

**Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen
Immissionen von Windkraftanlagen
Aktualisierung 2019
(WKA-Schattenwurfhinweise)**



Stand 23.01.2020

Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen – Aktualisierung 2019 (WKA-Schattenwurf-Hinweise)

0. Vorbemerkung

Wissenschaftliche Untersuchungen belegen die Erfahrung, dass Windkraftanlagen (WKA) durch den bewegten Anlagenrotor optische Immissionen insbesondere in Form periodischen Schattenwurfs mit erheblichen Belästigungswirkungen (Stressor) in der Nachbarschaft hervorrufen können. Bei der Entscheidung über die Genehmigung von WKA ist auf der Grundlage dieser Hinweise von der zuständigen Immissionsschutzbehörde zu prüfen, ob die Anforderungen des Immissionsschutzrechts in Bezug auf die Einwirkung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch den Rotor von den Anlagen eingehalten werden, ggf. ist die Genehmigung mit entsprechenden Nebenbestimmungen zu versehen. In den nachfolgenden Hinweisen werden die Anforderungen an die Durchführung von Immissionsprognosen des bewegten, periodischen Schattenwurfs und an die Beurteilung der Ergebnisse im Rahmen der Errichtung und des Betriebs von WKA auf Basis der vorhandenen Erkenntnisse konkretisiert.

Für die Beurteilung der Einwirkung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch den Rotor einer WKA hat der Gesetzgeber bisher keine rechtsverbindlichen Vorschriften mit Grenz- oder Richtwerten erlassen oder in Aussicht gestellt.

1. Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich und immissionsschutzrechtliche Grundsätze

Die Hinweise finden Anwendung bei der Beurteilung der optischen Wirkungen von WKA auf den Menschen. Sie umfassen sowohl den durch den WKA-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 WKA 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 WKA in Betracht. Eine Stilllegung kommt nur in Betracht, wenn ihr Betrieb zu Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachwerte führt. Für optische Immissionen bei WKA 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/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.

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 WKA 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 WKA 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 WKA liegen.

Der zu prüfende Bereich ergibt sich aus dem Abstand zur WKA, 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 WKA zu Immissionsbeiträgen führen können, gelten die Ausführungen für jede Einzelanlage. Höhendifferenzen im Gelände zwischen Standort der WKA und dem Immissionsort (z. B. bei Aufstellung einer WKA 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 WKA 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 WKA-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 WKA in Betracht. Eine wichtige technische Maßnahme stellt als Gegenstand von Auflagen und Anordnungen die Installierung einer Abschaltautomatik 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 WKA 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 WKA 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 WKA-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 WKA 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 WKA 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 EN ISO 2813:2015-02 [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 WKA 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 WKA.

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 [4], [10], [11] bzw. [13] empfohlen.

Die Grundgenauigkeit der in eine Prognose eingehenden geometrischen Parameter sollte ± 3 m bis ± 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 WKA 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 UTM-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:

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

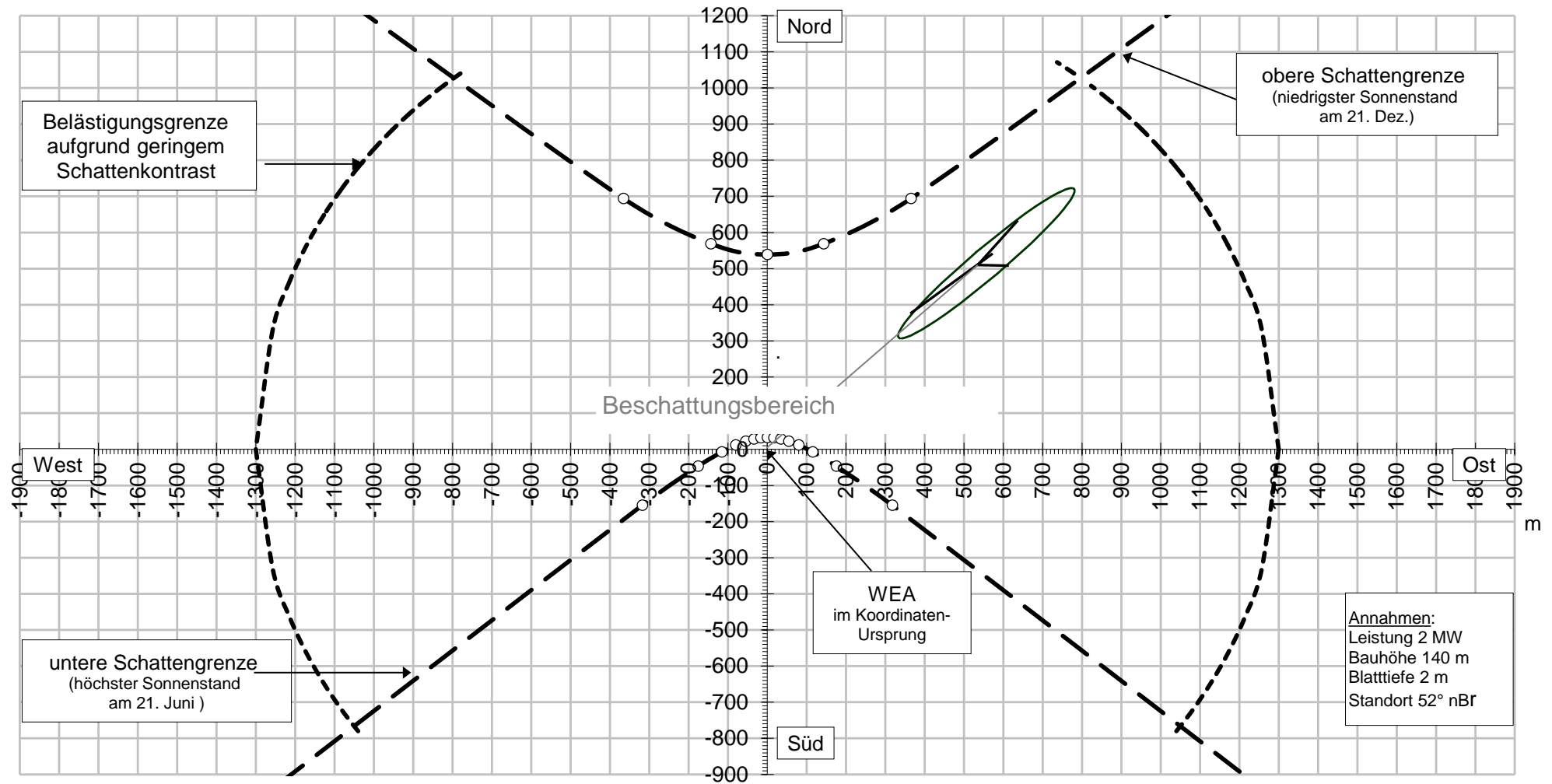
Für das Addieren der Jahresstunden ist das Kalenderjahr mit 365 Tagen und für das Addieren der täglichen Schattenzeiten der 24-Stunden-Tag zugrunde zu legen.

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 Windkraftanlage (WKA)



Beschattungsdauer im Umfeld einer Windenergieanlage – Musterdaten

Koordinaten des Bezugsstandortes der WKA in ebenem Gelände:

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

UTM (ETRS89): 32568649,70 | 5761510,32

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

Lfd Nr.	Nabenhöhe [m]	Rotordurchmesser [m]	Azimut von Nord über Ost [°]	Entfernung WKA-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 WKA beträgt die Gesamt-Beschattungsdauer an einem Immissionsort maximal gleich die Summe der Beschattungsdauern durch die einzelnen immissionsbeitragenden WKA.

Literatur:

- [1] BImSchG
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
(BImSchG in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) geändert worden ist)
- [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 EN ISO 2813:2015-02 Beschichtungsstoffe - Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85° (ISO 2813:2014); Deutsche Fassung EN ISO 2813:2014, Beuth-Verlag Berlin (2015)
- [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 Blatt 2 -10 /94: Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung, VDI, Düsseldorf 1994, zurückgezogen 2019
- [12] H.D. Freund, Einflüsse der Lufttrübung, der Sonnenausdehnung und der Flügelform auf den Schattenwurf von Windenergieanlagen, Forschungsbericht zur Umwelttechnik, Fachhochschule Kiel, Januar 2002
- [13] P. Ritter, T. Mertens, The development and limits of the German shadow flicker guidelines, 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam – Mai 2017