



## SCHATTENWURF- ABSCHÄTZUNG

Erstellt für:  
**EFG ENERGY FARMING HOLDING GMBH**

*Ref. Nr.: UL-GER-13213706-03*

**BENNIEN**  
Niedersachsen  
Landkreis Osnabrück

04 Februar 2020

KLASSIFIZIERUNG  
*Kundenermess*

AUSGABE  
*01*

<b>Dienstleistung</b>	<b>Schattenwurfabschätzung</b>
<b>Standort</b>	Bennien
<b>Angebotsnr No.</b>	1101810468
<b>Auftrags No.</b>	13213706
<b>Standards/Richtlinien</b>	

<b>Auftraggeber</b>	EFG Energy Farming Holding GmbH Bornweg 28 49152 Bad Essen
<b>Kontakt</b>	Herr Borgmeyer
<b>Testlabor</b>	UL International GmbH Kasinoplatz 3 26122 Oldenburg Germany

**Bemerkungen** Die Ergebnisse des vorliegenden Berichts beziehen sich ausschließlich auf den untersuchten Prüfgegenstand.

**Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Berichts ist nur mit einer schriftlichen Genehmigung der UL International GmbH erlaubt.**

#### DOKUMENTVERANTWORTLICHE

<b>BEARBEITER</b>	<b>PRÜFER</b>
Sabine Schulz <i>Dipl.-Phys.</i> Energy Services	Kathrin Beier <i>B. Eng.</i> Energy Services
	

## HINWEIS AN DRITTE

Dieser Bericht wurde von UL International GmbH, einem UL-Unternehmen ("UL") erstellt und basiert auf Informationen, die nicht unter der Kontrolle von UL stehen. Bei der Erstellung des Berichts geht UL davon aus, dass die von Dritten zur Verfügung gestellten Informationen vollständig und richtig sind. Obwohl davon ausgegangen wird, dass die hierin enthaltenen Informationen, Daten und Meinungen unter den Bedingungen und den hierin festgelegten Beschränkungen zuverlässig sind, garantiert UL nicht deren Richtigkeit. Die Verwendung dieses Berichts oder der darin enthaltenen Informationen durch eine andere Partei als den beabsichtigten Empfänger stellt einen Verzicht dieser dritten Partei auf jegliche Ansprüche gegenüber UL dar, einschließlich Haftungsansprüche für direkte und indirekte Schäden und insbesondere entgangenen Gewinn. Darüber hinaus stellt die Verwendung des Berichts oder der hierin enthaltenen Informationen durch andere Parteien als den beabsichtigten Empfänger eine Zusage dieser dritten Partei dar, UL von jeglichen Ansprüchen und jeglicher Haftung freizustellen, insbesondere von Haftung für Folgeschäden in Verbindung mit einer solchen Verwendung. Soweit gesetzlich zulässig, gelten diese Haftungsausschlüsse und -freistellungen unabhängig von Fahrlässigkeit, der verschuldensunabhängigen Haftung, des Verschuldens, der Verletzung der Gewährleistung oder einer Vertragsverletzung seitens UL. Die vorstehenden Freistellungen, Verzichtserklärungen oder Haftungseinschränkungen erstrecken sich auch auf verbundene Unternehmen und Unterauftragnehmer von UL sowie die Direktoren, leitenden Angestellten, Partner, Mitarbeiter und Vertreter aller freizustellenden oder zu entschädigenden Parteien.

## DOKUMENTKLASSIFIZIERUNG

STRENG VERTRAULICH	Nur für den Empfänger
VERTRAULICH	Darf innerhalb der Organisation des Kunden verbreitet werden
UL INTERN	Keine Veröffentlichung ausserhalb von UL
KUNDENERMESSEN	Verteilung nach Kundenermessen
ÖFFENTLICH	Keine Restriktionen

## INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung / Aufgabenstellung .....	5
2. Methode der Schattenwurfabschätzung .....	6
3. Topographische Eingangsdaten .....	8
3.1 Standortbeschreibung .....	8
3.2 Geographische Datenbasis .....	8
4. Eingangsgrößen für die Schattenwurfabschätzung .....	9
4.1 Geplante Windenergieanlagen .....	9
4.2 Immissionsorte.....	9
5. Einwirkungsbereich der WEA.....	10
5.1 Immissionsorte.....	11
6. Zusammenfassung der Ergebnisse .....	12
6.1 Erläuterungen.....	13
6.2 Allgemeine Bemerkungen .....	13
Anhang A    Literatur .....	14
Anhang B    Verwendete Software .....	14
Anhang C    Häufig verwendete Abkürzungen .....	15

## 1. EINLEITUNG / AUFGABENSTELLUNG

Am Standort Bennien soll eine Windenergieanlage (WEA) des Typs Nordex N-163-5.x errichtet werden. Im Rahmen dieser Planung wurde UL mit der Erstellung einer Schattenwurfabschätzung beauftragt.

Gegenstand der vorliegenden Abschätzung ist die

- rechnerische Abschätzung der zu erwartenden Schattenwurfzeiten in der Umgebung der am Standort Bennien neu geplanten WEA,
- Bewertung und Einschätzung der Berechnungsergebnisse hinsichtlich bestehender Richtlinien zu optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA),

Für die Berechnungen wurde die Parkkonfiguration der geplanten WEA nach Angaben des Auftraggebers verwendet. Die zur Berechnung der Schattenwurfzeiten verwendeten Abmessungen der geplanten WEA basieren auf Herstellerangaben.

Folgende Hinweise sind zu berücksichtigen:

- Die Koordinaten der Immissionsorte wurden dem Kartenmaterial in Form von aktuellen ATKIS-Karten entnommen, jedoch nicht im Rahmen einer Standortbegehung hinsichtlich ihrer Lage und Nutzung überprüft. Es liegen somit keine verifizierten Informationen über eventuelle ständige Arbeitsplätze in den umliegenden gewerbegebieten vor.
- Es erfolgt eine Abschätzung der astronomisch möglichen Schattenwurfzeiten. In einer späteren ausführlichen Schattenwurfprognose können auch die meteorologisch wahrscheinlichen Schattenwurfzeiten berechnet werden

## 2. METHODE DER SCHATTENWURFABSCHÄTZUNG

Gegenstand dieser Schattenwurfabschätzung ist die Abschätzung der Beschattungsdauer an Wohn- und Arbeitsgebäuden in der Nachbarschaft der geplanten Windenergieanlagen.

Schatten von Objekten entstehen in erster Linie bei direkter Sonneneinstrahlung. Der Schatten des Rotors ist hinsichtlich zweier Faktoren veränderlich: Einerseits wird er durch die Bewegung der Rotorblätter verändert (periodischer Schattenwurf), andererseits wandert er entsprechend der täglichen Sonnenbahn und bei entsprechenden geometrischen Bedingungen über den jeweiligen Betrachtungspunkt. Für die nachfolgenden Berechnungen gilt ein Betrachtungspunkt dann als beschattet, wenn von ihm aus gesehen der Mittelpunkt der Sonne von der Rotorfläche einer Windenergieanlage verdeckt wird.

Der Schwerpunkt der Berechnungen liegt auf der Abschätzung der *theoretisch maximalen*, das heißt, der *astronomisch möglichen* Beschattungsdauer am Betrachtungspunkt. Diese ergibt sich unter der Annahme, dass die Sonne ganztägig und an allen Tagen des Jahres scheint (stets wolkenloser Himmel), dass fortwährend ausreichender Wind für die Bewegung des Rotors herrscht und schließlich, dass die Windrichtung stets dem Azimutwinkel der Sonne entspricht (Rotorkreisfläche steht senkrecht zur Einfallrichtung der direkten Sonnenstrahlung).

Es ist zu beachten, dass die atmosphärischen Bedingungen wie Bewölkung und Nebel die *astronomisch möglichen* Beschattungszeiten in der Regel stark verkürzen, sie unterliegen jedoch jährlichen Schwankungen. Die durchschnittliche Verminderung der astronomisch möglichen Beschattungszeiten durch die atmosphärischen Effekte wird in den Berechnungen über die standorttypische, relative Sonnenscheindauer (monatlich) abgeschätzt.

Als weiterer zeitverkürzender Faktor geht die Rotorstellung relativ zum Betrachtungspunkt ein. Bei der Berechnung der astronomisch möglichen Beschattungszeit wird davon ausgegangen, dass der Rotor senkrecht zur Linie Sonne-Betrachtungspunkt steht (ungünstigster Fall). In Abhängigkeit von der lokalen Windrichtungsverteilung variiert jedoch der Winkel der Rotorebene, so dass die projizierte Rotorfläche, die Beschattungen hervorruft, im Mittel deutlich kleiner ist. Die Rotorstellung der WEA wird über eine standorttypische Windrichtungsverteilung berücksichtigt.

Die Berechnung der Beschattungszeiten wird für den Zeitraum eines Jahres durchgeführt. Leichte Variationen der Zeiten aufgrund des von Jahr zu Jahr leicht veränderlichen Sonnenganges sind möglich.

In die Schattenberechnungen gehen im Allgemeinen folgende Faktoren ein:

- Windenergieanlagen (WEA): Koordinaten, Höhe über NN, Nabenhöhe, Blattgeometrie
- Betrachtungspunkte/Immissionsorte (IO): Koordinaten, Höhe über NN, Höhe über Grund
- Sonnenstand
- Relative Sonnenscheindauer
- Windrichtungsverteilung

Hinsichtlich der Bewertung auftretender Schattenwurfzeiten existieren derzeit keine Immissionsgrenzwerte. In den Hinweisen des Länderausschusses für Immissionsschutz [1] wird derzeit ein Richtwert von 30 Stunden pro Jahr (astronomisch mögliche Beschattungsdauer) sowie 30 Minuten pro Tag als Empfehlung für die maximale Beschattungszeit von Immissionsorten gegeben. Die Werte basieren auf wissenschaftlichen Studien der Christian – Albrechts – Universität zu Kiel aus den Jahren 1999/2000 [4][5].

Grundsätzlich obliegt die Festlegung der zulässigen Beschattungsdauer jedoch den Genehmigungsbehörden und sollte im optimalen Fall die jeweiligen Standortfaktoren (Sicht auf die WEA, vorgelagerte Bebauungen, tatsächliche Wohnsituationen) berücksichtigen.

Die folgenden Randbedingungen sind laut Hinweisen des Länderausschusses für Immissionsschutz [1] bei der Erstellung einer Abschätzung von Beschattungszeiten durch Windenergieanlagen anzusetzen:

Maßgeblich bei der Gegenüberstellung mit den zugrunde gelegten Richtwerten für die zulässige Beschattungsdauer ist die **maximal (astronomisch) mögliche Beschattungsdauer** am betroffenen Betrachtungspunkt. Die astronomisch mögliche Beschattungsdauer ergibt sich unter der Annahme folgender Randbedingungen:

- Die Sonne scheint ganztägig und an allen Tagen des Jahres. Es herrscht fortwährend wolkenloser Himmel und für die Bewegung des Rotors ausreichender Wind. Die Windrichtung entspricht dem Azimutwinkel der Sonne, d. h., die Rotorkreisfläche steht senkrecht zur Einfallrichtung der direkten Sonnenstrahlung.
- Es werden die astronomisch möglichen Schattenwurfzeiten für einen Referenz-Einwirkungspunkt in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund zu berechnet. (Außenflächen, wie z.B. Terrassen oder Balkone können erforderlichenfalls im Rahmen einer Einzelfallprüfung betrachtet werden, wobei übliche Nutzungszeiten zu berücksichtigen sind.)
- Gemäß [1] wird der Beschattungsbereich einer WEA definiert als der Bereich in welchem die Sonnenfläche zu 20% durch ein Rotorblatt verdeckt wird. Da die Rotorblatttiefe nicht über den ganzen Flügel konstant ist, sondern in der Regel zum äußeren Rotorbereich hin abnimmt, wird ersatzweise ein rechteckiges Rotorblatt mit einer mittleren Blatttiefe zugrunde gelegt. Letztere ist wie folgt zu berechnen:

$$\text{mittlere Blatttiefe} = \frac{\text{max. Blatttiefe} + \text{min. Blatttiefe bei } 90\% \text{ Radius}}{2}$$

- Der Schattenwurf für Sonnenstände unter 3° über Horizont kann in ebenem Gelände wegen der dickeren zu durchdringenden Atmosphärenschichten und daher geringeren Strahlungsintensität der Sonne vernachlässigt werden.
- Die Sonne kann als punktförmig angenommen werden.
- Natürliche und künstliche feste, lichtundurchlässige Hindernisse, welche die Schattenwurfzeiten an einem Betrachtungspunkt durch Sichtversperrung reduzieren, sind in den Berechnungen zu berücksichtigen, nicht jedoch Bäume oder sonstiger Bewuchs, welcher theoretisch jederzeit entfernt werden kann.

**Anmerkungen:** Im Rahmen der vorliegenden Schattenwurfabschätzung gehen mögliche Sichtversperrungen durch Bewuchs nicht in die Berechnungen ein. Es werden jedoch Orographiebedingte Sichtversperrungen berücksichtigt, da nicht davon auszugehen ist, dass sich während des Betriebszeitraumes der geplanten WEA die umliegende Geländesituation maßgeblich verändert.

### 3. TOPOGRAPHISCHE EINGANGSDATEN

#### 3.1 Standortbeschreibung

Der Standort Bennien wurde noch nicht durch einen UL-Mitarbeiter besucht.

Die Windparkfläche Bennien befindet sich ca. 30 km südöstlich von Osnabrück im Landkreis Osnabrück (Niedersachsen) an der Grenze zu Nordrhein-Westfalen.

Die geplante Fläche befindet sich etwa 2 km östlich der Ortschaft Bruchmühlen und ca 5 km westlich der Stadt Bünde an der A30 auf einer landwirtschaftlichen Fläche. Die nähere Umgebung der geplanten WEA wird geprägt durch landwirtschaftliche Flächen, kleine Waldstücke und Höfe in Einzellage.

Zwei WEA vom Typ Südwind S-77, die sich derzeit am Standort befinden, sollen im Rahmen der aktuellen Planung zurückgebaut werden.

#### 3.2 Geographische Datenbasis

Zur Digitalisierung der Höhenlinien und der Rauigkeiten wurden topographische Karten im Maßstab 1:25.000 verwendet. Eingang in die Rauigkeitsbeschreibung fanden weiterhin die Eindrücke und die Fotos, die während der Standortbesichtigung gemacht wurden.

Die Koordinaten der Immissionsorte wurden dem Kartenmaterial in Form von aktuellen ATKIS-Karten [10] entnommen.

Insgesamt ist die geographische Datenbasis zur Einschätzung des Standortes als gut zu bezeichnen.

In diesem Bericht werden alle Koordinaten in dem Koordinatensystem UTM ETRS89 Zone 32 dargestellt.



Abbildung 1: Lage der neu geplanten WEA am Standort Bennien

## 4. EINGANGSGRÖßEN FÜR DIE SCHATTENWURFABSCHÄTZUNG

Für Berechnungen sind hinsichtlich der an den Gebäuden auftretenden Beschattungszeiten die Nabenhöhe und der Rotordurchmesser der WEA-Typen sowie die Position der neu geplanten sowie auch der als Vorbelastung bestehenden WEA von entscheidender Bedeutung. In den nachfolgenden Abschnitten sind die Koordinaten und die wesentlichen Kenndaten der neu geplanten WEA und bestehenden WEA dargestellt. Die Berechnung durch die Software WindPro [A] erfolgt für einen Zeitraum von einem Jahr mit einer Schrittweite von einer Minute. Dabei gibt die verwendete Software WindPro auch den Beschattungsbereich unter Anwendung des 20%-Kriteriums aus.

Für die geplante WEA liegt UL das Datenblatt 03.2\_E0004289528\_DE\_R03 vor, das Herstellerangaben über die für die Schattenwurfberechnungen benötigten Blattdaten enthält.

### 4.1 Geplante Windenergieanlagen

In dieser Abschätzung wird im Folgenden eine Anlage des Typs Nordex N-163-5.x berücksichtigt. In Tabelle 4.1 sind die Anlagendaten dargestellt:

**Tabelle 4.1.: Koordinaten und technische Daten der neu geplanten WEA**

ID	Koordinaten (UTM ETRS89 Zone 32)		Höhe ü. NN [m]	WEA – Typ	Rotordurch- messer [m]	Naben- höhe [m]	Maximale Blatttiefe [m]	Blatttiefe bei 90% Radius [m]	resultierender Beschattungsbereich gemäß WindPro [m]
	Rechtswert	Hochwert							
WEA 3	465'101	5782'468	68	N-163	163	164	4.15	1.11	1784

### 4.2 Immissionsorte

Immissionsorte werden als punktförmig und mit einer Bezugshöhe über Grund von jeweils 2 m angenommen.

Maßgebliche Immissionsorte gemäß [1] sind

- schutzwürdige Räume, die als
  - Wohnräume, einschließlich Wohndielen
  - Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
  - Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
  - Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume genutzt werden.

Direkt an Gebäuden beginnende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 6:00 - 22:00 Uhr gleichgestellt.

- unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zulässig sind.

## 5. EINWIRKUNGSBEREICH DER WEA

In den folgenden Schattenwurfkarten wird jeweils der Verlauf der 30 Std.-pro-Jahr oder der 30 Min.-pro-Tag-Linie der zu erwartenden, astronomisch möglichen Beschattungszeiten für die Zusatzbelastung durch die geplanten WEA in schwarz dargestellt. Außerhalb dieser Linien ist keine Überschreitung des jeweiligen Richtwertes durch die geplanten WEA zu erwarten.

In blau ist jeweils die Grenze des Beschattungsbereiches durch die geplanten WEA dargestellt. Außerhalb dieser Linien ist kein beweglicher Schattenwurf durch die geplanten WEA zu erwarten.

Ein Schattenwurfraster wurde mit einer örtlichen Auflösung von 30 m und zeitlichen Schrittweiten von 14 Tagen und 10 Minuten berechnet. Aus den so gewonnenen Daten interpoliert die Software WindPro die Isolinien, die in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt sind.

Anhand der nachfolgenden Karten lassen sich somit diejenigen Gebäude identifizieren, die als Immissionsorte in folgenden Berechnungen berücksichtigt werden müssen.

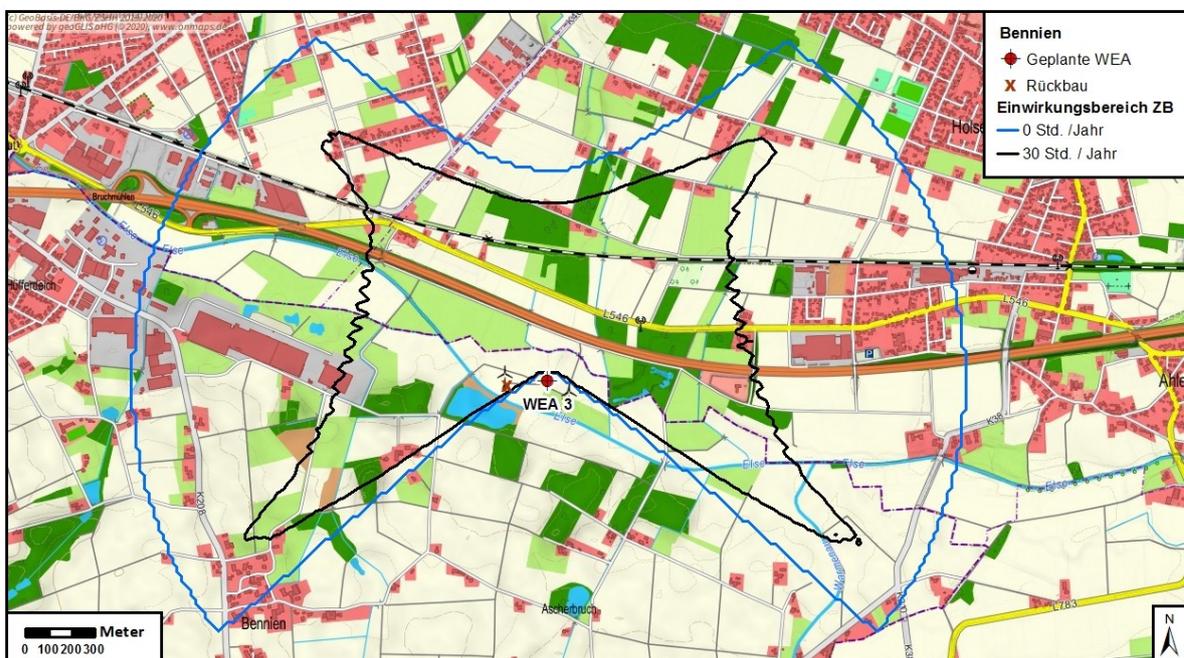
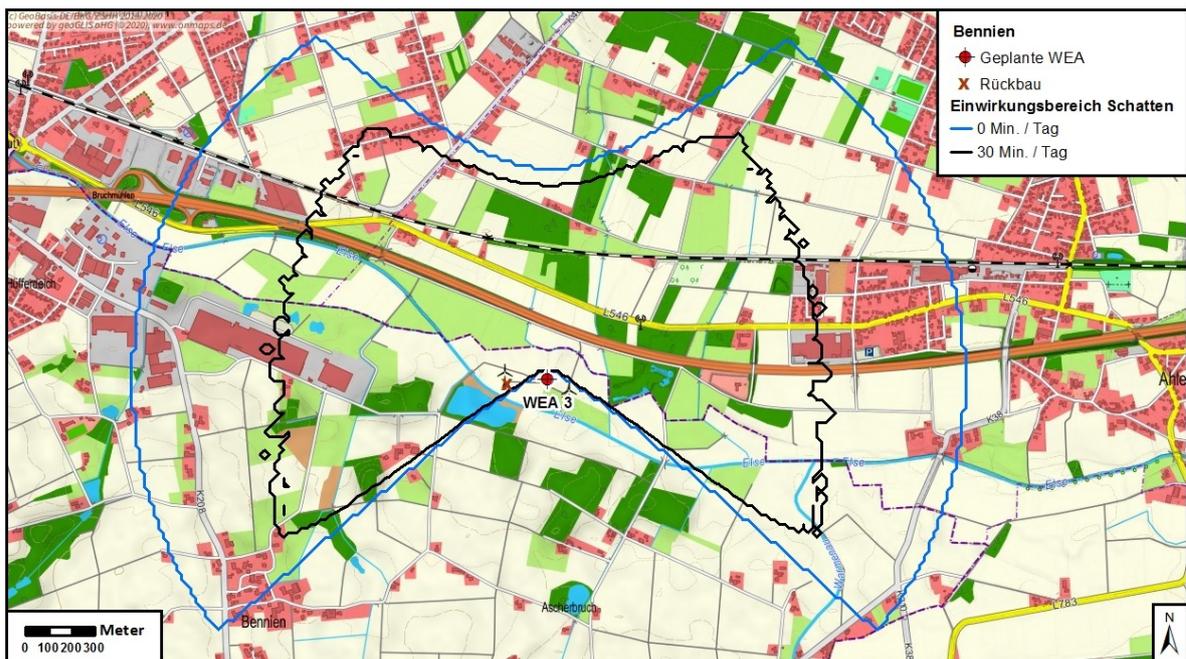


Abbildung 2: Einwirkungsbereich Schattenwurf, Kriterium Stunden pro Jahr



**Abbildung 3: Einwirkungsbereich Schattenwurf, Kriterium Minuten pro Tag**

## 5.1 Immissionsorte

Im Beschattungsbereich der geplanten WEA befinden sich zahlreiche Gebäude.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in in einem späteren Bericht nur diejenigen Gebäude als Immissionsorte berücksichtigt, für die im Rahmen einer Vorabberechnung Überschreitungen oder Ausschöpfung eines oder beider empfohlener Richtwerte festgestellt wurde.

Gemäß einer ersten Einschätzung auf Kartenbasis ist an ca. 30 Adressen Überschreitung oder Ausschöpfung des jährlichen Richtwertes von 30 Stunden und an ca. 80 Adressen Überschreitung oder Ausschöpfung des empfohlenen Tagesrichtwertes von 30 Minuten zu erwarten.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Im Rahmen einer Windparkplanung am Standort Bennien ist von UL eine Schattenwurfabschätzung für eine geplante WEA des Typs Nordex N 163-5.x durchgeführt worden. Als Kenndaten für die geplante WEA wurden die Angaben des Herstellers zu Grunde gelegt, die Koordinate der neu geplanten WEA wurde vom Auftraggeber übermittelt.

Anhand dieser Abschätzung kann bereits festgestellt werden, dass an ca. 80 Adressen Überschreitungen eines oder beider empfohlener Richtwerte zu erwarten sind.

Gemäß den Hinweisen des Länderausschusses für Immissionsschutz [1] soll im Falle von Überschreitungen die Einhaltung der Immissionsschutzanforderungen durch geeignete technische Maßnahmen gewährleistet werden.

Wird eine Abschaltautomatik eingesetzt, die meteorologische Parameter berücksichtigt (z. B. Intensität des Sonnenlichtes, Änderung der Rotorstellung aufgrund von Windrichtungsänderung), ist auf die tatsächliche Beschattungsdauer von 8 Stunden zu begrenzen.

Bei Einsatz einer Abschaltautomatik, die keine meteorologischen Parameter berücksichtigt, ist durch diese auf die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden pro Kalenderjahr zu begrenzen. Gemäß dem Ergebnisprotokoll des 6. Fachgesprächs über Umwelteinwirkungen von Windkraftanlagen [2], Frage 3.15 liegt aufgrund technischer und meteorologischer Randbedingungen der periodische Schattenwurf im Bereich von 24-27% des prognostizierten astronomisch möglichen Schattenwurfs. Daraus folgt, dass der worst case Richtwert von 30 Std./Jahr mit dem meteorologisch wahrscheinlichen Wert von 8 Std./Jahr korrespondiert.

Das StUA Schleswig überprüfte die Funktionsfähigkeit der 2006 erhältlichen Abschaltmodule in einem zweijährigen Praxistest, bei dem nach einer Anpassungsphase für alle Module und für übliche Immissionskonfigurationen an einem Einfamilienhaus gute Ergebnisse nachgewiesen werden konnten [7].

Im Rahmen einer ausführlichen Schattenwurfermittlung sollen die Koordinaten und Adressen der betroffenen Immissionsorte und die dort zu erwartenden Schattenwurfzeiten dargestellt werden, so dass erforderliche Minderungsmaßnahmen formuliert werden können.

## 6.1 Erläuterungen

Im Hinblick auf die Bewertung der berechneten Beschattungszeiten an den Gebäuden in der Umgebung der geplanten Windenergieanlagen kann folgendes gesagt werden:

Es existieren derzeit keine rechtsverbindlichen Immissionsgrenzwerte für den periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Gemäß den Hinweisen des Länderausschusses für Immissionsschutz [1] wird ein Richtwert von 30 Stunden pro Jahr (astronomisch mögliche Beschattungsdauer) sowie 30 Minuten pro Tag für die maximale Beschattungszeit von Immissionsorten empfohlen. Grundsätzlich obliegt jedoch die Festlegung der zulässigen Beschattungsdauer bis zu einer rechtsverbindlichen bundesweiten Regelung den Genehmigungsbehörden.

Grundsätzlich sind für die Reduzierung von Beschattungszeiten an Immissionsorten programmierbare Abschaltautomatiken für Windenergieanlagen erhältlich, welche zu den Uhrzeiten mit möglicher Schattenwurfbeeinträchtigung und gleichzeitig vorhandener Sonneneinstrahlung aktiviert werden.

Die berechneten Zeiten der astronomisch möglichen Beschattungszeiten, die in den Abbildungen zum Beschattungsbereich dargestellt sind, können nur bei wolken- bzw. dunstfreiem Himmel und ungünstigster Rotorstellung (Rotor senkrecht zur Richtung Sonne – Betrachter) erreicht werden. Angesichts der zu erwartenden Beschattungszeiten unter Berücksichtigung der tatsächlichen Sonnenscheindauer und der Windrichtungsverteilung reduzieren sich die Beschattungszeiten jedoch deutlich.

Mögliche Sichteinschränkungen durch Bewuchs wurden hier nicht berücksichtigt, da diese zum beliebigen Zeitpunkt entfernt werden können. Dadurch kann während der Vegetationsperiode der Sichtkontakt zu manchen Wohngebäuden zu den Anlagenstandorten auch eingeschränkt werden, wodurch die Beschattungszeiten weiter reduziert würden. Es kann jedoch keine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit der derzeitige Bewuchs über die Betriebsjahre der Windenergieanlagen bestehen bleibt.

Nicht berücksichtigt in den Berechnungen der astronomisch möglichen Beschattungszeiten wurden Anlagenstillstände z. B. bei Flaute oder starken Stürmen. Durch diese Faktoren würden die *wahrscheinlichen* Abschattungszeiten weiter herabgesetzt werden.

## 6.2 Allgemeine Bemerkungen

Als Grundlage für die Abschätzungen dienten die Angaben des Auftraggebers sowie des WEA-Herstellers. Die Ergebnisse wurden nach bestem Wissen und Gewissen und nach allgemein anerkannten Regeln der Technik ermittelt. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass Daten, die nicht ausschließlich von UL verarbeitet werden, zwar - soweit möglich - überprüft und plausibilisiert wurden, dass aber prinzipiell keine Fehlerfreiheit garantiert werden kann.

## ANHANG A LITERATUR

- [1] Hinweise zur Abschätzung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, Länderausschuss für Immissionsschutz, Stand: 13.03.2002
- [2] Staatliches Umweltamt Schleswig: Ergebnisprotokoll des 6. Fachgesprächs vom 28.05.2003 über Umwelteinwirkungen von Windkraftanlagen (WKA) im Staatlichen Umweltamt Schleswig, Jul. 2003
- [3] Staatliches Umweltamt Schleswig: Ergebnisprotokoll des 7. Fachgesprächs vom 03.11.2006 über Umwelteinwirkungen von Windkraftanlagen (WKA) im Staatlichen Umweltamt Schleswig, Dez. 2006
- [4] Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen (Feldstudie), J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld; Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, 31. Juli 1999
- [5] Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen (Laborpilotstudie), J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld; Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, 15. Mai 2000.
- [6] Hans-Dieter Freund (FH Kiel): "Einflüsse der Lufttrübung, der Sonnenausdehnung und der Flügelform auf den Schattenwurf von Windenergieanlagen", DEWI Magazin Nr. 20, Februar 2002.
- [7] Dipl.-Ing. Andreas Kunte, StUA Schleswig Praxistest von Abschaltmodulen zur Begrenzung periodischen Schattenwurfs von Windkraftanlagen, Windkraftjournal 2/2006, S. 30-31
- [8] „Atlas über die Sonneneinstrahlung Europas – Band 1. Horizontale Flächen“, Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Verlag TÜV Rheinland, Brüssel und Luxemburg 1984.
- [9] S. Traup, B. Kruse: Winddaten für Windenergienutzer, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, 1996.
- [10] onmaps.de Kartendienst der geoGLIS oHG (©GeoBasis-DE/BKG/ZSHH < 2018> ©Deutsche Post Direkt <2018>)

## ANHANG B VERWENDETE SOFTWARE

Neben verschiedenen eigenen Berechnungs- und Bearbeitungsvorlagen wurden insbesondere die folgende Software zur Berechnung und Datenbearbeitung verwendet.

[A] WindPRO, version 3.3, EMD International A/S, Denmark

[B] ArcGIS, version 10, Environment Systems Research International (ESRI)

## **ANHANG C      HÄUFIG VERWENDETE ABKÜRZUNGEN**

<b>WEA</b>	Windenergieanlage
<b>IO</b>	Immissionsort
<b>LAI</b>	Länderausschuss Immissionsschutz
<b>UTM</b>	Universelle Transversale Mercator-Projektion
<b>ETRS89</b>	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989