Berechnung der Schattenwurfdauer für den Betrieb von drei Windenergieanlagen am Standort Ochsenauel

Bericht-Nr. 3408-13-S1

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

IEL GmbH – Kirchdorfer Straße 26 – 26603 Aurich ' 04941-9558-0

Berechnung der Schattenwurfdauer für den Betrieb von drei Windenergieanlagen am Standort Ochsenauel

Bericht-Nr.:	3408-13-S1
Auftraggeber:	Gemeinde Hürtgenwald August-Scholl-Straße 5 52393 Hürtgenwald
Auftragnehmer:	IEL GmbH Kirchdorfer Straße 26 26603 Aurich Tel: 04941 - 9558-0 Fax: 04941 - 9558-11 e-mail: mail@iel-gmbh.de
Bearbeiter:	Alex Porjadinski, B.Eng. (Sachbearbeiter Rotorschattenwurf)
Prüfer:	Jürgen Michalk, Dipl.-Ing. (Technischer Leiter Rotorschattenwurf)
Textteil: Anhang:	19 Seiten (inkl. Deckblätter) siehe Anhangsverzeichnis
Datum:	13. November 2013

DAkkS
Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-11011-01-00

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 4

2. Standortbeschreibung 5

3. Kartenmaterial und Koordinaten-Bezugssystem 6

4. Sonnenstandsberechnung, geometrische Hauptgrößen, Programmanforderungen 6
4.1 Blatttiefe und Schattenreichweite 8
4.2 Kappungswinkel 8
4.3 Geometrie für WEA und IP - Koordinaten 8
4.4 Schattenfrequenz 9
4.5 Gewächshausmodus 10
4.6 Berechnungsjahr 10
4.7 Zeitangaben 10

5. Windenergieanlagen 10
5.1 Windenergieanlage des Auftraggebers 11
5.2 Zusätzlich zu berücksichtigende Windenergieanlagen 11

6. Immissionspunkte 12

7. Einschränkung der Schattenwurfdauer 14

8. Orientierungswerte 14

9. Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse und Beurteilung 15
9.1 Berechnungsergebnisse 15
9.2 Jährliche Schattenwurfdauer (worst-case) 17
9.3 Tägliche Schattenwurfdauer 18
9.4 Beurteilung 18

Anhang

1. Einleitung

Der Auftraggeber plant am Standort Ochsenauel die Errichtung und den Betrieb von drei Windenergieanlagen (WEA 04 - WEA 06) vom Typ ENERCON E-101 mit 149 m Nabenhöhe und einer Nennleistung von 3.050 kW.

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.

Am geplanten Standort befinden sich bereits drei Windenergieanlagen (WEA 01 - WEA 03) unterschiedlichen Typs in Betrieb. Diese werden nachfolgend 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 67530[1] bzw. DIN EN ISO 2813[2] (siehe Anhang: Reflexionsverhalten von ENERCON Rotorblättern).

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 - 1,0 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.

2. Standortbeschreibung

Der Standort der geplanten Windenergieanlagen befindet sich im nordrhein-westfälischen Kreis Düren, auf dem Gebiet der Gemeinde Hürtgenwald.

Der Standort Ochsenauel befindet sich im östlichen Bereich des Gemeindegebietes, östlich der Landstraße L11 „Nideggener Straße“. Westlich der geplanten WEA bzw. westlich der Landstraße L11 befinden sich bereits drei unterschiedliche Windenergie-anlagen in Betrieb.

Die nächstgelegene Wohnbebauung befindet sich in den umliegenden Ortschaften Brandenberg, Hürtgen, Kleinhau und Obermaubach sowie entlang der Landstraße L11 im Außenbereich.

Die Windenergieanlagen und die nächstgelegenen Wohnhäuser befinden sich auf einem Höhenniveau zwischen 366 und 399 m ü. N.N. Die Höhenunterschiede werden bei den Berechnungen berücksichtigt (siehe Tabellen 4 und 5 / $h_{s\ grd}$ und Tabelle 6 / $h_{i\ grd}$). Das Untersuchungsgebiet ist in der nachfolgenden Karte dargestellt.

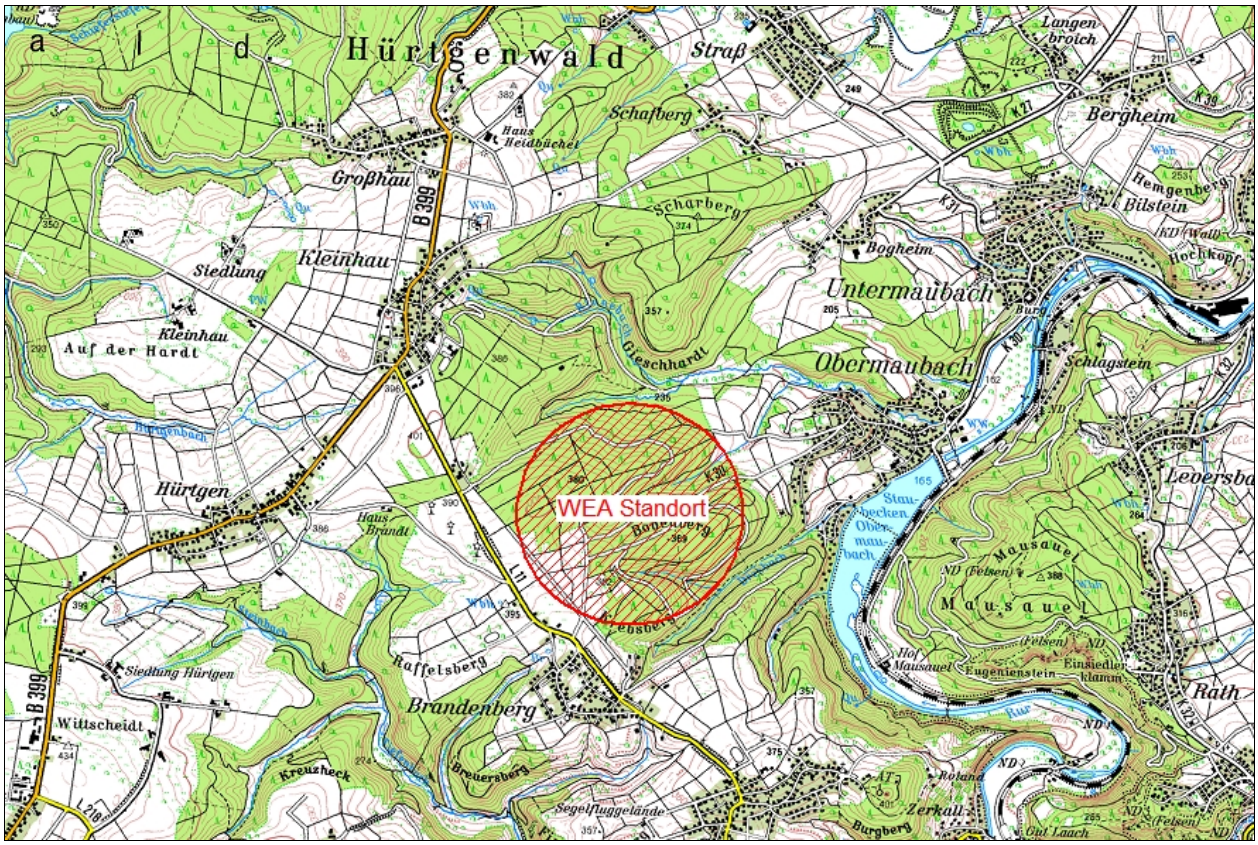


Bild 1: Übersichtskarte

Die Standortbegehung wurde am 09. Oktober 2013 durchgeführt. Die Dokumentation erfolgte durch Eintragungen in großmaßstäbiges Kartenmaterial und durch Fotos der Immissionspunkte.

3. Kartenmaterial und Koordinaten-Bezugssystem

	Kartenart	Maßstab	Bereich
1	Digitale Topographische Karten DTK25		
2	Digitale Topographische Karten (DTK5)		
3	Topographisches Informationsmanagement Nordrhein-Westfalen (www.tim-online.nrw.de)		

Tabelle 1: Kartengrundlage und amtliches Kartenmaterial

Die verwendeten Koordinaten sind rechtwinklig kartesische UTM-Koordinaten (WGS 84 / Zone 32) und ermöglichen somit eine Kontrolle mit dem Kartenwerk aus Tabelle 1.

Für die Bestimmung des Längen- und Breitengrades zur Sonnenstandsberechnung wurden die rechtwinklig kartesischen Koordinaten des UTM-Systems in geographische Koordinaten umgeformt, hierzu wurden die Koordinaten der Windparkmitte herangezogen:

Geographische Koordinaten des Bezugspunktes		
Geographischer Längengrad	λ	E 06°24´49´´
Geographischer Breitengrad	ϕ	N 50°42´45´´

Tabelle 2: Geographische Koordinaten

Die Differenz zwischen geographisch Nord und Gitter-Nord (UTM) wurde mit 2,0° berücksichtigt.

4. Sonnenstandsberechnung, geometrische Hauptgrößen, 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 e. Sie beträgt ca. 23,5°. 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° bis +23.5°) 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° beträgt und sich eine Tag- und Nachtgleiche 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[4] mathematisch beschrieben und für Berechnungen mit einer Genauigkeit von ca. 0,01° herangezogen.

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 waagerecht ausgerichteten Fläche ergibt sich aus dem nachfolgend dargelegten formelmäßigen Zusammenhang:

$$\sin h_s = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos H \quad \text{mit:}$$

h_s	=	Höhenwinkel, Höhe positiv über und negativ unter dem Horizont
φ	=	geographische Breite des Standortes
δ	=	Deklination zwischen Sonne u. Äquatorebene
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°).

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

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

Weiter von den Immissionspunkten entfernt liegende WEA führen naturgemäß zu geringeren Störwirkungen. 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. Ein vom Staatlichen Umweltamt Schleswig initiierter Arbeitskreis, der sich mit der Problematik des Rotorschattenwurfs auseinandergesetzt hat, geht von einer 20%-Verdeckung für die Reichweitenbegrenzung aus. Die mittlere Blatttiefe und die daraus resultierende Rotorschattenreichweite (RSRW) für den geplanten WEA-Typ gehen aus der Tabelle 3 hervor. Die Rotorschattenreichweiten aller WEA sind u. a. der WEA-Daten-Liste des Anhangs zu entnehmen.

4.2 Kappungswinkel

Für Sonnenstände unterhalb des vertikalen Kappungswinkels von 3° Grad 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 Rotorschattenreichweite (RSRW) auch über den höchsten Rotorpunkt begrenzt.

4.3 Geometrie für WEA und IP - Koordinaten

Die Geometriegrößen und deren Bezeichnungen sind nachfolgend grafisch in Bild 2 und in Bild 3 veranschaulicht.

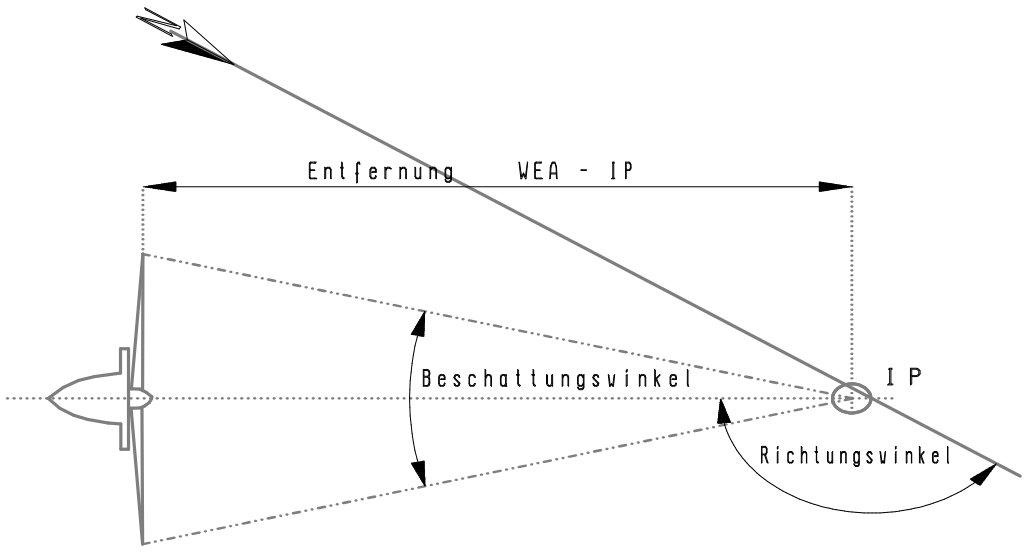


Bild 2: Geometrische Verhältnisse; Draufsicht

In den Darstellungen werden folgende Bezeichnungen verwendet:

h_S	= Nabenhöhe der WEA ü. Geländeoberkante (GOK)
$h_{S\ grd}$; $h_{i\ grd}$	= Höhe ü. N.N. für WEA - Fuß- bzw. Immissionspunkt
$h_{S\ abs}$; $h_{i\ abs}$	= Höhe ü. N.N. für WEA - Nabe bzw. Immissionspunkt
h_i	= Höhe des Immissionspunktes ü. GOK
IP	= Immissionspunkt
Δ h	= Höhendifferenz zw. Nabenhöhe der WEA und dem IP

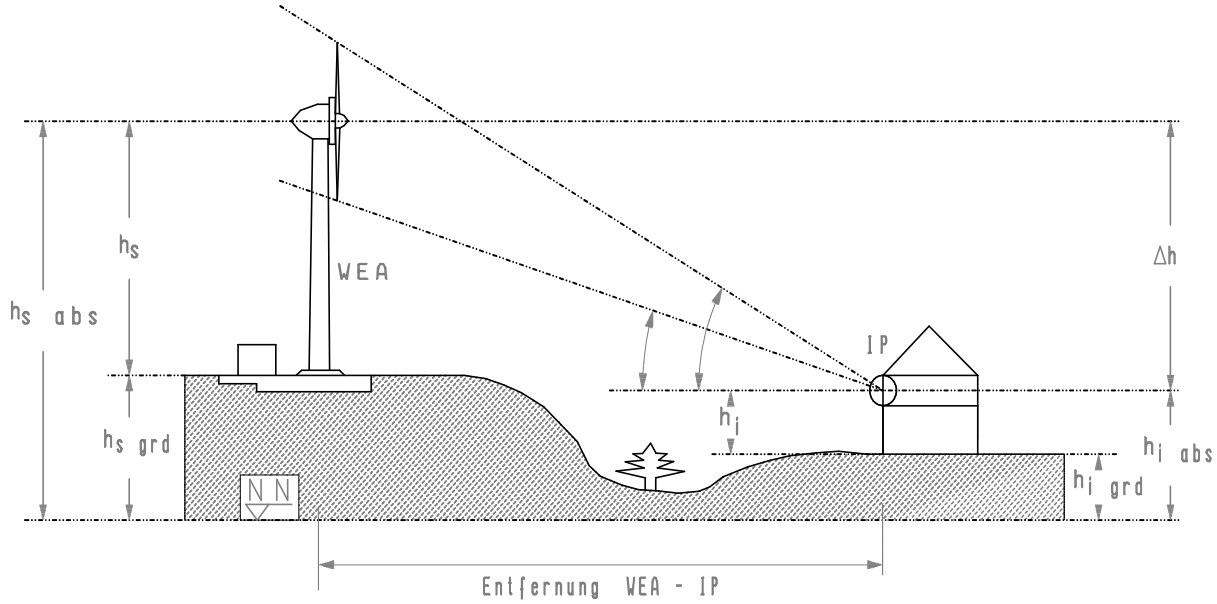


Bild 3: Geometrische Verhältnisse, Vertikalschnitt

Bei der Ermittlung der Entfernungen zwischen den Immissionspunkten und den Windenergieanlagen bleibt der Abstand zwischen Rotorebene und Turmachse unberücksichtigt, denn die daraus resultierenden Fehler liegen, je nach Rotorstellung, im positiven oder negativen Bereich.

4.4 Schattenfrequenz

Die Schattenfrequenz ergibt sich aus der Drehzahl eines Rotors und der Anzahl seiner Rotorblätter und beschreibt, wie häufig die Lichtverhältnisse (hell/dunkel) innerhalb eines bestimmten Zeitraumes wechseln. Die dafür angegebene Einheit Hz bezieht sich dabei auf die Wechsel pro Sekunde (1 Hz = 1 s^{-1}). Die Schattenfrequenz für die geplanten WEA ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Wird der Schatten durch zwei oder gar mehrere Rotoren gleichzeitig verursacht, so erhöht sich die Frequenz, wobei unregelmäßige Zeitabstände für den Blattdurchgang zu erwarten sind.

4.5 Gewächshausmodus

Bei allen hier durchzuführenden Berechnungen wird von frei eingestrahlten Immissionspunkten ausgegangen. Dies bedeutet, dass Verdeckungen durch Gebäudefronten am IP selbst oder durch andere Gebäude bzw. durch Bewuchs unberücksichtigt bleiben.

Diese Betrachtungsweise wird auch als sog. Gewächshausmodus bezeichnet und wird allgemein als konservativ angesehen, weil die schützenswerte Räume in der Realität meist nur zwei Seiten oder nur eine Seite mit Lichtöffnungen besitzen.

4.6 Berechnungsjahr

Alle Zeitangaben beziehen sich auf das Kalenderjahr 2014. Sie sind vergleichsweise genauer als Zeitberechnungen, welche eine Jahresangabe außer Betracht lassen.

4.7 Zeitangaben

Für alle Zeitangaben gilt stets die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) für die Zeitzone -1 (Paris, Berlin). Eine Umstellung auf die im Alltag verwendete Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) wird nicht vorgenommen.

Bei der Bestimmung der Schattendauer an einem IP wird jede angebrochene Minute, innerhalb welcher Schatten auftritt, als volle Minute gezählt.

5. Windenergieanlagen

Am Standort Ochsenauel ist die Errichtung und der Betrieb von drei Windenergieanlagen (WEA 04 - WEA 06) des Anlagentyps ENERCON E-101 mit 149 m Nabenhöhe geplant, welche als Zusatzbelastung gelten und in Kapitel 5.1 näher beschrieben sind. Die bestehenden WEA sind in Kap 5.2 beschrieben und gelten als Vorbelastung. Das Zusammenwirken der Vor- und der Zusatzbelastung führt zur Gesamtbelastung.

Die Koordinaten der geplanten Windenergieanlagen wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Die Daten der bestehenden Windenergieanlagen wurden einer Auflistung des Landkreises Düren entnommen. Die Standortkoordinaten wurden mit Luftbildern abgeglichen und zusätzlich vor Ort überprüft.

Alle Programm-Koordinaten sind im Koordinatensystem UTM WGS84 Zone 32 und ermöglichen somit die Kontrolle mit dem amtlichen Kartenmaterial. In den nachfolgenden Tabellen sind die Koordinaten und Daten der berücksichtigten Windenergieanlagen zusammengefasst.

5.1 Windenergieanlagen des Auftraggebers

In Tabelle 3 sind charakteristische Nebenangaben zu den Schattenwurfbetrachtungen für den vom Auftraggeber geplanten Anlagentyp aufgezeigt.

Anlagentyp	Mittlere Blatttiefe	Rotorschatten-reichweite (RSRW)	Drehzahl-bereich	Blatt-zahl	Blatt-durchgangs frequenz
ENERCON E-101	3,252 m	2.216 m	4,0 - 14,5 min^{-1}	3	0,20 - 0,73 Hz

Tabelle 3: Nebenangaben zu der geplanten WEA für Schattenwurfbetrachtungen

Die Koordinaten und Abmessungen der geplanten WEA sind der nachfolgenden Tabelle 4 zu entnehmen.

Geplante Windenergieanlagen (Zusatzbelastung)						
Windenergieanlage	UTM Rechtswert	UTM Hochwert	$h_{S\ grd}$	H_S	$h_{S\ abs}$	Rotor Ø
WEA 04 / E-101 / ZB	317.116	5.621.276	377,2 m	149,0 m	526,2 m	101,0 m
WEA 05 / E-101 / ZB	317.306	5.621.078	382,8 m	149,0 m	531,8 m	101,0 m
WEA 06 / E-101 / ZB	317.789	5.620.805	366,8 m	149,0 m	515,8 m	101,0 m

Tabelle 4: WEA der vom Auftraggeber geplanten Zusatzbelastung Koordinaten und Abmessungen

5.2 Zusätzlich zu berücksichtigende Windenergieanlagen

Westlich der vom Auftraggeber geplanten Windenergieanlagen befinden sich bereits drei Windenergieanlagen (WEA 01 - WEA 03) in Betrieb die als Vorbelastung in die nachfolgenden Berechnungen einfließen.

Die Daten der zusätzlich zu berücksichtigenden WEA sind der nachfolgend aufgeführten WEA-Liste zu entnehmen.

Weitere Windenergieanlagen (Vorbelastung)						
Windenergieanlage	UTM Rechtwert	UTM Hochwert	$h_{S\ grd}$	H_S	$h_{S\ abs}$	Rotor Æ
WEA 01 / NM60/1000 / VB	316.164	5.620.972	390,0 m	70,0 m	460,0 m	60,0 m
WEA 02 / E-82 E2 / VB	316.251	5.620.797	389,0 m	98,4 m	487,4 m	82,0 m
WEA 03 / E-82 E2 / VB	316.496	5.620.672	393,0 m	98,4 m	491,4 m	82,0 m

Tabelle 5: WEA der Vorbelastung Koordinaten und Abmessungen

Die jeweiligen Rotorschattenreichweiten der zur Vorbelastung zählenden WEA sind dem Auszug aus dem Datensatz (s. Anhang) zu entnehmen.

6. Immissionspunkte

Die berücksichtigten Immissionspunkte (IP) stellen die nächstgelegenen schutzwürdigen Nutzungen dar, an denen Überschreitungen der Orientierungswerte nicht auszuschließen sind.

Die Koordinaten der untersuchten Immissionspunkte wurden dem Topographischen Informationsmanagement Nordrhein-Westfalen (www.tim-online.nrw.de) bzw. den Digitalen Topographischen Karten (DTK5) entnommen.

Laut den WEA-Schattenwurf-Hinweisen[3] des Länderausschusses 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.

Die Lage der Immissionspunkte ist in den anliegenden Übersichtskarten dargestellt. In der nachfolgenden Tabelle 6 sind die Bezeichnungen und Koordinaten zusammengefasst. Die vertikale Lage wird entsprechend der örtlichen Gegebenheiten für den Großteil der IP mit 2 m Höhe über Geländeoberkante (GOK) angesetzt. Lediglich an den Immissionsorten „Turnhalle“ und „Realschule“ werden auf Grund der Gebäudehöhe zusätzliche Immissionspunkte in 5 m Höhe platziert.

Hinweis:
Westlich der geplanten Windenergieanlagen befindet sich zurzeit ein abgerissenes Gebäude (IP 10). Für dieses Gebäude wird Bestandschutz vorausgesetzt. Falls auf dem Baugrundstück kein Neubau erfolgt, muss dieser IP bei einer ggf. später notwendig werdenden Rotorschattenwurf-Regelung nicht berücksichtigt werden.

Immissionspunkte	**UTM Rechtswert**	**UTM Hochwert**	**$h_{i\ grd}$**	**h_i**	**$h_{i\ abs}$**
IP 01 Brandenberger Weg 12	315.875	5.620.990	378,0 m	2,0 m	380,0 m
IP 02 Höhenstraße 1a	315.493	5.621.439	384,6 m	2,0 m	386,6 m
IP 03 Höhenstraße 1	315.487	5.621.413	385,4 m	2,0 m	387,4 m
IP 04 Höhenstraße 3	315.468	5.621.404	385,2 m	2,0 m	387,2 m
IP 05 Höhenstraße 7	315.419	5.621.348	385,8 m	2,0 m	387,8 m
IP 06 Höhenstraße 4	315.416	5.621.410	382,8 m	2,0 m	384,8 m
IP 07 Höhenstraße 2a	315.413	5.621.433	382,1 m	2,0 m	384,1 m
IP 08 Höhenstraße 2b	315.439	5.621.437	382,9 m	2,0 m	384,9 m
IP 09 Höhenstraße 2	315.432	5.621.455	382,0 m	2,0 m	384,0 m
IP 10 Am Spitzberg 2	316.488	5.621.145	382,0 m	2,0 m	384,0 m
IP 11 Am Spitzberg 3	316.368	5.621.233	385,0 m	2,0 m	387,0 m
IP 12 Am Spitzberg 6	316.439	5.621.241	376,0 m	2,0 m	378,0 m
IP 13 Am Spitzberg 5	316.318	5.621.247	388,5 m	2,0 m	390,5 m
IP 14 Am Spitzberg 7	316.344	5.621.310	386,6 m	2,0 m	388,6 m
IP 15 Am Spitzberg 10	316.386	5.621.329	383,6 m	2,0 m	385,6 m
IP 16 Rinnebachstraße 2	316.229	5.621.916	397,5 m	2,0 m	399,5 m

Immissionspunkte	UTM Rechtswert	UTM Hochwert	$h_{i\ grd}$	h_i	$h_{i\ abs}$
IP 17 August-Scholl-Str. 3/3a	316.172	5.622.051	397,8 m	2,0 m	399,8 m
IP 18 August-Scholl-Str. 3b/3c	316.156	5.622.068	397,7 m	2,0 m	399,7 m
IP 19 August-Scholl-Str. 5	316.130	5.622.092	397,8 m	2,0 m	399,8 m
IP 20 Buschfeld 7	316.146	5.622.191	395,4 m	2,0 m	397,4 m
IP 21 Buschfeld 9	316.157	5.622.207	394,7 m	2,0 m	396,7 m
IP 22 Buschfeld 11	316.176	5.622.232	393,3 m	2,0 m	395,3 m
IP 23 Buschfeld 22	316.230	5.622.265	389,2 m	2,0 m	391,2 m
IP 24 Buschfeld 20	316.217	5.622.244	391,2 m	2,0 m	393,2 m
IP 25 August-Scholl-Str. 11	316.236	5.622.216	391,3 m	2,0 m	393,3 m
IP 26 Buschfeld 18	316.204	5.622.218	392,5 m	2,0 m	394,5 m
IP 27 Buschfeld 16	316.193	5.622.202	393,6 m	2,0 m	395,6 m
IP 28 August-Scholl-Str. 9	316.235	5.622.181	392,8 m	2,0 m	394,8 m
IP 29 August-Scholl-Str. 7	316.222	5.622.169	393,7 m	2,0 m	395,7 m
IP 30 Gemeinde Hürtgenwald	316.196	5.622.134	395,5 m	2,0 m	397,5 m
IP 31 Turnhalle 1 / 2m	316.284	5.622.125	395,2 m	2,0 m	397,2 m
IP 32 Turnhalle 1 / 5m	316.284	5.622.125	395,2 m	5,0 m	400,2 m
IP 33 Turnhalle 2 / 2m	316.310	5.622.112	395,7 m	2,0 m	397,7 m
IP 34 Turnhalle 2 / 5m	316.310	5.622.112	395,7 m	5,0 m	400,7 m
IP 35 Turnhalle 3 / 2m	316.320	5.622.129	394,7 m	2,0 m	396,7 m
IP 36 Turnhalle 3 / 5m	316.320	5.622.129	394,7 m	5,0 m	399,7 m
IP 37 Realschule 1 / 2m	316.270	5.622.061	396,9 m	2,0 m	398,9 m
IP 38 Realschule 1 / 5m	316.270	5.622.061	396,9 m	5,0 m	401,9 m
IP 39 Realschule 2 / 2m	316.291	5.622.050	397,3 m	2,0 m	399,3 m
IP 40 Realschule 2 / 5m	316.291	5.622.050	397,3 m	5,0 m	402,3 m
IP 41 Realschule 3 / 2m	316.313	5.622.039	397,7 m	2,0 m	399,7 m
IP 42 Realschule 3 / 5m	316.313	5.622.039	397,7 m	5,0 m	402,7 m
IP 43 Realschule 4 / 2m	316.332	5.622.028	398,1 m	2,0 m	400,1 m
IP 44 Realschule 4 / 5m	316.332	5.622.028	398,1 m	5,0 m	403,1 m
IP 45 Realschule 5 / 2m	316.342	5.622.047	398,1 m	2,0 m	400,1 m
IP 46 Realschule 5 / 5m	316.342	5.622.047	398,1 m	5,0 m	403,1 m
IP 47 Realschule 6 / 2m	316.320	5.622.069	397,3 m	2,0 m	399,3 m
IP 48 Realschule 6 / 5m	316.320	5.622.069	397,3 m	5,0 m	402,3 m
IP 49 Realschule 8 / 2m	316.338	5.622.070	397,5 m	2,0 m	399,5 m
IP 50 Realschule 8 / 5m	316.338	5.622.070	397,5 m	5,0 m	402,5 m
IP 51 Realschule 9 / 2m	316.346	5.622.087	396,1 m	2,0 m	398,1 m
IP 52 Realschule 9 / 5m	316.346	5.622.087	396,1 m	5,0 m	401,1 m
IP 53 Realschule 10 / 2m	316.355	5.622.103	394,9 m	2,0 m	396,9 m
IP 54 Realschule 10 / 5m	316.355	5.622.103	394,9 m	5,0 m	399,9 m

Tabelle 6: Koordinaten der Immissionspunkte

Der Immissionspunkt „IP 01 Brandenberger Weg 12“ befindet sich im Außenbereich, westlich der geplanten Windenergieanlagen.

Die Immissionspunkte IP 02 bis IP 09 liegen westlich der geplanten Windenergieanlagen, am nordöstlichen Rand der Ortschaft Hürtgen.

Die Immissionspunkte IP 10 bis IP 15 befinden sich westlich der geplanten Windenergieanlagen, im Außenbereich.

Die Immissionspunkte IP 16 bis IP 30 befinden sich nordwestlich der geplanten WEA, am südlichen Rand der Ortschaft Kleinhau.

Weitere Immissionspunkte IP 31 bis IP 54 befinden sich ebenfalls nordwestlich der geplanten WEA in der Ortschaft Kleinhau, auf einem Schulgelände. Die Immissionspunkte IP 31 bis IP 36 befinden sich an der Turnhalle. Hier wurden auf Grund der Gebäudegröße mehrere Immissionspunkte gesetzt. Die Immissionspunkte IP 37 bis IP 54 liegen am Schulgebäude und weisen in Richtung der geplanten WEA sichtbare Fensterfronten auf. Hier wurden auf Grund der Gebäudegröße mehrere Immissionspunkte gesetzt.

7. Einschränkung der Schattenwurfdauer

Die astronomisch mögliche Schattenwurfdauer (worst-case) wird nur unter der Voraussetzung erreicht, dass die Sonne nie durch Bewölkung verdeckt wird und die Rotorebene immer im rechten Winkel zur WEA-IP-Achse steht. Beide Voraussetzungen werden in der Praxis jedoch nur in 25 bis 35 % der astronomisch möglichen Schattenwurfzeiten erfüllt.

Steht der Rotor, bedingt durch die jeweils vorherrschende Windrichtung, schräg zum Einstrahlwinkel, so wird der Schattenbereich schmaler. Im statistischen Mittel führen diese Rotorschrägstellungen ebenfalls 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.

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 werden müssen. Ein vom Staatlichen Umweltamt Schleswig initiierter Arbeitskreis hat die Bestimmung geeigneter Orientierungswerte durchgeführt und 30 Stunden pro Jahr als jährlich zulässiges Maximum ermittelt, wenn sich die Berechnungen auf eine worst-case-Betrachtung beziehen. Die Universität Kiel hat mit einer Grundlagenstudie[5] über Belästigungsgrad, Zumutbarkeit und Schädlichkeit von Rotorschattenwurf diesen Orientierungswert bestätigt. In einem zweiten Teil dieser Studie[6] untermauert eine Laborpilotstudie zusätzlich auch das vom Arbeitskreis vorgeschlagene Maximum von 30 Minuten pro Tag.

Die Orientierungswerte von maximal 30 Stunden pro Jahr (worst-case) bzw. maximal 30 Minuten pro Tag bilden zwischenzeitlich den Stand der Technik, da sie in nahezu allen Bundesländern gemäß der Empfehlung des LAI zur Anwendung kommen. Das tägliche Maximum von 30 Minuten gilt dabei erst dann als überschritten, wenn die Überschreitung an mehr als zwei Tagen im Jahr auftritt.

Werden die Orientierungswerte für die zulässige Dauer pro Jahr auf die reale Schattenwurfdauer abgestellt, so werden sie entsprechend Kapitel 7 in der Regel mit 8 Stunden pro Jahr angegeben, wobei eine Vorausberechnung wegen der jährlich und monatlich auftretenden starken Schwankungen der Sonnenscheindauer nicht möglich ist.

9. Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse und Beurteilung

Die hier nachfolgenden Ergebnisse gelten für explizit gewählte und frei eingestrahlte 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. Alle genannten Zeitangaben beziehen sich auf die Mitteleuropäische Zeit (MEZ), d. h. Verschiebungen durch die Umstellung auf Sommerzeit (MESZ) bleiben unberücksichtigt.

Die Koordinaten der Immissionspunkte wurden im UTM-Format (UTM WGS84/Zone32) aus den amtlichen Karten (DTK5) unter Zuhilfenahme des Geoportals des Landes Nordrhein-Westfalen (www.tim-online.nrw.de) ermittelt. Hierbei sind geringfügige Abweichungen möglich, die aber keinen relevanten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben.

9.1 Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Bei der Überschreitung von Orientierungswerten sind die Ergebnisse jeweils fett gedruckt. Das tägliche Maximum von 30 Minuten gilt als überschritten, wenn es an mehr als an zwei Tagen im Jahr zu Überschreitungen des Orientierungswertes kommt. Kommt es nur an einem oder an zwei Tagen zu Überschreitungen, sind die Ergebnisse durch die entsprechende Anzahl von nachgestellten Asterisk-Zeichen gekennzeichnet ("*" bzw. "**").

Die Listen für die detaillierten Ergebnisse der Gesamtbelastung befinden sich im Anhang. Die entsprechenden Listen für die Vor- und Zusatzbelastung sind als PDF-Datei auf der anliegenden CD einzusehen.

Immissionspunkt	**Vorbelastung**		**Zusatzbelastung**		**Gesamtbelastung**	
	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr
IP 01 Brandenberger Weg 12	**47**	**78,92**	19	14,08	**59**	**93,00**
IP 02 Höhenstraße 1a	**37**	18,65	14	5,93	**37**	24,58
IP 03 Höhenstraße 1	**37**	18,47	14	5,88	**37**	24,35
IP 04 Höhenstraße 3	**37**	17,60	14	5,78	**37**	23,38
IP 05 Höhenstraße 7	27	14,28	14	5,50	27	19,78

Immissionspunkt	**Vorbelastung**		**Zusatzbelastung**		**Gesamtbelastung**	
	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr
IP 06 Höhenstraße 4	**34**	15,10	14	5,43	**34**	20,53
IP 07 Höhenstraße 2a	**35**	15,25	14	5,38	**35**	20,63
IP 08 Höhenstraße 2b	**36**	16,42	14	5,67	**36**	22,08
IP 09 Höhenstraße 2	**34**	16,03	14	5,58	**34**	21,62
IP 10 Am Spitzberg 2	**67**	**108,85**	**38**	**56,23**	**67**	**165,08**
IP 11 Am Spitzberg 3	**70**	**87,62**	**31**	**31,92**	**70**	**119,53**
IP 12 Am Spitzberg 6	**48**	**69,12**	**35**	**38,62**	**48**	**107,73**
IP 13 Am Spitzberg 5	**78**	**71,97**	29	27,97	**78**	**99,93**
IP 14 Am Spitzberg 7	**37**	29,55	30	28,43	**37**	**57,98**
IP 15 Am Spitzberg 10	**35**	30,00	**32**	**30,92**	**35**	**60,92**
IP 16 Rinnebachstraße 2	-/-	-/-	28	14,93	28	14,93
IP 17 August-Scholl-Str. 3/3a	-/-	-/-	28	13,25	28	13,25
IP 18 August-Scholl-Str. 3b/3c	-/-	-/-	28	12,93	28	12,93
IP 19 August-Scholl-Str. 5	-/-	-/-	27	12,15	27	12,15
IP 20 Buschfeld 7	-/-	-/-	29	13,57	29	13,57
IP 21 Buschfeld 9	-/-	-/-	28	14,23	28	14,23
IP 22 Buschfeld 11	-/-	-/-	28	17,22	28	17,22
IP 23 Buschfeld 22	-/-	-/-	29	20,70	29	20,70
IP 24 Buschfeld 20	-/-	-/-	29	20,30	29	20,30
IP 25 August-Scholl-Str. 11	-/-	-/-	30	20,80	30	20,80
IP 26 Buschfeld 18	-/-	-/-	30	18,55	30	18,55
IP 27 Buschfeld 16	-/-	-/-	30	16,28	30	16,28
IP 28 August-Scholl-Str. 9	-/-	-/-	30	18,88	30	18,88
IP 29 August-Scholl-Str. 7	-/-	-/-	31*	16,72	31*	16,72
IP 30 Gemeinde Hürtgenwald	-/-	-/-	31**	14,53	31**	14,53
IP 31 Sporthalle 1 / 2m	-/-	-/-	**32**	19,42	**32**	19,42
IP 32 Sporthalle 1 / 5m	-/-	-/-	**32**	20,30	**32**	20,30
IP 33 Sporthalle 2 / 2m	-/-	-/-	**33**	21,77	**33**	21,77
IP 34 Sporthalle 2 / 5m	-/-	-/-	**33**	22,17	**33**	22,17
IP 35 Sporthalle 3 / 2m	-/-	-/-	**33**	23,77	**33**	23,77
IP 36 Sporthalle 3 / 5m	-/-	-/-	**33**	23,80	**33**	23,80
IP 37 Schule 1 / 2m	-/-	-/-	**33**	16,58	**33**	16,58
IP 38 Schule 1 / 5m	-/-	-/-	**33**	16,57	**33**	16,57
IP 39 Schule 2 / 2m	-/-	-/-	**33**	17,17	**33**	17,17
IP 40 Schule 2 / 5m	-/-	-/-	**34**	17,30	**34**	17,30
IP 41 Schule 3 / 2m	-/-	-/-	**34**	18,05	**34**	18,05
IP 42 Schule 3 / 5m	-/-	-/-	**34**	18,20	**34**	18,20
IP 43 Schule 4 / 2m	-/-	-/-	**35**	18,83	**35**	18,83
IP 44 Schule 4 / 5m	-/-	-/-	**35**	19,12	**35**	19,12
IP 45 Schule 5 / 2m	-/-	-/-	**35**	20,25	**35**	20,25
IP 46 Schule 5 / 5m	-/-	-/-	**36**	20,50	**36**	20,50
IP 47 Schule 6 / 2m	-/-	-/-	**34**	19,48	**34**	19,48
IP 48 Schule 6 / 5m	-/-	-/-	**34**	19,63	**34**	19,63
IP 49 Schule 8 / 2m	-/-	-/-	**35**	21,17	**35**	21,17
IP 50 Schule 8 / 5m	-/-	-/-	**35**	21,77	**35**	21,77
IP 51 Schule 9 / 2m	-/-	-/-	**34**	23,85	**34**	23,85
IP 52 Schule 9 / 5m	-/-	-/-	**34**	24,07	**34**	24,07

Immissionspunkt	Vorbelastung		Zusatzbelastung		Gesamtbelastung	
	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr	Max. Min. pro Tag	Stunden pro Jahr
IP 53 Schule 10 / 2m	-/-	-/-	**35**	25,67	**35**	25,67
IP 54 Realschule 10 / 5m	-/-	-/-	**34**	25,78	**34**	25,78

Tabelle 7: Astronomisch mögliche Schattenwurfdauer in Minuten / Tag und Stunden / Jahr

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

9.2 Jährliche Schattenwurfdauer (worst-case)

Der Orientierungswert von 30 Stunden pro Jahr (worst case) wird von der Gesamtbelastung an 47 von insgesamt 54 Immissionspunkten eingehalten (IP 02 bis IP 09 sowie IP 16 bis IP 54).

Der Orientierungswert von 30 Stunden pro Jahr (worst case) wird von der Gesamtbelastung an sieben Immissionspunkten überschritten bzw. ausgeschöpft (IP 01 sowie IP 10 bis IP 15).

Der Orientierungswert von 30 Stunden pro Jahr (worst case) wird von der Zusatzbelastung an vier Immissionspunkten überschritten (IP 10 bis IP 12 sowie IP 15).

Der Orientierungswert von 30 Stunden pro Jahr (worst case) wird bereits von der Vorbelastung an sechs Immissionspunkten überschritten bzw. ausgeschöpft (IP 01, IP 10 bis IP 13 sowie IP 15).

An insgesamt fünf Immissionspunkten sollte die geplante Zusatzbelastung keinen weiteren jährlichen Rotorschattenwurf verursachen (IP 01 sowie IP 10 bis IP 13 und IP 15).

Um den Orientierungswert von 30 Stunden pro Jahr (worst case) einzuhalten, ist die Gesamtbelastung an zwei Immissionspunkten auf 30 Stunden zu begrenzen (IP 14 und IP 15).

9.3 Tägliche Schattenwurfdauer

Der Orientierungswert von maximal 30 Minuten pro Tag wird von der Gesamtbelastung an 16 von insgesamt 54 Immissionspunkten eingehalten (IP 05 sowie IP 16 bis IP 30).

Der Orientierungswert von maximal 30 Minuten pro Tag wird von der Gesamtbelastung an 38 Immissionspunkten überschritten (IP 01 bis IP 04, IP 06 bis IP 15 sowie IP 31 bis IP 54).

Der Orientierungswert von maximal 30 Minuten pro Tag wird von der Zusatzbelastung an 28 Immissionspunkten überschritten (IP 10 bis IP 12, IP 15 sowie IP 31 bis IP 54).

Der Orientierungswert von maximal 30 Minuten pro Tag wird von der Vorbelastung bereits an 14 Immissionspunkten überschritten (IP 01 bis IP 04 sowie IP 06 bis IP 15).

An insgesamt 14 Immissionspunkten sollte die geplante Zusatzbelastung zu keiner Erhöhung der täglichen maximalen Rotorschattenwurfdauer beitragen (IP 01 bis IP 04 sowie IP 06 bis IP 15).

An 26 Immissionspunkten ist die Zusatzbelastung so zu begrenzen, dass die Gesamtbelastung den Orientierungswert von 30 Minuten pro Tag einhält (IP 29 bis IP 54).

9.4 Beurteilung

Die Genehmigung sollte mit der Maßgabe von Auflagen erteilt werden. Dabei sind für die geplanten Anlagen entsprechende technische Einrichtungen zum Schutz der Immissionspunkte IP 01, IP 10 bis IP 15 sowie IP 31 bis IP 54 vorzusehen. Zur Festsetzung der maximal zulässigen Rotorschattenwurfdauer bieten die vom LAI empfohlenen Beurteilungskriterien einen sinnvollen Rahmen.

Hinweis:
Der Orientierungswert von maximal 30 Minuten pro Tag wird an den Immissionspunkten IP 02 bis IP 04 und IP 06 bis IP 09 in den Monaten Januar, Februar und November bereits durch die Vorbelastung überschritten. An diesen Immissionspunkten verursachen die vom Auftraggeber geplanten WEA zusätzlichen Rotorschattenwurf in den Monaten März, September und Oktober. Da in den Monaten März, September und Oktober die Vorbelastung unter den Orientierungswerten liegt, lässt die Situation es zu, dass die vom Auftraggeber geplanten WEA in diesen drei Monaten betrieben werden können.

Zur sicheren Unterschreitung vorgegebener Grenzen werden bei der Anlagenprogrammierung zur Schattenwurfabschaltung i. d. R. Reserven in Form von Vor- und Nachlaufzeiten berücksichtigt, um ggf. Ungenauigkeiten durch jährliche Sonnenstandsänderungen, Synchronisation der WEA-internen Uhr oder der Koordinatenbestimmung auszugleichen. Zwei Tage bzw. 5 Minuten am Anfang und am Ende jedes Zeitfensters zur Abschaltung gewährleisten i. d. R. ausreichende Vor- und Nachlaufzeiten.

Der vorliegende Bericht zur Rotorschattenwurfberechnung umfasst 19 Textseiten und die im Anhangsverzeichnis aufgeführten Karten, Diagramme und Listen. Er darf nur in seiner Gesamtheit verwendet werden.

Aurich, den 13.11.2013

Bericht verfasst durch	Geprüft und freigegeben durch
Alex Porjadinski, B.Eng.	Jürgen Michalk, Dipl.-Ing.
(Sachbearbeiter Rotorschattenwurf)	(Technischer Leiter Rotorschattenwurf)

[1] DIN 67530/Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und Kunststoff-Oberflächen (1982-01)

[2] ISO 2813/Beschichtungsstoffe-Bestimmung des Reflektometerwertes von Beschichtungen (außer Metallic-Beschichtungen) unter 20º, 60º und 85º (1999-06); bzw. Norm-Entwurf 2012-10

[3] Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA- Schattenwurf-Hinweise); Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI); 13.03.2002

[4] Meeus, Jean/„Astronomische Algorithmen"/Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig-Berlin-Heidelberg; 2. Auflage 1994 (Kap. 24, Koordinaten der Sonne)

[5] Dr. J. Pohl/Dr. F. Faul/Prof. Dr. R. Mausfeld: Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen/1999

[6] Dr. J. Pohl/Dr. F. Faul/Prof. Dr. R. Mausfeld: Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen/2000

Anhang

Übersichtskarten (3 Seiten)

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

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

Berechnungsergebnisse / Gesamtbelastung (108 Seiten)

Auszug aus dem Datensatz Shadow V4 (2 Seiten)

Reflexionsverhalten von ENERCON Rotorblättern (1 Seite)

Programm zur Schattenabschaltung (3 Seiten)

Externer Anhang / Nur auf CD-ROM

Berechnungsergebnisse / Vorbelastung (30 Seiten)
Berechnungsergebnisse / Zusatzbelastung (108 Seiten)
Berechnungsergebnisse - geplante WEA (125 Seiten)