

Schattenwurfprognose für
zwei Windenergieanlagen
am Standort
Dreieck-Spreeau III
(Brandenburg)

Datum: 21.03.2023

Bericht Nr. 18-1-3053-006-SM

Auftraggeber:

ABO Wind AG

Unter den Eichen 7 | 65195 Wiesbaden

Auftragsnummer: 352004977

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Dipl.-Ing. (FH) Timo Mertens

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort Dreieck-Spreeau III (Brandenburg) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im Februar 2023 von der ABO Wind AG in Auftrag gegeben. Die Ramboll Deutschland GmbH ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [1] u. a. für die Erstellung von Schattenwurfprognosen akkreditiert. Die firmenintern verwendeten Berechnungsverfahren gemäß den zuvor genannten Anforderungen sind in der Ramboll-Qualitätsmanagement Prozessbeschreibung „Schatten“ festgelegt und dokumentiert.

Die Ergebnisse basieren auf Berechnungen nach den Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [2] sowie den vom Auftraggeber und dem WEA-Hersteller gestellten Standort- und Anlagendaten. Die Berechnungen wurden mit dem Softwareprogramm WindPRO (Modul SHADOW) von EMD International A/S [3] durchgeführt.

Alle Rechte an diesem Bericht sind der Ramboll Deutschland GmbH vorbehalten. Dieses Dokument darf, mit Ausnahme des Auftraggebers, der Genehmigungsbehörden und der finanzierenden Banken, weder in Teilen noch in vollem Umfang ohne vorherige schriftliche Zustimmung der Ramboll Deutschland GmbH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Nr.	Datum	Bearbeiter	Beschreibung
005	03.02.2023	T. Mertens	Planung von zwei WEA des Typs Vestas V150-5.6/6.0
006	21.03.2023	T. Mertens	Änderung der Koordinaten der WEA 11

Kassel, 21.03.2023



Dipl.-Ing. (FH) Timo Mertens
(Bearbeiter)



Jeany Behrens M.Sc.
(Prüfer)

Inhalt:

1	Zusammenfassung	4
2	Standort- und WEA-Daten	5
	2.1 Aufgabenstellung	5
	2.2 Immissionsorte	7
	2.3 Immissionsrichtwerte	9
	2.4 Windenergieanlagen	9
3	Schattenwurfberechnungen	11
	3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer	11
	3.2 Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer	11
4	Bewertung der Ergebnisse	13
	4.1 Beurteilung der Berechnungen	13
	4.2 Hinweise zur Abschaltautomatik	13
	4.3 Genauigkeit der Prognose	14
5	Quellenverzeichnis	15
6	Anhang	16

1 Zusammenfassung

Am Windparkstandort Dreieck-Spreeau III wurden für zwei Immissionsorte (IO) die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V150-5.6/6.0 mit 169 m Nabenhöhe sowie 24 Vorbelastungs-WEA entsprechend den WKA-Schattenwurfhinweisen [2] berechnet. Den Berechnungen wurde ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. Die Immissionsrichtwerte betragen dabei maximal 30 Stunden im Jahr und maximal 30 Minuten am Tag.

Diese Werte werden ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen an einem Immissionsort überschritten (siehe Kapitel 3). Die WKA-Schattenwurfhinweise [2] sehen für diesen Fall vor, dass der Schattenwurf der WEA, die eine (weitere) Überschreitung verursachen, mittels einer Abschaltautomatik entsprechend den Richtwerten begrenzt wird. Im vorliegenden Fall betrifft dies die WEA 08.

Die Grundlagen für die Berechnung sowie die detaillierten Berechnungsergebnisse sind den folgenden Kapiteln zu entnehmen.

2 Standort- und WEA-Daten

2.1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant am Standort Dreieck-Spreeau III zwischen den Orten Neu Zittau im Nordwesten, Hartmannsdorf im Osten und Zernsdorf im Südwesten zwei Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V150-5.6/6.0 mit 169 m Nabenhöhe zu errichten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten der geplanten WEA

WEA	WEA-Hersteller / Typ	Nabenhöhe	Ost	Nord
		[m]	[UTM 33 ETRS89]	
08	Vestas V150-5.6/6.0	169	416.913	5.799.589
11	Vestas V150-5.6/6.0	169	415.419	5.799.957

Am Standort existieren bereits 24 weitere WEA. Diese werden als Vorbelastungen untersucht und werden im folgenden Text als „Vorbelastung“ oder „VB“ bezeichnet.

Es sollen die Immissionen durch periodischen Schattenwurf der Windenergieanlagen nach den Grundlagen der WKA-Schattenwurfhinweise [2] an der umliegenden Bebauung berechnet werden.

Grundlage der Berechnung sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der geplanten WEA (Typ, Nabenhöhe, Koordinaten) sowie die bei der Standortbesichtigung am 03.07.2018 erhobenen Daten über relevante Immissionsorte und deren Umgebung. Das Höhenrelief wurde den Höhenlinien der Topographischen Karte 1:25.000 entnommen. Die Berechnung wurde mit der Software windPRO, Modul SHADOW [3] durchgeführt. Grundlagen zur Berechnung finden sich im Anhang.

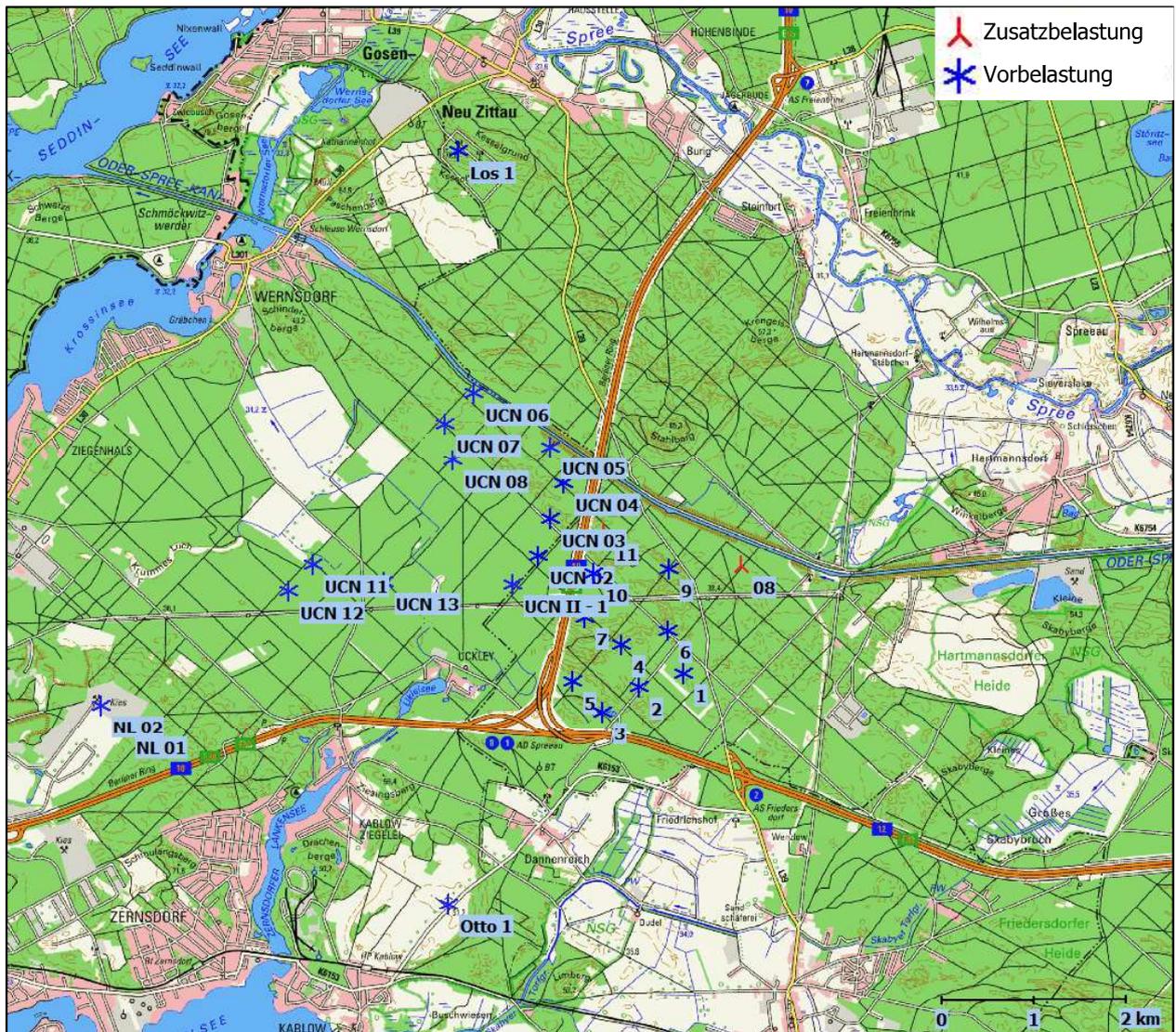


Abbildung 1: Übersichtskarte [4]

2.2 Immissionsorte

Die *Maßgeblichen Immissionsorte* sind nach den WKA-Schattenwurfhinweisen [2] schutzwürdige Räume sowie bebaubare Freiflächen. Sie werden nach den folgenden Bedingungen ausgewählt:

- Es muss geometrisch möglich sein, dass die Orte von den neu geplanten WEA im Jahresverlauf beschattet werden.
- Die Orte liegen innerhalb des Beschattungsbereichs der neu geplanten WEA nach dem 20 %-Kriterium [5].

Die Grenzen des Beschattungsbereichs nach dem 20%-Kriterium der WKA-Schattenwurfhinweise [2] der geplanten WEA (Zusatzbelastung, „ZB“) sind auf der Karte in Abbildung 2 als rote Linie dargestellt.

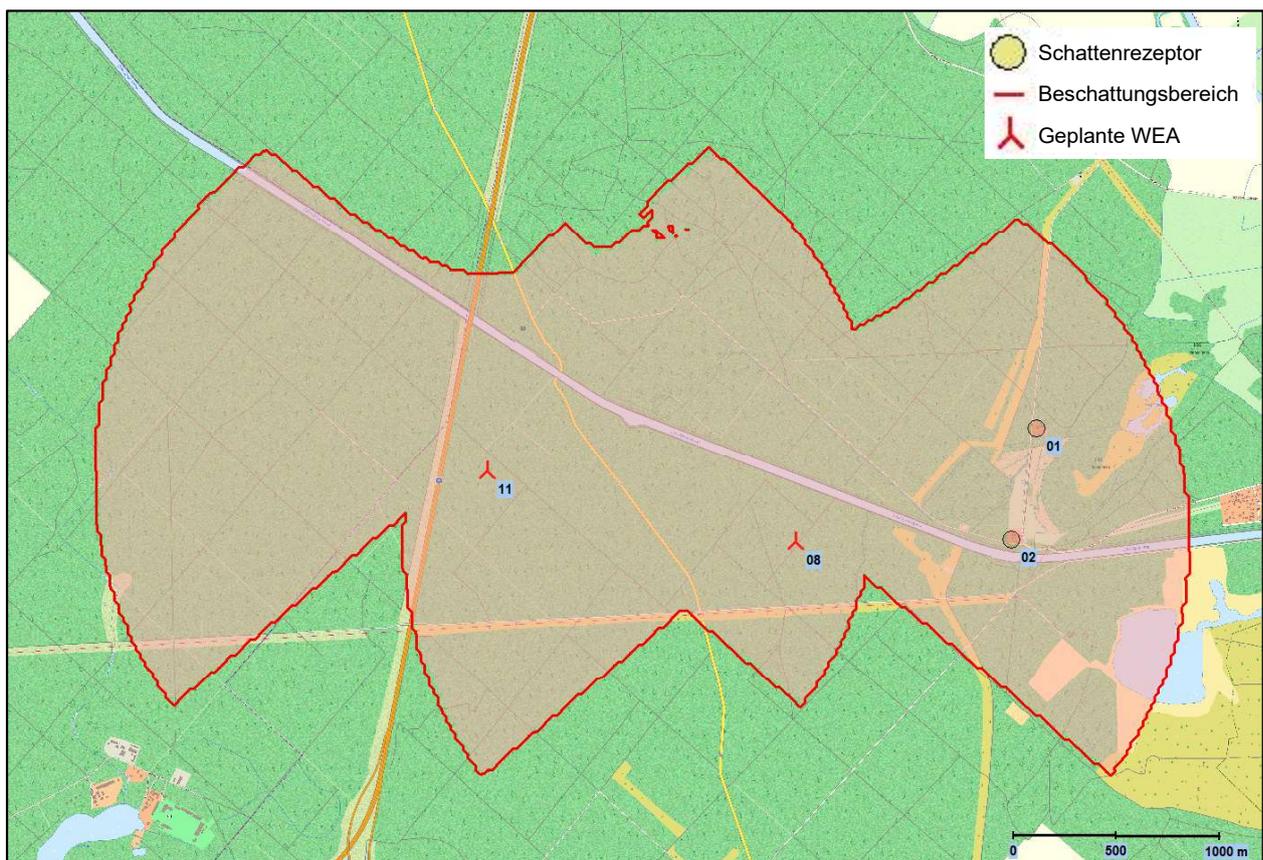


Abbildung 2: Beschattungsbereich der Zusatzbelastung (© Geoglis [6])

Nach diesen Kriterien wurden alle Wohnhäuser im schattenkritischen Bereich als relevante Immissionsorte ausgewählt (siehe Abschnitt 3.1). Bei der Standortbesichtigung am 03.07.2018 wurden diese Immissionsorte in Augenschein genommen und dokumentiert.

Die Immissionsorte werden entsprechend den WKA-Schattenwurfhinweisen [2] im Modell als punktförmige Schatten-Rezeptoren (0,1 m x 0,1 m, horizontale Ausrichtung, 2 m ü. Gr.) nachgebildet, welche Schatten aus allen Richtungen empfangen (Gewächshaus-Modus). Die Lage der Rezeptoren ist in den folgenden Abbildungen eingezeichnet.



Abbildung 3: Lage der Immissionsorte 01 und 02 (© Geoglis [6])

2.3 Immissionsrichtwerte

Für die Beurteilung der Erheblichkeit der Belästigung durch Schattenwurf [7] [8] wurden in den WKA-Schattenwurfhinweisen [2] folgende Immissionsrichtwerte festgelegt:

Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer (Worst-Case-Betrachtung):

- maximal 30 Stunden Beschattung pro Jahr,
- maximal 30 Minuten Beschattung pro Tag.

Reale jährliche Beschattungsdauer:

- maximal 8 Stunden Beschattung pro Jahr,
- maximal 30 Minuten Beschattung pro Tag.

Überschreiten die Beschattungsdauern die Richtwerte an den Immissionsorten müssen die Anlagen mit einer Schattenabschaltautomatik ausgestattet werden, die die Beschattungsdauer entsprechend den Richtwerten begrenzt. Die in Kapitel 4 dargestellten Beurteilungen und Empfehlungen basieren auf den Richtwerten für astronomisch maximal mögliche Beschattungszeiten.

2.4 Windenergieanlagen

Der Antragsteller plant am Standort Dreieck-Spreeau III die Errichtung von zwei Windenergieanlagen. Weitere 24 Vorbelastungs-WEA werden berücksichtigt.

Die wesentlichen Kenndaten der Vorbelastung und der neu geplanten WEA sind Tabelle 2 zu entnehmen. Der Beschattungsbereich wurde nach dem 20%-Kriterium [2] [9] aus den Rotorblatt-daten und der Nabenhöhe ermittelt.

Tabelle 2: Kenndaten Zusatz- und relevante Vorbelastungs-WEA

WEA-Nr.	WEA Typ	NH	RD	max. BT	min. BT	Ø BT	BB	Art
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
8	V150-5.6/6.0	169,3	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897	ZB
11	V150-5.6/6.0	169,3	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897	ZB
UCN 02	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 03	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 04	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 05	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 06	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 07	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 08	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 11	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 12	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
UCN 13	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
NL 01	V90	95,0	90,0	3,51	0,92	2,22	1.506	VB
NL 02	V90	95,0	90,0	3,51	0,92	2,22	1.506	VB
UCN II - 1	N131/3300 DE	135,9	131,0	3,94	1,13	2,54	1.722	VB
1	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
2	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
3	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
4	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
5	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
6	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
7	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
9	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB
10	V150-4.2	169,3	150,0	4,20	1,40	2,80	1.900	VB

NH: Nabenhöhe, RD: Rotordurchmesser, BT: Blatttiefe, BB: Beschattungsbereich, ZB: Zusatzbelastung, VB: Vorbelastung.

3 Schattenwurfberechnungen

3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer

Für die geplanten und bestehenden WEA wurde die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer an den relevanten Immissionsorten berechnet. Hierbei handelt sich um eine Worst-Case-Betrachtung, d. h. ohne Berücksichtigung von Bewölkung und Stillstandszeiten sowie unter Annahme eines immer zum Sonnenazimut ausgerichteten Rotors (maximale Schattenfläche). Die Berechnungen werden ohne Berücksichtigung der Sichtverschattung durch Bebauung und Bewuchs durchgeführt.

Es wurden folgende Berechnungen durchgeführt:

- Vorbelastung (VB) durch die Vorbelastungs-WEA,
- Zusatzbelastung (ZB) durch die neu geplanten WEA,
- Gesamtbelastung (GB) durch alle WEA.

Die Ergebnisse der Berechnungen können der Tabelle 3 entnommen werden. Die fett hervorgehobenen Werte überschreiten die Immissionsrichtwerte nach den WKA-Schattenwurfhinweisen [2]. Die Beschattungszeiten im Tages- und Jahresverlauf können den tabellarischen und grafischen Kalendern in Anhang entnommen werden.

Tabelle 3: Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauern pro Jahr

IO	Name	Astron. max. mögl. Beschattungsdauer					
		Std. / Jahr			Std. / Tag		
		VB	ZB	GB	VB	ZB	GB
01	Spreehagen, Tribsch 2	0:00	12:20	12:20	0:00	0:27	0:27
02	Spreehagen, Tribsch 1	5:47	18:20	21:28	0:19	0:32	0:32

3.2 Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer

Die jährlich im Mittel auftretende, meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer ist für die Genehmigung eines Vorhabens zunächst nicht relevant, sie kann jedoch den Behördenvertretern, Anlagenplanern und Betroffenen einen Eindruck über die tatsächliche, durchschnittlich zu erwartende Belastung geben. Zudem enthält sie Hinweise auf mögliche Abschalthäufigkeiten, da

i. d. R. die Begrenzung auf die reale Beschattungsdauer von acht Stunden pro Jahr (nach [2], [10]) steuerungstechnisch umgesetzt wird. Sie berücksichtigt statistische Daten zu

- Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (mittlere tägliche Sonnenscheinstunden) pro Monat, nach Angaben der Sonnenschein-Datenbank für die Station Potsdam,
- Betriebsstunden bzw. Stillstandszeiten der WEA je Richtungssektor, ermittelt aus der Windstatistik der DWD-Station Lindenberg und der Anlaufgeschwindigkeit der WEA,
- Variable Schattengröße des Rotors, ermittelt aus der Windrichtungsverteilung der Windstatistik der DWD-Station Lindenberg und der Lage der Rezeptoren.

Aus den Daten werden zeit- und ortsabhängig differenzierte Wahrscheinlichkeiten des Schattenwurfs berechnet und diese über das Jahr summiert. Da die Berechnung stark von der Qualität der meteorologischen Eingangsdaten abhängt und lokale Gegebenheiten davon abweichen können sind die Berechnungsergebnisse mit Unsicherheiten von etwa 5-15% behaftet und haben abschätzenden Charakter.

Tabelle 4: Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauern pro Jahr

IO	Adresse	Beschattungsdauern meteorologisch wahrscheinlich [Std./Jahr]		
		VB	ZB	GB
01	Spreehagen, Tribsch 2	0:00	2:33	2:33
02	Spreehagen, Tribsch 1	1:29	5:12	6:00

4 Bewertung der Ergebnisse

4.1 Beurteilung der Berechnungen

Am Windparkstandort Dreieck-Spreeau III wurden für zwei Immissionsorte die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante WEA sowie 24 Vorbelastungs-WEA entsprechend den WKA-Schattenwurfhinweisen [2] berechnet. Die Immissionsrichtwerte der Beschattungsdauern betragen maximal 30 Stunden im Jahr und maximal 30 Minuten am Tag.

IO 01: An diesem Immissionsort werden alle Richtwerte eingehalten.

IO 02: An diesen Immissionsorten wird der Immissionsrichtwert für die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer pro Tag um maximal 2 Min./Tag überschritten. Der Jahresrichtwert wird eingehalten.

Aufgrund der berechneten Überschreitungen empfehlen wir die Abschaltung der neu geplanten WEA 08 über eine Abschaltautomatik zu steuern (siehe tabellarische und grafische Schattenwurfkalender im Anhang).

4.2 Hinweise zur Abschaltautomatik

Über die Programmierung einer Abschaltautomatik werden die Windenergieanlagen zu den Uhrzeiten abgeschaltet, zu denen ein durch sie hervorgerufener Schattenwurf an einem Immissionspunkt zu einer (weiteren) Überschreitung der o.g. Immissionsrichtwerte führt.

Abschaltautomatiken sind so zu programmieren, dass alle betroffenen Bereiche (Fenster, Balkone usw.) an allen relevanten Immissionspunkten im schattenkritischen Bereich berücksichtigt werden. In der Regel geschieht dies über die Erfassung betroffener Fassaden. Aus den hier (für punktförmige Rezeptoren) angegebenen Zeiten kann *nicht* direkt abgeleitet werden, wie viele Minuten die betreffende WEA tatsächlich abgeschaltet werden muss. Betroffene Gebäudebereiche mit nur seltener oder kurzzeitiger räumlicher Nutzung (z. B. Abstellräume, Toiletten o. ä.) sind in der Regel nicht zu berücksichtigen. Schlafräume, Wohnräume oder Küchen dagegen sind im Allgemeinen zu den fraglichen Tageszeiten wesentliche Aufenthaltsorte der Bewohner.

Das erlaubte Kontingent der tatsächlich auftretenden Beschattungszeit (unter Berücksichtigung von Bewölkungsereignissen mit diffusem oder keinem Schattenwurf) pro Immissionsort beträgt

8 Std. / Jahr [2], welches über einen zusätzlichen Bestrahlungsstärkesensor erfasst und berücksichtigt werden kann, jedoch in diesem Gutachten nicht bewertet wird. Der Sensor bewirkt einen Weiterbetrieb der Anlagen bei Umgebungshelligkeiten, in denen kein Schattenwurf auftritt (z. Bsp. bei $I < 120 \text{ W/m}^2$). Darüber hinaus können sichtverschattende Objekte wie dauerhafter Bewuchs, Nebengebäude usw. einen Schattenwurf verhindern, wodurch auf eine Abschaltung für das jeweilige Gebäude verzichtet werden kann. Dies kann am einfachsten nach Errichtung der Anlage mit entsprechenden Fotos dokumentiert und berücksichtigt werden.

4.3 Genauigkeit der Prognose

Den Berechnungen nach den Vorgaben der WKA-Schattenwurfhinweise [2] wird ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. In diesem Sinne wird die astronomisch maximal mögliche Beschattung zur Beurteilung herangezogen sowie keine lichtundurchlässigen Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, berücksichtigt. Als Basis für die Bestimmung der Position der Immissionsorte dient Kartenmaterial, das auf den Gebäudeumringen des amtlichen Liegenschaftskataster Deutschland (ALKIS) basiert [6]. Das zugrunde gelegte Höhenmodell entspricht den Höhenlinien der TK25. Damit ist eine Grundgenauigkeit der in eine Prognose eingehenden geometrischen Parameter von mindestens $\pm 5 \text{ m}$ gewährleistet. Die Schattenwurfzeiten werden mit einer Genauigkeit von 1 min pro Tag ausgewiesen. Insgesamt wird damit der geforderten Grundgenauigkeit der in eine Prognose eingehenden geometrischen Parameter (vgl. WKA-Schattenwurfhinweise [2]) entsprochen. Basierend auf der Grundgenauigkeit der Eingangsdaten kann die Unsicherheit bei der Berechnung der Beschattungszeiten mit durchschnittlich $\pm 1 \%$ angegeben werden [11].

5 Quellenverzeichnis

- [1] Norm, „DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien,“ 2018.
- [2] LAI, Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen Aktualisierung 2019 (WKA-Schattenwurfhinweise), Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), 23.01.2020.
- [3] EMD, Software WindPRO, Modul SHADOW, 9220 Aalborg (DK): EMD International A/S, jeweils aktuellste Version.
- [4] MagicMaps, Tour Explorer DE 8 - amtliche topografische Karten im Maßstab 1:50.000 - Export, MTS MaschinentechSchrode AG | Gerhard-Kindler-Straße 8 | 72770 Reutlingen: Quelle der Karten: amtliche Vermessungsämter, 12.06.2018.
- [5] SUA, Ergebnisprotokoll des 3. Fachgesprächs vom 19.11.1999 über Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen, Schleswig: Staatliches Umweltamt Schleswig, 1999.
- [6] geoGLIS_oHG, *onmaps GEOBasis-DE / BKG / NRW*, aktuelle Version.
- [7] F. J.Pohl, Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie, Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31.07.1999 .
- [8] F. J.Pohl, Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie, Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, 15.05.2000 .
- [9] H. D. Freund, Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen, Umweltforschungsbank UFORDAT, Juni 1999.
- [10] H. D. Freund, Effektive Einwirkzeit T_w des Schattenwurfs bei $T_{max} = 30$ h/Jahr, Kiel: Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel, 24.01.2001.
- [11] Ramboll, Interne Analyse zur Sensitivität der Berechnungsergebnisse bezüglich der Genauigkeit der Positionsdaten, 2021-11.
- [12] TK25, Topografische Karte im Maßstab 1:25.000, Landesvermessungsamt des jeweiligen Bundeslandes, aktuellste Version.

6 Anhang

- Beschattungskarten für den Windparkstandort Dreieck-Spreeau III
 - Zusatzbelastung
 - Gesamtbelastung
- Berechnungsergebnisse der Beschattungsdauern an den Immissionsorten
 - Vor- und Zusatzbelastung:
 - Hauptergebnis
 - Gesamtbelastung:
 - Hauptergebnis
 - tabellarischer Kalender
 - grafischer Kalender
- Akkreditierung
- Theoretische Grundlagen

Projekt:

18-1-3053

ABO Wind AG
Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

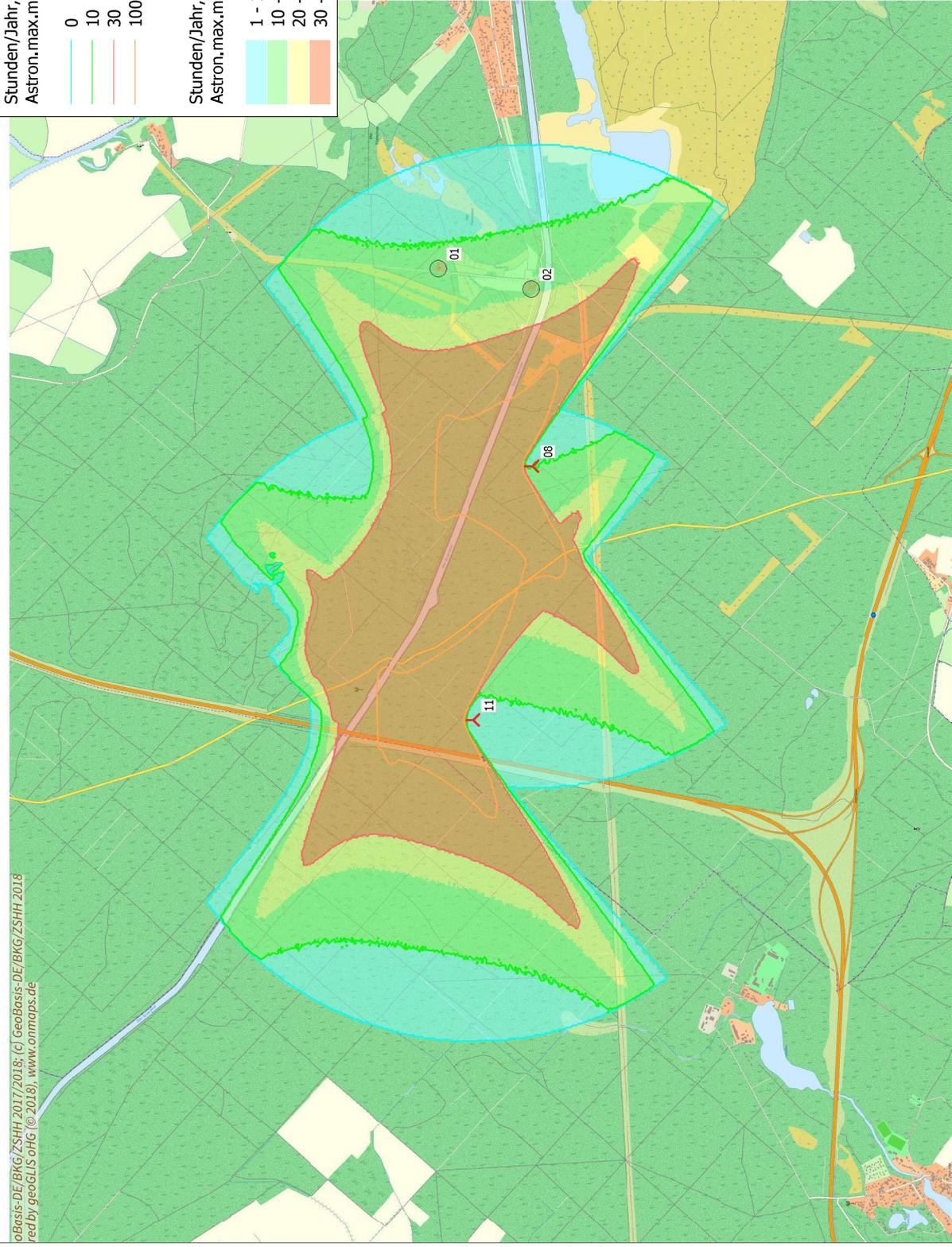
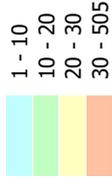
Beschreibung:

Windpark Dreieck Spreewau, Spreenhagen,
Landkreis Oder-Spree, Brandenburg

Stunden/Jahr,
Astron.max.mögl.



Stunden/Jahr,
Astron.max.mögl.



oBasis: DE/BKG/LSHH 2017/2018; (C) GeoBasis-DE/BKG/LSHH 2018
red by geogIS oHG (© 2018), www.omnmaps.de



Karte: WindPRO map , Maßstab 1:25.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 33 Ost: 416.180 Nord: 5.800.020



Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: Uckley-Nord.wpo (2)



Neue WEA

SHADOW - Karte

Berechnung:

Isophonenkarte Zusatzbelastung

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH

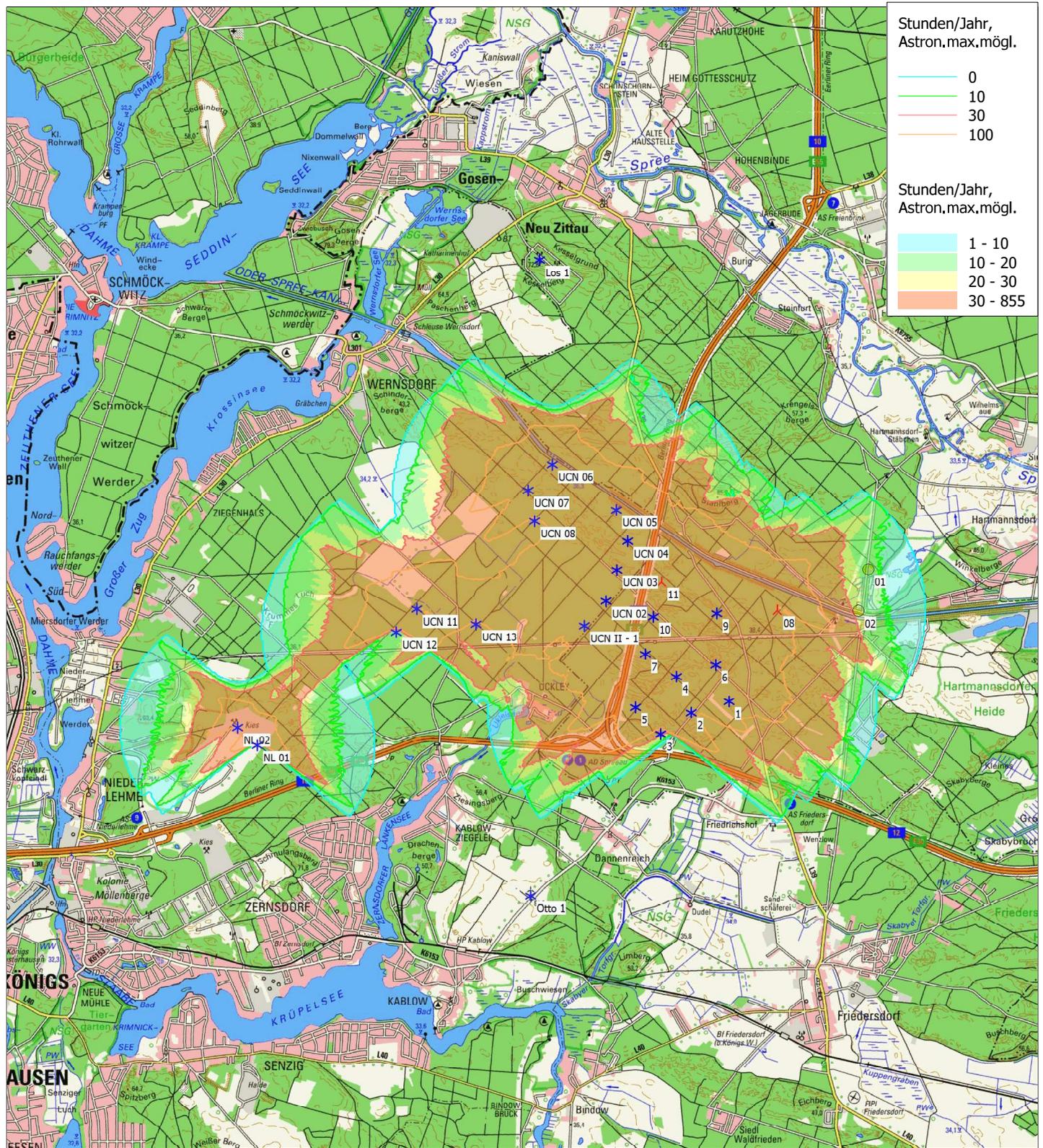
Breitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com

Berechnet:
20.03.2023 12:51/3.3.274

SHADOW - Karte

Berechnung: Isophonenkarte Gesamtbelastung



0 500 1000 1500 2000 m

Karte: tk 50, Maßstab 1:50.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 33 Ost: 413.620 Nord: 5.800.009

🚩 Neue WEA ⚙️ Existierende WEA 📡 Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: Uckley-Nord.wpo (2)

Projekt:
18-1-3053

Beschreibung:
Windpark Dreieck Spreeau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree,
Brandenburg

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
Breitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

ABO Wind AG
Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com
Berechnet:
20.03.2023 12:36/3.3.274

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung 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

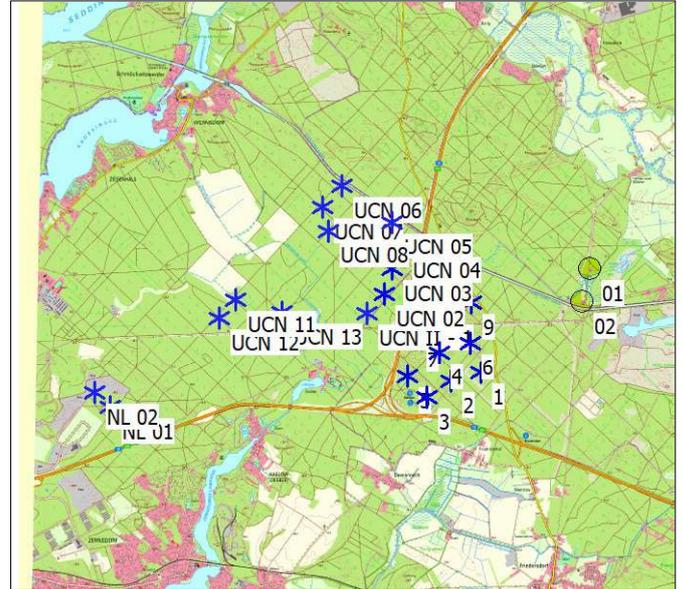
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [POTS DAM]
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,56 2,60 3,92 5,75 7,42 7,51 7,59 7,27 5,27 3,77 1,84 1,30

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
374 336 409 686 768 576 476 593 877 1.220 1.153 672 8.141

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: Uckley-Nord.wpo (2)
Hindernisse in Berechnung nicht verwendet
Berechnungshöhe ü.Gr. für Karte: 1,5 m
Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:
UTM (north)-ETRS89 Zone: 33



Maßstab 1:125.000
* Existierende WEA ● Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Schattendaten				
					Aktuell	Hersteller	Typ	Nennleistung	Rotordurchmesser	Nabenhöhe	Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]				[kW]	[m]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
1	416.292	5.798.403	40,1	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
10	415.314	5.799.504	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
2	415.804	5.798.258	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
3	415.411	5.797.981	39,8	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
4	415.613	5.798.726	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
5	415.083	5.798.327	39,9	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
6	416.119	5.798.882	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
7	415.213	5.799.023	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
9	416.133	5.799.550	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
NL 01	410.206	5.797.834	49,8	VESTAS V90 2000 90....	Ja	VESTAS	V90-2.000	2.000	90,0	95,0	1.506	14,9
NL 02	409.953	5.798.063	48,1	VESTAS V90 2000 90....	Ja	VESTAS	V90-2.000	2.000	90,0	95,0	1.506	14,9
UCN 02	414.703	5.799.705	38,6	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 03	414.840	5.800.110	39,9	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 04	414.983	5.800.490	39,3	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 05	414.838	5.800.897	40,0	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 06	414.011	5.801.487	39,4	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 07	413.697	5.801.148	39,4	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 08	413.781	5.800.746	38,7	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 11	412.262	5.799.602	37,9	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 12	411.998	5.799.309	38,1	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 13	413.026	5.799.405	37,9	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN II - 1	414.425	5.799.386	38,7	NORDEX N131/3300 D...Ja		NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9

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]
01	Spreenhagen, Triebtsch 2	418.092	5.800.119	37,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Spreenhagen, Triebtsch 1	417.961	5.799.579	42,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Projekt:

18-1-3053

Beschreibung:

Windpark Dreieck Spreeau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree, Brandenburg

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH

Breitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

ABO Wind AG
Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com
Berechnet:
20.03.2023 12:36/3.3.274

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung

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]
01	Spreenhagen, Triebtsch 2	0:00	0	0:00	0:00
02	Spreenhagen, Triebtsch 1	5:47	24	0:19	1:29

Gesamtmenge der max. mögl. Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
1	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (16)	0:00	0:00
10	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (24)	0:00	0:00
2	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (17)	0:00	0:00
3	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (18)	0:00	0:00
4	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (19)	0:00	0:00
5	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (20)	0:00	0:00
6	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (21)	0:00	0:00
7	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (22)	0:00	0:00
9	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (23)	5:47	1:29
NL 01	VESTAS V90 2000 90.0 !O! NH: 95,0 m (Ges:140,0 m) (11)	0:00	0:00
NL 02	VESTAS V90 2000 90.0 !O! NH: 95,0 m (Ges:140,0 m) (12)	0:00	0:00
UCN 02	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (1)	0:00	0:00
UCN 03	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (2)	0:00	0:00
UCN 04	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (3)	0:00	0:00
UCN 05	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (4)	0:00	0:00
UCN 06	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (5)	0:00	0:00
UCN 07	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (6)	0:00	0:00
UCN 08	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (7)	0:00	0:00
UCN 11	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (8)	0:00	0:00
UCN 12	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (9)	0:00	0:00
UCN 13	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (10)	0:00	0:00
UCN II - 1	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (15)	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.

Projekt:
18-1-3053

Beschreibung:
Windpark Dreieck Spreeau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree,
Brandenburg

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
Breitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

ABO Wind AG
Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com
Berechnet:
20.03.2023 12:36/3.3.274

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung 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

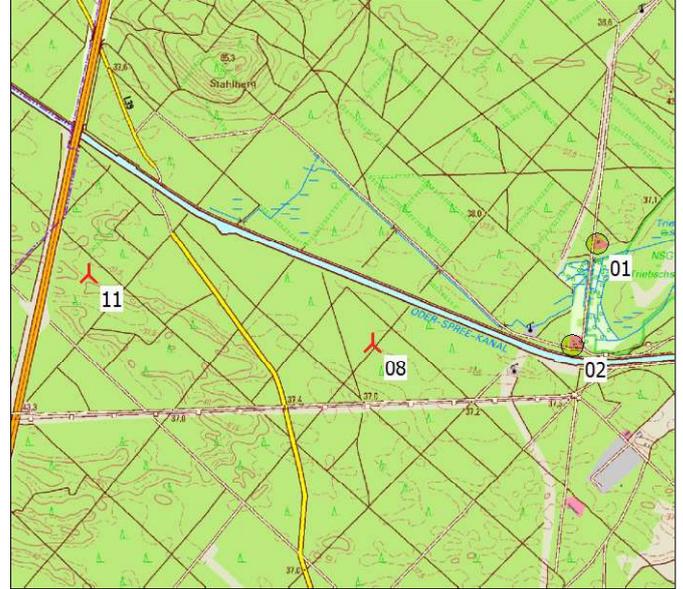
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [POTS DAM]
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,56 2,60 3,92 5,75 7,42 7,51 7,59 7,27 5,27 3,77 1,84 1,30

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
374 336 409 686 768 576 476 593 877 1.220 1.153 672 8.141

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: Uckley-Nord.wpo (2)
Hindernisse in Berechnung nicht verwendet
Berechnungshöhe ü.Gr. für Karte: 1,5 m
Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:
UTM (north)-ETRS89 Zone: 33



Maßstab 1:40.000
Neue WEA Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten	
					Aktuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]				[kW]	[m]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
08	416.913	5.799.589	37,7	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150...Ja	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,3	1.897	12,6
11	415.419	5.799.957	37,8	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150...Ja	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,3	1.897	12,6

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]
01	Spreenhagen, Tribsch 2	418.092	5.800.119	37,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Spreenhagen, Tribsch 1	417.961	5.799.579	42,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"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]	
01	Spreenhagen, Tribsch 2	12:20	35	0:27	2:33	
02	Spreenhagen, Tribsch 1	18:20	42	0:32	5:12	

Gesamtmenge der max. mögl. Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
08	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (111)	30:40	7:46
11	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (112)	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.

Projekt:
18-1-3053

Beschreibung:
Windpark Dreieck Spreeau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree,
Brandenburg

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
Breitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

ABO Wind AG
Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com
Berechnet:
20.03.2023 12:36/3.3.274

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung 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

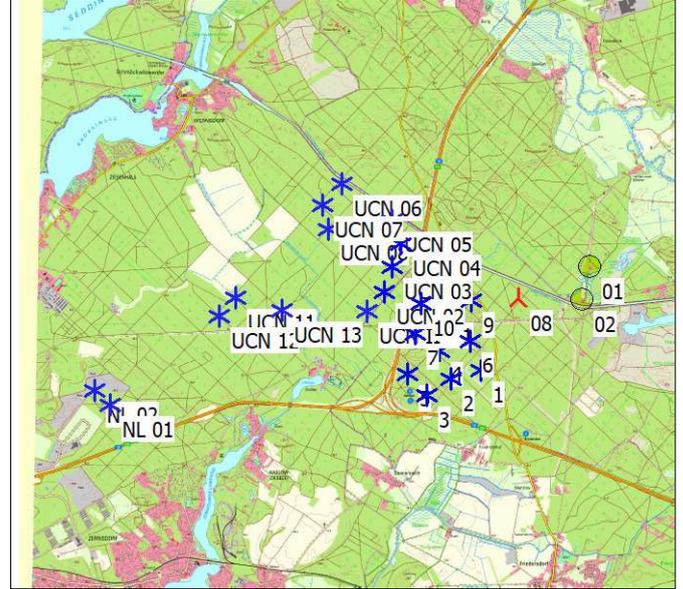
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [POTS DAM]
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,56 2,60 3,92 5,75 7,42 7,51 7,59 7,27 5,27 3,77 1,84 1,30

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
374 336 409 686 768 576 476 593 877 1.220 1.153 672 8.141

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: Uckley-Nord.wpo (2)
Hindernisse in Berechnung nicht verwendet
Berechnungshöhe ü.Gr. für Karte: 1,5 m
Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:
UTM (north)-ETRS89 Zone: 33



Maßstab 1:125.000
▲ Neue WEA * Existierende WEA
● Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Schattendaten				
					Aktuell	Hersteller	Typ	Nennleistung [kW]	Rotordurchmesser [m]	Nabenhöhe [m]	Beschatt.-Bereich [m]	U/min [U/min]
08	416.913	5.799.589	37,7	VESTAS V150-5.6/6.0 ...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,3	1.897	12,6
1	416.292	5.798.403	40,1	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
10	415.314	5.799.504	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
11	415.419	5.799.957	37,8	VESTAS V150-5.6/6.0 ...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,3	1.897	12,6
2	415.804	5.798.258	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
3	415.411	5.797.981	39,8	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
4	415.613	5.798.726	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
5	415.083	5.798.327	39,9	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
6	416.119	5.798.882	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
7	415.213	5.799.023	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
9	416.133	5.799.550	40,0	VESTAS V150-4.2 420...	Ja	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	169,3	1.900	10,4
NL 01	410.206	5.797.834	49,8	VESTAS V90 2000 90....	Ja	VESTAS	V90-2.000	2.000	90,0	95,0	1.506	14,9
NL 02	409.953	5.798.063	48,1	VESTAS V90 2000 90....	Ja	VESTAS	V90-2.000	2.000	90,0	95,0	1.506	14,9
UCN 02	414.703	5.799.705	38,6	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 03	414.840	5.800.110	39,9	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 04	414.983	5.800.490	39,3	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 05	414.838	5.800.897	40,0	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 06	414.011	5.801.487	39,4	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 07	413.697	5.801.148	39,4	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 08	413.781	5.800.746	38,7	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 11	412.262	5.799.602	37,9	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 12	411.998	5.799.309	38,1	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN 13	413.026	5.799.405	37,9	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9
UCN II - 1	414.425	5.799.386	38,7	NORDEX N131/3300 D...Ja	Ja	NORDEX	N131/3300 DE-3.300	3.300	131,0	135,9	1.722	10,9

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite [m]	Höhe [m]	Höhe ü.Gr. [m]	Neigung des Fensters [°]	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr. [m]
01	Spreenhagen, Tribsch 2	418.092	5.800.119	37,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Spreenhagen, Tribsch 1	417.961	5.799.579	42,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Projekt:

18-1-3053

Beschreibung:

Windpark Dreieck Spreeau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree,
Brandenburg

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbHBreitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com

Berechnet:

20.03.2023 12:36/3.3.274

ABO Wind AG
Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung**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]	
01	Spreenhagen, Tribsch 2	12:20	35	0:27	2:33	
02	Spreenhagen, Tribsch 1	21:28	54	0:32	6:00	

Gesamtmenge der max. mögl. Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
08	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (111)	30:40	7:46
1	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (16)	0:00	0:00
10	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (24)	0:00	0:00
11	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (112)	0:00	0:00
2	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (17)	0:00	0:00
3	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (18)	0:00	0:00
4	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (19)	0:00	0:00
5	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (20)	0:00	0:00
6	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (21)	0:00	0:00
7	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (22)	0:00	0:00
9	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (23)	5:47	1:29
NL 01	VESTAS V90 2000 90.0 !O! NH: 95,0 m (Ges:140,0 m) (11)	0:00	0:00
NL 02	VESTAS V90 2000 90.0 !O! NH: 95,0 m (Ges:140,0 m) (12)	0:00	0:00
UCN 02	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (1)	0:00	0:00
UCN 03	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (2)	0:00	0:00
UCN 04	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (3)	0:00	0:00
UCN 05	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (4)	0:00	0:00
UCN 06	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (5)	0:00	0:00
UCN 07	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (6)	0:00	0:00
UCN 08	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (7)	0:00	0:00
UCN 11	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (8)	0:00	0:00
UCN 12	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (9)	0:00	0:00
UCN 13	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (10)	0:00	0:00
UCN II - 1	NORDEX N131/3300 DE 3300 131.0 !-! NH: 135,9 m (Ges:201,4 m) (15)	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.

Projekt:

18-1-3053

Beschreibung:

Windpark Dreieck Spreeau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree, Brandenburg

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Breitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

ABO Wind AG

Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com

Berechnet:

20.03.2023 12:36/3.3.274

SHADOW - Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung **Schattenrezeptor:** 01 - Spreenhagen, Triebisch 2

Voraussetzungen für Berechnung des Schattenwurfs

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

Betriebsdauer je Sektor

N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
374 336 409 686 768 576 476 593 877 1.220 1.153 672 8.141

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
1 08:15	07:48	06:54	16:26 (08)	06:42	05:36	04:50	04:47	05:24	06:15	07:05	06:59	07:51
16:02	16:50	17:43	24 16:50 (08)	19:38	20:30	21:17	21:31	20:58	19:55	18:45	16:38	15:57
2 08:15	07:46	06:51	16:27 (08)	06:40	05:34	04:49	04:48	05:26	06:17	07:06	07:01	07:53
16:03	16:52	17:45	23 16:50 (08)	19:40	20:32	21:18	21:30	20:56	19:53	18:42	16:36	15:56
3 08:15	07:45	06:49	16:29 (08)	06:37	05:33	04:49	04:48	05:27	06:18	07:08	07:03	07:54
16:04	16:54	17:47	20 16:49 (08)	19:41	20:33	21:19	21:30	20:55	19:51	18:40	16:34	15:55
4 08:15	07:43	06:47	16:29 (08)	06:35	05:31	04:48	04:49	05:29	06:20	07:10	07:05	07:56
16:05	16:56	17:48	17 16:46 (08)	19:43	20:35	21:20	21:30	20:53	19:48	18:38	16:32	15:55
5 08:15	07:41	06:45	16:32 (08)	06:33	05:29	04:47	04:50	05:30	06:21	07:12	07:07	07:57
16:07	16:58	17:50	12 16:44 (08)	19:45	20:37	21:21	21:29	20:51	19:46	18:36	16:30	15:54
6 08:14	07:40	06:43		06:31	05:27	04:46	04:51	05:32	06:23	07:13	07:09	07:58
16:08	17:00	17:52		19:47	20:38	21:22	21:29	20:49	19:44	18:33	16:29	15:54
7 08:14	07:38	06:40		06:28	05:25	04:46	04:52	05:34	06:25	07:15	07:10	07:59
16:09	17:02	17:54		19:48	20:40	21:23	21:28	20:48	19:41	18:31	16:27	15:53
8 08:14	07:36	06:38		06:26	05:23	04:45	04:53	05:35	06:26	07:17	17:09 (08)	07:12
16:10	17:04	17:56		19:50	20:42	21:24	21:27	20:46	19:39	18:29	8 17:17 (08)	16:25
9 08:13	07:34	06:36		06:24	05:21	04:45	04:54	05:37	06:28	07:18	17:06 (08)	07:14
16:12	17:06	17:58		19:52	20:43	21:24	21:27	20:44	19:37	18:26	14 17:20 (08)	16:23
10 08:12	07:33	06:33		06:21	05:20	04:44	04:55	05:39	06:30	07:20	17:04 (08)	07:16
16:13	17:07	17:59		19:54	20:45	21:25	21:26	20:42	19:34	18:24	18 17:22 (08)	16:22
11 08:12	07:31	06:31		06:19	05:18	04:44	04:56	05:40	06:31	07:22	17:02 (08)	07:18
16:15	17:09	18:01		19:55	20:47	21:26	21:25	20:40	19:32	18:22	21 17:23 (08)	16:20
12 08:11	07:29	06:29		06:17	05:16	04:44	04:57	05:42	06:33	07:24	17:01 (08)	07:20
16:16	17:11	18:03		19:57	20:48	21:27	21:24	20:38	19:30	18:20	23 17:24 (08)	16:19
13 08:10	07:27	06:27		06:15	05:15	04:43	04:58	05:43	06:35	07:25	16:59 (08)	07:21
16:18	17:13	18:05		19:59	20:50	21:27	21:23	20:36	19:27	18:17	25 17:24 (08)	16:17
14 08:10	07:25	06:24		06:12	05:13	04:43	04:59	05:45	06:36	07:27	16:59 (08)	07:23
16:19	17:15	18:06		20:01	20:51	21:28	21:22	20:34	19:25	18:15	25 17:24 (08)	16:16
15 08:09	07:23	06:22		06:10	05:11	04:43	05:00	05:47	06:38	07:29	16:58 (08)	07:25
16:21	17:17	18:08		20:02	20:53	21:29	21:21	20:32	19:23	18:13	26 17:24 (08)	16:14
16 08:08	07:21	06:20		06:08	05:10	04:43	05:02	05:48	06:40	07:31	16:58 (08)	07:27
16:22	17:19	18:10		20:04	20:54	21:29	21:20	20:30	19:20	18:11	27 17:25 (08)	16:13
17 08:07	07:19	06:17	16:35 (08)	06:06	05:08	04:43	05:03	05:50	06:41	07:32	16:58 (08)	07:28
16:24	17:21	11 16:46 (08)	18:12	20:06	20:56	21:30	21:19	20:28	19:18	18:08	26 17:24 (08)	16:11
18 08:06	07:17	16 16:32 (08)	06:15	06:03	05:07	04:43	05:04	05:52	06:43	07:34	16:58 (08)	07:30
16:26	17:23	16 16:48 (08)	18:14	20:07	20:58	21:30	21:18	20:26	19:15	18:06	26 17:24 (08)	16:10
19 08:05	07:15	16 16:30 (08)	06:13	06:01	05:05	04:43	05:05	05:53	06:45	07:36	16:58 (08)	07:32
16:27	17:24	19 16:49 (08)	18:15	20:09	20:59	21:30	21:17	20:24	19:13	18:04	26 17:24 (08)	16:09
20 08:04	07:13	16 16:29 (08)	06:10	05:59	05:04	04:43	05:07	05:55	06:46	07:38	16:58 (08)	07:34
16:29	17:26	21 16:50 (08)	18:17	20:11	21:01	21:31	21:16	20:22	19:11	18:02	24 17:22 (08)	16:07
21 08:03	07:11	16 16:28 (08)	06:08	05:57	05:03	04:43	05:08	05:57	06:48	07:40	16:58 (08)	07:35
16:31	17:28	23 16:51 (08)	18:19	20:13	21:02	21:31	21:14	20:20	19:08	18:00	23 17:21 (08)	16:06
22 08:02	07:09	16 16:27 (08)	06:06	05:55	05:01	04:43	05:09	05:58	06:50	07:41	16:59 (08)	07:37
16:32	17:30	25 16:52 (08)	18:21	20:14	21:03	21:31	21:13	20:17	19:06	17:58	21 17:20 (08)	16:05
23 08:01	07:07	16 16:27 (08)	06:03	05:53	05:00	04:43	05:11	06:00	06:51	07:43	17:01 (08)	07:39
16:34	17:32	26 16:53 (08)	18:22	20:16	21:05	21:31	21:12	20:15	19:04	17:56	18 17:19 (08)	16:04
24 07:59	07:05	16 16:27 (08)	06:01	05:51	04:59	04:44	05:12	06:02	06:53	07:45	17:03 (08)	07:40
16:36	17:34	26 16:53 (08)	18:24	20:18	21:06	21:31	21:10	20:13	19:01	17:54	14 17:17 (08)	16:03
25 07:58	07:02	16 16:26 (08)	05:59	05:49	04:58	04:44	05:14	06:03	06:55	07:47	16:05 (08)	07:42
16:38	17:36	26 16:52 (08)	18:26	20:20	21:08	21:32	21:09	20:11	18:59	16:52	9 16:14 (08)	16:02
26 07:57	07:00	16 16:26 (08)	05:56	05:46	04:56	04:44	05:15	06:05	06:56	07:49	07:44	08:15
16:39	17:37	26 16:52 (08)	18:28	20:21	21:09	21:32	21:08	20:09	18:57	16:49	16:01	15:56
27 07:55	06:58	16 16:26 (08)	05:54	05:44	04:55	04:45	05:17	06:07	06:58	07:50	07:45	08:15
16:41	17:39	26 16:52 (08)	18:29	20:23	21:10	21:31	21:06	20:06	18:54	16:47	16:00	15:57
28 07:54	06:56	16 16:27 (08)	05:51	05:42	04:54	04:45	05:18	06:08	07:00	07:52	07:47	08:15
16:43	17:41	25 16:52 (08)	18:31	20:25	21:12	21:31	21:05	20:04	18:52	16:45	15:59	15:58
29 07:52		06:49		05:40	04:53	04:46	05:20	06:10	07:01	07:54	07:48	08:15
16:45		19:33		20:26	21:13	21:31	21:03	20:02	18:49	16:43	15:58	15:59
30 07:51		06:47		05:38	04:52	04:46	05:21	06:12	07:03	07:56	07:50	08:15
16:47		19:34		20:28	21:14	21:31	21:01	20:00	18:47	16:42	15:57	16:00
31 07:49		06:44		04:51		05:23	06:13	07:04	07:56	08:48	07:50	08:15
16:49		19:36		21:15		21:00	19:57	18:44	17:30	16:40	16:01	16:01
Sonnenscheinstunden	257	277	367	417	487	501	504	455	381	331	265	241
astr.max.mögl.Beschattung		270	96							374		
Red.Sonnenscheinwahrsch.		0,26	0,33							0,35		
Reduktion Betriebsdauer		0,93	0,93							0,93		
Reduktion Windrichtung		0,70	0,70							0,70		
Gesamte Reduktion		0,17	0,22							0,23		
Met.wahrsch.Beschattung		47	21							87		

Tabellen-Layout: Die Daten für jeden Tag sind in folgender Matrix wiedergegeben (Sommerzeit wie Bezugsjahr):

Tag im Monat	Sonnenaufgang (SS:MM)	Zeitpunkt (SS:MM) Schattenanfang	(WEA mit erstem Schatten)
	Sonnenuntergang (SS:MM)	Minuten mit Schatten	Zeitpunkt (SS:MM) Schattende
			(WEA mit letztem Schatten)

Projekt: 18-1-3053

Beschreibung: Windpark Dreieck Spreewau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree, Brandenburg

Lizenzierter Anwender: Ramboll Deutschland GmbH Breitscheidstraße 6 DE-34119 Kassel

ABO Wind AG Oberdorfstraße 10 55262 Heidesheim

Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com Berechnet: 20.03.2023 12:36/3.3.274

SHADOW - Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung Schattenrezeptor: 02 - Spreenhagen, Triebisch 1

Voraussetzungen für Berechnung des Schattenwurfs

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

Betriebsdauer je Sektor

Table with 13 columns: N, NNO, ONO, O, OSO, SSO, S, SSW, WSW, W, WNW, NNW, Summe. Values range from 374 to 8.141.

Main data table with columns for months (Januar to Dezember) and rows for each hour of the day (08:15 to 16:49). Includes summary rows for solar hours, reduction, and meteorological shading.

Tabellen-Layout: Die Daten für jeden Tag sind in folgender Matrix wiedergegeben (Sommerzeit wie Bezugsjahr):

Summary table with 4 columns: Tag im Monat, Sonnenaufgang (SS:MM), Sonnenuntergang (SS:MM), Minuten mit Schatten, Zeitpunkt (SS:MM) Schattenanfang, Zeitpunkt (SS:MM) Schattende, (WEA mit erstem Schatten), (WEA mit letztem Schatten).



Projekt:
18-1-3053

Beschreibung:
Windpark Dreieck Spreeau, Spreenhagen, Landkreis Oder-Spree,
Brandenburg

Lizenziertes Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
Breitscheidstraße 6
DE-34119 Kassel

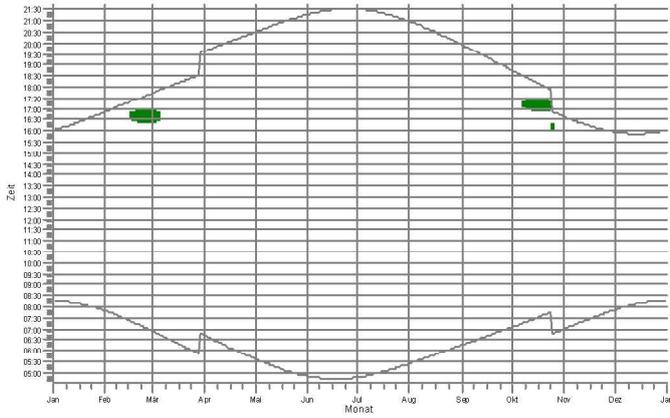
ABO Wind AG
Oberdorfstraße 10
55262 Heidesheim

-
Timo Mertens / timo.mertens@ramboll.com
Berechnet:
20.03.2023 12:36/3.3.274

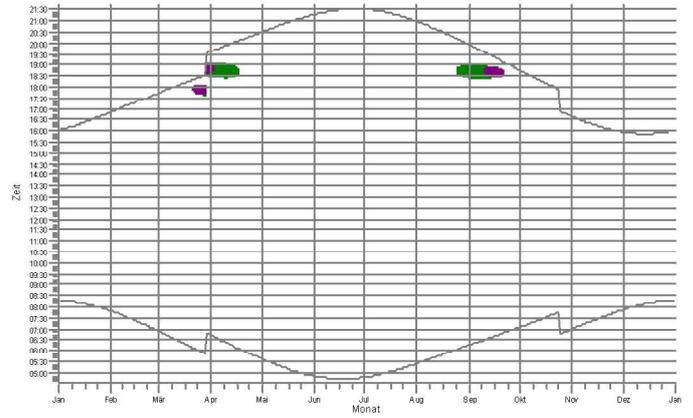
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

01: Spreenhagen, Triebisch 2



02: Spreenhagen, Triebisch 1



WEA

08: VESTAS V150-5,6/6.0 6000 150.0 IOI NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (111)

9: VESTAS V150-4,2 4200 150.0 IOI NH: 169,3 m (Ges:244,3 m) (23)

Anhang: Akkreditierung



Deutsche Akkreditierungsstelle

Anlage zur Akkreditierungsurkunde D-PL-21488-01-00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018

Gültig ab: 14.12.2022

Ausstellungsdatum: 14.12.2022

Inhaber der Akkreditierungsurkunde:

Ramboll Deutschland GmbH

mit den Standorten:

Elisabeth-Consbruch-Straße 3, 34131 Kassel

Lister Straße 9, 30163 Hannover

Das Prüflaboratorium erfüllt die Mindestanforderungen gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 und gegebenenfalls zusätzliche gesetzliche und normative Anforderungen, einschließlich solcher in relevanten sektoralen Programmen, um die nachfolgend aufgeführten Konformitätsbewertungstätigkeiten durchzuführen.

Die Anforderungen an das Managementsystem in der DIN EN ISO/IEC 17025 sind in einer für Prüflaboratorien relevanten Sprache verfasst und stehen insgesamt in Übereinstimmung mit den Prinzipien der DIN EN ISO 9001.

Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen von Windenergieanlagen (WEA) einschließlich Prüfung windklimatologischer Eingangsdaten; Bestimmung des Referenzertrages; Bestimmung der Standortgüte; Durchführung und Auswertung von Windmessungen zur Bestimmung des Windpotenzials; Verifizierung von Fernmessgeräten (Lidar und Sodar), Erstellung von Schallimmissionsprognosen für Windenergieanlagen; Erstellung von Schattenwurfprognosen für Windenergieanlagen; Erstellung von Gutachten zur natürlichen Umgebungsturbulenz von Windenergieanlagenstandorten auf der Grundlage der Berechnung von Turbulenzintensitäten

Innerhalb der mit * gekennzeichneten Prüfverfahren ist dem Prüflaboratorium, ohne dass es einer vorherigen Information und Zustimmung der DAkkS bedarf, die Anwendung der hier aufgeführten genormten oder ihnen gleichzusetzenden Prüfverfahren mit unterschiedlichen Ausgabeständen gestattet.

Das Prüflaboratorium verfügt über eine aktuelle Liste aller Prüfverfahren im flexiblen Akkreditierungsbereich.

Diese Urkundenanlage gilt nur zusammen mit der schriftlich erteilten Urkunde und gibt den Stand zum Zeitpunkt des Ausstellungsdatums wieder. Der jeweils aktuelle Stand der gültigen und überwachten Akkreditierung ist der Datenbank akkreditierter Stellen der Deutschen Akkreditierungsstelle zu entnehmen (www.dakks.de)

Verwendete Abkürzungen: siehe letzte Seite

Seite 1 von 3

Theoretische Grundlagen

1 Sonnenstand

Der Sonnenstand bildet die Grundlage für die Berechnung des Schattenwurfs. Der Stand der Sonne am Firmament ist im Wesentlichen von der geographischen Position sowie von der Tages- und der Jahreszeit abhängig, wobei die Erdrotation, die Neigung der Erdachse und der elliptischen Laufbahn der Erde um die Sonne berücksichtigt werden.

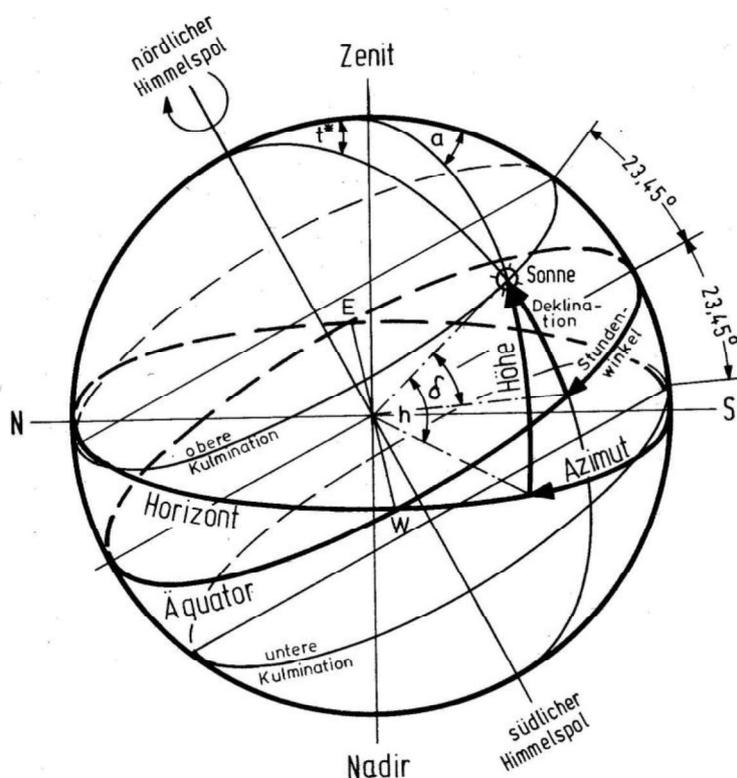


Abbildung 1: Winkelzusammenhänge des Sonnenstands an einem Betrachtungspunkt

Mit diesen Daten werden die Deklination δ , der Stundenwinkel ω , die Sonnenhöhe h , der Azimut γ sowie der Sonnenauf- und -untergang t_a und t_u berechnet. Die Begriffe bedeuten:

- **Deklination δ :** Jahrgang der Sonne. Winkel, in welchem sich die Sonne im Verlauf der Jahreszeiten über den Zenit am Äquator in südlicher und nördlicher Richtung hin- und herbewegt. [Winteranfang (21.12.) $-23,45^\circ$; Sommeranfang (21.6.) $23,45^\circ$; Herbst- (23.9.) und Frühlingsanfang (21.3.) 0°]
- **Sonnenhöhe h :** Einfallswinkel der Sonne gegenüber einer horizontalen Fläche.

- **Stundenwinkel ω :** Winkel zwischen dem Sonnenhöchststand und der aktuellen Sonneneinstrahlung.
- **Azimet γ :** Winkel zwischen der Südrichtung und dem auf die horizontale Ebene projizierten Sonnenstand.
- **Sonnenaufgang t_a , Sonnenuntergang t_u :** Aufgang/Untergang in dem Moment, wenn der Sonnenmittelpunkt über der horizontalen Fläche morgens/abends am Horizont sichtbar/verdeckt wird.

Die Berechnungen berücksichtigen die sich verändernde Tageslänge von einem zum nächsten Sonnenhöchststand, die aufgrund der elliptischen Umlaufbahn der Erde um die Sonne um bis zu 16 Minuten variiert. In Abbildung 2 ist die Abweichung (Zeitkorrektur) der Tagesdauer von einem 24-Stunden Tag sowie die Deklination über ein Jahr dargestellt.

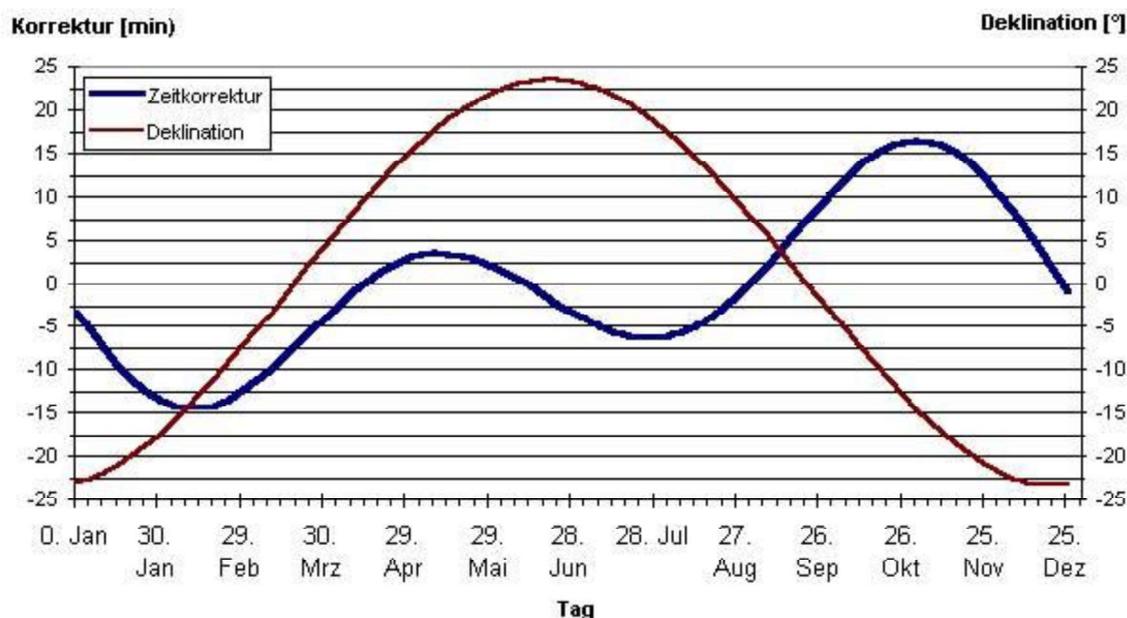


Abbildung 2: Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

Da die Ergebnisse nicht nur für ein Jahr gültig sein sollen, wird in den Berechnungen die Zahl der Tage pro Jahr auf 365,25 Tage gemittelt. Dadurch können sich die Ergebnisse innerhalb eines Zeitraums von vier Jahren um bis zu einem Tag verschieben.

2 Schattenwurf von WEA

2.1 Beschattungsbereich

Periodischer Schattenwurf wird durch die sich bewegenden Rotorblätter einer WEA erzeugt. Der Bereich, in dem der periodische Schattenwurf einer WEA untersucht werden muss (*Beschattungsbereich*), ist definiert als der Bereich, von dem aus die Sonnenscheibe mehr als 20 % durch das Rotorblatt verdeckt wird. Wird durch ein Rotorblatt weniger als 20 % der Sonnenscheibe verdeckt, so ist der dadurch entstehende Helligkeitswechsel wenig wahrnehmbar und nicht mehr relevant. Da die Breite eines Rotorblatts nicht über die ganze Länge konstant ist, wird, um den Beschattungsbereich zu berechnen, ersatzweise ein rechteckiges Rotorblatt mit einer mittleren Blatattiefe ermittelt und zugrunde gelegt. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Schattenintensität bei einem typischen Rotorblatt von rund 63 m Länge in Abhängigkeit von der Entfernung.

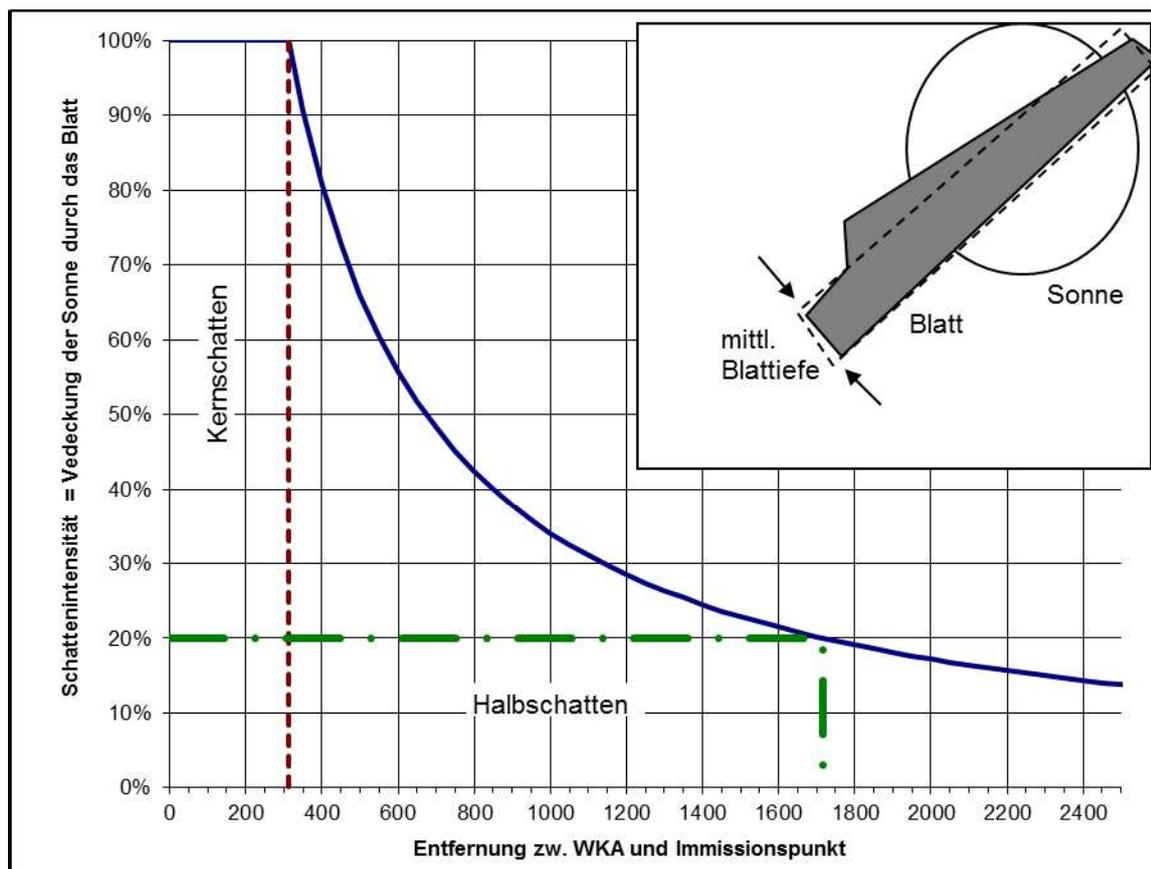


Abbildung 3: Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblatttiefe und Entfernung

2.2 Schattenverlauf und Berechnung der Beschattungsdauern

Der Verlauf des periodischen Schattenwurfs wird über den Sonnenstand, den Standort bzw. die Standorte der WEA und die Lage der maßgeblichen Immissionsorte ermittelt. Dazu sind die folgenden Daten notwendig:

- die Positionen der WEA und der Immissionsorte (Koordinaten, Höhe über N.N., Genauigkeit +/- 5 m)
- Ausmaße der WEA (Nabenhöhe, Rotorradius und Rotorblatttiefe)

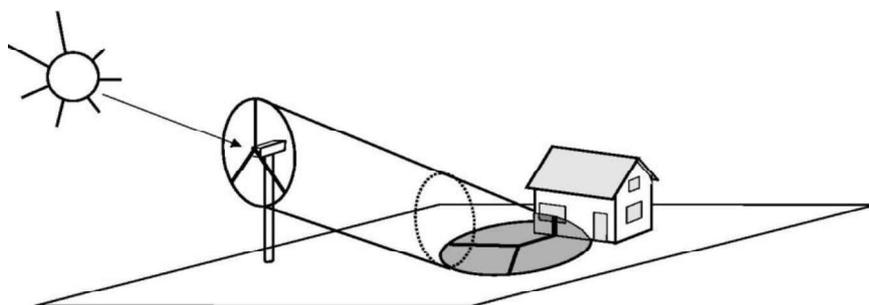


Abbildung 4: Schattenwurf des Rotors

Zur Ermittlung des Schattenwurfs an einem Immissionsort wird dort ein virtueller Schattenrezeptor mit den Ausmaßen der zu untersuchenden Fläche platziert. Bei der Simulation des Sonnenstands über ein Jahr registriert der virtuelle Rezeptor den Schattenwurf in diesem Zeitraum (Abbildung 5). Die Simulation des Verlaufs der Sonne wird mit der Software windPRO (Modul SHADOW) (1) mit einer minütlichen Auflösung von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang über das ganze Jahr durchgeführt. Unter Berücksichtigung einer minimalen Sonnenhöhe, der Koordinaten, der Lage und der Größe des Rezeptors sowie der WEA-Daten, wird so über die Simulation ermittelt, ob am Rezeptor ein Schattenwurf durch eine oder mehrere Windenergieanlagen auftritt. Tritt ein Schlagschatten auf, werden für diesen das Datum, der Beginn, das Ende und die Dauer sowie die verursachende WEA des Schattens angegeben (siehe die Kalender zu jedem Schattenrezeptor). Daraus werden wiederum über ein ganzes Jahr die Anzahl der Schattentage und die gesamte Schattenwurfdauer berechnet.

Der Schattenwurf für Sonnenstände unter 3° Erhöhung über Horizont kann wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände vernachlässigt werden. Ob hier auch ein höherer Wert angesetzt werden kann, hängt von der Orographie, der Bebauung und dem Bewuchs um den WEA-Standort ab und muss im Einzelnen evtl. dann genauer untersucht werden, wenn davon auszugehen ist, dass durch die Gegebenheiten vor Ort

eine wesentliche Reduktion der Beeinträchtigung zu erwarten ist.

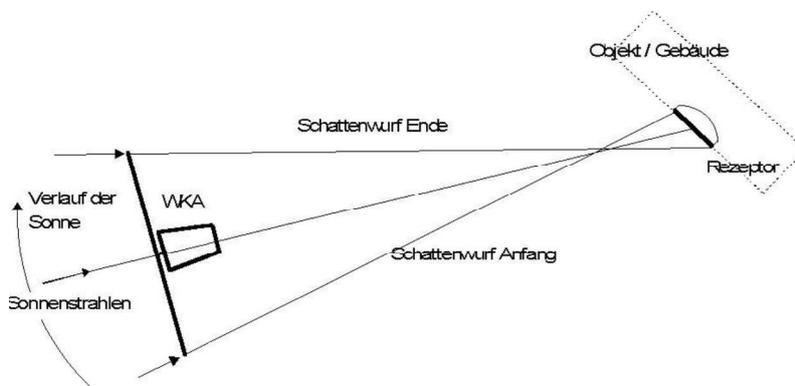


Abbildung 5: Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

2.3 Richtlinien

Die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) (2) hat die federführend vom staatlichen Umweltamt Schleswig unter Mitarbeit von Fachleuten (3) (4) (5) (6), Gutachtern (u.a. auch der Ramboll Deutschland GmbH), Gewerbeaufsichtsämtern und Weiteren erarbeiteten Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WKA-Schattenwurfhinweise) im Jahr 2002 als Standard anerkannt. Die WKA-Schattenwurfhinweise enthalten folgende Anhaltswerte:

- Die Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer (worst case) an einem Immissionsort darf maximal 30 Stunden im Jahr und maximal 30 Minuten am Tag betragen.
- Ein Schattenwurf bei einem Sonnenstand unter 3° ist nicht zu berücksichtigen.
- Der Beschattungsbereich ist der Bereich, in dem die Sonnenscheibe zu mehr als 20 % durch das Rotorblatt verdeckt ist.
- Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen, wird die Berechnung des Schattenwurfs für einen punktförmigen Rezeptor (in der Simulation: $0,1 \times 0,1 \text{ m}$) in 2 m Höhe am Immissionsort empfohlen.
- Darüber hinaus sollen zusätzlich die realen (bzw. meteorologisch statistisch auftretenden) Schattenwurfzeiten (unter Berücksichtigung von Sonnenscheinwahrscheinlichkeit, Windrichtungsverteilung und Stillstandszeiten), bezogen auf ein Fenster von üblichen Ausmaßen, angegeben werden; überschreiten diese einen Immissionsrichtwert von 8 Stunden, so ist der darüber hinausgehende Schattenwurf zu unterbinden.

2.4 Wahrscheinlichkeitsbetrachtung

Um aus der astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer (Worstcase) die meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer zu ermitteln, fließen statistische Daten zur Sonnenscheinwahrscheinlichkeit, zu den Betriebsstunden der WEA und zur Windrichtung in die Berechnung ein. Diese Einflussfaktoren werden in den folgenden Abschnitten erläutert. Aufgrund der Sensibilität der Berechnung von den meteorologischen Eingangsgrößen sind diese mit Unsicherheiten von 5-15 % behaftet.

2.4.1 Sonnenscheinwahrscheinlichkeit

Den Berechnungen der astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer (worst case) wurde die Annahme kontinuierlichen Sonnenscheins zugrunde gelegt. Um dagegen die meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer zu bestimmen, muss die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit mitberücksichtigt werden, die in der Praxis gleichzusetzen ist mit der Wahrscheinlichkeit der Existenz eines Schattenwurfs. Die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit ist von Region zu Region unterschiedlich und wird über die Sonneneinstrahlung an Wetterstationen gemessen. Die dazu erhältlichen Daten basieren auf mehrjährigen Messungen. Angegeben wird üblicherweise die mittlere tägliche Sonnenscheindauer in Stunden, jeweils bezogen auf die einzelnen Monate. Teilt man diese Sonnenscheindauer durch die mittlere Zeitdauer von Sonnenaufgang bis -untergang im gleichen Monat, erhält man die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit im jeweiligen Monat. Dieser Wert liegt im Dezember zwischen 10 % (Kassel) und 22 % (Freiburg) und im Juli/August zwischen 40 % (Düsseldorf) und 52 % (Freiburg) (7).

2.4.2 Reduktion der Schattenwurfdauer durch den Azimutwinkel

Bei der Berechnung der astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer (worst case) wird ebenfalls vom ungünstigsten Fall ausgegangen, dass die Windrichtung mit der Richtung der Sonnenstrahlen (Azimutwinkel) identisch ist und die Ausrichtung des Rotors damit den größtmöglichen Schatten zur Folge hat. Wird die statistische Windrichtungsverteilung berücksichtigt, so verkürzt sich die Dauer des Schattenwurfs pro Tag, da eine Abweichung zwischen der Windrichtung und dem Sonnenazimut einen schmaleren, ellipsenförmigen Schattenwurf verursacht (vgl. Abbildung 4).

Als Basis dient hier die Windrichtungsverteilung in 12 Sektoren, die einem Windgutachten oder

einer in der Nähe gemessenen Windstatistik aus einer meteorologischen Station entnommen werden kann. Entsprechend der sektoriellen Windrichtungsverteilung wird die relevante Schattenwurfungsbeziehung (WEA - Immissionspunkt) einem Windrichtungssektor zugeordnet. Gegenüberliegende Sektoren (Luv oder Lee von der Sonne angestrahlt) werden dabei in gleicher Weise berücksichtigt. Durch die Schrägstellung der Rotorebene verkleinern sich der Schattenwurfkegel und somit auch die Zeitpunkte des Schattenanfangs und des Schattenedes, also die Dauer des Schattenwurfs auf den Immissionspunkt.

2.4.3 Schattenwurf nur bei Betrieb der Anlage

Weiterhin ist die WEA nicht ständig in Betrieb, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit eines Schattenwurfs durch den sich drehenden Rotor zusätzlich reduziert. Erst wenn die Windgeschwindigkeit einen Wert über der Anlaufwindgeschwindigkeit erreicht, beginnt sich die WEA zu drehen. Die Stillstandshäufigkeit kann mit Hilfe der Windgeschwindigkeits-Häufigkeitsverteilung am Standort (zum Beispiel als Weibull-Funktion auf Nabenhöhe aus einem Windgutachten) und der Anlaufwindgeschwindigkeit der WEA ermittelt werden. Die "In-Betrieb"-Häufigkeit bezeichnet so das Verhältnis von Betriebsstunden der Anlage und der Stundenzahl eines Jahres (8.760 h).

3 Literaturverzeichnis – theoretische Grundlagen

1. **EMD.** *Software WindPRO, Modul SHADOW, jeweils aktuellste Version.* 9220 Aalborg (DK) : EMD International A/S, 2019.
2. **LAI.** *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WKA-Schattenwurfhinweise, Aktualisierung 2019).* s.l. : Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), 23.01.2020.
3. **H. D. Freund.** *Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen.* s.l. : Umweltforschungsbank UFORDAT, Juni 1999.
4. —. *Effektive Einwirkzeit T_w des Schattenwurfs bei $T_{max} = 30$ h/Jahr.* Kiel : Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel, 24.01.2001.
5. **J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld.** *Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie.* Kiel : Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31.07.1999.
6. —. *Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie.* Kiel : Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, 15.05.2000.
7. **Kommission der Europäischen Gemeinschaften.** *Atlas über die Sonnenstrahlung in Europa.* Dortmund : W-Grösschen Verlag, 1979.