

# **Leitlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Leitlinie)**

**Vom 24. März 2003**

Diese Leitlinie ist von den zuständigen Immissionsschutzbehörden als Träger öffentlicher Belange und bei der Zulassung und Überwachung von Windenergieanlagen zu beachten. Sie dient der Ermittlung und Beurteilung optischer Immissionen, verursacht durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf des Rotors von Windenergieanlagen (WEA).

## **Gliederung**

- 0 Vorbemerkung
- 1 Allgemeines
  - 1.1 Anwendungsbereich und immissionsschutzrechtliche Grundsätze
  - 1.2 Begriffsbestimmungen
  - 1.3 Grundlagen der Ermittlung und Bewertung von Immissionen durch periodischen Schattenwurf
- 2 Vorhersage des periodischen Schattenwurfs
- 3 Beurteilung
  - 3.1 Immissionsrichtwerte für die jährliche Beschattungsdauer
  - 3.2 Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer
- 4 Auflagen und Minderungsmaßnahmen
  - 4.1 Schattenwurf
  - 4.2 Lichtblitze
- 5 Geltungsdauer

## **Anhang**

## Vorbemerkung

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

## 1 Allgemeines

### 1.1 Anwendungsbereich und immissionsschutzrechtliche Grundsätze

Die Leitlinie findet Anwendung bei der Beurteilung der optischen Wirkungen von WEA auf den Menschen. Sie umfasst sowohl den durch den WEA-Rotor verursachten periodischen Schattenwurf als auch die Lichtreflexe („Disco-Effekt“) als Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG).

Die Leitlinie enthält Beurteilungsmaßstäbe zur Konkretisierung der Anforderungen aus § 5 Abs. 1 Nrn. 1 und 2 und § 22 Abs. 1 BImSchG i. V. m. § 3 Abs. 5 Landesimmissionsschutzgesetz.

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 ist dieses in der Regel nicht gegeben.

### 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.

**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  $120 \text{ W/m}^2$ , 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.

Die Bezugshöhe ist die Fenstermitte.

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

Der Beschattungsbereich kann für eine einzelne Anlage konservativ der Abbildung im Anhang entnommen werden oder ansonsten im konkreten Einzelfall nachgewiesen werden.

Soweit mehrere WEA zu Immissionsbeiträgen führen können, gelten die Ausführungen für jede Einzelanlage. Höhendifferenzen im Gelände zwischen Standort der WEA und dem Immissionsort sind zu berücksichtigen.

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

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 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 Installation einer Abschaltautomatik dar, die mittels Strahlungs- oder Beleuchtungsstärke Sensoren 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 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 ist von der effektiven Schatten werfenden Zone einer WEA auszugehen. Diese Größe ergibt sich unter Einbeziehung der Strahlungsdiffusion in der Atmosphäre.

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 der Vorhersage des periodischen Schattenwurfes 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 für 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 pro Kalenderjahr zu begrenzen.

#### **3.2 Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer**

Der Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer beträgt 30 Minuten.

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**

Die WEA-Standorte sollen hinsichtlich der erreichbaren Immissionsminderung gegen Schattenwurf an maßgeblichen Immissionsorten einzelfallbezogen unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit gewählt werden.

Überschreitet eine WEA die zulässigen Immissionsrichtwerte, 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.

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. Wirken mehrere Betreiber auf einen Immissionsort, so ist sicherzustellen, dass durch die Gesamtheit der genehmigungs- und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen die o. g. Immissionsrichtwerte für die Beschattungsdauer eingehalten werden. Dies kann z. B. durch entsprechend bedingte Anfragen für den Fall des Hinzutretens weiterer Verschattungsquellen geschehen; dies kann aber auch durch verbindliche Vereinbarung der Anlagenbetreiber über Verschattungsanteile erfolgen.

## **4.2 Lichtblitze**

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

## **5 Geltungsdauer**

Die Geltungsdauer dieser Leitlinie ist bis zum 31. Dezember 2009 befristet.

Potsdam, den 24. März 2003

Wolfgang Birthler  
Minister für Landwirtschaft, Umweltschutz  
und Raumordnung des Landes Brandenburg

## 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 einen Algorithmus zur Berechnung des standort-, tages- und uhrzeitabhängigen Sonnenstandes.

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- und 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 Isoschattenlinien (Linien gleicher Jahresbeschattungsdauer - insbesondere 30-h-Isoschattenlinie - 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.

### Arbeitshilfen

#### Tatsächliche Beschattungsdauer: Sonnenstand und Beleuchtungsstärke

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

Vom Deutschen Wetterdienst (DWD) werden folgende Eckdaten für die Beleuchtungsstärke angenommen:

Sonnenstand $^\circ$	Beleuchtungsstärke lx	Strahlungsäquivalent $\text{lx/Wm}^{-2}$
3	389	62
60	10.912	105

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

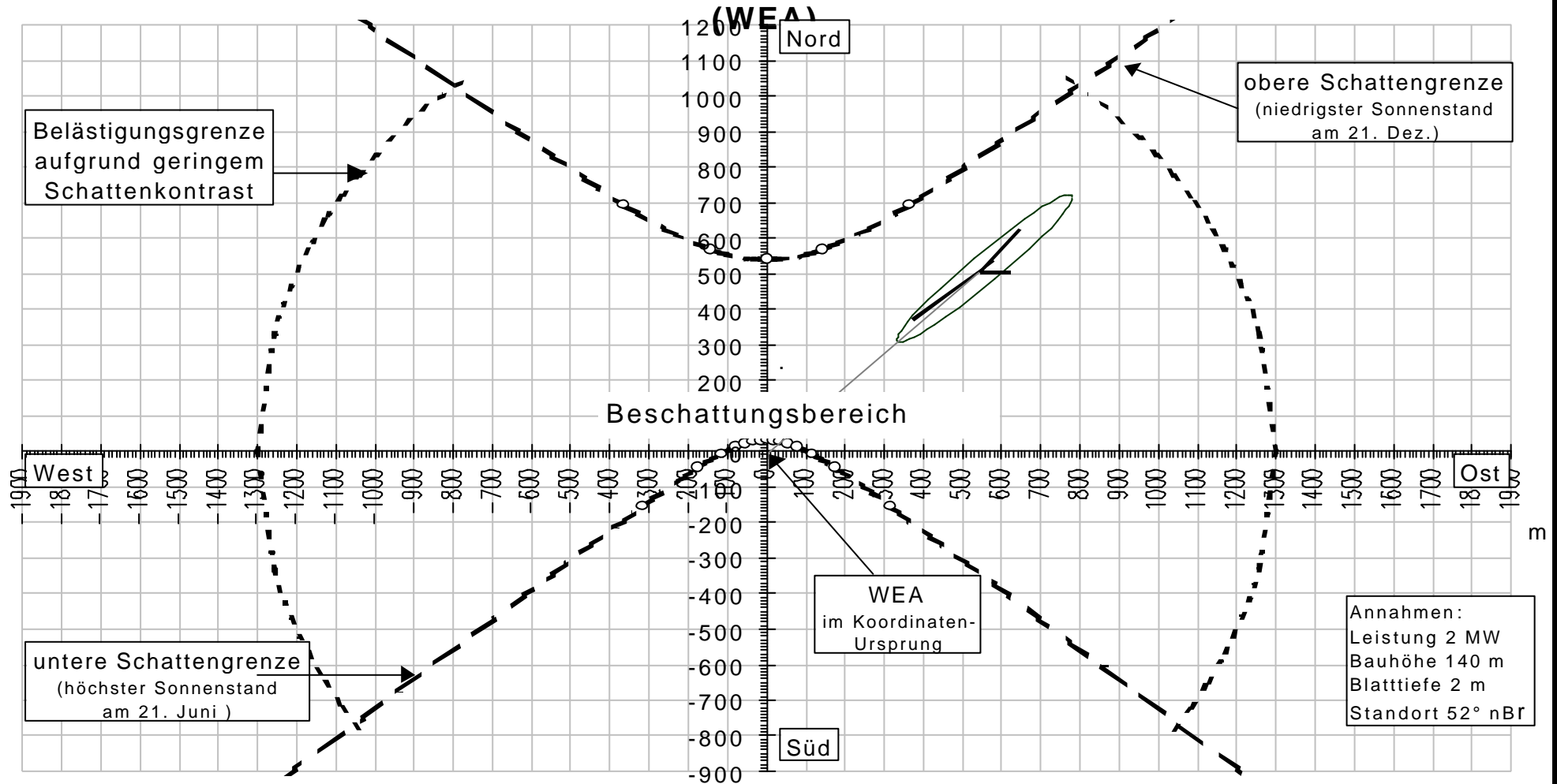
Sonnenstand °	Beleuchtungsstärke lx
3	389
5	664
10	1402
15	2207
20	3071
25	3986
30	4942
35	5929
40	6935
45	7949
50	8959
55	9951
60	10912

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)

	Berlin
1. Januar	8:17 ; 16:03
1. April	5:41 ; 18:41
1. Juli	3:48 ; 20:32
1. Oktober	6:07 ; 17:44

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 m<sup>2</sup>

Lfd Nr.	Naben-Höhe [m]	Rotor-Durchmesser m	Azimet von Nord über Ost °	Entfernung WEA-Immissionsort m	Stunden/Jahr	Tage/Jahr	Minuten/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 ist die Gesamt-Beschattungsdauer an einem Immissionsort maximal gleich der Summe der Beschattungsdauern durch die einzelnen immissionsbeitragenden WEA.