

Fachverband für Strahlenschutz e.V.

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)
für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz



Leitfaden "Lichteinwirkung auf die Nachbarschaft"

Vorwort und Impressum

Eines der Hauptziele der Arbeit des Arbeitskreises "Nichtionisierende Strahlung" (AKNIR) des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. (FS) ist es, Unterlagen in Form von Leitfäden für die in diesem Arbeitskreis fachlich abgedeckten Themengebiete zu erstellen. Darin werden die physikalischen Grundlagen und der derzeitige wissenschaftliche Erkenntnisstand über die biologischen Wirkungen der einzelnen Teilbereiche vermittelt. Darüber hinaus werden die zulässigen Expositionswerte und durchzuführende Schutzmaßnahmen aufgeführt.

Die Leitfäden sollen sowohl den im Arbeitsschutz tätigen Experten als auch jedermann die notwendigen Hilfestellungen geben, um sich über das jeweilige Thema sachlich zu informieren, eventuell die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, aber auch die mitunter von anderer Seite geschürten Ängste in der Öffentlichkeit vor nichtionisierender Strahlung durch sachliche Informationen zu relativieren, und zwar auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik.

Der vorliegende Leitfaden „Lichteinwirkung auf die Nachbarschaft“ soll allen Interessierten die notwendigen Informationen an die Hand geben, um mit sichtbarer und infraroter Strahlung richtig umgehen zu können.

Der Leitfaden „Lichteinwirkung auf die Nachbarschaft“ wurde vom Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. (Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA) für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz) erarbeitet.

Dem Arbeitskreis gehören Experten auf dem Gebiet der nichtionisierenden Strahlung aus den Niederlanden, Österreich, der Schweiz und Deutschland an.

Der Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung hat außerdem Leitfäden zu folgenden Themen erstellt:

- Sonnenstrahlung
- Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen
- Sichtbare und infrarote Strahlung
- Laserstrahlung
- Elektromagnetische Felder
- Infraschall
- Ultraschall

Verfasser: Rüdiger Borgmann
Thomas Kurz

Stand: 10. Juni 2014

Redaktion und Bezug

Prof. a. D. Dr. Hans-Dieter Reidenbach
Sekretär des AKNIR
Fachhochschule Köln – Forschungsbereich Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung
Betzdorfer Straße 2
50679 Köln
Telefon: +49 221 - 8275 2003, -2208
E-Mail: hans.reidenbach@fh-koeln.de

Inhalt

1.	Einleitung	4
2.	Physikalische Grundlagen und Begriffe	5
2.1.	Photometrisches Strahlungsäquivalent und Hellempfindlichkeitskurve (V-Lambda-Kurve)	5
2.2.	Raumwinkel Ω	6
2.3.	Lichtstrom Φ_v	6
2.4.	Lichtstärke I_v	6
2.5.	Leuchtdichte L_v	6
2.6.	Beleuchtungsstärke E_v	7
3.	Immissionsquellen	7
4.	Auswirkungen von Lichtquellen	7
4.1.	Raumaufhellung durch künstliche Lichtquellen	7
4.2.	Blendung durch künstliche Lichtquellen	8
4.3.	Blendung durch Sonnenlicht	8
4.4.	Bewegte Lichtstrahler	8
4.5.	Schatten und Lichtblitze bewegter Anlagenelemente (insbesondere Windenergieanlagen)	9
4.6.	Reflektierende Gebäude- und Anlagenelemente	10
5.	Beurteilung von Lichtimmissionen technischer Lichtquellen	10
5.1.	Raumaufhellung	10
	Anhaltswerte für die Vertikal-Beleuchtungsstärke bei Beleuchtungsanlagen von gewerblichen Anlagen, Freizeit- und Sportanlagen	10
	Anhaltswerte für die Vertikal-Beleuchtungsstärke von Beleuchtungsanlagen öffentlicher Straßen	11
	Zeit und Ort der Messung; Messdurchführung	12
5.2.	Blendung durch einzelne Lichtquellen im Gesichtsfeld	13
	Zeit und Ort der Messung; Messdurchführung	14
	Umgebungsleuchtdichte	14
	Raumwinkel der Blendlichtquelle	15
5.3.	Blendung durch mehrere Lichtquellen im Gesichtsfeld	15
5.4.	Anforderungen an die Gestaltung und den Betrieb von Beleuchtungsanlagen	15
6.	Beurteilung von Anlagen, die die natürliche Beleuchtungssituation wesentlich ändern	17
6.1.	Schattenwurf von Windenergieanlagen	17
6.2.	Blendwirkung von Photovoltaikanlagen	18
	Mögliche Maßnahmen zur Verminderung oder Vermeidung von Blendwirkungen	19
6.3.	Blendwirkung durch sonstige reflektierende Gebäude- und Anlagenelemente	19
6.4.	Maßgebliche Immissionsorte	19
	Literatur	20

1. Einleitung

Der Begriff "Licht" bezeichnet einen Teil des elektromagnetischen Spektrums (Wellenlänge zwischen 380 nm und 780 nm; entspricht Frequenzen zwischen ca. 789 THz und 384 THz), für den der Mensch ein Sinnesorgan, das Auge, besitzt. Anders als bei höheren oder tieferen Frequenzen, die nur indirekt, etwa durch Erwärmung, bemerkt werden können, besitzt Licht damit auch das Potenzial, als lästig oder gar störend empfunden zu werden. Im Extremfall können auch indirekte Gefährdungen eintreten, etwa wenn es im Straßenverkehr zu einer plötzlichen Blendung kommt.

Für die Nachbarschaft und die Allgemeinheit kann Licht in verschiedenen Zusammenhängen zu einer Belästigung führen:

- Der zunehmende Einsatz technischer Lichtquellen in der alltäglichen Umwelt, wie Beleuchtungsanlagen an Verkehrswegen und Sportstätten, Lichtstrahler für Werbe- und Sicherheitsanlagen oder LED-Plakatwände (teils mit Bewegtbildern) kann zu einer Belästigung führen, die sich einerseits aus einer psychologischen Blendung und andererseits aus einer Aufhellung von Wohnbereichen (insbesondere Schlafbereichen) ergibt.
- Anlagen, die die natürliche Beleuchtungssituation wesentlich ändern, werden inzwischen ebenfalls zu den Immissionsquellen gezählt. Unterschieden wird dabei zwischen Anlagen, die das Sonnenlicht reflektieren und Blendsituationen hervorrufen können (z. B. Photovoltaikanlagen) und Anlagen, die das Sonnenlicht abschwächen. Zu letzterem zählt insbesondere der bewegte Schattenwurf des Rotors von Windenergieanlagen, der sich teilweise noch mehrere hundert Meter von einer Windenergieanlage entfernt störend bemerkbar macht.

Wirkungen, Maßnahmen zur Quantifizierung der Immissionssituation, sowie Minderungsmaßnahmen im Sinne des Immissionsschutzes variieren je nach Art der Immission:

- Technische Lichtquellen lassen sich messtechnisch gut erfassen, woraus sich auch die Stärke der Belästigung ermitteln lässt. Abhilfemaßnahmen sind vergleichsweise einfach umsetzbar, etwa durch Dimmen der Lichtquelle, Anpassungen ihrer Ausrichtung oder Einschränken des Betriebszeitraums.
- Der periodische Schattenwurf von Windenergieanlagen wird ab bestimmten Sonnenlichtstärken als belästigend empfunden. Ziel des Immissionsschutzes ist es, die Immissionssituation in ihrer Dauer zu begrenzen. Bei zu langen Immissionszeiträumen kann die Windenergieanlage angehalten werden.
- Die Blendwirkung von Photovoltaikanlagen lässt sich dagegen nicht abschalten. Das Ziel, auch hier eine Begrenzung der Immissionszeiträume zu erreichen, kann besonders gut erreicht werden, wenn ihm bereits in der Planungsphase Aufmerksamkeit geschenkt wird. Für bestehende Anlagen kommt als Minderungsmaßnahme ein Sichtschutz (Rollos, Bepflanzung zwischen Anlage und Immissionsort, etc.) in Frage.

Für die Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen wurden in den 1970er Jahren verschiedene Grundsatzuntersuchungen durchgeführt, unter welchen Umgebungsbedingungen und ab welchen lichttechnischen Werten Lichtimmissionen zu erheblichen Belästigungen führen können. Der periodische Schattenwurf von Windenergieanlagen war 1999 und 2000 in zwei Studien Gegenstand der Forschung [1,2]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen und die Erfahrung bei der Überprüfung von Beschwerden über unangenehme Immissionssituationen wurden in Beurteilungs- und Regelwerken zusammengefasst [3,4] und bilden die Grundlage für die Genehmigung und den Betrieb von Beleuchtungs- und Windenergieanlagen.

Nicht Gegenstand dieses Leitfadens sind Immissionen durch direkte Sonnenstrahlung, Ultraviolett- und Infrarotstrahlung aller Art, sowie durch Laserstrahlung, für die auf Grund der damit verbundenen besonderen Gefahren ein eigener Leitfaden [5] existiert.

2. Physikalische Grundlagen und Begriffe

Licht besteht physikalisch betrachtet aus elektromagnetischen Wellen mit Wellenlängen von 380 nm (Grenzbereich zur UV-Strahlung) bis 780 nm (Grenzbereich zur Infrarot-Strahlung). Das Auge ist in der Lage, diesen Wellenlängenbereich wahrzunehmen und interpretiert

- die Amplitude der elektromagnetischen Welle (Feldstärke, Leistungsdichte) als Helligkeit (Stärke, "Intensität"),
- die Frequenz bzw. Wellenlänge als (Licht-)Farbe.

Das Auge ist dabei in der Lage, auf Leuchtdichten (siehe Abschnitt 2.5.) in Größenordnungen zwischen 10^{-5} cd/m² und 10^5 cd/m² zu adaptieren. Die Empfindlichkeit des Auges ist auch von der Wellenlänge des Lichts (Farbe) abhängig. Man unterscheidet zwischen photopischem Sehen (Tagsehen) und skotopischem Sehen (Nachtsehen). Tagsüber besitzt das Auge seine größte Empfindlichkeit für Licht der Wellenlänge 555 nm (grün-gelb), nachts bei etwa 507 nm (grün-blau).

2.1. Photometrisches Strahlungsäquivalent und Hellempfindlichkeitskurve (V-Lambda-Kurve)

Während für ein Radiometer Licht konstanter Strahlungsleistung unabhängig von seiner Wellenlänge bei ansonsten gleichen Bedingungen die gleiche Bestrahlungsstärke (in W/m²) hervorruft, nimmt das Auge Licht verschiedener Wellenlängen verschieden hell wahr. Neben den physikalischen, radiometrischen Größen (ausgehend von der Strahlungsleistung in Watt) wurden daher physiologische, photometrische Größen eingeführt (ausgehend vom Lichtstrom in Lumen), die diesem Umstand Rechnung tragen. Unter sonst gleichen Bedingungen nimmt das Auge Licht verschiedener Wellenlängen bei konstantem Lichtstrom (und dadurch variabler Strahlungsleistung) gleich hell wahr.

Das photometrische Strahlungsäquivalent $K(\lambda)$ gibt für das Tagsehen an, welchen Lichtstrom Licht einer bestimmten Wellenlänge bei einer Strahlungsleistung von 1 W aufweist (Abbildung 1). Für das Nachtsehen besteht mit $K'(\lambda)$ eine analoge Kurve.

Das photometrische Strahlungsäquivalent ist der Proportionalitätsfaktor zwischen radiometrischen und photometrischen Größen. Zur Kennzeichnung photometrischer Größen wird meist der Index *v* (für *visual*) an das Formelzeichen angefügt.

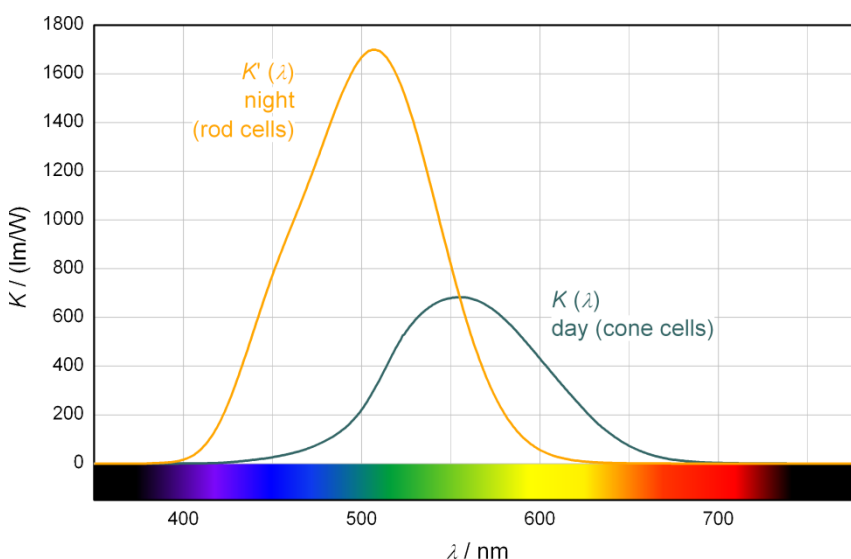


Abbildung 1: Photometrische Strahlungsäquivalente $K(\lambda)$ für Tagsehen und $K'(\lambda)$ für Nachtsehen. (Datenquelle: DIN 5031-2 [6]; Bild: Bayerisches Landesamt für Umwelt)

Die auf maximale Empfindlichkeit normierten, dimensionslosen Kurven $V(\lambda) = K(\lambda) / K(555 \text{ nm})$ bzw. $V'(\lambda) = K'(\lambda) / K(507 \text{ nm})$ werden als V-Lambda- oder Hellempfindlichkeitskurven bezeichnet. Sie beschreiben die spektrale Hell-Empfindlichkeit des menschlichen Auges.

2.2. Raumwinkel Ω

Der Raumwinkel bezeichnet die Fläche S , die ein Raumbereich auf einer Einheitskugeloberfläche aufspannt (Abbildung 2). Allgemein entspricht der Raumwinkel dem Quotienten der Projektionsfläche S dividiert durch das Quadrat des Kugelradius r . Zur Kennzeichnung des Raumwinkels dient die (eigentlich dimensionslose) Einheit Steradian ($1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/(\text{m}^2)$).

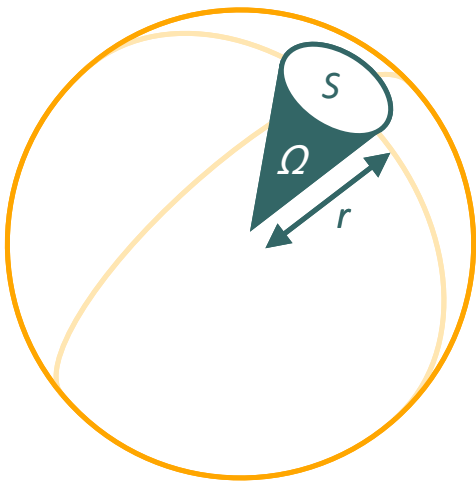


Abbildung 2: Raumwinkel $\Omega = S / r^2$. (Bild: Bayerisches Landesamt für Umwelt)

Der volle Raumwinkel beträgt $4\pi \text{ sr} \approx 12,57 \text{ sr}$.

Ein Kegel mit dem Öffnungswinkel α deckt den Raumwinkel $\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos(\alpha / 2))$ ab.

2.3. Lichtstrom Φ_v

Der Lichtstrom ist die photometrische Entsprechung zur Strahlungsleistung (Strahlungsleistung einer Lichtquelle, bewertet mit $V(\lambda)$). Er ist eine emissionsbezogene Größe und wird angegeben in der Einheit Lumen (1 lm).

2.4. Lichtstärke I_v

Die Lichtstärke ist die Strahlungsleistung einer Lichtquelle pro Raumwinkel, gewichtet mit $V(\lambda)$. Sie gibt damit den Lichtstrom an, den eine Lichtquelle in einen bestimmten Raumwinkel abstrahlt. Sie ist eine emissionsbezogene Größe und wird angegeben in der Einheit Candela ($1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$).

2.5. Leuchtdichte L_v

Die Leuchtdichte ist die Strahlungsleistung einer Lichtquelle pro Raumwinkel und auf die Größe der leuchtenden Fläche bezogen, gewichtet mit $V(\lambda)$. Sie ist das photometrische Maß für das,

was das Auge als Helligkeit einer Fläche wahrnimmt. Sie ist eine emissionsbezogene Größe und wird angegeben in der Einheit Candela pro Quadratmeter (1 cd/m^2).

2.6. Beleuchtungsstärke E_v

Die Beleuchtungsstärke ist das photometrische Analogon zur Bestrahlungsstärke. Sie gibt an, welche Strahlungsleistung auf eine Empfängerfläche trifft und gewichtet diesen Wert mit $V(\lambda)$, d. h. den Lichtstrom pro Flächenelement. Sie ist eine immissionsbezogene Größe und wird in der Einheit Lux angegeben ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$).

Bei schrägem Lichteinfall trägt nur die senkrecht auf die Empfängerfläche einfallende Komponente des Lichtstroms zur Beleuchtung bei (α sei der Winkel zwischen Lichteinfallrichtung und Flächennormale, r der Abstand zwischen Leuchtquelle und Empfänger):

$$E_v = \cos \alpha \cdot d\Phi_v / dA = I_v \cdot \cos \alpha / r^2 \quad (1)$$

3. Immissionsquellen

Immissionsquellen sind künstliche, technische Lichtquellen, die auf den Immissionsort einwirken, sowie bauliche und technische Anlagen, die die Beleuchtungssituation am Immissionsort durch natürliche Lichtquellen verändern. Dazu zählen:

- Scheinwerfer zur Beleuchtung von Sport- und Freizeitstätten
- Straßenleuchten
- Lichtreklamen (einschließlich LED-Plakatwände, Videowände, etc.)
- beleuchtete Gebäudefassaden
- Fenster von stark ausgeleuchteten Arbeitsräumen
- Wachstumsbeleuchtung von Gewächshäusern
- bewegte Lichtstrahler wie Scheinwerfer von Kraftfahrzeugen oder Skybeamer
- technische Einrichtungen wie z. B. Schweißanlagen oder Hochfackeln
- reflektierende Gebäudeelemente (z. B. Photovoltaikanlagen)
- bewegte Anlagenelemente (z. B. Rotorblätter von Windenergieanlagen)

Die in der Nachbarschaft von Beleuchtungsanlagen auftretenden Lichteinwirkungen bewegen sich im Bereich der Belästigung. Physische Schäden können in der Regel ausgeschlossen werden. Laser, deren Anwendung spezielle Vorschriften zum Arbeitsschutz regeln, bleiben hier außer Betracht.

4. Auswirkungen von Lichtquellen

Je nach Art der Immissionsituation können sich Lichtimmissionen als Umwelteinwirkungen für einen Betroffenen auf folgende Art bemerkbar machen:

4.1. Raumaufhellung durch künstliche Lichtquellen

Hierunter wird die Aufhellung des Wohnbereiches, insbesondere Schlafzimmer, aber auch Wohnzimmer, Terrasse oder Balkon, durch in der Nachbarschaft vorhandene Beleuchtungsanlagen oder Leuchtkörper verstanden. Bei übermäßiger Aufhellung ergibt sich eine eingeschränkte Nutzung dieser Wohnbereiche.

Die Aufhellung wird durch die mittlere Beleuchtungsstärke \overline{E}_F in der Fensterebene beschrieben.

4.2. Blendung durch künstliche Lichtquellen

Bei der Blendung durch Lichtquellen wird zwischen der physiologischen und psychologischen Blendung unterschieden. Während die physiologische Blendung, bei der das Sehvermögen durch Streulicht im Glaskörper des Auges vermindert wird, bei Immissionsituationen im allgemeinen nicht auftritt, werden die Anwohner häufig durch psychologische Blendung belästigt, selbst wenn sich die Lichtquelle in größerer Entfernung befindet, so dass sie im Wohnbereich keine nennenswerte Aufhellung erzeugt.

Die Belästigung entsteht durch die ständige und ungewollte Ablenkung der Blickrichtung zur Lichtquelle hin, die bei großem Unterschied der Leuchtdichte der Lichtquelle zur Umgebungsleuchtdichte eine ständige Adaptation des Auges auslöst. Für die Störwirkung sind daher die Leuchtdichte \bar{L}_S der Lichtquelle S im Verhältnis zur Umfeldleuchtdichte \bar{L}_U und der Raumwinkel Ω_S der Lichtquelle, vom Betroffenen (Immissionsort) aus gesehen, maßgebend.

Bei auffälligen Lichtquellen in der Nähe von Straßenverkehrswegen ergeben sich für die Sehaufgaben des Verkehrsteilnehmers besondere Probleme, bei denen die physiologische (Nichterkenntnis anderer Verkehrsteilnehmer oder von Hindernissen) und die psychologische Blendung (Ablenkung der Blickrichtung von der Straße) beachtet werden müssen.

Für das Ausmaß einer empfundenen Belästigung bei Lichtimmissionen sind neben den messtechnisch erfassbaren Größen wie Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte auch nicht-physikalische Faktoren wichtig, wie beispielsweise das Bewusstsein der Angemessenheit und Notwendigkeit einer Beleuchtungsanlage, die Einstellung zum Verursacher, der Gesundheitszustand des Betroffenen und seine momentanen Aufgaben bzw. Tätigkeiten. Dabei ist auch die Rücksichtslosigkeit des Verursachers oder eine vom Betroffenen vermutete Rücksichtslosigkeit von Bedeutung. Weiter spielen Ansprüche an die Umgebungssituation, Gewöhnung oder Sensibilisierung gegenüber einer Lichtsituation, individuelle Empfindlichkeit usw. eine Rolle. Für eine allgemein gültige Beurteilung sind daher Konventionen erforderlich, die sich weitgehend auf physikalische und geometrische Größen stützen und durch wenige subjektive Parameter, die durch wirkungsbezogene Lästigkeitsuntersuchungen bestätigt wurden, ergänzt werden.

4.3. Blendung durch Sonnenlicht

Die Sonne erreicht Leuchtdichten von bis zu $1,6 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$. Selbst bei niedrigen Sonnenständen von 3° über dem Horizont treten noch Leuchtdichten um $0,3 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$ auf. Anders als bei der Blendung durch künstliche Lichtquellen kommt es bei diesen Leuchtdichten zu physiologischer Blendung, mit der eine Reduktion des Sehvermögens durch Streulicht im Glaskörper einhergeht (Leuchtdichte bis ca. 10^5 cd/m^2) oder zu Absolutblendung (Leuchtdichte ab ca. 10^5 cd/m^2).

Bei Absolutblendung treten im Gesichtsfeld so hohe Leuchtdichten auf, dass eine Adaptation des Auges nicht mehr möglich ist. Da eine direkte Gefährdung des Auges eintreten kann, kommt es zu Schutzreflexen wie dem Schließen der Augen oder dem Abwenden des Kopfes [7].

4.4. Bewegte Lichtstrahler

Zu Werbezwecken werden auch bewegte Lichtstrahler (sogenannte Skybeamer) eingesetzt. Sie sind am Nachthimmel weithin sichtbar und können zu Irritationen und Ablenkungen der Autofahrer, verbunden mit einer Erhöhung des Unfallrisikos führen. Außerdem ist eine ungestörte Betrachtung des Sternenhimmels in einem weiten Bereich nicht mehr möglich. Die Lichtstrahler bewirken aber weder eine Aufhellung ihrer Umgebung noch lösen sie eine Blendung aus, soweit die Lichtquellen selbst nicht einsehbar sind. Sie entziehen sich damit den in den Abschnitten 4.1. und 4.2. genannten Beurteilungskriterien. Die für derartige Anlagen erforderliche baurechtliche Genehmigung kann versagt werden, wenn die Sicherheit des Verkehrs gefährdet ist, oder die Kommunen von ihrem Gestaltungsrecht Gebrauch machen und solche Werbeanlagen per Satzung verbieten.

4.5. Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen

Mit dem Ausbau der Windenergie im Zuge der Energiewende wachsen sowohl die Dimensionen der Windenergieanlagen als auch deren Anzahl. Deshalb müssen Windenergieanlagen zusehends als Luft- oder Schifffahrtshindernis gekennzeichnet werden. Aus der "AVV Kennzeichnung" (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen) folgt ab einer Gesamthöhe von 100 m u. a. die Notwendigkeit zur Nachtkennzeichnung durch Gefahrenfeuer.

Die Befeuereung von Windenergieanlagen wird in der Nachbarschaft bisweilen als störend empfunden. Auf Grund der höheren Priorität der Flugsicherheit kann immissionsrechtlich nicht gegen die Hindernisbefeuereung per se vorgegangen werden. Es bestehen jedoch Möglichkeiten, die Beeinträchtigung der Anwohner auf ein Minimum zu beschränken und damit die Lichtemissionen gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz zu minimieren und dennoch den Anforderungen an die Flugsicherheit zu entsprechen:

- Die zwischen allen Windenergieanlagen eines Windparks synchrone Befeuereung ist heutzutage Standard und wird als weniger störend empfunden als eine asynchrone Befeuereung.
- Die Befeuereung darf nach unten abgeschirmt werden.
- Per Sichtweitenmessung ist eine Reduzierung der Lichtstärke bei guter Sicht möglich.
- Noch weiter geht die bedarfsgerechte Kennzeichnung von Windenergieanlagen, die in Modellversuchen erprobt wurde. Dabei wird der umgebende Luftraum mittels Radartechnik gescannt und die Hinderniskennzeichnung erst bei Annäherung eines Luftfahrzeugs automatisch für den gesamten Windpark aktiviert.

4.6. Schatten und Lichtblitze bewegter Anlagenelemente (insbesondere Windenergieanlagen)

Beleuchtungs- und Abschattungssituationen, die durch natürliche Lichtquellen wie die Sonne entstehen, werden durch die Baugesetze geregelt (Mindestabstand von Gebäuden zum Nachbargrundstück oder maximale Bauhöhe).

Windenergieanlagen können zwei verschiedene Immissionsarten hervorrufen:

- Periodischer Schattenwurf ist die wiederkehrende Verschattung des direkten Sonnenlichtes durch die Rotorblätter einer Windenergieanlage. Der Schattenwurf ist dabei abhängig von den Wetterbedingungen, der Windrichtung, dem Sonnenstand und den Betriebszeiten der Anlage. Vom menschlichen Auge werden Helligkeitsunterschiede größer als 2,5 % wahrgenommen.
- Unter dem Begriff Disco-Effekt werden Lichtblitze verstanden. Es handelt sich um periodische Reflexionen des Sonnenlichtes an den Rotorblättern. Sie sind abhängig vom Glanzgrad der Rotoroberfläche und vom Reflexionsvermögen der gewählten Farbe. Bei Verwendung mittelreflektierender Farben und matter Glanzgrade stellt der Disco-Effekt heutzutage i.d.R. kein Problem mehr dar.

Durch Windenergieanlagen, die zunehmend auch in der Nähe von Wohngebäuden betrieben werden, ergeben sich im Zeitraum von einigen Minuten bis über eine Stunde bewegte Schatten, die eine Wohn- oder auch Büronutzung erheblich stören und zum Teil fast unmöglich machen. Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) hat in seinem Unterausschuss "Recht" festgestellt, dass der periodische Schattenwurf und die Lichtblitze (Disco-Effekt) als "ähnliche Umwelteinwirkungen" im Sinne des § 3 Abs. 2 BImSchG [8] einzustufen sind.

4.7. Reflektierende Gebäude- und Anlagenelemente

Durch Reflexion des Sonnenlichtes an glatten Fassaden oder Gebäudeelementen wie Jalousien, Metallverkleidungen, aber unter Umständen auch an den Fensterflächen selbst, treten in der Nachbarschaft zum Teil Flächen mit hohen Leuchtdichten auf, die mit 10^4 cd/m^2 bis 10^5 cd/m^2 eine Absolutblendung auslösen können. Wenn diese Blendung über einen längeren Zeitraum vorhanden ist, werden Abhilfemaßnahmen für erforderlich gehalten.

Gemäß [3] ist die Absolutblendung in ihrer Auswirkung auf die Nachbarschaft (Lästigkeit) wie der periodische Schattenwurf zu betrachten und die Schwellenwerte für eine zulässige Einwirkdauer sind entsprechend festzusetzen.

In den vergangenen zehn Jahren hat Blendung durch Reflexionen an Bedeutung gewonnen, weil sie im Rahmen des exzessiven Ausbaus von Photovoltaikflächen – insbesondere innerhalb oder in unmittelbarer Nähe von Wohngebieten – verstärkt auftritt.

5. Beurteilung von Lichtmissionen technischer Lichtquellen

Im Folgenden werden Beurteilungsverfahren und Anhaltswerte angegeben, die bei Lichteinwirkungen von Beleuchtungsanlagen in der Nachbarschaft nicht überschritten werden sollen. Bei deren Unterschreitungen ist im Allgemeinen die Lichteinwirkung nicht als erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG anzusehen.

5.1. Raumaufhellung

Mess- und Beurteilungsgröße für die Raumaufhellung ist die mittlere Beleuchtungsstärke in der Fensterebene (Vertikal-Beleuchtungsstärke) von Wohnungen. Für Balkone oder Terrassen ist der Bereich maßgeblich, in dem Wohnnutzung als allgemein üblich anzusehen ist.

Die Raumaufhellung wird bei ausgeschalteter Zimmerbeleuchtung gemessen und ergibt sich als Differenz der Beleuchtungsstärken zwischen ein- und ausgeschalteter Lichtquelle bzw. Beleuchtungsanlage.

Als Grenzwert für die Raumaufhellung bei einer üblichen Wohnraumnutzung wurde von Hartmann et al. [9] eine Aufhellung um 3 lx in der Fensterebene im Rahmen einer Feldstudie ermittelt. Bei sensibler Nutzung der Räume (Ruhe- und Schlafraum) wurde eine Absenkung auf 1 lx für erforderlich gehalten [10,11,12]. Bei der Begutachtung von Beschwerdefällen über Raumaufhellung hat sich gezeigt, dass bei Beachtung der Regeln der Lichttechnik in den meisten Fällen der Wert von 3 lx eingehalten werden kann. Bei 1 lx kann ein größerer Aufwand an Schutz- und Minderungsmaßnahmen erforderlich werden.

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen von Beschwerdefällen wurde nachstehendes Beurteilungsschema entwickelt. Dabei erschien es sinnvoll, wie bei den Regelwerken des Lärm- und Erschütterungsschutzes – z. B. TA Lärm [13] – die Anhaltswerte nach der Gebietsnutzung zu differenzieren.

Anhaltswerte für die Vertikal-Beleuchtungsstärke bei Beleuchtungsanlagen von gewerblichen Anlagen, Freizeit- und Sportanlagen

Anhaltswerte der Vertikal-Beleuchtungsstärke \overline{E}_F , die von einer Beleuchtungsanlage in ihrer Nachbarschaft nicht überschritten werden sollen, sind in Tabelle 1 enthalten. Eine Beleuchtungsanlage kann auch aus mehreren Einzelleuchten oder Leuchtengruppen bestehen. Beiträge von Lichtquellen anderer Betreiber sind getrennt zu erfassen und in die Beurteilung mit einzubeziehen. Bei dieser Beurteilung wird von üblichen Umgebungsbeleuchtungsverhältnissen in den jeweiligen Gebieten ausgegangen.

Tabelle 1: Immissionsrichtwerte der mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E}_F in der Fensterebene von Wohnungen bzw. bei Balkonen oder Terrassen auf den Begrenzungsflächen für die Wohnnutzung, hervorgerufen von Beleuchtungsanlagen während der Dunkelstunden (ausgenommen öffentliche Straßenbeleuchtungsanlagen).

Immissionsort; Gebietsart nach BauNVO [14]	mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}_F	
	06:00 Uhr bis 22:00 Uhr	22:00 Uhr bis 06:00 Uhr
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten ¹	1 lx	1 lx
reine Wohngebiete (§ 3), allgemeine Wohngebiete (§ 4), besondere Wohngebiete (§ 4a), Kleinsiedlungsgebiete (§ 2), Erholungsgebiete (§ 10)	3 lx	1 lx
Dorfgebiete (§ 5), Mischgebiete (§ 7)	5 lx	1 lx
Kerngebiete ² (§ 7), Gewerbegebiete (§ 8), Industriegebiete (§ 9)	15 lx	5 lx

¹ Wird die Beleuchtungsanlage regelmäßig weniger als eine Stunde pro Tag eingeschaltet, gelten die Richtwerte für reine Wohngebiete.

² In Einzelfällen können Kerngebiete bei geringer Umgebungsbeleuchtung wie Mischgebiete beurteilt werden.

Tabelle 1 bezieht sich auf zeitlich konstantes und weißes oder annähernd weißes Licht, das mehrmals in der Woche jeweils länger als eine Stunde eingeschaltet ist. Wird die Anlage seltener – z. B. bei Sportstätten oder bei Ladevorgängen auf Betriebshöfen – oder kürzer betrieben, sind Einzelfallbetrachtungen anzustellen.

Beleuchtungsanlagen mit intensiv farbigem Licht oder mit zeitlich veränderlichen Betriebszuständen^a hinsichtlich Helligkeit oder Farbe sind im Allgemeinen lästiger als zeitlich konstante Lichtquellen. Es wird deshalb empfohlen, den gemessenen Maximalwert der zu beurteilenden Beleuchtungsanlage mit einem Faktor zwischen 1 und 5 zu multiplizieren. Vorschläge für Faktoren in Abhängigkeit der Frequenz sind in [3] enthalten.

Bei Lichtenanlagen, die grelles farbiges Licht aussenden, wird empfohlen, den Messwert mit einem Faktor zwischen 1 und 2 zu multiplizieren, je nach der subjektiv empfundenen Auffälligkeit des Lichtes gegenüber gleich hellem neutral weißem Licht. Der nach der Multiplikation erhaltene Wert ist mit den Anhaltswerten der Tabelle 1 zu vergleichen.

Die Faktoren gelten jedoch nicht kumulativ; es ist der höhere Wert heranzuziehen.

Anhaltswerte für die Vertikal-Beleuchtungsstärke von Beleuchtungsanlagen öffentlicher Straßen

Aus Gründen der Verkehrssicherheit und der allgemeinen Sicherheit ist eine angemessene Straßenbeleuchtung im öffentlichen Interesse. Aus der Sicht der Verkehrssicherheit werden in DIN EN 13201, Teil 1 und 2 [15,16] für die mittlere Leuchtdichte auf der Fahrbahn Richtwerte der Nennleuchtdichte L_n in Abhängigkeit von der baulichen Gestaltung sowie der Verkehrsbelastung der Straße angegeben. Abhängig von der Höhe der projizierten Nennleuchtdichte auf der Fahrbahn werden die Werte der Tabelle 2 als Grenzwerte für die Vertikal-Beleuchtungsstärke \bar{E}_F in der Fensterebene der Randbebauung empfohlen.

Diese Werte sollen bei der Planung neuer Anlagen nicht überschritten werden. Überschreitungen der empfohlenen maximal zulässigen Werte nach Tabelle 2 bei bestehenden Anlagen sollten beseitigt werden, wenn dies mit verhältnismäßigem Aufwand möglich ist.

^a Die Betriebszustände wechseln in weniger als fünf Minuten.

Sind auf Grund der örtlichen Verhältnisse Abstände der Straßenlampen zur Hauswand kleiner als 4 m nicht zu vermeiden, können die Werte der Tabelle 2 nicht immer eingehalten werden.

Tabelle 2: Anhaltswerte der Vertikal-Beleuchtungsstärke \overline{E}_F an Fenstern von Aufenthaltsräumen in Wohnungen, die an einem maßgebenden Immissionsort von der Straßenbeleuchtung nicht überschritten werden sollten.

Straßennutzung	Nennleuchtdichte L_n nach DIN EN 13201-1 [15]	Vertikal- Beleuchtungsstärke \overline{E}_F
Wohnstraße; nur Anliegerfunktion	0,3 cd/m ²	3 lx ^a
Straßen mit Sammelfunktion	0,5 cd/m ²	5 lx ^b
	1,0 cd/m ²	10 lx
	1,5 cd/m ²	15 lx
Durchgangsstraßen	1,5 cd/m ²	15 lx
	2,0 cd/m ²	20 lx

^a Gilt auch für Straßen mit einer Nennbeleuchtungsstärke von 3 lx.

^b Gilt auch für Straßen mit einer Nennbeleuchtungsstärke von 7 lx.

Zeit und Ort der Messung; Messdurchführung

Für die Messung ist ein Zeitraum auszuwählen, der für die zu beurteilende Lichtsituation typisch ist. Werden die Messwerte z. B. durch Regen, Schnee oder Nebel beeinflusst, sind die Messergebnisse nicht repräsentativ für die Immissionssituation.

Messort bei der Beurteilung ist für schutzwürdige Räume bei geöffneten Fenstern die jeweilige Fensterebene; bei Balkonen oder Terrassen sind es sinngemäß die Begrenzungsflächen für die Wohnnutzung. Es sollte das am stärksten betroffene Fenster von Aufenthaltsräumen in Wohnungen für die Messung ausgewählt werden. Bei Terrassen oder Balkonen soll die Vertikal-Beleuchtungsstärke ebenfalls im Bereich der stärksten Aufhellung gemessen werden, soweit in diesem Bereich eine Wohnnutzung als allgemein üblich anzusehen ist. Bei örtlich unterschiedlicher Beleuchtungsstärke ist gegebenenfalls an mehreren, für die Aufhellung maßgebenden Punkten zu messen und aus den Messwerten der arithmetische Mittelwert zu bilden.

Die mittlere Beleuchtungsstärke wird vor dem geöffneten Fenster oder unmittelbar vor der Scheibe ermittelt. Wird abweichend davon innen hinter der Fensterscheibe gemessen, so muss der Einfluss der Scheibe berücksichtigt werden. Bei sauberen Scheiben sind dabei die Messwerte mit folgenden Korrekturfaktoren (Näherungswerte) zu multiplizieren:

- Einfachverglasung: Faktor 1,1
- Doppelverglasung: Faktor 1,25
- Dreifachverglasung: Faktor 1,4
- beschichtete Wärmeschutzverglasung: Faktor 1,7.

Beleuchtungsstärkeanteile von nicht zu beurteilenden Fremdlichtquellen aus der Umgebung sind z. B. durch Ausblendung oder Differenzmessung zu eliminieren.

Das Beleuchtungsstärkemessgerät ("Luxmeter") muss es gestatten, 0,1 lx zu messen, d. h. seine Auflösung muss 0,01 lx betragen. Die Geräte müssen mindestens den Anforderungen der Klasse B nach DIN 5032, Teil 7 [17] mit einem Gesamtfehler unter 10 % genügen.

5.2. Blendung durch einzelne Lichtquellen im Gesichtsfeld

Die psychologische Blendwirkung einer Lichtquelle lässt sich nach [3] durch das Blendmaß k_S beschreiben:

$$k_S = \frac{\overline{L}_S}{\text{cd/m}^2} \cdot \sqrt{\frac{\Omega_S}{\overline{L}_U / (\text{cd/m}^2)}} = \frac{\Omega_M \cdot \overline{L}_M / (\text{cd/m}^2)}{\sqrt{\Omega_S \cdot \overline{L}_U / (\text{cd/m}^2)}}; \quad \text{wobei } \overline{L}_S = \begin{cases} \overline{L}_M \cdot \Omega_M / \Omega_S & \text{falls } \Omega_M > \Omega_S \\ \overline{L}_M & \text{sonst} \end{cases}. \quad (2)$$

Hierin sind:

- k_S das Blendmaß (siehe Tabelle 3).
- \overline{L}_S die mittlere Leuchtdichte der zu beurteilenden Blendlichtquelle in cd/m^2 .
- \overline{L}_M die mittlere Leuchtdichte im Messfeld des Leuchtdichtemessgeräts in cd/m^2 .
- \overline{L}_U die maßgebende Leuchtdichte der Umgebung der Blendlichtquelle in cd/m^2 ; falls die aus Messungen ermittelte Umgebungsleuchtdichte kleiner als $0,1 \text{ cd/m}^2$ ist, wird mit $\overline{L}_U = 0,1 \text{ cd/m}^2$ gerechnet.
- Ω_S der Raumwinkel der vom Immissionsort aus gesehenen Blendlichtquelle in sr. Für kleinere Raumwinkel als 10^{-6} sr liegt eine Punktquelle vor, die durch $\Omega_S = 10^{-6} \text{ sr}$ beschrieben wird. Für größere Raumwinkel als 10^{-2} sr liegt eine Flächenquelle vor, für die $\Omega_M = \Omega_S = 10^{-2} \text{ sr}$ eingesetzt werden sollte.
- Ω_M der Raumwinkel der Messfeldblende des Leuchtdichtemessgeräts.

Das Blendmaß soll die Immissionsrichtwerte k für Blendung gemäß Tabelle 3 nicht überschreiten.

Das Beurteilungsverfahren gilt für zeitlich konstantes Licht, das mehrmals in der Woche jeweils länger als eine Stunde eingeschaltet ist. Vom Immissionsort aus muss zudem bei üblicher Position der Blick zur Blendquelle hin möglich sein.

Die Blendung von zeitlich veränderlichem Licht wird im Allgemeinen als lästiger empfunden als zeitlich konstantes Licht. Die stärkere Störimpfindung von Wechsellicht kann bei der Beurteilung der Blendung näherungsweise durch einen Faktor bis zu 5 berücksichtigt werden, um die die Messwerte oder Berechnungsergebnisse vor dem Vergleich mit den Immissionsrichtwerten erhöht werden.

Tabelle 3: Immissionsrichtwerte k zur Festlegung der maximal zulässigen Blendung durch technische Lichtquellen während der Dunkelstunden.

Immissionsort; Gebietsart nach BauNVO [14]	Immissionsrichtwert k		
	06:00 Uhr bis 20:00 Uhr	20:00 Uhr bis 22:00 Uhr	22:00 Uhr bis 06:00 Uhr
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten ¹	32	32	32
reine Wohngebiete (§ 3), allgemeine Wohngebiete (§ 4), besondere Wohngebiete (§ 4a), Kleinsiedlungsgebiete (§ 2), Erholungsgebiete (§ 10)	96	64	32
Dorfgebiete (§ 5), Mischgebiete (§ 7)	160	160	32
Kerngebiete ² (§ 7), Gewerbegebiete (§ 8), Industriegebiete (§ 9)	—	—	160

¹ Wird die Beleuchtungsanlage regelmäßig weniger als eine Stunde pro Tag eingeschaltet, gelten die Richtwerte für reine Wohngebiete.

² In Einzelfällen können Kerngebiete bei geringer Umgebungsbeleuchtung wie Mischgebiete beurteilt werden.

Als Ausgangspunkt zur Festlegung des Zahlenwertes k wird nach [9,12] eine tolerable Leuchtdichte

$$L_{\max} = 1000 \text{ cd/m}^2 \text{ für } \Omega_S = 1 \cdot 10^{-4} \text{ sr und } \overline{L_U} = 0,1 \text{ cd/m}^2$$

angesehen. Daraus ergibt sich ein Wert für $k = 32$. Mit dieser Festlegung werden die in Tabelle 3 angegebenen Zahlenwerte abgeleitet, die nach der baulichen Nutzung des Gebietes, in dem ein Immissionsort liegt, und nach Tages- und Nachtzeiten gestaffelt sind. Auf Grund von umfangreichen Untersuchungen an Sportanlagen zeigte es sich als erforderlich, eine weitere Unterscheidung der Zeiträume in frühe und späte Abendstunden einzuführen.

Für Straßenleuchten ist die Einhaltung der Anhaltswerte in Verbindung mit den k -Werten aus Tabelle 3 anzustreben.

Zeit und Ort der Messung; Messdurchführung

Für die Bestimmung des Blendmaßes k_S sind die mittlere Leuchtdichte $\overline{L_S}$ der zu beurteilenden Blendlichtquelle, der zugehörige Raumwinkel Ω_S und die Umgebungsleuchtdichte $\overline{L_U}$ zu ermitteln und mit den Immissionsrichtwerten k für Blendung nach Tabelle 3 zu vergleichen.

Die Messung erfolgt bei Dunkelheit und klarem Wetter vom Immissionsort aus, z. B. vom Aufenthaltsraum bei geöffnetem Fenster, vom Balkon oder von der Terrasse aus. Es sollten möglichst mehrere Messfeldblenden mit Winkeldurchmessern im Bereich von ca. $10'$ bis ca. 10° zur Verfügung stehen.

Die Wahl der Messblende (Raumwinkel Ω_M) ist in weiten Grenzen beliebig. Bedingung ist nur, dass die Blendquelle repräsentativ ist und kein Fremdlicht erfasst wird. Ist die Blende kleiner als die Lichtquelle, dann besteht die Gefahr, dass die Messwerte nicht repräsentativ für die gesamte leuchtende Fläche sind, was durch mehrere Messwerte an verschiedenen Stellen zu prüfen ist. Wegen der mit sehr kleinen Blenden verbundenen Richtungsunsicherheiten sollte mit möglichst großen Blenden gearbeitet und die mittlere Leuchtdichte der zu beurteilenden Lichtquelle aus

$$\overline{L_S} = \begin{cases} \overline{L_M} \cdot \Omega_M / \Omega_S & \text{falls } \Omega_M > \Omega_S \\ \overline{L_M} & \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$$

berechnet werden. Wesentlich ist, dass bei der Messung der Leuchtdichte keine Fremdquellen erfasst werden.

Die Raumwinkel zu den Messblenden werden für Kreiskegel mit dem vollen Öffnungswinkel α wie folgt berechnet:

$$\Omega_M = 2\pi \cdot (1 - \cos(\alpha / 2)) . \quad (4)$$

Das Leuchtdichtemessgerät muss es gestatten, von $0,01 \text{ cd/m}^2$ bis 10^6 cd/m^2 zu messen (in mehreren Stufen). Seine Auflösung muss 1 % des Skalenendwerts des jeweiligen Messbereichs betragen. Eine beleuchtete Digitalanzeige ist empfehlenswert. Die Geräte müssen mindestens den Anforderungen der Klasse B nach DIN 5032, Teil 7 [17] entsprechen und einem Gesamtfehler unter 15 % genügen. Entsprechendes gilt auch für Leuchtdichtemesskameras. Bei der Messung ist auf genaue Fokussierung und Ausrichtung des Messgeräts zu achten.

Umgebungsleuchtdichte

Die Leuchtdichte $\overline{L_U}$ der Umgebung ist die durch Messung ermittelte mittlere Leuchtdichte in einem Winkelbereich von $\alpha_U = \pm 10^\circ$ um die zu beurteilende Lichtquelle.

Messungen in schutzwürdigen Räumen sind bei geöffnetem Fenster durchzuführen. Bei der Messung ist die Zimmer- bzw. Terrassen- oder Balkonbeleuchtung auszuschalten. Die zu beurteilende Lichtquelle bleibt jedoch eingeschaltet, da diese die Umgebungsleuchtdichte beeinflussen kann.

Die Umgebungsleuchtdichte kann mit einem Leuchtdichtemessgerät mit möglichst großer Messfeldblende (Winkeldurchmesser etwa $> 1^\circ$) ermittelt werden, indem räumlich repräsentativ an mehreren Punkten im Winkelbereich von $\pm 10^\circ$ um die zu beurteilende Lichtquelle gemessen wird. Die zu beurteilende Lichtquelle und eventuelle weitere Blendquellen im $\pm 10^\circ$ -Feld bleiben dabei ausgespart. Die Umgebungsleuchtdichte $\overline{L_U}$ ist der arithmetische Mittelwert der einzelnen Messwerte.

Die als Ersatzverfahren angegebene Bestimmung von $\overline{L_U}$ [10,11] durch einen Beleuchtungsstärkemesser mit einem 20° -Tubus ist wegen zu großer Ungenauigkeiten ungeeignet.

Raumwinkel der Blendlichtquelle

Der Raumwinkel Ω_S einer Lichtquelle wird bei direkt abstrahlenden Lampen durch die vom Immissionsort aus sichtbaren Lampenabmessungen aufgespannt. Wenn das Licht durch Reflexion, Refraktion oder Streuung an der Leuchte zum Immissionsort gelenkt wird, sind die vom Immissionsort aus sichtbaren Licht abstrahlenden Leuchtenflächen zu Grunde zu legen^b.

Die Ermittlung des Raumwinkels Ω_S kann rechnerisch aus den Abmessungen der Blendlichtquelle, den Neigungswinkeln relativ zum Beobachter und dem Abstand zwischen der Blendlichtquelle und dem Immissionsort durchgeführt werden. Im Allgemeinen ist es jedoch einfacher, den Raumwinkel aus photographischen Aufnahmen auszumessen, die vom Immissionsort aus mit Hilfe einer Teleoptik aufgenommen wurden. Wird eine digitale Kamera dazu verwendet, muss sie über eine ausreichende Bildauflösung (Pixelzahl) verfügen. Dieses Verfahren wird im Detail in [11] beschrieben. Da bei Lichtquellen mit hohen Leuchtdichten auf Grund der Lichtbrechung in der Kameraoptik ein Strahlenkranz um die Lichtquelle entsteht, wird der Raumwinkel häufig zu groß ermittelt.

5.3. Blendung durch mehrere Lichtquellen im Gesichtsfeld

Bei mehreren räumlich getrennten Beleuchtungsanlagen im Sichtbereich ist grundsätzlich jede für sich zu beurteilen. Besteht eine Beleuchtungsanlage aus mehreren, dicht beieinander stehenden einzelnen Leuchten, so darf jede einzelne Leuchte die Immissionsrichtwerte für Blendung nicht überschreiten.

Bei dieser Vorgehensweise wird die Störwirkung unter Umständen zu gering eingestuft, da die Belästigung durch die Gesamtanlage stärker ist als die durch eine einzelne Leuchte allein. Gesicherte Ergebnisse über die Summenwirkung mehrerer Leuchten liegen jedoch bisher nicht vor.

5.4. Anforderungen an die Gestaltung und den Betrieb von Beleuchtungsanlagen

Die Beleuchtungsanlagen sind nach dem Stand der Beleuchtungstechnik zu errichten und zu betreiben:

- Notwendigkeit der Beleuchtung abklären.
- Klärung des Lichtbedarfs/Beleuchtungsniveaus nach Stärke, Gleichmäßigkeit auf den gewünschten Flächen.
- Geeignete Auswahl, Anzahl, Platzierung und Ausrichtung der Leuchten, z. B. Planflächenstrahler.
- Lichtlenkung ausschließlich in die Bereiche, die künstlich beleuchtet werden müssen.

^b "scheinbare" Leuchtengröße, d. h. die Flächenprojektion auf eine Ebene senkrecht zur Verbindungsgeraden zwischen Immissionsort und Leuchte.

- Technische Maßnahmen (Abschirmblenden, optische Einrichtungen wie Spiegel und Reflektoren, Leuchten mit begrenztem Abstrahlwinkel).
- Ausrichtung grundsätzlich von oben nach unten. Direkte Blickverbindung zur Leuchte sollte vermieden werden. Ist dies nicht möglich, sind zum Schutz der Nachbarschaft Blenden vorzusehen.
- Beleuchtungen sollten nur nach unten und maximal 80° schräg zur Seite strahlen. Sie sollten möglichst niedrig angebracht sein, sodass z. B. nur der zu beleuchtende Fußweg hell wird.
- Für größere Plätze, die gleichmäßig ausgeleuchtet werden sollen (z. B. Lager- und Sportplätze) sind Scheinwerfer mit asymmetrischer Lichtverteilung zu verwenden, die oberhalb von 80° Ausstrahlungswinkel (zur Vertikalen) kein Licht abgeben, z. B. Strahler mit horizontaler Lichtaustrittsfläche.
- Bodenreflexion: kein heller oder stark reflektierender Boden. Absolut vermieden werden müssen Beleuchtungen von unten nach oben, z. B. Bodeneinbauleuchten.
- Unabgeschirmte unnötige Lichtabstrahlungen in den oberen Halbraum sollen grundsätzlich vermieden werden.
- Optimierte Lichtpunkthöhen.
- Es sollten möglichst niedrige Flutlichtmasten für Sportstätten und Lagerplätze installiert werden. Bei der Planung und Ausführung ist darauf zu achten, dass nur die notwendige Fläche beleuchtet wird. Streubereiche sind zu vermeiden. UV-arme Leuchtmittel oder UV-Filter sind empfehlenswert. Bei Flutlichtanlagen im Freien sind jedoch gerade höhere Masten in Verbindung mit asymmetrischen Planflächenstrahlern zur Immissionsminimierung vorteilhaft.
- Begrenzung der Betriebsdauer auf die nötige Zeit. Insbesondere während des Beurteilungszeitraums "nachts" kann eine Abschaltung oder Reduzierung des Beleuchtungsniveaus sinnvoll sein.
- Wenn der Beleuchtungsbedarf in den Nachtstunden nur selten besteht, kann die Nutzung eines Bewegungsmelders vorteilhaft sein. Bei häufigem Ein- und Ausschalten kann dagegen die Störfunktion in der Nachbarschaft überwiegen. Die Ansprechempfindlichkeit, Einschaltdauer und der Ausleuchtungsbereich der Beleuchtungsanlage sind hierbei zu beachten.
- Indirekte Beleuchtungssysteme wie Wandfluter oder Metallspiegel sind zu vermeiden.
- Lampentypen (Bauart der Lichtquelle).
- Umrüstung von Altanlagen.
- Ersetzen von beweglichen und zeitlich schwankenden Lichtquellen durch stationäre und konstante Lichtquellen.
- Abdunkeln großer, von innen beleuchteter Fensterflächen (z. B. beleuchtete Arbeitsräume, Gewächshäuser, etc.) durch Jalousien oder Rollos.
- Zeitlich veränderliches Licht (z. B. bei Leuchtreklamen) sollte durch gleich bleibendes Licht ersetzt werden, soweit dies mit dem Zweck der Anlage zu vereinbaren ist.

Beispiele für empfehlenswerte und nicht empfehlenswerte Leuchten sind in Abbildung 3 dargestellt.

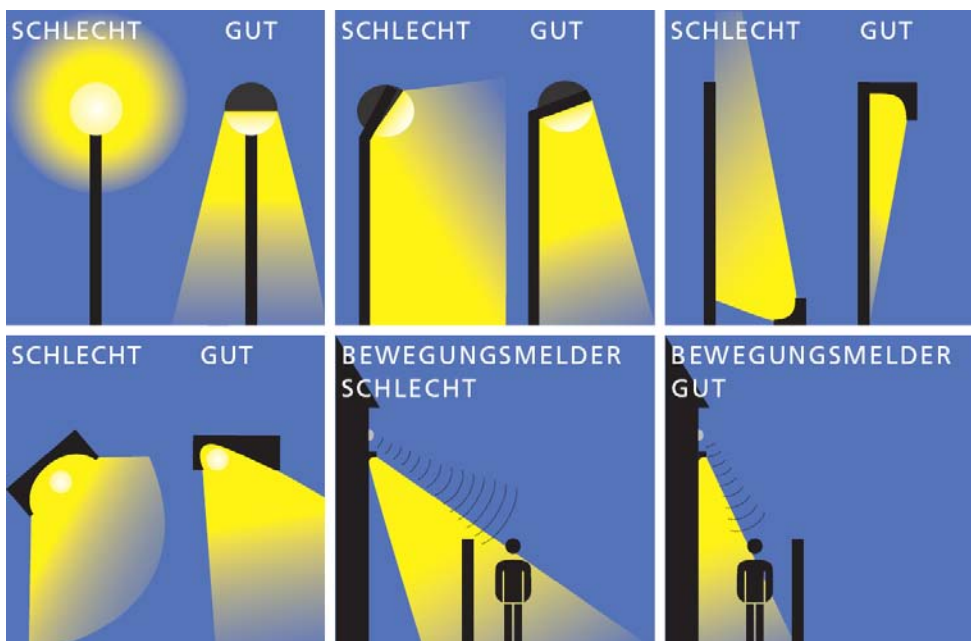


Abbildung 3: Beispiele für empfehlenswerte und nicht empfehlenswerte Varianten von Leuchten.
(Bild: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz)

6. Beurteilung von Anlagen, die die natürliche Beleuchtungssituation wesentlich ändern

6.1. Schattenwurf von Windenergieanlagen

Der Arbeitskreis "Lichtimmissionen" des LAI hat eine Beurteilungsrichtlinie für diese Umwelteinwirkungen erstellt [4]. Als Kriterium für eine erhebliche Belästigung oder Beeinträchtigung wird hier die maximal auftretende Schattenwurfdauer pro Tag und die Summe der maximal möglichen Schattenwurfzeiten durch die Windenergieanlage (WEA) während eines Jahres verwendet. Dabei werden folgende Schwellenwerte für eine erhebliche Belästigung angesehen:

- 30 Minuten pro Tag
- 30 Stunden im Jahr.

Für die Berechnung der Einwirkzeiten wird vorausgesetzt, dass während der Schattenwurfperiode immer die Sonne scheint, die Windkraftanlage bei ausreichendem Wind in Betrieb ist und die Windrichtung in der Verbindungsgeraden von Windkraftanlage und Immissionsort verläuft. Durch eine Feldstudie in Schleswig-Holstein wurden diese als Richtwerte für eine erhebliche Belästigung bestätigt [1,2].

Können an einem Standort der WEA diese Einwirkzeiten nicht eingehalten werden, müssen durch Maßnahmen wie eine gezielte Abschaltung der Anlage (Schattenwurf-Abschaltmodul) die tatsächlichen Schattenwurfzeiten auf 30 Minuten pro Tag und 8 Stunden pro Jahr begrenzt werden.

Lichtblitze beim Betrieb der WEA können durch matt ausgeführte Oberflächen der Rotorblätter vermieden werden.

6.2. Blendwirkung von Photovoltaikanlagen

Photovoltaikanlagen erfreuen sich seit einigen Jahren wachsender Beliebtheit. Sie finden sich auf Dächern vieler Privathaushalte, öffentlicher oder landwirtschaftlicher Gebäude, sowie in Form großer Photovoltaikparks auf Freiflächen. Probleme können sich ergeben, wenn in geringem Abstand Wohnbebauung besteht, denn dort kann es durch Reflexionen der Sonne an Photovoltaikmodulen zu Blendungen kommen.

Auf Grund der hohen Leuchtdichte der Sonne (siehe Abschnitt 4.3.) kommt es bereits dann zu einer Absolutblendung, wenn durch ein Photovoltaikmodul auch nur ein geringer Bruchteil (weniger als 1 %) des einfallenden Sonnenlichts zum Immissionsort hin reflektiert wird. Deshalb führen auch Module mit Anti-Reflex-Beschichtung noch zur Absolutblendung.

Die konkreten Tages- und Jahreszeiten, zu denen es zu einer Blendung kommen kann, hängen von der relativen Lage des Immissionsorts zur betreffenden Photovoltaikanlage, deren Ausrichtung und Abmessungen, sowie der geographischen Lage des Immissionsorts ab. Pauschale Angaben zur Blendwirkung sind nicht möglich; es ist stets eine Einzelfallbetrachtung erforderlich. Gerade bei größeren Anlagen sollte daher im Rahmen der Bauleitplanung ein lichttechnisches Gutachten vorgelegt werden.

Rechtlich zählen Photovoltaikanlagen zu den Immissionsquellen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Zusammen mit dem Baurecht dient es dem Nachbarschaftsschutz, insbesondere der Sicherstellung des Gebots der Rücksichtnahme (§ 22 BImSchG i. V. m. § 3 Abs. 2 und 3 BImSchG; § 34 Abs. 2 BauGB i. V. m. § 15 Abs. 1 BauNVO). Entsprechend wird auch anerkannt, dass Lichtimmissionen durch Reflexionen natürlicher Lichtquellen schädliche Umwelteinwirkungen sowie Belästigungen darstellen können [18,19].

Jedoch hängen die an das Gebot der Rücksichtnahme zu stellenden Anforderungen von den Umständen des Einzelfalls ab. Die Frage ist also im Wesentlichen, welches Ausmaß der Beeinträchtigung ein Anwohner noch akzeptieren muss bzw. welches Ausmaß Lichtimmissionen erreichen müssen, um als erheblich belästigend und nicht mehr zumutbar eingestuft zu werden. Diese Frage hat bereits verschiedene Gerichte beschäftigt. Das Verwaltungsgericht Augsburg ließ bei einer Photovoltaikanlage in das Rücksichtnahmegebot neben der Dauer der Absolutblendung durch direkte Reflexion auch weitergehende Kriterien – darunter eine diffuse Reflexion des Lichts sowie die örtlichen Gegebenheiten – einfließen (Aktenzeichen Au 4 K 12.399). Das Landgericht Heidelberg urteilte, dass Blendwirkungen zwischen 20 und 30 Minuten täglich nicht hingenommen werden müssen, wenn die Anlage nach ihrer Beeinträchtigungswirkung nicht ortsüblich ist (Aktenzeichen 3 S 21/08), wohingegen das Verwaltungsgericht Bayreuth Blendwirkungen von noch 12 Minuten täglich als zumutbar ansah (Aktenzeichen B 2 K 10.572). Auf der anderen Seite stufte das Oberlandesgericht Stuttgart eine maximale tägliche Blendung von ca. einer Stunde für jeweils vier bis sechs Wochen in Frühjahr und Herbst als verhältnismäßig gering ein (Aktenzeichen 3 U 46/13). Im selben Fall war zuvor das Landgericht Stuttgart noch von einer wesentlichen Beeinträchtigung der Wohnung ausgegangen, hatte aber ebenso festgehalten, dass eine Duldungspflicht bestehe und Maßnahmen zur Vermeidung der Blendung für den Betreiber wirtschaftlich unzumutbar seien (Aktenzeichen 9 O 320/09).

Diese Bandbreite an Beurteilungskriterien rührt daher, dass – anders als beim Schattenwurf von Windenergieanlagen – belastbare Untersuchungen über die psychologischen Wirkungen von Sonnenlichtreflexionen an Photovoltaikanlagen fehlen. Deshalb gibt es auch keine konkreten Angaben darüber, ab welchen Zeiträumen der Durchschnittsbürger die Immissionen einer Photovoltaikanlage als erheblich belästigend empfindet. Vielfach wird davon ausgegangen, dass die Lästigkeit der Immissionen von Photovoltaikanlagen ähnlich der des periodischen Schattenwurfs von Windenergieanlagen einzustufen ist. Daraus leitet sich die Empfehlung ab, an den Immissionsorten hilfsweise die gleichen Einwirkzeiten nicht zu überschreiten, d. h. eine maximale Blenddauer von 30 Minuten pro Tag und kumuliert 30 Stunden im Jahr als hinnehmbar anzusehen. Diese Auffassung wird u. a. von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vertreten [3].

Mögliche Maßnahmen zur Verminderung oder Vermeidung von Blendwirkungen

Bei der Maßnahmenplanung gibt es kein allgemein gültiges Vorgehen. Art und Umfang geeigneter Maßnahmen hängen immer von der konkreten Standortsituation vor Ort ab. In jedem Fall ist eine sorgsame Planung im Vorfeld sinnvoll, da Maßnahmen im Nachhinein – beispielsweise eine Veränderung des Neigungswinkels bei Dachanlagen oder die Installation einer Abschirmung – kostenaufwändig sind. Mögliche Maßnahmen umfassen:

- Sorgsame Planung vor der Errichtung der Anlage;
- Unterbindung der Sicht auf die Photovoltaikanlage in Form von beispielsweise Jalousien am Immissionsort, Wällen oder blickdichtem Bewuchs in Höhe der Moduloberkante;
- Änderung von Modulausrichtung oder –neigung;
- Ausreichender Abstand zur Wohnbebauung (bei Photovoltaikparks, die über ausgedehnt lange Reihen von Photovoltaikmodulen verfügen, mindestens 100 m).

Diese Maßnahmen sind als Empfehlung für Anlagenbetreiber zu sehen, um mögliche Konflikte mit der Nachbarschaft bereits im Vorfeld zu vermeiden.

6.3. Blendwirkung durch sonstige reflektierende Gebäude- und Anlagenelemente

Ob und in welchem Umfang es zu einer Blendung durch Gebäude- oder Anlagenelemente kommt, hängt von den Reflexionseigenschaften des jeweiligen Materials, seiner Größe und Orientierung, sowie seiner Lage zum Immissionsort ab. Bei stark reflektierenden Materialien, beispielsweise großflächigen Glasfassaden von Gebäuden, können wie bei Photovoltaikanlagen lange Einwirkzeiten möglich werden.

Generell ist eine Einzelfallprüfung erforderlich. Ist materialbedingt eine Absolutblendung am Immissionsort möglich, kann sich die Bewertung der Belästigung am Vorgehen bei Photovoltaikanlagen orientieren.

6.4. Maßgebliche Immissionsorte

Maßgebliche Immissionsorte sind schutzwürdige Räume, die als

- Wohnräume, einschließlich Wohndielen
- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume

genutzt werden. Direkt an Gebäuden beginnende Außenflächen (z.B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 06:00 Uhr und 22:00 Uhr gleichgestellt.

Ferner zählen zu maßgeblichen Immissionsorten unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zulässig sind.

Literatur

- [1] Pohl, J.; Faul, F.; Mausfeld, R.: Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31.07.1999.
- [2] Pohl, J.; Faul, F.; Mausfeld, R.: Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 15.05.2000.
- [3] Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie), Beschluss der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 13.09.2012.
- [4] Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) 28.01.2002.
- [5] Laserstrahlung. Leitfaden FS-2011-159-AKNIR des Deutsch-Schweizerischen Fachverbands für Strahlenschutz e. V. (2011).
- [6] DIN 5031, Teil 2: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Strahlungsbewertung durch Empfänger. März 1982, Beuth Verlag.
- [7] Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet auf der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006.
- [8] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I, S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I, S. 880), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2012 (BGBl. I, S. 1421, 1423).
- [9] Hartmann, E.; Schinke, M.; Wehmeyer, K.; Weske, H.: Messung und Beurteilung der Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen; Forschungsbericht des Instituts für medizinische Optik, im Auftrag des Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München 1984.
- [10] Assmann, J.; Gamber, A.; Müller, H. M.: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen; Licht 7(1987), S.509-515.
- [11] Assmann, J.: Lichtimmissionen, Licht 88, Tagungsberichte, Band 1 der 8. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaft Deutschlands, der Niederlande, Österreich und der Schweiz, Berlin 1988.
- [12] Assmann, J.: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen - Anwendung in der Praxis; Tagungsband "Nichtionisierende Strahlung" der 21. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz 1988 in Köln; Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, 1988.
- [13] 6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26.08.1998, Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 26.
- [14] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I, S. 133), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. April 1993 (BGBl. I, S. 466).
- [15] DIN EN 13201, Teil 1: Straßenbeleuchtung; Auswahl der Beleuchtungsklassen. November 2005, Beuth Verlag.
- [16] DIN EN 13201, Teil 2: Straßenbeleuchtung; Gütemerkmale. April 2004, Beuth Verlag.

- [17] DIN 5032, Teil 7: Lichtmessung; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemeßgeräten. Dezember 1985, Beuth Verlag.
- [18] Bayerischer Verwaltungsgerichtshof, Aktenzeichen 15 CS 06.2933.
- [19] Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg, Aktenzeichen 3 S 1654/06.

Weitere Literatur

- [20] Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen; LiTG-Publikation Nr. 12, 3. Auflage (2011), ISBN 978-3-927787-85-3
- [21] DIN 5031, Teil 1: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik. März 1982, Beuth Verlag.
- [22] DIN 5031, Teil 3: Strahlungsphysik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik. März 1982, Beuth Verlag.
- [23] DIN 5340 Begriffe der physiologischen Optik, April 1998.
- [24] Handbuch für Beleuchtung, 5. Auflage, 2. Ergänzung 11/98 ecomed-Verlag, Landsberg.