstellung der Lichtstromkurven von T8-Leuchtstofflampen an VVG und an EVG [7]. Eigenartigerweise gleichen sich die beiden Diagramme auf den Seiten 6 und 7 der Broschüre nicht nur wie ein Ei dem anderen, sondern sind vielmehr bis auf das i-Tüpfelchen bzw. jedes einzelne Pixel identisch. Man möchte an einen Druckfehler, eine Verwechslung glauben, doch hat das denn seit 2005 niemand bemerkt?

Die anderen Diagramme weisen immerhin ihre Unterschiede auf. Bei diesen wiederum hat man aber darauf geachtet, einen Mittelwert aus einer Duo-Schaltung von 50 % induktiv und 50 % kapazitiv betriebenen Lampen anzugeben. Während dessen jedoch drängte gerade eben dieser ZVEI zu gerade eben jener Zeit darauf, die Duo-Schaltung möglichst nicht mehr zu verwenden (statt die Kapazitäts-Vorgaben zeitgemäß anzupassen – etwa an 230 V statt 220 V Netzspannung, 58 W statt 65 W Lampenleistung sowie viel engere Toleranzen bei Lampen, VVG und Startern). So aber werden die neuen Lampen mit alten Kondensatoren im kapazitiven Zweig erheblich überlastet [8].

Hätte man jeweils getrennte Diagramme für den induktiven und den kapazitiven Zweig einer Duo-Schaltung aufgeführt, wie es korrekt gewesen wäre, wäre auch gleich deutlich geworden, warum die Duo-Schaltung abgeschafft werden sollte. Allerdings wäre auch in Erscheinung getreten, dass der induktive Zweig, optional parallel kompensiert wie von eben diesem ZVEI seither empfohlen, nahezu die gleiche Lebensdauer bietet wie das Warmstart-EVG.

In einem alten Bericht von 1995 aus dem Hause Philips jedoch, der zudem „nur zum internen Gebrauch bestimmt“ war, wurden die Systeme noch getrennt protokolliert. Hier wurden für den Betrieb am Warmstart-EVG genau 16000 Betriebsstunden – mit einer geringen Streuung von etwa ±10 % – ermittelt (50 %-Ausfall-Kriterium). Die nicht kompensierte Gruppe mit KVG und Glimmstarter erreichte ziemlich genau 15000 h. Das sind sage und schreibe 7 % Vorteil für das Warmstart-EVG! Dafür erreichte die Gruppe mit Kaltstart-EVG nur 13000 h, also sogar 15 % weniger Lebensdauer als mit dem unsäglichen Glimmstarter zu erreichen war! Die ungünstige kapazitive KVG-Schaltung mit dem zu großen Kondensator erreichte mit 12000 h nur unwesentlich weniger.

Es darf mit ziemlicher Sicherheit davon ausgegangen werden, dass eine bessere Vorglühung als die gegenwärtig auf dem Markt angebotene auch beim EVG technisch möglich und mit Blick auf die gesamten Betriebskosten einer Anlage zudem wirtschaftlich vernünftig wäre. Eine Industrie, die sowohl Lampen als auch EVG verkauft, mag noch eine positive Bilanz ziehen, wenn sie je Leuchte ein EVG für 30 € pro Stück verkauft und dafür 1/3 des Umsatzes mit Ersatzlampen zu je 3 € pro Stück verliert.

Einen Wegwerf-Starter für 30 Cent jedoch durch einen elektronischen für 3 € zu ersetzen, der eine ähnliche Lebensdauer aufweist wie das zugehörige VVG für 12 €, nämlich näherungsweise so lange wie das ganze Gebäude steht, und dafür den EVG-Markt vollständig sowie etwa 70 % des Lampen-Ersatzmarkts zu opfern, das rechnet sich zwar für den Anwender, nicht aber für die Lampen und EVG herstellende Industrie.

Tafel ❶ Ab etwa 10 bis 25 Minuten lohnt sich das Ausschalten

Ab wann lohnt sich das Ausschalten bei T8-Leuchtstofflampen mit VVG EEI=B1?					
Messbedingungen		Glimmstarter		Elektronik-Starter	
		anlassen	ausschalten	anlassen	ausschalten
		spart unter dem Strich (mit folgenden Daten):			
Strompreis		12 c/kWh			
Lebensdauer		15000 h			
58 W	Lampenpreis	2,50 €			
	Ausschaltzeit	keine	00:10:45 h	keine	00:00:38 h
	Kosten	0,1375 c	0,1376 c	0,0081 c	0,0081 c
18 W	Lampenpreis	2,30 €			
	Ausschaltzeit	keine	00:26:21 h	keine	00:01:41 h
	Kosten	0,1265 c	0,1265 c	0,0081 c	0,0081 c

5 Was ist nun mit der Bauernregel‘

In Tafel ❶ wurden die beiden Fälle des Glimmstarts und des elektronischen Starts einander gegenüber gestellt, und es zeigt sich: Der Richtwert des Wuppertal Instituts stimmt ziemlich genau, wenn man annimmt, dass er einen Mittelwert über verschiedene Lampen-Nennleistungen und über den Betrieb mit Glimmstartern und mit elektronischen Startern darstellt.

Es bestätigt sich wieder einmal, dass die Energiekosten beim Betrieb elektrischer Betriebsmittel in aller Regel die anderen Anteile an den Lebensdauerkosten bei weitem dominieren. Diese Beobachtung macht man immer wieder. Ausnahmen sind Geräte, Anlagen und Situationen mit sehr geringer Einschaltdauer oder Auslastung.

Die Lampe für 2,50 € aber verbraucht während ihres 15000 h währenden Arbeitslebens Energie für etwa 125 €. Obwohl ein ‘Glimmstart’ die Lampe über 8 Stunden Lebensdauer kostet, lohnt ein Abschalten daher schon ab etwa 10 Minuten für eine 58-W-Lampe und ab etwa 25 Minuten für eine 18-W-Lampe, je nach Lampenpreis und Strompreis. Zu diesem Zeitpunkt kostet die durch Abschalten gesparte Energie gerade so viel wie der geopferte Lampenverschleiß, bzw. kostet umgekehrt, wenn man auf das Abschalten verzichtet, der eingesparte Lampenverschleiß so viel wie der mehr verbrauchte Strom. Bei Verwendung elektronischer Starter hingegen lohnt sich das Abschalten schon für nur ein bis zwei Minuten!

Ein Warmstart-EVG verkürzt die für den Glimmstarter gültigen Zeiten um ein paar Minuten; das gewöhnlich eingesetzte Kaltstart-EVG verlängert sie um doppelt so viele Minuten!

6 LED-Leuchtröhren sind keine Alternative

Von vielen fernöstlichen Herstellern – Osram und Philips mussten jetzt nachziehen – werden seit einiger Zeit LED-Leuchtröhren angeboten, die gegen bestehende T8-Leuchtstofflampen austauschkompatibel sein sollen. So vorteilhaft wie LED-Leuchtmittel auch sind, da sie

- beliebig oft schaltbar sind, ohne dass die Lebensdauer darunter leidet,
- sofort nach dem Einschalten die volle Leistung bringen,
- wenn dafür eingerichtet, mit geringem technischen Aufwand bis auf 0 dimmbar sind,
- bei Voll- und Teillast einen hohen Wirkungsgrad bieten,
- auf den Punkt leuchten und
- zu alledem auch noch die Anlagen für ein sehr langes Leben mit sich bringen,

so ist die Umrüstung doch eher mit dem Umbau eines Bootes in ein Auto zu vergleichen. Nichtsdestoweniger werden teilweise sogar Neu-Installationen gleich mit solchen Leuchtröhren geplant – was ungefähr so ist, als wenn man Boote produziert, um diese anschließend zu Autos umzurüsten. LED-Leuchtmittel ent-

falten ihre vollen Stärken nur in dafür entworfenen LED-Leuchten – und nicht in einem Boot mit Rädern.

Auch sind sie nicht effizienter als Leuchtstofflampen, wie stets geglaubt wird, sondern der Wirkungsgrad fällt bislang noch immer etwas hinter den der Leuchtstofflampen zurück. In den entsprechenden Berichten und Anzeigen wird dies zumeist auch gar nicht behauptet, sondern dort steht nur „...spart Energie“, was, für sich allein genommen, stimmt. Die Lampen bieten für 50 % weniger Leistungsaufnahme rund 60 % weniger Licht. So gesehen spart selbst eine 40-W-Glühlampe 60 % Energie, wenn man damit eine 100-W-Glühlampe ersetzt.

Erst vor kurzem wurde wieder eine nagelneue Fabrikhalle mit dieser Art von Beleuchtung konzipiert. 11 Lichtbänder waren erforderlich statt mit 5 bis 6 Leuchtstofflampen-Bändern auszukommen. So mussten je 2 LED-Röhren zu je etwa 60 € eine Leuchtstofflampe zu höchstens 3 € ersetzen. Das Licht ist nun leider trotz der hohen Leuchtenzahl, und obwohl die Lampen rund 6 m hoch hängen, ziemlich ungleichmäßig, denn LED sind gerichtete Leuchtmittel – sehr vorteilhaft dort, wo man gerichtetes Licht benötigt. Mit Leuchtstofflampen ist es praktisch unmöglich, gerichtetes Licht zu erzeugen. Dimmbar wurden sie nicht ausgeführt, dazu bestand kein Erfordernis. Entweder man braucht dort Licht, oder man braucht keines. Mit „Longlife“-Leuchtstofflampen, VVG und elektronischen Startern hätte man eine ähnliche Wartungsarmut erreicht wie diejenige, auf die man jetzt hofft. Der zusätzliche Einsatz einer Spannungs-Regulier-Anlage [9] hätte die Effizienz noch einmal angehoben und den Abstand zur jetzt installierten LED-Beleuchtung weiter vergrößert.

Wie sich deren Investition jedoch amortisieren soll, ist unklar. Wahrscheinlich wurde die Angabe „60 % weniger Energie“ wieder als „60 % mehr Effizienz“ missverstanden. Während dessen ist im Betrieb eine heftige Diskussion entbrannt, welches Licht denn nun für die Beschäftigten angenehmer ist und wie folglich mit weiteren zu bauenden Hallen zu verfahren sei – offensichtlich reine Geschmackssache.

Keine Geschmackssache hingegen ist die Bilanz der anbietenden Industrie. Die stimmt wieder, wenn das (hoffentlich – bzw. leider) extrem langlebige Produkt wenigstens extrem teuer ist. Hoffen dürfen die Anwender nun, dass nicht nur die LED, sondern auch die Treiber-Elektronik so lange hält wie versprochen.

7 Bilanz

Jeden Euro, den jemand mehr verdient, muss jemand anderes mehr ausgeben. Was man ein Mal „Wirtschaftswachstum“ nennt, heißt ein anderes Mal „Kostenspirale“. Die Verlängerung z. B. der Lampenwechsel-Intervalle freut die Nutzer, schmälert aber den Auftragseingang des mit der Instandhaltung beauftragten Elektrohandwerkers.

Die Fachzeitschriften des Elektrohandwerks, naturgemäß mehr Partner des Handwerks als der Industrie, raten dennoch nicht zum Einbau ‘billigen Plunders’, um den – zwar unzufriedenen – Kunden des Handwerksbetriebs nichtsdestoweniger zur baldigen Platzierung eines erneuten Auftrags zu zwingen, denn eine ertragreiche Langzeit-Strategie erwüchse hieraus trotz allem nicht.

Es sei denn, man betreibe eine solche Strategie sehr subtil. Dazu muss sich ein ganzer Industriezweig einig sein, was zwar selten, aber immerhin vorkommt. Doch auch dann bleibt es eine offene Frage, wie lange eine solche Strategie Bestand hat, wenn Störfaktoren von außen auftreten. So könnte es etwa sein, dass eine solche Fachzeitschrift den Ruf ihrer Leserschaft gefährdet sieht, wenn sie diese von einem gewissen Zwang zum Anbieten sich nicht rechnender Lösungen bedroht sieht.

Beispielsweise eine Leuchtstofflampe zu 3 € mit einem elektronischen Starter, ebenfalls zu 3 €, die es zusammen auf eine Lebensdauer von 30000 h bringen, durch zwei LED-Leuchtröhren zu je 60 € zu ersetzen, die die 30000 h immerhin auch schaffen, nützt ganz offensichtlich der Wirtschaft. Der Betreiber hat von beiden Varianten im täglichen Gebrauch ähnlichen Nutzen bei ungefähr gleichem Energie-Verbrauch, im ersten Fall jedoch nur einen Bruchteil der Kosten. Im zweiten bezahlt er der Wirtschaft ihr bejubeltes Wachstum. Die Vermarktung eines solchen Produkts aber obliegt nicht dem Betreiber und weniger dem Errichter der Anlage, sondern in erster Linie dem Hersteller. Beispielsweise ein von diesem bereit gestellter Energiespar-Rechner [10] bietet folglich, neben anderen Fehlern, keine Möglichkeit, für VVG und EVG verschiedene Lebensdauern einzugeben. Auf Rückfrage beim Hersteller erhält man die Auskunft: „Nicht zuständig – außerhalb unseres Einflussbereichs – macht eine externe Firma.“ Multinationale Weltkonzerne arbeiten offenbar gar nicht, die lassen nur arbeiten. Hinter solchen Verhältnissen lassen sich notfalls auch Strategien verstecken.

Zitat eines Mitarbeiters von Siemens: „Wir sind doch nur eine Bank mit angeschlossener Elektrotechnik.“ Nur der kleine, selbstständige Elektrohandwerker arbeitet selbst und ständig – und ist dabei auf solche Anbieter angewiesen. Gesamtheitlich sinnvolles Wirtschaften sieht anders aus; von der Ökologie gar nicht erst zu reden.

Literatur

[1] www.wupperinst.de

[2] DIN EN 60081:2010-12: „Zweiseitig gesockelte Leuchtstofflampen – Anforderungen an die Arbeitsweise“ (IEC 60081:1997 + A1:2000, modifiziert + A2:2003 + A3:2005 + A4:2010); Deutsche Fassung EN 60081:1998 + A1:2002 + A2:2003 + A3:2005 + A4:2010.

[3] DIN EN 60155:2007-07 (VDE 0712-101): „Glimmstarter für Leuchtstofflampen“ (IEC 60155:1993 + A1:1995 + A2:2006); Deutsche Fassung EN 60155:1995 + A1:1995 + A2:2007.

[4] Z. B. Ulrich Peter, BLA Beleuchtungsanlagen, Hauptstr. 36, D-07957 Langenwetzendorf, 036625 50940.

[5] S. Fassbinder: „Elektronische Starter für Leuchtstofflampen.“ Elektropraktiker, Berlin 60 (2006) 11, S. 937 f.

[6] http://leonardo-web.org/de/licht/vvg-evg/8wirkungsgrad

[7] ZVEI (Hrsg.): „Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für die Beleuchtung – Grundlagen für Planung und Wartung“, Ff./Main 2005. www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lebensdauerZVEI.pdf

[8] S. Fassbinder: „Blindleistungskompensation bei Leuchtstofflampen“. Elektropraktiker, Berlin 57 (2003) 11, S. 870 f.

[9] Verschiedene Modelle sind verfügbar z. B. bei www.stilaenergy.de, www.ruhstrat.com, http://sicherheitstechnik.buerkle-schoeck.de/EMU-Energiesparsysteme_I1089. whtml, www.ipsi.dk

[10] Z. B. www2.philips.de/licht/spar-rechner

Anspruch und Wirklichkeit in der Lichttechnik-Werbung

S. Fassbinder, Düsseldorf

Bis zu 80 % Energie-Einsparpotential wird in den Anzeigen großer Hersteller für elektronische, automatisch geregelte Beleuchtungstechnik versprochen. Was ist davon zu halten? Wer überprüft das und wie viel bleibt von den Versprechen übrig, wenn man tatsächlich doch einmal nachmisst?

1 Szenarien statt Fallstudien

Vor einiger Zeit wurde im **ep** über Lichtstrombestimmungen an Leuchtstofflampen berichtet [1]. Die Ergebnisse dabei waren:

- T5-Lampen sind nicht generell effizienter als T8-Lampen, sondern ganz im Gegenteil: T5HO-Lampen sind deutlich schlechter und T5HE-Lampen nur marginal besser als T8-Lampen.
- Systeme mit magnetischen Vorschaltgeräten erfahren einen Effizienz-Gewinn, wenn man sie an sogenannten „Energiespar-Anlagen“ mit reduzierter Spannung betreibt.
- Im Gegensatz hierzu erfahren Systeme mit dimmbaren EVG beim Dimmen einen Verlust an Effizienz.
- Wenn man nicht aufpasst, zehrt der Ruheverbrauch dimmbarer EVG den verbleibenden Rest des Sparpotentials auch noch auf.

1.1 Beispiel: Einsatz von LED

Die Darstellungen der Hersteller jedoch zeichnen ein ganz anderes Bild. Sie sind zwar vielfach als Fallstudien deklariert, stellen aber bestenfalls Anwendungs-Beispiele dar. Diese wimmeln von blumigen Ausdrucksweisen, enthalten aber nur äußerst spärliche konkrete Fakten. Zahlen sind die seltene Ausnahme. In einer Reihe von etwa 100 solcher „Fallstudien“ finden sich z. B. bei Philips ganze zwei, in denen ein Energie-Einsparpotential quantifiziert wird, und zwar von z. B. 75 % (Bild ❶) durch den Einsatz von LED-Lampen an Stelle von – ja, an Stelle von was denn? Das steht dort leider nicht. „75 % pro Gefrierschrank“ (in einem Lebensmittelmarkt), heißt es dort [2].

Also 150 % in zwei Gefrierschränken, in vieren schon 300 %? Der äußerst magere Einsatz von Zahlen scheint damit zusammen zu hängen, dass die Werbeagenturen mit blumigen Worten deutlich besser umgehen können als mit Zahlen (siehe Cartoon). Doch lesen wir dies einmal so, wie es natürlich auch gemeint ist, und nehmen für die Gesamtheit aller Gefrierschränke eine Einsparung von 75 % gegenüber „Irgendetwas“ an, dann bleibt die Frage offen, was denn vorher dort installiert war bzw. als Alternative zur Auswahl gestanden hätte. Die Physik lässt nur zwei Möglichkeiten zu:

- Entweder die Konkurrenten waren Glühlampen. Einen Gefrierschrank von innen mit Glühlampen zu beheizen wäre allerdings einem Verbrechen sehr nahe gekommen. Die heimische Kühltruhe sei hier ausgenommen, in der die Lampe nur brennt, solange die Tür offen steht – was nicht 10 Stunden am Tag der Fall sein sollte, so lange, wie die Ladentür dem Kunden offen steht.
- Oder man hat vorher um ein Vielfaches mehr Licht in dem Schrank gehabt als nötig. Diese Planung wäre dann genauso „daneben“ gewesen.

Mit Sicherheit sind LED aus heutiger Sicht bei Frosttemperaturen die beste Wahl, aber eine Vervielfachung der Effizienz gegenüber Leuchtstofflampen ist selbst bei Minusgraden, wo diese ihre Schwächen zeigen, absurd.

Das war es dann aber auch schon mit quantitativen Angaben. Im weiteren Verlauf sind die Fallstudien mit Ausdrücken gefüllt wie:

- „Die Büroleuchten … reduzieren den Energieverbrauch im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen um mehr als 50 %.“
- Entsprechend „…wird die Beleuchtungslösung von einem LightMaster Modular-System geregelt, wodurch Energieeinsparungen von über 65 % möglich werden.“ [3]
- „Im Vergleich zu herkömmlichen Beleuchtungssystemen verbraucht die neue Installation 57 % weniger Energie.“ [4]
- „Die neuen, effizienten Einbauleuchten… sparen…viel Energie, da ein Bewegungsmelder und eine Tageslicht abhängige Steuerung integriert sind.“ [5]

Doch wie viel ist „viel“? Welches Beleuchtungssystem ist „herkömmlich“? Solche Aussagen dürften für den Lichtplaner nur in sehr begrenztem Umfang hilfreich sein. Gebraucht würden konkrete Vergleiche in Form von Zahlen und Fakten.

1.2 Leuchtstofflampen, Dimmbetrieb, Vorschaltgeräte

Dimmbetrieb von Leuchtstofflampen an EVG ist und bleibt Kathoden-Dauerheizbetrieb.

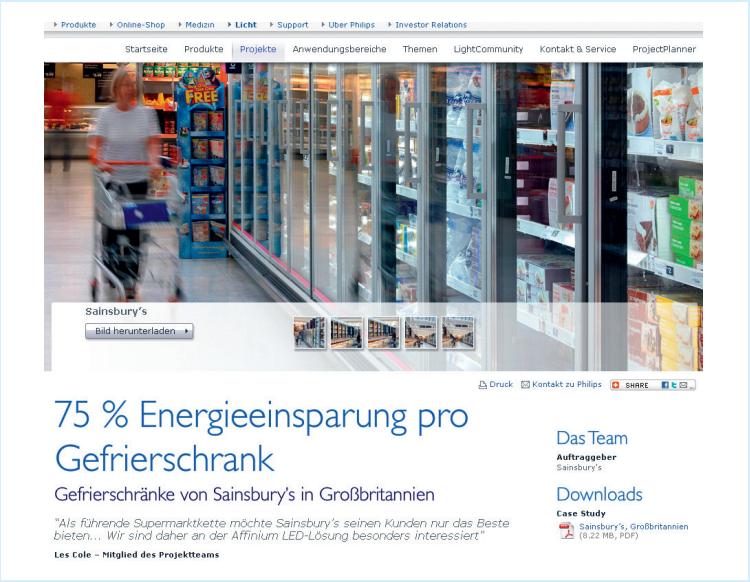
Die Stellung „Licht aus“, in der „nur“ noch der Bereitschafts-Verbrauch des EVG verbleibt, ist technisch nicht identisch mit der „Dimmstufe 0“, in der zwar praktisch kein Licht mehr erzeugt, aber weiter geheizt wird. Dies wird jedoch leicht miteinander verwechselt. Das Licht ist schließlich allemal aus.

Sofern nur der Tageslicht-Sensor auf diese Art regelnd auf das EVG einwirkt, ansonsten aber dafür Sorge getragen wird, dass z. B. in einem Büro nach Feierabend und am Wochenende die Beleuchtung anderweitig „richtig“ abgeschaltet wird, ist das noch nicht so tragisch.

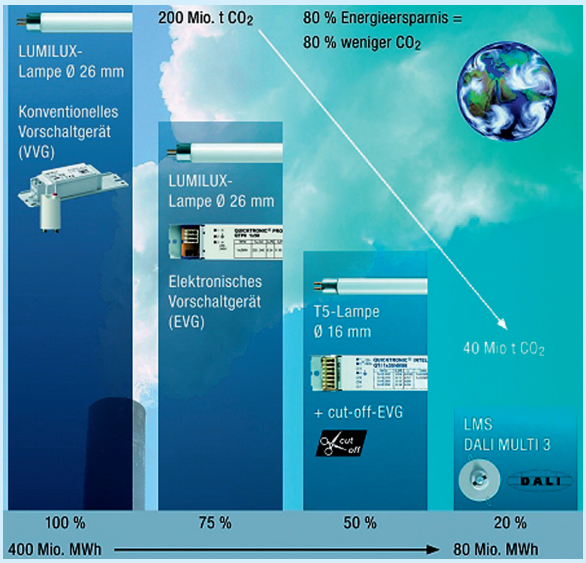
Die Versorgungsspannung z. B. über Zeitschaltuhren komplett abzuschalten hat sich allerdings nicht bewährt. Schließlich kommen später noch die Reinigungskräfte, wobei niemand so genau weiß, wie spät, und irgendjemand arbeitet doch einmal noch länger oder am Samstag – meist der Chef selbst. Wenn dann das Licht ausgeht, gibt es Ärger, und das passiert nur ein Mal. Der Hausmeister, der sich den Ärger anhören muss, aber andererseits die Stromrechnung nicht bezahlt, wird die Zeitschaltuhr umgehend deaktivieren – und hat fortan seine Ruhe. So verbleiben die Leuchten dauerhaft in „Dimmstufe 0“, wann immer das Licht „aus“ ist.

Umgang mit Zahlen ist Glückssache, und viele Werbestrategen sind diesbezüglich Pechvögel – nicht nur in Pisa Quelle: *Uli Stein*/Catprint Media

Autor
Dipl.-Ing. *Stefan Fassbinder* ist Berater für elektrotechnische Anlagen beim Deutschen Kupferinstitut (DKI), Düsseldorf.



❶ Szenario Philips: 75 % Sparpotential durch Einsatz von LED-Lampen statt …? Quelle: [2]



❷ Szenario Osram: 80 % Sparpotential durch Einsatz dimmbarer T5-Lampen – gegenüber KVG oder gegenüber VVG? Quelle: [8]

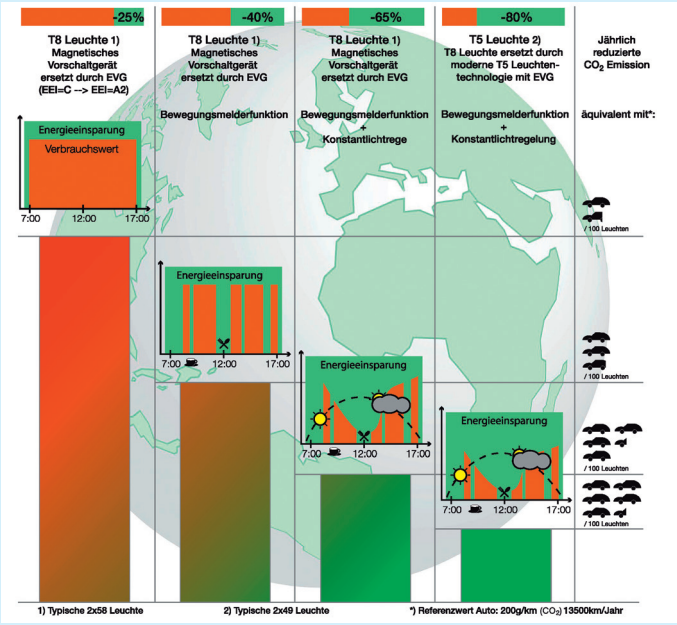
Dies sabotiert die zu Grunde liegenden Bemühungen um die Energie-Einsparung und die bei der Planung durchgeführten Amortisationsrechnungen. In löblichen Ausnahmen werden diese Umstände im Vorhinein berücksichtigt und die Anlage entsprechend installiert, sodass dem Betreiber nicht nachts „durch das Netz geht", was er am Tage eingespart hat [6]. Das ist etwa dann der Fall, wenn ein Helligkeitssensor und ein Präsenzmelder zwar zusammen am „Projekt Dimmung" arbeiten, aber nur der Helligkeitssensor wirklich dimmt, der Präsenzmelder hingegen das Signal „Lampe abschalten" (einschließlich Kathodenheizung) abgibt.
Danach verbleibt lediglich der Leerlauf-Verbrauch des EVG, der laut EU-Verordnung 1 W, ab 2012 nur noch 0,5 W, nicht überschreiten darf [7], was den Schaden begrenzt.

1.3 Probleme bei der Nachrüstung

Als Nach-Installation wird zudem jeder Sensor und jeder Aktuator eines solchen Überwachungssystems seine eigene Stromversorgung aus dem Netz benötigen. Der Netto-Gleichstrombedarf eines jeden solchen Geräts mag nur einige wenige Milliwatt betragen, doch wird jeweils ein Netzgerät einschließlich Netztransformator benötigt.
Die kleinsten wirtschaftlich herstellbaren Transformatoren haben jedoch eine Nennleistung um 1 VA, und deren Leerlauf-Verlustleistung liegt üblicherweise um 1 W. Der Last-Verlust ist bei solch niedriger Auslastung vernachlässigbar – doch bildet die Vielzahl solcher Netzgeräte den Haupt-Bestandteil dieses Bereitschafts-Verbrauchs der gesamten Beleuchtungs-Anlage.
Der Leerlauf-Verbrauch ließe sich durch Optimierung des Transformators auf einen Bruchteil senken, aber das könnte den Trafo um bis zu einen Euro verteuern. Der Leerlauf-Verbrauch ließe sich fast auf 0 bringen, wenn entsprechende elektronische Wandler statt diskreter Netztransformatoren eingesetzt würden, aber auch hier klappt das mit der optimierten Auslegung nur in seltenen Ausnahmefällen. Der Preis dominiert hier wieder einmal die Kosten.
Fortschrittliche Steuerungssysteme, deren Nach-Installation sich einfach und nicht zu teuer gestaltet, wenn die Leitungen oder zumindest entsprechende Leerrohre während der Bauphase bereits vorgesehen wurden, arbeiten mit einem einzigen, zentral angeordneten Netzgerät und einer gemeinsamen Leitung für die Signale und die Gleichstrom-Verteilung. Die Technik der **zentralen Gleichstrom-Versorgung**, wie sie zur Zeit z. B. für Rechenzentren angedacht, genormt und zum Teil auch schon eingesetzt wird, brächte in der Beleuchtungstechnik sogar das Potential einer Senkung des Leerlauf-Verbrauchs auf einen Bruchteil mit sich.
Der fortwährende Strom-Bedarf auch zu Zeiten ohne Licht-Bedarf bleibt aber prinzipiell immer erhalten. Daher muss in jedem einzelnen Fall beurteilt werden, ob nicht der Einsatz fortschrittlicher VVG zusammen mit einer weniger komplizierten Spartechnik, die beispielsweise die gesamte Beleuchtung oder einzelne Gruppen von Leuchten ganz abschaltet, vielleicht die sowohl billigere als auch sparsamere Variante darstellt.

1.4 Anspruch durch EVG: 25 % Sparpotential

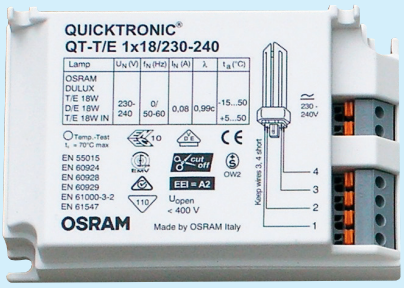
Dessen ungeachtet zeichnet die Werbung, wie nach Bild ❷, stets ein Szenario, in dem schon der Übergang, so wörtlich, vom „konventionellen Vorschaltgerät (VVG)" auf ein EVG bei einer T8-Lampe 25 % Ersparnis bringen soll. Der Unterschied zwischen dem „konventionellen Vorschaltgerät" (KVG) und dem verbesserten „verlustarmen Vorschaltgerät" (VVG) wird hier also wieder einmal verwischt. Welches System hier womit verglichen wurde, bleibt also unklar.
Wenn man annimmt, es handle sich um eine 58-W-Lampe, die hier auf das beste verfügbare EVG der Klasse A2 umgestellt wurde, ergibt sich eine höchstzulässige Systemleistung von 55 W. Dann muss das angebliche „VVG"-System, dem gegenüber eine Einsparung von 25 % erreicht worden sein soll, mehr als 73 W aufgenommen haben. Dies entspricht einem Uralt-KVG, das schon 1986 aus einem Schrottbehälter geborgen und schon vor einiger Zeit einmal (mit einer aktuellen T8-Lampe) gemessen wurde [10]. Dabei stellten wir jedoch einen Lichtstrom von 5300 lm fest, während es dieselbe Lampe mit einem EVG nur auf 4700 lm bringt, doch auch dieser Unterschied fällt bei Osram unter den Tisch.
Bei Helvar erreicht man allein durch den Ersatz eines KVG Klasse C durch EVG Klasse A2 schon eine Einsparung von 25 % (Bild ❸). Dabei muss man lobend hervorheben: Die Effizienzklassen werden angegeben und also dargelegt, was womit verglichen wird. Hier wird das beste EVG ausnahmsweise nicht mit dem schlechtestmöglichen, sondern „nur" mit dem zweitschlechtesten KVG verglichen – das immerhin bis 2004 noch verkauft werden durfte! Dennoch wird ein „aktuelles" EVG-System mit einem „ausgelaufenen" VVG-System verglichen – und dabei auch noch ein beliebter, an anderer Stelle z. B. auch bei Osram angewendeter Trick der Prozentrechnung genutzt:

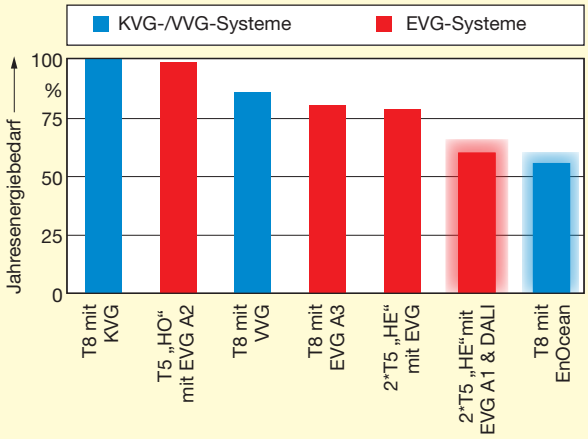


❸ Szenario Helvar: 80 % Sparpotential durch Einsatz dimmbarer T5-Lampen

Quelle: [9]

❹ Ein zwingender System-Bestandteil seit der Steinzeit der Leuchtstofflampen wird beim EVG auf einmal zur Sonder-Ausstattung: „Cut-Off“-Technik





❺ So sähen die Aussagen in der Werbung aus, wären sie auf Fakten gegründet

(mit „Korona“: Elektronisch gesteuerte und geregelte Systeme)

Die Leistungs-Aufnahmen von Klasse C zu Klasse A2 verhalten sich ungefähr wie 5:4. Von „oben nach unten blickend“, wie hier geschehen, benötigt das elektronische System also noch 80 % der Leistung – 20 % weniger. Nur wenn man von „unten nach oben“, von der 4 zur 5, blickt, ergeben sich 25 % mehr. So steht es dort zwar nicht, aber trotzdem kommt man erstaunlicherweise auf „25 % Einsparung“, was schlichtweg falsch ist.

1.5 Anspruch durch T5-Lampen: 50 % Sparpotential

Der Übergang auf eine T5-Lampe soll sogar ein Sparpotential von 50 % erschließen (Bild ❷). Es kann sich hier also nur um eine 35-W-HE-Lampe handeln, deren Leistungs-Aufnahme mit EVG in Klasse A2 bei 39 W liegt. Dieses System bringt es aber nur noch auf 3300 lm – was wiederum keiner Erwähnung wert erscheint. Indem man eine 100-W-Glühlampe durch eine 25-W-Glühlampe ersetzt, kann man sogar 75 % Energie sparen.

Zusätzlich wird hier der „cut-off“-Effekt ins Feld geführt. Dies bedeutet, dass die Kathoden-Vorheizung nach erfolgreicher Zündung der Lampe abgeschaltet wird, was die Lampe schont und natürlich zusätzlich Energie einspart. Es verwundert aber ein wenig, dass dies ein besonderes Leistungsmerkmal nur jener EVG sein soll, die ausdrücklich entsprechend ausgewiesen sind (Bild ❹). Der Ausdruck „Vorheizung“ legt doch wohl eher nahe, wie normal es eigentlich ist, dass diese sich **nach** dem Start, wenn sie ihre Pflicht und Schuldigkeit getan hat, zur Ruhe setzen darf und dies auch tun sollte.

In der Tat brachten und bringen das KVG und das VVG diesen Effekt systembedingt schon immer mit sich. Anders geht es gar nicht.

Erst beim EVG wird diese bisherige Selbstverständlichkeit zum erwähnenswerten und hoffentlich verkaufsfördernden Extra – und wird folgerichtig auch nur dort als „Systemvorteil“ genannt.

1.6 Anspruch durch Dimmtechnik: 80 % Sparpotential

Die Einführung der Dimmtechnik schließlich soll es auf 80 % Energie-Einsparung bringen – ohne jegliche Hinweise auf Begleit-Umstände oder Angabe von Annahmen, unter denen hier „gerechnet“ wurde (Bild ❸). Eine Stadtverwaltung aus Österreich erhielt auf eine entsprechende Anfrage die Auskunft, dass „dieses Problem ein Fall für den jeweiligen Leuchtenhersteller ist und nicht in erster Linie für den Leuchtmittelproduzenten.“ Wenn also eine Leuchte für T5-Lampen einen Wirkungsgrad von mindestens 100 %, eine Leuchte für T8-Lampen aber höchstens 25 % hat, wird diese Argumentation schlüssig? Eher nicht. Eine Vielzahl anderer Fragesteller warten bis heute auf eine Antwort.

Der Vergleich mit den genannten früheren Messungen zeichnet zudem ein Bild, das mit den Ansprüchen der Werbung keinerlei Ähnlichkeit mehr erkennen lässt (Bild ❺). Dabei musste für das System mit dem noch für 220 V bemessenen KVG der bei 230 V gemessene Wert eingesetzt werden – was schließlich realistisch ist, denn das Netz hat heute eine Nennspannung von 230 V. Die Leistungs-Aufnahme des Systems steigt hierdurch überproportional auf 80 W an, ohne dass man Entsprechendes bei der Helligkeit beobachten könnte, und zieht die Lichtausbeute auf diese Art noch ein Stück weiter nach unten. Nur so konnte die ohnehin miserable Effizienz des KVG-Systems noch einmal so weit verschlechtert werden, dass noch ein hauchdünner Vorteil für das T5HO-System dabei heraus sprang, sonst wäre das „Sparpotential“ der T5HO-Lampe gegenüber dem antiken System von etwa 1965 negativ geworden, und das hätte doch zu hässlich ausgesehen.

2 Messungen

Im Einzelnen sind die Messwerte und daraus abgeleiteten Berechnungen in Tafel ❶ wiedergegeben. Hierbei wurde von den an real existierenden Leuchtmitteln und Betriebsgeräten gemessenen Werten ausgegangen. Betrachtet wurde hierzu als Beispiel ein Büroraum, bei dem

- für 1000 h/a das Licht mit voller Helligkeit brennt;
- für 1000 h/a die halbe Helligkeit genügt, wofür die VVG-Leuchten durch einen Spannungs-Absenker auf 64 % reduziert werden, also gegenüber den auf 50 % gedimmten EVG-Systemen mehr Licht produzieren als nötig;

- für 1000 h/a kein künstliches Licht benötigt wird, die automatische Dimmung also auf den Mindestwert von 2 % des Höchstwertes herab dimmt, wobei aber auf Grund durchgehender Kathodenheizung die Leistungs-Aufnahme immer noch bei 14 % des Höchstwertes liegt und
- für den Rest des Jahres vom Präsenzmelder Abwesenheit erkannt wird. Die Lampen werden dann ganz abgeschaltet, und der Bereitschafts-Verbrauch der EVG fällt auf den ab 2012 nur noch zulässigen Maximalwert von 0,5 W.

Bei dem VVG-System sind die entsprechenden Zustände für „ganz herunter gedimmt“ und „Licht aus“ identisch und entsprechen beide der vollständigen Trennung vom Netz. Da auch die Steuerungstechnik Marke EnOcean keine Energie aus dem Netz bezieht [11], ist die Leistungs-Aufnahme hier gleich Null. Dabei waren diese Prüfanordnungen mit elektronischen Startern ausgerüstet [12] – wie es auch in der Praxis der Fall sein sollte, denn nur hiermit wird das herkömmliche magnetische System „salonfähig“:

- Die Lebensdauer der Lampen ist – auch bei häufigem Schalten – ähnlich lang wie am Warmstart-EVG.
- Das lästige mehrfache Blitzen und Blinken der Lampen wird vermieden, das bei Verwendung herkömmlicher Starter unter Umständen, etwa bei Aprilwetter, mehrmals täglich neben den Lampen auch die Nerven der Beschäftigten strapazieren könnte.

3 Auswertung

4 solcher VVG-Systeme 58 W erzeugen den gleichen Lichtstrom wie 3 solcher EVG-Systeme 2 x 35 W, also mit insgesamt 6 Lampen zu je 35 W gegenüber 4 Lampen zu je 58 W. So wird ein direkter Vergleich der Systeme möglich. Notwendig ist dazu nur die Bestimmung der insgesamt erzeugten Lichtmenge in Lumenstunden. Während elektrische Leistung in Watt und Lichtleistung in Lumen gemessen wird, misst man elektrische Energie in Kilowattstunden.

Analog muss also die durch die jeweilige Anzahl Kilowattstunden während der Betriebszeiten in den verschiedenen Betriebszuständen erzeugte Lichtenergie in „Kilolumenstunden“ oder „Megalumenstunden“ erfasst und addiert werden. Genau dies ist in Tafel 1 geschehen.

Die ernüchternde Bilanz ist, dass vom Energiespar-Vorteil der Dimmtechnik nicht viel übrig bleibt, sondern – ganz im Gegenteil – bei Einsatz einer entsprechenden, von Tageslicht und Anwesenheit abhängigen Steuerung die VVG-Systeme bei gleicher installierter Gesamt-Lichtleistung mehr Licht erzeugen und dazu sogar etwas weniger elektrische Energie verbrauchen. Ihre Effizienz ist damit im Jahresdurchschnitt besser. Dies ist den Umständen zu danken, dass

- der Effizienz-Vorteil auch der T5HE-Lampen nur marginal ist,
- der Wirkungsgrad-Vorteil von EVG, anders als man denkt, ähnlich mager ist,
- die Lichtausbeute dimmbarer Systeme sich beim Dimmen verschlechtert, wobei
- auch in der unteren Anschlag-Stellung noch ein erheblicher „Leerlauf“-Verbrauch von im vorliegenden Fall 14 % verbleibt und
- selbst bei „abgeschalteter“ Beleuchtung die EVG ständig in Betrieb bleiben müssen, was im durchschnittlichen Büro-Alltag zwar nur einen sehr geringfügigen Anteil an der Leistung, aber schon einen merklichen an der Energie ausmacht.

Schließlich böte es auch einen erheblichen Zugewinn an Komfort, abends das Auto gleich mit laufendem Motor abzustellen, denn ein moderner Dieselmotor benötigt im Leerlauf nur noch gut 0,3 Liter Kraftstoff in der Stunde – scheinbar nicht der Rede wert; kaum mehr als 1 % des Werts bei Höchstgeschwindigkeit, und das Auto wäre am Morgen gleich warm, nach einer Winternacht im Freien noch nicht einmal zugefroren. Aber kein Mensch tut das, weil an der Zapfsäule allzu bald schmerzhaft spürbar würde, dass eine Nacht Leerlauf etwa einer anschließenden 40 km weiten Fahrt zur Arbeitsstelle und wieder zurück entspräche und so den durchschnittlichen Verbrauch glatt verdoppeln würde!

4 „Echte“ Fallstudien

Natürlich gibt es auch Fallstudien, die diesen Namen verdienen. Diese funktionieren aber alle samt nach dem gleichen Muster wie jene, die bei der Firma Thyssen-Krupp durch die Smartlux Lichtsteuerung durchgeführt und von der Deutschen Energieagentur (dena) dokumentiert wurde. [13]

Sage und schreibe 68 % Energie-Einsparung wurden hier durch die Renovierung einer Beleuchtungs-Anlage erzielt – auf den ersten Blick anscheinend durch den Ersatz veralteter magnetischer Vorschaltgeräte durch moderne elektronische. Das ist natürlich ein beachtlicher Erfolg. Wenn man sich jedoch die beschriebenen Maßnahmen ansieht, so sieht man, dass

- 152 Quecksilberdampflampen zu je 700 W durch
- 72 Natriumdampf-Hochdrucklampen zu je 400 W und
- 72 Natriumdampflampen zu je 250 W

ersetzt wurden. Das macht für sich allein schon 56 % Einsparung aus.

Die weiteren Maßnahmen,

- Ersatz alter Tiefstrahler durch Hallenspiegelleuchten,
- Einsatz chipbasierter elektronischer Vorschaltgeräte für Hochdruckleuchtmittel,
- Tageslicht abhängiges automatisches Dimmen der Leuchten und
- Computer gesteuerte Anpassung der Beleuchtung an wechselnde Anforderungen im Betrieb

zeichnen also nur für die restlichen 12 % verantwortlich. Wenn aber die EVG samt aller installierter Computer-Steuerung gegenüber einer durchgehend brennenden Beleuchtungs-Anlage nur 12 % einsparen, dann stimmt etwas nicht. Wahrscheinlich hat die ganze Elektronik einen zu hohen Eigenbedarf – eben gerade auch dann, wenn das Licht aus ist. Die verbliebenen 12 % ließen sich aber auch mit Fug und Recht dem „Ersatz alter Tiefstrahler durch Hallenspiegelleuchten“ zuschreiben. Dann blieben für die Elektronik alles in allem nur noch 0 % „Ersparnis“ übrig.

Tafel 1 Ein VVG-System mit von Tageslicht und Präsenz gesteuerter Komplett-Abschaltung ist einem EVG-System mit entsprechend gesteuerter Dimmung energetisch überlegen

Die Lampen brennen während	Signal	Elektrische und Lichtleistung, Lichtausbeute						Elektrische Energie, Lichtenergie je Jahr			
		4 x VVG 58 W			3 x EVG 2x35 W			4 x VVG 58 W T8 B1		3 x EVG 2x35 W T5 A1	
1000 h/a mit voller Helligkeit	Tageslicht	245,7 W	19,8 klm	81 lm/W	223,1 W	19,8 klm	89 lm/W	245,7 kWh	19,8 Mlmh	223,1 kWh	19,8 Mlmh
1000 h/a mit 50 %/64 % (EVG/VVG)	Tageslicht	141,7 W	12,6 klm	89 lm/W	127,5 W	10,1 klm	79 lm/W	141,7 kWh	12,6 Mlmh	127,5 kWh	10,1 Mlmh
1000 h/a mit 2 %/0 % (EVG/VVG)	Tageslicht	0 W	0 klm	–	32,2 W	0,4 klm	12 lm/W	0 kWh	0 Mlmh	32,2 kWh	0,4 Mlmh
5760 h/a gar nicht – Signal „Aus“	Präsenz	0 W	0 klm	–	1,5 W	0 klm	0 lm/W	0 kWh	0 Mlmh	8,6 kWh	0 Mlmh
Bilanz →		Jahressummen →						387,4 kWh	32,4 Mlmh	391,4 kWh	30,3 Mlmh
		Mittlere Jahres-Lichtausbeute →						83,7 lm/W		77,3 lm/W	

Wie die Firma Smartlux auf Anfrage mitteilte, hat allerdings auch zuvor schon eine zeitabhängige Steuerung bestanden. Dies erklärt jedoch noch nicht das derart magere Abschneiden der Elektronik. Mit einer einfacheren Steuerung und verbesserten magnetischen Vorschaltgeräten, z. B. mit kornorientiertem Blech von der Firma Thyssen-Krupp – die sich im Übrigen mit dieser Fallstudie so, wie sie dort steht, unbemerkt ins eigene Fleisch geschnitten hat – hätte die Gesamt-Bilanz wahrscheinlich die 70 % überschritten. Ob die Regelung von Lampen, die naturgemaß mehrere Minuten Anlaufzeit brauchen, sich bewährt hat, ist nicht bekannt. Wie schnell wechseln denn die „wechselnden Anforderungen im Betrieb"? Auch mussten als EVG Sonder-Anfertigungen der Firma Smartlux eingesetzt werden, da am Markt EVG für Entladungslampen generell nur bis 150 W angeboten werden – logisch, wenn die Vorteile sich so schwierig finden lassen.
Das kommt dabei heraus, wenn man die den Fallstudien zu Grunde liegenden Daten und Fakten offen legt: Die Studie wird, gelinde gesagt, angreifbar. Eine Ersparnis entsteht stets durch die Renovierung einer veralteten Beleuchtung, aber nicht durch die hiermit wie selbstverständlich einher gehende Umrüstung auf EVG und ggf. Dimmung.
Warum nur merkt das niemand?

5 Bilanz

Nun, Strom kauft man blind und bezahlt meist nur ein Mal im Jahr, bestenfalls ein Mal im Monat, ohne eine Ahnung, wann man wofür wie viel verbraucht hat. In dieser Situation ist man auf halbwegs richtige Angaben der Eckwerte von Geräte-Herstellern und Anlagenplanern angewiesen. Ist dies nicht gegeben, merkt es kein Mensch – bis man nachmisst. Dabei sei zu den Messungen an den Leuchtstofflampen nochmals darauf hingewiesen, dass hier ganz bewusst nicht das bestmögliche VVG-System mit dem schlechtesten denkbaren EVG-System verglichen wurde, wie dies umgekehrt im Falle der EVG-Werbung durchgehend üblich und auch notwendig ist, um überhaupt noch einen nennenswerten Vorteil für das EVG heraus zu arbeiten.
Vielmehr wurde hier nicht nur nach Nennwerten und Katalogdaten das effizienteste verfügbare EVG-Dimmsystem als Beispiel heran gezogen, sondern zudem wurden auch noch

- die Nutzungszeiten eines Büros aufgerundet – in entsprechenden Ökobilanz-Untersuchungen der EU werden für ein durchschnittliches europäisches Büro deutlich weniger als 3000 Nutzungsstunden im Jahr (also entsprechend auch noch mehr Stand-by-Stunden) eingesetzt [14],
- von einem hervorragenden EVG stammende Messwerte verwendet, das bei 25 % Lampen-Helligkeit „nur" 35 % der vollen Leistung aufnahm, statt „der Einfachheit halber" die Mindestforderung der Norm von 50 % der vollen Leistung bei 25 % Lampen-Helligkeit einzusetzen;
- die Messung an der T5-Lampe bei einer Umgebungstemperatur von 35 °C durchgeführt, auf welche die T5-Lampen aus guten Gründen optimiert sind, während die Norm historisch bedingt 25 °C vorschreibt.

Sollte also jemand die Absicht hegen, das EVG – oder zumindest seine dimmbare Ausführung – bewusst schlecht zu reden, könnten und sollten diese „Schlupflöcher" noch ausgenutzt werden. In einer Darstellung von Tatsachen, die lediglich einige Werbe-Aussagen ins rechte Licht rücken möchte, ist dies nicht erforderlich und auch nicht angebracht, denn selbstverständlich leisten dimmbare EVG Dinge, die herkömmliche 50-Hz-Technik nicht zu bieten in der Lage ist.
Wie gesagt, nahmen sich alle alten Dimmtechniken, die es vor der Erfindung des EVG einmal gegeben hat, doch sehr wie ein Behelf aus, und manchmal benötigt man eben, wie z. B. in Konferenzräumen, die Möglichkeit einer sehr weit reichenden Abdunkelung. Selbstverständlich bietet es auch mehr Komfort und strahlt eher einen Hauch von Luxus aus, wenn die künstliche Beleuchtung kontinuierlich, ja meist unbemerkt, zurück geht, sobald das Tageslicht zunimmt, als wenn sich das Licht abrupt aus- oder einschaltet.
Wer jedoch meint, mit dem Luxus gleichzeitig mehr Energie-Effizienz einkaufen zu können als mit VVG, elektronischen Startern und einer Spannungs-Absenkung, hat sich von irgendeinem Großkonzern einen Eisbären aufbinden lassen – einem so genannten „Global Player". Die tun nichts, die wollen nur spielen.

Literatur

[1] Fassbinder, S.: „Lichtstrombestimmungen an Leuchtstofflampen." Elektropraktiker Berlin 63 (2009) 5, S. 404.
[2] www.lighting.philips.de/projects/sainsburys.wpd, vom 18.07.2011.
[3] www.lighting.philips.de/projects/actiu.wpd
[4] www.lighting.philips.de/projects/homes.wpd
[5] www.lighting.philips.de/projects/hamburger_hochbahn.wpd
[6] Fassbinder, S.: „Abgemagert, aber mit Bus". Bulletin SEV/AES 13/2008, S. 9.
[7] Amtsblatt Nr. 245/2009 der Europäischen Union.
[8] www.osram.de/osram_de/Professionals/EVG/ index.html, vom 14.07.2011.
[9] Broschüre „Helvars Umweltbemühungen" (bereits aus dem Jahr 2008), Download unter www.helvar.com, gleich links auf der Startseite unter „Energiesparen".
[10] Fassbinder, S.: „VVG-Vorschaltgeräte in der Beleuchtungstechnik." Elektropraktiker 59 (2005) 4, S. 284.
[11] www.enocean-alliance.org
[12] www.palmstep.com
[13] www.energieeffizienz-im-service.de/rechenzentren/dena-referenzprojekte.html ?tx_sbpro-ref_pi1[showUid]=37
[14] www.eup4light.net/assets/pdffiles/Final/VI-TOEuPOfficeLightingFinal.pdf

Copyright, Deutsches Kupferinstitut Berufsverband, 2014

Cu

Deutsches
Kupferinstitut
Copper Alliance

Deutsches Kupferinstitut
Berufsverband e.V.
Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf
Deutschland

Telefon 0211 47963-00
Telefax 0211 47963-10

info@copperalliance.de
www.kupferinstitut.de