

Schattenwurfprognose für
drei WEA am Standort
Nonnenberg
(Nordrhein-Westfalen)

Datum: 23.09.2024

Bericht Nr. 24-1-3105-000-SW

Auftraggeber:

Grünwerke

Höherweg 200 | 40233 Düsseldorf

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Samuel Woodward, B. Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort Nonnenberg (Nordrhein-Westfalen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH von der Grünwerke 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.

Das Urheberrecht und geistige Eigentum dieses Gutachtens liegt bei der Ramboll Deutschland GmbH. Inhaltliche Veränderungen bedürfen einer Zustimmung. Die Nutzungsrechte dieses Gutachtens, insbesondere die elektronische Weitergabe, Veröffentlichung und Vervielfältigung liegen beim Auftraggeber und bedürfen dessen Zustimmung.

Nr.	Datum	Bearbeiter	Beschreibung
000	23.09.2024	S. Woodward	Planung von drei WEA des Typs Vestas V150-5.6/6.0

Kassel, 23.09.2024



Samuel Woodward, B. Sc.
(Bearbeiter)



Ruslana Boettcher, M.Sc.
(Prüfer)

Inhalt:

1	Zusammenfassung	4
2	Standort- und WEA-Daten	5
2.1	Aufgabenstellung	5
2.2	Immissionsorte	6
2.3	Immissionsrichtwerte	12
2.4	Windenergieanlagen	13
3	Schattenwurfberechnungen	15
3.1	Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer	15
3.2	Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer	15
3.3	Darstellung der Berechnungsergebnisse	16
4	Bewertung der Ergebnisse	18
4.1	Beurteilung der Berechnungen	18
4.2	Hinweise zur Abschaltautomatik	18
4.3	Genauigkeit der Prognose	19
5	Quellenverzeichnis	20
6	Anhang	21

1 Zusammenfassung

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

Diese Werte werden ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen an 17 Immissionsorten überschritten (siehe Kapitel 3). Die WKA-Schattenwurfhinweise [2] sehen für diesen Fall vor, dass der Schattenwurf der WEA, die eine erstmalige oder weitere Überschreitung verursachen, mittels einer Abschaltautomatik entsprechend den Richtwerten begrenzt wird.

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

2 Standort- und WEA-Daten

2.1 Aufgabenstellung

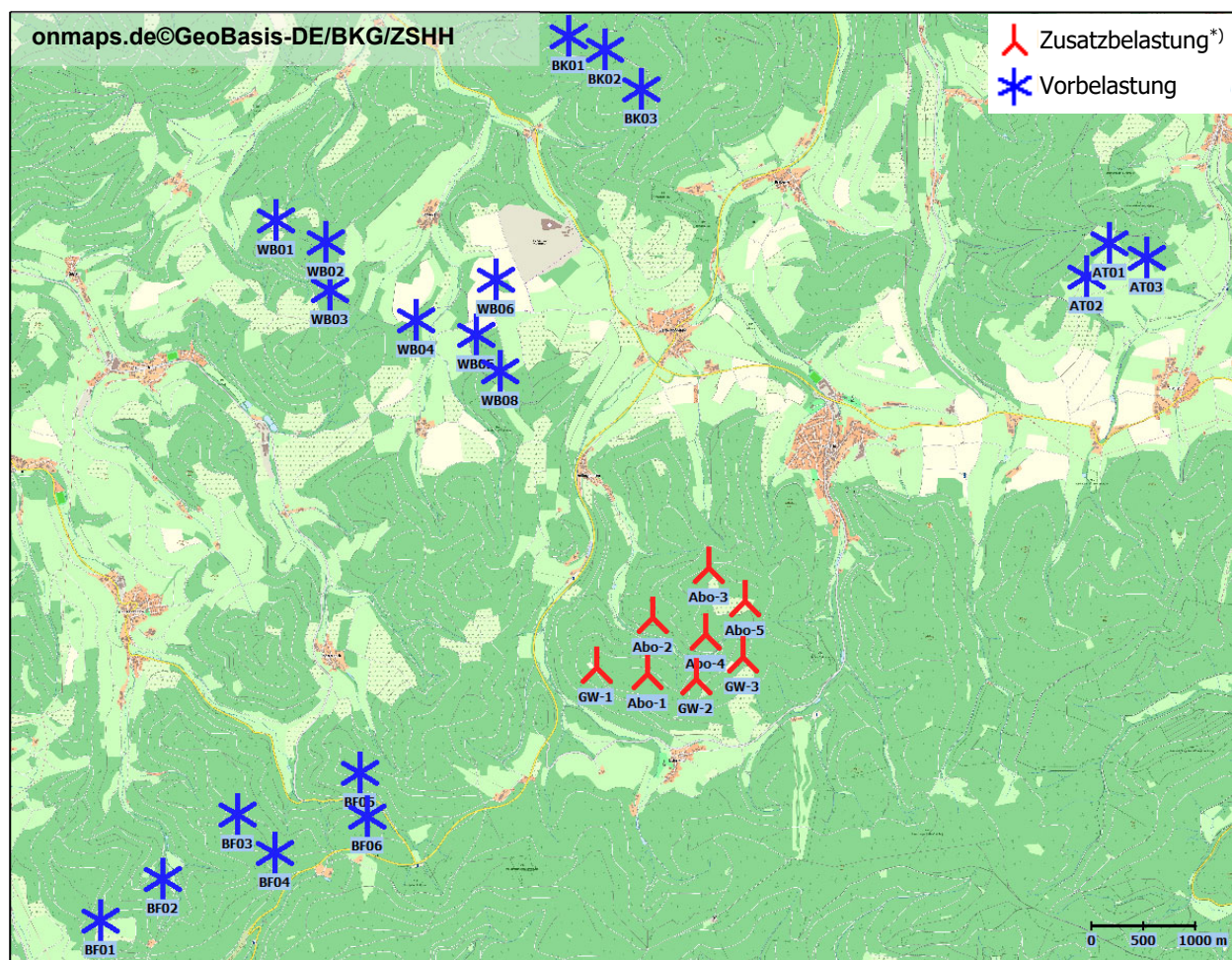
Der Auftraggeber plant am Standort Nonnenberg drei WEA des Typs Vestas V150-5.6/6.0 mit 169 m Nabenhöhe zu errichten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten der geplanten WEA

WEA	WEA Hersteller / Typ	Nabenhöhe	Ost	Nord
		[m]	[UTM 32 ETRS89]	
GW-1	Vestas V150-5.6/6.0	169	455.379	5.675.350
GW-2	Vestas V150-5.6/6.0	169	456.335	5.675.226
GW-3	Vestas V150-5.6/6.0	169	456.791	5.675.438

In der Nähe des geplanten Standorts existieren bereits 24 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.



*) Abo-1-5 Partnerprojekt von Abo Wind (wird als VB berücksichtigt)

Abbildung 1: Übersichtskarte

Grundlage der Berechnung sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der geplanten WEA (Typ, Nabenhöhe, Koordinaten) sowie die bei der Standortbesichtigung am 28.08.2024 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 [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.

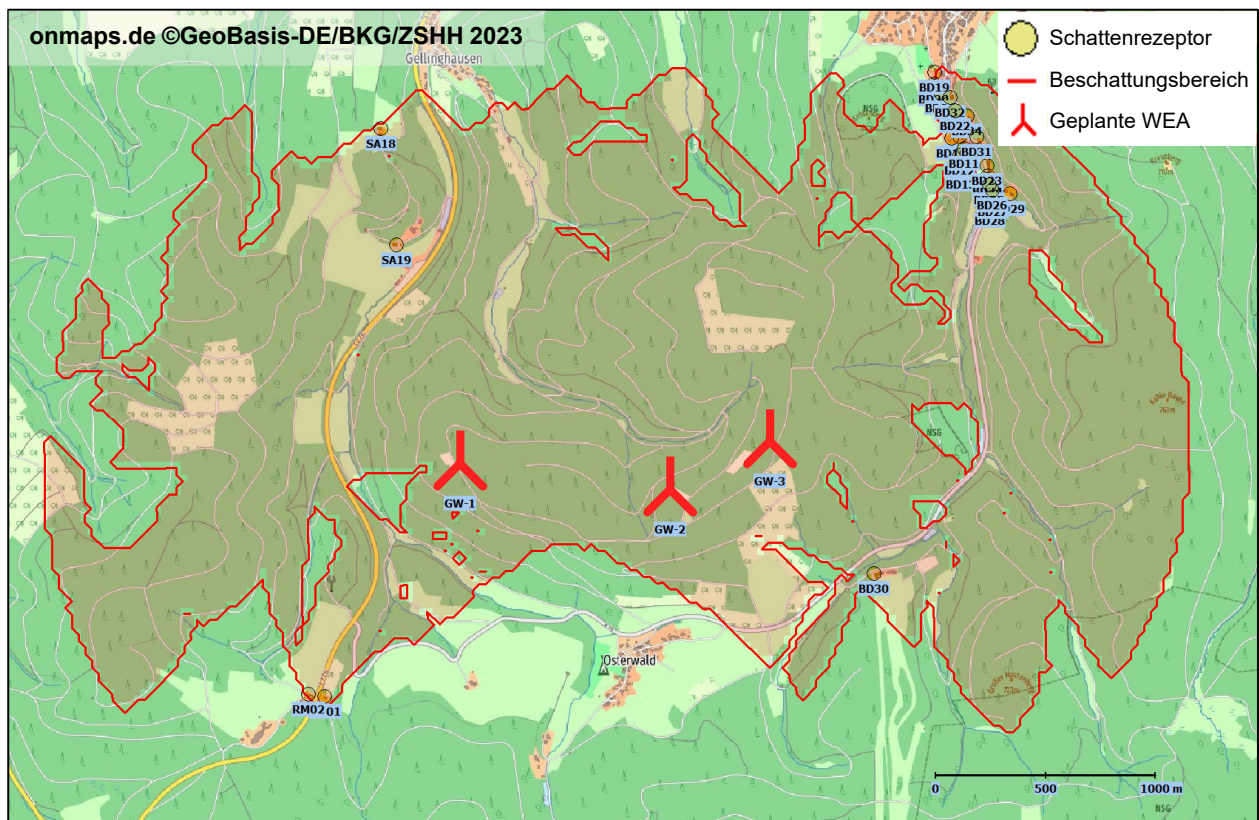


Abbildung 2: Beschattungsbereich der Zusatzbelastung

Nach diesen Kriterien wurden 24 Gebäude im schattenkritischen Bereich als relevante Immissionsorte ausgewählt (siehe Abschnitt 3.1). Bei der Standortbesichtigung am 28.08.2024 wurden diese Immissionsorte begutachtet 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.

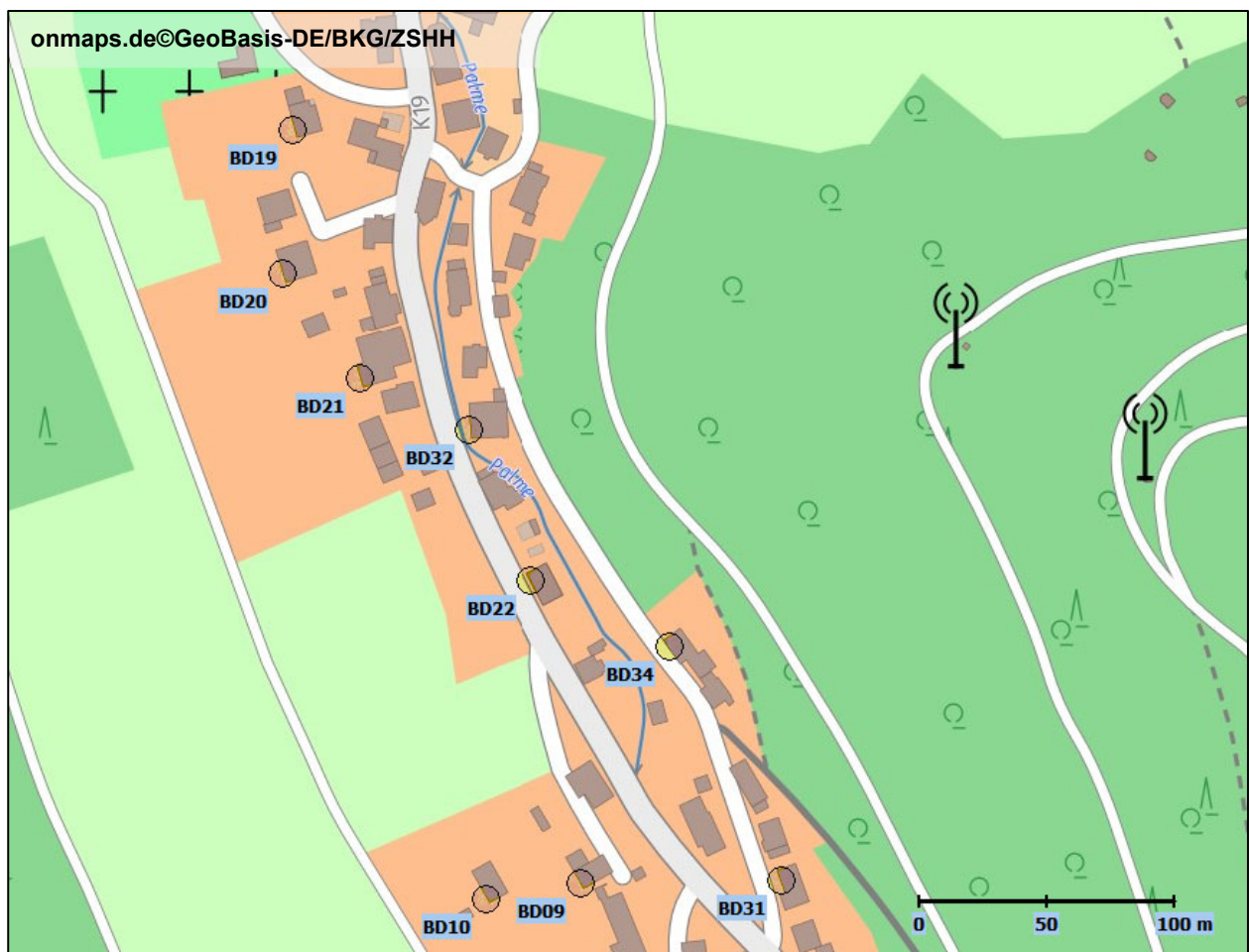


Abbildung 3: Lage der Immissionsorte in Bödefeld

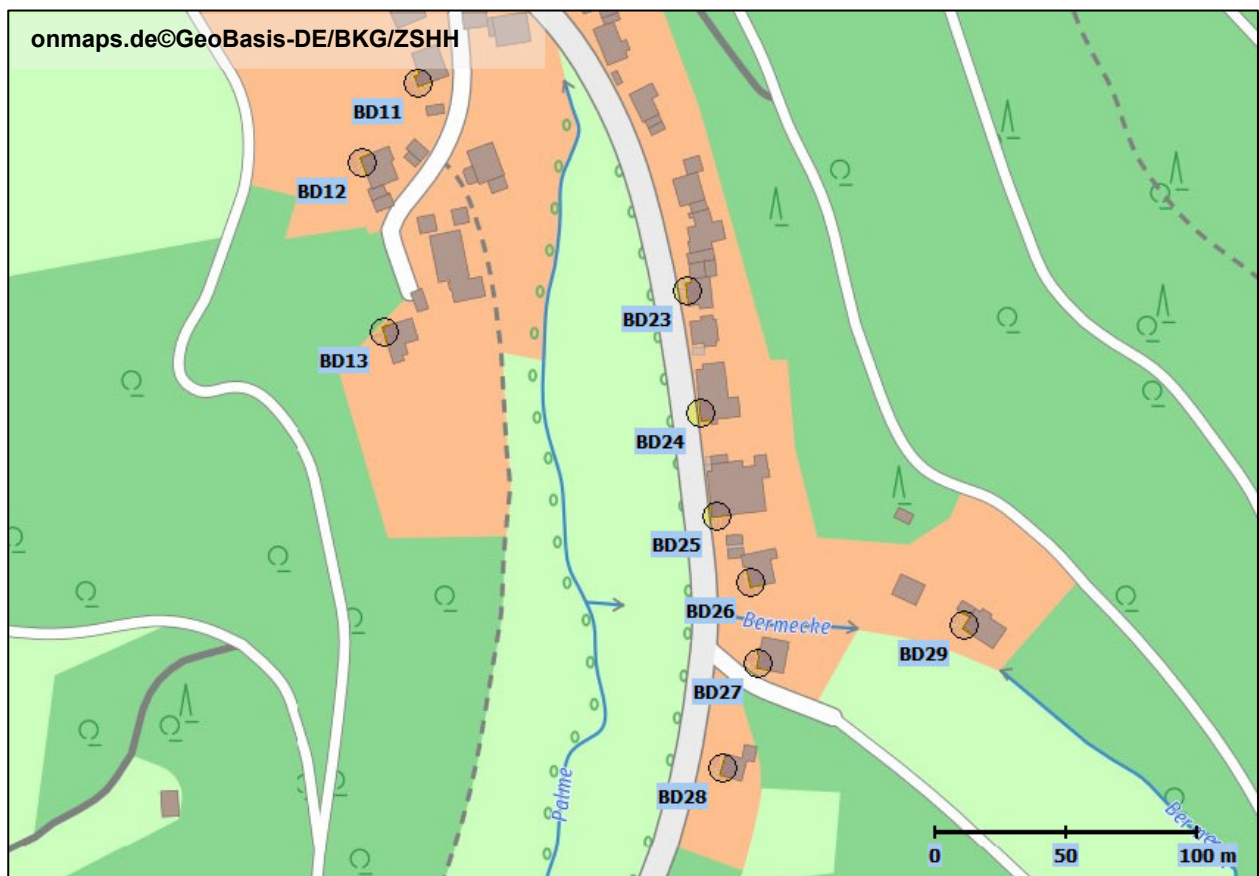


Abbildung 4: Lage der Immissionsorte in Bödefeld

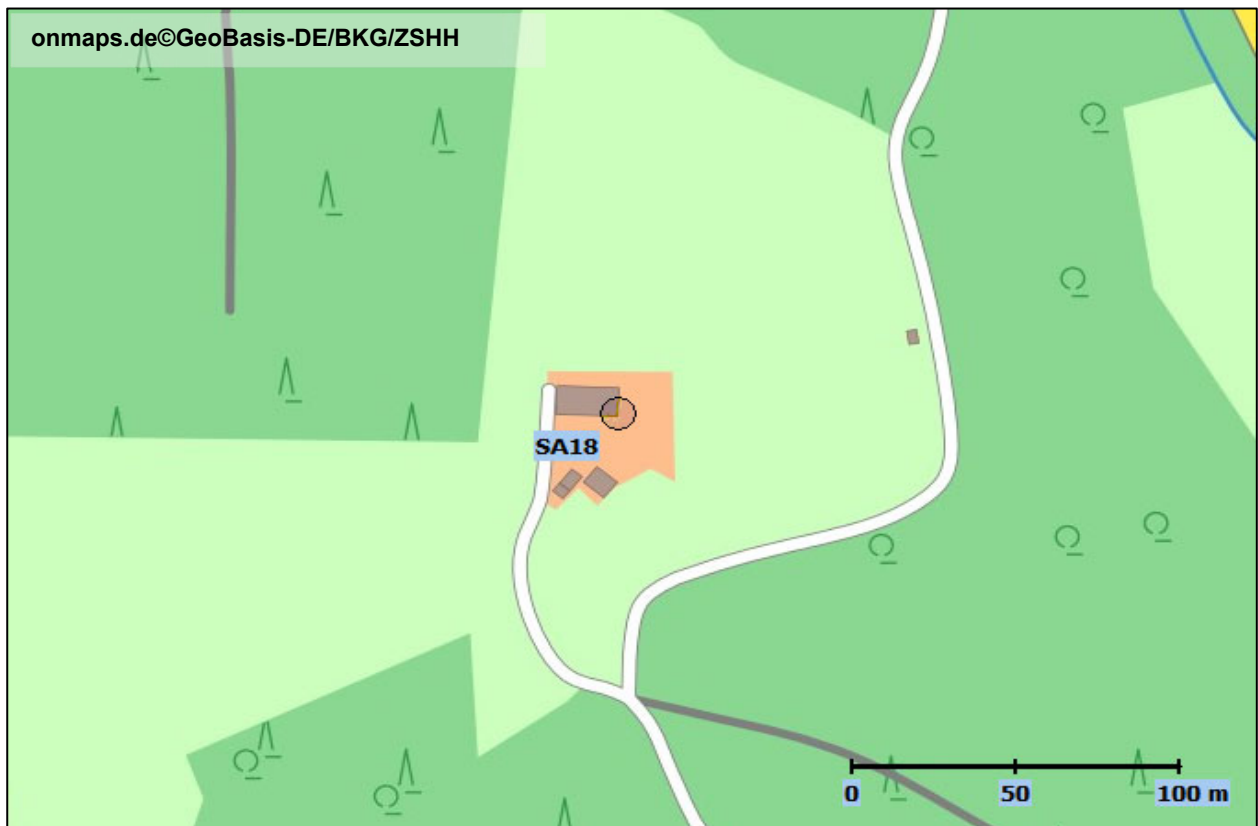


Abbildung 5: Lage der Immissionsorte in Schmallenberg (Gellinghausen)

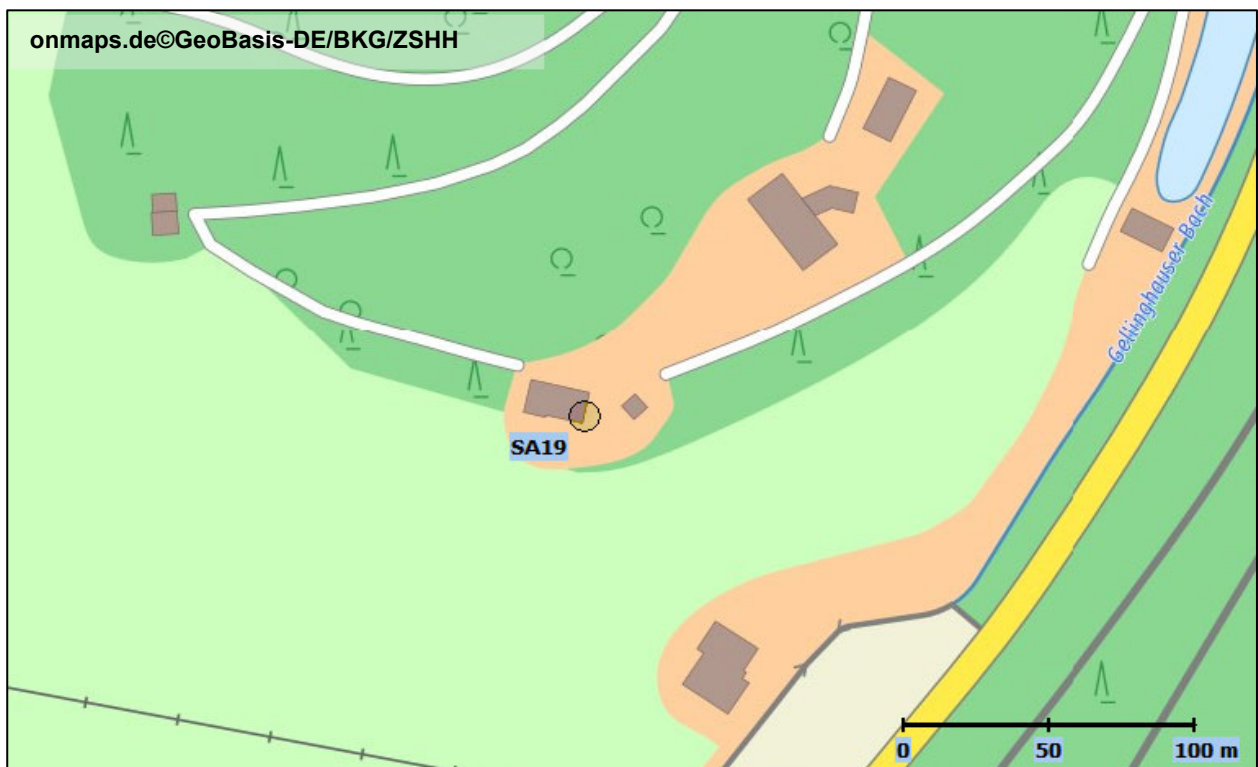


Abbildung 6: Lage der Immissionsorte in Schmallenberg (Gellinghausen)

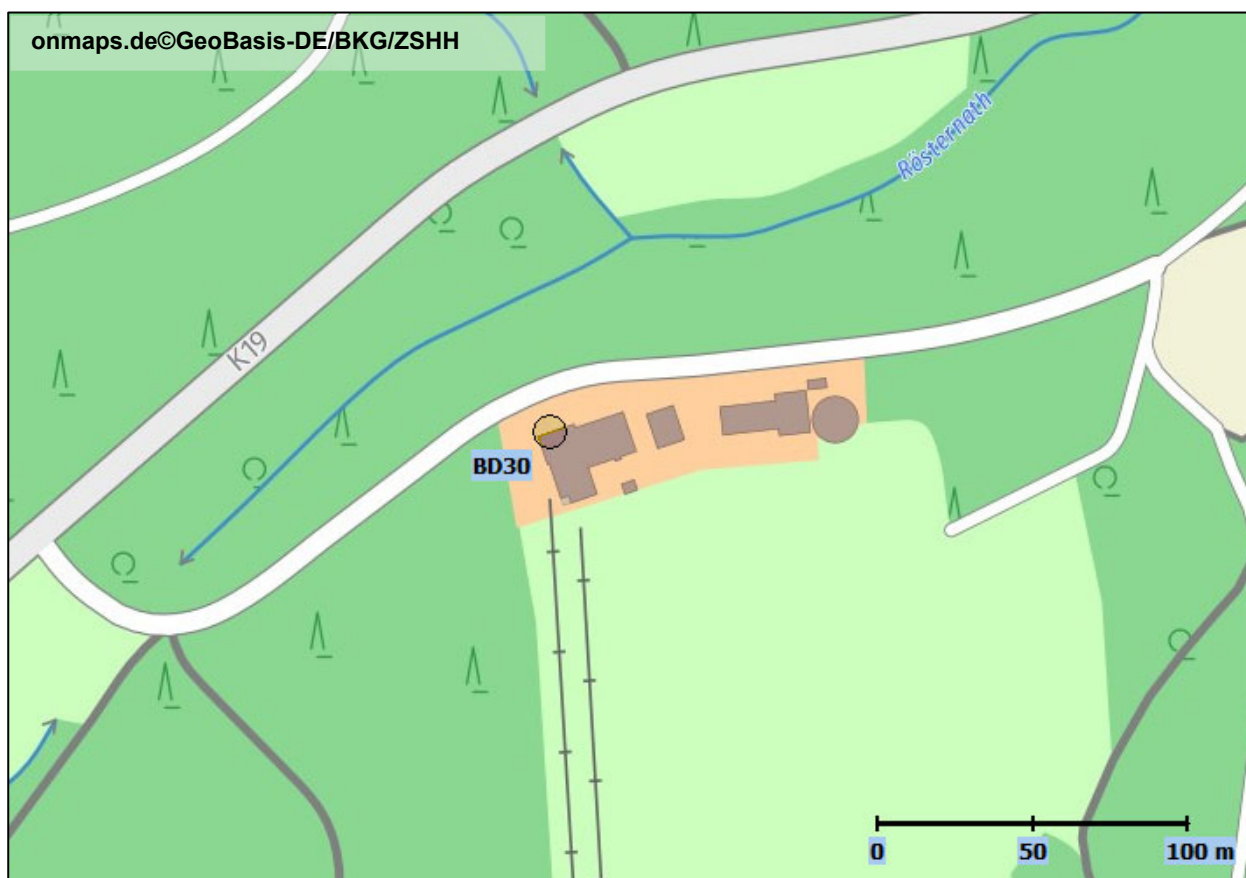


Abbildung 7: Lage der Immissionsorte in Bödefeld

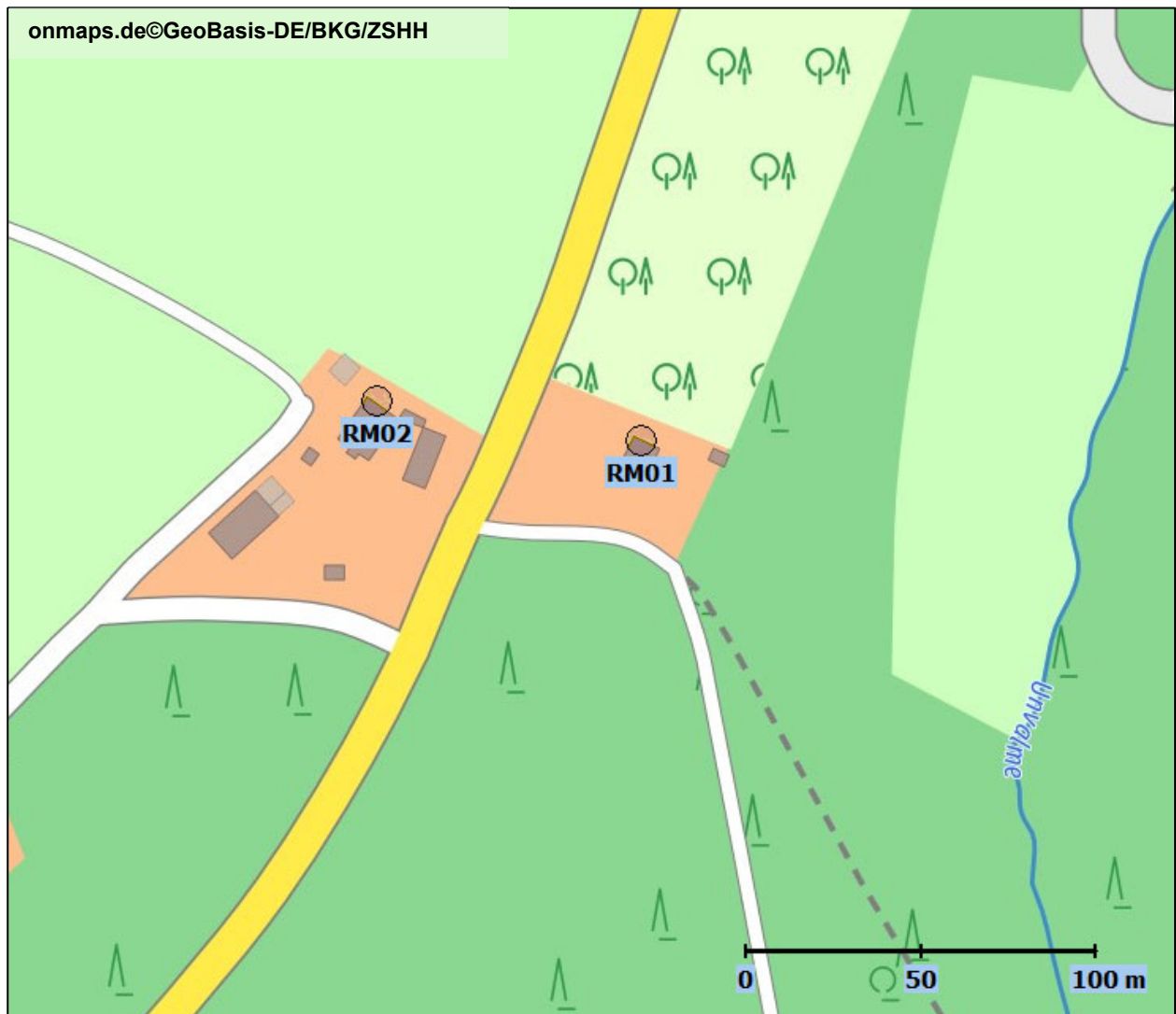


Abbildung 8: Lage der Immissionsorte in Rimberg

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 Nonnenberg die Errichtung von drei WEA. Die untersuchten Immissionsorte befinden sich im Beschattungsbereich von 7 weiteren WEA (siehe Berechnung *Vorbelastung*). Diese werden im weiteren Verlauf als relevante Vorbelastung berücksichtigt. 17 weitere WEA führen aufgrund der Lage und/oder Entfernung zu keinem Schattenwurf an den untersuchten Immissionsorten (siehe Berechnung *Vorbelastung irrelevant*), weshalb diese für die Berechnung der Gesamtbelastung ausgeschlossen werden.

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

Tabelle 2: Kenndaten Zusatzbelastung (fett) und relevante Vorbelastungs-WEA

WEA-Nr.	WEA Typ	NH	RD	max. BT	min. BT	Ø BT	BB
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
GW-1	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
GW-2	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
GW-3	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
Abo-1	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
Abo-2	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
Abo-3	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
Abo-4	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
Abo-5	V150-5.6/6.0	169,0	150,0	4,24	1,35	2,80	1.897
BF05	V162-6.0	169,0	162,0	4,32	1,69	3,01	2.041
BF06	V162-6.0	169,0	162,0	4,32	1,69	3,01	2.041

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

3 Schattenwurfberechnungen

3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer

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

Es wurden folgende Berechnungen durchgeführt:

- Vorbelastung (VB) durch bestehende oder parallel geplante WEA
- Zusatzbelastung (ZB) durch die neu geplanten WEA
- Gesamtbelastung (GB) durch alle relevanten WEA (Es wurden nur die WEA berücksichtigt, in deren Beschattungsbereich ein Rezeptor liegt.).

Die Ergebnisse der Berechnungen können Kapitel 3.3 entnommen werden. Die fett hervorgehobenen Werte überschreiten die Immissionsrichtwerte nach den WKA-Schattenwurfhinweisen [2]. Die Beschattungszeiten im Tages- und Jahresverlauf können den grafischen Kalendern in Anhang entnommen werden.

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) je Monat, nach Angaben der Sonnenschein-Datenbank für die Station Lennestadt-Theten
- Betriebswahrscheinlichkeit der WEA je Richtungssektor sowie Rotorschattenstellung, ermittelt aus der sektoralen Windstatistik der DWD-Station Bad Lippspringe, der Anlaufgeschwindigkeit der WEA und der jeweiligen 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.

3.3 Darstellung der Berechnungsergebnisse

In den folgenden Tabellen werden die Berechnungsergebnisse für die Beschattungsdauern ohne Schattenwurfbegrenzende Maßnahmen für jeden der 24 untersuchten Immissionsorte dargestellt.

Tabelle 3: Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauern pro Jahr

IO	Name	Astronomisch max. mögl. Beschattungsdauer					
		Std. / Jahr			Std. / Tag		
		VB	ZB	GB	VB	ZB	GB
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	23:08	12:41	35:49	0:28	0:22	0:28
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	24:28	13:52	38:20	0:28	0:22	0:28
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	23:19	11:55	35:14	0:28	0:22	0:28
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	24:27	12:21	36:48	0:29	0:23	0:29
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	25:17	12:24	37:41	0:29	0:23	0:29
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	12:53	0:00	12:53	0:26	0:00	0:26
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	13:08	0:00	13:08	0:26	0:00	0:26
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	12:41	0:00	12:41	0:26	0:00	0:26
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	22:09	14:17	36:26	0:26	0:21	0:26
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	21:24	10:14	31:38	0:27	0:22	0:27
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	21:52	10:13	32:05	0:27	0:22	0:27
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	22:08	10:19	32:27	0:28	0:23	0:28
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	22:06	10:06	32:12	0:27	0:23	0:27
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	22:24	10:03	32:27	0:28	0:23	0:28
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	23:26	10:25	33:51	0:28	0:24	0:28
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	20:09	9:25	29:34	0:27	0:22	0:27
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	15:50	24:20	39:25	0:25	0:33	0:33
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	21:07	11:13	32:20	0:26	0:21	0:26
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	12:14	17:44	29:58	0:26	0:21	0:26
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	29:15	12:58	42:13	0:26	0:21	0:26
RM01	Rimberg, Rimberg 3	16:54	4:16	21:10	0:22	0:13	0:22
RM02	Rimberg, Rimberg 2	18:31	0:00	18:31	0:24	0:00	0:24

IO	Name	Astronomisch max. mögl. Beschattungsdauer					
		Std. / Jahr			Std. / Tag		
		VB	ZB	GB	VB	ZB	GB
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	45:44	1:26	47:10	0:34	0:08	0:34
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	58:08	40:23	98:31	0:51	0:36	1:02

Tabelle 4: Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauern pro Jahr

IO	Adresse	Beschattungsdauern meteorologisch wahrscheinlich [Std./Jahr]		
		VB	ZB	GB
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	4:36	1:22	6:24
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	4:50	1:29	6:47
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	4:47	1:20	6:31
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	5:03	1:23	6:51
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	5:19	1:26	7:09
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	1:43	0:00	1:55
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	1:53	0:00	2:05
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	1:58	0:00	2:08
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	4:11	1:29	6:10
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	4:33	1:15	6:08
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	4:48	1:19	6:25
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	4:59	1:25	6:40
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	5:04	1:26	6:45
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	5:14	1:30	6:57
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	5:37	1:36	7:24
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	4:38	1:23	6:14
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	4:02	6:06	9:35
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	4:15	1:14	5:52
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	1:58	1:44	4:13
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	5:07	1:22	7:04
RM01	Rimberg, Rimberg 3	3:58	1:08	5:06
RM02	Rimberg, Rimberg 2	4:19	0:00	4:22
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	5:22	0:06	6:10
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	10:48	4:08	15:58

4 Bewertung der Ergebnisse

4.1 Beurteilung der Berechnungen

Am Windparkstandort Nonnenberg wurden für 24 Immissionsorte die Beschattungsdauern durch drei neu geplante WEA sowie 5 relevante 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 BD19, BD20, BD21, BD29, BD32, RM01, RM02: An diesen Immissionsorten werden alle Richtwerte eingehalten.

IO SA18, SA19: An diesen Immissionsorten werden die Tages- und/oder Jahreskontingente (Richtwerte) ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen bereits durch die Vorbelastung überschritten. Eine weitere Überschreitung der Kontingente ist zu vermeiden.

IO BD09 - BD13, BD22 - BD28, BD30, BD31, BD34: An diesen Immissionsorten werden die Tages- und/oder Jahreskontingente (Richtwerte) ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen durch den Einfluss der Zusatzbelastung überschritten.

Aufgrund der berechneten Überschreitungen empfehlen wir eine zeitgesteuerte Abschaltung durch geeignete steuerungstechnische Maßnahmen an den neu geplanten WEA zu implementieren.

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

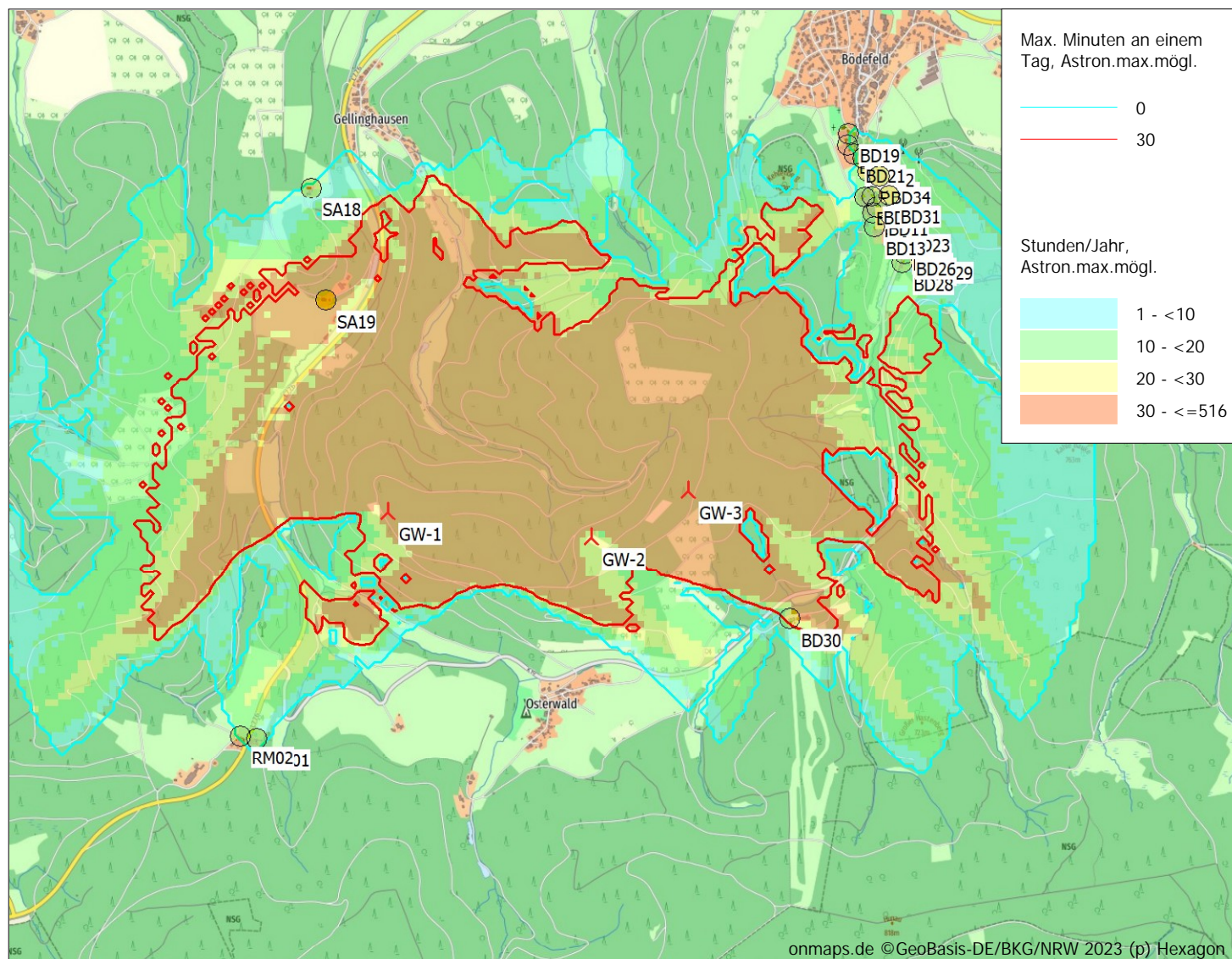
Den Berechnungen nach den Vorgaben der WKA-Schattenwurfhinweise [2] wird ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. In diesem Sinne wird die astronomisch maximal mögliche Beschattung zur Beurteilung herangezogen sowie keine lichtundurchlässigen Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, 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] 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] J.Pohl, F.Faul, R.Mausfeld, 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 Nonnenberg
 - Zusatzbelastung
 - Gesamtbelastung
- Berechnungsergebnisse der Beschattungsdauern an den Immissionsorten
 - Vor- und Zusatzbelastung:
 - Hauptergebnis
 - Gesamtbelastung:
 - Hauptergebnis
 - grafische Kalender
 - Vorbelastung Irrelevant
- Akkreditierung
- Theoretische Grundlagen



Projekt:

24-1-3004-000
Grünwerke

Höherweg 200

40233 Düsseldorf

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

SHADOW -
Karte

Berechnung:
Zusatzbelastung

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

Berechnet:

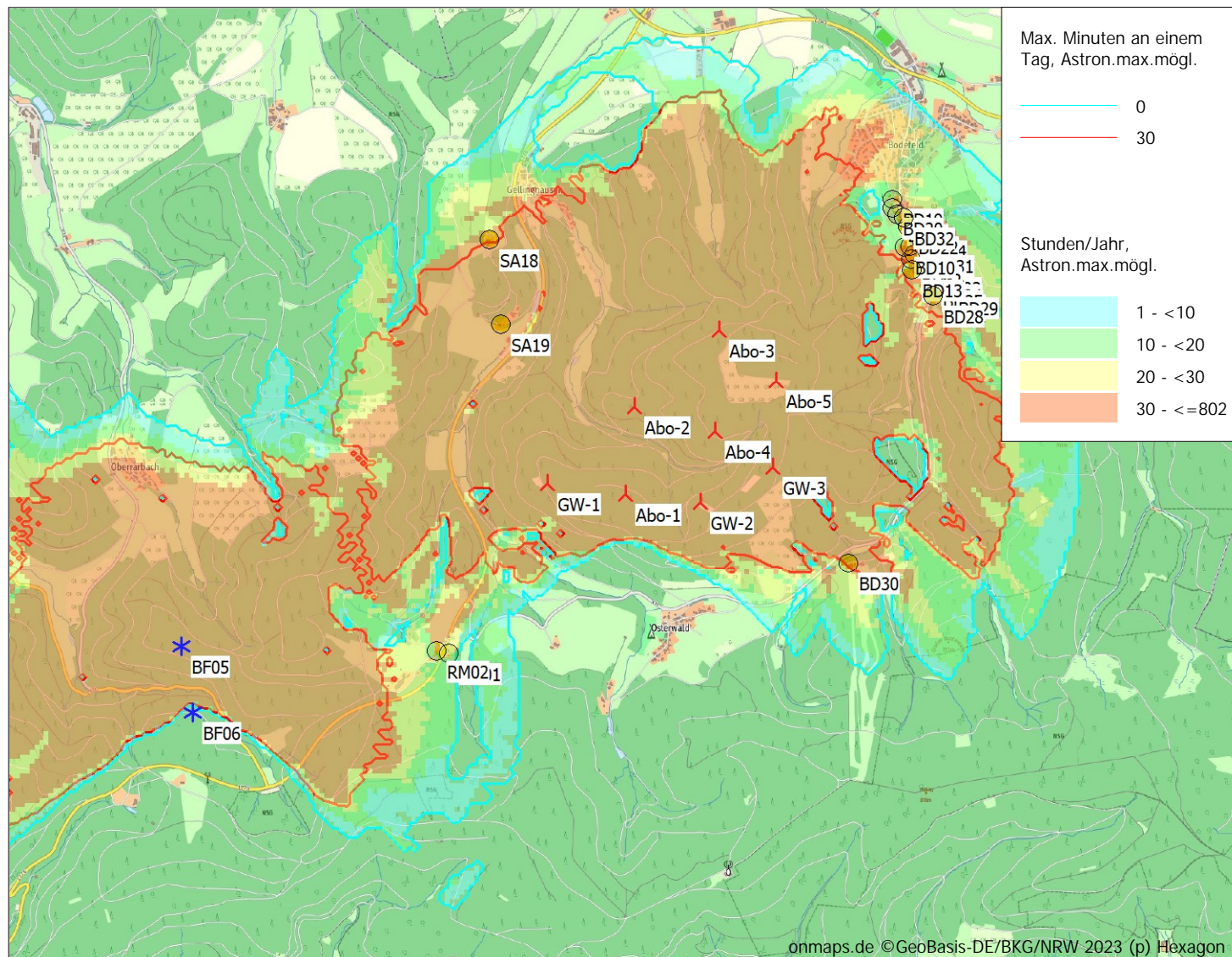
10.09.2024 12:07/4.0.547

Neue WEA

Karte: Onmaps, Maßstab 1:30.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 456.512 Nord: 5.675.492
Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: DMG5 NRW

Zeitschritt: 4 Minuten, Schrittweite: 14 Tag(e), Kartenauflösung: 30 m, Sichtbarkeit Auflösung: 15 m, Augenhöhe: 1,5 m



Projekt:

24-1-3004-000
Grünwerke

Höherweg 200

40233 Düsseldorf

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

SHADOW -
Karte

Berechnung:
Gesamtbelastung

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com
Berechnet:

10.09.2024 12:28/4.0.547

Neue WEA

Karte: Onmaps, Maßstab 1:40.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 455.894 Nord: 5.675.378

Existierende WEA Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: DMG5 NRW

Zeitschritt: 4 Minuten, Schrittweite: 14 Tag(e), Kartenauflösung: 30 m, Sichtbarkeit Auflösung: 15 m, Augenhöhe: 1,5 m

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com
Berechnet:
23.09.2024 13:25/4.0.552

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

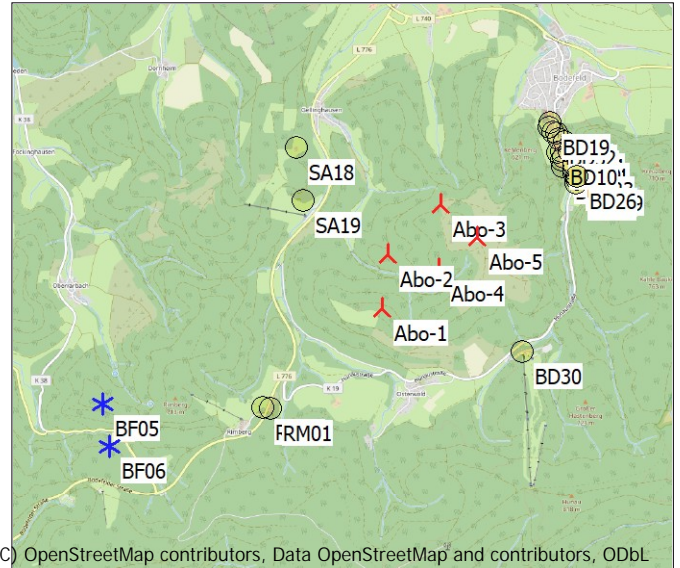
N	NNO	ONO	O	OSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
546	345	299	448	504	465	609	912	1.389	1.380	978	8.618

Monatliche Aggregation der met. wahrsch. Reduzierung

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

Verwendete Höhenlinien: DMG5 NRW

Rasterauflösung: 1,0 m



(C) OpenStreetMap contributors, Data OpenStreetMap and contributors, ODbL

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

Maßstab 1:75.000

▲ Neue WEA

★ Existierende WEA

● Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung	Rotor-durchmesser	NH	Schattendaten	
					Aktuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
Abo-1	455.869	5.675.280	701,1	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-2	455.927	5.675.823	624,9	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-3	456.466	5.676.303	702,9	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-4	456.435	5.675.665	692,9	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-5	456.815	5.675.978	736,0	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
BF05	453.080	5.674.357	646,7	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 ...	Ja	VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-
BF06	453.143	5.673.941	606,7	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 ...	Ja	VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-

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]
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	457.667	5.676.817	498,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	457.630	5.676.812	505,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	457.690	5.676.763	500,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	457.668	5.676.734	506,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	457.676	5.676.669	516,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	457.557	5.677.112	487,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	457.552	5.677.056	489,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	457.583	5.677.015	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	457.648	5.676.936	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	457.792	5.676.684	499,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	457.796	5.676.637	500,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	457.802	5.676.598	502,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	457.815	5.676.573	504,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	457.817	5.676.542	505,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	457.803	5.676.503	508,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	457.896	5.676.556	514,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	457.263	5.674.835	602,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	457.746	5.676.818	495,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	457.625	5.676.994	484,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	457.703	5.676.909	495,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
RM01	Rimberg, Rimberg 3	454.752	5.674.296	605,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
RM02	Rimberg, Rimberg 2	454.677	5.674.309	607,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

(Fortsetzung nächste Seite)...

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

Berechnet:

23.09.2024 13:25/4.0.552

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI)
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		ü.Gr. [m]
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	455.030	5.676.875	532,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	455.096	5.676.348	523,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

		astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
Nr.	Name	Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr	
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]	
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	23:08	68	0:28	4:36	
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	24:28	71	0:28	4:50	
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	23:19	68	0:28	4:47	
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	24:27	70	0:29	5:03	
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	25:17	70	0:29	5:19	
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	12:53	39	0:26	1:43	
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	13:08	38	0:26	1:53	
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	12:41	38	0:26	1:58	
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	22:09	67	0:26	4:11	
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	21:24	65	0:27	4:33	
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	21:52	65	0:27	4:48	
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	22:08	64	0:28	4:59	
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	22:06	65	0:27	5:04	
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	22:24	67	0:28	5:14	
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	23:26	67	0:28	5:37	
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	20:09	63	0:27	4:38	
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	15:50	50	0:25	4:02	
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	21:07	65	0:26	4:15	
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	12:14	37	0:26	1:58	
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	29:15	90	0:26	5:07	
RM01	Rimberg, Rimberg 3	16:54	59	0:22	3:58	
RM02	Rimberg, Rimberg 2	18:31	60	0:24	4:19	
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	45:44	137	0:34	5:22	
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	58:08	146	0:51	10:48	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
Abo-1	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (4)	44:54	6:52
Abo-2	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (5)	35:43	5:08
Abo-3	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (6)	69:44	16:25
Abo-4	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (7)	23:34	3:34
Abo-5	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (8)	89:58	16:48
BF05	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (214)	9:45	2:30
BF06	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (215)	10:52	2:18

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.

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:
24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:
Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

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

-

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com
Berechnet:
23.09.2024 13:26/4.0.552

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

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	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
546	345	299	448	504	465	609	912	1.389	1.380	978	8.618

Monatliche Aggregation der met. wahrsch. Reduzierung

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

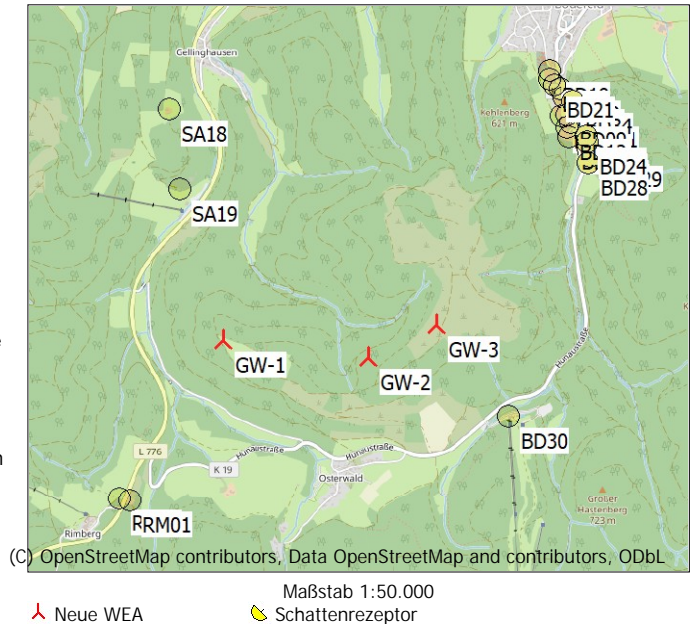
Verwendete Höhenlinien: DMG5 NRW

Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

WEA



	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ	Ak-tu-ell	Hersteller	Typ	Nenn-leistung	Rotor-durch-messer	NH	Schattendaten	
												Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]						[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
GW-1	455.379	5.675.350	692,2	VESTAS V150-5.6/6.0 6000	15...Ja		VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
GW-2	456.335	5.675.226	693,6	VESTAS V150-5.6/6.0 6000	15...Ja		VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
GW-3	456.791	5.675.438	725,3	VESTAS V150-5.6/6.0 6000	15...Ja		VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI)	
										ü.Gr.	ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]	[m]
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	457.667	5.676.817	498,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	457.630	5.676.812	505,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	457.690	5.676.763	500,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	457.668	5.676.734	506,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	457.676	5.676.669	516,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 27	457.557	5.677.112	487,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	457.552	5.677.056	489,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	457.583	5.677.015	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	457.648	5.676.936	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	457.792	5.676.684	499,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	457.796	5.676.637	500,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	457.802	5.676.598	502,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	457.815	5.676.573	504,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	457.817	5.676.542	505,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	457.803	5.676.503	508,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	457.896	5.676.556	514,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	457.263	5.674.835	602,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD31	Bödefeld, Lingenauer 10	457.746	5.676.818	495,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD32	Bödefeld, Lingenauer 6	457.625	5.676.994	484,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
BD34	Bödefeld, Lingenauer 7	457.703	5.676.909	495,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
RM01	Rimberg, Rimberg 3	454.752	5.674.296	605,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
RM02	Rimberg, Rimberg 2	454.677	5.674.309	607,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	455.030	5.676.875	532,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	455.096	5.676.348	523,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	2,0

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

Berechnet:

23.09.2024 13:26/4.0.552

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

		astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer
Nr.	Name	Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	12:41	46	0:22	1:22
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	13:52	50	0:22	1:29
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	11:55	42	0:22	1:20
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	12:21	42	0:23	1:23
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	12:24	41	0:23	1:26
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	0:00	0	0:00	0:00
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	0:00	0	0:00	0:00
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	0:00	0	0:00	0:00
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	14:17	54	0:21	1:29
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	10:14	37	0:22	1:15
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	10:13	36	0:22	1:19
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	10:19	36	0:23	1:25
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	10:06	34	0:23	1:26
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	10:03	34	0:23	1:30
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	10:25	34	0:24	1:36
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	9:25	32	0:22	1:23
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	24:20	54	0:33	6:06
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	11:13	42	0:21	1:14
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	17:44	68	0:21	1:44
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	12:58	48	0:21	1:22
RM01	Rimberg, Rimberg 3	4:16	25	0:13	1:08
RM02	Rimberg, Rimberg 2	0:00	0	0:00	0:00
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	1:26	13	0:08	0:06
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	40:23	98	0:36	4:08

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name				Maximal	Erwartet
					[h/a]	[h/a]
GW-1	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O!	NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (1)			33:11	3:04
GW-2	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O!	NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (2)			37:14	8:25
GW-3	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O!	NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (3)			63:40	7:29

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.

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com
Berechnet:
23.09.2024 13:26/4.0.552

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
1,65	2,61	3,84	5,50	6,03	6,20	6,23	6,03	4,70	3,32	1,80	1,29

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
546	345	299	448	504	465	609	912	1.389	1.380	978	8.616

Monatliche Aggregation der met. wahrsch. Reduzierung

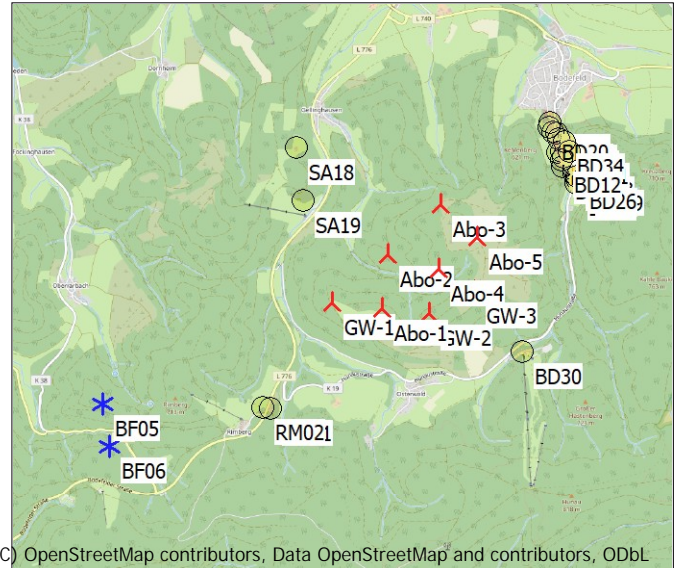
Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der
Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf den
folgenden Annahmen:

Verwendete Höhenlinien: DMG5 NRW

Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32



(C) OpenStreetMap contributors, Data OpenStreetMap and contributors, ODbL

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	NH	Schattendaten	
												Beschatt.- Bereich	U/min
			[m]						[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
Abo-1	455.869	5.675.280	701,1	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-2	455.927	5.675.823	624,9	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-3	456.466	5.676.303	702,9	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-4	456.435	5.675.665	692,9	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
Abo-5	456.815	5.675.978	736,0	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
BF05	453.080	5.674.357	646,7	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 ...	Ja	VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-
BF06	453.143	5.673.941	606,7	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 ...	Ja	VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-
GW-1	455.379	5.675.350	692,2	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
GW-2	456.335	5.675.226	693,6	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-
GW-3	456.791	5.675.438	725,3	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 1...	Ja	VESTAS	V150-5.6/6.0-6.000	6.000	6.000	150,0	169,0	1.897	-

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]	
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	457.667	5.676.817	498,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	457.630	5.676.812	505,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	457.690	5.676.763	500,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	457.668	5.676.734	506,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	457.676	5.676.669	516,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	457.557	5.677.112	487,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	457.552	5.677.056	489,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	457.583	5.677.015	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	457.648	5.676.936	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	457.792	5.676.684	499,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	457.796	5.676.637	500,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	457.802	5.676.598	502,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	457.815	5.676.573	504,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	457.817	5.676.542	505,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	457.803	5.676.503	508,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	457.896	5.676.556	514,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	457.263	5.674.835	602,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	457.746	5.676.818	495,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	457.625	5.676.994	484,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0	

(Fortsetzung nächste Seite)...

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 KasselHöherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

Berechnet:

23.09.2024 13:26/4.0.552

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	457.703	5.676.909	495,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
RM01	Rimberg, Rimberg 3	454.752	5.674.296	605,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
RM02	Rimberg, Rimberg 2	454.677	5.674.309	607,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	455.030	5.676.875	532,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	455.096	5.676.348	523,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Schattenrezeptor		astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
Nr.	Name	Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr	
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]	
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	35:49	114	0:28	6:24	
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	38:20	121	0:28	6:47	
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	35:14	110	0:28	6:31	
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	36:48	112	0:29	6:51	
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	37:41	111	0:29	7:09	
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	12:53	39	0:26	1:55	
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	13:08	38	0:26	2:05	
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	12:41	38	0:26	2:08	
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	36:26	121	0:26	6:10	
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	31:38	102	0:27	6:08	
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	32:05	101	0:27	6:25	
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	32:27	100	0:28	6:40	
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	32:12	99	0:27	6:45	
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	32:27	101	0:28	6:57	
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	33:51	101	0:28	7:24	
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	29:34	95	0:27	6:14	
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	39:25	97	0:33	9:35	
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	32:20	107	0:26	5:52	
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	29:58	105	0:26	4:13	
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	42:13	136	0:26	7:04	
RM01	Rimberg, Rimberg 3	21:10	84	0:22	5:06	
RM02	Rimberg, Rimberg 2	18:31	60	0:24	4:22	
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	47:10	137	0:34	6:10	
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	98:31	200	1:02	15:58	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
Abo-1	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (4)	44:54	7:14
Abo-2	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (5)	35:43	5:35
Abo-3	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (6)	69:44	16:33
Abo-4	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (7)	23:34	3:51
Abo-5	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (8)	89:58	17:40
BF05	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (214)	9:45	2:29
BF06	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (215)	10:52	2:22
GW-1	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (1)	33:11	3:37
GW-2	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (2)	37:14	8:12
GW-3	VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (3)	63:40	8:37

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.

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

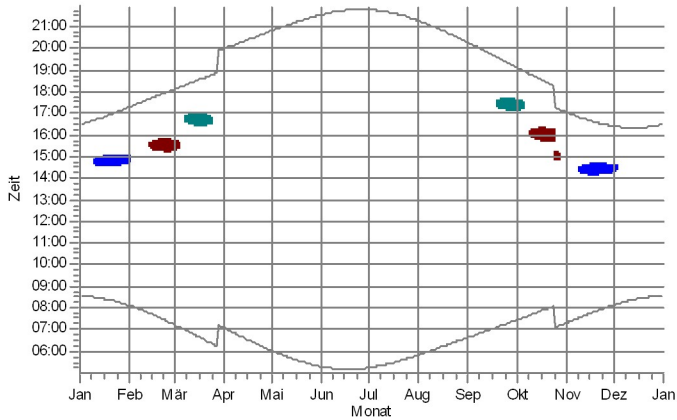
Berechnet:

23.09.2024 13:26/4.0.552

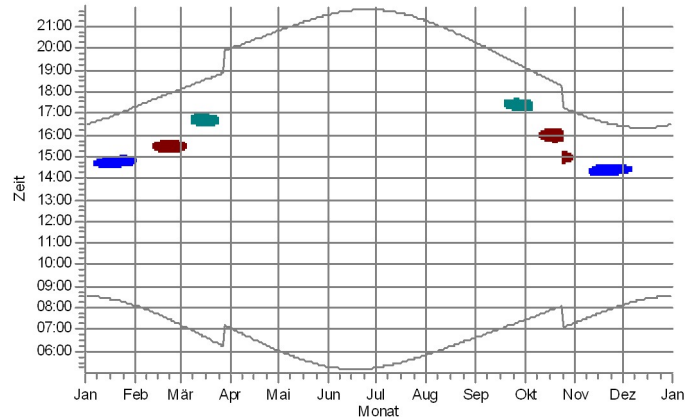
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

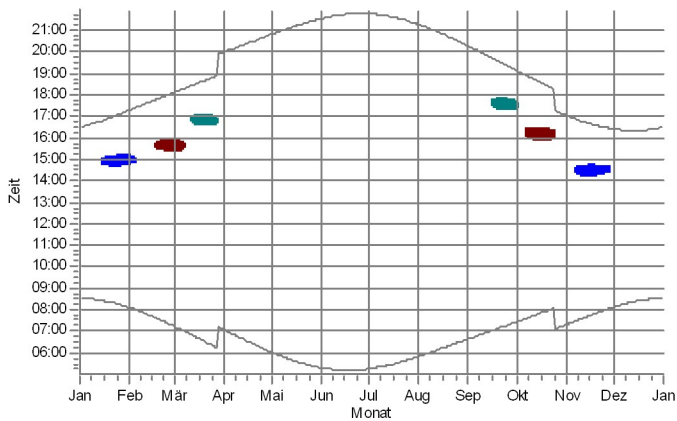
BD09: Bödefeld, Auf der Hütte 2



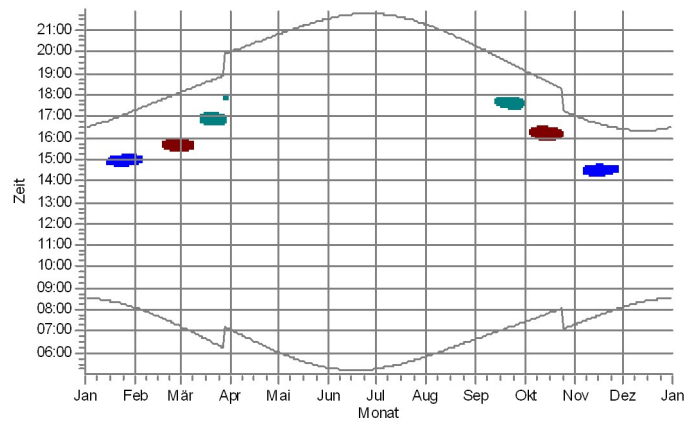
BD10: Bödefeld, Auf der Hütte 2a



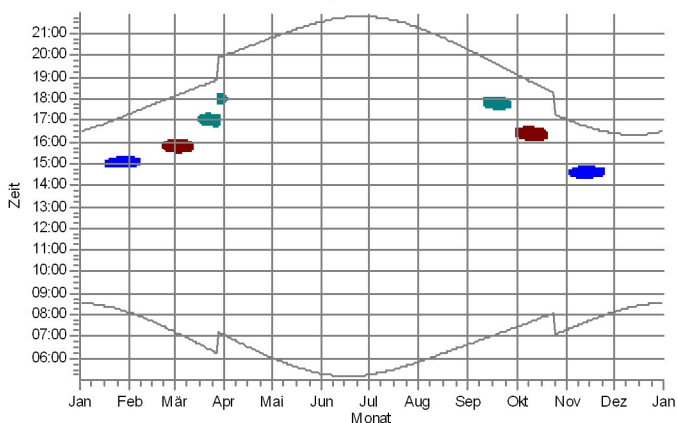
BD11: Bödefeld, Auf der Hütte 4



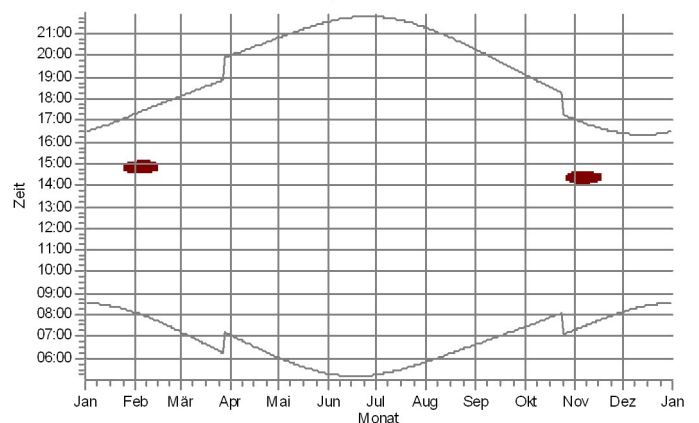
BD12: Bödefeld, Auf der Hütte 6



BD13: Bödefeld, Auf der Hütte 7



BD19: Bödefeld, Freiheitstraße 47



WEA

GW-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (3)
Abo-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (6)

Abo-5: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (8)

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

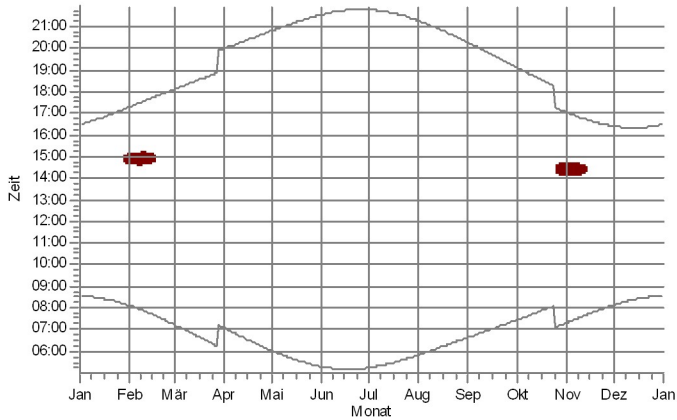
Berechnet:

23.09.2024 13:26/4.0.552

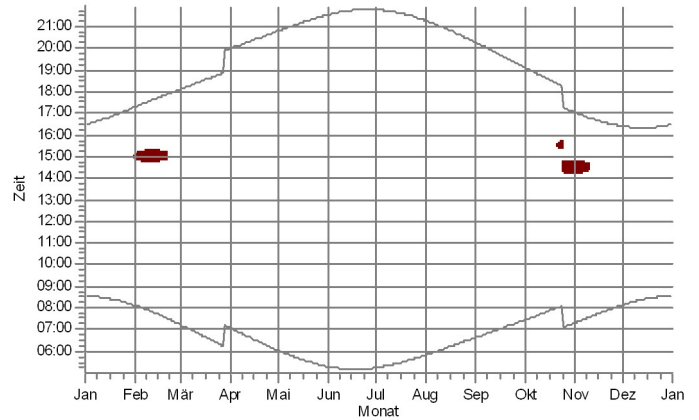
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

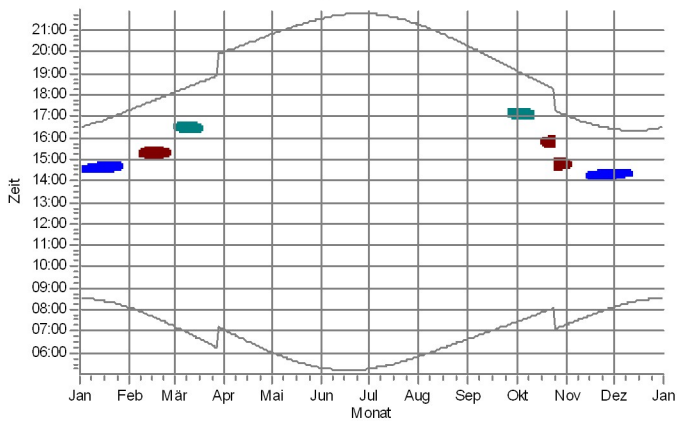
BD20: Bödefeld, Hunaustraße 27



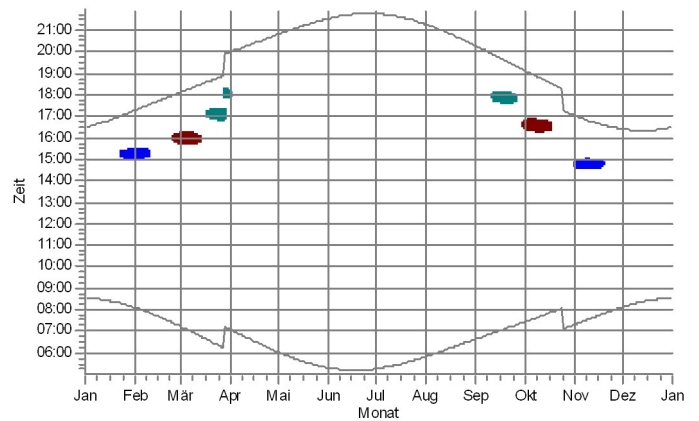
BD21: Bödefeld, Hunaustraße 30



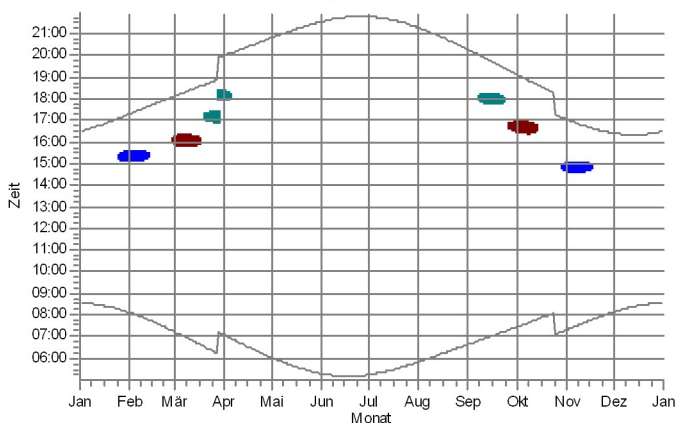
BD22: Bödefeld, Hunaustraße 34a



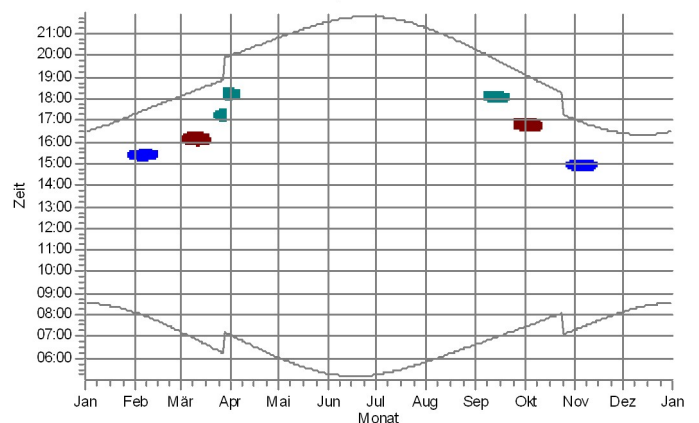
BD23: Bödefeld, Hunaustraße 43



BD24: Bödefeld, Hunaustraße 45



BD25: Bödefeld, Hunaustraße 46



WEA

GW-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (3)
Abo-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (6)

Abo-5: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (8)

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

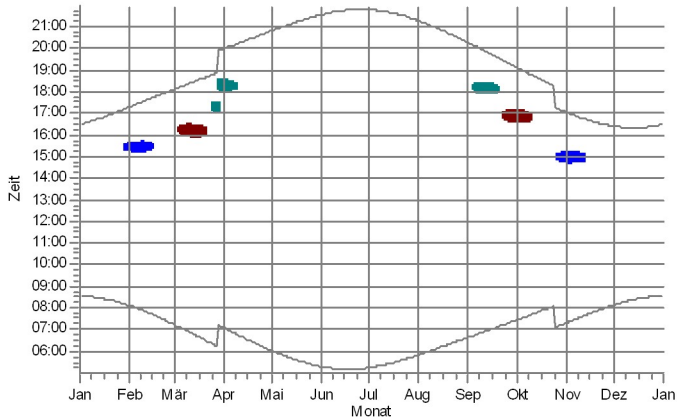
Berechnet:

23.09.2024 13:26/4.0.552

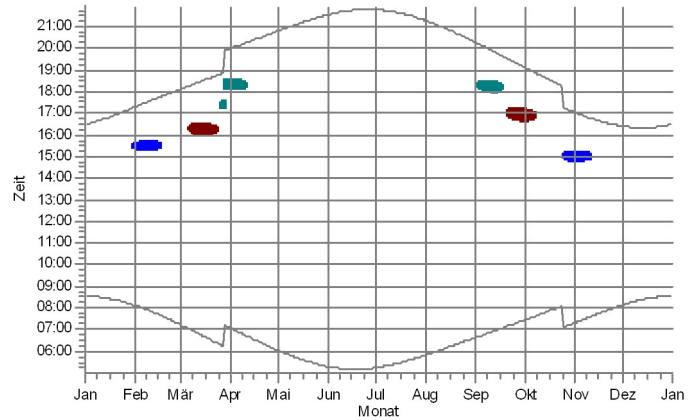
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

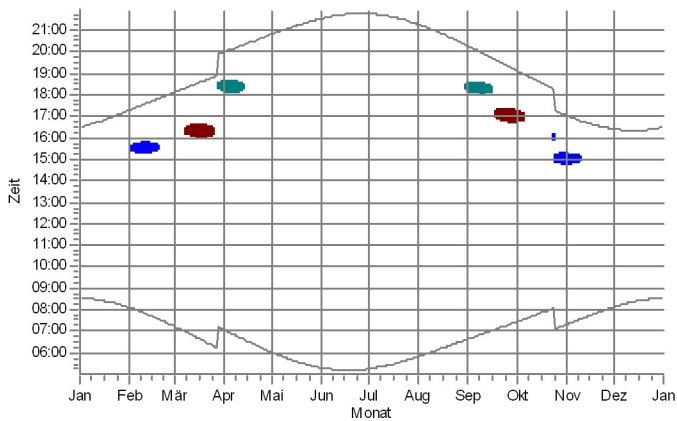
BD26: Bödefeld, Hunaustraße 46a



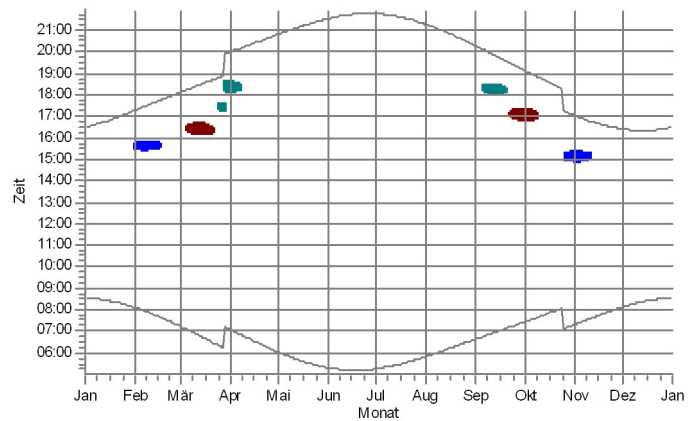
BD27: Bödefeld, Hunaustraße 47



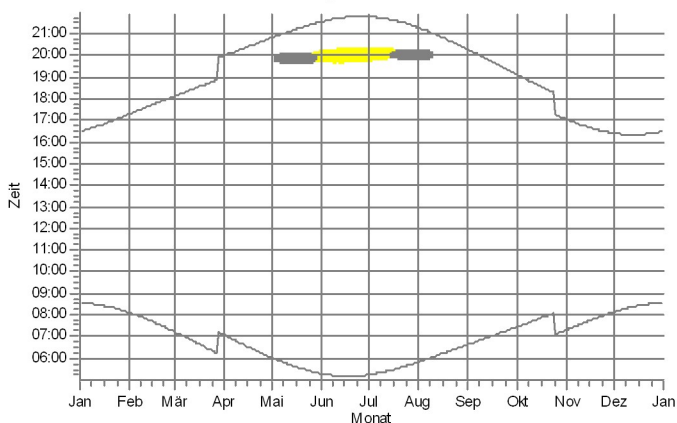
BD28: Bödefeld, Hunaustraße 48



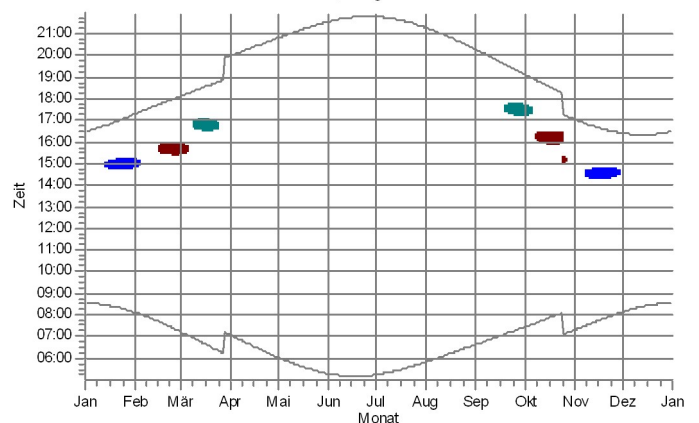
BD29: Bödefeld, Hunaustraße 51



BD30: Bödefeld, Hunaustraße 81



BD31: Bödefeld, Lingenauer 10



WEA

GW-2: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (2)
 GW-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (3)
 Abo-1: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (4)

Abo-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (6)
 Abo-5: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (8)

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

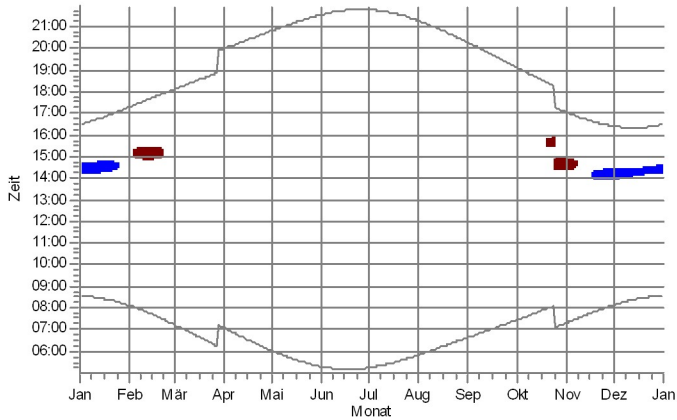
Berechnet:

23.09.2024 13:26/4.0.552

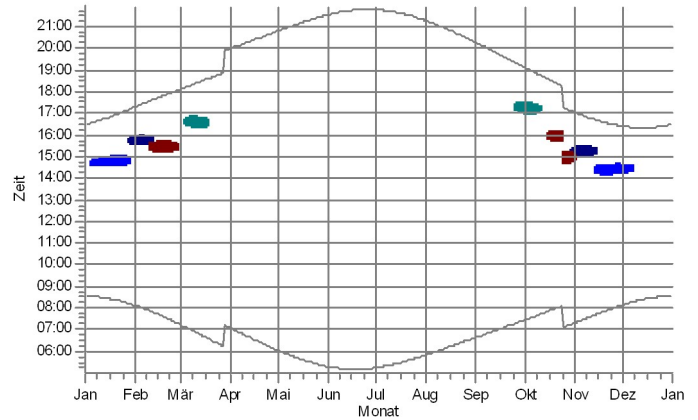
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

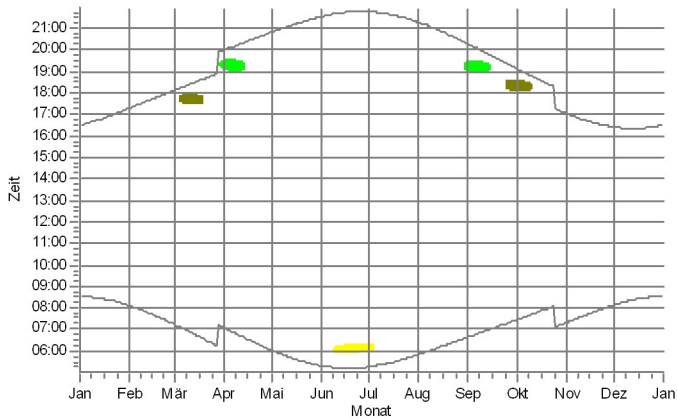
BD32: Bödefeld, Lingenauwer 6



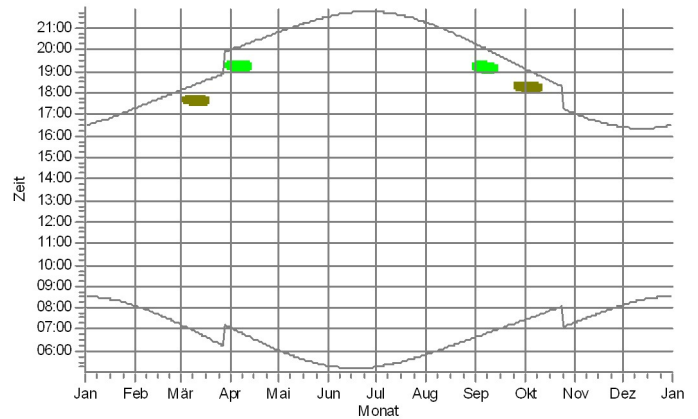
BD34: Bödefeld, Lingenauwer 7



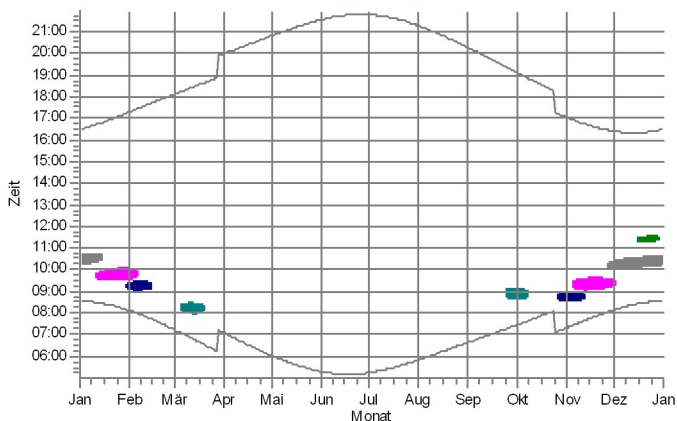
RM01: Rimberg, Rimberg 3



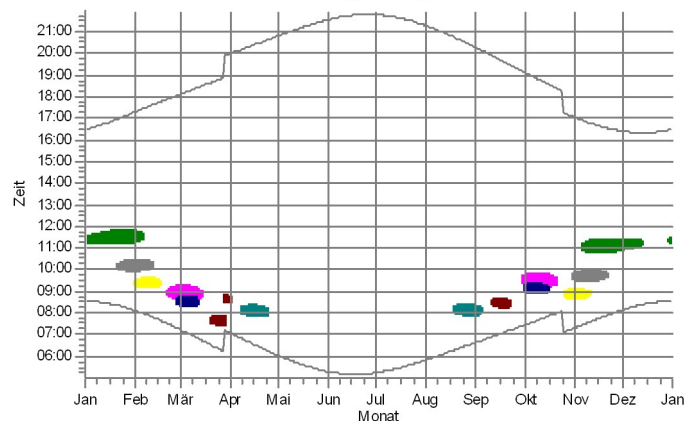
RM02: Rimberg, Rimberg 2



SA18: Schmallenberg, Gellinghausen 41



SA19: Schmallenberg, Gellinghausen 42



WEA

- GW-1: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (1)
- GW-2: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (2)
- GW-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (3)
- Abo-1: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (4)
- Abo-2: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (5)

- Abo-3: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (6)
- Abo-4: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (7)
- Abo-5: VESTAS V150-5.6/6.0 6000 150.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:244,0 m) (8)
- BF05: VESTAS V162-6.0 6000 162.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (214)
- BF06: VESTAS V162-6.0 6000 162.0 IO! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (215)

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Höherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com
Berechnet:
23.09.2024 13:33/4.0.552

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung Irrelevant

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
546	345	299	448	504	465	609	912	1.389	1.380	978	741	8.618

Monatliche Aggregation der met. wahrsch. Reduzierung

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

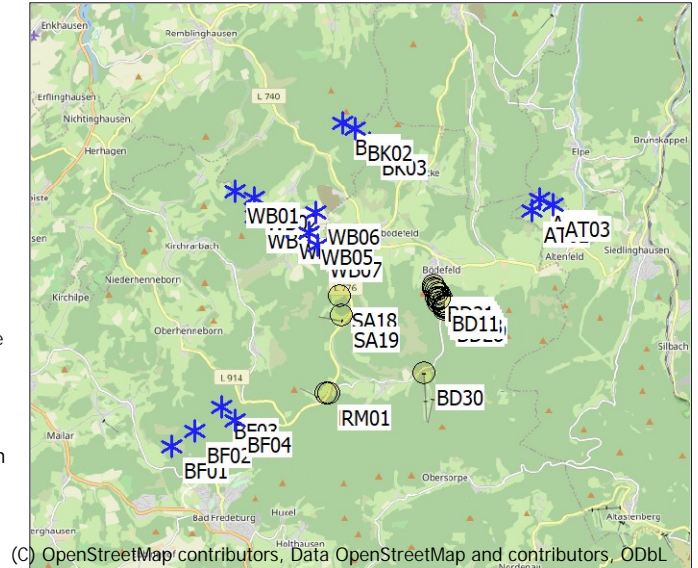
Verwendete Höhenlinien: DMG5 NRW

Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

WEA



* Existierende WEA

Maßstab 1:200.000

● Schattenrezeptor

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ	Ak- tu- ell	Hersteller	Typ	Nenn- leistung	Rotor- durch- messer	NH	Schattendaten	Beschatt.- Bereich	U/min
			[m]						[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]	
AT01	460.373	5.679.397	652,3	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
AT02	460.150	5.679.075	623,7	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
AT03	460.729	5.679.253	596,3	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
BF01	450.546	5.672.958	615,4	VESTAS V162-6.0 6000 1...	Ja		VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-	
BF02	451.155	5.673.351	541,3	VESTAS V162-6.0 6000 1...	Ja		VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-	
BF03	451.891	5.673.972	635,9	VESTAS V162-6.0 6000 1...	Ja		VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-	
BF04	452.250	5.673.596	636,6	VESTAS V162-6.0 6000 1...	Ja		VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-	
BK01	455.155	5.681.436	681,1	VESTAS V162-6.0 6000 1...	Ja		VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-	
BK02	455.512	5.681.300	634,6	VESTAS V162-6.0 6000 1...	Ja		VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-	
BK03	455.860	5.680.915	660,9	VESTAS V162-6.0 6000 1...	Ja		VESTAS	V162-6.0-6.000	6.000	162,0	169,0	2.041	-	
WB01	452.307	5.679.686	527,1	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
WB02	452.790	5.679.473	601,6	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
WB03	452.826	5.679.008	585,3	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
WB04	453.658	5.678.710	504,3	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
WB05	454.240	5.678.569	530,6	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
WB06	454.434	5.679.091	509,5	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	
WB07	454.463	5.678.213	557,5	GE WIND ENERGY 5.5-1...	Ja		GE WIND ENERGY	5.5-158-5.500	5.500	158,0	161,0	1.816	-	

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]
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	457.667	5.676.817	498,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	457.630	5.676.812	505,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	457.690	5.676.763	500,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	457.668	5.676.734	506,3	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	457.676	5.676.669	516,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	457.557	5.677.112	487,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	457.552	5.677.056	489,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	457.583	5.677.015	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	457.648	5.676.936	487,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	457.792	5.676.684	499,1	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	457.796	5.676.637	500,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	457.802	5.676.598	502,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	457.815	5.676.573	504,9	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

(Fortsetzung nächste Seite)...

24-1-3105-000-SW Schattenwurfprognose Nonnenberg

Projekt:

24-1-3005-000
Grünwerke

Beschreibung:

Windpark Nonnenberg, Stadt Schmallenberg, Landkreis
Hochsauerlandkreis, Bundesland Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 KasselHöherweg 200
40233 Düsseldorf

Samuel Woodward / samuel.woodward@ramboll.com

Berechnet:

23.09.2024 13:33/4.0.552

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung Irrelevant

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	457.817	5.676.542	505,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	457.803	5.676.503	508,4	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	457.896	5.676.556	514,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	457.263	5.674.835	602,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	457.746	5.676.818	495,6	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	457.625	5.676.994	484,5	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	457.703	5.676.909	495,8	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
RM01	Rimberg, Rimberg 3	454.752	5.674.296	605,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
RM02	Rimberg, Rimberg 2	454.677	5.674.309	607,2	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	455.030	5.676.875	532,0	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	455.096	5.676.348	523,7	0,1	0,1	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

		astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
Nr.	Name	Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr	
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]	
BD09	Bödefeld, Auf der Hütte 2	0:00	0	0:00	0:00	
BD10	Bödefeld, Auf der Hütte 2a	0:00	0	0:00	0:00	
BD11	Bödefeld, Auf der Hütte 4	0:00	0	0:00	0:00	
BD12	Bödefeld, Auf der Hütte 6	0:00	0	0:00	0:00	
BD13	Bödefeld, Auf der Hütte 7	0:00	0	0:00	0:00	
BD19	Bödefeld, Freiheitstraße 47	0:00	0	0:00	0:00	
BD20	Bödefeld, Hunaustraße 27	0:00	0	0:00	0:00	
BD21	Bödefeld, Hunaustraße 30	0:00	0	0:00	0:00	
BD22	Bödefeld, Hunaustraße 34a	0:00	0	0:00	0:00	
BD23	Bödefeld, Hunaustraße 43	0:00	0	0:00	0:00	
BD24	Bödefeld, Hunaustraße 45	0:00	0	0:00	0:00	
BD25	Bödefeld, Hunaustraße 46	0:00	0	0:00	0:00	
BD26	Bödefeld, Hunaustraße 46a	0:00	0	0:00	0:00	
BD27	Bödefeld, Hunaustraße 47	0:00	0	0:00	0:00	
BD28	Bödefeld, Hunaustraße 48	0:00	0	0:00	0:00	
BD29	Bödefeld, Hunaustraße 51	0:00	0	0:00	0:00	
BD30	Bödefeld, Hunaustraße 81	0:00	0	0:00	0:00	
BD31	Bödefeld, Lingenauwer 10	0:00	0	0:00	0:00	
BD32	Bödefeld, Lingenauwer 6	0:00	0	0:00	0:00	
BD34	Bödefeld, Lingenauwer 7	0:00	0	0:00	0:00	
RM01	Rimberg, Rimberg 3	0:00	0	0:00	0:00	
RM02	Rimberg, Rimberg 2	0:00	0	0:00	0:00	
SA18	Schmallenberg, Gellinghausen 41	0:00	0	0:00	0:00	
SA19	Schmallenberg, Gellinghausen 42	0:00	0	0:00	0:00	

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
AT01	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (201)	0:00	0:00
AT02	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (203)	0:00	0:00
AT03	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (202)	0:00	0:00
BF01	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (219)	0:00	0:00
BF02	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (218)	0:00	0:00
BF03	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (217)	0:00	0:00
BF04	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (216)	0:00	0:00
BK01	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (198)	0:00	0:00
BK02	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (199)	0:00	0:00
BK03	VESTAS V162-6.0 6000 162.0 !O! NH: 169,0 m (Ges:250,0 m) (200)	0:00	0:00
WB01	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (204)	0:00	0:00
WB02	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (205)	0:00	0:00
WB03	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (206)	0:00	0:00
WB04	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (207)	0:00	0:00
WB05	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (209)	0:00	0:00
WB06	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (208)	0:00	0:00
WB07	GE WIND ENERGY 5.5-158 5500 158.0 !-! NH: 161,0 m (Ges:240,0 m) (210)	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.

Anhang: Akkreditierung und theoretische Grundlagen



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

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

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

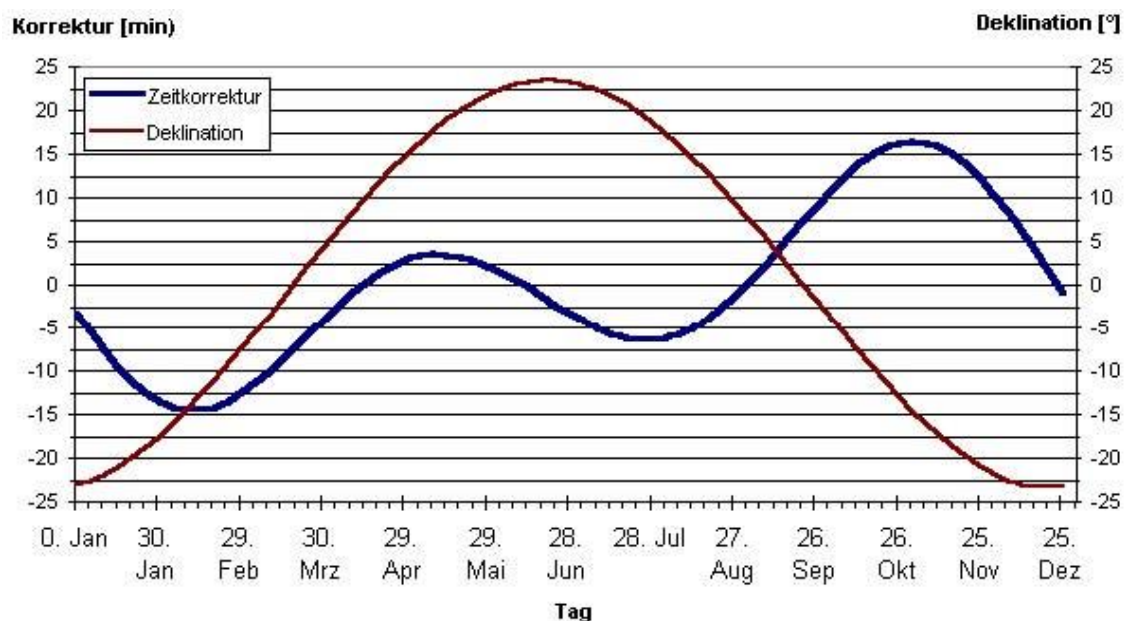


Abbildung 2: Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

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

2 Schattenwurf von WEA

2.1 Beschattungsbereich

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

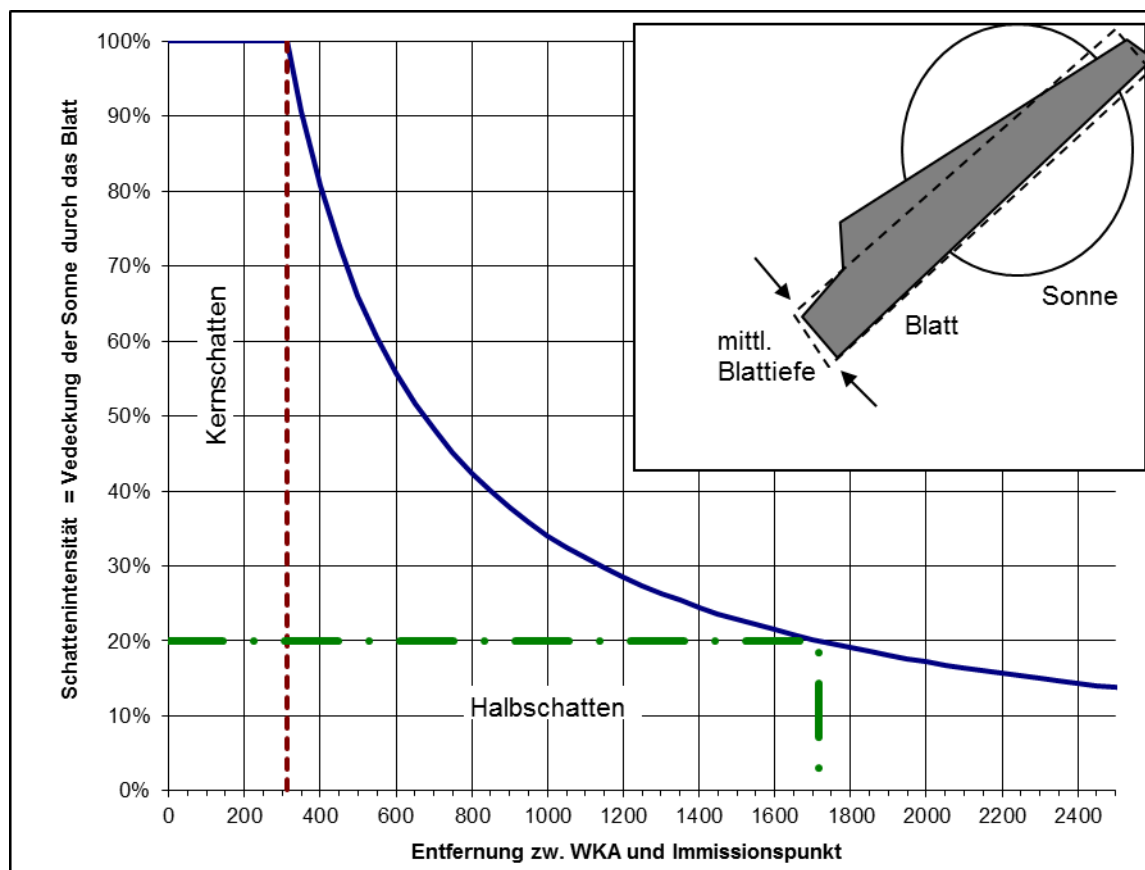


Abbildung 3: Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblatttiefe und Entfernung

2.2 Schattenverlauf und Berechnung der Beschattungsdauern

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

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

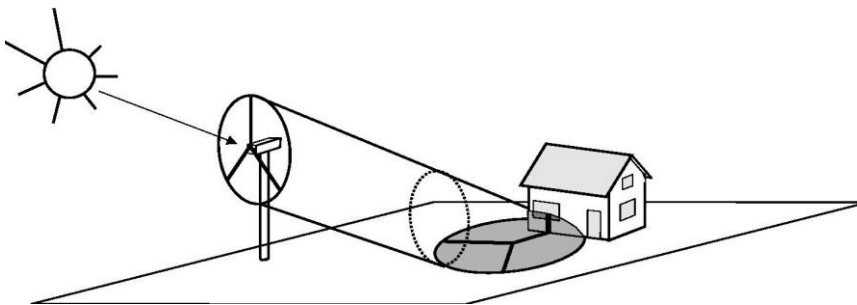


Abbildung 4: Schattenwurf des Rotors

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

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

eine wesentliche Reduktion der Beeinträchtigung zu erwarten ist.

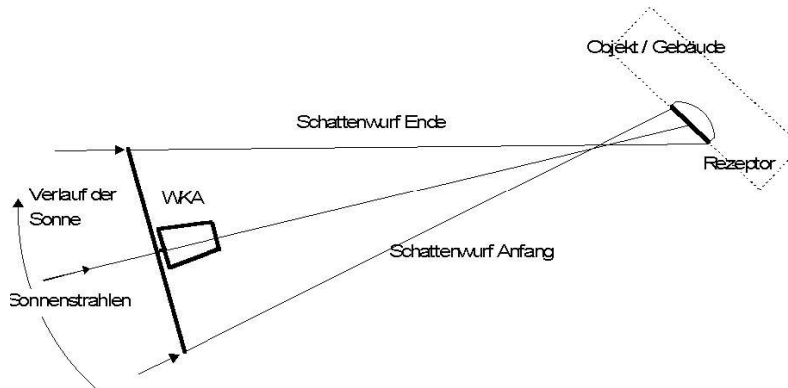


Abbildung 5: Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

2.3 Richtlinien

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

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

2.4 Wahrscheinlichkeitsbetrachtung

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

2.4.1 Sonnenscheinwahrscheinlichkeit

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

2.4.2 Reduktion der Schattenwurfdauer durch den Azimutwinkel

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

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

einer in der Nähe gemessenen Windstatistik aus einer meteorologischen Station entnommen werden kann. Entsprechend der sektoriellen Windrichtungsverteilung wird die relevante Schattenwurfrihtungsbeziehung (WEA - Immissionspunkt) einem Windrichtungssektor zugeordnet. Gegenüberliegende Sektoren (Luv oder Lee von der Sonne angestrahlt) werden dabei in gleicher Weise berücksichtigt. Durch die Schrägstellung der Rotorebene verkleinern sich der Schattenwurfkegel und somit auch die Zeitpunkte des Schattenanfangs und des Schattenendes, 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 $T_{max} = 30 \text{ h/Jahr}$.* 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.