

Schattenwurfprognose für
eine Windenergieanlage
am Standort
A33/Borchen WEA 06
(Nordrhein-Westfalen)

Datum: 27.04.2023

Bericht Nr. 18-1-3013-008-SRM

Auftraggeber:

WP A33 GmbH & Co. KG

Zur Egge 29 | 33165 Lichtenau

Auftragsnummer: 352005204

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Robbin Meisel M.Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort A33/Borchen WEA 06 (Nordrhein-Westfalen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im April 2023 von der WP A33 GmbH & Co. KG 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
008	27.04.2023	R. Meisel	Planung von einer WEA des Typs Nordex N149/5.X

Kassel, 27.04.2023



Robbin Meisel M.Sc.
(Bearbeiter)

Dipl.-Geogr. Marc Brüning
(Prüfer)

Inhalt:

1	Zusammenfassung	4
2	Standort- und WEA-Daten	5
	2.1 Aufgabenstellung	5
	2.2 Immissionsorte	6
	2.3 Immissionsrichtwerte	10
	2.4 Windenergieanlagen	10
3	Schattenwurfberechnungen	13
	3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer	13
	3.2 Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer	14
4	Bewertung der Ergebnisse	16
	4.1 Beurteilung der Berechnungen	16
	4.2 Hinweise zur Abschaltautomatik	16
	4.3 Genauigkeit der Prognose	17
5	Quellenverzeichnis	18
6	Anhang	19

1 Zusammenfassung

Am Windparkstandort A33/Borchen WEA 06 wurden für 23 Immissionsorte (IO) die Beschattungsdauern durch eine neu geplante Windenergieanlage (WEA) des Typs Nordex N149/5.X mit 125,4 m Nabenhöhe sowie 33 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 21 Immissionsorten 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 06

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 A33/Borchen WEA 06 südlich von Borchen eine Windenergieanlage (WEA) des Typs Nordex N149/5.X mit 125,4 m Nabenhöhe zu errichten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten der geplanten WEA

WEA	WEA Hersteller / Typ	Nabenhöhe	Ost	Nord
		[m]	[UTM 32 ETRS89]	
06	Nordex N149/5.X	125,4	481.447	5.720.613

In der Nähe des Standorts existieren bereits weitere WEA bzw. befinden sich in einem fortgeschrittenen Planungsstadium. 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 06.04.2018 erhobenen Daten über relevante Immissionsorte und deren Umgebung. Das Höhenrelief wurde dem DGM-1 Nordrhein-Westfalen entnommen. Die Berechnung wurde mit der Software windPRO, Modul SHADOW [3] durchgeführt. Grundlagen zur Berechnung finden sich im Anhang.

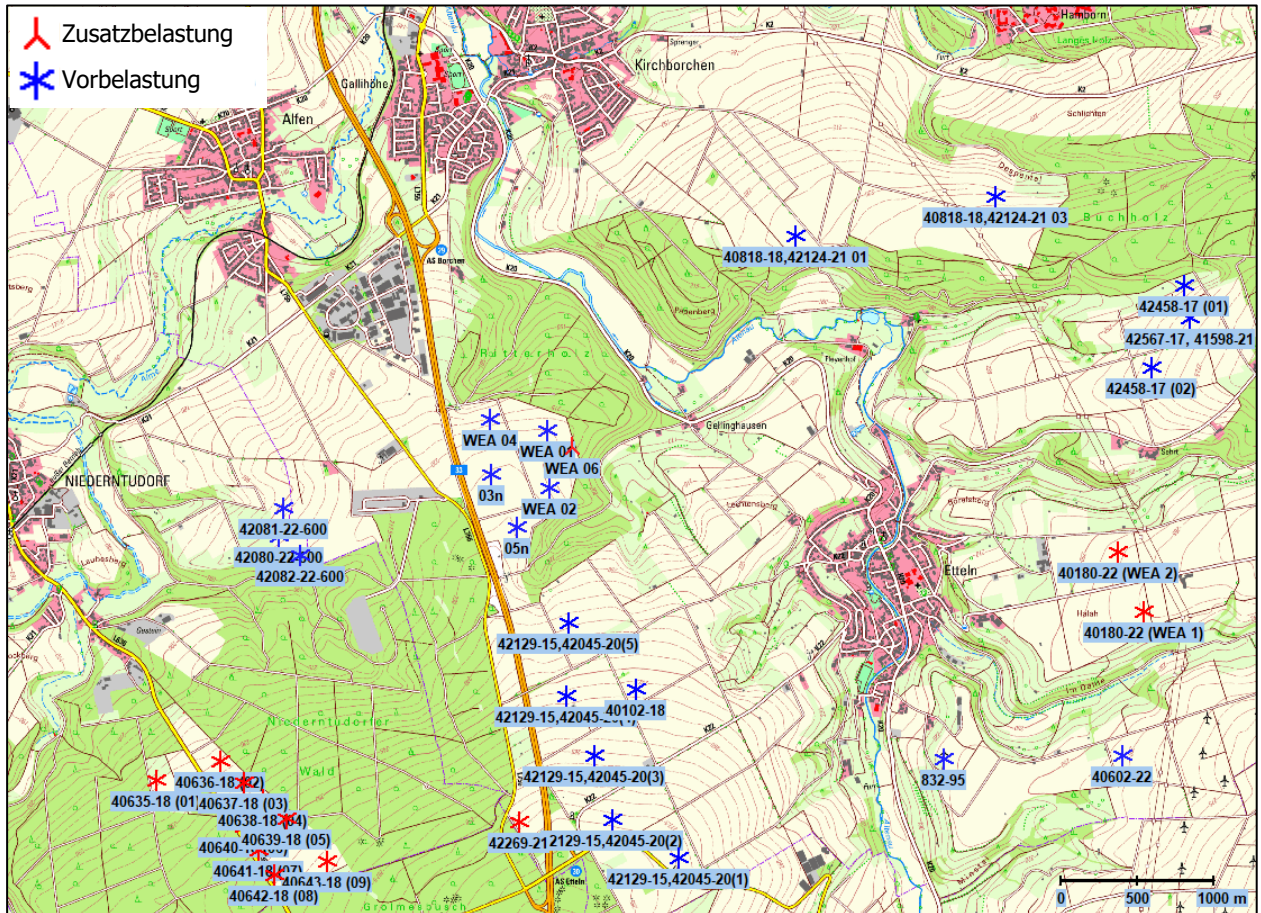


Abbildung 1: Übersichtskarte (© TK25 [4])

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.

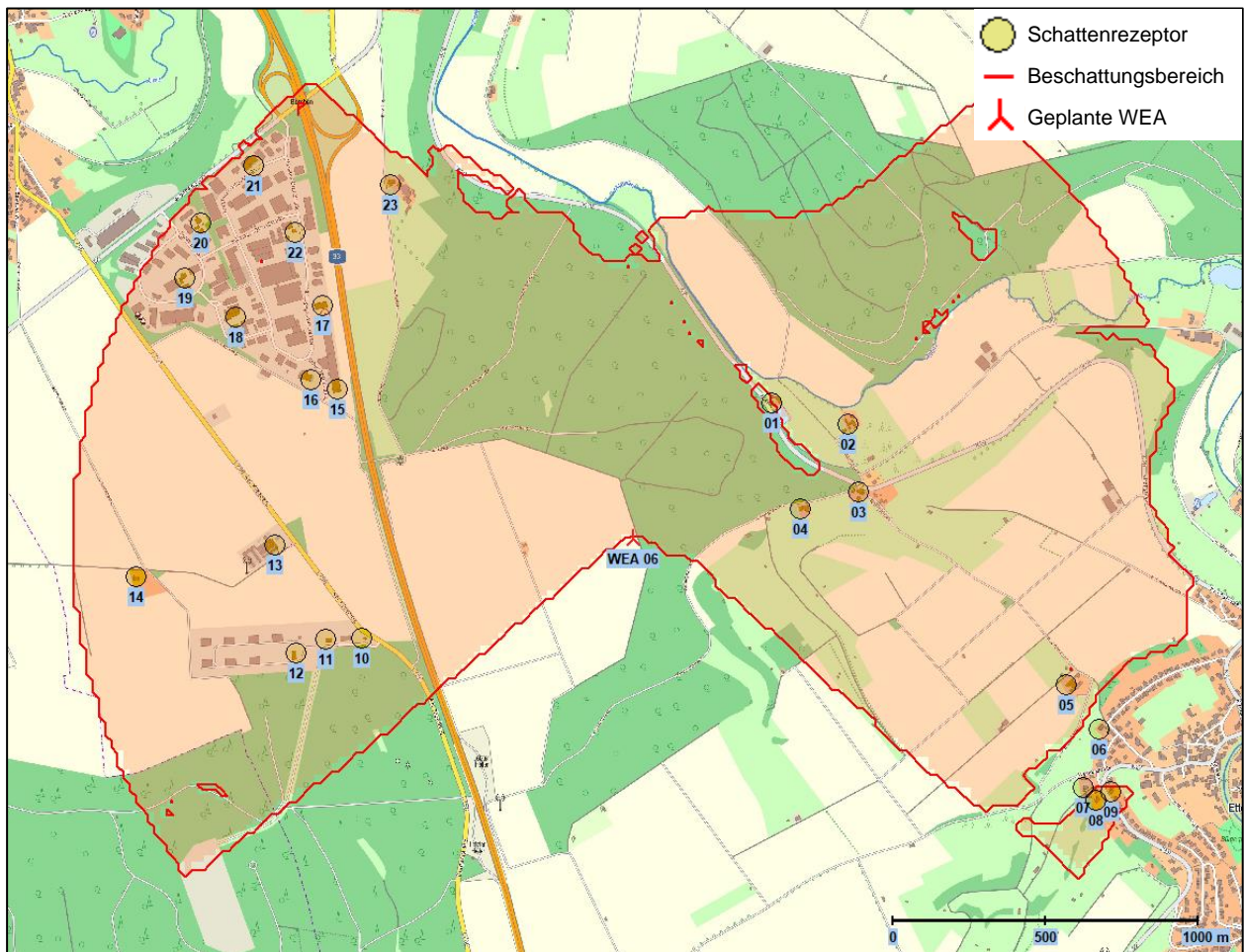


Abbildung 2: Beschattungsbereich der Zusatzbelastung (© Geoglis [6])

Nach diesen Kriterien wurden Häuser im schattenkritischen Bereich als relevante Immissionsorte ausgewählt (siehe Abschnitt 3.1). Bei der Standortbesichtigung am 06.04.2018 wurden diese Immissionsorte in Augenschein genommen und dokumentiert.

Der Immissionsort IO01 (Gellinghausen 1) wurde zwischenzeitlich zugunsten einer Renaturierungsmaßnahme zurückgebaut und wird hier nur noch rein informell betrachtet.

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 Gellinghausen (© Geoglis [6])

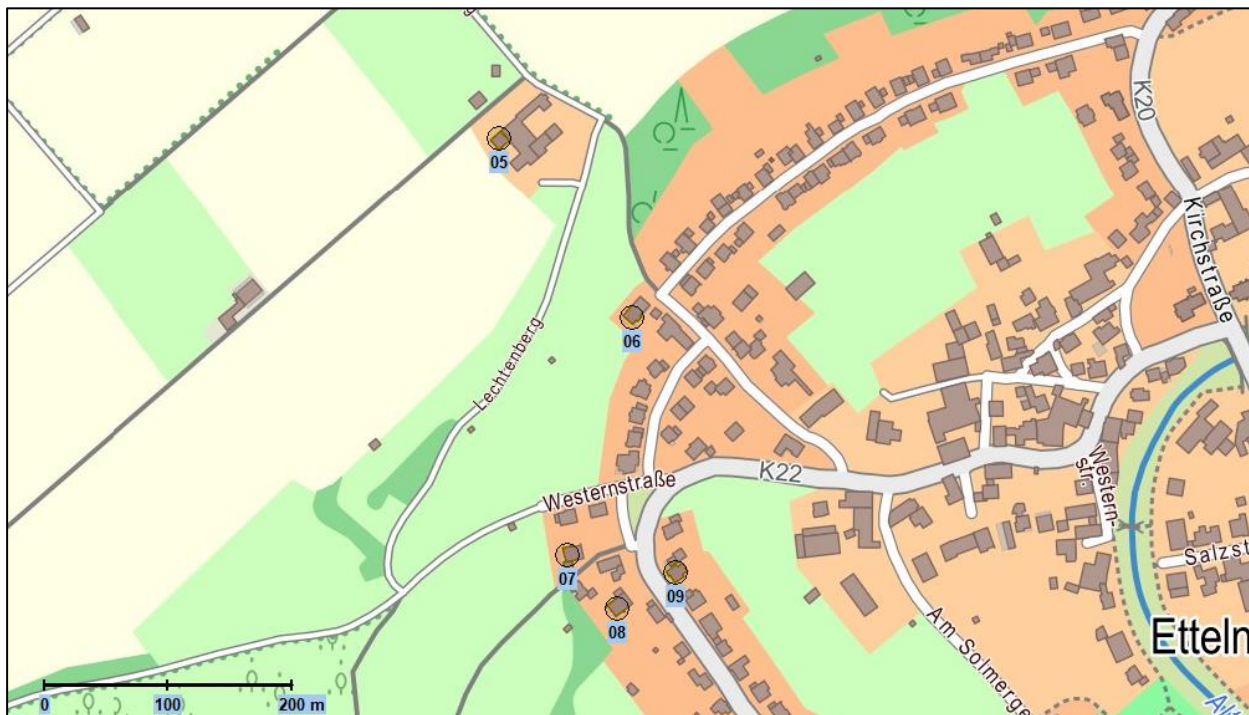


Abbildung 4: Lage der Immissionsorte Etteln (© Geoglis [6])

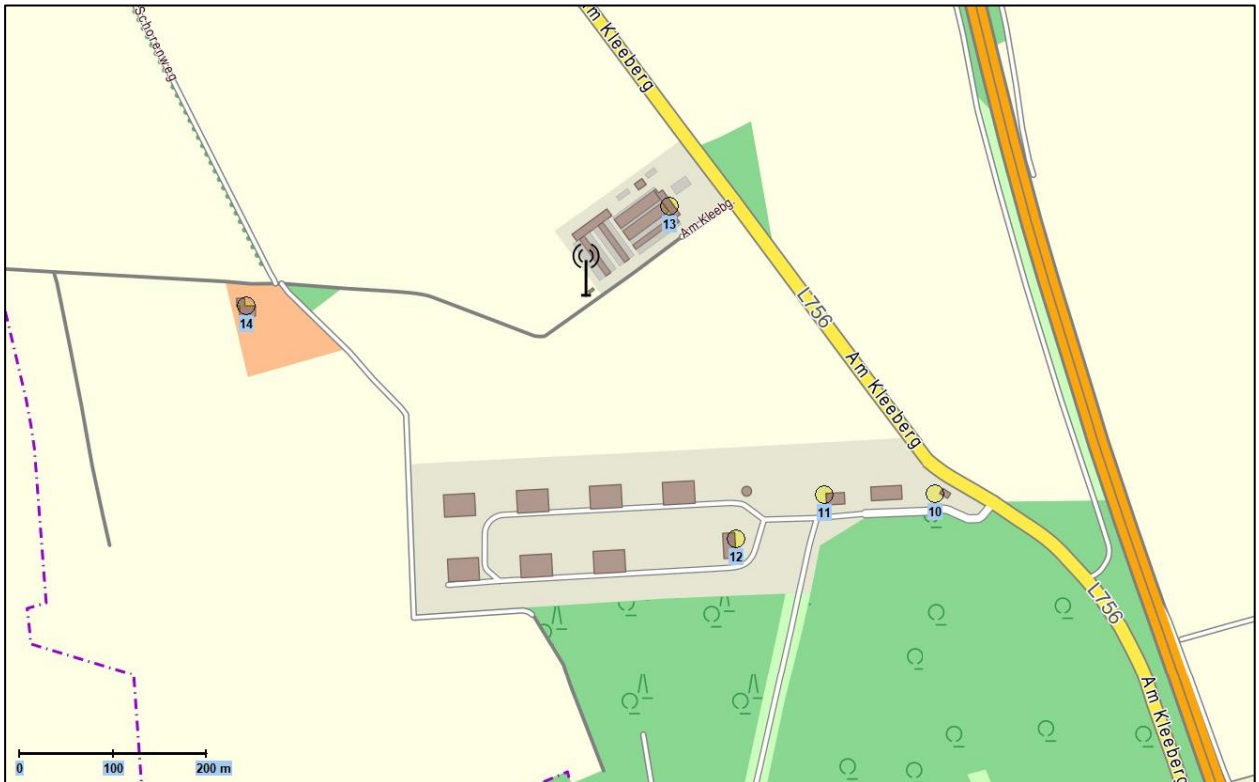


Abbildung 5: Lage der Immissionsorte Am Kleeberg (© Geoglis [6])

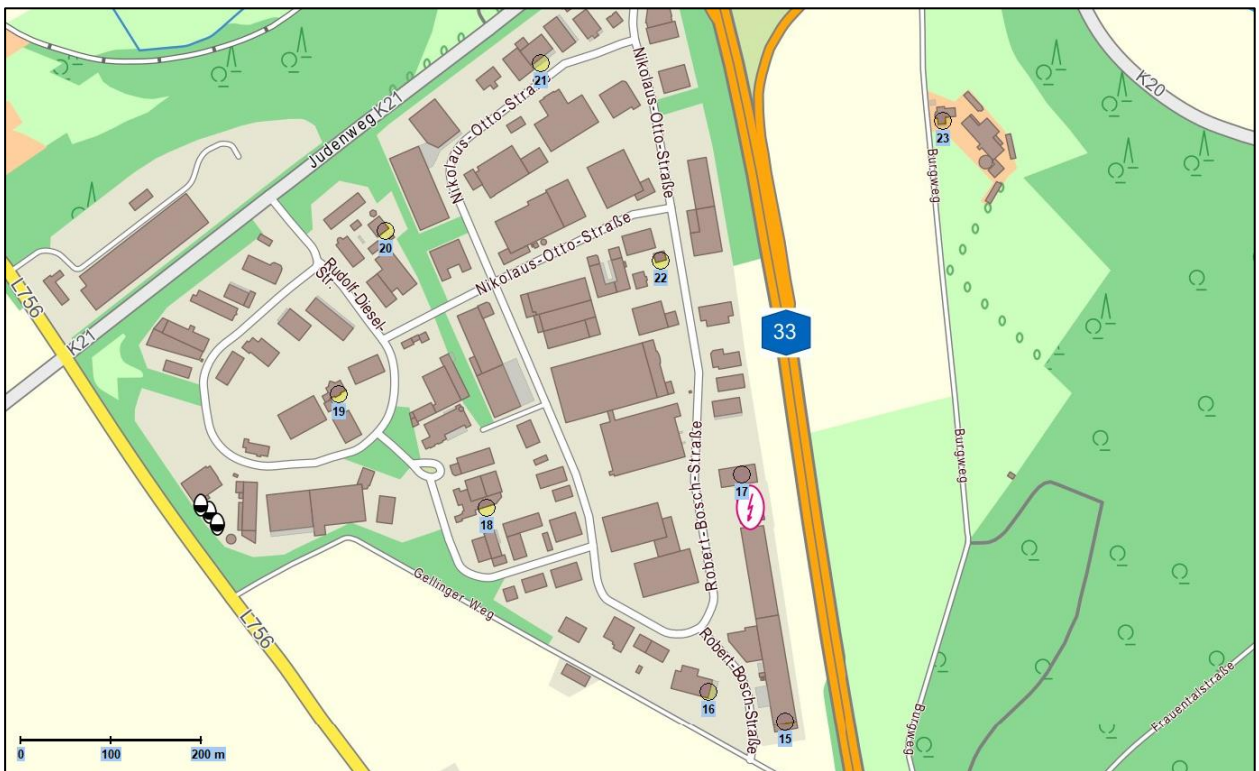


Abbildung 6: Lage der Immissionsorte GE Alfen/Burgweg (© Geoglis [6])

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 A33/Borchen WEA 06 die Errichtung von einer Windenergieanlage. Im weiteren Umkreis um den Planungsstandort sind über 100 weitere WEA im Betrieb oder geplant. Um den Berechnungsaufwand verhältnismäßig zu begrenzen, werden rund um den Planungsstandort die nächstgelegenen WEA betrachtet, die einen Einfluss auf die hier relevanten Immissionsorte haben können. Hierzu wurde ein Abstandskreis von 2.200 m um die relevanten Immissionsorte definiert, der dem maximalen Beschattungsbereich heute bekannter WEA entspricht (siehe Abbildung 7, vgl. Tabelle 2). Es wurden 33 Vorbelastungs-WEA berücksichtigt.

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

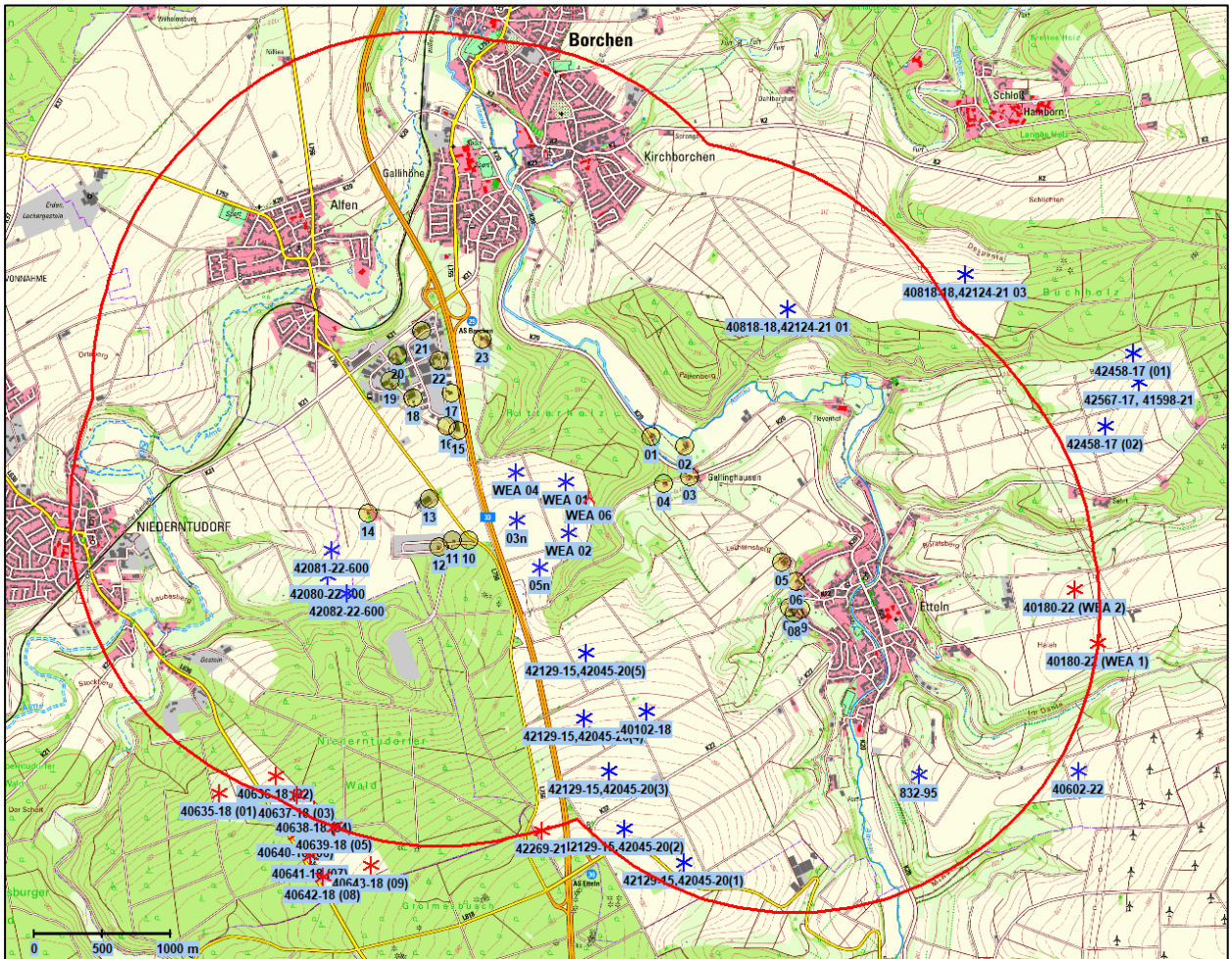


Abbildung 7: relevante Vorbelastungen im Umkreis von 2.200 Meter um die Immissionsorte

Tabelle 2: Kenndaten Zusatz- und relevante Vorbelastungs-WEA

WEA ID	WEA Typ	NH	RD	max. BT	min. BT	Ø BT	BB
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
WEA 06	N149/5.7	125,4	149,0	4,15	1,21	2,68	1.822
832-95	N29-250	50,0	29,7	1,55	0,68	1,12	758
40102-18	V126-3.6 HTq	117,0	126,0	4,00	1,06	2,53	1.720
40643-18 (09)	SWT-DD-142	129,0	142,0	4,10	0,90	2,50	1.699
40602-22	E-160 EP5	166,7	160,0	4,13	1,11	2,62	1.777
40635-18 (01)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
40636-18 (02)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
40637-18 (03)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
40638-18 (04)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
40639-18 (05)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
40640-18 (06)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
40641-18 (07)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
40642-18 (08)	E-53 - E2	73,3	53,0	2,18	0,75	1,47	996
42567-17, 41598-21	E-138 EP3 E2	160,0	138,3	3,93	1,02	2,48	1.679
40818-18,42124-21 01	SWT-DD-142	129,0	142,0	4,10	0,90	2,50	1.699
40818-18,42124-21 03	SWT-DD-142	165,0	142,0	4,10	0,90	2,50	1.695
42129-15,42045-20(1)	126	136,9	126,2	4,30	1,24	2,77	1.882
42129-15,42045-20(2)	126	136,9	126,2	4,30	1,24	2,77	1.882
42129-15,42045-20(3)	126	136,9	126,2	4,30	1,24	2,77	1.882
42129-15,42045-20(4)	126	136,9	126,2	4,30	1,24	2,77	1.882
42129-15,42045-20(5)	126	136,9	126,2	4,30	1,24	2,77	1.882
42458-17 (01)	SWT-DD-142	129,0	142,0	4,10	0,90	2,50	1.699
42458-17 (02)	SWT-DD-142	129,0	142,0	4,10	0,90	2,50	1.699
WEA 01	N149/5.7	125,4	149,0	4,15	1,17	2,66	1.808
WEA 02	N149/5.7	164,0	149,0	4,15	1,17	2,66	1.805
WEA 04	N149/5.7	125,4	149,0	4,15	1,17	2,66	1.808
40180-22 (WEA 2)	SG-170 6.6	165,0	170,0	4,50	1,49	3,00	2.034
40180-22 (WEA 1)	SG-170 6.6	165,0	170,0	4,50	1,49	3,00	2.034
42269-21	E-115 EP3 E3	121,9	115,7	3,60	1,17	2,39	1.620
03n	N163/6.8	118,0	163,0	4,15	1,11	2,63	1.788
05n	N163/6.8	118,0	163,0	4,15	1,11	2,63	1.788
42080-22-600	E-66/18.70	64,8	70,0	3,30	1,07	2,19	1.487
42082-22-600	E-66/18.70	64,8	70,0	3,30	1,07	2,19	1.487
42081-22-600	E-66/18.70	64,8	70,0	3,30	1,07	2,19	1.487

NH: Nabenhöhe, RD: Rotordurchmesser, BT: Blatttiefe, BB: Beschattungsbereich.

3 Schattenwurfberechnungen

3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer

Für die geplanten und als Vorbelastung berücksichtigten 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 (Es wurden nur die WEA berücksichtigt, in deren Beschattungsbereich ein Rezeptor liegt.).

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	Etteln, Gellinghausen 1	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
02	Etteln, Gellinghausen 3	79:25	28:52	105:50	1:01	0:41	1:19
03	Etteln, Gellinghausen 4	88:56	32:13	116:42	1:00	0:44	1:26
04	Etteln, Gellinghausen 2	122:22	58:56	176:51	1:13	0:58	1:50
05	Etteln, Lechtenberg 54	52:09	9:40	57:00	0:22	0:23	0:28
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	20:28	0:00	20:28	0:22	0:00	0:22
07	Etteln, Westernstraße 24	28:31	0:00	28:31	0:31	0:00	0:31
08	Etteln, Westernstraße 28	36:24	20:02	56:26	0:32	0:21	0:32
09	Etteln, Westernstraße 25	34:18	17:41	51:59	0:32	0:21	0:32
10	Alfen, Am Kleeberg 26	284:40	36:49	295:33	2:03	0:38	2:03

IO	Name	Astron. max. mögl. Beschattungsdauer					
		Std. / Jahr			Std. / Tag		
		VB	ZB	GB	VB	ZB	GB
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	282:07	24:24	286:37	1:48	0:34	1:48
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	243:49	20:06	246:43	1:30	0:31	1:30
13	Alfen, Am Kleeberg 22	218:12	14:05	231:09	0:58	0:30	1:13
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	133:43	6:37	140:00	0:51	0:21	0:51
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	178:01	18:12	182:07	1:38	0:32	1:38
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	147:49	15:23	150:44	1:23	0:30	1:23
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	106:19	17:05	108:24	1:14	0:28	1:18
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	89:58	10:01	91:08	1:01	0:24	1:01
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	71:51	7:48	72:30	0:51	0:21	0:51
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	51:20	8:54	51:48	0:47	0:21	0:49
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	41:53	17:51	46:35	0:46	0:21	0:51
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	63:34	16:41	67:02	1:00	0:25	1:04
23	Kirchborchen, Burgweg 1	12:34	10:18	20:33	0:25	0:22	0:40

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 Bad Lippspringe,
- Betriebsstunden bzw. Stillstandszeiten der WEA je Richtungssektor, ermittelt aus der Windstatistik der DWD-Station Bad Lippspringe und der Anlaufgeschwindigkeit der WEA,
- Variable Schattengröße des Rotors, ermittelt aus der Windrichtungsverteilung der Windstatistik der DWD-Station Bad Lippspringe 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	Etteln, Gellinghausen 1	0:00	0:00	0:00
02	Etteln, Gellinghausen 3	14:29	5:23	19:25
03	Etteln, Gellinghausen 4	17:16	6:36	23:00
04	Etteln, Gellinghausen 2	25:54	13:22	38:19
05	Etteln, Lechtenberg 54	8:54	2:25	10:06
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	3:16	0:00	3:16
07	Etteln, Westernstraße 24	4:53	0:00	4:53
08	Etteln, Westernstraße 28	7:11	4:33	11:45
09	Etteln, Westernstraße 25	7:21	4:10	11:33
10	Alfen, Am Kleeberg 26	62:25	9:35	65:14
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	62:37	6:17	63:44
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	53:38	5:12	54:21
13	Alfen, Am Kleeberg 22	45:04	3:00	47:49
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	22:11	1:28	23:33
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	25:49	3:23	26:36
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	21:22	2:52	21:56
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	12:47	2:29	13:05
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	12:17	1:49	12:30
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	9:25	1:23	9:32
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	5:59	1:15	6:04
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	4:16	1:53	4:46
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	6:49	1:56	7:14
23	Kirchborchen, Burgweg 1	1:12	0:59	1:58

4 Bewertung der Ergebnisse

4.1 Beurteilung der Berechnungen

Am Windparkstandort A33/Borchen WEA 06 wurden für 23 Immissionsorte die Beschattungsdauern durch eine neu geplante WEA sowie 33 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, 06: An diesen Immissionsorten werden alle Richtwerte eingehalten.

IO 02-05, 07-22: An diesen Immissionsorten werden die Richtwerte ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen bereits durch die Vorbelastung überschritten. Jede weitere Belastung durch periodischen Schattenwurf ist zu vermeiden.

IO 23: An diesem Immissionsort werden die Richtwerte ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen durch den Einfluss der Zusatzbelastung überschritten. Die Überschreitung beträgt maximal 10 Min/Tag.

Aufgrund der berechneten Überschreitungen empfehlen wir die Abschaltung der neu geplanten WEA 06 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, Balkon 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

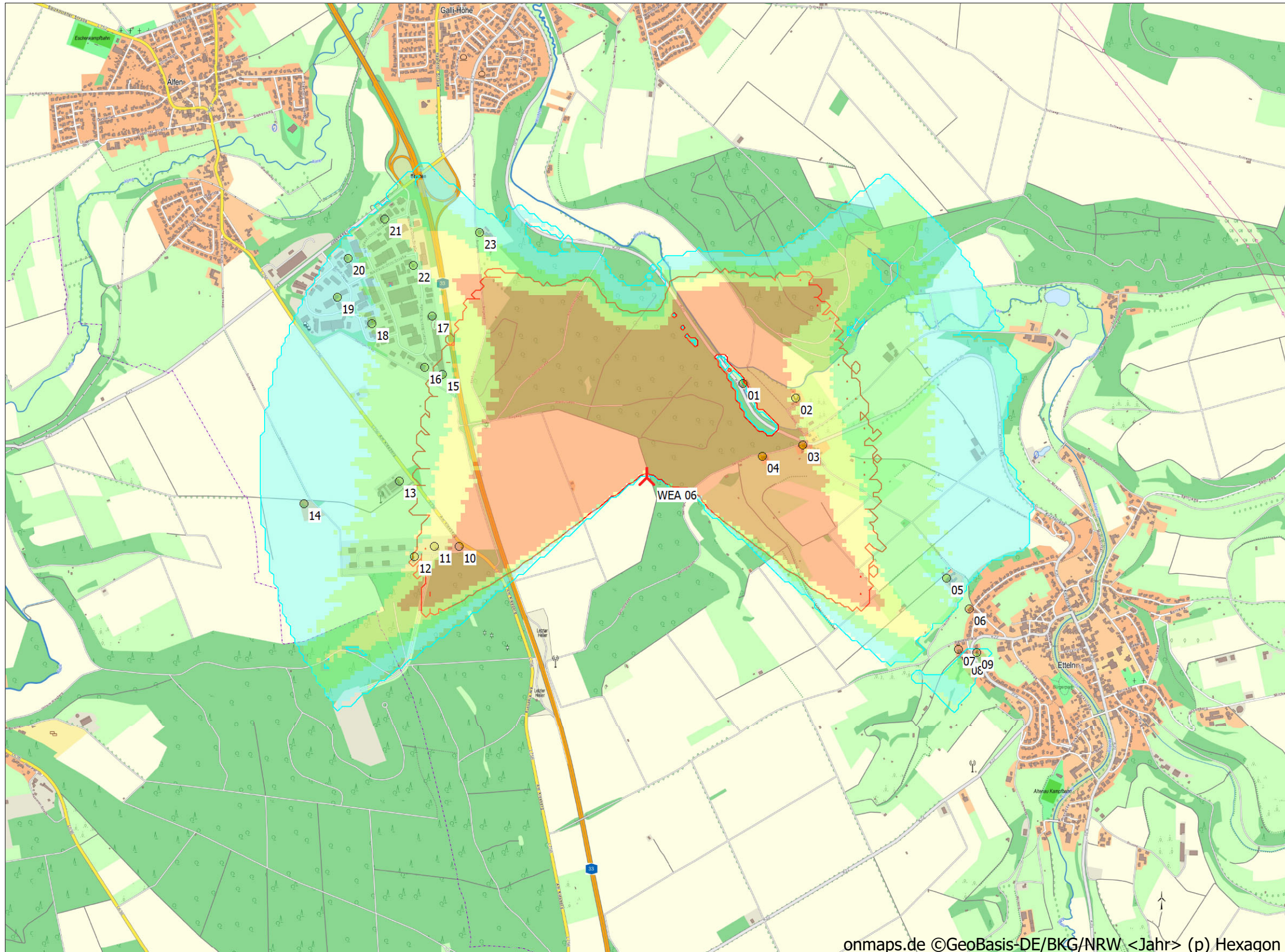
Den Berechnungen nach den Vorgaben der WKA-Schattenwurfhinweise [2] wird ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. In diesem Sinne wird die astronomisch maximal mögliche Beschattung zur Beurteilung herangezogen sowie keine lichtundurchlässigen Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, 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 dem DGM-1 Nordrhein-Westfalen. 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] TK25, Topografische Karte im Maßstab 1:25.000, Landesvermessungsamt des jeweiligen Bundeslandes, aktuellste Version.
- [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.

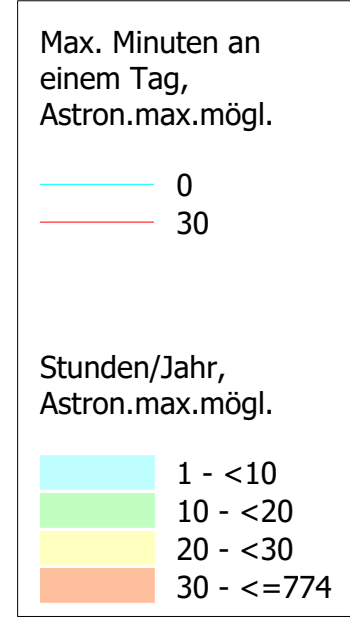
6 Anhang

- Beschattungskarten für den Windparkstandort A33/Borchen WEA 06
 - Zusatzbelastung
 - Gesamtbelastung
- Berechnungsergebnisse der Beschattungsdauern an den Immissionsorten
 - Vor- und Zusatzbelastung:
 - Hauptergebnis
 - Gesamtbelastung:
 - Hauptergebnis
 - grafische Kalender
- Akkreditierung
- Theoretische Grundlagen



Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Zur Egge 29
33165 Lichtenau
 Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.



SHADOW -
Karte
Berechnung:
 Zusatzbelastung 008

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel
 -
 Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 12:57/3.6.366

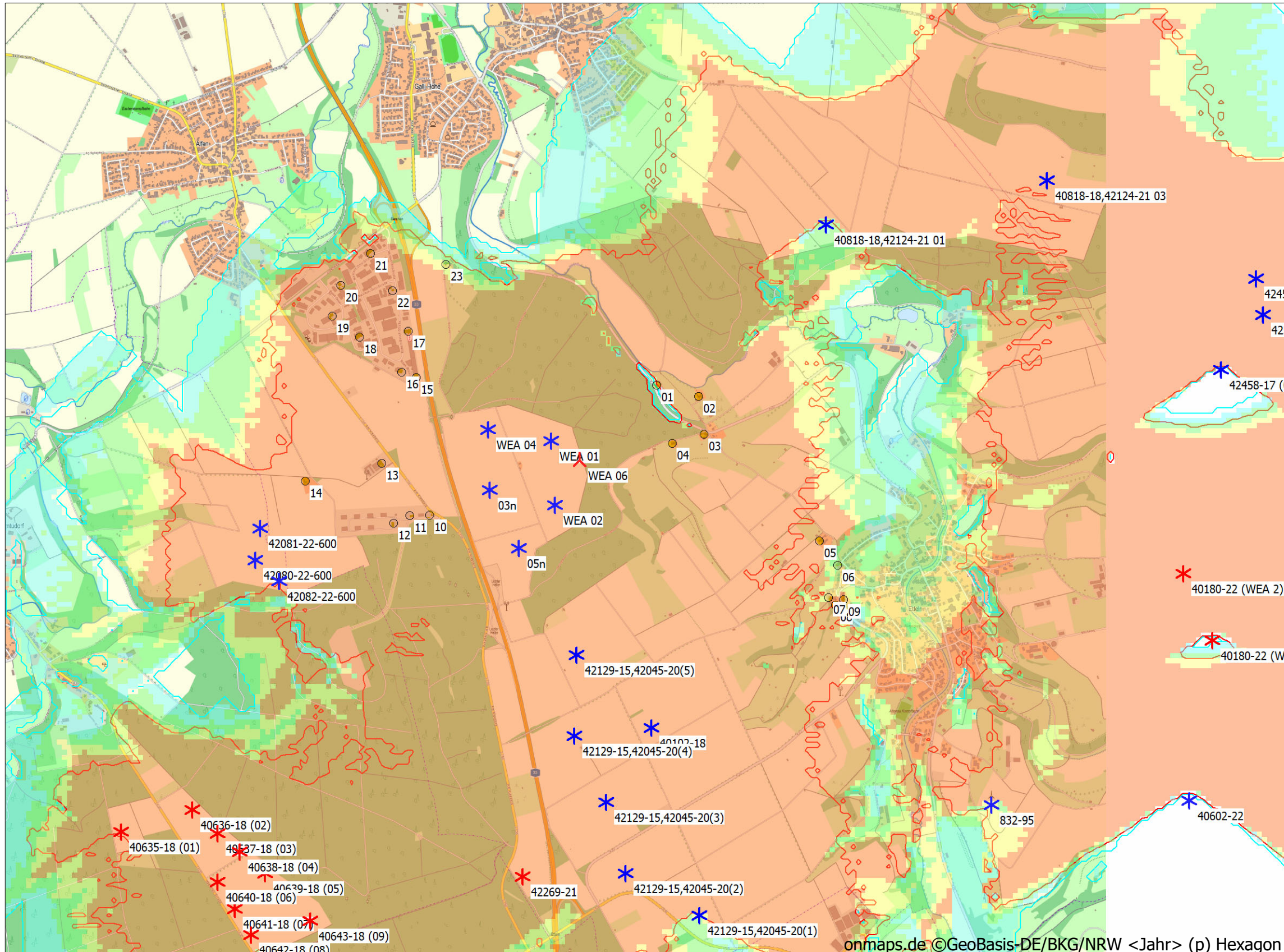
0 250 500 750 1000m

Karte: ONMAPS , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 481.460 Nord: 5.720.620
 Höhe der Schattenkarte: Höhenraster-Objekt: NRW DGM-5.wpg (43)
 Zeitschritt: 3 Minuten, Schrittweite: 7 Tag(e), Kartenauflösung: 20 m, Sichtbarkeit Auflösung: 10 m, Augenhöhe: 1,5 m

Neue WEA

Schattenrezeptor

Projekt:
18-1-3013-006
Planungsgemeinschaft A33 GbR
Wolfgang Schimmel
Technologiepark 31
33100 Paderborn
 Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.



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

— 0 Minuten
 — 30 Minuten

Stunden/Jahr, Astron.max.mögl.

Light Blue	1 - <10
Green	10 - <20
Yellow	20 - <30
Orange	30 - <=1.396

SHADOW - Karte
Berechnung:
 Gesamtbelastung 008

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel
 -
 Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

0 250 500 750 1000m

Karte: ONMAPS , Maßstab 1:25.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 481.860 Nord: 5.720.520

★ Neue WEA
 ★ Existierende WEA
 ● Schattenrezeptor
 Höhe der Schattenkarte: Höhenraster-Objekt: NRW DGM-5.wpg (43)
 Zeitschritt: 4 Minuten, Schrittweite: 14 Tag(e), Kartenauflösung: 30 m, Sichtbarkeit Auflösung: 15 m, Augenhöhe: 1,5 m

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 12:55/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung 008

Annahmen für Schattenwurfberechnung

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) [BAD LIPPSPRINGE]
 Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
 1,58 3,21 3,35 5,03 6,68 5,58 6,26 5,85 4,04 3,08 2,01 1,34

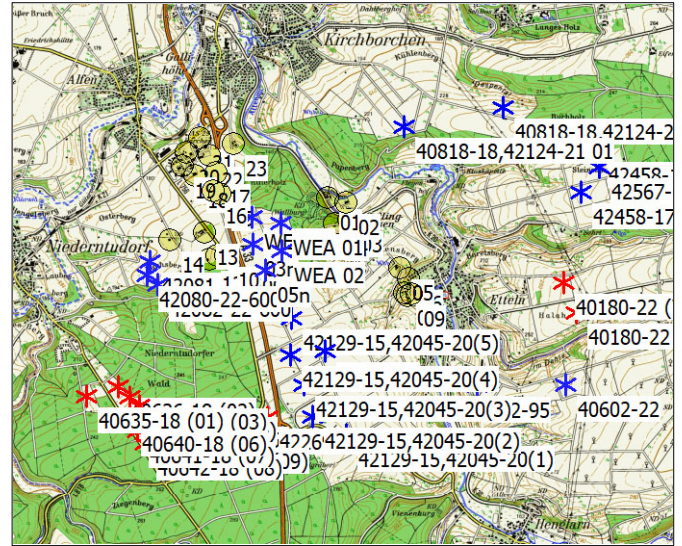
Betriebsdauer je Sektor
 N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
 215 264 439 631 821 869 780 773 1.046 1.133 759 379 8.109

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

Verwendete Höhenlinien: Höhenraster-Objekt: NRW DGM-5.wpg (43)
 Rasterauflösung: 1,0 m

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

WEA



Maßstab 1:100.000

* Existierende WEA ● Schattenrezeptor

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ		Typ	Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten	
					Aktuell	Hersteller					Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
03n	480.914	5.720.441	225,4	NORDEX N16...	Ja	NORDEX	N163/6.8-6.800	6.800	163,0	118,0	1.788	10,9
05n	481.087	5.720.097	227,2	NORDEX N16...	Ja	NORDEX	N163/6.8-6.800	6.800	163,0	118,0	1.788	10,9
40102-18	481.868	5.719.036	253,7	VESTAS V126...	Ja	VESTAS	V126-3.6 HTq-3.600	3.600	126,0	117,0	1.720	12,1
40180-22 (WEA 1)	485.190	5.719.539	265,3	Siemens Gam...	Ja	Siemens Gamesa	SG-170 6.6-6.600	6.600	170,0	165,0	2.034	8,8
40180-22 (WEA 2)	485.019	5.719.933	258,3	Siemens Gam...	Ja	Siemens Gamesa	SG-170 6.6-6.600	6.600	170,0	165,0	2.034	8,8
40602-22	485.051	5.718.597	258,2	ENERCON E-1...	Ja	ENERCON	E-160 EP5-4.600	4.600	160,0	166,7	1.777	9,3
40635-18 (01)	478.725	5.718.435	226,2	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40636-18 (02)	479.145	5.718.564	230,3	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40637-18 (03)	479.295	5.718.422	237,3	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40638-18 (04)	479.425	5.718.314	243,2	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40639-18 (05)	479.576	5.718.186	249,4	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40640-18 (06)	479.294	5.718.135	246,4	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40641-18 (07)	479.395	5.717.978	250,2	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40642-18 (08)	479.492	5.717.823	254,3	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40643-18 (09)	479.844	5.717.906	258,8	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
40818-18,42124-21 01	482.909	5.721.999	226,8	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
40818-18,42124-21 03	484.219	5.722.254	236,2	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	165,0	1.695	11,2
42080-22-600	479.525	5.720.035	203,7	ENERCON E-6...	Nein	ENERCON	E-66/18.70-1.800	1.800	70,0	64,8	1.487	22,0
42081-22-600	479.555	5.720.221	200,8	ENERCON E-6...	Nein	ENERCON	E-66/18.70-1.800	1.800	70,0	64,8	1.487	22,0
42082-22-600	479.666	5.719.910	210,1	ENERCON E-6...	Nein	ENERCON	E-66/18.70-1.800	1.800	70,0	64,8	1.487	22,0
42129-15,42045-20(1)	482.146	5.717.927	279,1	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(2)	481.709	5.718.177	278,7	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(3)	481.596	5.718.597	265,6	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(4)	481.411	5.718.990	253,3	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(5)	481.425	5.719.465	239,2	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42269-21	481.102	5.718.162	276,6	ENERCON E-1...	Ja	ENERCON	E-115 EP3 E3-4.200	4.200	115,7	121,9	1.620	13,2
42458-17 (01)	485.455	5.721.674	253,2	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
42458-17 (02)	485.246	5.721.137	264,5	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
42567-17, 41598-21	485.495	5.721.460	267,3	ENERCON E-1...	Ja	ENERCON	E-138 EP3 E2-4.200	4.200	138,3	160,0	1.679	10,8
832-95	483.879	5.718.574	236,8	NORDEX N29-...Nein	Nein	NORDEX	N29-250-250/45	250	29,7	50,0	758	40,0
WEA 01	481.280	5.720.728	219,7	NORDEX N14...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	125,4	1.808	10,7
WEA 02	481.300	5.720.351	222,3	NORDEX N14...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	164,0	1.805	10,7
WEA 04	480.908	5.720.797	215,5	NORDEX N14...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	125,4	1.808	10,7

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe	Neigung des	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
					[m]	[m]	ü.Gr.	Fensters		[m]
01	Etteln, Gellinghausen 1	481.906	5.721.055	144,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel
 -
 Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 12:55/3.6.366

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung 008

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
02	Etteln, Gellinghausen 3	482.155	5.720.987	146,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
03	Etteln, Gellinghausen 4	482.187	5.720.764	152,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
04	Etteln, Gellinghausen 2	481.996	5.720.711	158,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
05	Etteln, Lechtenberg 54	482.866	5.720.134	221,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	482.973	5.719.989	189,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
07	Etteln, Westernstraße 24	482.920	5.719.798	179,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
08	Etteln, Westernstraße 28	482.960	5.719.755	188,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
09	Etteln, Westernstraße 25	483.007	5.719.784	179,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
10	Alfen, Am Kleeberg 26	480.560	5.720.293	222,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	480.442	5.720.292	221,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	480.347	5.720.245	218,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
13	Alfen, Am Kleeberg 22	480.277	5.720.600	215,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	479.824	5.720.496	209,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	480.483	5.721.104	208,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	480.398	5.721.138	207,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	480.436	5.721.379	203,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	480.151	5.721.343	200,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	479.987	5.721.470	193,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	480.040	5.721.651	189,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	480.214	5.721.837	184,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	480.346	5.721.617	197,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
23	Kirchborchen, Burgweg 1	480.661	5.721.771	190,7	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	Etteln, Gellinghausen 1	0:00	0	0:00	0:00
02	Etteln, Gellinghausen 3	79:25	141	1:01	14:29
03	Etteln, Gellinghausen 4	88:56	174	1:00	17:16
04	Etteln, Gellinghausen 2	122:22	186	1:13	25:54
05	Etteln, Lechtenberg 54	52:09	199	0:22	8:54
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	20:28	79	0:22	3:16
07	Etteln, Westernstraße 24	28:31	99	0:31	4:53
08	Etteln, Westernstraße 28	36:24	133	0:32	7:11
09	Etteln, Westernstraße 25	34:18	126	0:32	7:21
10	Alfen, Am Kleeberg 26	284:40	308	2:03	62:25
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	282:07	324	1:48	62:37
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	243:49	329	1:30	53:38
13	Alfen, Am Kleeberg 22	218:12	359	0:58	45:04
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	133:43	254	0:51	22:11
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	178:01	170	1:38	25:49
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	147:49	162	1:23	21:22
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	106:19	116	1:14	12:47
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	89:58	134	1:01	12:17
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	71:51	125	0:51	9:25
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	51:20	103	0:47	5:59
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	41:53	72	0:46	4:16
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	63:34	88	1:00	6:49
23	Kirchborchen, Burgweg 1	12:34	38	0:25	1:12

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
	03n NORDEX N163/6.8 6800 163.0 !O! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (513)	368:20	69:48
	05n NORDEX N163/6.8 6800 163.0 !O! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (514)	212:00	35:50
	40102-18 VESTAS V126-3.6 HTq 3600 126.0 !O! NH: 117,0 m (Ges:180,0 m) (420)	44:09	6:15
	40180-22 (WEA 1) Siemens Gamesa SG-170 6.6 6600 170.0 !O! NH: 165,0 m (Ges:250,0 m) (510)	0:00	0:00
	40180-22 (WEA 2) Siemens Gamesa SG-170 6.6 6600 170.0 !O! NH: 165,0 m (Ges:250,0 m) (509)	6:38	1:32
	40602-22 ENERCON E-160 EP5 4600 160.0 !O! NH: 166,7 m (Ges:246,7 m) (464)	0:00	0:00
	40635-18 (01) ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (465)	0:00	0:00
	40636-18 (02) ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (466)	0:00	0:00

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 12:55/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung 008

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
40637-18 (03)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (467)	0:00	0:00
40638-18 (04)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (468)	0:00	0:00
40639-18 (05)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (469)	0:00	0:00
40640-18 (06)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (470)	0:00	0:00
40641-18 (07)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (471)	0:00	0:00
40642-18 (08)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (472)	0:00	0:00
40643-18 (09)	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (429)	0:00	0:00
40818-18,42124-21 01	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (478)	0:00	0:00
40818-18,42124-21 03	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 165,0 m (Ges:236,0 m) (479)	0:00	0:00
42080-22-600	ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 !O! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (515)	17:51	2:13
42081-22-600	ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 !O! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (517)	70:16	9:16
42082-22-600	ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 !O! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (516)	14:45	2:13
42129-15,42045-20(1)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (486)	0:00	0:00
42129-15,42045-20(2)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (487)	0:00	0:00
42129-15,42045-20(3)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (488)	10:52	1:27
42129-15,42045-20(4)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (489)	42:13	5:36
42129-15,42045-20(5)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (490)	68:46	9:58
42269-21	ENERCON E-115 EP3 E3 4200 115.7 !O! NH: 121,9 m (Ges:179,8 m) (511)	0:00	0:00
42458-17 (01)	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (495)	0:00	0:00
42458-17 (02)	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (496)	0:00	0:00
42567-17, 41598-21	ENERCON E-138 EP3 E2 4200 138.3 !O! NH: 160,0 m (Ges:229,1 m) (476)	0:00	0:00
832-95	NORDEX N29-250 250-45 29.7 !-! NH: 50,0 m (Ges:64,8 m) (83)	0:00	0:00
WEA 01	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (506)	263:12	51:45
WEA 02	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 164,0 m (Ges:238,5 m) (507)	213:30	39:50
WEA 04	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (508)	313:32	56:41

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.

Die Berechnung der Gesamtsumme für einen Rezeptor arbeitet mit einer gemittelten Richtungskorrektur für alle WEA, die an einem gegebenen Tag zur Beschattung beitragen. Wenn der Schattenwurf durch mehrere WEA an einem Tag nicht gleichzeitig stattfindet, kann die so ermittelte Summe geringfügig von der Summe der Beschattungszeiten abweichen, die für die individuellen WEA berechnet werden.

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 12:57/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung 008

Annahmen für Schattenwurfberechnung

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

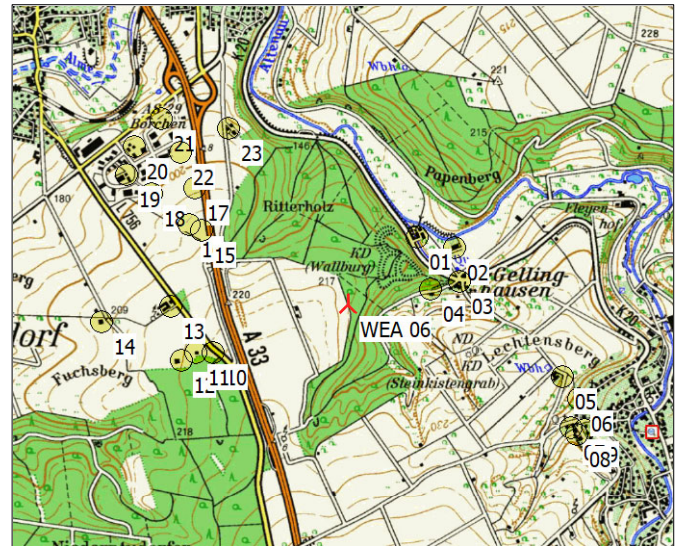
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [BAD LIPPSPRINGE]
 Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
 1,58 3,21 3,35 5,03 6,68 5,58 6,26 5,85 4,04 3,08 2,01 1,34

Betriebsdauer je Sektor
 N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
 215 264 439 631 821 869 780 773 1.046 1.133 759 379 8.109

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

Verwendete Höhenlinien: Höhenraster-Objekt: NRW DGM-5.wpg (43)
 Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:50.000

▲ Neue WEA

● Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung [kW]	Rotor-durchmesser [m]	Nabenhöhe [m]	Schattendaten	
					Aktuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich [m]	U/min
WEA 06	481.447	5.720.613	216,7	NORDEX N149/5.7 5700 149...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	125,4	1.822	10,7

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	Etteln, Gellinghausen 1	481.906	5.721.055	144,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Etteln, Gellinghausen 3	482.155	5.720.987	146,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
03	Etteln, Gellinghausen 4	482.187	5.720.764	152,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
04	Etteln, Gellinghausen 2	481.996	5.720.711	158,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
05	Etteln, Lechtenberg 54	482.866	5.720.134	221,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	482.973	5.719.989	189,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
07	Etteln, Westernstraße 24	482.920	5.719.798	179,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
08	Etteln, Westernstraße 28	482.960	5.719.755	188,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
09	Etteln, Westernstraße 25	483.007	5.719.784	179,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
10	Alfen, Am Kleeberg 26	480.560	5.720.293	222,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	480.442	5.720.292	221,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	480.347	5.720.245	218,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
13	Alfen, Am Kleeberg 22	480.277	5.720.600	215,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	479.824	5.720.496	209,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	480.483	5.721.104	208,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	480.398	5.721.138	207,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	480.436	5.721.379	203,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	480.151	5.721.343	200,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	479.987	5.721.470	193,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	480.040	5.721.651	189,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	480.214	5.721.837	184,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	480.346	5.721.617	197,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
23	Kirchborchen, Burgweg 1	480.661	5.721.771	190,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenziertes Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel
 -
 Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 12:57/3.6.366

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung 008

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	Etteln, Gellinghausen 1	0:00	0	0:00	0:00	
02	Etteln, Gellinghausen 3	28:52	53	0:41	5:23	
03	Etteln, Gellinghausen 4	32:13	57	0:44	6:36	
04	Etteln, Gellinghausen 2	58:56	79	0:58	13:22	
05	Etteln, Lechtenberg 54	9:40	37	0:23	2:25	
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	0:00	0	0:00	0:00	
07	Etteln, Westernstraße 24	0:00	0	0:00	0:00	
08	Etteln, Westernstraße 28	20:02	70	0:21	4:33	
09	Etteln, Westernstraße 25	17:41	76	0:21	4:10	
10	Alfen, Am Kleeberg 26	36:49	78	0:38	9:35	
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	24:24	59	0:34	6:17	
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	20:06	53	0:31	5:12	
13	Alfen, Am Kleeberg 22	14:05	38	0:30	3:00	
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	6:37	27	0:21	1:28	
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	18:12	45	0:32	3:23	
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	15:23	40	0:30	2:52	
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	17:05	48	0:28	2:29	
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	10:01	35	0:24	1:49	
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	7:48	32	0:21	1:23	
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	8:54	36	0:21	1:15	
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	17:51	70	0:21	1:53	
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	16:41	56	0:25	1:56	
23	Kirchborchen, Burgweg 1	10:18	36	0:22	0:59	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
WEA 06	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (85)	268:18	54:05

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:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung 008

Annahmen für Schattenwurfberechnung

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

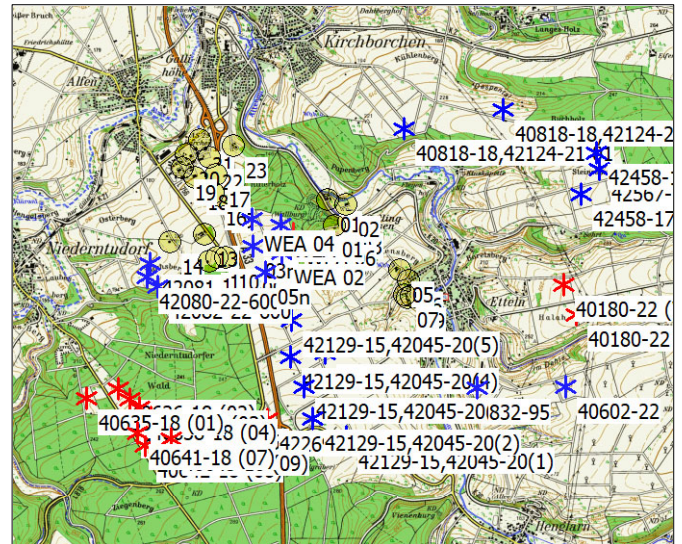
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) [BAD LIPPSPRINGE]
 Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
 1,58 3,21 3,35 5,03 6,68 5,58 6,26 5,85 4,04 3,08 2,01 1,34

Betriebsdauer je Sektor
 N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
 215 264 439 631 821 869 780 773 1.046 1.133 759 379 8.109

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

Verwendete Höhenlinien: Höhenraster-Objekt: NRW DGM-5.wpg (43)
 Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:100.000

▲ Neue WEA ★ Existierende WEA ● Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ		Typ	Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten	
					Ak-tuell	Hersteller					Beschatt.-Bereich	U/min
	[m]						[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]	
03n	480.914	5.720.441	225,4	NORDEX N16...	Ja	NORDEX	N163/6.8-6.800	6.800	163,0	118,0	1.788	10,9
05n	481.087	5.720.097	227,2	NORDEX N16...	Ja	NORDEX	N163/6.8-6.800	6.800	163,0	118,0	1.788	10,9
40102-18	481.868	5.719.036	253,7	VESTAS V126...	Ja	VESTAS	V126-3.6 HTq-3.600	3.600	126,0	117,0	1.720	12,1
40180-22 (WEA 1)	485.190	5.719.539	265,3	Siemens Gam...	Ja	Siemens Gamesa	SG-170 6.6-6.600	6.600	170,0	165,0	2.034	8,8
40180-22 (WEA 2)	485.019	5.719.933	258,3	Siemens Gam...	Ja	Siemens Gamesa	SG-170 6.6-6.600	6.600	170,0	165,0	2.034	8,8
40602-22	485.051	5.718.597	258,2	ENERCON E-1...	Ja	ENERCON	E-160 EP5-4.600	4.600	160,0	166,7	1.777	9,3
40635-18 (01)	478.725	5.718.435	226,2	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40636-18 (02)	479.145	5.718.564	230,3	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40637-18 (03)	479.295	5.718.422	237,3	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40638-18 (04)	479.425	5.718.314	243,2	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40639-18 (05)	479.576	5.718.186	249,4	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40640-18 (06)	479.294	5.718.135	246,4	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40641-18 (07)	479.395	5.717.978	250,2	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40642-18 (08)	479.492	5.717.823	254,3	ENERCON E-5...	Ja	ENERCON	E-53 - E2-800	800	53,0	73,3	996	29,0
40643-18 (09)	479.844	5.717.906	258,8	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
40818-18,42124-21 01	482.909	5.721.999	226,8	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
40818-18,42124-21 03	484.219	5.722.254	236,2	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	165,0	1.695	11,2
42080-22-600	479.525	5.720.035	203,7	ENERCON E-6...	Nein	ENERCON	E-66/18.70-1.800	1.800	70,0	64,8	1.487	22,0
42081-22-600	479.555	5.720.221	200,8	ENERCON E-6...	Nein	ENERCON	E-66/18.70-1.800	1.800	70,0	64,8	1.487	22,0
42082-22-600	479.666	5.719.910	210,1	ENERCON E-6...	Nein	ENERCON	E-66/18.70-1.800	1.800	70,0	64,8	1.487	22,0
42129-15,42045-20(1)	482.146	5.717.927	279,1	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(2)	481.709	5.718.177	278,7	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(3)	481.596	5.718.597	265,6	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(4)	481.411	5.718.990	253,3	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42129-15,42045-20(5)	481.425	5.719.465	239,2	VENSYS 126 ...	Ja	VENSYS	126-3.800	3.800	126,2	136,9	1.882	11,5
42269-21	481.102	5.718.162	276,6	ENERCON E-1...	Ja	ENERCON	E-115 EP3 E3-4.200	4.200	115,7	121,9	1.620	13,2
42458-17 (01)	485.455	5.721.674	253,2	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
42458-17 (02)	485.246	5.721.137	264,5	Siemens SWT...	Ja	Siemens	SWT-DD-142-3.900	3.900	142,0	129,0	1.699	11,2
42567-17, 41598-21	485.495	5.721.460	267,3	ENERCON E-1...	Ja	ENERCON	E-138 EP3 E2-4.200	4.200	138,3	160,0	1.679	10,8
832-95	483.879	5.718.574	236,8	NORDEX N29-...	Nein	NORDEX	N29-250-250/45	250	29,7	50,0	758	40,0
WEA 01	481.280	5.720.728	219,7	NORDEX N14...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	125,4	1.808	10,7
WEA 02	481.300	5.720.351	222,3	NORDEX N14...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	164,0	1.805	10,7
WEA 04	480.908	5.720.797	215,5	NORDEX N14...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	125,4	1.808	10,7
WEA 06	481.447	5.720.613	216,7	NORDEX N14...	Ja	NORDEX	N149/5.7-5.700	5.700	149,0	125,4	1.822	10,7

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel
 -
 Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung 008

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe	Neigung des	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
		[m]			[m]	[m]	ü.Gr.	[°]	[m]	
01	Etteln, Gellinghausen 1	481.906	5.721.055	144,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Etteln, Gellinghausen 3	482.155	5.720.987	146,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
03	Etteln, Gellinghausen 4	482.187	5.720.764	152,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
04	Etteln, Gellinghausen 2	481.996	5.720.711	158,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
05	Etteln, Lechtenberg 54	482.866	5.720.134	221,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	482.973	5.719.989	189,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
07	Etteln, Westernstraße 24	482.920	5.719.798	179,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
08	Etteln, Westernstraße 28	482.960	5.719.755	188,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
09	Etteln, Westernstraße 25	483.007	5.719.784	179,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
10	Alfen, Am Kleeberg 26	480.560	5.720.293	222,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	480.442	5.720.292	221,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	480.347	5.720.245	218,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
13	Alfen, Am Kleeberg 22	480.277	5.720.600	215,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	479.824	5.720.496	209,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	480.483	5.721.104	208,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	480.398	5.721.138	207,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	480.436	5.721.379	203,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	480.151	5.721.343	200,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	479.987	5.721.470	193,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	480.040	5.721.651	189,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	480.214	5.721.837	184,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	480.346	5.721.617	197,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
23	Kirchborchen, Burgweg 1	480.661	5.721.771	190,7	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	Etteln, Gellinghausen 1	0:00	0	0:00	0:00	
02	Etteln, Gellinghausen 3	105:50	141	1:19	19:25	
03	Etteln, Gellinghausen 4	116:42	185	1:26	23:00	
04	Etteln, Gellinghausen 2	176:51	204	1:50	38:19	
05	Etteln, Lechtenberg 54	57:00	207	0:28	10:06	
06	Etteln, Schöne Aussicht 42	20:28	79	0:22	3:16	
07	Etteln, Westernstraße 24	28:31	99	0:31	4:53	
08	Etteln, Westernstraße 28	56:26	203	0:32	11:45	
09	Etteln, Westernstraße 25	51:59	202	0:32	11:33	
10	Alfen, Am Kleeberg 26	295:33	308	2:03	65:14	
11	Alfen, Vor'm Buchholze 37	286:37	324	1:48	63:44	
12	Alfen, Vor'm Buchholze 38	246:43	329	1:30	54:21	
13	Alfen, Am Kleeberg 22	231:09	359	1:13	47:49	
14	Alfen, Am Kleeberg 22a	140:00	254	0:51	23:33	
15	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17-19	182:07	170	1:38	26:36	
16	Alfen, Robert-Bosch-Straße 21	150:44	162	1:23	21:56	
17	Alfen, Robert-Bosch-Straße 11	108:24	116	1:18	13:05	
18	Alfen, Robert-Bosch-Straße 17	91:08	134	1:01	12:30	
19	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 4	72:30	125	0:51	9:32	
20	Alfen, Rudolph-Diesel-Str. 3	51:48	103	0:49	6:04	
21	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 6	46:35	72	0:51	4:46	
22	Alfen, Nikolaus-Otto-Str. 34A	67:02	88	1:04	7:14	
23	Kirchborchen, Burgweg 1	20:33	38	0:40	1:58	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
03n	NORDEX N163/6.8 6800 163.0 !O! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (513)	368:20	69:48
05n	NORDEX N163/6.8 6800 163.0 !O! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (514)	212:00	35:50
40102-18	VESTAS V126-3.6 HTq 3600 126.0 !O! NH: 117,0 m (Ges:180,0 m) (420)	44:09	6:15
40180-22	(WEA 1) Siemens Gamesa SG-170 6.6 6600 170.0 !O! NH: 165,0 m (Ges:250,0 m) (510)	0:00	0:00
40180-22	(WEA 2) Siemens Gamesa SG-170 6.6 6600 170.0 !O! NH: 165,0 m (Ges:250,0 m) (509)	6:38	1:32
40602-22	ENERCON E-160 EP5 4600 160.0 !O! NH: 166,7 m (Ges:246,7 m) (464)	0:00	0:00

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung 008

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
40635-18 (01)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (465)	0:00	0:00
40636-18 (02)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (466)	0:00	0:00
40637-18 (03)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (467)	0:00	0:00
40638-18 (04)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (468)	0:00	0:00
40639-18 (05)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (469)	0:00	0:00
40640-18 (06)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (470)	0:00	0:00
40641-18 (07)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (471)	0:00	0:00
40642-18 (08)	ENERCON E-53 - E2 800 53.0 !-! NH: 73,3 m (Ges:99,8 m) (472)	0:00	0:00
40643-18 (09)	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (429)	0:00	0:00
40818-18,42124-21 01	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (478)	0:00	0:00
40818-18,42124-21 03	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 165,0 m (Ges:236,0 m) (479)	0:00	0:00
42080-22-600	ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 !O! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (515)	17:51	2:13
42081-22-600	ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 !O! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (517)	70:16	9:16
42082-22-600	ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 !O! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (516)	14:45	2:13
42129-15,42045-20(1)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (486)	0:00	0:00
42129-15,42045-20(2)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (487)	0:00	0:00
42129-15,42045-20(3)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (488)	10:52	1:27
42129-15,42045-20(4)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (489)	42:13	5:36
42129-15,42045-20(5)	VENSYS 126 3800 126.2 !O! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (490)	68:46	9:58
42269-21	ENERCON E-115 EP3 E3 4200 115.7 !O! NH: 121,9 m (Ges:179,8 m) (511)	0:00	0:00
42458-17 (01)	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (495)	0:00	0:00
42458-17 (02)	Siemens SWT-DD-142 3900 142.0 !O! NH: 129,0 m (Ges:200,0 m) (496)	0:00	0:00
42567-17, 41598-21	ENERCON E-138 EP3 E2 4200 138.3 !O! NH: 160,0 m (Ges:229,1 m) (476)	0:00	0:00
832-95	NORDEX N29-250 250-45 29.7 !-! NH: 50,0 m (Ges:64,8 m) (83)	0:00	0:00
WEA 01	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (506)	263:12	51:45
WEA 02	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 164,0 m (Ges:238,5 m) (507)	213:30	39:50
WEA 04	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (508)	313:32	56:41
WEA 06	NORDEX N149/5.7 5700 149.0 !O! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (85)	268:18	54:05

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.

Die Berechnung der Gesamtsumme für einen Rezeptor arbeitet mit einer gemittelten Richtungskorrektur für alle WEA, die an einem gegebenen Tag zur Beschattung beitragen. Wenn der Schattenwurf durch mehrere WEA an einem Tag nicht gleichzeitig stattfindet, kann die so ermittelte Summe geringfügig von der Summe der Beschattungszeiten abweichen, die für die individuellen WEA berechnet werden.

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

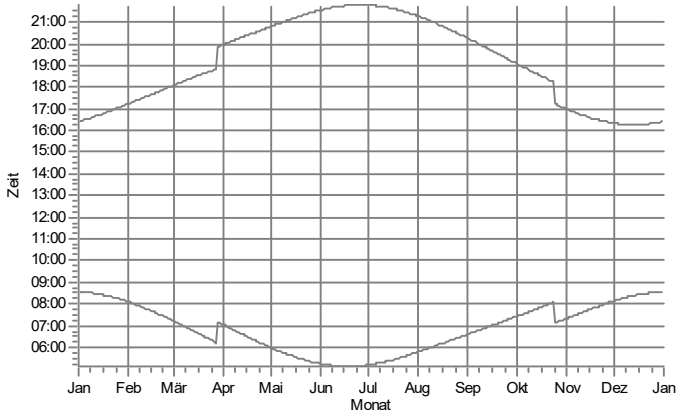
Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

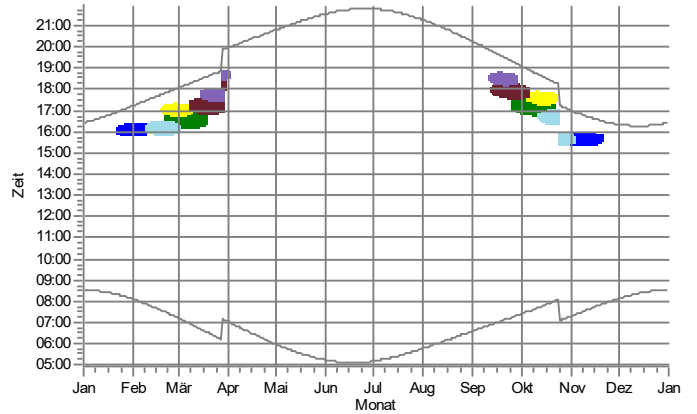
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung 008

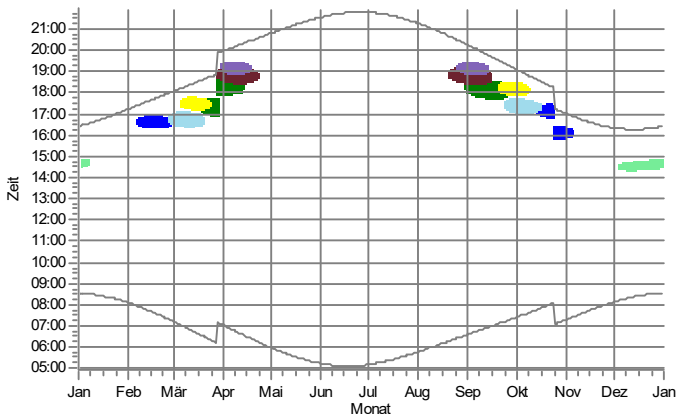
01: Etteln, Gellinghausen 1



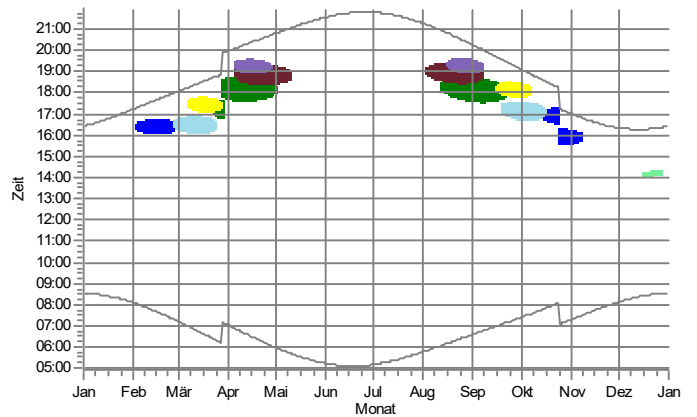
02: Etteln, Gellinghausen 3



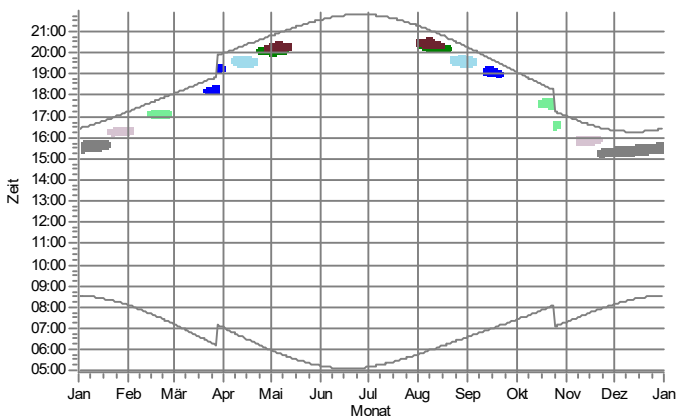
03: Etteln, Gellinghausen 4



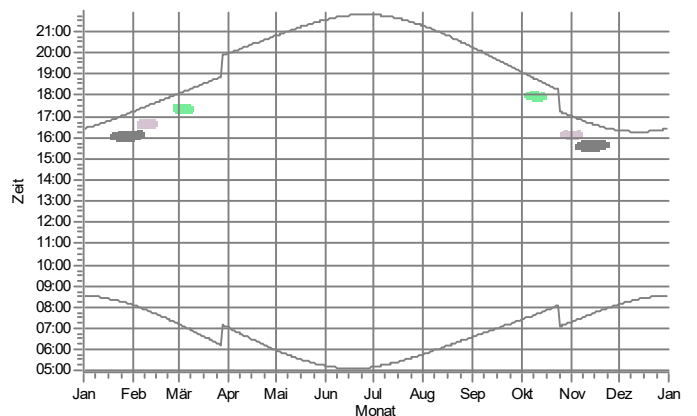
04: Etteln, Gellinghausen 2



05: Etteln, Lechtenberg 54



06: Etteln, Schöne Aussicht 42



WEA

WEA 06: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IOI NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (85)
 03n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 IOI NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (513)
 05n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 IOI NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (514)

40102-18: VESTAS V126-3.6 HTq 3600 126.0 IOI NH: 117,0 m (Ges:180,0 m) (420)
 42129-15,42045-20(4): VENSYS 126 3800 126.2 IOI NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (489)
 42129-15,42045-20(5): VENSYS 126 3800 126.2 IOI NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (490)

WEA 01: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IOI NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (506)
 WEA 02: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IOI NH: 164,0 m (Ges:238,5 m) (507)
 WEA 04: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IOI NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (508)

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

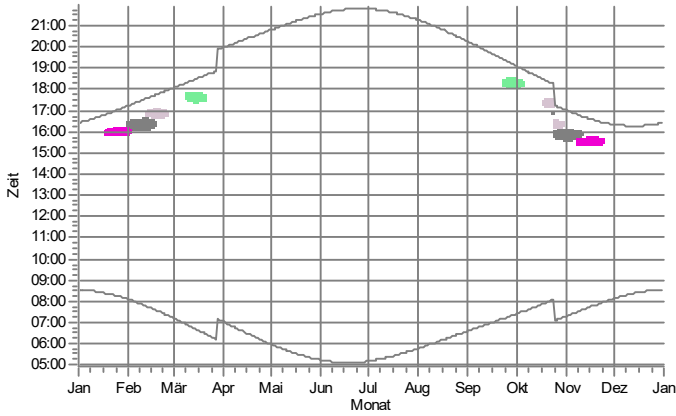
Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

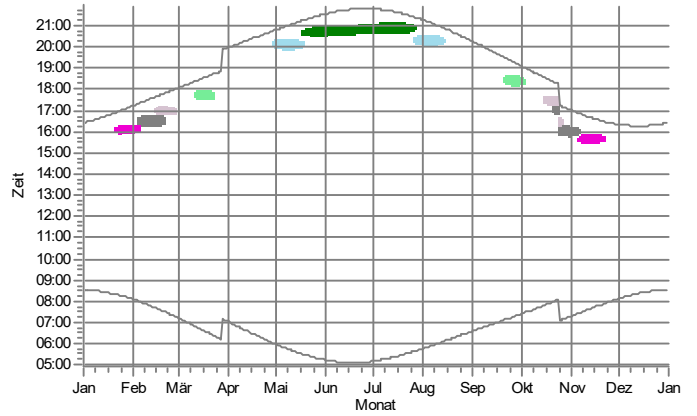
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung 008

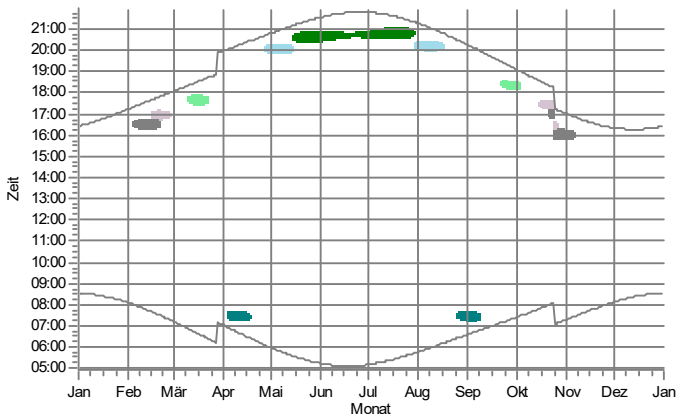
07: Etteln, Westernstraße 24



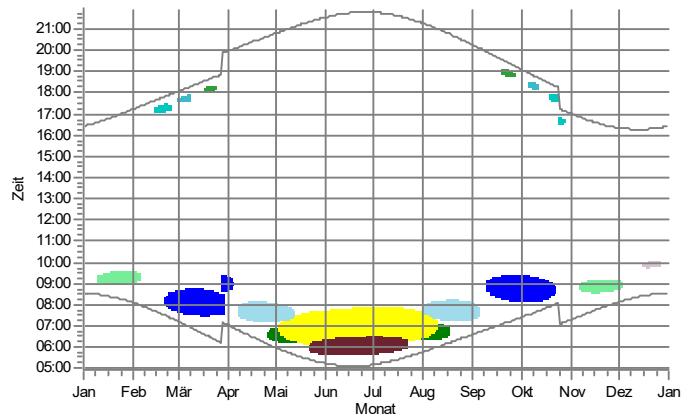
08: Etteln, Westernstraße 28



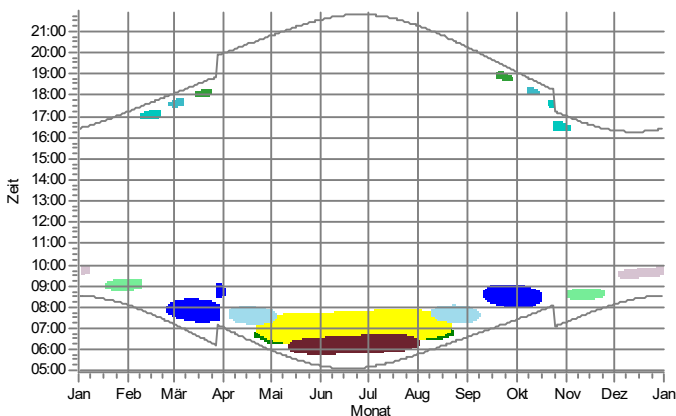
09: Etteln, Westernstraße 25



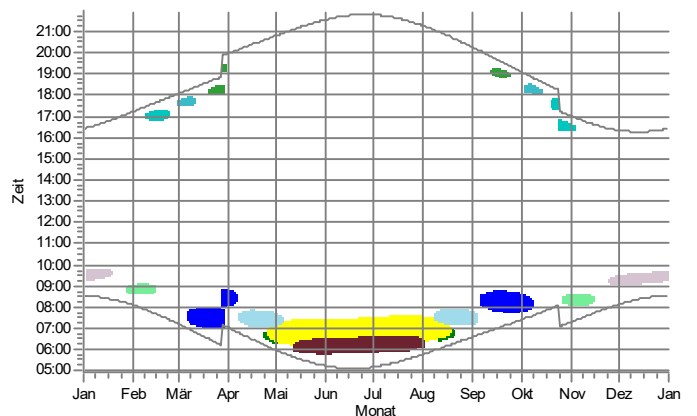
10: Alfien, Am Kleeberg 26



11: Alfien, Vor'm Buchholze 37



12: Alfien, Vor'm Buchholze 38



WEA

- WEA 06: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IOI NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (85)
- 03n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 IOI NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (513)
- 05n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 IOI NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (514)
- 40102-18: VESTAS V126-3.6 HTq 3600 126.0 IOI NH: 117,0 m (Ges:180,0 m) (420)
- 40180-22 (WEA 2): Siemens Gamesa SG-170 6.6 6600 170.0 IOI NH: 165,0 m (Ges:250,0 m) (509)
- 42080-22-600: ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 IOI NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (515)
- 42081-22-600: ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 IOI NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (517)
- 42082-22-600: ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 IOI NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (516)
- 42129-15,42045-20(3): VENSYS 126 3800 126.2 IOI NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (488)
- 42129-15,42045-20(4): VENSYS 126 3800 126.2 IOI NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (489)
- 42129-15,42045-20(5): VENSYS 126 3800 126.2 IOI NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (490)
- WEA 01: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IOI NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (506)
- WEA 02: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IOI NH: 164,0 m (Ges:238,5 m) (507)

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenziertes Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

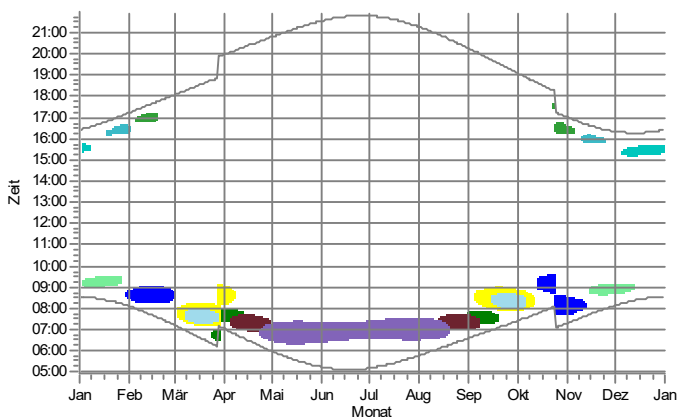
Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

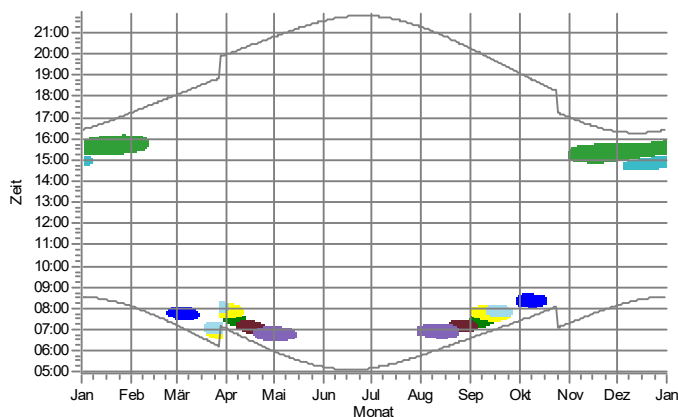
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung 008

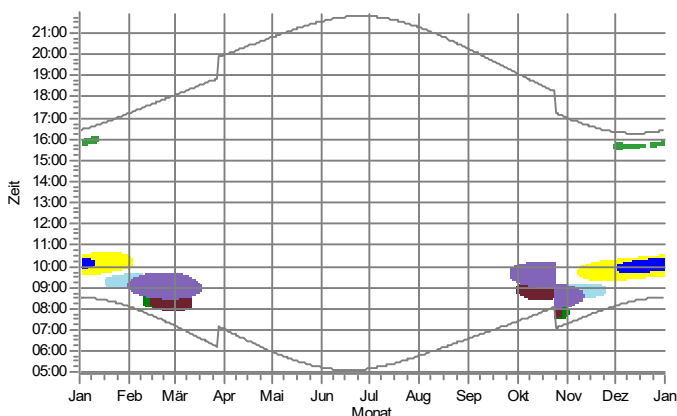
13: Alfén, Am Kleeberg 22



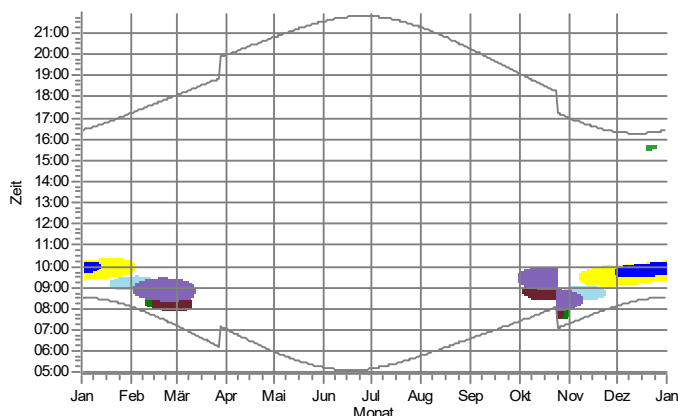
14: Alfén, Am Kleeberg 22a



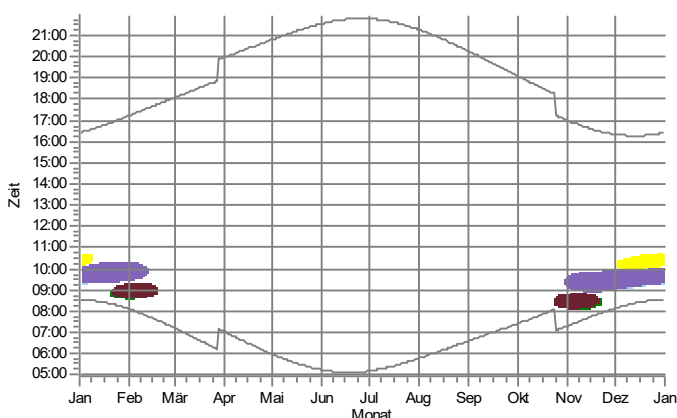
15: Alfén, Robert-Bosch-Straße 17-19



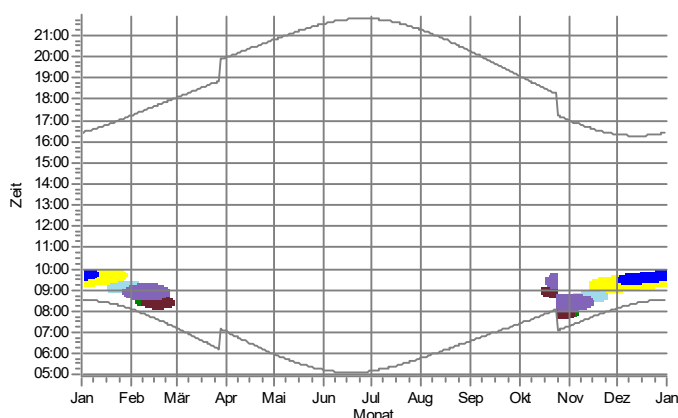
16: Alfén, Robert-Bosch-Straße 21



17: Alfén, Robert-Bosch-Straße 11



18: Alfén, Robert-Bosch-Straße 17



WEA

- WEA 06: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IO! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (85)
- 03n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 IO! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (513)
- 05n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 IO! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (514)
- 42080-22-600: ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 IO! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (515)

- 42081-22-600: ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 IO! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (517)
- 42082-22-600: ENERCON E-66/18.70 1800 70.0 IO! NH: 64,8 m (Ges:99,8 m) (516)
- 42129-15,42045-20(5): VENSYS 126 3800 126.2 IO! NH: 136,9 m (Ges:200,0 m) (490)
- WEA 01: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IO! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (506)

- WEA 02: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IO! NH: 164,0 m (Ges:238,5 m) (507)
- WEA 04: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 IO! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (508)

Projekt:
18-1-3013-008
WP A33 GmbH & Co. KG

Beschreibung:
 Windpark A33 südl. Borchen , Kreis Paderborn,
 Nordrhein-Westfalen.

Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel

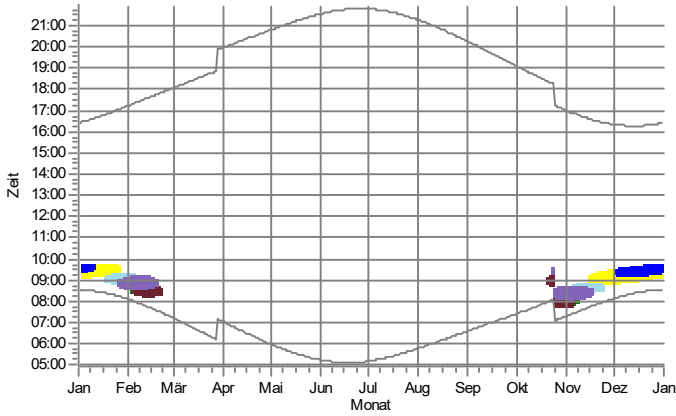
Zur Egge 29
33165 Lichtenau

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com
 Berechnet:
 24.04.2023 13:00/3.6.366

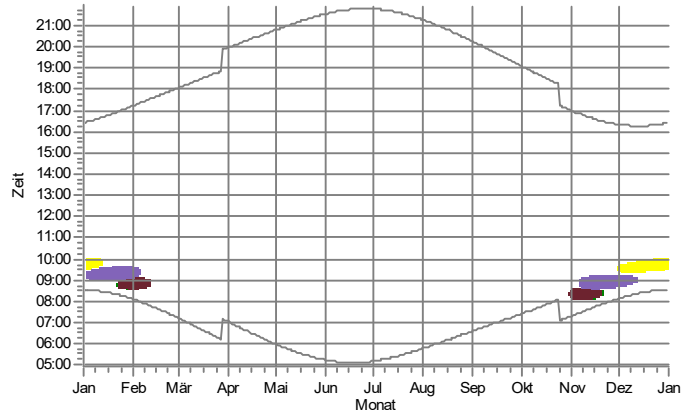
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung 008

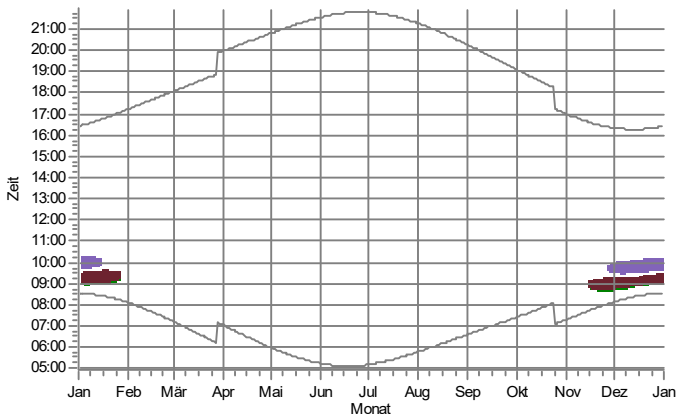
19: Alfien, Rudolph-Diesel-Str. 4



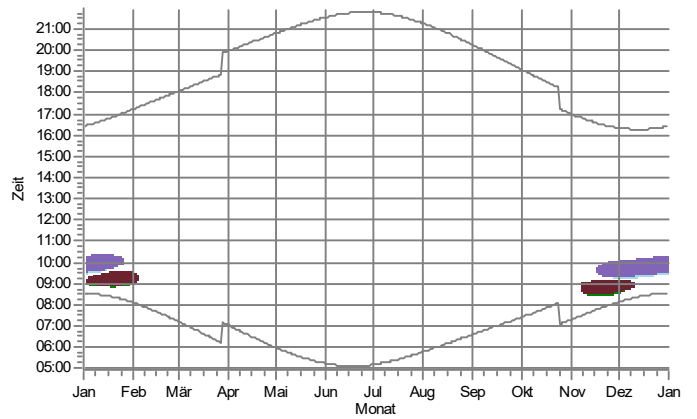
20: Alfien, Rudolph-Diesel-Str. 3



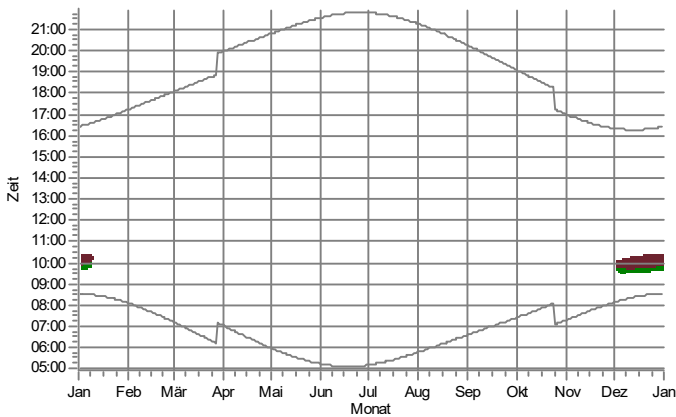
21: Alfien, Nikolaus-Otto-Str. 6



22: Alfien, Nikolaus-Otto-Str. 34A



23: Kirchborchen, Burgweg 1



WEA

WEA 06: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 10! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (85)
 03n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 10! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (513)

05n: NORDEX N163/6.8 6800 163.0 10! NH: 118,0 m (Ges:199,5 m) (514)
 WEA 01: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 10! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (506)

WEA 02: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 10! NH: 164,0 m (Ges:238,5 m) (507)
 WEA 04: NORDEX N149/5.7 5700 149.0 10! NH: 125,4 m (Ges:199,9 m) (508)

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.

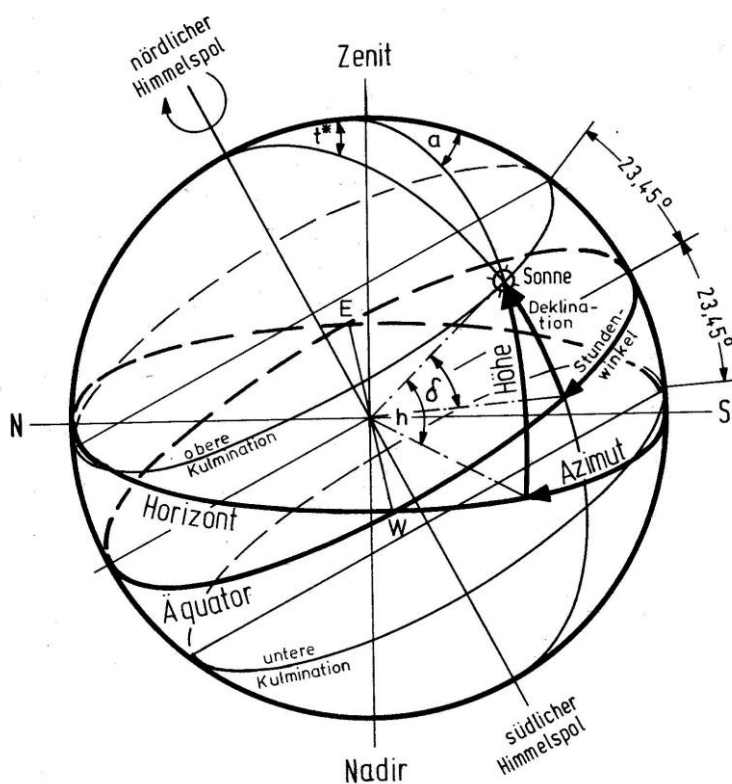


Abbildung 1: Winkelzusammenhänge des Sonnenstands an einem Betrachtungspunkt

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.
- **Azimut 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.

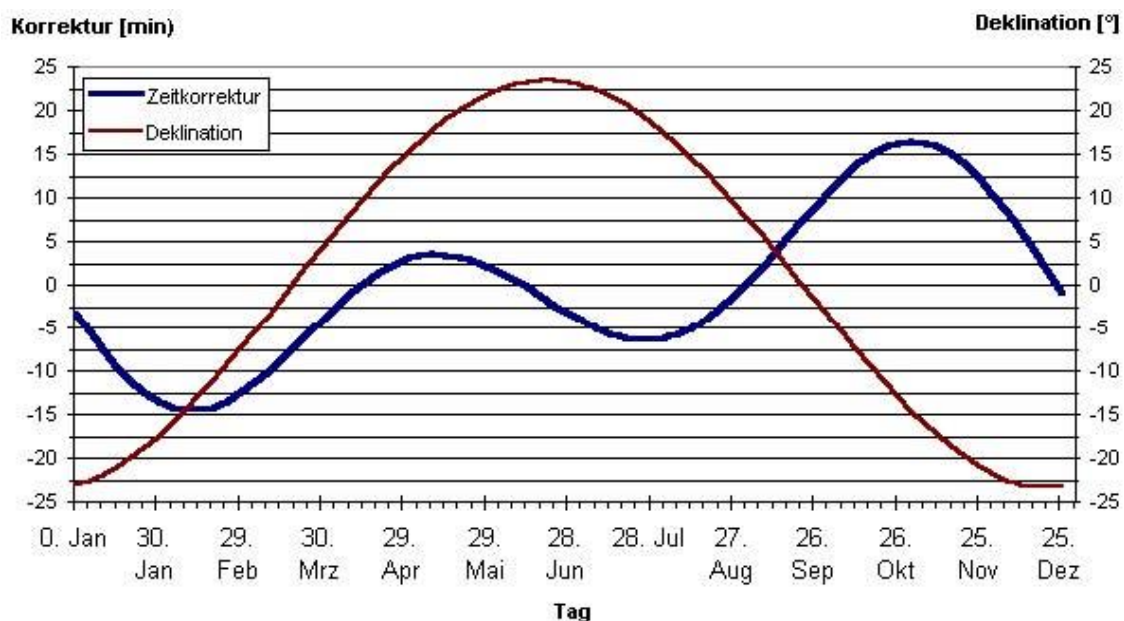


Abbildung 2: Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

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 Blattiefe 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.

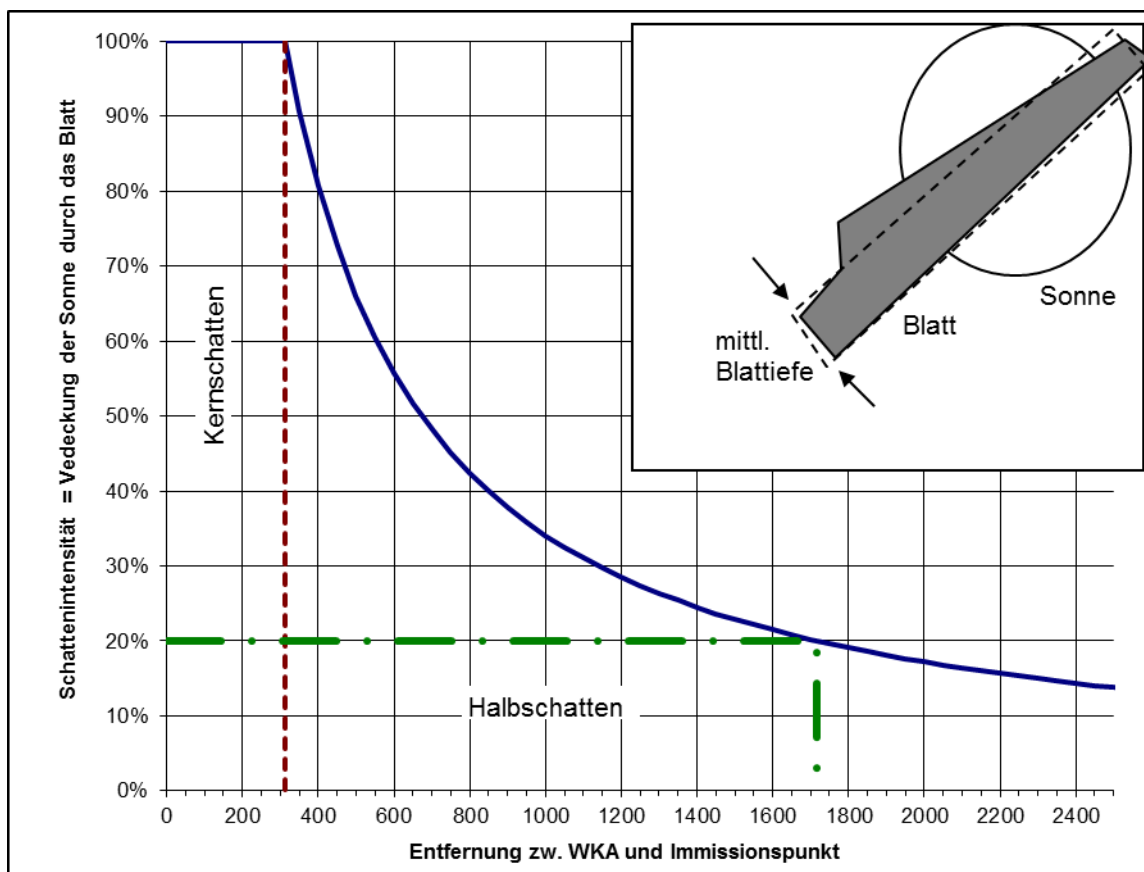


Abbildung 3: Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblatttiefe und Entfernung

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)

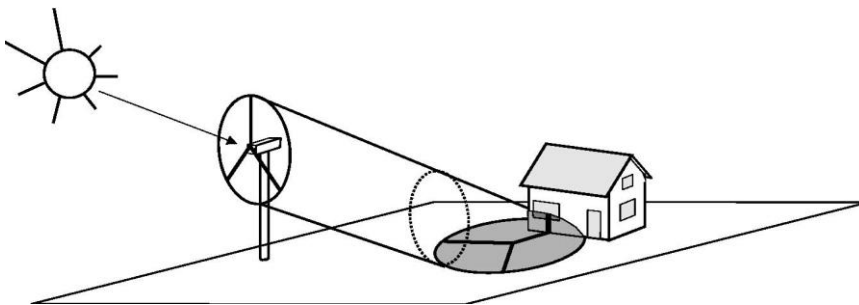


Abbildung 4: Schattenwurf des Rotors

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.

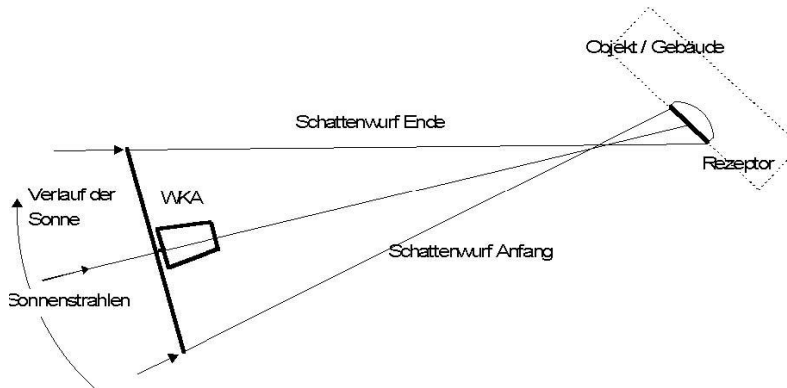


Abbildung 5: Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

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 Schattenwurfrihtungsbeziehung (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.