

Straßenbeleuchtung und Sicherheit



LTG LICHTTECHNISCHE
GESELLSCHAFT
ÖSTERREICH

SLG SCHWEIZERISCHE
LICHTTECHNISCHE
GESELLSCHAFT

DEUTSCHE LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT e. V.

LiTG

Straßenbeleuchtung und Sicherheit

LiTG-Publikation Nr. 17:1998

Veröffentlichung der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) e. V.,
Fachausschuß „Außenbeleuchtung“,
bearbeitet von Dr.-Ing. Martin Eckert
und Dr. rer. nat. Hans-Hubert Meseberg

Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) e. V. wurde 1912 als „Deutsche Beleuchtungstechnische Gesellschaft“ gegründet und ist ein technisch-wissenschaftlicher Verein mit uneingeschränkt gemeinnützigem Zweck.

Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) e. V. ist der freiwillige Zusammenschluß der in der Lichttechnik tätigen Wissenschaftler, Fachexperten und daran Interessierter und fördert und vertritt die gesamte Lichttechnik in Theorie und Praxis. Sie unterstützt im Rahmen ihrer Möglichkeiten sowohl die fachliche Aus- und Weiterbildung als auch die Forschung im Bereich der Lichttechnik.

Die LiTG erstellt und verbreitet Arbeits- und Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Lichttechnik in Form technisch-wissenschaftlicher Publikationen, pflegt die Zusammenarbeit mit Hochschulinstituten, Firmen, Behörden, Verbänden und anderen Organisationen auf gemeinsamen Interessengebieten und vertritt die deutsche Lichttechnik in der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE). Ihr besonderes Anliegen ist die enge Zusammenarbeit mit den nationalen lichttechnischen Fachverbänden anderer Länder, insbesondere Europas, zur Förderung gleichen Erkenntnisstandes, um diesen in weitestgehend übereinstimmende Regeln der Technik umzusetzen.

Die Schriften der LiTG kommen dem Informationsbedarf an allgemeinen und speziellen Themen der Angewandten Lichttechnik und angrenzender Gebiete nach und machen das in den LiTG-Fachausschüssen vorhandene Fachwissen den Anwendern und der Öffentlichkeit zugänglich. Sie sind von Fachexperten erstellt, von den jeweils zuständigen Fachausschüssen sowie vom Technisch-wissenschaftlichen Ausschuß der LiTG und dessen Wissenschaftlern nach Überprüfung der fachlichen Inhalte freigegeben und frei von kommerziellen Zielen.

Die LiTG ist bestrebt, durch eine leichtverständliche Ausdrucks- und Darstellungsweise auch komplizierte Sachverhalte verständlich zu machen, was bei wissenschaftlichen Untersuchungsergebnissen und sehr speziellen Fachthemen durch entsprechende Kommentare und Begriffserklärungen unterstützt wird. Damit soll bei Wahrung der wissenschaftlichen Inhalte deren Verständnis und Anwendung gefördert werden.

LiTG-STELLUNGNAHMEN greifen aktuelle Fragen an die Fachleute der Angewandten Lichttechnik und angrenzender Gebiete auf und geben Antworten nach dem jeweiligen Erkenntnisstand, der u. U. auch schnellen Weiterentwicklungen unterworfen sein kann.

LiTG-REGELWERKE setzen lichttechnisches Grundlagenwissen und den zu speziellen Fragen aktuellen Erkenntnisstand in praktikable Empfehlungen für die technische Anwendung um. Sie kommentieren und ergänzen Normen und Richtlinien und weitere Regelwerke der Lichttechnik, um sie in der Praxis besser anwendbar zu machen.

© Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) e. V., 1998

Burggrafenstraße 6, D-10787 Berlin, Telefon (030) 26 01-24 39, Telefax (030) 26 01-12 55

Erste Auflage, Mai 1998, ISBN 3-927787-16-7

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der LiTG und mit Quellenangabe gestattet.

Redaktion: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) e. V., Berlin

Gesamtherstellung: rfw• redaktion für wirtschaftspublizistik, Darmstadt

Gestaltung: Günter Hinrichs

Fotos: Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern (Schweiz)

Druck: Reinheimer, Darmstadt

Bezugsquelle: Penny Dialog Marketing (LiTG), Postfach, D-63062 Offenbach, Telefax (069) 9 89 55-198

Inhalt

1	Aufgaben der Straßenbeleuchtung	4
2	Energiebedarf und Kosten der Straßenbeleuchtung	7
3	Straßenbeleuchtung und Unfallgeschehen	10
3.1	Statistische Zusammenhänge	10
3.2	Kosten-Nutzen-Verhältnis der Straßenbeleuchtung	14
3.3	Allgemeine Gütekriterien	15
4	Straßenbeleuchtung und Kriminalität	18
4.1	Statistische Zusammenhänge	18
4.2	Warum kann die Straßenbeleuchtung die Kriminalität beeinflussen?	22
4.3	Gütekriterien für Straßen mit geringer Verkehrsbelastung und gemischtem Verkehr	24
5	Verkehrssicherungspflicht und Straßenbeleuchtungspflicht	26
6	Straßenbeleuchtung und gemeindliche Daseinsfürsorge	28
	Anhang: Auszüge aus Artikeln des „Bonner Generalanzeigers“	29
	Lichttechnisches Glossar	30
	Literaturverzeichnis	35

1 Aufgaben der Straßenbeleuchtung

Die öffentliche Beleuchtung soll in unseren Städten und Gemeinden folgende Anforderungen erfüllen:

- die Gewährleistung der Verkehrssicherheit für den Fahrzeug- und Personenverkehr in den Dunkelstunden;
- die Unterstützung der öffentlichen Ordnung und Sicherheit; insbesondere muß Fußgängern eine Gefahrenerkennung möglich sein und ihnen soll ein Gefühl der Sicherheit gegeben werden;
- die Beachtung gestalterischer Gesichtspunkte zur Verschönerung der Städte und Gemeinden sowie die Berücksichtigung von Anforderungen zur Verbesserung der Umweltgestaltung und der Erhöhung der Lebensqualität.

Obwohl bei der Planung einer Straßenbeleuchtungsanlage alle drei Aspekte immer gleichzeitig zu erfüllen sind, wird je nach Straßenart und Charakter des zu beleuchtenden Verkehrsraumes ein bestimmter Gesichtspunkt vorwiegend zu beachten sein.

Dabei haben sich im Laufe der Zeit Veränderungen in der Wertigkeit der drei genannten Aufgaben vollzogen. Wenn in der Anfangszeit der öffentlichen Beleuchtung ausschließlich der zweite Gesichtspunkt im Mittelpunkt stand, also die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit von Personen, hat sich die Situation mit der Entwicklung des Automobilverkehrs grundlegend geändert. Die Straßen wurden immer „auto-gerechter“, das heißt, den Ansprüchen der schnellfahrenden Kraftfahrzeuge dienend, gebaut. Gleichzeitig nahm auch das Verkehrsaufkommen in den Dunkelstunden ständig zu. Diesem Trend folgte natürlicherweise auch die Straßenbeleuchtung.

Nach der zuerst genannten Zweckbestimmung, der Gewährleistung der Verkehrssicherheit in den Dunkelstunden, muß die Straßenbeleuchtung dem Kraftfahrzeugführer ein sicheres und müheloses Sehen im Straßenraum ermöglichen, damit er andere Verkehrsteilnehmer – vor allem auch Fußgänger – auf dem Fahrweg und den angrenzenden Bereichen oder auch Hindernisse rechtzeitig und sicher erkennen kann. Dabei ist eine Beeinträchtigung der Erkennbarkeit durch Blendung weitestgehend zu vermeiden.

Um diese Aufgabe zu erfüllen, wurde die Leuchtdichtetechnik entwickelt und angewendet, der folgendes Wahrnehmungsmodell zugrunde liegt: Die Lichtverteilung der Leuchten wird so gestaltet, daß eine optimale Aufhellung der Fahrbahn und der angrenzenden Bereiche erfolgt. Hindernisse auf der Fahrbahn sollen sich dabei als dunkle Silhouetten im sogenannten Negativkontrast vom helleren Hintergrund der Fahrbahn abheben. Eine wesentliche Voraussetzung für die Bestimmung der Leuchtdichteverhältnisse ist die Kenntnis der Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche.

Wichtig für die Beleuchtung dieser Kategorien von Straßen ist also die zweckmäßige Auswahl der Leuchten und die Einbeziehung der Reflexionseigenschaften der Fahrbahndeckschichten. In Abhängigkeit von den verkehrlichen Bedingungen und möglichen Gefährdungsmomenten wird das Beleuchtungsniveau und damit der energetische und materielle Aufwand der Beleuchtung bestimmt.

Diese Aufgabenstellung für die Beleuchtung aller schnell befahrenen Straßen hat bis heute nichts an Bedeutung verloren. Aber die eingangs erwähnte zweite Aufgabe der

Gewährleistung der allgemeinen Sicherheit, das heißt vor allem die Verhinderung von kriminellen Delikten und die Verringerung der Angst vor körperlichen Angriffen, ist wieder verstärkt in den Blickpunkt gerückt. Dies ist nicht zuletzt auf die angestiegene Straßenkriminalität zurückzuführen. In dem Bemühen um eine Reduzierung der Kriminalität in den Dunkelstunden haben hierbei auch die Lichttechniker bzw. die für die Beleuchtung Verantwortlichen einen wichtigen Beitrag zu leisten. Dabei sind bei diesen Straßenkategorien andere Wahrnehmungsanforderungen zu berücksichtigen als bei den Verkehrsstraßen aus der Sicht des Autofahrers.

Muß dort der Autofahrer auf möglichst große Entfernungen Hindernisse und Verkehrssituationen aufgrund der wahrgenommenen Kontrastverhältnisse rechtzeitig erkennen, um angemessen reagieren zu können, so kommt es auf den Straßen mit geringerer Verkehrsbelastung und vorherrschendem Fußgängerverkehr vor allem auf das Erkennen und Wiedererkennen von Personen an. Auch das Bemerken von Absichten, um sich beispielsweise auf einen körperlichen Angriff rasch einstellen zu können, soll durch die Beleuchtung erleichtert werden. Somit ist das Erkennen von Gesichtern gefragt, was ein Wahrnehmen von „inneren Strukturen“ bzw. „inneren Kontrasten“ erfordert; der Wahrnehmungsprozeß enthält damit auch Elemente der Formen-erkennung.

Daraus kann man leicht schlußfolgern, daß in diesen Fällen die Lichtverteilung der Leuchten anders geartet sein muß als für die Verkehrsstraßenbeleuchtung. Die Beleuchtungseinrichtung muß das Erkennen von Personen über Entfernungen von rund 10 m gewährleisten. Die Gütekriterien und beleuchtungstechnischen Kennziffern, die das Beleuchtungsniveau und eine gute Wiedergabe von Strukturen beschreiben, sind anders als bisher üblich festzulegen. Bei diesen Straßen handelt es sich vor allem um Straßen des gemischten Verkehrs, um Wohnstraßen, „Tempo 30“-Zonen, Fußgänger- und Radwege, Straßen in Randgebieten von Städten oder um Verbindungswege zu Siedlungen, die einen großen Teil des kommunalen Straßennetzes ausmachen.

Zur Zeit finden Untersuchungen statt, um die Beleuchtung dieser Straßenkategorien zweckentsprechender zu gestalten und die Leuchten entsprechend der spezifischen Sehanforderungen zielgerichteter auszuwählen als nur nach ihrem „Aussehen“ und ihrer Tageswirkung. An die Blendungsbegrenzung werden bei der Beleuchtung dieser Straßen dagegen nicht so hohe Anforderungen gestellt wie bei der Beleuchtung von Verkehrsstraßen.

Der an dritter Stelle genannte Gesichtspunkt, die Berücksichtigung gestalterischer Aspekte, ist vor allem für Straßen und andere Verkehrsräume mit repräsentativen Anforderungen in den Städten und Gemeinden beachtenswert. Das trifft vor allem auf Gebiete zu, in denen architektonische Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind (Stadt- und Gemeindezentren, historische Plätze, historische Brücken, Geschäftsstraßen, Fußgängerzonen).

Hier sollte die Beleuchtungsanlage am Tage durch ihr Design wirken und zusätzlich in den Dunkelstunden das „zweite Gesicht“ einer Stadt oder Gemeinde sichtbar machen und bestimmte architektonische Ensembles hervorheben. Damit hat die Beleuchtung in gewissem Umfang auch repräsentative Aufgaben zu erfüllen. Trotzdem müssen auch hier dem Zweck genaue angepaßte lichttechnische Forderungen eingehalten werden. Die lichttechnischen Gütekriterien sind dabei aufgrund vergleichbarer Sehanforderungen ähnlich wie in Straßen und Wegen der oben besprochenen zweiten Aufgabenkategorie (öffentliche Sicherheit) zu erfüllen. Hinsichtlich der Blendungsbegrenzung können hier jedoch weitere Zugeständnisse gemacht werden, da ansonsten die gewünschte Brillanz nicht zu erreichen ist.

In zunehmendem Maße wird die öffentliche Beleuchtung auch hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit bewertet. Folgende Probleme sind in diesem Zusammenhang zu erwähnen:

- Lichtimmission,
- Entsorgung von Lampen mit umweltrelevanten Bestandteilen wie Quecksilber oder Leuchtstoffen,
- Einfluß des Lichtes auf das Verhalten von nachtaktiven Insekten.

Als negative Eigenschaft der Beleuchtung wurde über lange Zeit ausschließlich die Blendung gesehen. Die Blendungsbegrenzung fand als lichttechnisches Gütekriterium in den Normen und Empfehlungen Platz und ist auch nach wie vor entsprechend zu beachten. In letzter Zeit wird jedoch eine zweite Störeigenschaft diskutiert: Die Lichtimmission, d. h. die Einstrahlung von Licht in Wohngebäude bzw. in Einrichtungen des Gesundheitswesens.

Im Zusammenhang mit dem Bundesimmissionsschutzgesetz wurden auch Untersuchungen zur Lichtimmission durchgeführt, die durch Außenbeleuchtungsanlagen entstehen. Wenn es in diesem Fall auch nicht um Schädigungen geht, kann es doch zu Belästigungen kommen, die verhindert werden müssen. Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) e.V. hat die Untersuchungsergebnisse in einer neuen Schrift mit entsprechenden Empfehlungen zusammengefaßt (LiTG-Publikation Nr. 12.2 [1]).

Ein weiteres wichtiges Umweltproblem ist die Entsorgung oder das Recycling von Lichtquellen. Hierbei geht es vor allem um diejenigen Lampen, die noch Quecksilber enthalten. Diese Lampen sind als Sondermüll nach den gesetzlichen Vorschriften zu behandeln, solange die einzelnen Lampenbestandteile nicht einem geordnetem Recycling zugeführt werden. Erfreulicherweise ist ein Netz von Betrieben entstanden, die sich der Entsorgung und dem Recycling von Lampenmaterialien widmen. Allerdings sind sowohl die Entwicklung einer Recyclingindustrie als auch die gesetzlichen Grundlagen hierzu noch im Fluß [2, 3, 4]. Aber auch bei den Leuchten, die aufgrund ihrer langen Lebensdauer nur in geringerem Umfang anfallen, sind Aspekte der Entsorgung und des Recyclings zunehmend von Bedeutung [5]. Das liegt auch an den verstärkt eingesetzten Materialien wie Kunststoffen und Elektronikbauteilen, die speziell zu entsorgen sind.

In letzter Zeit gibt es auch Diskussionen um die Beeinträchtigung von Insekten durch die Straßenleuchten, und zwar einerseits durch direkte Hitzeeinwirkung, wodurch nachtaktive Insekten getötet werden, und andererseits besteht die Vermutung, daß die hellen Lichtquellen die Nahrungsaufnahme und die Vermehrung der Insekten behindern [6, 7, 8]. Da hierüber aber nur höchst unzureichende Daten vorliegen, werden diese möglichen Einwirkungen weiter verfolgt, wobei zunächst die Prüfung des Einflusses von künstlichem Licht auf die Insektenpopulation als wichtigste Aufgabe anzusehen ist.

Die Gremien der LiTG sind bemüht, diese Aufgaben zu unterstützen und die aktuellen Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit vorzulegen, um eine sachgerechte Information zu gewährleisten. Dies ist durch die LiTG-Stellungnahme „Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten“ erfolgt [9].

2 Energiebedarf und Kosten der Straßenbeleuchtung

Die jährlichen Betriebskosten der Straßenbeleuchtung setzen sich aus den Energiekosten, den Kosten für den Lampenwechsel sowie für die Wartung und Instandhaltung der Anlage zusammen. Darüber hinaus ist der Kapitaldienst zu beachten. In der DIN 5035 [10] ist eine Berechnungsmethode für die jährlichen Gesamtkosten einer Beleuchtungsanlage einschließlich Verzinsung und Abschreibung angegeben, die auch für die Außenbeleuchtung anwendbar ist.

Für die gleiche Lichtleistung konnte im Verlaufe der vergangenen Jahre und Jahrzehnte der energetische und materielle Aufwand kontinuierlich gesenkt werden, was insbesondere auf den Einsatz von Lichtquellen mit hoher Lichtausbeute und von Bauelementen (Lampen, Leuchten, Masten) mit langer Lebensdauer zurückzuführen ist. Der Einsatz von hocheffektiven Lampen und Leuchten in der Straßenbeleuchtung zeigt sich auch darin, daß der Anteil der für die gesamte Beleuchtung aufgebrauchten Endenergie (Industrie, Verkehr, Haushalte usw.) in den letzten Jahren von rund 1 % auf nahezu 2 % gestiegen, der Anteil der Straßenbeleuchtung an der Beleuchtung aber von rund 8 % auf nahezu 6 % gefallen ist (Abb. 1), was einerseits auf den Anstieg des Energiebedarfs bei den übrigen Beleuchtungseinrichtungen, aber andererseits auf die oben erwähnte erhöhte Lichtausbeute der Lampen zurückzuführen ist. So zeigte Richter [11] exemplarisch, wie durch Modernisierung einer Straßenbeleuchtungsanlage der Energiebedarf um bis zu 2/3 reduziert und die Stromkosten halbiert werden konnten.

Durch die Entwicklung verschiedenster Energiespartechniken ist es gelungen, den Energieeinsatz in der Straßenbeleuchtung immer rationeller zu gestalten. So zeigt Abb. 2 sehr eindrucksvoll, wie stark sich die Lichtausbeute der in der Straßenbeleuchtung eingesetzten Lampen erhöht hat. Der Prozeß des verstärkten Einsatzes von Natriumdampf-Hochdrucklampen ist dabei noch nicht abgeschlossen, wie eine repräsentative Umfrage ergab. Haben einige Städte und Gemeinden bereits über 90 % ihrer Straßenbeleuchtungsanlagen mit diesen hocheffektiven Lichtquellen ausgestattet, so gibt es hier in vielen anderen Kommunen noch einen erheblichen Nachholbedarf.

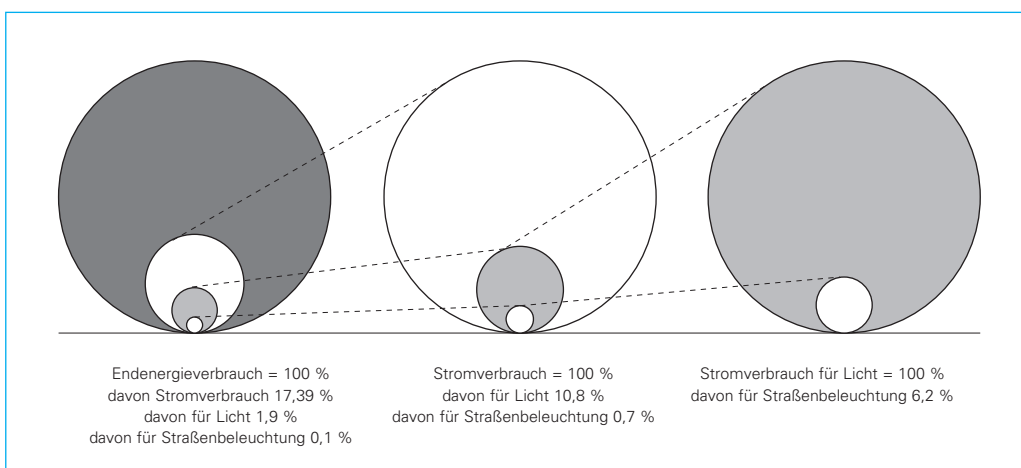


Abb. 1:
1993 betrug der Anteil der elektrischen Energie für die Straßenbeleuchtung ca. 0,1 % der gesamten Endenergie (nicht maßstäbliche Darstellung)

Die Straßenbeleuchtung steht für alle Bürgerinnen und Bürger sichtbar im öffentlichen Straßenraum. Vorschläge zur Kostenreduzierung durch Einsparmaßnahmen bei der Straßenbeleuchtung lassen sich daher recht medienwirksam verkaufen. Dies führt in der Öffentlichkeit häufig zu völlig übertriebenen Einschätzungen, welcher Energiebedarf für die Straßenbeleuchtung tatsächlich notwendig ist. Die vorliegende Schrift soll helfen, der Diskussion um Aufwand (insbesondere Energieaufwand) und Nutzen der Straßenbeleuchtung eine sachliche Grundlage zu geben. Zunächst soll der Energiebedarf der Straßenbeleuchtung näher eingeschätzt und in den Gesamtenergiebedarf im Lande eingeordnet werden (siehe auch Abb. 1).

Energiebedarf

Der Einschätzung des Energiebedarfes dienen die neuesten erhältlichen Zahlen von 1993 (Abb. 1). Der gesamte Bedarf an Endenergie in Deutschland betrug in diesem Jahr 268,5 Mio. t Steinkohleeinheiten (SKE) oder umgerechnet 2186 TWh.

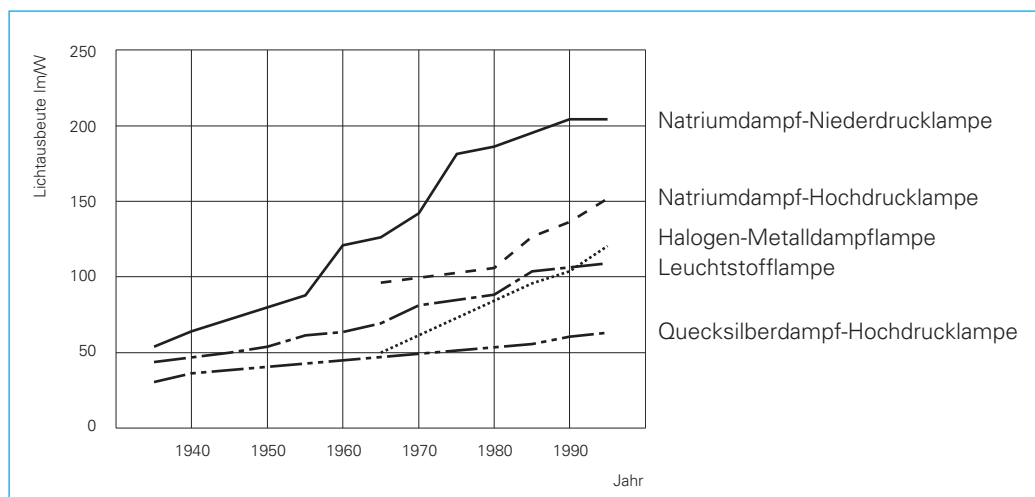
Die Straßenbeleuchtung ist darin mit 2,6 TWh enthalten; dies sind rund 0,1 % der Endenergie.

Betrachtet man lediglich die elektrische Energie, also den Strombedarf, so läßt sich folgendes feststellen: Im Jahr 1993 wurden 10,8 % des gesamten Aufkommens an Elektroenergie für Beleuchtungszwecke eingesetzt. Setzt man das Elektroenergieaufkommen für die gesamte Beleuchtung (Industrie, Handwerk, Verkehr usw.) gleich 100 %, so sind darin 6,2 % für die Straßenbeleuchtung enthalten, das entspricht rund 0,7 % des gesamten Strombedarfs oder eben 0,1 % des Gesamtenergiebedarfs. Damit ist erklärlich, daß Sparmaßnahmen an der Straßenbeleuchtung von vornherein in einem bescheidenen Rahmen bleiben müssen. Die negativen Auswirkungen bei derartigen Sparmaßnahmen hinsichtlich Verkehrssicherheit und öffentlicher Sicherheit stehen dazu in keinem Verhältnis, wie noch zu zeigen sein wird.

Kostenaspekte

Ähnlich wie beim Energiebedarf läßt sich auch der Kostenaufwand in den Kommunen für die Straßenbeleuchtung abschätzen. Nach Angaben von Reck [12] schlagen die jährlichen Gesamtbetriebskosten für die Straßenbeleuchtung mit 1,1 Mrd. DM zu Buche (nur Altbundesländer). Somit entfällt auf jeden Bürger im Durchschnitt ein Anteil von knapp 20 DM im Jahr. Bezüglich der installierten Leistung der Straßenbeleuchtung entfallen auf jeden Bürger ca. 13 W. Legt man lediglich die Stromkosten

Abb. 2:
Entwicklung der Lichtausbeute verschiedener Lampentypen (jeweils maximal erreichbare Werte, ohne Vorschaltgerät)



zugrunde, so zahlt jeder Bürger durchschnittlich ca. 7 DM im Jahr an Steuern für die Stromkosten der Straßenbeleuchtung. Im Haushalt der Städte und Gemeinden sind die Stromkosten für die Straßenbeleuchtung im Mittel mit 0,4 % enthalten.

Vergleich des Energiebedarfs Straßenbeleuchtung – Straßennutzer

Sehr bedeutsam ist ein Vergleich des Energiebedarfs der stationären Straßenbeleuchtung mit demjenigen der Kraftfahrzeuge, die diese Straße benutzen.

Energiebedarf eines Pkw:

1 l Benzin enthält eine Energiemenge von ca. 10 kWh. Ein Pkw mit einem Bedarf von 10 l/100 km benötigt somit 1 kWh/km. Auf einer Hauptstraße, die von nur 3000 Fahrzeugen pro 24 Stunden befahren wird, ergibt das einen Energieaufwand von 3000 kWh/km.

Energiebedarf der Straßenbeleuchtung:

Der Mastabstand sei 40 m, d. h. man benötigt 25 Leuchten je km. Die Leuchten sind mit 1 x 150 W Natriumdampf-Hochdrucklampen bestückt. Die Wirkleistung je Lampe einschließlich Vorschaltgerät beträgt 170 W. Bei im Durchschnitt zwölfstündigem Nachtbetrieb werden pro Tag 51 kWh/km benötigt; bei nächtlicher Leistungsreduzierung (Halbnachtschaltung) sogar nur 40 kWh/km.

Auf der Straße werden demnach nicht einmal 1,5 % der dort umgesetzten Energie für die stationäre Straßenbeleuchtung benötigt, aber mehr als 98,5 % für die auf dieser Straße verkehrenden Pkw. Selbst bei einer Reduzierung des Benzinbedarfs der Pkw auf 5 l/100 km entfallen auch dann nicht einmal 3 % des Energieaufwandes auf die stationäre Beleuchtung (Abb. 3).

Abschließend sei noch folgende Bemerkung angeführt: Heute wird der Energiebedarf nicht ausschließlich im Zusammenhang mit den anfallenden Kosten gesehen, sondern auch aus ökologischen Gründen diskutiert. Aber auch hier ist, wie gezeigt wurde, bei der Straßenbeleuchtung kaum ein merklicher Einspareffekt zu erzielen. Das soll nicht heißen, daß nicht auch in kleinen Raten gespart werden kann. Es sollte selbstverständlich auch jede Überdimensionierung der Beleuchtung vermieden werden.

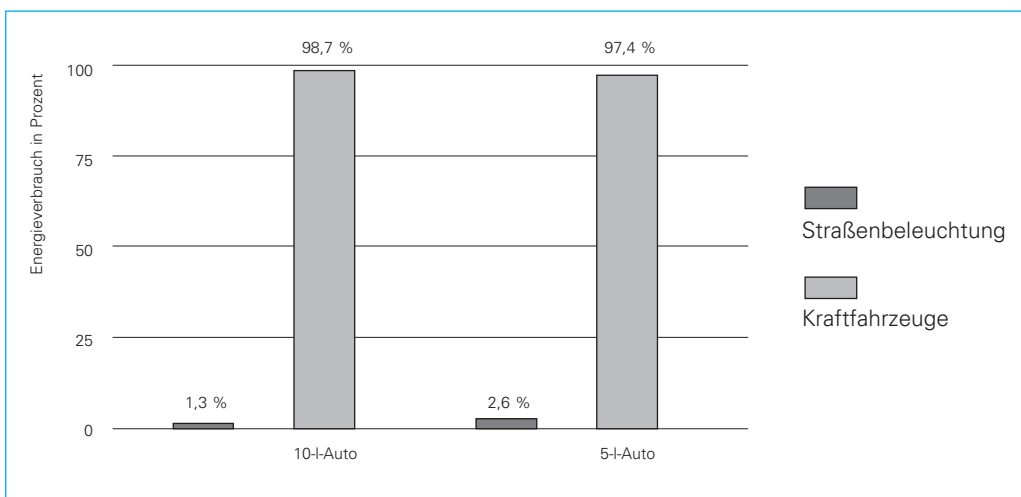


Abb. 3:
Energieanteile, die auf der Straße von der Straßenbeleuchtung und von Kraftfahrzeugen umgesetzt werden

3 Straßenbeleuchtung und Unfallgeschehen

3.1 Statistische Zusammenhänge

Nachts sind Straßenverkehrsunfälle überproportional häufig und schwerer als am Tage. So liegt der Anteil der tödlichen Unfälle bei Nacht in 13 untersuchten OECD-Mitgliedsländern bei 48,5 %, obwohl die Fahrleistung in den Dunkelstunden nur 25 % beträgt. Mit diesen Zahlen leitet die CIE (Internationale Beleuchtungskommission) ihren Bericht über den Zusammenhang zwischen Straßenbeleuchtung und Unfallgeschehen ein [13].

Die Gründe für die erhöhte Unfallgefahr bei Nacht liegen in der Hauptsache in der Dunkelheit selbst. Bei Nacht nimmt das Sehvermögen des Menschen ab: Die Sehschärfe geht zurück, Entfernungen können schlechter geschätzt werden, das Farbunterscheidungsvermögen ist reduziert und die Blendgefahr steigt. Dadurch wird generell die Erkennbarkeit von anderen Verkehrsteilnehmern und Hindernissen herabgesetzt. Außerdem stehen dem Verkehrsteilnehmer nachts weniger Informationsquellen zur Verfügung als am Tage. Die nächtliche Unfallrate ist nicht nur höher als am Tage, sondern ist in städtischen Bereichen auch höher als in ländlichen; in städtischen Bereichen überwiegen Unfälle, an denen Fußgänger beteiligt sind, während in ländlichen Bereichen ein recht hoher Anteil an Alleinunfällen von Kfz zu verzeichnen ist. Als Hauptfaktoren, die das nächtliche Unfallgeschehen beeinflussen, müssen neben den vielfältigen Einschränkungen der Beleuchtungs- und Sichtbedingungen auch eine Reihe von nicht-visuellen Faktoren genannt werden: Müdigkeit, Alkoholeinfluß, ein höherer Anteil von jungen Fahrern, die nachts unterwegs sind (und die grundsätzlich ein höheres Unfallrisiko besitzen); unterschiedliche Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsdifferenzen bei Tag und Nacht, Einflüsse von Jahreszeit und Wetter.

Ein selbstverständliches Mittel zur Senkung des nächtlichen Unfallrisikos ist die Straßenbeleuchtung. Doch Straßenbeleuchtung kostet Geld; deshalb wird immer

Tabelle 1:
Prozentuale Abnahme von Nachtunfällen. Vorher-Nachher-Studien, Installation oder Verbesserung einer Beleuchtungsanlage (nach CIE-Publikation 93 [13])

Straßenklasse	alle Unfälle		Fußgängerunfälle		Verletzte		Signifikanzwert
	Bereich	Mittelwert	Bereich	Mittelwert	Bereich	Mittelwert	
innerorts							
freie Strecke	21–75	43	46–75	51	29–48	34	s.
	9–75	29	16–57	42	16–48	29	s.+n.s.
Fußgängerüberwege				64			s.
			32–74	54			s.+n.s.
außerorts ohne Autobahn							
freie Strecke	13–75	44			38–53	45	s.
	13–75	37			13–100	44	s.+n.s.
Kreuzungen		44					s.
	26–44	35					s.+n.s.
Autobahnen							
freie Strecke		57					s.
	56–58	57				9	s.+n.s.
Anschlußstellen		41					s.

Letzte Spalte: s.: Hier wurden nur die signifikanten Studien aufgelistet.

s.+n.s.: Hier wurden alle Studien aufgelistet, unabhängig von ihrer Signifikanz oder Nichtsignifikanz.

wieder versucht, bei Einsparbestrebungen in den öffentlichen Haushalten, aus denen die Straßenbeleuchtung schließlich bezahlt wird, auch die Straßenbeleuchtung mit einzubeziehen.

Das Technische Komitee 4.02 „Lighting and signalling for transport“ der CIE hat alle weltweit verfügbaren Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Unfallgeschehen und Straßenbeleuchtung analysiert und die Ergebnisse in der Publikation Nr. 93 [13] zusammengestellt. Die Zahlenangaben aus den einzelnen Untersuchungen wurden nicht ungeprüft übernommen, sondern für jede Studie wurden alle statistisch relevanten Zahlen nach einem einheitlichen Verfahren neu berechnet.

Hinsichtlich der Straßenart unterscheidet der Bericht Autobahnen, Hauptverkehrsstraßen außerorts, Hauptverkehrsstraßen innerorts, Fußgängerüberwege und Tunnel. Der Einfluß der Straßenbeleuchtung auf das Unfallgeschehen wird anhand der Unfallkategorien „alle Unfälle“, „Unfälle mit Fußgängern“, „Verletzte“ und „Getötete“ analysiert. In den CIE-Bericht wurden 62 Studien aus 15 Ländern einbezogen. Da einige Studien aus mehreren Teilstudien über verschiedene Unfallkategorien bestehen, kann man die Zahl der Teilstudien mit 104 ansetzen.

Die analysierten Studien können methodisch in zwei Hauptgruppen unterteilt werden:

- Untersuchungen, bei denen eine Korrelation zwischen der Qualität der Straßenbeleuchtung (insbesondere auch Vorhandensein/Nichtvorhandensein einer Beleuchtung) und dem Unfallgeschehen gesucht wird und
- Vorher-Nachher-Studien, bei denen analysiert wird, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen und einer Veränderung der Qualität der Beleuchtung gibt.

85 % aller Untersuchungen weisen die Straßenbeleuchtung als wirksames Mittel gegen Verkehrsunfälle aus, ein Drittel der Untersuchungen zeigt auch statistisch signifikante Ergebnisse. Tabelle 1 zeigt, daß die statistisch gesicherte Unfallreduktion von 13 bis 75 % bei einem Mittelwert von ca. 30 % reicht. Natürlich sieht das Ergebnis bei den verschiedenen Straßen- und Unfallkategorien sehr differenziert aus. Ein Teil der Untersuchungen bezieht sich auch auf Fälle, bei denen das Unfallgeschehen nach Reduzierung der öffentlichen Beleuchtung analysiert wurde. Die Ergebnisse gehen mit denen völlig konform, die eine Verbesserung der Beleuchtung als Untersuchungsgrundlage haben: Die Verbesserung (oder Installation) einer Beleuchtungsanlage hat eine Verringerung des Unfallgeschehens zur Folge, und eine Reduzierung (oder Abschaltung) der Beleuchtung geht mit einer Erhöhung der Unfallzahlen einher.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse für alle Straßenarten zusammengestellt. 89 Studien und Teilstudien, die einen positiven Einfluß der Beleuchtung auf das Unfallgeschehen ausweisen, stehen nur sechs Studien gegenüber (davon nur zwei signifikante), die eine Erhöhung des Unfallrisikos durch Installation oder Verbesserung der Beleuchtung zeitigten. Dem Bericht ist zu entnehmen, daß auf allen Straßen die Straßenbeleuchtung ganz allgemein einen deutlichen Rückgang der Verkehrsunfälle bei Nacht

	Vorteile der Beleuchtung	kein Einfluß auf das Unfallgeschehen	Nachteile
Zahl der Studien bzw. Teilstudien	89	9	6
davon signifikant	28	0	2

Tabelle 2:
Zusammenfassung aller
in der CIE-Publikation 93
[13] ausgewerteten
Studien

nach sich zieht. Da der Zusammenhang zwischen Unfallgeschehen und Straßenbeleuchtung nach Straßen- und Unfallarten aufgeschlüsselt ist, ist es möglich, den CIE-Bericht als Hilfsmittel für konkrete Fälle zu benutzen, bei denen eine Entscheidung über die Beleuchtung eines öffentlichen Verkehrsweges getroffen werden muß – aber auch dann, wenn eine Reduzierung oder Abschaltung der Beleuchtung und die möglichen Folgen zur Diskussion stehen. Andererseits sagt der Bericht klar aus, daß keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Unfallgeschehen und dem Niveau einzelner lichttechnischer Parameter angegeben werden können; allerdings kann der Trend angegeben werden, daß die Unfälle abnehmen, wenn die Qualität der Beleuchtung zunimmt.

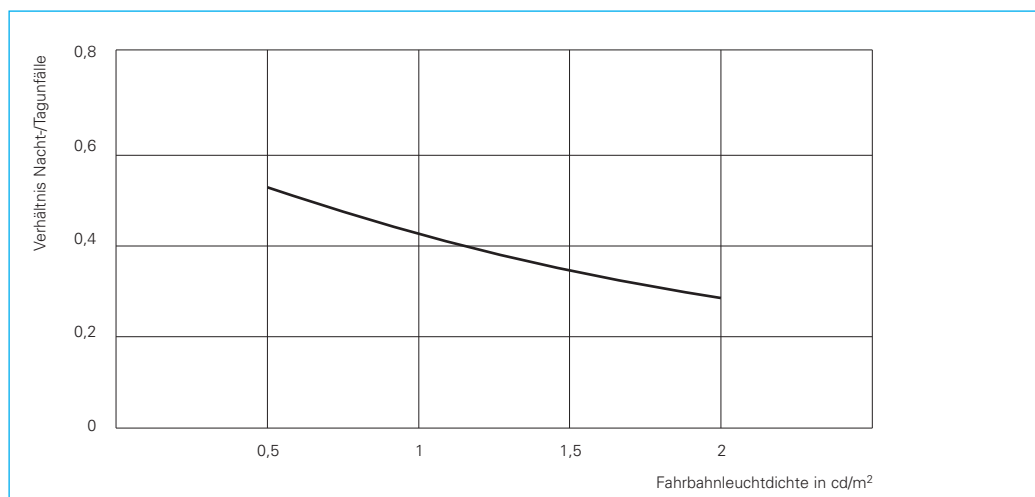
Im folgenden werden die Ergebnisse einiger besonders wichtiger und interessanter Untersuchungen wiedergegeben.

Innerortsstraßen

Scholz [14] untersuchte das Unfallgeschehen vor und nach Erhöhung des mittleren Leuchtdichteniveaus von 0,4 bis 0,5 cd/m^2 auf 0,8 bis 1 cd/m^2 auf zehn zweistreifigen Hamburger Straßen im Verhältnis zu zehn anderen Straßen, auf denen das Beleuchtungsniveau gleichblieb. Nach einem Untersuchungszeitraum von vier Jahren stellte Scholz fest, daß die Beleuchtungsverbesserung eine Reduzierung der Nachtunfälle um 22 % nach sich zog. Als Folge der Energiekrise von 1973/74 wurde in Hamburg angeordnet, die nächtliche Halbierung der Beleuchtung von 23.30 Uhr auf 21.00 Uhr vorzuziehen. Scholz berichtet in der gleichen Publikation, daß die Zahl der Unfälle aufgrund des verringerten Beleuchtungsniveaus um 5,3 % gestiegen ist.

Scott [15] ermittelte an 100 Untersuchungsstrecken (Hauptstraßen in bebauten Gebieten) in England den Zusammenhang zwischen Unfallgeschehen und mittlerer Fahrbahnleuchtdichte. Er stellte eine eindeutige Beziehung zwischen dem Verhältnis Nachtunfälle : Tagunfälle und der Leuchtdichte fest (siehe Abb. 4) und berechnete, daß eine Erhöhung der mittleren Fahrbahnleuchtdichte um 1 cd/m^2 eine Verringerung dieses Verhältnisses, und damit eine Reduzierung der Nachtunfälle, um 35 % zur Folge hat. Wegen der breiten Streuung der Daten auf den 100 Untersuchungsstrecken können Scotts Ergebnisse nicht zu einer genauen Vorhersage des Unfallgeschehens auf einer beliebigen innerstädtischen Straße herangezogen werden; die Tendenz – Verringerung von Nachtunfällen bei Erhöhung der Leuchtdichte – ist jedoch eindeutig. Scotts Resultate werden durch die von Marsden und Simons [16] in Australien durchgeführten Untersuchungen untermauert, die zeigten, daß jede Erhöhung der mittleren Fahrbahnleuchtdichte um 10 % mit einer Verringerung des nächtlichen Unfallgeschehens um 2,5 % einhergeht.

Abb. 4:
Abnahme des
Verhältnisses
Nacht-/Tagunfälle
mit der Fahrbahn-
leuchtdichte
(nach Scott [15])



Pfundt [17] berichtet, daß nach Einführung der Halbnachtschaltung in Köln die Unfallzahl auf Straßen mit reduzierter Beleuchtung gegenüber den Straßen, auf denen die volle Beleuchtung geschaltet blieb, um 20 bis 40 % gestiegen ist. Ähnliches gilt für andere deutsche Großstädte.

Die neueste Forschungsarbeit zu diesem Thema kommt wiederum aus Deutschland und ist daher in dem CIE-Bericht [13] noch nicht enthalten. Uschkamp [18, 19] untersuchte im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums auf zehn ausgewählten Streckenabschnitten in sechs Großstädten mittels einer Vorher-Nachher-Untersuchung, wie sich die Verdopplung der mittleren Fahrbahnleuchtdichte (erreicht durch Aufhebung einer Halbnachtschaltung oder Umrüstung einer Beleuchtungsanlage) auf das Unfallgeschehen insbesondere in den verkehrsschwachen Nachtstunden auswirkt. Als bemerkenswertestes Ergebnis stellte sich heraus, daß die Verdopplung der Leuchtdichte ein signifikantes Absinken der Unfälle mit Beteiligung von Fußgängern und Radfahrern um 68 % bewirkte. Die Gesamtzahl der Unfälle ging um 28 %, die Zahl der Verletzten um 45 % zurück. Letzere beiden Zahlen sind zwar nicht signifikant, zeigen aber die eindeutige Tendenz der segensreichen Wirkung der Straßenbeleuchtung zur Verhinderung von Nachtunfällen an. Die Ergebnisse von Uschkamp unterstreichen, wie auch bereits aus Tabelle 1 ablesbar, daß das Unfallreduktionspotential einer guten Straßenbeleuchtung bei Unfällen unter Beteiligung von Fußgängern noch größer ist als bei allen Unfällen.

In der Literaturzusammenstellung sind einige weitere aus der Vielzahl der vorhandenen Untersuchungen aufgeführt, die eine Reduzierung von Nachtunfällen bei Verbesserung der Beleuchtung um 20 bis 50 % auf innerstädtischen Straßen nachweisen [20, 21, 22, 23, 24].

Fußgängerüberwege

Besondere Aufmerksamkeit wird seit langem in vielen Ländern der Beleuchtung von Fußgängerüberwegen gewidmet. Jaster [25] ermittelte, daß die Installation von Beleuchtungsanlagen an 154 mit Zebrastrifen gekennzeichneten Fußgängerüberwegen in Hannover die Fußgängerunfälle um mehr als 2/3 reduzierte. In Israel verringerte die Einrichtung von solchen Beleuchtungsanlagen die Fußgängerunfälle ebenfalls um 2/3 [26]. Jaster stellte weiter fest, daß die Installation einer Beleuchtungsanlage an einem Fußgängerüberweg viel erfolgreicher ist als die Installation einer Signalanlage: An signalgeregelten Überwegen verdoppelte sich im gleichen Zeitraum die Zahl der Fußgängerunfälle. Jorgensen und Rabani [27] kommen zu dem gleichen Ergebnis: Das Fußgängerunfallrisiko ist an einem signalgeregelten Fußgängerüberweg um 67 % höher als an einem beleuchteten. Diese Zahlen belegen eindrucksvoll die Notwendigkeit der Beleuchtung von Fußgängerüberwegen, die in Deutschland durch DIN 67 523 [28] und eine Verkehrsblattverlautbarung des Bundesverkehrsministeriums [29] geregelt ist.

Außerortsstraßen

Auch auf solchen Straßen hat die Installation oder Verbesserung einer Beleuchtung einen positiven Einfluß auf das Unfallgeschehen. So ermittelten Cornwall und MacKay [21] eine Abnahme der Nachtunfälle um 37 % nach Verbesserung der Beleuchtung auf 43 Außerortsstraßen in England.

Einige Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Einfluß der Beleuchtung nur von Außerortskreuzungen. Hier erbringt die Installation von Beleuchtungsanlagen eine Unfallreduktion um 25 % (Untersuchung von 74 Außerortskreuzungen in Finnland durch Salminen [30] bzw. von 167 Außerortskreuzungen in Frankreich durch das Institut Onser in Frankreich [31]) oder sogar um 30 % (Untersuchung in 49 highway departments der USA von Wortman und Lipinski [32]).

Autobahnen

Autobahnen gelten – zu Recht – als sicherste Straßen im gesamten Straßennetz eines Landes. Daraus wird meist geschlossen, daß eine Autobahnbeleuchtung für das nächtliche Unfallgeschehen keinen Nutzen erbringt. Die zu diesem Thema vorliegenden Untersuchungen sprechen jedoch eine andere Sprache. Belgien ist das einzige Land, in dem das Autobahnnetz durchgehend beleuchtet ist. Infolge von Sparmaßnahmen wurde auch hier die Autobahnbeleuchtung zwischen 3.00 Uhr und 5.30 Uhr zeitweise abgeschaltet bzw. während der ganzen Nacht die Leuchtdichte halbiert. De Clercq [33] berichtet, daß durch die erstgenannte Maßnahme die Zahl der Unfälle um 6 % und die der Getöteten sogar um 38 % stieg. Die zweite Maßnahme erbrachte eine Zunahme der entsprechenden Zahlen um 23 bzw. 10 %. In beiden Fällen verdoppelte sich in etwa die Zahl der schweren Unfälle. Richards [34] berichtet aus den USA, daß durch Abschalten der Autobahnbeleuchtung die nächtliche Unfallrate um 75 % stieg. Bruneau u. a. [35] zeigten, daß auf unbeleuchteten Autobahnen sowohl in Belgien als auch in Quebec/Kanada die Unfallschwere deutlich höher ist als auf beleuchteten Autobahnabschnitten.

Werden nur die Anschlußstellen beleuchtet, sinkt die Zahl der Nachtunfälle ebenfalls, und zwar nach den Ergebnissen von Gramza u. a. [36] um 43 %. Eine neue Untersuchung von Griffith [37] sagt aus, daß eine durchgehend beleuchtete Autobahn eine um 12 % geringere nächtliche Unfallrate besitzt als eine Autobahn, bei der nur die Anschlußstellen beleuchtet sind.

3.2 Kosten-Nutzen-Verhältnis der Straßenbeleuchtung

In einer Reihe von Studien wurde auch das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Beleuchtung analysiert. Wegen der Unterschiedlichkeit der den Untersuchungen zugrundeliegenden lichttechnischen, verkehrlichen und wirtschaftlichen Parameter ist es nicht möglich, die aus den verschiedenen Studien ermittelten Kosten-Nutzen-Verhältnisse miteinander zu vergleichen. Diese Untersuchungen sagen aus, daß abhängig von der Straßen- und Verkehrsklassifikation die Kosten für die Beleuchtung durch die eingesparten Kosten infolge der Verringerung von Verkehrsunfällen mehr als ausgeglichen werden. Eine Straßenbeleuchtung auf hohem Niveau ist daher auch volkswirtschaftlich sinnvoll; ganz abgesehen davon, wieviel menschliches Leid durch eine gute Straßenbeleuchtung verhindert werden kann. Doch wegen der allseits begrenzten Mittel müssen bei Bau und Betrieb von Straßenbeleuchtungsanlagen Prioritäten gesetzt werden. Deshalb sollte vor allem der Beleuchtung solcher Straßen Augenmerk geschenkt werden, bei denen ein hohes Unfallrisiko besteht. Dieses Unfallrisiko ist der wesentliche Gesichtspunkt, der der Erarbeitung der DIN 5044 „Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung“ [38] zugrundegelegt wurde. Gleiches gilt für die entsprechenden Normen Österreichs und der Schweiz [39, 40]. Straßen mit hohem Unfallrisiko sind insbesondere innerstädtische Hauptverkehrsstraßen, Straßen in Einkaufsgebieten, u. U. mit Parkmöglichkeiten an oder auf der Fahrbahn. Dagegen wird eine Beleuchtung von Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen wegen des hohen finanziellen Aufwandes und wegen des auf diesen Straßen vergleichsweise geringen Unfallrisikos in der Regel nicht in Frage kommen. Ausnahme von dieser Regel sind Stadtautobahnstrecken, die durch bebaute Gebiete führen und durch eine hohe Anschlußstellendichte und ein hohes Verkehrsaufkommen gekennzeichnet sind.

Wie Uschkamp [18] überzeugend dargelegt hat, führt selbst eine Reduzierung der Beleuchtung in den verkehrsschwachen Nachtstunden zu einer signifikanten Erhöhung des Unfallgeschehens. Einsparungen an der Straßenbeleuchtung durch Verringerung des Beleuchtungsniveaus sind daher weder auf Autobahnen noch auf Außer- oder Innerortsstraßen zu empfehlen. Akzeptabel ist eine Reduzierung der

Beleuchtung allenfalls in Verkehrsbereichen und zu Verkehrszeiten mit einem sehr geringen nächtlichen oder fehlendem motorisierten Verkehr wie in Anliegerstraßen, Wohn- oder Gewerbegebieten, Fußgänger- oder Tempo 30-Zonen. Aber auch hier müssen bei der Absenkung des Helligkeitsniveaus die lichttechnischen Gütekriterien, besonders die Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke, eingehalten werden.

3.3 Allgemeine Gütekriterien

Weitergehende Informationen zu den Gütekriterien der Straßenbeleuchtung sind enthalten in DIN 5044 [38] sowie den entsprechenden österreichischen und schweizerischen Normen [39, 40], im Handbuch für Beleuchtung [41], bei Eckert [42, 43], in der LiTG/LTAG-Broschüre Nr. 14 [44] und der SLG-Broschüre „Energie in der öffentlichen Beleuchtung“ [78]. Siehe auch Abschnitt „Lichttechnisches Glossar“.

Leuchtdichte L

Wichtigstes Gütekriterium der Straßenbeleuchtung ist die Leuchtdichte der Fahrbahn. Die Leuchtdichte ist maßgebend für den Helligkeitseindruck, den der Verkehrsteilnehmer von der Straßenoberfläche hat, und bestimmt den Adaptationszustand und damit die visuelle Leistungsfähigkeit des Verkehrsteilnehmers (siehe Abb. 5 und 6).



Abb. 5:
Blendfreie Straßenbeleuchtung, die eine gleichmäßige und genügend hohe Leuchtdichte auf der Fahrbahn erzeugt.



Abb. 6:
Leuchtdichte und Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte sind zu gering. Es sind nur kleine Teile des Verkehrsraumes erkennbar.



Die Leuchtdichte hängt ab

- vom Lampenlichtstrom,
- von der Lichtstärkeverteilung der Leuchten,
- von der Leuchtenanordnung,
- vom Beobachterstandort,
- von den Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche,
- vom Feuchtezustand und dem Verschmutzungsgrad der Fahrbahn.

In DIN 5044 [38] werden Nennleuchtdichten L_n als Richtwerte angegeben. Die Höhe der Nennleuchtdichte richtet sich nach dem Verkehrsunfallrisiko der betrachteten Straße. Die Nennleuchtdichte ist der örtliche und zeitliche Mittelwert der Fahrbahnleuchtdichte in einem Bewertungsfeld, das für Planungszwecke 60 m vor dem Kraftfahrer beginnt und ein Leuchtenfeld umfaßt.

Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte

Für das Wahrnehmen von Personen, Fahrzeugen und Gegenständen auf der Fahrbahn ist nicht nur die Höhe der Leuchtdichte, sondern auch deren örtliche Gleichmäßigkeit maßgebend (Verhinderung von Tarnzonen, siehe Abb. 7 und 8). Der wesentliche Eindruck von der Gleichmäßigkeit wird durch die Längsgleichmäßigkeit U_l auf der Beobachterspur parallel zur Straßenachse bestimmt. Sie wird durch das Verhältnis der minimalen zur maximalen Leuchtdichte auf dieser Linie im Bewertungsfeld angegeben:

$$U_l = L_{\min} / L_{\max}$$

Die Gesamtgleichmäßigkeit U_0 stellt sicher, daß selbst bei guter Längsgleichmäßigkeit Stellen zu geringer Leuchtdichten im Bewertungsfeld vermieden werden. U_0 ergibt sich aus dem Verhältnis der minimalen zur mittleren Leuchtdichte im Bewertungsfeld:

$$U_0 = L_{\min} / \bar{L}$$

U_l und U_0 sind dimensionslos.

DIN 5044 gibt Richtwerte für die Längs- und Gesamtgleichmäßigkeit an.

Horizontale Beleuchtungsstärke E_h

Wenn die Leuchtdichtetechnik nicht sinnvoll anwendbar ist, wird die Helligkeit der Fahrbahn mit dem Kriterium horizontale Beleuchtungsstärke bewertet. Das ist der Fall, wenn

- kein eindeutiger Beobachterstandort festzulegen ist,
- kein eindeutiges Bewertungsfeld zu definieren ist,
- die Reflexionseigenschaften der Straßenoberfläche zu unterschiedlich sind.

Solche Situationen treten vor allem auf schwach belasteten Straßen auf, die vorwiegend dem Anliegerverkehr und/oder dem Fußgänger- oder Fahrradverkehr dienen, ferner in Straßen besonderer baulicher oder architektonischer Gestaltung wie historische Stadtkerne oder verkehrsberuhigte Bereiche. Siehe hierzu auch Abschnitt 4.3.

In DIN 5044 werden Nennbeleuchtungsstärken E_n als Richtwerte angegeben.

Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke g_1

Diese wird als Verhältnis der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke im Bewertungsfeld definiert:

$$g_1 = E_{\min} / \bar{E}$$

DIN 5044 gibt Richtwerte für die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke an.

Blendungsbegrenzung

Blendung führt zu Unbehagen, Unsicherheit und Ermüdung (psychologische Blendung) und/oder beeinträchtigt die Sehfunktionen (physiologische Blendung) des Kraftfahrers und damit die Verkehrssicherheit. In DIN 5044 wird die Blendungsbegrenzung beschrieben, indem Maximalwerte der von den Leuchten ausgehenden Lichtstärke in bestimmten Ausstrahlungsbereichen festgelegt werden (Klassen der Blendungsbegrenzung KB).



Abb. 7:
Die Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte, längs und quer zur Fahrtrichtung, ist gut.



Abb. 8:
Durch Abschalten einzelner Leuchten entsteht eine verkehrsgefährdende Längsungleichmäßigkeit der Leuchtdichte.



Die Wirkung der physiologischen Blendung kann auch durch die sogenannte Schwellenwerterhöhung TI (threshold increment) beschrieben werden (siehe LiTG-Publikation [45]). Das TI-Verfahren eignet sich besser zur Berechnung der von Einzellichtern oder komplexen Beleuchtungsanlagen ausgehenden physiologischen Blendung und wird in den zukünftigen europäischen Normen zur Straßenbeleuchtung verwendet werden.

Adaptationsstrecken

Dem Beginn und Ende einer beleuchteten Straße kommt für einen sicheren Verkehrsablauf eine besondere Bedeutung zu, da sich das Auge einer veränderten Leuchtdichte im Gesichtsfeld nur mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung anpassen kann. Deshalb muß man durch die Anordnung von Adaptationsstrecken am Beginn und Ende eines beleuchteten Straßenzuges dafür sorgen, daß allzugroße Adaptations-sprünge beim Befahren dieser Straße ausbleiben. DIN 5044 gibt Empfehlungen, wie und unter welchen Bedingungen Adaptationsstrecken anzuordnen sind.

4 Straßenbeleuchtung und Kriminalität

4.1 Statistische Zusammenhänge

Im Verlauf der letzten Jahre gab es verstärkte Bemühungen, den Zusammenhang zwischen Straßenbeleuchtung und Kriminalität zu untersuchen. Wie im Abschnitt 3.1 dargelegt, gibt es über den Einfluß der Beleuchtung auf die Verkehrssicherheit eine Vielzahl von Erhebungen und Untersuchungen mit zum Teil statistisch signifikanten Ergebnissen, die die positiven Auswirkungen der Beleuchtung in diesen Fällen eindeutig belegen. Gleichwertige Untersuchungen zwischen dem Zusammenhang von Beleuchtung und Kriminalität, die vor allem für Straßen und Wege mit vorherrschendem Fußgängerverkehr gelten, stehen erst am Anfang. Auch sind die Gütekriterien für die Straßen dieser Kategorien nur ungenügend entwickelt; die Untersuchungen zu dieser Problematik gestalten sich allerdings auch wesentlich schwieriger. Das Verkehrsunfallgeschehen und die Kriminalität haben völlig unterschiedliche psychosoziale Hintergründe, Verkehrsunfälle haben einen ganz anderen Ereignischarakter als kriminelle Handlungen: Der Verkehrsteilnehmer erlebt eine schlechte oder fehlende Straßenbeleuchtung als unangenehme, im Moment unabänderliche Tatsache und einen auf die schlechte Beleuchtung zurückzuführenden Verkehrsunfall (wie auch jeden anderen Verkehrsunfall) als ein ungewolltes, negatives Ereignis. Er ist meist auch nicht in der Lage, die schlechte Straßenbeleuchtung als Unfallursache zu erkennen. Demgegenüber wird ein kriminelles Delikt bewußt, meistens auch vorsätzlich begangen, unter Verletzung moralischer und rechtlicher Normen; bei der Tatausführung nutzt der Täter eine schwache oder fehlende Straßenbeleuchtung geradezu aus. Die Wirkung der Beleuchtung ist hier als prophylaktische Maßnahme anzusehen. Einmal soll sie die Täter von ihrer bösen Absicht abhalten und zum anderen soll sie die Erkennung und Wiedererkennung von Tätern gewährleisten. Außerdem bewirkt eine gute Beleuchtung auf diesen Straßen, daß den Nutzern der Straße, vor allem Fußgängern, die Angst vor Kriminalität genommen und ihnen ein sicheres Gefühl gegeben wird.

Auf diese Aspekte der Beleuchtung gehen einige statistische Untersuchungen ein, die bisher fast ausschließlich im Ausland durchgeführt wurden. Dabei ist von vornherein darauf hinzuweisen, daß man die allgemeingültige Feststellung „Bessere Beleuchtung = geringere Kriminalität“ so nicht treffen kann. Hier muß man den sehr komplexen Charakter und die unterschiedlichen Arten krimineller Handlungen im

Auge haben. Bei einer differenzierteren Analyse kann man für bestimmte kriminelle Delikte jedoch einen deutlichen Rückgang feststellen, wenn die Beleuchtung verbessert wird.

In der CIE-Publikation Nr. 115 [46] wird betont, daß die visuellen Wahrnehmungsbedingungen in Fußgängerbereichen sich von denjenigen für den motorisierten Verkehr deutlich unterscheiden. Bewegungsgeschwindigkeit und Entfernung zu den wahrzunehmenden Objekten sind merklich geringer. Die zu erkennenden inneren Strukturen der Objekte sind hier entscheidend. Im Gegensatz dazu kommt es bei der Beleuchtung für den motorisierten Verkehr bekanntlich auf das Silhouettensehen an, d. h. auf das Sichtbarmachen äußerer Kontraste zur unmittelbaren Umgebung, was durch die Leuchtdichtetechnik gut beherrscht wird. In dieser CIE-Publikation wird auf einige Studien über den Zusammenhang von Straßenbeleuchtung und Kriminalität aus den USA, Japan, Großbritannien, Frankreich und den Niederlanden hingewiesen. Dabei werden u. a. folgende Schlußfolgerungen gezogen: Gute Beleuchtung kann die Kriminalitätsrate verringern, kann aber bei bestimmten Arten der Kriminalität vereinzelt auch gegenteilige Wirkungen haben oder die Kriminalität in angrenzende, schwach beleuchtete Gebiete verdrängen.

Bereits in der CIE-Publikation Nr. 92 [47] war auf den Einfluß der Beleuchtung auf die Sicherheit von Personen und Eigentum hingewiesen worden. Folgende Arten der Kriminalität werden in diesem Zusammenhang auf den hier in Betracht kommenden Straßen als vorherrschend genannt:

- Angriffe auf Personen und Personenentführung,
- Diebstahl aus und von Fahrzeugen,
- Vandalismus an öffentlichem und privatem Eigentum,
- Diebstahl aus an die Straße angrenzenden Gärten,
- Mißbrauch von Durchfahrten und Unterführungen für kriminelle Handlungen (z. B. sexuelle Übergriffe),
- Einbrüche in Geschäfte und Wohnhäuser,
- Handlungen von Sabotage und Terrorismus.

Ein Bericht über den Zusammenhang von Beleuchtung und Kriminalität, wie in der CIE-Publikation Nr. 92 angeführt, wurde von der „British Lighting Industry Federation“ in Verbindung mit der „Institution of Public Lighting Engineers“ erstmalig 1976 dem britischen Unterhaus vorgelegt. Dabei wurde insbesondere auf die negativen Auswirkungen bei der damals aufgrund der Energiekrise aktuellen Reduzierung der Straßenbeleuchtung hingewiesen. Die kriminellen Handlungen stiegen bei reduzierter Beleuchtung in den untersuchten Gebieten (Brighton, Lancashire) um 13 bis 66 % an. Ähnliches wurde auch aus anderen europäischen Ländern berichtet. In der gleichen CIE-Publikation werden Untersuchungen aus den USA und Frankreich zitiert, wo durch eine verbesserte Straßenbeleuchtung eine Verringerung krimineller Handlungen festzustellen war.

Einen ersten wissenschaftlichen Bericht über den Zusammenhang von Straßenbeleuchtung und Kriminalität, der auch auf frühere Untersuchungen eingeht, lieferten Boyce und Gutkowski [48]. Sie gingen folgenden Fragen nach:

- In welchem Umfang konnte die Straßenbeleuchtung die Straßenkriminalität beeinflussen?
- In welchem Umfang erwartet man von der Straßenbeleuchtung, daß sie die Straßenkriminalität verändern kann?
- Welche sind die wichtigsten Eigenschaften der Straßenbeleuchtung, die die Straßenkriminalität beeinflussen?

Hier soll zunächst auf den ersten Punkt, d. h. auf den statistischen Zusammenhang zwischen Beleuchtung und Kriminalität, eingegangen werden. Nachdem einige Studien in den USA [49, 50] keine eindeutigen Ergebnisse brachten, führte Kate Painter [51, 52] in Großbritannien erneut entsprechende Untersuchungen durch. Aus den Erfahrungen der amerikanischen Studien stellte sie ihren Untersuchungen folgende drei Aspekte voran:

- Die Untersuchungen sollten keine zu großen Gebiete einschließen. In großflächigen Bereichen ist es sehr schwierig, den Einfluß der verbesserten Beleuchtung von anderen Faktoren, die auf das Niveau und die Art der Kriminalität einwirken, zu trennen.
- Man darf nicht nur die polizeiliche Statistik verwenden. Diese faßt ein großes Spektrum von kriminellen Vergehen zusammen. Auch werden nicht alle Delikte gemeldet. Umfang und Struktur der Kriminalität sind kaum zu ermitteln.
- Es muß eine Erfassung der Kenngrößen der Beleuchtung und der unterschiedlichen Arten von Kriminalität erfolgen. Geschieht das nicht, so werden die verschiedenen Wirkungen der Beleuchtung verschleiert.

Painter führte ihre Untersuchungen sowohl im Randgebiet von London als auch in Nordengland durch. Die erste kürzere Studie bezog sich auf ein eng begrenztes Gebiet und einen kurzen Zeitraum, wobei die verschiedenen Arten der Kriminalität getrennt erfaßt wurden. Es handelte sich u.a. um eine von Fußgängern stark genutzte Straße von einem Wohngebiet zu Geschäfts-, Verkehrs- und Freizeitbereichen. Die Studie hatte den Charakter einer Vorher-Nachher-Untersuchung. Vorher lagen die Beleuchtungsstärken bei 0,6 bis 4,5 lx, die mittels Natriumdampf-Niederdrucklampen erzeugt wurden. Nach Umrüstung auf Natriumdampf-Hochdrucklampen wurden 6 bis 25 lx erreicht.

Die Informationen wurden durch Befragungen von den Straßennutzern eingeholt. Tabelle 3 zeigt daraus einige Ergebnisse. In Tabelle 4 ist der Anteil von Antworten, die über die Veränderungen der Beleuchtung Auskunft geben, zusammengefaßt. Sie zeigen auch den Rückgang der Angst vor Kriminalität nach Verbesserung der Beleuchtung. Im weiteren Verlauf der Forschungen wurden längere Untersuchungen an verschiedenen Orten ausgeführt. Auch die Erfassungsmethodik wurde verfeinert:

**Tabelle 3:
Abnahme der Zahl
krimineller Delikte
nach Verbesserung der
Straßenbeleuchtung
(nach Painter [51])**

Art der Kriminalität	Anzahl der ermittelten Delikte vor nach Veränderung der Beleuchtung	
	Raub	2
sexuelle Übergriffe	1	0
körperliche Angriffe	2	1
Bedrohungen	4	0
Autodiebstähle	4	1
Motorradiebstähle	4	0
Fahrradiebstähle	1	0
Autobeschädigungen	2	1
Motorradbeschädigungen	2	0
gesamt	22	3

- Befragungen der Anwohner,
- Sammlung von Kriminalitätsdaten aus verschiedenen Quellen (auch der Polizeistatistik) und Prüfung ihrer Konvergenz.

Die Ergebnisse dieser sehr umfangreichen Studien zeigt Tabelle 5, wobei wieder eine Vorher-Nachher-Untersuchung mit entsprechender Verbesserung der Beleuchtung zugrundeliegt. Hier zeigt sich nun die ganze Komplexität des Zusammenhanges von Beleuchtung und Kriminalität.

Frage	Antworten in Prozent		
	Männer	Frauen	alle
Haben Sie die Veränderung der Beleuchtung dieser Straße bemerkt?			
ja	63	82	69
Wenn Sie die Beleuchtungsänderungen bemerkt haben, in welcher Weise ist die Beleuchtung jetzt anders?			
die Beleuchtung ist heller			99
die Beleuchtung macht es leichter, Menschen zu erkennen			97
die Beleuchtung ist verbessert			97
die Beleuchtung ist besser gewartet			82
die Beleuchtung wirft weniger Schatten			65
die Beleuchtung ist attraktiver			58
die Beleuchtung verbessert das Aussehen des Straßenbereiches			47
Nachdem Sie die Straße nun seit sechs Wochen benutzen: Würden Sie sagen, daß Sie sich persönlich sicherer fühlen?			
ja			62
nein			3
gleich geblieben			31
weiß nicht			4

Tabelle 4:
Einschätzung der Wirkung der verbesserten Straßenbeleuchtung durch Anwohner (nach Painter [51])

Art der Kriminalität	Anzahl der ermittelten Delikte	
	vor Veränderung der Beleuchtung	nach Veränderung der Beleuchtung
Einbrüche	46	25
versuchte Einbrüche	53	51
Diebstähle außerhalb des Hauses	35	10
Entführungen von Personen	6	1
Straßenraub	15	3
körperliche Angriffe	9	19
Vandalismus an Häusern	25	27
Diebstahl von Fahrzeugen	5	5
Diebstahl aus Fahrzeugen	5	15
Vandalismus an Fahrzeugen	25	13
Belästigungen/Beleidigungen	81	64
sexuelle Angriffe/Vergewaltigungen	2	0
sexuelle Belästigungen	42	35
gesamt	349	268

Tabelle 5:
Abnahme der Zahl krimineller Delikte nach Verbesserung der Straßenbeleuchtung (nach Painter [52])

Weitere Untersuchungen sind von Schreuder [53] aus den Niederlanden bekannt. Seine Untersuchung erfolgte in der Stadt Oss (ca. 50.000 Einwohner) in den Sommerzeiten 1988 und 1989 auf der Grundlage der polizeilichen Statistik. Folgende Delikte wurden erfaßt:

- Fahrzeugeinbrüche (1.404),
- Einbrüche an Hintereingängen von Häusern (366),
- Einbrüche an der Hausvorderseite (91),
- Überfälle (25),
- Sexualstraftaten (20).

Schreuder geht davon aus, daß eine große Anzahl von Straftaten, und hier besonders von Sexualdelikten, nicht angezeigt wird. Die Auswertung der ermittelten Daten zeigte, daß der Anteil der bei Dunkelheit verübten Straftaten mit zunehmender Beleuchtungsstärke erheblich sinkt (siehe Tabelle 6 und Bild 9). Damit kann die Straßenbeleuchtung als wirksame Maßnahme gegen die Straßenkriminalität angesehen werden.

4.2 Warum kann die Straßenbeleuchtung die Kriminalität beeinflussen?

Die Gründe für eine mögliche Beeinflussung der Kriminalität durch die Beleuchtung liegen im visuellen Wahrnehmungsprozeß und seinen Auswirkungen auf das Verhalten der Menschen begründet. Damit ist die Frage verbunden, welche Momente bei dem komplexen Wahrnehmungsprozeß in diesem Zusammenhang von besonderem Interesse sind. Da man davon ausgehen muß, daß die Beleuchtung nur einer von vielen die Kriminalität beeinflussenden Faktoren ist, ist keine direkte Kausalität zu erwarten.

Wie wirkt nun die Beleuchtung? Ein angehobenes Beleuchtungsniveau erhöht den Adaptationszustand des Auges (genaugenommen die Adaptationsleuchtdichte, die vereinfacht ausgedrückt durch die mittlere Helligkeit im Gesichtsfeld beschrieben werden kann). Alle visuellen Funktionen hängen von der Adaptationsleuchtdichte ab. Eine Erhöhung des Beleuchtungsniveaus verbessert daher auch folgende Funktionen des visuellen Wahrnehmungsprozesses:

Tabelle 6:
Einfluß der von der
Straßenbeleuchtung
erzeugten Beleuchtungs-
stärke auf die Zahl
krimineller Delikte
(nach Schreuder [53])

Beleuchtungs- stärke in lx	Anzahl der Delikte				Verhältnis der Anzahl von Delikten, verübt bei	
	Tag	Abend	Nacht	Dunkel- heit	Dunkel- heit/Tag	Nacht/ Abend
bis 1,6	3	12	13	25	8,3	1,1
über 1,6 bis 2,5	41	41	128	169	4,1	3,1
über 2,5 bis 4	65	44	167	211	3,3	3,8
über 4 bis 6,4	74	37	93	130	1,8	2,5
über 6,4 bis 10	41	12	24	36	0,88	2,0
über 10 bis 16	77	33	59	92	1,2	1,8
über 16	20	13	21	34	1,7	1,6

- Die Detailerkennung wird exakter,
- die Reaktionszeit verringert sich und
- die Farberkennung wird ab einer bestimmten Mindesthelligkeit überhaupt erst möglich.

Wichtig ist dabei, daß bestimmte Gütekriterien der Beleuchtung eingehalten werden (siehe Abschnitte 3.3 und 4.3), da ansonsten die angestrebte Wahrnehmungsqualität nicht erreicht wird. Störend können sich ungünstige Lichtstärkeverteilungen und Blendungsbeeinflussungen bemerkbar machen.

Man kann also feststellen, daß eine zielgerichtete Verbesserung der Beleuchtungsqualität die Entfernung, ab der man etwas Verdächtiges bemerken kann, vergrößert. Da sich gleichzeitig die Erkennung von Details verbessert, wird das Erkennen von Absichten einer sich nähernden Person erleichtert. Der schnellere Ablauf der Reaktionen und die größere Erkennungsentfernung führen dazu, daß sich die zur Verfügung stehende Zeit für die Einstellung auf die kritische Situation oder eine zweckdienliche Abwehrhandlung vergrößert. Gesichtszüge und eben auch unheilvolle Absichten einer sich nähernden Person werden unter diesen Umständen rascher und sicherer erkannt, was andererseits auch potentielle Täter von ihren kriminellen Absichten in stärkerem Maße abzuhalten vermag. Die Gefahrensituation verändert sich durch eine zweckentsprechende Beleuchtung auf diese Weise zu Gunsten der Betroffenen und zu Ungunsten der Täter.

Untersuchungen zu dieser Problematik in den USA von Weaver und Carroll [54] haben gezeigt, daß eine verbesserte Beleuchtung die verschiedenen Tätergruppen unterschiedlich beeinflusst. „Neue“ Ladendiebe werden stärker abgeschreckt als erfahrene Kriminelle. Letztere verlagerten z. B. ihren Wirkungsbereich in angrenzende, weniger gut beleuchtete Gebiete.

Andere Untersuchungen wie die von Fisher und Nasar [55] zeigen deutlich, wie durch verbesserte Beleuchtung die Angst vor kriminellen Handlungen abgebaut wird. Ein höheres Helligkeitsniveau erschwert es dem Kriminellen, sich zu verstecken und dunkle Fluchtwege zu benutzen. Gerade aber diese beiden Möglichkeiten sind Vorbedingung, daß Täter ihre unheilvolle Tätigkeit ausüben können.

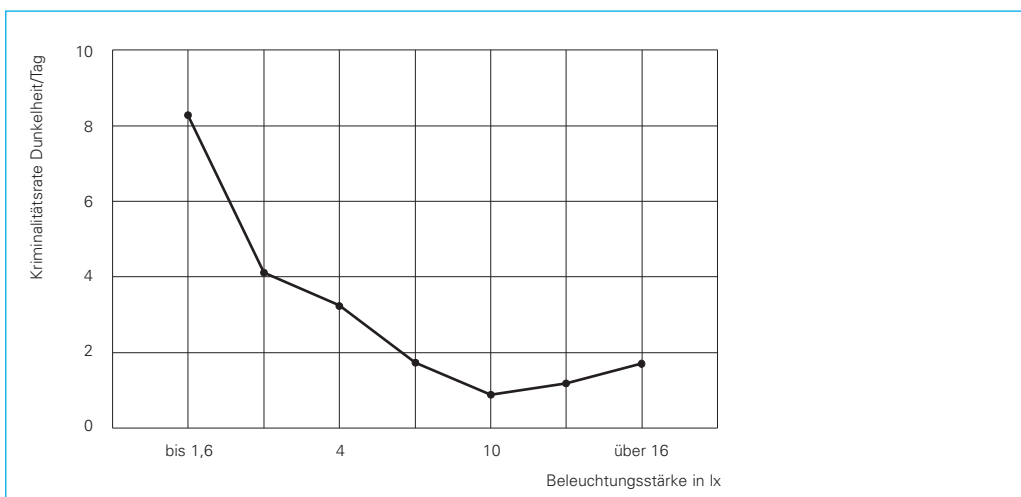


Abb. 9:
Abhängigkeit der
Kriminalitätsrate vom
Niveau der Straßen-
beleuchtung
 (nach Schreuder [53])

4.3 Gütekriterien für Straßen mit geringer Verkehrsbelastung und gemischtem Verkehr

Für die hier in Betracht kommenden Straßen mit überwiegendem Fußgängerverkehr gibt es nach DIN 5044 [38] Angaben über die horizontale Beleuchtungsstärke ($E_h = 3 \text{ lx}$ und 7 lx) und deren Gleichmäßigkeit ($g_1 = 0,1$ und $0,2$). Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen verlangt in den „Richtlinien für die Beleuchtung in Anlagen für den Fußgängerverkehr“ [56] horizontale Beleuchtungsstärken $E_h = 1$ bis 5 lx für Fußgängerzonen und -wege sowie $1,5$ bis 3 lx für Fahrradwege bzw. 1 bis 30 lx an Bushaltestellen.

Da die horizontale Beleuchtungsstärke nur den pro Quadratmeter Bodenfläche aufgestrahlten Lichtstrom beschreibt, ist es verständlich, daß mit dieser Größe den hier gestellten Anforderungen, d. h. dem Erkennen von Personen und gegebenenfalls ihrer Absichten aus einer angemessenen Entfernung, nicht entsprochen werden kann. Im Zusammenhang mit den vorgestellten statistischen Untersuchungen gibt es auch Bemühungen, die lichttechnischen Gütekriterien entsprechend zu modifizieren. Das bezieht sich vor allem auf die Definition von neuen beleuchtungstechnischen Kennziffern für künftige normative Festlegungen, die einerseits das Helligkeitsniveau zweckmäßig beschreiben und andererseits eine Kennziffer vorgeben, die das Erkennen innerer Strukturen weitgehend gewährleistet. Auf diese Weise kann man auch auf die Auswahl der Lichtstärkeverteilung der Leuchten und ihrer Anordnung im Straßenraum einwirken. Nach dem heutigen Erkenntnisstand kommen dafür vor allem zwei Kennziffern in Betracht:

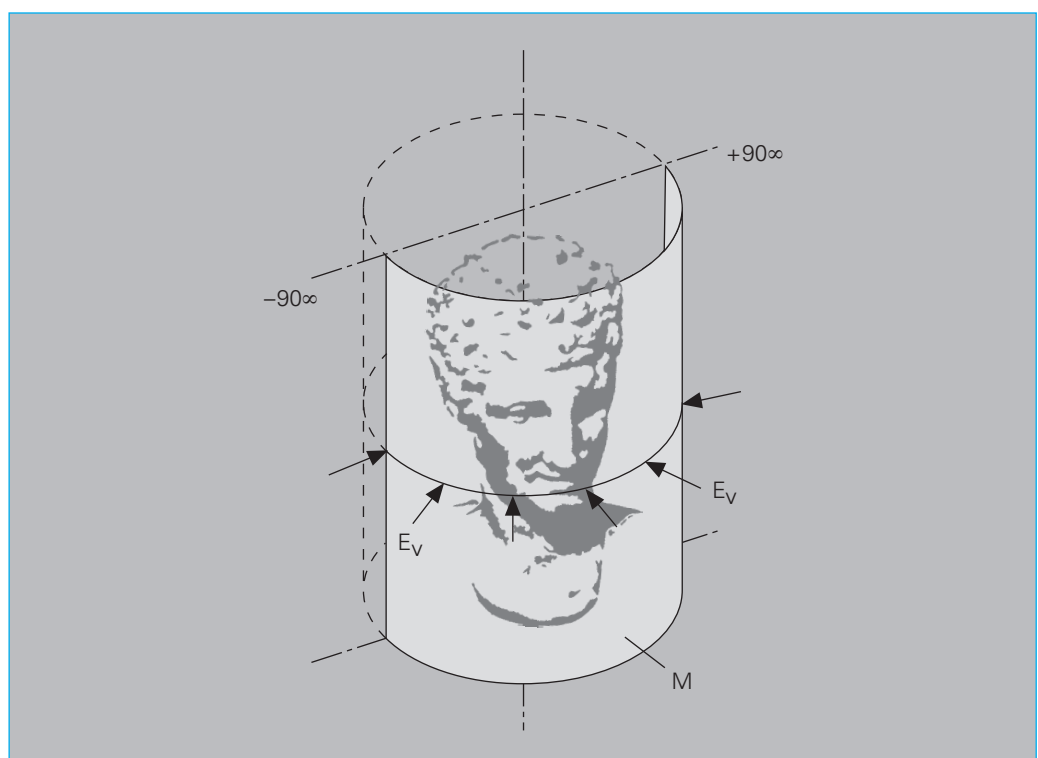
Für das Beleuchtungsniveau:

Die halbzyklindrische Beleuchtungsstärke E_{zh} . Diese Größe bietet sich nach Untersuchungen von Caminada und van Bommel [57, 58] sowie Eckert [59] auch für die Gesichtserkennung an (siehe Abb. 10 bis 12).

Für die Kontrastwiedergabe:

Das Verhältnis von vertikaler zu halbzyklindrischer Beleuchtungsstärke E_v / E_{zh} . Diese Kennziffer ist geeignet, die Erkennung innerer Strukturen zu beschreiben.

Abb. 10:
Definitionsgrafik für die halbzyklindrische Beleuchtungsstärke E_{zh} .
Sie ist definiert als Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärken E_v in einem Winkelbereich von -90° bis $+90^\circ$ um eine vertikale Achse. Die Meßfläche für die halbzyklindrische Beleuchtungsstärke kann durch die halbe Mantelfläche M eines aufrecht stehenden Kreiszyklinders dargestellt werden. Diese Meßfläche entspricht etwa dem Gesichtsumfang eines Menschen.



In den Empfehlungen der CIE [47] sind neben der horizontalen Beleuchtungsstärke für folgende Anwendungsfälle auch halbzyindrische Beleuchtungsstärken angegeben:

- Verbindungsstraßen zwischen Stadtteilen (Sammelstraßen),
- lokale Straßen,
- Straßen und Wege in Wohngebieten,
- Fußgängerwege.

Für diese Straßen und Wege werden Werte der halbzyindrischen Beleuchtungsstärken $E_{zh} = 1$ bis 10 lx empfohlen.

Auch im Entwurf der Europäischen Norm für die Straßenbeleuchtung [60] wurde die halbzyindrische Beleuchtungsstärke aufgenommen. Für die hier betrachteten Straßenkategorien ist eine alternative Anwendung zu anderen Gütekennziffern vorgesehen. Die sogenannten ES-Klassen sehen für eine Höhe von $1,5$ m über der Straße halbzyindrische Beleuchtungsstärken $E_{zh} = 0,5$ bis 10 lx vor. Diese Kennziffer wird vorerst als Ergänzungsklasse zu den CE- und S-Klassen der Euronorm genannt. Für diese beiden Beleuchtungsklassen sind noch horizontale Beleuchtungsstärken vorgesehen, wobei die CE-Klassen für Straßen mit vorwiegend motorisiertem Verkehr sowie Konfliktbereiche und die S- und ES-Klassen vorrangig für Straßen mit überwiegendem Fußgänger- und Radverkehr gelten. Im letzteren Fall sind horizontale Beleuchtungsstärken $E_h = 2$ bis 15 lx vorgesehen.

Abschließend noch ein Wort zu der die inneren Kontraste beschreibenden Kennziffer E_v / E_{zh} , die noch nicht für eine normenmäßige Festlegung aufbereitet ist. Aus dem bisherigen Erkenntnisstand aus der Forschung kann man jedoch feststellen, daß diese Kennziffer sehr gut für die hier dargestellten Anforderungen geeignet ist. Eine sinnvolle Anforderung an E_v / E_{zh} ist in der Größenordnung $> 1,2$ zu erwarten [59].



**Abb. 11 (links):
Gute Gesichtserkennung
durch hohe halb-
zyindrische
Beleuchtungsstärke**

**Abb. 12 (rechts):
Die halbzyindrische
Beleuchtungsstärke
reicht nicht aus,
um eine Erkennung
des Gesichtes
zu ermöglichen.**



5 Verkehrssicherungspflicht und Straßenbeleuchtungspflicht

Es besteht keine generelle Pflicht einer Gebietskörperschaft (Bund, Länder, Kreise, Kommunen), die in ihrem Zuständigkeitsbereich befindlichen Straßen zu beleuchten. Deshalb ist auch nicht abschließend geklärt, wann, wo und unter welchen Bedingungen die Pflicht zur Beleuchtung einer Straße besteht. Nur in den Landesstraßengesetzen einiger Bundesländer ist die Beleuchtungspflicht als kommunale Aufgabe verankert worden, aber auch in diesen Fällen stehen die Inhalte und Tragweite der Beleuchtungspflicht nicht fest. Im folgenden werden die Auffassungen verschiedener Kommentatoren zu diesem Thema zusammengefaßt (siehe [61] bis [67]).

Die Beleuchtungspflicht einer Gebietskörperschaft entsteht aus der ihr obliegenden allgemeinen Verkehrssicherungspflicht, die sich ihrerseits aus § 823 (1) BGB (Regelung der Schadenersatzpflicht) herleitet [62, 65]. Die Verkehrssicherheit auf einer Straße obliegt der Gebietskörperschaft, die den Verkehr auf der Straße eröffnet hat oder andauern läßt und die imstande ist, eine dort auftretende Gefahr auch zu beseitigen [65].

Die Kommentatoren meinen übereinstimmend, daß eine Beleuchtungspflicht nur in konkreten Gefahrenbereichen besteht. Die Beleuchtung muß so gestaltet sein, daß ein Kraftfahrer bei einer üblicherweise auf dem betreffenden Streckenabschnitt gefahrenen Geschwindigkeit ein Hindernis auch bei schlechter Sicht noch so rechtzeitig sehen kann, daß er entsprechend reagieren kann [61]. Dies gilt sinngemäß auch für Fußgänger. Zur Beleuchtungspflicht gehört auch die Verpflichtung, die Beleuchtung in angemessenen zeitlichen Abständen zu inspizieren und zu warten. Die Länge der akzeptablen Wartungsintervalle hängt von der Gefahrenlage ab.

Die Meinungen darüber, was eine Gefahrenstelle ist, gehen weit auseinander. Unstrittig gehören dazu

- gefährliche Straßenkreuzungen und -einmündungen,
- scharfe Kurven,
- Fußgängerüberwege,
- Baustellen,
- unvorhersehbare Straßenverengungen,
- Verkehrsinseln.

Hier gilt eine Beleuchtungspflicht sowohl inner- als auch außerorts [61]. Im übrigen wird eine Beleuchtungspflicht nur innerorts angenommen und hier auch nur für bebaute Gebiete sowie von Straßen, die bebaute Gebiete miteinander verbinden. Die Beleuchtungspflicht dieser Straßen wird damit begründet, daß hier wegen des gemischten Verkehrs (z. B. hoher Fußgängeranteil) ein besonders hohes Unfallrisiko besteht, dem auch mit dem Mittel der Straßenbeleuchtung zu begegnen ist.

Der Umfang der Beleuchtungspflicht, zu der auch die Länge der Wartungsintervalle gehört, richtet sich nach der Verkehrsbedeutung der Straße und der finanziellen Leistungsfähigkeit der Gemeinde. Schmidt-Schmiedebach [63] fügt dem noch das Argument der sparsamen Verwendung von Energie hinzu, wohl unter dem Aspekt der damals aktuellen Energiekrise. Dieses Kriterium könnte man heute allenfalls ergänzen oder ersetzen durch den Gesichtspunkt Umweltschutz/Vermeidung von Emissionen.

Verkehrsbedeutung einer Straße

Die Rechtsprechung ist uneinheitlich; verkehrsbedeutend kann heißen wichtige Durchgangs- oder Geschäftsstraßen, aber beispielsweise auch die Zufahrtsstraße zu einer Siedlung, in der lediglich 50 Personen wohnen [62].

Finanzielle Leistungsfähigkeit

Die Gemeinde kann sich nicht unter Berufung auf mangelnde finanzielle Leistungsfähigkeit von der Beleuchtungspflicht befreien. Sie muß vielmehr einen angemessenen Teil ihres Etats für die Straßenbeleuchtung zur Verfügung stellen. Sie ist allerdings berechtigt, wegen mangelnder finanzieller Leistungsfähigkeit Sparmaßnahmen an der Beleuchtung vorzunehmen, die jedoch nicht bis zur völligen Abschaltung gehen dürfen.

Der Umfang der Beleuchtungspflicht beinhaltet aber nicht die Pflicht, jede Straßenleuchte die ganze Nacht hindurch betreiben zu müssen. Wird eine Leuchte in einem Teil der Nacht nicht betrieben, so muß am Mast das StVO-Zeichen 394 (weiß-rot-weißer „Laternenring“) gezeigt werden um klarzumachen, daß ein Kraftfahrer sich nicht darauf verlassen kann, daß er sein Kfz nachts unbeleuchtet unter dieser Leuchte abstellen kann. Wird Zeichen 394 nicht gezeigt, so entsteht ein Schadensersatzanspruch eines Geschädigten, wenn es deshalb zu einem Unfall kommt, weil ein Verkehrsteilnehmer das unbeleuchtete Fahrzeug nicht rechtzeitig hat erkennen können.

Es stellt sich weiterhin die Frage, an welchem technischen Standard die Beleuchtungspflicht auszurichten ist. Technische Regelwerke, wie sie DIN-Standards oder VDE-Richtlinien darstellen, gelten als Stand der Technik; so sicherlich auch DIN 5044 [38], auch wenn hierzu noch kein einschlägiges Gerichtsurteil vorliegt. Es besteht aber die begründete Vermutung (Beweis der ersten Anscheins), daß die Ausrichtung der Beleuchtung an den durch DIN 5044 gesetzten Standards als Erfüllung der Beleuchtungspflicht gilt.

Zur Rechtsbedeutung von DIN-Normen führt Kroitzsch [66] aus, daß diese allgemein einen Maßstab für fachgerechtes technisch-wirtschaftliches Verhalten insbesondere im Sicherheitsbereich darstellen. Wer einer DIN-Norm folgt, beachtet eine von der repräsentativen Fachwelt aufgestellte und getragene Festlegung; wer ein technisches Ziel auf von der DIN-Norm abweichende Weise erreichen will, nimmt eine Gefahrenerhöhung in Kauf, die die Vermutung begründet, daß ein entstandener Schaden auf die Nichtbeachtung der DIN zurückzuführen ist. Die Mißachtung der DIN begründet in der Regel sogar einen Fahrlässigkeitsvorwurf.

Aus einer Unterschreitung der Gütwerte der DIN 5044 kann jedoch nicht einfach auf eine Verletzung der Beleuchtungspflicht geschlossen werden. Die Rechtsprechung tendiert dazu, die Verletzung der Verkehrssicherungs- und Beleuchtungspflicht erst dann anzunehmen, wenn die Anforderungen der DIN 5044 erheblich unterschritten werden. V. Westphalen [65] geht hier weiter und sagt, daß eine Unterschreitung der Anforderungen von DIN 5044 grundsätzlich eine Verletzung der Beleuchtungspflicht darstellt. Begründet wird das unter anderem mit der Absicht der DIN 5044, die Güte der Beleuchtung von verkehrstechnischen und damit unfallrelevanten Kriterien (Verkehrsstärke in der Dunkelheit, jährliche Überschreitungsdauer gewisser Verkehrsstärken) abhängig zu machen. Mit anderen Worten: DIN 5044 hat die Verhinderung von Unfällen zum Ziel [67].

Eine Verletzung der Beleuchtungspflicht löst auch Amtshaftungsansprüche aus. Die Verletzung der Beleuchtungspflicht kann aber nicht allein an der Einhaltung der DIN 5044 gemessen werden. Im Streitfalle liegt die Beweislast bei der Kommune, daß bei Unterschreitung der Anforderungen von DIN 5044 keine Unterschreitung des

Sicherheitsstandards vorliegt [64, 65]. V. Westphalen [65] verlangt weiter, daß die Bindung der Beleuchtungspflicht an DIN 5044 auch beinhaltet, daß die Kommunen verpflichtet sind, in angemessener Zeit alle Beleuchtungsanlagen auf den Stand der DIN 5044 anzuheben.

Schmidt-Schmiedebach [63] weist darauf hin, daß eine Gemeinde die Verkehrs- sicherungs- oder Beleuchtungspflicht nicht auf einen Dritten – beispielsweise ein Energieversorgungsunternehmen – übertragen kann. Ein Kläger kann bei Vorliegen einer verletzten Beleuchtungspflicht die Kommune und/oder das EVU haftbar machen. Unberührt ist davon, wer im Innenverhältnis für den Schaden aufzukommen hat.

6 Straßenbeleuchtung und gemeindliche Daseinsfürsorge

Zu den Aufgaben einer Kommune gehört auch die Daseinsfürsorge für die Bürger, aus der sich wiederum eine Pflicht zur Straßenbeleuchtung herleitet. Die Straßenbeleuchtung dient neben dem bereits ausführlich behandelten Recht der Bürger auf Sicherheit für Leib, Leben und Eigentum auch der Förderung des gemeindlichen Lebens, speziell der Förderung wirtschaftlicher und kultureller Zwecke und der Kommunikation der Bewohner untereinander und mit den gemeindlichen Einrichtungen. Die Existenz der Straßenbeleuchtung wird von der Bevölkerung als selbstverständlich angesehen. In welchem Maß die Straßenbeleuchtung diese sozialen und kulturellen Aspekte tatsächlich zu beeinflussen vermag, wird einem erst dann klar, wenn die Straßenbeleuchtung plötzlich nicht mehr brennt, wie aus zwei Berichten einer Regionalausgabe des „Bonner Generalanzeigers“ (GA) hervorgeht, aus denen im Anhang einige Auszüge kommentarlos wiedergegeben werden.

Auszüge aus dem „Bonner Generalanzeiger“

4. April 1996: „Man traut sich nicht mehr auf die Straße“

Die ... Stadt tappt seit Montag im Dunkeln. Was mancher Bürger für einen mehr oder weniger gelungenen Aprielscherz gehalten hat, ist den Stadtvätern durchaus ernst: Bis zum 30. September sollen fast alle Straßenlaternen ausbleiben. Der Stadt bringt das 98.000 Mark in den Stadtsäckel. „Das ist eine Katastrophe“ schimpft M. M. Er ist Vorsitzender des Hotel- und Gaststättenverbandes ... „Trostlos“ sei das Bild, das die ... Stadt jetzt abends abgebe. „So kann man keinen vernünftigen Fremdenverkehrsort aufbauen.“ Er kündigte massiven Protest bei der Stadt gegen die Abschaltung der Laternen an...

Als die Sonne am 1. April gegen 20 Uhr hinter den Dächern versank, dachte Senol A. zunächst, die Straßenbeleuchtung sei kaputt. „Unheimlich“ sei es auf der Hauptstraße gewesen...

„Wie soll jemand für K. Werbung machen, wenn er die Stadt nicht sehen kann...“

„Die Leute trauen sich doch nicht mehr auf die Straße,“ schimpft auch Brigitte S., die Chefin der Taxizentrale... Sie weiß, daß einige Geschäfte an der Hauptstraße ihre Lichtreklame die ganze Nacht brennen lassen, damit die „Geisterstadt“ wenigstens ein bißchen beleuchtet ist...

Die städtischen Mitarbeiter haben in den vergangenen Tagen 147 Knöpfe betätigt und so fast die komplette Straßenbeleuchtung lahmgelegt. Seither brennen nur noch die orangefarbenen Lampen an Fußgängerüberwegen. Die Leuchtreklamen an der Hauptstraße sind jetzt wichtige Orientierungspunkte. In den kleineren Straßen und Gassen hingegen ist es zappenduster.

10. April 1996: „Wir haben nicht gründlich genug diskutiert“

Während Bürgermeister K. Urlaub machte, stand die ... Stadt in den Schlagzeilen. Mit einer Dringlichkeitsentscheidung hob K. gestern den „Licht-aus-Beschluß“ des Finanzausschusses auf...

GA: „Hatten Sie die starken Reaktionen der Bürger erwartet?“

K.: „Nein, mit derartigen Reaktionen hatte ich nicht gerechnet. Im nachhinein muß ich sagen, daß dieser Beschluß wohl nicht gründlich genug diskutiert worden ist... Als der Rat dann den Beschluß zur Straßenbeleuchtung faßte, waren wir uns über die Auswirkungen wohl nicht im klaren...“

GA: „Wie geht es weiter? Kann es sein, daß die Lichter in K. schon bald wieder ausgeschaltet werden?“

K.: „...Nach der Diskussion, wie wir sie jetzt erlebt haben, läßt sich jetzt nicht so schnell ein neuer Beschluß fassen.“

GA: „Einsparungen bei der Straßenbeleuchtung sind ein für alle Male vom Tisch?“

K.: „Nein. Aber die Bürger können sicher sein, daß wir einen neuen Beschluß gründlich diskutieren werden...“

Beleuchtungsstärke E	<p>Dichte des auffallenden Lichtstromes Φ auf eine Fläche A. Berechnungsgleichung: $E = \Phi / A$ Maßeinheit: Lux [lx]</p> <p>Je nach Charakter der Beleuchtungsstärke kann die Bezugsfläche eben oder gekrümmt (Kugel, Zylinder) sein. Zur Charakterisierung der Betriebsbedingungen einer Beleuchtungsanlage unterscheidet man den Planungswert, den Nennwert (örtlicher und zeitlicher Mittelwert der Beleuchtungsstärke in einem definierten Bewertungsfeld) und den Wartungswert der Beleuchtungsstärke (Wert, der während des Betriebes nicht unterschritten werden darf).</p>
Horizontale Beleuchtungsstärke E_h	<p>Beleuchtungsstärke auf einer ebenen horizontalen Fläche, z. B. der Fahrbahnoberfläche.</p>
Vertikale Beleuchtungsstärke E_v	<p>Beleuchtungsstärke auf einer ebenen vertikalen Fläche. Die vertikale Beleuchtungsstärke ist richtungsabhängig, und es ist eine Meßhöhe, z. B. $h = 1$ m bei Fußgängerüberwegen, vorzugeben.</p>
Halbzylindrische Beleuchtungsstärke E_{zh}	<p>Mittelwert der Beleuchtungsstärke auf der Mantelfläche eines Halbzylinders. Üblicherweise ist dieser Halbzylinder vertikal angeordnet. Die halbzylindrische Beleuchtungsstärke ist ebenfalls richtungsabhängig. Die jeweilige Meßhöhe (z. B. 1,5 m) ist anzugeben. Die halbzylindrische Beleuchtungsstärke ist gut geeignet zur Charakterisierung der Beleuchtungsstärke auf Gesichtern. Das Verhältnis von vertikaler zu halbzylindrischer Beleuchtungsstärke beeinflusst maßgeblich die Erkennbarkeit von strukturierten Körpern (z. B. von Gesichtern).</p>
Bewertungsfeld	<p>Teil der Fahrbahn, der der Messung oder Berechnung der Fahrbahnleuchtdichte vom Beobachterstandort aus dient. Für die Berechnung wird ein verkürztes Bewertungsfeld vereinbart: Es beginnt 60 m vor dem Beobachter und hat in der Regel die Länge eines Leuchtenabstandes.</p>
Blendung	<p>Herabsetzung des Sehvermögens (physiologische Blendung) bzw. Auslösen einer Störfempfindung (psychologische Blendung), hervorgerufen durch zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld oder durch eine für den Adaptationszustand zu hohe Absolutleuchtdichte im Gesichtsfeld. Beide Blendungsarten beeinträchtigen die Verkehrssicherheit.</p>

Physiologische Blendung	Die Wirkung der physiologischen Blendung beruht auf dem Auftreten einer Schleierleuchtdichte (Streuung des von der Blendlichtquelle herrührenden Lichtes in den Augenmedien), die eine Kontrastminderung des auf die Netzhaut des Auges projizierten Bildes von Objekten im Gesichtsfeld zur Folge hat und daher eine meßbare Verringerung der Erkennbarkeit dieser Objekte nach sich zieht.
Psychologische Blendung	Die psychologische Blendung beschreibt die im allgemeinen Sprachgebrauch als Blendung schlechthin bezeichnete Wirkung von zu hellem Licht, die sich als Unbehagen oder als Störempfung äußert. Da die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten nicht bekannt sind, wird die psychologische Blendung in Abhängigkeit von den speziellen geometrischen und lichttechnischen Bedingungen der jeweiligen Beleuchtungssituation durch eine psychometrische Skala (z. B. 1 – unerträglich bis 9 – unmerklich) bestimmt.
Blendungsbegrenzung	Maßnahmen, die die Blendung auf ein zulässiges Maß beschränken. Dies geschieht meistens durch Abschirmung der Lampen in Richtung auf die Beobachter oder durch Vergrößerung der leuchtenden Flächen der Leuchten.
Farbwiedergabe	Beziehung zwischen Farbreiz und Farbeindruck, d. h. Wiedergabe der Farben von Gegenständen bei Beleuchtung mit verschiedenen Lichtquellen für einen Beobachter im Vergleich zu einer Vergleichslichtquelle. Die Farbwiedergabeeigenschaften von Lampen werden in verschiedene Stufen der Farbwiedergabeeigenschaften eingeteilt, die durch den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a gekennzeichnet sind. Für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien sind die Stufen der Farbwiedergabeeigenschaften 3 und 4 vorgesehen, denen die allgemeinen Farbwiedergabeindizes $R_a \geq 40$ bis < 60 bzw. $R_a \geq 20$ bis 40 entsprechen.
Kontrast K	<p>Relativer Leuchtdichteunterschied zwischen benachbarten Flächen im Gesichtsfeld.</p> <p>Berechnungsgleichung: $K = (L_O - L_U) / L_O$ (dimensionslos)</p> <p>Ist die Leuchtdichte des Objekts L_O größer als diejenige des Umfeldes L_U, so ergibt sich ein positiver Wert für K und man spricht von „Positivkontrast“. Im Positivkontrast erscheint z. B. dem Kraftfahrer ein Fußgänger, der durch Autoscheinwerfer oder durch spezielle Fußgängerüberwegleuchten angeleuchtet wird. Ist dagegen die Umfeldleuchtdichte L_U größer als die Objektleuchtdichte, so spricht man von „Negativkontrast“. Dieser tritt z. B. beim Silhouettensehen auf, wie es das Wahrnehmungsmodell der Straßenbeleuchtung vorsieht (z. B. dunkler Fußgänger vor heller Fahrbahn).</p>

Lampe	<p>Technische Ausführungsform künstlicher Lichtquellen. Lampen dienen der Umwandlung von elektrischer Energie in sichtbare Strahlung. Am häufigsten angewendet werden Temperaturstrahler (Glühlampen, Halogen-Glühlampen) und Gasentladungsstrahler (vor allem Quecksilberdampf-, Natriumdampf- und Halogenmetalldampflampen).</p>
Leuchtdichte L	<p>Maß für die „gesehene Helligkeit“ (gilt als Näherung unter bestimmten Bedingungen). Die Leuchtdichte ist der Quotient aus der Lichtstärke einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche in Richtung auf den Beobachter (Ausstrahlungsrichtung) I_α und der gesehenen Fläche $A \cdot \cos \alpha$. Andererseits läßt sich die Leuchtdichte auch aus dem Produkt Leuchtdichtekoeffizient q einer Fahrbahnoberfläche und Beleuchtungsstärke E dieser Fläche berechnen.</p> <p>Berechnungsgleichungen: $L = I_\alpha / A \cdot \cos \alpha$ bzw. $L = q \cdot E$ Maßeinheit: Candela/Quadratmeter [cd/m^2]</p> <p>Für örtliche Leuchtdichten („Punktleuchtdichten“) ist die jeweilige Größe des betrachteten Flächenelements festzulegen. Mittlere Leuchtdichten ergeben sich als arithmetischer Mittelwert von örtlichen Leuchtdichten. Wie bei der Beleuchtungsstärke ist auch bei der Leuchtdichte der Planungswert, der Nennwert und der Wartungswert zu unterscheiden.</p>
Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke	<p>Verhältnis der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke im Bewertungsfeld:</p> $g_1 = E_{\min} / \bar{E}$
Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte	<p>Längsgleichmäßigkeit</p> <p>Verhältnis der minimalen zur mittleren Leuchtdichte auf der Beobachterspur parallel zur Straßenachse:</p> $U_1 = L_{\min} / L_{\max}$ <p>Gesamtgleichmäßigkeit</p> <p>Verhältnis der minimalen zur mittleren Leuchtdichte im Bewertungsfeld:</p> $U_0 = L_{\min} / \bar{L}$
Leuchtdichtekoeffizient q	<p>Der Leuchtdichtekoeffizient ist eine Materialkonstante, der die Reflexionseigenschaften z. B. einer Fahrbahnoberfläche kennzeichnet und den Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke E und Leuchtdichte L dieser Fläche herstellt.</p> <p>Berechnungsgleichung: $q = L / E$ Maßeinheit: Candela je Quadratmeter und Lux [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$]</p> <p>Der Leuchtdichtekoeffizient wird üblicherweise als örtlicher Leuchtdichtekoeffizient in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel γ und dem horizontalen Beobachtungswinkel β tabellarisch dargestellt, wobei der vertikale Beobachtungswinkel als konstant mit $\alpha = 1^\circ$ angenommen wird.</p>

Leuchte	<p>Bauelement zur Aufnahme der Lampe mit dem Zweck der Lichtstromlenkung, der Blendungsbegrenzung sowie des mechanischen und elektrischen Schutzes.</p> <p>Die Leuchten werden u. a. nach der Lichtstärkeverteilung (z. B. Tiefstrahler, Breitstrahler), nach der Befestigungsart (Ansatz-, Aufsatz-, Hängeleuchte), nach der Bauart (offene oder geschlossene Leuchte, Reflektor-, Refraktorleuchte) sowie nach dem Schutzgrad (staub-, wassergeschützt) und der Schutzklasse (schutzisoliert, Erdung, Kleinspannung) eingeteilt.</p>
Lichtausbeute η	<p>Maß für die effektive Umwandlung elektrischer Energie in Lichtenergie.</p> <p>Berechnungsgleichung: $\eta = \Phi_{La} / P_e$</p> <p>Maßeinheit: Lumen/Watt [lm/W]</p> <p>Da sowohl der Lampenlichtstrom Φ_{La} als auch die Wirkleistung P_e Leistungseinheiten darstellen, handelt es sich bei der Lichtausbeute um einen echten Wirkungsgrad.</p> <p>Bei Gasentladungslampen tritt anstelle der Lichtausbeute die Systemlichtausbeute, bei der die Wirkleistung sich aus der Leistungsaufnahme der Lampe und der Leistungsaufnahme von Vorschalt- und Zündgerät zusammensetzt. Die Lichtausbeute der verwendeten Lichtquellen liegt in einem Bereich von 10 bis 15 lm/W bei Glühlampen und bis ca. 200 lm/W bei Natriumdampf-Niederdrucklampen (siehe auch Bild 2).</p>
Lichtfarbe	<p>Farbeindruck einer Lichtquelle beim direkten Einfall des Lichtes dieser Lichtquelle ins Auge. Die Lichtfarbe kann entweder durch den Farbort x, y in der Normfarbtafel oder näherungsweise durch die ähnlichste Farbtemperatur T_n angegeben werden. Eine ähnlichste Farbtemperatur $T_n = 3000$ K steht für eine warme rötliche Lichtfarbe, wogegen ein $T_n = 6000$ K eine kalte, tageslicht-ähnliche Farbe beschreibt.</p>
Lichtstärke I	<p>Der in einer bestimmten Richtung in einen Raumwinkel Ω ausgestrahlte Lichtstrom Φ, bezogen auf diesen Raumwinkel. Damit wird die Richtungsabhängigkeit des ausgestrahlten Lichtstroms charakterisiert.</p> <p>Berechnungsgleichung: $I = \Phi / \Omega$</p> <p>Maßeinheit: Candela [cd]</p> <p>Die Lichtstärke in die verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen wird summarisch durch die Lichtstärkeverteilungskurve der Lampen und Leuchten beschrieben. Die Lichtstärkeverteilungskurve wird meistens in Polarkoordinaten, und zwar für einen Lichtstrom von 1000 lm, angegeben. Für rotationssymmetrische Lichtverteilungen reicht die Darstellung in einer Ebene durch die Leuchte aus. Für beliebige nicht rotationssymmetrische Lichtverteilungen wird die Lichtstärkeverteilung in einer Anzahl von senkrechten C-Ebenen dargestellt.</p>

Lichtstrom Φ

Der Lichtstrom ist der mit der $V(\lambda)$ -Kurve (spektrale Hell-empfindlichkeit des menschlichen Auges) bewertete elektromagnetische Strahlungsfluß (elektrische Strahlungsleistung) $\Phi_{e\lambda}$ und stellt die von einer Lichtquelle abgestrahlte oder von einem Körper reflektierte Lichtleistung dar. Der Lichtstrom ist die Leistungseinheit im lichttechnischen Maßsystem.

Berechnungsgleichung: $\Phi = K_m \int \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda$

Maßeinheit: Lumen [lm]

Der Lampenlichtstrom ist die gesamte abgegebene Lichtleistung einer Lampe unabhängig von der Ausstrahlungsrichtung.

Weitere Informationen zu Begriffen aus dem Gebiet der Lichttechnik und des Sehens bei Nacht sind in den bereits zitierten Literaturquellen [1] und [38] bis [45] zu finden sowie in den Nachschlagewerken ABC der Optik [68] und BI-Lexikon Optik [69], der VDEW-Schrift Planung, Bau und Betrieb der Straßenbeleuchtung [70], weiteren Fachbüchern [71] bis [77] sowie den drei Schriftenreihen „Informationen zur Lichtanwendung“, „Lichtjournal“ und „Lichtforum“ der „Fördergemeinschaft Gutes Licht“. In diesem Zusammenhang ist auch auf den Entwurf der europäischen Norm DIN EN 13201 „Straßenbeleuchtung“ [60] hinzuweisen.

- [1] LiTG Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen.
LiTG-Publikation Nr. 12.2:1996, 2. Auflage 1996
- [2] Wacker, A. Auswirkungen von Umweltschutzgesetzen auf die Lichtbranche.
Gemeinschaftstagung „Licht ‘92“,
Saarbrücken, 14.–17. 9. 1992, Tagungsband S. 25
- [3] Röthlisberger, A. Entsorgung und Recycling: Rahmenbedingungen und Gesetzgebung in der Schweiz, in Deutschland, in den Niederlanden und in Österreich.
Gemeinschaftstagung „Licht ‘94“,
Interlaken, 14.–16. 9. 1994, Tagungsband S. 27
- [4] van Kollenburg,
L. W. J. Entsorgung und Verwertung.
Gemeinschaftstagung „Licht ‘94“,
Interlaken, 14.–16. 9. 1994, Tagungsband S. 34
- [5] Weis, B. Kunststoffe im Leuchtenbau unter Berücksichtigung von Entsorgung und Recycling.
Gemeinschaftstagung „Licht ‘94“,
Interlaken, 14.–16. 9. 1994, Tagungsband S. 51
- [6] Freundt, D.,
Schanowski, A. Überbelichtet.
Naturschutzverband DBV, Landesverband Baden-Württemberg 1991
- [7] Becker, M.,
Biermann, J.,
Schramm, U.,
Krautter, H. Auswirkungen großer Beleuchtungsanlagen auf nachtaktive Tiere, insbesondere Insekten.
Schlußbericht zum Untersuchungsauftrag des Ministeriums für Umwelt Baden-Württemberg 1990
- [8] Beckmann, D. Nebenwirkungen des Lichtes und ihre Bewertung – UV-Strahlung, radioaktive Strahlung, Artenschutz.
Gemeinschaftstagung „Licht ‘92“,
Saarbrücken, 14.–17. 9. 1992, Tagungsband S. 13
- [9] LiTG Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten.
LiTG-Publikation Nr. 15:1997
- [10] DIN 5035 Beleuchtung mit künstlichem Licht
- [11] Richter, H.-J. Energiebewußte Straßenbeleuchtung.
Licht 43 (1991), S. 754

- [12] Reck, G. Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit der Straßenbeleuchtung. Licht 34 (1982), S. 28
- [13] CIE Road Lighting as an Accident Countermeasure. Technical Report der CIE, Publication no. 93 (1993)
- [14] Scholz, I. Mögliche Folgen von Sparmaßnahmen in der Verkehrsbeleuchtung. Fachtagung „Die Beleuchtung im Rahmen von Sparmaßnahmen“ im Haus der Technik Essen, 12.–14. 4. 1978, Tagungsband S. 22
- [15] Scott, P. P. The Relationship between Road Lighting Quality and Accident Frequency. Report no. 929 des Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne 1980
- [16] Marsden, A. M., Simons, R. H. New Lighting Code for Old. Annual Conference of Illuminating Engineering Society of America 1980
- [17] Pfundt, K. Verkehrssicherheit und Straßenbeleuchtung. In: Beiträge zur Straßenbeleuchtung und zum Nachtbetrieb von Lichtsignalanlagen. H. 28 Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Köln 1986
- [18] Uschkamp, G. Straßenbeleuchtung und Verkehrssicherheit. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft Verkehrstechnik V 14, Bergisch Gladbach Februar 1994
- [19] Meseberg, H.-H., Uschkamp, G. Zusammenhang zwischen dem Niveau der Straßenbeleuchtung und dem Verkehrsunfallgeschehen. Licht 47 (1995), S. 631
- [20] Turner, H. J. The Effectiveness of the N. S. W. Street Lighting Subsidy Scheme. National Road Safety Symposium, Session 3B Canberra/Australia 1972
- [21] Cornwall, P. R., MacKay, G. M. Lighting and Road Traffic. Traffic Engineering and Control 14 (1972)
- [22] Tanner, J. C., Harris, A. J. Street Lighting and Accidents. Some British Investigations. CIE, 13. Session Zürich 1955. Tagungsband 2, GT/2-22
- [23] Borel, P. Verhinderung von Unfällen und öffentliche Beleuchtung. Bulletin des Schweizerischen elektrotechnischen Vereins 49 (1985)
- [24] Box, P. C. Effect of Lighting Reduction on an Urban Road. Traffic Engineering 46 (1976)

- [25] Jaster, K. Einfluß der Fußgängerüberwegbeleuchtung auf das Unfallgeschehen an Zebrastreifen in Hannover. Lichttechnik 25 (1973), S. 183
- [26] Polus, A., Katz, A. An Analysis of Night-time Accidents at Specially Illuminated Crosswalks. Accident Analysis and Prevention. Vol. 10 no. 3, 1978
- [27] Jorgensen, N. O., Rabani, Z. Safety of Pedestrians on or Near Pedestrian Crossings. Trafiksäkerhetsforskning, report no. 7, 1971
- [28] DIN 67 523 Beleuchtung von Fußgängerüberwegen (Zeichen 293 StVO) und Zusatzbeleuchtung.
- [29] Der Bundesminister für Verkehr Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ 84). Verkehrsblattverlautbarung Nr. 208 vom 30. 11. 1984
- [30] Salminen, J. Traffic Safety Effects of Road Lighting. Report Roads and Waterway Administration Traffic Office TVH 742014, 1978
- [31] Onser (French National Organisation for Road Safety): The Efficiency of Lighting at Intersections. Bericht von 1973
- [32] Wortman, R. H., Lipinki, M. E. Rural At-Grade Intersection Illumination. Report no. U1LU-RNG 74-2011, University of Illinois 1974
- [33] de Clercq, G. Fifteen Years of Road Lighting in Belgium. International Lighting Review 1/1985
- [34] Richards, S. H. Effects of Turning Off Selected Roadway Lighting as an Energy Conservation Measure. Transportation Research Record no. 811, Washington 1981
- [35] Bruneau, J.-F., Pouliot, M., Morin, D.-R., Thomas, I. Road Safety and Highway Lighting. Routes/Roads Nr. 297/1998, S. 25
- [36] Gramza, K., Hall, J. A., Sampson, W. Effectiveness of Freeway Lighting. Report FHWA RD 79-79 (1980)
- [37] Griffith, M. S. Comparison of the Safety of Lighting Options on Urban Freeways. Public Roads 58 (1994), S. 8
- [38] DIN 5044 Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung. Beleuchtung von Straßen für den Kraftfahrzeugverkehr. Teil 1: Allgemeine Gütemerkmale und Richtwerte; Teil 2: Berechnung und Messung

- [39] Ö-Norm O-1050 Straßenbeleuchtung, Allgemeine Anforderungen, Richtwerte
- [40] SEV/ASE 8907 Öffentliche Beleuchtung. Straßen und Plätze sowie Expressstrassen und Autobahnen.
1. Teil: Allgemeine Richtlinien;
2. Teil: Erläuterungen und Beispiele
- [41] Handbuch für Beleuchtung.
ecomед-Fachverlag, Landsberg 1992
- [42] Eckert, M. Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit.
Verlag Technik, Berlin und München 1993
- [43] Eckert, M. Außenbeleuchtung. Sicherheit und Effektivität.
Die Bibliothek der Technik, Bd. 133,
Verlag moderne Technik, Landsberg/Lech 1996
- [44] LiTG Methoden der Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichteberechnung.
LiTG/LTAG-Publikation Nr. 14. Berlin, November 1991
- [45] LiTG Methoden zur Berechnung und Messung der Blendung in der Straßenbeleuchtung.
LiTG-Publikation, Karlsruhe 1981
- [46] CIE Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic.
Technical Report der CIE no. 115 (1993)
- [47] CIE Guide to the Lighting of Urban Areas.
Technical Report der CIE no. 92 (1992)
- [48] Boyce, P. R.,
Gutkowski, J. M. The if, why and what of street lighting and street crime: A review.
Lighting Research and Technology 27 (1995), S. 103
- [49] Callender, D. Light, a weapon in the war on accidents and crime.
American Motorist, März 1962
- [50] Hoover, J. E. Out of Darkness.
Street and Highway Lighting 20 (1970) 4
- [51] Painter, K. An Evaluation of Public Lighting as Crime Prevention Strategy: The West Park Estate Surveys.
Lighting Journal 56 (1991), S. 228
- [52] Painter, K. The Impact of Street Lighting on Crime, Fear and Pedestrian Street Use.
Security Journal 5 (1994), S. 116
- [53] Schreuder, D. A. Relation between Lighting, Accidents and Crime in Urban Streets.
Lux Europa Edinburg 1993, Tagungsband 1, S. 118

- [67] Reck, G. DIN 5044 Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung, Beleuchtung von Straßen für den Kfz-Verkehr. Licht 44 (1992), S. 814
- [68] ABC der Optik. Brockhaus Verlag Leipzig 1961
- [69] BI-Lexikon Optik. Bibliographisches Institut Leipzig 1988
- [70] VDEW (Hrsg.) Planung, Bau und Betrieb der Straßenbeleuchtung. VDEW-Verlag Frankfurt a. M. 1991
- [71] Helbig, E. Grundlagen der Lichtmeßtechnik. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig Leipzig 1977
- [72] Fischer, U. Tageslichttechnik. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller Köln 1982
- [73] Hartmann, E. Lichttechnik und Physiologie des Sehens. In: Gramberg-Danielsen: Der Dunkelheitsunfall. Enke Verlag Stuttgart 1984
- [74] Zieseniß, C.-H. Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann. Lampen, Leuchten und ihre Anwendung. Hüthig Verlag Heidelberg 1985
- [75] Weis, B. Beleuchtungstechnik. Pflaum Verlag München 1996
- [76] Lachenmayr, B. J. Sehen und gesehen werden. Verlag Shaker Aachen 1995
- [77] Baer, R. (Hrsg.) Beleuchtungstechnik. Grundlagen. Verlag Technik Berlin 1996
und
Beleuchtungstechnik. Anwendungen. Verlag Technik Berlin 1993
- [78] SLG Energie in der öffentlichen Beleuchtung. SLG-Publikation, Bern 1994