



**Berechnung  
der Rotorschattenwurfdauer  
für den Betrieb  
von drei Windenergieanlagen  
am Standort Aldenhoven-Pattern**

**Bericht-Nr. 3540-21-S6**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



# **Berechnung der Rotorschattenwurfdauer für den Betrieb von drei Windenergieanlagen am Standort Aldenhoven-Pattern**

Bericht-Nr.: 3540-21-S6

Auftraggeber: juwi AG  
Energie-Allee 1  
55286 Wörrstadt

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)

Prüfer: Alex Porjadinski (B.Eng.)  
(Projektbearbeiter Rotorschattenwurf)

Textteil: 20 Seiten (inkl. Deckblätter)  
Anhang: 24 Seiten (inkl. Deckblätter)  
Externer Anhang: 164 Seiten (CD-ROM)

Datum: 19. Februar 2021

### Auflistung der erstellten Berichte:

Berichtsnummer	Datum	Titel	Gegenstand / Inhaltliche Änderungen
3540-18-S4	09.02.2018	Rotorschattenwurf-berechnung	Erstgutachten für vier geplante Windenergieanlagen
3540-18-S5	28.09.2018	Rotorschattenwurf-berechnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geänderte Anlagengeometrie (hypothetischer Anlagentyp)</li> <li>• Standortverschiebungen</li> <li>• Aktualisierung der Vorbelastung</li> </ul> <p><i>Ersetzt Bericht Nr. 3540-18-S4</i></p>
3540-21-S6	19.02.2021	Rotorschattenwurf-berechnung	<p>Gutachten für drei geplante Windenergieanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• neuer Anlagentyp GE 5.5-158 / 120,9 m</li> <li>• Geänderte Anlagennummerierung</li> <li>• Standortverschiebungen</li> <li>• Wechsel des Berechnungsprogrammes</li> <li>• Höher aufgelöstes Geländemodell</li> </ul> <p><i>Ersetzt Bericht Nr. 3540-18-S5</i></p>

### 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.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Standortbeschreibung .....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Kartenmaterial und Koordinaten-Bezugssystem .....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Sonnenstandsrechnung, geometrische Hauptgrößen und Programmanforderungen .....</b>	<b>8</b>
4.1	Blatttiefe und Schattenreichweite.....	9
4.2	Kappungswinkel.....	10
4.3	Geometrie für WEA und IP .....	10
4.4	Gewächshausmodus .....	11
4.5	Hindernisse .....	11
4.6	Berechnungsjahr.....	11
4.7	Schattenwurfdauer (worst-case-Szenario).....	11
4.8	Modellgrenzen und Modellbeschreibung .....	12
<b>5.</b>	<b>Windenergieanlagen .....</b>	<b>12</b>
5.1	Geplante Windenergieanlagen (Zusatzbelastung).....	12
5.2	Schattenminderungsmaßnahmen des geplanten Anlagentyps.....	13
5.3	Weitere Windenergieanlagen (Vorbelastung) .....	14
<b>6.</b>	<b>Immissionspunkte.....</b>	<b>15</b>
<b>7.</b>	<b>Einschränkung der Schattenwurfdauer.....</b>	<b>16</b>
<b>8.</b>	<b>Orientierungswerte .....</b>	<b>16</b>
<b>9.</b>	<b>Berechnungsergebnisse und Beurteilung .....</b>	<b>16</b>
9.1	Berechnungsergebnisse .....	17
9.2	Beurteilung.....	18
<b>10.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>18</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>20</b>
<b>Externer Anhang / CD-ROM</b>	<b>.....</b>	<b>20</b>

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant am Standort Aldenhoven-Pattern die Errichtung und den Betrieb von drei Windenergieanlagen (WEA 01 bis WEA 03) des Anlagentyps GE 5.5-158 mit einer Nabenhöhe von 120,9 m und einem Rotordurchmesser von 158,0 m.

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.

Bei den Berechnungen werden insgesamt 21 weitere Windenergieanlagen (WEA 04 und WEA 05 sowie WEA 07 bis WEA 25) als Vorbelastung 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 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.

Die Berechnungen erfolgen mit dem Programm windPRO<sup>®</sup> Version 3.4.415. 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. Standortbeschreibung

Der Standort befindet sich im nordrhein-westfälischen Kreis Düren, auf dem Gebiet der Gemeinde Aldenhoven, nördlich der Fläche des Tagebaus „Inden“. Östlich grenzt das Gebiet der Stadt Jülich und westlich, das Gebiet der Stadt Eschweiler an.

Südwestlich des geplanten Standortes, auf dem Gebiet der Stadt Eschweiler, liegt der rechtskräftige Bebauungsplan 288 „Windpark Nördlich Fronhoven“ vor. Die hier in Betrieb befindlichen neun Windenergieanlagen sind in den nachfolgenden Berechnungen als Vorbelastung zu berücksichtigen.

Östlich des Standortes, auf dem Gebiet der Stadt Jülich, im bestandskräftigen Bebauungsplan A 45 (WKZ 20, südlich Bourheim) sind vier Windenergieanlagen genehmigt. Diese sind ebenfalls als Vorbelastung zu berücksichtigen.

Nördlich von Aldenhoven befinden sich acht Windenergieanlagen von unterschiedlichen Herstellern mit unterschiedlichen Nabenhöhen (WEA 18 bis WEA 25) in Betrieb bzw. in Planung, welche als Vorbelastung zu berücksichtigen sind.

Alle weiteren Windenergieanlagen, nördlich von Aldenhoven und westlich des Weilers Hausen (Stadt Eschweiler), bleiben aufgrund der großen Entfernung zu den für das aktuelle Projekt maßgeblichen Immissionspunkten bei den Berechnungen unberücksichtigt.

Die zu den geplanten Windenergieanlagen nächstgelegene relevante Bebauung befindet sich westlich bis nordnordwestlich der geplanten Windenergieanlagen, in der Stadt Aldenhoven, nördlich in dem Gewerbe- und Industriegebiet Aldenhoven-Ost sowie nordöstlich, in der Ortschaft Bourheim.

Die Immissionspunkte und Windenergieanlagen befinden sich auf Geländehöhen von ca. 98 - 131 m ü. NN. Zur Berücksichtigung der minimalen Höhenunterschiede wird ein digitales Geländemodell auf Grundlage frei verfügbarer Höhendaten (Quelle: Geobasis NRW DGM1 – 5 m Grid) berücksichtigt.

In der nachfolgenden Karte ist das Untersuchungsgebiet mit den berücksichtigten Windenergieanlagen dargestellt.

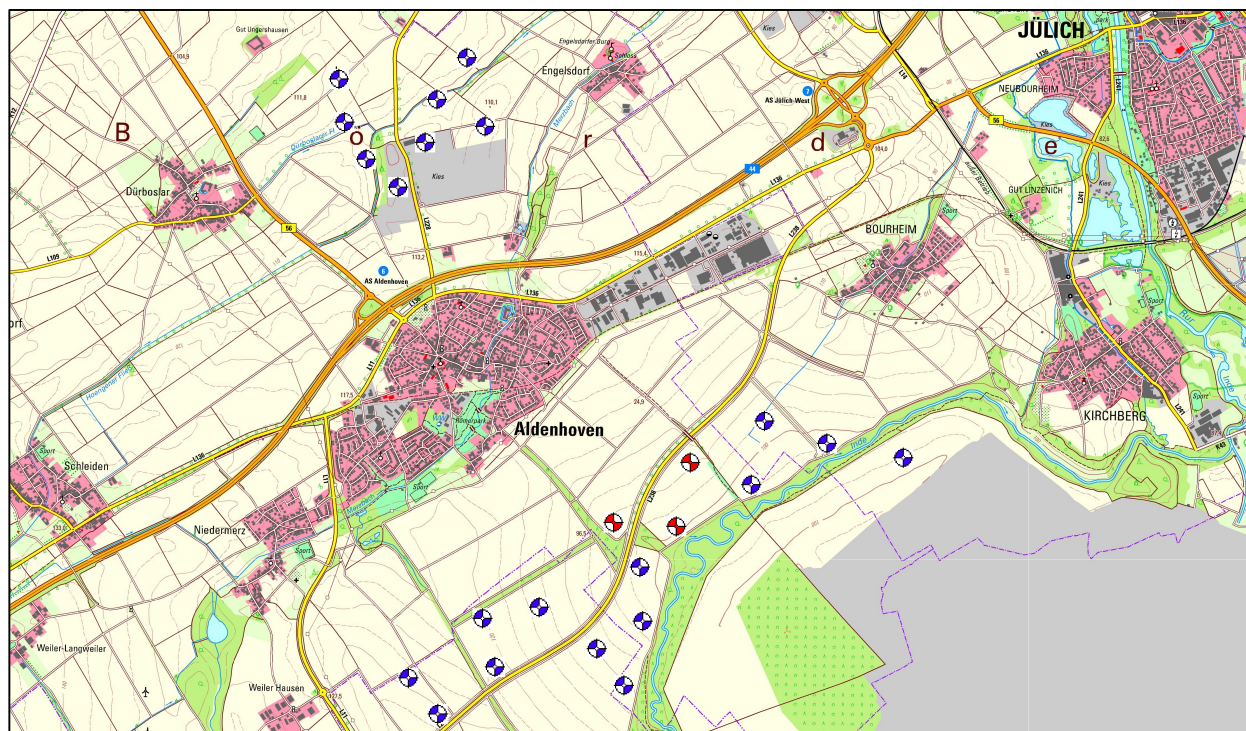


Abb. 1: Übersichtskarte (Weitere WEA = blau / Geplante WEA = rot)

Die letztmalige Standortbegehung wurde im September 2017 durch Mitarbeiter der IEL GmbH, durchgeführt. Für einen Teil der Immissionspunkte liegen Fotos vor; die Fotodokumentation der Immissionspunkte dient hier lediglich internen Zwecken.

### 3. Kartenmaterial und Koordinaten-Bezugssystem

Die Koordinaten der geplanten Windenergieanlagen wurden vom Auftraggeber im Koordinatensystem UTM ETRS89, Zone 32, zur Verfügung gestellt. Die Koordinaten der als Vorbelastung berücksichtigten Windenergieanlagen sind aus vorangegangenen Untersuchungen bekannt.

Die Koordinaten der untersuchten Immissionspunkte wurden dem Topographischen Informationsmanagement Nordrhein-Westfalen ([www.tim-online.nrw.de](http://www.tim-online.nrw.de)) entnommen. Eine detaillierte Beschreibung sowie die Auflistung der Koordinaten der untersuchten Immissionspunkte ist dem Kapitel 6 zu entnehmen. Das vorliegende amtliche Kartenmaterial (DTK 25) liegt im Koordinatensystem UTM ETRS89 vor und wurde ebenfalls von den Auftraggebern zur Verfügung gestellt. Als weiteres Kartenmaterial dienen digitale Karten des Portals OpenStreetMap (©OpenTopoMap (CC-BY-SA) (2019)).

#### 4. Sonnenstandsberechnung, geometrische Hauptgrößen und Programmanforderungen

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 Frühjahrs- 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  $h_s$  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.

#### 4.1 Blatttiefe und Schattenreichweite

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.

Der Rechenansatz geht von Leuchtdichteunterschieden und dem prozentualen Anteil der verdeckten Sonne aus. Dieser Anteil ergibt sich für einen Beobachtungspunkt aus der Entfernung zur WEA und aus der Blatttiefe. 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 2 (Kap. 5.1, 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  $\mathbf{SR}^2 \cdot \pi = 1.521.827.746.881 \text{ km}^2$  sowie
- $\alpha$  = Winkel zur Bestimmung des Flächenanteils.

## 4.2 Kappungswinkel

Für Sonnenstände unterhalb eines vertikalen Kappungswinkels von  $3^\circ$  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.

## 4.3 Geometrie für WEA und IP

In den Tabellen 3 und 4 (Windenergieanlagen) sowie Tabelle 5 (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,
$h_j$	= Höhe des Immissionspunktes ü. GOK,
IP	= Immissionspunkt und
$\Delta h$	= Höhendifferenz zw. Nabenhöhe der WEA und dem IP.

Die Geometriegrößen sind in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht.

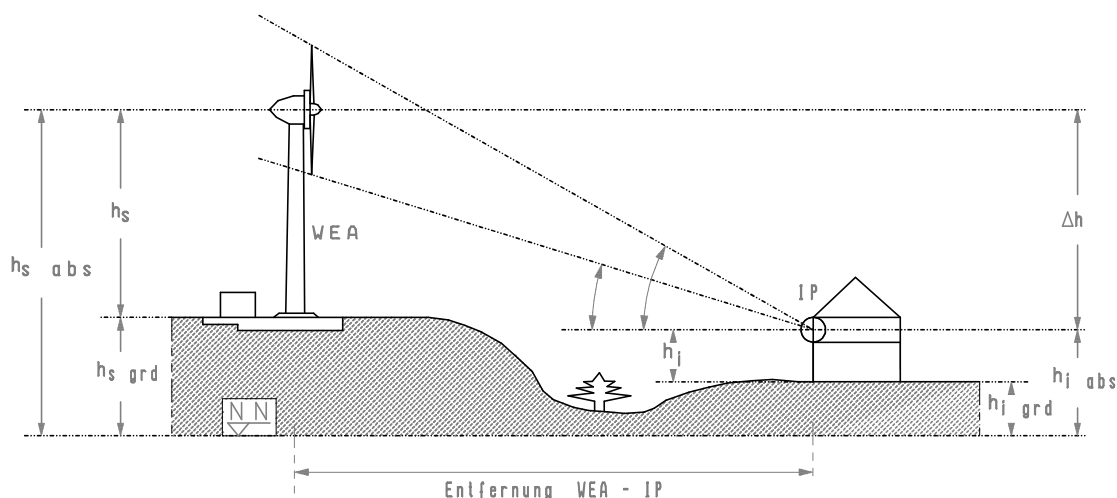


Abb. 2: Geometrische Verhältnisse, Vertikalschnitt

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

#### 4.4 Gewächshausmodus

Bei den Berechnungen wird von frei eingestrahelten 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 Immissionspunkte in der Realität meist nur zwei Seiten oder eine Seite mit Lichtöffnungen besitzen.

#### 4.5 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. Üblicherweise wird, wie im vorliegenden Fall, auf die Berücksichtigung von schattenmindernden Hindernissen verzichtet.

#### 4.6 Berechnungsjahr

Alle Zeitangaben werden 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.

#### 4.7 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. 4.3). Für einen IP, der weiter von einer WEA liegt, wird die Immissionsdauer durch die genannte Einschränkung [siehe Kapitel 4.1 (RSRW) und 4.2 (3°-Kappung)] in sehr geringem Maße unterschätzt. 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 Schattenwurfdauer in nicht unerheblichem Maß überschätzt.

#### 4.8 Modellgrenzen und Modellbeschreibung

Im vorliegenden Fall wird für die minimalen Höhenunterschiede im Umfeld der geplanten Windenergieanlagen ein digitales Geländemodell auf Grundlage frei verfügbarer Höhendaten (Quelle: Geobasis NRW / DGM1 - 5 m Grid) verwendet.

Die Windenergieanlagen und die zu berücksichtigenden Immissionspunkte befinden sich auf einem Höhenniveau von ca. 98 m bis ca. 131 m ü. NN.

Modellgrenzen für die flächendeckenden Berechnungen (6,5 x 4,2 km)				
RW (UTM / ETRS89 / Zone 32)	West:	307.400	Ost:	313.900
HW (UTM / ETRS89 / Zone 32)	Süd:	5.639.200	Nord:	5.643.400

Tabelle 1: Modellgrenzen für die flächendeckende Darstellung (UTM / ETRS89 / Zone 32)

### 5. Windenergieanlagen

Der Auftraggeber plant am Standort Aldenhoven-Pattern die Errichtung und den Betrieb von drei Windenergieanlagen (WEA 01 bis WEA 03) des Anlagentyps GE 5.5-158 mit einer Nabhöhe von 120,9 m und einem Rotordurchmesser von 158,0 m. Diese Windenergieanlagen gelten als Zusatzbelastung (ZB) und sind in Kap. 5.1 näher beschrieben.

Die Dokumentation der als Vorbelastung (VB) geltenden Windenergieanlagen (WEA 04 und WEA 05 sowie WEA 07 bis WEA 25) wird in Kap. 5.3 beschrieben. Das Zusammenwirken der Vor- und Zusatzbelastung führt zur Gesamtbelastung (GB).

Die Lage der berücksichtigten Windenergieanlagen ist der Übersichtskarte im Anhang zu entnehmen.

#### 5.1 Geplante Windenergieanlagen (Zusatzbelastung)

In Tabelle 2 sind die für die Schattenwurfberechnungen maßgeblichen technischen Angaben für den vom Auftraggeber geplanten Anlagentyp zusammengefasst.

Anlagentyp	Nabhöhe [m]	Rotor-durchmesser [m]	Max. Blatttiefe [m]	Blatttiefe bei 90% Rotorradius [m]	Rotorschatten-reichweite (RSRW) [m]
GE 5.5-158	120,9	158,0	4,00	1,35	1.819

Tabelle 2: Angenommene Angaben zum geplanten Anlagentyp

Die Koordinaten und Abmessungen der vom Auftraggeber geplanten WEA sind der nachfolgenden Tabelle 3 zu entnehmen.

Geplante Windenergieanlagen (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 01 (juwi)	GE 5.5-158	310.210	5.640.532	105,0	120,9	225,9	158,0
WEA 02 (juwi)	GE 5.5-158	310.675	5.640.511	100,6	120,9	221,5	158,0
WEA 03 (juwi)	GE 5.5-158	310.773	5.640.984	106,0	120,9	226,9	158,0

Tabelle 3: Daten der geplanten WEA, Koordinaten und Abmessungen

## 5.2 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 des Herstellers GE Wind Energy verwendet einen kompletten Datensatz von Koordinaten aller Windenergieanlagen und Immissionspunkte und berechnet die Abschaltzeiten selbstständig.

### 5.3 Weitere Windenergieanlagen (Vorbelastung)

Als Vorbelastung werden im vorliegenden Fall 21 weitere Windenergieanlagen berücksichtigt. Die Daten der zu berücksichtigenden Windenergieanlagen sind der nachfolgend aufgeführten Tabelle 4 zu entnehmen.

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				
WEA 04 (juwi)	GE 5.3-158	311.226	5.640.826	97,9	120,9	218,8	158,0
WEA 05 (juwi)	GE 5.3-158	311.317	5.641.299	102,0	120,9	222,9	158,0
WEA 07 (REA)	GE 5.5-158	311.782	5.641.140	98,1	120,9	219,0	158,0
WEA 08 (REA)	GE 5.5-158	312.349	5.641.041	97,5	120,9	218,4	158,0
WEA 09 (EF1)	SENVION 3.2M114	310.099	5.639.598	109,8	143,0	252,8	114,0
WEA 10 (EF2)	SENVION 3.2M114	309.667	5.639.900	113,8	143,0	256,8	114,0
WEA 11 (EF3)	SENVION 3.2M114	309.250	5.639.811	120,3	143,0	263,3	114,0
WEA 12 (EF4)	SENVION 3.2M114	309.345	5.639.454	121,5	143,0	264,5	114,0
WEA 13 (EF5)	SENVION 3.2M114	308.707	5.639.363	129,1	123,0	252,1	114,0
WEA 14 (EF6)	SENVION 3.2M114	308.927	5.639.100	130,8	123,0	253,8	114,0
WEA 15 (EF7)	SENVION 3.2M114	310.304	5.639.330	110,5	143,0	253,5	114,0
WEA 16 (EF8)	SENVION 3.2M114	310.436	5.639.806	103,9	143,0	246,9	114,0
WEA 17 (EF9)	SENVION 3.2M114	310.410	5.640.206	101,7	143,0	244,7	114,0
WEA 18	REpower MD 77	308.778	5.643.326	111,3	85,0	196,3	77,0
WEA 19	REpower MD 77	309.219	5.643.449	108,5	85,0	193,5	77,0
WEA 20	SENVION 3.2M114	308.133	5.643.785	108,8	123,0	231,8	114,0
WEA 21	SENVION 3.2M114	308.178	5.643.466	105,2	123,0	228,2	114,0
WEA 22	SENVION 3.2M114	308.860	5.643.644	100,0	123,0	223,0	114,0
WEA 23	SENVION 3.2M114	309.077	5.643.956	103,2	123,0	226,2	114,0
WEA 24	SENVION 3.2M114	308.581	5.642.992	111,0	123,0	234,0	114,0
WEA 25	SENVION 3.2M114	308.341	5.643.195	103,1	123,0	226,1	114,0

Tabelle 4: Daten der weiteren WEA, Koordinaten und Abmessungen

## 6. 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 berücksichtigten Immissionspunkte (IP) werden exemplarisch in Bereichen mit Überschreitungen der Orientierungswerte ausgewählt. Bei einer voraussichtlich erforderlichen Abschaltung muss davon ausgegangen werden, dass bei der Ermittlung der Abschaltzeiten eine Reihe zusätzlicher Immissionspunkte zu berücksichtigen sind.

Die Lage der Immissionspunkte ist in der anliegenden Übersichtskarte dargestellt. In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die Bezeichnungen und Koordinaten zusammengefasst. Die vertikale Lage wurde entsprechend der örtlichen Gegebenheiten für alle IP mit 2 m Höhe über Geländeoberkante (GOK) angesetzt.

IP-Nr.	Adresse	Ortslage	UTM ETRS89, Zone 32		h <sub>i</sub> grad [m]	h <sub>i</sub> [m]	h <sub>i</sub> abs [m]
			Rechtswert	Hochwert			
IP 01	Karl-Arnold-Ring 19a	Aldenhoven	308.479	5.640.803	116,1	2,0	118,1
IP 02	Am Roemerpark 9	Aldenhoven	308.761	5.640.881	112,7	2,0	114,7
IP 03	Am Schwanenkamp 49	Aldenhoven	308.987	5.641.077	112,5	2,0	114,5
IP 04	Auf der Komm 5	Aldenhoven	309.165	5.640.923	112,5	2,0	114,5
IP 05	Zehnthofstr. 18a	Aldenhoven	309.265	5.641.123	110,8	2,0	112,8
IP 06	Zehnthofstr. 28	Aldenhoven	309.409	5.641.253	112,5	2,0	114,5
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	Aldenhoven	309.348	5.641.353	112,2	2,0	114,2
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	Aldenhoven	309.544	5.641.351	114,6	2,0	116,6
IP 09	Fritz-Erler-Ring 82	Aldenhoven	309.463	5.641.467	114,9	2,0	116,9
IP 10	Im Duempel 17	Aldenhoven	309.347	5.641.547	111,8	2,0	113,8
IP 11	Breslauer Str. 12	Aldenhoven	309.730	5.641.522	115,0	2,0	117,0
IP 12	Bourheimer Weg 4	Aldenhoven	309.608	5.641.676	115,0	2,0	117,0
IP 13	Pestalozziring 104	Aldenhoven	309.893	5.641.749	117,2	2,0	119,2
IP 14	Ostring 27	Aldenhoven	310.005	5.641.884	117,5	2,0	119,5
IP 15	Ostring 10	Aldenhoven	309.915	5.642.041	116,7	2,0	118,7
IP 16	Industriestr. 5	Aldenhoven	310.083	5.642.022	117,5	2,0	119,5
IP 17	Industriestr. 4	Aldenhoven	310.260	5.642.206	116,8	2,0	118,8
IP 18	Industriestr. 21	Aldenhoven	310.478	5.642.262	115,7	2,0	117,7
IP 19	Zur Fuchskaul 42	Bourheim	311.903	5.642.229	103,7	2,0	105,7

Tabelle 5: Koordinaten der berücksichtigten Immissionspunkte

## 7. Einschränkung der Schattenwurfdauer

Die astronomisch mögliche Schattenwurfdauer (worst-case) wird nur unter der Voraussetzung erreicht, dass die Sonne nie durch Bewölkung verdeckt wird.

Steht der Rotor, bedingt durch die jeweils vorherrschende Windrichtung, schräg zum Einstrahlwinkel, so wird der Schattenbereich schmaler. Im statistischen Mittel führen diese Rotorschrägstellungen zu einer Reduzierung der Schattenwurfzeiten um ca. 20 - 30 %, wenn der in Bezug auf die Windrichtungsverteilung ungünstigste Immissionspunkt gewählt wird. Dieser Einfluss wird jedoch vernachlässigt und führt zu einer konservativen Betrachtung.

Beide Voraussetzungen werden in der Praxis jedoch nur in ca. 25 bis 35 % der astronomisch möglichen Schattenwurfzeiten erfüllt.

## 8. Orientierungswerte

Störwirkungen werden personenbezogen mehr oder weniger stark empfunden, weshalb Orientierungswerte auf einen normal empfindenden und der Störquelle gegenüber nicht negativ eingestellten Menschen abgestimmt sind.

Zur Bestimmung von tragbaren Immissionsgrenzen hat ein vom Staatlichen Umweltamt Schleswig initiiertes Arbeitskreis zu diesem Thema umfangreiche Studien 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 zumeist unverändert so erlassen wurden.

Die hier herangezogenen Orientierungswerte von maximal **30 Stunden pro Jahr (worst-case)** (vgl. Kap. 4.7) 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 6) zur Anwendung.

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



## 9. Berechnungsergebnisse 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). Für größere Fensterfronten, die einem Raum zugeordnet sind, kann sich die Schattenwurfdauer u. U. erhöhen.

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

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 Schattenwurfdauer 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.

### 9.1 Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle sowie in den Listen des Anhangs zusammengefasst. Bei der Überschreitung von Orientierungswerten sind die Ergebnisse 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	Karl-Arnold-Ring 19a	26:21	00:23	04:32	00:18	30:53	00:23
IP 02	Am Roemerpark 9	18:47	00:22	07:37	00:24	26:24	00:24
IP 03	Am Schwanenkamp 49	04:47	00:17	19:43	00:34	24:30	00:34
IP 04	Auf der Komm 5	13:35	00:19	27:43	00:44	41:18	00:44
IP 05	Zehnthofstr. 18a	08:17	00:19	34:12	00:39	42:29	00:39
IP 06	Zehnthofstr. 28	17:02	00:20	47:57	00:36	59:46	00:37
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	15:22	00:19	44:21	00:33	52:06	00:33
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	16:01	00:18	61:34	00:38	65:59	00:38
IP 09	Fritz-Erler-Ring 82	02:24	00:10	46:36	00:33	46:36	00:33
IP 10	Im Duempel 17	03:58	00:12	41:07	00:30	41:07	00:30
IP 11	Breslauer Str. 12	11:29	00:21	40:08	00:32	47:11	00:37
IP 12	Bourheimer Weg 4	04:33	00:18	30:01	00:28	34:34	00:28
IP 13	Pestalozziring 104	14:19	00:23	23:19	00:33	37:30	00:45
IP 14	Ostring 27	18:10	00:25	32:28	00:34	50:38	00:40
IP 15	Ostring 10	23:08	00:22	19:51	00:29	42:59	00:31
IP 16	Industriestr. 5	25:09	00:25	07:12	00:20	32:21	00:34
IP 17	Industriestr. 4	14:40	00:27	-/-	-/-	14:40	00:27
IP 18	Industriestr. 21	36:18	00:33	-/-	-/-	36:18	00:33
IP 19	Zur Fuchskaul 42	01:37	00:10	07:53	00:19	09:30	00:29

Tabelle 6: Astronomisch mögliche Schattenwurfdauer

Detailliertere Ergebnisse der Vor-, Zusatz- und Gesamtbelastung können den Listen des Anhangs bzw. dem externen Anhang (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 6 aufgeführten astronomisch möglichen Rotorschattenwurfzeiten (worst-case) die auf Grundlage statistischer Langzeitdaten ermittelten meteorologisch wahrscheinlichen Rotorschattenwurfzeiten (h/a) zu entnehmen. Diese sind jedoch nicht als Grundlage für eine Rotorschattenwurf-Regelung heranzuziehen.

## 9.2 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 aus Tabelle 6 zeigen, dass die vom Auftraggeber geplanten drei WEA an den Immissionspunkten IP 17 und IP 18 keinen Rotorschattenwurf verursachen. Die Überschreitung der Orientierungswerte am IP 18 entstammt der Vorbelastung.

An den Immissionspunkten IP 01 und IP 03 bis IP 16 werden die zulässigen Orientierungswerte durch die Zusatzbelastung überschritten bzw. die Vorbelastung so weit angehoben, dass die Orientierungswerte überschritten werden. 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.

Wir empfehlen eine Genehmigung mit der Maßgabe von Auflagen zu erteilen. Dabei sind für die geplanten WEA entsprechende technische Einrichtungen bzw. Rotorschattenwurfmodule zur Einhaltung der Orientierungswerte vorzusehen.

### **Hinweis:**

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

## 10. Zusammenfassung

Der Auftraggeber plant am Standort Aldenhoven-Pattern die Errichtung und den Betrieb von drei Windenergieanlagen (WEA 01 bis WEA 03 / juwi AG) des Anlagentyps GE 5.5-158 mit einer Nabenhöhe von 120,9 m und einem Rotordurchmesser von 158,0 m.

Aufgabe des vorliegenden Berichts war die Untersuchung der Zeitpunkte, der Dauer sowie der Zulässigkeit möglicher Beeinträchtigungen durch Rotorschattenwurf (worst-case), welche durch den Betrieb der drehenden Rotoren an maßgeblichen Immissionspunkten (IP) verursacht werden.

Die Berechnungsergebnisse aus Tabelle 6 zeigen, dass die vom Auftraggeber geplanten drei WEA an den Immissionspunkten IP 17 und IP 18 keinen Rotorschattenwurf verursachen. Die Überschreitung der Orientierungswerte am IP 18 entstammt der Vorbelastung.

An den Immissionspunkten IP 01 und IP 03 bis IP 16 werden die zulässigen Orientierungswerte durch die Zusatzbelastung überschritten bzw. die Vorbelastung so weit angehoben, dass die Orientierungswerte überschritten werden. 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.

Wir empfehlen eine Genehmigung mit der Maßgabe von Auflagen zu erteilen. Dabei sind für die geplanten WEA entsprechende technische Einrichtungen bzw. Rotorschattenwurfmodule zur Einhaltung der Orientierungswerte vorzusehen.

Je nach festgelegten Orientierungswerten (worst-case bzw. reale Schattenwurfdauer) und Spezifikation des Abschaltmoduls sind weitere Nachweise (Erstellung eines Abschaltzeitenkalenders vor Inbetriebnahme bzw. Betriebsprotokolle nach Inbetriebnahme) erforderlich.

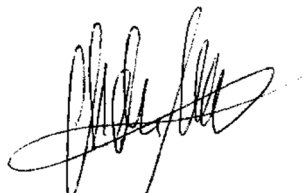
Hinweis: Für den vorliegenden Bericht wurden die berücksichtigten Immissionspunkte exemplarisch ausgewählt. Bei der Realisierung der Windenergieanlagen müssen in einer später zu ermittelnden Rotorschattenwurf-Regelung alle Immissionspunkte, an welchen mit Überschreitungen der Orientierungswerte zu rechnen ist, berücksichtigt werden.

Unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Vermeidungseinrichtung ist das Vorhaben aus gutachterlicher Sicht genehmigungsfähig.

Der vorliegende Bericht zur Rotorschattenwurfberechnung umfasst 20 Textseiten und die im Anhangsverzeichnis aufgeführten Karten, Diagramme und Listen. Er darf nur in seiner Gesamtheit verwendet werden.

Aurich, 19. Februar 2021

Bericht verfasst durch



Ralf-Martin Marksfeldt  
(Stellvertretender Leiter Rotorschattenwurf)

Geprüft und freigegeben durch



Alex Porjadinski (B. Eng.)  
(Projektbearbeiter 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 (2 Seiten)

### **Berechnungsergebnisse / Zusatzbelastung**

Shadow - Hauptergebnis (2 Seiten)

### **Berechnungsergebnisse / Gesamtbelastung**

Shadow - Hauptergebnis (3 Seiten)

### **Technische Beschreibung / GE Windenergieanlagen**

Vermeidung von Schattenwurf

Planning\_and\_Building\_Permission\_Generic-xxHz\_ShadowCasting\_GE\_r01 (5 Seiten)

### **Literaturverzeichnis (1 Seite)**

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

#### **Berechnungsergebnisse / Vorbelastung**

Shadow - Kalender IP (35 Seiten)

Shadow - Kalender WEA (23 Seiten)

#### **Berechnungsergebnisse / Zusatzbelastung**

Shadow - Kalender IP (34 Seiten)

Shadow - Kalender WEA (6 Seiten)

#### **Berechnungsergebnisse / Gesamtbelastung**

Shadow - Kalender IP (37 Seiten)

Shadow - Kalender WEA (29 Seiten)

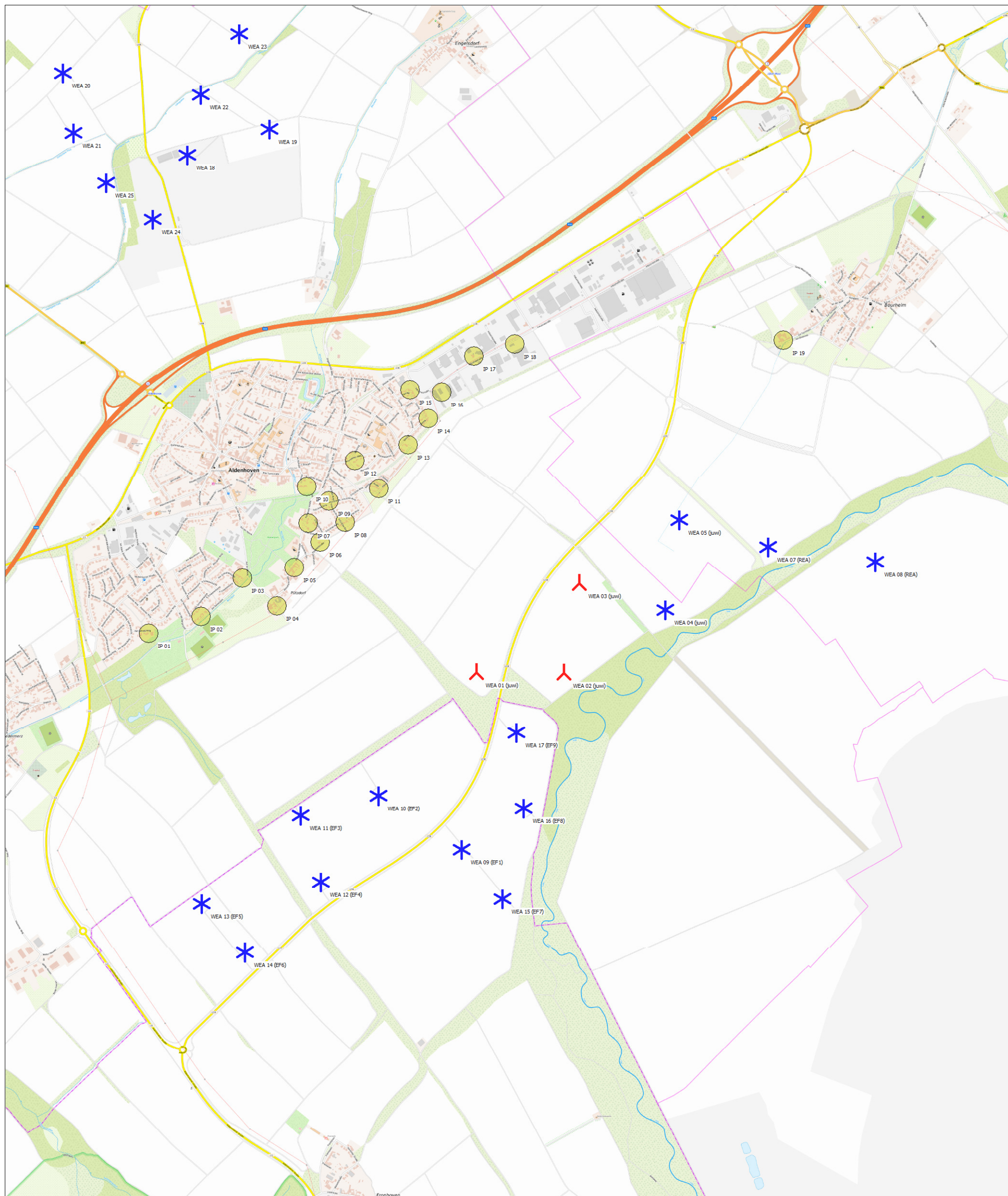


## Übersichtskarte

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

## BASIS - Karte

Berechnung: Übersichtskarte



0 250 500 750 1000m

Karte: TopPlusOpen , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 310.500 Nord: 5.641.000

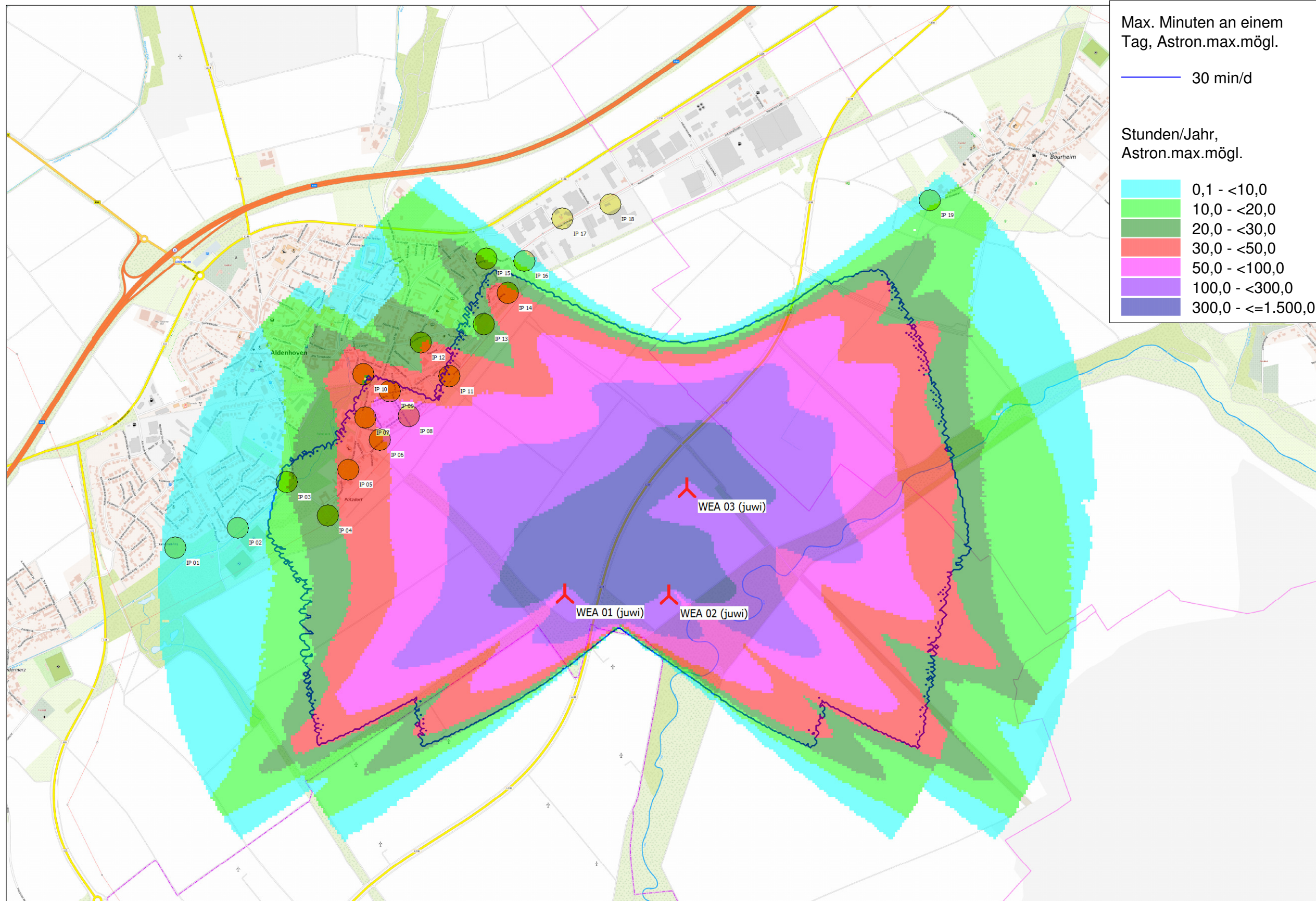
▲ Neue WEA     
 ✱ Existierende WEA     
 ● Schattenrezeptor



**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

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

Lizenziertes Anwender:  
**IEL GmbH**  
 Kirchdorfer Straße 26  
 DE-26603 Aurich  
 +49 4941 9558 0  
 RMM / mail@iel-gmbh.de  
 Berechnet:  
 18.02.2021 09:01/3.4.415

Neue WEA

Schattenrezeptor

Karte: TopPlusOpen , Maßstab 1:17.500, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 310.750 Nord: 5.641.250

Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: DGM\_3540.wpo (1)

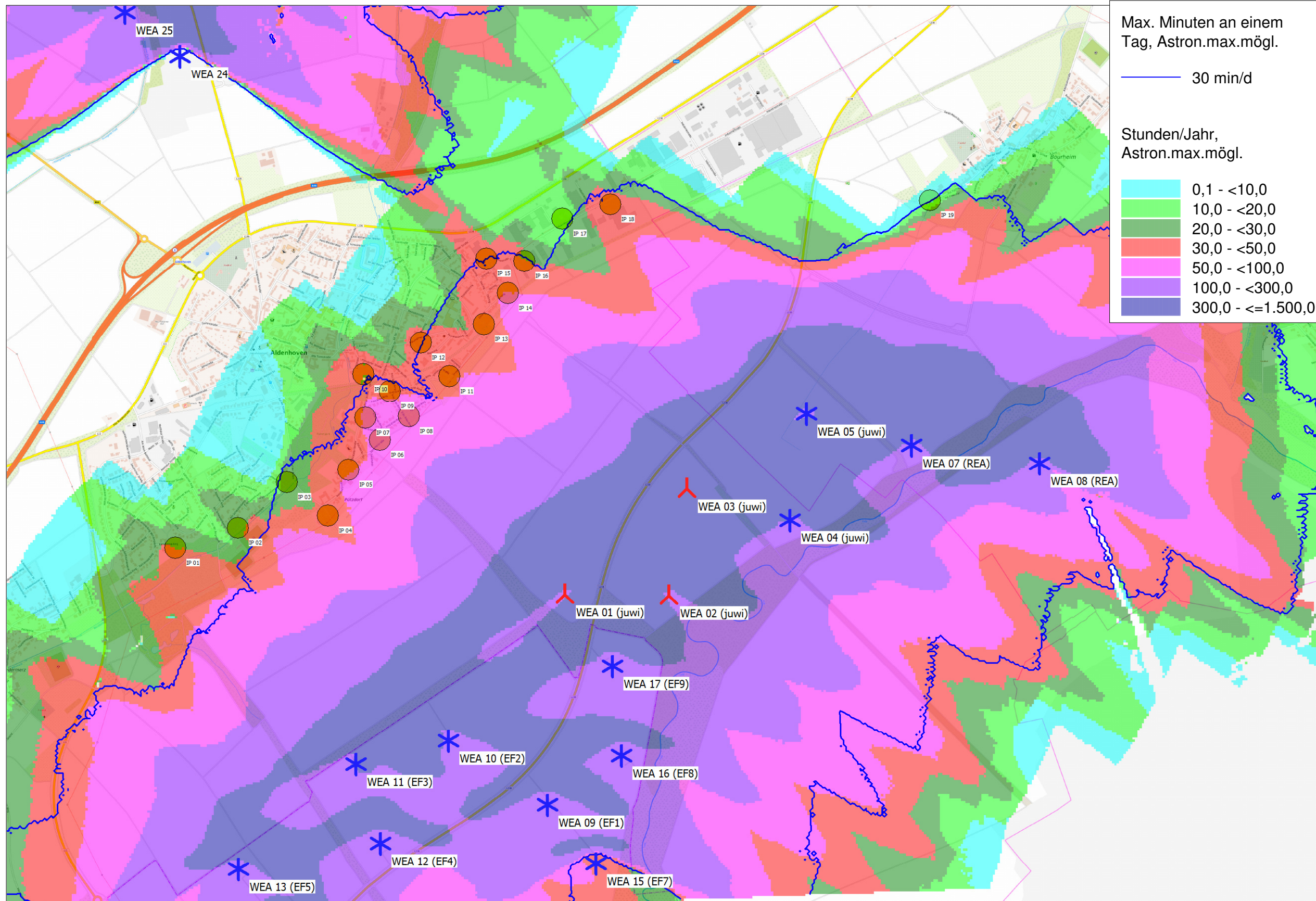




**Flächendeckende Darstellung  
„Gesamtbelastung“**

**„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

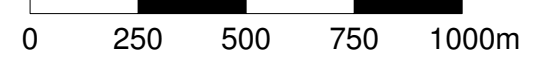
Lizenziertes Anwender:  
**IEL GmbH**  
 Kirchdorfer Straße 26  
 DE-26603 Aurich  
 +49 4941 9558 0  
 RMM / mail@iel-gmbh.de  
 Berechnet:  
 18.02.2021 08:55/3.4.415

Karte: TopPlusOpen , Maßstab 1:17.500, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 310.750 Nord: 5.641.250  
 Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: DGM\_3540.wpo (1)

▲ Neue WEA

\* Existierende WEA

● Schattenrezeptor





## **Berechnungsergebnisse**

### **Vorbelastung**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Vorbelastung Hauptergebnis und Listen Voraussetzungen für Berechnung des Schattenwurfs

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) [MAASTRICHT]  
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez  
1,51 2,65 3,12 4,87 6,15 5,31 5,98 5,61 4,34 3,29 2,18 1,10

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:  
EMD-WRF Europe+ (ERA5)\_N50,878654\_E006,320496 (15)

Betriebsdauer je Sektor  
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe  
379 351 341 493 784 378 337 897 1.924 1.032 581 431 7.929  
Startwindgeschwindigkeit: Startwindgeschw. aus Leistungskennlinie

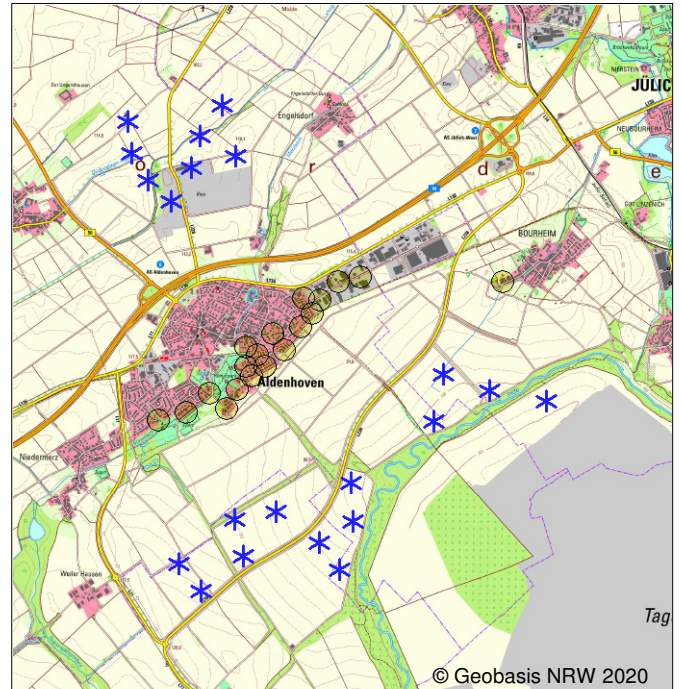
Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der  
Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf  
den folgenden Annahmen:

Verwendete Höhenlinien: Höhenlinien: DGM\_3540.wpo (1)  
Hindernisse in Berechnung nicht verwendet  
Berechnungshöhe ü.Gr. für Karte: 1,5 m  
Rasterauflösung: 1,0 m

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

### 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]
WEA 04 (juwi)	311.226	5.640.826	97,9	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_GE 5.3-158-5.300	5.300	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 05 (juwi)	311.317	5.641.299	102,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_GE 5.3-158-5.300	5.300	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 07 (REA)	311.782	5.641.140	98,1	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 08 (REA)	312.349	5.641.041	97,5	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	_5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 09 (EF1)	310.099	5.639.598	109,8	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 10 (EF2)	309.667	5.639.900	113,8	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 11 (EF3)	309.250	5.639.811	120,3	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 12 (EF4)	309.345	5.639.454	121,5	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 13 (EF5)	308.707	5.639.363	129,1	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 14 (EF6)	308.927	5.639.100	130,8	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 15 (EF7)	310.304	5.639.330	110,5	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 16 (EF8)	310.436	5.639.806	103,9	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 17 (EF9)	310.410	5.640.206	101,7	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 18	308.778	5.643.326	111,3	REpower	_MD ... Ja	REpower	_MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
WEA 19	309.219	5.643.449	108,5	REpower	_MD ... Ja	REpower	_MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
WEA 20	308.133	5.643.785	108,8	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 21	308.178	5.643.466	105,2	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 22	308.860	5.643.644	100,0	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 23	309.077	5.643.956	103,2	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 24	308.581	5.642.992	111,0	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 25	308.341	5.643.195	103,1	SENVION	3.... Ja	SENVION	_3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0



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]	[°]		[m]
IP 01	Karl-Arnold-Ring 19a	308.479	5.640.803	116,1	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 02	Am Roemerpark 9	308.761	5.640.881	112,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 03	Am Schwanenkamp 49	308.987	5.641.077	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 04	Aud der Komm 5	309.165	5.640.923	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 05	Zehnthofstr. 18a	309.265	5.641.123	110,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 06	Zehnthofstr. 28	309.409	5.641.253	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	309.348	5.641.353	112,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	309.544	5.641.351	114,6	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

(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 09	Fritz-Erler-Ring 82	309.463	5.641.467	114,9	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 10	Im Duempel 17	309.347	5.641.547	111,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 11	Breslauer Str. 12	309.730	5.641.522	115,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 12	Bourheimer Weg 4	309.608	5.641.676	115,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 13	Pestalozziring 104	309.893	5.641.749	117,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 14	Ostring 27	310.005	5.641.884	117,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 15	Ostring 10	309.915	5.642.041	116,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 16	Industriestr. 5	310.083	5.642.022	117,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 17	Industriestr. 4	310.260	5.642.206	116,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 18	Industriestr. 21	310.478	5.642.262	115,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 19	Zur Fuchskaul 42	311.903	5.642.229	103,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

## Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

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 01	Karl-Arnold-Ring 19a	26:21	88	0:23	2:17	
IP 02	Am Roemerpark 9	18:47	70	0:22	1:32	
IP 03	Am Schwanenkamp 49	4:47	25	0:17	0:40	
IP 04	Aud der Komm 5	13:35	61	0:19	1:39	
IP 05	Zehnthofstr. 18a	8:17	34	0:19	0:54	
IP 06	Zehnthofstr. 28	17:02	66	0:20	1:21	
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	15:22	58	0:19	1:09	
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	16:01	77	0:18	1:57	
IP 09	Fritz-Erler-Ring 82	2:24	18	0:10	0:09	
IP 10	Im Duempel 17	3:58	24	0:12	0:15	
IP 11	Breslauer Str. 12	11:29	52	0:21	1:55	
IP 12	Bourheimer Weg 4	4:33	24	0:18	0:45	
IP 13	Pestalozziring 104	14:19	61	0:23	2:00	
IP 14	Ostring 27	18:10	76	0:25	2:15	
IP 15	Ostring 10	23:08	119	0:22	3:06	
IP 16	Industriestr. 5	25:09	92	0:25	2:30	
IP 17	Industriestr. 4	14:40	53	0:27	1:30	
IP 18	Industriestr. 21	36:18	79	0:33	2:58	
IP 19	Zur Fuchskaul 42	1:37	12	0:10	0:08	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
WEA 04 (juwi)	GE WIND ENERGY __GE 5.3-158 5300 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (1)	42:53	4:37
WEA 05 (juwi)	GE WIND ENERGY __GE 5.3-158 5300 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (2)	84:02	10:13
WEA 07 (REA)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (3)	8:11	0:49
WEA 08 (REA)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (4)	0:00	0:00
WEA 09 (EF1)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (5)	0:00	0:00
WEA 10 (EF2)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (6)	26:15	2:24
WEA 11 (EF3)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (7)	18:53	1:25
WEA 12 (EF4)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (8)	0:00	0:00
WEA 13 (EF5)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (9)	0:00	0:00
WEA 14 (EF6)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (10)	0:00	0:00
WEA 15 (EF7)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (11)	0:00	0:00
WEA 16 (EF8)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (12)	6:58	0:41
WEA 17 (EF9)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (13)	45:16	4:15
WEA 18	REpower __MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (14)	0:00	0:00
WEA 19	REpower __MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (15)	0:00	0:00
WEA 20	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (16)	0:00	0:00
WEA 21	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (17)	0:00	0:00
WEA 22	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (18)	0:00	0:00
WEA 23	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (19)	0:00	0:00
WEA 24	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (20)	7:42	1:17
WEA 25	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (21)	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.



## **Berechnungsergebnisse Zusatzbelastung**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Zusatzbelastung Hauptergebnis und Listen Voraussetzungen für Berechnung des Schattenwurfs

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) [MAASTRICHT]  
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez  
1,51 2,65 3,12 4,87 6,15 5,31 5,98 5,61 4,34 3,29 2,18 1,10

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:  
EMD-WRF Europe+ (ERA5)\_N50,878654\_E006,320496 (15)

Betriebsdauer je Sektor  
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe  
389 360 349 506 804 388 346 920 1.973 1.059 596 442 8.129  
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: Höhenlinien: DGM\_3540.wpo (1)  
Hindernisse in Berechnung nicht verwendet  
Berechnungshöhe ü.Gr. für Karte: 1,5 m  
Rasterauflösung: 1,0 m

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

### 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]
WEA 01 (juwi)	310.210	5.640.532	105,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 02 (juwi)	310.675	5.640.511	100,6	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 03 (juwi)	310.773	5.640.984	106,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0



Maßstab 1:50.000

Neue 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]	[°]		[m]
IP 01	Karl-Arnold-Ring 19a	308.479	5.640.803	116,1	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 02	Am Roemerpark 9	308.761	5.640.881	112,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 03	Am Schwanenkamp 49	308.987	5.641.077	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 04	Aud der Komm 5	309.165	5.640.923	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 05	Zehnthofstr. 18a	309.265	5.641.123	110,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 06	Zehnthofstr. 28	309.409	5.641.253	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	309.348	5.641.353	112,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	309.544	5.641.351	114,6	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 09	Fritz-Erler-Ring 82	309.463	5.641.467	114,9	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 10	Im Duempel 17	309.347	5.641.547	111,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 11	Breslauer Str. 12	309.730	5.641.522	115,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 12	Bourheimer Weg 4	309.608	5.641.676	115,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 13	Pestalozziring 104	309.893	5.641.749	117,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 14	Ostring 27	310.005	5.641.884	117,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 15	Ostring 10	309.915	5.642.041	116,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 16	Industriestr. 5	310.083	5.642.022	117,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 17	Industriestr. 4	310.260	5.642.206	116,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 18	Industriestr. 21	310.478	5.642.262	115,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 19	Zur Fuchskaul 42	311.903	5.642.229	103,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

## SHADOW - Hauptergebnis

**Berechnung:** Zusatzbelastung Hauptergebnis und Listen

### Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

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 01	Karl-Arnold-Ring 19a	4:32	23	0:18	0:49	
IP 02	Am Roemerpark 9	7:37	30	0:24	1:17	
IP 03	Am Schwanenkamp 49	19:43	66	0:34	3:17	
IP 04	Aud der Komm 5	27:43	72	0:44	4:50	
IP 05	Zehnthofstr. 18a	34:12	91	0:39	5:22	
IP 06	Zehnthofstr. 28	47:57	130	0:36	6:01	
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	44:21	142	0:33	5:02	
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	61:34	138	0:38	6:19	
IP 09	Fritz-Erler-Ring 82	46:36	126	0:33	4:39	
IP 10	Im Duempel 17	41:07	122	0:30	4:01	
IP 11	Breslauer Str. 12	40:08	109	0:32	4:18	
IP 12	Bourheimer Weg 4	30:01	94	0:28	3:03	
IP 13	Pestalozziring 104	23:19	66	0:33	2:29	
IP 14	Ostring 27	32:28	66	0:34	2:35	
IP 15	Ostring 10	19:51	50	0:29	1:28	
IP 16	Industriestr. 5	7:12	28	0:20	0:30	
IP 17	Industriestr. 4	0:00	0	0:00	0:00	
IP 18	Industriestr. 21	0:00	0	0:00	0:00	
IP 19	Zur Fuchskaul 42	7:53	32	0:19	0:44	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name		Maximal	Erwartet
			[h/a]	[h/a]
WEA 01 (juwi)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (1)		125:54	14:52
WEA 02 (juwi)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (2)		65:10	7:45
WEA 03 (juwi)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (3)		132:33	16:53

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 Voraussetzungen für Berechnung des Schattenwurfs

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) [MAASTRICHT]  
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez  
1,51 2,65 3,12 4,87 6,15 5,31 5,98 5,61 4,34 3,29 2,18 1,10

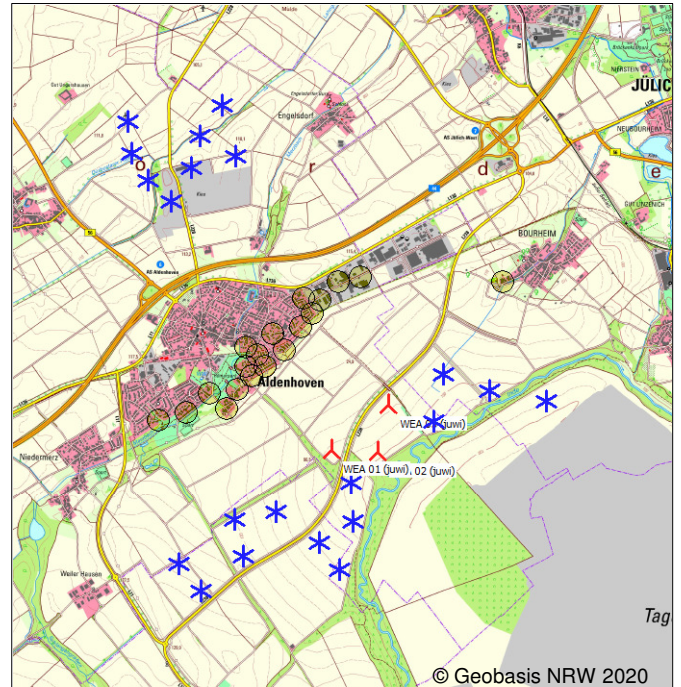
Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:  
EMD-WRF Europe+ (ERA5)\_N50,878654\_E006,320496 (15)

Betriebsdauer je Sektor  
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe  
380 352 342 495 786 379 338 900 1.930 1.036 583 432 7.954  
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: Höhenlinien: DGM\_3540.wpo (1)  
Hindernisse in Berechnung nicht verwendet  
Berechnungshöhe ü.Gr. für Karte: 1,5 m  
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]
WEA 01 (juwi)	310.210	5.640.532	105,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 02 (juwi)	310.675	5.640.511	100,6	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 03 (juwi)	310.773	5.640.984	106,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 04 (juwi)	311.226	5.640.826	97,9	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	GE 5.3-158-5.300	5.300	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 05 (juwi)	311.317	5.641.299	102,0	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	GE 5.3-158-5.300	5.300	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 07 (REA)	311.782	5.641.140	98,1	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 08 (REA)	312.349	5.641.041	97,5	GE WIND ENE...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158 Thrust 700-5.500	5.500	158,0	120,9	1.819	0,0
WEA 09 (EF1)	310.099	5.639.598	109,8	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 10 (EF2)	309.667	5.639.900	113,8	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 11 (EF3)	309.250	5.639.811	120,3	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 12 (EF4)	309.345	5.639.454	121,5	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 13 (EF5)	308.707	5.639.363	129,1	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 14 (EF6)	308.927	5.639.100	130,8	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 15 (EF7)	310.304	5.639.330	110,5	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 16 (EF8)	310.436	5.639.806	103,9	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 17 (EF9)	310.410	5.640.206	101,7	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	143,0	1.749	12,0
WEA 18	308.778	5.643.326	111,3	REpower_MD	Ja	REpower	_MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
WEA 19	309.219	5.643.449	108,5	REpower_MD	Ja	REpower	_MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
WEA 20	308.133	5.643.785	108,8	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 21	308.178	5.643.466	105,2	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 22	308.860	5.643.644	100,0	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 23	309.077	5.643.956	103,2	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 24	308.581	5.642.992	111,0	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0
WEA 25	308.341	5.643.195	103,1	SENVION_3...	Ja	SENVION	3.2M114-3.200	3.200	114,0	123,0	1.750	12,0

### 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]
IP 01	Karl-Arnold-Ring 19a	308.479	5.640.803	116,1	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 02	Am Roemerpark 9	308.761	5.640.881	112,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 03	Am Schwanenkamp 49	308.987	5.641.077	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 04	Aud der Komm 5	309.165	5.640.923	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

(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]	[°]		[m]
IP 05	Zehnthofstr. 18a	309.265	5.641.123	110,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 06	Zehnthofstr. 28	309.409	5.641.253	112,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	309.348	5.641.353	112,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	309.544	5.641.351	114,6	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 09	Fritz-Erler-Ring 82	309.463	5.641.467	114,9	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 10	Im Duempel 17	309.347	5.641.547	111,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 11	Breslauer Str. 12	309.730	5.641.522	115,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 12	Bourheimer Weg 4	309.608	5.641.676	115,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 13	Pestalozziring 104	309.893	5.641.749	117,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 14	Ostring 27	310.005	5.641.884	117,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 15	Ostring 10	309.915	5.642.041	116,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 16	Industriestr. 5	310.083	5.642.022	117,5	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 17	Industriestr. 4	310.260	5.642.206	116,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 18	Industriestr. 21	310.478	5.642.262	115,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 19	Zur Fuchskaul 42	311.903	5.642.229	103,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

### 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	Karl-Arnold-Ring 19a	30:53	111	0:23	3:03	
IP 02	Am Roemerpark 9	26:24	100	0:24	2:44	
IP 03	Am Schwanenkamp 49	24:30	88	0:34	3:53	
IP 04	Aud der Komm 5	41:18	132	0:44	6:22	
IP 05	Zehnthofstr. 18a	42:29	111	0:39	6:09	
IP 06	Zehnthofstr. 28	59:46	154	0:37	6:43	
IP 07	Puetzdorfer Str. 41	52:06	142	0:33	5:28	
IP 08	Fritz-Erler-Ring 20	65:59	161	0:38	6:59	
IP 09	Fritz-Erler-Ring 82	46:36	126	0:33	4:34	
IP 10	Im Duempel 17	41:07	122	0:30	3:56	
IP 11	Breslauer Str. 12	47:11	135	0:37	5:24	
IP 12	Bourheimer Weg 4	34:34	118	0:28	3:44	
IP 13	Pestalozziring 104	37:30	99	0:45	4:25	
IP 14	Ostring 27	50:38	112	0:40	4:46	
IP 15	Ostring 10	42:59	141	0:31	4:31	
IP 16	Industriestr. 5	32:21	92	0:34	3:00	
IP 17	Industriestr. 4	14:40	53	0:27	1:30	
IP 18	Industriestr. 21	36:18	79	0:33	2:58	
IP 19	Zur Fuchskaul 42	9:30	32	0:29	0:52	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
WEA 01 (juwi)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (1)	125:54	14:33
WEA 02 (juwi)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (2)	65:10	7:35
WEA 03 (juwi)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (3)	132:33	16:31
WEA 04 (juwi)	GE WIND ENERGY __GE 5.3-158 5300 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (1)	42:53	4:38
WEA 05 (juwi)	GE WIND ENERGY __GE 5.3-158 5300 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (2)	84:02	10:15
WEA 07 (REA)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (3)	8:11	0:49
WEA 08 (REA)	GE WIND ENERGY __5.5-158 Thrust 700 5500 158.0 !O! NH: 120,9 m (Ges:199,9 m) (4)	0:00	0:00
WEA 09 (EF1)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (5)	0:00	0:00
WEA 10 (EF2)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (6)	26:15	2:25
WEA 11 (EF3)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (7)	18:53	1:25
WEA 12 (EF4)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (8)	0:00	0:00
WEA 13 (EF5)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (9)	0:00	0:00
WEA 14 (EF6)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (10)	0:00	0:00
WEA 15 (EF7)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (11)	0:00	0:00
WEA 16 (EF8)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (12)	6:58	0:41
WEA 17 (EF9)	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 143,0 m (Ges:200,0 m) (13)	45:16	4:16
WEA 18 REpower	_MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (14)	0:00	0:00
WEA 19 REpower	_MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (15)	0:00	0:00
WEA 20 SENVION	_3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (16)	0:00	0:00

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:

**Aldenhoven-Pattern**  
**3540-21-S6**

Lizenzierter Anwender:

**IEL GmbH**  
Kirchdorfer Straße 26  
DE-26603 Aurich  
+49 4941 9558 0  
RMM / mail@iel-gmbh.de  
Berechnet:  
18.02.2021 09:12/3.4.415

## SHADOW - Hauptergebnis

### Berechnung: Gesamtbelastung Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
WEA 21	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (17)	0:00	0:00
WEA 22	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (18)	0:00	0:00
WEA 23	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (19)	0:00	0:00
WEA 24	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (20)	7:42	1:17
WEA 25	SENVION __3.2M114 3200 114.0 !-! NH: 123,0 m (Ges:180,0 m) (21)	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.



**Technische Beschreibung**  
**GE Windenergieanlagen**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

# Technische Dokumentation Windenergieanlagen Alle Turbinentypen

## Vermeidung von Schattenwurf



imagination at work

[www.gepower.com](http://www.gepower.com)

Besuchen Sie uns unter  
<http://renewables.gepower.com>

Alle technischen Daten unterliegen der möglichen Änderung durch fortschreitende technische Entwicklung!

Klassifizierung: öffentliches Dokument

## Urheber- und Verwertungsrechte

Alle Unterlagen sind im Sinne des Urheberrechtsgesetzes geschützt. Zuwiderhandlungen sind strafbar und verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte zur Ausübung von gewerblichen Schutzrechten behalten wir uns vor.

© 2016 General Electric Company. Alle Rechte vorbehalten.

GE und  sind Warenzeichen und Dienstleistungsmarken der General Electric Company.

Andere, in diesem Dokument genannte Unternehmens- oder Produktnamen sind ggf. Warenzeichen bzw. eingetragene Warenzeichen ihrer jeweiligen Unternehmen.



imagination at work

## Inhaltsverzeichnis

1	Abschaltmodul zur Vermeidung von Schattenwurf durch GE Energy Windenergieanlagen (WEAs).....	5
1.1	Allgemeine und Funktionsbeschreibung.....	5





# 1 Abschaltmodul zur Vermeidung von Schattenwurf durch GE Energy Windenergieanlagen (WEAs)

## 1.1 Allgemeine und Funktionsbeschreibung

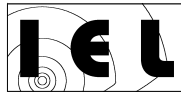
Bei bestimmten Positionen der Sonne und unter gewissen Wetterbedingungen können sich auf Gebäuden in der Umgebung von WEAs Schlagschatten abzeichnen. Diese Effekte werden durch die direkte Sonneneinstrahlung auf die WEA und ihre Rotorblätter, die das einfallende Sonnenlicht „zerhacken“, verursacht (stroboskopischer Effekt).

Es besteht die Möglichkeit zur Installation eines optionalen 'Abschaltmoduls', das in der Lage ist, die aktuelle astronomische Position der Sonne (Azimut und Winkel) auf der Grundlage der Gauss-Krüger-Koordinaten der WEA, die betroffenen Immissionspunkte gemäß der Schattenwurfprognose sowie das jeweilige Datum und die Uhrzeit solcher Effekte zu berechnen. An Hand dieser Informationen errechnet das Modul, ob Schattenwurf am Immissionspunkt auftreten kann. Wenn diese rechnerische Möglichkeit besteht, verifiziert der meteorologische Sensor (Strahlungssensor), ob die gegebenen Lichtverhältnisse den Schattenwurf tatsächlich zulassen würden. Falls Schattenwurf sowohl vom astronomischen als auch vom meteorologischen Standpunkt aus entstehen kann, wird die WEA angehalten.

### Schattenwurf-bedingte Abschaltzeiten werden durch das SCADA-System der WEA dokumentiert.

Pro Modul können bis zu 100 Immissionspunkte und 38 Anlagen berechnet werden (Vorbelastung), von denen bis zu 12 unabhängig voneinander durch ein einziges Modul geschaltet werden können. Die Anschlüsse zur Ansteuerung der einzelnen WEAs sind vom Kunden beizustellen. Dies beinhaltet auch deren Verkabelung und, bei Lichtwellenleitern, die Verbindung der Kabel bis zum Schattenwurfmodul innerhalb der jeweiligen Anlage.

Alle wichtigen Parameter, wie die WEA-Koordinaten und Immissionspunkt-relevante Auswertungssektoren, **Schattengrenzwerte pro Immissionsort** usw. können jederzeit über die Anlagensteuerung geändert werden. Parametereinstellungen werden ausschließlich von GE Wind vorgenommen und können per Passwort geschützt werden. Das Schattenwurfmodul wird innerhalb der WEA installiert und ist somit vor atmosphärischen Einflüssen ebenso wie vor Manipulationen und Beschädigungen durch Fremdarbeiter geschützt. Der 'Strahlungssensor' wird in ca. 2,5 m Höhe und in mindestens 2 m Abstand vom Turm in südlicher Richtung an der WEA installiert. Dieser Sensor dient lediglich dazu, die Stärke der Sonnenstrahlung auszuwerten, jedoch nicht ihre Richtung. Sein erfolgreicher Betrieb ist somit auch dann gewährleistet, wenn die Sensorposition etwas von der vorgegebenen Richtung abweicht.



## 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**