SCHATTENWURFPROGNOSE

für drei Windenergieanlagen

am Standort

Hundsrücken (Gemeinde Oberried) | Baden-Württemberg

Datum: 31.03.2026

Berichtsnummer: 26-1-3008-000-SG

Auftraggeber

Ökostrom Consulting Freiburg GmbH

Goethestraße

79100 Freiburg

Auftragnehmer

Ramboll Deutschland GmbH

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

34131 Kassel

Tel +49 561 288573-0

RAMBOLL

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-21488-01-00

Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort Hundsrücken (Gemeinde Oberried) (Baden-Württemberg) wurde der Ramboll Deutschland GmbH von der Ökostrom Consulting Freiburg GmbH in Auftrag gegeben. Die Ramboll Deutschland GmbH ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [1] u. a. für die Erstellung von Schattenwurfprognosen akkreditiert. Die firmenintern verwendeten Berechnungsverfahren gemäß den zuvor genannten Anforderungen sind in der Ramboll-Qualitätsmanagement Prozessbeschreibung „Schatten" festgelegt und dokumentiert.

Die Ergebnisse basieren auf Berechnungen nach den Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [2] sowie den vom Auftraggeber und dem WEA-Hersteller gestellten Standort- und Anlagendaten. Die Berechnungen wurden mit dem Softwareprogramm windPRO (Modul SHADOW) von EMD International A/S [3] durchgeführt.

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:in	Beschreibung
000	31.03.2026	J. Grenke	Planung von drei WEA des Typs Enercon E-175 EP5 E2

Kassel, 31.03.2026



Jana Grenke, M. Sc.
(Bearbeiterin)



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 9
2.4 Windenergieanlagen 9
3 Schattenwurfberechnungen 11
3.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer 11
3.2 Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer 11
3.3 Darstellung der Berechnungsergebnisse 12
4 Bewertung der Ergebnisse 13
4.1 Beurteilung der Berechnungsergebnisse 13
4.2 Hinweise zur Abschaltautomatik 13
4.3 Genauigkeit der Prognose 14
5 Quellenverzeichnis 15
6 Anhang 16

1 ZUSAMMENFASSUNG

Am Windparkstandort Hundsrücken (Gemeinde Oberried) wurden für sieben Immissionsorte (IO) die Beschattungsdauern durch drei neu geplante WEA des Typs Enercon E-175 EP5 E2 mit 162 m Nabenhöhe sowie einer Vorbelastungs-WEA entsprechend den WKA-Schattenwurfhinweisen [2] berechnet. Den Berechnungen wurde ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. Die Immissionsrichtwerte betragen dabei maximal 30 Stunden im Jahr und maximal 30 Minuten am Tag.

Diese Werte werden ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen an allen Immissionsorten überschritten (siehe Kapitel 3). Die WKA-Schattenwurfhinweise 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. Im vorliegenden Fall betrifft dies die WEA 01 und 02.

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 Hundsrücken (Gemeinde Oberried) drei WEA des Typs Enercon E-175 EP5 E2 mit 162 m Nabenhöhe zu errichten (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten der geplanten WEA

Bez.	Hersteller / Typ	Nabenhöhe (m)	Koordinaten (UTM 32 ETRS89)	
			Ost	Nord
01	Enercon E-175 EP5 E2	162	418.493	5.308.726
02	Enercon E-175 EP5 E2	162	418.580	5.308.220
03	Enercon E-175 EP5 E2	162	418.665	5.307.802

In der Nähe des geplanten Standorts existieren bereits sechs 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.

Grundlage der Berechnung sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten der geplanten WEA (Typ, Nabenhöhe, Koordinaten) sowie die bei der Standortbesichtigung am 03.03.2026 erhobenen Daten über relevante Immissionsorte und deren Umgebung. Das Höhenrelief wurde dem DGM5 Baden-Württemberg entnommen. Die Berechnung wurde mit der Software windPRO, Modul SHADOW [3] durchgeführt. Grundlagen zur Berechnung finden sich im Anhang.

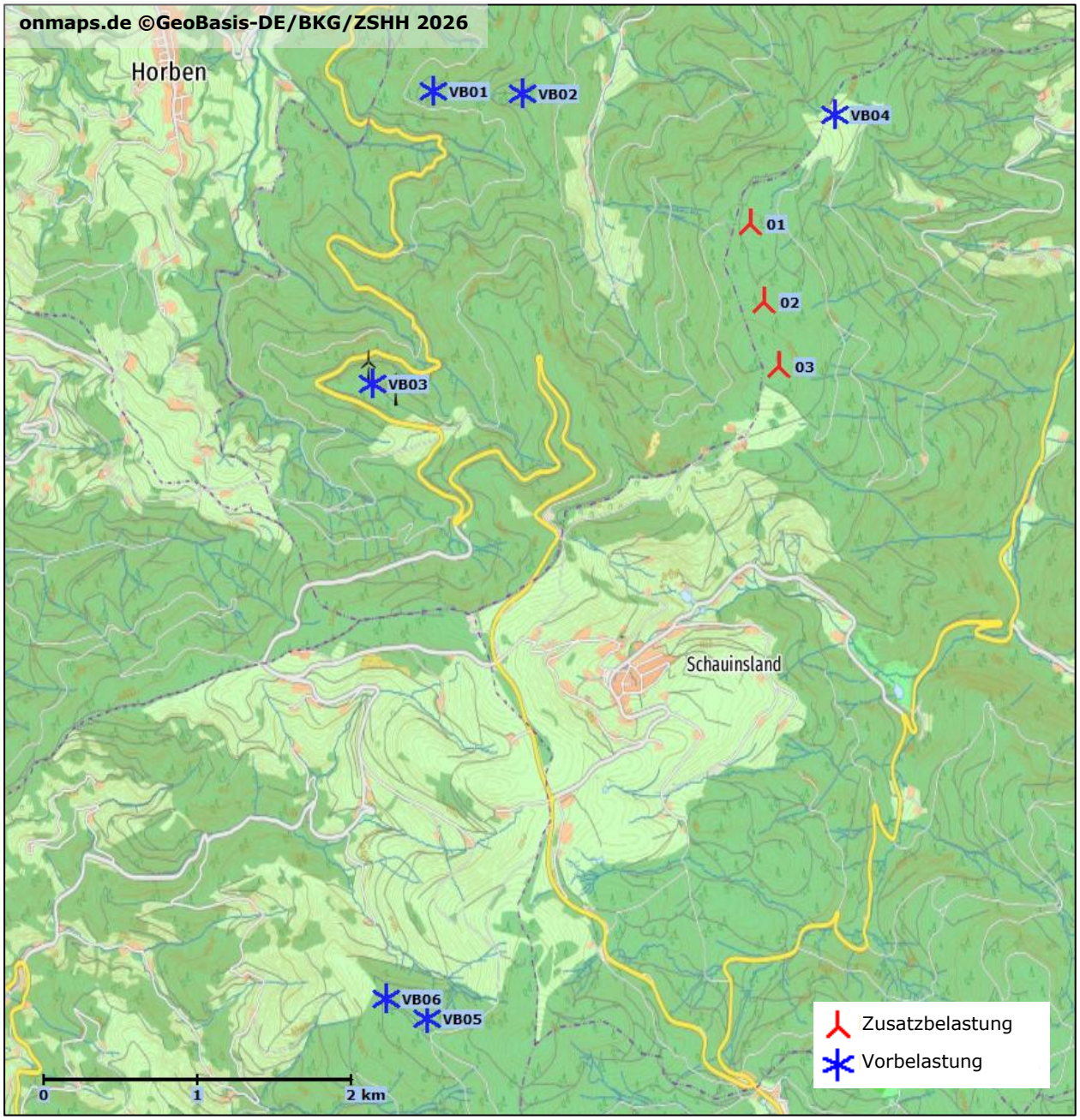


Abbildung 1: Übersichtskarte

2.2 Immissionsorte

Die *Maßgeblichen Immissionsorte* sind nach den WKA-Schattenwurfhinweisen 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 der geplanten WEA (Zusatzbelastung, „ZB“) sind auf der Karte in Abbildung 2 als rote Linie dargestellt.

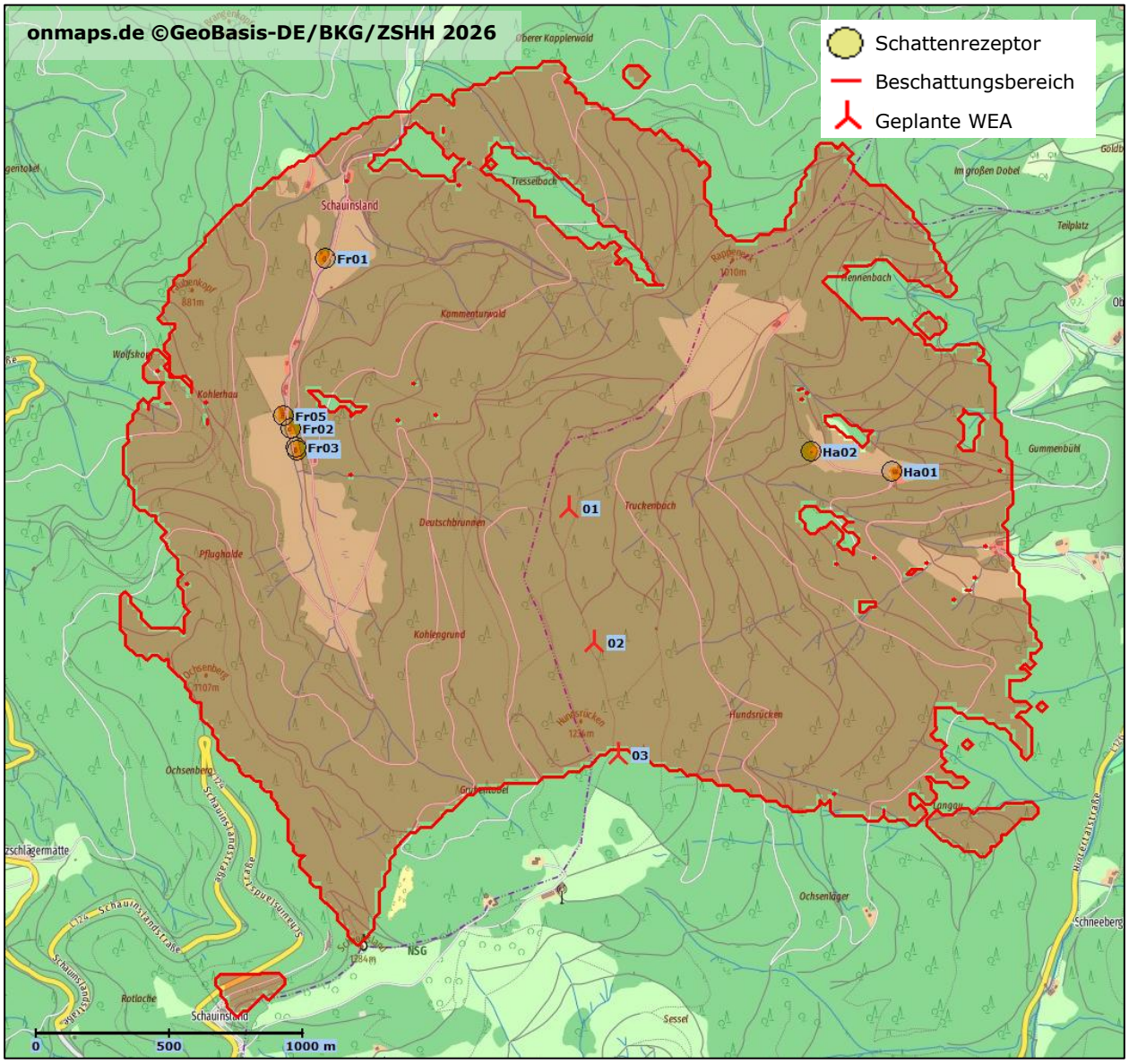


Abbildung 2: Beschattungsbereich der Zusatzbelastung

Nach diesen Kriterien wurden sieben Gebäude im schattenkritischen Bereich als relevante Immissionsorte ausgewählt (siehe Abschnitt 3.1). Bei der Standortbesichtigung am 03.03.2026 wurden diese Immissionsorte begutachtet und dokumentiert.

Die Immissionsorte werden entsprechend den WKA-Schattenwurfhinweisen 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.

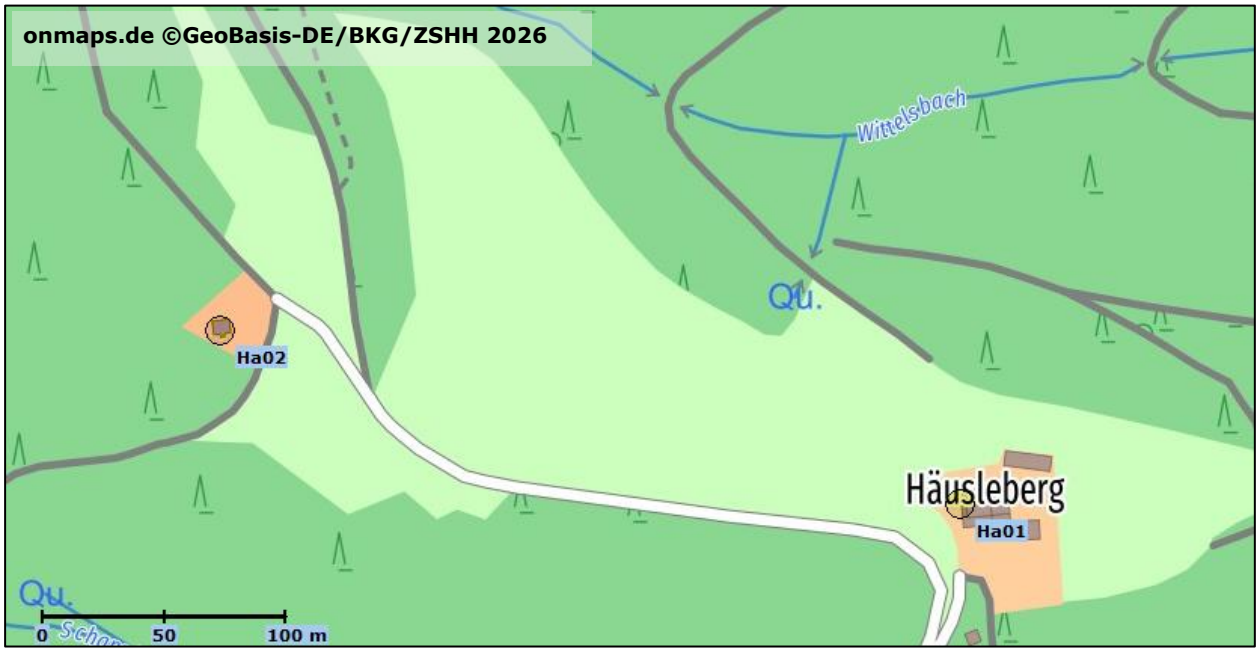


Abbildung 3: Lage der Immissionsorte in Häusleberg

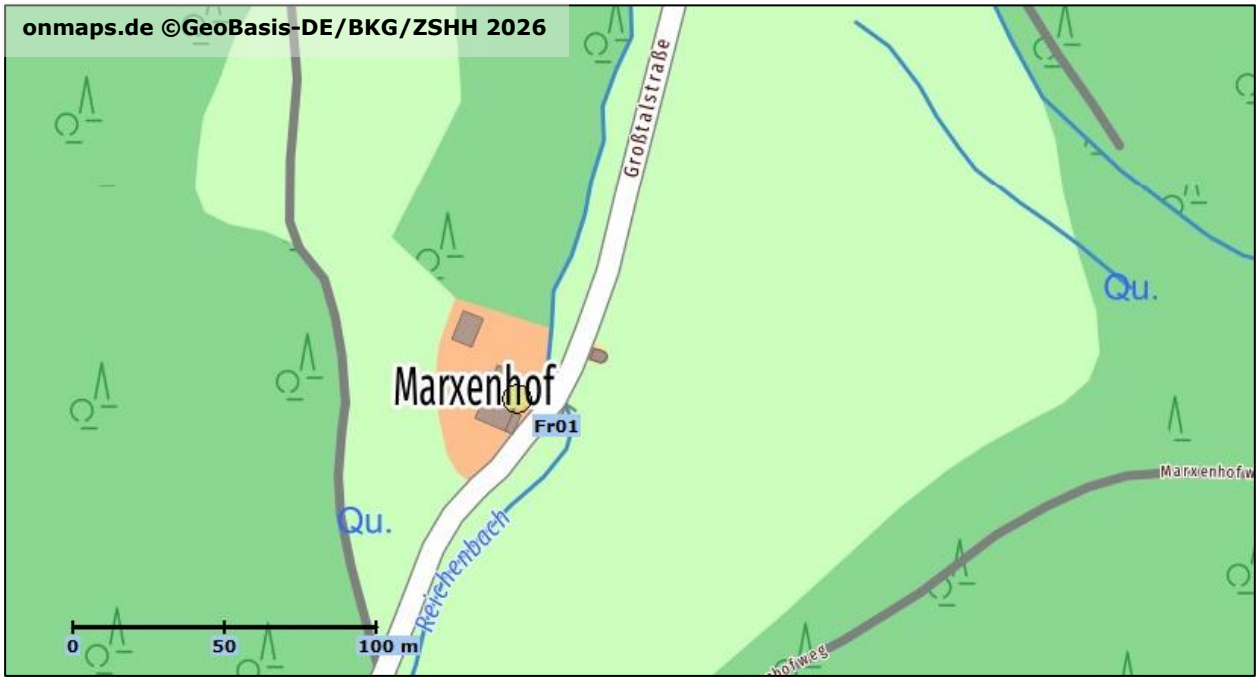


Abbildung 4: Lage der Immissionsorte Marxenhof

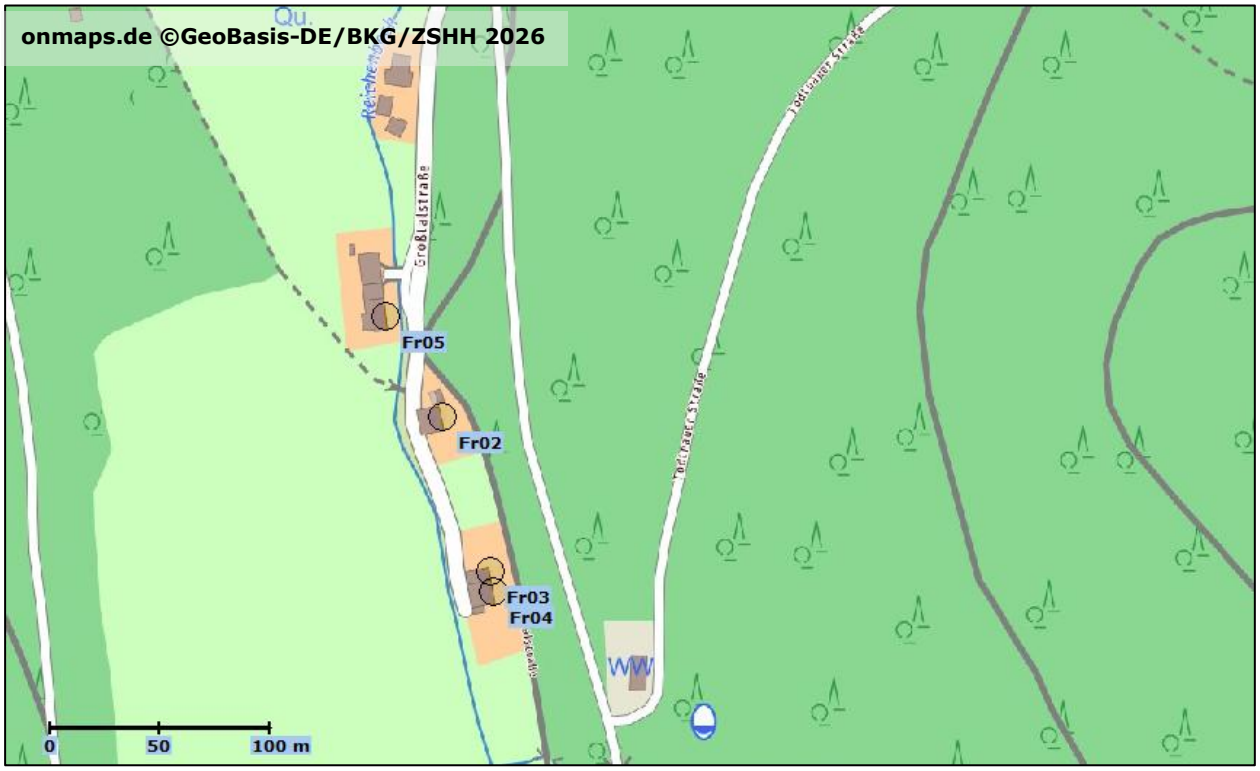


Abbildung 5: Lage der Immissionsorte süd-östlich von Freiburg

2.3 Immissionsrichtwerte

Für die Beurteilung der Erheblichkeit der Belästigung durch Schattenwurf [5] [6] wurden in den WKA-Schattenwurfhinweisen 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 Hundsrücken (Gemeinde Oberried) die Errichtung von drei WEA. Die untersuchten Immissionsorte befinden sich im Beschattungsbereich von einer weiteren WEA (siehe

Berechnung *Vorbelastung (alle WEA)*). Diese werden im weiteren Verlauf als relevante Vorbelastung berücksichtigt. Vier 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. Bei der VB04 auf der Rappenecker Wiese handelt es sich um eine Kleinwindanlage der Firma Superwind. Aufgrund der Entfernung der Anlage von mehr als 600 m zum nächstgelgenen relevanten Immissionsort wird die Anlage als nicht relevant eingestuft.

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

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

Bez.	Typ	*NH* (m)	*RD* (m)	max. *BT* (m)	min. *BT* (m)	Ø *BT* (m)	*BB* (m)
01	E-175 EP5 E2	162,0	175,0	4,01	1,11	2,56	1.737
02	E-175 EP5 E2	162,0	175,0	4,01	1,11	2,56	1.737
03	E-175 EP5 E2	162,0	175,0	4,01	1,11	2,56	1.737
VB02	E-138 EP3 E3	160,0	138,3	3,93	1,04	2,49	1.686

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 alle im Umkreis bestehenden oder parallel geplanten 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.)
- Vorbelastung irrelevant

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 steuerungstechnisch umgesetzt wird (siehe Freund [8]). Sie berücksichtigt statistische Daten zu

- Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (mittlere tägliche Sonnenscheinstunden) je Monat, nach Angaben der Sonnenschein-Datenbank für die Station Elzach-Fisnacht,
- Betriebswahrscheinlichkeit der WEA je Richtungssektor sowie Rotorschattenstellung, ermittelt aus der sektoralen Windstatistik der DWD-Station Feldberg-Schwarzwald, 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 sieben untersuchten Immissionsorte dargestellt.

Tabelle 3: Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauern

Bez.	Adresse	Beschattungsdauer: Astronomisch maximal möglich					
		(Std./Jahr)			(Std./Tag)		
		VB	ZB	GB	VB	ZB	GB
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	**64:11**	12:04	**76:15**	**0:45**	0:27	**0:45**
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	0:00	29:17	29:17	0:00	**0:32**	**0:32**
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	0:00	**32:33**	**32:33**	0:00	**0:33**	**0:33**
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	0:00	**32:59**	**32:59**	0:00	**0:34**	**0:34**
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	0:00	26:51	27:06	0:00	**0:31**	**0:31**
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	0:00	**41:55**	**41:55**	0:00	**0:31**	**0:31**
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	0:00	**62:46**	**62:46**	0:00	**0:39**	**0:39**

Tabelle 4: Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauern pro Jahr

Bez.	Adresse	Beschattungsdauer: Meteorologisch wahrscheinlich (Std./Jahr)		
		VB	ZB	GB
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	**20:10**	2:15	**22:25**
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	0:00	7:35	7:35
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	0:00	**8:46**	**8:46**
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	0:00	**8:56**	**8:56**
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	0:00	6:46	6:52
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	0:00	**11:10**	**11:10**
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	0:00	**15:09**	**15:09**

4 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

4.1 Beurteilung der Berechnungsergebnisse

Am Windparkstandort Hundsrücken (Gemeinde Oberried) wurden für sieben Immissionsorte die Beschattungsdauern durch drei neu geplante WEA sowie eine 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 Fr01: An diesem Immissionsort werden die Tages- und/oder Jahreskontingente (Richtwerte) ohne schattenwurfbegrenzende Maßnahmen bereits durch die Vorbelastung überschritten. Eine weitere Überschreitung der Kontingente ist zu vermeiden.

IO Fr02 bis Fr05, Ha01 und Ha02: 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 01 und 02 zu implementieren.

Die in diesem Gutachten ausgewählten Immissionsorte decken die zu schützenden Gebiete in hinreichendem Umfang ab.

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, 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 W/m²). 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 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 basiert auf dem DGM5 Baden-Württemberg. Damit ist eine Grundgenauigkeit der in eine Prognose eingehenden geometrischen Parameter von mindestens ± 5 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) entsprochen. Basierend auf der Grundgenauigkeit der Eingangsdaten kann die Unsicherheit bei der Berechnung der Beschattungszeiten mit durchschnittlich ±1 % angegeben werden [10].

Die detaillierten, auf Grundlage der in Kapitel 2 beschriebenen Daten erzielten Ergebnisse für den Standort Hundsrücken (Gemeinde Oberried) sind in Kapitel 3 wiedergegeben. Änderungen an den Positionen der Anlagen, dem Anlagentyp, den in den Herstellerangaben des Anlagentyps genannten Anlagenspezifikationen oder sonstigen relevanten Einflussfaktoren für die Schattenberechnung erfordern ein neues Gutachten, geringfügige Änderungen der NH oder der Koordinaten von <1 m erfordern i. d. R keine Neubewertung.

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.

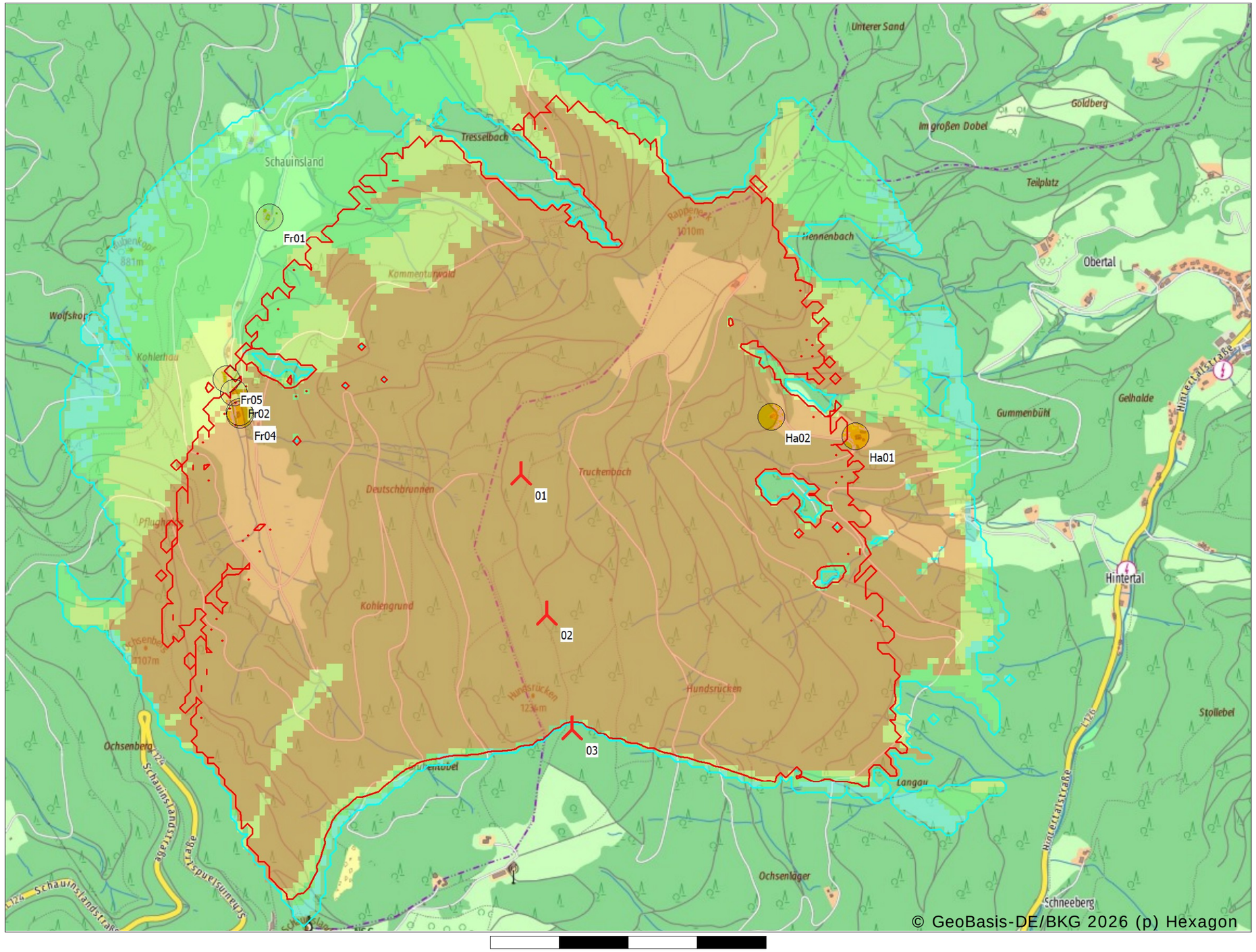
[8] H. D. Freund, Effektive Einwirkzeit Tw des Schattenwurfs bei Tmax = 30 h/Jahr, Kiel: Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel, 24.01.2001.

[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 Hundsrücken (Gemeinde Oberried)
  - Zusatzbelastung
  - Gesamtbelastung
- Berechnungsergebnisse der Beschattungsdauern an den Immissionsorten
  - Vor- und Zusatzbelastung:
    - Hauptergebnis
  - Gesamtbelastung:
    - Hauptergebnis
    - grafische Kalender
  - Irrelevante Vorbelastung: Hauptergebnis
- Akkreditierung
- Theoretische Grundlagen



0 250 500 750 1000 m

Karte: onmaps , Maßstab 1:15.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 418.900 Nord: 5.308.780

Neue WEA

Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: DGM5 Baden-Württemberg

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

Projekt:

26-1-3008
Ökostrom Consulting Freiburg GmbH

Beschreibung:

Windpark Hundsrücken, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald, Baden-Württemberg

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

- 0 Minuten
- 30 Minuten

Stunden/Jahr, Astron.max.mögl.

- 1 - <10 Stunden
- 10 - <20 Stunden
- 20 - <30 Stunden
- 30 - <=680 Stunden

SHADOW - Karte

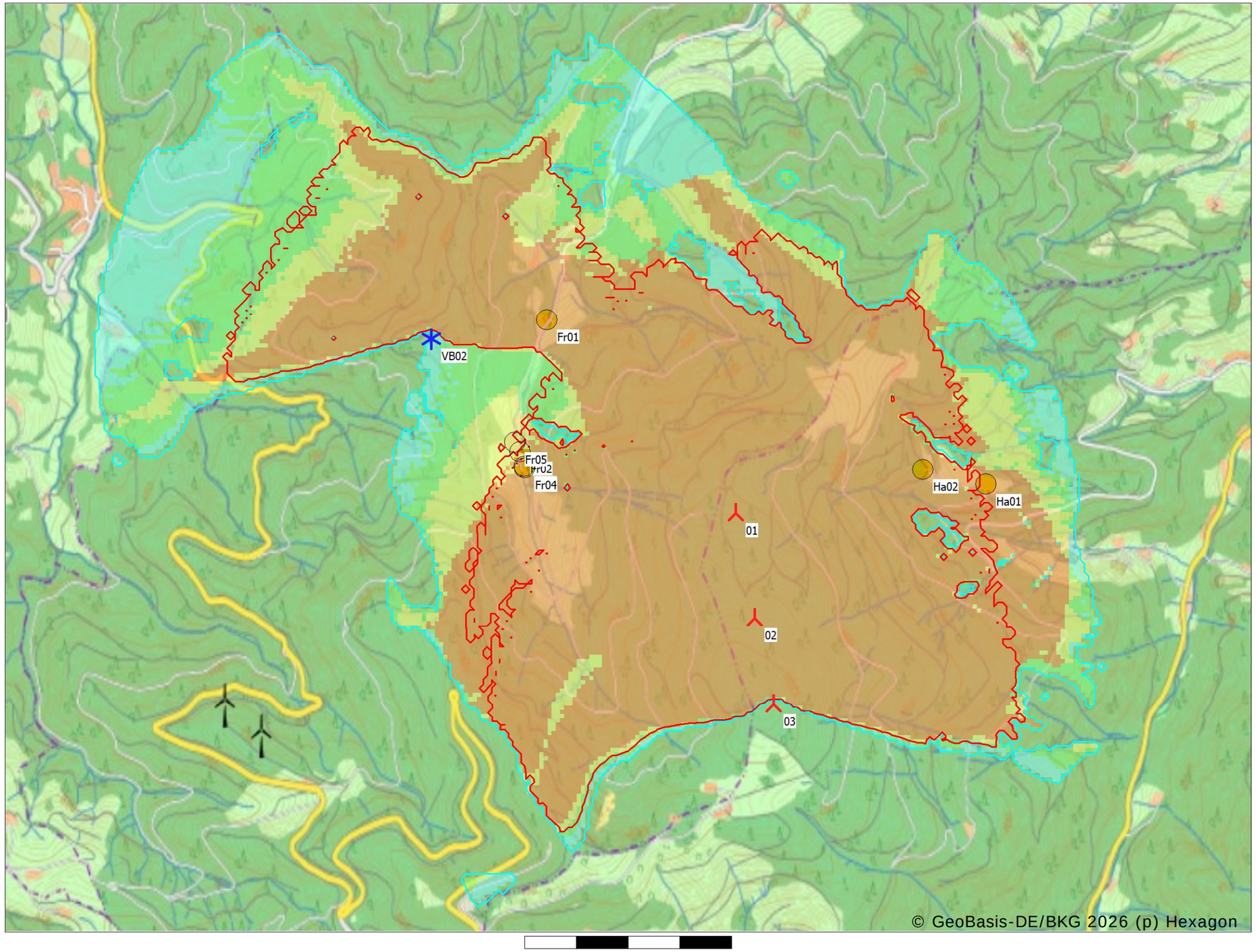
Berechnung:
Zusatzbelastung

Lizenzierter Anwender:

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

Berechnet:

RAMBØLL 11:39/4.2.285



0 250 500 750 1000m

Karte: onmaps , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 418.000 Nord: 5.309.000

Neue WEA Existierende WEA Schattenrezeptor

Höhe der Schattenkarte: Höhenlinien: DGM5 Baden-Württemberg

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

Projekt:

26-1-3008
Ökostrom Consulting Freiburg GmbH

Beschreibung:

Windpark Hundsrücken, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald, Baden-Württemberg

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

- 0 Minuten
- 30 Minuten

Stunden/Jahr, Astron.max.mögl.

- 1 - <10
- 10 - <20
- 20 - <30
- 30 - <=680

SHADOW - Karte

Berechnung:
Gesamtbelastung

Lizenzierter Anwender:

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

Berechnet:

RAMBOLL 11:44/4.2.285

Projekt:
26-1-3008
Ökostrom Consulting
Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis
Breisgau-Hochschwarzwald,
Baden-Württemberg

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

Berechnet:
31.03.2026 11:33/4.2.285

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) []

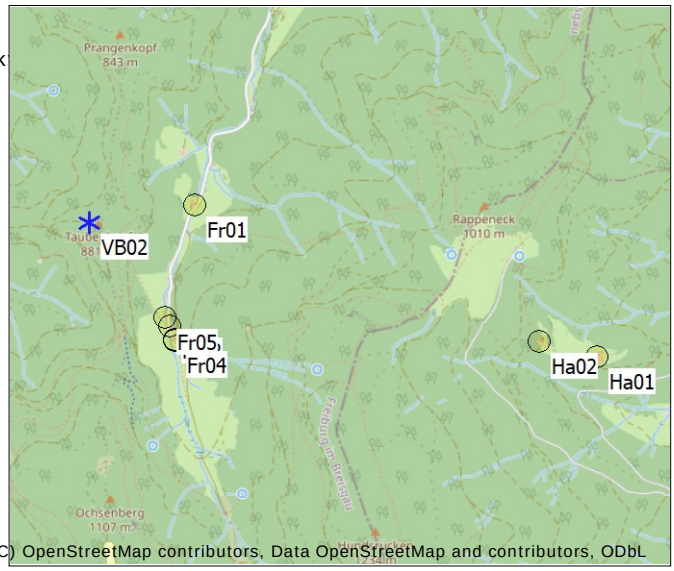
Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,90	2,86	4,29	5,53	6,23	7,17	7,45	6,97	5,40	3,65	2,10	1,52

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
401	370	393	669	697	475	498	811	1.316	1.431	936	520	8.516

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:
DHM: Höhenlinien: DGM5 Baden-Württemberg
Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:40.000
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]
VB02	417.030	5.309.591	860,0	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-138 EP3 E3-4.260	4.260	138,3	160,0	1.686	10,8

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]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	417.593	5.309.674	642,9	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	417.453	5.309.038	720,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	417.474	5.308.968	729,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	417.475	5.308.959	730,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	417.428	5.309.085	710,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	419.710	5.308.848	827,2	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	419.405	5.308.924	885,1	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	met. wahrsch. Beschattungsdauer Stunden/Jahr
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	64:11	115	0:45	20:10
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	0:00	0	0:00	0:00
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	0:00	0	0:00	0:00
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	0:00	0	0:00	0:00
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	0:00	0	0:00	0:00
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	0:00	0	0:00	0:00
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	0:00	0	0:00	0:00

Projekt:
26-1-3008
Ökostrom Consulting
Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis
Breisgau-Hochschwarzwald,
Baden-Württemberg

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

Berechnet:
31.03.2026 11:33/4.2.285

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
VB02	ENERCON E-138 EP3 E3 4260 138.3 !O! NH: 160,0 m (Ges:229,1 m) (39)	64:11	20:10

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:
26-1-3008
Ökostrom Consulting
Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis
Breisgau-Hochschwarzwald,
Baden-Württemberg

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

Berechnet:
17.03.2026 11:39/4.2.285

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) []

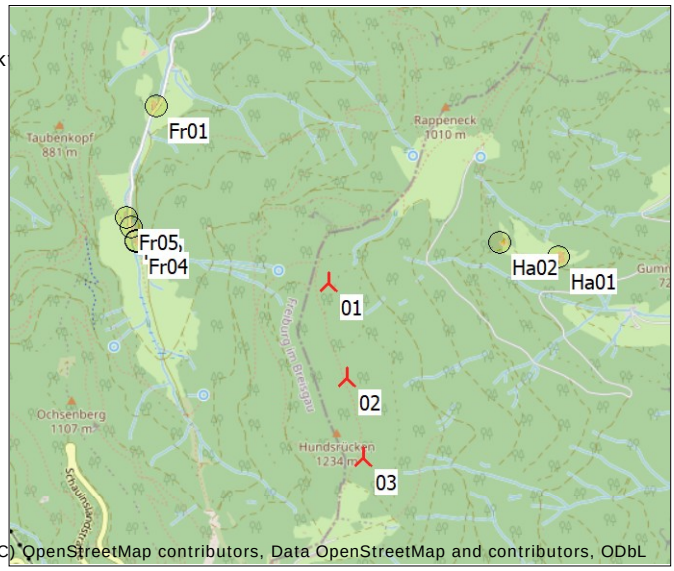
Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,90	2,86	4,29	5,53	6,23	7,17	7,45	6,97	5,40	3,65	2,10	1,52

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
401	370	393	669	697	475	498	811	1.316	1.431	936	520	8.516

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:
DHM: Höhenlinien: DGM5 Baden-Württemberg
Rasterauflösung: 1,0 m

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



Maßstab 1:40.000
Neue WEA
Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ Aktuell	Hersteller	Typ	Nennleistung	Rotordurchmesser	NH	Schattendaten Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
01	418.493	5.308.726	1.109,9	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5 E2-7.000	7.000	175,0	162,0	1.737	9,0
02	418.580	5.308.220	1.176,9	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5 E2-7.000	7.000	175,0	162,0	1.737	9,0
03	418.665	5.307.802	1.224,7	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5 E2-7.000	7.000	175,0	162,0	1.737	9,0

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]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	417.593	5.309.674	642,9	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	417.453	5.309.038	720,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	417.474	5.308.968	729,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	417.475	5.308.959	730,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	417.427	5.309.088	710,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	419.710	5.308.848	827,2	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	419.405	5.308.924	885,1	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	met. wahrsch. Beschattungsdauer Stunden/Jahr
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	12:04	34	0:27	2:15
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	29:17	76	0:32	7:35
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	32:33	82	0:33	8:46
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	32:59	82	0:34	8:56
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	26:51	72	0:31	6:46
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	41:55	114	0:31	11:10
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	62:46	141	0:39	15:09

Projekt:
26-1-3008
Ökostrom Consulting Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald, Baden-Württemberg

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

Berechnet:
17.03.2026 11:39/4.2.285

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
01	ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (1)	87:40	24:28
02	ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (2)	49:42	11:42
03	ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (3)	28:16	5:07

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:
26-1-3008
Ökostrom Consulting
Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis
Breisgau-Hochschwarzwald,
Baden-Württemberg

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

Berechnet:
31.03.2026 11:44/4.2.285

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) []

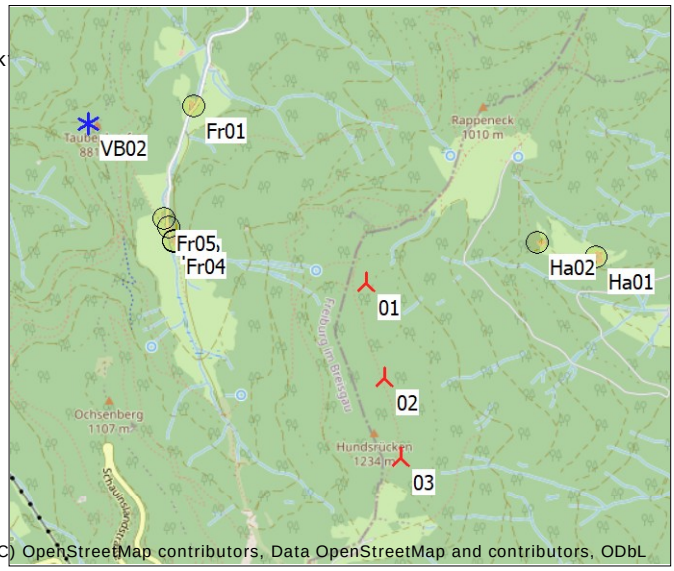
Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,90	2,86	4,29	5,53	6,23	7,17	7,45	6,97	5,40	3,65	2,10	1,52

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
401	370	393	669	697	475	498	811	1.316	1.431	936	520	8.516

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:
DHM: Höhenlinien: DGM5 Baden-Württemberg
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 Aktuell	Hersteller	Typ	Nennleistung	Rotordurchmesser	NH	Schattendaten Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
01	418.493	5.308.726	1.109,9	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5 E2-7.000	7.000	175,0	162,0	1.737	9,0
02	418.580	5.308.220	1.176,9	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5 E2-7.000	7.000	175,0	162,0	1.737	9,0
03	418.665	5.307.802	1.224,7	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5 E2-7.000	7.000	175,0	162,0	1.737	9,0
VB02	417.030	5.309.591	860,0	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-138 EP3 E3-4.260	4.260	138,3	160,0	1.686	10,8

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]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	417.593	5.309.674	642,9	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	417.453	5.309.038	720,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	417.474	5.308.968	729,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	417.475	5.308.959	730,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	417.428	5.309.085	710,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	419.710	5.308.848	827,2	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	419.405	5.308.924	885,1	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	met. wahrsch. Beschattungsdauer Stunden/Jahr
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	76:15	149	0:45	22:25
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	29:17	76	0:32	7:35
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	32:33	82	0:33	8:46
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	32:59	82	0:34	8:56
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	27:06	73	0:31	6:52
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	41:55	114	0:31	11:10
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	62:46	141	0:39	15:09

Projekt:
26-1-3008
Ökostrom Consulting Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald, Baden-Württemberg

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

Berechnet:
31.03.2026 11:44/4.2.285

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Gesamtbelastung

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
01	ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (1)	87:26	24:24
02	ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (2)	49:26	11:38
03	ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (3)	28:16	5:07
VB02	ENERCON E-138 EP3 E3 4260 138.3 !O! NH: 160,0 m (Ges:229,1 m) (39)	64:11	20:10

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:
26-1-3008
Ökostrom Consulting
Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis
Breisgau-Hochschwarzwald,
Baden-Württemberg

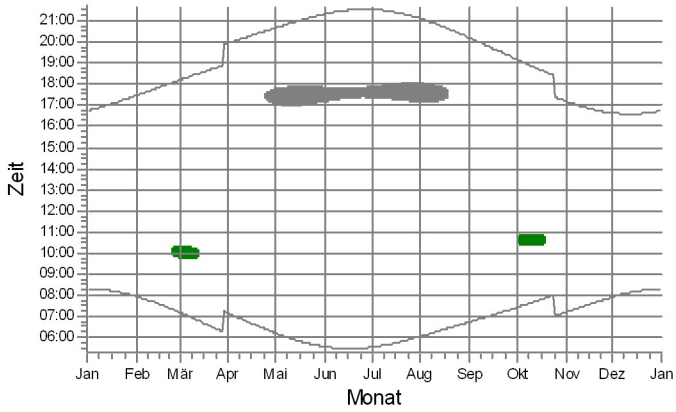
Lizenzierter Anwender:
Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth-Consbruch-Straße 3
DE-34131 Kassel
-

Berechnet:
31.03.2026 11:44/4.2.285

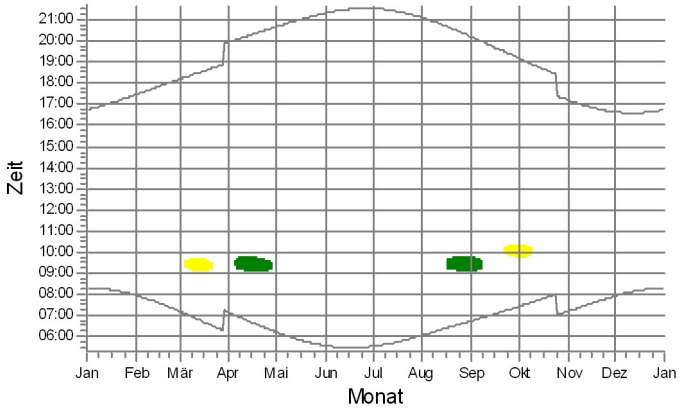
SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung

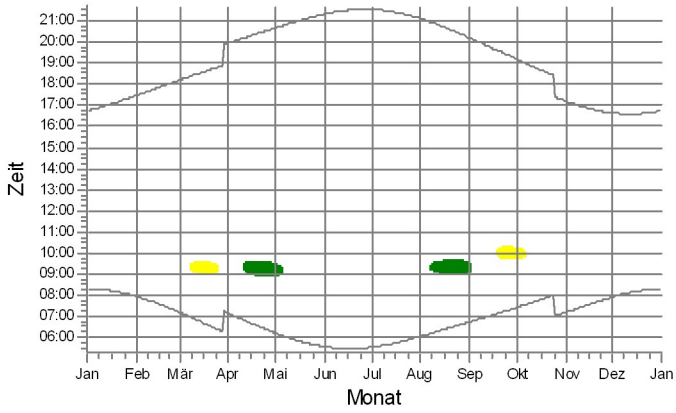
Fr01: Freiburg, Großtalstraße 44



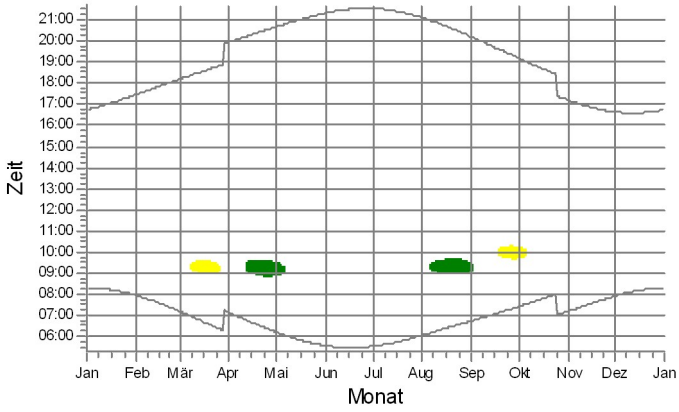
Fr02: Freiburg, Großtalstraße 141



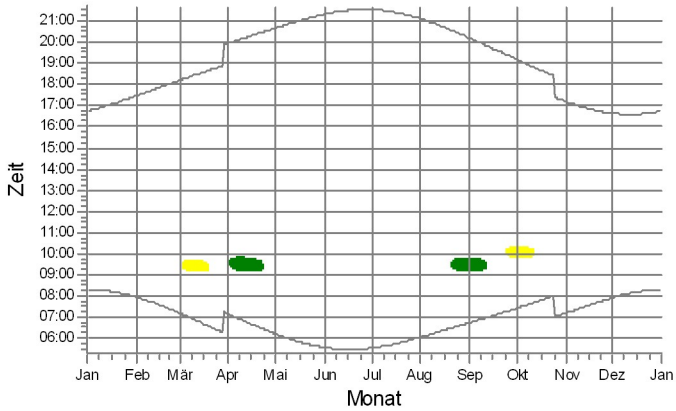
Fr03: Freiburg, Großtalstraße 143a



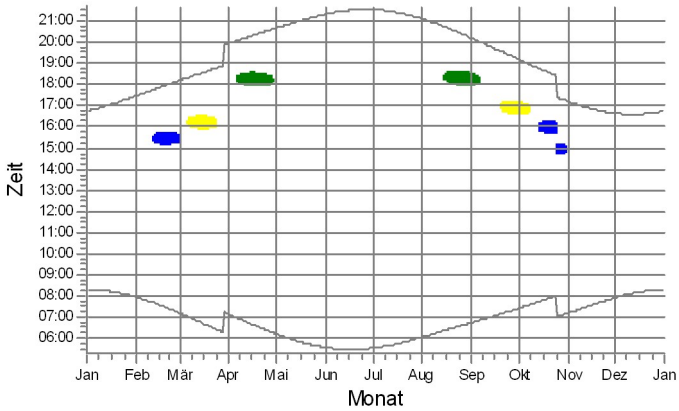
Fr04: Freiburg, Großtalstraße 143



Fr05: Freiburg, Großtalstraße 54b



Ha01: Häusleberg, Häusleberg 1



WEA

- 01: ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (1)
- 02: ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (2)
- 03: ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (3)
- VB02: ENERCON E-138 EP3 E3 4260 138.3 !O! NH: 160,0 m (Ges:229,1 m) (39)

Projekt:
26-1-3008
Ökostrom Consulting Freiburg GmbH

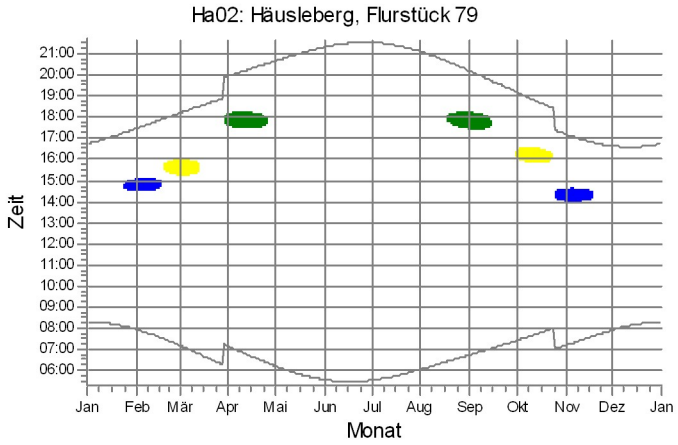
Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald, Baden-Württemberg

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

Berechnet:
31.03.2026 11:44/4.2.285

SHADOW - Grafischer Kalender

Berechnung: Gesamtbelastung



WEA

- 01: ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (1)
- 02: ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (2)
- 03: ENERCON E-175 EP5 E2 7000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (3)

Projekt:
26-1-3008
Ökostrom Consulting
Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis
Breisgau-Hochschwarzwald,
Baden-Württemberg

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

Berechnet:
31.03.2026 11:34/4.2.285

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
1,90	2,86	4,29	5,53	6,23	7,17	7,45	6,97	5,40	3,65	2,10	1,52

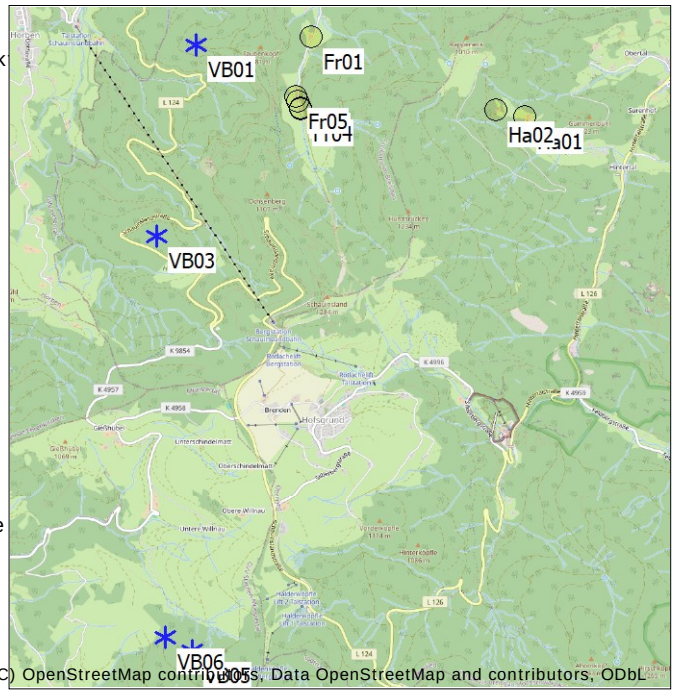
Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:
Terraindaten: ATLAS; 12 Sektoren; Radius: 20.000 m (1)

Betriebsdauer je Sektor

N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
399	368	391	666	694	473	496	807	1.310	1.424	932	518	8.478

Monatliche Aggregation der met. wahrsch. Reduzierung
Startwindgeschwindigkeit: Startwindgeschw. aus Leistungskennlinie
Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf den folgenden Annahmen:
DHM: Höhenlinien: DGM5 Baden-Württemberg
Rasterauflösung: 1,0 m

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



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

Maßstab 1:75.000
Existierende WEA
Schattenrezeptor

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ Aktuell	Hersteller	Typ	Nennleistung	Rotordurchmesser	NH	Schattendaten Beschatt.-Bereich	U/min
			[m]					[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]
VB01	416.450	5.309.610	765,4	ENERCON E-...	Nein	ENERCON	E-160 EP5 E3-5.560	5.560	160,0	166,6	1.781	9,6
VB03	416.021	5.307.726	950,0	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-138 EP3 E2-4.200	4.200	138,3	160,0	1.679	10,8
VB05	416.322	5.303.604	1.190,0	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.737	-
VB06	416.055	5.303.741	1.159,1	ENERCON E-...	Ja	ENERCON	E-175 EP5-6.000	6.000	175,0	162,0	1.737	-

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]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	417.593	5.309.674	642,9	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	417.453	5.309.038	720,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	417.474	5.308.968	729,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	417.475	5.308.959	730,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	417.428	5.309.085	710,0	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	419.710	5.308.848	827,2	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	419.405	5.308.924	885,1	1,0	1,0	2,0	0,0	"Gewächshaus-Modus"	2,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	met. wahrsch. Beschattungsdauer Stunden/Jahr
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]
Fr01	Freiburg, Großtalstraße 44	0:00	0	0:00	0:00
Fr02	Freiburg, Großtalstraße 141	0:00	0	0:00	0:00
Fr03	Freiburg, Großtalstraße 143a	0:00	0	0:00	0:00
Fr04	Freiburg, Großtalstraße 143	0:00	0	0:00	0:00
Fr05	Freiburg, Großtalstraße 54b	0:00	0	0:00	0:00

(Fortsetzung nächste Seite)...

Projekt:
26-1-3008
Ökostrom Consulting Freiburg GmbH

Beschreibung:
Windpark Hundsrücken, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald, Baden-Württemberg

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

Berechnet:
31.03.2026 11:34/4.2.285

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung - irrelevant

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	met. wahrsch. Beschattungsdauer Stunden/Jahr [h/a]
Ha01	Häusleberg, Häusleberg 1	0:00	0	0:00	0:00
Ha02	Häusleberg, Flurstück 79	0:00	0	0:00	0:00

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
VB01	ENERCON E-160 EP5 E3 5560 160.0 !O! NH: 166,6 m (Ges:246,6 m) (40)	0:00	0:00
VB03	ENERCON E-138 EP3 E2 4200 138.3 !O! NH: 160,0 m (Ges:229,1 m) (38)	0:00	0:00
VB05	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (28)	0:00	0:00
VB06	ENERCON E-175 EP5 6000 175.0 !O! NH: 162,0 m (Ges:249,5 m) (29)	0:00	0:00

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

Anhang: Akkreditierung und theoretische Grundlagen

DAkkS
Deutsche
Akkreditierungsstelle

Akkreditierung

Die Deutsche Akkreditierungsstelle bestätigt mit dieser **Akkreditierungsurkunde,** dass die

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

ein Prüflaboratorium betreibt, das die Anforderungen gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 für die in der nachfolgend aufgeführten Anlage näher spezifizierten Konformitätsbewertungstätigkeiten erfüllt. Dies schließt zusätzlich bestehende gesetzliche und normative Anforderungen an das Prüflaboratorium ein, einschließlich solcher in relevanten sektoralen Programmen, sofern diese in der nachfolgend aufgeführten Anlage ausdrücklich bestätigt wird.

D-PL-21488-01-01 **Gültig ab:** 16.07.2024

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.

Diese Akkreditierung wurde gemäß Art. 5 Abs. 1 Satz 2 VO (EG) 765/2008, nach Durchführung eines Akkreditierungsverfahrens unter Beachtung der Mindestanforderungen der DIN EN ISO/IEC 17011 und auf Grundlage einer Bewertung und Entscheidung der eingesetzten Akkreditierungsausschüsse ausgestellt.

Diese Akkreditierungsurkunde gilt nur in Verbindung mit dem Bescheid vom 16.07.2024. Sie besteht aus diesem Deckblatt, der Rückseite des Deckblatts und der dazugehörigen Anlage.

Registrierungsnummer der Akkreditierungsurkunde: **D-PL-21488-01-00**

Berlin, 20.10.2025 Im Auftrag
B. Sc. Maik Kadraba
Fachbereichsleitung

Diese Akkreditierungsurkunde wurde ausgestellt durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH. Sie ist digital gesiegelt und ohne Unterschrift gültig. Sie 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).

Akkreditierungsurkunde

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.

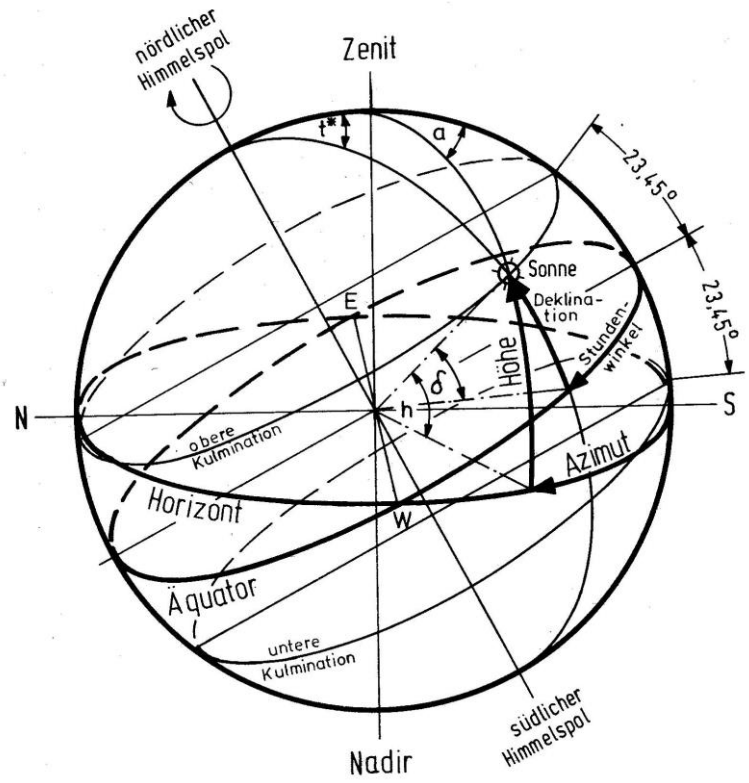


Abbildung 1: Winkelzusammenhänge des Sonnenstands an einem Betrachtungspunkt

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 hinausbewegt. [Winteranfang (21.12.) -23,45°; Sommeranfang (21.6.) 23,45°; 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.

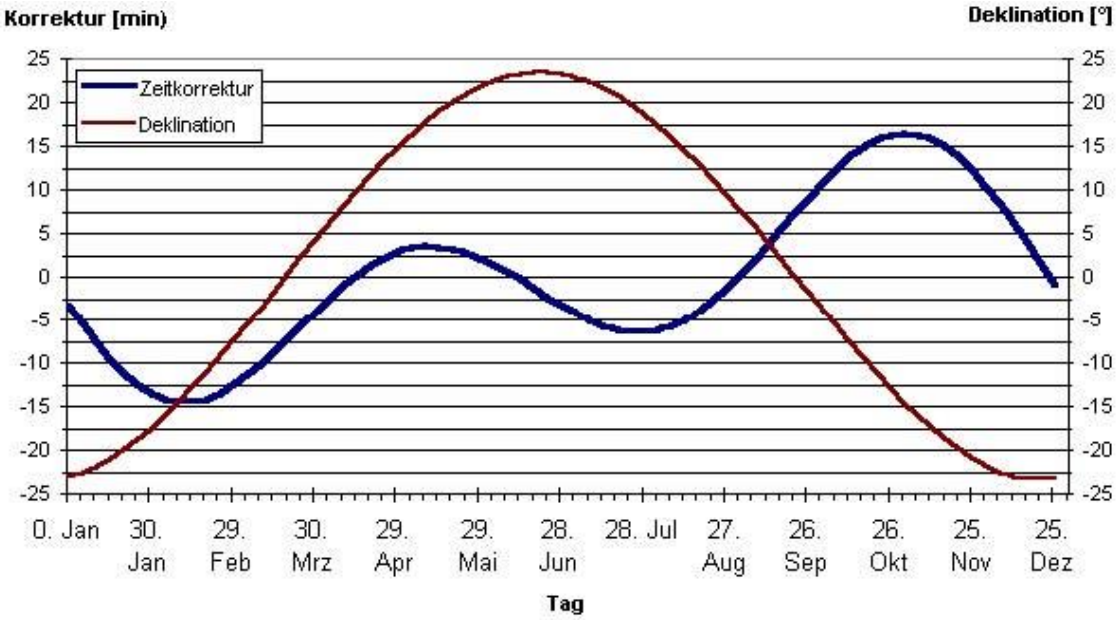


Abbildung 2: Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

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 Blatttiefe 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.

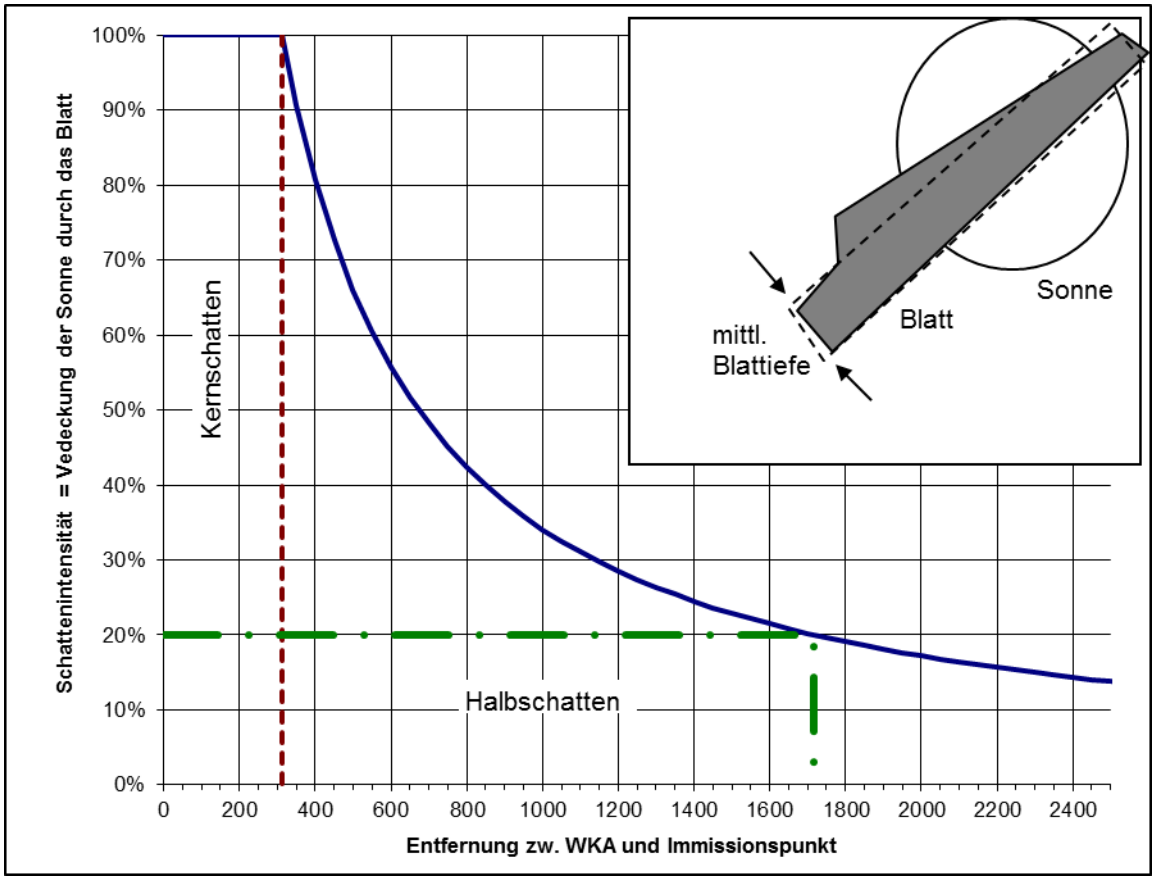


Abbildung 3: Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblatttiefe und Entfernung

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)

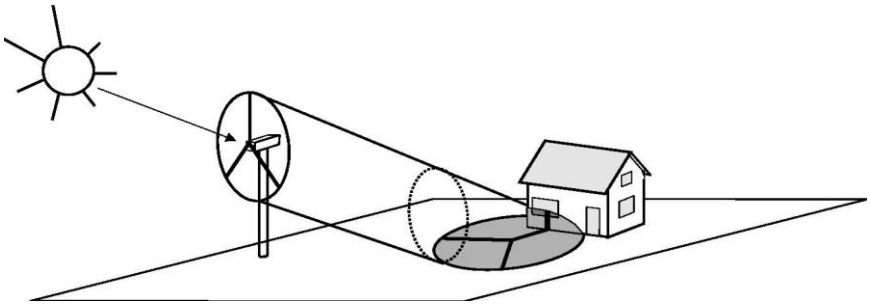


Abbildung 4: Schattenwurf des Rotors

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.

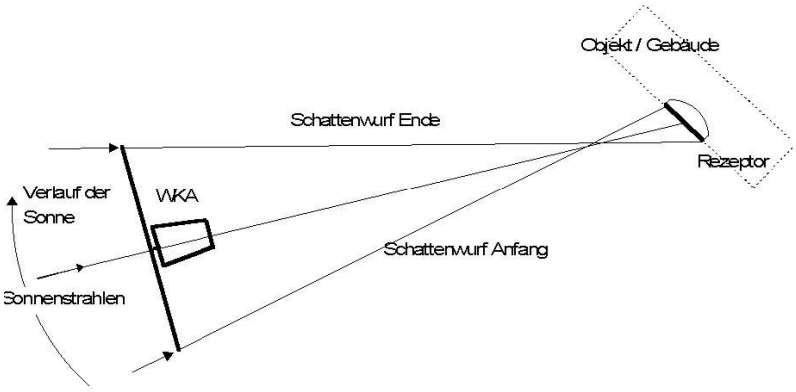


Abbildung 5: Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

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 x 0,1 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 Verison.* 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 Tw des Schattenwurfs bei Tmax = 30 h/Jahr.* Kiel : Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel, 24.01.2001.

5. **J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld.** *Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie.* Kiel : Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31.07.1999.

6. —. *Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie.* Kiel : Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, 15.05.2000.

7. **Kommission der Europäischen Gemeinschaften.** Atlas über die Sonnenstrahlung in Europa. Dortmund : W-Grösschen Verlag, 1979.