



**Berechnung  
der Rotorschattenwurfdauer  
für den Betrieb  
einer Windenergieanlage  
am Standort Drochtersen**

**Bericht-Nr. 4854-23-S1**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



# **Berechnung der Rotorschattenwurfdauer für den Betrieb einer Windenergieanlage am Standort Drochtersen**

Bericht Nr.: 4854-22-S1

Auftraggeber: **Pommer & Schwarz**  
**ErneuerbareEnergienGesellschaft mbH**  
Korbweidenstraße 7  
26605 Aurich

Auftragnehmer: IEL GmbH  
Kirchdorfer Straße 26  
26603 Aurich

Telefon: 04941 - 9558-0  
E-Mail: [mail@iel-gmbh.de](mailto:mail@iel-gmbh.de)

Bearbeiter: Ralf-Martin Marksfeldt  
(Stellvertretender Leiter Rotorschattenwurf)

Prüferin: Sabine Schulz, Dipl.-Phys.  
(Projektbearbeiterin Rotorschattenwurf)

Textteil: 21 Seiten (inkl. Deckblätter)  
Anhang: 30 Seiten (inkl. Deckblätter)  
CD-ROM: 301 Seiten

Datum: 16. März 2023

**Auflistung der erstellten Berichte:**

<b>Berichtsnummer</b>	<b>Datum</b>	<b>Titel</b>	<b>Gegenstand / Inhaltliche Änderungen</b>
4854-23-S1	16.03.2023	Rotorschattenwurf-berechnung	Erstgutachten

**Hinweise:**

Die vorliegende Ausarbeitung wurde nach bestem Wissen und Gewissen und dem aktuellen Stand der Technik unparteiisch erstellt.

Diese Ausarbeitung (Textteil und Anhang) darf nur in ihrer Gesamtheit und nur vom Auftraggeber zu dem in der Aufgabenstellung definierten Zweck verwendet werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung und Veröffentlichung dieser Ausarbeitung ist nur mit schriftlicher Zustimmung der IEL GmbH erlaubt.

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den untersuchten Prüfgegenstand.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Örtliche Beschreibung .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Kartenmaterial und Koordinaten-Bezugssystem.....</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b>Berechnungsgrundlagen .....</b>	<b>7</b>
5.1	Sonnenstandsrechnung und geometrische Hauptgrößen .....	7
5.2	Blatttiefe und Beschattungsbereich.....	9
5.3	Kappungswinkel.....	9
5.4	Geometrie für WEA und IP .....	10
5.5	Gewächshausmodus.....	10
5.6	Hindernisse .....	11
5.7	Berechnungsjahr .....	11
5.8	Schattenwurfdauer (worst-case-Szenario) .....	11
<b>6.</b>	<b>Astronomisch mögliche und meteorologisch wahrscheinliche Schattenwurfdauer .....</b>	<b>12</b>
<b>7.</b>	<b>Orientierungswerte.....</b>	<b>12</b>
<b>8.</b>	<b>Windenergieanlagen.....</b>	<b>13</b>
8.1	Geplante Windenergieanlage (Zusatzbelastung) .....	13
8.2	Schattenminderungsmaßnahmen des geplanten Anlagentyps .....	13
8.3	Weitere Windenergieanlagen bzw. Vorbelastung.....	14
<b>9.</b>	<b>Immissionspunkte .....</b>	<b>15</b>
<b>10.</b>	<b>Rechenergebnisse und Beurteilung .....</b>	<b>17</b>
10.1	Rechenergebnisse .....	17
10.2	Beurteilung.....	19
<b>11.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>20</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>21</b>

## 1. Einleitung

Am Standort Drochtersen ist die Errichtung und der Betrieb einer Windenergieanlage (WEA 03) vom Typ Nordex N163/6.X mit einer Nabenhöhe von 164,0 m und einem Rotordurchmesser von 163,0 m geplant. Im Zuge der Neuerrichtung der geplanten Windenergieanlage soll eine Bestands-WEA vom Anlagentyp Vestas V42 zurückgebaut werden (sog. Repowering).

Im Umfeld der geplanten WEA befinden sich 16 weitere WEA in Betrieb. Deren Einfluss wird in den Berechnungen der Vor- und der Gesamtbelastung berücksichtigt.

Der Betrieb von Windenergieanlagen kann in ihrer Umgebung Störwirkungen durch Geräusche, Lichtreflexionen oder direkten Schattenwurf des Rotors nach sich ziehen. Die Erfüllung der Anforderungen an den Lärmschutz wird üblicherweise gesondert nachgewiesen, während sich Lichtreflexionen, der sog. "Diskoeffekt", durch die Wahl einer matten Oberfläche der Rotorblätter weitgehend vermeiden lassen. Bestimmend dafür ist der Glanzgrad gemäß DIN EN ISO 2813<sup>1</sup>.

Die Berechnungen erfolgen mit dem Programm windPRO<sup>®</sup> Version 3.6. Die IEL GmbH ist ein durch die DAkkS (Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH) nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018<sup>6</sup> akkreditiertes Prüflaboratorium. Die vorliegenden Berechnungen werden nach den LAI WEA-Schattenwurf-Hinweisen<sup>2</sup> vom 23.01.2020 erstellt.

## 2. Örtliche Beschreibung

Der Standort der geplanten Windenergieanlage befindet sich im niedersächsischen Landkreis Stade, auf dem Gebiet der Gemeinde Drochtersen. Die Windenergieanlage soll innerhalb eines bestehenden Windparks errichtet werden und hier zwei Anlagen vom Typ Vestas V42 ersetzen.

Ca. 130 m nördlich der geplanten Windenergieanlage befindet sich ein Hofgebäude (Zur Wettern 1, 21706 Drochtersen), welches nach Angaben des Auftraggebers zukünftig nicht mehr wohnlich genutzt werden soll. Dieses Wohnhaus bleibt daher bei den Berechnungen unberücksichtigt. Als nächstgelegene Immissionspunkte werden die nächstgelegenen Wohnhäuser im Außenbereich sowie der Ortsrand der Ortschaft Drochtersen berücksichtigt.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes befinden sich insgesamt 16 weitere Windenergieanlagen (vgl. Abschnitt 8.3), die bei den Berechnungen als Vorbelastung berücksichtigt werden.

Das Untersuchungsgebiet liegt auf nahezu ebenem Niveau um 0,0 m ü. NN. Zur Berücksichtigung der minimalen Höhenunterschiede wird ein digitales Geländemodell berücksichtigt.

In der nachfolgenden Karte ist das Untersuchungsgebiet mit der geplanten und den bestehenden WEA dargestellt.

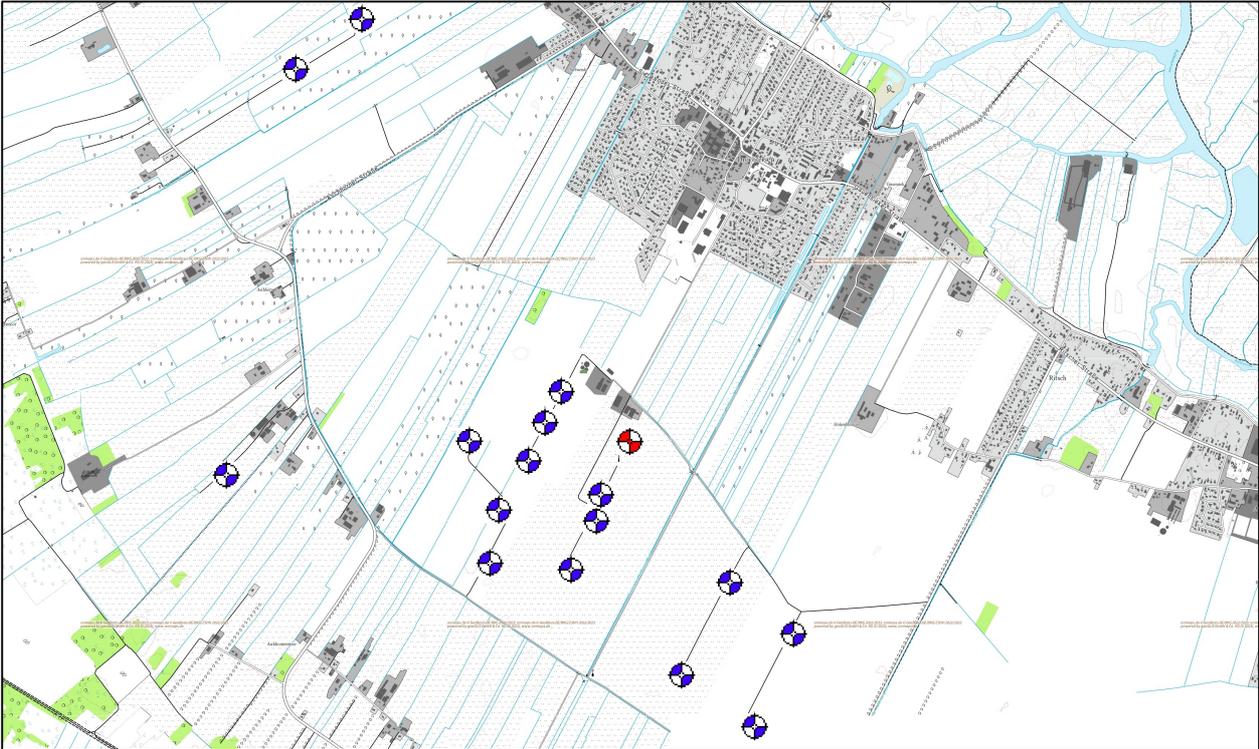


Abb. 1: Übersichtskarte (Bestehende bzw. von Dritten geplante WEA = blau / Geplante WEA = rot)

Die Standortbegehung wurde im März 2022 durch einen Mitarbeiter der IEL GmbH durchgeführt. Für einen Teil der Immissionspunkte liegen Fotos vor; die Fotodokumentation dient hier lediglich internen Zwecken.

### 3. Kartenmaterial und Koordinaten-Bezugssystem

Die Koordinaten der geplanten und weiteren Windenergieanlagen wurden vom Auftraggeber im Koordinatensystem UTM ETRS89 zur Verfügung gestellt.

Die Koordinaten der untersuchten Immissionspunkte wurden mittels des vorliegenden Kartenmaterials ermittelt. Eine detaillierte Beschreibung sowie die Auflistung der Koordinaten der untersuchten Immissionspunkte ist dem Abschnitt 6 zu entnehmen. Als Kartenmaterial dienen die Karten des Onlineservice onmaps (geoGLIS GmbH & Co. KG) ermittelt. Die Basis der onmaps-Karte sind ATKIS©-Daten sowie Gebäudeumringe aus dem deutschen Liegenschaftskataster (ALKIS). Als weiteres Kartenmaterial dient das frei zugängliche Kartenmaterial des Portals OpenStreetMap (©OpenTopoMap (CC-BY-SA) (2019)).

## 4. Aufgabenstellung

Die vorliegende Untersuchung dient der Beantwortung der Frage nach den Zeitpunkten, der Dauer sowie der Zulässigkeit möglicher Beeinträchtigungen durch Rotorschattenwurf, die durch den Betrieb der drehenden Rotoren an maßgeblichen Immissionspunkten (IP) verursacht werden.

Die hier näher zu untersuchenden Immissionen durch direkten Schattenwurf des Rotors können sich bei drehendem Rotor störend auswirken. Aus der Rotordrehzahl und der Anzahl der Rotorblätter einer Windenergieanlage ergibt sich die jeweilige Frequenz, mit der stark wechselnde Lichtverhältnisse im Schattenbereich der Rotorkreisfläche auftreten können. Die Frequenzen sind abhängig vom Windenergieanlagentyp. In der Regel handelt es sich bei vergleichbaren Anlagengrößen um niedrige Frequenzen im Bereich von etwa 0,2 - 0,6 Hz. Mit dieser Frequenz ändern sich für den Beobachter im Rotorschattenbereich die Lichtverhältnisse (hell/dunkel).

Anhand von Berechnungen lassen sich für definierte Immissionspunkte Aussagen über die möglichen Zeitpunkte treffen, an denen Rotorschattenwurf auftreten kann. Für die standortspezifischen Gegebenheiten an den Immissionspunkten wird in Tabellen aufgezeigt, wann diese Ereignisse auftreten können. Hieraus ergeben sich zunächst die astronomisch möglichen Zeiten für Rotorschattenwurf, für die jedoch ein wolkenfreier Himmel und die jeweils ungünstigste Rotorstellung vorausgesetzt wird. Tatsächlich werden die astronomisch möglichen Schattenwurfzeiten durch den Grad der Bewölkung und den windrichtungsabhängigen Azimutwinkel des Rotors deutlich reduziert.

Die astronomisch möglichen Schattenwurfzeiten werden zur Beurteilung herangezogen, indem sie Orientierungswerten für die tägliche und jährliche Dauer gegenübergestellt werden.

## 5. Berechnungsgrundlagen

### 5.1 Sonnenstandsberechnung und geometrische Hauptgrößen

Der Planet Erde rotiert einmal am Tag um seine Eigenrotationsachse, welche rechtwinklig zur Äquatorebene steht. Zusätzlich bewegt sie sich, mit einer jährlichen Umkreisung, auf einer elliptischen Bahn um die Sonne. Die Aufgabenstellung erfordert die Bestimmung der Sonnenposition für einen erdfesten Beobachter zu einem gegebenem Datum und gegebener Uhrzeit. Die Sonnenposition für einen zukünftigen Zeitpunkt ist jedoch nicht exakt zu ermitteln. Alle derzeit bekannten Algorithmen zur Bestimmung von Sonnenpositionen sind, wie auch das hier verwendete Verfahren, lediglich Näherungsverfahren, die sich auf verschiedene interpolierte Funktionen stützen und periodisch wiederkehrende Zustände beschreiben. Zur Verdeutlichung seien folgende Sachverhalte kurz genannt.

Die Rotationsachse der Erde steht nicht rechtwinklig auf der Bewegungsebene zur Sonne, sondern schräg hierzu. Die daraus resultierende Schiefe der Ekliptik ist die Neigung der Erdrotationsachse bzw. der Winkel zwischen dem Himmelsäquator und der Ekliptik  $\epsilon$ . Sie beträgt ca.  $23,5^\circ$ . Für Beobachtungspunkte auf der Erde ergeben sich hieraus jahreszeitliche Änderungen des Winkels zwischen Himmelsäquator und

Bewegungsebene zur Sonne. Diese Änderung durchläuft innerhalb eines Jahres die positiven und negativen Maximalwerte der Ekliptik ( $-23.5^\circ$  bis  $+23.5^\circ$ ) und wird als Deklination **d** bezeichnet. Die Deklination erreicht jeweils am 21. Juni ihren größten und am 21. Dezember ihren kleinsten Winkel. Diese Tage sind demnach der jeweils längste bzw. kürzeste Tag eines Jahres. Die Tage, an denen die Deklination  $0^\circ$  beträgt und sich eine Tagundnachtgleiche ergibt, werden Frühljahrs- und Herbstäquinox genannt.

Die Bewegungsabläufe der Erde werden durch die Gravitation des Mondtrabanten sowie anderer Planeten und der Sonne beeinflusst. Diese Einflüsse, wie auch die Präzession, Nutation und Aberration, wurden von Jean Meeus<sup>3</sup> mathematisch beschrieben.

Diese Methode ist ein tragbarer Kompromiss zwischen der Genauigkeit des Ergebnisses und dem zu dessen Erreichung zu betreibenden Rechenaufwandes, insbesondere für Flächenmatrizen. Die Berechnung des Einstrahlwinkels **h<sub>s</sub>** der Sonne gegenüber einer waagrecht ausgerichteten Fläche ergibt sich aus dem nachfolgend dargelegten formelmäßigen Zusammenhang:

$$\sin h = \sin d \cdot \sin f + \cos d \cdot \cos f \cdot \cos H \quad \text{mit:}$$

- h** = Höhenwinkel, positive Werte über und negative unter dem Horizont,
- f** = geographische Breite des Standortes,
- d** = Deklination zwischen Sonne u. Äquatorebene sowie
- H** = lokaler Stundenwinkel für die mittlere Ortszeit (MOZ).

Zur vollständigen Positionsbestimmung wird zusätzlich der Azimutwinkel **A** benötigt, welcher, gemessen am Horizont des Immissionspunktes, den Winkel zwischen geographisch Süd und Sonne wiedergibt (der auf geographisch Nord bezogene Azimutwinkel ergibt sich aus einer Korrektur um  $180^\circ$ ).

$$\tan A = \sin H \cdot (\cos H \cdot \sin f - \tan d \cdot \cos f)^{-1}$$

Mit den Winkeln, die sich aus vorausgehenden Gleichungen ergeben, lassen sich aus den transformierten Koordinaten der WEA für definierte Immissionspunkte die Sonnenbahnen sowie deren Verdeckung durch die Fläche des Rotors ermitteln.

Die Sonne wird bei der Berechnung der Schattenwurfzeiten als Punktquelle betrachtet. Gegenüber einer Betrachtung mit der realen Sonnengeometrie resultiert jeweils für den Beginn und das Ende der Schattenwurfdauer im Mittel eine Zeitdifferenz von ca. 1 Minute und 4 Sekunden. Diese Zeiten werden vernachlässigt, da in ihnen nur maximal die Hälfte der Sonne von der schmalen Blattspitze verdeckt wird.

Die Ermittlung des Schattenwurfs für einen Immissionspunkt basiert auf den vertikalen und horizontalen Winkeln zwischen dem Immissionsort und den jeweiligen WEA, sowie dem vertikalen und horizontalen Winkel des Sonnenstandes zu einem bestimmten Kalenderzeitpunkt an einem bestimmten Ort. Die geometrischen Hauptgrößen werden nachfolgend dargestellt.

## 5.2 Blatttiefe und Beschattungsbereich

Nachfolgend wird ein Berechnungsansatz dargestellt, mit dem die Schattenreichweite ermittelt wird. Sie ist als Entfernung definiert, in welcher der Schatten eines drehenden Rotors keine relevante Störung mehr liefert.

Gemäß den LAI-Hinweisen können Einwirkungen durch periodischen Schattenwurf 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. Der Verdeckungsgrad hängt von der Entfernung zur WEA und von der Blatttiefe ab. Da die Blatttiefe nicht über den gesamten Flügel konstant ist, erfolgt der Rechenansatz wie üblich mit der mittleren Blatttiefe. Der LAI geht von einer 20%-Verdeckung für die Reichweitenbegrenzung<sup>2</sup> aus. Die maximale Blatttiefe, die Blatttiefe bei 90% Rotorradius sowie die daraus resultierende Schattenreichweite für den hier berücksichtigten WEA-Typ gehen aus der Tabelle 1 (Kap.8.1, geplante WEA) und dem Hauptergebnis im Anhang hervor. Zur Ermittlung der 20%-Verdeckung wird folgende Formel verwendet:

$$0,2 \cdot \mathbf{SF} = 2 \cdot \left( \left( \frac{2 \cdot \alpha \cdot \mathbf{SF}}{360} \right) + (\cos(\alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \mathbf{SR}^2) \right)$$

mit:

- SR = Sonnenradius (696.000 km),
- SF = Fläche der Sonnenscheibe  $\mathbf{SR}^2 \cdot \pi = 1.521.837.746.881 \text{ km}^2$  sowie
- $\alpha$  = Winkel zur Bestimmung des Flächenanteils.

## 5.3 Kappungswinkel

Für Sonnenstände unterhalb eines vertikalen Kappungswinkels von 3° über dem Horizont wirkt der Schatten nicht mehr als zu beurteilende Immission, da dann die Durchdringung der atmosphärischen Schichten eine höhere Streuung und Absorption bewirkt und den Rotorschatten dadurch stark abschwächt. Durch den Kappungswinkel wird insofern die Schattenreichweite auch über den höchsten Rotorpunkt begrenzt. Der Kappungswinkel ist im Hauptergebnis dokumentiert.

## 5.4 Geometrie für WEA und IP

In den Tabellen 2 und 3 (Windenergieanlagen) sowie Tabelle 4 (Immissionspunkte) werden folgende Bezeichnungen verwendet:

$h_s$	= Nabenhöhe der WEA ü. Geländeoberkante (GOK),
$h_s \text{ grd}; h_i \text{ grd}$	= Höhe ü. NN für WEA - Fuß- bzw. Immissionspunkt,
$h_s \text{ abs}; h_i \text{ abs}$	= Höhe ü. NN für WEA - Nabe bzw. Immissionspunkt,
$h_i$	= Höhe des Immissionspunktes ü. GOK,
IP	= Immissionspunkt und
Dh	= Höhendifferenz zw. Nabenhöhe der WEA und dem IP.

Die Geometrie Größen sind in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht.

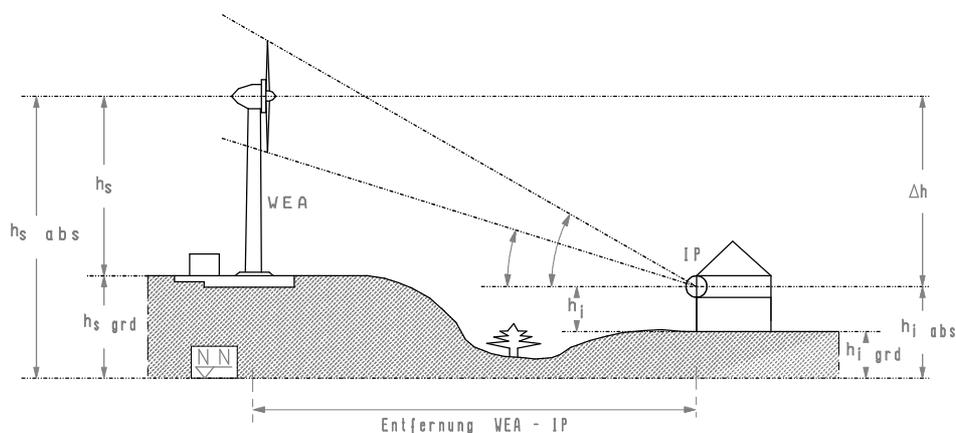


Abb. 2: Geometrische Verhältnisse, Vertikalschnitt

Bei der Ermittlung der Entfernungen zwischen den Immissionspunkten und den Windenergieanlagen bleibt der Abstand zwischen Rotorebene und Turmachse LAI-konform unberücksichtigt.

## 5.5 Gewächshausmodus

Bei den Berechnungen wird von frei eingestrahltten Immissionspunkten ausgegangen. Dies bedeutet, dass Verdeckungen durch Gebäudefronten am Immissionspunkt selbst, durch andere Gebäude und insbesondere durch Bewuchs unberücksichtigt bleiben.

Diese Betrachtungsweise wird auch als sog. Gewächshausmodus bezeichnet und wird allgemein als konservativ angesehen, weil die schützenswerten Gebäude in der Realität meist nur zwei Seiten mit Fenstern oder Glastüren besitzen, welche den emittierenden Windenergieanlagen zugewandt sind.

## 5.6 Hindernisse

Gem. LAI-Richtlinie dürfen dauerhafte natürliche und künstliche lichtundurchlässige Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, berücksichtigt werden. Dies liegt in Ermessensspielraum der Genehmigungsbehörden.

Die Software windPRO berücksichtigt die Orographie über eine Sichtbarkeitsanalyse, d.h. ist die WEA vom Immissionspunkt aufgrund der Geländestruktur nicht zu sehen, so werden für diese WEA auch keine Schattenwurfzeiten berechnet.

Welche sonstigen Hindernisse gegebenenfalls berücksichtigt werden sollten, hängt davon ab, ob sicher anzunehmen ist, dass diese Hindernisse über die gesamte Lebensdauer der WEA bestehen bleiben. Im vorliegenden Fall werden keine weiteren Hindernisse berücksichtigt.

## 5.7 Berechnungsjahr

Gemäß LAI-Hinweisen Kap. 2 ist für das Summieren der Jahresstunden das Kalenderjahr mit 365 Tagen zugrunde zu legen.

Alle Zeitangaben werden durch die Software windPRO für ein mittleres Kalenderjahr berechnet. Eine interne Vergleichsrechnung über die mittlere Lebensdauer einer WEA von 20 Jahren ergab lediglich eine Varianz von 1 Minute bezogen auf die Start- und Endzeiten des Schattenwurfes. Bezogen auf die Beschattungsdauer an einzelnen Immissionspunkten ergaben sich hierbei minimale Schwankungen von 1 Minute pro Tag und 6 Minuten pro Jahr. Grundlage ist die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) für die Zeitzone +1 (Paris, Berlin). Hierbei wird von der Berechnungssoftware windPRO<sup>®</sup> die Umstellung auf die im Alltag verwendete Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) berücksichtigt.

## 5.8 Schattenwurfdauer (worst-case-Szenario)

Für alle berechneten Werte der täglichen und jährlichen Schattenwurfdauer an einem IP (Std./Jahr; Min./Tag) gelten vorgenannte Randbedingungen. Es wird für die jeweils ermittelte Dauer üblicherweise angenommen, dass die Sonne ganzjährig von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang scheint (astronomisch möglich, worst-case) und außer ggf. durch Geländekanten nicht abgeschirmt wird (vgl. Kap. 5.4). Für einen IP, der weiter von einer WEA liegt, wird die astronomisch mögliche Beschattungsdauer durch die berücksichtigten Einschränkungen [siehe Kapitel 5.2 (Beschattungsbereich) und 5.3 (3°-Kappung)] gegenüber der rein geometrischen Berechnung geringfügig verringert. Es wird für jeden Zeitpunkt angenommen, dass der Sonnen-Einstrahlwinkel und die Windrichtung in Bezug auf jede WEA und jeden IP übereinstimmen, was logischerweise nie gleichzeitig so sein kann. In dieser Betrachtungsweise erscheint jede WEA quasi als verschattende Kugel und nicht als Kreisfläche, die ggf. mit denen weiterer betrachteter WEA im Umfeld weitestgehend parallel stehen müssten. Dadurch wird die reale Schattenwurfdauer in der Regel in nicht unerheblichem Maß überschätzt.

## 6. Astronomisch mögliche und meteorologisch wahrscheinliche Schattenwurfdauer

Die astronomisch mögliche Schattenwurfdauer stellt den theoretisch maximal möglichen Zeitraum dar, in dem Schattenwurf überhaupt auftreten kann (worst-case). Dieser Wert wird nur unter der Voraussetzung erreicht, dass die Sonne nie durch Bewölkung verdeckt wird. In der Realität fällt dieser Wert - je nach Standort - geringfügig bis deutlich niedriger aus.

Eine zweite Einschränkung wird bedingt durch die vorherrschende Windrichtung. Steht der Rotor der zu betrachtenden Windenergieanlage schräg zum Einstrahlwinkel, so wird der Schattenbereich schmaler. Abhängig von der Windstatistik und von der Ausrichtung der Immissionspunkte zu den Windenergieanlagen führt die Rotorschragstellungen zu einer Reduzierung der Schattenwurfzeiten um ca. 20 % bis 30 %.

Beide Einschränkungen werden jedoch bei den nachfolgenden Betrachtungen vernachlässigt. Dies führt zu einer konservativen Betrachtung. Statistische Daten belegen, dass die meteorologisch wahrscheinliche Rotorschattenwurfbelastung im Bereich von < 30 % der astronomisch möglichen Rotorschattenwurfzeiten liegt.

Statistische Grundlage für die Berechnung der meteorologisch wahrscheinlichen Beschattung sind die nächstgelegene DWD-Station mit Daten für die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit Hamburg / Sasel sowie für die Windrichtungsverteilung der ERA5-Knotenpunkt N53,692\_E09,362 (EMD-WRF EUR+).

## 7. Orientierungswerte

Störwirkungen werden personenbezogen mehr oder weniger stark empfunden. Aus diesem Grund hat ein vom Staatlichen Umweltamt Schleswig initiiertes Arbeitskreis umfangreiche Studien zur Bestimmung von tragbaren Immissionsgrenzen durchgeführt. Dies geschah mit bundesweiter Beteiligung von Vertretern aus Fachbehörden (Genehmigungsbehörden, Umweltämtern und Ministerien), der Universität Kiel mit einer umfassenden Feld- und Laborstudie<sup>4, 5</sup> sowie unter Mitwirkung einer Reihe von Sachverständigen (u. a. IEL GmbH) und Herstellervertretern. Dieses Zusammenwirken führte zur Grundlage der vom LAI erarbeiteten Empfehlungen, die von den Ländern unverändert so erlassen wurden.

Die hier herangezogenen Orientierungswerte von maximal **30 Stunden pro Jahr (worst-case)** (vgl. Kap. 5.8) bzw. von **maximal 30 Minuten pro Tag** entsprechen dem Stand der Technik und der Wissenschaft. Sie kommen gemäß der Empfehlung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) bundesweit für die maßgeblichen Immissionsorte (vgl. Abschnitt 9) zur Anwendung.

Wird die Beurteilung oder werden behördliche Maßgaben für den Betrieb der Windenergieanlagen auf die real auftretende Rotorschattenwurfdauer abgestellt, so gilt ein zulässiger Orientierungswert von 8 Stunden Schattenwurf pro Jahr (real). Hinsichtlich der Einhaltung von Vorgaben sind in diesem Fall Betriebsprotokolle mit allen adäquaten Betriebsparametern vorzulegen.

## 8. Windenergieanlagen

Am Standort Drochtersen ist die Errichtung und der Betrieb einer Windenergieanlage (WEA 03) vom Typ Nordex N163/6.X mit einer Nabenhöhe von 164,0 m und einem Rotordurchmesser von 163,0 m geplant. Im Zuge der Neuerrichtung der geplanten Windenergieanlage soll eine Bestands-WEA vom Anlagentyp Vestas V42 zurückgebaut werden (sog. Repowering).

Die Daten der als Vorbelastung (VB) geltenden Windenergieanlagen (VB 01 bis VB 16) werden in Kap. 8.3 beschrieben. Das Zusammenwirken der Vor- und Zusatzbelastung führt zur Gesamtbelastung (GB).

Die Lage der geplanten und der benachbarten Windenergieanlagen ist einer Übersichtskarte im Anhang zu entnehmen.

### 8.1 Geplante Windenergieanlage (Zusatzbelastung)

In Tabelle 1 sind die für die Schattenwurfberechnungen maßgeblichen technischen Angaben für den vom Auftraggeber geplanten Anlagentyp zusammengefasst.

Anlagentyp	Nabenhöhe [m]	Rotordurchmesser [m]	Max. Blatttiefe [m]	Blatttiefe bei 90% Rotorradius [m]	Rotorschattenreichweite (RSRW) [m]
NORDEX N163/6.X	164,0	163,0	4,15	1,11	1.784

Tabelle 1: Technische Angaben des geplanten Anlagentyps

Die Koordinaten und Abmessungen der vom Auftraggeber geplanten WEA sind der nachfolgenden Tabelle 2 zu entnehmen.

Geplante Windenergieanlage (Zusatzbelastung)							
WEA-Nr.	Anlagentyp	UTM ETRS89, Zone 32		h <sub>s</sub> grd [m]	h <sub>s</sub> [m]	h <sub>s</sub> abs [m]	Rotor Æ [m]
		Rechtswert	Hochwert				
WEA 03	NORDEX N163/6.X	524.822	5.949.631	0,0	164,0	164,0	163,0

Tabelle 2: Daten der geplanten WEA, Koordinaten und Abmessungen

### 8.2 Schattenminderungsmaßnahmen des geplanten Anlagentyps

Es gibt grundsätzlich zwei unterschiedlich arbeitende Systeme am Markt. Zum einen gibt es Systeme, welche mit festen anlagenbezogenen Abschaltzeiten arbeiten. Hierfür wird vor Inbetriebnahme der geplanten Windenergieanlagen ein Abschaltzeitkalender erstellt. Dieser gibt für die betroffenen Windenergieanlagen die Einzeltage / Tagfolgen und die Uhrzeiten der erforderlichen Abschaltungen an. Dabei beziehen sich die Abschaltzeiten auf die worst-case-Beurteilung mit einem Orientierungswert von 30 Stunden pro Jahr (astronomisch möglich) und projektspezifisch auf einzelne bzw. alle geplanten Windenergieanlagen. Andere Systeme arbeiten mit dem kompletten Datensatz (alle Koordinaten der Windenergieanlagen und Immissionspunkte) und berechnen

kontinuierlich, ob an den einzelnen Immissionspunkten Schattenwurf vorliegt. Sofern dies der Fall ist, wird je Immissionspunkt bis zum Erreichen des Orientierungswertes von realen 8 Stunden Schattenwurf pro Jahr der Betrieb der Anlage(n) aufrechterhalten, danach erfolgt bei Schattenwurf die Abschaltung. Der Betrieb von Anlagen, die mit diesem System arbeiten, ist i.d.R. zu protokollieren.

Der hier berücksichtigte Anlagentyp NORDEX N163/6.X verwendet einen Datensatz mit Koordinaten der zu berücksichtigenden Windenergieanlagen und Immissionspunkte und errechnet selbsttätig die zu berücksichtigenden Abschaltzeiten. Ein entsprechendes Dokument (Allgemeine Dokumentation / NORDEX acciona Schattenwurfmodul / Dokumentennr.: K0815\_051312\_DE / Rev. 06 / 01.04.2021) ist dem Anhang zu entnehmen.

### 8.3 Weitere Windenergieanlagen bzw. Vorbelastung

Die Daten der weiteren Windenergieanlagen bzw. der als Vorbelastung zu berücksichtigenden Windenergieanlagen sind der nachfolgend aufgeführten Tabelle 3 zu entnehmen. Die dargestellten Höhen sind in Kap. 5.4 erläutert.

Weitere Windenergieanlagen (Vorbelastung)							
WEA-Nr.	Anlagentyp	UTM ETRS89, Zone 32		h <sub>s</sub> grd [m]	h <sub>s</sub> [m]	h <sub>s</sub> abs [m]	Rotor Æ [m]
		Rechtswert	Hochwert				
VB 01	ENERCON E-115	523.943	5.949.629	0,0	135,4	135,4	115,7
VB 02	VESTAS V42	524.444	5.949.904	0,0	53,0	53,0	42,0
VB 03	VESTAS V42	524.357	5.949.734	0,0	53,0	53,0	42,0
VB 04	ENERCON E-92	524.267	5.949.523	0,0	138,4	138,4	92,0
VB 05	ENERCON E-115	524.106	5.949.252	0,0	135,4	135,4	115,7
VB 06	ENERCON E-115	524.058	5.948.958	0,0	135,4	135,4	115,7
VB 07	ENERCON E-101	524.641	5.949.194	0,0	135,0	135,0	101,0
VB 08	ENERCON E-101	524.503	5.948.925	0,0	135,0	135,0	101,0
VB 09	GE 1.5 s	525.374	5.948.859	0,0	64,7	64,7	70,5
VB 10	GE 1.5 s	525.724	5.948.578	0,0	64,7	64,7	70,5
VB 11	GE 1.5 s	525.112	5.948.348	0,0	64,7	64,7	70,5
VB 12	GE 1.5 s	525.512	5.948.066	0,0	64,7	64,7	70,5
VB 13	VESTAS V27	522.614	5.949.436	0,0	31,5	31,5	27,0
VB 14	VESTAS V44	522.981	5.951.671	0,0	40,0	40,0	44,0
VB 15	VESTAS V44	523.343	5.951.947	0,0	40,0	40,0	44,0
VB 16	VESTAS V42	524.664	5.949.339	0,0	53,0	53,0	42,0

Tabelle 3: Daten der weiteren WEA, Koordinaten und Abmessungen

## 9. Immissionspunkte

Die zu berücksichtigenden Immissionspunkte (IP) stellen die nächstgelegene schutzwürdige Nutzung dar, an denen Überschreitungen der Orientierungswerte nicht auszuschließen sind.

Laut den WEA-Schattenwurf-Hinweisen<sup>2</sup> vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) sind maßgebliche Immissionsorte u. a.:

- Wohnräume, einschließlich Wohndielen
- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungs- und ähnliche Arbeitsräume
- Direkt an Gebäuden beginnende Außenflächen (z.B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 06:00 - 22:00 Uhr gleichgestellt.

Die zu berücksichtigenden Immissionspunkte liegen im Bereich der Ortschaft Drochtersen sowie im unbeplanten Außenbereich. Entlang des Ortsrandes von Drochtersen werden alle Immissionspunkte gem. WEA-Schattenwurf-Hinweisen<sup>2</sup> berücksichtigt. Bei einer notwendigen Schattenwurf-Regelung gewährt dies im vorliegenden Fall auch die Einhaltung der Orientierungswerte an im Rückraum befindlichen Immissionspunkten

Die Immissionspunkte IP 01 bis IP 10 repräsentieren das erst teilweise bebaute Neubaugebiet Triftweg. Sie werden mittig in den dem Grundsteuer-Viewer des Landes Niedersachsen entnommenen Flurstücken platziert und mit der entsprechenden Flurstücksnummer benannt.

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die Bezeichnung und die Koordinaten zusammengefasst. Die vertikale Lage wurde entsprechend der örtlichen Gegebenheiten mit 2 m Höhe über Geländeoberkante (GOK) bei einer Größe von 0,1 m x 0,1 m angesetzt.

Die Berechnung für Punkte gem. LAI-Hinweisen ist gängige Praxis, da nur so eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen für Belastungen an unterschiedlichen Orten oder aus anderen Gutachten gegeben ist.

IP-Nr.	Adresse	UTM ETRS89, Zone 32		h <sub>i</sub> grd [m]	h <sub>i</sub> [m]	h <sub>i</sub> abs [m]
		Rechtswert	Hochwert			
IP 01	Triftweg 5/68	524.674	5.950.715	0,0	2,0	2,0
IP 02	Triftweg 5/69	524.693	5.950.699	0,0	2,0	2,0
IP 03	Triftweg 5/70	524.713	5.950.683	0,0	2,0	2,0
IP 04	Triftweg 5/71	524.732	5.950.668	0,0	2,0	2,0
IP 05	Triftweg 5/72	524.752	5.950.652	0,0	2,0	2,0
IP 06	Triftweg 5/73	524.769	5.950.638	0,0	2,0	2,0
IP 07	Triftweg 5/75	524.789	5.950.628	0,0	2,0	2,0
IP 08	Triftweg 5/76	524.807	5.950.618	0,0	2,0	2,0
IP 09	Triftweg 5/79	524.821	5.950.610	0,0	2,0	2,0
IP 10	Triftweg 5/80	524.834	5.950.635	0,0	2,0	2,0

IP-Nr.	Adresse	UTM ETRS89, Zone 32		h <sub>i</sub> grad [m]	h <sub>i</sub> [m]	h <sub>i</sub> abs [m]
		Rechtswert	Hochwert			
IP 11	Grefenstr. 63	524.867	5.950.645	0,0	2,0	2,0
IP 12	Grefenstr. 61	524.874	5.950.617	0,0	2,0	2,0
IP 13	Grefenstr. 59	524.886	5.950.590	0,0	2,0	2,0
IP 14	Grefenstr. 57	524.896	5.950.570	0,0	2,0	2,0
IP 15	Grefenstr. 55	524.921	5.950.619	0,0	2,0	2,0
IP 16	Zum Wettern 5	525.270	5.950.678	0,0	2,0	2,0
IP 17	Zum Wettern 7b	525.286	5.950.675	0,0	2,0	2,0
IP 18	Zum Wettern 7a	525.294	5.950.669	0,0	2,0	2,0
IP 19	Zum Wettern 7c	525.307	5.950.661	0,0	2,0	2,0
IP 20	Zum Wettern 9	525.323	5.950.653	0,0	2,0	2,0
IP 21	Zum Wettern 13	525.353	5.950.647	0,0	2,0	2,0
IP 22	Rudolf-Kinau-Str. 48	525.374	5.950.638	0,0	2,0	2,0
IP 23	Rudolf-Kinau-Str. 48a	525.381	5.950.634	0,0	2,0	2,0
IP 24	Rudolf-Kinau-Str. 46	525.394	5.950.626	0,0	2,0	2,0
IP 25	Rudolf-Kinau-Str. 44	525.410	5.950.617	0,0	2,0	2,0
IP 26	Rudolf-Kinau-Str. 44a	525.418	5.950.614	0,0	2,0	2,0
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	525.427	5.950.608	0,0	2,0	2,0
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	525.434	5.950.604	0,0	2,0	2,0
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	525.445	5.950.598	0,0	2,0	2,0
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	525.452	5.950.594	0,0	2,0	2,0
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	525.483	5.950.607	0,0	2,0	2,0
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	525.495	5.950.574	0,0	2,0	2,0
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	525.515	5.950.562	0,0	2,0	2,0
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	525.538	5.950.550	0,0	2,0	2,0
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	525.554	5.950.543	0,0	2,0	2,0
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	525.567	5.950.536	0,0	2,0	2,0
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	525.581	5.950.528	0,0	2,0	2,0
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	525.594	5.950.513	0,0	2,0	2,0
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	525.623	5.950.505	0,0	2,0	2,0
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	525.638	5.950.496	0,0	2,0	2,0
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	525.644	5.950.492	0,0	2,0	2,0
IP 42	Fleetstr. 41	525.709	5.950.462	0,0	2,0	2,0
IP 43	Fleetstr. 40	525.736	5.950.455	0,0	2,0	2,0
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	525.772	5.950.431	0,0	2,0	2,0
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	525.794	5.950.416	0,0	2,0	2,0
IP 46	Aschhorn 1	523.452	5.949.222	0,0	2,0	2,0
IP 47	Aschhorn 2	523.294	5.949.208	0,0	2,0	2,0
IP 48	Aschhorn 2a	523.281	5.949.318	0,0	2,0	2,0
IP 49	Aschhorn 3	523.197	5.949.393	0,0	2,0	2,0
IP 50	Aschhorn 4	523.087	5.949.672	0,0	2,0	2,0
IP 51	Aschhorn 6	523.113	5.949.780	0,0	2,0	2,0

Tabelle 4: Koordinaten der zu berücksichtigenden Immissionspunkte

## 10. Rechenergebnisse und Beurteilung

Die hier nachfolgenden Ergebnisse gelten für explizit gewählte und frei eingestrahelte Einzelpunkte (Gewächshausmodus), ganzjährig unbewölkten Himmel und die jeweils ungünstigste Rotorstellung (worst-case).

Die Koordinaten der untersuchten Immissionspunkte wurden mittels des vorliegenden Kartenmaterials ermittelt. Hierbei sind geringfügige Abweichungen von bis zu ca. 5 m zu erwarten, welche erfahrungsgemäß in den meisten Situationen keinen relevanten Einfluss auf die zu beurteilende Schattenwurfedauer haben, sondern hauptsächlich eine zeitliche Verschiebung der Schattenwurfereignisse bewirken. Diese liegt bei den gegebenen Abständen zwischen WEA und IP erfahrungsgemäß nicht über zwei bis drei Minuten.

### 10.1 Rechenergebnisse

Die Berechnungsergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Bei der Überschreitung von Orientierungswerten sind die Ergebnisse jeweils grau unterlegt.

IP-Nr.	Adresse	Vorbelastung		Zusatzbelastung		Gesamtbelastung	
		Stunden pro Jahr [h:min/a]	Max. Std. pro Tag [h:min/d]	Stunden pro Jahr [h:min/a]	Max. Std. pro Tag [h:min/d]	Stunden pro Jahr [h:min/a]	Max. Std. pro Tag [h:min/d]
IP 01	Triftweg 5/68	13:57	00:22	00:12	00:04	14:09	00:25
IP 02	Triftweg 5/69	16:04	00:22	01:41	00:10	17:45	00:32
IP 03	Triftweg 5/70	17:46	00:22	03:16	00:15	21:02	00:36
IP 04	Triftweg 5/71	19:03	00:22	04:45	00:17	23:48	00:38
IP 05	Triftweg 5/72	20:03	00:22	06:45	00:21	26:48	00:41
IP 06	Triftweg 5/73	20:35	00:22	08:26	00:23	29:01	00:40
IP 07	Triftweg 5/75	20:14	00:22	09:43	00:25	29:57	00:39
IP 08	Triftweg 5/76	19:02	00:22	11:07	00:26	30:09	00:36
IP 09	Triftweg 5/79	16:31	00:22	12:20	00:27	28:51	00:33
IP 10	Triftweg 5/80	17:52	00:21	08:47	00:24	26:39	00:30
IP 11	Grefenstr. 63	15:02	00:21	07:30	00:22	22:32	00:24
IP 12	Grefenstr. 61	15:56	00:21	11:43	00:27	27:39	00:37
IP 13	Grefenstr. 59	18:02	00:21	15:58	00:31	34:00	00:46
IP 14	Grefenstr. 57	19:36	00:21	19:23	00:34	38:59	00:51
IP 15	Grefenstr. 55	16:59	00:20	12:19	00:27	29:18	00:41
IP 16	Zum Wettern 5	21:09	00:19	21:48	00:33	42:57	00:50
IP 17	Zum Wettern 7b	21:04	00:19	23:01	00:33	44:05	00:49
IP 18	Zum Wettern 7a	21:20	00:19	24:22	00:34	45:42	00:50
IP 19	Zum Wettern 7c	21:38	00:20	26:03	00:35	47:41	00:50
IP 20	Zum Wettern 9	21:08	00:20	27:58	00:35	49:06	00:50
IP 21	Zum Wettern 13	19:56	00:20	30:04	00:35	50:00	00:50
IP 22	Rudolf-Kin角度u-Str. 48	18:41	00:20	32:07	00:36	50:48	00:50
IP 23	Rudolf-Kin角度u-Str. 48a	18:03	00:20	32:44	00:36	50:47	00:49
IP 24	Rudolf-Kin角度u-Str. 46	17:05	00:20	34:10	00:36	51:15	00:50
IP 25	Rudolf-Kin角度u-Str. 44	16:14	00:20	35:40	00:35	51:54	00:50
IP 26	Rudolf-Kin角度u-Str. 44a	15:46	00:20	36:16	00:35	52:02	00:50

IP-Nr.	Adresse	Vorbelastung		Zusatzbelastung		Gesamtbelastung	
		Stunden pro Jahr [h:min/a]	Max. Std. pro Tag [h:min/d]	Stunden pro Jahr [h:min/a]	Max. Std. pro Tag [h:min/d]	Stunden pro Jahr [h:min/a]	Max. Std. pro Tag [h:min/d]
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	15:26	00:20	37:09	00:35	52:35	00:51
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	15:13	00:20	37:40	00:35	52:53	00:50
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	14:47	00:20	38:12	00:35	52:59	00:50
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	14:36	00:20	38:57	00:35	53:33	00:51
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	09:24	00:15	38:04	00:34	47:28	00:48
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	08:56	00:15	40:26	00:35	49:22	00:49
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	08:39	00:15	40:58	00:35	49:37	00:49
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	08:52	00:15	40:16	00:34	49:01	00:48
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	09:54	00:15	39:32	00:34	49:23	00:47
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	10:57	00:15	38:08	00:34	49:05	00:48
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	11:53	00:15	36:15	00:34	48:08	00:48
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	13:12	00:15	32:03	00:34	45:15	00:47
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	14:28	00:15	28:58	00:33	43:26	00:48
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	15:22	00:16	27:39	00:33	43:01	00:47
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	15:41	00:16	26:58	00:33	42:39	00:47
IP 42	Fleetstr. 41	19:30	00:20	23:03	00:32	42:33	00:46
IP 43	Fleetstr. 40	20:29	00:20	21:42	00:32	42:11	00:46
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	20:38	00:20	20:12	00:31	40:50	00:44
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	20:06	00:20	19:18	00:31	39:24	00:44
IP 46	Aschhorn 1	86:49	01:00	15:08	00:27	99:02	01:00
IP 47	Aschhorn 2	65:15	00:49	11:43	00:25	73:18	00:49
IP 48	Aschhorn 2a	93:54	00:48	10:52	00:24	99:02	00:48
IP 49	Aschhorn 3	72:07	00:42	09:17	00:23	77:18	00:42
IP 50	Aschhorn 4	49:30	00:37	07:34	00:22	53:47	00:38
IP 51	Aschhorn 6	46:49	00:35	07:39	00:22	54:25	00:52

Tabelle 5: Astronomisch mögliche Schattenwurfdauer

Detailliertere Ergebnisse der Vor-, Zusatz- und Gesamtbelastung können den Listen des Anhangs sowie der beigefügten CD-ROM entnommen werden. Im Anhang befinden sich auch zwei flächendeckende Darstellungen der Zusatz- und der Gesamtbelastung mit Isolinien für die herangezogenen Orientierungswerte. Für nicht explizit betrachtete Einwirkorte kann der entsprechende Jahreswert (Stunden/Jahr) diesen Darstellungen grob entnommen werden.

Dem Anhang sind neben den in Tabelle 5 aufgeführten astronomisch möglichen Rotorschattenwurfzeiten (worst-case) die auf Grundlage statistischer Langzeitdaten (Windrichtungsverteilung und Sonnenscheindauer) ermittelten meteorologisch wahrscheinlichen Rotorschattenwurfzeiten zu entnehmen. Diese dienen nicht als Entscheidungsgrundlage bezüglich des Erfordernisses von Minderungsmaßnahmen. Sie sollen dem Auftraggeber lediglich ein Überblick über die im Mittel zu erwartenden Abschaltzeiten ermöglichen.

**Hinweis:** Bei Windparks mit verschiedenen Anlagentypen in der Vor- und der Zusatzbelastung kann es in Einzelfällen passieren, dass die meteorologisch wahrscheinlichen summierten Rotorschattenwurfzeiten der geplanten WEA innerhalb der Berechnung der Gesamtbelastung (s. Hauptergebnis Gesamtbelastung) anders ausfallen als innerhalb der Berechnung der Zusatzbelastung allein. Der Grund hierfür liegt in einer programmbedingten Mittelung der Anlauf- und Abschaltwindgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Anlagentypen. Zur Beurteilung der meteorologisch wahrscheinlichen Abschaltzeiten sollten daher die berechneten Zeiten der Zusatzbelastung herangezogen werden.

## 10.2 Beurteilung

Zur Festsetzung der maximal zulässigen Rotorschattenwurfdauer bieten die vom LAI empfohlenen Beurteilungskriterien und Orientierungswerte von 30 Minuten/Tag und 30 Stunden/Jahr einen sinnvollen Rahmen.

Die Berechnungsergebnisse der Tabelle 5 zeigen, dass an den Immissionspunkten IP 46 bis IP 51 die zulässigen Orientierungswerte bereits durch die Vorbelastung überschritten werden. Bei einer Ausschöpfung bzw. Überschreitung der Orientierungswerte durch die Vorbelastung ist sicherzustellen, dass der Betrieb der neu geplanten Windenergieanlage (Zusatzbelastung) zu keiner Erhöhung der Rotorschattenwurfdauer führt.

An den Immissionspunkte IP 02 bis IP 09 sowie IP 12 bis IP 45 werden die zulässigen Orientierungswerte durch die Zusatzbelastung überschritten bzw. die Vorbelastung so weit angehoben, dass die Orientierungswerte überschritten werden. Am Immissionspunkt IP 02 wird das Tagesmaximum an Einzeltagen überschritten. An diesen Immissionspunkten ist die Zusatzbelastung so zu reduzieren, dass die Orientierungswerte (30 Minuten/Tag und 30 Stunden/Jahr worst-case bzw. 8 Stunden/Jahr real) eingehalten werden.

Aufgrund der Überschreitungen der Orientierungswerte wird empfohlen, die geplante WEA mit einer entsprechenden technischen Einrichtung (sog. Abschaltmodul, vgl. Abschnitt 8.2) auszurüsten.

### **Hinweis:**

Die dargestellten Ergebnisse sowie die Beurteilung gelten ausschließlich für die hier betrachtete Anlagenkonfiguration. Sollten sich Änderungen hinsichtlich der zu berücksichtigenden Planung, der Vorbelastung bzw. der zu beurteilenden Immissionspunkte ergeben, sind die ermittelten Ergebnisse nicht mehr gültig und es sind neue Berechnungen notwendig.

## 11. Zusammenfassung

Am Standort Drochtersen ist die Errichtung und der Betrieb einer Windenergieanlage (WEA 03) vom Typ Nordex N163/6.X mit einer Nabenhöhe von 164,0 m und einem Rotordurchmesser von 163,0 m geplant.

Aufgabe des vorliegenden Berichts war die Untersuchung der Zeitpunkte, der Dauer sowie der Zulässigkeit möglicher Beeinträchtigungen durch Rotorschattenwurf.

Die Berechnungsergebnisse der Tabelle 5 zeigen, dass an den Immissionspunkten IP 46 bis IP 51 die zulässigen Orientierungswerte bereits durch die Vorbelastung überschritten werden. Bei einer Ausschöpfung bzw. Überschreitung der Orientierungswerte durch die Vorbelastung ist sicherzustellen, dass der Betrieb der neu geplanten Windenergieanlage (Zusatzbelastung) zu keiner Erhöhung der Rotorschattenwurfdauer führt.

An den Immissionspunkte IP 02 bis IP 09 sowie IP 12 bis IP 45 werden die zulässigen Orientierungswerte durch die Zusatzbelastung überschritten bzw. die Vorbelastung so weit angehoben, dass die Orientierungswerte überschritten werden. Am Immissionspunkt IP 02 wird das Tagesmaximum an Einzeltagen überschritten. An diesen Immissionspunkten ist die Zusatzbelastung so zu reduzieren, dass die Orientierungswerte (30 Minuten/Tag und 30 Stunden/Jahr worst-case bzw. 8 Stunden/Jahr real) eingehalten werden.

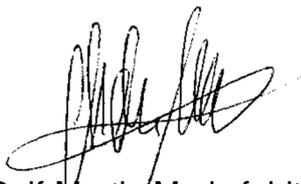
Die Auswahl der Immissionspunkte am Ortsrand Drochtersen gewährt bei der notwendigen Rotorschattenwurf-Regelung auch die Berücksichtigung von im Rückraum des Ortrandes befindlicher Immissionspunkte.

Unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Vermeidungseinrichtung ist das Vorhaben aus gutachterlicher Sicht in Bezug auf beweglichen Schattenwurf genehmigungsfähig.

Der vorliegende Bericht zur Rotorschattenwurfberechnung umfasst 21 Textseiten und die im Anhangsverzeichnis aufgeführten Karten, Diagramme und Listen. Er darf nur in seiner Gesamtheit verwendet werden.

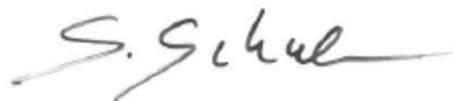
Aurich, 16. März 2023

Bericht verfasst durch



Ralf-Martin Marksfeldt  
(Stellvertretender Leiter Rotorschattenwurf)

Geprüft und freigegeben durch



Sabine Schulz, Dipl.-Phys.  
(Projektbearbeiterin Rotorschattenwurf)

---

## **Anhang**

**Übersichtskarte Windenergieanlagen und Immissionspunkte (A3) (1 Seite)**

**Flächendeckende Darstellung „Zusatzbelastung“ (A3) (1 Seite)  
„Astronomisch mögliche Rotorschattenwurfdauer“**

**Flächendeckende Darstellung „Gesamtbelastung“ (A3) (1 Seite)  
„Astronomisch mögliche Rotorschattenwurfdauer“**

**Berechnungsergebnisse / Vorbelastung**  
Shadow - Hauptergebnis (3 Seiten)

**Berechnungsergebnisse / Zusatzbelastung**  
Shadow - Hauptergebnis (3 Seiten)

**Berechnungsergebnisse / Gesamtbelastung**  
Shadow - Hauptergebnis (4 Seiten)

**Technische Dokumentation / NORDEX acciona**  
Allgemeine Dokumentation Schattenwurfmodul (8 Seiten)  
Dokument: K0815\_051312\_DE / Rev. 06 vom 01.04.2021

**Literaturverzeichnis (1 Seite)**

## **Externer Anhang / CD-ROM**

**Berechnungsergebnisse / Vorbelastung**  
Shadow - Kalender IP (88 Seiten)  
Shadow - Kalender WEA (22 Seiten)

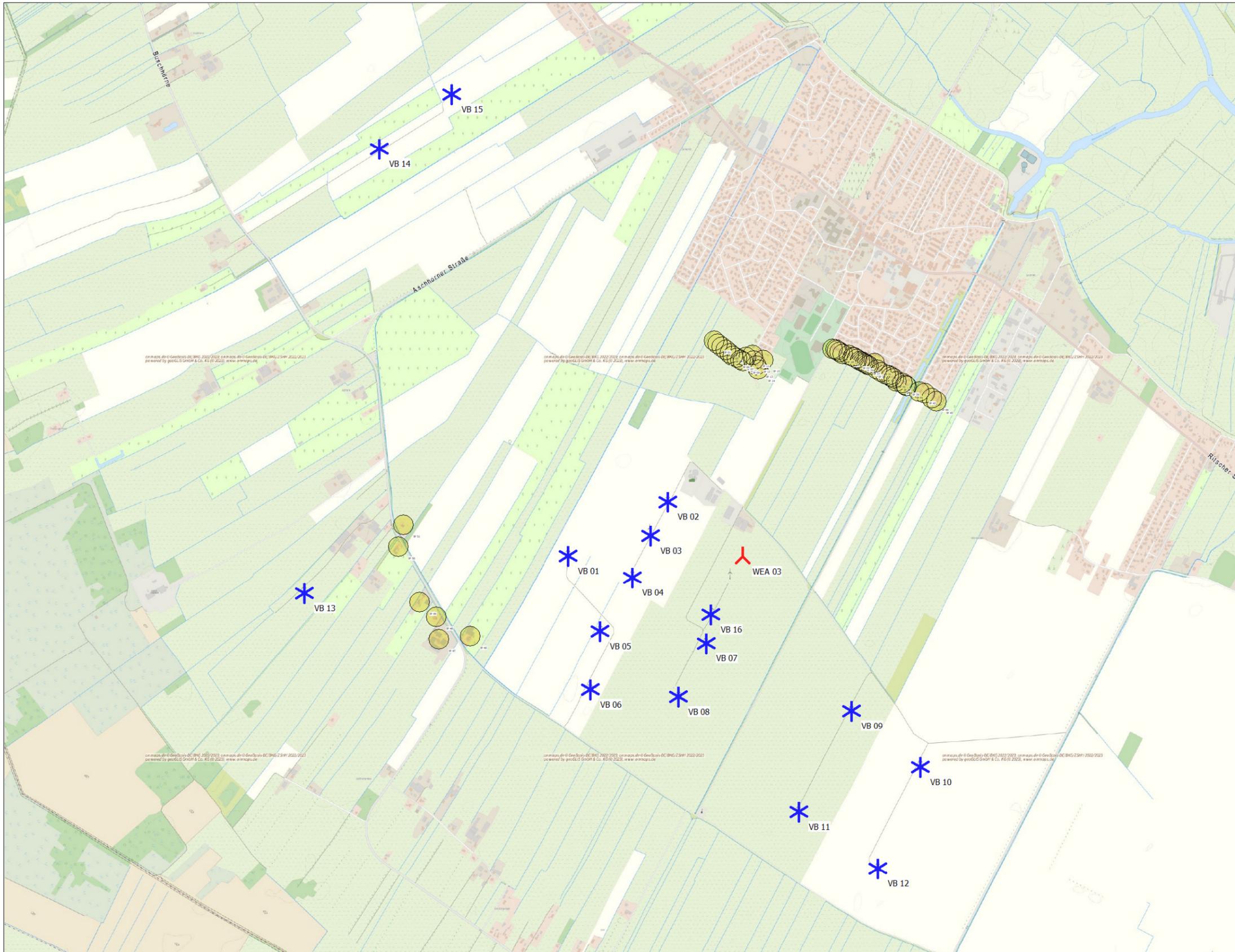
**Berechnungsergebnisse / Zusatzbelastung**  
Shadow - Kalender IP (77 Seiten)  
Shadow - Kalender WEA (2 Seiten)

**Berechnungsergebnisse / Gesamtbelastung**  
Shadow - Kalender IP (88 Seiten)  
Shadow - Kalender WEA (24 Seiten)



## Übersichtskarte

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



Projekt:  
**Drochtersen**  
**4854-23-S1**

Beschreibung:  
 Windenergieanlagen und  
 Immissionspunkte

**BASIS -**  
**Karte**  
 Berechnung:  
 Übersichtskarte

Lizenzierter Anwender:  
**IEL GmbH**  
 Kirchdorfer Straße 26  
 DE-26603 Aurich  
 +49 491 9558 0  
 Marksfeldt / marksfeldt@iel-gmbh.de  
 Berechnet:  
 13.03.2023 07:47/3.6.361



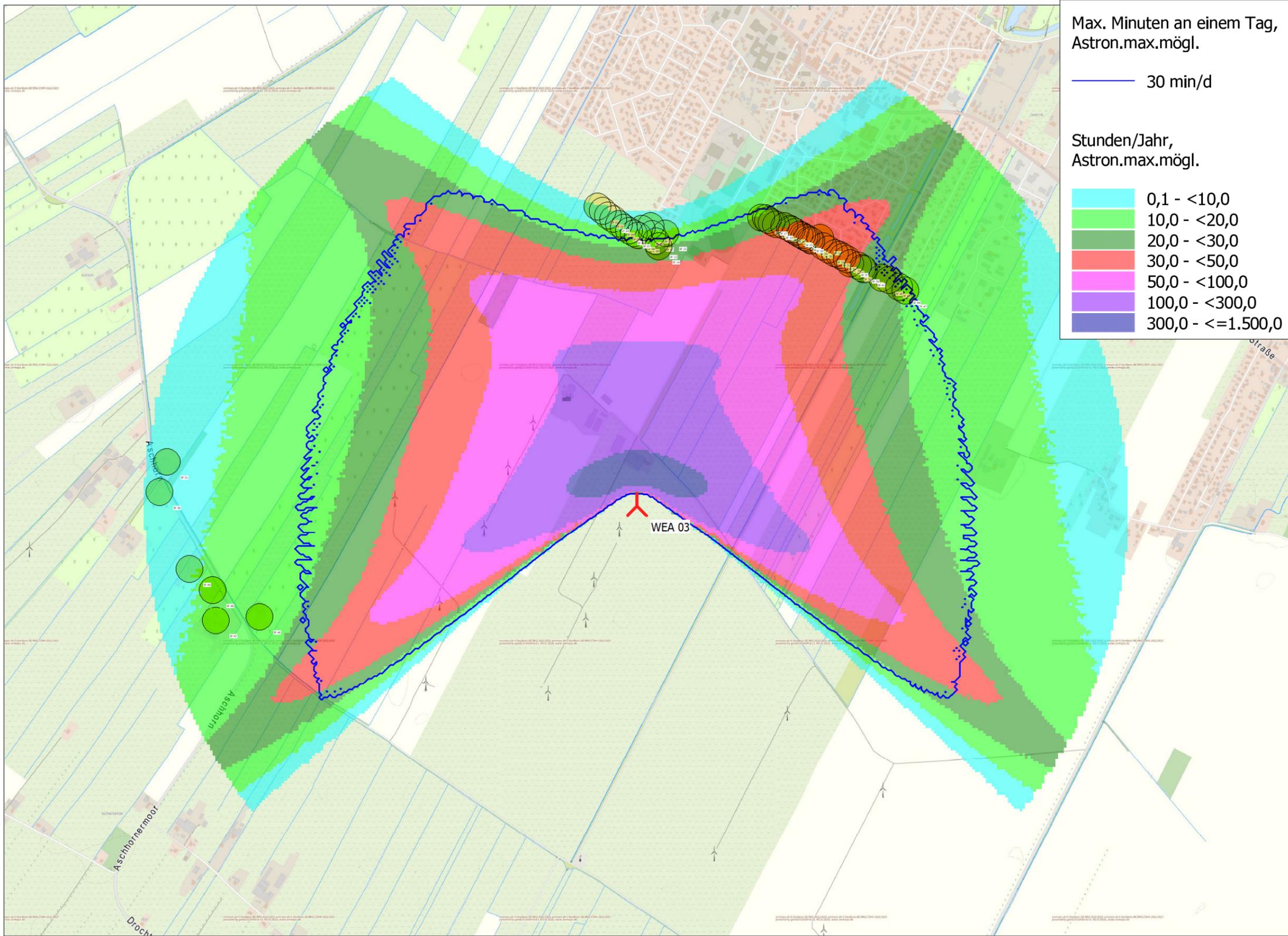
Karte: onmaps , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 524.204 Nord: 5.950.006

▲ Neue WEA     
 ✱ Existierende WEA     
 ● Schattenrezeptor



**Flächendeckende Darstellung  
Zusatzbelastung  
„Astronomisch mögliche  
Rotorschattenwurfdauer“**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



Max. Minuten an einem Tag,  
Astron.max.mögl.

— 30 min/d

Stunden/Jahr,  
Astron.max.mögl.

0,1 - <10,0
10,0 - <20,0
20,0 - <30,0
30,0 - <50,0
50,0 - <100,0
100,0 - <300,0
300,0 - <=1.500,0

Projekt:  
**Drochtersen  
4854-23-S1**

**SHADOW -  
Karte**  
**Berechnung:**  
Zusatzbelastung / FD

Lizenzierter Anwender:  
**IEL GmbH**  
Kirchdorfer Straße 26  
DE-26603 Aurich  
+49 491 9558 0  
Marksfeldt / marksfeldt@iel-gmbh.de  
Berechnet:  
13.03.2023 08:04/3.6.361



0 250 500 750 1000m

Karte: onmaps , Maßstab 1:15.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 524.850 Nord: 5.949.750

Neue WEA

Schattenrezeptor

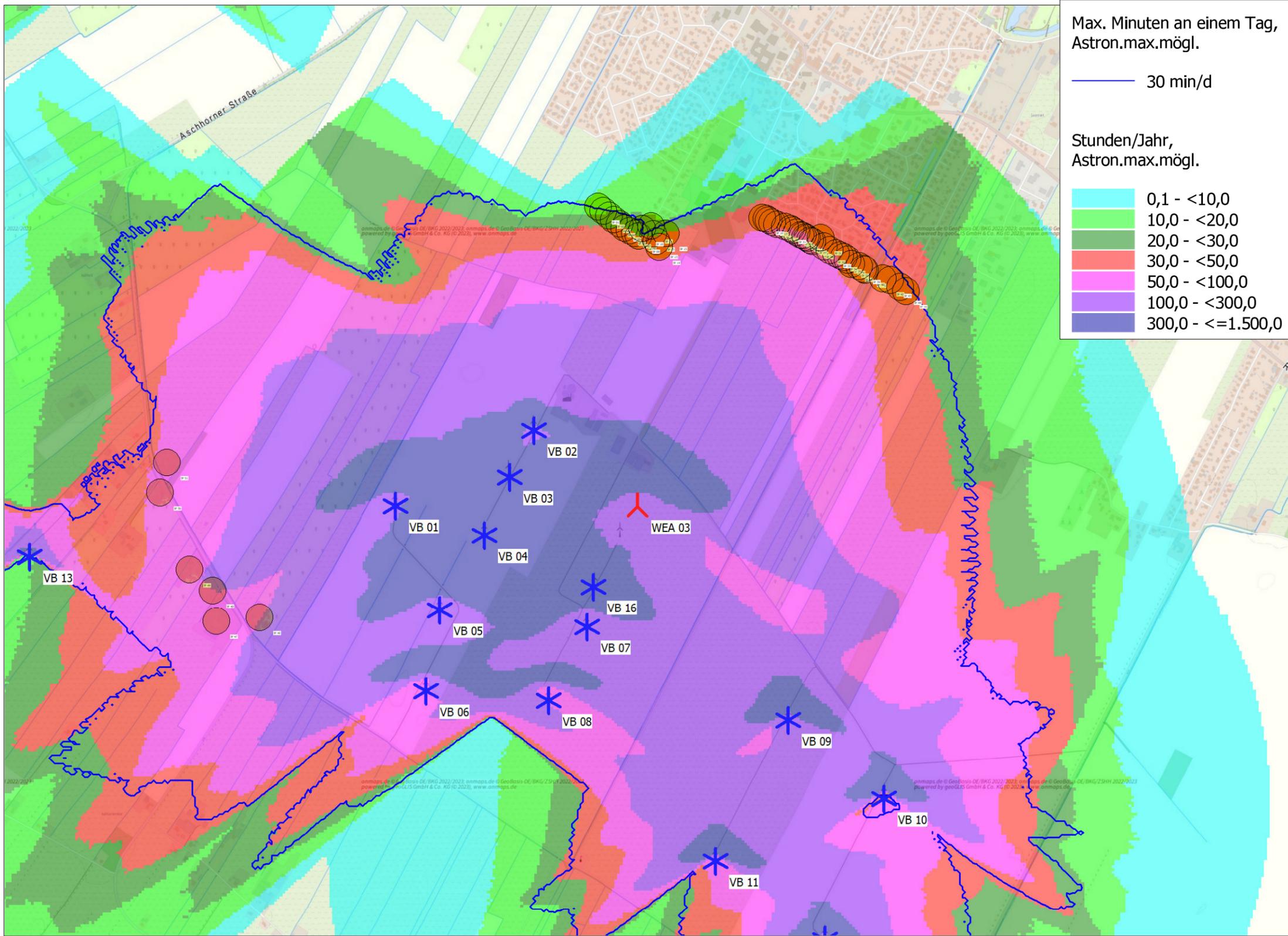
Höhe der Schattenkarte: EU-DEM: Pan-European DSM - 25m grid - Version 1.1

Zeitschritt: 2 Minuten, Schrittweite: 3 Tag(e), Kartenauflösung: 10 m, Sichtbarkeit Auflösung: 5 m, Augenhöhe: 1,5 m



**Flächendeckende Darstellung  
Gesamtbelastung  
„Astronomisch mögliche  
Rotorschattenwurfdauer“**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



Max. Minuten an einem Tag,  
Astron.max.mögl.

— 30 min/d

Stunden/Jahr,  
Astron.max.mögl.

0,1 - <10,0
10,0 - <20,0
20,0 - <30,0
30,0 - <50,0
50,0 - <100,0
100,0 - <300,0
300,0 - <=1.500,0

**SHADOW - Karte**  
**Berechnung:**  
 Gesamtbelastung / FD

Lizenzierter Anwender:  
**IEL GmbH**  
 Kirchdorfer Straße 26  
 DE-26603 Aurich  
 +49 4941 9558 0  
 Marksfeldt / marksfeldt@iel-gmbh.de  
 Berechnet:  
 13.03.2023 08:22/3.6.361



▲ Neue WEA    
 ✱ Existierende WEA    
 ● Schattenrezeptor  
 Karte: onmaps , Maßstab 1:15.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 524.850 Nord: 5.949.750  
 Höhe der Schattenkarte: EU-DEM: Pan-European DSM - 25m grid - Version 1.1  
 Zeitschritt: 2 Minuten, Schrittweite: 3 Tag(e), Kartenauflösung: 10 m, Sichtbarkeit Auflösung: 5 m, Augenhöhe: 1,5 m



## **Berechnungsergebnisse**

### **Vorbelastung**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Vorbelastung / Hauptergebnis und Listen Annahmen für Schattenwurfberechnung

Beschattungsbereich der WEA  
Schatten nur relevant, wo Rotorblatt mind. 20% der Sonne verdeckt  
Siehe WEA-Tabelle

Minimale relevante Sonnehöhe über Horizont 3 °  
Tage zwischen Berechnungen 1 Tag(e)  
Berechnungszeitsprung 1 Minuten

Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [HAMBURG / SASEL]  
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez  
1,38 2,33 3,28 5,21 6,82 6,54 6,22 6,27 4,44 3,10 1,68 1,06

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:  
EMD-WRF Europe+ (ERA5)\_N53,691513\_E009,362427 (11)

Betriebsdauer je Sektor  
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe  
308 286 389 545 612 427 508 961 1.198 829 878 520 7.461  
Startwindgeschwindigkeit: Startwindgeschw. aus Leistungskennlinie

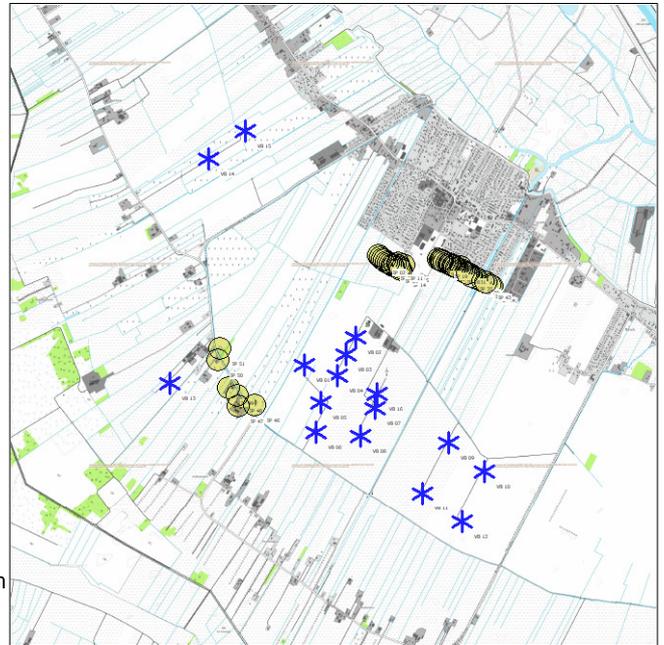
Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der  
Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf  
den folgenden Annahmen:

Verwendete Höhenlinien: EU-DEM: Pan-European DSM - 25m grid - Version  
Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:  
UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

### WEA

	WEA-Typ			Schattendaten								
	Ost	Nord	Z	Beschreibung	Ak- tu- ell	Hersteller	Typ	Nenn- leistung	Rotor- durch- messer	Naben- höhe	Beschatt.- Bereich	U/min
	[m]							[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
VB 01	523.943	5.949.629	0,0	ENERCON __E-115 ...	Nein	ENERCON	__E-115-3.000	3.000	115,7	135,4	2.067	12,8
VB 02	524.444	5.949.904	0,0	VESTAS _V42 600 4...	Nein	VESTAS	_V42-600	600	42,0	53,0	625	30,0
VB 03	524.357	5.949.734	0,0	VESTAS _V42 600 4...	Nein	VESTAS	_V42-600	600	42,0	53,0	625	30,0
VB 04	524.267	5.949.523	0,0	ENERCON __E-92 2...	Ja	ENERCON	__E-92-2.350	2.350	92,0	138,4	1.599	0,0
VB 05	524.106	5.949.252	0,0	ENERCON __E-115 ...	Nein	ENERCON	__E-115-3.000	3.000	115,7	135,4	2.067	12,8
VB 06	524.058	5.948.958	0,0	ENERCON __E-115 ...	Nein	ENERCON	__E-115-3.000	3.000	115,7	135,4	2.067	12,8
VB 07	524.641	5.949.194	0,0	ENERCON __E-101 ...	Ja	ENERCON	__E-101-3.050	3.050	101,0	135,0	2.214	14,7
VB 08	524.503	5.948.925	0,0	ENERCON __E-101 ...	Ja	ENERCON	__E-101-3.050	3.050	101,0	135,0	2.214	14,7
VB 09	525.374	5.948.859	0,0	GE WIND ENERGY ...	Ja	GE WIND ENERGY	_1.5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 10	525.724	5.948.578	0,0	GE WIND ENERGY ...	Ja	GE WIND ENERGY	_1.5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 11	525.112	5.948.348	0,0	GE WIND ENERGY ...	Ja	GE WIND ENERGY	_1.5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 12	525.512	5.948.066	0,0	GE WIND ENERGY ...	Ja	GE WIND ENERGY	_1.5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 13	522.614	5.949.436	0,0	VESTAS V27 225-50...	Nein	VESTAS	V27-225/50	225	27,0	31,5	548	43,1
VB 14	522.981	5.951.671	0,0	VESTAS _V44 600 4...	Ja	VESTAS	_V44-600	600	44,0	40,0	772	28,0
VB 15	523.343	5.951.947	0,0	VESTAS _V44 600 4...	Ja	VESTAS	_V44-600	600	44,0	40,0	772	28,0
VB 16	524.664	5.949.339	0,0	VESTAS _V42 600 4...	Nein	VESTAS	_V42-600	600	42,0	53,0	625	30,0



Maßstab 1:75.000  
\* Existierende WEA    ● Schattenrezeptor

### Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü. Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
					[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
IP 01	Triftweg 5/68	524.674	5.950.715	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 02	Triftweg 5/69	524.693	5.950.699	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 03	Triftweg 5/70	524.713	5.950.683	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 04	Triftweg 5/71	524.732	5.950.668	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 05	Triftweg 5/72	524.752	5.950.652	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 06	Triftweg 5/73	524.769	5.950.638	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 07	Triftweg 5/75	524.789	5.950.628	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 08	Triftweg 5/76	524.807	5.950.618	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 09	Triftweg 5/79	524.821	5.950.610	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1

(Fortsetzung nächste Seite)...



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Vorbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
					[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
IP 10	Triftweg 5/80	524.834	5.950.635	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 11	Grefenstr. 63	524.867	5.950.645	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 12	Grefenstr. 61	524.874	5.950.617	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 13	Grefenstr. 59	524.886	5.950.590	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 14	Grefenstr. 57	524.896	5.950.570	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 15	Grefenstr. 55	524.921	5.950.619	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 16	Zum Wettern 5	525.270	5.950.678	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 17	Zum Wettern 7b	525.286	5.950.675	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 18	Zum Wettern 7a	525.294	5.950.669	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 19	Zum Wettern 7c	525.307	5.950.661	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 20	Zum Wettern 9	525.323	5.950.653	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 21	Zum Wettern 13	525.353	5.950.647	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 22	Rudolf-Kinau-Str. 48	525.374	5.950.638	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 23	Rudolf-Kinau-Str. 48a	525.381	5.950.634	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 24	Rudolf-Kinau-Str. 46	525.394	5.950.626	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 25	Rudolf-Kinau-Str. 44	525.410	5.950.617	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 26	Rudolf-Kinau-Str. 44a	525.418	5.950.614	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	525.427	5.950.608	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	525.434	5.950.604	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	525.445	5.950.598	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	525.452	5.950.594	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	525.483	5.950.607	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	525.495	5.950.574	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	525.515	5.950.562	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	525.538	5.950.550	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	525.554	5.950.543	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	525.567	5.950.536	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	525.581	5.950.528	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	525.594	5.950.513	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	525.623	5.950.505	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	525.638	5.950.496	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	525.644	5.950.492	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 42	Fleetstr. 41	525.709	5.950.462	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 43	Fleetstr. 40	525.736	5.950.455	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	525.772	5.950.431	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	525.794	5.950.416	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 46	Aschhorn 1	523.452	5.949.222	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 47	Aschhorn 2	523.294	5.949.208	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 48	Aschhorn 2a	523.281	5.949.318	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 49	Aschhorn 3	523.197	5.949.393	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 50	Aschhorn 4	523.087	5.949.672	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 51	Aschhorn 6	523.113	5.949.780	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1

### Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr	
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]	
IP 01	Triftweg 5/68	13:57	46	0:22	1:10	
IP 02	Triftweg 5/69	16:04	50	0:22	1:23	
IP 03	Triftweg 5/70	17:46	54	0:22	1:33	
IP 04	Triftweg 5/71	19:03	58	0:22	1:41	
IP 05	Triftweg 5/72	20:03	62	0:22	1:48	
IP 06	Triftweg 5/73	20:35	66	0:22	1:53	
IP 07	Triftweg 5/75	20:14	70	0:22	1:53	
IP 08	Triftweg 5/76	19:02	72	0:22	1:48	
IP 09	Triftweg 5/79	16:31	63	0:22	1:36	
IP 10	Triftweg 5/80	17:52	72	0:21	1:42	
IP 11	Grefenstr. 63	15:02	60	0:21	1:28	
IP 12	Grefenstr. 61	15:56	69	0:21	1:33	
IP 13	Grefenstr. 59	18:02	76	0:21	1:44	

(Fortsetzung nächste Seite)...



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Vorbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	Stunden/Jahr [h/a]	
IP 14	Grefenstr. 57	19:36	78	0:21	1:52	
IP 15	Grefenstr. 55	16:59	74	0:20	1:37	
IP 16	Zum Wettern 5	21:09	88	0:19	2:02	
IP 17	Zum Wettern 7b	21:04	87	0:19	2:02	
IP 18	Zum Wettern 7a	21:20	90	0:19	2:04	
IP 19	Zum Wettern 7c	21:38	92	0:20	2:07	
IP 20	Zum Wettern 9	21:08	92	0:20	2:06	
IP 21	Zum Wettern 13	19:56	94	0:20	2:01	
IP 22	Rudolf-Kinau-Str. 48	18:41	96	0:20	1:56	
IP 23	Rudolf-Kinau-Str. 48a	18:03	97	0:20	1:53	
IP 24	Rudolf-Kinau-Str. 46	17:05	88	0:20	1:49	
IP 25	Rudolf-Kinau-Str. 44	16:14	81	0:20	1:46	
IP 26	Rudolf-Kinau-Str. 44a	15:46	79	0:20	1:43	
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	15:26	78	0:20	1:42	
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	15:13	75	0:20	1:42	
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	14:47	73	0:20	1:39	
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	14:36	73	0:20	1:39	
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	9:24	56	0:15	1:06	
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	8:56	53	0:15	1:05	
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	8:39	51	0:15	1:04	
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	8:52	57	0:15	1:05	
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	9:54	65	0:15	1:10	
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	10:57	69	0:15	1:15	
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	11:53	72	0:15	1:19	
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	13:12	76	0:15	1:25	
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	14:28	79	0:15	1:31	
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	15:22	82	0:16	1:36	
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	15:41	81	0:16	1:38	
IP 42	Fleetstr. 41	19:30	91	0:20	1:59	
IP 43	Fleetstr. 40	20:29	93	0:20	2:04	
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	20:38	96	0:20	2:07	
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	20:06	101	0:20	2:06	
IP 46	Aschhorn 1	86:49	182	1:00	17:24	
IP 47	Aschhorn 2	65:15	170	0:49	13:15	
IP 48	Aschhorn 2a	93:54	199	0:48	19:15	
IP 49	Aschhorn 3	72:07	176	0:42	14:33	
IP 50	Aschhorn 4	49:30	134	0:37	7:54	
IP 51	Aschhorn 6	46:49	133	0:35	6:35	

### Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
VB 01	ENERCON __E-115 3000 115.7 !O! NH: 135,4 m (Ges:193,3 m) (1)	195:41	34:02
VB 02	VESTAS _V42 600 42.0 !O! NH: 53,0 m (Ges:74,0 m) (2)	0:00	0:00
VB 03	VESTAS _V42 600 42.0 !O! NH: 53,0 m (Ges:74,0 m) (3)	0:00	0:00
VB 04	ENERCON __E-92 2350 92.0 !O! NH: 138,4 m (Ges:184,4 m) (4)	83:41	14:16
VB 05	ENERCON __E-115 3000 115.7 !O! NH: 135,4 m (Ges:193,3 m) (5)	114:29	18:34
VB 06	ENERCON __E-115 3000 115.7 !O! NH: 135,4 m (Ges:193,3 m) (6)	67:31	9:26
VB 07	ENERCON __E-101 3050 101.0 !O! NH: 135,0 m (Ges:185,5 m) (7)	53:07	6:34
VB 08	ENERCON __E-101 3050 101.0 !O! NH: 135,0 m (Ges:185,5 m) (8)	38:01	4:47
VB 09	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (9)	0:00	0:00
VB 10	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (10)	0:00	0:00
VB 11	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (11)	0:00	0:00
VB 12	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (12)	0:00	0:00
VB 13	VESTAS V27 225-50 27.0 !#! NH: 31,5 m (Ges:45,0 m) (13)	1:28	0:14
VB 14	VESTAS _V44 600 44.0 !O! NH: 40,0 m (Ges:62,0 m) (14)	0:00	0:00
VB 15	VESTAS _V44 600 44.0 !O! NH: 40,0 m (Ges:62,0 m) (15)	0:00	0:00
VB 16	VESTAS _V42 600 42.0 !O! NH: 53,0 m (Ges:74,0 m) (17)	0:00	0:00

Summen in Rezeptortabelle und WEA-Tabelle können sich unterscheiden, da eine WEA gleichzeitig an zwei oder mehr Rezeptoren Beschattung verursachen kann und/oder ein Rezeptor gleichzeitig von zwei oder mehr WEA beschattet werden kann.

Die Berechnung der Gesamtsumme für einen Rezeptor arbeitet mit einer gemittelten Richtungskorrektur für alle WEA, die an einem gegebenen Tag zur Beschattung beitragen. Wenn der Schattenwurf durch mehrere WEA an einem Tag nicht gleichzeitig stattfindet, kann die so ermittelte Summe geringfügig von der Summe der Beschattungszeiten abweichen, die für die individuellen WEA berechnet werden.



## **Berechnungsergebnisse**

### **Zusatzbelastung**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Zusatzbelastung / Hauptergebnis und Listen Annahmen für Schattenwurfberechnung

Beschattungsbereich der WEA  
Schatten nur relevant, wo Rotorblatt mind. 20% der Sonne verdeckt  
Siehe WEA-Tabelle

Minimale relevante Sonnenhöhe über Horizont 3 °  
Tage zwischen Berechnungen 1 Tag(e)  
Berechnungszeitsprung 1 Minuten

Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [HAMBURG / SASEL]  
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez  
1,38 2,33 3,28 5,21 6,82 6,54 6,22 6,27 4,44 3,10 1,68 1,06

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:  
EMD-WRF Europe+ (ERA5)\_N53,691513\_E009,362427 (11)

Betriebsdauer je Sektor  
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe  
355 329 449 628 706 493 586 1.108 1.382 957 1.013 600 8.608  
Startwindgeschwindigkeit: Startwindgeschw. aus Leistungskennlinie

Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf den folgenden Annahmen:  
Verwendete Höhenlinien: EU-DEM: Pan-European DSM - 25m grid - Version Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:  
UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

### WEA

WEA	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Schattendaten				
					Aktuell	Hersteller	Typ	Nennleistung	Rotordurchmesser	Nabenhöhe	Beschatt.-Bereich	U/min
	[m]	[m]	[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
WEA 03	524.822	5.949.631	0,0	NORDEX __N163/6.X 6...Ja	Ja	NORDEX	__N163/6.X-6.800	6.800	163,0	164,0	1.784	10,7



### Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
IP 01	Triftweg 5/68	524.674	5.950.715	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 02	Triftweg 5/69	524.693	5.950.699	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 03	Triftweg 5/70	524.713	5.950.683	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 04	Triftweg 5/71	524.732	5.950.668	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 05	Triftweg 5/72	524.752	5.950.652	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 06	Triftweg 5/73	524.769	5.950.638	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 07	Triftweg 5/75	524.789	5.950.628	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 08	Triftweg 5/76	524.807	5.950.618	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 09	Triftweg 5/79	524.821	5.950.610	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 10	Triftweg 5/80	524.834	5.950.635	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 11	Grefenstr. 63	524.867	5.950.645	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 12	Grefenstr. 61	524.874	5.950.617	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 13	Grefenstr. 59	524.886	5.950.590	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 14	Grefenstr. 57	524.896	5.950.570	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 15	Grefenstr. 55	524.921	5.950.619	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 16	Zum Wettern 5	525.270	5.950.678	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 17	Zum Wettern 7b	525.286	5.950.675	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 18	Zum Wettern 7a	525.294	5.950.669	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 19	Zum Wettern 7c	525.307	5.950.661	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 20	Zum Wettern 9	525.323	5.950.653	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 21	Zum Wettern 13	525.353	5.950.647	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 22	Rudolf-Kinau-Str. 48	525.374	5.950.638	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 23	Rudolf-Kinau-Str. 48a	525.381	5.950.634	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 24	Rudolf-Kinau-Str. 46	525.394	5.950.626	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1

(Fortsetzung nächste Seite)...



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Zusatzbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
					[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
IP 25	Rudolf-Kinau-Str. 44	525.410	5.950.617	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 26	Rudolf-Kinau-Str. 44a	525.418	5.950.614	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	525.427	5.950.608	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	525.434	5.950.604	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	525.445	5.950.598	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	525.452	5.950.594	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	525.483	5.950.607	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	525.495	5.950.574	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	525.515	5.950.562	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	525.538	5.950.550	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	525.554	5.950.543	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	525.567	5.950.536	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	525.581	5.950.528	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	525.594	5.950.513	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	525.623	5.950.505	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	525.638	5.950.496	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	525.644	5.950.492	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 42	Fleetstr. 41	525.709	5.950.462	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 43	Fleetstr. 40	525.736	5.950.455	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	525.772	5.950.431	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	525.794	5.950.416	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 46	Aschhorn 1	523.452	5.949.222	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 47	Aschhorn 2	523.294	5.949.208	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 48	Aschhorn 2a	523.281	5.949.318	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 49	Aschhorn 3	523.197	5.949.393	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 50	Aschhorn 4	523.087	5.949.672	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 51	Aschhorn 6	523.113	5.949.780	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1

## Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer
		Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]
IP 01	Triftweg 5/68	0:12	4	0:04	0:00
IP 02	Triftweg 5/69	1:41	12	0:10	0:08
IP 03	Triftweg 5/70	3:16	17	0:15	0:16
IP 04	Triftweg 5/71	4:45	21	0:17	0:23
IP 05	Triftweg 5/72	6:45	24	0:21	0:33
IP 06	Triftweg 5/73	8:26	28	0:23	0:42
IP 07	Triftweg 5/75	9:43	30	0:25	0:49
IP 08	Triftweg 5/76	11:07	32	0:26	0:57
IP 09	Triftweg 5/79	12:20	34	0:27	1:03
IP 10	Triftweg 5/80	8:47	28	0:24	0:45
IP 11	Grefenstr. 63	7:30	26	0:22	0:38
IP 12	Grefenstr. 61	11:43	32	0:27	1:00
IP 13	Grefenstr. 59	15:58	38	0:31	1:23
IP 14	Grefenstr. 57	19:23	42	0:34	1:42
IP 15	Grefenstr. 55	12:19	34	0:27	1:04
IP 16	Zum Wettern 5	21:48	50	0:33	2:03
IP 17	Zum Wettern 7b	23:01	51	0:33	2:11
IP 18	Zum Wettern 7a	24:22	52	0:34	2:20
IP 19	Zum Wettern 7c	26:03	54	0:35	2:31
IP 20	Zum Wettern 9	27:58	58	0:35	2:44
IP 21	Zum Wettern 13	30:04	60	0:35	3:00
IP 22	Rudolf-Kinau-Str. 48	32:07	64	0:36	3:14
IP 23	Rudolf-Kinau-Str. 48a	32:44	64	0:36	3:19
IP 24	Rudolf-Kinau-Str. 46	34:10	66	0:36	3:30
IP 25	Rudolf-Kinau-Str. 44	35:40	70	0:35	3:41
IP 26	Rudolf-Kinau-Str. 44a	36:16	70	0:35	3:45
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	37:09	72	0:35	3:52
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	37:40	72	0:35	3:56

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:

**Drochtersen  
4854-23-S1**

Lizenzierter Anwender:

**IEL GmbH**  
Kirchdorfer Straße 26  
DE-26603 Aurich  
+49 4941 9558 0  
Marksfeldt / marksfeldt@iel-gmbh.de  
Berechnet:  
13.03.2023 08:34/3.6.361



## SHADOW - Hauptergebnis

**Berechnung:** Zusatzbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	Stunden/Jahr [h/a]	
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	38:12	74	0:35	4:01	
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	38:57	76	0:35	4:07	
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	38:04	76	0:34	4:02	
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	40:26	81	0:35	4:21	
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	40:58	84	0:35	4:28	
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	40:16	87	0:34	4:27	
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	39:32	88	0:34	4:25	
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	38:08	90	0:34	4:19	
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	36:15	92	0:34	4:11	
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	32:03	78	0:34	3:50	
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	28:58	70	0:33	3:34	
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	27:39	66	0:33	3:27	
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	26:58	64	0:33	3:23	
IP 42	Fleetstr. 41	23:03	56	0:32	3:06	
IP 43	Fleetstr. 40	21:42	54	0:32	3:00	
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	20:12	51	0:31	2:57	
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	19:18	48	0:31	2:56	
IP 46	Aschhorn 1	15:08	43	0:27	4:14	
IP 47	Aschhorn 2	11:43	38	0:25	3:12	
IP 48	Aschhorn 2a	10:52	34	0:24	2:56	
IP 49	Aschhorn 3	9:17	30	0:23	2:26	
IP 50	Aschhorn 4	7:34	27	0:22	1:38	
IP 51	Aschhorn 6	7:39	28	0:22	1:34	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
WEA 03	NORDEX ___N163/6.X 6800 163.0 !O! NH: 164,0 m (Ges:245,5 m) (1)	232:57	32:28

Summen in Rezeptortabelle und WEA-Tabelle können sich unterscheiden, da eine WEA gleichzeitig an zwei oder mehr Rezeptoren Beschattung verursachen kann und/oder ein Rezeptor gleichzeitig von zwei oder mehr WEA beschattet werden kann.



## **Berechnungsergebnisse**

### **Gesamtbelastung**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Gesamtbelastung / Hauptergebnis und Listen Annahmen für Schattenwurfberechnung

Beschattungsbereich der WEA  
Schatten nur relevant, wo Rotorblatt mind. 20% der Sonne verdeckt  
Siehe WEA-Tabelle

Minimale relevante Sonnehöhe über Horizont 3 °  
Tage zwischen Berechnungen 1 Tag(e)  
Berechnungszeitsprung 1 Minuten

Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [HAMBURG / SASEL]  
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez  
1,38 2,33 3,28 5,21 6,82 6,54 6,22 6,27 4,44 3,10 1,68 1,06

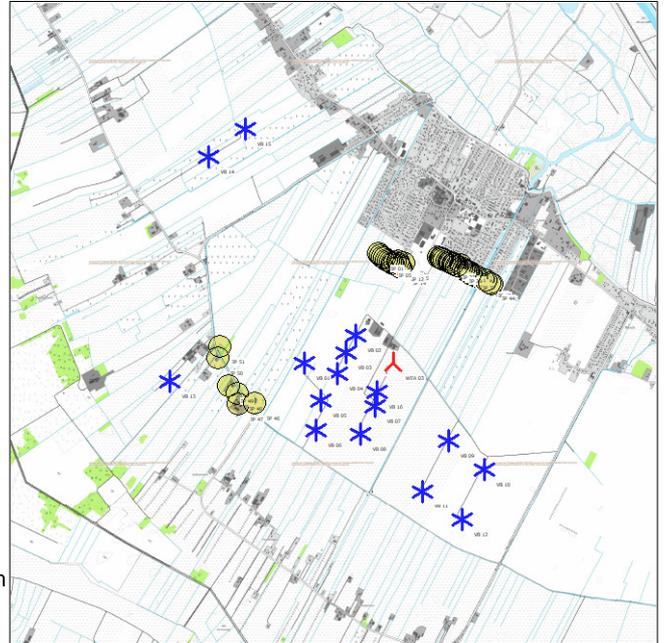
Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:  
EMD-WRF Europe+ (ERA5)\_N53,691513\_E009,362427 (11)

Betriebsdauer je Sektor  
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe  
311 288 393 550 618 431 513 969 1.209 837 886 525 7.528  
Startwindgeschwindigkeit: Startwindgeschw. aus Leistungskennlinie

Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der  
Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf  
den folgenden Annahmen:

Verwendete Höhenlinien: EU-DEM: Pan-European DSM - 25m grid - Version  
Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:  
UTM (north)-ETRS89 Zone: 32



Maßstab 1:75.000  
▲ Neue WEA    \* Existierende WEA    ● Schattenrezeptor

### WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ		Typ	Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten	
					Aktuell	Hersteller					Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
VB 01	523.943	5.949.629	0,0	ENERCON ___...	Nein	ENERCON	__E-115-3.000	3.000	115,7	135,4	2.067	12,8
VB 02	524.444	5.949.904	0,0	VESTAS _V42...	Nein	VESTAS	_V42-600	600	42,0	53,0	625	30,0
VB 03	524.357	5.949.734	0,0	VESTAS _V42...	Nein	VESTAS	_V42-600	600	42,0	53,0	625	30,0
VB 04	524.267	5.949.523	0,0	ENERCON ___...	Ja	ENERCON	__E-92-2.350	2.350	92,0	138,4	1.599	0,0
VB 05	524.106	5.949.252	0,0	ENERCON ___...	Nein	ENERCON	__E-115-3.000	3.000	115,7	135,4	2.067	12,8
VB 06	524.058	5.948.958	0,0	ENERCON ___...	Nein	ENERCON	__E-115-3.000	3.000	115,7	135,4	2.067	12,8
VB 07	524.641	5.949.194	0,0	ENERCON ___...	Ja	ENERCON	__E-101-3.050	3.050	101,0	135,0	2.214	14,7
VB 08	524.503	5.948.925	0,0	ENERCON ___...	Ja	ENERCON	__E-101-3.050	3.050	101,0	135,0	2.214	14,7
VB 09	525.374	5.948.859	0,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_1,5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 10	525.724	5.948.578	0,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_1,5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 11	525.112	5.948.348	0,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_1,5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 12	525.512	5.948.066	0,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_1,5 s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
VB 13	522.614	5.949.436	0,0	VESTAS V27 ...	Nein	VESTAS	V27-225/50	225	27,0	31,5	548	43,1
VB 14	522.981	5.951.671	0,0	VESTAS _V44...	Ja	VESTAS	_V44-600	600	44,0	40,0	772	28,0
VB 15	523.343	5.951.947	0,0	VESTAS _V44...	Ja	VESTAS	_V44-600	600	44,0	40,0	772	28,0
VB 16	524.664	5.949.339	0,0	VESTAS _V42...	Nein	VESTAS	_V42-600	600	42,0	53,0	625	30,0
WEA 03	524.822	5.949.631	0,0	NORDEX __N...	Ja	NORDEX	__N163/6.X-6.800	6.800	163,0	164,0	1.784	10,7

### Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü. Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü. Gr.
IP 01	Triftweg 5/68	524.674	5.950.715	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 02	Triftweg 5/69	524.693	5.950.699	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 03	Triftweg 5/70	524.713	5.950.683	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 04	Triftweg 5/71	524.732	5.950.668	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 05	Triftweg 5/72	524.752	5.950.652	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 06	Triftweg 5/73	524.769	5.950.638	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 07	Triftweg 5/75	524.789	5.950.628	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1

(Fortsetzung nächste Seite)...



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Gesamtbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
					[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
IP 08	Triftweg 5/76	524.807	5.950.618	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 09	Triftweg 5/79	524.821	5.950.610	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 10	Triftweg 5/80	524.834	5.950.635	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 11	Grefenstr. 63	524.867	5.950.645	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 12	Grefenstr. 61	524.874	5.950.617	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 13	Grefenstr. 59	524.886	5.950.590	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 14	Grefenstr. 57	524.896	5.950.570	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 15	Grefenstr. 55	524.921	5.950.619	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 16	Zum Wettern 5	525.270	5.950.678	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 17	Zum Wettern 7b	525.286	5.950.675	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 18	Zum Wettern 7a	525.294	5.950.669	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 19	Zum Wettern 7c	525.307	5.950.661	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 20	Zum Wettern 9	525.323	5.950.653	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 21	Zum Wettern 13	525.353	5.950.647	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 22	Rudolf-Kinau-Str. 48	525.374	5.950.638	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 23	Rudolf-Kinau-Str. 48a	525.381	5.950.634	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 24	Rudolf-Kinau-Str. 46	525.394	5.950.626	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 25	Rudolf-Kinau-Str. 44	525.410	5.950.617	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 26	Rudolf-Kinau-Str. 44a	525.418	5.950.614	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	525.427	5.950.608	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	525.434	5.950.604	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	525.445	5.950.598	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	525.452	5.950.594	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	525.483	5.950.607	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	525.495	5.950.574	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	525.515	5.950.562	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	525.538	5.950.550	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	525.554	5.950.543	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	525.567	5.950.536	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	525.581	5.950.528	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	525.594	5.950.513	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	525.623	5.950.505	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	525.638	5.950.496	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	525.644	5.950.492	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 42	Fleetstr. 41	525.709	5.950.462	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 43	Fleetstr. 40	525.736	5.950.455	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	525.772	5.950.431	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	525.794	5.950.416	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 46	Aschhorn 1	523.452	5.949.222	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 47	Aschhorn 2	523.294	5.949.208	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 48	Aschhorn 2a	523.281	5.949.318	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 49	Aschhorn 3	523.197	5.949.393	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 50	Aschhorn 4	523.087	5.949.672	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1
IP 51	Aschhorn 6	523.113	5.949.780	0,0	0,1	0,1	2,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,1

### Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr	
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]	
IP 01	Triftweg 5/68	14:09	46	0:25	1:12	
IP 02	Triftweg 5/69	17:45	50	0:32	1:30	
IP 03	Triftweg 5/70	21:02	54	0:36	1:48	
IP 04	Triftweg 5/71	23:48	58	0:38	2:03	
IP 05	Triftweg 5/72	26:48	62	0:41	2:19	
IP 06	Triftweg 5/73	29:01	66	0:40	2:31	
IP 07	Triftweg 5/75	29:57	70	0:39	2:37	
IP 08	Triftweg 5/76	30:09	72	0:36	2:39	
IP 09	Triftweg 5/79	28:51	74	0:33	2:33	
IP 10	Triftweg 5/80	26:39	72	0:30	2:22	
IP 11	Grefenstr. 63	22:32	74	0:24	2:02	

(Fortsetzung nächste Seite)...



## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Gesamtbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	Stunden/Jahr [h/a]	
IP 12	Grefenstr. 61	27:39	77	0:37	2:26	
IP 13	Grefenstr. 59	34:00	82	0:46	2:57	
IP 14	Grefenstr. 57	38:59	84	0:51	3:22	
IP 15	Grefenstr. 55	29:18	80	0:41	2:34	
IP 16	Zum Wetter 5	42:57	88	0:50	3:51	
IP 17	Zum Wetter 7b	44:05	87	0:49	3:58	
IP 18	Zum Wetter 7a	45:42	90	0:50	4:08	
IP 19	Zum Wetter 7c	47:41	92	0:50	4:21	
IP 20	Zum Wetter 9	49:06	92	0:50	4:31	
IP 21	Zum Wetter 13	50:00	94	0:50	4:39	
IP 22	Rudolf-Kinau-Str. 48	50:48	96	0:50	4:47	
IP 23	Rudolf-Kinau-Str. 48a	50:47	97	0:49	4:48	
IP 24	Rudolf-Kinau-Str. 46	51:15	98	0:50	4:54	
IP 25	Rudolf-Kinau-Str. 44	51:54	100	0:50	5:00	
IP 26	Rudolf-Kinau-Str. 44a	52:02	100	0:50	5:02	
IP 27	Rudolf-Kinau-Str. 42a	52:35	102	0:51	5:06	
IP 28	Rudolf-Kinau-Str. 42	52:53	102	0:50	5:09	
IP 29	Rudolf-Kinau-Str. 40a	52:59	103	0:50	5:11	
IP 30	Rudolf-Kinau-Str. 40	53:33	104	0:51	5:16	
IP 31	Rudolf-Kinau-Str. 36	47:28	98	0:48	4:39	
IP 32	Hauke-Haien-Ring 11	49:22	102	0:49	4:54	
IP 33	Hauke-Haien-Ring 13	49:37	105	0:49	4:59	
IP 34	Hauke-Haien-Ring 15	49:01	107	0:48	4:59	
IP 35	Hauke-Haien-Ring 17	49:23	108	0:47	5:03	
IP 36	Hauke-Haien-Ring 17a	49:05	111	0:48	5:02	
IP 37	Hauke-Haien-Ring 19	48:08	112	0:48	4:59	
IP 38	Hauke-Haien-Ring 21	45:15	116	0:47	4:48	
IP 39	Hauke-Haien-Ring 23	43:26	117	0:48	4:40	
IP 40	Hauke-Haien-Ring 25	43:01	118	0:47	4:38	
IP 41	Hauke-Haien-Ring 25a	42:39	119	0:47	4:37	
IP 42	Fleetstr. 41	42:33	125	0:46	4:43	
IP 43	Fleetstr. 40	42:11	125	0:46	4:43	
IP 44	Gauensieker Feldstr. 42	40:50	128	0:44	4:44	
IP 45	Gauensieker Feldstr. 53	39:24	129	0:44	4:41	
IP 46	Aschhorn 1	99:02	186	1:00	20:31	
IP 47	Aschhorn 2	73:18	175	0:49	15:17	
IP 48	Aschhorn 2a	99:02	209	0:48	20:38	
IP 49	Aschhorn 3	77:18	180	0:42	15:52	
IP 50	Aschhorn 4	53:47	134	0:38	8:46	
IP 51	Aschhorn 6	54:25	133	0:52	8:00	

### Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
VB 01	ENERCON __E-115 3000 115.7 !O! NH: 135,4 m (Ges:193,3 m) (1)	195:41	34:21
VB 02	VESTAS _V42 600 42.0 !O! NH: 53,0 m (Ges:74,0 m) (2)	0:00	0:00
VB 03	VESTAS _V42 600 42.0 !O! NH: 53,0 m (Ges:74,0 m) (3)	0:00	0:00
VB 04	ENERCON __E-92 2350 92.0 !O! NH: 138,4 m (Ges:184,4 m) (4)	83:41	14:24
VB 05	ENERCON __E-115 3000 115.7 !O! NH: 135,4 m (Ges:193,3 m) (5)	114:29	18:44
VB 06	ENERCON __E-115 3000 115.7 !O! NH: 135,4 m (Ges:193,3 m) (6)	67:31	9:31
VB 07	ENERCON __E-101 3050 101.0 !O! NH: 135,0 m (Ges:185,5 m) (7)	53:07	6:38
VB 08	ENERCON __E-101 3050 101.0 !O! NH: 135,0 m (Ges:185,5 m) (8)	38:01	4:50
VB 09	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (9)	0:00	0:00
VB 10	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (10)	0:00	0:00
VB 11	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (11)	0:00	0:00
VB 12	GE WIND ENERGY _1.5 s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (12)	0:00	0:00
VB 13	VESTAS V27 225-50 27.0 !#! NH: 31,5 m (Ges:45,0 m) (13)	1:28	0:14
VB 14	VESTAS _V44 600 44.0 !O! NH: 40,0 m (Ges:62,0 m) (14)	0:00	0:00
VB 15	VESTAS _V44 600 44.0 !O! NH: 40,0 m (Ges:62,0 m) (15)	0:00	0:00
VB 16	VESTAS _V42 600 42.0 !O! NH: 53,0 m (Ges:74,0 m) (17)	0:00	0:00
WEA 03	NORDEX __N163/6.X 6800 163.0 !O! NH: 164,0 m (Ges:245,5 m) (1)	232:57	28:23

Projekt:

**Drochtersen**  
**4854-23-S1**

Lizenzierter Anwender:

**IEL GmbH**  
Kirchdorfer Straße 26  
DE-26603 Aurich  
+49 4941 9558 0  
Marksfeldt / marksfeldt@iel-gmbh.de  
Berechnet:  
13.03.2023 08:28/3.6.361



## SHADOW - Hauptergebnis

### **Berechnung:** Gesamtbelastung / Hauptergebnis und Listen

Summen in Rezeptortabelle und WEA-Tabelle können sich unterscheiden, da eine WEA gleichzeitig an zwei oder mehr Rezeptoren Beschattung verursachen kann und/oder ein Rezeptor gleichzeitig von zwei oder mehr WEA beschattet werden kann.

Die Berechnung der Gesamtsumme für einen Rezeptor arbeitet mit einer gemittelten Richtungskorrektur für alle WEA, die an einem gegebenen Tag zur Beschattung beitragen. Wenn der Schattenwurf durch mehrere WEA an einem Tag nicht gleichzeitig stattfindet, kann die so ermittelte Summe geringfügig von der Summe der Beschattungszeiten abweichen, die für die individuellen WEA berechnet werden.



**Technische Dokumentation**  
/  
**NORDEX acciona**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

# Allgemeine Dokumentation

## Schattenwurfmodul

**Rev. 06/01.04.2021**

Dokumentennr.:	K0815_051312_DE
Status:	Released
Sprache:	DE-Deutsch
Vertraulichkeit:	Nordex Internal Purpose

- Originaldokument -

Dokument wird elektronisch verteilt.

Original mit Unterschriften bei Nordex Energy SE & Co. KG, Department Engineering.

---

Dieses Dokument, einschließlich jeglicher Darstellung des Dokuments im Ganzen oder in Teilen, ist geistiges Eigentum der Nordex Energy SE & Co. KG. Sämtliche in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind ausschließlich für Mitarbeiter und Mitarbeiter von Partner- und Subunternehmen der Nordex Energy SE & Co. KG, der Nordex SE und ihrer im Sinne der §§15ff AktG verbundenen Unternehmen bestimmt und dürfen nicht (auch nicht in Auszügen) an Dritte weitergegeben werden.

Alle Rechte vorbehalten.

Jegliche Weitergabe, Vervielfältigung, Übersetzung oder sonstige Verwendung dieses Dokuments oder von Teilen desselben, gleich ob in gedruckter, handschriftlicher, elektronischer oder sonstiger Form, ohne ausdrückliche Zustimmung durch die Nordex Energy SE & Co. KG ist untersagt.

© 2021 Nordex Energy SE & Co. KG, Hamburg

Anschrift des Herstellers im Sinne der Maschinenrichtlinie:

Nordex Energy SE & Co. KG  
Langenhorner Chaussee 600  
22419 Hamburg  
Deutschland

Tel: +49 (0)40 300 30 - 1000

Fax: +49 (0)40 300 30 - 1101

info@nordex-online.com

<http://www.nordex-online.com>

## Gültigkeit

Anlagengeneration	Produktreihe	Produkt
Gamma	K08 Gamma	N90/2500 N100/2500 N117/2400
Delta	K08 Delta	N100/3300 N117/3000 N117/3000 controlled N117/3600 N131/3000 N131/3000 controlled N131/3300 N131/3600 N131/3900
Delta	Delta4000	N133/4.X, N149/4.X, N149/5.X, N163/5.X, N163/6.X

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Schattenwurfüberwachung</b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Funktionsweise</b> .....	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b>Protokollierung</b> .....	<b>6</b>
4.1	Konfiguration .....	6
4.2	Abschaltkalender .....	6
<b>5.</b>	<b>Hardwarekomponenten</b> .....	<b>6</b>
<b>6.</b>	<b>Zentraleinheit</b> .....	<b>6</b>
<b>7.</b>	<b>Lichtsensor</b> .....	<b>7</b>
<b>8.</b>	<b>Schnittstelle zu den Windenergieanlagen</b> .....	<b>7</b>

## 1. Einleitung

Der sich drehende Rotor einer Windenergieanlage verursacht bei Sonnenschein periodischen Schattenwurf. Dieser kann an umliegenden Gebäuden zu erheblichen Belästigungen führen und somit dazu beitragen, dass die Akzeptanz von Windenergieanlagen in der Bevölkerung beeinträchtigt wird. Um den Schutz der Anwohner von Windparks zu gewährleisten, werden durch die Immissionsschutzbehörden Auflagen erlassen, die die Schattenwurfdauer auf ein verträgliches Maß begrenzen. Dafür wird eine Überwachungseinrichtung gefordert, die bei Überschreitung der zulässigen Schattenwurfdauer die verursachende Windenergieanlage abschaltet. Das Schattenwurfmodul SWM-V4.0 bietet die technische Lösung zur Einhaltung der behördlichen Auflagen und protokolliert alle Schattenwurfereignisse in einer Logtabelle.

## 2. Schattenwurfüberwachung

Das Schattenwurfmodul SWM-V4.0 kann die Schattenwurfbelastung an bis zu 2000 Gebäuden (Immissionsorten) überwachen. Dabei können bis zu 100 Windenergieanlagen berücksichtigt werden. Für jedes Gebäude können eine tägliche und eine auf einen Jahreszeitraum bezogene zulässige Schattenwurfbelastung definiert werden. Bestimmte Wochentage (z. B. Samstag und Sonntag bei gewerblich genutzten Gebäuden) können bei der Schattenwurfüberwachung ausgeblendet werden. Bei der Überschreitung der maximal zulässigen Schattenwurfbelastung wird die verursachende Windenergieanlage für die Dauer des Schattenwurfs abgeschaltet. Alle Schattenwurfereignisse und Abschaltungen werden protokolliert.

## 3. Funktionsweise

Mit Hilfe eines Lichtsensors wird die Intensität des Sonnenlichtes in vier Richtungen gemessen. Auf Basis dieser Ergebnisse kann das Schattenwurfmodul beurteilen, ob bei den bestehenden Lichtverhältnissen grundsätzlich Schattenwurffeffekte auftreten können. Parallel dazu berechnet die Zentraleinheit fortwährend, ob eines der zu schützenden Gebäude aufgrund des aktuellen Sonnenstands vom Rotorschatten einer Windenergieanlage getroffen wird. Die Zentraleinheit prüft dabei, ob die Windenergieanlage überhaupt im Betrieb ist, und berücksichtigt, welche Position der Rotor zur Sonne hat. Wird an einem Gebäude eine Schattenwurfbelastung erkannt, werden die entsprechenden Tages- und Jahreszähler erhöht. Bei der Überschreitung der maximal zulässigen Schattenwurfbelastung wird die verursachende Windenergieanlage für die Dauer des Schattenwurfs abgeschaltet.

Die Windenergieanlage kann bei geringer Leistung auch abgeschaltet werden, obwohl noch keine Überschreitung der zulässigen Schattenwurfbelastung eingetreten ist. Dadurch kann das zur Verfügung stehende Jahresbudget für den leistungsstärkeren Betrieb der Windenergieanlage geschont werden. Die Leistungsgrenze, ab der eine vorzeitige Abschaltung erfolgen soll, kann für jede Windenergieanlage individuell eingestellt werden.

## 4. Protokollierung

### 4.1 Konfiguration

Die Konfiguration des Schattenwurfmoduls enthält alle projektspezifischen Daten. In ihr werden u. a. die Standorte und die Beschaffenheit der Windenergieanlagen und zu schützenden Gebäude hinterlegt und die maximal zulässige Beschattungsdauer definiert.

### 4.2 Abschaltkalender

Es kann ein Abschaltkalender generiert werden, um die Windenergieanlagen für einen bestimmten Zeitraum anzuhalten. Bei diesen Abschaltungen kann auch berücksichtigt werden, ob aufgrund der herrschenden Lichtverhältnisse Schattenwurf grundsätzlich möglich ist. Der Abschaltkalender kann bis zu 40000 Abschaltungen enthalten.

## 5. Hardwarekomponenten

Das Schattenwurfmodul SWM-V4.0 besteht aus einer Zentraleinheit und mindestens einem Lichtsensor, weitere sind möglich. Im Lichtsensor ist ein GPS-Modul integriert, welches für die Zeiterfassung und Positionsbestimmung der WEA genutzt wird. Der Lichtsensor wird auf einen Sensorhalter auf dem Maschinenhausdach montiert.

## 6. Zentraleinheit

Die Zentraleinheit des Schattenwurfmoduls SWM-V4.0 wird im Turmfuß der Windenergieanlage (Generation gamma) oder in der Gondel/Substation (Generation delta) montiert. Pro Windpark ist eine Zentraleinheit notwendig.

### Funktionen der Zentraleinheit

- Berechnung der Schattenwurfzeiten an den zu überwachenden Gebäuden
- Abfrage der Lichtsensoren
- Kommunikation mit den Windenergieanlagen im Windpark über eine Netzwerkschnittstelle
- Stoppen der verursachenden Windenergieanlage bei Überschreitung der zulässigen Schattenwurfbelastung
- Protokollierung aller Ereignisse und Abschaltungen von Windenergieanlagen

## **7. Lichtsensor**

Der Lichtsensor wird mit einem Halter auf dem Maschinenhausdach einer ausgewählten Windenergieanlage im Windpark installiert. Der Lichtsensor kommuniziert über das vorhandene Netzwerk mittels TCP/IP mit der Zentraleinheit des Schattenwurfmoduls. Es wird die direkte Beleuchtungsstärke des Sonnenlichts gemessen. Zusätzlich werden der Zentraleinheit Zeit- und Ortsdaten (über GPS-Empfänger) zur Verfügung gestellt.

## **8. Schnittstelle zu den Windenergieanlagen**

Die Zentraleinheit kommuniziert mit den Windenergieanlagen über eine Netzwerkschnittstelle. Diese arbeitet als Client bezogen auf die Serverschnittstellen, welche in der Betriebsführungssoftware-Software der Windenergieanlagen angesiedelt sind. Die WEA-Steuerung übergibt per LAN und Modbus-TCP-Daten-Protokoll alle relevanten Daten an die Zentraleinheit des SWM. Start/Stop-Befehle werden von der Zentraleinheit des SWM per LAN (Modbus TCP) an die einzelnen WEA übermittelt. Nach der Abfrage und Verarbeitung der Daten werden Stoppbefehle, Alarm- und andere Statusmeldungen an die einzelnen Windenergieanlagen übergeben.

---



## Literaturverzeichnis

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

---

## Literaturverzeichnis

1. **ISO 2813 / Beschichtungsstoffe-Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85° ISO 2813:2014 Deutsche Fassung EN ISO 2813:2014**
2. **Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen Aktualisierung 2019 (WEA- Schattenwurf-Hinweise); Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI); 23.01.2020**
3. **Meeus, Jean / „Astronomische Algorithmen“ / Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig-Berlin-Heidelberg; 2. Auflage 1994 (Kap. 24, Koordinaten der Sonne)**
4. **Dr. J. Pohl / Dr. F. Faul / Prof. Dr. R. Mausfeld: Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen / 1999**
5. **Dr. J. Pohl / Dr. F. Faul / Prof. Dr. R. Mausfeld: Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen / 2000**
6. **DIN / EN ISO/IEC 17025:2018: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien**
7. **OpenStreetMap Foundation: OpenStreetMap (OSM); <http://www.openstreetmap.org>**
8. **DAkKS - Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH: Akkreditierungs-Urkunde IEL GmbH; D-PL-11011-01-00; Berlin, Deutschland; 21.08.2020**
9. **Nielsen, P., P. Madsen, T. Sørensen, K. Bredelle, T. Sørensen, L. Svenningsen R. Funk und G. Potzka: windPRO WIKI; EMD International A/S, Aalborg, Dänemark; EMD Deutschland GbR, Kassel, Deutschland; 08/2017 [http://help.emd.dk/mediawiki/index.php?title=Handbuch\\_SHADOW](http://help.emd.dk/mediawiki/index.php?title=Handbuch_SHADOW)**
10. **U.S. Geological Survey (USGS): Shuttle radar topography mission (SRTM); [ita.cr.usgs.gov/SRTM](http://ita.cr.usgs.gov/SRTM)**
11. **Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); 08.10.2012**
12. **onmaps Online Kartendienst: geoGLIS GmbH & Co. KG / Eckernförde <https://onmaps.de>**