

Energie und Beleuchtung

Autor(en): **Schatzmann, Jürg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 20: **SIA, Heft 3**

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74498>

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.

Energie und Beleuchtung

Von Jürg Schatzmann, Turgi

Allgemeines

Unter den Energieverbrauchern nimmt die *Beleuchtung* eine besondere Stellung ein. Obwohl bloss 1,6 Prozent des schweizerischen Endenergiekonsums auf Beleuchtungszwecke fallen, ist es verschiedenen engagierten Zeitgenossen ein dringendes Anliegen, gerade auf diesem Felde Sparmassnahmen einzuleiten. Die Frage nach den Ursachen solcher Bestrebungen lässt sich leicht beantworten: «Das Auge stellt das wichtigste Informationsorgan des Menschen dar, und Lichtempfindung wird mit besonderer Gewichtung registriert, echte oder vermeintliche Lichtverschwendung mit übertriebenem Eifer gerügt.»

Diese Einleitung verfolgt nicht das Ziel, jedes Lichtsparen als illusorisch darzustellen, soll aber die *Problematik von Einzel-Sparrmassnahmen* deutlich machen, deren Stellenwert in einer Gesamtenergiebetrachtung nicht genügend geklärt ist. Als generelle Problematik wird sie Politiker, Bauherren und selbst Ingenieure noch lange Zeit begleiten.

Anschliessend werden zwei wichtige lichttechnische Anwendungsgebiete näher dargestellt, nämlich:

- Die Beleuchtung von Arbeitsräumen, insbesondere von Büroräumen;
- Die Strassenbeleuchtung.

In beiden Fällen wird versucht, im Rah-

men des *Gesamtenergiehaushalts eines Bauwerks* den Stellenwert des Beleuchtungsanteils aufzuzeigen und Aussagen über eine optimale Einordnung zu machen.

Begriffe und Gütermerkmale

Bei *natürlicher* Beleuchtung ist die *Sonne* die einzige massgebliche Lichtquelle, und Atmosphäre und Landschaft bilden lichtfilternde und -lenkende Elemente. Bei *künstlicher* Beleuchtung steht auf der Stufe der Lichterzeugung gemäss Bild 1 eine bedeutende Auswahl an Lichtquellen zur Verfügung. Diese Lichtquellen werden in Leuchten betrieben, welche auf der nächsten Stufe, derjenigen der *Lichtverteilung*, mit Reflektoren, Rastern, Gläsern usw. die Lichtlenkung (ev. Filterung) besorgen. Weiter nehmen die Leuchten Betriebsgeräte und elektrische Verbindungselemente auf und dienen schliesslich dem Schutz gegen Verbrennung, elektrischen Schlag, aber auch gegen Verschmutzung und Beschädigung der eingebauten Teile. Die *Gesamtheit* der Leuchten in einem Bauwerk bildet die *Beleuchtungsanlage*.

Die Vielfalt an verfügbaren Lichtquellen, vor allem aber an Leuchtenformen rührt davon her, dass für Beleuchtungsanlagen neben energetischen noch eine grosse Anzahl anderer Kriterien bestehen, deren wichtigste als «*Gütermerkmale*» bezeichnet werden, und dass nicht in jedem Anwendungsfall die gleichen Anforderungen in den Vordergrund

treten. Beispielsweise wird in der Wohnraumbelichtung den Farbwiedergabe-Eigenschaften ein sehr hohes Gewicht zugemessen, in der Strassenbeleuchtung dem mittleren Helligkeitseindruck und einer gleichmässigen Verteilung der Helligkeiten im Blickfeld. Das Gütermerkmal der Blendungsbegrenzung ist in allen Anwendungsfällen von Bedeutung. Weitere Kriterien werden nach Bedarf später genannt.

Lichtausbeute und Farbwiedergabeeigenschaften von Lichtquellen

Auf der Stufe der *Lichterzeugung* lässt sich die Verflechtung von Energieverbrauchsmerkmalen mit den Farbwiedergabe-Eigenschaften in konzentrierter Form und für die verschiedensten Anwendungsgebiete von Lichtquellen darstellen. Bild 1 zeigt auf seiner linken Seite ein häufig wiedergegebenes Diagramm mit der sog. *Lichtausbeute*, d.h. dem durch eine Lichtquelle ausgesandten Lichtstrom je Watt Lampenleistung als Ordinate. Die Darstellung macht klar, dass das Ringen um Energieersparnis und um erhöhte Wirtschaftlichkeit nicht erst kürzlich begann, sondern seit Jahrzehnten die Lampenhersteller beschäftigt. Das bedeutende Ansteigen praktisch aller Lichtausbeutekurven während der vergangenen 15 Jahre auf Grund sehr intensiver Entwicklungsanstrengungen darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass man sich in absehbarer Zeit oberen Grenzwerten nähern wird, deren Überschreitung aus physikalisch-physiologischen Gründen unmöglich ist. Es liegt hier eine erste - allerdings nur in der Zukunft zur Geltung kommende - prinzipielle Beschränkung für

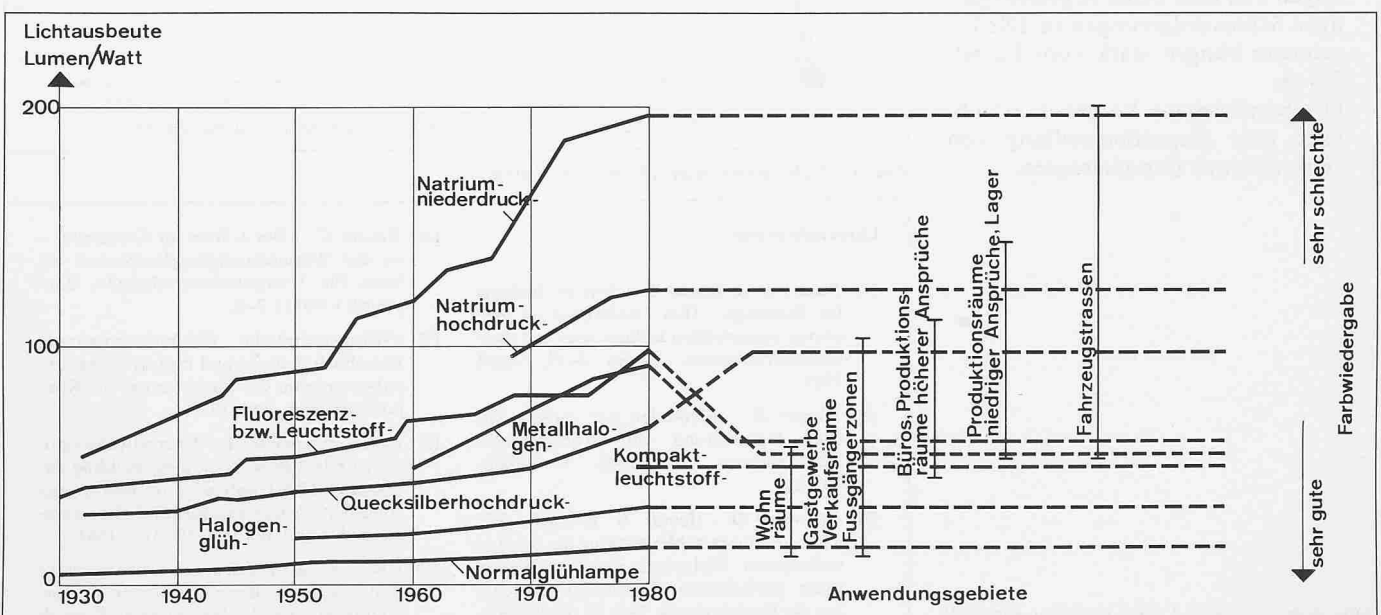


Bild 1. Erhöhung der Lichtausbeuten verschiedener Lampentypen zwischen 1930 und 1980 (nach Nijland, Int. Lichtrundschau 1980/2); Farbwiedergabe und Anwendungsgebiete dieser Lampentypen

Einsparungen an Beleuchtungsenergie vor. Eine zweite solche Beschränkung wird erkennbar, wenn man auch die rechte Seite von Bild 1 betrachtet: Es gilt die Regel: Überall, wo eine sehr gute Farbwiedergabe verlangt wird, muss auf höchste Lichtausbeute verzichtet werden, eine Regel, die in der Nähe der soeben angedeuteten theoretischen Grenzwerte in eine physikalisch-physiologische Gesetzmässigkeit übergeht.

Eine dritte Beschränkung muss genannt werden an die Adresse jener, die auf Grund der rechten Abbildungsseite vermuten, es werde wenigstens rasch die Normalglühlampe durch andere Lichtquellen sehr guter Farbwiedergabe aber besserer Lichtausbeute abgelöst. Der geringe Preis, die unproblematische Handhabung ohne Betriebsgeräte, der sofort nach dem Einschalten voll verfügbare Lichtstrom und schliesslich die grosse Vielfalt an Typen werden der Normalglühlampe noch lange einen regen Absatz sichern. Weitere Steigerungen der Lichtausbeute im Rahmen des Möglichen bleiben daher auch bei den Glühlampen wünschenswert. Immerhin gibt es Anwendungen im Wohn-, im Laden- und im Gastgewerbebereich, wo tatsächlich mehr als heute üblich Gasentladungslampen verwendet und Energieersparnisse realisiert werden könnten, beispielsweise in ständig beleuchteten Korridoren, Treppenhäusern, Hotelingangsräumen, Cafés, Schaufenstern, in Gartenanlagen usw. In den meisten dieser Fälle hat die Gasentladungslampe gegenüber der Glühlampe auch den Vorteil der um ein Mehrfaches längeren Lebensdauer und der entsprechend verminderten Kosten für die Auswechslungsarbeit.

In Bild 1 nicht berücksichtigt sind zwei besondere Energieaspekte, die allerdings von kleinerer Grössenordnung sind als die elektrischen Lampenleistungen:

Einmal benötigen sämtliche Gasentladungslampen Betriebsgeräte, deren Leistungsaufnahme häufig 15 bis 20 Prozent des Lampenanschlusswerts beträgt. Energieersparnisse lassen sich entweder mit besonders verlustarmen konventionellen Vorschaltgeräten realisieren oder mit elektronischen Apparaten, deren hochfrequente Betriebsweise zusätzlich eine höhere Lampenlichtausbeute bewirkt.

Weiter entsteht durch die Herstellung von Lampen, Geräten und Leuchten ebenfalls ein Energieverbrauch, dessen Kosten aber in den Stückpreisen enthalten sind und bei den einmaligen und wiederkehrenden Anschaffungen in der Gesamtwirtschaftlichkeitsrechnung zum Ausdruck kommen.

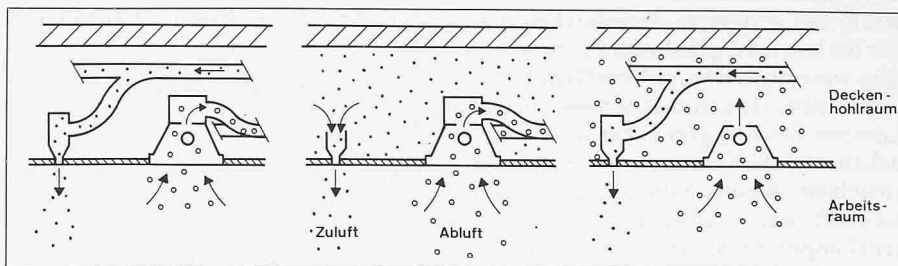


Bild 2. Drei Möglichkeiten der Abluftführung durch Leuchten

Beleuchtung von Arbeitsräumen, insbesondere Büroräumen

Auch nach der Einführung der elektrischen Beleuchtung war man während Jahrzehnten in erster Linie auf das Tageslicht angewiesen; im Verlauf der Dunkelstunden des Winterhalbjahrs gelang es mit den meist spärlich vorhandenen Glühlampen bloss, eine dürftige Allgemeinbeleuchtung sicherzustellen und allenfalls noch das engere Arbeitsfeld zusätzlich aufzuhellen. Geringe Raumtiefen von einigen Metern kennzeichneten selbst viele Grossbauten jüngerer Datums wie Turmhäuser mit Kernzone und umlaufender Bürozone, Scheibenhochhäuser usw. Der Übergang zu immer stärker verglasten Fassaden bewirkte eine Verbesserung der Tageslichtversorgung, brachte es aber mit sich, dass auch in gemässigten Breitengraden die Klimatisierung neuer Bürogebäude zur Regel wurde. Im Sommer galt es, die grosse eingestrahelte Energie abzuführen, im Winter den bedeutenden Wärmeverlust auszugleichen und die Innentemperaturen der Fenstergläser so anzuheben, dass ein erträgliches Strahlungsklima in den Räumen entstand. Bei den vor einem Jahrzehnt noch ausserordentlich niedrigen Heizölpreisen erfuhr die Wärmeerzeugungsanlage gewöhnlich eine grosszügige, die elektrisch betriebene Kälteanlage für den Sommerbetrieb meist schon eine sorgfältige Auslegung.

Klimatechnische Gesichtspunkte und eine Reihe anderer Überlegungen führten in der Folge dazu, dass wesentlich kompaktere Bauformen auch für Bürohäuser angestrebt wurden, nachdem sie schon früher für Warenhäuser als richtig befunden worden waren. Es ergab sich in den Büroräumen grosser Bautiefe die Notwendigkeit, die künstliche Beleuchtung während sämtlicher Jahresarbeitsstunden voll aufrechtzuerhalten und dies mit beträchtlichen Beleuchtungsstärkewerten (gemessen in Lux, d.h. Lumen auftreffendes Licht je Quadratmeter Arbeitsfläche). Trotz des Einsatzes energiesparender Lichtquellen – vornehmlich Fluoreszenzlampen – bedeutete das beträchtliche spezifische Anschlussleistungen (Watt je Quadratmeter). Für den hohen Wert von 1000 bis

1200 Lux Betriebsbeleuchtungsstärke, der die Regel bildete, gab es zwei Hauptgründe: Einerseits hatten verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass Fehlerhäufigkeit und Ermüdung bei Büroarbeiten und anderen visuell anspruchsvollen Arbeiten stark ansteigen beginnen, wenn die mittlere Beleuchtungsstärke E_{med} den Wert von 1000 Lux merklich unterschreitet. Andererseits ging es in Bürogrossräumen darum, dem Personal in der Kernzone ebenfalls genügend Beleuchtungskomfort zu bieten, insbesondere die dort Arbeitenden nicht einer Blendung auszusetzen. Blendung kann nämlich entstehen durch einen zu hohen Kontrast zwischen den entfernten aber sehr hell wirkenden Fenstern und einem nur mässig ausgeleuchteten Schreibplatz.

Hohe spezifische Anschlussleistungen in der Grössenordnung 30 bis 60 W/m² von der Beleuchtung her, ergänzt durch Wärmestromdichten von je etwa 10 W/m² durch die im Gebäude tätigen Personen und durch die installierten Maschinen führten nun bereits vor rund fünfzehn Jahren zu einem ersten interdisziplinären Vorgehen, zur Integration von Beleuchtung und Klimatisierung. Eine Einschaltung der Leuchten in den Abluftstrom gemäss Bild 2 zeigt nämlich eine beträchtliche Reduktion der im Sommer nötigen Kühllast gegenüber andern Möglichkeiten der Luftführung. Es gelingt so, den grössten Teil der in den Leuchten entstehenden Wärme abzufangen, ohne ihn im Arbeitsraum wirksam werden zu lassen.

Ausgehend von diesen ersten Ansätzen gelangte man in der letzten Zeit zu einer verfeinerten Gebäude-Energietechnik unter völliger Einbeziehung der Beleuchtung. Einige aktuelle Tendenzen werden im folgenden erörtert.

Neuere Entwicklungen bei Lichtquellen, Leuchten und Anlagen

Auf der Stufe der Lichterzeugung sind wichtige Fortschritte für die Innenbeleuchtung vor allem bei den Fluoreszenzlampen zu nennen. Mit neuen Leuchtstoffen ist es seit kurzem bei diesen Lichtquellen möglich, ausgezeichnete Farbwiedergabe mit bedeutend verminderter elektrischer Leistungsaufnahme zu vereinen. Charakteristisch ist

ferner ein *geringerer Rohrdurchmesser*, der bei konstant gehaltenem Lichtstrom eine wesentlich höhere Oberflächenhelligkeit bzw. -Leuchtdichte dieser neuen Lampen bewirkt gegenüber den früher bekannten Ausführungen. Wenn es in einzelnen Arbeitsräumen bisher noch statthaft war, freibrennende Fluoreszenzlampen einzusetzen, so sind in Zukunft überall hinreichend *entblendete Deckenleuchten* vorzusehen.

Auf der Stufe der *Lichtverteilung* können eine Reihe verschiedener Innenleuchtenkonzepte vorgestellt werden mit unterschiedlichen Lichtlenkungs-Eigenschaften und unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Es seien aber von der gesamten Skala möglicher Lösungen nur Anfangs- und Endpunkt kurz kommentiert:

Extrem entblendete Leuchten mit aufwendigen Spiegelsystemen sind seit einiger Zeit vor allem in ausgedehnten Räumen wie Grossbüros beliebt, weil die Gefahr der Direktblendung eliminiert ist und weil weder diese Leuchten selbst, noch die durch sie im Dunkeln belassenen Decken auf Bildschirmen störende Reflexe verursachen. In derartigen Leuchten lässt sich das Licht schlanker Fluoreszenzlampen präziser, d.h. mit weniger Verlust auf die Nutzebene der Schreibtische lenken als das Licht konventioneller Lampen. Nicht nur die Anschlussleistung der einzelnen Leuchte geht zurück, sondern die höheren Wirkungsgrade gestatten es, ein vorgeschriebenes E_{med} mit einer kleineren Zahl von Leuchten zu erreichen. Strebt man neben diesen beiden Energiesparmassnahmen noch eine dritte an, nämlich die weitere Reduktion der Leuchtenzahl durch Senkung des verlangten E_{med} , so treten die Nachteile extrem entblendeter Beleuchtungssysteme in Büros üblicher Raumhöhe zu stark hervor: Es fehlt nicht bloss die vertikale Beleuchtung an stehenden Personen, an Karteischränken usw., sondern auch die genügende Gleichmässigkeit auf der horizontalen Nutzebene. Bei freier Möblierung werden deshalb zusätzliche Arbeitsplatzleuchten erforderlich, die allerdings mit sehr geringer Leistung z.B. einer Fluoreszenzlampe 18W sich betreiben lassen, so dass tatsächlich insgesamt geringe Beleuchtungsanschlusleistungen realisierbar sind.

Anlagen ähnlichen Charakters können mit *Hochdrucklichtquellen* geplant werden, vor allem mit *Quecksilberdampflampen*, bei denen Typen kleiner Leistung (50, 80, 125 W) zur Verfügung stehen, die sich mit ihren mässigen Lichtströmen bei normalen Geschosshöhen einsetzen lassen. Es gilt, das Anlaufverhalten, das Wiederzündverhalten und die Tendenz zum Flimmern zu beach-

ten (neben den in Bild 1 festgehaltenen Eigenschaften).

Die jüngste Entwicklung greift eine völlig gegensätzliche Lösung wieder auf, die bereits früher mit Glühlampen praktiziert worden war: Statt stark entblendete (tiefstrahlende) Deckenleuchten zu verwenden, bedient man sich sog. *Indirektleuchten*, welche die Decke nicht möglichst dunkel, sondern möglichst gleichmässig hell halten sollen. Beleuchtungsanlagen dieser Art vermeiden Reflexblendung auf der Arbeitsebene fast vollständig, und sofern Decken und obere Wandpartien eines Raums nicht strukturiert sind, bleiben ebenfalls Bildschirmbeobachter ungestört. Dank der leichten Bewältigung auch heikler Schaufgaben scheint ein ermüdungsfreies Arbeiten bei Zweidritteln der üblichen Beleuchtungsstärke gewährleistet zu sein. Mit Leuchten hohen Wirkungsgrads, reinweissen Decken und geeigneten Lichtquellen sind dann entsprechende Energieeinsparungen erzielbar. Hochdrucklampen mittlerer Leistung (125 bis 400 W) stehen hier im Vordergrund, da mit Indirektleuchten die beträchtlichen Lichtströme über eine genügend grosse Fläche verteilt werden können. Wiederum gelten die im oberen Absatz festgehaltenen Bemerkungen über Hochdrucklampen; bei Quecksilberdampflampen mittlerer Leistung sind bereits elektronische Hochfrequenz-Betriebsgeräte erhältlich, die auch Flimmererscheinungen vermeiden.

Erneuerung von Beleuchtungsanlagen in bestehenden konventionellen Büroräumen

In Räumen mit gutem Tageslichteinfall, in denen eine künstliche Beleuchtung bloss in den frühen Morgenstunden und den Abendstunden des Winterhalbjahrs notwendig ist, trägt die Einführung moderner Lichtmittel meist wenig zu realer Energieersparnis bei, hilft aber mit zur Begrenzung von Spitzenbelastungen. Jedenfalls ist gleichzeitig mit solchen Erneuerungen auch abzuschätzen, welche Verbesserung hellere Raumflächen (z.B. durch Renovation) erbringen würden.

Steuerungen, die ein *automatisches Zuschalten*, vor allem aber ein *automatisches Abschalten* der elektrischen Beleuchtung in Abhängigkeit vom verfügbaren Tageslicht gewährleisten, werden an Bedeutung gewinnen.

In Räumen, in denen die künstliche Beleuchtung häufiger und länger verwendet wird, haben Energiesparbestrebungen der erwähnten Art mehr Aussicht auf Erfolg. Allerdings ist zu beachten, dass im Winter das Wegfallen von Beleuchtungsenergie eine Kompensation

auf anderem Wege – üblicherweise über die Heizung – nach sich zieht (Thermostatische Regelung der Raumheizung vorausgesetzt; Einschränkung, dass eine durch Wärmepumpen erzeugte Heizenergie mindestens um den Faktor 2 der Leistungsziffer wirtschaftlicher erzeugt werden kann; Einschränkung, dass bezüglich Kosten auf die vorläufig ausgeprägten Unterschiede zwischen Hoch- und Niedertarif nicht eingegangen wird).

Energiesparende Konzepte bei Neubauten

In kleineren Bauten oder in Gebäuden, bei denen ein länglicher Grundriss durch das Grundstück vorbestimmt ist, hat man es mit Raumtiefen zu tun, bei denen das Tageslicht einen wesentlichen Teil des Beleuchtungsbedarfs übernehmen kann. In welchem Ausmass es ihn übernehmen soll, hat der Planer anhand von *Optimierungsüberlegungen* zu entscheiden, wie sie im Beitrag «Wärmetechnische Analysen im Hochbau (IGLOU)» aufgeführt sind. Als Mindestmass an Fensterfläche, das den in einem Bürogebäude beschäftigten Personen noch genügend Ausblick ins Freie gestattet, gilt ein Viertel der Fassadenfläche.

Die Beleuchtungs-Hinweise aus den vorangehenden Abschnitten behalten ihre Gültigkeit und brauchen an dieser Stelle nicht wiederholt zu werden.

Für grosse Bürobauten wie auch für andere Grossbauten hat gemäss einer früheren Bemerkung die *kubische Bauform* Bedeutung erlangt. Die kleine Oberfläche bezogen auf das Nutzvolumen d.h. der geringe spezifische Energieaustausch mit der Umgebung verleiht diesem Konzept heute zusätzliche Aktualität. Für die Jahresenergiekosten in starkem Mass entscheidend sind hier die ständige intensive Beleuchtung ausgedehnter Kernzonen und die entsprechende Sommer-Kühllast. Es ist daher verständlich, dass man nicht bloss die bereits erwähnte Integration von Beleuchtung und Klimatisierung vollzieht, sondern häufig eine Senkung von E_{med} erwägt. Die Methoden hierzu aber auch die Nachteile derartiger Massnahmen wurden in vorangehenden Abschnitten bereits angedeutet; hell und blendend erscheinende Fensterflächen lassen sich durch die Verwendung getönter Scheiben vermeiden, was aber zu einem verminderten Sichtkontakt der Beschäftigten mit der Aussenwelt führt. Im Winter werden interne Wärmequellen, darunter die Beleuchtung, für die Gebäudebeheizung ausgenutzt, sofern dies zulässig ist über eine Steuerung des Umluftanteils und bei der Frischluft mit Hilfe von Wärmetauschern. Als

ideal mag es erscheinen, auf diese Weise den gesamten an den Gebäudeausenflächen entstehenden Wärmeverlust zu decken. Einschränkend sei wiederum auf die höhere Wirtschaftlichkeit der Heizwärmeerzeugung mittels Wärmepumpen hingewiesen, auf die Vernachlässigung von Tariffragen und schliesslich auf die Probleme, welche z.B. an Wochenenden bei der Ausschaltung der Anlagen, d.h. der internen Wärmequellen entstehen können.

Strassenbeleuchtung

Zur Zeit der ersten Energiekrise wurde der Wert der Strassenbeleuchtung in der breiten Öffentlichkeit gelegentlich in Frage gestellt. Den Verkehrsfachleuten war allerdings von Untersuchungsberichten aus verschiedenen Ländern damals schon bekannt, in welch beeindruckendem Mass eine qualitativ hochwertige Strassenbeleuchtung die Zahl der Nachtunfälle herabzusetzen vermag. Erfahrungen mit Aus- oder Halbschaltungen, die in den Jahren 1974/75 aus Energiespargründen vorgenommen wurden, liessen seither die Kritik eher verstummen, um so mehr als man sich allgemein Rechenschaft darüber ablegte, dass die öffentliche Beleuchtung weniger als 0,2 Prozent des Endenergieverbrauchs beansprucht. Im Verlauf der letzten Jahre wurde sogar an vielen Orten aus einem verstärkten Bedürfnis nach persönlicher Sicherheit ein Ausbau vor allem der Quartierstrassenbeleuchtung gefordert.

Gütemerkmale

Bei den für die Beleuchtung von Motorfahrzeug-Strassen wichtigen Gütemerkmalen handelt es sich um den *mittleren Helligkeitseindruck* – auch mittlere Leuchtdichte L_{med} genannt – den ein Fahrzeuglenker von dem vor ihm liegenden Strassenabschnitt empfängt (Gemessen in Candela je Quadratmeter bei der Beobachtung unter einem Neigungswinkel von 1°). Es handelt sich weiter um die Gleichmässigkeit der Leuchtdichteverteilung auf dem betrachteten Strassenstück und schliesslich um die Entblendung, welche die ganze Beleuchtungsanlage erfahren hat.

Genauer noch als aus den genannten Untersuchungsberichten über das Unfallgeschehen auf verschiedenartig beleuchteten Strassen kann die Bedeutung dieser Güteerkmale mit Hilfe *experimenteller* Abklärungen an Testpersonen im Labor nachgewiesen werden. In Bild 3 ist die unter variierten Bedingungen festgestellte Reaktionsgeschwindigkeit als Prozentsatz der unter optimalen

Tageslicht-Bedingungen möglichen Reaktionsgeschwindigkeit aufgetragen.

Der Planer einer Strassenbeleuchtungsanlage wird nun ein optimales Verhältnis zwischen Aufwand, d.h. Energieeinsatz und Ertrag, d.h. guter Erfüllung der Güteerkmale anstreben. Zwischen Energieeinsatz und Leuchtdichtegleichmässigkeit, desgleichen zwischen Energieeinsatz und Entblendung bestehen keine eindeutige Wechselwirkungen. Man darf deshalb – wie dies richtigerweise schweizerische und ausländische Strassenbeleuchtungsnormen tun – hohe Leuchtdichtegleichmässigkeit und gute Entblendung fordern, ohne einen erhöhten Energieverbrauch herbeizuführen. Die Optimierungsaufgabe besteht schliesslich zur Hauptsache darin, die mittlere Leuchtdichte L_{med} mit geringstmöglichem Energieaufwand zu erzeugen.

Lichterzeugung, -Verteilung, -Reflexion und Energiebedarf

Im einleitenden Absatz war die Stufe der Lichterzeugung unterschieden worden von der nachfolgenden Stufe der Lichtverteilung; bei der Betrachtung von Strassenbeleuchtungen muss aber noch eine dritte Stufe angeführt werden, die der *Lichtreflexion vom beobachteten Gegenstand – hier der Strasse – zum Auge des Beobachters*.

Auf der Stufe der Lichterzeugung wird man danach trachten, Lampen mit möglichst hoher Lichtausbeute zu verwenden (Bild 1), wobei man auf die Farbwiedergabe wenig Wert legt.

Die Stufe der Lichtverteilung umfasst die Lichtlenkung von der Lampe her über die Reflektoren und Gläser der Strassenleuchten bis zum Einfall des Lichts auf die Fahrbahnoberfläche. Auf dieser Stufe wird versucht, einen möglichst grossen Teil des Lampenlichts

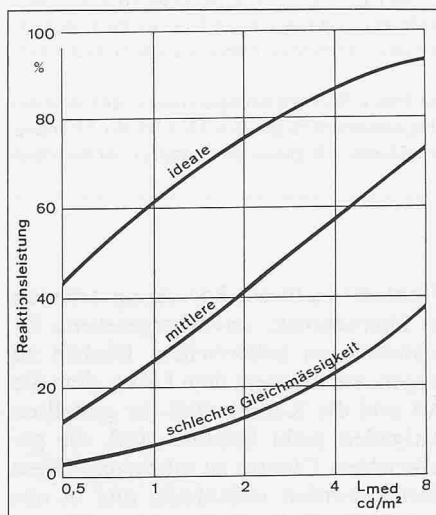


Bild 3. Reaktionsleistung in Abhängigkeit der mittleren Fahrbahnleuchtdichte und der Gleichmässigkeit (nach R. Walthert, SEV-Bulletin 65/20)

stroms auf die Fahrbahn zu lenken. Hochspezialisierte Reflektoren (z.T. auch Refraktorgläser) besorgen dies und sind gleichzeitig im Verein mit der Anlage-Geometrie (Lichtpunkthöhe, Leuchtenabstand usw.) verantwortlich für die Leuchtdichte-Gleichmässigkeit und die Entblendung.

Die dritte Stufe ist charakterisiert durch die *Lichtlenkungs-Eigenschaften der Strassenoberfläche*. Es soll hier nicht die Reflexionscharakteristik von Fahrbahnbelägen behandelt werden, aber eine wesentliche Grösse sei doch erwähnt: Der mittlere Reflexionsfaktor q_0 . Die mittlere Leuchtdichte L_{med} nimmt direkt proportional zu q_0 zu, der Bedarf an elektrischer Leistung verhält sich bei vorgeschriebenem L_{med} indirekt proportional zu q_0 . Selbstverständlich hat der Strassenbau-Fachmann verschiedenste Belageigenschaften zu beachten wie Abriebfestigkeit, Ebenheit, Tausalzresistenz, Haftbeiwert. Er und sein Bauherr – fast ausnahmslos die öffentliche Hand – sollten sich aber Rechenschaft darüber ablegen, dass sie mit der Wahl des Belags direkt über einen Energie-Mehrverbrauch bis zu 50 Prozent für die Strassenbeleuchtung entscheiden, was schliesslich einget in eine allgemeine Wirtschaftlichkeitsrechnung für das Bauwerk «Strasse».

Wenn der Energiebedarf für jede der drei Stufen gesondert untersucht wird, handelt es sich um ein vereinfachtes Vorgehen. Bei genauerer Betrachtung sind mindestens *zwei Wechselwirkungen* zu beachten: Erstens beeinflusst die Art der Lichterzeugung auch die *Lichtverteilung*. Licht, das in einer punktförmigen Quelle entsteht, lässt sich mit geringem technischem Aufwand in gewünschter Weise auf die Fahrbahn lenken als Licht, das in einer sehr ausgedehnten Lichtquelle entsteht. Mit einer *fast punktförmigen Lichtquelle* ergeben sich deshalb in der Regel weit bessere Anlagewirkungsgrade und ebenfalls eher günstigere Gleichmässigkeiten als mit einer Lichtquelle bedeutender Dimension. Trotz der hohen Lichtausbeute befindet sich die Natriumniederdrucklampe mit ihrem langgezogenen Entladungsrohr im Nachteil gegenüber der Natriumhochdrucklampe mit dem sehr kompakten Brenner. Die Ergänzung der Typenreihe durch Einheiten geringer Leistung (50 W und 70 W) trägt zur Verbreitung der Natriumhochdrucklampe auch in Zubringer- und Quartierstrassenbeleuchtungen bei. Trotz der sehr hohen Leuchtdichten am Brenner dieser Lichtquelle ist eine genügende Entblendung möglich.

Eine zweite Wechselwirkung besteht zwischen der *Lichtverteilung und der Lichtreflexion*. Eine Beleuchtungsan-

ge mit festen, vorgegebenen Lichtverteilungsdaten erzeugt nicht auf jedem Belag dieselben Leuchtdichtegleichmässigkeiten. Der Strassenbau-Fachmann entscheidet mit der Wahl des Belags ein zweites Mal darüber, ob im Verhältnis zum Aufwand ein optimaler Ertrag der Beleuchtungsanlage erreicht wird.

Energieersparnis durch Leistungsreduktion

Analysen des *Unfallgeschehens* im Strassenverkehr zeigen, dass auf schlecht beleuchteten Strassen zu den Zeiten höchster Verkehrsdichte eine auffällige Häufung von Ereignissen mit schweren Folgeschäden zu registrieren ist. Daraus schliesst man, es sei auf wichtigen Strassenzügen während der Stunden mit starkem Verkehr eine Beleuchtung zu bieten, die hohe Ansprüche erfüllt. Es lässt sich aber auch ableiten, dass während Stunden mit niedrigen Verkehrsfrequenzen – z.B. zwischen Mitternacht und sechs Uhr morgens –

aus Energiesparüberlegungen eine weniger weitgehende Erfüllung der Gütemerkmale genüge. Drei Methoden sind üblich.

1. Während Zeiten mit schwachem Verkehr wird jede zweite Leuchte abgeschaltet. Davon ist unbedingt abzuraten, da zwei Gütekriterien nur noch mangelhaft entsprochen wird: Neben der Reduktion von L_{med} auf den halben Wert ergibt sich ebenfalls eine starke Verschlechterung der Leuchtdichtegleichmässigkeit.

2. Anwendung zweiflammiger Strassenleuchten. Beim Abschalten einer Lampe in jeder Leuchte geht zwar L_{med} zurück, die Gleichmässigkeit bleibt jedoch erhalten. Ein Nachteil liegt darin, dass solche Leuchten gross und aufwendig sind, ferner in der Regel Reflektoren aufweisen, die nicht ein Maximum an Lichtstrom nutzbringend auf die Strassenoberfläche zu lenken vermögen.

3. Die modernste Art nützt die Möglich-

keit zur Leistungssteuerung von Gasentladungslampen aus. Hier werden einflammige Leuchten eingesetzt, deren Leistung durch Relais-betätigte Schaltung einer Zusatzdrossel auf 50 bis 60 Prozent reduziert wird, wobei der Lampenlichtstrom auf 40 bis 50 Prozent des Nennlichtstroms absinkt. Eine ganze Anlage wird meistens zentral gesteuert.

Adresse des Verfassers: Dr. J. Schatzmann, dipl. Masch.-Ing. ETH, Direktor, BAG Turgi, 5300 Turgi

Erwin Beusch, dipl. Ing. ETH, Mitglied des Organisations-Komitees SIA-Tag 1981, hat die redaktionelle Koordination der Beiträge für dieses Heft besorgt.

Ein Europäisches Register der technischen Berufe

Von Marius Beaud, Fribourg

Seit mehr als 20 Jahren spricht man in Europa von der Einführung eines freien Dienstleistungsverkehrs. Der Vertrag zur Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (Römer Vertrag) hat diesen Grundsatz in Art. 59 verankert. So sollten z.B. die nationalen Schranken fallen, die die Ausübung der freien Berufe behindern. In Anbetracht der heutigen, grossen Reisemöglichkeiten ist es unverständlich, dass Ärzte ausserhalb der Landesgrenzen Kranke nicht behandeln, Anwälte keine Prozesse führen und Ingenieure oder Architekten ihre Tätigkeit nicht ausüben dürfen.

Die europäischen Ingenieure wünschen einen solchen freien Dienstleistungsverkehr, und deshalb will der europäische Zusammenschluss nationaler Ingenieurvereinigungen FEANI zur Öffnung der Grenzen einen Beitrag leisten, indem er ein europäisches Register der höheren technischen Berufe unterhält.

Der freie Dienstleistungsverkehr

Die Dienstleistung

Der freie Dienstleistungsverkehr betrifft in erster Linie die *freien Berufe*, deren Ausübung eine fundierte wissenschaftliche Ausbildung erfordert, welche normalerweise an den Hochschulen erworben wird. Die Fachleute dieser Berufe müssen in der Lage sein, neue

Probleme zu lösen, Forschungsarbeiten zu übernehmen, unvorhergesehene Situationen zu beherrschen, Risiken zu tragen, kurz gesagt, dem Laien, dem die Art und die Komplexität der gestellten Aufgaben nicht bekannt sind, die gewünschten Dienste zu erbringen. Diese Berufe werden *selbständig und in verantwortungsvoller Stellung* ausgeübt.

Die Aufgabe, d.h. die Dienstleistung, besteht nicht im Ergebnis, in der Liefere-

rung des fertigen Produktes, sondern darin, den erhaltenen Auftrag mit den persönlichen *beruflichen Fähigkeiten* auszuführen. Es geht dabei nicht darum, den Erfolg zu garantieren, hingegen sollten beim Auftragnehmer gute Voraussetzungen bestehen, damit die gestellte Aufgabe erfüllt werden kann. Denn bei der Erteilung eines Auftrages wendet man sich an einen Fachmann, der entsprechende *Nachweise seines Könnens* erbracht hat und zu dem man *Vertrauen* hat.

Theoretische Ausbildung

Schulen sind die Institutionen, wo allgemeine und wissenschaftliche *Kenntnisse* vermittelt werden, die den Fachmann auf seine zukünftige Tätigkeit vorbereiten. Die Gymnasien bestätigen die erworbene Allgemeinbildung durch die Erteilung eines Maturitätszeugnisses, während die Hochschulen und andere Ausbildungsstätten die wissenschaftlichen Kenntnisse durch Verleihung eines akademischen Grades oder Diploms attestieren. Aus diesem Grunde stützt sich der freie Dienstleistungsverkehr auf europäischer Ebene auf die *Gleichwertigkeit* und *gegenseitige Anerkennung der Diplome*. In Europa sind zwei wichtige Vereinbarungen von