

Schattenwurfprognose für
zwei Windenergieanlagen
am Standort
Warstein Alten-Feld
(Nordrhein-Westfalen)

Datum: 22.12.2023

Bericht Nr. 23-1-3161-000-SBe

Auftraggeber:

Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Graf-Zeppelin-Str. 69 | 33181 Bad Wünnenberg

Auftragsnummer: 352006225

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Jeany Behrens M.Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort Warstein Alten-Feld (Nordrhein-Westfalen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im September 2023 von der Energieplan Ost West 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
000	22.12.2023	J. Behrens	Planung von zwei WEA des Typs Vestas V162-7.2

Kassel, 22.12.2023



Jeany Behrens, M.Sc.
(Bearbeiter)



Robin Umminger, M. Sc.
(Prüfer)

Inhalt:

1	Zusammenfassung	4
2	Standort- und WEA-Daten	5
	2.1 Aufgabenstellung	5
	2.2 Immissionsorte	6
	2.3 Immissionsrichtwerte	8
	2.4 Windenergieanlagen	9
3	Schattenwurfberechnungen	10
	3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer	10
	3.2 Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer	11
4	Bewertung der Ergebnisse	14
	4.1 Beurteilung der Berechnungen	14
	4.2 Hinweise zur Abschaltautomatik	14
	4.3 Genauigkeit der Prognose	15
5	Quellenverzeichnis	16
6	Anhang	17

1 Zusammenfassung

Am Windparkstandort Warstein Alten-Feld wurden für 25 Immissionsorte (IO) die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V162-7.2 mit 169 m Nabenhöhe sowie zwei 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 24 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 beide geplanten WEA.

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 Warstein Alten-Feld zwei Windenergieanlagen (WEA) des Typs Vestas V162-7.2 mit 169 m Nabenhöhe zu errichten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten der geplanten WEA

WEA	WEA Hersteller / Typ	Nabenhöhe	Ost	Nord
		[m]	[UTM 32 ETRS89]	
WEA1	Vestas V162-7.2	169	457.762	5.698.286
WEA2	Vestas V162-7.2	169	457.890	5.697.928

In der Nähe des geplanten Standorts existieren bereits zwei weitere WEA bzw. befinden sich in einem fortgeschrittenen Planungsstadium. Diese werden als Vorbelastungen untersucht und werden im folgenden Text als „Vorbelastung“ oder „VB“ bezeichnet (siehe 2.4).

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

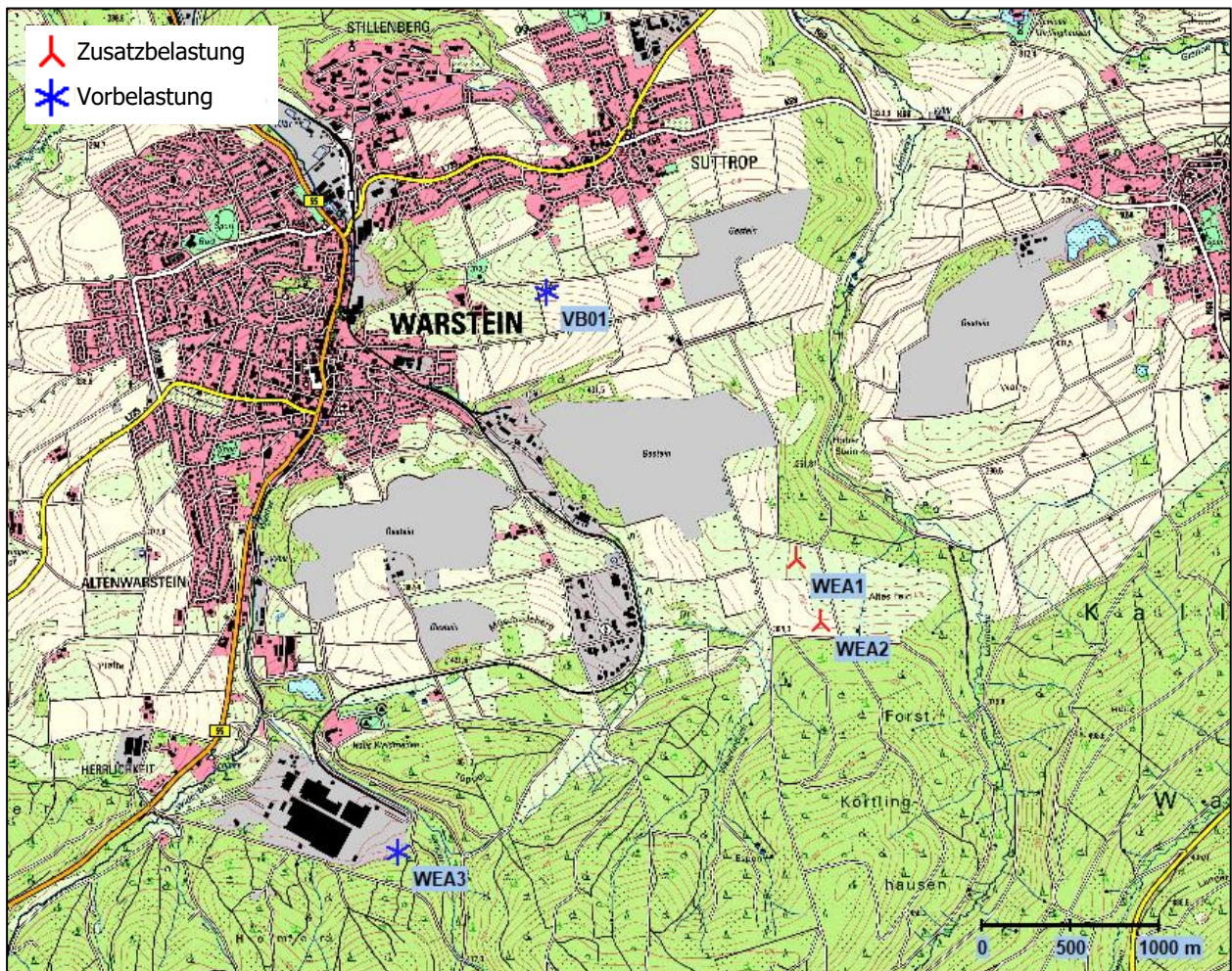


Abbildung 1: Übersichtskarte [4]

Grundlage der Berechnung sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der geplanten WEA (Typ, Nabenhöhe, Koordinaten) sowie die bei der Standortbesichtigung am 06.11.2023 erhobenen Daten über relevante Immissionsorte und deren Umgebung. Das Höhenrelief wurde 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 [5].

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

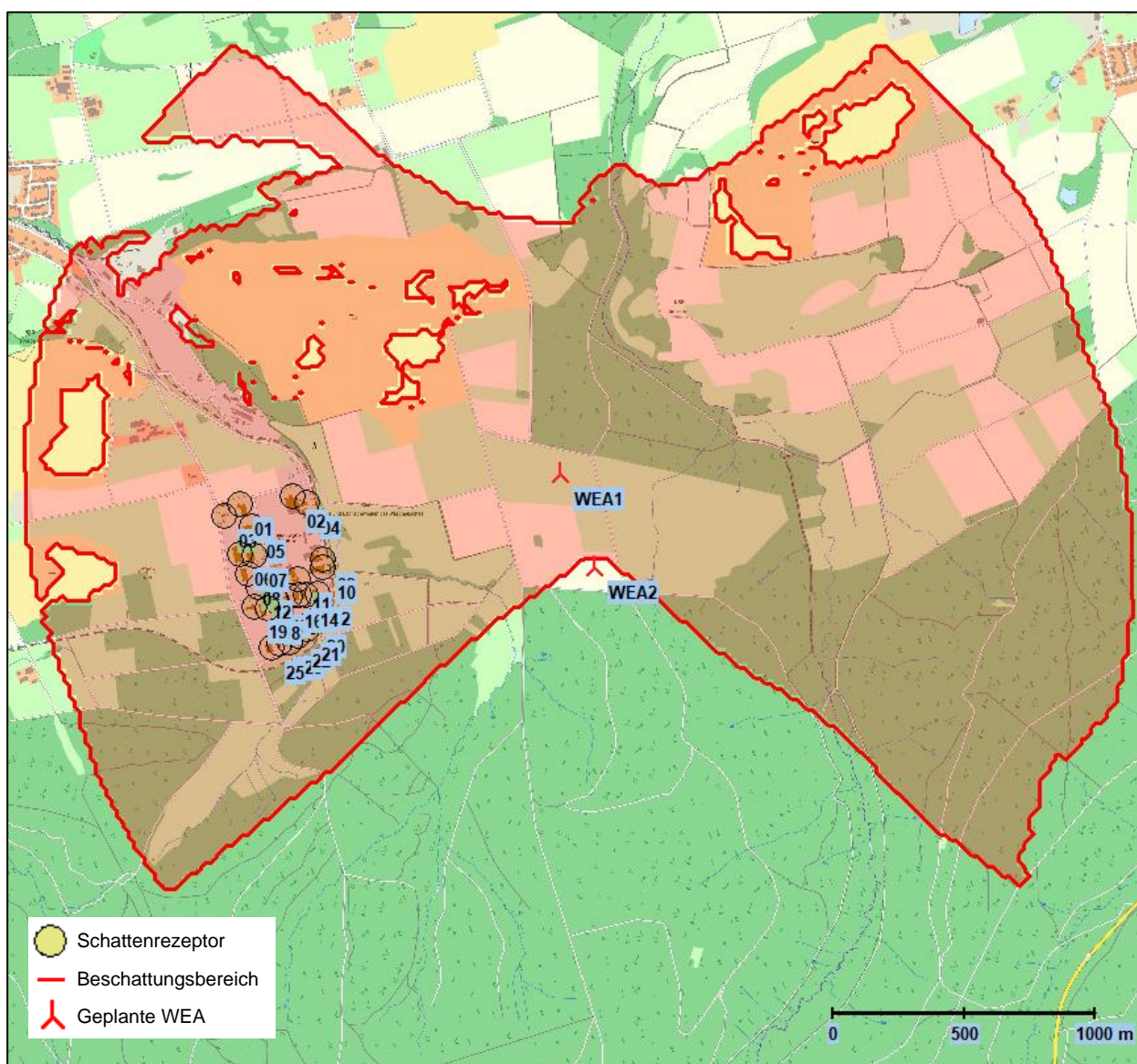


Abbildung 2: Beschattungsbereich der Zusatzbelastung (© Geoglis [6])

Nach diesen Kriterien wurden alle Wohn- und Bürogebäude im schattenkritischen Bereich als relevante Immissionsorte ausgewählt (siehe Abschnitt 3.1). Bei der Standortbesichtigung am 06.11.2023 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.

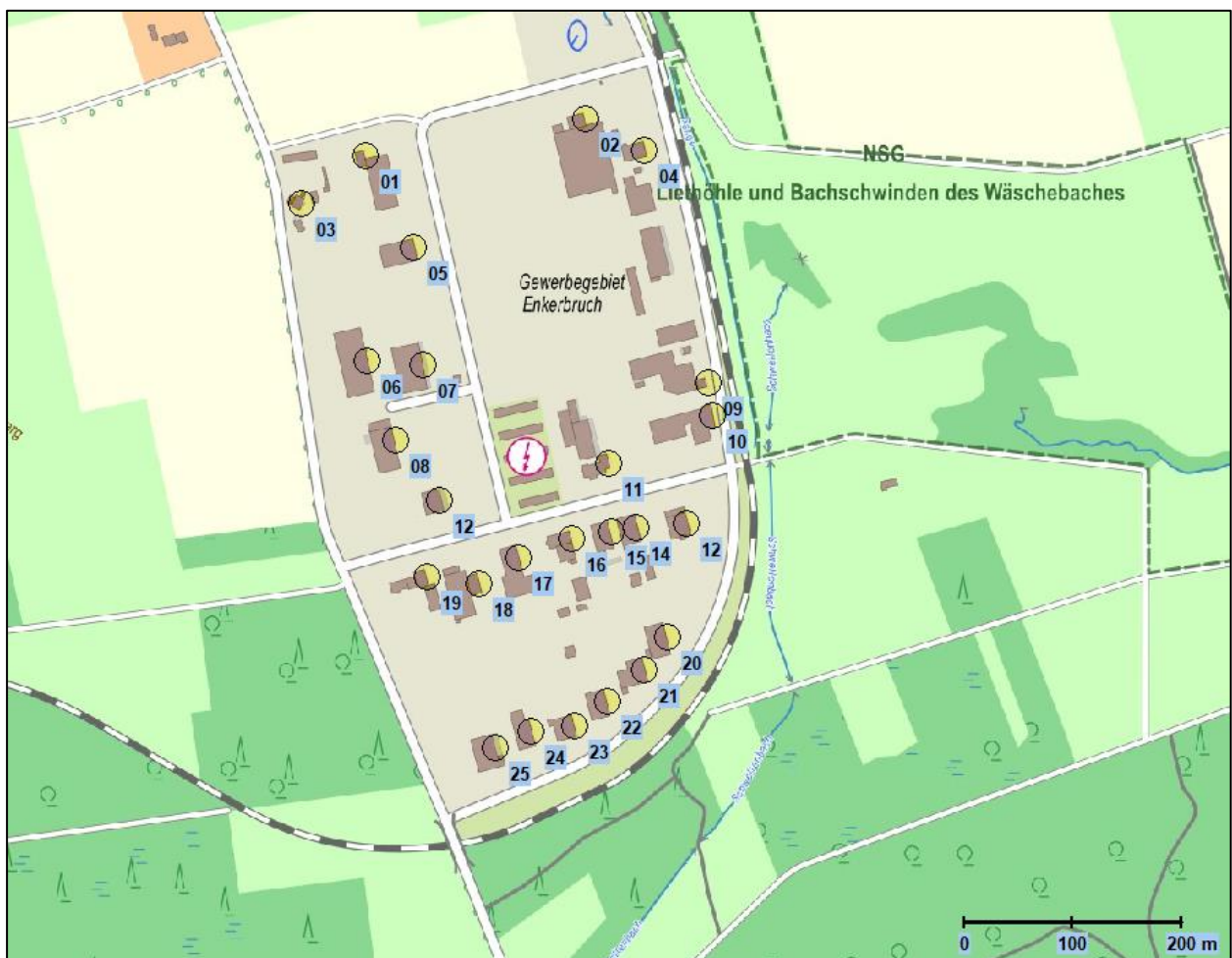


Abbildung 3: Lage der Immissionsorte im Gewerbegebiet Enkerbruch (© Geoglis [6])

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 Warstein Alten-Feld die Errichtung von zwei Windenergieanlagen. Eine weitere WEA (WEA3) wird als relevante Vorbelastungen berücksichtigt. Innerhalb des gemeinsamen Beschattungsbereichs mit der WEA VB01 existiert kein Immissionsort, weshalb diese in den Berechnungen keine Berücksichtigung finden (siehe Berechnung im Anhang).

Die wesentlichen Kenndaten der relevanten 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.

Tabelle 2: Kenndaten Zusatz- und relevante Vorbelastungs-WEA

WEA-Nr.	WEA Typ	NH	RD	max. BT	min. BT	Ø BT	BB	Art
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
WEA1	VESTAS V162-7.2	169	162	4,32	1,68	3,0	2.037	ZB
WEA2	VESTAS V162-7.2	169	162	4,32	1,68	3,0	2.037	ZB
WEA3	VESTAS V172-7.2	175	172	4,35	1,26	2,81	1.903	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 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	Warstein, Enkerbruch 12	2:51	28:38	31:29	0:11	0:31	0:31
02	Warstein, Enkerbruch 2	0:00	40:32	40:32	0:00	0:37	0:37
03	Warstein, Enkerbruch 12a	1:44	26:32	28:16	0:10	0:29	0:29
04	Warstein, Enkerbruch 1	0:00	46:05	46:05	0:00	0:39	0:39
05	Warstein, Enkerbruch 13	11:28	32:12	43:40	0:22	0:32	0:32
06	Warstein, Enkerbruch 16	16:26	31:46	48:12	0:25	0:30	0:30
07	Warstein, Enkerbruch 15	19:08	35:07	54:15	0:25	0:32	0:32
08	Warstein, Enkerbruch 18	22:41	35:30	58:11	0:26	0:31	0:31
09	Warstein, Enkerbruch 3	17:50	77:50	95:40	0:23	0:41	0:41
10	Warstein, Enkerbruch 4	16:17	76:16	92:33	0:23	0:40	0:40

IO	Name	Astron. max. mögl. Beschattungsdauer					
		Std. / Jahr			Std. / Tag		
		VB	ZB	GB	VB	ZB	GB
11	Warstein, Enkerbruch 6	21:30	66:55	88:25	0:24	0:37	0:37
12	Warstein, Enkerbruch 21	14:59	62:16	77:15	0:24	0:39	0:39
12	Warstein, Enkerbruch 21	14:59	62:16	77:15	0:24	0:39	0:39
14	Warstein, Enkerbruch 22	16:43	63:14	79:57	0:24	0:37	0:37
15	Warstein, Enkerbruch 23	17:28	62:51	80:19	0:25	0:36	0:36
16	Warstein, Enkerbruch 24	19:36	61:37	81:13	0:25	0:35	0:35
17	Warstein, Enkerbruch 25	23:17	58:34	81:51	0:26	0:34	0:34
18	Warstein, Enkerbruch 26	25:21	55:38	80:59	0:27	0:32	0:32
19	Warstein, Enkerbruch 27	27:59	51:00	78:59	0:27	0:31	0:31
20	Warstein, Enkerbruch 35	14:12	42:53	57:05	0:25	0:35	0:35
21	Warstein, Enkerbruch 34	14:32	39:28	54:00	0:25	0:34	0:34
22	Warstein, Enkerbruch 33	15:18	38:04	53:22	0:26	0:33	0:33
23	Warstein, Enkerbruch 32	15:55	37:33	53:28	0:26	0:32	0:32
24	Warstein, Enkerbruch 31	17:07	40:08	57:15	0:27	0:31	0:31
25	Warstein, Enkerbruch 30	18:02	40:01	58:03	0:28	0:30	0:30

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 Brilon-Thülen,
- 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
01	Warstein, Enkerbruch 12	0:17	7:14	7:30
02	Warstein, Enkerbruch 2	0:00	10:12	10:12
03	Warstein, Enkerbruch 12a	0:10	6:45	6:55
04	Warstein, Enkerbruch 1	0:00	11:44	11:44
05	Warstein, Enkerbruch 13	1:12	8:18	9:29
06	Warstein, Enkerbruch 16	1:45	8:20	10:03
07	Warstein, Enkerbruch 15	2:04	9:13	11:15
08	Warstein, Enkerbruch 18	2:29	9:28	11:54
09	Warstein, Enkerbruch 3	2:05	20:42	22:44
10	Warstein, Enkerbruch 4	1:57	20:26	22:20
11	Warstein, Enkerbruch 6	2:29	18:01	20:26
12	Warstein, Enkerbruch 21	1:52	16:54	18:44
12	Warstein, Enkerbruch 21	1:52	16:54	18:44
14	Warstein, Enkerbruch 22	2:02	17:09	19:08
15	Warstein, Enkerbruch 23	2:07	17:02	19:06
16	Warstein, Enkerbruch 24	2:20	16:42	18:58
17	Warstein, Enkerbruch 25	2:43	15:53	18:31
18	Warstein, Enkerbruch 26	2:56	15:06	17:56
19	Warstein, Enkerbruch 27	3:11	13:51	16:56
20	Warstein, Enkerbruch 35	1:53	11:41	13:33
21	Warstein, Enkerbruch 34	1:56	10:44	12:40
22	Warstein, Enkerbruch 33	2:03	10:20	12:23
23	Warstein, Enkerbruch 32	2:08	10:11	12:18

IO	Adresse	Beschattungsdauern meteorologisch wahrscheinlich [Std./Jahr]		
		VB	ZB	GB
24	Warstein, Enkerbruch 31	2:16	10:53	13:08
25	Warstein, Enkerbruch 30	2:23	10:51	13:12

4 Bewertung der Ergebnisse

4.1 Beurteilung der Berechnungen

Am Windparkstandort Warstein Alten-Feld wurden für 25 Immissionsorte die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante WEA sowie einer 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 03: An diesem Immissionsort werden alle Richtwerte eingehalten.

IO 01, 02, 04-25: An diesen Immissionsorten werden die Richtwerte ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen durch den Einfluss der Zusatzbelastung überschritten. Die Überschreitung beträgt maximal 65,7 Std./Jahr bzw. 11 Min/Tag.

Aufgrund der berechneten Überschreitungen empfehlen wir die Abschaltung der neu geplanten WEA1 und WEA2 über eine Abschaltautomatik zu steuern (siehe tabellarische und grafische Schattenwurfkalender im Anhang).

4.2 Hinweise zur Abschaltautomatik

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

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

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

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

4.3 Genauigkeit der Prognose

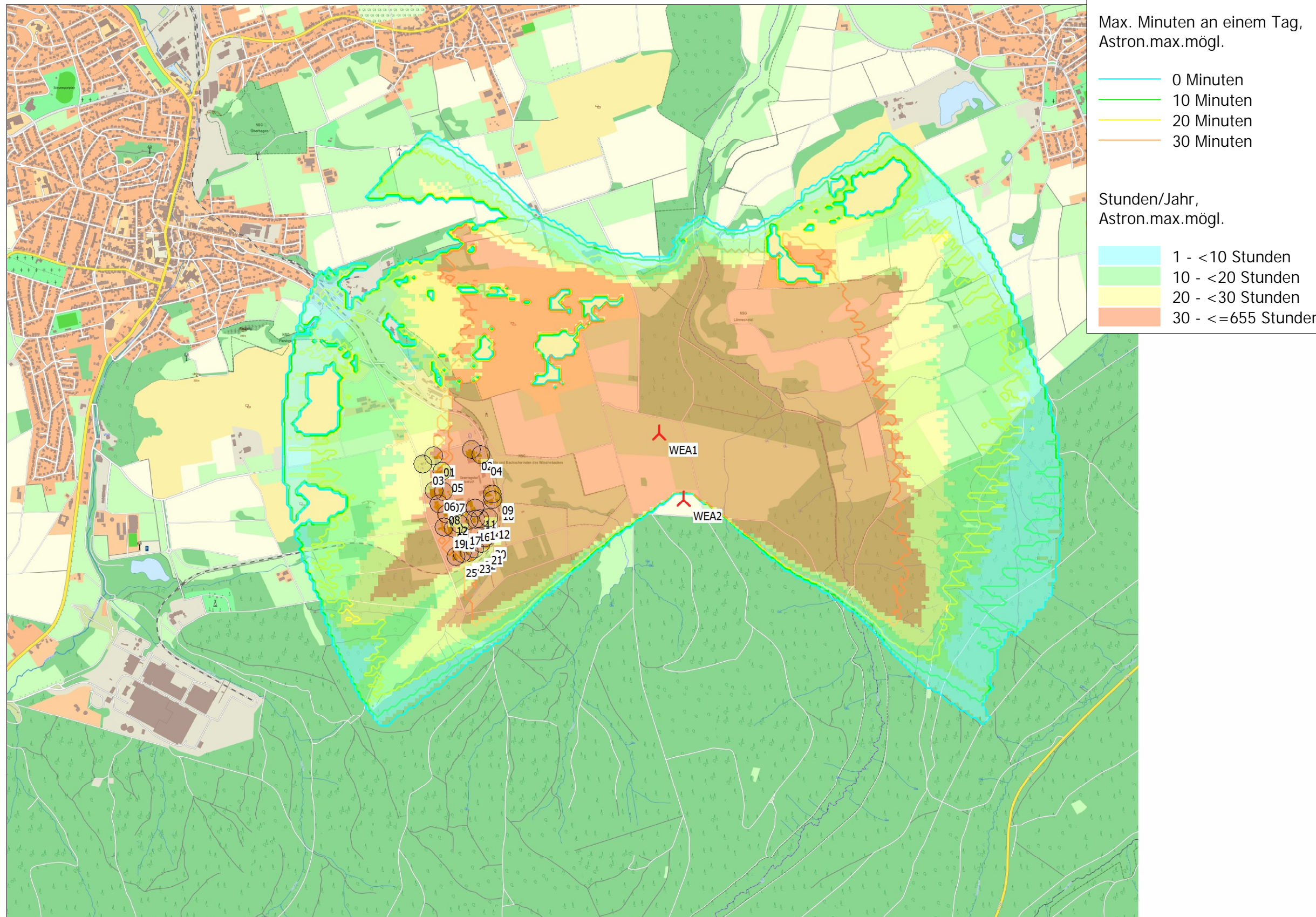
Den Berechnungen nach den Vorgaben der WKA-Schattenwurfhinweise [2] wird ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. In diesem Sinne wird die astronomisch maximal mögliche Beschattung zur Beurteilung herangezogen sowie keine lichtundurchlässigen Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, berücksichtigt. Als Basis für die Bestimmung der Position der Immissionsorte dient Kartenmaterial, das auf den Gebäudeumringen des amtlichen Liegenschaftskataster Deutschland (ALKIS) basiert [6]. Das zugrunde gelegte Höhenmodell entspricht 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 [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] Landesvermessungsamt des jeweiligen Bundeslandes, Topografische Karte im Maßstab 1:25.000, 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] 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.
- [8] J.Pohl, F.Faul, R.Mausfeld, 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 Warstein Alten-Feld
 - Zusatzbelastung
 - Gesamtbelastung
- Berechnungsergebnisse der Beschattungsdauern an den Immissionsorten
 - Vor- und Zusatzbelastung:
 - Hauptergebnis
 - Gesamtbelastung:
 - Hauptergebnis
 - grafische Kalender
- Beschattungskarte für den Windparkstandort Warstein Alten-Feld
 - Irrelevante Vorbelastung
- Akkreditierung
- Theoretische Grundlagen



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

- 0 Minuten
- 10 Minuten
- 20 Minuten
- 30 Minuten

Stunden/Jahr, Astron.max.mögl.

- 1 - <10 Stunden
- 10 - <20 Stunden
- 20 - <30 Stunden
- 30 - <=655 Stunden

Projekt:
 23-1-3161-000
 Energieplan Ost West GmbH & Co.KG
 Graf-Zeppelin-Str. 69
 33181 Bad Wünnenberg
 Beschreibung:
 Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt Warstein, Kreis Soest, Nordrhein-Westfalen

SHADOW - Karte
 Berechnung:
 Zusatzbelastung

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

Berechnet:
 22.11.2023 13:37/3.6.377



0 250 500 750 1000m

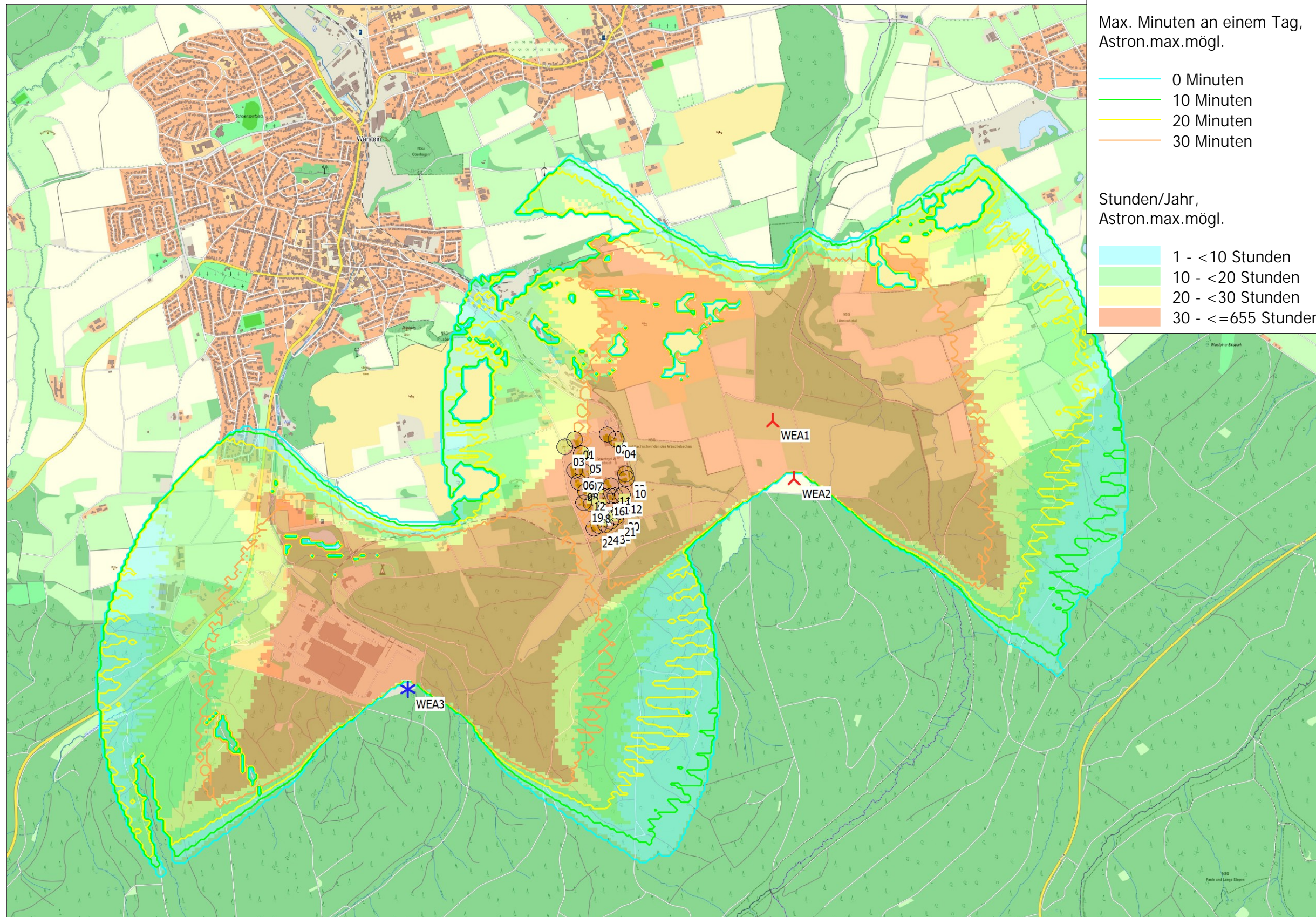
Karte: onmpas , Maßstab 1:22.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 457.810 Nord: 5.698.164

Neue WEA

Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: DGM5

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



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

- 0 Minuten
- 10 Minuten
- 20 Minuten
- 30 Minuten

Stunden/Jahr, Astron.max.mögl.

- 1 - <10 Stunden
- 10 - <20 Stunden
- 20 - <30 Stunden
- 30 - <=655 Stunden

Projekt:
 23-1-3161-000
 Energieplan Ost West GmbH & Co.KG
 Graf-Zeppelin-Str. 69
 33181 Bad Wünnenberg
 Beschreibung:
 Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt Warstein, Kreis Soest, Nordrhein-Westfalen



Karte: onmpas , Maßstab 1:25.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 457.116 Nord: 5.698.073

▲ Neue WEA * Existierende WEA ☼ Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: DGM5

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

SHADOW - Karte
 Berechnung:
 Gesamtbelastung

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

Berechnet:
 22.11.2023 13:40/3.6.377



Projekt:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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



Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 13:42/3.6.377

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

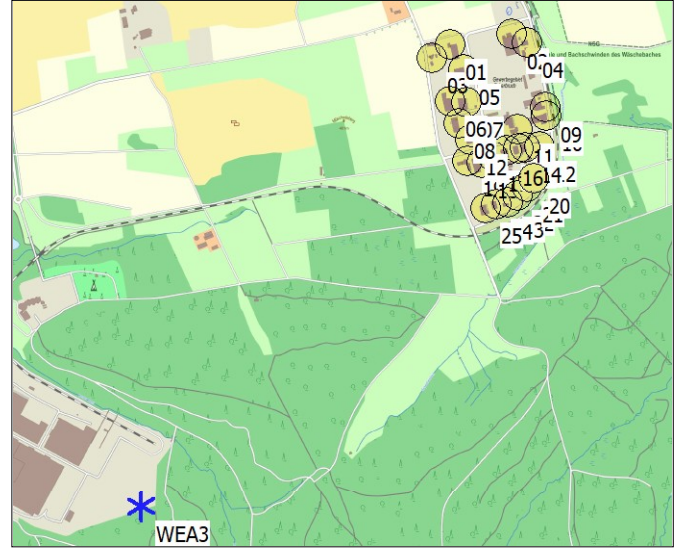
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,58 2,64 3,90 5,63 6,26 6,50 6,48 6,13 4,67 3,19 1,70 1,23

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
545 344 299 448 504 465 609 911 1.388 1.378 977 740 8.608

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

Verwendete Höhenlinien: DGM5
Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:25.000
* Existierende WEA ● Schattenrezeptor

WEA

WEA	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung [kW]	Rotordurchmesser [m]	Nabenhöhe [m]	Schattendaten	
					Ak-tuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich [m]	U/min
WEA3	455.501	5.696.658	397,4	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 ...Ja	VESTAS	V172-7.2-7.200	7.200	172,0	175,0	1.903	9,5	

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
01	Warstein, Enkerbruch 12	456.540	5.698.176	380,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Warstein, Enkerbruch 2	456.743	5.698.208	370,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
03	Warstein, Enkerbruch 12a	456.480	5.698.133	385,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
04	Warstein, Enkerbruch 1	456.796	5.698.180	370,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
05	Warstein, Enkerbruch 13	456.583	5.698.092	383,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
06	Warstein, Enkerbruch 16	456.540	5.697.988	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
07	Warstein, Enkerbruch 15	456.591	5.697.984	387,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
08	Warstein, Enkerbruch 18	456.566	5.697.915	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
09	Warstein, Enkerbruch 3	456.854	5.697.966	375,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
10	Warstein, Enkerbruch 4	456.857	5.697.936	377,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
11	Warstein, Enkerbruch 6	456.761	5.697.893	381,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Warstein, Enkerbruch 21	456.833	5.697.837	381,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Warstein, Enkerbruch 19	456.605	5.697.860	389,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
14	Warstein, Enkerbruch 22	456.786	5.697.833	383,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
15	Warstein, Enkerbruch 23	456.763	5.697.830	384,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
16	Warstein, Enkerbruch 24	456.726	5.697.824	385,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
17	Warstein, Enkerbruch 25	456.678	5.697.806	387,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
18	Warstein, Enkerbruch 26	456.641	5.697.784	389,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
19	Warstein, Enkerbruch 27	456.593	5.697.790	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
20	Warstein, Enkerbruch 35	456.814	5.697.733	382,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
21	Warstein, Enkerbruch 34	456.792	5.697.703	384,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
22	Warstein, Enkerbruch 33	456.757	5.697.674	387,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
23	Warstein, Enkerbruch 32	456.728	5.697.653	388,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
24	Warstein, Enkerbruch 31	456.688	5.697.648	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
25	Warstein, Enkerbruch 30	456.655	5.697.633	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Projekt:

23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:

Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 KasselGraf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:

16.11.2023 13:42/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	Stunden/Jahr [h/a]	
01	Warstein, Enkerbruch 12	2:51	19	0:11	0:17	
02	Warstein, Enkerbruch 2	0:00	0	0:00	0:00	
03	Warstein, Enkerbruch 12a	1:44	14	0:10	0:10	
04	Warstein, Enkerbruch 1	0:00	0	0:00	0:00	
05	Warstein, Enkerbruch 13	11:28	40	0:22	1:12	
06	Warstein, Enkerbruch 16	16:26	48	0:25	1:45	
07	Warstein, Enkerbruch 15	19:08	54	0:25	2:04	
08	Warstein, Enkerbruch 18	22:41	60	0:26	2:29	
09	Warstein, Enkerbruch 3	17:50	67	0:23	2:05	
10	Warstein, Enkerbruch 4	16:17	58	0:23	1:57	
11	Warstein, Enkerbruch 6	21:30	76	0:24	2:29	
12	Warstein, Enkerbruch 21	14:59	50	0:24	1:52	
12	Warstein, Enkerbruch 19	26:05	68	0:26	2:55	
14	Warstein, Enkerbruch 22	16:43	55	0:24	2:02	
15	Warstein, Enkerbruch 23	17:28	56	0:25	2:07	
16	Warstein, Enkerbruch 24	19:36	64	0:25	2:20	
17	Warstein, Enkerbruch 25	23:17	80	0:26	2:43	
18	Warstein, Enkerbruch 26	25:21	80	0:27	2:56	
19	Warstein, Enkerbruch 27	27:59	76	0:27	3:11	
20	Warstein, Enkerbruch 35	14:12	46	0:25	1:53	
21	Warstein, Enkerbruch 34	14:32	46	0:25	1:56	
22	Warstein, Enkerbruch 33	15:18	46	0:26	2:03	
23	Warstein, Enkerbruch 32	15:55	47	0:26	2:08	
24	Warstein, Enkerbruch 31	17:07	50	0:27	2:16	
25	Warstein, Enkerbruch 30	18:02	52	0:28	2:23	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name		Maximal	Erwartet
			[h/a]	[h/a]
	WEA3 VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! NH: 175,0 m (Ges:261,0 m) (1)		74:49	8:49

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:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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



Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 11:17/3.6.377

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

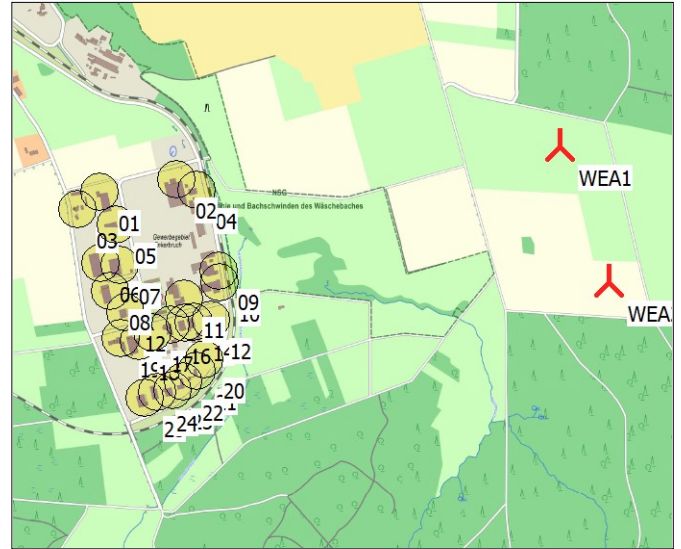
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,58 2,64 3,90 5,63 6,26 6,50 6,48 6,13 4,67 3,19 1,70 1,23

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
545 344 299 448 504 465 609 911 1.388 1.378 977 740 8.608

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

Verwendete Höhenlinien: DGM5
Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:20.000
Neue WEA Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung [kW]	Rotordurchmesser [m]	Nabenhöhe [m]	Schattendaten	
					Ak-tuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich [m]	U/min [U/min]
WEA1	457.762	5.698.286	386,6	VESTAS V162-7.2 7200 162.0 ...Ja	...	VESTAS	V162-7.2-7.200	7.200	162,0	169,0	2.037	9,5
WEA2	457.890	5.697.928	391,1	VESTAS V162-7.2 7200 162.0 ...Ja	...	VESTAS	V162-7.2-7.200	7.200	162,0	169,0	2.037	9,5

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
01	Warstein, Enkerbruch 12	456.540	5.698.176	380,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Warstein, Enkerbruch 2	456.743	5.698.208	370,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
03	Warstein, Enkerbruch 12a	456.480	5.698.133	385,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
04	Warstein, Enkerbruch 1	456.796	5.698.180	370,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
05	Warstein, Enkerbruch 13	456.583	5.698.092	383,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
06	Warstein, Enkerbruch 16	456.540	5.697.988	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
07	Warstein, Enkerbruch 15	456.591	5.697.984	387,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
08	Warstein, Enkerbruch 18	456.566	5.697.915	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
09	Warstein, Enkerbruch 3	456.854	5.697.966	375,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
10	Warstein, Enkerbruch 4	456.857	5.697.936	377,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
11	Warstein, Enkerbruch 6	456.761	5.697.893	381,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Warstein, Enkerbruch 21	456.833	5.697.837	381,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Warstein, Enkerbruch 19	456.605	5.697.860	389,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
14	Warstein, Enkerbruch 22	456.786	5.697.833	383,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
15	Warstein, Enkerbruch 23	456.763	5.697.830	384,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
16	Warstein, Enkerbruch 24	456.726	5.697.824	385,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
17	Warstein, Enkerbruch 25	456.678	5.697.806	387,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
18	Warstein, Enkerbruch 26	456.641	5.697.784	389,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
19	Warstein, Enkerbruch 27	456.593	5.697.790	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
20	Warstein, Enkerbruch 35	456.814	5.697.733	382,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
21	Warstein, Enkerbruch 34	456.792	5.697.703	384,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
22	Warstein, Enkerbruch 33	456.757	5.697.674	387,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
23	Warstein, Enkerbruch 32	456.728	5.697.653	388,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
24	Warstein, Enkerbruch 31	456.688	5.697.648	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
25	Warstein, Enkerbruch 30	456.655	5.697.633	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Projekt:

23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:

Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consruch-Straße 3
DE-34131 KasselGraf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:

16.11.2023 11:17/3.6.377

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]	
01	Warstein, Enkerbruch 12	28:38	76	0:31	7:14	
02	Warstein, Enkerbruch 2	40:32	91	0:37	10:12	
03	Warstein, Enkerbruch 12a	26:32	75	0:29	6:45	
04	Warstein, Enkerbruch 1	46:05	100	0:39	11:44	
05	Warstein, Enkerbruch 13	32:12	83	0:32	8:18	
06	Warstein, Enkerbruch 16	31:46	84	0:30	8:20	
07	Warstein, Enkerbruch 15	35:07	89	0:32	9:13	
08	Warstein, Enkerbruch 18	35:30	92	0:31	9:28	
09	Warstein, Enkerbruch 3	77:50	145	0:41	20:42	
10	Warstein, Enkerbruch 4	76:16	139	0:40	20:26	
11	Warstein, Enkerbruch 6	66:55	138	0:37	18:01	
12	Warstein, Enkerbruch 21	62:16	121	0:39	16:54	
12	Warstein, Enkerbruch 19	42:24	109	0:32	11:28	
14	Warstein, Enkerbruch 22	63:14	125	0:37	17:09	
15	Warstein, Enkerbruch 23	62:51	126	0:36	17:02	
16	Warstein, Enkerbruch 24	61:37	128	0:35	16:42	
17	Warstein, Enkerbruch 25	58:34	130	0:34	15:53	
18	Warstein, Enkerbruch 26	55:38	128	0:32	15:06	
19	Warstein, Enkerbruch 27	51:00	132	0:31	13:51	
20	Warstein, Enkerbruch 35	42:53	100	0:35	11:41	
21	Warstein, Enkerbruch 34	39:28	96	0:34	10:44	
22	Warstein, Enkerbruch 33	38:04	97	0:33	10:20	
23	Warstein, Enkerbruch 32	37:33	96	0:32	10:11	
24	Warstein, Enkerbruch 31	40:08	100	0:31	10:53	
25	Warstein, Enkerbruch 30	40:01	101	0:30	10:51	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name			Maximal	Erwartet
				[h/a]	[h/a]
WEA1	VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O!	NH: 169,0 m (Ges:250,0 m)	(1)	162:20	44:08
WEA2	VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O!	NH: 169,0 m (Ges:250,0 m)	(2)	110:13	28:15

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:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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



Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 13:47/3.6.377

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

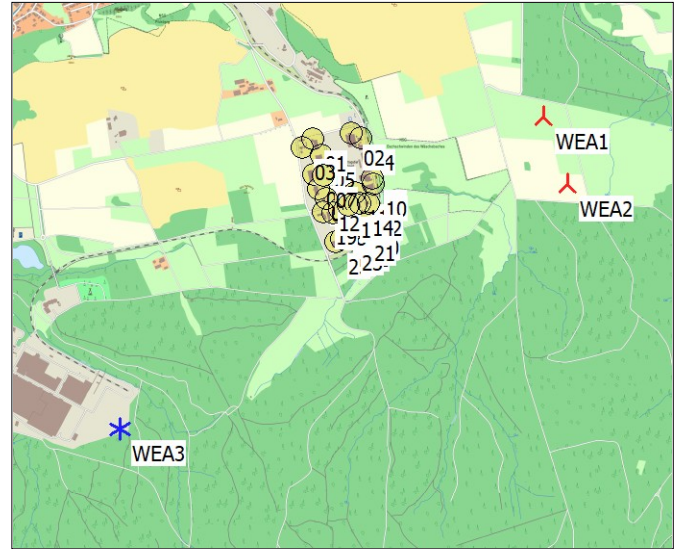
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,58 2,64 3,90 5,63 6,26 6,50 6,48 6,13 4,67 3,19 1,70 1,23

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
545 344 299 448 504 465 609 911 1.388 1.378 977 740 8.608

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

Verwendete Höhenlinien: DGM5
Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:40.000

▲ Neue WEA
● Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung [kW]	Rotordurchmesser [m]	Nabenhöhe [m]	Schattendaten	
					Ak-tuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich [m]	U/min
WEA1	457.762	5.698.286	386,6	VESTAS V162-7.2 7200 162.0 ...Ja	VESTAS	V162-7.2-7.200	7.200	162,0	169,0	2.037	9,5	
WEA2	457.890	5.697.928	391,1	VESTAS V162-7.2 7200 162.0 ...Ja	VESTAS	V162-7.2-7.200	7.200	162,0	169,0	2.037	9,5	
WEA3	455.501	5.696.658	397,4	VESTAS V172-7.2 7200 172.0 ...Ja	VESTAS	V172-7.2-7.200	7.200	172,0	175,0	1.903	9,5	

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
		[m]			[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
01	Warstein, Enkerbruch 12	456.540	5.698.176	380,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
02	Warstein, Enkerbruch 2	456.743	5.698.208	370,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
03	Warstein, Enkerbruch 12a	456.480	5.698.133	385,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
04	Warstein, Enkerbruch 1	456.796	5.698.180	370,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
05	Warstein, Enkerbruch 13	456.583	5.698.092	383,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
06	Warstein, Enkerbruch 16	456.540	5.697.988	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
07	Warstein, Enkerbruch 15	456.591	5.697.984	387,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
08	Warstein, Enkerbruch 18	456.566	5.697.915	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
09	Warstein, Enkerbruch 3	456.854	5.697.966	375,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
10	Warstein, Enkerbruch 4	456.857	5.697.936	377,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
11	Warstein, Enkerbruch 6	456.761	5.697.893	381,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Warstein, Enkerbruch 21	456.833	5.697.837	381,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
12	Warstein, Enkerbruch 19	456.605	5.697.860	389,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
14	Warstein, Enkerbruch 22	456.786	5.697.833	383,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
15	Warstein, Enkerbruch 23	456.763	5.697.830	384,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
16	Warstein, Enkerbruch 24	456.726	5.697.824	385,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
17	Warstein, Enkerbruch 25	456.678	5.697.806	387,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
18	Warstein, Enkerbruch 26	456.641	5.697.784	389,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
19	Warstein, Enkerbruch 27	456.593	5.697.790	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
20	Warstein, Enkerbruch 35	456.814	5.697.733	382,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
21	Warstein, Enkerbruch 34	456.792	5.697.703	384,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
22	Warstein, Enkerbruch 33	456.757	5.697.674	387,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
23	Warstein, Enkerbruch 32	456.728	5.697.653	388,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
24	Warstein, Enkerbruch 31	456.688	5.697.648	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
25	Warstein, Enkerbruch 30	456.655	5.697.633	390,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Projekt:

23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:

Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 KasselGraf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:

16.11.2023 13:47/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	Stunden/Jahr [h/a]	
01	Warstein, Enkerbruch 12	31:29	95	0:31	7:30	
02	Warstein, Enkerbruch 2	40:32	91	0:37	10:12	
03	Warstein, Enkerbruch 12a	28:16	89	0:29	6:55	
04	Warstein, Enkerbruch 1	46:05	100	0:39	11:44	
05	Warstein, Enkerbruch 13	43:40	123	0:32	9:29	
06	Warstein, Enkerbruch 16	48:12	132	0:30	10:03	
07	Warstein, Enkerbruch 15	54:15	143	0:32	11:15	
08	Warstein, Enkerbruch 18	58:11	152	0:31	11:54	
09	Warstein, Enkerbruch 3	95:40	212	0:41	22:44	
10	Warstein, Enkerbruch 4	92:33	197	0:40	22:20	
11	Warstein, Enkerbruch 6	88:25	214	0:37	20:26	
12	Warstein, Enkerbruch 21	77:15	171	0:39	18:44	
12	Warstein, Enkerbruch 19	68:29	177	0:32	14:19	
14	Warstein, Enkerbruch 22	79:57	180	0:37	19:08	
15	Warstein, Enkerbruch 23	80:19	182	0:36	19:06	
16	Warstein, Enkerbruch 24	81:13	192	0:35	18:58	
17	Warstein, Enkerbruch 25	81:51	210	0:34	18:31	
18	Warstein, Enkerbruch 26	80:59	208	0:32	17:56	
19	Warstein, Enkerbruch 27	78:59	208	0:31	16:56	
20	Warstein, Enkerbruch 35	57:05	146	0:35	13:33	
21	Warstein, Enkerbruch 34	54:00	142	0:34	12:40	
22	Warstein, Enkerbruch 33	53:22	143	0:33	12:23	
23	Warstein, Enkerbruch 32	53:28	143	0:32	12:18	
24	Warstein, Enkerbruch 31	57:15	150	0:31	13:08	
25	Warstein, Enkerbruch 30	58:03	153	0:30	13:12	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name			Maximal	Erwartet
				[h/a]	[h/a]
WEA1	VESTAS V162-7.2 7200	162.0	!O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (1)	162:20	44:08
WEA2	VESTAS V162-7.2 7200	162.0	!O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (2)	110:13	28:15
WEA3	VESTAS V172-7.2 7200	172.0	!O! NH: 175,0 m (Ges:261,0 m) (1)	74:49	8:49

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:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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



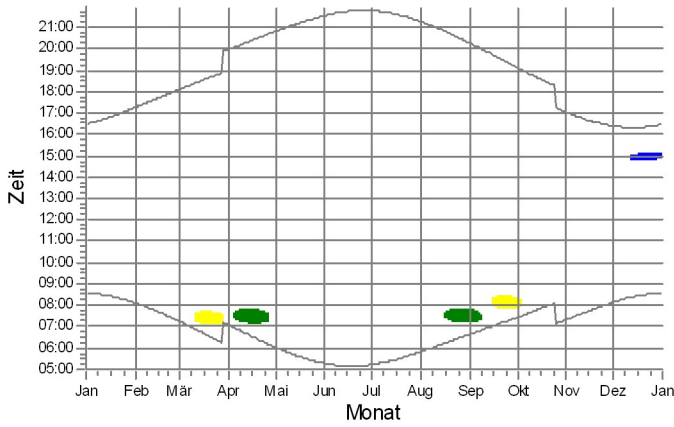
Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 13:47/3.6.377

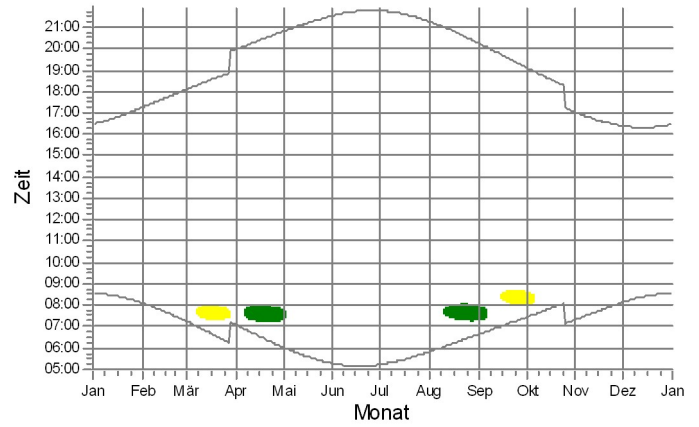
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

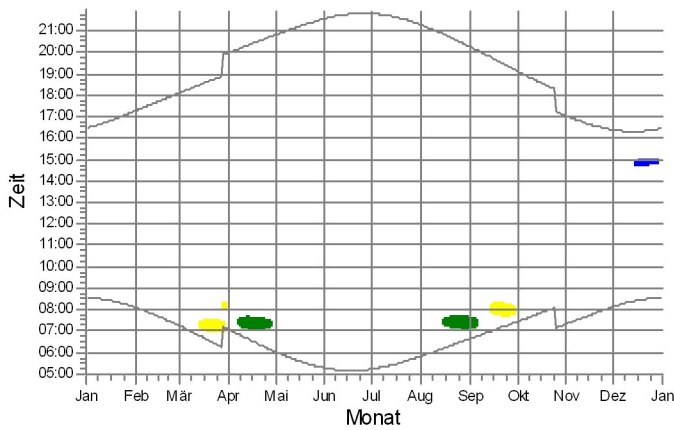
01: Warstein, Enkerbruch 12



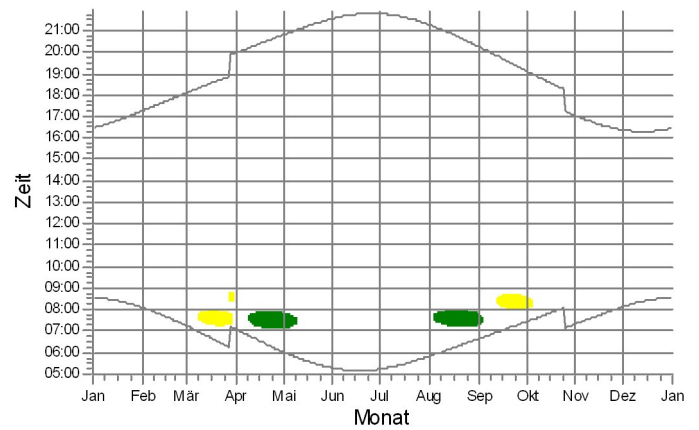
02: Warstein, Enkerbruch 2



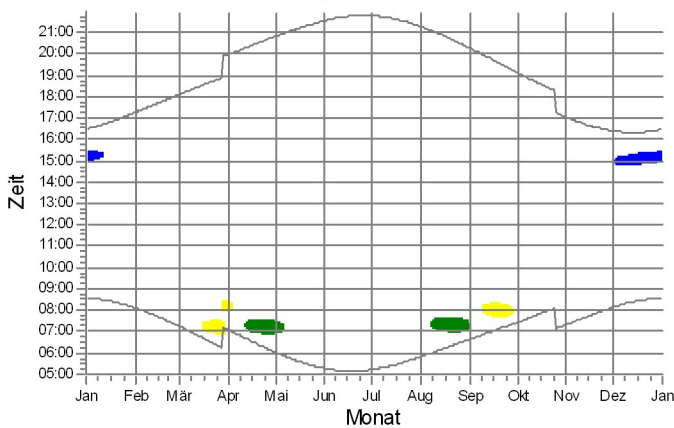
03: Warstein, Enkerbruch 12a



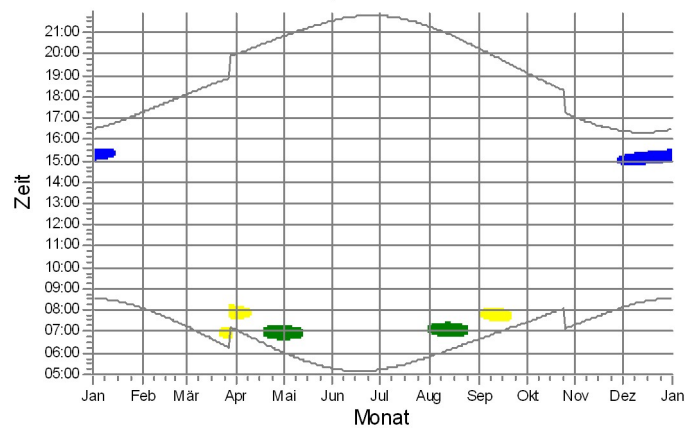
04: Warstein, Enkerbruch 1



05: Warstein, Enkerbruch 13



06: Warstein, Enkerbruch 16



WEA

- WEA1: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (1)
- WEA2: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (2)
- WEA3: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! NH: 175,0 m (Ges:261,0 m) (1)

Projekt:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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



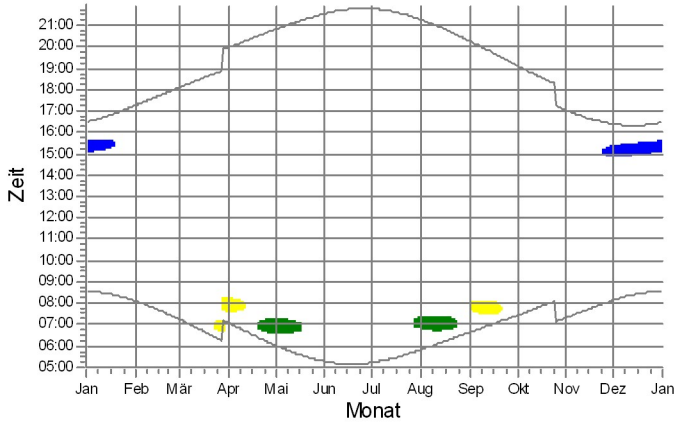
Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 13:47/3.6.377

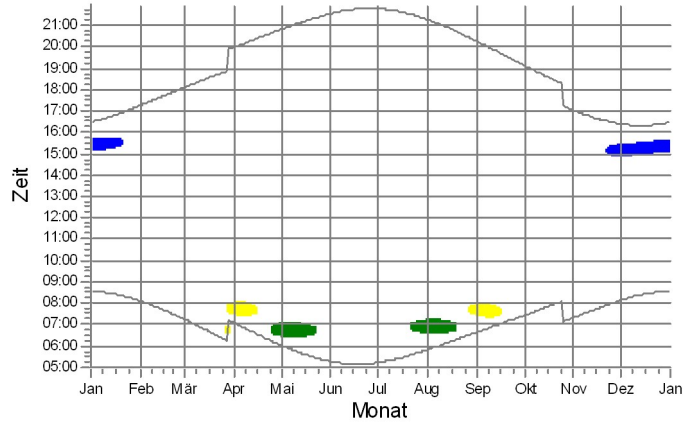
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

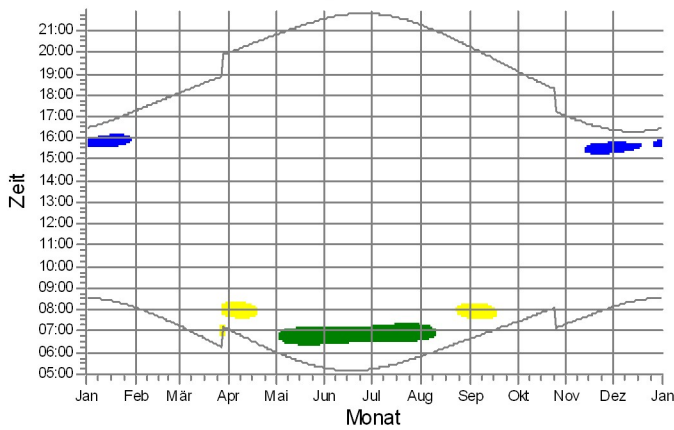
07: Warstein, Enkerbruch 15



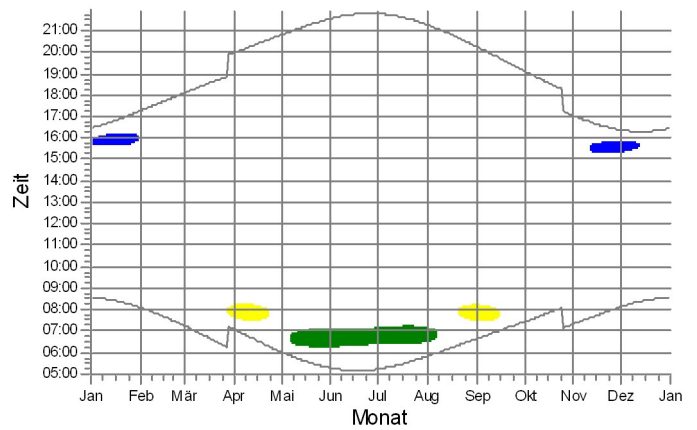
08: Warstein, Enkerbruch 18



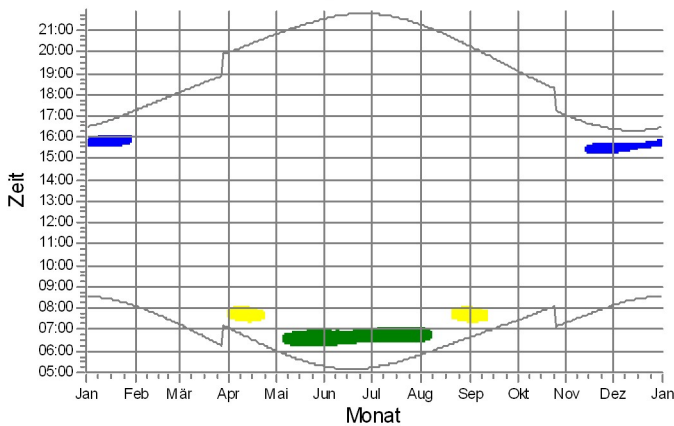
09: Warstein, Enkerbruch 3



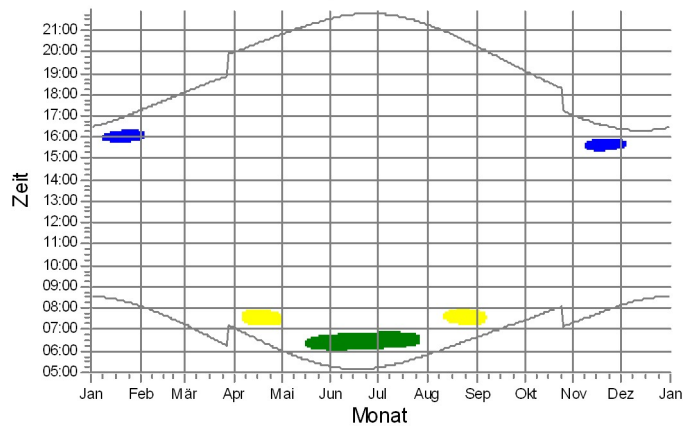
10: Warstein, Enkerbruch 4



11: Warstein, Enkerbruch 6



12: Warstein, Enkerbruch 21



WEA

- WEA1: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (1)
- WEA2: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (2)
- WEA3: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! NH: 175,0 m (Ges:261,0 m) (1)

Projekt:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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



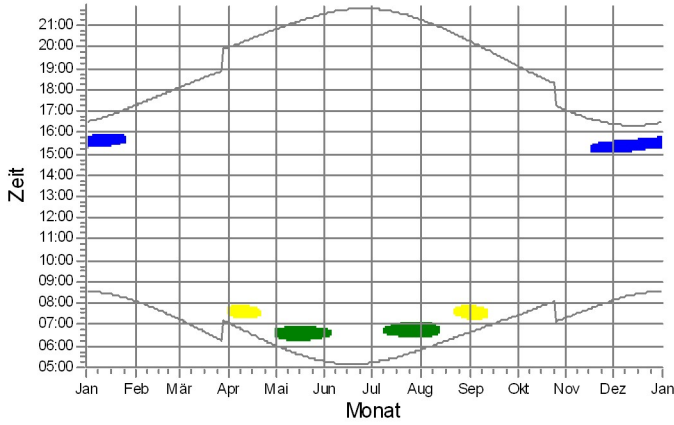
Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 13:47/3.6.377

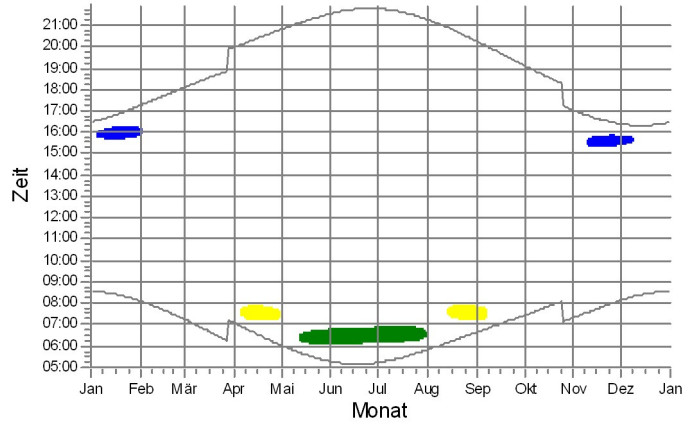
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

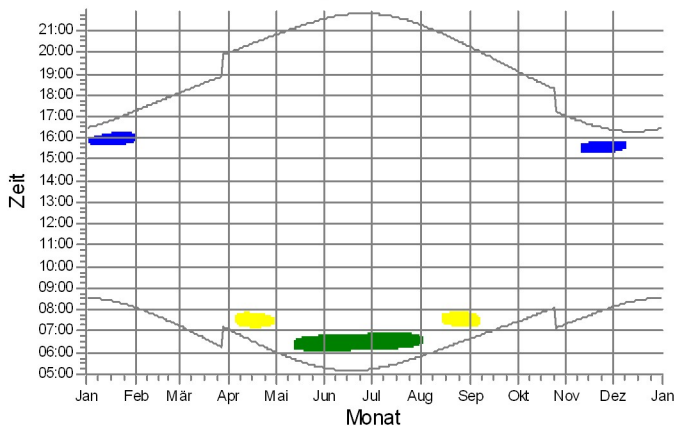
12: Warstein, Enkerbruch 19



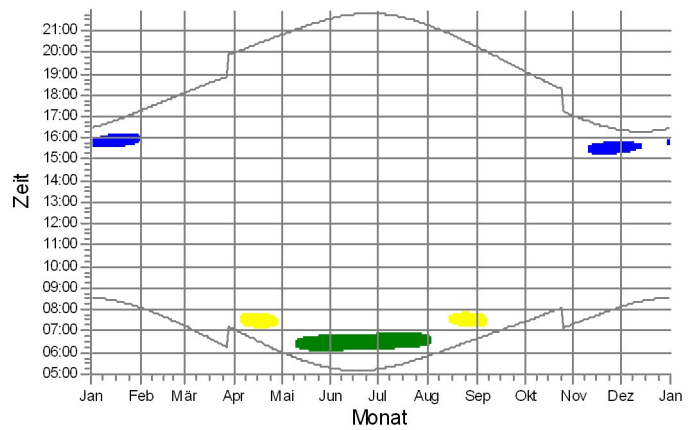
14: Warstein, Enkerbruch 22



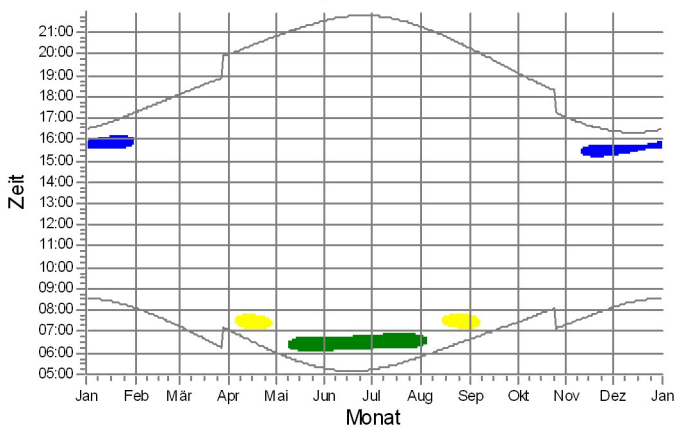
15: Warstein, Enkerbruch 23



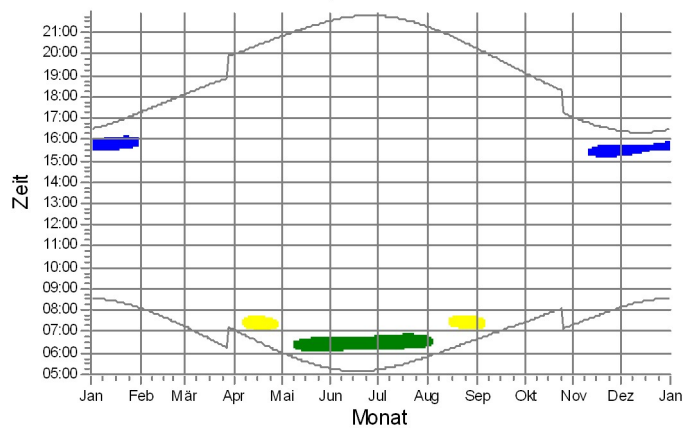
16: Warstein, Enkerbruch 24



17: Warstein, Enkerbruch 25



18: Warstein, Enkerbruch 26



WEA

- WEA1: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (1)
- WEA2: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (2)
- WEA3: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! NH: 175,0 m (Ges:261,0 m) (1)

Projekt:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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



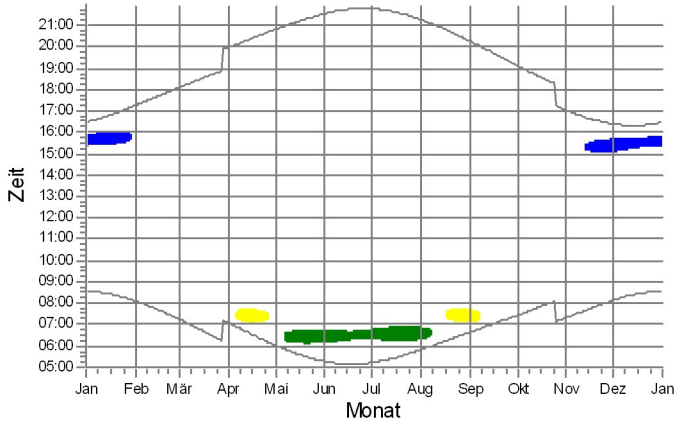
Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 13:47/3.6.377

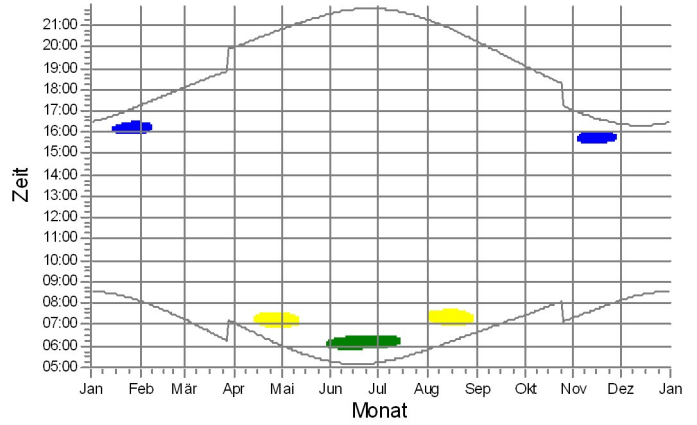
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

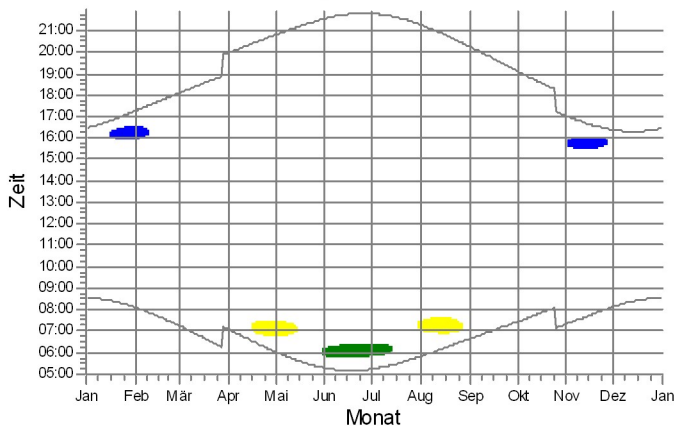
19: Warstein, Enkerbruch 27



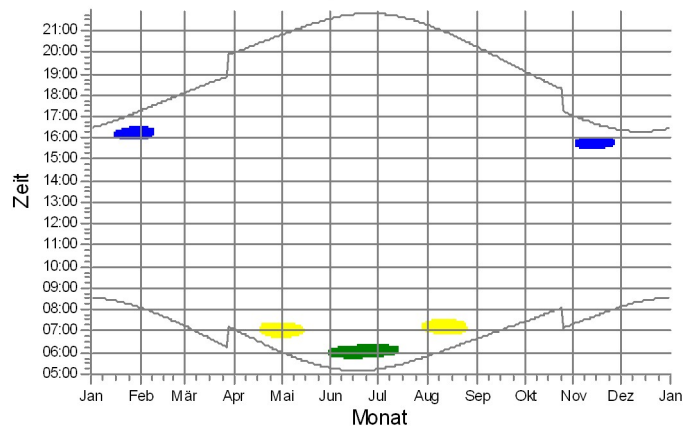
20: Warstein, Enkerbruch 35



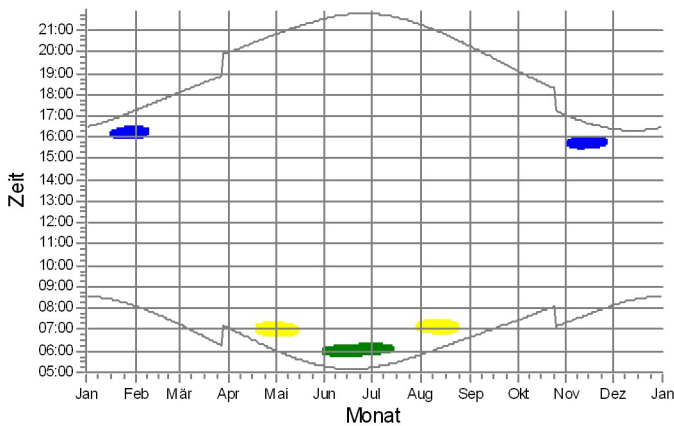
21: Warstein, Enkerbruch 34



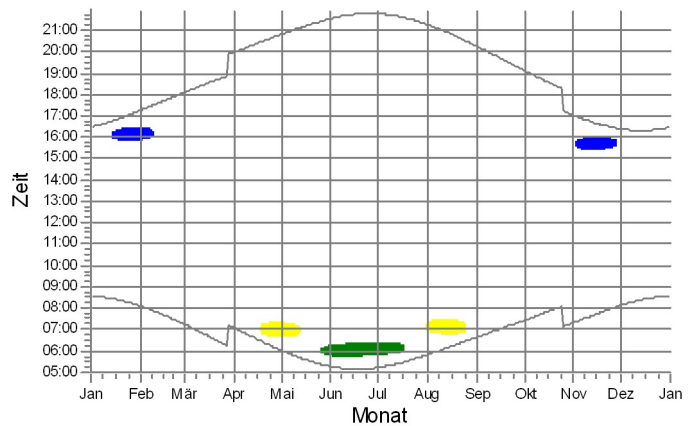
22: Warstein, Enkerbruch 33



23: Warstein, Enkerbruch 32



24: Warstein, Enkerbruch 31



WEA

- WEA1: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (1)
- WEA2: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (2)
- WEA3: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! NH: 175,0 m (Ges:261,0 m) (1)

Projekt:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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

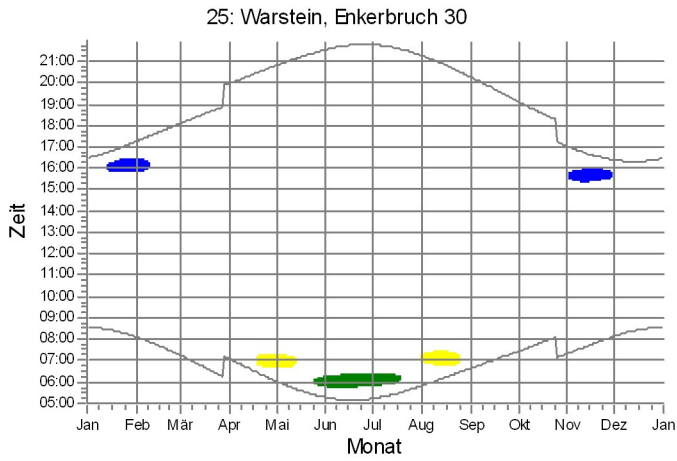


Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 13:47/3.6.377

SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung



WEA

- WEA1: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (1)
- WEA2: VESTAS V162-7.2 7200 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (2)
- WEA3: VESTAS V172-7.2 7200 172.0 !O! NH: 175,0 m (Ges:261,0 m) (1)

Projekt:
23-1-3161-000
Energieplan Ost West GmbH & Co.KG

Beschreibung:
Windpark Warstein Alten-Feld, Stadt
Warstein, Kreis Soest,
Nordrhein-Westfalen

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

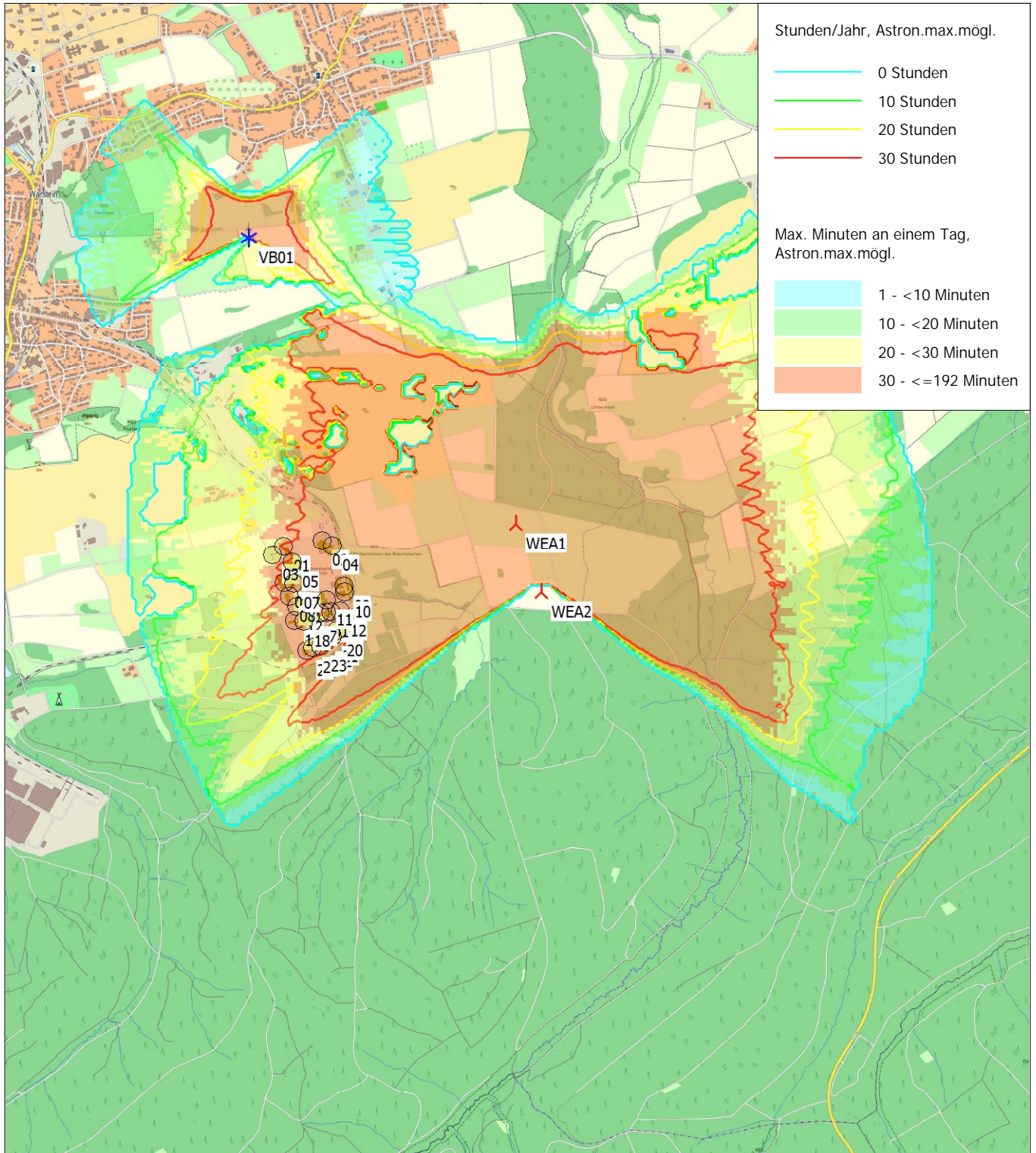


Graf-Zeppelin-Str. 69
33181 Bad Wünnenberg

Berechnet:
16.11.2023 14:03/3.6.377

SHADOW - Karte

Berechnung: Irrelevante Vorbelastung



0 500 1000 1500 2000 m

Karte: onmpas , Maßstab 1:30.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 457.780 Nord: 5.698.020

▲ Neue WEA

* Existierende WEA

● Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: DGM5

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

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.

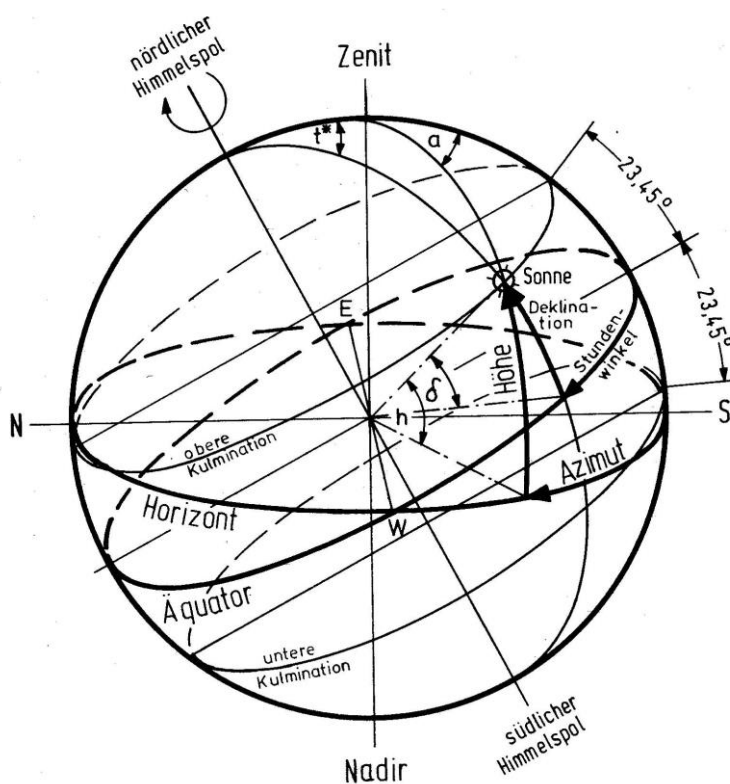


Abbildung 1: Winkelzusammenhänge des Sonnenstands an einem Betrachtungspunkt

Mit diesen Daten werden die Deklination δ , der Stundenwinkel ω , die Sonnehöhe 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°]
- **Sonnehöhe h :** Einfallswinkel der Sonne gegenüber einer horizontalen Fläche.

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

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

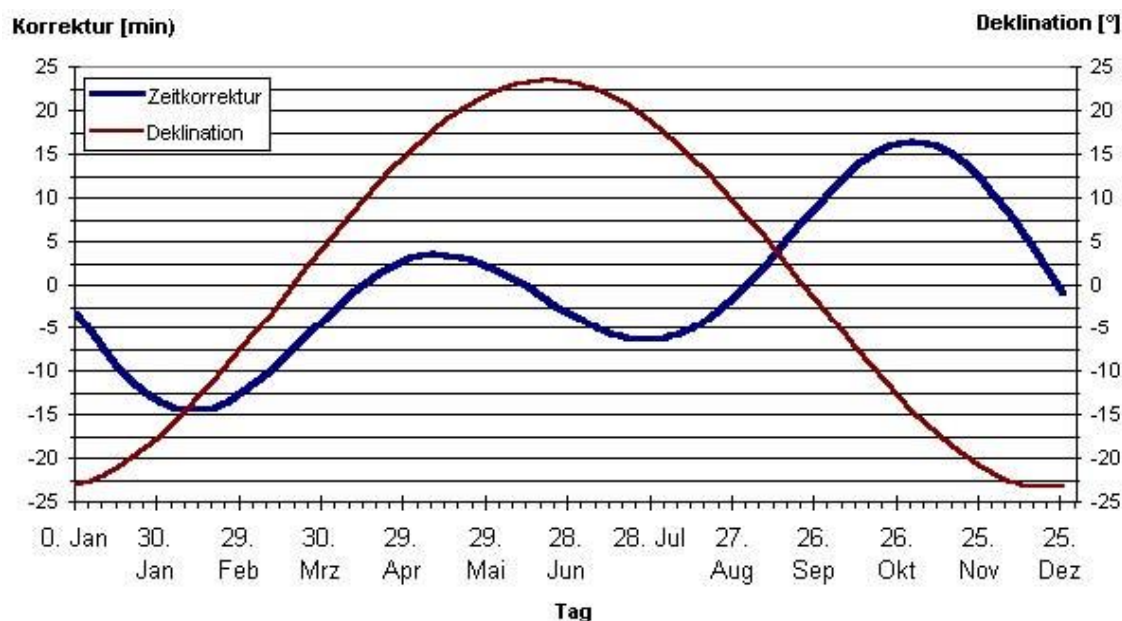


Abbildung 2: Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

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

2 Schattenwurf von WEA

2.1 Beschattungsbereich

Periodischer Schattenwurf wird durch die sich bewegenden Rotorblätter einer WEA erzeugt. Der Bereich, in dem der periodische Schattenwurf einer WEA untersucht werden muss (*Beschattungsbereich*), ist definiert als der Bereich, von dem aus die Sonnenscheibe mehr als 20 % durch das Rotorblatt verdeckt wird. Wird durch ein Rotorblatt weniger als 20 % der Sonnenscheibe verdeckt, so ist der dadurch entstehende Helligkeitswechsel wenig wahrnehmbar und nicht mehr relevant. Da die Breite eines Rotorblatts nicht über die ganze Länge konstant ist, wird, um den Beschattungsbereich zu berechnen, ersatzweise ein rechteckiges Rotorblatt mit einer mittleren 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.

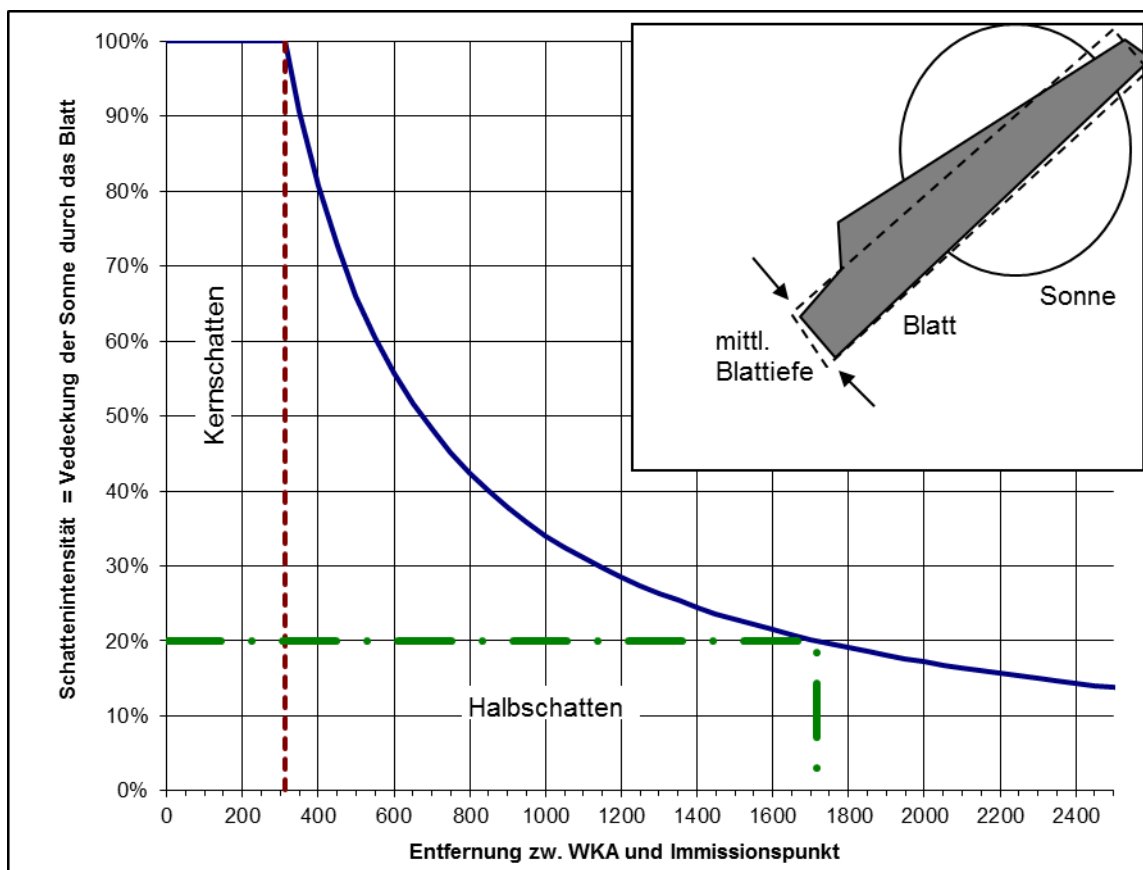


Abbildung 3: Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblatttiefe und Entfernung

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)

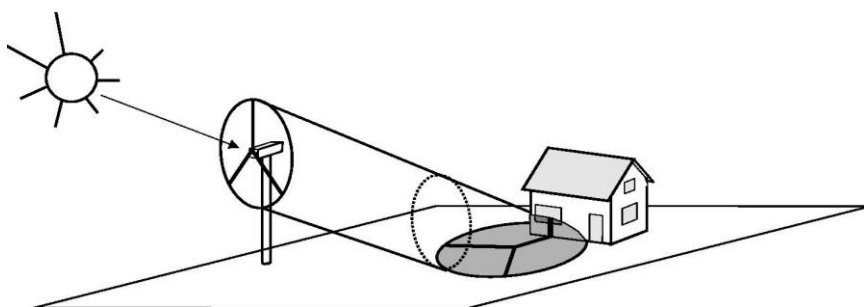


Abbildung 4: Schattenwurf des Rotors

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.

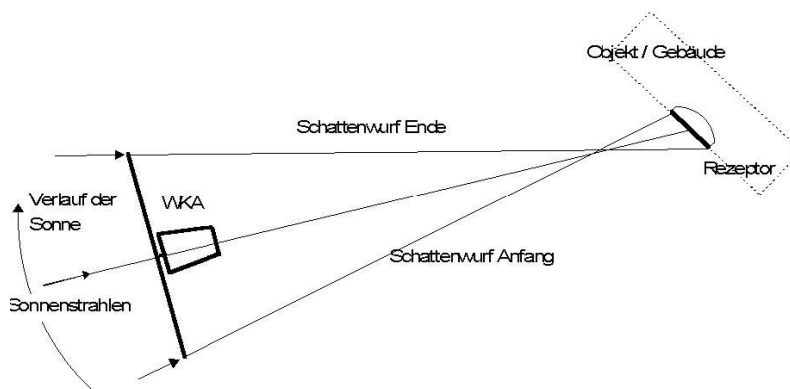


Abbildung 5: Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

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.