

**Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der
optischen Immissionen
von Windenergieanlagen**

**Information on How to Identify and Assess Optical
Immissions
Wind turbines**

Länderausschuss für Immissionsschutz

Country Committee on Import Protection

Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)

Information on how to identify and assess the optical immissions of wind turbines (WEA shadow throwing notes)

1. Vorbemerkung 1st preliminary remark

Im Rahmen der zur Verfügung stehenden erschöpflichen Ressourcen hat die alternative/regenerative Energieerzeugung einen hohen Stellenwert, hier insbesondere die Nutzung der Windenergie. Moderne Windenergieanlagen (WEA) haben kaum noch etwas mit den "Windmühlen" früherer Generationen gemeinsam, werfen aber durch ihre Anzahl, Größe und Erscheinungsbilder bisher nicht gekannte Probleme aufgrund der Belästigungen durch Lärm und optische Effekte auf.

Hinsichtlich der Lärmeinwirkungen bestehen Regelungen, die insoweit betroffenen Nachbarn entsprechenden Schutz bieten. Für die Beurteilung der Einwirkung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch den Rotor einer WEA hat der Gesetzgeber bisher keine rechtsverbindlichen Vorschriften mit Grenz- oder Richtwerten erlassen oder in Aussicht gestellt.

In the context of the exhaustive resources available, age-native/regenerative energy production is of great importance, in particular the use of wind energy. Modern wind turbines (WEA) have little to do with the "windmills" of previous generations, but due to their number, size and appearance pose unprecedented problems due to the nuisance caused by noise and optical effects.

With regard to noise effects, there are rules that provide appropriate protection for neighbors affected in this regard. For the assessment of exposure by flashes of light and moving, periodic shadow throwing by the rotor of a WEA, the legislature has not yet enacted or promised any legally binding regulations with limits or indicative values.

Wissenschaftliche Untersuchungen belegen die Erfahrung, dass optische Immissionen insbesondere in Form periodischen Schattenwurfs zu erheblichen Belästigungswirkungen (Stressor) führen können. Unter Berücksichtigung dieser Untersuchungen und Anhörungen von Gutachtern sollen diese Hinweise eine einheitliche und praxisnahe Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen ermöglichen.

Scientific research shows that optical immission-can lead to significant nuisance (stressor), especially in the form of periodic shadow discarding. Taking these investigations and hearings by experts into account, these indications are intended to enable a uniform and practical and practical identification and assessment of the optical immissions of wind energy plants.

2. Allgemeines 2. General

2.1 Grundsätze Anwendungsbereich und immissionsschutzrechtliche

2.1 Principles of scope and immission protection law

Die Hinweise finden Anwendung bei der Beurteilung der optischen Wirkungen von WEA auf den Menschen. Sie umfassen sowohl den durch den WEA-Rotor verur-

sachten periodischen Schattenwurf als auch die Lichtreflexe („Disco-Effekt“) und sind Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1]. Nicht als Immission gilt jedoch die sonstige Wirkung einer WEA aufgrund der Eigenart der Rotorbewegung, die ein zwanghaftes Anziehen der Aufmerksamkeit mit entsprechenden Irritationen bewirken kann.

The clues are used in assessing the optical effects of WEA on humans. They include both the periodic shadow cast condemned by the WEA rotor and the light reflections ("disco effect") and are immissions within the meaning of the Federal Immission Protection Act (BImSchG) [1]. However, the other effect of a WEA is not considered an immission due to the peculiarity of rotor movement, which can lead to a compulsive attracting of attention with corresponding irritation.

Die Hinweise enthalten Beurteilungsmaßstäbe zur Konkretisierung der Anforderungen aus § 5 Abs. 1 Nrn. 1 und 2 und § 22 Abs. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG).

The notices contain assessment measures for the concretization of the requirements from sections 5 (1) points 1 and 2 and § 22 (1) of the Federal Immission Protection Act (BImSchG).

Als Gegenstand von Anordnungen kommen technische Maßnahmen sowie zeitliche Beschränkungen des Betriebes der WEA in Betracht. Eine Stilllegung kommt nur in Betracht, wenn ihr Betrieb zu Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachwerte führt. Für optische Immissionen bei WEA dürfte dieses in der Regel nicht gegeben sein.

Technical measures and time constraints on the operation of the WEA are considered to be the subject of orders. Decommissioning is only considered if its operation leads to risks to life, health or significant property. For optical immissions at WEA, this is not usually possible.

2.2 Begriffsbestimmungen 2.2 definitions

Lichtblitze (Disco-Effekte) sind periodische Reflexionen des Sonnenlichtes an den Rotorblättern.

Sie sind abhängig vom Glanzgrad der Rotoroberfläche und vom Reflexionsvermögen der gewählten Farbe.

Flashes of light (disco effects) are periodic reflections of sunlight on the rotor blades. They depend on the degree of glory of the rotor surface and the reflectivity of the chosen color.

Kernschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

Core shadow from the site of the immission is considered the complete coverage of the sun by the rotor blade.

Halbschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die nicht vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

Semi-shade is viewed from the emission site in the incomplete destruction of the sun by the rotor blade.

Periodischer Schattenwurf ist die wiederkehrende Verschattung des direkten Son-

nenlichtes 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 [3].

Periodic shadow cast is the recurring shading of direct sun light through the rotor blades of a wind turbine. The shadow cast is there-depending on the weather conditions, the wind direction, the solar level and the operating times of the plant. The human eye perceives brightness differences greater than 2.5% [3].

Beschattungsbereich ist die Fläche, in der periodischer Schattenwurf auftritt.

Shading area is the area in which periodic shadow casting occurs.

Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer (worst case) ist die Zeit, bei der die Sonne theoretisch während der gesamten Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage in Betrieb ist.

Astronomically maximum possible shading time (worst case) is the time when the sun theoretically shines continuously in cloudless skies throughout the time between sunrise and sunset, the rotor surface stands perpendicular to solar radiation and the wind turbine is in operation.

Tatsächliche Beschattungsdauer ist die vor Ort real ermittelte und aufsummierte Einwirkzeit an periodischem Schattenwurf. Beträgt die Bestrahlungsstärke der direkten Sonneneinstrahlung auf der zur Einfallrichtung normalen Ebene mehr als 120 W/m^2 , so ist Sonnenschein mit Schattenwurf anzunehmen. Die Umrechnung in die Beleuchtungsstärke ist im Anhang aufgeführt.

Actual shading time is the actual interaction time on periodic shadow design that is determined and enumerated on the spot. If the irradiation intensity of direct sunlight on the level normal for incidence is more than 120 W/m^2 , sunshine with shadow casting is to be assumed. The conversion to the illuminance is listed in the appendix.

Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer ist die Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird. Als Grundlage dienen die langfristigen Messreihen des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Meteorologically probable shading time is the time for which the shadow cast is calculated taking into account the usual weather conditions. The long-term measurement series of the German Weather Service (DWD) serve as the basis.

Maßgebliche Immissionsorte sind

- a) 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.

Key emissions are

- (a) spaces worthy of protection, which are considered to be
 - Living spaces, including living floorboards

- Sleeping rooms, including overnight spaces in accommodation facilities and bed rooms in hospitals and sanatoriums
- classrooms in schools, colleges and similar institutions
- Offices, practice rooms, workspaces, training rooms and similar workspaces.

Direkt an Gebäuden beginnende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 6:00 - 22:00 Uhr gleichgestellt.

Outdoor areas (e.g. terraces and balconies), which start directly on buildings, are on an equal footing during the day between 6:00-22:00.

b) 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.

(b) undeveloped areas at a reference height of 2 m above ground at the most harshly affected edge of the areas on which buildings with protected spaces are permitted under construction or planning law.

2.3 Grundlagen der Ermittlung und Bewertung von Immissionen durch periodischen Schattenwurf

Ziel ist die sichere Vermeidung erheblicher Belästigungen, die durch periodische Lichteinwirkungen (optische Immissionen) durch WEA entstehen können. Die Erheblichkeit einer Belästigung hängt nicht nur von deren Intensität ab, sondern auch wesentlich von der Nutzung des Gebietes, auf das sie einwirkt, von der Art der Einwirkungen sowie der Zeitdauer der Einwirkungen. Bei der Beurteilung sind **alle WEA im Umkreis** einzubeziehen, die auf den jeweiligen Immissionspunkt einwirken. Einwirkungen durch periodischen Schattenwurf können dann sicher ausgeschlossen werden, wenn alle in Frage kommenden Immissionsorte in der Anlagenumgebung außerhalb des möglichen Beschattungsbereiches der jeweiligen WEA liegen.

2.3 Basics of identifying and evaluating immissions by periodic shadow casting

The aim is to safely avoid significant nuisance that can result from periodic light effects (optical immissions) by WEA. The seriousness of harassment depends not only on its intensity, but also temporally on the use of the area on which it affects, on the nature of the effects and the length of time of the effects. The assessment involves all WEA within the perimeter that affect the respective emission point. Conditions due to periodic shadow design can then certainly be ruled out if all eligible emission locations are outside the plant environment outside the possible shading area of the respective WEA.

Der zu prüfende Bereich ergibt sich aus dem Abstand zur WEA, in welchem die Sonnenfläche gerade zu 20 % durch ein Rotorblatt verdeckt wird. Da die Blatattiefe nicht über den gesamten Flügel konstant ist, sondern zur Rotorblattspitze hin abnimmt, ist ersatzweise ein rechteckiges Rotorblatt mit einer mittleren Blatattiefe zu ermitteln und zugrunde zu legen:

(Mittlere Blatattiefe = $1/2 \text{ (max. Blatattiefe + min. Blatattiefe bei } 0,9 \cdot \text{Rotorradius))}$ [7].

Der Beschattungsbereich kann für eine einzelne Anlage konservativ der Abbildung im Anhang entnommen werden oder ansonsten im konkreten Einzelfall nachgewiesen werden. Darüber hinaus kann der Beschattungsbereich nach Freund [3] bestimmt werden.

The area to be tested results from the distance to the WEA, in which the sun surface

is just 20% obscured by a rotor blade. Since the leaf depth is not constant over the entire wing, but decreases towards the rotor blade tip, a rectangular rotor blade with a medium leaf depth must be determined and used as a substitute:

(Average leaf depth = $1/2$ (max leaf depth + min. leaf depth at $0.9 \cdot$ rotor radius)) [7].

The shading area can be taken conservatively from the illustration in the appendix for a single plant or otherwise be followed in a specific individual case. In addition, according to friend [3], the shading area can be right.

Soweit mehrere WEA zu Immissionsbeiträgen führen können, gelten die Ausführungen für jede Einzelanlage. Höhendifferenzen im Gelände zwischen Standort der WEA und dem Immissionsort (z. B. bei Aufstellung einer WEA auf einem Hügel) sind zu berücksichtigen.

Eine Differenzierung in Kern- oder Halbschatten ist für die Belästigung **nicht bedeutsam**.

To the extent that several WEA can lead to commission contributions, the executing measures apply to each individual plant. Height differences in the terrain between the location of the WEA and the emission site (e.g. when setting up a WEA on a hill) must be taken into account.

Differentiation in core or semi-shadow is not clear for the harassment.

Soweit sich zu berücksichtigende Immissionsorte innerhalb des Beschattungsbereiches von WEA befinden, muss mit zeitweilig auftretenden wiederkehrenden Belästigungswirkungen gerechnet werden.

To the extent that the emission sites to be considered are within the WEA shading area, temporary recurring ventilation effects must be expected.

Von Relevanz sind die an einem Immissionsort tatsächlich auftretenden bzw. wahrnehmbaren Immissionen, die nur bei bestimmten Wetterbedingungen auftreten können. Eine Einwirkung durch zu erwartenden periodischen Schattenwurf wird als nicht erheblich belästigend angesehen, wenn die **astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer** [8] [9] unter kumulativer Berücksichtigung aller WEA-Beiträge am jeweiligen Immissionsort in einer Bezugshöhe von 2 m über Erdboden nicht mehr als **30 Stunden pro Kalenderjahr und darüber hinaus nicht mehr als 30 Minuten pro Kalendertag** beträgt. Bei der Beurteilung des Belästigungsgrades wurde eine durchschnittlich empfindliche Person als Maßstab zugrunde gelegt.

The actual immissions that occur at an immission location and which can only occur in certain weather conditions can be relevant. An influence by expected periodic shadow cast is considered not to be significantly harassing if the astronomically maximum possible duration of the coverage [8] [9] takes into account all WEA contributions at the respective emission site in a reference height of 2 m above ground is no more than 30 hours per calendar year and beyond no more than 30 minutes per calendar day. In assessing the level of harassment, an average sensitive person was used as a benchmark.

Bei Überschreitung der Werte für die **astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer** kommen unter anderem technische Maßnahmen zur zeitlichen Beschränkung des Betriebes der WEA in Betracht. Eine wichtige technische Maßnahme stellt als Gegenstand von Auflagen und Anordnungen die Installierung einer Ab-

schaltautomatik dar, die mittels Strahlungs- oder Beleuchtungsstärkesensoren die konkrete meteorologische Beschattungssituation erfasst und somit die vor Ort konkret vorhandene Beschattungsdauer begrenzt. Da der Wert von 30 Stunden pro Kalenderjahr auf Grundlage der astronomisch möglichen Beschattung entwickelt wurde, wird für Abschaltautomatiken ein entsprechender Wert für die tatsächliche, reale Schattendauer, die **meteorologische Beschattungsdauer** festgelegt. Dieser Wert liegt auf Grundlage von [2] bei 8 Stunden pro Kalenderjahr.

If the values are exceeded for the astronomically maximum possible shade duration, technical measures to limit the operation of the WEA for time can be considered, among other things. An important technical measure, as the subject of conditions and orders, constitutes the installation of a deduction switching automatically, which uses radiation or lighting strength sensors to detect the specific meteorological shading situation and thus limits the local document duration. Since the value of 30 hours per calendar year was developed on the basis of the astronomically possible shading, a corresponding value for defeat automobiles is determined for the actual, real shadow duration, the meteorological shading duration. Based on [2], this figure is 8 hours per calendar year.

3. Vorhersage des periodischen Schattenwurfs

Aus Gründen der Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit ist bei der Erstellung von Immissionsprognosen von folgenden Vereinfachungen und Annahmen auszugehen: Die Sonne ist als punktförmige Quelle anzunehmen und scheint tagsüber an allen Tagen des Jahres. Es herrscht wolkenloser Himmel und für die Bewegung des Rotors ausreichender Wind (100 % Verfügbarkeit). Die Windrichtung entspricht dem Azimutwinkel der Sonne, die Rotorkreisfläche steht dann senkrecht zur Einfallsrichtung der direkten Sonneneinstrahlung. Den Berechnungen wird geographisch Nord zugrunde gelegt. Abstände zwischen Rotorebene und Turmachse sind zu vernachlässigen. Die Lichtbrechung in der Atmosphäre (Refraktion) wird nicht berücksichtigt.

3. Predicting the periodic shadow draft

For reasons of comparability and traceability, the preparation of immission forecasts is based on the following simplifications and assumptions: The sun is to be assumed as a point-shaped source and shines during the day on all days of the year. There is cloudless skies and sufficient wind (100% availability) for the movement of the rotor. The wind direction corresponds to the angle of the sun; the rotor circle surface is then perpendicular to the ingenuity of direct sunlight. The calculations are based geographically on North. Distances between rotor level and tower axis are too negligent. The refraction of light in the atmosphere (refraction) is not taken into account.

Der Schattenwurf für Sonnenstände unter 3° Erhöhung über Horizont kann wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände vernachlässigt werden. Zur genaueren Ermittlung der astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer sollte von der effektiven Schatten werfenden Zone einer WEA ausgegangen werden. Diese Größe ergibt sich unter Einbeziehung der Strahlungsdiffusion in der Atmosphäre [12].

Für das Summieren der Jahresstunden ist das Kalenderjahr mit 365 Tagen und für das Summieren der täglichen Schattenzeiten der 24-Stunden-Tag zugrunde zu legen.

The shadow cast for solar stalls below 3° increase over horizon can be neglected due to vegetation, development and the atmospheric layers to be penetrating in flat terrain. In order to more accurately determine the astronomically maxi-times possible shading time, it should be assumed that a WEA can be used to throw effective shadows. This size is determined by the inclusion of radiation diffusion in the atmosphere [12]. For summing up the hours of the year, the calendar year with 365 days and for summing up the daily shade times is the basis of the 24-hour day.

Dauerhafte natürliche und künstliche lichtundurchlässige Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, können berücksichtigt werden.

Permanent natural and artificial opaque obstacles limiting WEA's peri-odic shadow cast can be considered.

In der abschließenden Zusammenfassung ist die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer anzugeben.

In the final summary, the astronomically maximum possible shading time must be specified.

4. Beurteilung

Eine erhebliche Belästigung durch periodischen Schattenwurf liegt dann nicht vor, wenn sowohl die Immissionsrichtwerte für die tägliche als auch die jährliche Beschattungsdauer durch alle auf den maßgeblichen Immissionsort einwirkenden Windenergieanlagen unterschritten werden.

4. Assessment

There is no significant nuisance from periodic shadow throwing if both the emission guidelines for the daily and annual monitoring periods are undercut by all wind turbines acting on the relevant emission site to become.

4.1 Immissionsrichtwerte für die jährliche Beschattungsdauer

Bei der Genehmigung von Windenergieanlagen ist sicherzustellen, dass der Immissionsrichtwert für die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von **30 Stunden pro Kalenderjahr** nicht überschritten wird. Bei Beschwerden hinsichtlich des Schattenwurfs durch bereits bestehende Anlagen ist die Einhaltung dieses Immissionsrichtwertes zu überprüfen.

Bei Überschreitungen ist durch geeignete Maßnahmen (siehe 4.1) die Einhaltung der Immissionsschutzanforderungen dieser Hinweise zu gewährleisten. Bei Einsatz einer Abschaltautomatik, die keine meteorologischen Parameter berücksichtigt, ist durch diese auf die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden pro Kalenderjahr zu begrenzen. Wird eine Abschaltautomatik eingesetzt, die meteorologische Parameter berücksichtigt (z. B. Intensität des Sonnenlichtes), ist auf die tatsächliche Beschattungsdauer von 8 Stunden zu begrenzen.

4.1 Immission guidelines for the annual shading period

When approving wind turbines, it is necessary to ensure that the immission direction value is not exceeded for the astronomically maximum possible shading time of 30 hours per calendar year. In the event of complaints regarding the shadow design by existing plants must be reviewed in compliance with this be-mission guide.

In the event of exceedances, appropriate measures (see 4.1) must ensure compliance with the emission protection requirements of these notices. When using e-duty shutdown automatic, which does not take into account meteorological parameters, this must be limited to the astronomically maximum possible shading time of 30 hours per calendar year. If a shutdown automatic is used, which takes into account meteorological parameters (e.g. intensity of sunlight), it must be limited to the actual shading time of 8 hours.

4.2 Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer

Der Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer beträgt **30 Minuten**.

In der Laborstudie der Universität Kiel [9] wurde festgestellt, dass bereits eine einmalige Einwirkung des Schattenwurfs von 60 Minuten zu Stressreaktionen führen kann. Aus Vorsorgegründen wird daher die tägliche Beschattungsdauer auf **30 Minuten** begrenzt.

4.2 Immission guide for daily shading time

The emission guide for the daily shading period is 30 minutes.

In the laboratory study of the University of Kiel [9] it was found that even a one-mic effect of the shadow design of 60 minutes can lead to stress reactions. For pension reasons, therefore, the daily shading time is limited to 30 minutes.

Dieser Wert gilt bei geplanten Anlagen für die **astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer**, bei bestehenden Anlagen für die tatsächliche Schattendauer. Bei Überschreitung dieses Richtwertes an mindestens drei Tagen ist durch geeignete Maßnahmen die Begrenzung der täglichen Beschattungsdauer auf 30 Minuten zu gewährleisten.

This value applies to planned investments for the astronomically maximum possible shading time, for existing plants for the actual shadow duration. If this guideline is exceeded at least three days, appropriate measures must be taken to ensure that the daily shading time is limited to 30 minutes.

5. Auflagen und Minderungsmaßnahmen

5.1 Schattenwurf

Bei der Wahl von WEA-Standorten bestimmt sich das Maß der Vorsorgepflicht hinsichtlich der erreichbaren Immissionsminderung gegen Beschattung an maßgeblichen Immissionsorten einzelfallbezogen unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit und den Anforderungen der Landes-/Bauleitplanung.

Überschreitet eine WEA die zulässigen Immissionsrichtwerte gemäß 3, so ist eine Immissionsminderung durchzuführen, die die überprüfbare Einhaltung der Immissionsrichtwerte zum Ziel hat. Diese Minderung erfolgt durch die gezielte Anlagenabschaltung für Zeiten real auftretenden oder astronomisch möglichen Schattenwurfs an den betreffenden Immissionsorten. Bei der Festlegung der genauen Abschaltzeiten ist die räumliche Ausdehnung am Immissionsort (z. B. Fenster- oder Balkonfläche) zu berücksichtigen. Bei Innenräumen ist die Bezugshöhe die Fenstermitte. Bei Außenflächen beträgt die Bezugshöhe 2 m über Boden.

Die ermittelten Daten zur Sonnenscheindauer und Abschaltzeit sollen von der Steuereinheit über mindestens ein Jahr dokumentiert werden; entsprechende Protokolle sollen auf Verlangen von der zuständigen Behörde einsehbar sein. Im Falle mehrerer beitragender WEA ist eine Aufteilung der Immissionsbeiträge für den jeweiligen Anteil

missionsort möglich.

5. Requirements and mitigation measures

5.1 Shadow Throw

When choosing WEA sites, the level of pension requirements is determined by the achievable reduction in emissions against shading of authoritative emission sites, taking into account the proportionality and requirements of the Landes-/Construction Planning.

If a WEA exceeds the permitted emission guidelines in accordance with 3, an immission reduction must be carried out with the aim of verifiable compliance with the Import Directives. This reduction is carried out by the targeted transfer of plants for periods of real or astronomically possible shadow design at the relevant emission sites. When determining the exact shutdown time, the spatial extent at the emission site (e.g. window or balcony floor) must be taken into account. In the case of indoors, the reference height is the center of the window. For outdoor surfaces, the reference height is 2 m above ground. The data collected on the duration of sunshine and shutdown time are to be documented by the tax unit for at least one year; Negs should be available at the request of the competent authority. In the case of several contributing WEA, it is possible to share the import contributions for the respective import mission location.

5.2 Lichtblitze

Störenden Lichtblitzen soll durch Verwendung mittelreflektierender Farben, z. B. RAL 7035-HR [6], und matter Glanzgrade gemäß DIN 67530/ISO 2813-1978 [5] bei der Rotorbeschichtung vorgebeugt werden. Hierdurch werden die Intensität möglicher Lichtreflexe und verursachte Belästigungswirkungen (Disco-Effekt) minimiert. Lichtblitze aufgrund von Nässe oder Vereisung werden nicht berücksichtigt.

5.2 Light Lightning

Disturbing flashes of light are to be prevented by using medium-reflective colors, e.g. RAL 7035-HR [6], and matte luminaries according to the AN 67530/ISO 2813-1978 [5] in the rotor coating. This minimizes the intensity of possible light reflexes and caused nuisance effects (disco effect). Light-flashes due to moisture or icing are not taken into account.

Anhang

Berechnungsverfahren

Der Nachweis, dass eine bestimmte WEA keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch periodischen Schattenwurf verursacht, stützt sich im Rahmen von Planungsvorhaben und Anlagenüberwachung auf eine Schattenwurfprognose. Dies gilt ebenso für die Ermittlung ggf. erforderlicher Abschaltzeiten von WEA.

Eine Schattenwurfprognose gründet sich auf einem Algorithmus zur Berechnung des standort-, tages- und uhrzeitabhängigen Sonnenstandes. Zur Gewährleistung einer einheitlichen Durchführung und vereinfachter Überprüfbarkeit wird der Bezug auf die normierten und allgemein zugänglichen Berechnungsmodelle [10] bzw. [11] empfohlen.

Die Grundgenauigkeit der in eine Prognose eingehenden geometrischen Parameter sollte $\pm 3 \dots 10$ m.... betragen. Die Bestimmung der Schattenwurfwerte soll an

einer Genauigkeit von 1 min pro Tag orientiert sein. Absolute Zeitangaben sollen in MEZ bzw. MESZ erfolgen.

Die möglichen Beschattungszeiten an allen relevanten Immissionsorten sollen in der Schattenwurfprognose tageweise mit Anfangs-, Endzeitpunkt und Beschattungsdauer ausgewiesen sein; im Falle mehrerer WEA sollen die Beiträge der Anlagen einzeln und tageweise aufsummiert entnehmbar sein. Pro Immissionsort ist die aufsummierte Jahresbeschattungsdauer anzugeben.

Bestandteil einer Schattenwurfprognose sind weiterhin Auszüge aus topografischen Karten, die Anlagenstandorte und Immissionsorte unter Angabe ihrer Gauß-Krüger-Koordinaten mit Höhenangaben wiedergeben. Als Ergebnis können auch berechnete Iso-Schattenlinien (Kurven gleicher Jahresbeschattungsdauer - insbesondere 30 h Iso-Schattenlinie - in der Anlagenumgebung) ausgewiesen werden.

Annex

Calculation

The evidence that a particular WEA does not cause adverse environmental impacts from periodic shadow casting relies on a shadow throwing forecast as part of planning projects and plant monitoring. This applies even-so to determining any shutdown times required by WEA.

A shadow sausage forecast is based on an algorithm for calculating the location, day and watch time-dependent solar level. In order to ensure uniform implementation and simplified verifiability, reference to the standardized and generally accessible calculation models [10] and [11] is recommended.

The basic accuracy of the geometric parameters going into a forecast should be considered by the most ... 10 m ... to be. The determination of shadow throwing times should be based on an accuracy of 1 min per day. Absolute dates are to be made in CET or CEST.

The possible shading times at all relevant emission sites should be shown in the shadow sausage forecast with initial, final timing and shading time; In the case of several WEA, the contributions of the systems should be removable individually and in added up on a daily basis. The total annual coverage period must be specified per emission location.

A shadow sausage forecast continues to include excerpts from topographic maps that reflect plant locations and emission locations stating their Gust Kruger coordinates with elevation information. As a result, calculated iso shadow lines (curves of the same annual shading time-especially 30 h iso shadow line-can also be shown in the plant environment).

Software

Aufgrund des relativ großen Berechnungsaufwandes und der guten Berechnungsmöglichkeiten mit Hilfe von Computerprogrammen empfiehlt sich der Einsatz geeigneter Software. Hierzu kann auf kommerzielle Programme zurückgegriffen werden.

Eine Prognose mit Hilfe geeigneter Tabellendaten ist ebenfalls möglich.

Verwendete Arbeitshilfen sollen die Anforderungen dieser Hinweise, z. B. bzgl. der Berechnungsverfahren, berücksichtigen.

Due to the relatively large amount of calculation and the good calculation possibilities with the help of computer programs, it is advisable to use suitable software. Commercial programs can be used for this purpose.

A prognosis with the help of appropriate table data is also possible.

Work aids used should take into account the requirements of these information, such

as

the

calculation

¹
methods.

Arbeitshilfen

Tatsächliche Beschattungsdauer: Sonnenstand und Beleuchtungsstärke

Die resultierende Beleuchtungsstärke E [lx] in einer horizontalen Messfläche hängt vom Einfallswinkel (Sonnenstand) [°] sowie dem fotometrischen Strahlungsäquivalent [lx/Wm^{-2}] ab, das von der Lichtbrechung (Refraktion) und der Lufttrübung bestimmt wird und ebenfalls vom Sonnenstand abhängt.

Vom deutschen Wetterdienst werden folgende Eckdaten für die Beleuchtungsstärke angenommen:

Work aids

Actual shading time: Sun level and illuminance

The resulting illuminance E [lx] in a horizontal measuring surface depends on the angle of incidence (solar level) [°] as well as the photometric radiation equivalent [lx/Wm^{-2}], which is determined by the refraction of light and air clouding and also by the Sun level depends. The German Weather Service adopts the following key data for the illumination intensity:

Sonnenstand [°]	Beleuchtungsstärke [lx]	Strahlungsäquivalent [lx/Wm^{-2}]
3	389	62
60	10.912	105

Sun level [°] Luminosity [lx] Radiation equivalent [lx/Wm^{-2}]

In erster Näherung ergeben sich daraus folgende Beleuchtungsstärken in Abhängigkeit vom Sonnenstand:

First and foremost, the following illumination levels result from the sun's level:

Sun level [°] Sonnenstand [°]	Luminosity Beleuchtungsstärke [lx]
3	389
5	664
10	1402
15	2207
20	3071
25	3986
30	4942
35	5929
40	6935
45	7949
50	8959
55	9951
60	10912

Für das Addieren der Jahresstunden ist das Kalenderjahr mit 365 Tagen und für das Addieren der täglichen Schattenzeiten der 24-Stunden-Tag zugrunde zu legen.

For the addition of the hours of the year, the calendar year with 365 days and for the addition of the daily shade times of the 24-hour day is to be used.

Sonnenauf- und -untergangszeiten [h:min; h:min]

	Berlin	Essen	Hannover	Karlsruhe	München	Schleswig	Schwerin
1. Jan	8:17;16:03	8:37;16:34	8:32;16:18	8:21;16:40	8:04;16:31	8:44;16:07	8:32;16:05
1. Apr	5:41;18:41	6:08;19:07	5:56;18:56	6:04;18:59	5:52;18:44	5:54;18:58	5:48;18:50
1. Jul	3:48;20:32	4:20;20:52	4:03;20:47	4:26;20:34	4:18;20:17	3:51;21:00	3:49;20:47
1. Okt	6:07;17:44	6:33;18:10	6:22;17:59	6:26;18:06	6:13;17:53	6:24;17:58	6:16;17:51

Quelle: DWD/BSH2001

Belastigungsgrenze auf grund geringem Schattenkontrast

obere Schattengrenze
(niedrigster Sonnenstand am 21. Dez.)

Beschattungsbereich

West

Ost

untere Schattengrenze
(höchster Sonnenstand am 21. Juni)

WEA
im Koordinaten- Ursprung

Annahmen: Leistung
2 MW
Bauhöhe 140 m Blatttiefe 2 m
Standort 52° nBr

Beschattungsdauer im Umfeld einer Windenergieanlage – Musterdaten

Koordinaten des Bezugsstandortes der WEA in ebenem Gelände:

Geographisch: 52°00' 00''N 10°00' 00''E (Mitte Deutschlands)

Gauß-Krüger (Bessel): 2 637 333 | 5 764 640

Bezugshöhe 2 m über Grund; horizontaler Rezeptor 0,1 x 0,1 m²

Scouring time in the vicinity of a wind turbine – sample data

Coordinates of the WEA's reference location in the same terrain: Geographically: 52 ° 00 ' 00 ' N 10 ° 00 ' 00 ' s (middle of Germany) Gauss Kruger (Bessel): 2 637 333 | 5 764 640

Reference height 2 m above ground; horizontal receptor 0.1 x 0.1 m²

Lfd Nr.	Naben- höhe [m]	Rotor- durch- messer [m]	Azimet von Nord über Ost [°]	Entfernung WEA- Immissionsort [m]	Stun- den/Jahr	Tage/ Jahr	Minu- ten/Tag
1	60	40	0°	150	90	124	60
2			40°	300	25	62	32
3			120°	450	15	49	22
4	90	60	0°	250	83	111	56
5			40°	400	28	61	36
6			120°	650	14	46	22
7	100	80	0°	300	98	108	62
8			40°	500	37	76	38
9			120°	750	20	54	26

Aufgrund der Symmetrie des Beschattungsbereiches, korrespondierend mit dem tagesbezogenen (scheinbaren) Sonnenlauf, sind für spiegelbildlich zur Nord-Süd-Achse gelegene Immissionspunkte gleichartige Immissionen zu erwarten. Bei Überlagerung der Immissionen durch mehrere WEA beträgt die Gesamt-Beschattungsdauer an einem Immissionsort maximal gleich die Summe der Beschattungsdauern durch die einzelnen immissionsbeitragenden WEA.

Due to the symmetry of the shading area, corresponding to the ta-related (apparent) solar run, immissions similar to the north-south axis are to be expected for mirror image. If the immissions are overstored by several WEA, the total shading time at an immission location is at most equal to the sum of the duration of the load by the individual immission-contributing WEA.

Literatur:

- [1.] BImSchG
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 am 27. Juli 2001 (BGBl. I S. 1950, 1973)

- [2.] sH.D. Freund
Effektive Einwirkzeit T_w des Schattenwurfs bei $T_{max} = 30$ h/Jahr, Ausarbeitung
Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel,
(24.01.2001)
- [3.] H.D. Freund
Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen
Umweltforschungsbank UFORDAT (Juni 1999)
- [4.] K. Bohne, D. Michelbrand
Der Schattenwurf von Windkraftanlagen Diplomarbeit FH Kiel (April 2000)
- [5.] DIN 67530/ISO 2813-
Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und
Kunststoff-Oberflächen
Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin (1978)
- [6.] RAL 7035-HR - Farbregister
Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung Bonn und St. Augustin (1998)
- [7.] Staatliches Umweltamt Schleswig
Ergebnisprotokoll des 3. Fachgesprächs vom 19.11.1999 über
Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen, Schleswig (1999)
- [8.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Belästigung durch periodischen Schattenwurf
von Windenergieanlagen,
Feldstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel, 31.07.1999
- [9.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Belästigung durch periodischen Schattenwurf
von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie, Institut für Psychologie der
Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 15.05.2000
- [10.] DIN 5034-2: Tageslicht in Innenräumen - Grundlagen, Beuth-Verlag
Berlin 1985
- [11.] VDI 3789 Blatt2 -10 /94: Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen
Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen
Strahlung, VDI , Düsseldorf 1994
- [12.] H.D. Freund, Einflüsse der Lufttrübung, der Sonnenausdehnung und der
Flügelform auf den Schattenwurf von Windenergieanlagen, Forschungsbe-
richt zur Umwelttechnik, Fachhochschule Kiel, Januar 2002

Literature:

- [1.] BImSchG
Law on the Protection of Harmful Environmental Impacts by Air Pollution,
Sounds, vibrations and similar processes
(Federal Immission Protection Act-BImSchG) of 15 March 1974 (BGBl. I, p. 721,
1193) as amended
14 May 1990 (BGBl. I p. 880), last amended on 27 July 2001
(BGBl. I S. 1950, 1973)
- [2.] H.D. Friend
Effective impact time T_w of shadow design at $T_{max} = 30$ h/a year, elaboration

Institute of Physics and General Electrical Engineering, Kiel University of Applied Sciences, (24.01.2001)

- [3.] H.D. Friend
The range of the shadow design of wind turbines environmental research bank UFORDAT (June 1999)
- [4.] K. Bohne, D. Michelbrand
The Shadow Dham of Wind Plants Diploma FH Kiel (April 2000)
- [5] A4 67530/ISO 2813-
Reflektometer as a tool for gloss assessment of flat paint and plastic surfaces German Institute for Standardization (1978)
- [6.] RAL 7035-HR-Color Register
German Institute for Label Clear Clear and Labeling Bonn and St. Augustin (1998)
- [7] Schleswig State Environment Agency
Results log of the 3rd expert discussion from the 19.11.1999 on the environmental impact of wind turbines, Schleswig (1999)
- [8.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, harassment by periodic shadow throwing of wind turbines,
Field Study, Institute of Psychology at the Christian Albrechts University in Kiel, 31.07.1999
- [9.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, harassment by periodic shadow throwing of wind turbines, laboratory pilot study, Institute of Psychology of the Christian Albrechts University, Kiel, 15.05.2000
- [10] A4 5034-2: Indoor daylight-Basics, Beuth-Verlag Berlin 1985
- [11] VDI 3789 Leatt2-10/94: Environmental Meteorology-Atmosphere and Surface Interactions, Calculation of Short and Long-wave Radiation, VDI, Dusseldorf 1994
- [12] H.D. Friend, influences of air cloudiness, solar expansion and wing shape on the shadow throwing of wind turbines, research report on environmental technology, Kiel University of Applied Sciences, January 2002

**Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung
der optischen Immissionen
von Windenergieanlagen**

Länderausschuss für Immissionsschutz

Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)

0. Vorbemerkung

Im Rahmen der zur Verfügung stehenden erschöpflichen Ressourcen hat die alternative/regenerative Energieerzeugung einen hohen Stellenwert, hier insbesondere die Nutzung der Windenergie. Moderne Windenergieanlagen (WEA) haben kaum noch etwas mit den "Windmühlen" früherer Generationen gemeinsam, werfen aber durch ihre Anzahl, Größe und Erscheinungsbilder bisher nicht gekannte Probleme aufgrund der Belästigungen durch Lärm und optische Effekte auf.

Hinsichtlich der Lärmeinwirkungen bestehen Regelungen, die insoweit betroffenen Nachbarn entsprechenden Schutz bieten. Für die Beurteilung der Einwirkung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch den Rotor einer WEA hat der Gesetzgeber bisher keine rechtsverbindlichen Vorschriften mit Grenz- oder Richtwerten erlassen oder in Aussicht gestellt.

Wissenschaftliche Untersuchungen belegen die Erfahrung, dass optische Immissionen insbesondere in Form periodischen Schattenwurfs zu erheblichen Belästigungswirkungen (Stressor) führen können. Unter Berücksichtigung dieser Untersuchungen und Anhörungen von Gutachtern sollen diese Hinweise eine einheitliche und praxisnahe Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen ermöglichen.

1. Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich und immissionsschutzrechtliche Grundsätze

Die Hinweise finden Anwendung bei der Beurteilung der optischen Wirkungen von WEA auf den Menschen. Sie umfassen sowohl den durch den WEA-Rotor verursachten periodischen Schattenwurf als auch die Lichtreflexe („Disco-Effekt“) und sind Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1]. Nicht als Immission gilt jedoch die sonstige Wirkung einer WEA aufgrund der Eigenart der Rotorbewegung, die ein zwanghaftes Anziehen der Aufmerksamkeit mit entsprechenden Irritationen bewirken kann.

Die Hinweise enthalten Beurteilungsmaßstäbe zur Konkretisierung der Anforderungen aus § 5 Abs. 1 Nrn. 1 und 2 und § 22 Abs. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG).

Als Gegenstand von Anordnungen kommen technische Maßnahmen sowie zeitliche Beschränkungen des Betriebes der WEA in Betracht. Eine Stilllegung kommt nur in Betracht, wenn ihr Betrieb zu Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachwerte führt. Für optische Immissionen bei WEA dürfte dieses in der Regel nicht gegeben sein.

1.2 Begriffsbestimmungen

Lichtblitze (Disco-Effekte) sind periodische Reflexionen des Sonnenlichtes an den Rotorblättern.

Sie sind abhängig vom Glanzgrad der Rotoroberfläche und vom Reflexionsvermögen der gewählten Farbe.

Kernschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

Halbschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die nicht vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

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 [3].

Beschattungsbereich ist die Fläche, in der periodischer Schattenwurf auftritt.

Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer (worst case) ist die Zeit, bei der die Sonne theoretisch während der gesamten Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage in Betrieb ist.

Tatsächliche Beschattungsdauer ist die vor Ort real ermittelte und aufsummierte Einwirkzeit an periodischem Schattenwurf. Beträgt die Bestrahlungsstärke der direkten Sonneneinstrahlung auf der zur Einfallrichtung normalen Ebene mehr als 120 W/m², so ist Sonnenschein mit Schattenwurf anzunehmen. Die Umrechnung in die Beleuchtungsstärke ist im Anhang aufgeführt.

Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer ist die Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird. Als Grundlage dienen die langfristigen Messreihen des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Maßgebliche Immissionsorte sind

- a) 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 6:00 - 22:00 Uhr gleichgestellt.

- b) 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.

1.3 Grundlagen der Ermittlung und Bewertung von Immissionen durch periodischen Schattenwurf

Ziel ist die sichere Vermeidung erheblicher Belästigungen, die durch periodische Lichteinwirkungen (optische Immissionen) durch WEA entstehen können. Die Erheblichkeit einer Belästigung hängt nicht nur von deren Intensität ab, sondern auch wesentlich von der Nutzung des Gebietes, auf das sie einwirkt, von der Art der Einwirkungen sowie der Zeitdauer der Einwirkungen. Bei der Beurteilung sind **alle WEA im Umkreis** einzubeziehen, die auf den jeweiligen Immissionspunkt einwirken. Einwirkungen durch periodischen Schattenwurf können dann sicher ausgeschlossen werden, wenn alle in Frage kommenden Immissionsorte in der Anlagenumgebung außerhalb des möglichen Beschattungsbereiches der jeweiligen WEA liegen.

Der zu prüfende Bereich ergibt sich aus dem Abstand zur WEA, in welchem die Sonnenfläche gerade zu 20 % durch ein Rotorblatt verdeckt wird. Da die Blatattiefe nicht über den gesamten Flügel konstant ist, sondern zur Rotorblattspitze hin abnimmt, ist ersatzweise ein rechteckiges Rotorblatt mit einer mittleren Blatattiefe zu ermitteln und zugrunde zu legen:

(Mittlere Blatattiefe = $1/2 (\text{max. Blatattiefe} + \text{min. Blatattiefe bei } 0,9 \cdot \text{Rotorradius})$) [7].

Der Beschattungsbereich kann für eine einzelne Anlage konservativ der Abbildung im Anhang entnommen werden oder ansonsten im konkreten Einzelfall nachgewiesen werden. Darüber hinaus kann der Beschattungsbereich nach Freund [3] bestimmt werden.

Soweit mehrere WEA zu Immissionsbeiträgen führen können, gelten die Ausführungen für jede Einzelanlage. Höhendifferenzen im Gelände zwischen Standort der WEA und dem Immissionsort (z. B. bei Aufstellung einer WEA auf einem Hügel) sind zu berücksichtigen.

Eine Differenzierung in Kern- oder Halbschatten ist für die Belästigung **nicht bedeutsam**.

Soweit sich zu berücksichtigende Immissionsorte innerhalb des Beschattungsbereiches von WEA befinden, muss mit zeitweilig auftretenden wiederkehrenden Belästigungswirkungen gerechnet werden.

Von Relevanz sind die an einem Immissionsort tatsächlich auftretenden bzw. wahrnehmbaren Immissionen, die nur bei bestimmten Wetterbedingungen auftreten können. Eine Einwirkung durch zu erwartenden periodischen Schattenwurf wird als nicht erheblich belästigend angesehen, wenn die **astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer** [8] [9] unter kumulativer Berücksichtigung aller WEA-Beiträge am jeweiligen Immissionsort in einer Bezugshöhe von 2 m über Erdboden nicht mehr als **30 Stunden pro Kalenderjahr und darüber hinaus nicht mehr als 30 Minuten pro Kalendertag** beträgt. Bei der Beurteilung des Belästigungsgrades wurde eine durchschnittlich empfindliche Person als Maßstab zugrunde gelegt.

Bei Überschreitung der Werte für die **astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer** kommen unter anderem technische Maßnahmen zur zeitlichen Beschränkung des Betriebes der WEA in Betracht. Eine wichtige technische Maßnahme stellt als Gegenstand von Auflagen und Anordnungen die Installierung einer Ab-

schaltautomatik dar, die mittels Strahlungs- oder Beleuchtungsstärkesensoren die konkrete meteorologische Beschattungssituation erfasst und somit die vor Ort konkret vorhandene Beschattungsdauer begrenzt. Da der Wert von 30 Stunden pro Kalenderjahr auf Grundlage der astronomisch möglichen Beschattung entwickelt wurde, wird für Abschaltautomatiken ein entsprechender Wert für die tatsächliche, reale Schattendauer, die **meteorologische Beschattungsdauer** festgelegt. Dieser Wert liegt auf Grundlage von [2] bei 8 Stunden pro Kalenderjahr.

2. Vorhersage des periodischen Schattenwurfs

Aus Gründen der Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit ist bei der Erstellung von Immissionsprognosen von folgenden Vereinfachungen und Annahmen auszugehen: Die Sonne ist als punktförmige Quelle anzunehmen und scheint tagsüber an allen Tagen des Jahres. Es herrscht wolkenloser Himmel und für die Bewegung des Rotors ausreichender Wind (100 % Verfügbarkeit). Die Windrichtung entspricht dem Azimutwinkel der Sonne, die Rotorkreisfläche steht dann senkrecht zur Einfallrichtung der direkten Sonneneinstrahlung. Den Berechnungen wird geographisch Nord zugrunde gelegt. Abstände zwischen Rotorebene und Turmachse sind zu vernachlässigen. Die Lichtbrechung in der Atmosphäre (Refraktion) wird nicht berücksichtigt.

Der Schattenwurf für Sonnenstände unter 3° Erhöhung über Horizont kann wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände vernachlässigt werden. Zur genaueren Ermittlung der astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer sollte von der effektiven Schatten werfenden Zone einer WEA ausgegangen werden. Diese Größe ergibt sich unter Einbeziehung der Strahlungsdiffusion in der Atmosphäre [12].

Für das Summieren der Jahresstunden ist das Kalenderjahr mit 365 Tagen und für das Summieren der täglichen Schattenzeiten der 24-Stunden-Tag zugrunde zu legen.

Dauerhafte natürliche und künstliche lichtundurchlässige Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, können berücksichtigt werden.

In der abschließenden Zusammenfassung ist die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer anzugeben.

3. Beurteilung

Eine erhebliche Belästigung durch periodischen Schattenwurf liegt dann nicht vor, wenn sowohl die Immissionsrichtwerte für die tägliche als auch die jährliche Beschattungsdauer durch alle auf den maßgeblichen Immissionsort einwirkenden Windenergieanlagen unterschritten werden.

3.1 Immissionsrichtwerte für die jährliche Beschattungsdauer

Bei der Genehmigung von Windenergieanlagen ist sicherzustellen, dass der Immissionsrichtwert für die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von **30 Stunden pro Kalenderjahr** nicht überschritten wird. Bei Beschwerden hinsichtlich

des Schattenwurfs durch bereits bestehende Anlagen ist die Einhaltung dieses Immissionsrichtwertes zu überprüfen.

Bei Überschreitungen ist durch geeignete Maßnahmen (siehe 4.1) die Einhaltung der Immissionsschutzanforderungen dieser Hinweise zu gewährleisten. Bei Einsatz einer Abschaltautomatik, die keine meteorologischen Parameter berücksichtigt, ist durch diese auf die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden pro Kalenderjahr zu begrenzen. Wird eine Abschaltautomatik eingesetzt, die meteorologische Parameter berücksichtigt (z. B. Intensität des Sonnenlichtes), ist auf die tatsächliche Beschattungsdauer von 8 Stunden zu begrenzen.

3.2 Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer

Der Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer beträgt **30 Minuten**.

In der Laborstudie der Universität Kiel [9] wurde festgestellt, dass bereits eine einmalige Einwirkung des Schattenwurfs von 60 Minuten zu Stressreaktionen führen kann. Aus Vorsorgegründen wird daher die tägliche Beschattungsdauer auf **30 Minuten** begrenzt.

Dieser Wert gilt bei geplanten Anlagen für die **astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer**, bei bestehenden Anlagen für die tatsächliche Schattendauer. Bei Überschreitung dieses Richtwertes an mindestens drei Tagen ist durch geeignete Maßnahmen die Begrenzung der täglichen Beschattungsdauer auf 30 Minuten zu gewährleisten.

4. Auflagen und Minderungsmaßnahmen

4.1 Schattenwurf

Bei der Wahl von WEA-Standorten bestimmt sich das Maß der Vorsorgepflicht hinsichtlich der erreichbaren Immissionsminderung gegen Beschattung an maßgeblichen Immissionsorten einzelfallbezogen unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit und den Anforderungen der Landes-/Bauleitplanung.

Überschreitet eine WEA die zulässigen Immissionsrichtwerte gemäß 3, so ist eine Immissionsminderung durchzuführen, die die überprüfbare Einhaltung der Immissionsrichtwerte zum Ziel hat. Diese Minderung erfolgt durch die gezielte Anlagenabschaltung für Zeiten real auftretenden oder astronomisch möglichen Schattenwurfs an den betreffenden Immissionsorten. Bei der Festlegung der genauen Abschaltzeiten ist die räumliche Ausdehnung am Immissionsort (z. B. Fenster- oder Balkonfläche) zu berücksichtigen. Bei Innenräumen ist die Bezugshöhe die Fenstermitte. Bei Außenflächen beträgt die Bezugshöhe 2 m über Boden.

Die ermittelten Daten zur Sonnenscheindauer und Abschaltzeit sollen von der Steuereinheit über mindestens ein Jahr dokumentiert werden; entsprechende Protokolle sollen auf Verlangen von der zuständigen Behörde einsehbar sein. Im Falle mehrerer beitragender WEA ist eine Aufteilung der Immissionsbeiträge für den jeweiligen Immissionsort möglich.

4.2 Lichtblitze

Störenden Lichtblitzen soll durch Verwendung mittelreflektierender Farben, z. B. RAL 7035-HR [6], und matter Glanzgrade gemäß DIN 67530/ISO 2813-1978 [5] bei der Rotorbeschichtung vorgebeugt werden. Hierdurch werden die Intensität möglicher Lichtreflexe und verursachte Belästigungswirkungen (Disco-Effekt) minimiert. Lichtblitze aufgrund von Nässe oder Vereisung werden nicht berücksichtigt.

Anhang

Berechnungsverfahren

Der Nachweis, dass eine bestimmte WEA keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch periodischen Schattenwurf verursacht, stützt sich im Rahmen von Planungsvorhaben und Anlagenüberwachung auf eine Schattenwurfprognose. Dies gilt ebenso für die Ermittlung ggf. erforderlicher Abschaltzeiten von WEA.

Eine Schattenwurfprognose gründet sich auf einem Algorithmus zur Berechnung des standort-, tages- und uhrzeitabhängigen Sonnenstandes. Zur Gewährleistung einer einheitlichen Durchführung und vereinfachter Überprüfbarkeit wird der Bezug auf die normierten und allgemein zugänglichen Berechnungsmodelle [10] bzw. [11] empfohlen.

Die Grundgenauigkeit der in eine Prognose eingehenden geometrischen Parameter sollte $\pm 3 \dots 10$ m.... betragen. Die Bestimmung der Schattenwurfzeiten soll an einer Genauigkeit von 1 min pro Tag orientiert sein. Absolute Zeitangaben sollen in MEZ bzw. MESZ erfolgen.

Die möglichen Beschattungszeiten an allen relevanten Immissionsorten sollen in der Schattenwurfprognose tageweise mit Anfangs-, Endzeitpunkt und Beschattungsdauer ausgewiesen sein; im Falle mehrerer WEA sollen die Beiträge der Anlagen einzeln und tageweise aufsummiert entnehmbar sein. Pro Immissionsort ist die aufsummierte Jahresbeschattungsdauer anzugeben.

Bestandteil einer Schattenwurfprognose sind weiterhin Auszüge aus topografischen Karten, die Anlagenstandorte und Immissionsorte unter Angabe ihrer Gauß-Krüger-Koordinaten mit Höhenangaben wiedergeben. Als Ergebnis können auch berechnete Iso-Schattenlinien (Kurven gleicher Jahresbeschattungsdauer - insbesondere 30 h Iso-Schattenlinie - in der Anlagenumgebung) ausgewiesen werden.

Software

Aufgrund des relativ großen Berechnungsaufwandes und der guten Berechnungsmöglichkeiten mit Hilfe von Computerprogrammen empfiehlt sich der Einsatz geeigneter Software. Hierzu kann auf kommerzielle Programme zurückgegriffen werden.

Eine Prognose mit Hilfe geeigneter Tabellendaten ist ebenfalls möglich.

Verwendete Arbeitshilfen sollen die Anforderungen dieser Hinweise, z. B. bzgl. der Berechnungsverfahren, berücksichtigen.

Arbeitshilfen

Tatsächliche Beschattungsdauer: Sonnenstand und Beleuchtungsstärke

Die resultierende Beleuchtungsstärke E [lx] in einer horizontalen Messfläche hängt vom Einfallswinkel (Sonnenstand) [°] sowie dem fotometrischen Strahlungsäquivalent [lx/Wm^{-2}] ab, das von der Lichtbrechung (Refraktion) und der Lufttrübung bestimmt wird und ebenfalls vom Sonnenstand abhängt.

Vom deutschen Wetterdienst werden folgende Eckdaten für die Beleuchtungsstärke angenommen:

Sonnenstand [°]	Beleuchtungsstärke [lx]	Strahlungsäquivalent [lx/Wm^{-2}]
3	389	62
60	10.912	105

In erster Näherung ergeben sich daraus folgende Beleuchtungsstärken in Abhängigkeit vom Sonnenstand:

Sonnenstand [°]	Beleuchtungsstärke [lx]
3	389
5	664
10	1402
15	2207
20	3071
25	3986
30	4942
35	5929
40	6935
45	7949
50	8959
55	9951
60	10912

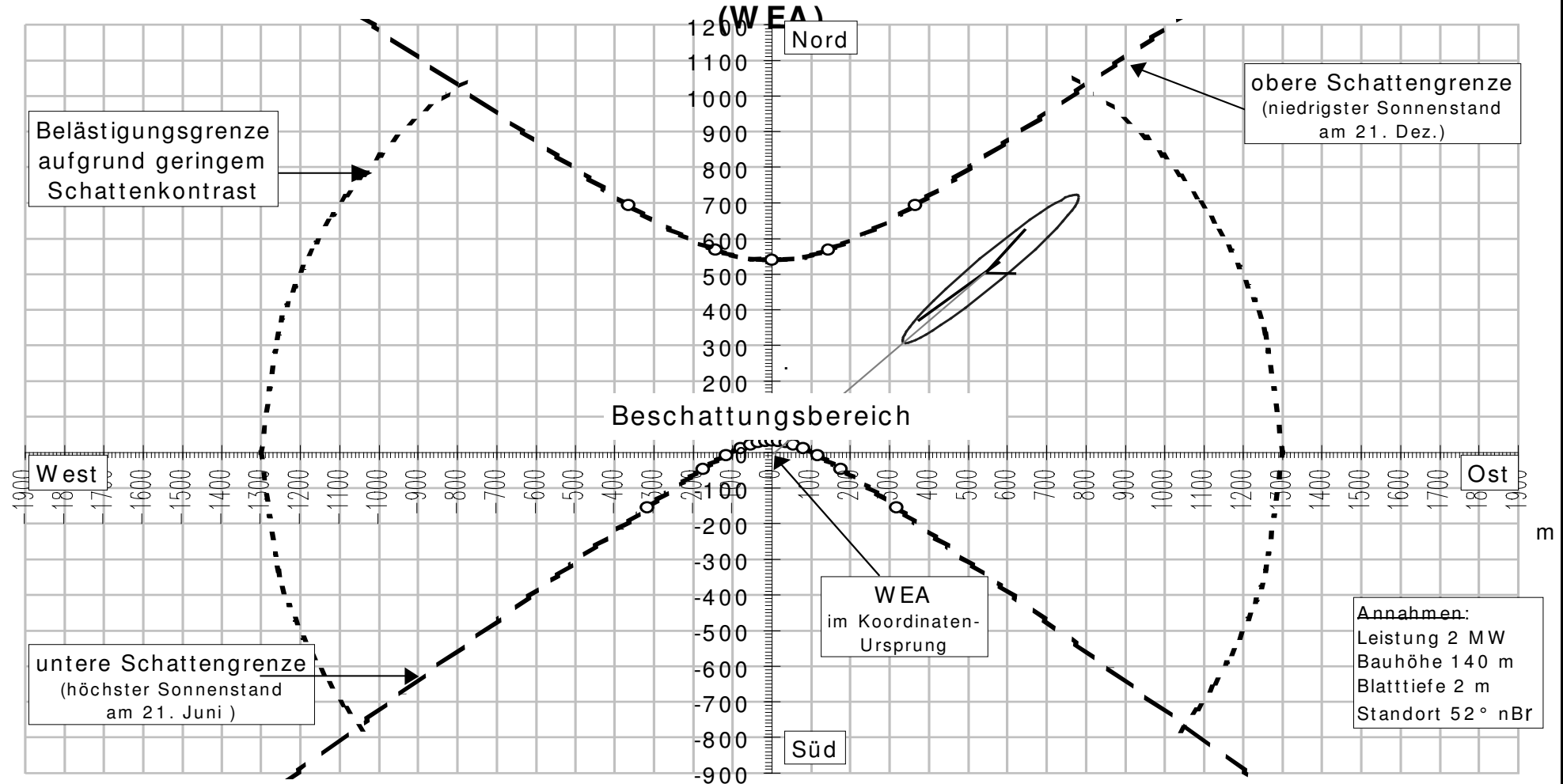
Für das Addieren der Jahresstunden ist das Kalenderjahr mit 365 Tagen und für das Addieren der täglichen Schattenzeiten der 24-Stunden-Tag zugrunde zu legen.

Sonnenauf- und -untergangszeiten [h:min; h:min]

	Berlin	Essen	Hannover	Karlsruhe	München	Schleswig	Schwerin
1. Jan	8:17;16:03	8:37;16:34	8:32;16:18	8:21;16:40	8:04;16:31	8:44;16:07	8:32;16:05
1. Apr	5:41;18:41	6:08;19:07	5:56;18:56	6:04;18:59	5:52;18:44	5:54;18:58	5:48;18:50
1. Jul	3:48;20:32	4:20;20:52	4:03;20:47	4:26;20:34	4:18;20:17	3:51;21:00	3:49;20:47
1. Okt	6:07;17:44	6:33;18:10	6:22;17:59	6:26;18:06	6:13;17:53	6:24;17:58	6:16;17:51

Quelle: DWD/BSH2001

Abb.: Möglicher Beschattungsbereich einer großen Windenergieanlage



Beschattungsdauer im Umfeld einer Windenergieanlage – Musterdaten

Koordinaten des Bezugsstandortes der WEA in ebenem Gelände:

Geographisch: 52° 00' 00'' N 10° 00' 00'' E (Mitte Deutschlands)

Gauß-Krüger (Bessel): 2 637 333 | 5 764 640

Bezugshöhe 2 m über Grund; horizontaler Rezeptor 0,1 x 0,1 m²

Lfd Nr.	Naben- höhe [m]	Rotor- durch- messer [m]	Azimut von Nord über Ost [°]	Entfernung WEA- Immissionsort [m]	Stun- den/Jahr	Tage/ Jahr	Minu- ten/Tag
1	60	40	0°	150	90	124	60
2			40°	300	25	62	32
3			120°	450	15	49	22
4	90	60	0°	250	83	111	56
5			40°	400	28	61	36
6			120°	650	14	46	22
7	100	80	0°	300	98	108	62
8			40°	500	37	76	38
9			120°	750	20	54	26

Aufgrund der Symmetrie des Beschattungsbereiches, korrespondierend mit dem tagesbezogenen (scheinbaren) Sonnenlauf, sind für spiegelbildlich zur Nord-Süd-Achse gelegene Immissionspunkte gleichartige Immissionen zu erwarten. Bei Überlagerung der Immissionen durch mehrere WEA beträgt die Gesamt-Beschattungsdauer an einem Immissionsort maximal gleich die Summe der Beschattungsdauern durch die einzelnen immissionsbeitragenden WEA.

Literatur:

- [1.] BlmSchG
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen,
Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
(Bundes-Immissionsschutzgesetz - BlmSchG) vom 15. März 1974
(BGBl. I, S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung
vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S. 880), zuletzt geändert am 27. Juli 2001
(BGBl. I S. 1950, 1973)
- [2.] H.D. Freund
Effektive Einwirkzeit T_w des Schattenwurfs bei $T_{\max} = 30$ h/Jahr,
Ausarbeitung
Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel,
(24.01.2001)
- [3.] H.D. Freund
Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen
Umweltforschungsbank UFORDAT (Juni 1999)

- [4.] K. Bohne, D. Michelbrand
Der Schattenwurf von Windkraftanlagen
Diplomarbeit FH Kiel (April 2000)
- [5.] DIN 67530/ISO 2813-
Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und
Kunststoff-Oberflächen
Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin (1978)
- [6.] RAL 7035-HR - Farbregister
Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung
Bonn und St. Augustin (1998)
- [7.] Staatliches Umweltamt Schleswig
Ergebnisprotokoll des 3. Fachgesprächs vom 19.11.1999 über
Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen, Schleswig (1999)
- [8.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Belästigung durch periodischen Schattenwurf
von Windenergieanlagen,
Feldstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel, 31.07.1999
- [9.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Belästigung durch periodischen Schattenwurf
von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie, Institut für Psychologie der
Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 15.05.2000
- [10.] DIN 5034-2: Tageslicht in Innenräumen - Grundlagen, Beuth-Verlag
Berlin 1985
- [11.] VDI 3789 Blatt2 -10 /94: Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen
Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen
Strahlung, VDI , Düsseldorf 1994
- [12.] H.D. Freund, Einflüsse der Lufttrübung, der Sonnenausdehnung und der
Flügelform auf den Schattenwurf von Windenergieanlagen, Forschungsbe-
richt zur Umwelttechnik, Fachhochschule Kiel, Januar 2002