



**Berechnung
der Rotorschattenwurfdauer
für den Betrieb von zwei
Windenergieanlagen
am Standort Dornbock IV**

Bericht-Nr. 4395-21-S3

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



Berechnung der Rotorschattenwurfdauer für den Betrieb von zwei Windenergieanlagen am Standort Dornbock IV

Bericht-Nr.: 4395-21-S3

Auftraggeber: UKA Meißen Projektentwicklung GmbH & Co. KG
Dr.-Eberle-Platz 1
01662 Meißen

Auftragnehmer: IEL GmbH
Kirchdorfer Straße 26
26603 Aurich

Telefon: 04941 - 9558-0
E-Mail: mail@iel-gmbh.de

Bearbeiter: Ralf-Martin Marksfeldt
(Stellvertretender Leiter Rotorschattenwurf)

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

Textteil: 21 Seiten (inkl. Deckblätter)
Anhang: 30 Seiten (inkl. Deckblätter)
CD-ROM: 180 Seiten

Datum: 06. Oktober 2021

Auflistung der erstellten Berichte:

Berichtsnummer	Datum	Titel	Gegenstand / Inhaltliche Änderungen
4395-19-S1	28.10.2019	Rotorschattenwurf-berechnung	Erstgutachten für zwei geplante Windenergieanlagen
4395-20-S2	10.08.2020	Rotorschattenwurf-berechnung	Revision des Erstgutachtens • Änderung des geplanten Anlagentyps
4395-21-S3	06.10.2021	Rotorschattenwurf-berechnung	Revision des Erstgutachtens • Standortverschiebung und Änderung des Anlagentyps der Vorbelastung WEA 35 (jetzt WEA KO-3)

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

1.	Einleitung und Aufgabenstellung	5
2.	Standortbeschreibung	6
3.	Kartenmaterial und Koordinaten-Bezugssystem	7
4.	Sonnenstandsrechnung, geometrische Hauptgrößen und Programmanforderungen	7
4.1	Blatttiefe und Schattenreichweite.....	9
4.2	Kappungswinkel.....	9
4.3	Geometrie für WEA und IP	9
4.4	Gewächshausmodus	10
4.5	Hindernisse	10
4.6	Berechnungsjahr.....	10
4.7	Schattenwurfdauer (worst-case-Szenario).....	11
4.8	Modellgrenzen und Modellbeschreibung	11
5.	Windenergieanlagen	11
5.1	Geplante Windenergieanlagen (Zusatzbelastung).....	12
5.2	Schattenminderungsmaßnahmen des geplanten Anlagentyps.....	12
5.3	Weitere Windenergieanlagen (Vorbelastung)	13
6.	Immissionspunkte.....	14
7.	Astronomisch mögliche und meteorologisch wahrscheinliche Schattenwurfdauer	15
8.	Orientierungswerte	16
9.	Berechnungsergebnisse und Beurteilung	16
9.1	Berechnungsergebnisse	17
9.2	Beurteilung.....	18
10.	Zusammenfassung.....	19
Anhang	21
Externer Anhang / CD-ROM	21

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Am Standort Dornbock IV ist die Errichtung und der Betrieb von zwei Windenergieanlagen (WEA K-1 und WEA D-3) vom Typ Nordex N163/5.X mit einer Nabenhöhe von 164,0 m zzgl. einer Fundamenterhöhung von 1,4 m und einem Rotordurchmesser von 163,0 m geplant.

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.

Im Umfeld der geplanten WEA befinden sich 34 weitere WEA in Betrieb bzw. von Dritten in Planung. 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 2813¹.

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[®] Version 3.4. Die IEL GmbH ist ein durch die DAkkS (Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH) nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018⁶ akkreditiertes Prüflaboratorium. Die vorliegenden Berechnungen werden nach den LAI WEA-Schattenwurf-Hinweisen² vom 23.01.2020 erstellt.

2. Standortbeschreibung

Die Standorte der geplanten Windenergieanlagen befinden sich auf dem Gebiet der Gemeinde Osternienburger Land, im Landkreis Anhalt-Bitterfeld (Sachsen-Anhalt).

Der geplante Standort der WEA K-1 befindet sich nordwestlich des Ortsteils Kleinpaschleben und der geplante Standort der WEA D-3 südwestlich des Ortsteils Drosa, jeweils angrenzend an den Windpark Drosa. Derzeit befinden sich hier die Windparks Dornbock (WEA 02 bis WEA 11), Windpark Drosa (WEA 12 bis WEA 15), Windpark Pobzig (WEA 16 bis WEA 20) und der Windpark Kleinpaschleben (WEA 21 bis WEA 32) in Betrieb. Zusätzlich befinden sich noch drei weitere WEA an den Standorten Dornbock I (WEA 33 und WEA 34) und Dornbock II (WEA KO-3) in Planung. Diese insgesamt 34 weiteren WEA fließen als schalltechnische Vorbelastung in die nachfolgenden Berechnungen mit ein.

Die zu den geplanten Windenergieanlagen nächstgelegene relevante Wohnbebauung befindet sich nordöstlich in der Ortschaft Drosa und nordnordwestlich in der Ortschaft Borgesdorf.

Das Untersuchungsgebiet liegt auf Höhen von ca. 60 - 80 m ü. NN. Zur Berücksichtigung der Höhenunterschiede wird ein digitales Geländemodell berücksichtigt.

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

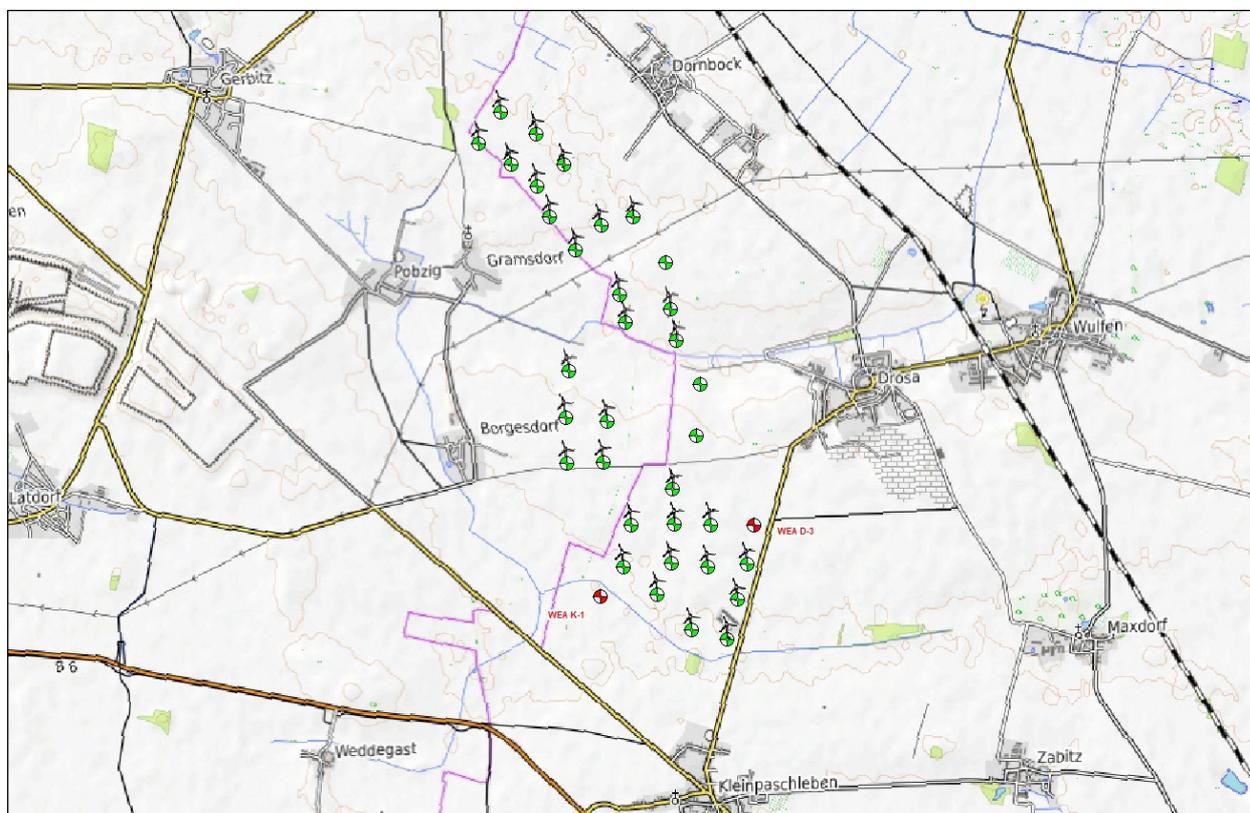


Abb. 1: Übersichtskarte (Weitere WEA = grün / Geplante WEA = rot)

Die Standortbegehung wurde im Oktober 2019 durch Herrn Fricke (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. 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 ϵ . 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 δ 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° beträgt und sich eine Tagundnachtgleiche ergibt, werden Frühlings- 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 Meeus³ 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°).

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

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 Reichweitenbegrenzung² 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 $\mathbf{SR}^2 \cdot \pi = 1.521.837.746.881 \text{ km}^2$ sowie
- α = Winkel zur Bestimmung des Flächenanteils.

4.2 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.

4.3 Geometrie für WEA und IP

In den Tabellen 3 und 4 (Windenergieanlagen) sowie 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_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.

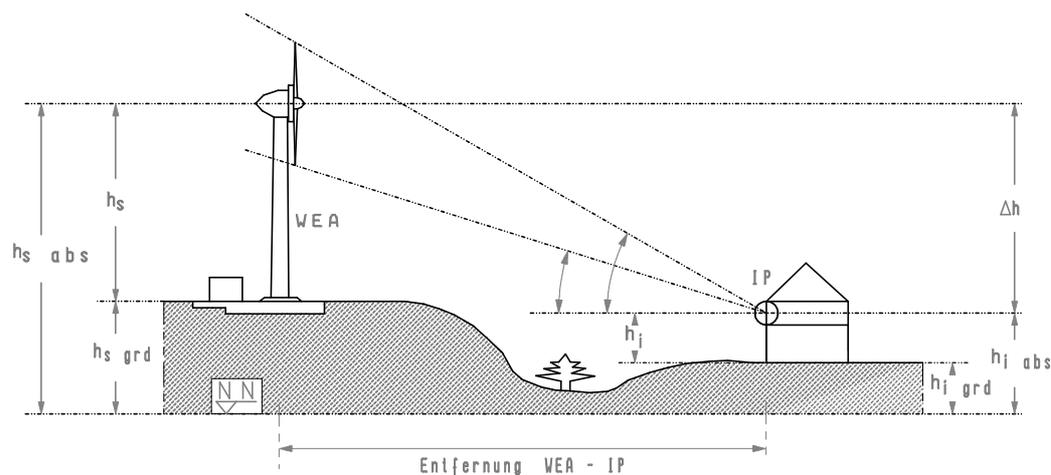


Abb. 2: Geometrische Verhältnisse, Vertikalschnitt

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

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 Gebäude in der Realität meist nur zwei Seiten Fenster oder Glastüren besitzen, welche den emittierenden Windenergieanlagen zugewandt sind.

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

Ein Normaljahr wird allgemein mit 365 Tagen gleichgesetzt. Alle hier berücksichtigten Zeitangaben werden für ein mittleres Kalenderjahr von 365,25 Tagen berechnet, da die Erdumlaufbahn von Jahr zu Jahr leicht variiert und hieraus alle vier Jahre ein Schaltjahr resultiert. Hieraus ergeben sich Verschiebungen von einem Tag alle vier Jahre. Grundlage für die Tageszeit ist die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) für die Zeitzone +1 (Paris, Berlin). Hierbei wird von der Berechnungssoftware windPRO[®] 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 (Beschattungsbereich) und 4.2 (3°-Kappung)] deutlich 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 leicht gewellte Geländestruktur im Umfeld der geplanten Windenergieanlagen ein digitales Geländemodell auf Grundlage frei verfügbarer SRTM-Daten¹⁰ verwendet.

Die Windenergieanlagen und die zu berücksichtigenden Immissionspunkte befinden sich auf einem Höhenniveau von ca. 60 m bis ca. 76 ü. NN.

Modellgrenzen für die flächendeckenden Berechnungen (6,0 x 4,4 km)				
RW (UTM / ETRS89 / Zone 32)	West:	695.614	Ost:	701.614
HW (UTM / ETRS89 / Zone 32)	Süd:	5.741.451	Nord:	5.745.851

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

5. Windenergieanlagen

Am Standort Dornbock IV plant der Auftraggeber die Errichtung und den Betrieb von zwei Windenergieanlagen (WEA D-3 und WEA K-1) des Anlagentyps NORDEX N163/5.X mit 165,4 m Nabenhöhe und einem Rotordurchmesser von 163,0 m. Diese Windenergieanlagen gelten als Zusatzbelastung (ZB) und sind in Kap. 5.1 näher beschrieben.

Die Dokumentation der als Vorbelastung (VB) geltenden 34 Windenergieanlagen werden 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	Nabenhöhe [m]	Rotor-durchmesser [m]	Max. Blatttiefe [m]	Blatttiefe bei 90% Rotorradius [m]	Rotorschattenreichweite (RSRW) [m]
NORDEX N163/5.X	165,4*	163,0	4,15	1,11	1.784

Tabelle 2: Technische Angaben zum geplanten Anlagentyp

* Kombinierte Nabenhöhe aus der Anlagennabenhöhe von 164,0 m zzgl. einer Fundamenterhöhung von 1,4 m.

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 _s grad [m]	h _s [m]	h _s abs [m]	Rotor Æ [m]
		Rechtswert	Hochwert				
WEA D-3	NORDEX N163/5.X	699.361	5.743.360	76,0	165,4	241,4	163,0
WEA K-1	NORDEX N163/5.X	698.013	5.742.734	70,0	165,4	235,4	163,0

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 (s. Kap. 8). Der Betrieb von Anlagen, die mit diesem System arbeiten, ist i.d.R. zu protokollieren.

Der hier berücksichtigte Anlagentyp NORDEX N163/5.X verwendet einen Datensatz mit Koordinaten der zu berücksichtigenden Windenergieanlagen und Immissionspunkte und errechnet selbsttätig die zu berücksichtigenden Abschaltzeiten. Ein entsprechendes Dokument (Allgemeine Dokumentation / Schattenwurfmodul / NORDEX acciona

Windpower / Dokumentennr.: K0815_051312_DE / Rev. 05 / 29.05.2020) ist dem Anhang zu entnehmen.

5.3 Weitere Windenergieanlagen (Vorbelastung)

Der geplante Standort der WEA K-1 befindet sich nordwestlich des Ortsteils Kleinpaschleben und der geplante Standort der WEA D-3 südwestlich des Ortsteils Drosa, jeweils angrenzend an den Windpark Drosa. Derzeit befinden sich hier die Windparks Dornbock (WEA 02 bis WEA 11), Windpark Drosa (WEA 12 bis WEA 15), Windpark Pobzig (WEA 16 bis WEA 20) und der Windpark Kleinpaschleben (WEA 21 bis WEA 32) in Betrieb. Zusätzlich befinden sich noch drei weitere WEA an den Standorten Dornbock I (WEA 33 und WEA 34) und Dornbock II (WEA KO-3) in Planung.

Weitere Windenergieanlagen (Vorbelastung)							
WEA-Nr.	Anlagentyp	UTM ETRS89, Zone 32		h _s grd [m]	h _s [m]	h _s abs [m]	Rotor Æ [m]
		Rechtswert	Hochwert				
WEA 02	EW 1.5s	697.696	5.746.549	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 03	EW 1.5s	698.304	5.746.087	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 04	EW 1.5s	698.023	5.746.013	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 05	EW 1.5s	697.139	5.747.012	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 06	EW 1.5s	696.950	5.746.738	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 07	EW 1.5s	697.452	5.746.817	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 08	EW 1.5s	697.230	5.746.551	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 09	EW 1.5s	697.457	5.746.354	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 10	EW 1.5s	697.573	5.746.088	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 11	EW 1.5s	697.798	5.745.797	68,7	64,7	133,4	70,5
WEA 12	EW 1.5s	698.680	5.744.994	61,5	64,7	126,2	70,5
WEA 13	EW 1.5s	698.628	5.745.273	67,3	64,7	132,0	70,5
WEA 14	EW 1.5s	698.231	5.745.152	60,9	64,7	125,6	70,5
WEA 15	EW 1.5s	698.179	5.745.402	66,6	64,7	131,3	70,5
WEA 16	EW 1.5s	698.070	5.744.281	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 17	EW 1.5s	698.039	5.743.920	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 18	EW 1.5s	697.719	5.743.913	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 19	EW 1.5s	697.709	5.744.316	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 20	EW 1.5s	697.737	5.744.724	64,8	64,7	129,5	70,5
WEA 21	EW 1.5s	698.647	5.743.678	72,4	64,7	137,1	70,5
WEA 22	EW 1.5s	698.288	5.743.364	70,7	64,7	135,4	70,5
WEA 23	EW 1.5s	698.664	5.743.371	72,6	64,7	137,3	70,5
WEA 24	EW 1.5s	698.981	5.743.364	74,2	64,7	138,9	70,5
WEA 25	EW 1.5s	699.300	5.743.016	73,1	64,7	137,8	70,5
WEA 26	EW 1.5s	698.961	5.742.990	72,4	64,7	137,1	70,5
WEA 27	EW 1.5s	698.634	5.743.026	71,0	64,7	135,7	70,5
WEA 28	EW 1.5s	698.214	5.742.993	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 29	EW 1.5s	698.511	5.742.747	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 30	EW 1.5s	699.219	5.742.704	70,4	64,7	135,1	70,5

WEA-Nr.	Anlagentyp	UTM ETRS89, Zone 32		h _s grd [m]	h _s [m]	h _s abs [m]	Rotor Æ [m]
		Rechtswert	Hochwert				
WEA 31	EW 1.5s	699.126	5.742.349	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 32	EW 1.5s	698.817	5.742.433	70,0	64,7	134,7	70,5
WEA 33	V150-5.6	698.893	5.744.609	62,9	166,0	228,9	150,0
WEA 34	V150-5.6	698.860	5.744.151	70,0	166,0	236,0	150,0
WEA KO-3	N163/5.X	698.601	5.745.687	70,0	165,4	235,4	163,0

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-Hinweisen² vom Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft 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 Immissionspunkte werden aus Sicht des Rotorschattenwurfes exemplarisch und repräsentativ ausgewählt und sollen der genehmigenden Behörde einen Überblick über die Rotorschattenwurfesituation ermöglichen. Die Lage der Immissionspunkte ist in der anliegenden Übersichtskarte sowie in zwei Detailkarten dargestellt.

In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die Bezeichnung und die Koordinaten zusammengefasst. Die vertikale Lage wurde entsprechend der örtlichen Gegebenheiten mit 1 m Höhe über Geländeoberkante (GOK) bei einer Größe von 1 m x 1 m angesetzt.

IP-Nr.	Ortslage	Adresse	UTM ETRS89, Zone 32		h _i grd [m]	h _i [m]	h _i abs [m]
			Rechtswert	Hochwert			
IP 01	Borgesdorf	Neue Str. 1	696.942	5.743.764	70,0	2,0	72,0
IP 02	Borgesdorf	Neue Str. 5	696.941	5.743.924	70,0	2,0	72,0
IP 03	Borgesdorf	Neue Str. 9	696.922	5.744.124	70,0	2,0	72,0
IP 04	Borgesdorf	Str. des Sozialismus 19	696.853	5.743.866	70,0	2,0	72,0
IP 05	Borgesdorf	Str. des Sozialismus 3	696.851	5.744.082	70,0	2,0	72,0
IP 06	Borgesdorf	Dorfplatz 4	696.781	5.743.977	70,0	2,0	72,0
IP 07	Drosa	Am Brandweinweg 99	699.941	5.744.222	70,0	2,0	72,0

IP-Nr.	Ortslage	Adresse	UTM ETRS89, Zone 32		h _i grd [m]	h _i [m]	h _i abs [m]
			Rechtswert	Hochwert			
IP 08	Drosa	Drosaer Gartenstr. 149	699.941	5.744.468	70,0	2,0	72,0
IP 09	Drosa	Gramsdorfer Str. 122	699.973	5.744.630	65,8	2,0	67,8
IP 10	Drosa	Gramsdorfer Str. 103	700.107	5.744.616	65,3	2,0	67,3
IP 11	Drosa	Drosaer Landstr. 69	700.202	5.744.463	70,0	2,0	72,0
IP 12	Drosa	Am Mühlenberg 60b	700.237	5.744.302	70,0	2,0	72,0
IP 13	Drosa	Am Mühlenberg 191	700.401	5.744.278	70,0	2,0	72,0
IP 14	Drosa	Mittelstr. 111	700.401	5.744.467	70,0	2,0	72,0
IP 15	Drosa	Drosaer Landstr. 14a	700.366	5.744.638	66,0	2,0	68,0
IP 16	Drosa	Drosaer Landstr. 185	700.326	5.744.815	61,2	2,0	63,2
IP 17	Drosa	Freiheitsplatz 7	700.487	5.744.756	63,1	2,0	65,1
IP 18	Drosa	Drosaer Schulstr. 102	700.587	5.744.556	68,7	2,0	70,7
IP 19	Drosa	Wulfener Str. 26a	700.610	5.744.785	61,8	2,0	63,8

Tabelle 5: Koordinaten der berücksichtigten Immissionspunkte

7. 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. Im statistischen Mittel führen diese Rotorschrägstellungen 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 Potsdam sowie für die Windrichtungsverteilung der ERA5-Knotenpunkt N51,797_E11,891 (EMD-WRF EUR+).

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^{4, 5} 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. 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 jeweils grau unterlegt.

IP-Nr.	Ortslage	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	Borgesdorf	Neue Str. 1	20:44	00:21	28:03	00:27	48:47	00:27
IP 02	Borgesdorf	Neue Str. 5	17:12	00:22	21:43	00:26	38:55	00:26
IP 03	Borgesdorf	Neue Str. 9	23:36	00:24	06:51	00:18	30:27	00:24
IP 04	Borgesdorf	Str. des Sozialismus 19	12:34	00:19	25:08	00:25	37:42	00:25
IP 05	Borgesdorf	Str. des Sozialismus 3	19:58	00:22	13:31	00:23	33:29	00:23
IP 06	Borgesdorf	Dorfplatz 4	10:57	00:19	21:25	00:23	32:22	00:23
IP 07	Drosa	Am Brandweinweg 99	59:01	00:33	47:08	00:39	106:09	00:46
IP 08	Drosa	Drosaer Gartenstr. 149	37:28	00:33	17:32	00:29	55:00	00:33
IP 09	Drosa	Gramsdorfer Str. 122	32:21	00:32	02:29	00:11	34:50	00:32
IP 10	Drosa	Gramsdorfer Str. 103	25:41	00:29	13:48	00:25	39:29	00:29
IP 11	Drosa	Drosaer Landstr. 69	23:24	00:27	30:11	00:29	53:35	00:29
IP 12	Drosa	Am Mühlenberg 60b	24:08	00:26	26:24	00:31	50:32	00:31
IP 13	Drosa	Am Mühlenberg 191	18:50	00:23	17:50	00:29	36:40	00:29
IP 14	Drosa	Mittelstr. 111	17:31	00:23	21:39	00:26	39:10	00:26
IP 15	Drosa	Drosaer Landstr. 14a	17:27	00:24	23:16	00:25	40:43	00:25
IP 16	Drosa	Drosaer Landstr. 185	17:30	00:24	10:25	00:21	27:55	00:24
IP 17	Drosa	Freiheitsplatz 7	14:40	00:22	-/-	-/-	14:40	00:22
IP 18	Drosa	Drosaer Schulstr. 102	13:19	00:20	14:54	00:23	28:13	00:23
IP 19	Drosa	Wulfener Str. 26a	12:32	00:20	-/-	-/-	12:32	00:20

Tabelle 6: Astronomisch mögliche Schattenwurfdauer

Detailliertere Ergebnisse können den Listen des Anhangs entnommen werden. Im Anhang befinden sich zudem drei flächendeckende Darstellungen der Vor-, der Zusatz- und der Gesamtbelastung mit Isolinien für die herangezogenen Orientierungswerte. Für nicht explizit betrachtete Einwirkorte kann der entsprechende Jahreswert (Stunden/Jahr) dieser Darstellung grob entnommen werden.

Dem Anhang sind neben den in Tabelle 6 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 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.

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 in Tabelle 6 zeigen, dass an den Immissionspunkten IP 07 bis IP 09 die zulässigen Orientierungswerte bereits durch die Vorbelastung überschritten werden. Eventuelle Abschaltzeiten der als Vorbelastung berücksichtigten Windenergieanlagen sind der IEL GmbH nicht bekannt.

Bei einer Überschreitung der Orientierungswerte durch die Vorbelastung ist sicherzustellen, dass der Betrieb der neu geplanten Windenergieanlagen (Zusatzbelastung) zu keiner Erhöhung der Rotorschattenwurfdauer führt.

An den Immissionspunkten IP 01 bis IP 06 sowie IP 10 bis IP 15 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.

Aufgrund der Überschreitungen der Orientierungswerte wird empfohlen, die geplanten WEA mit einer entsprechenden technischen Einrichtung (sog. Abschaltmodul, vgl. Abschnitt 5.2) auszurüsten.

Hinweis:

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

10. Zusammenfassung

Am Standort Dornbock IV ist die Errichtung und der Betrieb von zwei Windenergieanlagen (WEA K-1 und WEA D-3) vom Typ Nordex N163/5.X mit einer Nabenhöhe von 164,0 m zzgl. einer Fundamenterhöhung von 1,4 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 (worst-case), welche durch den Betrieb der drehenden Rotoren an maßgeblichen Immissionspunkten (IP) verursacht werden.

Die Berechnungsergebnisse in Tabelle 6 zeigen, dass an den Immissionspunkten IP 07 bis IP 09 die zulässigen Orientierungswerte bereits durch die Vorbelastung überschritten werden. Eventuelle Abschaltzeiten der als Vorbelastung berücksichtigten Windenergieanlagen sind der IEL GmbH nicht bekannt.

Bei einer Überschreitung der Orientierungswerte durch die Vorbelastung ist sicherzustellen, dass der Betrieb der neu geplanten Windenergieanlagen (Zusatzbelastung) zu keiner Erhöhung der Rotorschattenwurfdauer führt.

An den Immissionspunkten IP 01 bis IP 06 sowie IP 10 bis IP 15 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.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Berechnungsergebnisse ergeben sich für die zwei geplanten Windenergieanlagen folgende maximale Abschaltzeiten.

WEA-Nr.:	Resultierende maximale Abschaltzeiten (worst case) / h/a
WEA D-3	119:28
WEA K-1	46:58

Tabelle 7: Resultierende maximale Abschaltzeiten (worst-case)

Hinweis:

Im Zuge der vorliegenden Rotorschattenwurfberechnung wurden die Immissionspunkte exemplarisch und repräsentativ ausgewählt und sollen der genehmigenden Behörde einen Überblick über die Rotorschattenwurfsituation ermöglichen. Für eine Rotorschattenwurf-Regelung sind alle von Überschreitungen der Orientierungswerte betroffenen Immissionspunkte zu berücksichtigen. Der hier berücksichtigte Anlagentyp NORDEX N163/5.X benötigt hierfür einen Datensatz mit Koordinaten der betroffenen Immissionspunkte und berechnet die Abschaltzeiten mittels des in Kapitel 5.2 beschriebenen Schattenwurfmoduls selbsttätig.

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.

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, 06. Oktober 2021

Bericht verfasst durch



Ralf-Martin Marksfeldt
(Stellvertretender Leiter Rotorschattenwurf)

Geprüft durch



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

Anhang

Übersichts- und Detailkarten (3 Seiten)

Übersichtskarte (A3)

Detailkarte 1: Immissionspunkte BORGESDORF / IP 01 - IP 06 (A4)

Detailkarte 2: Immissionspunkte DROSA / IP 07 - IP 19 (A3)

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 (2 Seiten)

Berechnungsergebnisse / Gesamtbelastung

Shadow - Hauptergebnis (3 Seiten)

Allgemeine Dokumentation / NORDEX / acciona Windpower

Schattenwurfmodul / Dokumentenr.: 0815_051312_DE / Rev. 05 29.05.2020 (8 Seiten)

Literaturverzeichnis (1 Seite)

Externer Anhang / CD-ROM

Berechnungsergebnisse / Vorbelastung

Shadow - Kalender IP (38 Seiten)

Shadow - Kalender WEA (38 Seiten)

Berechnungsergebnisse / Zusatzbelastung

Shadow - Kalender IP (24 Seiten)

Shadow - Kalender WEA (2 Seiten)

Berechnungsergebnisse / Gesamtbelastung

Shadow - Kalender IP (38 Seiten)

Shadow - Kalender WEA (40 Seiten)



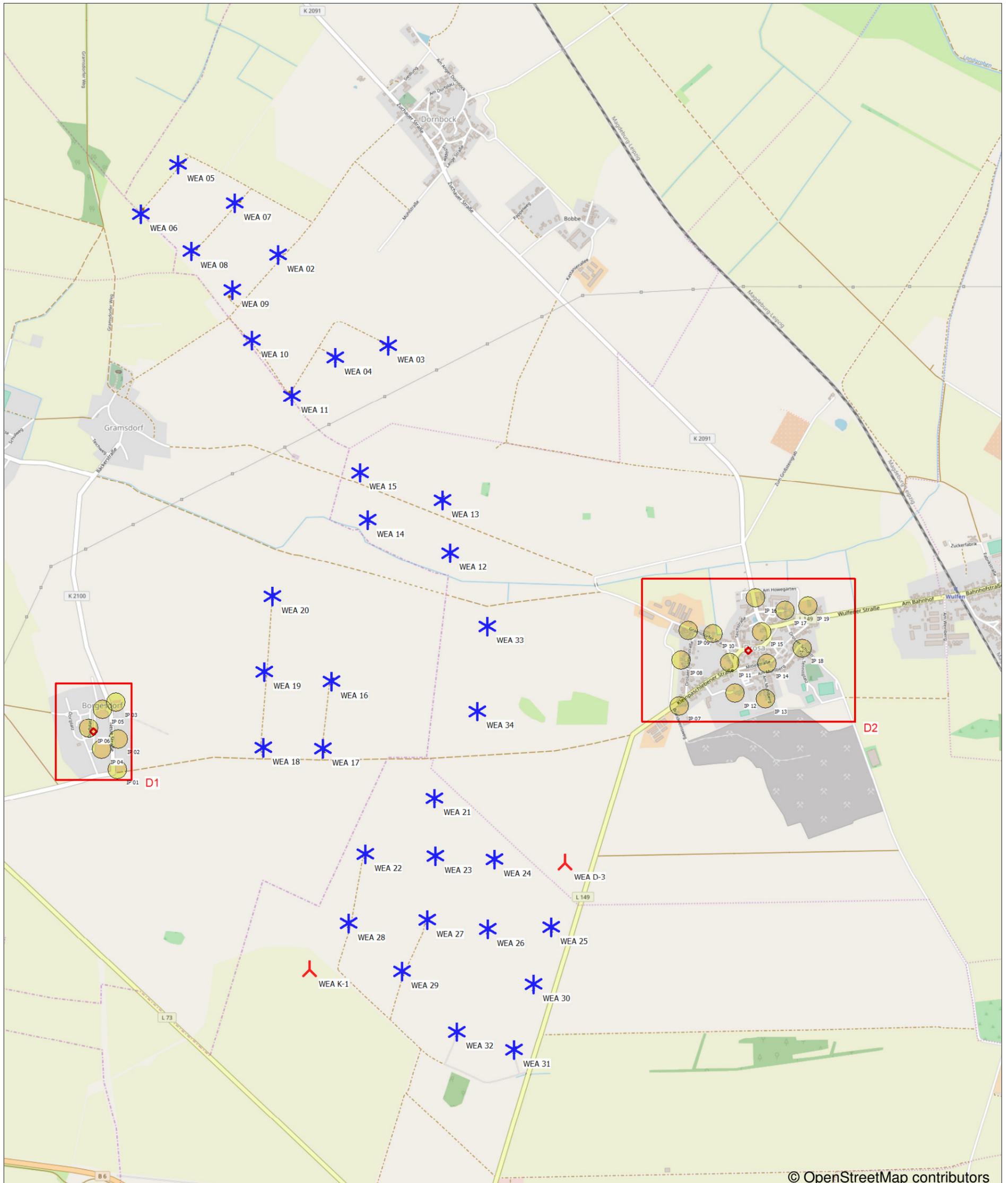
**Übersichts-
und
Detailkarten**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



BASIS - Karte

Berechnung: Übersichtskarte



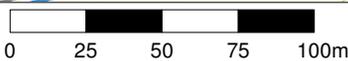
Karte: Open Street Map (EMD International A/S) , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 698.834 Nord: 5.744.680

▲ Neue WEA
 ✱ Existierende WEA
 ● Schattenrezeptor



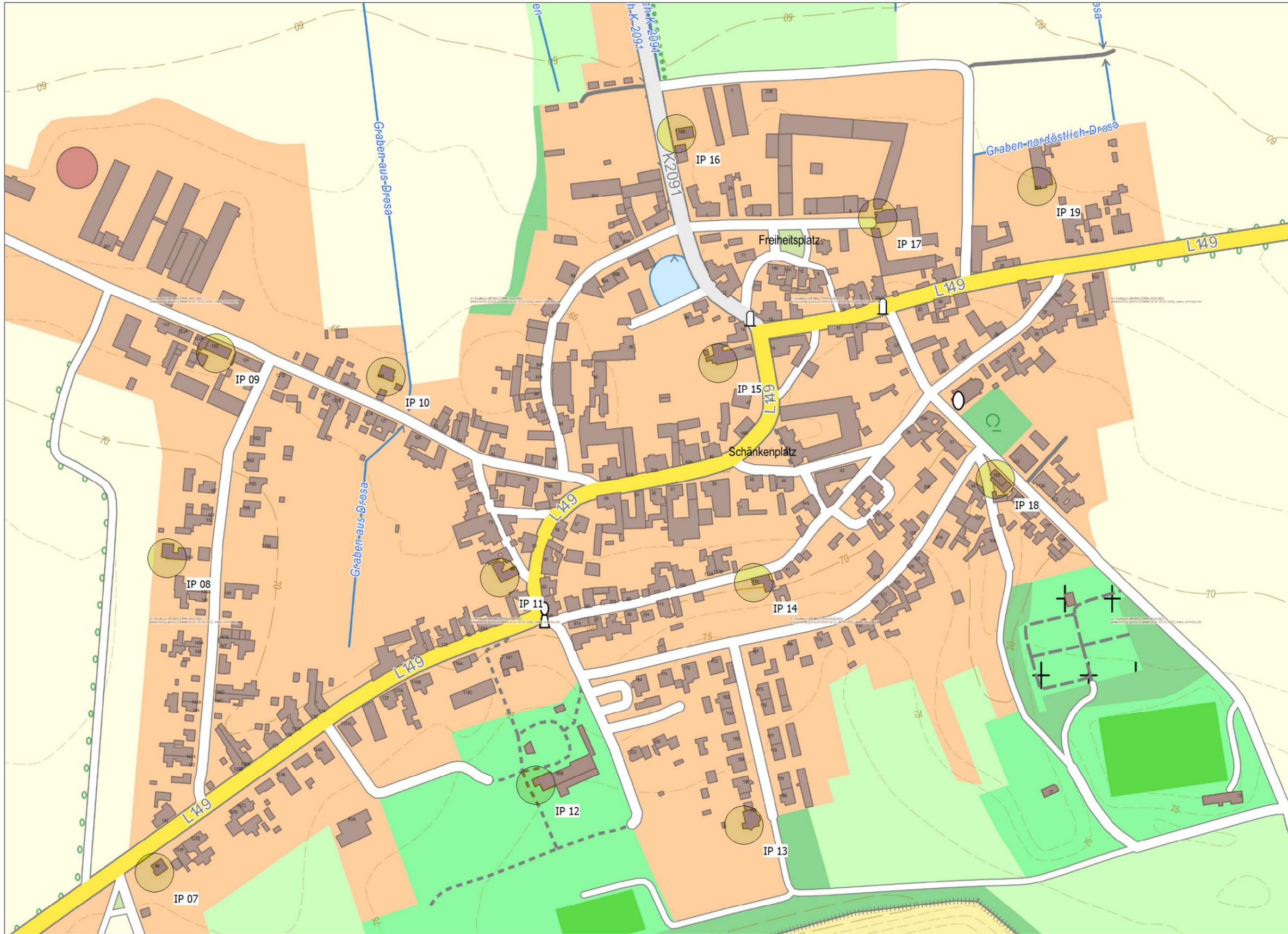
BASIS - Karte

Berechnung: Detailkarte 1 / IP 01 - IP 06



Karte: onmaps , Maßstab 1:2.500, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 696.807 Nord: 5.743.961

☀ Schattenrezeptor



Projekt:
Dornbock IV
4395-21-S3

Beschreibung:
Immissionspunkte Drosa

BASIS - Karte
Berechnung:
 Detailkarte 2 / IP 07 - IP 19

Lizenzierter Anwender:
IEL GmbH
 Kirchdorfer Straße 26
 DE-26603 Aurich
 +49 4941 9558 0
 RMM / mail@iel-gmbh.de
 Berechnet:
 05.08.2020 06:53/3.3.294



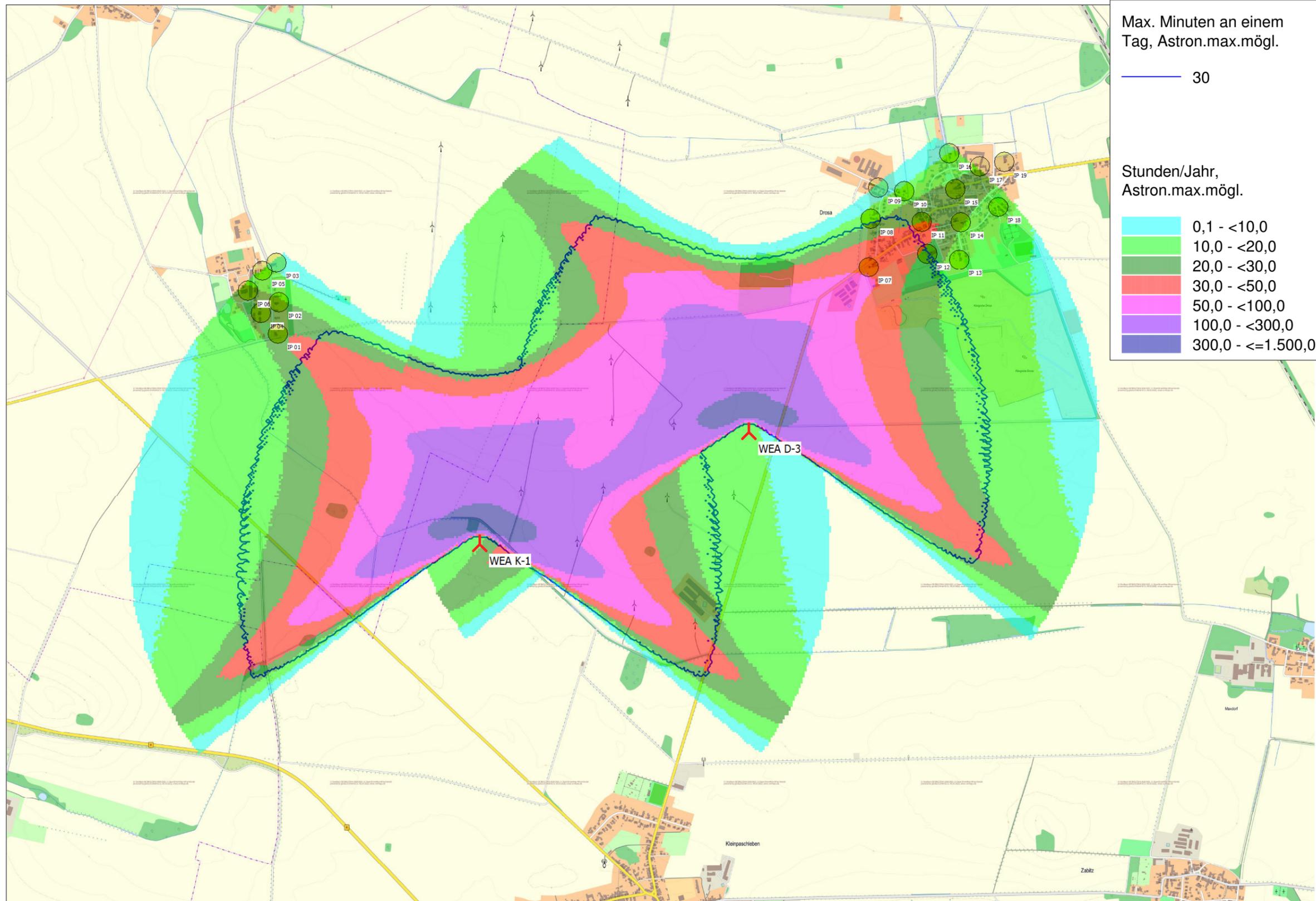
Karte: onmaps , Maßstab 1:3.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 700.300 Nord: 5.744.533

☛ Schattenrezeptor



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

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



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

— 30

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

Lizenzierter Anwender:
IEL GmbH
 Kirchdorfer Straße 26
 DE-26603 Aurich
 +49 4941 9558 0
 RMM / mail@iel-gmbh.de
 Berechnet:
 04.10.2021 13:44/3.4.424



Neue WEA

Schattenrezeptor

Karte: onmaps , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 698.850 Nord: 5.743.100

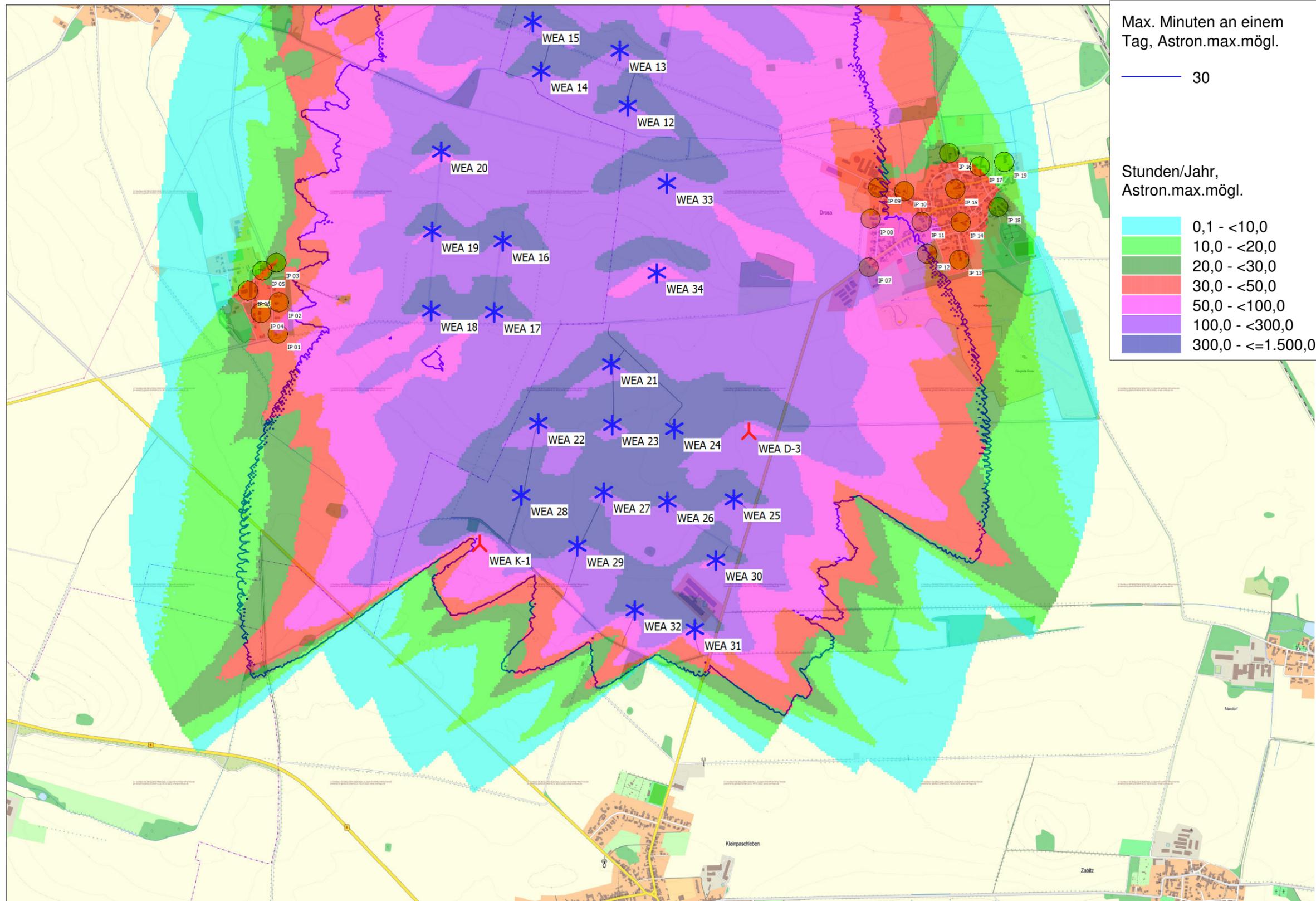
Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: CONTOURLINE_ONLINEDATA_0.wpo (1)





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

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz



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

— 30

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
 RMM / mail@iel-gmbh.de
 Berechnet:
 04.10.2021 14:20/3.4.424



▲ Neue WEA

* Existierende WEA

● Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: CONTOURLINE_ONLINEDATA_0.wpo (1)

0 250 500 750 1000m

Karte: onmaps , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 698.850 Nord: 5.743.100



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

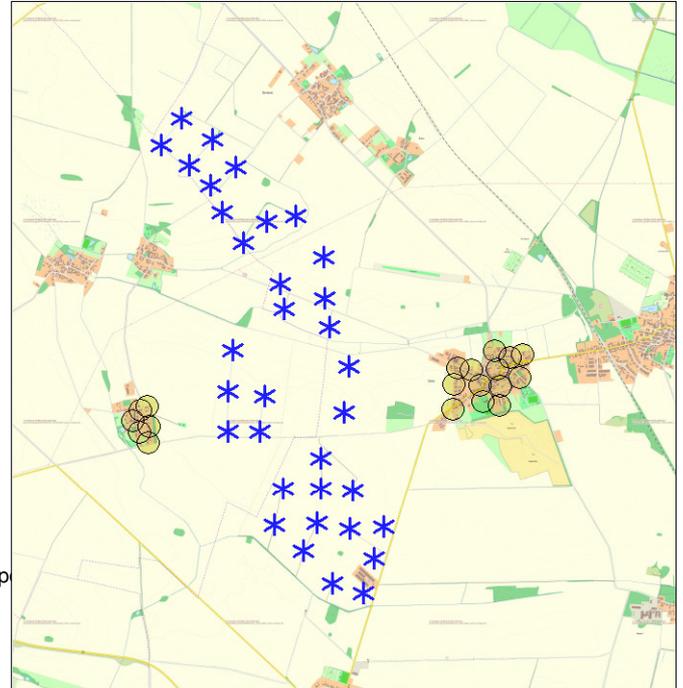
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [POTS DAM]
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,56 2,60 3,92 5,75 7,42 7,51 7,59 7,27 5,27 3,77 1,84 1,30

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:
EMD-WRF Europe+ (ERA5)_N51,79652_E011,891205 (45)

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
363 303 332 542 447 373 475 884 1.107 833 1.122 541 7.324
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: CONTOURLINE_ONLINEDATA_0.wp
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

* Existierende WEA ● Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Schattendaten			
					Ak- tu- ell	Hersteller	Typ	Nenn- leistung	Rotor- durch- messer	Naben- höhe	Beschatt.- Bereich
			[m]				[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
WEA 02	697.696	5.746.549	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 03	698.304	5.746.087	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 04	698.023	5.746.013	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 05	697.139	5.747.012	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 06	696.950	5.746.738	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 07	697.452	5.746.817	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 08	697.230	5.746.551	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 09	697.457	5.746.354	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 10	697.573	5.746.088	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 11	697.798	5.745.797	68,7	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 12	698.680	5.744.994	61,5	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 13	698.628	5.745.273	67,3	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 14	698.231	5.745.152	60,9	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 15	698.179	5.745.402	66,6	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 16	698.070	5.744.281	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 17	698.039	5.743.920	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 18	697.719	5.743.913	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 19	697.709	5.744.316	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 20	697.737	5.744.724	64,8	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 21	698.647	5.743.678	72,4	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 22	698.288	5.743.364	70,7	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 23	698.664	5.743.371	72,6	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 24	698.981	5.743.364	74,2	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 25	699.300	5.743.016	73,1	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 26	698.961	5.742.990	72,4	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 27	698.634	5.743.026	71,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 28	698.214	5.742.993	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 29	698.511	5.742.747	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 30	699.219	5.742.704	70,4	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 31	699.126	5.742.349	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 32	698.817	5.742.433	70,0	ENRONWIND _E...Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 33	698.893	5.744.609	62,9	VESTAS __V150...Ja	VESTAS	__V150-5.6-5.600	5.600	150,0	166,0	1.897	10,4

(Fortsetzung nächste Seite)...



SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

	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 34	698.860	5.744.151	70,0	VESTAS __V150... Ja	VESTAS	__V150-5.6-5.600	5.600	150,0	166,0	1.897	10,4	
WEA KO-3	698.601	5.745.687	70,0	NORDEX __N16... Ja	NORDEX	__N163/5.X-5.700	5.700	163,0	165,4	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]
IP 01	Neue Str. 1	696.942	5.743.764	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 02	Neue Str. 5	696.941	5.743.924	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 03	Neue Str. 9	696.922	5.744.124	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 04	Str. des Sozialismus 19	696.853	5.743.867	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 05	Str. des Sozialismus 3	696.851	5.744.082	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 06	Dorfplatz 4	696.781	5.743.977	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 07	Am Brandweisweg 99	699.941	5.744.222	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 08	Drosaer Gartenstr. 149	699.941	5.744.468	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 09	Gramsdorfer Str. 122	699.973	5.744.630	65,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 10	Gramsdorfer Str. 103	700.107	5.744.616	65,3	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 11	Drosaer Landstr. 69	700.202	5.744.463	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 12	Am Mühlenberg 60b	700.237	5.744.302	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 13	Am Mühlenberg 191	700.401	5.744.278	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 14	Mittelstr. 111	700.401	5.744.467	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 15	Drosaer Landstr. 14a	700.366	5.744.638	66,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 16	Drosaer Landstr. 185	700.326	5.744.816	61,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 17	Freiheitsplatz 7	700.487	5.744.756	63,1	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 18	Drosaer Schulstr. 102	700.587	5.744.556	68,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 19	Wulfener Str. 26a	700.610	5.744.786	61,8	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	Neue Str. 1	20:44	105	0:21	5:26	
IP 02	Neue Str. 5	17:12	81	0:22	4:20	
IP 03	Neue Str. 9	23:36	120	0:24	5:30	
IP 04	Str. des Sozialismus 19	12:34	71	0:19	3:13	
IP 05	Str. des Sozialismus 3	19:58	111	0:22	4:47	
IP 06	Dorfplatz 4	10:57	84	0:19	2:42	
IP 07	Am Brandweisweg 99	59:01	156	0:33	14:18	
IP 08	Drosaer Gartenstr. 149	37:28	99	0:33	8:56	
IP 09	Gramsdorfer Str. 122	32:21	91	0:32	7:15	
IP 10	Gramsdorfer Str. 103	25:41	72	0:29	5:45	
IP 11	Drosaer Landstr. 69	23:24	70	0:27	5:31	
IP 12	Am Mühlenberg 60b	24:08	73	0:26	5:49	
IP 13	Am Mühlenberg 191	18:50	62	0:23	4:30	
IP 14	Mittelstr. 111	17:31	60	0:23	4:06	
IP 15	Drosaer Landstr. 14a	17:27	58	0:24	3:48	
IP 16	Drosaer Landstr. 185	17:30	59	0:24	3:32	
IP 17	Freiheitsplatz 7	14:40	54	0:22	3:03	
IP 18	Drosaer Schulstr. 102	13:19	52	0:20	2:59	
IP 19	Wulfener Str. 26a	12:32	50	0:20	2:35	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
	WEA 02 ENRONWIND __EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (1)	0:00	0:00
	WEA 03 ENRONWIND __EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (2)	0:00	0:00
	WEA 04 ENRONWIND __EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (3)	0:00	0:00
	WEA 05 ENRONWIND __EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (4)	0:00	0:00
	WEA 06 ENRONWIND __EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (5)	0:00	0:00

(Fortsetzung nächste Seite)...



SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
WEA 07	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (6)	0:00	0:00
WEA 08	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (7)	0:00	0:00
WEA 09	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (8)	0:00	0:00
WEA 10	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (9)	0:00	0:00
WEA 11	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (10)	0:00	0:00
WEA 12	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (11)	1:33	0:23
WEA 13	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (12)	0:00	0:00
WEA 14	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (13)	0:00	0:00
WEA 15	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (14)	0:00	0:00
WEA 16	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (15)	8:21	2:10
WEA 17	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (16)	10:12	2:10
WEA 18	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (17)	29:26	6:21
WEA 19	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (18)	32:09	8:38
WEA 20	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (19)	7:34	1:59
WEA 21	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (20)	0:00	0:00
WEA 22	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (21)	0:00	0:00
WEA 23	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (22)	0:00	0:00
WEA 24	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (23)	2:22	0:15
WEA 25	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (24)	0:00	0:00
WEA 26	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (25)	0:00	0:00
WEA 27	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (26)	0:00	0:00
WEA 28	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (27)	0:00	0:00
WEA 29	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (28)	0:00	0:00
WEA 30	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (29)	0:00	0:00
WEA 31	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (30)	0:00	0:00
WEA 32	ENRONWIND _EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (31)	0:00	0:00
WEA 33	VESTAS __V150-5.6 5600 150.0 !O! NH: 166,0 m (Ges:241,0 m) (32)	111:36	27:36
WEA 34	VESTAS __V150-5.6 5600 150.0 !O! NH: 166,0 m (Ges:241,0 m) (33)	65:47	13:58
WEA KO-3	NORDEX __N163/5.X 5700 163.0 !O! NH: 165,4 m (Ges:246,9 m) (36)	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) [POTSDAM]
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,56 2,60 3,92 5,75 7,42 7,51 7,59 7,27 5,27 3,77 1,84 1,30

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:
EMD-WRF Europe+ (ERA5)_N51,79652_E011,891205 (45)

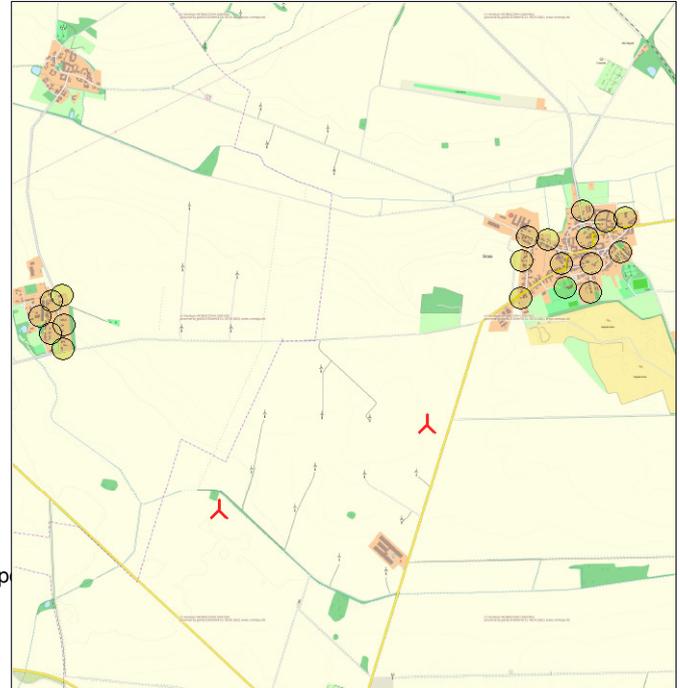
Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
425 355 389 635 523 437 556 1.036 1.297 976 1.314 633 8.577
Startwindgeschwindigkeit: Startwindgeschw. aus Leistungskennlinie

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: CONTOURLINE_ONLINEDATA_0.wp
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			Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten	
					Aktuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]				[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]	
WEA D-3	699.361	5.743.360	76,0	NORDEX __N163/5.X 5...Ja	NORDEX	__N163/5.X-5.700	5.700	163,0	165,4	1.784	10,7	
WEA K-1	698.013	5.742.734	70,0	NORDEX __N163/5.X 5...Ja	NORDEX	__N163/5.X-5.700	5.700	163,0	165,4	1.784	10,7	



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	Neue Str. 1	696.942	5.743.764	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 02	Neue Str. 5	696.941	5.743.924	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 03	Neue Str. 9	696.922	5.744.124	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 04	Str. des Sozialismus 19	696.853	5.743.867	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 05	Str. des Sozialismus 3	696.851	5.744.082	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 06	Dorfplatz 4	696.781	5.743.977	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 07	Am Brandweisweg 99	699.941	5.744.222	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 08	Drosaer Gartenstr. 149	699.941	5.744.468	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 09	Gramsdorfer Str. 122	699.973	5.744.630	65,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 10	Gramsdorfer Str. 103	700.107	5.744.616	65,3	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 11	Drosaer Landstr. 69	700.202	5.744.463	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 12	Am Mühlenberg 60b	700.237	5.744.302	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 13	Am Mühlenberg 191	700.401	5.744.278	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 14	Mittelstr. 111	700.401	5.744.467	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 15	Drosaer Landstr. 14a	700.366	5.744.638	66,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 16	Drosaer Landstr. 185	700.326	5.744.816	61,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 17	Freiheitsplatz 7	700.487	5.744.756	63,1	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 18	Drosaer Schulstr. 102	700.587	5.744.556	68,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 19	Wulfener Str. 26a	700.610	5.744.786	61,8	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	Neue Str. 1	28:03	78	0:27	2:58	
IP 02	Neue Str. 5	21:43	58	0:26	2:12	
IP 03	Neue Str. 9	6:51	30	0:18	0:40	
IP 04	Str. des Sozialismus 19	25:08	72	0:25	2:37	
IP 05	Str. des Sozialismus 3	13:31	44	0:23	1:20	
IP 06	Dorfplatz 4	21:25	62	0:23	2:10	
IP 07	Am Brandweisweg 99	47:08	84	0:39	5:32	
IP 08	Drosaer Gartenstr. 149	17:32	44	0:29	1:52	
IP 09	Gramsdorfer Str. 122	2:29	16	0:11	0:15	
IP 10	Gramsdorfer Str. 103	13:48	42	0:25	1:29	
IP 11	Drosaer Landstr. 69	30:11	70	0:29	3:30	
IP 12	Am Mühlenberg 60b	26:24	69	0:31	3:23	
IP 13	Am Mühlenberg 191	17:50	48	0:29	2:35	
IP 14	Mittelstr. 111	21:39	67	0:26	2:41	
IP 15	Drosaer Landstr. 14a	23:16	62	0:25	2:40	
IP 16	Drosaer Landstr. 185	10:25	38	0:21	1:07	
IP 17	Freiheitsplatz 7	0:00	0	0:00	0:00	
IP 18	Drosaer Schulstr. 102	14:54	50	0:23	1:54	
IP 19	Wulfener Str. 26a	0:00	0	0:00	0:00	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
WEA D-3	NORDEX ___N163/5.X 5700 163.0 !O! NH: 165,4 m (Ges:246,9 m) (4)	119:28	14:37
WEA K-1	NORDEX ___N163/5.X 5700 163.0 !O! NH: 165,4 m (Ges:246,9 m) (3)	46:58	4:51

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

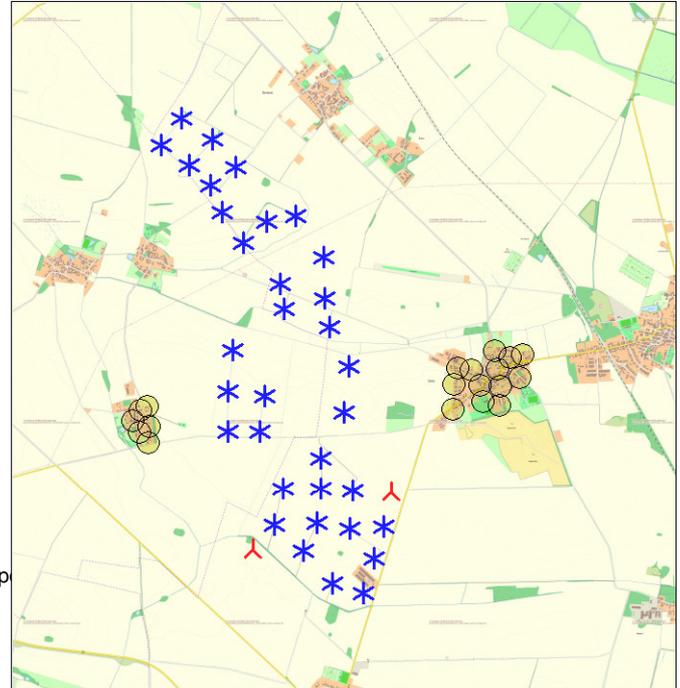
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [POTSDAM]
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,56 2,60 3,92 5,75 7,42 7,51 7,59 7,27 5,27 3,77 1,84 1,30

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:
EMD-WRF Europe+ (ERA5)_N51,79652_E011,891205 (45)

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
367 306 336 547 451 377 480 893 1.118 841 1.133 546 7.393
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: CONTOURLINE_ONLINEDATA_0.wp
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

WEA	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten	
					Ak-tuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]				[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]	
WEA 02	697.696	5.746.549	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 03	698.304	5.746.087	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 04	698.023	5.746.013	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 05	697.139	5.747.012	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 06	696.950	5.746.738	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 07	697.452	5.746.817	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 08	697.230	5.746.551	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 09	697.457	5.746.354	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 10	697.573	5.746.088	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 11	697.798	5.745.797	68,7	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 12	698.680	5.744.994	61,5	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 13	698.628	5.745.273	67,3	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 14	698.231	5.745.152	60,9	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 15	698.179	5.745.402	66,6	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 16	698.070	5.744.281	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 17	698.039	5.743.920	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 18	697.719	5.743.913	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 19	697.709	5.744.316	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 20	697.737	5.744.724	64,8	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 21	698.647	5.743.678	72,4	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 22	698.288	5.743.364	70,7	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 23	698.664	5.743.371	72,6	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 24	698.981	5.743.364	74,2	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 25	699.300	5.743.016	73,1	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 26	698.961	5.742.990	72,4	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 27	698.634	5.743.026	71,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 28	698.214	5.742.993	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 29	698.511	5.742.747	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 30	699.219	5.742.704	70,4	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 31	699.126	5.742.349	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0
WEA 32	698.817	5.742.433	70,0	ENRONWIND_E...	Nein	ENRONWIND	_EW 1.5s-1.500	1.500	70,5	64,7	1.402	20,0

(Fortsetzung nächste Seite)...



SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

	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 33	698.893	5.744.609	62,9	VESTAS __V150... Ja	VESTAS	__V150-5.6-5.600	5.600	150,0	166,0	1.897	10,4	
WEA 34	698.860	5.744.151	70,0	VESTAS __V150... Ja	VESTAS	__V150-5.6-5.600	5.600	150,0	166,0	1.897	10,4	
WEA D-3	699.361	5.743.360	76,0	NORDEX __N16... Ja	NORDEX	__N163/5.X-5.700	5.700	163,0	165,4	1.784	10,7	
WEA K-1	698.013	5.742.734	70,0	NORDEX __N16... Ja	NORDEX	__N163/5.X-5.700	5.700	163,0	165,4	1.784	10,7	
WEA KO-3	698.601	5.745.687	70,0	NORDEX __N16... Ja	NORDEX	__N163/5.X-5.700	5.700	163,0	165,4	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]
IP 01	Neue Str. 1	696.942	5.743.764	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 02	Neue Str. 5	696.941	5.743.924	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 03	Neue Str. 9	696.922	5.744.124	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 04	Str. des Sozialismus 19	696.853	5.743.867	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 05	Str. des Sozialismus 3	696.851	5.744.082	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 06	Dorfplatz 4	696.781	5.743.977	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 07	Am Brandweisweg 99	699.941	5.744.222	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 08	Drosaer Gartenstr. 149	699.941	5.744.468	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 09	Gramsdorfer Str. 122	699.973	5.744.630	65,8	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 10	Gramsdorfer Str. 103	700.107	5.744.616	65,3	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 11	Drosaer Landstr. 69	700.202	5.744.463	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 12	Am Mühlenberg 60b	700.237	5.744.302	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 13	Am Mühlenberg 191	700.401	5.744.278	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 14	Mittelstr. 111	700.401	5.744.467	70,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 15	Drosaer Landstr. 14a	700.366	5.744.638	66,0	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 16	Drosaer Landstr. 185	700.326	5.744.816	61,2	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 17	Freiheitsplatz 7	700.487	5.744.756	63,1	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 18	Drosaer Schulstr. 102	700.587	5.744.556	68,7	1,0	1,0	1,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
IP 19	Wulfener Str. 26a	700.610	5.744.786	61,8	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	Neue Str. 1	48:47	183	0:27	7:46	
IP 02	Neue Str. 5	38:55	139	0:26	6:03	
IP 03	Neue Str. 9	30:27	150	0:24	6:02	
IP 04	Str. des Sozialismus 19	37:42	143	0:25	5:18	
IP 05	Str. des Sozialismus 3	33:29	155	0:23	5:50	
IP 06	Dorfplatz 4	32:22	146	0:23	4:26	
IP 07	Am Brandweisweg 99	106:09	220	0:46	19:12	
IP 08	Drosaer Gartenstr. 149	55:00	143	0:33	10:33	
IP 09	Gramsdorfer Str. 122	34:50	107	0:32	7:31	
IP 10	Gramsdorfer Str. 103	39:29	114	0:29	7:01	
IP 11	Drosaer Landstr. 69	53:35	140	0:29	8:33	
IP 12	Am Mühlenberg 60b	50:32	142	0:31	8:47	
IP 13	Am Mühlenberg 191	36:40	110	0:29	6:47	
IP 14	Mittelstr. 111	39:10	127	0:26	6:26	
IP 15	Drosaer Landstr. 14a	40:43	120	0:25	6:06	
IP 16	Drosaer Landstr. 185	27:55	97	0:24	4:30	
IP 17	Freiheitsplatz 7	14:40	54	0:22	3:05	
IP 18	Drosaer Schulstr. 102	28:13	102	0:23	4:39	
IP 19	Wulfener Str. 26a	12:32	50	0:20	2:36	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
	WEA 02 ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 IO! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (1)	0:00	0:00
	WEA 03 ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 IO! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (2)	0:00	0:00

(Fortsetzung nächste Seite)...



SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung / Hauptergebnis und Listen

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
WEA 04	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (3)	0:00	0:00
WEA 05	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (4)	0:00	0:00
WEA 06	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (5)	0:00	0:00
WEA 07	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (6)	0:00	0:00
WEA 08	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (7)	0:00	0:00
WEA 09	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (8)	0:00	0:00
WEA 10	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (9)	0:00	0:00
WEA 11	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (10)	0:00	0:00
WEA 12	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (11)	1:33	0:23
WEA 13	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (12)	0:00	0:00
WEA 14	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (13)	0:00	0:00
WEA 15	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (14)	0:00	0:00
WEA 16	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (15)	8:21	2:12
WEA 17	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (16)	10:12	2:12
WEA 18	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (17)	29:26	6:25
WEA 19	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (18)	32:09	8:43
WEA 20	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (19)	7:34	2:00
WEA 21	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (20)	0:00	0:00
WEA 22	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (21)	0:00	0:00
WEA 23	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (22)	0:00	0:00
WEA 24	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (23)	2:22	0:15
WEA 25	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (24)	0:00	0:00
WEA 26	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (25)	0:00	0:00
WEA 27	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (26)	0:00	0:00
WEA 28	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (27)	0:00	0:00
WEA 29	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (28)	0:00	0:00
WEA 30	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (29)	0:00	0:00
WEA 31	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (30)	0:00	0:00
WEA 32	ENRONWIND_EW 1.5s 1500 70.5 !O! NH: 64,7 m (Ges:99,9 m) (31)	0:00	0:00
WEA 33	VESTAS_V150-5.6 5600 150.0 !O! NH: 166,0 m (Ges:241,0 m) (32)	111:36	27:52
WEA 34	VESTAS_V150-5.6 5600 150.0 !O! NH: 166,0 m (Ges:241,0 m) (33)	65:47	14:06
WEA D-3	NORDEX_N163/5.X 5700 163.0 !O! NH: 165,4 m (Ges:246,9 m) (4)	119:28	12:36
WEA K-1	NORDEX_N163/5.X 5700 163.0 !O! NH: 165,4 m (Ges:246,9 m) (3)	46:58	4:11
WEA KO-3	NORDEX_N163/5.X 5700 163.0 !O! NH: 165,4 m (Ges:246,9 m) (36)	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.



Allgemeine Dokumentation
NORDEX - acciona Windpower

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

Allgemeine Dokumentation

Schattenwurfmodul

Rev. 05/29.05.2020

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

- Originaldokument -

Dokument wird elektronisch verteilt.

Original mit Unterschriften bei Nordex Energy GmbH, Department Engineering.

Dieses Dokument, einschließlich jeglicher Darstellung des Dokuments im Ganzen oder in Teilen, ist geistiges Eigentum der Nordex Energy GmbH. Sämtliche in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind ausschließlich für Mitarbeiter und Mitarbeiter von Partner- und Subunternehmen der Nordex Energy GmbH, 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 GmbH ist untersagt.

© 2020 Nordex Energy GmbH, Hamburg

Anschrift des Herstellers im Sinne der Maschinenrichtlinie:

Nordex Energy GmbH

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	N133/4.8, N149/4.0-4.5, N149/5.X, N163/5.X

Inhalt

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

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 in einem separaten Schaltschrank untergebracht (Anlagengeneration gamma), in die Topbox integriert oder in die CSB-Box der MV-Substation eingebaut (Anlagengeneration delta). 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.

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 ISO/IEC 17025:2005 / EN ISO/IEC 17025:2005: 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; 02.08.2017**
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**
10. **U.S. Geological Survey (USGS): Shuttle radar topography mission (SRTM); ita.cr.usgs.gov/SRTM**
11. **Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); 08.10.2012**