

Schattenwurfprognose für
zwei Windenergieanlagen
am Standort
Olpe-Rehringhausen
(Nordrhein-Westfalen)

Datum: 04.09.2023

Bericht Nr. 20-1-3089-002-SRM

Auftraggeber:

SL Windenergie GmbH

Voßbrinkstr. 67 | 45966 Gladbeck

Auftragsnummer: 352005951

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Robbin Meisel M.Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Fax 0561 / 288 573-19

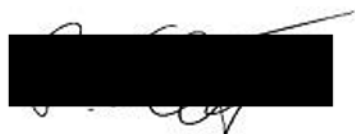
Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort Olpe-Rehringhausen (Nordrhein-Westfalen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im Juli 2023 von der SL Windenergie GmbH in Auftrag gegeben und gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach bestem Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt. Die Ramboll Deutschland GmbH ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 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.

Für die physikalische Einhaltung der prognostizierten Ergebnisse der Schattenwurfprognose werden seitens des Gutachters keine Garantien übernommen. Sie basieren auf Berechnungen nach den Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [1] 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 [2] 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	19.11.2020	R. Meisel	Planung von zwei E-138 EP3 E2
001	28.05.2021	R. Meisel	Berücksichtigung einer weiteren VB-WEA
002	04.09.2023	R. Meisel	Änderung des WEA-Typs: Enercon E-175 EP5

Kassel, 04.09.2023



Robbin Meisel M.Sc.
(Bearbeiter)



Raffael Herth M.Sc.
(Prüfer)

Inhalt:

1	Zusammenfassung	4
2	Standort- und WEA-Daten	5
	2.1 Aufgabenstellung	5
	2.2 Immissionsorte	6
	2.3 Immissionsrichtwerte	10
	2.4 Windenergieanlagen	11
3	Schattenwurfberechnungen	12
	3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer	12
	3.2 Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer	13
4	Bewertung der Ergebnisse	14
	4.1 Hinweise zur Abschaltautomatik	14
	4.2 Genauigkeit der Prognose	15
5	Quellenverzeichnis	16
6	Anhang	17

1 Zusammenfassung

Am Windparkstandort Olpe-Rehringhausen wurden für zwölf Immissionsorte die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante WEA (Ersatz für zwei bestehende E-66) sowie eine existierende WEA (E-40) entsprechend den WEA-Schattenwurf-Hinweisen [1] berechnet. Die Immissionsrichtwerte betragen dabei maximal 30 Stunden im Jahr und maximal 30 Minuten am Tag. Den Berechnungen wird ein Worst Case-Szenario zugrunde gelegt.

Diese Werte werden ohne Schattenwurf begrenzende Maßnahmen an einigen Immissionsorten überschritten (siehe Tabelle 3).

Die WEA-Schattenwurf-Hinweise [1] sehen für diesen Fall vor, dass der Schattenwurf der WEA, die eine Überschreitung verursachen, mittels einer Abschaltautomatik entsprechend den Richtwerten begrenzt wird. Im vorliegenden Fall betrifft dies drei bestehende Gebäude (Ne00, Ne01, Ne02). Weiterhin werden die Richtwerte für Immissionsorte in einem bisher unbebauten Gebiet überschritten (GI-Gebiet *Rother Stein*). Für den Fall einer weiteren Bebauung des GI-Gebiets *Rother Stein* ist eine Einhaltung der Richtwerte für diesen Bereich ebenfalls sicherzustellen.¹

¹ Laut Aussage des Betreibers der Abfallentsorgungsanlage ist vorgesehen den kürzlich erworbenen südlichen Teil des Betriebsgeländes mit schützenswerter Bebauung (unter anderem Büros) zu bebauen. Wann und ob dies geschieht ist nicht bekannt. Die Genehmigungsbehörde sollte für den Fall einer weiteren Bebauung nach Errichtung der Gebäude eine entsprechende Anpassung der Programmierung der Abschaltautomatik sicherstellen.

2 Standort- und WEA-Daten

2.1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant am Standort Olpe-Rehringhausen nördlich von Rehringhausen zwei Windenergieanlagen (WEA) des Typs Enercon E-175 EP5 mit 162 m Nabenhöhe zu errichten. Diese sollen im Rahmen einer Änderungsgenehmigung zwei bereits genehmigte WEA des Typs Enercon E-138 EP3 E2 ersetzen (Repowering von zwei bestehenden Alt-WEA E-66/18.66). Die Standorte der beiden genehmigten WEA werden im Rahmen der Umplanung geringfügig angepasst.

Tabelle 1: Kenndaten der geplanten WEA

WEA	WEA Hersteller / Typ	Nabenhöhe	Rechtswert	Hochwert
		[m]	[UTM 32 ETRS89]	
1	Enercon E-175 EP5	162	424.066	5.656.367
2	Enercon E-175 EP5	162	423.577	5.656.133

Eine weitere am Standort bestehende WEA (E-40) wird als Vorbelastung betrachtet. Mit weiteren WEA gibt es keinen gemeinsamen Beschattungsbereich (siehe Berechnung und Karte im Anhang). Im Folgenden bleiben diese WEA deshalb unberücksichtigt.

Es sollen die Immissionen durch periodischen Schattenwurf der Windenergieanlagen nach den Grundlagen der LAI [1] an der umliegenden Bebauung berechnet werden.

Grundlage der Berechnung sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der geplanten WEA (Typ, Nabenhöhe, Koordinaten) sowie die bei der Standortbesichtigung am 13.11.2020 erhobenen Daten über relevante Immissionsorte und deren Umgebung. Das Höhenrelief wurde dem DGM-5 NRW entnommen. Die Berechnung wurde mit der Software windPRO, Modul SHADOW [2] durchgeführt.

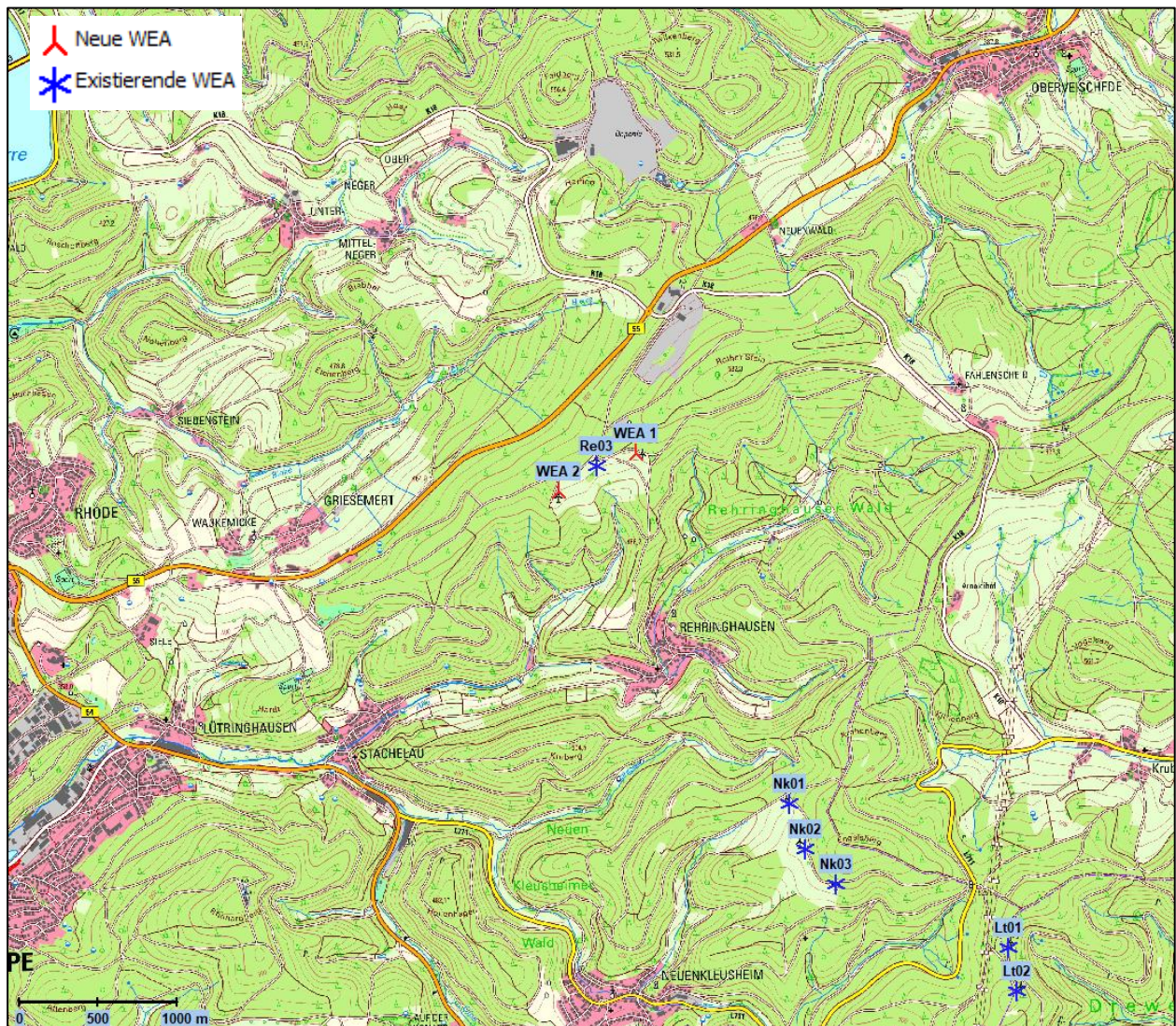


Abbildung 1: Übersichtskarte [3]

2.2 Immissionsorte

Die *Maßgeblichen Immissionsorte* nach [1] sind 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 Beschattungsbereichs² der neu geplanten WEA nach dem 20 %-Kriterium [4].

Die zu Grunde liegenden WEA Kenndaten zur Berechnung des Beschattungsbereichs sind in Kapitel 2.4 dargestellt. Die Grenzen des Beschattungsbereichs der Zusatzbelastung sind auf der Karte in Abbildung 2 als rote Linie dargestellt.

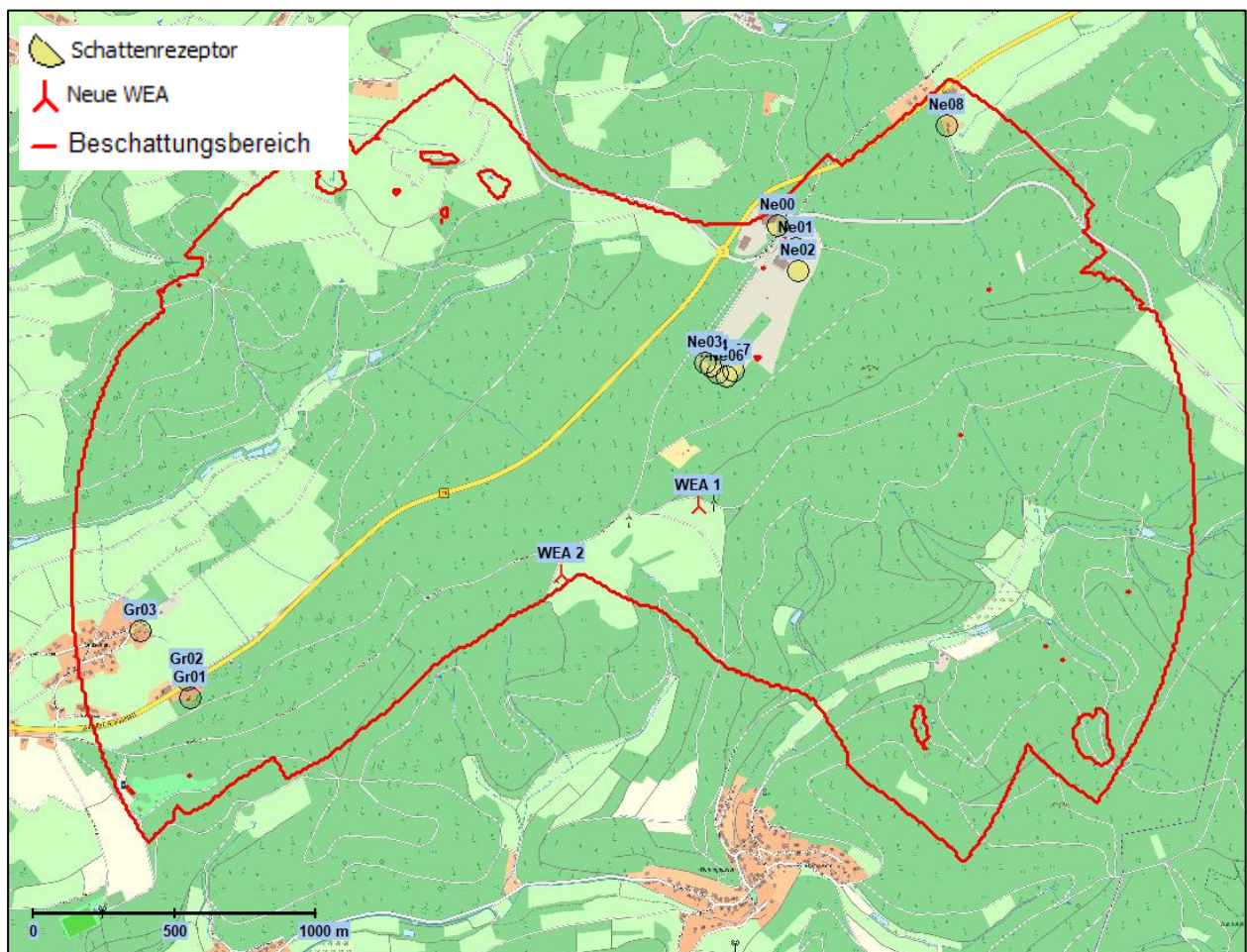


Abbildung 2: Beschattungsbereich der neu geplanten WEA (© [5])

Nach diesen Kriterien wurden ausgewählte Häuser bzw. feste Arbeitsstätten als relevante Immissionsorte gewählt.³ Für das bebaubare Gebiet *GI Rother Stein* wurde gemäß WKA-Schattenwurf-

² Distanz zur WEA, ab dem das Rotorblatt nur noch 20 % der Sonne verdeckt und der diffuse Schatten nicht mehr als Schlagereignis wahrnehmbar ist.

³ Zwei bestehende Gebäude am Abfallentsorgungsbetrieb Rother Stein wurden nicht als Immissionsorte definiert, da es sich um befahrbare Hallen handelt, bei denen zur WEA ausgerichtete Fenster fehlen (lediglich Rolltore vorhanden) und keine ortsfeste Arbeitsstätten vorliegen (Fahrzeugbetrieb).

Hinweisen [1] die am meisten betroffene Grenze des Baugebiets (Südwest) mit Rezeptoren versehen. Bei der Standortbesichtigung am 13.11.2020 wurden alle Immissionsorte in Augenschein genommen und dokumentiert.

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



Abbildung 3: Lage der Immissionsorte Gr01-Gr03 [5]

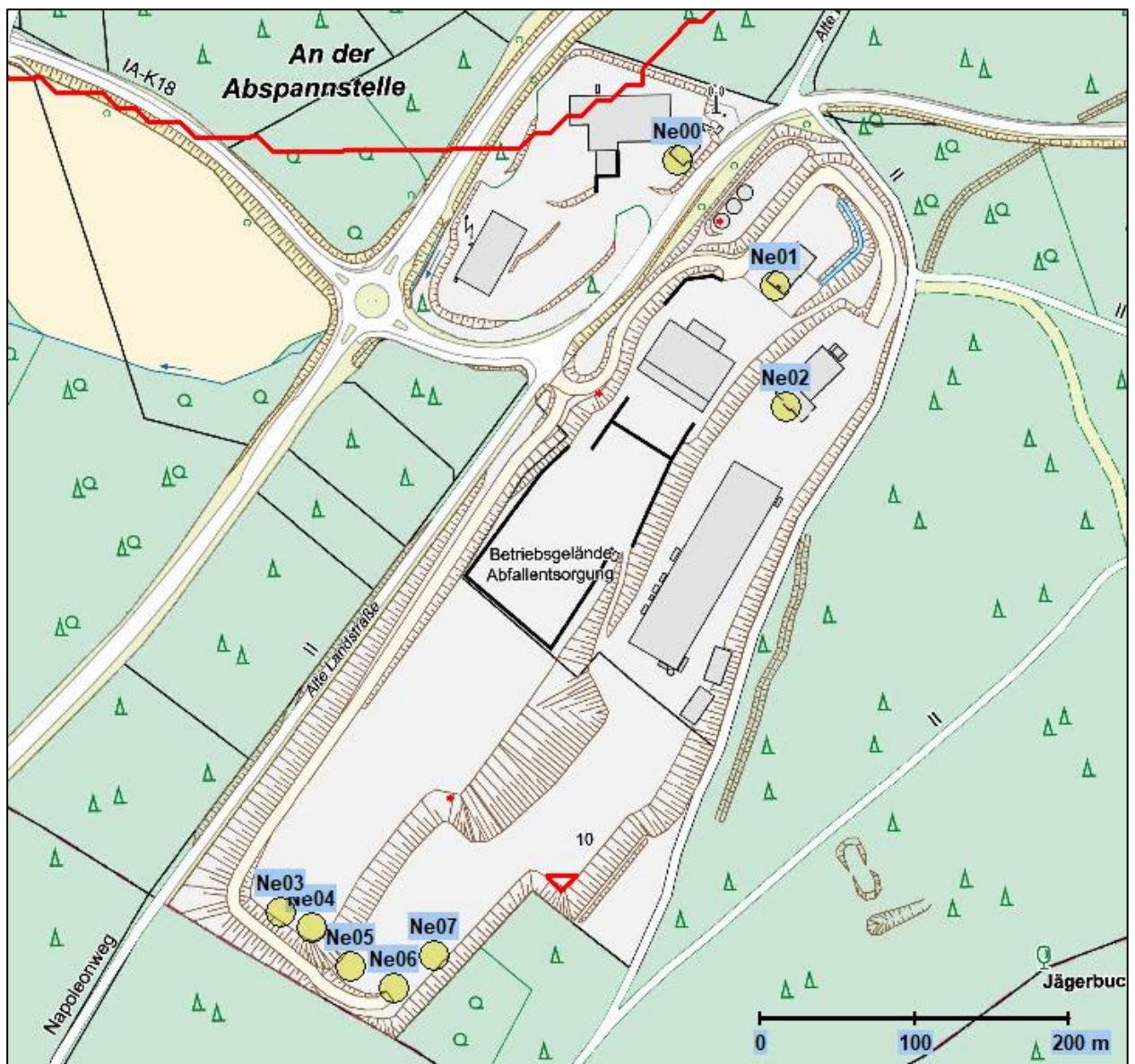


Abbildung 4: Lage der Immissionsorte Ne00-Ne07 [5]



Abbildung 5: Lage des Immissionsorts Ne08 [5]

2.3 Immissionsrichtwerte

Für die Beurteilung der Erheblichkeit der Belästigung durch Schattenwurf [6] [7] wurden folgende Immissionsrichtwerte festgelegt [1]:

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 Olpe-Rehringhausen die Errichtung von zwei Windenergieanlagen. Zwei bestehende WEA am Standort werden im Zuge der Planungen abgebaut und bleiben deshalb unberücksichtigt. Eine weitere, sich am Standort befindliche WEA (Re03) bleibt zunächst bestehen und wird deshalb als Vorbelastung berücksichtigt.

Eine im Rahmen der der Genehmigung zu Grunde liegenden Prognose betrachtete WEA (Vestas V126, Griesemert, ABO Wind) ist nach Angaben des Kreises Olpe [8] mit dem Vermerk „abgelehnt“ gekennzeichnet und wird deshalb nicht mehr betrachtet.

Mit den restlichen existierenden WEA gibt es keinen gemeinsamen Beschattungsbereich, weshalb diese unberücksichtigt bleiben (siehe Anhang). Die Kenndaten der berücksichtigten WEA sind Tabelle 2 zu entnehmen. Der Beschattungsbereich wurde nach dem 20%-Kriterium [1] [9] aus den Rotorblattdimensionen und Nabenhöhen ermittelt.

Tabelle 2: Kenndaten Zusatz- und relevante Vorbelastungs-WEA

WEA ID	WEA Typ	Ost	Nord	NH	RD	max. BT	min. BT	Ø BT	BB ³
		[UTM32 ETRS89]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
WEA 1	E-175 EP5	424.066	5.656.367	162,0	175,0	4,05	1,11	2,58	1.750
WEA 2	E-175 EP5	423.577	5.656.133	162,0	175,0	4,05	1,11	2,58	1.750
Re03	E-40/6.44	423.817	5.656.292	77,7	44,0	1,97	0,49	1,23	834

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

3 Schattenwurfberechnungen

3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer

Für die geplanten und die bestehende 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 quer zum Sonnenazimut stehenden Rotors (größtmögliche Schattenfläche). Die Berechnungen werden ohne Berücksichtigung der Sichtverschattung durch Bebauung und Bewuchs durchgeführt.

Die Ergebnisse der Berechnungen können der folgenden Tabelle entnommen werden. Die fett hervorgehobenen Werte überschreiten die Immissionsrichtwerte. 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
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	0:00	24:57	24:57	0:00	0:30	0:30
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	0:00	21:34	21:34	0:00	0:30	0:30
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	0:00	14:03	14:03	0:00	0:27	0:27
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	0:00	13:43	13:43	0:00	0:40	0:40
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	0:00	42:02	42:02	0:00	1:06	1:06
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	0:00	60:00	60:00	0:00	1:16	1:16
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	138:00	138:00	0:00	1:22	1:22
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	143:42	143:42	0:00	1:23	1:23
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	217:06	217:06	0:00	2:15	2:15
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	226:29	226:29	0:00	2:15	2:15
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	208:54	208:54	0:00	2:10	2:10
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	0:00	13:44	13:44	0:00	0:24	0:24

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 in den meisten Fällen die Begrenzung auf die reale Beschattungsdauer von 8 Std./Jahr (nach [1], [10]) steuerungstechnisch umgesetzt wird. Sie berücksichtigt statistische Daten zu

- Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (mittlere tägliche Sonnenscheinstunden) pro Monat, nach Angaben der Sonnenschein-Datenbank für die Station Bonn,
- Betriebsstunden der WEA je Richtungssektor, ermittelt aus der Windstatistik der DWD-Station Meinerzhagen und der Startgeschwindigkeit der WEA,
- Variable Schattengröße des Rotors, ermittelt aus der Windrichtungsverteilung der Windstatistik der DWD-Station Meinerzhagen und der Richtung 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
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	0:00	6:15	6:15
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	0:00	5:24	5:24
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	0:00	3:31	3:31
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	0:00	1:22	1:22
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	0:00	4:29	4:29
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	0:00	6:41	6:41
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	17:09	17:09
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	18:00	18:00
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	27:13	27:13
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	28:39	28:39
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	26:04	26:04
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	0:00	1:28	1:28

4 Bewertung der Ergebnisse

Am Windparkstandort Olpe-Rehringhausen wurden für elf Immissionsorte die Beschattungsdauern durch zwei neu geplante WEA sowie eine bestehende WEA entsprechend den WEA-Schattenwurf-Hinweisen [1] berechnet. Die Immissionsrichtwerte der Beschattungsdauern betragen maximal 30 Stunden im Jahr und maximal 30 Minuten am Tag.

IO Gr01, Gr02, Gr03, Ne08: An diesen Immissionsorten werden alle Richtwerte eingehalten.

IO Ne00 bis Ne02: An diesen Immissionsorten (bestehende Gebäude) werden die Richtwerte ohne Schattenwurf-begrenzende Maßnahmen durch den Einfluss der Zusatzbelastung überschritten. Die Überschreitung beträgt maximal 30,0 Std./Jahr bzw. 46 Min/Tag.

IO Ne03 bis Ne07: An diesen Immissionsorten (bisher nicht bebaut) werden die Richtwerte ohne Schattenwurf-begrenzende Maßnahmen durch den Einfluss der Zusatzbelastung überschritten. Die Überschreitung beträgt maximal 196,5 Std./Jahr bzw. 105 Min/Tag. Für den Fall, dass der südliche Teil des Betriebsgeländes des Abfallentsorgungsbetriebs im Gl Rother Stein mit schützenswerter Bebauung (bspw. Büros) bebaut wird, sollte für diesen Bereich ebenfalls eine Einhaltung der Richtwerte sichergestellt werden.⁴

Aufgrund der berechneten Überschreitungen empfehlen wir die Abschaltung der neu geplanten WEA 1 und WEA 2 über eine Abschaltautomatik zu steuern (siehe tabellarische und grafische Schattenwurfkalender im Anhang).

4.1 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

⁴ Laut Aussage des Betreibers der Abfallentsorgungsanlage ist vorgesehen den kürzlich erworbenen südlichen Teil des Betriebsgeländes mit schützenswerter Bebauung (unter anderem Büros) zu bebauen. Wann und ob dies geschieht ist nicht bekannt. Die Genehmigungsbehörde sollte für den Fall einer weiteren Bebauung nach Errichtung der Gebäude eine entsprechende Anpassung der Programmierung der Abschaltautomatik sicherstellen.

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 [11], 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.

4.2 Genauigkeit der Prognose

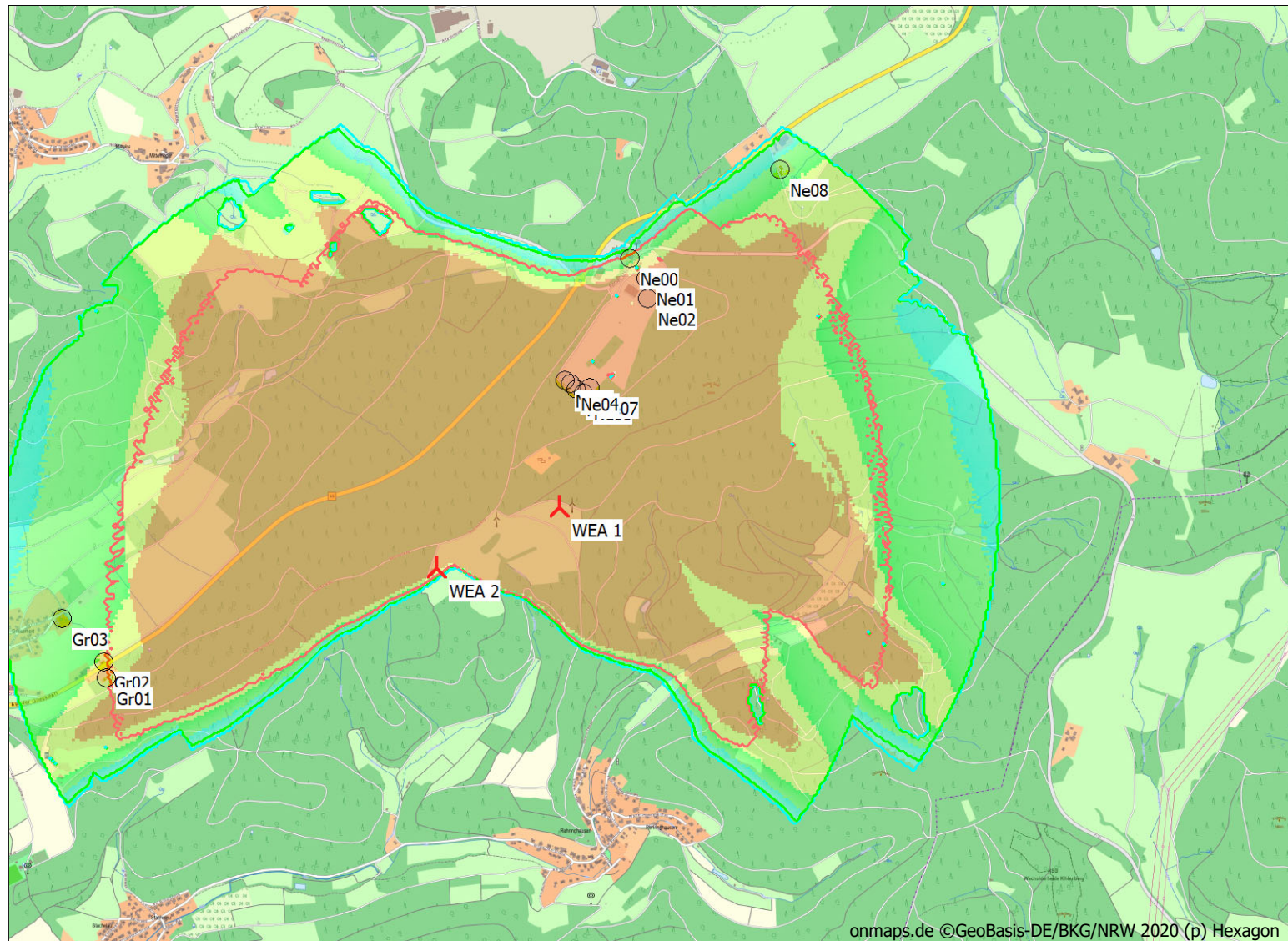
Den Berechnungen nach den Vorgaben der WKA-Schattenwurfhinweise [11] wird ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. In diesem Sinne wird die astronomisch maximal mögliche Beschattung zur Beurteilung herangezogen sowie keine lichtundurchlässigen Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, berücksichtigt. Als Basis für die Bestimmung der Position der Immissionsorte dient Kartenmaterial, das auf den Gebäudeumringen des amtlichen Liegenschaftskataster Deutschland (ALKIS) basiert [12]. 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 [11]) entsprochen. Basierend auf der Grundgenauigkeit der Eingangsdaten kann die Unsicherheit bei der Berechnung der Beschattungszeiten mit durchschnittlich $\pm 1 \%$ angegeben werden [13].

5 Quellenverzeichnis

- [1] LAI, Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen Aktualisierung 2019 (WEA-Schattenwurf-Hinweise), Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), 23.01.2020.
- [2] EMD, Software WindPRO, Modul SHADOW, jeweils aktuellste Version, 9220 Aalborg (DK): EMD International A/S, 2019.
- [3] TK25, Topografische Karte im Maßstab 1:25.000, Landesvermessungsamt des jeweiligen Bundeslandes, aktuellste Version.
- [4] SUA, Ergebnisprotokoll des 3. Fachgesprächs vom 19.11.1999 über Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen, Schleswig: Staatliches Umweltamt Schleswig, 1999.
- [5] geoGLIS_oHG, *onmaps GEOBasis-DE / BKG / NRW*, 2018.
- [6] F. J.Pohl, Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie, Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31.07.1999 .
- [7] F. J.Pohl, Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie, Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, 15.05.2000 .
- [8] Kreis Olpe, Fachdienst Umwelt, AW: Vorbelastungen Olpe A4 für Schall/Schattenprognose, Tabelle WEA_Anlagen_akt.xlsx, 27.06.2023.
- [9] Freud, Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen, H. D. freud, Umweltforschungsbank UFORDAT, Juni 1999.
- [10] Freund, Effektive Einwirkzeit T_w des Schattenwurfs bei $T_{max} = 30$ h/Jahr, Kiel: H. D. Freud, Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel, 24.01.2001.
- [11] LAI, Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen Aktualisierung 2019 (WKA-Schattenwurfhinweise), Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), 23.01.2020.
- [12] geoGLIS_oHG, *onmaps GEOBasis-DE / BKG / NRW*, aktuelle Version.
- [13] Ramboll, Interne Analyse zur Sensitivität der Berechnungsergebnisse bezüglich der Genauigkeit der Positionsdaten, 2021-11.

6 Anhang

- Beschattungskarten für den Windparkstandort Olpe-Rehringhausen
 - Zusatzbelastung
 - Gesamtbelastung
- Berechnungsergebnisse der Beschattungsdauern an den Immissionsorten
 - Vorbelastung (irrelevant, relevant), Zusatzbelastung:
 - Hauptergebnis
 - Gesamtbelastung:
 - Hauptergebnis
 - grafische Kalender
- Akkreditierung
- Anlage: theoretische Grundlagen



0 250 500 750 1000m

Karte: ONMAPS, Maßstab 1:25.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 424.465 Nord: 5.656.531

Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: NRW DGM-5.wpo (1)
Zeitschritt: 2 Minuten, Schrittweite: 3 Tag(e), Kartenauflösung: 10 m, Sichtbarkeit Auflösung: 5 m, Augenhöhe: 1,5 m

Neue WEA

Schattenrezeptor

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
Nordrhein-Westfalen

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

0 Minuten
10 Minuten
30 Minuten

Stunden/Jahr,
Astron.max.mögl.

1,0 - <10,0
10,0 - <20,0
20,0 - <30,0
30,0 - <=842,8

SHADOW - Karte

Berechnung:
Zusatzbelastung 002

Lizenzierter Anwender:

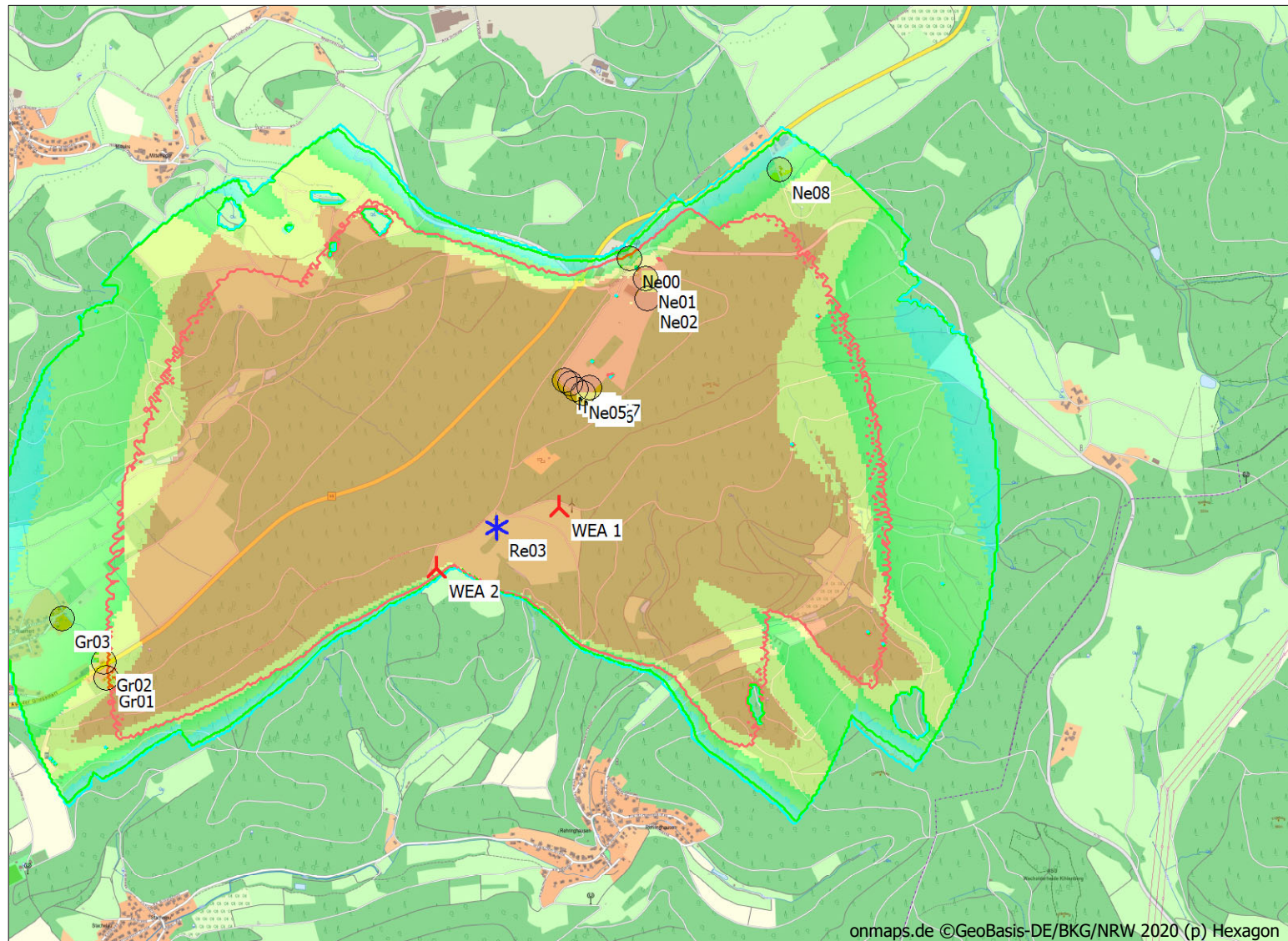
Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consruch-Straße 3
DE-34131 Kassel

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

30.08.2023 11:22/3.6.366

RAMBOLL



Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

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

— 0 Minuten
 — 10 Minuten
 — 30 Minuten

Stunden/Jahr,
 Astron.max.mögl.

1,0 - <10,0
 10,0 - <20,0
 20,0 - <30,0
 30,0 - <=842,9

SHADOW - Karte

Berechnung:

Gesamtbelastung 002

Lizenzierter Anwender:

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

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

30.08.2023 11:24/3.6.366

RAMBOLL

▲ Neue WEA

★ Existierende WEA

● Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: NRW DGM-5.wpo (1)

Zeitschritt: 2 Minuten, Schrittweite: 3 Tag(e), Kartenauflösung: 10 m, Sichtbarkeit Auflösung: 5 m, Augenhöhe: 1,5 m

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

30.08.2023 12:35/3.6.366



SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung (irrelevant) 002

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

Die dargestellten Zeiten sind die astronomisch maximal mögliche

Beschattungsdauer, berechnet unter folgenden Annahmen:

Die Sonne scheint täglich von Sonnenauf- bis -untergang

Die Rotorfläche steht immer senkrecht zur Sonneneinstrahlungsrichtung

Die Windenergieanlage/n ist/sind immer in Betrieb

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

Verwendete Höhenlinien: Höhenlinien: NRW DGM-5.wpo (1)

Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

WEA

						WEA-Typ			Schattendaten				
	Ost	Nord	Z	Beschreibung		Ak- tu- ell	Hersteller	Typ	Nenn- leistung	Rotor- durch- messer	Naben- höhe	Beschatt.- Bereich	U/min
			[m]						[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
Lt01	426.379	5.653.218	542,0	REpower MD 77 1500 77.0 !-!...	Nein		REpower	MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
Lt02	426.434	5.652.938	561,9	VESTAS V66 1650-300 66.0 !...	Nein		VESTAS	V66-1.650/300	1.650	66,0	117,0	1.235	19,0
Nk01	425.006	5.654.141	526,0	REpower MD 77 1500 77.0 !-!...	Nein		REpower	MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
Nk02	425.104	5.653.858	550,4	REpower MD 77 1500 77.0 !-!...	Nein		REpower	MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
Nk03	425.294	5.653.633	552,6	REpower MD 77 1500 77.0 !-!...	Nein		REpower	MD 77-1.500	1.500	77,0	85,0	1.415	17,3
Rb01	427.845	5.656.510	537,9	NORDEX N117/2400 2400 11...	Ja		NORDEX	N117/2400-2.400	2.400	116,8	140,6	1.486	11,8
Rb02	428.214	5.656.399	542,1	NORDEX N117/2400 2400 11...	Ja		NORDEX	N117/2400-2.400	2.400	116,8	140,6	1.486	11,8

Schattenrezeptor-Eingabe

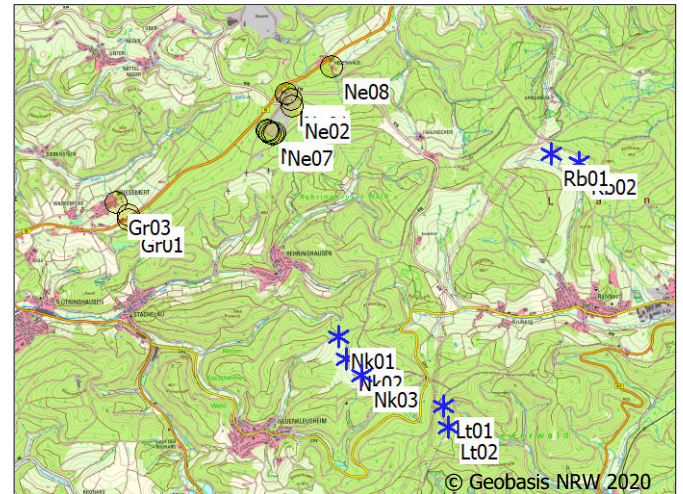
Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	422.257	5.655.716	457,1	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	422.246	5.655.781	450,5	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	422.083	5.655.955	416,7	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	424.362	5.657.350	512,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	424.424	5.657.268	519,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	424.431	5.657.190	530,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.098	5.656.869	526,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.118	5.656.858	525,9	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.142	5.656.833	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.171	5.656.818	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.197	5.656.839	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	424.964	5.657.694	479,4	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Schattenrezeptor		astron. max. mögl. Beschattungsdauer		
Nr.	Name	Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag
		[h/a]	[d/a]	[h/d]
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	0:00	0	0:00
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	0:00	0	0:00
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	0:00	0	0:00
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	0:00	0	0:00
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	0:00	0	0:00
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	0:00	0	0:00

(Fortsetzung nächste Seite)...



* Existierende WEA

Maßstab 1:100.000

Maßstab 1:100.000
 Schattenrezeptor

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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



Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

30.08.2023 12:35/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung (irrelevant) 002

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer		
		Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	0:00	0	0:00

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]
Lt01	REpower MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (9)	0:00
Lt02	VESTAS V66 1650-300 66.0 !O! NH: 117,0 m (Ges:150,0 m) (10)	0:00
Nk01	REpower MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (6)	0:00
Nk02	REpower MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (7)	0:00
Nk03	REpower MD 77 1500 77.0 !-! NH: 85,0 m (Ges:123,5 m) (8)	0:00
Rb01	NORDEX N117/2400 2400 116.8 !O! NH: 140,6 m (Ges:199,0 m) (4)	0:00
Rb02	NORDEX N117/2400 2400 116.8 !O! NH: 140,6 m (Ges:199,0 m) (5)	0:00

Summen in Rezeptortabelle und WEA-Tabelle können sich unterscheiden, da eine WEA gleichzeitig an zwei oder mehr Rezeptoren Beschattung verursachen kann und/oder ein Rezeptor gleichzeitig von zwei oder mehr WEA beschattet werden kann.

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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

RAMBOLL

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

30.08.2023 11:20/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung (relevant) 002

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) [BONN]

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,76	3,05	3,38	5,06	6,16	5,30	6,18	5,97	4,66	2,89	2,21	1,34

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
510	422	415	600	696	622	637	798	991	1.123	892	582	8.289

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

Verwendete Höhenlinien: Höhenlinien: NRW DGM-5.wpo (1)

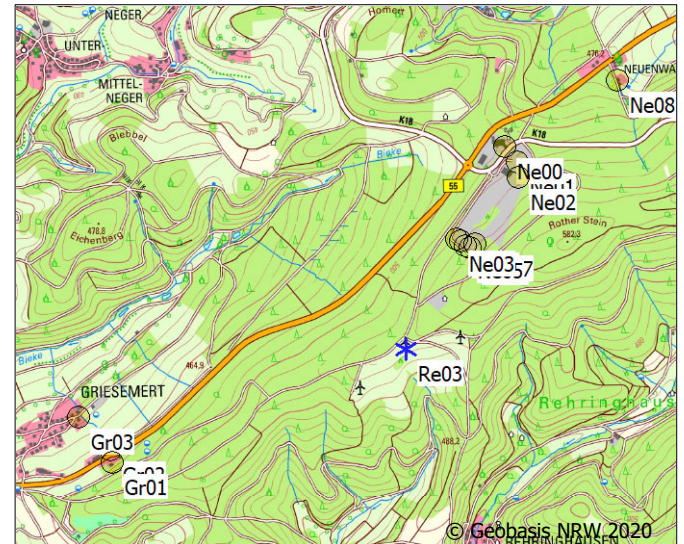
Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung	Rotor-durchmesser	Naben-höhe	Schattendaten				
					Aktuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich	U/min			
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]			
Re03	423.817	5.656.292	524,6	ENERCON E-40/6.44	600	44.0	!...	Nein	ENERCON	E-40/6.44-600	600	44,0	77,7	834	34,5



* Existierende WEA

Maßstab 1:40.000

● Schattenrezeptor

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
					[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	422.257	5.655.716	457,1	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	422.246	5.655.781	450,5	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	422.083	5.655.955	416,7	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	424.362	5.657.350	512,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	424.424	5.657.268	519,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	424.431	5.657.190	530,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.098	5.656.869	526,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.118	5.656.858	525,9	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.142	5.656.833	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.171	5.656.818	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.197	5.656.839	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	424.964	5.657.694	479,4	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr	
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]	
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	0:00	0	0:00	0:00	
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	0:00	0	0:00	0:00	
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	0:00	0	0:00	0:00	
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	0:00	0	0:00	0:00	
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	0:00	0	0:00	0:00	
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	0:00	0	0:00	0:00	
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00	0:00	
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00	0:00	
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00	0:00	
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00	0:00	

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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



Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

30.08.2023 11:20/3.6.366

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung (relevant) 002

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

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]
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	0:00	0	0:00	0:00
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	0:00	0	0:00	0:00

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal	Erwartet
		[h/a]	[h/a]
Re03	ENERCON E-40/6.44 600 44.0 !O! NH: 77,7 m (Ges:99,7 m) (3)	0:00	0:00

Summen in Rezeptortabelle und WEA-Tabelle können sich unterscheiden, da eine WEA gleichzeitig an zwei oder mehr Rezeptoren Beschattung verursachen kann und/oder ein Rezeptor gleichzeitig von zwei oder mehr WEA beschattet werden kann.

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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

RAMBOLL

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

04.09.2023 10:49/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung 002

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) [BONN]

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,76	3,05	3,38	5,06	6,16	5,30	6,18	5,97	4,66	2,89	2,21	1,34

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
510	422	415	600	696	622	637	798	991	1.123	892	582
											8.289

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

Verwendete Höhenlinien: Höhenlinien: NRW DGM-5.wpo (1)

Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Schattendaten				
					Ak- tu- ell	Hersteller	Typ	Nenn- leistung	Rotor- durch- messer	Naben- höhe	Beschatt.- Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
WEA 1	424.066	5.656.367	527,9	ENERCON E-175 EP5 6000 1...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8
WEA 2	423.577	5.656.133	519,6	ENERCON E-175 EP5 6000 1...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750	8,8



Maßstab 1:40.000

Neue WEA

Schattenrezeptor

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
				[m]	[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	422.257	5.655.716	457,1	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	422.246	5.655.781	450,5	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	422.083	5.655.955	416,7	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	424.362	5.657.350	512,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	424.424	5.657.268	519,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	424.431	5.657.190	530,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.098	5.656.869	526,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.118	5.656.858	525,9	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.142	5.656.833	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.171	5.656.818	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.197	5.656.839	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	424.964	5.657.694	479,4	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1

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]	
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	24:57	64	0:30	6:15	
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	21:34	56	0:30	5:24	
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	14:03	40	0:27	3:31	
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	13:43	28	0:40	1:22	
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	42:02	48	1:06	4:29	
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	60:00	58	1:16	6:41	
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	138:00	114	1:22	17:09	
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	143:42	116	1:23	18:00	
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	217:06	118	2:15	27:13	

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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



Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

04.09.2023 10:49/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung 002

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

		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]
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	226:29	124	2:15	28:39
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	208:54	118	2:10	26:04
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	13:44	42	0:24	1:28

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal Erwartet	
		[h/a]	[h/a]
WEA 1	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)	272:10	33:21
WEA 2	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (8)	129:25	22:21

Summen in Rezeptortabelle und WEA-Tabelle können sich unterscheiden, da eine WEA gleichzeitig an zwei oder mehr Rezeptoren Beschattung verursachen kann und/oder ein Rezeptor gleichzeitig von zwei oder mehr WEA beschattet werden kann.

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

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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

RAMBOLL

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

04.09.2023 10:51/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung 002

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) [BONN]

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,76	3,05	3,38	5,06	6,16	5,30	6,18	5,97	4,66	2,89	2,21	1,34

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
510	422	415	600	696	622	637	798	991	1.123	892	582	8.289

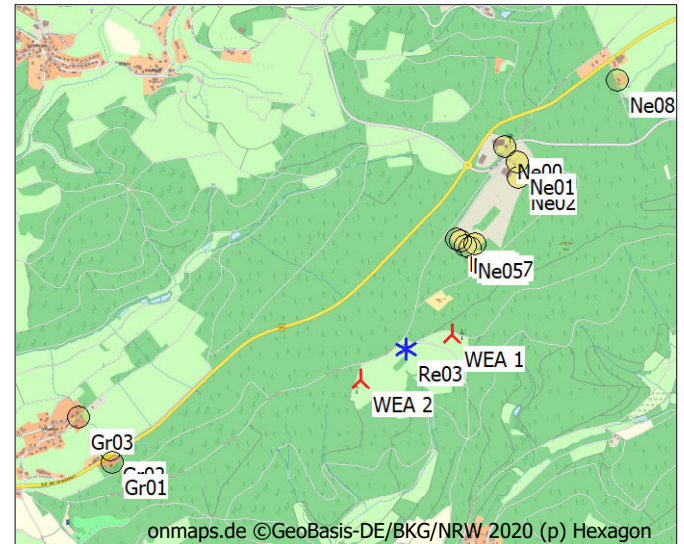
Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf den folgenden Annahmen:

Verwendete Höhenlinien: Höhenlinien: NRW DGM-5.wpo (1)

Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32



Maßstab 1:40.000

Neue WEA

Existierende WEA

Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Schattendaten			
					Ak-tuell	Hersteller	Typ	Nenn-leistung	Rotor-durch-messer	Naben-höhe	Beschatt.-Bereich
								[kW]	[m]	[m]	[m]
Re03	423.817	5.656.292	524,6	ENERCON E-40/6.44 600 44....	Nein	ENERCON	E-40/6.44-600	600	44,0	77,7	834
WEA 1	424.066	5.656.367	527,9	ENERCON E-175 EP5 6000 1...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750
WEA 2	423.577	5.656.133	519,6	ENERCON E-175 EP5 6000 1...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.750

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]
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	422.257	5.655.716	457,1	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	422.246	5.655.781	450,5	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	422.083	5.655.955	416,7	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	424.362	5.657.350	512,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	424.424	5.657.268	519,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	424.431	5.657.190	530,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.098	5.656.869	526,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.118	5.656.858	525,9	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.142	5.656.833	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.171	5.656.818	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	424.197	5.656.839	536,0	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	424.964	5.657.694	479,4	0,1	2,0	0,1	0,0	"Gewächshaus-Modus"	0,1

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]
Gr01	Griesemert, Auf der Griesemert 20	24:57	64	0:30	6:15
Gr02	Griesemert, Auf der Griesemert 35	21:34	56	0:30	5:24
Gr03	Griesemert, Gerstenhagen 4	14:03	40	0:27	3:31
Ne00	Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude	13:43	28	0:40	1:22
Ne01	Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude	42:02	48	1:06	4:29
Ne02	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost	60:00	58	1:16	6:41
Ne03	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	138:00	114	1:22	17:09

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
Voßbrinkstr. 67
45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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



Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

Berechnet:

04.09.2023 10:51/3.6.377

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung 002

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

		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]
Ne04	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	143:42	116	1:23	18:00
Ne05	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	217:06	118	2:15	27:13
Ne06	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	226:29	124	2:15	28:39
Ne07	Neuenwald, Rother Stein Betriebsgelände Süd	208:54	118	2:10	26:04
Ne08	Neuenwald, Neuenwald 2	13:44	42	0:24	1:28

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
Re03	ENERCON E-40/6.44 600 44.0 !O! NH: 77,7 m (Ges:99,7 m) (3)	0:00	0:00
WEA 1	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)	272:10	33:21
WEA 2	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (8)	129:25	22:21

Summen in Rezeptortabelle und WEA-Tabelle können sich unterscheiden, da eine WEA gleichzeitig an zwei oder mehr Rezeptoren Beschattung verursachen kann und/oder ein Rezeptor gleichzeitig von zwei oder mehr WEA beschattet werden kann.

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

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
 Voßbrinkstr. 67
 45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

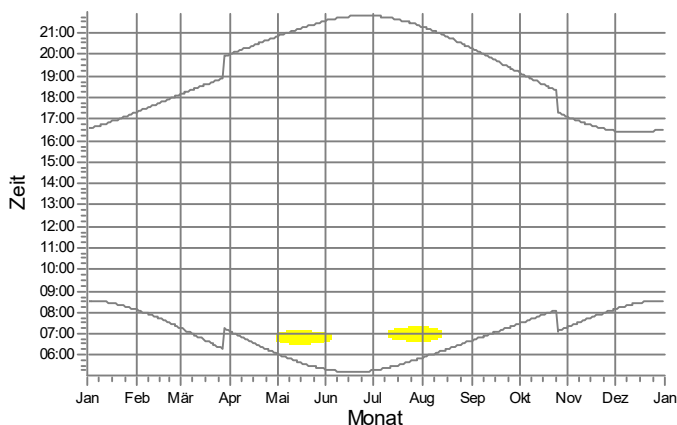
Berechnet:

04.09.2023 10:51/3.6.377

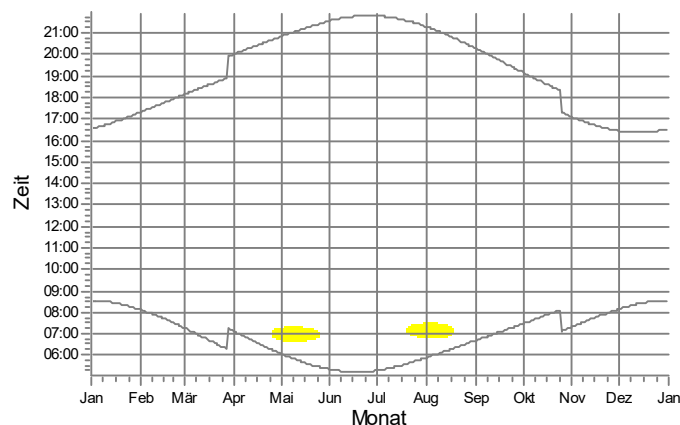
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung 002

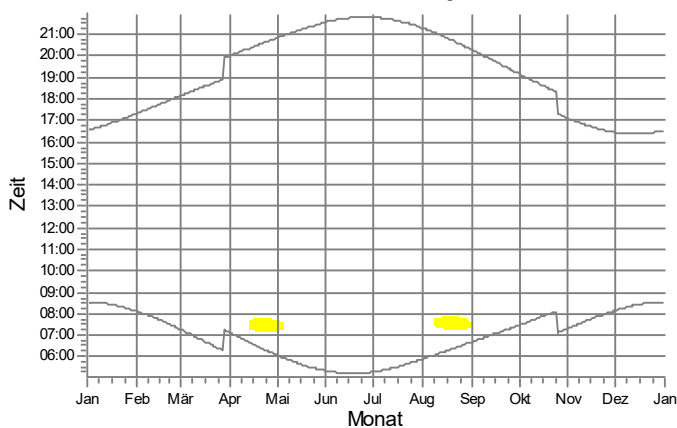
Gr01: Griesemert, Auf der Griesemert 20



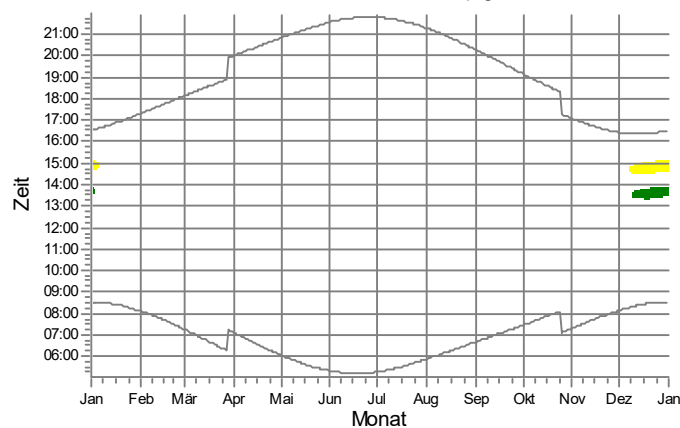
Gr02: Griesemert, Auf der Griesemert 35



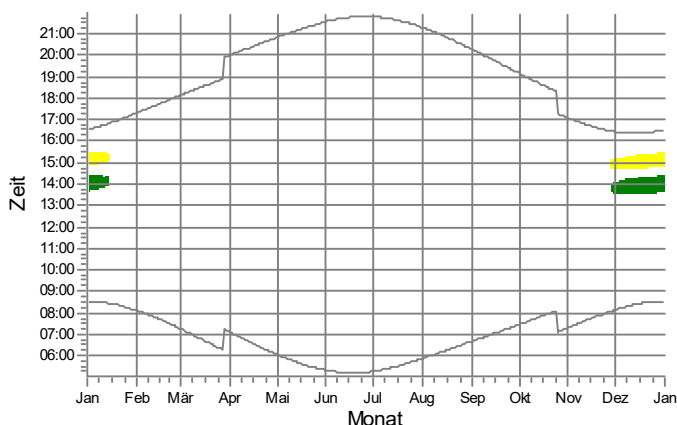
Gr03: Griesemert, Gerstenhagen 4



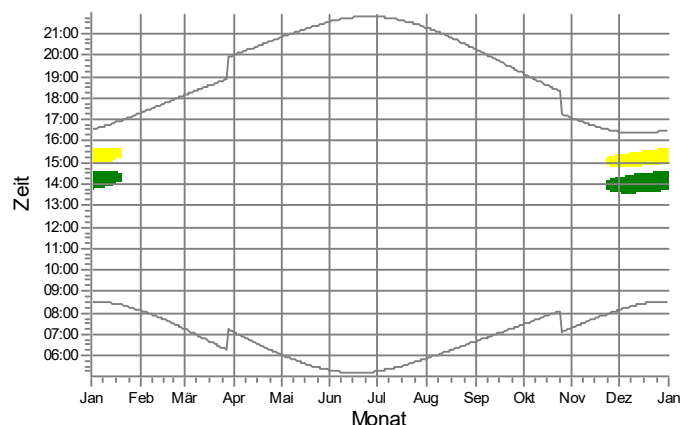
Ne00: Neuenwald, Rother Stein 1 Hauptgebäude



Ne01: Neuenwald, Rother Stein 2 Hauptgebäude



Ne02: Neuenwald, Rother Stein Betriebsgebäude Ost



WEA



WEA 1: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)

WEA 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (8)

Projekt:

20-1-3089-002
SL Windenergie GmbH
 Voßbrinkstr. 67
 45966 Gladbeck

Beschreibung:

Windenergie-Standort Rehringhausen, Olpe, Kreis
 Olpe, Regierungsbezirk Arnsberg,
 Nordrhein-Westfalen

Lizenzierter Anwender:

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

RAMBOLL

Robbin Meisel / robbin.meisel@ramboll.com

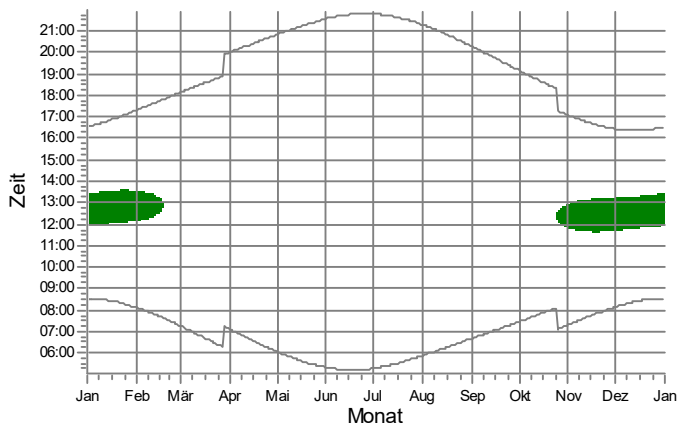
Berechnet:

04.09.2023 10:51/3.6.377

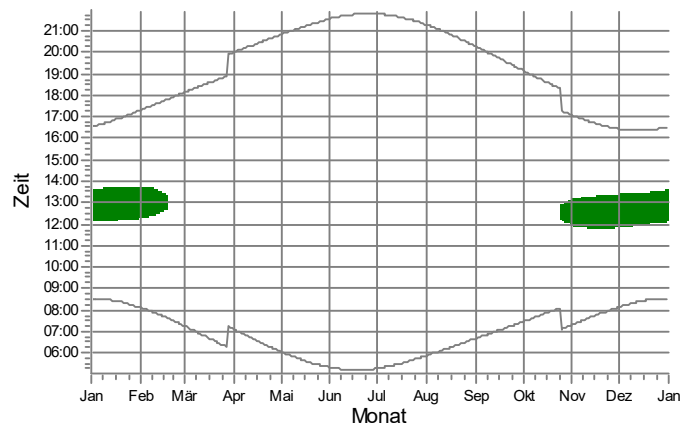
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung 002

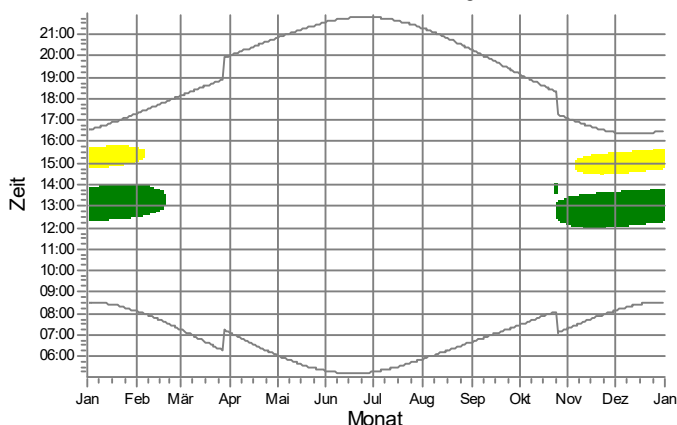
Ne03: Neuenw ald, Rother Stein Betriebsgelände Süd



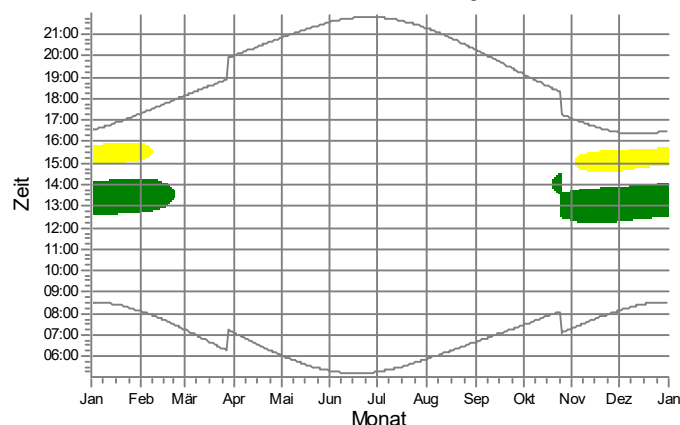
Ne04: Neuenw ald, Rother Stein Betriebsgelände Süd



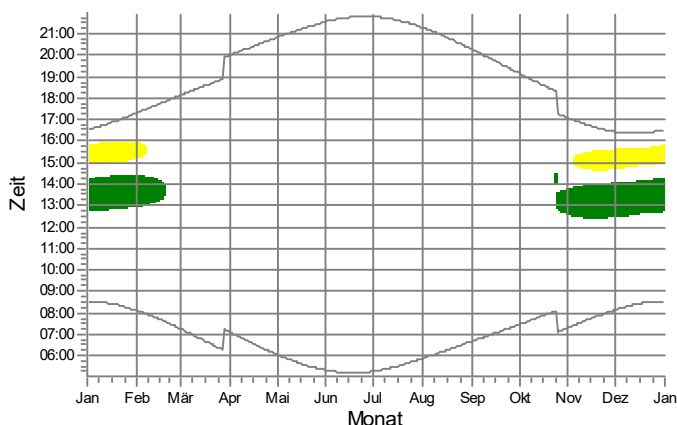
Ne05: Neuenw ald, Rother Stein Betriebsgelände Süd



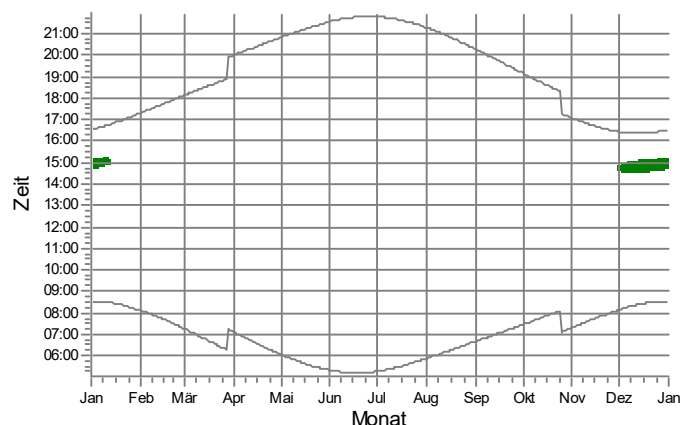
Ne06: Neuenw ald, Rother Stein Betriebsgelände Süd



Ne07: Neuenw ald, Rother Stein Betriebsgelände Süd



Ne08: Neuenw ald, Neuenw ald 2



WEA



WEA 1: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (7)

WEA 2: ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (8)

Anhang: Akkreditierung



Deutsche Akkreditierungsstelle

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

Gültig ab: 14.12.2022

Ausstellungsdatum: 14.12.2022

Inhaber der Akkreditierungsurkunde:

Ramboll Deutschland GmbH

mit den Standorten:

Elisabeth-Consbruch-Straße 3, 34131 Kassel

Lister Straße 9, 30163 Hannover

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

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

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

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

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

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

Verwendete Abkürzungen: siehe letzte Seite

Seite 1 von 3

Theoretische Grundlagen

1 Sonnenstand

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

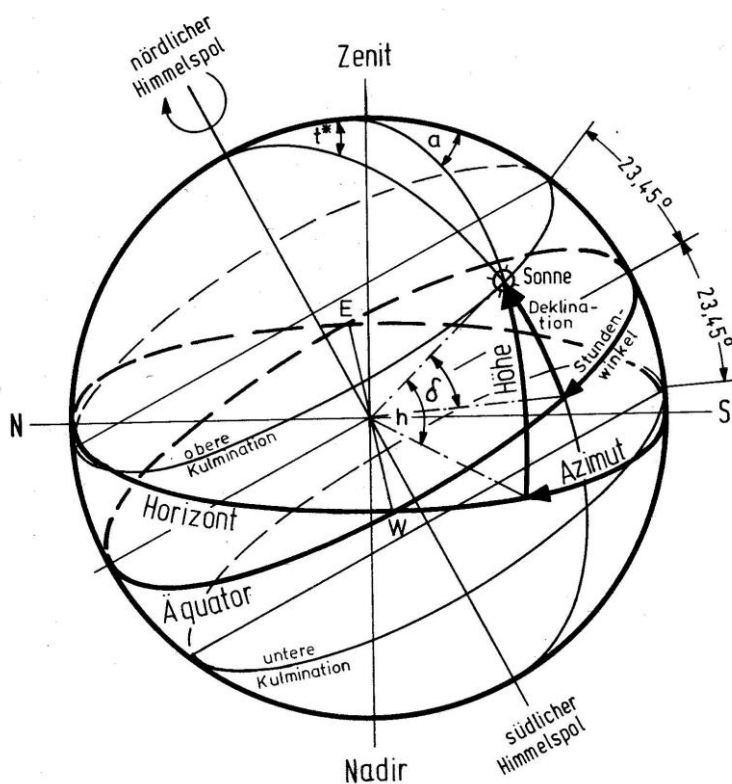


Abbildung 1: Winkelzusammenhänge des Sonnenstands an einem Betrachtungspunkt

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

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

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

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

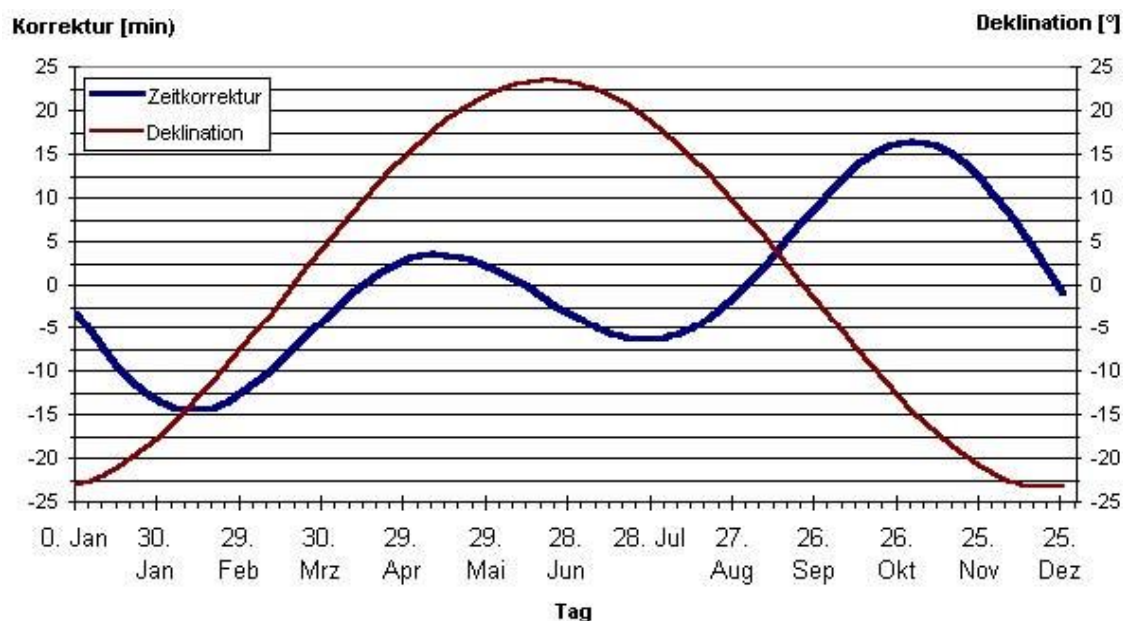


Abbildung 2: Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

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

2 Schattenwurf von WEA

2.1 Beschattungsbereich

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

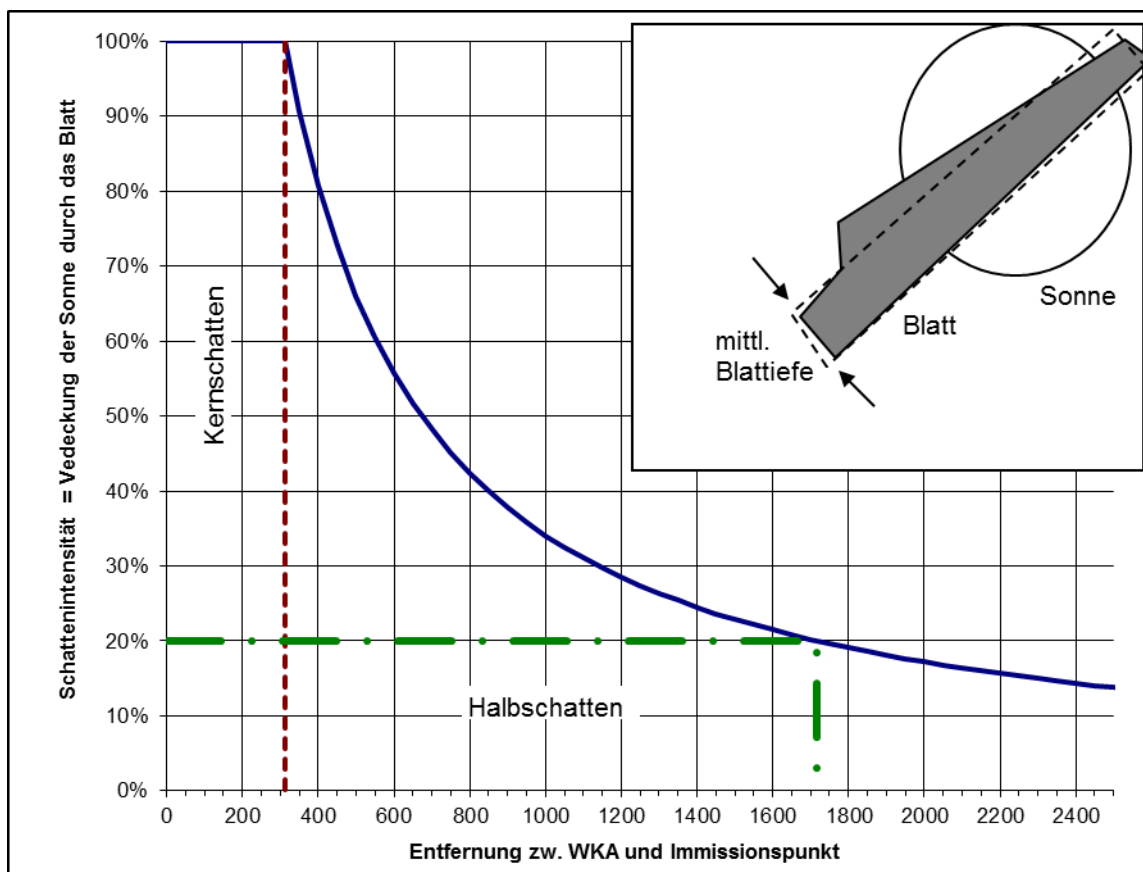


Abbildung 3: Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblatttiefe und Entfernung

2.2 Schattenverlauf und Berechnung der Beschattungsdauern

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

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

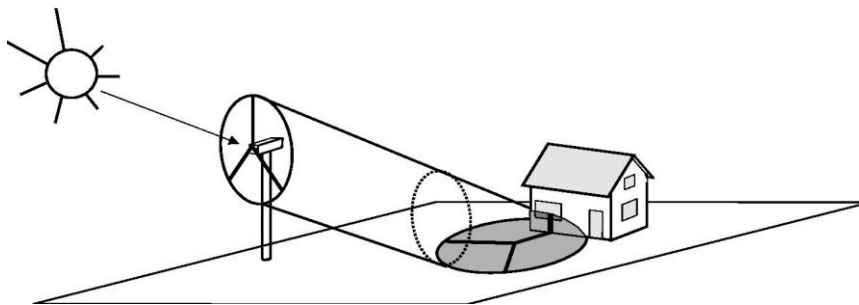


Abbildung 4: Schattenwurf des Rotors

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

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

eine wesentliche Reduktion der Beeinträchtigung zu erwarten ist.

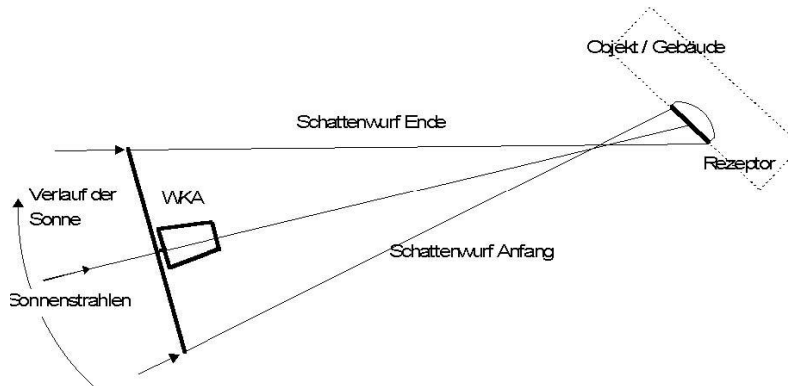


Abbildung 5: Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

2.3 Richtlinien

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

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

2.4 Wahrscheinlichkeitsbetrachtung

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

2.4.1 Sonnenscheinwahrscheinlichkeit

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

2.4.2 Reduktion der Schattenwurfdauer durch den Azimutwinkel

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

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

einer in der Nähe gemessenen Windstatistik aus einer meteorologischen Station entnommen werden kann. Entsprechend der sektoriellen Windrichtungsverteilung wird die relevante Schattenwurfrichtungsbeziehung (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.