

# Energie sparen bei öffentlichen Beleuchtungsanlagen : neue technische Lösungen erlauben eine optimale Beleuchtung bei rationellem Energieeinsatz

Autor(en): **Fischer, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **85 (1994)**

Heft 11

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-902572>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Auf der Suche nach Energieeinsparmöglichkeiten bei der öffentlichen Beleuchtung darf man ihre Hauptaufgabe nicht ausser acht lassen: sie soll die allgemeine Sicherheit erhöhen – dazu gehört unter anderem die Förderung der Verkehrssicherheit – und der Bevölkerung ein angenehmes Leben auch nach Einbruch der Dämmerung ermöglichen. Wenngleich die eingesetzten Lampen heute schon sehr sparsam sind, so ist das Sparpotential doch bei weitem noch nicht erschöpft. Neue technische Lösungen, welche die geltenden Richtlinien auch unter Berücksichtigung der sicherheitsrelevanten Daten erfüllen, ermöglichen enorme Energieeinsparungen. Auf eine unvernünftige Einschränkung der Betriebsdauer der öffentlichen Beleuchtung kann hingegen verzichtet werden.

# Energie sparen bei öffentlichen Beleuchtungsanlagen

**Neue technische Lösungen erlauben eine optimale Beleuchtung bei rationellem Energieeinsatz**

■ Martin Fischer

Die öffentliche Beleuchtung erfüllt wichtige Funktionen im öffentlichen Leben. Dazu gehören die Förderung von Sicherheit und Wohlbefinden der Bevölkerung, ein flüssiger Verkehrsablauf sowie die Ermöglichung verschiedenster Aktivitäten auch bei Dämmerung und in der Nacht. Will man diese Aufgaben mit einem minimalen Energieaufwand erfüllen, so ergibt sich die Forderung, die Beleuchtungsstärke überall und laufend den jeweiligen Erfordernissen möglichst gut anzupassen. Eine solche optimierte Beleuchtung ist aber nur möglich, wenn sich der Lichtstrom der installierten Leuchtkörper nach Bedarf und energieeffizient regeln lässt. Aufgrund der elektrischen Charakteristiken der heute verwendeten Lampentypen stellt die Regelung des Lichtstromes der Lampen spezielle Anforderungen an die Steuer- und Regeltechnik. Verschiedene Methoden sind hierzu bereits im Einsatz. Eine besonders energieeffiziente Beleuchtung wird aber erst durch die neuesten Entwicklungen ermöglicht. Im folgenden werden vor allem die heutigen technischen Lösungen bei der

Strassenbeleuchtung beschrieben; sie lassen sich aber auch bei anderen Beleuchtungsaufgaben wirksam einsetzen.

## Widersprüchliche Anforderungen an die Strassenbeleuchtung

### Die beleuchtungstechnischen Gesichtspunkte

Was oben für die öffentliche Beleuchtung im allgemeinen gesagt wurde, gilt besonders auch für die Strassenbeleuchtung, die heute den grössten Teil der öffentlichen Aussenbeleuchtung ausmacht. Ihre drei wichtigsten Aufgaben sind die Erhöhung der Verkehrssicherheit, die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit (Kriminalität, ...) und die Förderung des Wohlbefindens aller Strassenbenutzer.

Die Sicherheit und das Wohlbefinden werden durch verschiedene lichttechnische Faktoren beeinflusst. Dazu gehören: das Leuchtdichteniveau (wie hell soll eine Strasse beleuchtet werden?), die Gleichmässigkeit der Leuchtdichteverteilung, die Blendungsbegrenzung und die optische Führung des Verkehrs. Nicht immer und überall werden diese Anforderungen optimal erfüllt (Bild 1). Da der Erfüllungsgrad dieser Eigenschaften jedoch über die Qua-

Adresse des Autors:  
Martin Fischer, El.-Ing. HTL, Eymann AG,  
3072 Ostermundigen.

lität der Strassenbeleuchtung entscheidet, werden sie im folgenden noch etwas genauer beschrieben:

**Leuchtdichteniveau:** Die notwendige Helligkeit der Strassenbeleuchtung ist abhängig vom Verkehrsaufkommen. Je mehr Verkehr auf der Strasse rollt, um so mehr wird der Fahrer abgelenkt und übersieht zu schwach beleuchtete Gegenstände. Zudem ist der Helligkeitsbedarf auch von der Verkehrsgeschwindigkeit abhängig. Damit dem Strassenbenützer eine bestimmte Sichtdistanz [Distanz = (Reaktionszeit + Aktionszeit) × Geschwindigkeit] gewährt werden kann, muss eine Schnellstrasse mit hoher Verkehrsgeschwindigkeit viel heller beleuchtet werden als eine schmale Quartierstrasse.

**Gleichmässigkeit:** Bei ungleichmässiger Beleuchtung wird das Auge des Fahrers durch die vielen Hell-Dunkel-Übergänge unnötig strapaziert, was zu Ermüdungerscheinungen führt. Zudem fühlt sich auch der Fussgänger in einer solchen Umgebung unwohl.

**Blendungsbegrenzung:** Mit Hilfe eines guten Reflektors und Blendschutzes ist es möglich, einerseits das Licht auf die gewünschten Flächen zu bringen, andererseits eine Blendung des Fahrers zu verhindern. Direkte Lichtstrahlen in das Auge verursachen eine Verengung der Irisöffnung, was zu einer Abnahme des Kontrastempfindens führt.

**Optische Führung:** Durch geeignete Anordnung der Leuchten wird der Strassenbenützer einfacher entlang seines Weges ge-

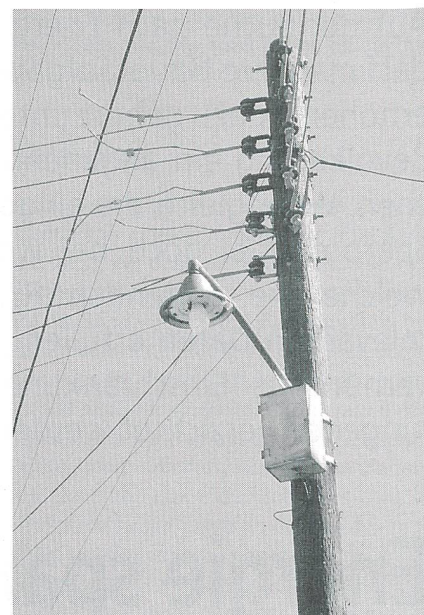


Bild 1 Strassenbeleuchtung aus früheren Zeiten

Auch bei vielen neueren Beleuchtungsanlagen lässt sich die Lichtausbeute noch stark verbessern

### Lichttechnische Grössen und Einheiten

#### Lichtstrom $\Phi$

Der Lichtstrom  $\Phi$  ist die von der totalen Strahlungsleistung (gemessen in Watt) einer Lichtquelle abgeleitete photometrische Grösse, wobei die Strahlung entsprechend ihrer Wirkung auf den sogenannten photometrischen Normalbeobachter CIE bewertet wird. (Für die photometrische Grösse zählt nur die Strahlungsleistung im für das menschliche Auge sichtbaren Wellenlängenbereich und wird daher mit der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges gewichtet.) Die Masseinheit für  $\Phi$  ist das Lumen (lm). Aufgrund internationaler Festlegungen entspricht für Licht der Wellenlänge von 555 nm eine Strahlungsleistung von 1 W bei Tagessehen ein Lichtstrom von 683 lm. Bei anderen Wellenlängen und bei Nachtsehen gelten andere Umrechnungsfaktoren zwischen der Strahlungsleistung, gemessen in Watt, und dem photometrischen Lichtstrom, gemessen in Lumen; sie können aus den standardisierten CIE-Hellempfindlichkeitskurven abgeleitet werden.

#### Lichtausbeute $\eta$

Die Lichtausbeute  $\eta$  einer Lichtquelle ist der Quotient aus dem abgestrahlten Lichtstrom  $\Phi$  und der zu seiner Erzeugung aufgewendeten Leistung  $P$ :  $\eta = \Phi/P$ . Sie wird gemessen in Lumen pro Watt (lm/W). Eine Lichtquelle für Licht der Wellenlänge von 555 nm müsste bei idealem Wirkungsgrad pro Watt einen Lichtstrom von 683 lm abgeben (vgl. effektive Lichtausbeuten verschiedener Lampentypen in Tabelle II).

#### Lichtstärke $I$

Da Lichtquellen ihren Lichtstrom normalerweise nicht über alle Richtungen gleichmässig verteilt aussenden, ist die Einführung der photometrischen Grösse der Lichtstärke notwendig. Die Lichtstärke  $I$  ist definiert als der Lichtstrom  $\Phi$  pro Steradian (sr) einer Lichtquelle in einer bestimmten Richtung. Die Masseinheit für  $I$  ist die Candela (cd), wobei gilt: 1 cd = 1 lm/sr. Da der volle Raumwinkel  $4\pi$  misst, beträgt die über den vollen Raumwinkel gemittelte Lichtstärke einer punktförmigen Lichtquelle  $I = \Phi/4\pi$ .

#### Beleuchtungsstärke $E$

Trifft ein Lichtstrom  $\Phi$  auf eine Fläche  $A$ , so beträgt die Beleuchtungsstärke  $E$  dieser Fläche  $E = \Phi/A$ . Die Masseinheit für  $E$  ist das Lux (lx), wobei 1 lx = 1 lm/m<sup>2</sup> gesetzt werden kann. Je nachdem welche optischen Eigenschaften diese Fläche besitzt, wird sie diesen Lichtstrom teilweise reflektieren oder streuen und sich als beleuchtete Fläche wieder wie eine Lichtquelle verhalten, welche wieder einen Lichtstrom  $\Phi_s < \Phi$  aussendet.

#### Leuchtdichte $L$

Die Leuchtdichte  $L$  einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche der Ausdehnung  $A$  (Lichtquelle oder Oberfläche eines beleuchteten Objektes) ist definiert als die Lichtstärke  $I$  pro Flächeneinheit der Projektion der Fläche  $A$  in der Beobachtungsrichtung:  $L = I/A \cdot \cos \epsilon$ , wobei für  $\epsilon$  der Winkel zwischen der Flächennormalen und der Richtung zum Beobachter eingesetzt wird. Die Masseinheit für  $L$  ist Candela pro Quadratmeter (cd/m<sup>2</sup>). Die Leuchtdichten aller Flächen im Gesichtsfeld bestimmen die Helligkeitsempfindung beim Sehen (welche mit der Beleuchtungsstärke der Netzhaut im Zusammenhang steht). Sie hängen in komplizierter Weise von Ort und Lichtstärke der Lichtquellen, von der Ausrichtung und den optischen Eigenschaften der von ihnen beleuchteten Objekte und vom Ort des Beobachters ab.

führt, wodurch er sich vermehrt auf sein näheres Umfeld konzentrieren kann.

#### Forderung nach effizientem Energieeinsatz

Neben diesen Faktoren wird jedoch je länger je mehr auch ein effizienter Energieeinsatz gefordert, das heisst die Beleuchtung soll mit einem minimalen Energieeinsatz sichergestellt werden. Die unterschiedlichen Anforderungen führen sehr oft zu Bedürfniskonflikten, wie in Bild 2 dargestellt ist.

In den letzten Jahren wurden auch die Gesetze entsprechend angepasst. So verlangt die Energienutzungsverordnung [1], dass die Betreiber von öffentlichen Beleuchtungsanlagen bis Januar 1997 Konzepte vorlegen, welche, unter Wahrung der Sicherheit der Bevölkerung, den rationellen Einsatz der Energie gewährleisten.

#### Wann lässt sich am sinnvollsten Energie sparen?

Wie sich *zeitlich*, durch Reduktion oder Abschalten der Beleuchtung am besten Energie sparen lässt, beantwortet die Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG) in ihren Leitsätzen [2]. In der 1987 erschienenen Ergänzung wird darauf hingewiesen, dass die sicherheitstechnisch erforderliche Leuchtdichte auch vom Verkehrsvolumen abhängig ist. Um Energie zu sparen, wird empfohlen, die Leuchtdichte auf die Hälfte zu reduzieren, sobald die Verkehrsbelastung einen gewissen Schwellwert (von beispielsweise 250 Fahrzeugen pro Stunde auf Hauptverkehrsstrassen) unterschreitet. Aus den Daten der au-

tomatischen Strassenverkehrszählung 1991 durch das Bundesamt für Strassenbau [3] geht hervor, dass die effektive Verkehrslichtdichte diese Schwellen – je nach Strasse – ab einem Zeitpunkt zwischen 21 und 23 Uhr unterschreitet, die ganze Nacht darunter verbleibt und sie erst wieder zwischen 5 und 7 Uhr überschreitet. Bei einer Reduktion der Beleuchtungsstärke dürfen die übrigen Merkmale der Beleuchtung jedoch nicht verschlechtert werden. Tabelle I zeigt am Beispiel eines verkehrsreichen Platzes und einer Hauptverkehrsstrasse die Zusammenhänge zwischen Verkehrsbelastung und empfohlenem Leuchtdichtenniveau.

Auch die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) empfiehlt in ihrem Handbuch für Gemeindebehörden [4] eine Absenkung während den Spätnachtstunden. Gleichzeitig wird jedoch empfohlen, auf eine verspätete Einschaltung in der Dämmerung zu verzichten, da sich gerade in dieser Zeit sehr viele Fussgänger und Radfahrer auf der Strasse befinden.

**Resultierendes Sparpotential**

Durch die konsequente Anwendung der genannten Richtlinien liessen sich in der Schweiz jährlich enorme Energiemengen einsparen. Die Bernischen Kraftwerke AG (BKW) errechneten in einer Studie ein Sparpotential für den Kanton Bern von bis zu 3 Mio. kWh/a, was bei einem gegenwärtigen Verbrauch von über 10 Mio. kWh/a etwa einer Ersparnis von 30% entspricht.

**Tabelle I Empfohlene Lichtreduktion in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung**

Verkehrssituation	Verkehrsbelastung (Anzahl Fz./h)	Benötigte Leuchtdichte (gem. SLG)	Längsgleichmässigkeit (1 = Max.)
Verkehrsreiche Plätze innerorts	≥ 250	4 cd/m <sup>2</sup>	0,7
	< 250	2 cd/m <sup>2</sup>	0,7
Hauptverkehrsstrassen	≥ 250	2 cd/m <sup>2</sup>	0,7
	< 250	1 cd/m <sup>2</sup>	0,7

Auf die ganze Schweiz hochgerechnet könnten somit rund 130 Mio. kWh/a eingespart werden.

**Energieeffizienz – auch eine Frage der Lampenwahl**

Die Frage, wie man bei der Beleuchtung Energie sparen kann, beantworten die Lampenhersteller mit einer Fülle verschiedener Lampentypen, welche die Lichtausbeute (d.h. den Quotienten aus Lichtstrom und elektrischer Leistung, gemessen in Lumen pro Watt) gegenüber der Glühlampe um das bis zu Zehnfache verbessern. Neben der Lichtausbeute sind aber auch Faktoren wie Farbwiedergabe, Baugrösse, Lebensdauer, Beschaffungskosten, benötigte Vorschalt- oder Startgeräte und vieles mehr von grosser Bedeutung [5]. In der Tabelle II sind die wichtigsten für die Strassenbeleuchtung eingesetzten Beleuchtungskörper mit ihren wesentlichen Eigenschaften zusammengestellt und nachfolgend kurz charakterisiert.

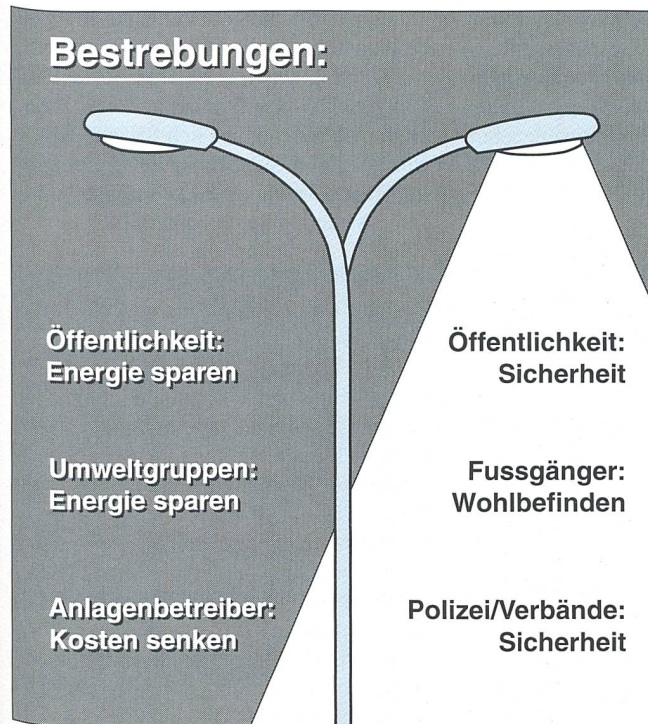
Die tausendfach eingesetzten Quecksilber- und Natrium-Dampflampen müssen mit Hilfe einer hohen Spannung gezündet werden, was den Einsatz eines Vorschaltgerätes erfordert. Im Betrieb hängt ihr Arbeitspunkt (Brennspannung) stark von der Betriebstemperatur ab. Bis zum Erreichen der vollen Lichtleistung brauchen sie eine Aufwärmzeit von rund fünf Minuten. Nach dem Ausschalten lassen sie sich erst nach einer Abkühlpause wieder zünden. Die nähere Zukunft gehört vorwiegend der Natrium-Hochdrucklampe, weil diese das beste Preis-Leistungs-Verhältnis aufweist. Insbesondere auch die Verbesserung der Lichtfarbe durch eine weitere Steigerung des Dampfdruckes (weniger gelbstichig) erfreut zunehmend eine grössere Kundenschaft.

Das Induktionslichtsystem stellt die neueste Entwicklung auf dem Lampengebiet dar. In der Lampe wird durch eine Hochfrequenzspule, die sich in einer in die Lampe hineinführenden Vertiefung befindet, ein hochfrequentes magnetisches Streufeld erzeugt (Frequenz: einige MHz). Damit werden die Quecksilberatome in der Gasfüllung der Lampe angeregt und senden ultraviolette Strahlung aus. Die Erzeugung von sichtbarem Licht erfolgt dann wie in einer Leuchtstofflampe durch einen auf der Kolbenwand aufgebracht Leuchtstoff. Für jede Lampe wird ein HF-Generator benötigt, der in einem Vorschaltgerät untergebracht wird. Wegen ihren enormen Kosten liegen die Einsatzmöglichkeiten der Induktionslampe vor allem dort, wo die Zugänglichkeit für den Lampenersatz und die Wartung schwierig ist und daher die extrem lange Lebensdauer grosse Vorteile bringt.

Weitere Angaben zu den verschiedenen Lampentypen sind bei den Lampenherstellern erhältlich, die in Kursen und Seminaren sowie in Lichtstudios (z.B. etwa bei Osram AG in Winterthur) auch die jeweils neuesten Entwicklungen präsentieren.

**Technische Möglichkeiten zur Lichtmengenreduktion**

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, bei der Strassenbeleuchtung die Lichtmenge zu reduzieren: Man kann einzelne Lichtpunkte abschalten, oder man kann



**Bild 2 Widersprüchliche Anforderungen an die Strassenbeleuchtung**

die elektrischen Betriebswerte der Lampen reduzieren. Die folgende Zusammenstellung beschreibt verschiedene (mehr oder weniger bewährte) Varianten, die heute zur Reduktion des Energieverbrauches für die öffentliche Beleuchtung eingesetzt werden.

### Abschalten von ganzen Strassenzügen

Bei dieser extremen Methode wird einfach die ganze Strassenbeleuchtung abgeschaltet. Vorteil: Man erzielt eine maximale Energieeinsparung. Nachteile: Diese Lösung verursacht Unbehagen für Fussgänger und Velofahrer, und die Sicherheit kann nicht gewährleistet werden. Folgerung: Diese «Sparschaltung» sollte nicht mehr in Betracht gezogen werden, ausser vielleicht für sehr schwach befahrene Zufahrtswege.

### Abschalten jeder zweiten Leuchte

Bei dieser sogenannten Halbnachtschaltung wird entlang der Strasse jede zweite Leuchte abgelöscht. Vorteil: Es ist die einfachste Steuerung bei bestehender zweiphasiger Anspannung der Leuchten. Nachteile: Die Längsgleichmässigkeit wird drastisch verschlechtert, und die Unfallgefahr wird laut Statistik der Beratungsstelle für Unfallverhütung unverhältnismässig viel grösser. Folgerung: Beim heutigen Stand der Technik ist von dieser Variante abzuraten; laut Jahresbericht 1990 [6] der bfu ist sie nicht mehr vertretbar.

### Zweiflammige Leuchten

Zweiflammige Leuchten sind mit zwei Lampen ausgerüstet, wovon die eine spätnachts abgeschaltet wird. Vorteil: Die Steuerung der Lichtmenge ist relativ einfach. Nachteile: Der lichttechnische Gesamtwirkungsgrad der Leuchte ist schlecht, da die Reflektoren nicht für beide Betriebsarten optimiert sein können; zudem bedingen die grossen Leuchtenabmessungen

massivere Kandelaber, welche das Ortsbild beeinträchtigen. Bei Erneuerungen werden diese Leuchten heute meist durch einflammige ersetzt, welche dann mit einer der nachfolgend beschriebenen Methoden gesteuert werden.

### Vorschaltrossel

Mit Hilfe von Zusatzimpedanzen (Drosseln) wird die Brennspannung der Lampen verkleinert und dadurch ihre Leistung reduziert. Vorteile: Die Steuerung mittels Relais ist einfach; bei Bedarf, zum Beispiel für Kreuzungen, ist ein unterschiedliches Reduzierniveau realisierbar. Nachteile: Jede Leuchte benötigt eine Steuerleitung; zudem muss der für die Drossel benötigte Platz in der Lampe verfügbar sein. Weiter bedeutet diese Methode eine Wirkungsgradverschlechterung durch die Verluste in der Drossel von 15 bis 20% und eine fixe (d.h. nicht einstellbare) Reduktion in einer Stufe. Bewertung: Diese wirkungsvolle Reduzierschaltung eignet sich speziell für bestehende Anlagen mit vorhandener Steuerleitung und genügend grossen Leuchtenkörpern.

### Spannungsüberlagerung

Ein motorisch gesteuerter Stelltransformator überlagert der Netzspannung eine gegenphasige Teilspannung, wodurch eine reduzierte Spannungsamplitude resultiert. Eine solche Anlage steuert normalerweise die Spannung eines ganzen Strassenabschnittes. Vorteile: Diese Schaltung verursacht keine Oberwellen, und die Reduktion des Beleuchtungsniveaus findet langsam (für das Auge kaum wahrnehmbar) statt. Nachteile: Die Baugrösse dieser Reduzierschaltung bedingt eine Aufstellung ausserhalb der bestehenden Verteilanlagen und verursacht dadurch einen beträchtlichen Investitionsaufwand. Bewertung: Dieses Konzept ist besonders für oberwellenempfindliche Neuanlagen gut geeignet.

### Elektronische Regulierung für Einzelleuchten

In jede Leuchte (d.h. auf jedem Kandelaber) wird ein elektronisches Steuergerät eingebaut, das bei entsprechendem Steuersignal die Lampenleistung reduziert. Vorteile: Solche Geräte erlauben, das reduzierte Niveau für jede Leuchte individuell einzustellen; die Reduktion kann langsam (für das Auge kaum wahrnehmbar) erfolgen. Nachteile: In jeder Leuchte oder auf jedem Mast muss der notwendige Platz aufgebracht werden; zu jeder Leuchte ist eine Steuerleitung erforderlich; bei einem nachträglichen Einbau bedeutet diese Methode einen relativ grossen Aufwand. Folgerung: Eine elektronische Regulierung für Einzelleuchten wird nur eingesetzt, wenn individuelle Reduzierpotentiale nötig sind.

### Elektronische Blockregler

Elektronische Blockregler funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie die oben genannten elektronischen Regler für Einzelleuchten. Im Gegensatz dazu wird aber hier für eine grössere Anzahl von Leuchten ein einziger, kompakter Blockregler eingesetzt, der direkt in der Verteilstation eingebaut wird. Auf das technische Prinzip solcher Schaltungen wird im nächsten Kapitel noch etwas näher eingegangen. Vorteile: An der Leuchte sind keine Änderungen notwendig. Es wird auch keine Steuerleitung zu den Leuchten benötigt; der Installationsaufwand ist minimal. Wie bei den Einzelreglern ist hier ein langsames, kaum wahrnehmbares Absenken des Beleuchtungsniveaus möglich. Im Vergleich mit ihren Alternativen schneiden elektronische Blockregler bezüglich Verlustleistung am besten ab. Nachteile: Alle Lampen im gleichen Strang werden gleichzeitig und um den gleichen Betrag reduziert. Folgerung: Diese Methode eignet sich für eine Grosszahl der Anlagen (auch für Nachrüstungen) und bietet speziell grosse Vorteile, wenn keine Steuerleitungen vorhanden sind.

### Zusammenfassende Bemerkungen

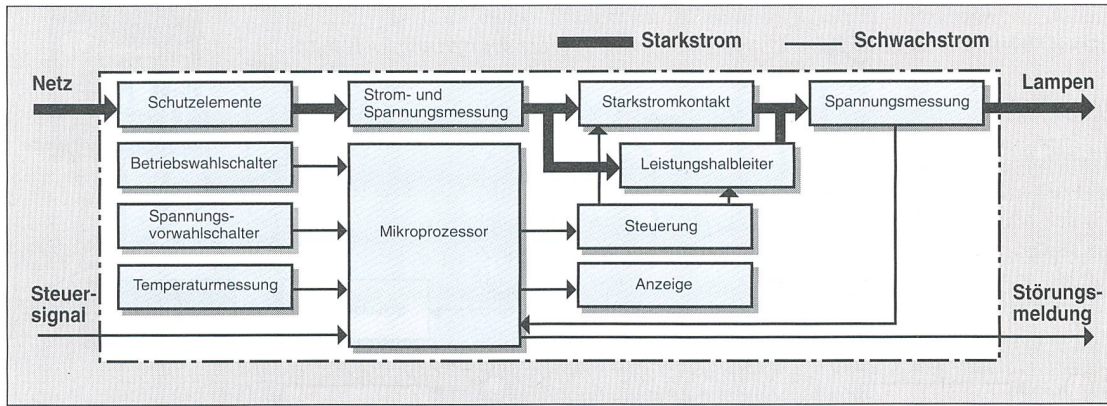
Dank dem heutigen Stand der Technik muss bei Reduzierschaltungen keine Einbusse der Anlagedaten wie Längsgleichmässigkeit der Beleuchtung, Blendungsbegrenzung, Anlagenwirkungsgrad usw. mehr in Kauf genommen werden. Das zunehmende Umweltbewusstsein und die Sparsbemühungen, aber auch das wachsende Sicherheitsbedürfnis der Bevölkerung machen deutlich, dass in Zukunft Sparschaltungen eingebaut werden müssen. Für die Wahl der Reduzierschaltung werden hauptsächlich wirtschaftliche Kriterien gelten. Da eine Beleuchtungsanlage eine Lebensdauer von rund 25 bis 30 Jahren auf-

Lampentyp	Max. Lichtausbeute	Lebensdauer	Gute Eigenschaften	Schlechte Eigenschaften	Bemerkungen
Glühlampe	15 lm/W	1 000 h	Kein Zünd- und Vorschaltgerät notwendig	Lichtausbeute Lebensdauer	Einsatz nicht mehr gerechtfertigt
Quecksilber-Dampflampe	60 lm/W	16 000 h	Farbspektrum Preis	Lichtausbeute	In alten Anlagen noch weit verbreitet
Natrium-Hochdrucklampe	140 lm/W	18 000 h	Lichtausbeute Lebensdauer	Lichtfarbe gelb-orange, heute z. T. verbessert	Momentan bestes Produkt (siehe unten)
Natrium-Niederdrucklampe	183 lm/W	12 000 h	Lichtausbeute	Licht monochromatisch	Keine Farberkennung möglich
Induktionslampe	>200 lm/W	60 000 h	Lebensdauer	Preis Auswirkungen des HF-Feldes unbekannt	Was wird die Zukunft bringen?

Tabelle II Übersicht über verschiedene Lampentypen, welche in der öffentlichen Beleuchtung eingesetzt werden

**Bild 3** Blockschaltbild eines elektronischen Blockreglers

Die Anforderungen an moderne Beleuchtungsregler lassen sich nur noch mit Mikroprozessoren erfüllen. Im Bild gezeigt ist das Blockschaltbild des Ergowat-25E



weist, sollten die Energieeinsparungen erlauben, eine Reduzierschaltung in weniger als zehn Jahren zu amortisieren. Da die neuen elektronischen Blockregler ein besonders gutes Verhältnis zwischen Kosten und Energieeinsparpotential aufweisen, wird im folgenden noch etwas detaillierter auf diese eingegangen.

### Technik und Einsatzmöglichkeiten von elektronischen Blockreglern

Für die Strassenbeleuchtung werden heute vorwiegend Natrium- oder Quecksilber-Hochdrucklampen eingesetzt. Solche Lampen haben charakteristische Betriebs-eigenschaften, auf welche elektronische Regler ausgerichtet sein müssen.

#### Betriebskriterien der Hochdrucklampen

Bei den Hochdrucklampen wird das Licht durch eine Gasentladung (Lichtbogen) in einem mit Edelgas und Metall-dampf gefüllten Quarzrohr erzeugt. Wie der Name bereits sagt, stehen die Lampen unter hohem Druck. Der Lichtbogen verstärkt diesen Druck durch die erzeugte Wärme zusätzlich. Eine zu schnelle Absenkung der elektrischen Betriebswerte auf das reduzierte Niveau kann zu einem Erlö-

schen der Lampe führen und verkürzt auch die Lebensdauer der Lampe. Aus diesem Grund dürfen solche Regelvorgänge nur sehr langsam erfolgen. Als angenehme Nebenerscheinung werden dadurch die Übergänge von der Vollbeleuchtung zur reduzierten Beleuchtung und umgekehrt von unserem trägen Auge kaum wahrgenommen. Spätheimkehrer brauchen also nicht mehr zusammenzuzucken, wenn die Beleuchtung reduziert wird!

Beim Unterschreiten der minimalen Betriebsspannung bricht der Lichtbogen ab; die Lampe erlischt und kann erst nach einer Abkühlphase von einigen Minuten wieder gezündet werden. Dies gilt es besonders zu beachten, wenn die Lampen im Reduzierbetrieb bereits an einer abgesenkten Spannung betrieben werden. Netzspannungsschwankungen (durch Laständerungen, Netzkommandosignale usw.) müssen daher mit kürzester Reaktionszeit ausgeregelt werden.

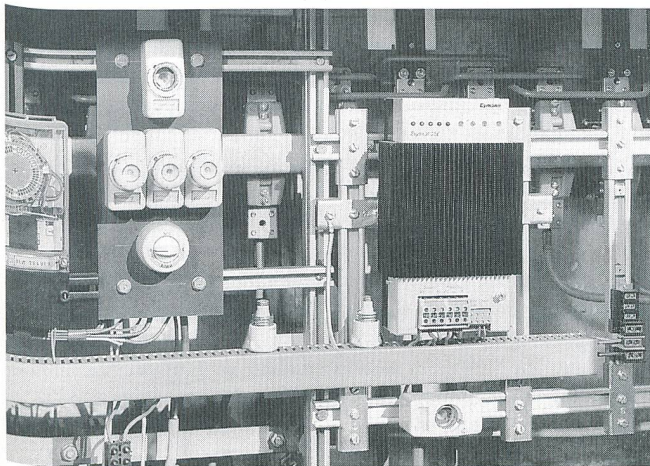
In der Startphase soll die Lampe immer mit der Nennspannung betrieben werden, da sonst ihre Lebensdauer verkürzt wird. Das bedingt jedoch, dass alle Zündvorgänge (Inbetriebnahme, nach kurzen Netzzunterbrüchen usw.) einen Neustart auslösen. Die Spannung darf erst nach einer Anlaufzeit wieder reduziert werden.

Apropos Lebensdauer: Lange Zeit wurde bei Gasentladungslampen vor einer Lichtstromverminderung abgeraten, da dies eine Verkürzung der Nutzlebensdauer nach sich ziehe. Die neuesten Erkenntnisse sprechen eine ganz andere Sprache. Die Lebensdauer der Natriumdampf-Hochdrucklampen geht, bei Leistungsverminderungen bis auf 50% der Nennleistung, nicht zurück. Dauerversuche haben gezeigt, dass über die Lebensdauer hinweg, der Lichtausbeuterückgang bei Halblastbetrieb sogar etwas geringer ist als bei Vollastbetrieb; auch der Brennspannungsanstieg im Laufe der Brennzeit ist schwächer. Deshalb ist es möglich, dass die Lampen bei Halb-lastbetrieb eine etwas höhere Lebensdauer erreichen. Diese Lebensdauerverlängerung wird jedoch in keiner Art und Weise jener von Glühlampen bei Unterlastbetrieb entsprechen.

#### Konzept eines elektronischen Blockreglers neuester Technologie

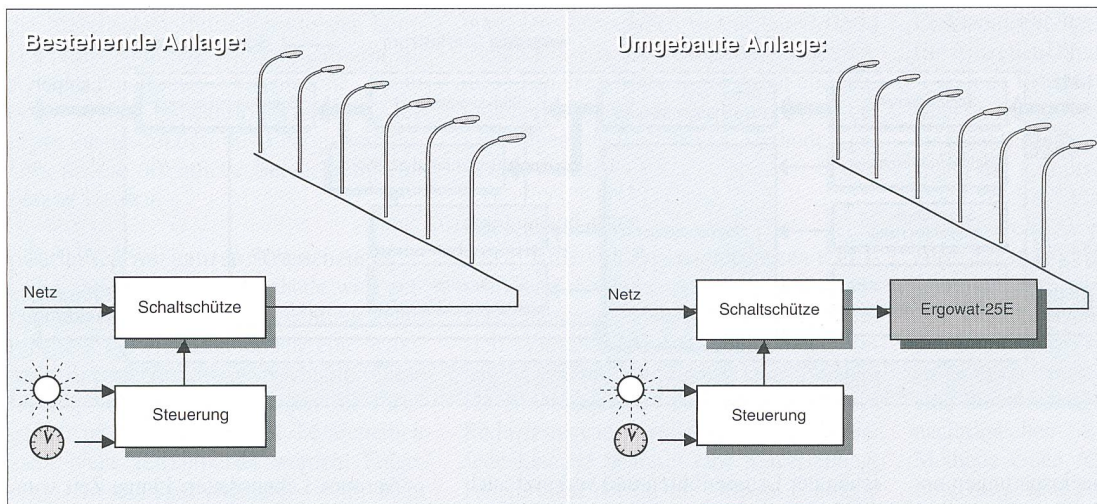
Das Prinzipschema eines elektronischen Blockreglers für den Betrieb von Hochdrucklampen, welcher die neuesten Technologien nutzt, zeigt Bild 3. Vergleichbar mit einem Dimmer, wie er im Wohnbereich für Glüh- und Halogenlampen eingesetzt wird, reduziert der Blockregler mittels Phasenanschnitt den Effektivwert der Ausgangsspannung.

Da es bei solchen Geräten jedoch um Leistungen geht, welche um ein Mehrfaches grösser sind als bei herkömmlichen Dimmern, muss dem Aspekt der Netzrückwirkungen entsprechende Beachtung geschenkt werden. Die durch die Phasenanschnittsteuerung entstehenden Spannungssprünge können im Netz unzulässige Oberschwingungen verursachen. Die Flanken müssen deshalb durch eine künstliche Verlangsamung abgeflacht und die dennoch erzeugten netzharmonischen Schwingungen durch Filter wirkungsvoll reduziert werden. Nur so ist es möglich, die Anforderungen der anwendbaren Normen zu erreichen.



**Bild 4** Enge Platzverhältnisse im Schaltschrank

Dank ihrer Kompaktheit finden moderne Geräte meistens auch nachträglich noch Platz



**Bild 5 Nachrüstung eines Strassenzuges mit elektronischem Beleuchtungsregler**

Schematische Darstellung der Installation vor und nach dem Umbau. Der Regler wird lediglich zwischengeschaltet, ohne dass die bestehende Installation verändert werden muss

Mit Mikroprozessoren lassen sich diese Anforderungen heute mit minimalen Verlusten erfüllen. Auch im erwähnten Gerät (Bild 3) wird dafür ein Mikroprozessor eingesetzt, welcher gleichzeitig die Steuerung der Leistungshalbleiter und des Überbrückungsrelais wahrnimmt. Daneben überwacht er dauernd das Steuersignal, die Ein- und Ausgangsspannung, den Stromverlauf, die Temperatur, die Bedienelemente sowie die Lampenlast, welche sich während der Anlaufzeit sehr stark ändert (Verschiebung des Phasenwinkels).

Um den Aufwand für die Installation minimal zu halten, werden elektronische Blockregler mit Vorteil, entsprechend den üblichen Sicherungswerten für Strassenzüge, auf einen Nennstrom von 25 A ausgelegt. In diesem Fall lässt sich mit nur einem Regler ein ganzer Strassenzug effizient betreiben. Ein solches Regelgerät wird am besten im Verteiler zwischen die Schaltschützen und die Abgänge zu den Lampensträngen eingebaut (Bild 4). Bild 5 zeigt schematisch die Installation.

Bei Tunnelleinfahrzonen hingegen werden eher Regler mit einem geringeren Nennstrom benötigt. Die Lampen lassen sich so in kleineren Gruppen zusammenfassen, und die Helligkeit im Tunnelportal kann in Abhängigkeit der Aussenleuchtdichte gesteuert werden. Dadurch kann sich das Auge des Fahrzeuglenkers in diesem Bereich langsam an die neuen Lichtverhältnisse adaptieren, was die Sicherheit in den Strassentunnels wesentlich erhöht.

Die Steuerung herkömmlicher Beleuchtungsanlagen basiert meist auf einem Dämmerungssensor oder einer Zeitschaltung. Im Fall von mikroprozessorgesteuerten Geräten (z.B. Ergowat-25E) kann das Signal für die Absenkung der Leuchtdichte ebenfalls durch eine Zeitschaltung, ein Netzkommando oder ein verkehrabhängiges Steuersignal erzeugt werden. Beim erwähnten Gerät kann das erforderliche

Lichtniveau am Regler mittels Drehschaltern stufenlos eingestellt werden. Da der Wirkungsgrad im abgesenkten Betrieb auf beachtlichen 97% liegt, ermöglicht ein solcher Regler jährliche Energieeinsparungen von bis zu 30%, ohne dabei die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung zu verschlechtern.

### Erfahrungen im Einsatz von elektronischen Blockreglern

Die ursprüngliche Skepsis gegenüber der Elektronik für Beleuchtungsanlagen löst sich wie der morgendliche Nebel nur langsam auf. Bestehende Anlagen zeigen aber, dass die Elektronik auch in diesem Bereich die Kinderkrankheiten überstanden hat. Elektronische Blockregler haben ihre Robustheit und Zuverlässigkeit unter Beweis

gestellt und werden nunmehr zunehmend eingesetzt. Sie erlauben, die bestehenden Richtlinien und Verordnungen umzusetzen und das sinnvolle Energiesparen im Bereich der Strassenbeleuchtung zu realisieren.

### Literatur

- [1] Energienutzungsverordnung. Bundesamt für Energiewirtschaft; 1992.
- [2] Leitsätze der Schweizerischen Lichttechnischen Gesellschaft; SEV-Publikation 8907; 1977 (Ergänzung 1987).
- [3] Automatische Strassenverkehrsählung 1991. Bundesamt für Strassenbau; 1991.
- [4] Strassenbeleuchtung – mehr Sicherheit. bfu-Schriftenreihe, Band 13; 1982.
- [5] Handbuch für Beleuchtung. SLG, LiTG, LTAG, NSVV; 1992.
- [6] Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu); Jahresbericht; 1990.

## Economiser l'énergie dans les installations d'éclairage publiques

### De nouvelles solutions techniques permettent un éclairage optimal allié à une utilisation rationnelle de l'énergie

Le souci pour l'environnement et les efforts d'économie de la population exigent aussi une utilisation efficace de l'énergie dans l'éclairage public. La recherche de possibilités d'économie d'énergie ne doit pas cependant faire oublier la tâche principale de l'éclairage public: augmenter la sécurité, en particulier la sécurité routière, et de permettre à la population une vie agréable à la nuit tombante. Si les installations d'éclairage actuellement opérationnelles sont déjà très économes, de nouvelles solutions techniques permettent encore d'énormes économies d'énergie sans devoir pour cela réduire outre mesure l'éclairage public.

Partant des directives et prescriptions actuellement en vigueur (voir [1, 2] et tableau I) l'article donne un aperçu des possibilités permettant de satisfaire les exigences contradictoires (figure 2) posées à l'éclairage public, en particulier à celui des rues. En fait partie d'une part un choix correct des lampes (tableau II). D'autre part il est possible d'adapter l'éclairage aux contraintes momentanées en réduisant les valeurs d'exploitation à l'aide de différents circuits électriques. On décrit de plus près un bloc régulateur à microprocesseur et son utilisation pour l'éclairage des rues (figures 3–5), qui tient compte des exigences contradictoires posées à l'éclairage.