



Schattenwurfermittlung für geplante Windenergieanlagen

**am Standort Alt Zachun II in
Mecklenburg-Vorpommern**

Im Auftrag von

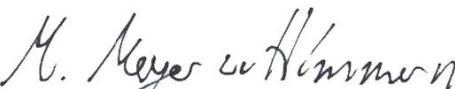
Naturwind GmbH
Schelfstraße 35
19005 Schwerin
Deutschland

Deutsche WindGuard Consulting GmbH
Oldenburger Straße 65
26316 Varel
Deutschland

Projekt-Nr.: VC22041
Bericht-Nr.: PS23005.A0
Berichtsdatum: 08.06.2023

Schattenwurfermittlung für geplante Windenergieanlagen

Standort: Alt Zachun II, Mecklenburg-Vorpommern

Beauftragt von:	Naturwind GmbH Schelfstraße 35 19005 Schwerin Deutschland	
Erstellt von:	Deutsche WindGuard Consulting GmbH Oldenburger Straße 65 26316 Varel Deutschland Telefon: +49 4451 95 15 0 Fax: +49 4451 95 15 29 E-Mail: info@windguard.de	
Projekt-Nr.:	VC22041	Deutsche WindGuard Consulting GmbH Oldenburger Straße 65 D-26316 Varel Tel.: 04451 / 95 15 - 0 · Fax: 95 15 - 29
Bericht-Nr.:	PS23005.A0	
Datum:	08.06.2023	
Ersteller:	 Dipl.-Ing. (FH) Markus Meyer zu Himmern	
Position	Stellvertr. Fachgruppenleiter	
Prüfer:	 Dipl.-Ing. (FH) Stefan Kieselhorst	
Position	Fachgruppenleiter	



Die Deutsche WindGuard Consulting GmbH ist ein von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiertes Prüflaboratorium nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 in den Bereichen Leistungskurvenvermessungen, Windmessungen an Standorten und potenziellen Standorten von Windenergieanlagen, Standortbezogene Energieertragsermittlung von Windparks, Site Suitability Studies, Schallemissions- und Schallimmissionsmessungen, Schallimmissionsermittlung durch Berechnung, Schattenwurfermittlung durch Berechnung und Belastungsmessungen an Windenergieanlagen.
Notifizierte Stelle für behördlich angeordnete Emissions- und Immissionsmessungen zur Ermittlung von Geräuschen von Windenergieanlagen nach §29b Bundes Immissionsschutz Gesetz (BImSchG).

Revisionen

Revisions-Nr.	Datum	Status	Änderung
A0	08.06.2023	Endbericht	---

Hinweis: Die letzte Revision ersetzt alle vorangehenden Revisionen.

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Berechnungsgrundlagen	7
2.1	Methodik	7
2.2	Unsicherheit	9
3	Standort- und Lagebeschreibung	10
3.1	Standortbeschreibung	10
3.2	Lageplan	11
3.3	Windenergieanlagen	11
3.4	Immissionsorte	12
4	Berechnungen	16
4.1	Astronomisch maximal mögliche Beschattung	16
4.2	Meteorologisch wahrscheinliche Beschattung	16
5	Ergebnisse	18
6	Bewertung	21
7	Referenzen	23
8	Anhang	24
A	Einwirkungsbereich der WEA und Lage der Immissionsorte	25
B	Isolinien – Schattenwurf durch die geplante WEA	27
C	Kalender für die Belastung durch periodischen Schattenwurf	28

Disclaimer:

Es wird versichert, dass die vorliegenden Ermittlungen unparteiisch, gemäß dem Stand der Technik und nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt wurden. Für die ermittelten Ergebnisse und die Richtigkeit der Darstellung in diesem Bericht übernimmt die Deutsche WindGuard GmbH keine Gewähr. Das diesem Bericht zugrunde gelegte Prüfverfahren entspricht den derzeit gültigen Richtlinien des entsprechenden Qualitätsmanagementsystems der Deutsche WindGuard GmbH. Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Berichtes ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Deutsche WindGuard GmbH, Varel erlaubt.

Dieser Prüfbericht umfasst 28 Seiten plus Anhang.

1 Einleitung

Die Naturwind GmbH plant am Standort Alt Zachun II in Mecklenburg-Vorpommern benachbart zu einem bestehenden Windpark zwei Windenergieanlagen (WEA) vom Typ Vestas V162-6.2 MW zu errichten.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist vom Antragsteller eine Prognose des voraussichtlichen periodischen Schattenwurfs vorzulegen, in der die verursachten Immissionen in Bezug auf den durch den Betrieb der WEA ausgehenden Schattenwurf rechnerisch zu ermitteln sind [1], [2]. Die Ergebnisse dieser Berechnung werden in diesem Schriftstück dargestellt und gemäß den Vorgaben [2] bewertet.

Eingangsdaten dieser Schattenwurfberechnung sind die Angaben des Auftraggebers in Bezug auf den geplanten WEA-Typen und zu den Standortkoordinaten sowie Angaben zu den technischen Daten der WEA und zur Rotorblattgeometrie vom Anlagenhersteller. Digitales Kartenmaterial auf Basis amtlicher ATKIS-Daten mit Gebäudeumringen und digitalisierte Höhenlinien sind bei der Schattenwurfberechnung als Karten- und Berechnungsgrundlage verwendet worden.

Bei der obligatorischen Standortbegehung wurden die Immissionsorte hinsichtlich ihrer Lage und Nutzungsart, die bestehenden WEA als Vorbelastung sowie die Standorte der geplanten WEA, als auch das Umfeld besichtigt und für die Bearbeitung dokumentiert.

2 Berechnungsgrundlagen

2.1 Methodik

Schatten entsteht als Projektion eines Objektes im Lichtweg einer Lichtquelle. Der Schatten zeigt sich als unbeleuchtete Fläche hinter dem Objekt und projiziert dieses. So ist dieser abhängig von den geometrischen Abmaßen des Objektes selbst und dem Sonnenstand.

Der Sonnenstand definiert die Position der Sonne über dem Horizont des zu untersuchenden Standortes und ändert sich laufend infolge der Erdrotation, dem sogenannten Tagesgang. Im Wesentlichen ist der Sonnenstand neben den geographischen Eigenschaften des Standortes selbst von der Jahreszeit abhängig, charakterisiert durch die Neigung der Erdachse und der elliptischen Laufbahn der Erde um die Sonne. Für den zu untersuchenden Standort müssen demnach die standortspezifischen geographischen Aspekte sowie Tages- und Jahreszeit berücksichtigt werden.

Schatten bei ausgedehnten Lichtquellen zeigt sich als Kernschatten, dem dunklen Bereich eines Schattens und als Halbschatten, die Fläche ohne das volle Licht der Quelle. Der Kernschatten entspricht in diesem Fall dem Bereich, in dem das Sonnenlicht durch die WEA vollständig verdeckt wird, der Halbschatten der teilweisen Verdeckung des Sonnenlichts. Eine Differenzierung nach Kern- und Halbschatten gilt nach den LAI Hinweisen [2] jedoch als nicht bedeutsam und wird daher in den Berechnungen auch nicht weiter unterschieden.

WEA erzeugen also, bedingt durch ihre räumliche Ausdehnung und Funktionsweise, optische Wirkungen auf den Menschen in Form von periodischem Schattenwurf aufgrund wiederkehrender Verschattung des direkten Sonnenlichtes durch die Rotorblätter als auch zusätzlich durch periodische Lichtreflexe an den Rotorblättern. Diese optischen Einwirkungen gelten als Immission im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1].

Das BImSchG stellt den Schutz vor erheblichen Belästigungen und erheblichen Nachteilen der Immission für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft sicher. Diese erheblichen Belästigungen bemessen sich in der Regel an Grenz- oder Richtwerten, hier anhand der zulässigen Beschattungsdauer am Immissionsort. Die vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) herausgegebenen Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (LAI-Hinweise) [2] enthalten Beurteilungsmaßstäbe zur Konkretisierung dieser Anforderungen aus dem BImSchG.

Erhebliche Belästigungen sind demnach gegeben, wenn die Beschattungsdauer am Immissionsort von 30 Stunden im Jahr und/oder 30 Minuten täglich überschritten wird. Da die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer wahrscheinlich nicht erreicht werden kann, wird zusätzlich die meteorologisch wahrscheinliche Abschattung angegeben. Diese ist bei einer astronomisch maximal möglichen Abschattung von 30 Stunden pro Jahr mit 8 Stunden für den gleichen Zeitraum angegeben. Wird einer oder beide Richtwerte überschritten, so kann durch geeignete Maßnahmen die Einhaltung der

Richtwerte gewährleistet werden. Dies kann beispielsweise eine Abschaltautomatik sein, die die astronomisch mögliche Abschattung auf 30 Stunden pro Jahr oder bei Berücksichtigung meteorologischer Parameter die tatsächliche Abschattung auf 8 Stunden pro Jahr begrenzt. Darüber hinaus gewährleisten Abschaltautomatiken, dass die tägliche Abschattung von 30 Minuten nicht überschritten wird.

Bei der Ermittlung der Belästigungen durch Schattenwurf wird aus Gründen der Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer („worst-case“-Annahme) am Immissionsort ermittelt. Bei der Erstellung wird von folgenden Vereinfachungen und Annahmen ausgegangen [2]:

- Die Sonne kann als punktförmige Quelle angesehen werden und scheint tagsüber an allen Tagen des Jahres.
- Es herrscht wolkenloser Himmel und für die Bewegung des Rotors ist ausreichend Wind vorhanden, sprich 100% Verfügbarkeit der WEA.
- Die Windrichtung entspricht dem Azimutwinkel der Sonne, womit die Rotorkreisfläche senkrecht zur Einfallrichtung der direkten Sonneneinstrahlung stehen würde.
- Alle Berechnungen sind bezogen auf geografischen Nord.
- Die Abstände zwischen Rotorebene und Turmachse sind zu vernachlässigen.
- Die Lichtbrechung an der Atmosphäre wird nicht berücksichtigt.
- Der Schattenwurf für Sonnenstände unter 3° Erhöhung über dem Horizont kann wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände vernachlässigt werden.

Die Erheblichkeit der Belästigungen hängt nicht nur von der Intensität, sondern auch wesentlich von der Nutzung des Gebietes des Einwirkens, von der Art der Einwirkungen sowie deren Zeitdauer ab. So sind bei den Beurteilungen alle WEA im Umkreis mit einzubeziehen, die durch den Schattenwurf auf die jeweiligen Immissionsorte einwirken. Als Maßgabe für den zu prüfenden Bereich gilt nach LAI Hinweisen [2] der Bereich, in welchem die Sonnenfläche zu 20 % durch die Fläche eines Rotorblattes verdeckt wird. Aufgrund der Blattgeometrie und den damit verbundenen unterschiedlichen Blatttiefen über die Blattlänge wird ersatzweise von einem rechteckigen Rotorblatt mit einer mittleren Blatttiefe gemäß folgender Formel ausgegangen:

$$\text{Mittl. Blatttiefe} = \frac{\text{Max. Blatttiefe} + \text{min. Blatttiefe bei } 0,9 \cdot \text{Rotorradius}}{2} \quad \text{Formel 2-1}$$

Die mittlere Blatttiefe fließt in die Berechnung der Entfernung ein, bei der das Rotorblatt die Abdeckung der Sonnenscheibe zu 20 % gerade unterschreitet. Diese maximale Reichweite des Schattens markiert den Abstand, ab dem der Helligkeitsunterschied durch die Verschattung der Sonne so gering ist, dass er nicht mehr als störend wahrgenommen wird.

$$Dist_{max} = \frac{(Mittlere\ Blatttiefe \cdot d)}{SB_{verd}} \quad \text{Formel 2-2}$$

Dabei ist d der mittlere Sonnenabstand von 150 000 000 km zur Erde.

SB_{verd} ist die Breite vom verdeckten Teil der Sonne bei 20 % Verdeckung der Sonnenscheibe. Für die Berechnungen wird der ungünstigste Fall für die Verdeckung angenommen, das Rotorblatt verdeckt die Sonnenmitte. Der Wert für SB_{verd} ergibt sich zu 219 556 km.

Der Schattenwurf von WEA ist demnach von folgenden Faktoren, die in die Berechnungen einfließen, abhängig:

- Den geometrischen Abmessungen der WEA wie Nabenhöhe und Rotordurchmesser sowie der Profilform.
- Der geographischen Lage von WEA und den Immissionsorten (Koordinaten und Höhe).
- Dem Sonnenstand bezüglich Jahres- und Tageszeit.

2.2 Unsicherheit

Der Sonnenstand wird für einen gegebenen Zeitpunkt berechnet. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung der Himmelskörper auf den jeweiligen Umlaufbahnen um die Sonne dauert der Erdumlauf nicht exakt ein Jahr und somit ist der Sonnenstand zu gleichen Zeitpunkten in unterschiedlichen Jahren ebenso nicht exakt derselbe. Wenn sich auch durch Schalttage bei gleichbleibender Beschattungsdauer die Anfangs- und Endzeitpunkte der Schattenwurfereignisse verändern, lassen sich diese Abweichungen jedoch nur teilweise beheben. Für die Berechnungen wird die Länge eines Jahres mit 365,25 Tagen angenommen.

Abweichungen der Beschattungsdauer in unterschiedlichen Jahren werden somit auf die minutengenauen Betrachtungen des Schattenwurfs auf die Rezeptorfläche sichtbar. Laut Angaben des Entwicklers der Berechnungssoftware verschieben sich die Anfangs- und Endzeitpunkte der Beschattungszeiten für jede Schattenwurfperiode in beide Richtungen maximal um weniger als eine Minute. In 95 % der Fälle ist die individuelle Verschiebung der tatsächlichen Beschattungszeiten für ein einzelnes Schattenwurfereignis ± 41 s. Bei mehreren Schattenereignissen gleichen sich diese Abweichungen, über einen längeren Zeitraum betrachtet, jedoch wieder aus.

3 Standort- und Lagebeschreibung

3.1 Standortbeschreibung

Zur Begutachtung der örtlichen Gegebenheiten wurde eine Standortbesichtigung durchgeführt. Zweck der obligatorischen Standortbesichtigung ist es, die Immissionsorte auf Plausibilität zu prüfen und, mit Hilfe digitalen Kartenmaterial auf Basis amtlicher ATKIS-Daten mit Gebäudeumringen, zu verifizieren. Gegebenenfalls werden, in den Karten unberücksichtigte, weitere Gebäude als maßgebliche Immissionsorte identifiziert und für die Ermittlung aufgenommen. Zudem werden die Standorte der zu beurteilenden WEA besichtigt und für die Bearbeitung dokumentiert.

Das Windparkgebiet mit den geplanten WEA befindet sich ca. 14 km südlich von Schwerin im Landkreis Ludwigslust-Parchim in Mecklenburg-Vorpommern, mittig zwischen den Orten Warsow, Lehmkuhlen, Sülstorf, Alt Zachun und Radelübbe. Das Windparkgebiet wird im Nordosten und Westen von Forsten und Wald begrenzt. Eine Eisenbahntrasse verläuft westlich von den geplanten WEA von Südsüdwest nach Nordnordost und trennt diese vom bestehenden Windpark Alt Zachun. Das vornehmlich flache Gebiet fällt in Richtung Radelübbe sanft ab. Umliegende Ortschaften sind vornehmlich Straßendörfer mit ein- bis anderthalbgeschossiger Bebauung. Um die geplanten WEA bestehen neben dem genannten Windpark Alt Zachun in Abständen von mehreren Kilometern befinden sich weitere Windparks in Betrieb bzw. in unterschiedlichen Stadien der Genehmigung.

Die Auswahl der Immissionsorte definiert sich durch die Schattenreichweite der WEA (Immissionsorte innerhalb der berechneten 0 Stunden Isolinie – „kein Schattenwurf“) und wird durch die Erkenntnisse der Standortbesichtigung gestützt. Die Koordinaten der Immissionspunkte entstammen vorhandenem digitalem Kartenmaterial, die Auflistung der Koordinaten ist in Tabelle 3 in Kapitel 3.4 zu finden. Die geographische Lage der Immissionsorte ist im Anhang dargestellt.

3.2 Lageplan

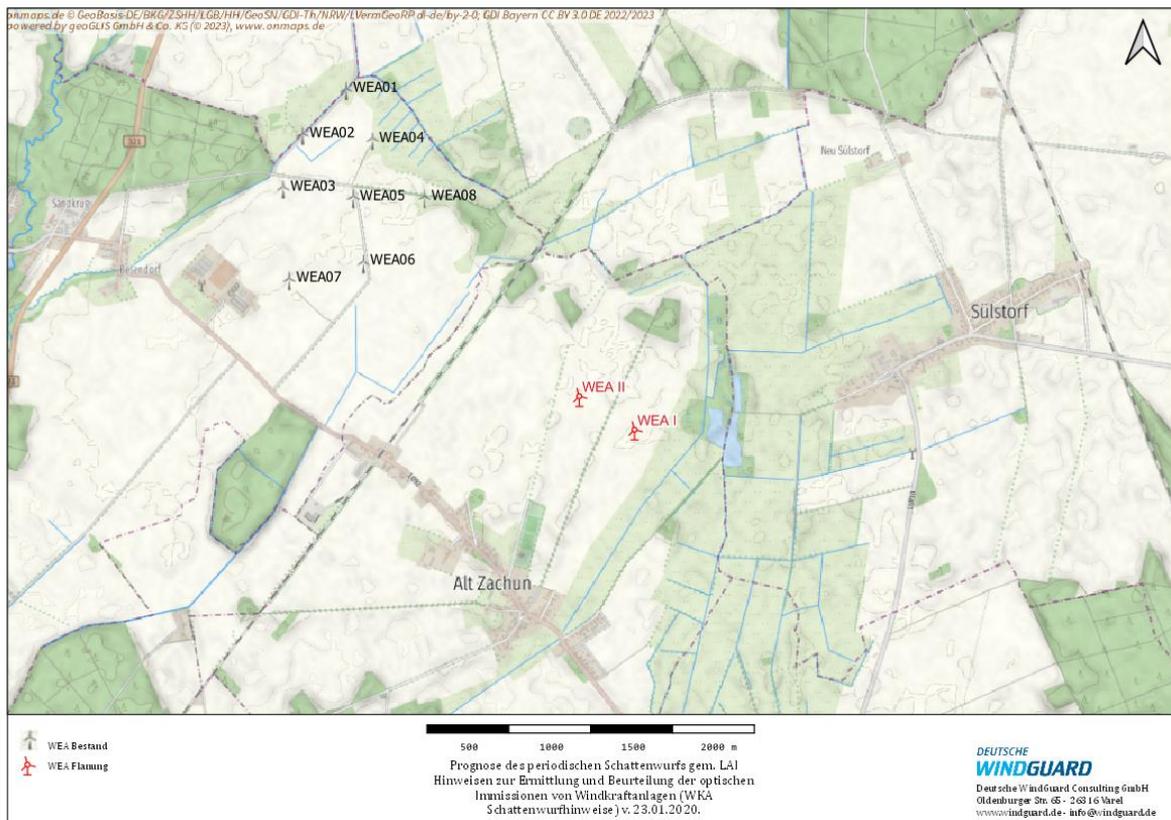


Abbildung 1: Lageplan der Windenergieanlagen am Standort Alt Zachun II.

3.3 Windenergieanlagen

Nach den LAI Hinweisen [2] sind bei der Schattenwurfprognose alle auf die Immissionsorte einwirkenden WEA am Standort zu berücksichtigen.

Für die Beurteilung der Schattenimmissionen sind am Standort Alt Zachun II neben der geplanten WEA noch bestehende Anlagen zu berücksichtigen. Im Folgenden wird lediglich der geplante und zu beurteilende WEA-Typ näher beschrieben:

Die Vestas V162-6.2 MW ist ein drehzahlvariabler Horizontalachsenkonverter mit drei Rotorblättern im Luvbetrieb und einer Nennleistung von 6.200 kW. Der Rotordurchmesser beträgt 162,0 m, die Rotorblätter sind mit gezackten Rotorblatthinterkanten (STE) versehen. Für die Nabenhöhe sind für diesen WEA-Typ verschiedene Höhen verfügbar – hier wird mit einer Nabenhöhe von 169 m geplant. Dieser WEA Typ ist mit einem konventionellen Triebstrang ausgestattet, welcher aus einem zweistufigen Planetengetriebe und einem Permanentmagnet-Synchrongenerator mit Vollumrichter besteht. Die Drehzahlvariation und damit die Leistungsabgabe im Teillastbereich ist windgeschwindigkeitsabhängig. Im Volllastbereich wird die Leistungsabgabe über die Verstellung der Anstellwinkel nahezu konstant auf Nennleistung und -drehzahl gehalten.

Die wichtigsten technischen Daten der geplanten WEA:

Parameter	V162-6.2 MW
Nabenhöhe:	169 m
Rotordurchmesser:	162 m
Nennleistung:	6.200 kW
Orientierung/Drehrichtung:	Luv/Uhrzeigersinn
Achsneigung:	6°
Drehzahlbereich Standardbetrieb	4,3 – 12,1 min ⁻¹
Blattanzahl:	3
Maximale Blatttiefe:	4,3 m
Blatttiefe bei 90% Blattlänge:	1,68 m
Mittlere Blatttiefe:	2,99 m
Schattenreichweite:	2.043 m

Tabelle 1: Wichtigste Daten der geplanten Anlagen

In der nachfolgenden Tabelle sind die Koordinaten der geplanten WEA mit Koordinaten und Höhenangaben aufgelistet.

WEA	Typ	Koordinaten (ETRS89, Zone 33)		Rotor-durchmesser m	Höhe ü. NN m	Naben- höhe ü. GOK m	Gesamt- höhe ü. GOK m
		x-Wert	y-Wert				
Gepl. WEA							
WEA I	Vestas V162-6.2 MW	257 786	5 934 587	162,0	40,0	169,0	250,0
WEA II	Vestas V162-6.2 MW	257 448	5 934 793	162,0	44,0	169,0	250,0
WEA Bestand							
WEA01	Vestas V112-3.3MW STE	256 031	5 936 621	56,0	40,6	140,0	196,0
WEA02	Vestas V112-3.3MW STE	255 765	5 936 341	56,0	40,4	140,0	196,0
WEA03	Vestas V112-3.3MW STE	255 648	5 936 013	56,0	46,6	140,0	196,0
WEA04	Vestas V112-3.3MW STE	256 191	5 936 311	56,0	41,6	140,0	196,0
WEA05	Vestas V112-3.3MW STE	256 073	5 935 954	56,0	42,9	140,0	196,0
WEA06	Vestas V112-3.3MW STE	256 135	5 935 559	56,0	41,4	140,0	196,0
WEA07	Vestas V112-3.3MW STE	255 684	5 935 452	56,0	42,5	140,0	196,0
WEA08	Vestas V112-3.3MW STE	256 510	5 935 955	56,0	43,0	140,0	196,0

Tabelle 2: Standortkoordinaten (ETRS 89, Zone 32) sowie Typangaben und Höhen der geplanten und der bestehenden WEA.

3.4 Immissionsorte

Immissionsorte sind Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen und Räume außerhalb von Gebäuden mit schutzbedürftiger Nutzung in ihrer Umgebung. Aus den vorliegenden digitalisierten Gebäudeumringen wird die Ecke oder Seite eines Gebäudes, die den emittierenden WEA am nächsten gelegen ist, als Immissionsort gewählt und in die Berechnungen aufgenommen. Nach den LAI Hinweisen [2] sind maßgebliche Immissionsorte Gebäude mit schutzwürdigen Räumen, die als

- Wohnräume und Wohndielen,
- Schlafräume, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien,
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen sowie
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume

genutzt werden. Die direkt an den Gebäuden anliegenden Außenflächen wie Balkone und Terrassen sind den schutzwürdigen Räumen in den Zeiten von 06:00 bis 22:00 gleichgestellt.

Weiterhin gelten unbebaute Flächen an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zulässig sind, in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund ebenfalls als maßgebliche Immissionsorte. Zur Spezifizierung sei hier auf umseitige Tabelle der Immissionsorte verwiesen.

IO	Adresse / Beschreibung	Koordinaten (ETRS89, Zone 33)		Höhe ü. NN m	Rezeptor- höhe m
		x-Wert	y-Wert		
IO01	Hauptstraße 61, Alt Zachun	256 736	5 933 918	40,0	2
IO02	Friedhofsweg 5a, Alt Zachun	256 776	5 933 984	40,0	2
IO03	Friedhofsweg 5d, Alt Zachun	256 771	5 934 004	40,0	2
IO04	Friedhofsweg 7, Alt Zachun	256 761	5 934 042	40,0	2
IO05	Hauptstraße 76c, Alt Zachun	256 718	5 934 031	40,0	2
IO06	Hauptstraße 76b, Alt Zachun	256 707	5 934 042	40,0	2
IO07	Hauptstraße 76a, Alt Zachun	256 696	5 934 055	40,0	2
IO08	Hauptstraße 76, Alt Zachun	256 687	5 934 064	40,0	2
IO09	Hauptstraße 78, Alt Zachun	256 667	5 934 074	40,0	2
IO10	Hauptstraße 94, Alt Zachun	256 550	5 934 197	40,0	2
IO11	Hauptstraße 87, Alt Zachun	256 526	5 934 157	40,0	2
IO12	Hauptstraße 89, Alt Zachun	256 504	5 934 177	40,0	2
IO13	Hauptstraße 91, Alt Zachun	256 488	5 934 197	40,0	2
IO14	Hauptstraße 99, Alt Zachun	256 412	5 934 290	40,0	2
IO15	Hauptstraße 101, Alt Zachun	256 395	5 934 309	40,0	2
IO16	Hauptstraße 103, Alt Zachun	256 376	5 934 324	40,0	2
IO17	Hauptstraße 107, Alt Zachun	256 315	5 934 364	40,0	2
IO18	Hauptstraße 109, Alt Zachun	256 272	5 934 389	40,0	2
IO19	Hauptstraße 114, Alt Zachun	256 294	5 934 420	40,0	2
IO20	Hauptstraße 116, Alt Zachun	256 270	5 934 441	40,0	2
IO21	An der Bahn 1, Alt Zachun	256 497	5 934 745	40,0	2
IO22	Hauptstraße 118, Alt Zachun	256 223	5 934 465	40,0	2
IO23	Hauptstraße 111, Alt Zachun	256 208	5 934 438	40,0	2
IO24	Hauptstraße 115, Alt Zachun	256 150	5 934 472	40,0	2
IO25	Hauptstraße 117, Alt Zachun	256 123	5 934 482	40,0	2

IO	Adresse / Beschreibung	Koordinaten (ETRS89, Zone 33)		Höhe ü. NN m	Rezeptor- höhe m
		x-Wert	y-Wert		
I026	Hauptstraße 119, Alt Zachun	256 071	5 934 513	40,0	2
I027	Hauptstraße 121, Alt Zachun	256 058	5 934 504	40,0	2
I028	Hauptstraße 5, Sülstorf	259 732	5 935 165	40,8	2
I029	Hauptstraße 20, Sülstorf	259 749	5 935 126	40,8	2
I030	Hauptstraße 22, Sülstorf	259 721	5 935 117	40,7	2
I031	Hauptstraße 24, Sülstorf	259 672	5 935 089	40,4	2
I032	Hauptstraße 26, Sülstorf	259 643	5 935 057	40,2	2
I033	Hauptstraße 28, Sülstorf	259 623	5 935 065	40,1	2
I034	Hauptstraße 30, Sülstorf	259 591	5 935 042	40,0	2
I035	Hauptstraße 32, Sülstorf	259 572	5 935 021	40,0	2
I036	Hauptstraße 34, Sülstorf	259 559	5 935 032	40,0	2
I037	Hauptstraße 11, Sülstorf	259 550	5 935 076	40,0	2
I038	Hauptstraße 13, Sülstorf	259 510	5 935 053	40,0	2
I039	Hauptstraße 15, Sülstorf	259 498	5 935 049	40,0	2
I040	Hauptstraße 19, Sülstorf	259 449	5 935 028	40,0	2
I041	Hauptstraße 21, Sülstorf	259 419	5 935 021	40,0	2
I042	Hauptstraße 36b, Sülstorf	259 552	5 934 941	40,0	2
I043	Hauptstraße 36a, Sülstorf	259 548	5 934 954	40,0	2
I044	Hauptstraße 36, Sülstorf	259 528	5 935 020	40,0	2
I045	Hauptstraße 38, Sülstorf	259 508	5 934 998	40,0	2
I046	Hauptstraße 40, Sülstorf	259 487	5 934 954	40,0	2
I047	Hauptstraße 43, Sülstorf	259 465	5 934 880	40,0	2
I048	Hauptstraße 40a, Sülstorf	259 419	5 934 950	40,0	2
I049	Hauptstraße 40b, Sülstorf	259 415	5 934 947	40,0	2
I050	Hauptstraße 40c, Sülstorf	259 408	5 934 944	40,0	2
I051	Hauptstraße 25, Sülstorf	259 238	5 934 927	40,0	2
I052	Hauptstraße 29, Sülstorf	259 191	5 934 879	40,0	2
I053	Hauptstraße 31, Sülstorf	259 156	5 934 844	40,0	2
I054	Hauptstraße 31a, Sülstorf	259 119	5 934 873	40,0	2
I055	Hauptstraße 33, Sülstorf	259 096	5 934 834	40,0	2
I056	Hauptstraße 35, Sülstorf	259 049	5 934 802	40,0	2
I057	Hauptstraße 68, Sülstorf	259 075	5 934 773	40,0	2
I058	Hauptstraße 64, Sülstorf	259 120	5 934 786	40,0	2
I059	Hauptstraße 62, Sülstorf	259 137	5 934 786	40,0	2
I060	Hauptstraße 60, Sülstorf	259 155	5 934 794	40,0	2
I061	Hauptstraße 58, Sülstorf	259 188	5 934 805	40,0	2
I062	Hauptstraße 56, Sülstorf	259 229	5 934 837	40,0	2
I063	Hauptstraße 54, Sülstorf	259 247	5 934 841	40,0	2
I064	Hauptstraße 52, Sülstorf	259 267	5 934 850	40,0	2
I065	Hauptstraße 50, Sülstorf	259 287	5 934 866	40,0	2
I066	Hauptstraße 48, Sülstorf	259 305	5 934 843	40,0	2

IO	Adresse / Beschreibung	Koordinaten (ETRS89, Zone 33)		Höhe ü. NN	Rezep- tor- höhe
		x-Wert	y-Wert	m	m
IO67	Hauptstraße 46b, Sülstorf	259 340	5 934 853	40,0	2
IO68	Hauptstraße 46a, Sülstorf	259 353	5 934 855	40,0	2
IO69	Hauptstraße 42, Sülstorf	259 405	5 934 842	40,0	2

Tabelle 3: Maßgebliche Immissionsorte in der Nachbarschaft der WEA (innerhalb Schattenreichweite der geplanten WEA). Die Adressdaten entstammen öffentlichen Quellen und sind ohne Gewähr, maßgeblich sind die Koordinatenangaben.

Aus der Berechnung der Isolinie für Schattenwurf mit null Stunden astronomisch maximal möglicher Beschattung (max. Schattenreichweite) durch die geplante WEA sind die in Tabelle 3 angegebenen Orte identifiziert worden.

Zum Teil sind die Wohngebäude von Bewuchs und Nebengebäuden umgeben. Auch wenn diese zwischen Immissionsort und WEA eine mögliche periodische Beschattung durch die WEA am Fenster eines schutzbedürftigen Raumes deutlich einschränken kann, so wird diese Einschränkung im Sinne einer konservativen Betrachtung jedoch nicht weiter beachtet. Es wird für alle Immissionsorte von einer freien Sichtbeziehung zwischen Immissionsort und WEA ausgegangen.

4 Berechnungen

Die Berechnungen und die Bewertung der Ergebnisse des Schattenwurfs wurden entsprechend den Maßgaben der vom Länderausschuss für Immissionsschutz herausgegebenen Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windenergieanlagen (LAI-Hinweise) [2] ausgeführt.

Diese Immissionsrichtwerte besagen, dass die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer an den maßgeblichen Immissionsorten 30 Stunden pro Kalenderjahr bzw. 8 Stunden tatsächliche Abschattung pro Kalenderjahr und 30 Minuten tägliche Beschattungsdauer nicht überschreiten soll.

Die Berechnungen wurden mit der Software WindPRO in der Version 3.6 durchgeführt. Die Schattenwurfrezeptoren wurden nach den Vorgaben in [2] und einem konservativen Ansatz folgend wie folgt konfiguriert: Immissionsort ist die dem Windpark zugewandte Gebäudeecke oder Seite, im „Gewächshaus“-Modus mit den Abmessungen 0.1 m x 0.1 m in 2 m Höhe und als Fläche (Anstellwinkel 0°) angenommen.

4.1 Astronomisch maximal mögliche Beschattung

Die Ergebnisse der Berechnungen des Schattenwurfs beruhen neben den in Kapitel 2 beschriebenen Vereinfachungen und Annahmen noch auf einer uneingeschränkten Sichtbeziehung zwischen Immissionsort und WEA. Hindernisse durch andere Bebauungen oder Bewuchs, welche die Sichtbeziehung einschränken, wurden in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Auch ist für diesen Zeitraum eine Aussage zur tatsächlichen Nutzung schutzbedürftiger Räume ggf. nur schwer zu treffen, womit dann das ganze Haus als Immissionsort angenommen wird.

Daraus lässt sich ableiten, dass die Angaben zur astronomisch maximal möglichen Beschattung unter Berücksichtigung meteorologischer Parameter wahrscheinlich unterschritten werden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche jährliche Abschattung aller Wahrscheinlichkeit nach geringer sein wird als die hier angegebenen Werte.

4.2 Meteorologisch wahrscheinliche Beschattung

Da es unwahrscheinlich ist, dass die astronomisch maximal mögliche Beschattung eintritt, kann durch Einbeziehen ortsspezifischer meteorologischer Daten die meteorologisch wahrscheinliche Beschattung berechnet werden. Dazu werden Daten für die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer am Standort oder eines nahegelegenen Standortes, die vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt werden, verwendet. Die folgende Tabelle zeigt die bei diesen Berechnungen verwendeten durchschnittlichen täglichen Sonnenscheindauern in der Region.

Monat	Jan.	Feb.	Mär.	Apr	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Ø Sonnenscheindauer in h/d	1,48	2,37	3,74	6,07	7,71	7,17	7,32	6,61	5,10	3,52	1,77	1,23

Tabelle 4: Durchschnittliche tägliche Sonnenscheinstunden Standort der Wetterstation Schwering.

Zusammen mit der Leistungskurve der WEA, welche den Zusammenhang zwischen Leistungsabgabe (Betrieb) der WEA und Windgeschwindigkeit darstellt, und der standortspezifischen jährlichen Windverteilung können die ungefähren jährlichen Betriebsstunden der WEA ermittelt werden. Die Windverteilung wird i.d.R. durch eine Windmessung am oder in der Nähe des Standortes, durch Betriebsdaten benachbarter WEA oder durch die Windatlasermittlung gewonnen.

Die folgende Tabelle zeigt die bei diesen Berechnungen verwendeten voraussichtlichen jährlichen Betriebsstunden in den Windrichtungssektoren.

Sektor	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
Betriebsstunden in h/a	347	307	455	732	643	398	604	1188	1492	1210	594	312

Tabelle 5: Jährliche Betriebsstunden der WEA in den 12 Richtungssektoren.

Mit diesen Daten kann ermittelt werden, wie häufig die WEA möglicherweise die volle Rotorfläche zum Immissionsort ausrichten wird und wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass zu diesen Zeitpunkten auch die Sonne scheint.

Da es sich hierbei um eine Berechnung auf Basis statistischer Daten handelt, welche nur eine Wahrscheinlichkeitsangabe als Ergebnis hat, sind die Zeitangaben der meteorologisch wahrscheinlichen Beschattung lediglich als Erwartungswerte anzusehen und dienen nicht der Bewertung der Immissionen durch Schattenwurf am Standort.

5 Ergebnisse

Durch Berechnung wird in einem ersten Schritt ermittelt, wie groß der Einwirkungsbereich des periodischen Schattenwurfs der geplanten WEA ist (Isolinie mit null Stunden Schattenwurf) und in Folge hieraus, die Anzahl und Lage der Immissionsorte, die durch den Betrieb der geplanten und zu beurteilenden WEA am stärksten betroffen sind. Vier Immissionsorte sind im Einwirkungsbereich der geplanten und zu beurteilenden WEA (mehr als null Stunden Schattenwurf) ermittelt worden.

Die folgende Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für die astronomisch maximal mögliche Beschattungszeiten (Erklärung siehe Kap. 4.1) sowie die meteorologisch wahrscheinlichen Beschattungszeiten (Erklärung siehe Kap. 4.2) an den Immissionsorten.

IO	Mögliche Beschattungstage	Astronom. max. mögliche Beschattungszeiten	Astronom. max. mögliche Beschattungszeiten	Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungszeiten
	Tage/Jahr	Stunden/Jahr	Minuten/Tag	Stunden/Jahr
1)	ZB, GB	ZB, GB	ZB, GB	ZB, GB
I001	23	4:51	0:16	1:26
I002	37	12:13	0:25	3:39
I003	45	17:18	0:29	5:12
I004	57	26:03	0:33	7:55
I005	61	28:09	0:33	8:36
I006	65	30:53	0:34	9:28
I007	69	33:14	0:33	10:13
I008	72	34:46	0:33	10:43
I009	77	36:31	0:33	11:17
I010	60	22:48	0:30	7:16
I011	61	23:00	0:29	7:22
I012	56	20:51	0:29	6:39
I013	79	25:33	0:29	7:59
I014	112	49:16	0:35	15:05
I015	116	52:23	0:35	16:02
I016	119	54:00	0:34	16:32
I017	129	51:40	0:33	15:53
I018	107	39:54	0:32	12:22
I019	105	39:36	0:32	12:15
I020	97	35:59	0:32	11:05
I021	91	42:30	0:39	11:36
I022	87	31:28	0:30	9:33
I023	89	31:28	0:30	9:38

IO	Mögliche Beschattungstage	Astronom. max. mögliche Beschattungszeiten	Astronom. max. mögliche Beschattungszeiten	Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungszeiten
	Tage/Jahr	Stunden/Jahr	Minuten/Tag	Stunden/Jahr
1)	ZB, GB	ZB, GB	ZB, GB	ZB, GB
I024	78	27:08	0:29	8:09
I025	77	25:43	0:28	7:40
I026	71	23:08	0:27	6:45
I027	71	22:46	0:27	6:40
I028	24	5:13	0:18	1:07
I029	24	5:13	0:18	1:07
I030	24	5:21	0:19	1:09
I031	24	5:47	0:19	1:15
I032	26	6:02	0:19	1:19
I033	25	6:10	0:20	1:20
I034	26	6:28	0:20	1:24
I035	26	6:39	0:20	1:27
I036	27	6:43	0:21	1:28
I037	26	6:46	0:21	1:28
I038	26	7:07	0:21	1:33
I039	28	7:18	0:21	1:35
I040	47	12:52	0:22	2:53
I041	46	13:28	0:22	3:01
I042	26	6:52	0:20	1:30
I043	26	6:54	0:21	1:30
I044	26	7:02	0:21	1:32
I045	26	7:13	0:21	1:34
I046	27	7:28	0:21	1:38
I047	44	12:52	0:23	2:56
I048	46	13:32	0:22	3:03
I049	47	13:41	0:22	3:06
I050	48	13:50	0:23	3:08
I051	51	17:17	0:27	3:56
I052	52	18:30	0:31	4:14
I053	52	19:31	0:33	4:30
I054	54	20:16	0:34	4:39
I055	54	21:11	0:36	4:55
I056	55	22:37	0:39	5:19
I057	54	22:08	0:40	5:16

IO	Mögliche Beschattungstage	Astronom. max. mögliche Beschattungszeiten	Astronom. max. mögliche Beschattungszeiten	Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungszeiten
	Tage/Jahr	Stunden/Jahr	Minuten/Tag	Stunden/Jahr
1)	ZB, GB	ZB, GB	ZB, GB	ZB, GB
I058	53	20:32	0:37	4:51
I059	53	20:09	0:37	4:46
I060	52	19:43	0:36	4:38
I061	50	18:42	0:33	4:22
I062	50	17:43	0:31	4:05
I063	49	17:13	0:30	3:57
I064	50	16:45	0:30	3:50
I065	48	16:20	0:29	3:44
I066	48	15:57	0:29	3:40
I067	46	15:10	0:27	3:29
I068	46	14:51	0:26	3:24
I069	44	14:04	0:25	3:14

Tabelle 6: Ergebnisse der Belastung durch periodischen Schattenwurf an den maßgeblichen und weiteren Immissionsorten. Überschreitungen der Richtwerte sind rot hervorgehoben.

1) ZB: Zusatzbelastung durch die geplanten WEA, GB: Gesamtbelastung durch alle WEA (bestehende und geplante WEA).

Der berechnete periodische Schattenwurf der geplanten und zu beurteilenden WEA überschreitet an 14 der 69 Immissionsorte den in den LAI Hinweisen [2] angegebenen Richtwert von 30 Stunden im Jahr astronomisch maximal möglicher Beschattung. Auch der Richtwert von 30 Minuten am Tag astronomisch maximal möglicher Beschattung wird an 25 Immissionsorten überschritten. Unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen wird der Richtwert von 8 Stunden tatsächlicher Beschattung an 16 Immissionsorten durch den meteorologisch wahrscheinlichen Schattenwurf überschritten.

Da sich auf den Flächen, auf denen sich die Beschattungszonen durch die bestehenden und geplanten WEA überlappen nur kultiviertes Land und keine Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen befinden, kann hier auf eine Darstellung der Beschattungszeiten durch die bestehenden WEA verzichtet werden. Somit entspricht der Beitrag der geplanten WEA an den Beschattungszeiten gleichzeitig dem maximal zu erwartenden periodischen Schattenwurf für diese Immissionsorte. Sämtliche weitere Bebauungen befinden sich außerhalb der Schattenwurfreichweite der geplanten WEA.

Die grafische Darstellung der Ergebnisse befindet sich im Anhang.

6 Bewertung

Die Naturwind GmbH in 19005 Schwerin plant am Standort Alt Zachun II in Mecklenburg-Vorpommern zwei WEA vom Typ Vestas V162-6.2 MW errichten. Hierfür ist im Rahmen des Genehmigungsverfahrens vom Antragsteller eine Schattenwurfprognose vorzulegen, in der zu prüfen ist, ob die rechnerisch ermittelten Immissionen in Bezug auf den durch WEA ausgehenden periodischen Schattenwurf keine schädlichen Umwelteinwirkungen hervorrufen und ob Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen getroffen ist.

An 14 der 69 ermittelten Immissionsorte innerhalb der Schattenreichweite der geplanten und zu beurteilenden WEA wird der Richtwert nach den LAI Hinweisen [2] für die jährlich astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden überschritten. In Bezug auf den Richtwert der täglich maximal möglichen Beschattungsdauer von 30 Minuten wurden an 25 Immissionsorten Überschreitungen der Richtwerte ermittelt. Unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen wird der Richtwert von 8 Stunden tatsächlicher Beschattung an 16 Immissionsorten durch den meteorologisch wahrscheinlichen Schattenwurf überschritten. Jedwede weitere Bebauungen mit schutzbedürftigen Räumen liegen außerhalb der Schattenreichweite der geplanten und gegenständlichen WEA.

Die ermittelten Beschattungszeiten entstammen einem reinen theoretischen Ansatz der maximalen Beschattung und können für die astronomisch maximal mögliche Beschattung nur bei wolkenlosem Himmel, ständigem Sonnenschein sowie für eine den Schattenwurf begünstigende Rotorstellung erreicht werden. Des Weiteren wird bei den Berechnungen von einer freien Sicht zwischen den betreffenden Immissionsorten und den WEA ausgegangen. Daher ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass die tatsächliche Beschattungszeit an den Immissionsorten pro Jahr geringer ist, als prognostiziert. Die prognostizierten Ergebnisse dieser Berechnung stellen somit den ungünstigsten Fall bezüglich einer Belastung durch Schattenwurf am Immissionsort dar.

Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass sich die Ergebnisse dieser Berechnungen auf die Immissionsorte als Punkt an dem Gebäude selbst und nicht, bzw. nur näherungsweise, auf die direkt angrenzenden Freiflächen des Grundstücks (Terrassen, Balkone o.ä. Außenflächen) beziehen, obwohl diese den schutzwürdigen Räumen wie Wohn- und Schlafräume, Unterrichtsräume sowie Büro und Praxisräume gleichgestellt sind. Hier können u. U. unterschiedliche Werte als die prognostizierten für den Immissionsort auftreten. Des Weiteren ist bei der Betrachtung eines Punktes als Immissionsort eine gewisse Unsicherheit aufgrund des über den Tag sich ändernden Sonnenstandes zum Immissionsort, womit sich auch die Beschattung relativ zu den Gebäudeseiten und den gegebenenfalls zugehörigen Fensterflächen der schutzbedürftigen Räume ändert, nicht gänzlich zu vermeiden. Variationen durch den jährlich leicht unterschiedlichen Lauf des Sonnenstandes sind ebenso nicht in die Berechnungen eingeflossen.

Die den Berechnungen zugrunde liegenden Eingangsdaten sind die zur Verfügung gestellten Daten der WEA Hersteller, der Rotorblatthersteller, der genehmigenden Behörde oder des Auftraggebers.

Die Einhaltung des Richtwertes von 30 Stunden pro Jahr astronomisch maximal möglicher bzw. 8 Stunden pro Jahr tatsächlicher Beschattung und 30 Minuten täglicher Beschattung kann durch geeignete Maßnahmen an den WEA gewährleistet werden. Dies können Abschaltautomatiken sein, in denen der Schattenwurfskalender der jeweiligen WEA Berücksichtigung findet. Diese Abschaltautomatiken gewährleisten, dass an jedem maßgeblichen Immissionsort die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden pro Jahr und 30 Minuten pro Tag bzw. unter Berücksichtigung der meteorologischen Parameter, durch Messung der Strahlungsstärke, 8 Stunden pro Jahr eingehalten wird.

7 Referenzen

- [1] BImSchG, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 15.03.1974 in der Fassung und der Bekanntmachung vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert am 24.02.2012 (BGBl. I S. 212)
- [2] LAI, Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen Aktualisierung 2019 (WKA Schattenwurfhinweise) vom 23.01.2020
- [3] Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Institut für Psychologie an der Christian-Albrechts-Universität Kiel, 31.07.1999

8 Anhang

A Einwirkungsbereich der WEA und Lage der Immissionsorte

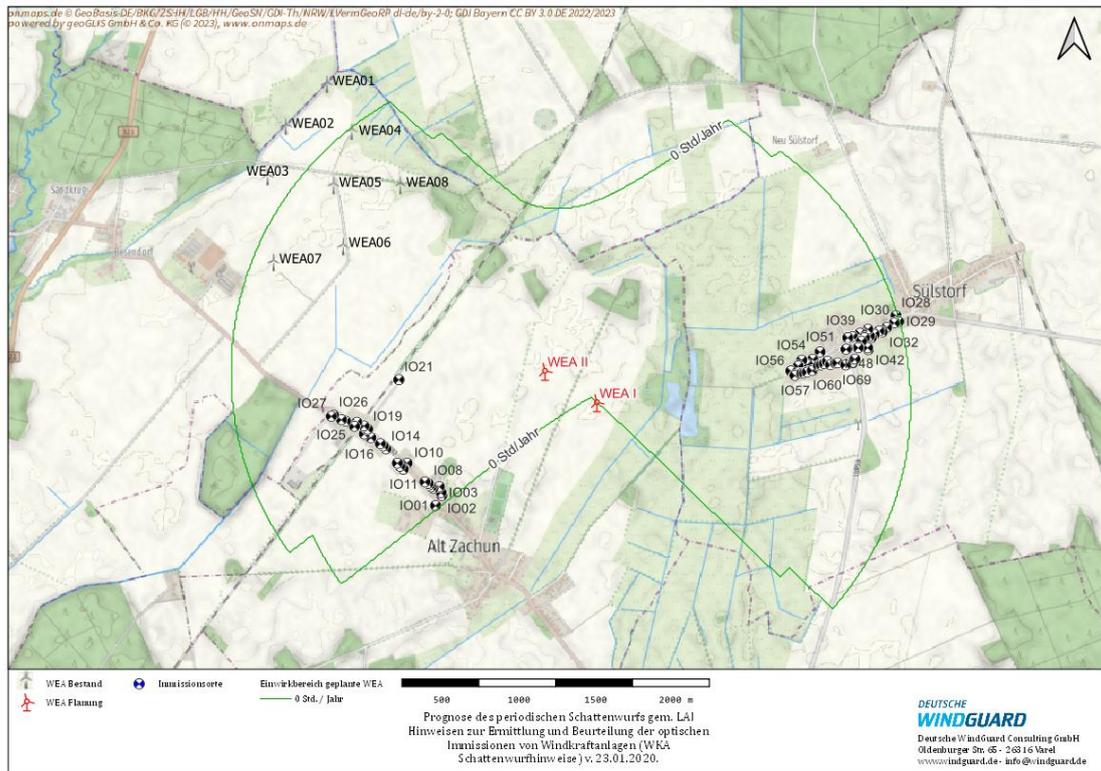


Abbildung 2: Einwirkungsbereich der geplanten WEA (periodischer Schattenwurf mit mehr als null Stunden im Jahr) und Lage der Immissionsorte innerhalb dieses Bereiches.

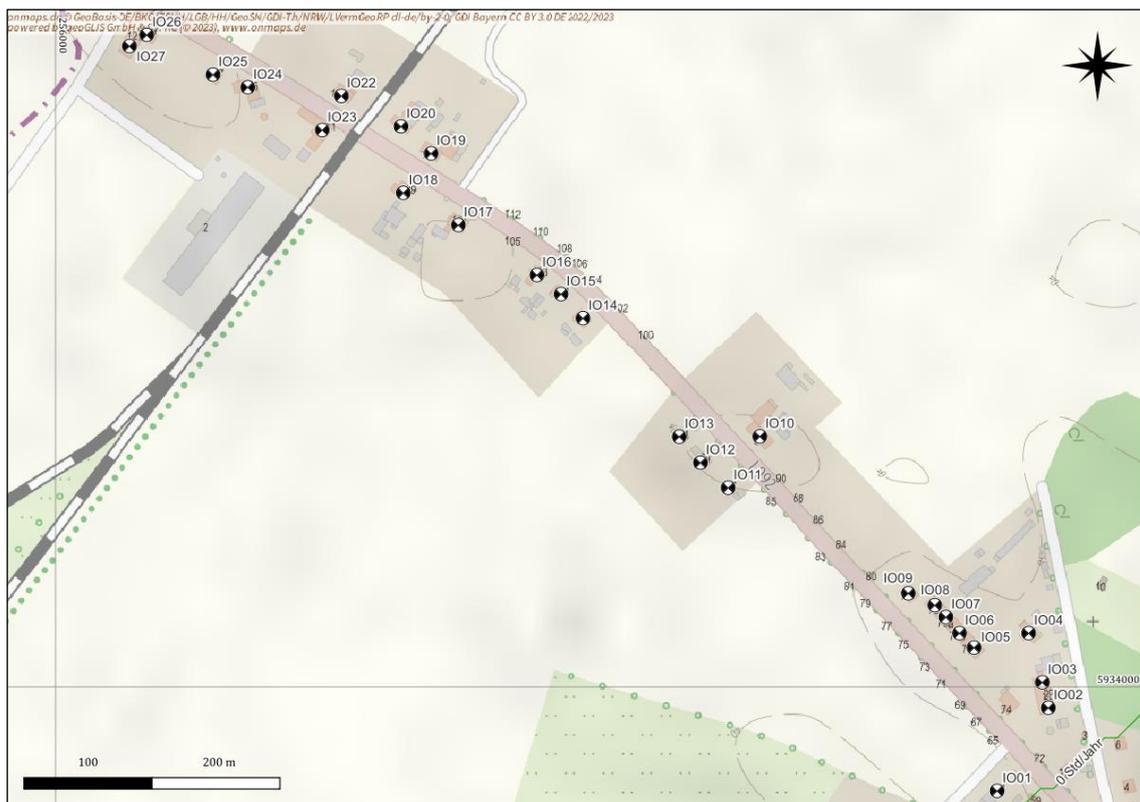


Abbildung 3: Detaildarstellung der Immissionsorte in Alt Zachun. Maßstab 1:3.000.

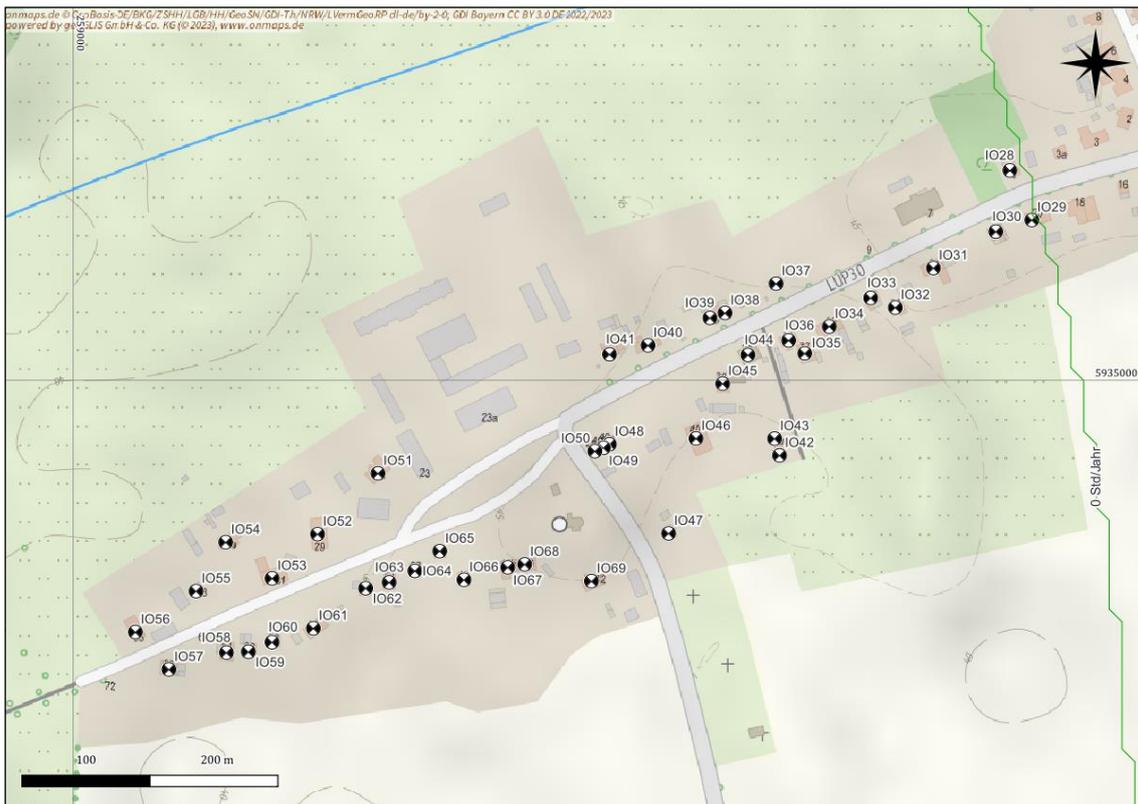


Abbildung 4: Detaildarstellung der Immissionsorte in Sülstorf. Maßstab 1:3.000.

B Isolinien – Schattenwurf durch die geplante WEA

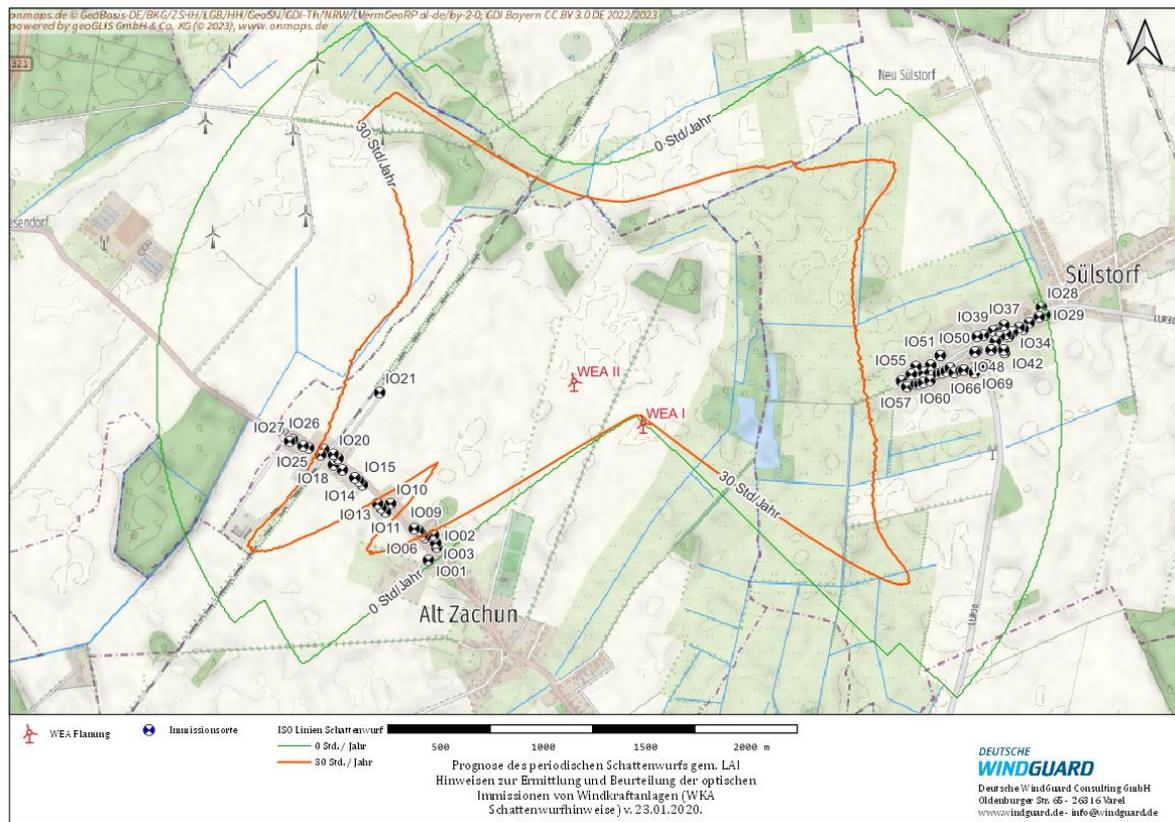


Abbildung 5: Grafische Darstellung der Immissionen durch periodischen Schattenwurf der geplanten WEA in Form von Isolinien (Linien gleicher Belastung durch periodischen Schattenwurf). Angabe des astronomisch maximal möglichen Schattenwurfs in Stunden/Jahr. Maßstab 1:20.000.

C Kalender für die Belastung durch periodischen Schattenwurf

Siehe anhängendes Dokument
PS23005.A0_WP_Alt_Zachun_II_Anhang_Schattenwurfskalender.pdf

----- Ende des Prüfberichts -----