

Schattenwurfprognose für
zwei Windenergieanlagen
am Standort
Finnentrop-Hesenberg
(Nordrhein-Westfalen)

Datum: 22.11.2023

Bericht Nr. 23-1-3041-001-SF

Auftraggeber:

SL Windenergie GmbH

Voßbrinkstr. 67 | 45966 Gladbeck

Auftragsnummer: 352006737

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Jonas Feja, MLE

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0


Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort Finnentrop-Hesenberg (Nordrhein-Westfalen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im November 2023 von der SL Windenergie GmbH 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.

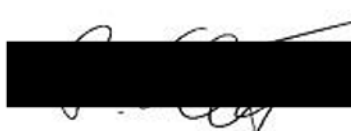
Alle Rechte an diesem Bericht sind der Ramboll Deutschland GmbH vorbehalten. Dieses Dokument darf, mit Ausnahme des Auftraggebers, der Genehmigungsbehörden und der finanzierenden Banken, weder in Teilen noch in vollem Umfang ohne vorherige schriftliche Zustimmung der Ramboll Deutschland GmbH reproduziert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

Nr.	Datum	Bearbeiter	Beschreibung
001	22.11.2023	J. Feja	Planung von zwei WEA des Typs Enercon E-175 EP5

Kassel, 22.11.2023



 Jonas Feja, MLE
 (Bearbeiter)



 Robin Umminger, M. Sc.
 (Prüfer)

Inhalt:

1	Zusammenfassung	4
2	Standort- und WEA-Daten	5
	2.1 Aufgabenstellung	5
	2.2 Immissionsorte	7
	2.3 Immissionsrichtwerte	11
	2.4 Windenergieanlagen	11
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 Finnentrop-Hesenberg wurden für 24 Immissionsorte (IO) die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante Windenergieanlagen (WEA) des Typs Enercon E-175 EP5 mit 162 m Nabhöhe sowie zwölf 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 allen 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 FH1 und FH2.

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 Finnentrop-Hesenberg westlich von Kückelheim und südlich von Fehrenbracht zwei Windenergieanlagen (WEA) des Typs Enercon E-175 EP5 mit 162 m Nabenhöhe zu errichten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten der geplanten WEA

WEA	WEA Hersteller / Typ	Nabenhöhe	Ost	Nord
		[m]	[UTM 32 ETRS89]	
FH1	Enercon E-175 EP5	162	437.157	5.674.789
FH2	Enercon E-175 EP5	162	437.642	5.675.159

Am Standorts existieren bereits zwölf 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.

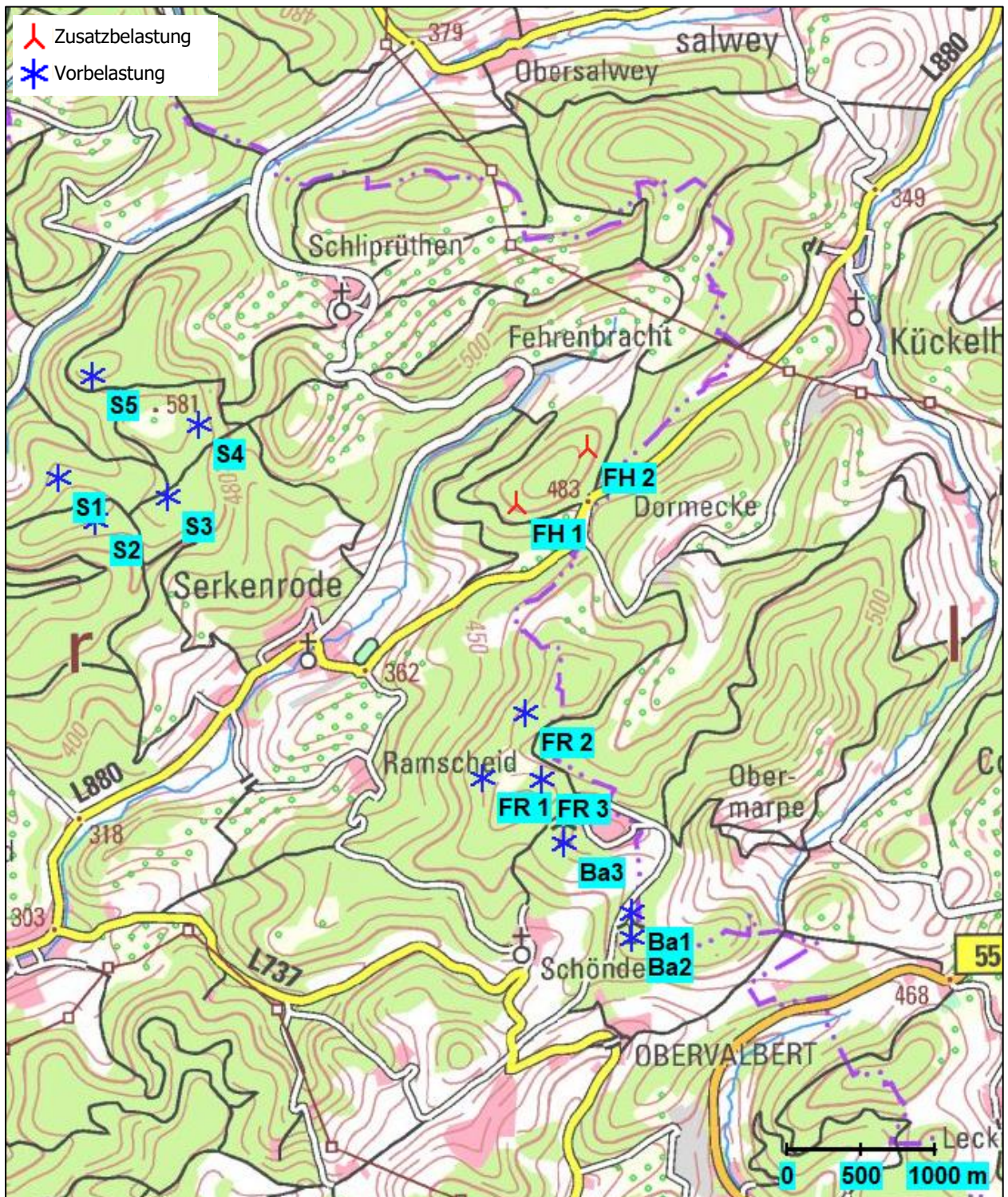


Abbildung 1: Übersichtskarte (© Geobasis NRW 2023)

Grundlage der Berechnung sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der geplanten WEA (Typ, Nabenhöhe, Koordinaten) sowie die bei der Standortbesichtigung am

20.04.2023 erhobenen Daten über relevante Immissionsorte und deren Umgebung. Das Höhenrelief wurde den Höhenlinien dem DGM 5 Nordrhein-Westfalen entnommen. Die Berechnung wurde mit der Software windPRO, Modul SHADOW [3] durchgeführt. Grundlagen zur Berechnung finden sich im Anhang.

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 [4].

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.

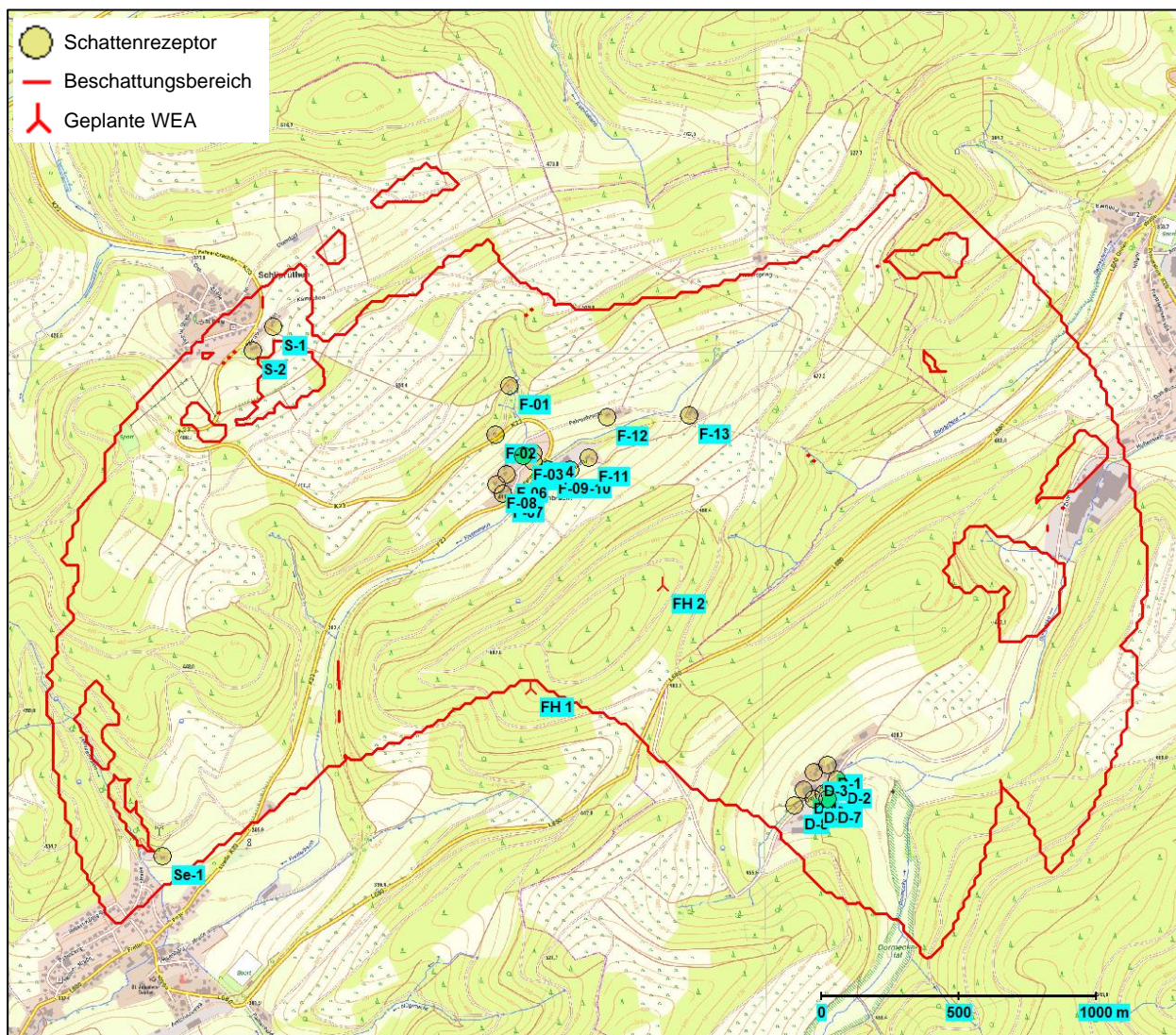


Abbildung 2: Beschattungsbereich der Zusatzbelastung (© Geobasis NRW 2023)

Nach diesen Kriterien wurden jeweils in der am meisten betroffenen vordersten Baureihe alle Wohnhäuser und in den dahinter liegenden Baureihen exemplarisch ausgewählte Häuser als relevante Immissionsorte gewählt. Bei der Standortbesichtigung am 20.04.2023 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 in Schlprüthen (© Geobasis NRW 2023)

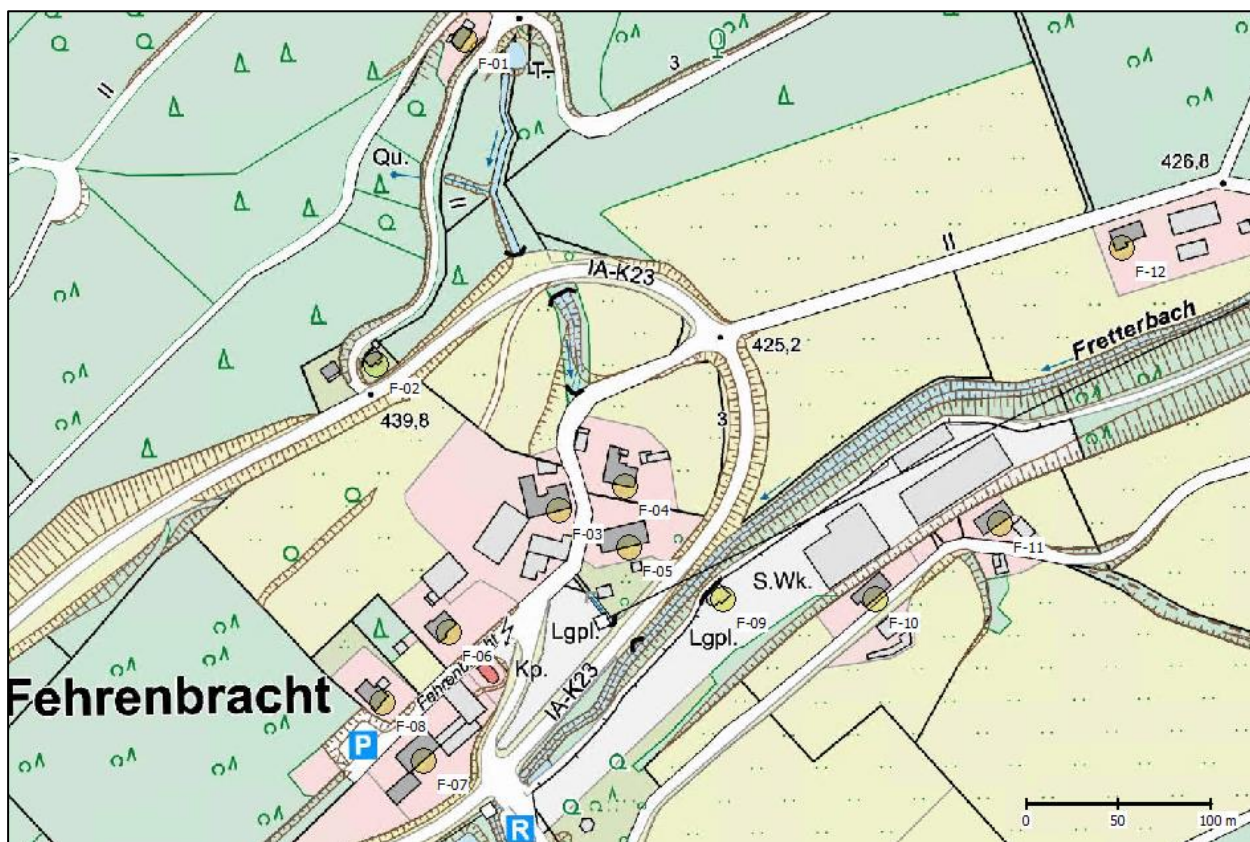


Abbildung 4: Lage der Immissionsorte in Fehrenbracht (© Geobasis NRW 2023)

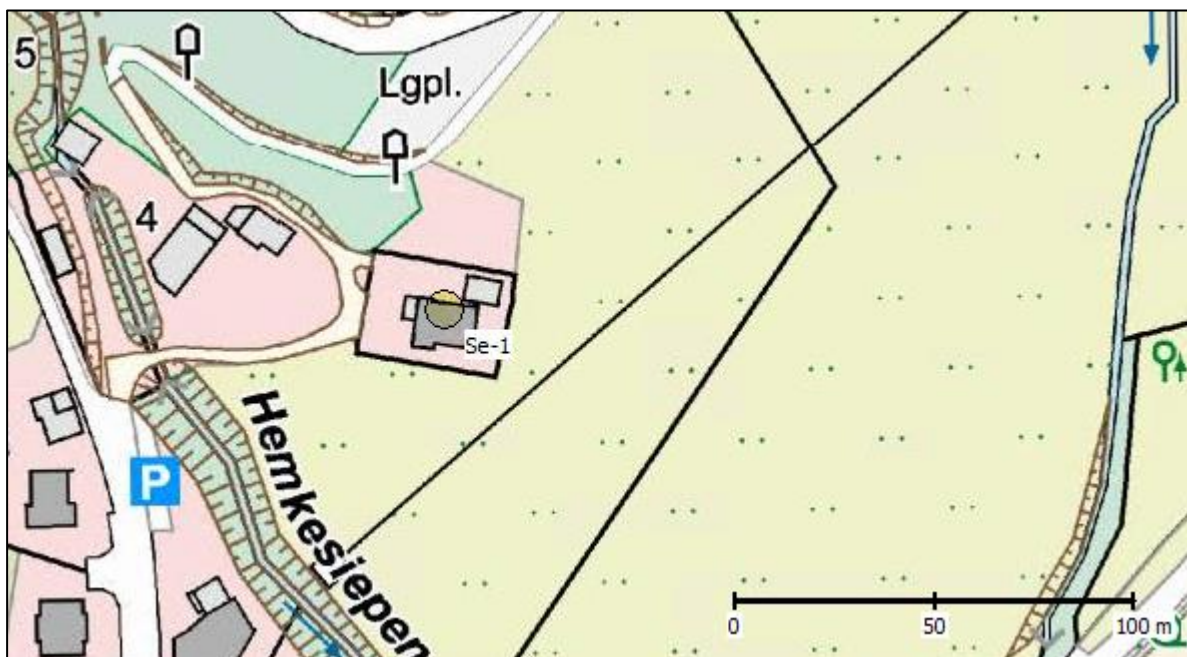


Abbildung 5: Lage des Immissionsorts in Serkenrode (© Geobasis NRW 2023)

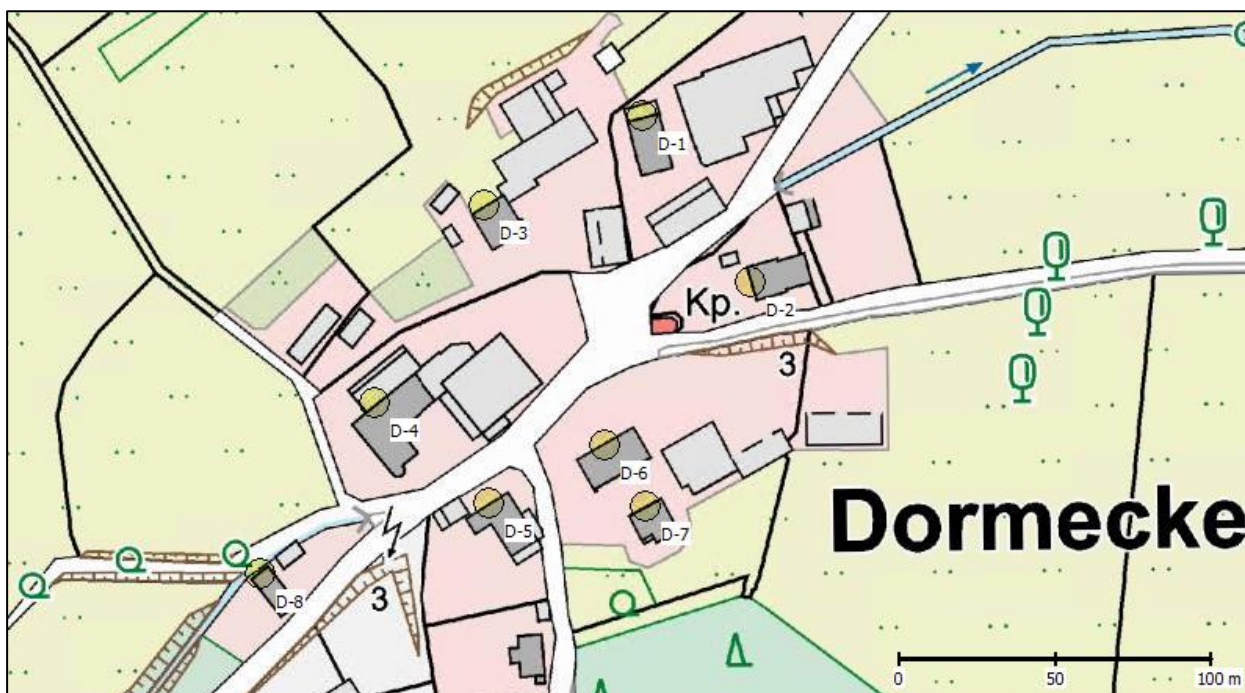


Abbildung 6: Lage der Immissionsorte in Domecke (© Geobasis NRW 2023)

2.3 Immissionsrichtwerte

Für die Beurteilung der Erheblichkeit der Belästigung durch Schattenwurf [5] [6] 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 Finnentrop-Hesenberg die Errichtung von zwei Windenergieanlagen. Weitere zwölf WEA werden als Vorbelastungen berücksichtigt.

Die wesentlichen Kenndaten der Vorbelastung und der neu geplanten WEA sind Tabelle 2 zu entnehmen. Der Beschattungsbereich wurde nach dem 20%-Kriterium [2] [7] aus den Rotorblatt- und der Nabhöhe ermittelt.

Tabelle 2: Kenndaten Zusatz- und Vorbelastungs-WEA

WEA-Nr.	WEA Typ	NH	RD	max. BT	min. BT	Ø BT	BB	Art
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
FH 1	E-175 EP5	162,0	175,0	4,05	1,11	2,58	1.750	ZB
FH 2	E-175 EP5	162,0	175,0	4,05	1,11	2,58	1.750	ZB
Ba3	E-40/6.44	78,0	44,0	1,97	0,49	1,23	834	VB
Ba2	E-40/6.44	78,0	44,0	1,97	0,49	1,23	834	VB
Ba1	E-58/10.58	70,5	58,0	3,06	0,90	1,98	1.347	VB
FR 1-FR 3	E-175 EP5	162,0	175,0	4,05	1,11	2,58	1.750	VB
S1 -S5	5.5-158	161,0	158,0	4,00	1,35	2,68	1.816	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
D-1	Kückelheim, Dormecke 4	17:54	39:09	57:03	0:27	0:37	0:37
D-2	Kückelheim, Dormecke 5	16:26	44:45	61:11	0:27	0:36	0:36
D-3	Kückelheim, Dormecke 3	19:08	52:25	71:33	0:28	0:39	0:39
D-4	Kückelheim, Dormecke 2	33:41	46:56	80:37	0:29	0:40	0:40
D-5	Kückelheim, Dormecke 9	36:10	43:31	79:41	0:29	0:38	0:38
D-6	Kückelheim, Dormecke 7	17:32	46:49	64:21	0:29	0:37	0:37
D-7	Kückelheim, Dormecke 7a	36:13	45:14	81:27	0:28	0:37	0:37
D-8	Kückelheim, Dormecke 1	36:56	32:24	69:20	0:31	0:39	0:39
F-01	Finnentrop, Fehrenbracht 17	0:00	51:32	51:32	0:00	0:45	0:45
F-02	Finnentrop, Fehrenbracht 8	0:00	82:34	82:34	0:00	0:48	0:48
F-03	Finnentrop, Fehrenbracht 2	0:00	112:46	112:46	0:00	0:54	0:54

IO	Name	Astron. max. mögl. Beschattungsdauer					
		Std. / Jahr			Std. / Tag		
		VB	ZB	GB	VB	ZB	GB
F-04	Finnentrop, Fehrenbracht 4	0:00	113:14	113:14	0:00	0:56	0:56
F-05	Finnentrop, Fehrenbracht 5	0:00	121:23	121:23	0:00	0:57	0:57
F-06	Finnentrop, Fehrenbracht 15	0:00	121:58	121:58	0:00	0:54	0:54
F-07	Finnentrop, Fehrenbracht 1	0:00	133:31	133:31	0:00	0:56	0:56
F-08	Finnentrop, Fehrenbracht 13	0:00	125:59	125:59	0:00	0:54	0:54
F-09	Finnentrop, Fehrenbracht 11	0:00	133:10	133:10	0:00	1:01	1:01
F-10	Finnentrop, Fehrenbracht 6	0:00	142:49	142:49	0:00	1:07	1:07
F-11	Finnentrop, Fehrenbracht 7	0:00	139:23	139:23	0:00	1:08	1:08
F-12	Finnentrop, Fehrenbracht 16	0:00	116:05	116:05	0:00	1:11	1:11
F-13	Finnentrop, Fehrenbracht 9	0:00	140:39	140:39	0:00	1:29	1:29
S-1	Schliprüthen, Am Kämpchen 4	11:20	33:15	44:35	0:25	0:27	0:45
S-2	Schliprüthen, Fehrenbrachter Str. 31	22:14	38:28	60:42	0:27	0:27	0:49
Se-1	Serkenrode, Patenbergstraße 60	43:01	19:56	62:57	0:25	0:28	0:39

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], [8]) steuerungstechnisch umgesetzt wird. Sie berücksichtigt statistische Daten zu

- Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (mittlere tägliche Sonnenscheinstunden) pro Monat, nach Angaben der Sonnenschein-Datenbank für die Station Lennestadt-Theten,
- Betriebsstunden bzw. Stillstandszeiten der WEA je Richtungssektor, ermittelt aus der Windstatistik der DWD-Station Kahler Asten und der Anlaufgeschwindigkeit der WEA,
- Variable Schattengröße des Rotors, ermittelt aus der Windrichtungsverteilung der Windstatistik der DWD-Station Kahler Asten 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
D-1	Kückelheim, Dormecke 4	2:05	10:01	12:10
D-2	Kückelheim, Dormecke 5	2:00	11:25	13:28
D-3	Kückelheim, Dormecke 3	2:13	13:21	15:38
D-4	Kückelheim, Dormecke 2	3:36	11:54	15:35
D-5	Kückelheim, Dormecke 9	3:57	11:02	15:03
D-6	Kückelheim, Dormecke 7	2:12	11:53	14:08
D-7	Kückelheim, Dormecke 7a	4:00	11:29	15:34
D-8	Kückelheim, Dormecke 1	4:02	8:10	12:16
F-01	Finnentrop, Fehrenbracht 17	0:00	5:39	5:39
F-02	Finnentrop, Fehrenbracht 8	0:00	9:58	9:58
F-03	Finnentrop, Fehrenbracht 2	0:00	14:21	14:21
F-04	Finnentrop, Fehrenbracht 4	0:00	14:24	14:24
F-05	Finnentrop, Fehrenbracht 5	0:00	15:46	15:46
F-06	Finnentrop, Fehrenbracht 15	0:00	16:01	16:01
F-07	Finnentrop, Fehrenbracht 1	0:00	18:45	18:45
F-08	Finnentrop, Fehrenbracht 13	0:00	16:50	16:50
F-09	Finnentrop, Fehrenbracht 11	0:00	17:56	17:56
F-10	Finnentrop, Fehrenbracht 6	0:00	19:38	19:38
F-11	Finnentrop, Fehrenbracht 7	0:00	18:36	18:36
F-12	Finnentrop, Fehrenbracht 16	0:00	12:42	12:42
F-13	Finnentrop, Fehrenbracht 9	0:00	15:31	15:31
S-1	Schliprüthen, Am Kämpchen 4	2:04	3:33	5:33
S-2	Schliprüthen, Fehrenbrachter Str. 31	3:32	4:10	7:39
Se-1	Serkenrode, Patenbergstraße 60	8:00	5:23	13:18

4 Bewertung der Ergebnisse

4.1 Beurteilung der Berechnungen

Am Windparkstandort Finnentrop-Hesenberg wurden für 24 Immissionsorte die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante WEA sowie zwölf 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 D-4, D-5, D-7, D-8 und Se-1: An diesen Immissionsorten werden die Richtwerte ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen bereits durch die Vorbelastung überschritten. Jede weitere Belastung durch periodischen Schattenwurf ist zu vermeiden.

IO D-1, D-2, D-3, D-6, F-01 bis F-13, S-1 und S-2: An diesen Immissionsorten werden die Richtwerte ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen durch den Einfluss der Zusatzbelastung überschritten. Die Überschreitung beträgt maximal 91,5 Std./Jahr bzw. 49 Min/Tag.

Aufgrund der berechneten Überschreitungen empfehlen wir die Abschaltung der neu geplanten WEA FH1 und FH2 über eine Abschaltautomatik zu steuern (siehe 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 [9]. Das zugrunde gelegte Höhenmodell entspricht dem DGM 5 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 [10].

5 Quellenverzeichnis

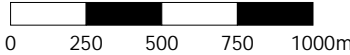
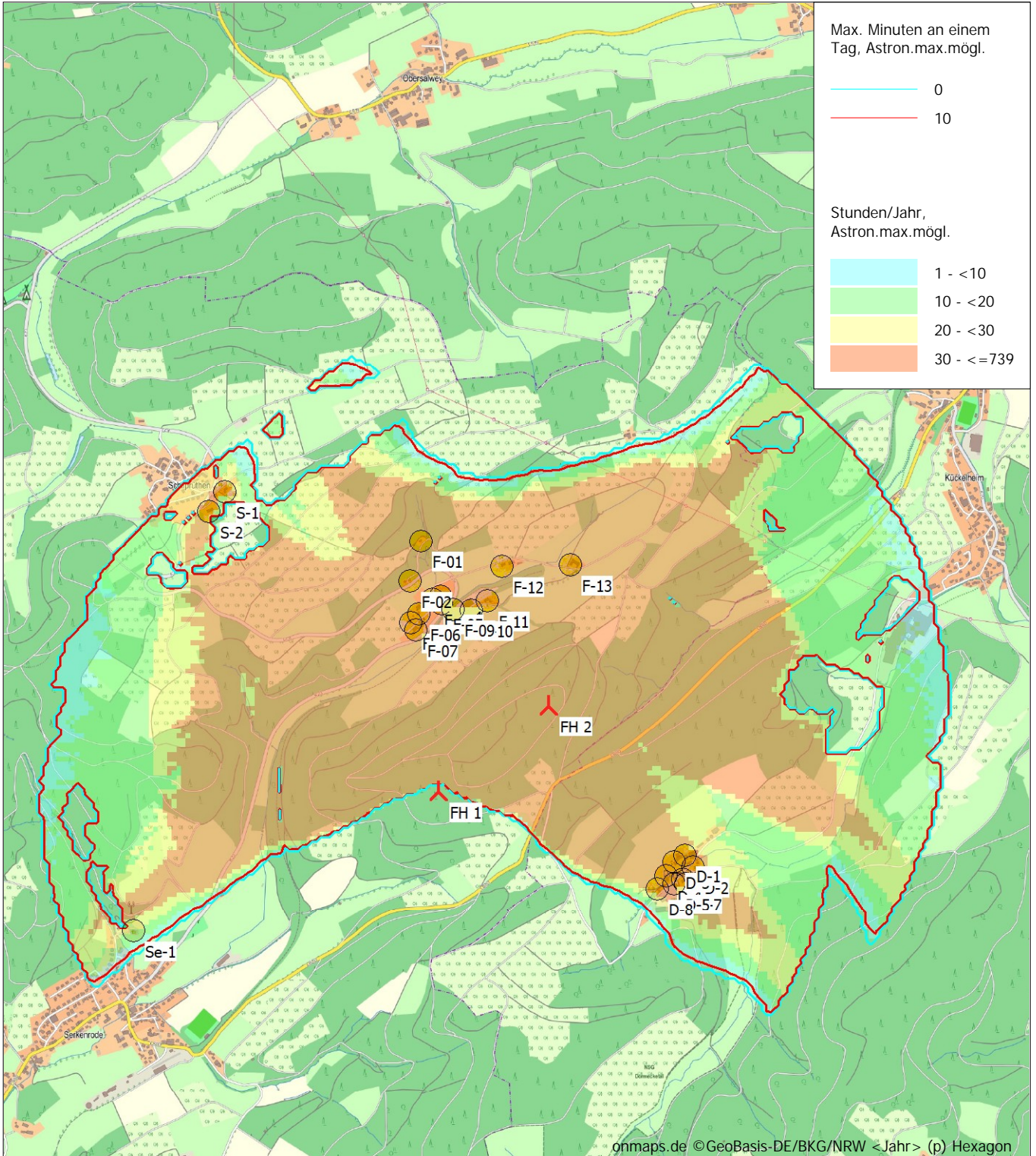
- [1] Norm, „DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien,“ 2018.
- [2] LAI, Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen Aktualisierung 2019 (WKA-Schattenwurfhinweise), Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), 23.01.2020.
- [3] EMD, Software WindPRO, Modul SHADOW, 9220 Aalborg (DK): EMD International A/S, jeweils aktuellste Version.
- [4] SUA, Ergebnisprotokoll des 3. Fachgesprächs vom 19.11.1999 über Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen, Schleswig: Staatliches Umweltamt Schleswig, 1999.
- [5] F. J.Pohl, Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie, Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31.07.1999 .
- [6] F. J.Pohl, Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie, Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, 15.05.2000 .
- [7] H. D. Freund, Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen, Umweltforschungsbank UFORDAT, Juni 1999.
- [8] 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.
- [9] geoGLIS_oHG, *onmaps GEOBasis-DE / BKG / NRW*, aktuelle Version.
- [10] Ramboll, Interne Analyse zur Sensitivität der Berechnungsergebnisse bezüglich der Genauigkeit der Positionsdaten, 2021-11.

6 Anhang

- Beschattungskarten für den Windparkstandort Finnentrop-Hesenberg
 - Zusatzbelastung
 - Gesamtbelastung
- Berechnungsergebnisse der Beschattungsdauern an den Immissionsorten
 - Vor- und Zusatzbelastung:
 - Hauptergebnis
 - Gesamtbelastung:
 - Hauptergebnis
 - grafische Kalender
- Akkreditierung
- Theoretische Grundlagen

SHADOW - Karte

Berechnung: Zusatzbelastung



Karte: tk , Maßstab 1:25.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 437.532 Nord: 5.675.741

🚧 Neue WEA

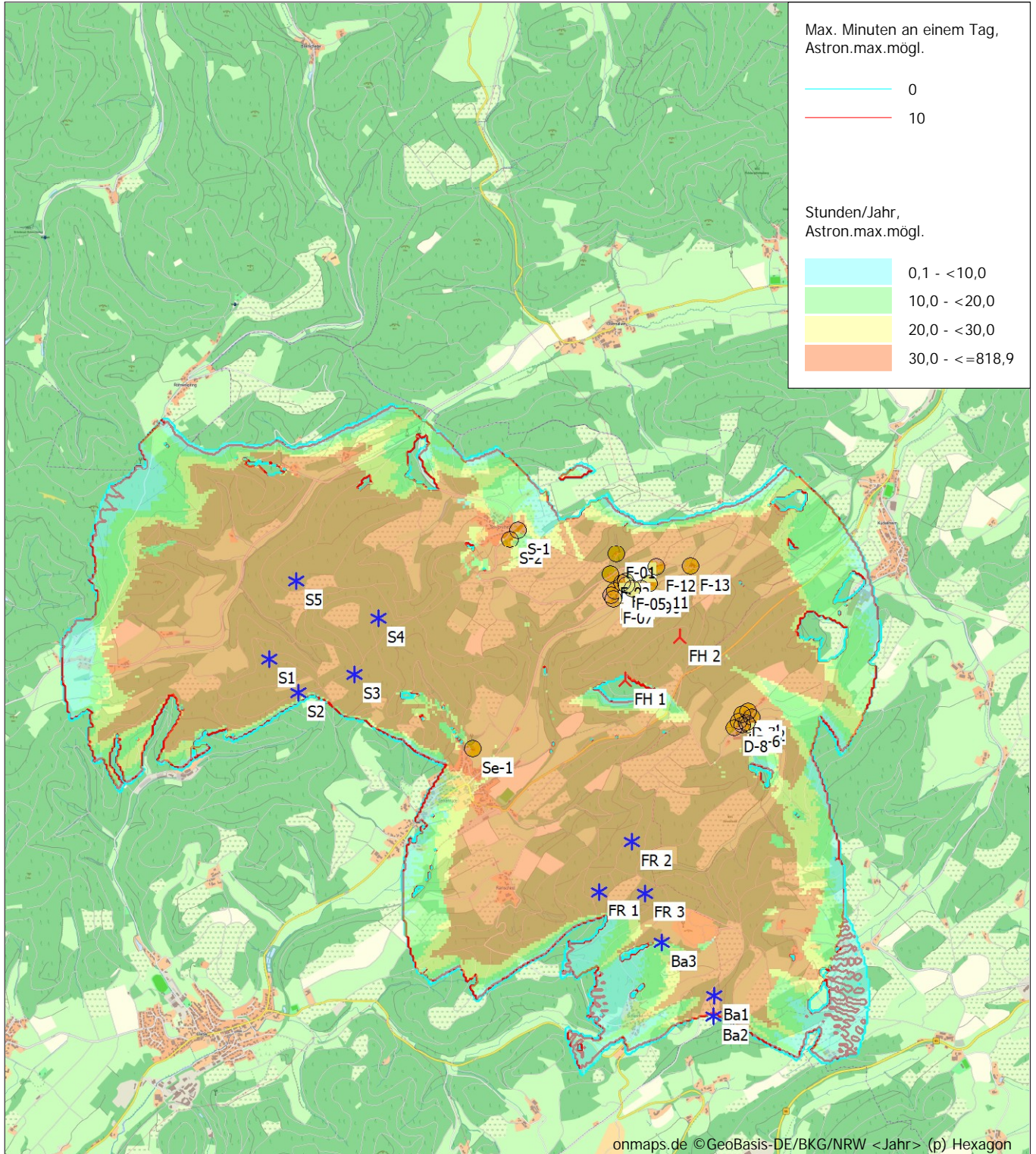
🟡 Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: Höhenraster-Objekt: DGM5 NRW (11)

Zeitschritt: 3 Minuten, Schrittweite: 7 Tag(e), Kartenauflösung: 20 m, Sichtbarkeit Auflösung: 10 m, Augenhöhe: 1,5 m

SHADOW - Karte

Berechnung: Gesamtbelastung



0 500 1000 1500 2000 m

Karte: tk , Maßstab 1:50.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 436.273 Nord: 5.675.745

Neue WEA

Existierende WEA Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: Höhenraster-Objekt: DGM5 NRW (11)

Zeitschritt: 3 Minuten, Schrittweite: 7 Tag(e), Kartenauflösung: 20 m, Sichtbarkeit Auflösung: 10 m, Augenhöhe: 1,5 m

Projekt:
23-1-3041
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:
Windpark Finntrop-Hesenberg, Gemeinde Finntrop,
Landkreis Olpe, NRW

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



Berechnet:
Jonas Feja / jonas.feja@ramboll.com
13.11.2023 16:07/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung

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) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,45 2,50 3,84 5,63 6,19 6,50 6,48 6,16 4,60 3,06 1,47 1,03

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
548 347 301 451 507 468 613 917 1.397 1.387 983 745 8.664

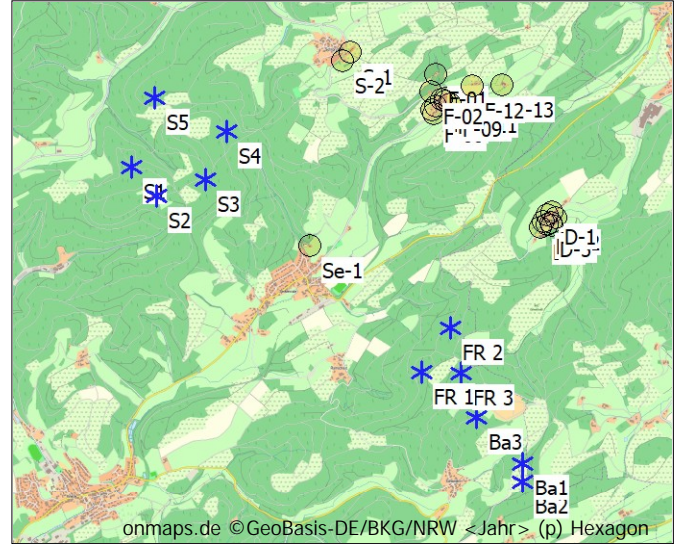
Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf den folgenden Annahmen:

Verwendete Höhenlinien: Höhenraster-Objekt: DGM5 NRW (11)
Rasterauflösung: 1,0 m

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

WEA

	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]
Ba1	437.903	5.672.017	550,7	ENERCON E-58/10.58-1.000	Nein	ENERCON	E-58/10.58-1.000	1.000	58,0	70,5	1.347	24,0
Ba2	437.898	5.671.839	542,3	ENERCON E-40/6.44-600	Nein	ENERCON	E-40/6.44-600	600	44,0	78,0	834	34,5
Ba3	437.451	5.672.486	561,3	ENERCON E-40/6.44-600	Nein	ENERCON	E-40/6.44-600	600	44,0	78,0	834	34,5
FR 1	436.905	5.672.941	547,4	ENERCON E-175 EP5-6.000	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8
FR 2	437.198	5.673.371	557,4	ENERCON E-175 EP5-6.000	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8
FR 3	437.305	5.672.921	553,2	ENERCON E-175 EP5-6.000	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8
S1	434.042	5.675.008	531,8	GE WIND ENERGY 5.5-158-5.500	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7
S2	434.291	5.674.714	543,5	GE WIND ENERGY 5.5-158-5.500	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7
S3	434.784	5.674.869	548,1	GE WIND ENERGY 5.5-158-5.500	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7
S4	435.000	5.675.351	543,0	GE WIND ENERGY 5.5-158-5.500	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7
S5	434.285	5.675.690	556,9	GE WIND ENERGY 5.5-158-5.500	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7



Maßstab 1:75.000
* Existierende WEA ● Schattenrezeptor

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
D-1	Kückelheim, Dormecke 4	438.233	5.674.501	425,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-2	Kückelheim, Dormecke 5	438.267	5.674.448	424,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-3	Kückelheim, Dormecke 3	438.182	5.674.473	426,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-4	Kückelheim, Dormecke 2	438.146	5.674.411	429,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-5	Kückelheim, Dormecke 9	438.182	5.674.378	430,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-6	Kückelheim, Dormecke 7	438.220	5.674.396	428,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-7	Kückelheim, Dormecke 7a	438.233	5.674.376	431,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-8	Kückelheim, Dormecke 1	438.109	5.674.356	432,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-01	Finntrop, Fehrenbracht 17	437.093	5.675.886	454,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-02	Finntrop, Fehrenbracht 8	437.043	5.675.711	441,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-03	Finntrop, Fehrenbracht 2	437.141	5.675.631	417,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-04	Finntrop, Fehrenbracht 4	437.177	5.675.643	417,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-05	Finntrop, Fehrenbracht 5	437.179	5.675.611	415,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-06	Finntrop, Fehrenbracht 15	437.080	5.675.566	420,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-07	Finntrop, Fehrenbracht 1	437.066	5.675.497	413,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-08	Finntrop, Fehrenbracht 13	437.044	5.675.529	418,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-09	Finntrop, Fehrenbracht 11	437.229	5.675.582	410,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-10	Finntrop, Fehrenbracht 6	437.312	5.675.581	416,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-11	Finntrop, Fehrenbracht 7	437.379	5.675.622	416,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:
23-1-3041
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:
Windpark Finnentrop-Hesenberg, Gemeinde Finnentrop,
Landkreis Olpe, NRW

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



Berechnet:
Jonas Feja / jonas.feja@ramboll.com
13.11.2023 16:07/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr. [m]
F-12	Finnentrop, Fehrenbracht 16	437.447	5.675.769	424,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-13	Finnentrop, Fehrenbracht 9	437.746	5.675.771	432,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
S-1	Schlprüthen, Am Kämpchen 4	436.240	5.676.111	452,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
S-2	Schlprüthen, Fehrenbrachter Straße 31	436.166	5.676.026	452,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Se-1	Serkenrode, Patenbergstraße 60	435.816	5.674.199	366,5	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 [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	Stunden/Jahr [h/a]	
D-1	Kückelheim, Dormecke 4	17:54	50	0:27	2:05	
D-2	Kückelheim, Dormecke 5	16:26	46	0:27	2:00	
D-3	Kückelheim, Dormecke 3	19:08	54	0:28	2:13	
D-4	Kückelheim, Dormecke 2	33:41	95	0:29	3:36	
D-5	Kückelheim, Dormecke 9	36:10	100	0:29	3:57	
D-6	Kückelheim, Dormecke 7	17:32	47	0:29	2:12	
D-7	Kückelheim, Dormecke 7a	36:13	101	0:28	4:00	
D-8	Kückelheim, Dormecke 1	36:56	98	0:31	4:02	
F-01	Finnentrop, Fehrenbracht 17	0:00	0	0:00	0:00	
F-02	Finnentrop, Fehrenbracht 8	0:00	0	0:00	0:00	
F-03	Finnentrop, Fehrenbracht 2	0:00	0	0:00	0:00	
F-04	Finnentrop, Fehrenbracht 4	0:00	0	0:00	0:00	
F-05	Finnentrop, Fehrenbracht 5	0:00	0	0:00	0:00	
F-06	Finnentrop, Fehrenbracht 15	0:00	0	0:00	0:00	
F-07	Finnentrop, Fehrenbracht 1	0:00	0	0:00	0:00	
F-08	Finnentrop, Fehrenbracht 13	0:00	0	0:00	0:00	
F-09	Finnentrop, Fehrenbracht 11	0:00	0	0:00	0:00	
F-10	Finnentrop, Fehrenbracht 6	0:00	0	0:00	0:00	
F-11	Finnentrop, Fehrenbracht 7	0:00	0	0:00	0:00	
F-12	Finnentrop, Fehrenbracht 16	0:00	0	0:00	0:00	
F-13	Finnentrop, Fehrenbracht 9	0:00	0	0:00	0:00	
S-1	Schlprüthen, Am Kämpchen 4	11:20	35	0:25	2:04	
S-2	Schlprüthen, Fehrenbrachter Straße 31	22:14	72	0:27	3:32	
Se-1	Serkenrode, Patenbergstraße 60	43:01	139	0:25	8:00	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
Ba1	ENERCON E-58/10.58 1000 58.0 !O! NH: 70,5 m (Ges:99,5 m) (3)	0:00	0:00
Ba2	ENERCON E-40/6.44 600 44.0 !O! NH: 78,0 m (Ges:100,0 m) (2)	0:00	0:00
Ba3	ENERCON E-40/6.44 600 44.0 !O! NH: 78,0 m (Ges:100,0 m) (1)	0:00	0:00
FR 1	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (16)	14:01	1:29
FR 2	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (17)	44:41	6:06
FR 3	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (18)	29:01	2:41
S1	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !O! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (25)	0:00	0:00
S2	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !O! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (26)	18:45	4:46
S3	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !O! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (27)	9:34	1:11
S4	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !O! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (28)	15:50	2:55
S5	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !O! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (29)	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:
23-1-3041
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:
Windpark Finnentrop-Hesenberg, Gemeinde Finnentrop,
Landkreis Olpe, NRW

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



Jonas Feja / jonas.feja@ramboll.com
Berechnet:
08.11.2023 14:46/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung
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) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,45 2,50 3,84 5,63 6,19 6,50 6,48 6,16 4,60 3,06 1,47 1,03

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
548 347 301 451 507 468 613 917 1.397 1.387 983 745 8.664

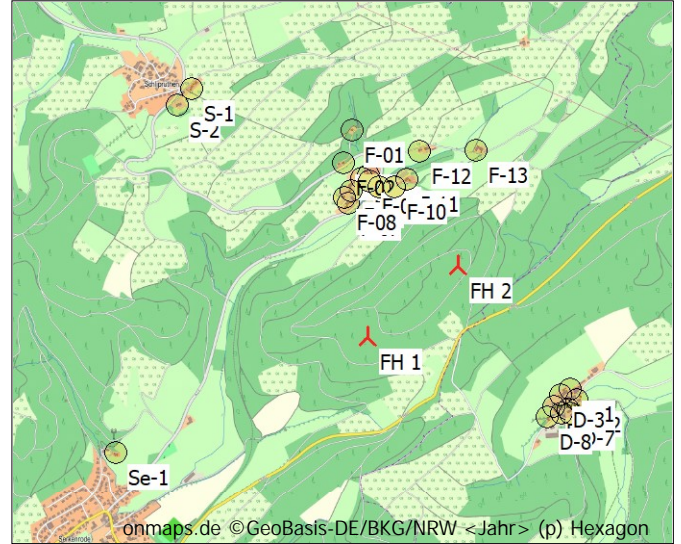
Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der
Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf den
folgenden Annahmen:

Verwendete Höhenlinien: Höhenraster-Objekt: DGM5 NRW (11)
Rasterauflösung: 1,0 m

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

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten	
					Ak-tuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
FH 1	437.157	5.674.789	515,3	ENERCON E-175 EP5 6000 175...Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8	
FH 2	437.642	5.675.159	520,8	ENERCON E-175 EP5 6000 175...Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8	



Maßstab 1:40.000

Neue WEA

Schattenrezeptor

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
D-1	Kückelheim, Dormecke 4	438.233	5.674.501	425,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-2	Kückelheim, Dormecke 5	438.267	5.674.448	424,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-3	Kückelheim, Dormecke 3	438.182	5.674.473	426,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-4	Kückelheim, Dormecke 2	438.146	5.674.411	429,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-5	Kückelheim, Dormecke 9	438.182	5.674.378	430,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-6	Kückelheim, Dormecke 7	438.220	5.674.396	428,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-7	Kückelheim, Dormecke 7a	438.233	5.674.376	431,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-8	Kückelheim, Dormecke 1	438.109	5.674.356	432,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-01	Finnentrop, Fehrenbracht 17	437.093	5.675.886	454,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-02	Finnentrop, Fehrenbracht 8	437.043	5.675.711	441,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-03	Finnentrop, Fehrenbracht 2	437.141	5.675.631	417,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-04	Finnentrop, Fehrenbracht 4	437.177	5.675.643	417,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-05	Finnentrop, Fehrenbracht 5	437.179	5.675.611	415,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-06	Finnentrop, Fehrenbracht 15	437.080	5.675.566	420,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-07	Finnentrop, Fehrenbracht 1	437.066	5.675.497	413,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-08	Finnentrop, Fehrenbracht 13	437.044	5.675.529	418,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-09	Finnentrop, Fehrenbracht 11	437.229	5.675.582	410,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-10	Finnentrop, Fehrenbracht 6	437.312	5.675.581	416,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-11	Finnentrop, Fehrenbracht 7	437.379	5.675.622	416,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-12	Finnentrop, Fehrenbracht 16	437.447	5.675.769	424,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-13	Finnentrop, Fehrenbracht 9	437.746	5.675.771	432,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
S-1	Schlprüthen, Am Kämpchen 4	436.240	5.676.111	452,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
S-2	Schlprüthen, Fehrenbrachter Straße 31	436.166	5.676.026	452,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Se-1	Serkenrode, Patenbergstraße 60	435.816	5.674.199	366,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Projekt:
23-1-3041
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:
Windpark Finnentrop-Hesenberg, Gemeinde Finnentrop,
Landkreis Olpe, NRW

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



Jonas Feja / jonas.feja@ramboll.com
Berechnet:
08.11.2023 14:46/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung

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]	
D-1	Kückelheim, Dormecke 4	39:09	86	0:37	10:01	
D-2	Kückelheim, Dormecke 5	44:45	100	0:36	11:25	
D-3	Kückelheim, Dormecke 3	52:25	97	0:39	13:21	
D-4	Kückelheim, Dormecke 2	46:56	80	0:40	11:54	
D-5	Kückelheim, Dormecke 9	43:31	78	0:38	11:02	
D-6	Kückelheim, Dormecke 7	46:49	86	0:37	11:53	
D-7	Kückelheim, Dormecke 7a	45:14	84	0:37	11:29	
D-8	Kückelheim, Dormecke 1	32:24	61	0:39	8:10	
F-01	Finnentrop, Fehrenbracht 17	51:32	104	0:45	5:39	
F-02	Finnentrop, Fehrenbracht 8	82:34	132	0:48	9:58	
F-03	Finnentrop, Fehrenbracht 2	112:46	157	0:54	14:21	
F-04	Finnentrop, Fehrenbracht 4	113:14	157	0:56	14:24	
F-05	Finnentrop, Fehrenbracht 5	121:23	163	0:57	15:46	
F-06	Finnentrop, Fehrenbracht 15	121:58	165	0:54	16:01	
F-07	Finnentrop, Fehrenbracht 1	133:31	182	0:56	18:45	
F-08	Finnentrop, Fehrenbracht 13	125:59	172	0:54	16:50	
F-09	Finnentrop, Fehrenbracht 11	133:10	173	1:01	17:56	
F-10	Finnentrop, Fehrenbracht 6	142:49	180	1:07	19:38	
F-11	Finnentrop, Fehrenbracht 7	139:23	175	1:08	18:36	
F-12	Finnentrop, Fehrenbracht 16	116:05	134	1:11	12:42	
F-13	Finnentrop, Fehrenbracht 9	140:39	127	1:29	15:31	
S-1	Schlprüthen, Am Kämpchen 4	33:15	92	0:27	3:33	
S-2	Schlprüthen, Fehrenbrachter Straße 31	38:28	105	0:27	4:10	
Se-1	Serkenrode, Patenbergstraße 60	19:56	52	0:28	5:23	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name		Maximal	Erwartet
			[h/a]	[h/a]
FH 1	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O!	NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (6)	432:46	59:30
FH 2	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O!	NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)	446:35	65:37

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:
23-1-3041
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:
Windpark Finnentrop-Hesenberg, Gemeinde Finnentrop,
Landkreis Olpe, NRW

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



Jonas Feja / jonas.feja@ramboll.com
Berechnet:
13.11.2023 16:42/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung
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

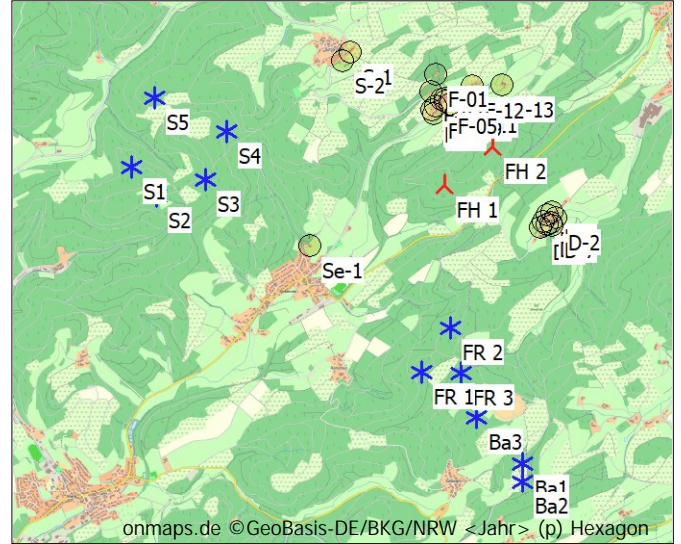
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,45 2,50 3,84 5,63 6,19 6,50 6,48 6,16 4,60 3,06 1,47 1,03

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
548 347 301 451 507 468 613 917 1.397 1.387 983 745 8.664

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: DGM5 NRW (11)
Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:75.000
Neue WEA Existierende WEA Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ	Ak- tu- ell	Hersteller	Typ	Nenn- leistung	Rotor- durch- messer	Naben- höhe	Schattendaten	Beschatt.- Bereich	U/min
	[m]								[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]	
Ba1	437.903	5.672.017	550,7	ENERCON E-58/10.58...	Nein	ENERCON	E-58/10.58-1.000	1.000	58,0	70,5	1.347	24,0		
Ba2	437.898	5.671.839	542,3	ENERCON E-40/6.44 ...	Nein	ENERCON	E-40/6.44-600	600	44,0	78,0	834	34,5		
Ba3	437.451	5.672.486	561,3	ENERCON E-40/6.44 ...	Nein	ENERCON	E-40/6.44-600	600	44,0	78,0	834	34,5		
FH 1	437.157	5.674.789	515,3	ENERCON E-175 EP5 ...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8		
FH 2	437.642	5.675.159	520,8	ENERCON E-175 EP5 ...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8		
FR 1	436.295	5.672.941	547,4	ENERCON E-175 EP5 ...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8		
FR 2	437.198	5.673.371	557,4	ENERCON E-175 EP5 ...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8		
FR 3	437.305	5.672.921	553,2	ENERCON E-175 EP5 ...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8		
S1	434.042	5.675.008	531,8	GE WIND ENERGY 5...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7		
S2	434.291	5.674.714	543,5	GE WIND ENERGY 5...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7		
S3	434.784	5.674.869	548,1	GE WIND ENERGY 5...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7		
S4	435.000	5.675.351	543,0	GE WIND ENERGY 5...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7		
S5	434.285	5.675.690	556,9	GE WIND ENERGY 5...	Ja	GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	9,7		

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
		[m]			[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
D-1	Kückelheim, Dormecke 4	438.233	5.674.501	425,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-2	Kückelheim, Dormecke 5	438.267	5.674.448	424,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-3	Kückelheim, Dormecke 3	438.182	5.674.473	426,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-4	Kückelheim, Dormecke 2	438.146	5.674.411	429,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-5	Kückelheim, Dormecke 9	438.182	5.674.378	430,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-6	Kückelheim, Dormecke 7	438.220	5.674.396	428,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-7	Kückelheim, Dormecke 7a	438.233	5.674.376	431,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
D-8	Kückelheim, Dormecke 1	438.109	5.674.356	432,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-01	Finnentrop, Fehrenbracht 17	437.093	5.675.886	454,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-02	Finnentrop, Fehrenbracht 8	437.043	5.675.711	441,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-03	Finnentrop, Fehrenbracht 2	437.141	5.675.631	417,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-04	Finnentrop, Fehrenbracht 4	437.177	5.675.643	417,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-05	Finnentrop, Fehrenbracht 5	437.179	5.675.611	415,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-06	Finnentrop, Fehrenbracht 15	437.080	5.675.566	420,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-07	Finnentrop, Fehrenbracht 1	437.066	5.675.497	413,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
F-08	Finnentrop, Fehrenbracht 13	437.044	5.675.529	418,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt: 23-1-3041
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung: Windpark Finnentrop-Hesenberg, Gemeinde Finnentrop, Landkreis Olpe, NRW

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



Jonas Feja / jonas.feja@ramboll.com
Berechnet: 13.11.2023 16:42/3.6.377

SHADOW - Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung Schattenrezeptor: F-12 - Finnentrop, Fehrenbracht 16
Annahmen für Schattenwurfberechnung

Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,45 2,50 3,84 5,63 6,19 6,50 6,48 6,16 4,60 3,06 1,47 1,03

Betriebsdauer je Sektor

N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
548 347 301 451 507 468 613 917 1.397 1.387 983 745 8.664

Table with columns for months (Januar to Dezember) and rows for each day of the year, containing solar position and shadow data.

Summary table for solar radiation and shadow reduction metrics.

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

Table with columns for Tag im Monat, Sonnenaufgang (SS:MM), Sonnenuntergang (SS:MM), Zeitpunkt (SS:MM) Schattenanfang, Zeitpunkt (SS:MM) Schattende, (WEA mit erstem Schatten), (WEA mit letztem Schatten)



Projekt: 23-1-3041
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung: Windpark Fintrentrop-Hesenberg, Gemeinde Fintrentrop, Landkreis Olpe, NRW

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



Jonas Feja / jonas.feja@ramboll.com
Berechnet: 13.11.2023 16:42/3.6.377

SHADOW - Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung Schattenrezeptor: F-13 - Fintrentrop, Fehrenbracht 9
Annahmen für Schattenwurfberechnung

Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,45 2,50 3,84 5,63 6,19 6,50 6,48 6,16 4,60 3,06 1,47 1,03

Betriebsdauer je Sektor

N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
548 347 301 451 507 468 613 917 1.397 1.387 983 745 8.664

Table with columns for months (Januar to Dezember) and rows for time slots (08:33 to 17:15). Includes summary rows for solar hours, reduction, and shading.

Table with columns for month and time slot, and rows for solar hours, reduction, and shading.

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

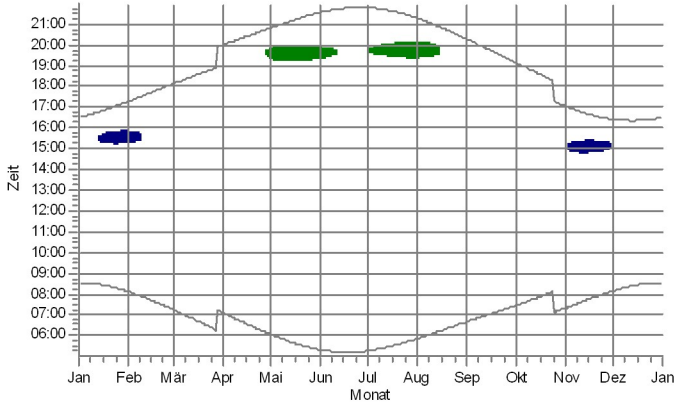
Tag im Monat Sonnenaufgang (SS:MM) Sonnenuntergang (SS:MM) Minuten mit Schatten
Zeitpunkt (SS:MM) Schattenanfang Zeitpunkt (SS:MM) Schattende (WEA mit erstem Schatten) (WEA mit letztem Schatten)



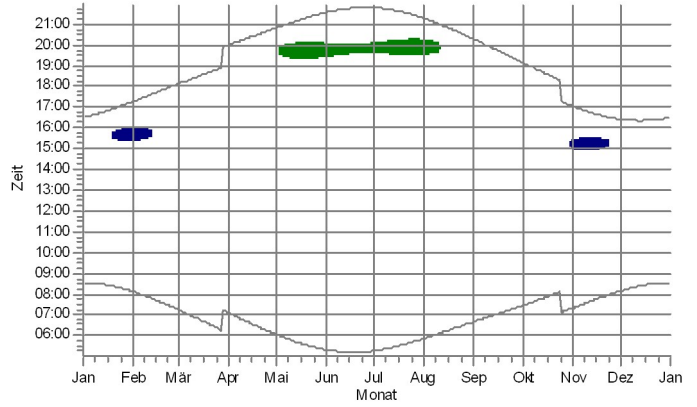
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

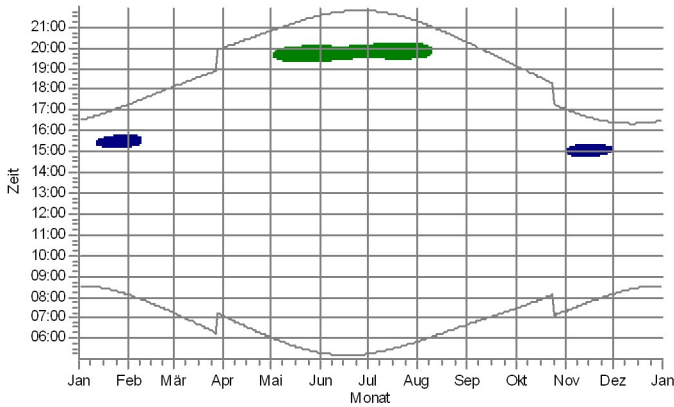
D-1: Kückelheim, Dormecke 4



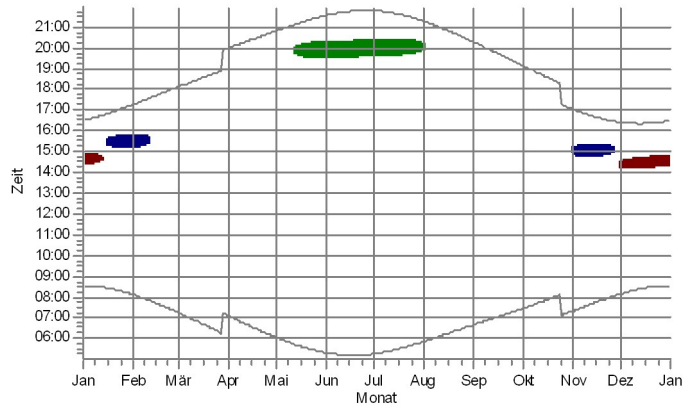
D-2: Kückelheim, Dormecke 5



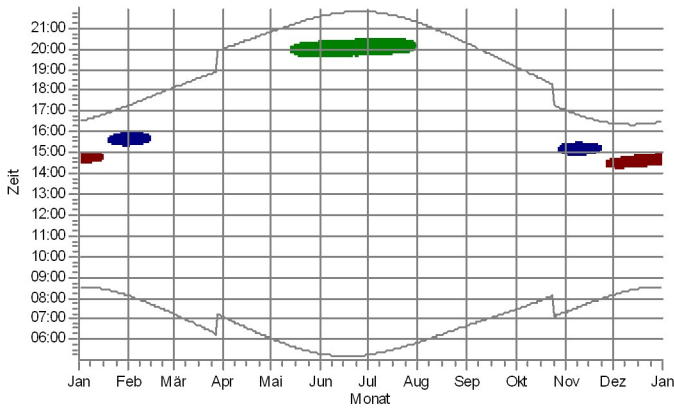
D-3: Kückelheim, Dormecke 3



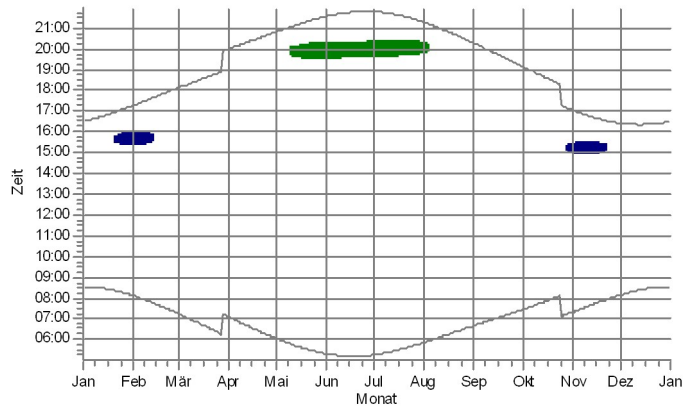
D-4: Kückelheim, Dormecke 2



D-5: Kückelheim, Dormecke 9



D-6: Kückelheim, Dormecke 7



WEA

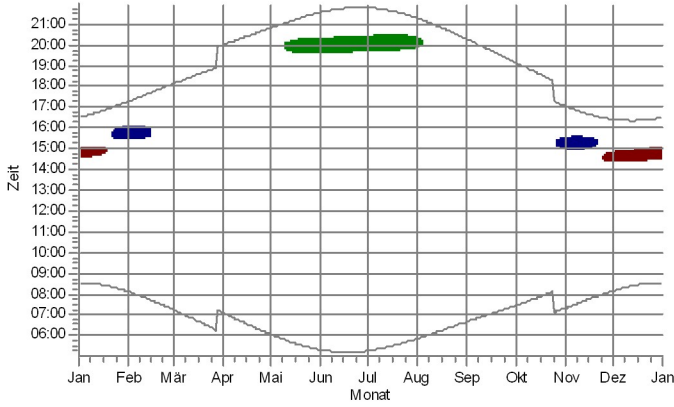
- FH 1: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (6)
- FR 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (17)

- FR 3: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (18)

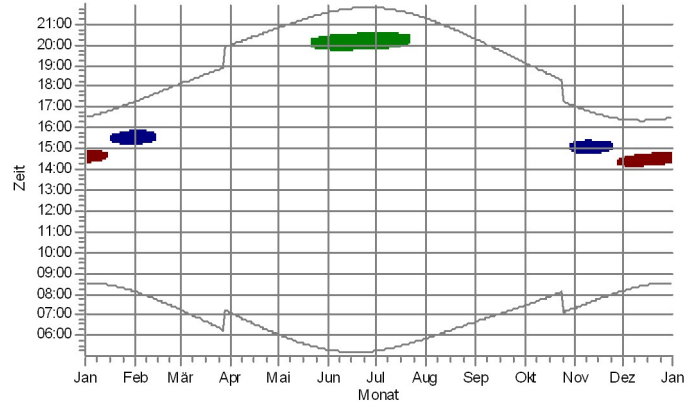
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

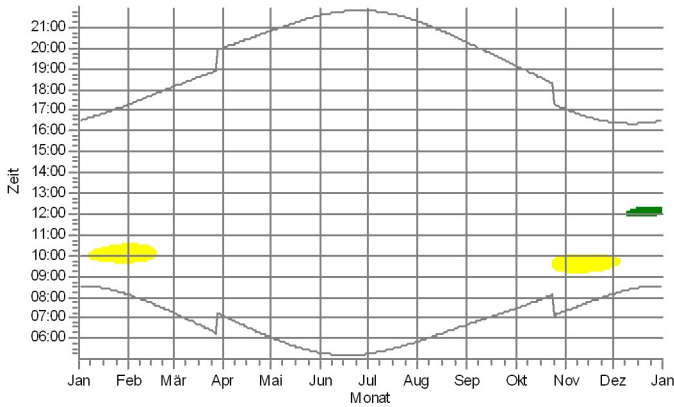
D-7: Kückelheim, Dormecke 7a



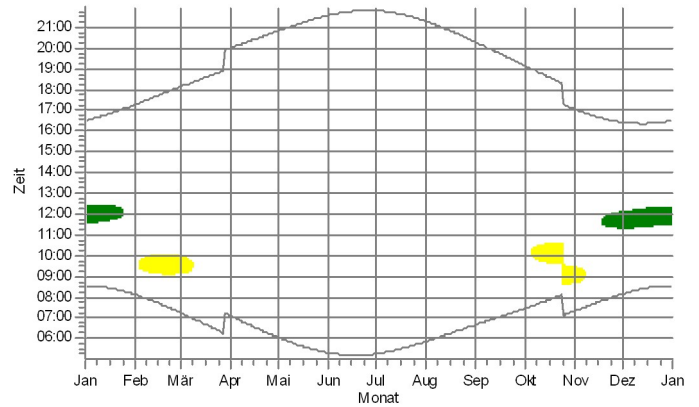
D-8: Kückelheim, Dormecke 1



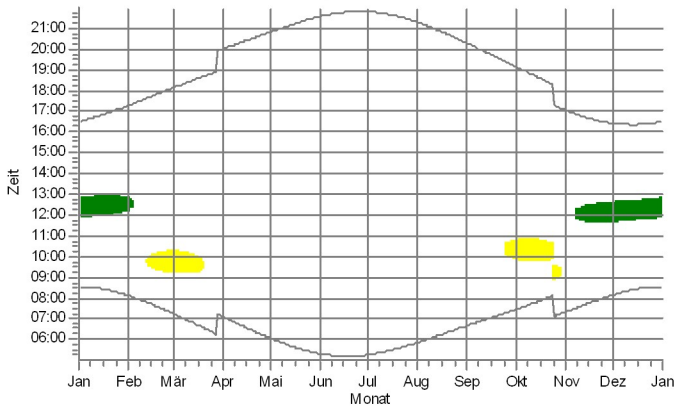
F-01: Finnentrop, Fehrenbracht 17



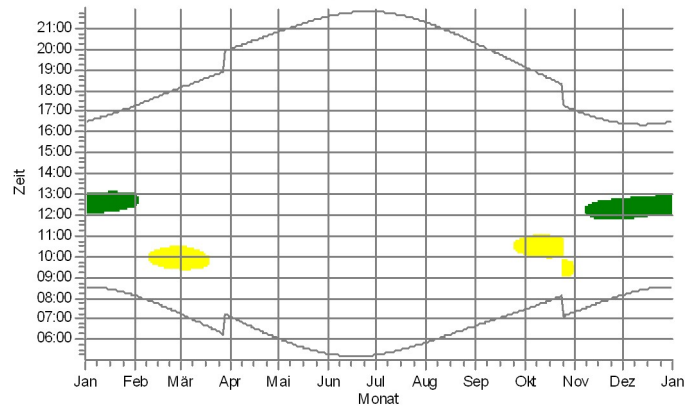
F-02: Finnentrop, Fehrenbracht 8



F-03: Finnentrop, Fehrenbracht 2



F-04: Finnentrop, Fehrenbracht 4



WEA

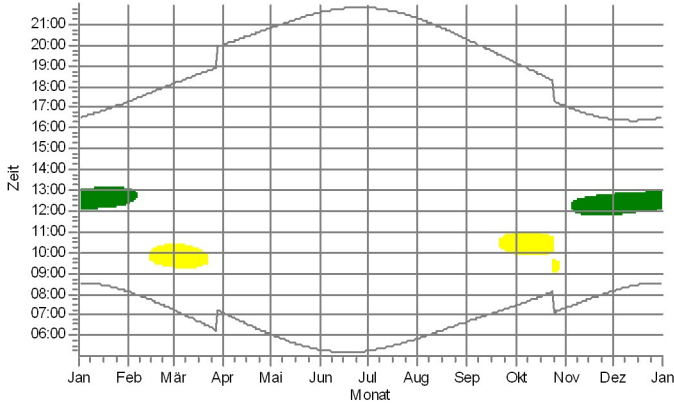
- FH 1: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (6)
- FH 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)

- FR 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (17)
- FR 3: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (18)

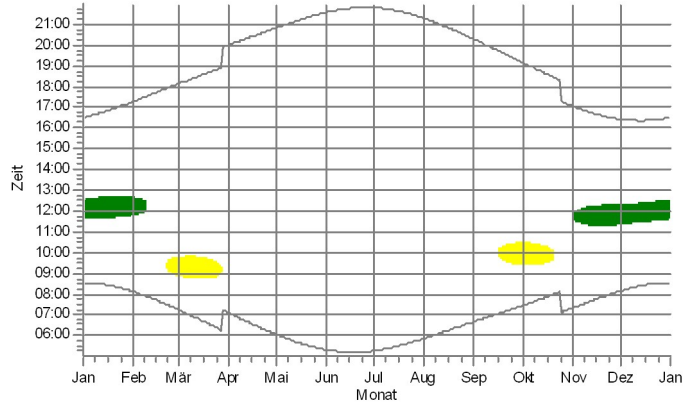
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

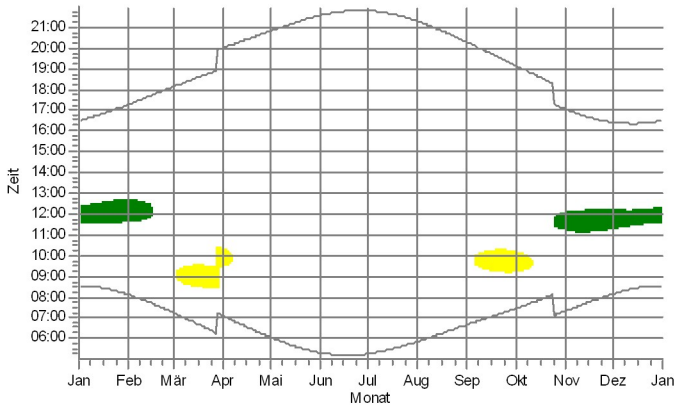
F-05: Finnentrop, Fehrenbracht 5



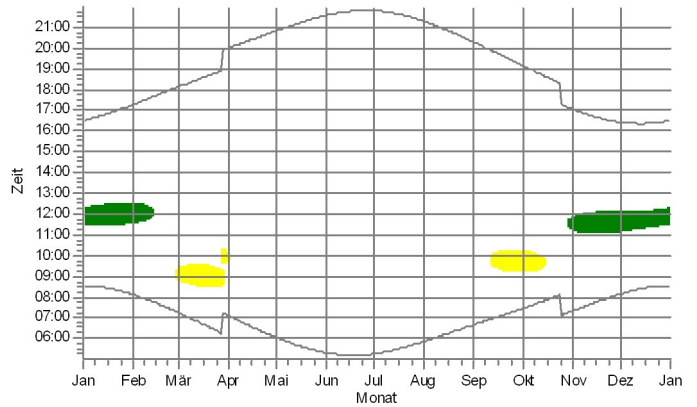
F-06: Finnentrop, Fehrenbracht 15



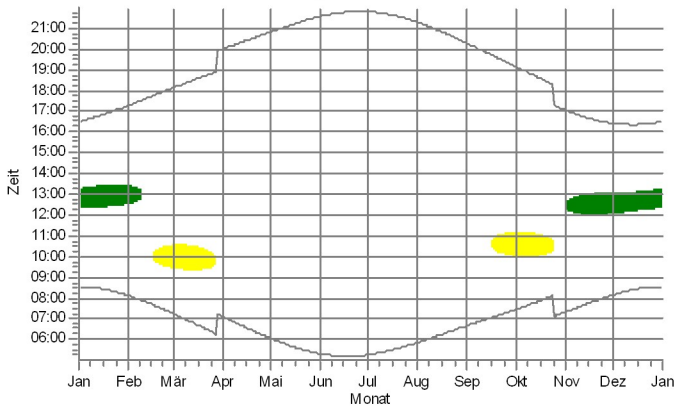
F-07: Finnentrop, Fehrenbracht 1



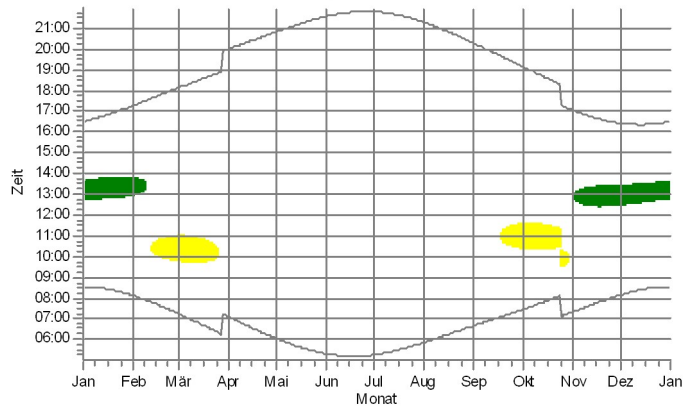
F-08: Finnentrop, Fehrenbracht 13



F-09: Finnentrop, Fehrenbracht 11



F-10: Finnentrop, Fehrenbracht 6



WEA

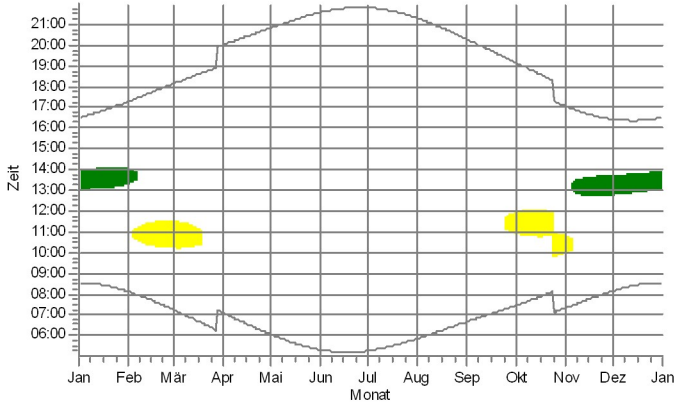
 FH 1: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (6)

 FH 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)

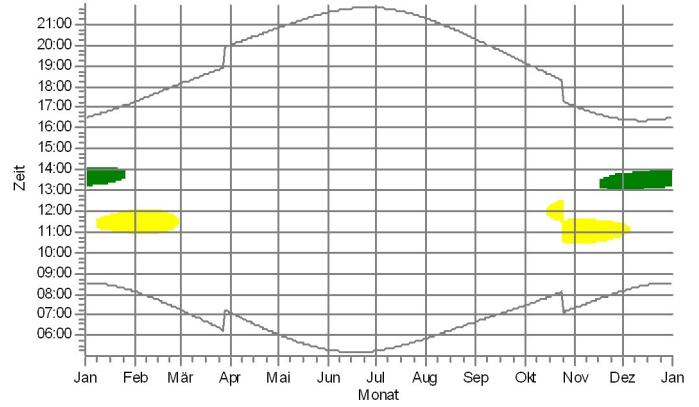
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

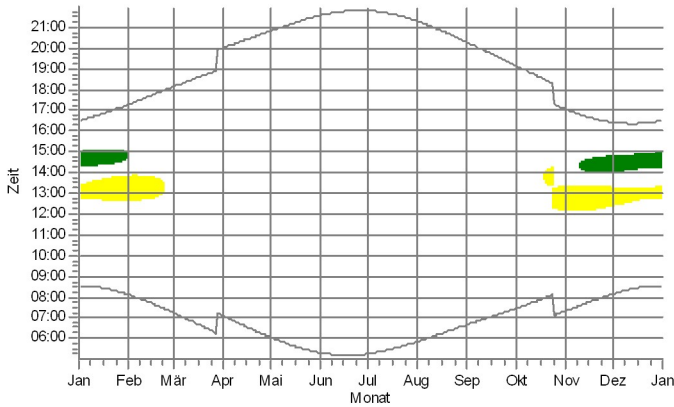
F-11: Finnentrop, Fehrenbracht 7



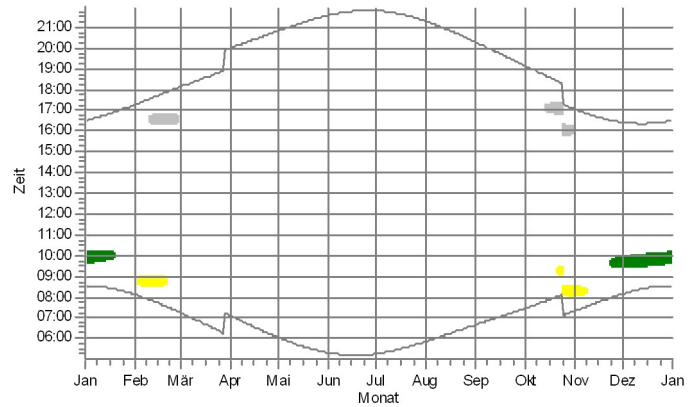
F-12: Finnentrop, Fehrenbracht 16



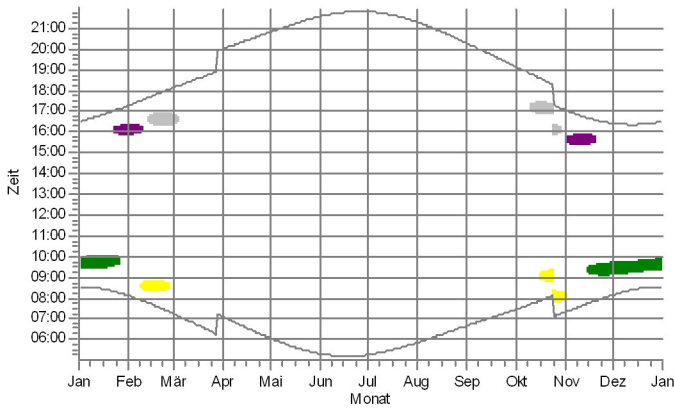
F-13: Finnentrop, Fehrenbracht 9



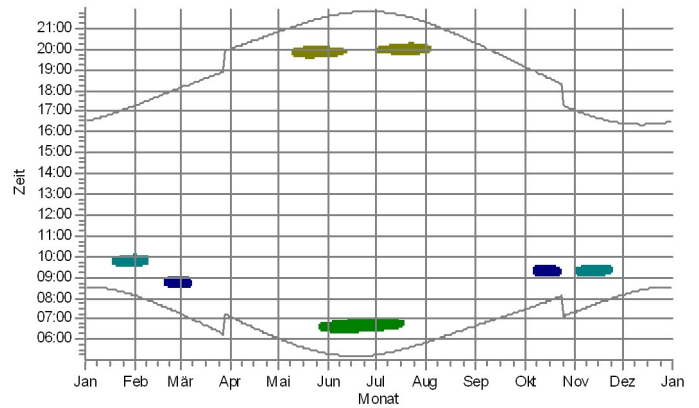
S-1: Schlprüthen, Am Kämpchen 4



S-2: Schlprüthen, Fehrenbrachter Straße 31



Se-1: Serkenrode, Patenbergstraße 60



WEA

- FH 1: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (6)
- FH 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)
- FR 1: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (16)
- FR 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 IO! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (17)

- S2: GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 IO! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (26)
- S3: GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 IO! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (27)
- S4: GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 IO! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (28)

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.

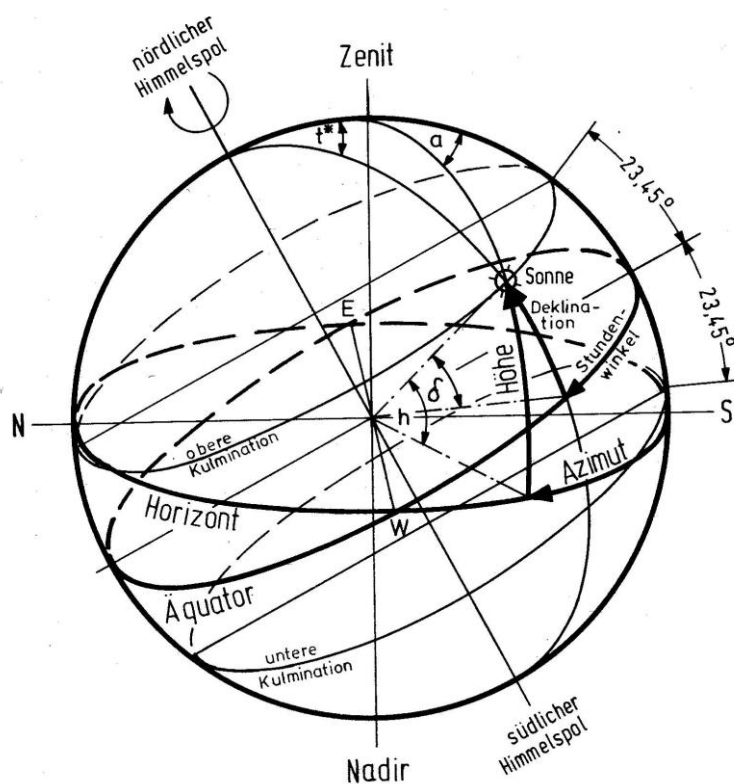


Abbildung 1: Winkelzusammenhänge des Sonnenstands an einem Betrachtungspunkt

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 hinausbewegt. [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.

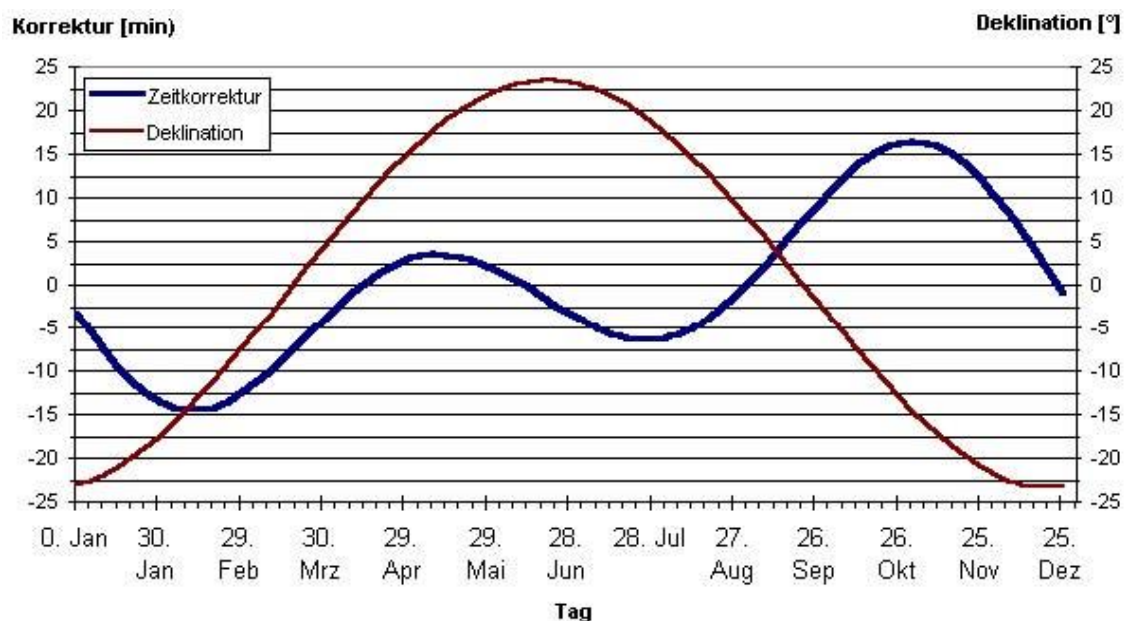


Abbildung 2: Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

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 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.

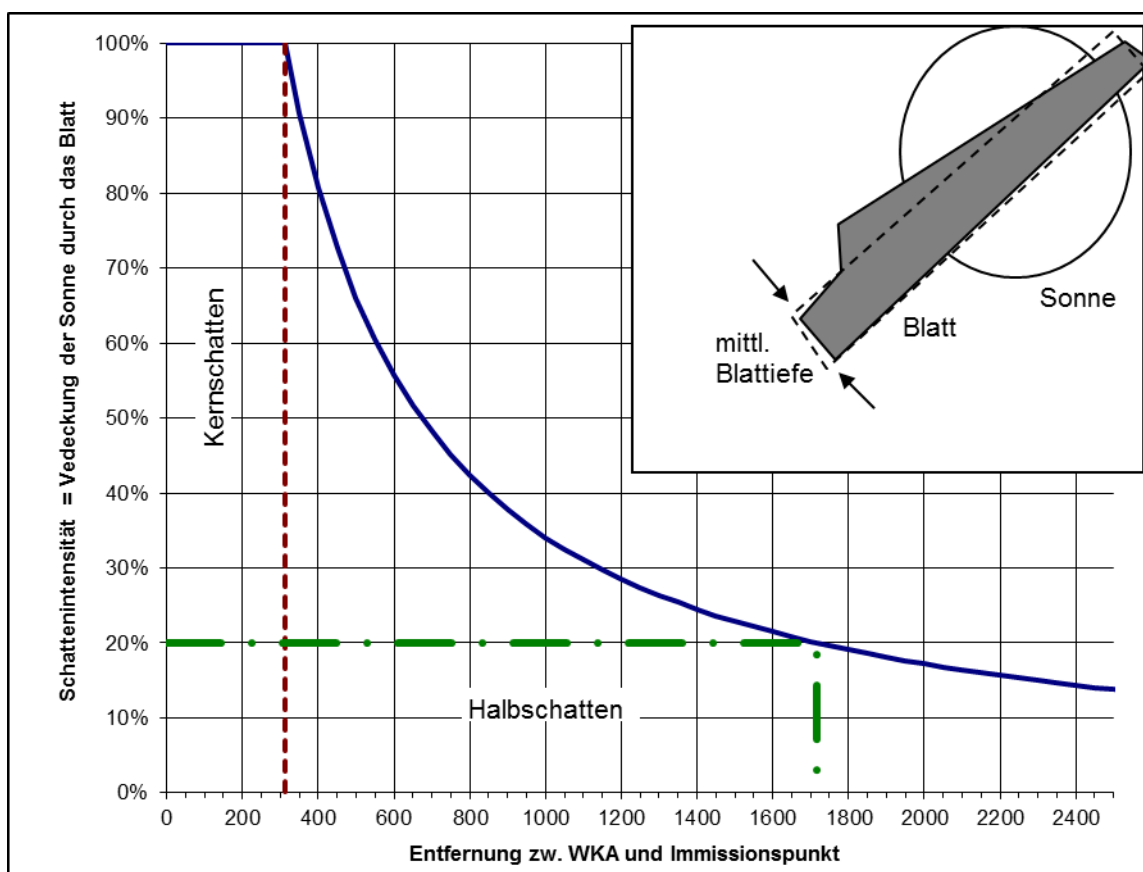


Abbildung 3: Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblattiefe und Entfernung

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)

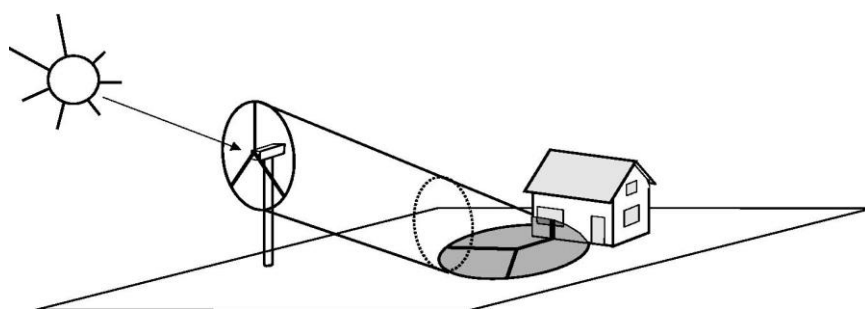


Abbildung 4: Schattenwurf des Rotors

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.

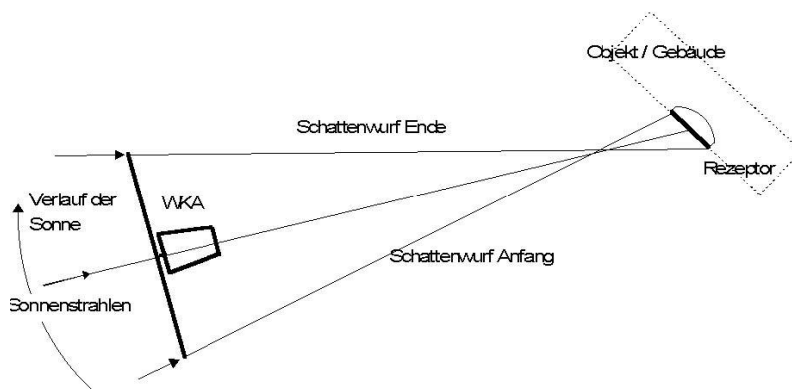


Abbildung 5: Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

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 Schattensendes, 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.

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