

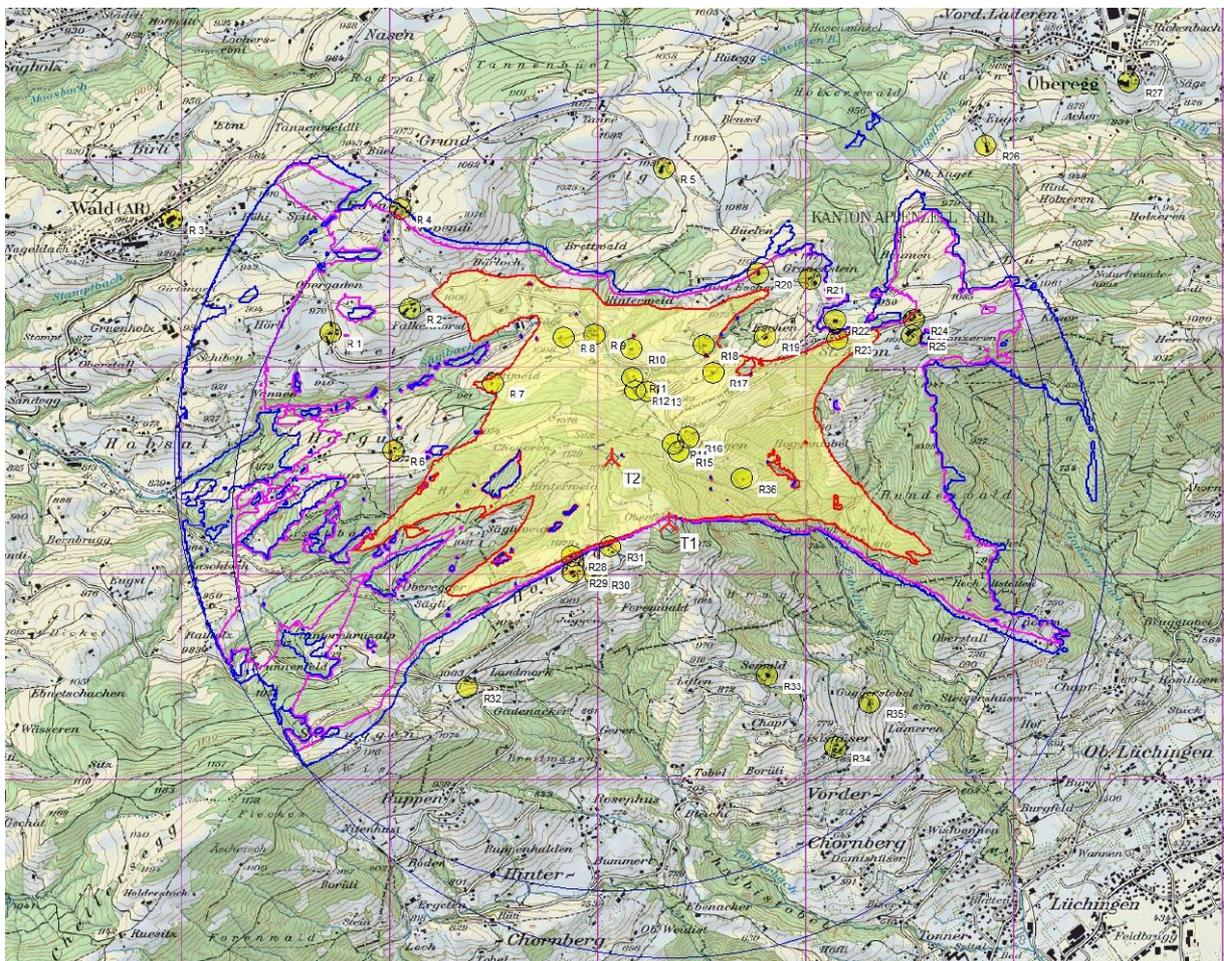
Appenzeller Wind AG
Geschäftsstelle
Werner Geiger
Wiesstr. 13
9413 Oberegg

Schattenwurfstudie Windenergieprojekt Oberegg, AI

2 x E-126 EP4, je 4.2 MW

gemäss deutschem Reglement

„Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“, 13.03.2002



Interwind AG
Buchzelweg 5
8053 Zürich

20.03.2017

Auftragnehmer	Interwind AG, Buchzelgweg 5, 8053 Zürich Kontaktperson: Mehmet Hanagasioglu
Auftraggeber	Appenzeller Wind AG, Geschäftsstelle Werner Geiger, Wiesstr.13, 9413 Oberegg
Ziel der Studie	Nachweis des Schattenwurfs der zwei Anlagen T1 und T2 und Identifikation der betroffenen Gebiete, in denen die Grenzwerte für den Schattenwurf gemäss deutschem Reglement von max. 8 Stunden im Jahr und max. 30 Minuten pro Tag überschritten werden. Berechnung der maximalen Abschaltdauer und der daraus resultierenden Verminderung der Stromproduktion zur Einhaltung der Grenzwerte. Notwendigkeit der Installation einer Abschaltautomatik.
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none">- Spezifikation der Windenergieanlagen, Dimension und Standorte- Karte 1:25'000, ©swisstopo- Digitales Höhenmodell 25 m Auflösung, DHM25 ©swisstopo, ohne feste Hindernisse (Wald oder Bauwerke)- Deutsches Reglement „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ vom 13.03.2002- Mittlere monatliche Sonnenscheindauer 2006-2016 Säntis (Meteo Schweiz)- Mittlere monatliche Windverhältnisse für 2006-2016 hochgerechnet aufgrund der Windmessung Oberfeld 08.2015-07.2016 und Korrelationen mit Daten der Meteo-station Säntis
Methode	Numerische Simulation für zwei verschiedene Szenarien (Worst Case und Expected Case): <ul style="list-style-type: none">- Plazieren der zwei Windenergieanlagen auf dem digitalen Höhenmodell- Worst Case:<ul style="list-style-type: none">o Windverhältnisse permanent optimal für die Windturbinen, Windrichtung identisch mit jener der Sonnenstrahlen, Rotoroberflächen stehen permanent senkrecht zu den Sonnenstrahlen mit einem maximalen Einfluss des Schattens auf alle untersuchten Rezeptoreno Sonnenscheindauer astronomisch maximal möglich, d.h. 100% Sonnenschein an 365 Tagen im Jahr- Expected Case:<ul style="list-style-type: none">o Windverhältnisse gemäss Langzeitwindverhältnisse am Standorto Sonnenscheindauer gemäss mittlerer Sonnenscheindauer Säntis- Annahme, dass die untersuchten Gebäude, sog. Rezeptoren allseitig verglast sind (Gewächshaus-Modus), d.h. für alle Rezeptoren je 1 Fenster in Richtung Anlage Das Programm verwendet Algorithmen, welche die Stellung der Sonne relativ zum Wind definieren und wertet unter Berücksichtigung der Topographie die Verschattung der untersuchten Rezeptoren aus. Diese wird für Intervalle von 1 Minute berechnet. Die Jahreswerte ergeben sich aus der Summe der einzelnen Intervalle.
Programme	WindPRO, Version 3.06, Schattenmodul «Shadow», MS Office 2016
Datum	20. März 2017
Versionsabfolge	Version 01, Entwurf zur Durchsicht Appenzeller Wind AG 06.03.2017 Version 02, inkl. Korrekturen Gebäudenutzung durch Appenzeller Wind AG, 20.03.17
Verteiler	
Elektronisch (PDF)	Appenzeller Wind AG Interwind AG

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	3
2	Ausgangslage	7
	2.1 Windenergieprojekt Oberegg	7
3	Anwendung des deutschen Reglements	8
	3.1 Grundsätze	8
	3.2 Berechnung	9
	3.3 Grenzwerte	10
	3.4 Massnahmen	10
4	Datengrundlagen der Modellierung	11
	4.1 Anlagenkoordinaten	11
	4.2 Kartengrundlage	11
	4.3 Reichweite des Schattenwurfs für Enercon E-126 EP4	11
	4.4 Winddaten und Sonnenstunden	12
	4.4.1 Betriebsstunden und Windrichtungen	12
	4.4.2 Sonnenstunden der Referenzstation Säntis	13
	4.5 Zusammenfassung der Datengrundlagen	13
5	Schattenwurfberechnungen	14
	5.1 WindPRO Programmeinstellungen	14
	5.2 Numerische Simulation mit WindPRO	14
6	Schattenwurf für 36 Beispielgebäude	15
	6.1 Definition der Schattenrezeptoren	15
	6.2 Untersuchte Schattenrezeptoren	15
	6.3 Berechnungen	15
7	Resultate der Modellierung	18
	7.1 Schattenwurfkarten und Resultate „Worst Case“	18
	7.2 Vergleich der Prognosen für 36 untersuchte Gebäude, „Worst Case“ und „Expected Case“ ..	23
8	Schätzung der Ertragsminderungen	24
	8.1 Prognose der Abschaltdauer der Anlagen	24
	8.2 Prognose der Ertragsminderungen für 36 Rezeptoren	25
	8.2.1 Korrekturfaktor für die gleichzeitige Beschattung	25
9	Schlussfolgerung	26
10	Schutzmassnahmen, weiteres Vorgehen	26
	10.1 Massnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte der Schattenwurfdauer	26
	10.2 Massnahmen zur Vermeidung von Blendeffekten	27
	Abbildungsverzeichnis	28
	Tabellenverzeichnis	28
	Anhangsverzeichnis	29

1 Zusammenfassung

Ausgangslage Das geplante Windenergieprojekt Oberegg besteht aus zwei Anlagen (T1 und T2) des Typs Enercon E-126 EP4 mit je 4.2 MW Leistung, 127 m Rotordurchmesser, 135 m Nabenhöhe und einer Gesamthöhe von 198.5 m. Die projektierten Anlagen befinden sich im Gebiet Honegg/Oberfeld, im Bezirk Oberegg im Kanton Appenzell Innerhoden, in unmittelbarer Nähe der Grenze zum Kanton Appenzell Auserhoden. Im kantonalen Richtplan Appenzell Innerhoden wurde das Gebiet Honegg als Interessengebiet für Windenergie bezeichnet.¹ Die Festsetzung des Standorts Oberegg als Windpark im kantonalen Richtplan bedingt eine Machbarkeitsstudie (MBS)² in deren Rahmen der Schattenwurf der zwei Anlagen untersucht und die Einhaltung von Grenzwerten nachzuweisen ist.

Rechtslage: Der Einfluss von Schattenwurf von Windturbinen auf Wohngebäude und andere betroffene Bauten sowie die Festlegung von Grenzwerten für dessen zulässige Dauer sind in der Schweiz rechtlich durch keine Verordnung geregelt. In der vorliegenden Studie kommen das deutsche Reglement und seine Grenzwerte zur Anwendung³. Die zulässigen Grenzwerte für den Schattenwurf sind: **max. 8 Stunden/Jahr sowie maximal 30 Minuten /Tag pro Rezeptor.**

Ziel

Für alle Gebäude im betroffenen Gebiet, welche gemäss dem Reglement als Rezeptoren gelten, wird die Einhaltung der Grenzwerte während dem Betrieb der Anlagen garantiert, indem die Rotoren temporär abgestellt werden, sobald die Grenzwerte überschritten sind.

Berechnungsmethode und Grenzwerte: Die Berechnungsmethode und verwendeten Grenzwerte des deutschen Reglements werden als Referenznorm erachtet. Die Reduktion des Schattenwurfs auf 30 Stunden jährlich, respektive 30 Minuten täglich, wird als tolerierbar erachtet, wobei die astronomisch maximal mögliche Verschattung («Worst Case» Szenario) berechnet wird um das betroffene Gebiet festzulegen. Dieses wird in einer Schattenwurfkarte dargestellt.

Die Grenzwerte verringern sich auf 8 h/Jahr, wenn die metrologischen Daten für die Simulation eines realen Modells („Expected Case“ Szenario) verwendet werden. Dieses Szenario ermöglicht eine realitätsnähere Einschätzung des Schattenwurfs und basiert auf mittleren erwarteten Windverhältnissen am Messstandort Oberegg 01.02.2006 - 31.07.2016 und mittleren Werten der Sonnenscheindauer der benachbarten Meteorostation Säntis. Auf dieser Grundlage werden die Abschaltzeiten ermittelt und die daraus resultierenden Ertragsminderungen der Stromproduktion.

Die Schattenberechnungen wurden mit dem Programm WindPRO ausgeführt und für die Schattenwurfkarte ein «Worst Case» Szenario ermittelt. Das Modell ergibt nachfolgende Resultate:

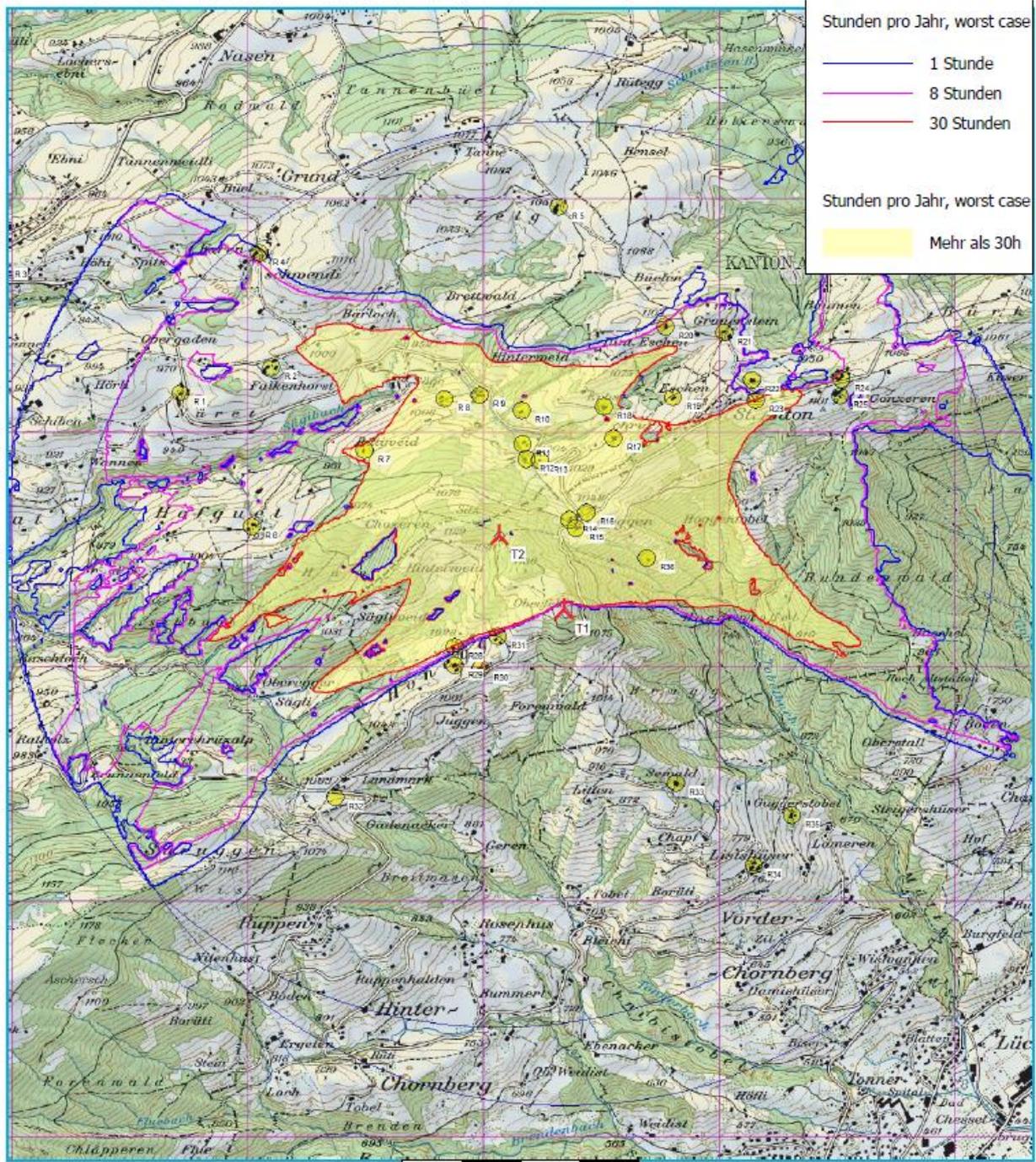
- Bestimmung der Reichweite des Schattenwurfs und der betroffenen Gebiete, in denen die Grenzwerte überschritten werden für zwei geplante Anlagen von je 4.2 MW, Enercon E-126 EP4, mit einer Gesamthöhe von 198.5 m und einem Rotordurchmesser von 127 m.
- Berechnung der Dauer der Abschaltung, basierend auf der Schattensimulation für das Szenario „Expected Case“ für 36 ausgewählte Gebäude in der Umgebung der Anlagen, wobei pro Gebäude ein Rezeptor eingerechnet wurde (Anhang V, Seite 40).
- Abschätzung der Produktionsverluste, um die Auswirkungen des Schattenwurfs des Projekts aufzuzeigen, wobei 36 Beispielgebäude in der Umgebung der Anlagen im Detail berücksichtigt wurden.

¹ Kantonaler Richtplan AI, Teil Energie, 24.09.2013

² Pflichtenheft Machbarkeitsstudie Windenergieprojekt Oberegg, AI 08.08.2016

³ Die Berechnungsmethode und die Grenzwerte des deutschen Reglements wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) unter dem Titel: „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, Stand 13.03.2002“ publiziert.

Resultate



Map: Oberfeld 1_25000_Grid , Print scale 1:25'000, Map center Swiss (LV95)-CH1903+ (CH/LI 1993) East: 2'757'200 North: 1'252'400
 ▲ WEA ● Schattenrezeptor
 Flicker map level: Height Contours: Oberegg1_25000.wpo (1)

Abb. 1 Windenergieprojekt Oberegg, Schattenwurfkarte mit betroffenem Gebiet in Gelb, in dem die Grenzwerte überschritten werden (Schattenwurf jährlich > 30 h und täglich > 30 Min)

Schattenwurfkarte: Die Schattenwurfkarte in Abb. 1 zeigt den maximal möglichen Schattenwurf als „Worst Case« Szenario, wobei das Gebiete in dem der jährlichen Grenzwert von 30 h überschritten wird, gelb gefärbt ist. Dieses Gebiet liegt sowohl im Kanton Appenzell Innerrhoden als auch in Appenzell Ausserrhoden. Innerhalb dieser gelben Zone wird die effektive Dauer des Schattenwurfs auf die betroffenen Gebäude mittels Schutzmassnahmen begrenzt werden. (Installation einer Abschaltautomatik in den Anlagen). Die Schattenwurfkarte zeigt ausserdem die Reichweite des sichtbaren Schattenwurfs, die je 2'108 m um jede Windturbine beträgt (blaue Kreise in der Karte)

Schattenwurf für 36 ausgewählte Gebäude: Der Nachweis des Schattenwurfs erfolgt anhand von 36 ausgewählten Gebäuden, die in der Umgebung der geplanten Anlagen stehen (Tab. 1) und ermöglicht die Abschätzung der Ertragsminderungen zur Einhaltung der Grenzwerte.

Einschätzung der Ertragsminderungen: Gemäss der vereinfachten Simulation ohne Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitseffekts der Abschaltzeiten für Gebäude, die hintereinander liegen, ergeben sich Ertragsminderungen von 1.04%, die auf 1.5 % aufgerundet werden, da nicht alle Rezeptoren in der vorliegenden Berechnung berücksichtigt sind.

Schutzmassnahmen

Einhaltung der Grenzwerte der Schattenwurfdauer

Um den Grenzwert der maximal zulässigen effektiven Beschattungsdauer von 8 Stunden pro Jahr und den täglichen Immissionsrichtwert von maximal 30 Minuten einzuhalten, werden nachfolgende Massnahmen durchgeführt :

- Beide Windenergieanlagen werden mit Schattendektoren / Schattenwurfmodul ausgerüstet.
- Für das Baugesuch wird eine vom Geometer beglaubigte Liste erstellt, die alle Gebäude innerhalb des betroffenen Gebiets enthält, wo die Grenzwerte der Schattenwurfdauer von 30 h/Jahr überschritten werden. Diese Liste enthält Angaben zu Grundeigentümern und Nutzung im Hinblick auf schutzwürdige Innen- und Aussenräume.
- Für die Inbetriebnahme der Anlagen werden die nachfolgenden Angaben für alle betroffenen Gebäude eingereicht:
 - Katasternummer, Grundeigentümer, Katasterplan, Gebäudeorientierung, Raumnutzung mit Fenstern, Balkone, Terrassen, Aussensitzplätze, Koordinaten und Dimensionen aller Fenster, Terrassen und Gartensitzplätze. Sobald die Anlagen stehen, werden deren Sichtbarkeit berücksichtigt, denn Bäume, Gebäude andere Hindernisse können die Sicht auf die Rotoren verdecken. Damit entfällt der Schattenwurf auf die schutzwürdigen Räume.
- Ausserdem wird der Nachweis erbracht, dass diese Liste mit den obengenannten Angaben zu den schutzwürdigen Gebäuden und Rezeptoren im Schattenwurfmodul jeder Anlage hinterlegt ist und in die Anlagensteuerung eingebunden.

Vermeidung von Blendeffekten

Um störende Lichtreflexe zu vermeiden (Disko-Effekt von drehenden Rotorblättern der alten Anlagen, Baujahr vor 2002.) werden die Oberflächen der Rotorblätter in geeigneten, matten Materialien und Farbtönen ausgeführt. Damit wird sichergestellt, dass die drehenden Rotorblätter keine Blendung verursachen. Die gleichen Anforderungen gelten auch für die Oberflächen von Turm und Gondel.

Für das Projekt Oberegg gelten nachfolgende Bedingungen für die Rotorblätter:

Farbton der Rotorblätter der WEA E-126: Beschichtung Farbton RAL 7038, dessen Glanzgrad max. 30 ± 10 Glanzeinheiten beträgt. Messungen an ENERCON Rotorblättern ergaben 5 bis 15 Glanzeinheiten und liegen damit deutlich unter dem Maximalwert (gemessen im 60°-Winkel nach DIN EN ISO 2813).⁴

ID	Grundstück Nr. A= Allstratten, SG; O= Oberegg, AI, V= Wald, AR	Worst Case Schatten ¹ max. astronomisch möglich [h/j] ²	Worst Case ³ Max. Schattenstunden / Tag (astronomisch möglich) [h]	Distanz zur nächsten WEA [m]		"Expected" Pot. Einfluss nach Sonnenschein ³ und gemessener Windgeschwindigkeit ⁴ [h/j]	effektiver Einfluss, limitiert durch die Regelung [h]		Koordinaten (LV95) ⁵		m.ü.M z	Beschrieb gem. Amtliche Vermessung Gde https://www.geoportal.ch
				T1	T2		max. täglich	max. jährlich	x	y		
R 1	578 W	11:39	00:20	1'883	1'490	2:29	0.5	8	2'755'718	1'253'164	965.2	Nüret (Wohnhaus, Käserei, Stall)
R 2	415 W	21:13	00:25	1'629	1'213	3:37	0.5	8	2'756'103	1'253'277	996.5	Falkenhorst (Wohnhaus, Scheune)
R 3	80 W	0:00	00:00	2'813	2'411	0:00	0.5	8	2'754'959	1'253'711	968.7	Wald MZA (Kindergarten, Schulhaus)
R 4	376 W	4:15	00:13	2'004	1'580	0:36	0.5	8	2'756'053	1'253'760	1029.8	Faren (Wohnhaus, Remise)
R 5	409 W	0:00	00:00	1'724	1'427	0:00	0.5	8	2'757'321	1'253'957	1048.6	Zeig (Wohnhaus, Stall)
R 6	699 W	20:13	00:27	1'383	1'059	4:34	0.5	8	2'756'020	1'252'592	975.9	Hofgut (Wohnhaus)
R 7	443 W	43:25	00:41	1'095	684	8:19	0.5	8	2'756'500	1'252'918	1006.8	Rütiweid (Wohnhaus)
R 8	436 W	71:40	00:52	1'047	643	9:55	0.5	8	2'756'838	1'253'139	978.4	Büchler (Stall)
R 9	753 W	70:47	00:49	998	622	11:09	0.5	8	2'756'987	1'253'153	966.1	Rest. am Seeli (Wohn- und Gasthaus)
R10	563 W	78:21	00:52	878	551	15:46	0.5	8	2'757'164	1'253'086	1001.9	Loch 1 (Wohnhaus)
R11	759 W	105:39	01:03	742	420	21:20	0.5	8	2'757'169	1'252'945	992.8	Loch 2 (Wohnhaus, Scheune)
R12	446 W	126:36	01:10	675	362	25:45	0.5	8	2'757'183	1'252'880	1001.9	Loch 3 (Remise)
R13	707 W	123:24	01:07	658	378	26:33	0.5	8	2'757'241	1'252'875	1006.5	Loch 4 (Wohnhaus)
R14	560 O	282:13	01:19	392	310	57:35	0.5	8	2'757'366	1'252'622	1049.9	Haggen W (Wohnhaus, Stall)
R15	1336 O	259:47	01:17	360	331	53:20	0.5	8	2'757'394	1'252'587	1049.9	Haggen S (Wohnhaus)
R16	564 O	195:33	01:07	434	386	43:23	0.5	8	2'757'438	1'252'655	1049.5	Rest. Wilder Mann (Wohn-, Gewerbegebäude)
R17	706 W	50:39	00:45	766	642	13:32	0.5	8	2'757'555	1'252'970	1048.6	Erbschrot (Wohnhaus)
R18	485 W	36:20	00:41	888	710	9:28	0.5	8	2'757'512	1'253'104	1027.7	Erbschrot (Wohnhaus, Stall)
R19	756 W	20:49	00:32	1'019	946	5:40	0.5	8	2'757'807	1'253'145	1068.5	Eschen (Wohnhaus)
R20	1442 O	12:38	00:24	1'284	1'137	3:01	0.5	8	2'757'773	1'253'447	1100.6	Schutz (Wohnhaus)
R21	421 O	19:51	00:24	1'364	1'289	4:47	0.5	8	2'758'023	1'253'421	1087	Grauenstein (Wohnhaus, Stall)
R22	439 O	0:00	00:00	1'266	1'262	0:00	0.5	8	2'758'140	1'253'223	1086.8	St. Anton (Egg) (Wohnhaus)
R23	440 O	30:27	00:27	1'206	1'230	7:53	0.5	8	2'758'156	1'253'131	1105.5	St. Anton (Wohnhaus)
R24	446 O	19:24	00:21	1'532	1'597	5:02	0.5	8	2'758'520	1'253'224	1093.8	Café S. Anton (Wohn-, Gewerbegebäude)
R25	496 O	17:50	00:21	1'481	1'562	4:42	0.5	8	2'758'514	1'253'150	1092.4	St. Anton (Wohnhaus, Stall)
R26	292 O	0:00	00:00	2'388	2'358	0:00	0.5	8	2'758'865	1'254'069	902.4	Moos-Eugst (Wohnhaus, Stall)
R27	65 O	0:00	00:00	3'082	3'089	0:00	0.5	8	2'759'552	1'254'378	870.4	Schulhaus Oberegg
R28	543 O	23:23	00:40	501	515	4:29	0.5	8	2'756'880	1'252'082	1028.3	Honegg NW (Wohnhaus)
R29	509 O	0:00	00:00	527	588	0:00	0.5	8	2'756'883	1'252'003	1027.4	Honegg SW (Wohnhaus, Stall)
R30	545 O	0:00	00:00	439	573	0:00	0.5	8	2'756'990	1'251'991	1043.7	Honegg S (Wohnhaus)
R31	546 O	0:00	00:00	311	430	0:00	0.5	8	2'757'062	1'252'127	1058.2	Honegg O (Wohnhaus)
R32	591 O	0:00	00:00	1'264	1'319	0:00	0.5	8	2'756'374	1'251'438	1007.8	Landmark (Wohn-, Gewerbegebäude)
R33	4711 A	0:00	00:00	903	1'315	0:00	0.5	8	2'757'818	1'251'498	879	Seewald (Wohnhaus)
R34	1635 A	0:00	00:00	1'391	1'804	0:00	0.5	8	2'758'146	1'251'148	763.5	Listhüser (Wohnhaus)
R35	1647 A	0:00	00:00	1'356	1'764	0:00	0.5	8	2'758'309	1'251'361	716.4	Guggerstobel (Wohnhaus)
R36	799 O	83:32	00:54	445	655	18:09	0.5	8	2'757'694	1'252'458	935.9	Haggenstobel (Stall)

1 Für die der beeinflussten Gebäude (>30 h/j astronomisch möglich, gemäss "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen" 2002, deutsches Reglement)

2 Sonnenscheindauer und Betrieb der Windkraftanlagen 100%

3 Messwerte der Station Säntis, 2006 - 2016

4 Langzeitdaten Oberfeld, aufgrund Messwerte des Windmessmastes Aug 2015 – Juli 2016 und Korrelationen Säntis, ab einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s

5 DHM25@swisstopo

Tab. 1 Resultate der Schattenwurfstudie für 36 untersuchten Gebäude, Gelb Schattenwurf > 30 h/j, Worst Case

⁴ Technische Beschreibung, Farbgebung von Enercon Windenergieanlagen, D0185200-0b / DA

2 Ausgangslage

2.1 Windenergieprojekt Oberegg

Das geplante Windenergieprojekt Oberegg besteht aus zwei Anlagen (T1 und T2) des Typs Enercon E-126 EP4 mit je 4.2 MW Leistung, 127 m Rotordurchmesser, 135 m Nabhöhe und einer Gesamthöhe von 198.5 m. Die projektierten Anlagen befinden sich im Gebiet Honegg/Oberfeld, im Bezirk Oberegg im Kanton Appenzell Innerhoden, in unmittelbarer Nähe der Grenze zum Kanton Appenzell Ausserhoden.

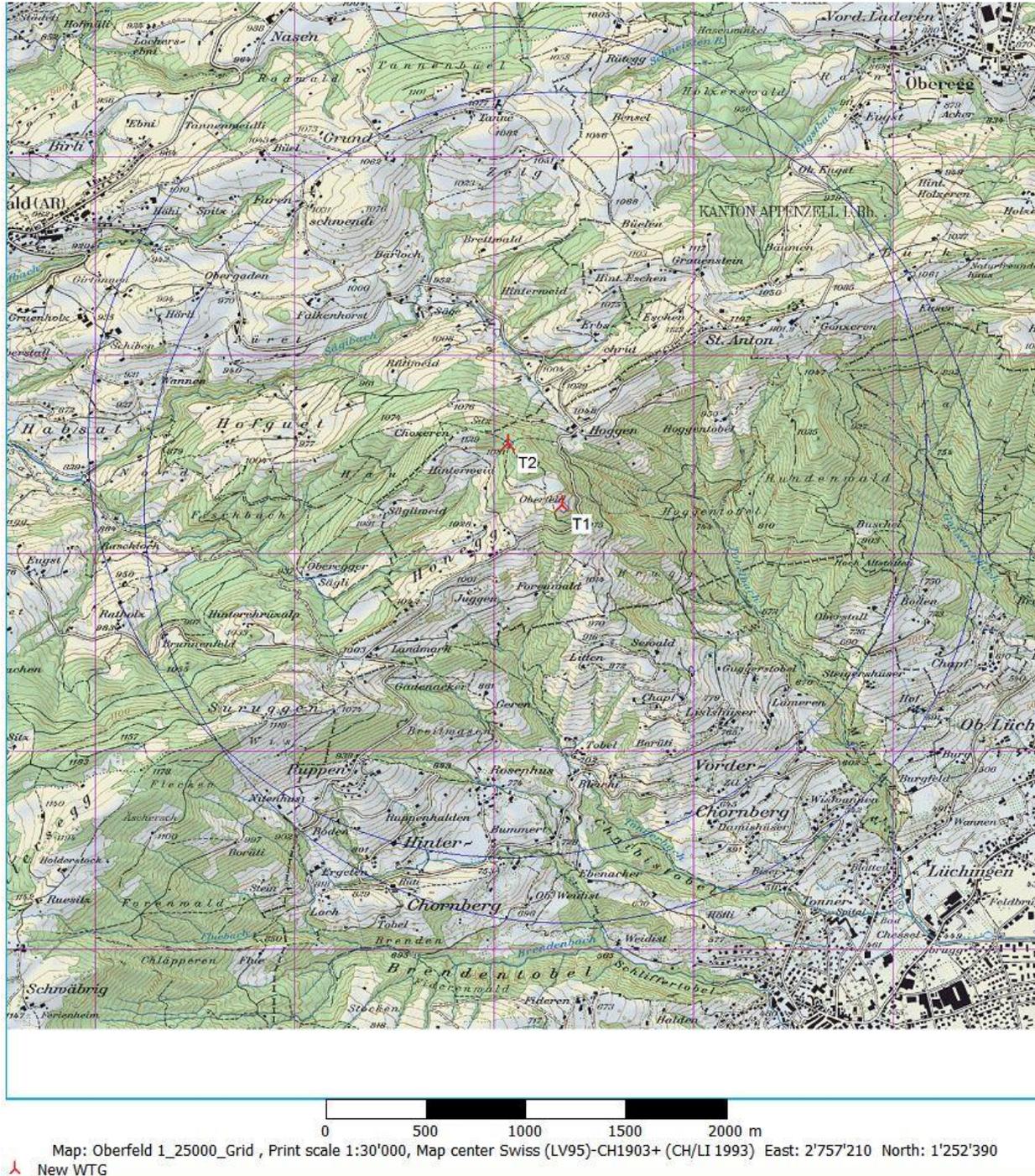


Abb. 2 Grundkarte der Schattenwurfstudie Windenergieprojekt Oberegg mit 2 Anlagen T1 und T2 des Typs Enercon E126-EP4 mit 135 m Nabhöhe und 127 m Rotordurchmesser. Die blauen Kreise bezeichnen die Reichweite des Schattenwurfs von je 2'108 m um die Anlagen, Berechnung gemäss deutschem Reglement.

Im kantonalen Richtplan Appenzell Innerrhoden wurde das Gebiet Honegg als Interessengebiet für Windenergie bezeichnet.⁵ Die Festsetzung des Standorts Oberegg als Windpark im kantonalen Richtplan bedingt eine Machbarkeitsstudie (MBS)⁶, in deren Rahmen der Schattenwurf der zwei Anlagen untersucht und die Einhaltung von Grenzwerten nachzuweisen ist. Die Abb. 2 zeigt die Grundkarte für die Schattenwurfstudie für die zwei Anlagen. Die blauen Kreise bezeichnen die Reichweite des sichtbaren Schattenwurfs der zwei Anlagen.

Der Einfluss von Schattenwurf von Windturbinen auf Wohngebäude und andere betroffene Bauten sowie die Festlegung von Grenzwerten für dessen zulässige Dauer, sind in der Schweiz rechtlich nicht durch eine spezielle Verordnung geregelt. Das Pflichtenheft Machbarkeitsstudie für das Windenergieprojekt Oberegg legt fest, dass die Schattenwurfstudie nach deutschem Reglement erfolgt und seine Grenzwerte berücksichtigt. Die Berechnungsmethode und die Grenzwerte des deutschen Reglements wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) unter dem Titel: „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, Stand 13.03.2002“ publiziert. Diese Methode und die Grenzwerte werden als Referenznorm angenommen, um den Einfluss des Schattenwurfs von Windenergieanlagen und die Begrenzung auf eine tolerierbare Dauer zu bestimmen (Anhang II). Das deutsche Reglement enthält nachfolgende Grenzwerte für den Schattenwurf durch Windenergieanlagen (WEA), die einzuhalten sind.

a- Immissionsrichtwerte für die jährliche Beschattungsdauer

Bei der Genehmigung von WEAs ist sicherzustellen, dass der Immissionsrichtwert für die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden pro Kalenderjahr nicht überschritten wird. Bei Überschreitungen ist durch geeignete Massnahmen (z.B. Einsatz eines Schattenwurfdetektors) die Einhaltung der Immissionsschutzanforderungen zu gewährleisten. Bei Einsatz einer Abschaltautomatik, welche keine meteorologischen Parameter berücksichtigt, ist diese auf die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von 30 Stunden pro Kalenderjahr zu begrenzen. Wird eine Abschaltautomatik eingesetzt, die meteorologische Parameter berücksichtigt (z. B. Intensität des Sonnenlichtes), ist die tatsächliche Beschattungsdauer auf jährlich 8 Stunden zu begrenzen.

b- Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer

Der Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer beträgt 30 Minuten. Dieser Wert gilt bei geplanten Anlagen für die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer, bei bestehenden Anlagen für die tatsächliche Schattendauer. Bei Überschreitung dieses Richtwertes an mindestens drei Tagen, ist durch geeignete Massnahmen die Begrenzung der täglichen Beschattungsdauer auf 30 Minuten zu gewährleisten.

3 Anwendung des deutschen Reglements

3.1 Grundsätze

Bei sonnigem Wetter kreuzen die Blätter einer sich drehenden Windturbine die Sonnenstrahlen und projizieren bewegte Schatten. Dieser Effekt der wiederholten Unterbrechung von Licht wird Schattenwurf genannt und bezeichnet nur die Projektion vom bewegten Schatten der sich drehenden Rotorblätter der Windturbinen. Er hängt von der momentanen Position der Sonne im Verhältnis zur Windturbine und dem untersuchten Rezeptor ab und ändert sich im Verlauf des Tages und Jahres (Abb. 3). Das deutsche Reglement benutzt dafür auch die Bezeichnung Beschattung oder Verschattung.

⁵ Kantonaler Richtplan AI, Teil Energie, 24.09.2013

⁶ Pflichtenheft Machbarkeitsstudie Windenergieprojekt Oberegg, AI, 08.08.2016

Die grösste Beeinträchtigung stammt nicht vom Schatten des Turms, selbst wenn dieser eine Höhe von 100 m überschreitet. Es sind die wiederkehrenden, durch Bewegung der Rotorblätter verursachten Schatten, welche als störend empfunden werden können. Insbesondere wenn der Schatten einen Innenraum durch eine einzelne Öffnung, beispielsweise ein Fenster, erreicht, kann dieser widerkehrende Schatten eine schnelle Veränderung der Helligkeit verursachen. Je nach Lichtintensität, Umdrehgeschwindigkeit des Rotors und Expositionsdauer des Schattens kann dieses Phänomen als störend empfunden werden, weshalb der Schattenwurf durch einzuhaltende maximal zulässige Grenzwerte zeitlich eingeschränkt wird.

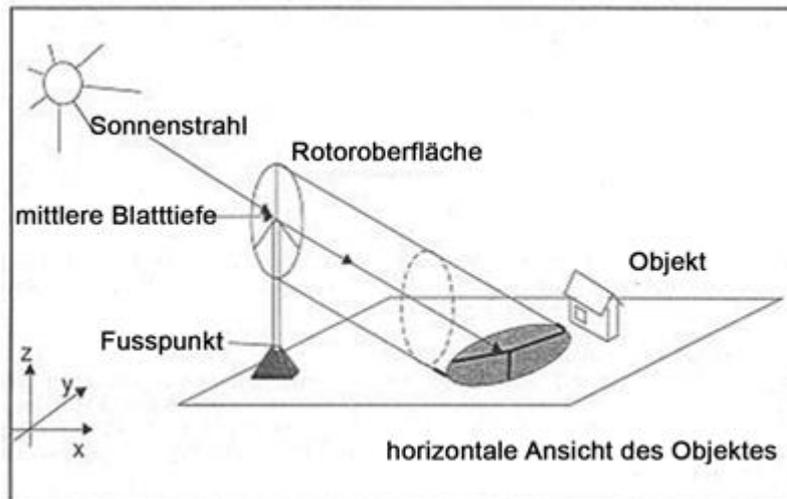


Abb. 3 Geometrische Darstellung der Projektion des Schattens eines Rotors⁷

3.2 Berechnung

Die Geometrie bestimmt, wann der Schatten ein Objekt erreicht. Wenn sich Sonne, Rotor und ein Objekt, nachfolgend Rezeptor genannt, in einer Linie befinden, trifft der Schatten diesen Rezeptor. Wenn die Windturbinenstandorte, die Gesamthöhe der Anlage, der Rotordurchmesser und das Gelände bekannt sind, ist es möglich, die tägliche Dauer des Schattenwurfs für jeden Punkt im Gelände zu simulieren. Durch Aufsummierung dieser Tageswerte ergibt sich die jährliche Dauer des Schattenwurfs. Dieses Resultat der Schattenwurfdauer, das nur auf der Position der Sonne beruht, wird als „astronomisch“ bezeichnet.

Für diese Modellberechnung werden theoretisch ideale Bedingungen angenommen: ein ständig klarer Himmel, eine permanente Bereitschaft der Windturbine, eine ständige Umdrehung des Rotors und eine Windrichtung, welche stets dem Sonnenlauf folgt, wodurch die Rotorblätter immer senkrecht zur Sonne stehen und ihr Schatten damit die maximale Dimension aufweist. Unter diesen Bedingungen wird eine theoretisch maximal mögliche Beschattung ermittelt. Eine Reduktion der Beschattung durch Einbezug der Lichtbrechung in der Atmosphäre wird bei diesem Modell im deutschen Reglement nicht berücksichtigt. Die maximale astronomische Beschattungsdauer ist deshalb ein theoretisches Szenario und dient als Grundlage zur Ermittlung des Schattenwurfs und Begrenzung desselben in einem definierten Gebiet. Bei diesem Modell werden diejenigen Gebiete ausgeschieden, in denen der Schattenwurfgrenzwert von 30 h/Jahr überschritten wird.

Alternativ sind auch Schattenwurfberechnungen mit lokalen Windverhältnissen und der tatsächlichen mittleren Sonnenscheindauer zulässig, sofern diese Daten gesichert vorliegen. Damit werden reellere Prognosen für den Schattenwurf erzeugt.

⁷ Schattenwurfprognose für zwei Windenergieanlagen am Standort Bardowick (Niedersachsen), CUBE Engineering 27.08.2004

Die Simulation des Schattenwurfs beschränkt sich auf die Reichweite des sichtbaren Schattenwurfs, d.h. gerechnet wird für ein Gebiet, in welchem der durch die Windturbinen verursachte Schattenwurf wahrnehmbar ist (gemäss Empfehlung der Publikation von Freund, 1999⁸). Diese Reichweite hängt von der Höhe der Windturbine, der Grösse der Rotorblätter, der Absorption der Sonnenstrahlen durch die Luft (im Sommer höher als im Winter) und von der Neigung der Flächen, auf welche die Schatten fallen, ab. Zwei Kriterien werden angewendet um diesen Perimeter zu definieren: (a) das Kriterium, dass mindestens 20% der Sonnenoberfläche durch das Rotorblatt verdeckt werden und (b) jenes, dass der Helligkeitsunterschied zwischen Schatten und Sonne minimal 2,5% betragen muss, um vom menschlichen Auge wahrgenommen zu werden. Wenn diese Werte für einen bestimmten Punkt nicht erreicht werden, liegt er nicht in der Reichweite (Perimeter). Ausserhalb des Perimeters, ist der Kontrast zwischen Schatten und Licht zu diffus um wahrgenommen zu werden. In der Regel wird eines dieser Kriterien betrachtet, um den Perimeter zu definieren.

3.3 Grenzwerte

Gemäss dem deutschen Reglement sind die Grenzwerte wie folgt definiert: die kumulierte maximale Summe darf bei der Berechnung der maximal astronomisch möglichen Beschattung weder 30 Minuten pro Tag, noch 30 Stunden pro Jahr überschreiten. Die Einhaltung dieser Grenzwerte ist auch bei Betrieb Pflicht, wenn keine Abschaltautomatik (Schattendetektor) eingesetzt wird, welcher die tatsächlichen meteorologischen Bedingungen berücksichtigt. Wenn das Betriebssystem die realen Verhältnisse berücksichtigt, wird der Grenzwert auf 8 Stunden pro Jahr und 30 Minuten pro Tag festgesetzt (Tab. 2).

Planung / Betrieb	Grenzwerte, Berechnungsergebnisse
Worst Case: Schlimmster Fall, Schattenwurf-Szenario gemäss Berechnung des astronomisch maximal möglichen Schattenwurfs (ungünstigste Bedingungen)	Maximale Beschattung < 30 Stunden pro Jahr
Expected: Zu erwartender Schattenwurf gemäss lokalen Klimadaten und unter Berücksichtigung effektiver Betriebszeiten	Maximale Beschattung < 8 Stunden pro Jahr
Für beide Berechnungsmethoden	Maximale Beschattung < 30 Minuten täglich, während insgesamt 3 Tagen WEA in Betrieb: Abschaltung ab dem vierten Tag ⁹

Tab. 2 Grenzwerte gemäss deutschem Reglement

3.4 Massnahmen

Falls die Grenzwerte bei einem Rezeptor nicht überschritten werden, sind keine Massnahmen notwendig. Falls der Tages- oder Jahresgrenzwert nicht eingehalten werden kann (astronomisch max. möglich), müssen die Anlagen mit einem Schattendetektor ausgerüstet werden. Diese Systeme verfügen über Lichtsensoren, Windmessgeräte, und registrieren den Sonnenschein sowie die Rotorbewegung. Sie können so programmiert werden, dass die Grenzwerte unter Einbezug der Realbedingungen eingehalten werden. Die detaillierte Beschreibung eines solchen Systems befindet sich im Anhang IX.

Um störende Lichtreflexe zu vermeiden (Disko-Effekt von drehenden Rotorblättern der alten Anlagen, Baujahr vor 2002.) werden die Oberflächen der Rotorblätter in geeigneten, matten Materialien und Farbtönen ausgeführt. Damit wird sichergestellt, dass die drehenden Rotorblätter keine Blendung verursachen. Die gleichen Anforderungen gelten auch für die Oberflächen von Turm und Gondel.

⁸ Freund, H.D.: Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen. Umweltforschungsdatenbank UFORDAT, Juni 1999.

⁹ Deutsches Reglement, Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, 13.03.2002

4 Datengrundlagen der Modellierung

4.1 Anlagenkoordinaten

Die Koordinaten der zwei geplanten Windenergieanlagen T1 und T2 sind die folgenden:

Koordinaten E-126 EP4 (127 m Rotor Ø, 135 m Nabenhöhe)				Nabenhöhe
WEA	[X] m	[Y] m	[Z] m	[Z] m
T1	2'757'344	1'252'243	1'109	1'244
T2	2'757'070	1'252'554	1'110	1'245

Tab. 3 Windenergieanlagen T1 und T2 mit Koordinaten, CH-1903+/LV95

4.2 Kartengrundlage

Für die Positionierung der WEAs und Schattenrezeptoren sowie für die Berechnungen wurde das digitale Höhenmodell DHM25 von swisstopo verwendet mit den Koordinaten der Karte 1:25'000 in der Version CH-1903+/LV95.

4.3 Reichweite des Schattenwurfs für Enercon E-126 EP4

Um festzustellen, welches Gebiet von Schattenwurf betroffen ist, muss die Reichweite des Schattenwurfs bekannt sein. Diese Reichweite, auch Perimeter genannt, bezeichnet ein Gebiet, in dem die Helligkeitsunterschiede, verursacht durch die Bewegung der Rotorblätter, noch wahrnehmbar sind. Ohne das der Perimeter explizit genannt wird, nimmt das deutsche Reglement Bezug auf die Berechnungsmethode von H.D. Freund (1999). Gemäss dieser Methode werden die Helligkeitsunterschiede wahrgenommen, wenn das Rotorblatt vom Immissionspunkt her gesehen 20% oder mehr der Sonnenscheibe abdeckt (20% Regel, Anhang X). Die Reichweite des Schattenwurfs ist in erster Linie von der mittleren Rotorblatt-Tiefe abhängig, die Nabenhöhe spielt eine vernachlässigbare Rolle (Tab. 4, Formel 3). Für die Enercon E-126 EP4 wurde eine radiale Reichweite des Schattenwurfs von 2'108 m ermittelt. Die Reichweite ist in der Abb. 2 als blaue Kreise, je um die Anlagen T1 und T2 dargestellt.

Anlagen Eigenschaften E-126 EP4				
Rotordurchmesser	D	127.0	m	
Nabenhöhe	h_n	135.0	m	
Gesamthöhe	h_t	198.5	m	
Eigenschaften des Rotors ¹⁰				
Rotorblatt-Länge	l	59,7	m	
Maximale Rotorblatt-Tiefe	t_{max}	4.752	m	
Rotorblatt-Tiefe bei 90% des Radius	t_{90}	1.422	m	
Mittlere Rotorblatt-Tiefe	T	3.087	m	Formel (1) $T = \frac{(t_{max} + t_{90})}{2}$
Effektive Höhe	h_{eff}	166.75	m	Formel (2) $h_{eff} = h_n + \frac{D}{4}$
Entfernung Erde-Sonne	d	150 ⁶	km	
Schattenbreite auf der Sonnenoberfläche	x	219.556	km	
Reichweite des Schattenwurfs	r	2'108	m	Formel (3) $r = \sqrt{\left(\frac{d}{x} \cdot T\right)^2 - h_{eff}^2}$

Tab. 4 Berechnung der Reichweite des Schattenwurfes einer Enercon E-126 EP4. Die Reichweite r beträgt 2'108 m

¹⁰ Enercon, D0380945-1_Blattdaten_EP126-1, 04.01.2016

4.4 Winddaten und Sonnenstunden

Bei der Berechnung der Schattenwurfimmissionen wird zunächst von stets wolkenlosem Himmel ausgegangen. Zudem wird ein für die Bewegung des Rotors ausreichender Wind aus Richtung des Azimutwinkels der Sonne angenommen, wobei die Rotorfläche den grösstmöglichen Schatten wirft. Des Weiteren wird von einer ständigen Verfügbarkeit der WEA ausgegangen. Das heisst, die WEA ist ständig in Betrieb. Die Lichtbrechung in der Atmosphäre, die sogenannte Refraktion, bleibt jedoch unberücksichtigt. Die so ermittelte „astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer“ wird als das Szenario „Worst Case“ bezeichnet.

In der Realität ist der Himmel nicht jeden Tag wolkenlos, noch windet es ununterbrochen. Die E-126 EP4 läuft erst ab einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s auf Nabenhöhe an. Aus den Winddaten der Mastmessungen vom Juli 2015 bis August 2016 können die effektiven Betriebsstunden der WEAs, welche zu einem Schattenwurf führen, berechnet werden und auf ein Langzeitmittel hochgerechnet. Die effektive Sonnenscheindauer der Referenzstation Säntis erlaubt die Festlegung der mittleren Anzahl Stunden pro Monat, in denen Schatten entstehen können. Auch die Windrichtung spielt eine Rolle. Der Schattenwurf ist am stärksten, wenn der Rotor senkrecht zu der imaginären Linie steht, die den Schattenrezeptor und die Sonne verbindet. Die Simulation mit WindPRO auf Grundlage dieser Daten ergibt als Resultat das Szenario "Expected Case" (in der Realität zu erwartende Immissionen).

4.4.1 Betriebsstunden und Windrichtungen

Die Tab. 5 zeigt ein Total der jährlichen Betriebsstunden beider Anlagen von 6'769 Stunden als Mittelwert der Periode 2006 – 2016 und Stillstand von 1'991 Stunden, in denen kein Schattenwurf entsteht, da die Anlagen infolge zu geringer Windgeschwindigkeit sich nicht drehen.

Langzeit Daten 01.02.2006 - 31.07.2016		Windrichtungshäufigkeit und Anzahl Stunden Windgeschwindigkeit auf 135 m Höhe ≥ 3 m/s						
Sektor	Sektor Mittelpunkt [°]	v 135m Total Stunden [Anzahl h]	v 135 m ≥ 3 m/s [Anzahl h]	Sektor	Sektor Mittelpunkt [°]	v 135m Total Stunden [Anzahl h]	v 135 m ≥ 3 m/s [Anzahl h]	
1	0°	95.2	72	19	180°	293.7	223	
2	10°	91.5	69	20	190°	289.6	220	
3	20°	80.1	58	21	200°	295.1	220	
4	30°	86.2	66	22	210°	279.9	198	
5	40°	114.3	84	23	220°	287.9	204	
6	50°	134.1	104	24	230°	487.8	372	
7	60°	161.8	127	25	240°	935.4	783	
8	70°	154.3	117	26	250°	1430.4	1224	
9	80°	239.0	175	27	260°	759.5	598	
10	90°	184.4	139	28	270°	314.1	251	
11	100°	104.6	66	29	280°	210.9	165	
12	110°	80.2	48	30	290°	172.8	138	
13	120°	73.0	43	31	300°	142.3	110	
14	130°	103.4	66	32	310°	113.6	83	
15	140°	120.1	84	33	320°	79.9	60	
16	150°	114.0	77	34	330°	68.7	48	
17	160°	122.3	83	35	340°	68.0	47	
18	170°	225.4	165	36	350°	245.7	180	
		kein Schattenwurf möglich (h) ($v < 3$ m/s Rotor steht still)					1'991	
		Schattenwurf möglich (h) ($v \geq 3$ m/s, Rotor in Bewegung)					6'769	

Tab. 5 Windrichtungshäufigkeit und jährliche Betriebsstunden (Anzahl Stunden $v \geq 3$ m/s auf 135 m Höhe) während der Periode 01.02.2006 - 31.07.2016

4.4.2 Sonnenstunden der Referenzstation Säntis

Die Tab. 6 zeigt die mittleren Tageswerte der Sonnenstunden pro Monat der Referenzstation Säntis, Wetterstation von Meteo-Schweiz, für die Periode vom 01.02.2006 - 31.07.2016.

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Sonnenstunden/Tag [h]	3.2	4.6	5.1	5.8	4.7	4.9	5.6	5.2	5.5	5.7	4.1	3.5

Tab. 6 Monatliche durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Tag auf der Referenzstation Säntis während der Periode 01.02.2006 - 31.07.2016

4.5 Zusammenfassung der Datengrundlagen

Nachfolgende Tab. 7 enthält eine Zusammenfassung der Datengrundlagen für die Modellierung

Datengrundlagen		
Grundlage	Quelle, Beschreibung	Nutzung
Karten	Karte 1:25'000, Swisstopo Digitales Höhenmodell 25 m Raster, Swisstopo	Hintergrundkarte für Pläne, Identifizierung von Rezeptoren Positionierung von Windturbinen, Berechnung der Verschattung (Sichtbarkeit der Sonne)
Computerprogramme	WindPRO Version 3.06, Modul „Shadow“ Windographer MS Excel	Modellierung des Schattenwurfs Regression der astronomisch möglichen Verschattung mit den lokalen Winddaten, diverse Berechnungen
Sonnenscheindauer	Monatliche Sonnenscheindauer 2006 - 2016 Säntis, Meteo Schweiz	Abschätzung des Schattenwurfs bei realen Bedingungen
Winddaten	Langzeitdaten Windmessmast Oberfeld, Oberegg (August 2006 – Juli 2016)	Abschätzung des Schattenwurfs bei realen Bedingungen
Modellierungsparameter		
Parameter	Eigenschaften	Nutzung
Rezeptoren	Koordinaten der untersuchten Gebäude Positionierung im Geländemodell	Modellierung, repräsentiert Fenster oder Aussenfläche
Feste Hindernisse	Keine Hindernisse berücksichtigt	Keine Simulation von Bäumen, Wald oder Gebäuden, welche den Verschattungseffekt abschwächen würden
Windenergieanlagen	Herstellerinformationen Enercon Nabenhöhe = 135 m Rotordurchmesser = 127 m Gesamthöhe = 198.5 m Rotorblattlänge = 59.7 m Mittlere Blatttiefe = 3.087 m	Simulation der Verschattung in WindPRO, mit einer vereinfachten Form des Rotorblattes (Rechteck = mittlere Blatttiefe x Blattlänge)
Untersuchtes Gebiet	2'108 m rund um jede Windturbine, ausgehend vom Turmfuss	Perimeter des sichtbaren Schattenwurfs
Auflösung	räumlich: 10 m zeitlich: 1 min	Genau Auflösung in Raum und Zeit für ein qualitatives Ergebnis

Tab. 7 Datengrundlagen und Modellierungsparameter für die Simulation des Schattenwurfs

5 Schattenwurfberechnungen

Die mittels WindPRO durchgeführten Schattenwurfberechnungen beruhen auf den in Kapitel 4 genannten Datengrundlagen. Eine räumliche Auflösung von 10 m und Zeitintervalle von 1 Minute wurden verwendet. Zusätzlich zu den jährlichen Ergebnissen, werden die Beschattungen für jeden einzelnen Tag berechnet.

Es wurden zwei Szenarien gerechnet:

- *Worst Case* mit den astronomischen Grundlagen Sonnenschein und den theoretisch maximalen Windverhältnisse sowie
- *Expected Case* mit einer realistischen Einschätzung durch den Einbezug von lokalen meteorologischen Gegebenheiten für Sonnenscheindauer und Windverhältnisse

Die Reduktion des Schattenwurfs durch feste Hindernisse wie Gebäude, andere Bauwerke etc. wurde nicht berücksichtigt. Als Rechenbasis für die Modellierung dient die Topographie gemäss dem Höhenmodell ohne Einbezug von Bäumen und Wald. Einzelbäume in Nähe von Gebäuden, welche komplett oder teilweise die Sicht auf Windturbinen verdecken und dadurch die Verschattung des Rezeptors vermindern, sind ebenfalls nicht eingerechnet. Mittels Fotomontagen sind entsprechende Simulationen möglich. Nach Inbetriebnahme der Anlagen wird dieser Verschattungseffekt wirksam.

5.1 WindPRO Programmeinstellungen

Für die Berechnung der Schattenwurfimmissionen wurden nachfolgende Einstellungen in WindPRO vorgenommen:

Parameter	Wert / Einstellung
Reichweite des Schattenwurfs (20% Regel, Tab. 2)	2'108 m
Ab Sonnenstand über dem Horizont	3°
Tagesschritt	1 Tag
Berechnungsschritt	1 Min
Anlagenkoordinaten	gem. Tab. 3
Schattenrezeptoren	gem. Tab. 9
Höhenkurven, Karten	swisstopo
Für Berechnung der "Expected" Werte	
Betriebsstunden	gem. Tab. 5
Sonnenstunden	gem. Tab. 6

Tab. 8 Grundeinstellungen der Software WindPRO für die Schattenwurfberechnungen

5.2 Numerische Simulation mit WindPRO

Bei der numerischen Simulation mit WindPRO wurde wie folgt vorgegangen:

- Modellierung und Platzieren von Windturbinen auf digitalen Höhenmodell (DHM25), 1:25'000
- Astronomische möglicher Schattenwurf (*Worst Case*)
Berechnung mit 100% Sonnenschein, Anlagen 100% der Zeit mit drehenden Rotorblätter im Betrieb (optimale Windverhältnisse). Windrichtung folgt den Sonnenstand damit Sonnenstrahlen und Rotorflächen permanent senkrecht zu einander stehen, für maximalen möglichen Einfluss des Schattens auf die untersuchten Rezeptoren.
- Effektiv zu erwartender Schattenwurf (*Expected Case*)
- Berücksichtigt werden effektive Sonnenstunden der Referenzstation Säntis und gemessene Windverhältnisse am Standort extrapoliert auf Langzeitdaten.

Das Programm verwendet Algorithmen, welche die Stellung der Sonne relativ zum Wind definieren und wertet unter Berücksichtigung der Topographie die Verschattung der untersuchten Rezeptoren aus. Diese wird für Intervalle von 1 Minute berechnet. Die Jahreswerte werden aus der Aufsummierung der einzelnen Intervalle ermittelt.

6 Schattenwurf für 36 Beispielgebäude

6.1 Definition der Schattenrezeptoren

Innenräume und Aussenräume werden als Schattenrezeptoren bzw. Rezeptoren bezeichnet, wenn sie dem Aufenthalt von Personen dienen. Als Innenräume gelten z.B. Wohnräume, Esszimmer, Schlafzimmer, Küchen, Unterrichts- und Aufenthaltsräume, Büroräume, alle Räume mit Arbeitsplätzen. Diese Innenräume werden als schutzwürdige Räume betrachtet. Ebenso alle direkt an Gebäude angrenzenden Aussenflächen für den Aufenthalt, wie Terrassen und Balkone. Für alle Rezeptoren sind die Grenzwerte für die Dauer des Schattenwurfs einzuhalten. .

6.2 Untersuchte Schattenrezeptoren

Um die Auswirkungen des Schattenwurfs abzuschätzen wurden die Schattenwurfimmissionen für 36 ausgewählte Gebäude in der Umgebung der Anlagen exemplarisch detailliert untersucht. Einfachheitshalber wurde jedes dieser Gebäude als ein Schattenrezeptor definiert, der allseitig verglast ist und deshalb immer ein Fenster in Richtung der Windenergieanlagen aufweist. Die Mitte der Fenster wurde auf 1.5 m Höhe festgelegt. Die Verschattung durch beide Windenergieanlagen wird bei dieser Simulation berücksichtigt. Die gewählten Gebäude sind von R 1- R 36 nummeriert und in Tabellen und Karten mit dieser Bezeichnung aufgeführt. Die Rezeptoren sind in den Karten mit gelben Kreise mit entsprechenden Nummern gekennzeichnet. Ihre Koordinaten und die Nutzung, sowie die Distanz zu den Anlagen sind in der Tab. 9 dargestellt.¹¹ Die Abb. 2 zeigt auf der Karte die untersuchten 36 Gebäude.

6.3 Berechnungen

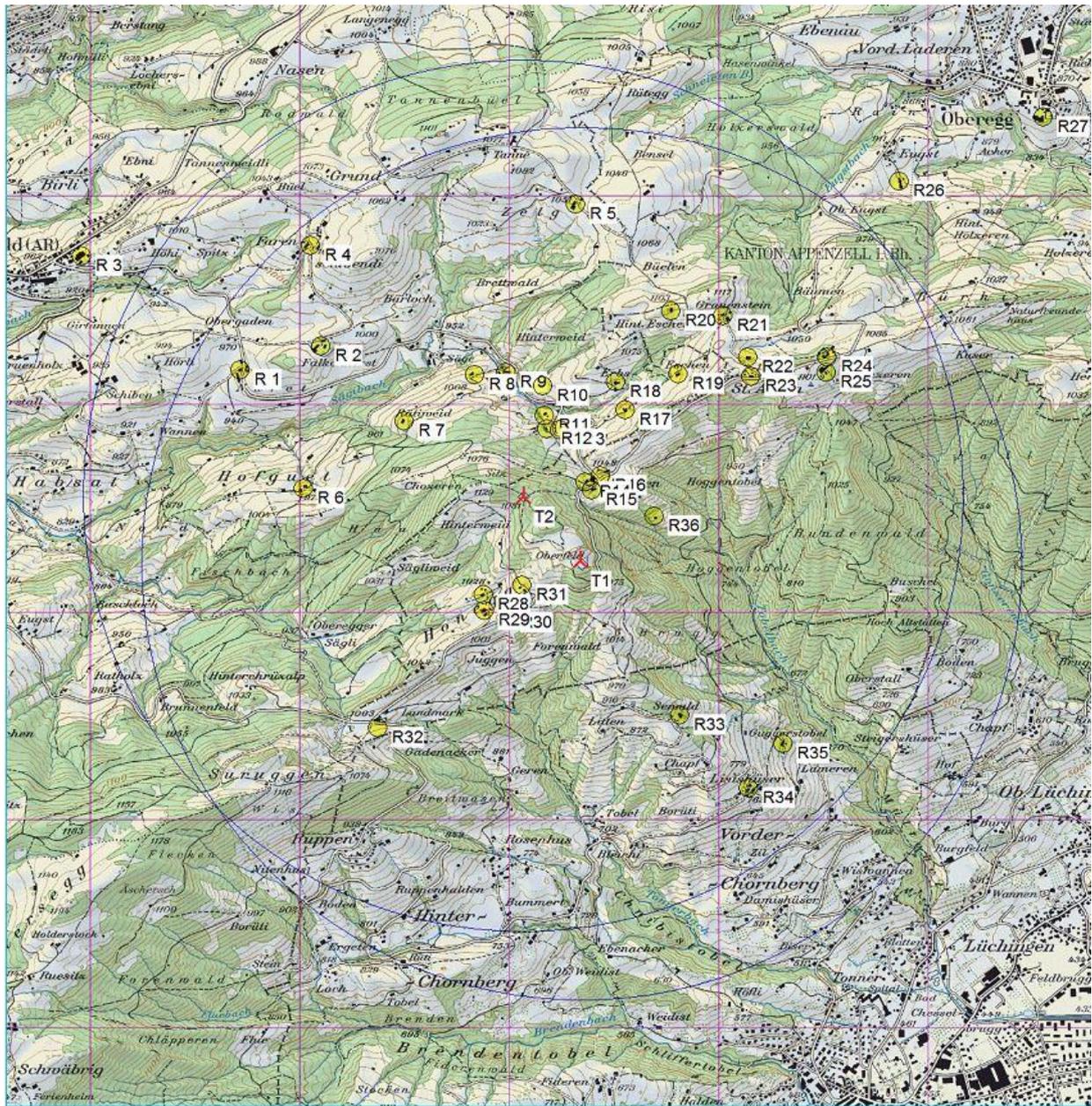
Für jeden Schattenrezeptor wurden für die Szenarien Worst Case und Expected Case die von Schattenwurf betroffene Anzahl Tage und Stunden pro Jahr sowie Minuten pro Tag berechnet.

¹¹ Amtliche Vermessung Gde (AI, Bezirk Oberegg) <https://www.geoportal.ch>

ID	Grundstück Nr.	Koordinaten (LV95)		m.ü.M	Beschrieb gemäss Amtliche Vermessung Gde https://www.geoportal.ch	Distanz zur nächsten WEA [m]	
		x	y			z	Name
R 1	578 W	2'755'718	1'253'164	965.2	Nüret (Wohnhaus, Käserei, Stall)	1'883	1'490
R 2	415 W	2'756'103	1'253'277	996.5	Falkenhorst (Wohnhaus, Scheune)	1'629	1'213
R 3	80 W	2'754'959	1'253'711	968.7	Wald MZA (Kindergarten, Schulhaus)	2'813	2'411
R 4	376 W	2'756'053	1'253'760	1029.8	Faren (Wohnhaus, Remise)	2'004	1'580
R 5	409 W	2'757'321	1'253'957	1048.6	Zelg (Wohnhaus, Stall)	1'724	1'427
R 6	699 W	2'756'020	1'252'592	975.9	Hofgut (Wohnhaus)	1'383	1'059
R 7	443 W	2'756'500	1'252'918	1006.8	Rütiweid (Wohnhaus)	1'095	684
R 8	436 W	2'756'838	1'253'139	978.4	Büchler (Stall)	1'047	643
R 9	753 W	2'756'987	1'253'153	966.1	Rest. am Seeli (Wohn- und Gasthaus)	998	622
R10	563 W	2'757'164	1'253'086	1001.9	Loch 1 (Wohnhaus)	878	551
R11	759 W	2'757'169	1'252'945	992.8	Loch 2 (Wohnhaus, Scheune)	742	420
R12	446 W	2'757'183	1'252'880	1001.9	Loch 3 (Remise)	675	362
R13	707 W	2'757'241	1'252'875	1006.5	Loch 4 (Wohnhaus)	658	378
R14	560 O	2'757'366	1'252'622	1049.9	Haggen W (Wohnhaus, Stall)	392	310
R15	1336 O	2'757'394	1'252'587	1049.9	Haggen S (Wohnhaus)	360	331
R16	564 O	2'757'438	1'252'655	1049.5	Rest. Wilder Mann (Wohn-, Gewerbegebäude)	434	386
R17	706 W	2'757'555	1'252'970	1048.6	Erbschrot (Wohnhaus)	766	642
R18	485 W	2'757'512	1'253'104	1027.7	Erbschrot (Wohnhaus, Stall)	888	710
R19	756 W	2'757'807	1'253'145	1068.5	Eschen (Wohnhaus)	1'019	946
R20	1442 O	2'757'773	1'253'447	1100.6	Schutz (Wohnhaus)	1'284	1'137
R21	421 O	2'758'023	1'253'421	1087	Grauenstein (Wohnhaus, Stall)	1'364	1'289
R22	439 O	2'758'140	1'253'223	1086.8	St. Anton (Egg) (Wohnhaus)	1'266	1'262
R23	440 O	2'758'156	1'253'131	1105.5	St. Anton (Wohnhaus)	1'206	1'230
R24	446 O	2'758'520	1'253'224	1093.8	Café S. Anton (Wohn-, Gewerbegebäude)	1'532	1'597
R25	496 O	2'758'514	1'253'150	1092.4	St. Anton (Wohnhaus, Stall)	1'481	1'562
R26	292 O	2'758'865	1'254'069	902.4	Moos-Eugst (Wohnhaus, Stall)	2'388	2'358
R27	65 O	2'759'552	1'254'378	870.4	Schulhaus Oberegg	3'082	3'089
R28	543 O	2'756'880	1'252'082	1028.3	Honegg NW (Wohnhaus)	501	515
R29	509 O	2'756'883	1'252'003	1027.4	Honegg SW (Wohnhaus, Stall)	527	588
R30	545 O	2'756'990	1'251'991	1043.7	Honegg S (Wohnhaus)	439	573
R31	546 O	2'757'062	1'252'127	1058.2	Honegg O (Wohnhaus)	311	430
R32	591 O	2'756'374	1'251'438	1007.8	Landmark (Wohn-, Gewerbegebäude)	1'264	1'319
R33	4711 A	2'757'818	1'251'498	879	Seewald (Wohnhaus)	903	1'315
R34	1635 A	2'758'146	1'251'148	763.5	Listhüser (Wohnhaus)	1'391	1'804
R35	1647 A	2'758'309	1'251'361	716.4	Guggerstobel (Wohnhaus)	1'356	1'764
R36	799 O	2'757'694	1'252'458	935.9	Haggentobel (Wohnhaus, Stall)	445	655

Grundstück Nr. A= Altstätten, SG; O= Oberegg, AI; W= Wald, AR

Tab. 9 Eigenschaften der 36 untersuchten Beispielgebäude⁷ (Rezeptoren R1 – R36)



Map: Oberfeld 1_25000_Grid, Print scale 1:30'000, Map center Swiss (LV95)-CH1903+ (CH/LI 1993) East: 2'757'256 North: 1'252'763
▲ New WTG ● Shadow receptor

Abb. 4 Grundkarte der Schattenwurfstudie. Blaue Kreise: Reichweite des Schattenwurfs von 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkte: untersuchte Gebäude Rezeptoren R1 – R36, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).

7 Resultate der Modellierung

7.1 Schattenwurfkarten und Resultate „Worst Case“

In nachfolgender Karte sind die Resultate der Schattenwurfstudie für das Szenario „Worst Case“ grafisch dargestellt (Abb. 5). Diese mit WindPRO berechnete Schattenwurfkarte zeigt das betroffene Gebiet in Gelb, in welchem der Schattenwurf der Anlagen T1 und T2 die Grenzwerte von 30 Stunden pro Jahr überschreitet.

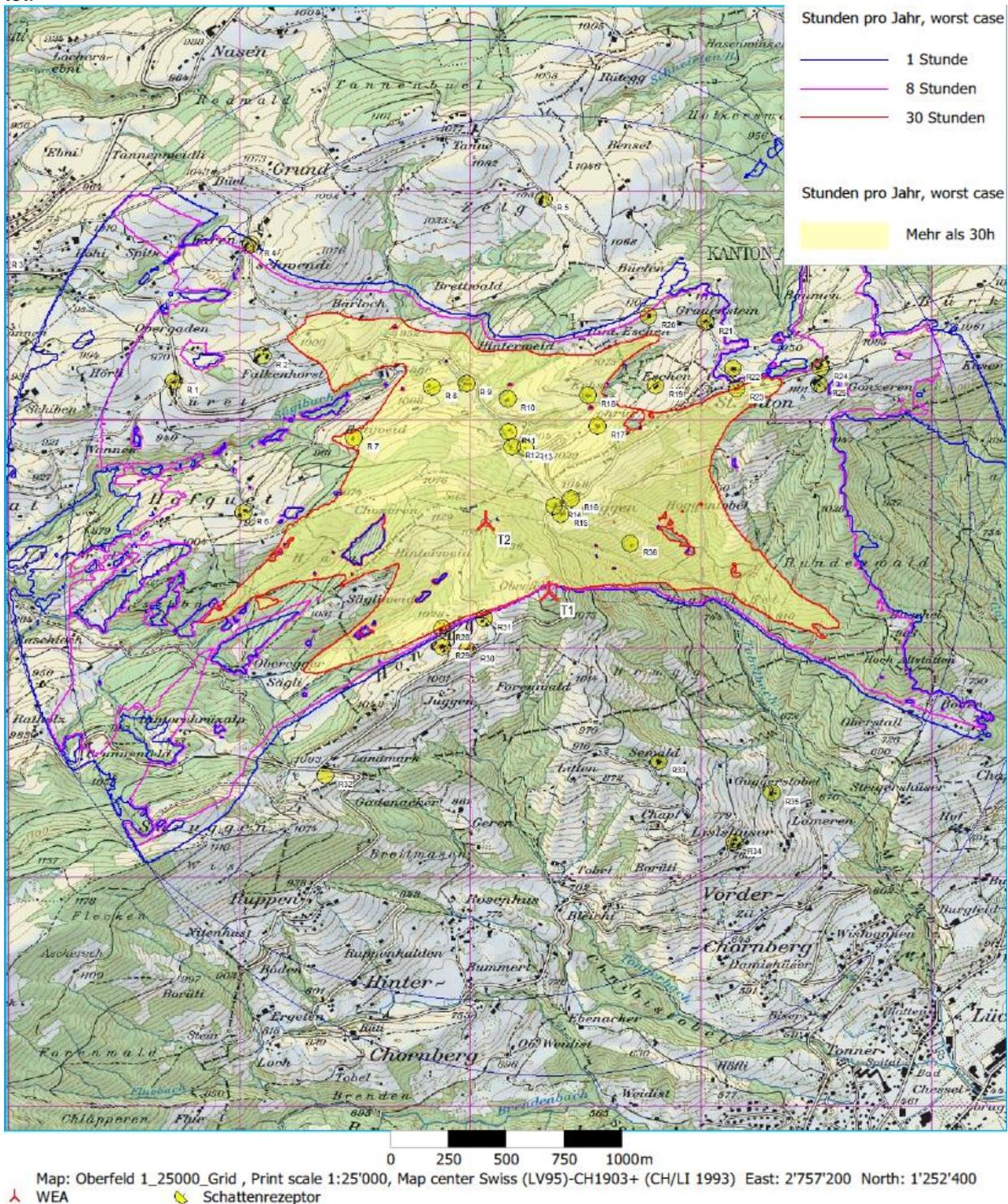


Abb. 5 Schattenwurfkarte Worst Case. Blaue Kreise: Reichweite des Schattenwurfes vom 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkte: untersuchte Gebäude, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).

Gebiete mit jährlich über 1 Stunde Schattenwurf sind mit Blau, diejenigen mit über 8 Stunden Schattenwurf mit Pink abgegrenzt. Die rote Linie begrenzt die Gebiete mit einer jährlichen Verschattungsdauer von 30 Stunden und mehr, das heisst diejenigen Gebiete, in denen die Grenzwerte überschritten werden. Darin befinden sich 13 der untersuchten 36 Gebäude. Die blauen Kreise zeigen die Reichweite des Schattenwurfs, der beim vorliegenden Projekt einem Umkreis von 2'108 m um jede Windenergieanlage entspricht. Diese Reichweite bezeichnet diejenige Zone, in denen der Schattenwurf noch wahrgenommen wird. Die gelben Punkte mit den Nummern R1 – R36 stellen die untersuchten Gebäude dar, die auch als Rezeptor bzw. Schattenrezeptor bezeichnet werden. Bei 14 der untersuchten Rezeptoren (gelbe Punkte in der Karte Abbildung 5, gelbe Markierung in Tabelle 10) wird der Schattenwurf-Grenzwert von 30 Stunden im Jahr überschritten.

ID	Grundstück Nr. A= Altstätten, SG O= Oberegg, AI W= Wald, AR	Worst Case Schatten ¹ max. astronomisch möglich [h/j] ²	"Worst Case" Max. Schatten- stunden / Tag (astronomisch) möglich [h]	Distanz zur nächsten Windturbine [m]		Koordinaten (LV95) ³		m.ü.M	Beschrieb gem. Amtliche Vermessung Gde https://www.geoportal.ch	
				T1	T2	x	y		z	Name
R 1	578 W	11:39:00	00:20	1'883	1'490	2'755'718	1'253'164	965.2	Nüret (Wohnhaus, Käserei, Stall)	
R 2	415 W	21:13:00	00:25	1'629	1'213	2'756'103	1'253'277	996.5	Falkenhorst (Wohnhaus, Scheune)	
R 3	80 W	0:00:00	00:00	2'813	2'411	2'754'959	1'253'711	968.7	MZA Wald (Kindergarten, Schulhaus)	
R 4	376 W	4:15:00	00:13	2'004	1'580	2'756'053	1'253'760	1029.8	Faren (Wohnhaus, Remise)	
R 5	409 W	0:00:00	00:00	1'724	1'427	2'757'321	1'253'957	1048.6	Zelg (Wohnhaus, Stall)	
R 6	699 W	20:13:00	00:27	1'383	1'059	2'756'020	1'252'592	975.9	Hofgut (Wohnhaus)	
R 7	443 W	43:25:00	00:41	1'095	684	2'756'500	1'252'918	1006.8	Rütiweid (Wohnhaus)	
R 8	436 W	71:40:00	00:52	1'047	643	2'756'838	1'253'139	978.4	Büchler (Stall)	
R 9	753 W	70:47:00	00:49	998	622	2'756'987	1'253'153	966.1	Rest. am Seeli (Wohn- und Gasthaus)	
R10	563 W	78:21:00	00:52	878	551	2'757'164	1'253'086	1001.9	Loch 1 (Wohnhaus)	
R11	759 W	105:39:00	01:03	742	420	2'757'169	1'252'945	992.8	Loch 2 (Wohnhaus, Scheune)	
R12	446 W	126:36:00	01:10	675	362	2'757'183	1'252'880	1001.9	Loch 3 (Remise)	
R13	707 W	123:24:00	01:07	658	378	2'757'241	1'252'875	1006.5	Loch 4 (Wohnhaus)	
R14	560 O	282:13:00	01:19	392	310	2'757'366	1'252'622	1049.9	Haggen W (Wohnhaus, Stall)	
R15	1336 O	259:47:00	01:17	360	331	2'757'394	1'252'587	1049.9	Haggen S (Wohnhaus)	
R16	564 O	195:33:00	01:07	434	386	2'757'438	1'252'655	1049.5	Rest. Wilder Mann (Wohn-, Gewerbegebäude)	
R17	706 W	50:39:00	00:45	766	642	2'757'555	1'252'970	1048.6	Erbschrot (Wohnhaus)	
R18	485 W	36:20:00	00:41	888	710	2'757'512	1'253'104	1027.7	Erbschrot (Wohnhaus, Stall)	
R19	756 W	20:49:00	00:32	1'019	946	2'757'807	1'253'145	1068.5	Eschen (Wohnhaus)	
R20	1442 O	12:38:00	00:24	1'284	1'137	2'757'773	1'253'447	1100.6	Schutz (Wohnhaus)	
R21	421 O	19:51:00	00:24	1'364	1'289	2'758'023	1'253'421	1087	Grauenstein (Wohnhaus, Stall)	
R22	439 O	0:00:00	00:00	1'266	1'262	2'758'140	1'253'223	1086.8	St. Anton Egg (Wohnhaus)	
R23	440 O	30:27:00	00:27	1'206	1'230	2'758'156	1'253'131	1105.5	St. Anton (Wohnhaus)	
R24	446 O	19:24:00	00:21	1'532	1'597	2'758'520	1'253'224	1093.8	Café S. Anton (Wohn-, Gewerbegebäude)	
R25	496 O	17:50:00	00:21	1'481	1'562	2'758'514	1'253'150	1092.4	St. Anton (Wohnhaus, Stall)	
R26	292 O	0:00:00	00:00	2'388	2'358	2'758'865	1'254'069	902.4	Moos-Eugst (Wohnhaus, Stall)	
R27	65 O	0:00:00	00:00	3'082	3'089	2'759'552	1'254'378	870.4	Schulhaus Oberegg	
R28	543 O	23:23:00	00:40	501	515	2'756'880	1'252'082	1028.3	Honegg NW (Wohnhaus)	
R29	509 O	0:00:00	00:00	527	588	2'756'883	1'252'003	1027.4	Honegg SW (Wohnhaus, Stall)	
R30	545 O	0:00:00	00:00	439	573	2'756'990	1'251'991	1043.7	Honegg S (Wohnhaus)	
R31	546 O	0:00:00	00:00	311	430	2'757'062	1'252'127	1058.2	Honegg O (Wohnhaus)	
R32	591 O	0:00:00	00:00	1'264	1'319	2'756'374	1'251'438	1007.8	Landmark (Wohn-, Gewerbegebäude)	
R33	4711 A	0:00:00	00:00	903	1'315	2'757'818	1'251'498	879	Seewald (Wohnhaus)	
R34	1635 A	0:00:00	00:00	1'391	1'804	2'758'146	1'251'148	763.5	Listhüser (Wohnhaus)	
R35	1647 A	0:00:00	00:00	1'356	1'764	2'758'309	1'251'361	716.4	Guggerstobel (Wohnhaus)	
R36	799 O	11:32	00:54	445	655	2'757'694	1'252'458	935.9	Haggentobel (Stall)	

¹ Für die beeinflussten Gebäude (>30 h/j astronomisch möglich, gemäss "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen" 2002, deutsches Reglement)

² Sonnenscheindauer und Betrieb der Windkraftanlagen 100%

³ DHM25 ©swisstopo

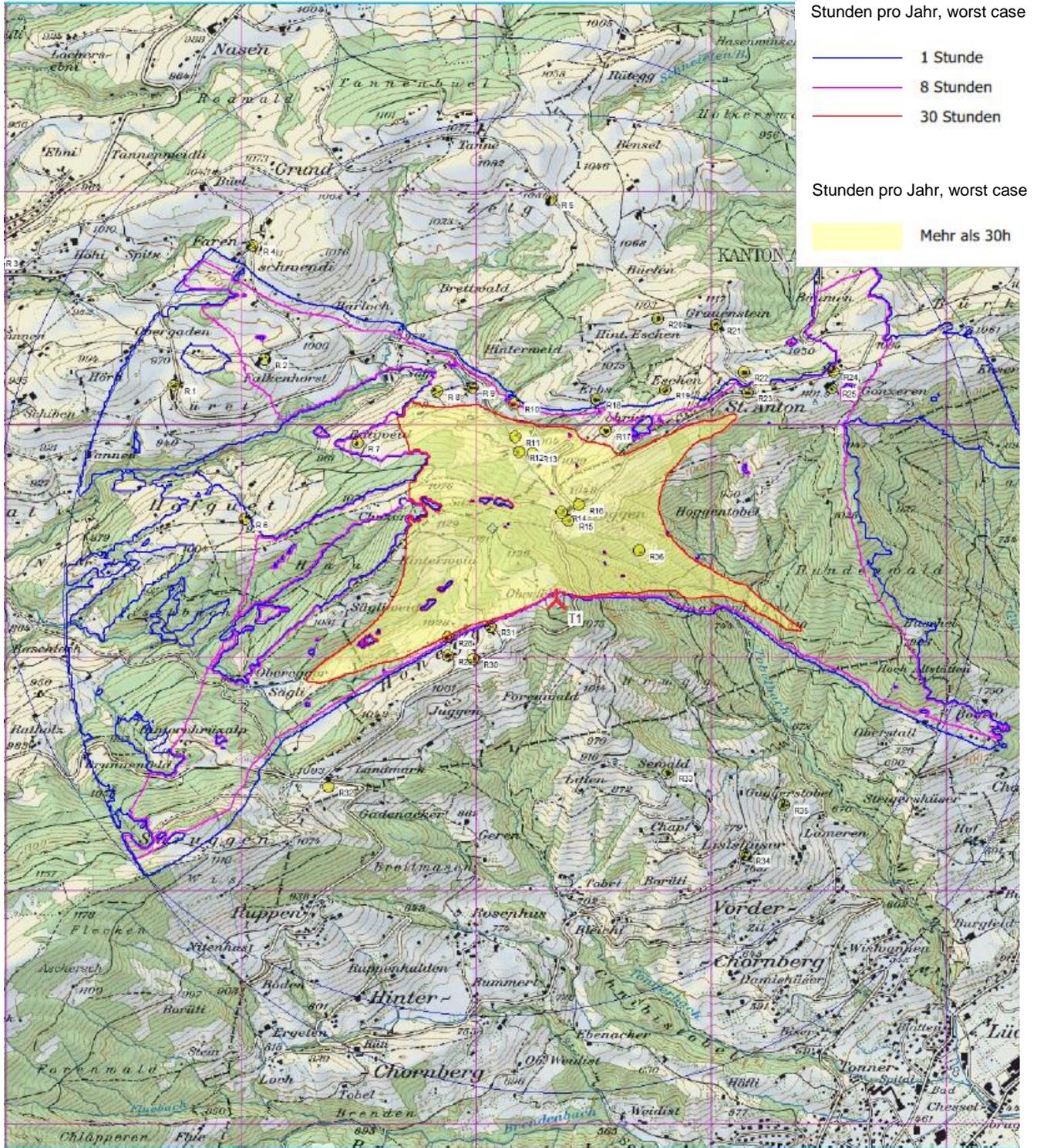
Tab. 10 Schattenwurf: Resultate Worst Case für die 36 untersuchten Gebäude. Gelbe Markierung = Grenzwert 30h / Jahr für 14 Gebäude überschritten

Für alle schutzwürdigen Gebäude bzw. Rezeptoren im betroffenen Gebiet gemäss Schattenwurfkarte wird der effektive Schattenwurf auf die zulässigen Grenzwerte beschränkt werden.

- Jahreswert max. 8 h
- Tageswert max. 30 Minuten

Damit ist der Nachweis erbracht, dass zur Einhaltung der Grenzwerte die Installation einer Abschaltautomatik in den Windenergieanlagen notwendig ist, um die Dauer des Schattenwurfs auf alle betroffenen Gebäuden bzw. Rezeptoren auf das zulässige Mass zu beschränken. Die ausführlichen Resultate der Schattenwurfsimulation sind im Anhang V bis Anhang VIII zu finden.

Nachfolgende Abb. 6 und Abb. 7 zeigen die Schattenwurfkarten, je für die einzelnen Anlagen T1 und T2 zwecks Detailierung der Resultate.



Map: Oberfeld 1_25000_Grid , Print scale 1:25'000, Map center Swiss (LV95)-CH1903+ (CH/LI 1993) East: 2'757'200 North: 1'252'400
 ▲ New WTG ● Shadow receptor

Abb. 6 Schattenwurfkarte T1, Worst Case. Blaue Kreise: Ausdehnung des Schattenwurfes 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkt: untersuchte Gebäude, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).

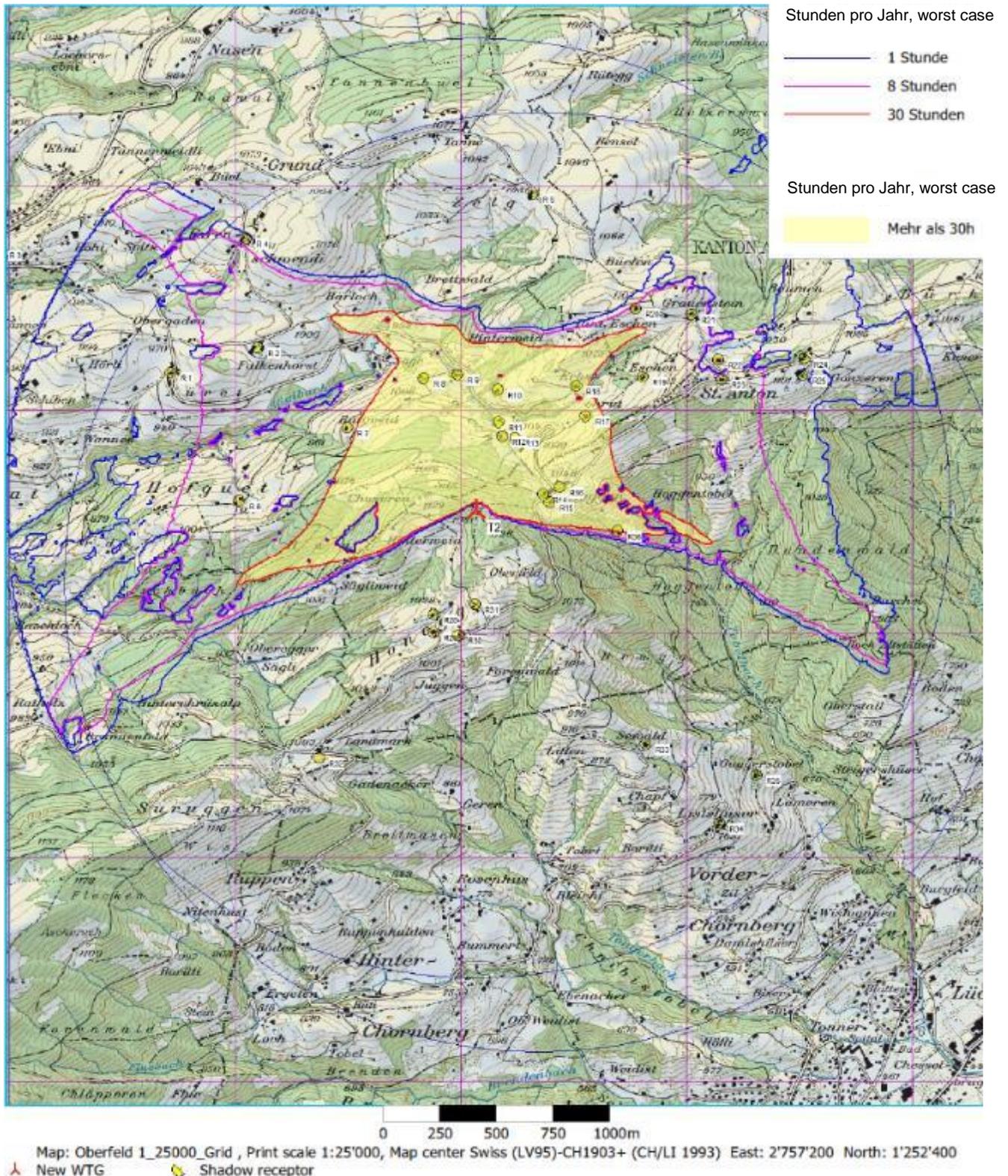


Abb. 7 Schattenwurfkarte T2, Worst Case. Blaue Kreise: Ausdehnung des Schattenwurfes 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkte: untersuchte Gebäude, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).

7.2 Vergleich der Prognosen für 36 untersuchte Gebäude, „Worst Case“ und „Expected Case“

Tab. 11 vergleicht die Resultate der zwei Szenarien Worst Case und Expected Case für die 36 untersuchten Gebäude (für die graphische Darstellung s. Anhang V, Seite 40). Für alle schutzwürdigen Gebäude bzw. Rezeptoren im betroffenen Gebiet gemäss Schattenwurfkarte wird der effektive Schattenwurf auf die zulässigen Grenzwerte von maximal 8 Stunden pro Jahr und Maximal 30 Minuten pro Tag beschränkt, sodass sich Abschaltzeiten ergeben. .

ID	Grundstück Nr. A= Altstätten, SG; O= Oberegg, AI; V= Völd, AR	"Worst Case" Schatten ¹ max. astronomisch möglich [h] ²	"Worst Case" Max. Schattenstunden / Tag (astronomisch möglich) [h]	Distanz zur nächsten WEA [m]		"Expected" ³ Pot. Einfluss nach Sonnenschein ⁴ und gemessener Windgeschwindigkeit ⁵ [h]	effektiver Einfluss, limitiert durch die Regelung [h]		Koordinaten (LV95) ⁶		m.ü.M	Beschrieb gem. Amtliche Vermessung Gde https://www.geoportal.ch
				T1	T2		max. täglich	max. jährlich	x	y		
R 1	578 W	11:39	00:20	1'883	1'490	2:29	0.5	8	2'755'718	1'253'164	965.2	Nüret (Wohnhaus, Käserei, Stall)
R 2	415 W	21:13	00:25	1'629	1'213	3:37	0.5	8	2'756'103	1'253'277	996.5	Falkenhorst (Wohnhaus, Scheune)
R 3	80 W	0:00	00:00	2'813	2'411	0:00	0.5	8	2'754'959	1'253'711	968.7	Wald MZA (Kindergarten, Schulhaus)
R 4	376 W	4:15	00:13	2'004	1'580	0:36	0.5	8	2'756'053	1'253'760	1029.8	Faren (Wohnhaus, Remise)
R 5	409 W	0:00	00:00	1'724	1'427	0:00	0.5	8	2'757'321	1'253'957	1048.6	Zelg (Wohnhaus, Stall)
R 6	699 W	20:13	00:27	1'383	1'059	4:34	0.5	8	2'756'020	1'252'592	975.9	Hofgut (Wohnhaus)
R 7	443 W	43:25	00:41	1'095	684	8:19	0.5	8	2'756'500	1'252'918	1006.8	Rütiweid (Wohnhaus)
R 8	436 W	71:40	00:52	1'047	643	9:55	0.5	8	2'756'838	1'253'139	978.4	Büchler (Stall)
R 9	753 W	70:47	00:49	998	622	11:09	0.5	8	2'756'987	1'253'153	966.1	Rest. am Seeli (Wohn- und Gasthaus)
R10	563 W	78:21	00:52	878	551	15:46	0.5	8	2'757'164	1'253'086	1001.9	Loch 1 (Wohnhaus)
R11	759 W	105:39	01:03	742	420	21:20	0.5	8	2'757'169	1'252'945	992.8	Loch 2 (Wohnhaus, Scheune)
R12	446 W	126:36	01:10	675	362	25:45	0.5	8	2'757'183	1'252'880	1001.9	Loch 3 (Remise)
R13	707 W	123:24	01:07	658	378	26:33	0.5	8	2'757'241	1'252'875	1006.5	Loch 4 (Wohnhaus)
R14	560 O	282:13	01:19	392	310	57:35	0.5	8	2'757'366	1'252'622	1049.9	Haggen W (Wohnhaus, Stall)
R15	1336 O	259:47	01:17	360	331	53:20	0.5	8	2'757'394	1'252'587	1049.9	Haggen S (Wohnhaus)
R16	564 O	195:33	01:07	434	386	43:23	0.5	8	2'757'438	1'252'655	1049.5	Rest. Wilder Mann (Wohn-, Gewerbegebäude)
R17	706 W	50:39	00:45	766	642	13:32	0.5	8	2'757'555	1'252'970	1048.6	Erbschrot (Wohnhaus)
R18	485 W	36:20	00:41	888	710	9:28	0.5	8	2'757'512	1'253'104	1027.7	Erbschrot (Wohnhaus, Stall)
R19	756 W	20:49	00:32	1'019	946	5:40	0.5	8	2'757'807	1'253'145	1068.5	Eschen (Wohnhaus)
R20	1442 O	12:38	00:24	1'284	1'137	3:01	0.5	8	2'757'773	1'253'447	1100.6	Schutz (Wohnhaus)
R21	421 O	19:51	00:24	1'364	1'289	4:47	0.5	8	2'758'023	1'253'421	1087	Grauenstein (Wohnhaus, Stall)
R22	439 O	0:00	00:00	1'266	1'262	0:00	0.5	8	2'758'140	1'253'223	1086.8	St. Anton (Egg) (Wohnhaus)
R23	440 O	30:27	00:27	1'206	1'230	7:53	0.5	8	2'758'156	1'253'131	1105.5	St. Anton (Wohnhaus)
R24	446 O	19:24	00:21	1'532	1'597	5:02	0.5	8	2'758'520	1'253'224	1093.8	Café S. Anton (Wohn-, Gewerbegebäude)
R25	496 O	17:50	00:21	1'481	1'562	4:42	0.5	8	2'758'514	1'253'150	1092.4	St. Anton (Wohnhaus, Stall)
R26	292 O	0:00	00:00	2'388	2'358	0:00	0.5	8	2'758'865	1'254'069	902.4	Moos-Eugst (Wohnhaus, Stall)
R27	65 O	0:00	00:00	3'082	3'089	0:00	0.5	8	2'759'552	1'254'378	870.4	Schulhaus Oberegg
R28	543 O	23:23	00:40	501	515	4:29	0.5	8	2'756'880	1'252'082	1028.3	Honegg NW (Wohnhaus)
R29	509 O	0:00	00:00	527	588	0:00	0.5	8	2'756'883	1'252'003	1027.4	Honegg SW (Wohnhaus, Stall)
R30	545 O	0:00	00:00	439	573	0:00	0.5	8	2'756'990	1'251'991	1043.7	Honegg S (Wohnhaus)
R31	546 O	0:00	00:00	311	430	0:00	0.5	8	2'757'062	1'252'127	1058.2	Honegg O (Wohnhaus)
R32	591 O	0:00	00:00	1'264	1'319	0:00	0.5	8	2'756'374	1'251'438	1007.8	Landmark (Wohn-, Gewerbegebäude)
R33	4711 A	0:00	00:00	903	1'315	0:00	0.5	8	2'757'818	1'251'498	879	Seewald (Wohnhaus)
R34	1635 A	0:00	00:00	1'391	1'804	0:00	0.5	8	2'758'146	1'251'148	763.5	Listhüser (Wohnhaus)
R35	1647 A	0:00	00:00	1'356	1'764	0:00	0.5	8	2'758'309	1'251'361	716.4	Guggerstobel (Wohnhaus)
R36	799 O	83:32	00:54	445	655	18:09	0.5	8	2'757'694	1'252'458	935.9	Haggentobel (Stall)

- 1 Für die der beeinflussten Gebäude (>30 h) astronomisch möglich, gemäss "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen" 2002, deutsches Reglement)
- 2 Sonnenscheindauer und Betrieb der Windkraftanlagen 100%
- 3 Messwerte der Station Säntis, 2006 - 2016
- 4 Langzeitdaten Oberfeld, aufgrund Messwerte des Windmessmastes Aug 2015 – Juli 2016 und Korrelationen Säntis, ab einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s
- 5 DHM25 @swisstopo

Tab. 11 Resultate der Schattenwurfstudie für 36 untersuchte Gebäude für Worst Case und Expected Case, Gelbe Markierung = Worst Case Grenzwert 30h / Jahr für 14 Gebäude überschritten, Expected Case Grenzwert 8h / Jahr für 13 Gebäude überschritten

8 Schätzung der Ertragsminderungen

8.1 Prognose der Abschaltdauer der Anlagen

Um die Dauer der Abschaltungen zu berechnen, wurden die zulässigen Grenzwerte von der Totalsumme der Verschattung bei jedem Rezeptor abgezogen. Alle Rezeptoren wurden in die Verlustrechnung einbezogen. Für alle 36 Rezeptoren wurden die Anzahl Stunden ermittelt, in denen die Anlagen aufgrund «Expected» Szenario angehalten werden müssen um die Grenzwerte einzuhalten. Für nicht schutzwürdige Räume müssen die Grenzwerte nicht eingehalten werden, was in diesem Modell nicht berücksichtigt wird (Tab. 12).

ID	Grundstück Nr. A= Altstätten, SG O= Oberegg, AI W=Wald, AR	Beschrieb gem. Amtliche Vermessung Gde https://www.geoportal.ch	T1 Expected		Anhalten, wenn Stunden /Jahr > 8 Minuten pro Tag > 30 nur für bewohnte	T2 Expected		Anhalten, wenn Stunden /Jahr > 8 Minuten pro Tag > 30 nur für bewohnte	Anhalten T1 + T2
			Name	h / Jahr		Min. / Tag	Stunden Total		
R 1	578 W	Nüret (Wohnhaus, Käserei, Stall)	1.00	0.27	-	1.48	0.33	-	-
R 2	415 W	Falkenhorst (Wohnhaus, Scheune)	1.53	0.32	-	2.23	0.42	-	-
R 3	80 W	Wald MZA (Kindergarten, Schulhaus)	-	-	-	-	-	-	-
R 4	376 W	Faren (Wohnhaus, Remise)	-	-	-	0.60	0.22	-	-
R 5	409 W	Zelg (Wohnhaus, Stall)	-	-	-	-	-	-	-
R 6	699 W	Hofgut (Wohnhaus)	1.65	0.35	-	2.90	0.45	-	-
R 7	443 W	Rütiweid (Wohnhaus)	2.73	0.47	-	5.58	0.68	0.18	0.18
R 8	436 W	Büchler (Stall)	3.27	0.52	-	6.65	0.75	-	-
R 9	753 W	Rest. am Seeli (Wohn- und Gasthaus)	2.73	0.50	-	8.43	0.78	0.72	0.72
R10	563 W	Loch 1 (Wohnhaus)	1.22	0.37	-	14.55	0.87	6.92	6.92
R11	759 W	Loch 2 (Wohnhaus, Scheune)	6.57	0.70	0.20	15.07	1.05	7.62	7.82
R12	446 W	Loch 3 (Remise)	8.25	0.77	-	17.88	1.17	-	-
R13	707 W	Loch 4 (Wohnhaus)	8.77	0.78	1.05	18.17	1.12	10.78	11.83
R14	560 O	Haggen W (Wohnhaus, Stall)	24.32	1.22	17.03	32.67	1.32	25.48	42.52
R15	1336 O	Haggen S (Wohnhaus)	24.42	1.28	17.20	28.45	1.28	21.23	38.43
R16	564 O	Rest. Wilder Mann (Wohn-, Gewerbegebäude)	23.85	1.12	16.47	19.45	1.12	12.07	28.53
R17	706 W	Erbschrot (Wohnhaus)	3.18	0.50	-	10.40	0.75	2.65	2.65
R18	485 W	Erbschrot (Wohnhaus, Stall)	-	-	-	9.47	0.68	1.65	1.65
R19	756 W	Eschen (Wohnhaus)	-	-	-	5.67	0.53	0.03	0.03
R20	1442 O	Schutz (Wohnhaus)	-	-	-	3.02	0.40	-	-
R21	421 O	Grauenstein (Wohnhaus, Stall)	-	-	-	4.78	0.40	-	-
R22	439 O	St. Anton (Egg) (Wohnhaus)	-	-	-	-	-	-	-
R23	440 O	St. Anton (Wohnhaus)	4.68	0.45	-	3.20	0.40	-	-
R24	446 O	Café S. Anton (Wohn-, Gewerbegebäude)	3.17	0.35	-	1.87	0.32	-	-
R25	496 O	St. Anton (Wohnhaus, Stall)	2.83	0.35	-	1.87	0.32	-	-
R26	292 O	Moos-Eugst (Wohnhaus, Stall)	-	-	-	-	-	-	-
R27	65 O	Schulhaus Oberegg	-	-	-	-	-	-	-
R28	543 O	Honegg NW (Wohnhaus)	4.48	0.67	0.17	-	-	-	0.17
R29	509 O	Honegg SW (Wohnhaus, Stall)	-	-	-	-	-	-	-
R30	545 O	Honegg S (Wohnhaus)	-	-	-	-	-	-	-
R31	546 O	Honegg O (Wohnhaus)	-	-	-	-	-	-	-
R32	591 O	Landmark (Wohn-, Gewerbegebäude)	-	-	-	-	-	-	-
R33	4711 A	Seewald (Wohnhaus)	-	-	-	-	-	-	-
R34	1635 A	Listhüser (Wohnhaus)	-	-	-	-	-	-	-
R35	1647 A	Guggerstobel (Wohnhaus)	-	-	-	-	-	-	-
R36	799 O	Hagentobel (Stall)	12.78	0.90	-	5.52	0.67	-	-
			Anhalten	Stunden	52	Anhalten	Stunden	89	141
			Betriebsstunden (>3m/s)		6769	Betriebsstunden (>3m/s)		6769	13'538
			Anhalten	% der Zeit	0.77%	Anhalten	% der Zeit	1.32%	1.04%

Tab. 12 Anzahl Stunden in denen die Anlagen angehalten werden müssen, um die Schattenwurf-Grenzwerte einzuhalten (Rot hinterlegt sind nicht schutzwürdige Gebäude, Stand Januar 2017)

8.2 Prognose der Ertragsminderungen für 36 Rezeptoren

Werden die Anlagen zur Einhaltung der Schattenwurf-Grenzwerte angehalten, produzieren sie in dieser Zeit keinen Strom. Die resultierenden Ertragsminderungen sind in Tab. 13 aufgeführt.

Parameter	WEA T1	WEA T2	Total
Produktion P50 ¹ (MWh/j)	8'384.20	8'108.00	16'492.20
Abschattungsverluste (%)	1.32	1.10	1.21
Brutto Produktion P50 (MWh/j)	8'246.50	8'019.10	16'292.40
Anhalten zur Einhaltung der Schattenwurfgrenzwerte (%)	0.77%	1.32%	1.04% ²
Ertragsminderung infolge Schattenwurf (MWh/j)	-63.49	-105.85	-169.45

- 1) Langjähriger Mittelwert, mit 50% Wahrscheinlichkeit werden diese Erträge erzielt (s. auch Windbericht)
- 2) Für beide Anlagen zusammen beträgt die Ertragsminderung rund 1.04%. Für weitere Berechnungen zur Stromproduktion wird die Ertragsminderung infolge Abschalten zur Einhaltung der Schattenwurfgrenzwerte auf 1.5 % aufgerundet, da die Datengrundlagen der betroffenen Schattenwurfrezeptoren für diese Studie nicht vollständig vorliegen.

Tab. 13 Ertragsminderungen durch Abschalten für Schattenwurf, Windenergieprojekt Oberegg AI

Da die Anlagen nicht immer mit 100% Leistung laufen, ist der Leistungsverlust für die Dauer des Abschaltens entsprechend reduziert. Auch die Datengrundlagen erfassen nicht alle betroffenen Gebäude, so dass die Verluste unvollständig sind. Aus diesem Grund werden die Ertragsminderungen infolge Abschaltungen zur Einhaltung der Schattenwurfgrenzwerte von 1.04% gemäss Tab. 13 vorsichtshalber auf 1.5 % erhöht.

8.2.1 Korrekturfaktor für die gleichzeitige Beschattung

Bei der simplen Addition der Abschaltzeiten bleibt die Tatsache unberücksichtigt, dass oftmals mehrere Rezeptoren gleichzeitig beschattet werden. Gerade bei Häusergruppen wie sie in Haggen vorkommen, ist der Einfluss dieses Effektes gross. Wird eine Anlage abgestellt, wird der Schattenwurf auf in der gleichen Richtung liegende Rezeptoren gleichzeitig gestoppt. Der Einfluss dieser gleichzeitigen Beschattung wird am folgenden Beispiel (Abb. 8) illustriert:

Rezeptoren:	R14 – R16, Haggen W und Haggen S, Rest. Wildermann
Stichtag:	7. August 2018
Stand Immissionen:	Grenzwerte von 8 h/Jahr, bzw. 30 Min./Tag bereits erreicht
Anlage T2:	Betriebsbereit, Netzanschluss aktiv
Wetterbedingungen:	Wolkenloser Himmel, Windgeschwindigkeit > 2 m/s
Schattenwurfzeiten:	gemäss Tab. 14

Expected Gewächshausmodus T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 m hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m)

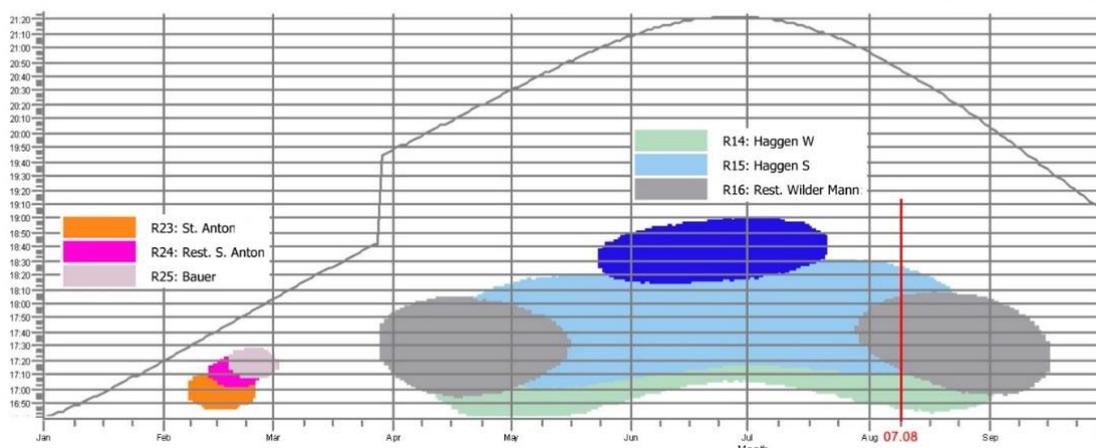


Abb. 8 Illustration "Gleichzeitiger Beschattung" mehrerer Gebäude durch T2, Expected Case, am Stichtag 7. August 2018

Rezeptor	Start Schatten	Stop Schatten	Minuten	Stop T2	Restart T2
R14 Haggen West	16:48	18:06	78	16:48	
R15 Haggen South	17:17	18:26	69		
R16 Wildermann	17:17	18:01	44		18:26
Total Stopp - Minuten		berechnet	191	effektiv	98

Tab. 14 Beispiel, Gleichzeitiger Schattenwurf T2 am 7. August 2018

Um dies zu berücksichtigen sollten die Abschaltzeiten nicht einfach kumuliert werden, sondern auch den genauen Zeitpunkt und damit die gleichzeitige Verschattung mehrerer Rezeptoren durch die Windkraftanlage berücksichtigt werden. Im Rahmen dieser Studie wird diese Berechnung nicht durchgeführt. Tab. 15 zeigt beispielhaft für 3 Rezeptoren die Differenz zwischen der simple Addition der Abschaltzeiten ohne Berücksichtigung dieses Phänomens der Gleichzeitigkeit (berechnet) und mit deren Berücksichtigung (effektiv). Deutlich erkennbar die Überschätzung von berechnet 191 Minuten Abschaltzeit zu 98 Minuten effektiv.

9 Schlussfolgerung

Ziel dieser Studie ist der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte für den Schattenwurf durch die zwei geplanten Windenergieanlagen des Projekts Oberegg durch den Einsatz von Schattenwurfdetektoren sowie die Abschätzung der Ertragsminderung infolge Abschaltzeiten. Die Schattenwurfkarte dokumentiert das betroffene Gebiet, in dem die zulässigen Grenzwerte überschritten werden unter Berücksichtigung der Reichweite des sichtbaren Schattenwurfs von 2'108 m um jede Windenergieanlage. Durch ein temporäres Abschalten der Anlagen wird der Schattenwurf auf die Grenzwerte von 8 Stunden pro Jahr und 30 Minuten pro Tag beschränkt. Für die Einschätzung der Produktionsverluste wurden 36 ausgewählte Gebäude (Rezeptoren) berücksichtigt. Die Berechnung der Abschaltzeiten zur Einhaltung der Grenzwerte ermöglicht die Abschätzung der Produktionsverluste aufgrund von Schattenwurf. Die Simulation wurde mit dem in der Windenergiebranche anerkannten Programm WindPRO erstellt, und zeigt, dass technische Massnahmen nötig sind, um die Grenzwerte einzuhalten. Diese Massnahmen erfordern die Installation von Sensoren auf beiden Windturbinen, welche den effektiven Schattenwurf auf jeden Rezeptor registrieren. Das «Expected» Szenario wurde mit den Langzeitdaten am Standort und einer mittleren Sonnenscheindauer auf dem Säntis für 2006-2016 modelliert. Damit ergeben sich geschätzte Produktionsverluste infolge Abschaltung zur Einhaltung der Grenzwerte für den Schattenwurf von rund 1.5%.

10 Schutzmassnahmen, weiteres Vorgehen

10.1 Massnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte der Schattenwurfdauer

Die Resultate der Modellierung des Schattenwurfs sind auf einer Karte 1:25'000 dargestellt und zeigen, dass die Kantone Appenzell Innerrhoden sowie Appenzell Ausserrhoden und St.Gallen vom Schattenwurf betroffen sind, wobei die zulässigen Grenzwerte von 30 h/Jahr in den Kantonen Appenzell Innerrhoden und Appenzell Ausserrhoden überschritten werden (Gelbe Zonen in Abb. 1 bzw. Abb. 5).

Um den Grenzwert der maximal zulässigen effektiven Beschattungsdauer von 8 Stunden pro Jahr und den täglichen Immissionsrichtwert von maximal 30 Minuten einzuhalten, werden nachfolgende Massnahmen durchgeführt :

- Beide Windenergieanlagen werden mit Schattendektoren / Schattenwurfmodul ausgerüstet.
- Für das Baugesuch wird eine vom Geometer beglaubigte Liste aller betroffenen Gebäude mit schutzwürdigen Innen- und Aussenräumen erstellt inkl. Angaben zu den Grundeigentümern der

Gebäude, welche innerhalb der Zone der Schattenwurfkarte liegen mit „astronomisch“ ermittelter Schattenwurfdauer > 30 h/Jahr.

- Für die Inbetriebnahme der Anlagen werden die nachfolgenden Angaben für alle betroffenen Gebäude bzw. Rezeptoren eingereicht:
- Katasternummer, Grundeigentümer, Katasterplan, Gebäudeorientierung, Raumnutzung mit Fenstern, Balkone, Terrassen, Aussensitzplätze, Koordinaten und Dimensionen aller Fenster, Terrassen und Gartensitzplätze. Dabei werden Sichtbarkeit der Anlagen berücksichtigt, denn Bäume, Gebäude andere Hindernisse können die Sicht auf die Rotoren verdecken. Dies verhindert den Schattenwurf.
- Ausserdem wird der Nachweis erbracht, dass diese Liste mit den obengenannten Angaben zu den schutzwürdigen Gebäuden und Rezeptoren in das Schattenwurfmodul jeder Anlage hinterlegt ist und in die Anlagensteuerung eingebunden.

10.2 Massnahmen zur Vermeidung von Blendeffekten

Um störende Lichtreflexe zu vermeiden (Disko-Effekt von drehenden Rotorblättern der alten Anlagen, Baujahr vor 2002.) werden die Oberflächen der Rotorblätter in geeigneten, matten Materialien und Farbtönen ausgeführt. Damit wird sichergestellt, dass die drehenden Rotorblätter keine Blendung verursachen. Die gleichen Anforderungen gelten auch für die Oberflächen von Turm und Gondel.

Für das Projekt Oberegg gelten nachfolgende Bedingungen für die Rotorblätter:

Farbton der Rotorblätter der WEA E-126: Beschichtung Farbton RAL 7038, dessen Glanzgrad max. 30 ± 10 Glanzeinheiten beträgt. Messungen an ENERCON Rotorblättern ergaben 5 bis 15 Glanzeinheiten und liegen damit deutlich unter dem Maximalwert (gemessen im 60° -Winkel nach DIN EN ISO 2813).¹²

¹² Technische Beschreibung, Farbgebung von Enercon Windenergieanlagen, D0185200-0b / DA

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Windenergieprojekt Oberegg, Schattenwurfkarte mit betroffenem Gebiet in Gelb, in dem die Grenzwerte überschritten werden (Schattenwurf jährlich > 30 h und täglich > 30 Min)	4
Abb. 2	Grundkarte der Schattenwurfstudie Windenergieprojekt Oberegg mit 2 Anlagen T1 und T2 des Typs Enercon E126-EP4 mit 135 m Nabenhöhe und 127 m Rotordurchmesser. Die blauen Kreise bezeichnen die Reichweite des Schattenwurfs von je 2'108 m um die Anlagen, Berechnung gemäss deutschem Reglement.....	7
Abb. 3	Geometrische Darstellung der Projektion des Schattens eines Rotors	9
Abb. 4	Grundkarte der Schattenwurfstudie. Blaue Kreise: Reichweite des Schattenwurfs von 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkte: untersuchte Gebäude Rezeptoren R1 – R36,, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).....	17
Abb. 5	Schattenwurfkarte Worst Case. Blaue Kreise: Reichweite des Schattenwurfes vom 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkte: untersuchte Gebäude, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).....	18
Abb. 6	Schattenwurfkarte T1, Worst Case. Blaue Kreise: Ausdehnung des Schattenwurfes 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkt: untersuchte Gebäude, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).....	21
Abb. 7	Schattenwurfkarte T2, Worst Case. Blaue Kreise: Ausdehnung des Schattenwurfes 2'108 m; T1 und T2: Windkraftanlagen; Gelbe Punkte: untersuchte Gebäude, Fenster immer Richtung Anlagen gerichtet (Gewächshausmodus).....	22
Abb. 8	Illustration "Gleichzeitiger Beschattung" mehrerer Gebäude durch T2, Expected Case, am Stichtag 7. August 2018.....	25

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Resultate der Schattenwurfstudie für 36 untersuchten Gebäude, Gelb Schattenwurf > 30 h/j, Worst Case.....	6
Tab. 2	Grenzwerte gemäss deutschem Reglement.....	10
Tab. 3	Windenergieanlagen T1 und T2 mit Koordinaten, CH-1903+/LV95	11
Tab. 4	Berechnung der Reichweite des Schattenwurfes einer Enercon E-126 EP4. Die Reichweite r beträgt 2'108 m	11
Tab. 5	Windrichtungshäufigkeit und jährliche Betriebsstunden (Anzahl Stunden $v \geq 3$ m/s auf 135 m Höhe) während der Periode 01.02.2006 - 31.07.2016	12
Tab. 6	Monatliche durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Tag auf der Referenzstation Säntis während der Periode 01.02.2006 - 31.07.2016	13
Tab. 7	Datengrundlagen und Modellierungsparameter für die Simulation des Schattenwurfs.....	13
Tab. 8	Grundeinstellungen der Software WindPRO für die Schattenwurfberechnungen	14
Tab. 9	Eigenschaften der 36 untersuchten Beispielgebäude ⁷ (Rezeptoren R1 – R36).....	16
Tab. 10	Schattenwurf: Resultate Worst Case für die 36 untersuchten Gebäude. Gelbe Markierung = Grenzwert 30h / Jahr für 14 Gebäude überschritten	19
Tab. 11	Resultate der Schattenwurfstudie für 36 untersuchte Gebäude für Worst Case und Expected Case.....	23
Tab. 12	Anzahl Stunden in denen die Anlagen angehalten werden müssen, um die Schattenwurf-Grenzwerte einzuhalten (Rot hinterlegt sind nicht schutzwürdige Gebäude, Stand Januar 2017) 24	
Tab. 13	Ertragsminderungen durch Abschalten für Schattenwurf, Windenergieprojekt Oberegg AI	25
Tab. 14	Beispiel, Gleichzeitiger Schattenwurf T2 am 7. August 2018	26

Anhangsverzeichnis

Anhang I	Definitionen	30
Anhang II	Deutsches Reglement	31
Anhang III	Sonnenscheindauer Säntis	35
Anhang IV	Langzeitwindrosen am Standort	36
Anhang V	Schattenwurfkarten (Langzeitdaten, Gewächshaus-Modus)	37
Anhang VI	Schattenkalender Rezeptoren	41
Anhang VII	Schattenkalender WEAs-Worst Case	47
Anhang VIII	Schattenkalender WEAs-Expected	49
Anhang IX	Enercon Schattendetektor	51
Anhang X	Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen	53
Anhang XI	Literaturverzeichnis	56
Anhang XII	Untersuchte Gebäude	57

Anhang I Definitionen

Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer (Worst Case)
Bezeichnet die Dauer, wenn die Sonne während der gesamten Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche stets senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage immer in Betrieb ist.
Metrologisch wahrscheinlich (Expected Szenario)
Ist die Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird.
(periodischer) Schattenwurf.
Bezeichnet die wiederkehrende Verschattung des direkten Sonnenlichtes durch die Rotorblätter einer Windenergieanlage. Der Schattenwurf ist dabei abhängig von den Wetterbedingungen, der Windrichtung, dem Sonnenstand und den Betriebszeiten der Anlage. Vom menschlichen Auge werden Helligkeitsunterschiede grösser als 2.5 % wahrgenommen
Gewächshaus-Modus
Der Rezeptor zeigt nicht in eine spezielle Richtung, sondern ist in alle Richtungen offen (Öffnungswinkel 360°). Dies kann nützlich sein, wenn die tatsächlichen Eigenschaften des Rezeptors nicht bekannt sind oder wenn in unterschiedlichen Richtungen WEA stehen, die zur Beschattung beitragen.
Auswertungsperiode
01.08.2015 – 31.07.2016, für die Berechnungen zu Grunde liegende Periode für Betriebs- und Sonnenstunden Betriebsstunden Anzahl Stunden während August 2015 bis Juli 2016, während zwei E-126 WEAs laufen würden = Anzahl Stunden während Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe von 135 m mehr als 3 m/s war (Windmessungen mit einem 99 m Windmessmast)
Messperiode
17.07.2015 – 15.08.2016, Dauer der Windmessungen am Standort auf 99 m
E-126
Turbinenmodell E-126 EP4 mit TES, des Herstellers Enercon
MBS
Machbarkeitsstudie
WEA
Windenergieanlage (Mehrzahl = WEAs), auch Windkraftanlage
Windpark
Ist eine räumliche Ansammlung von Windenergieanlagen (WEA). Diese können organisatorisch (durch einen Investor oder Betreiber) und technisch (durch gemeinsame Einspeisung des elektrischen Stroms) eine Einheit bilden.

Anhang II deutsches Reglement

„Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen „

Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen

Länderausschuss für Immissionsschutz

Stand: 13.03.2002

1.2 Begriffsbestimmungen

Lichtblitze (Disco-Effekte) sind periodische Reflexionen des Sonnenlichtes an den Rotorblättern.
Sie sind abhängig vom Glanzgrad der Rotoroberfläche und vom Reflexionsvermögen der gewählten Farbe.

Kernschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

Halbschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die nicht vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

Periodischer Schattenwurf ist die wiederkehrende Verschattung des direkten Sonnenlichtes durch die Rotorblätter einer Windenergieanlage. Der Schattenwurf ist dabei abhängig von den Wetterbedingungen, der Windrichtung, dem Sonnenstand und den Betriebszeiten der Anlage. Vom menschlichen Auge werden Helligkeitsunterschiede größer als 2,5 % wahrgenommen [3].

Beschattungsbereich ist die Fläche, in der periodischer Schattenwurf auftritt.

Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer (worst case) ist die Zeit, bei der die Sonne theoretisch während der gesamten Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage in Betrieb ist.

Tatsächliche Beschattungsdauer ist die vor Ort real ermittelte und aufsummierte Einwirkzeit an periodischem Schattenwurf. Beträgt die Bestrahlungsstärke der direkten Sonneneinstrahlung auf der zur Einfallrichtung normalen Ebene mehr als 120 W/m², so ist Sonnenschein mit Schattenwurf anzunehmen. Die Umrechnung in die Beleuchtungsstärke ist im Anhang aufgeführt.

Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer ist die Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird. Als Grundlage dienen die langfristigen Messreihen des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Maßgebliche Immissionsorte sind

- a) schutzwürdige Räume, die als
 - Wohnräume, einschließlich Wohndielen
 - Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
 - Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
 - Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume genutzt werden.

Direkt an Gebäuden beginnende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 6:00 - 22:00 Uhr gleichgestellt.

2

Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)

0. Vorbemerkung

Im Rahmen der zur Verfügung stehenden erschöpflichen Ressourcen hat die alternative/regenerative Energieerzeugung einen hohen Stellenwert, hier insbesondere die Nutzung der Windenergie. Moderne Windenergieanlagen (WEA) haben kaum noch etwas mit den "Windmühlen" früherer Generationen gemeinsam, werfen aber durch ihre Anzahl, Größe und Erscheinungsbilder bisher nicht gekannte Probleme aufgrund der Belästigungen durch Lärm und optische Effekte auf. Hinsichtlich der Lärmeinwirkungen bestehen Regelungen, die insoweit betroffenen Nachbarn entsprechenden Schutz bieten. Für die Beurteilung der Einwirkung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch den Rotor einer WEA hat der Gesetzgeber bisher keine rechtsverbindlichen Vorschriften mit Grenz- oder Richtwerten erlassen oder in Aussicht gestellt.

Wissenschaftliche Untersuchungen belegen die Erfahrung, dass optische Immissionen insbesondere in Form periodischen Schattenwurfs zu erheblichen Belästigungswirkungen (Stressor) führen können. Unter Berücksichtigung dieser Untersuchungen und Anhörungen von Gutachtern sollen diese Hinweise eine einheitliche und praxisnahe Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen ermöglichen.

1. Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich und immissionsschutzrechtliche Grundsätze

Die Hinweise finden Anwendung bei der Beurteilung der optischen Wirkungen von WEA auf den Menschen. Sie umfassen sowohl den durch den WEA-Rotor verursachten periodischen Schattenwurf als auch die Lichtreflexe („Disco-Effekt“) und sind Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1]. Nicht als Immission gilt jedoch die sonstige Wirkung einer WEA aufgrund der Eigenart der Rotorbewegung, die ein zwanghaftes Anziehen der Aufmerksamkeit mit entsprechenden Irritationen bewirken kann.

Die Hinweise enthalten Beurteilungsmaßstäbe zur Konkretisierung der Anforderungen aus § 5 Abs. 1 Nr. 1 und 2 und § 22 Abs. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG).

Als Gegenstand von Anordnungen kommen technische Maßnahmen sowie zeitliche Beschränkungen des Betriebes der WEA in Betracht. Eine Stilllegung kommt nur in Betracht, wenn ihr Betrieb zu Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachwerte führt. Für optische Immissionen bei WEA dürfte dieses in der Regel nicht gegeben sein.

4

- b) unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zulässig sind.

1.3 Grundlagen der Ermittlung und Bewertung von Immissionen durch periodischen Schattenwurf

Ziel ist die sichere Vermeidung erheblicher Belästigungen, die durch periodische Lichteinwirkungen (optische Immissionen) durch WEA entstehen können. Die Erheblichkeit einer Belästigung hängt nicht nur von deren Intensität ab, sondern auch wesentlich von der Nutzung des Gebietes, auf das sie einwirkt, von der Art der Einwirkungen sowie der Zeitdauer der Einwirkungen. Bei der Beurteilung sind alle WEA im Umkreis einzubeziehen, die auf den jeweiligen Immissionspunkt einwirken. Einwirkungen durch periodischen Schattenwurf können dann sicher ausgeschlossen werden, wenn alle in Frage kommenden Immissionsorte in der Anlagenumgebung außerhalb des möglichen Beschattungsbereiches der jeweiligen WEA liegen.

Der zu prüfende Bereich ergibt sich aus dem Abstand zur WEA, in welchem die Sonnenfläche gerade zu 20 % durch ein Rotorblatt verdeckt wird. Da die Blatttiefe nicht über den gesamten Flügel konstant ist, sondern zur Rotorblattschneise hin abnimmt, ist ersatzweise ein rechteckiges Rotorblatt mit einer mittleren Blatttiefe zu ermitteln und zugrunde zu legen:

(Mittlere Blatttiefe = 1/2 (max. Blatttiefe + min. Blatttiefe bei 0,9 * Rotorradius)) [7]

Der Beschattungsbereich kann für eine einzelne Anlage konservativ der Abbildung im Anhang entnommen werden oder ansonsten im konkreten Einzelfall nachgewiesen werden. Darüber hinaus kann der Beschattungsbereich nach Freund [3] bestimmt werden.

Soweit mehrere WEA zu Immissionsbeiträgen führen können, gelten die Ausführungen für jede Einzelanlage. Höhendifferenzen im Gelände zwischen Standort der WEA und dem Immissionsort (z. B. bei Aufstellung einer WEA auf einem Hügel) sind zu berücksichtigen.

Eine Differenzierung in Kern- oder Halbschatten ist für die Belästigung nicht bedeutsam.

Soweit sich zu berücksichtigende Immissionsorte innerhalb des Beschattungsbereiches von WEA befinden, muss mit zeitweilig auftretenden wiederkehrenden Belästigungswirkungen gerechnet werden.

Von Relevanz sind die an einem Immissionsort tatsächlich auftretenden bzw. wahrnehmbaren Immissionen, die nur bei bestimmten Wetterbedingungen auftreten können. Eine Einwirkung durch zu erwartenden periodischen Schattenwurf wird als nicht erheblich belästigend angesehen, wenn die astronomisch maximale mögliche Beschattungsdauer [8] [9] unter kumulativer Berücksichtigung aller WEA-Beiträge am jeweiligen Immissionsort in einer Bezugshöhe von 2 m über Erdboden nicht mehr als 30 Stunden pro Kalenderjahr und darüber hinaus nicht mehr als 30 Minuten pro Kalendertag beträgt. Bei der Beurteilung des Belastigungsgrades wurde eine durchschnittlich empfindliche Person als Maßstab zugrunde gelegt.

Bei Überschreitung der Werte für die astronomisch maximale mögliche Beschattungsdauer kommen unter anderem technische Maßnahmen zur zeitlichen Beschränkung des Betriebes der WEA in Betracht. Eine wichtige technische Maßnahme stellt als Gegenstand von Auflagen und Anordnungen die Installation einer Ab-

5

schaltautomatik dar, die mittels Strahlungs- oder Beleuchtungsstärkeensoren die konkrete meteorologische Beschattungssituation erfasst und somit die vor Ort konkret vorhandene Beschattungsdauer begrenzt. Da der Wert von 30 Stunden pro Kalenderjahr auf Grundlage der astronomisch möglichen Beschattung entwickelt wurde, wird für Abschaltautomatiken ein entsprechender Wert für die tatsächliche, reale Schattendauer, die **meteorologische Beschattungsdauer** festgelegt. Dieser Wert liegt auf Grundlage von [2] bei 8 Stunden pro Kalenderjahr.

2. Vorhersage des periodischen Schattenwurfs

Aus Gründen der Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit ist bei der Erstellung von Immissionsprognosen von folgenden Vereinfachungen und Annahmen auszugehen: Die Sonne ist als punktförmige Quelle anzunehmen und scheint tagsüber an allen Tagen des Jahres. Es herrscht wolkenloser Himmel und für die Bewegung des Rotors ausreichender Wind (100 % Verfügbarkeit). Die Windrichtung entspricht dem Azimutwinkel der Sonne, die Rotorkreisfläche steht dann senkrecht zur Einfallrichtung der direkten Sonneneinstrahlung. Den Berechnungen wird geographisch Nord zugrunde gelegt. Abstände zwischen Rotorebene und Turmachse sind zu vernachlässigen. Die Lichtbrechung in der Atmosphäre (Refraktion) wird nicht berücksichtigt.

Der Schattenwurf für Sonnenstände unter 3° Erhöhung über Horizont kann wegen Bewuchs, Bebauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände vernachlässigt werden. Zur genaueren Ermittlung der astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer sollte von der effektiven Schatten werfenden Zone einer WEA ausgegangen werden. Diese Größe ergibt sich unter Einbeziehung der Strahlungsdiffusion in der Atmosphäre [12]. Für das Summieren der Jahresstunden ist das Kalenderjahr mit 365 Tagen und für das Summieren der täglichen Schattenzeiten der 24-Stunden-Tag zugrunde zu legen.

Dauerhafte natürliche und künstliche lichtundurchlässige Hindernisse, die den periodischen Schattenwurf von WEA begrenzen, können berücksichtigt werden.

In der abschließenden Zusammenfassung ist die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer anzugeben.

3. Beurteilung

Eine erhebliche Belästigung durch periodischen Schattenwurf liegt dann nicht vor, wenn sowohl die Immissionsrichtwerte für die tägliche als auch die jährliche Beschattungsdauer durch alle auf den maßgeblichen Immissionsort einwirkenden Windenergieanlagen unterschritten werden.

3.1 Immissionsrichtwerte für die jährliche Beschattungsdauer

Bei der Genehmigung von Windenergieanlagen ist sicherzustellen, dass der Immissionsrichtwert für die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von **30 Stunden pro Kalenderjahr** nicht überschritten wird. Bei Beschwerden hinsichtlich

4.2 Lichtblitze

Störenden Lichtblitzen soll durch Verwendung mittelreflektierender Farben, z. B. RAL 7035-HR [6], und matter Glanzgrade gemäß DIN 67530/ISO 2813-1978 [5] bei der Rotorbeschichtung vorgebeugt werden. Hierdurch werden die Intensität möglicher Lichtreflexe und verursachte Belästigungswirkungen (Disco-Effekt) minimiert. Lichtblitze aufgrund von Nässe oder Vereisung werden nicht berücksichtigt.

des Schattenwurfs durch bereits bestehende Anlagen ist die Einhaltung dieses Immissionsrichtwertes zu überprüfen.

Bei Überschreitungen ist durch geeignete Maßnahmen (siehe 4.1) die Einhaltung der Immissionsschutzanforderungen dieser Hinweise zu gewährleisten. Bei Einsatz einer Abschaltautomatik, die keine meteorologischen Parameter berücksichtigt, durch diese auf die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer von Stunden pro Kalenderjahr zu begrenzen. Wird eine Abschaltautomatik eingesetzt, die meteorologische Parameter berücksichtigt (z. B. Intensität des Sonnenlichtes), ist die tatsächliche Beschattungsdauer von 8 Stunden zu begrenzen.

3.2 Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer

Der Immissionsrichtwert für die tägliche Beschattungsdauer beträgt **30 Minuten**.

In der Laborstudie der Universität Kiel [9] wurde festgestellt, dass bereits eine einjährige Einwirkung des Schattenwurfs von 60 Minuten zu Stressreaktionen führen kann. Aus Vorsorgegründen wird daher die tägliche Beschattungsdauer auf **30 Minuten** begrenzt.

Dieser Wert gilt bei geplanten Anlagen für die **astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer**, bei bestehenden Anlagen für die tatsächliche Schattendauer. Bei Überschreitung dieses Richtwertes an mindestens drei Tagen ist durch geeignete Maßnahmen die Begrenzung der täglichen Beschattungsdauer auf 30 Minuten zu gewährleisten.

4. Auflagen und Minderungsmaßnahmen

4.1 Schattenwurf

Bei der Wahl von WEA-Standorten bestimmt sich das Maß der Vorsorgepflicht hinsichtlich der erreichbaren Immissionsminderung gegen Beschattung an maßgeblichen Immissionsorten einzelfallbezogen unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit und den Anforderungen der Landes-/Bauleitplanung. Überschreitet eine WEA die zulässigen Immissionsrichtwerte gemäß 3, so ist eine Immissionsminderung durchzuführen, die die überprüfbare Einhaltung der Immissionsrichtwerte zum Ziel hat. Diese Minderung erfolgt durch die gezielte Anlagenabschaltung für Zeiten real auftretenden oder astronomisch möglichen Schattenwurfs an den betreffenden Immissionsorten. Bei der Festlegung der genauen Abschaltzeiten ist die räumliche Ausdehnung am Immissionsort (z. B. Fenster- oder Balkonfläche) zu berücksichtigen. Bei Innenräumen ist die Bezugshöhe die Fenstermitte. Bei Außenflächen beträgt die Bezugshöhe 2 m über Boden. Die ermittelten Daten zur Sonnenscheindauer und Abschaltzeit sollen von der Strahlungsereinheit über mindestens ein Jahr dokumentiert werden; entsprechende Protokolle sollen auf Verlangen von der zuständigen Behörde einsehbar sein. Im Falle mehrerer beitragender WEA ist eine Aufteilung der Immissionsbeiträge für den jeweiligen Immissionsort möglich.

Anhang

Berechnungsverfahren

Der Nachweis, dass eine bestimmte WEA keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch periodischen Schattenwurf verursacht, stützt sich im Rahmen von Planvorhaben und Anlagenüberwachung auf eine Schattenwurfprognose. Dies gilt es so für die Ermittlung ggf. erforderlicher Abschaltzeiten von WEA.

Eine Schattenwurfprognose gründet sich auf einem Algorithmus zur Berechnung standort-, tages- und uhrzeitabhängigen Sonnenstandes. Zur Gewährleistung einer einheitlichen Durchführung und vereinfachter Überprüfbarkeit wird der Bezug auf normierten und allgemein zugänglichen Berechnungsmodelle [10] bzw. [11] empfohlen.

Die Grundgenauigkeit der in eine Prognose eingehenden geometrischen Parameter sollte $\pm 3 \dots 10$ m betragen. Die Bestimmung der Schattenwurfzeiten sollte einer Genauigkeit von 1 min pro Tag orientiert sein. Absolute Zeitangaben sollten MEZ bzw. MESZ erfolgen.

Die möglichen Beschattungszeiten an allen relevanten Immissionsorten sollen in der Schattenwurfprognose tageweise mit Anfangs-, Endzeitpunkt und Beschattungsereignis ausgewiesen sein; im Falle mehrerer WEA sollen die Beiträge der Anlagen einzeln und tageweise aufsummiert entnehmbar sein. Pro Immissionsort ist die aufsummierte Jahresbeschattungsdauer anzugeben.

Bestandteile einer Schattenwurfprognose sind weiterhin Auszüge aus topografischen Karten, die Anlagenstandorte und Immissionsorte unter Angabe ihrer Gauß-Krüger Koordinaten mit Höhenangaben wiedergeben. Als Ergebnis können auch berechnete Iso-Schattenlinien (Kurven gleicher Jahresbeschattungsdauer - insbesondere Iso-Schattenlinie - in der Anlagenumgebung) ausgewiesen werden.

Software

Aufgrund des relativ großen Berechnungsaufwandes und der guten Berechnungsmöglichkeiten mit Hilfe von Computerprogrammen empfiehlt sich der Einsatz geeigneter Software. Hierzu kann auf kommerzielle Programme zurückgegriffen werden. Eine Prognose mit Hilfe geeigneter Tabellendaten ist ebenfalls möglich. Verwendete Arbeitshilfen sollen die Anforderungen dieser Hinweise, z. B. bzgl. Berechnungsverfahren, berücksichtigen.

Arbeitshilfen

Tatsächliche Beschattungsdauer: Sonnenstand und Beleuchtungsstärke

Die resultierende Beleuchtungsstärke $E [lx]$ in einer horizontalen Messfläche hängt vom Einfallswinkel (Sonnenstand) $[^\circ]$ sowie dem fotometrischen Strahlungsäquivalent $[lx/Wm^2]$ ab, das von der Lichtbrechung (Refraktion) und der Lufttrübung bestimmt wird und ebenfalls vom Sonnenstand abhängt.
Vom deutschen Wetterdienst werden folgende Eckdaten für die Beleuchtungsstärke angenommen:

Sonnenstand $[^\circ]$	Beleuchtungsstärke $[lx]$	Strahlungsäquivalent $[lx/Wm^2]$
3	389	62
60	10.912	105

In erster Näherung ergeben sich daraus folgende Beleuchtungsstärken in Abhängigkeit vom Sonnenstand:

Sonnenstand $[^\circ]$	Beleuchtungsstärke $[lx]$
3	389
5	664
10	1402
15	2207
20	3071
25	3986
30	4942
35	5929
40	6935
45	7949
50	8959
55	9951
60	10912

Für das Addieren der Jahressunden ist das Kalenderjahr mit 365 Tagen und für das Addieren der täglichen Schattenzeiten der 24-Stunden-Tag zugrunde zu legen.

Sonnenauf- und -untergangszeiten [h:min; h:min]

	Berlin	Essen	Hannover	Karlsruhe	München	Schleswig	Schwern
1. Jan	8:17:18.03	8:37:18.34	8:32:18.18	8:21:18.49	8:04:18.31	8:44:18.07	8:32:18.05
1. Apr	5:41:18.41	6:08:19.07	5:56:18.56	6:04:18.59	5:52:18.44	5:54:18.58	5:48:18.50
1. Jul	3:48:20.32	4:20:20.52	4:03:20.47	4:26:20.34	4:18:20.17	3:51:21.00	3:49:20.47
1. Okt	6:07:17.44	6:33:18.10	6:22:17.59	6:26:18.06	6:13:17.53	6:24:17.58	6:16:17.51

Quelle: DWD/BSH2001

Beschattungsdauer im Umfeld einer Windenergieanlage – Musterdaten

Koordinaten des Bezugsstandortes der WEA in ebenem Gelände:
Geographisch: 52° 00' 00" N 10° 00' 00" E (Mitte Deutschlands)
Gauß-Krüger (Bessel): 2 637 333 | 5 764 640
Bezugshöhe 2 m über Grund; horizontaler Rezeptor 0,1 x 0,1 m²

Lfd. Nr.	Nabenhöhe [m]	Rotordurchmesser [m]	Azimuth von Nord über Ost $[^\circ]$	Entfernung WEA-Immissionsort [m]	Stunden/Jahr	Tage/Jahr	Minuten/Tag
1			0°	150	90	124	60
2	60	40	40°	300	25	62	32
3			120°	450	15	49	22
4			0°	250	83	111	56
5	90	60	40°	400	28	61	36
6			120°	650	14	46	22
7			0°	300	98	108	62
8	100	80	40°	500	37	76	38
9			120°	750	20	54	26

Aufgrund der Symmetrie des Beschattungsbereiches, korrespondierend mit dem tagesbezogenen (scheinbaren) Sonnenlauf, sind für spiegelbildlich zur Nord-Süd-Achse gelegene Immissionspunkte gleichartige Immissionen zu erwarten. Bei Überlagerung der Immissionen durch mehrere WEA beträgt die Gesamt-Beschattungsdauer an einem Immissionsort maximal gleich die Summe der Beschattungsdauern durch die einzelnen Immissionsbeitragenden WEA.

Literatur:

[1] BImSchG
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I, S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S. 880), zuletzt geändert am 27. Juli 2001 (BGBl. I S. 1950, 1973)

[2] H.D. Freund
Effektive Einwirkzeit T_v des Schattenwurfs bei $T_{max} = 30$ h/Jahr, Ausarbeitung
Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel, (24.01.2001)

[3] H.D. Freund
Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen
Umweltforschungsbank UFORDAT (Juni 1999)

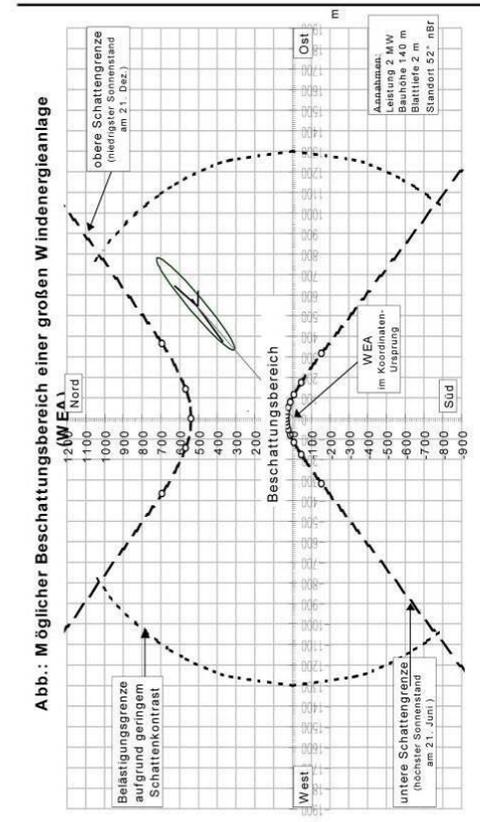


Abb.: Möglicher Beschattungsbereich einer großen Windenergieanlage

[4] K. Bohne, D. Michelbrand
Der Schattenwurf von Windkraftanlagen
Diplomarbeit FH Kiel (April 2000)

[5] DIN 67530/ISO 2813-
Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und Kunststoff-Oberflächen
Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin (1978)

[6] RAL 7035-HR - Farbregister
Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung
Bonn und St. Augustin (1998)

[7.] Staatliches Umweltamt Schleswig
Ergebnisprotokoll des 3. Fachgesprächs vom 19.11.1999 über Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen, Schleswig (1999)

[8.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Belastigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31.07.1999

[9.] J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld, Belastigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborplotstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 15.05.2000

[10.] DIN 5034-2: Tageslicht in Innenräumen - Grundlagen, Beuth-Verlag Berlin 1985

[11.] VDI 3789 Blatt2 -10 /94: Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung, VDI , Düsseldorf 1994

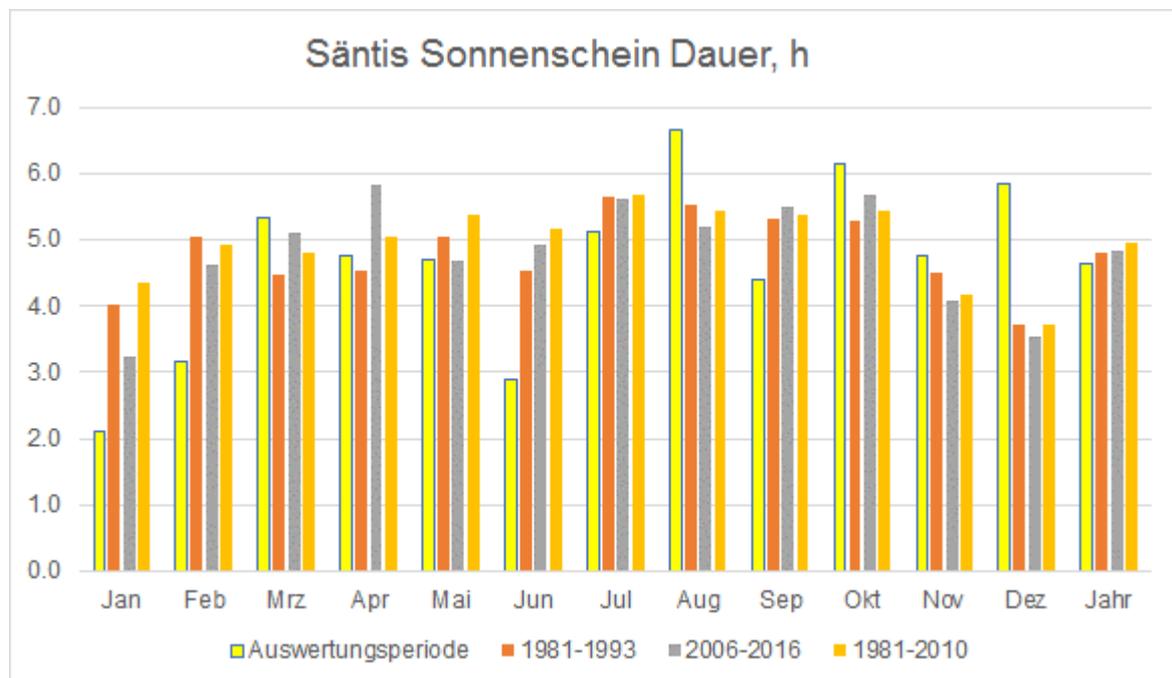
[12.] H.D. Freund, Einflüsse der Lufttrübung, der Sonnenausdehnung und der Flügelform auf den Schattenwurf von Windenergieanlagen, Forschungsbericht zur Umweltechnik, Fachhochschule Kiel, Januar 2002

Anhang III Sonnenscheindauer Meteostation Säntis

Für Schattenwurfberechnungen wurde die Periode 2006 – 2016 benützt, weil die Ertragsprognosen sich auch auf diese Periode beziehen.

	Auswertungsperiode ¹	WindPro ²	2006-2016 ³	1981-2010 ⁴
	Säntis	Säntis	Säntis Langzeit	Säntis Langzeit
Jan 16	2.09	4.02	3.2	4.35
Feb 16	3.16	5.05	4.6	4.93
Mrz 16	5.32	4.48	5.1	4.81
Apr 16	4.77	4.52	5.8	5.03
Mai 16	4.71	5.04	4.7	5.39
Jun 16	2.89	4.52	4.9	5.17
Jul 16	5.12	5.65	5.6	5.68
Aug 15	6.64	5.53	5.2	5.45
Sep 15	4.40	5.32	5.5	5.37
Okt 15	6.14	5.3	5.7	5.45
Nov 15	4.75	4.5	4.1	4.17
Dez 15	5.85	3.73	3.5	3.71
Jahr	4.65	4.81	4.83	4.96

- 1) Meteoschweiz, 01.08.2015 – 31.07.2016
- 2) Windpro, Meteoschweiz 1981 – 1993
- 3) Meteoschweiz, 01.02.2006 – 31.07.2016 (Grundlage der Berechnungen)
- 4) Meteoschweiz



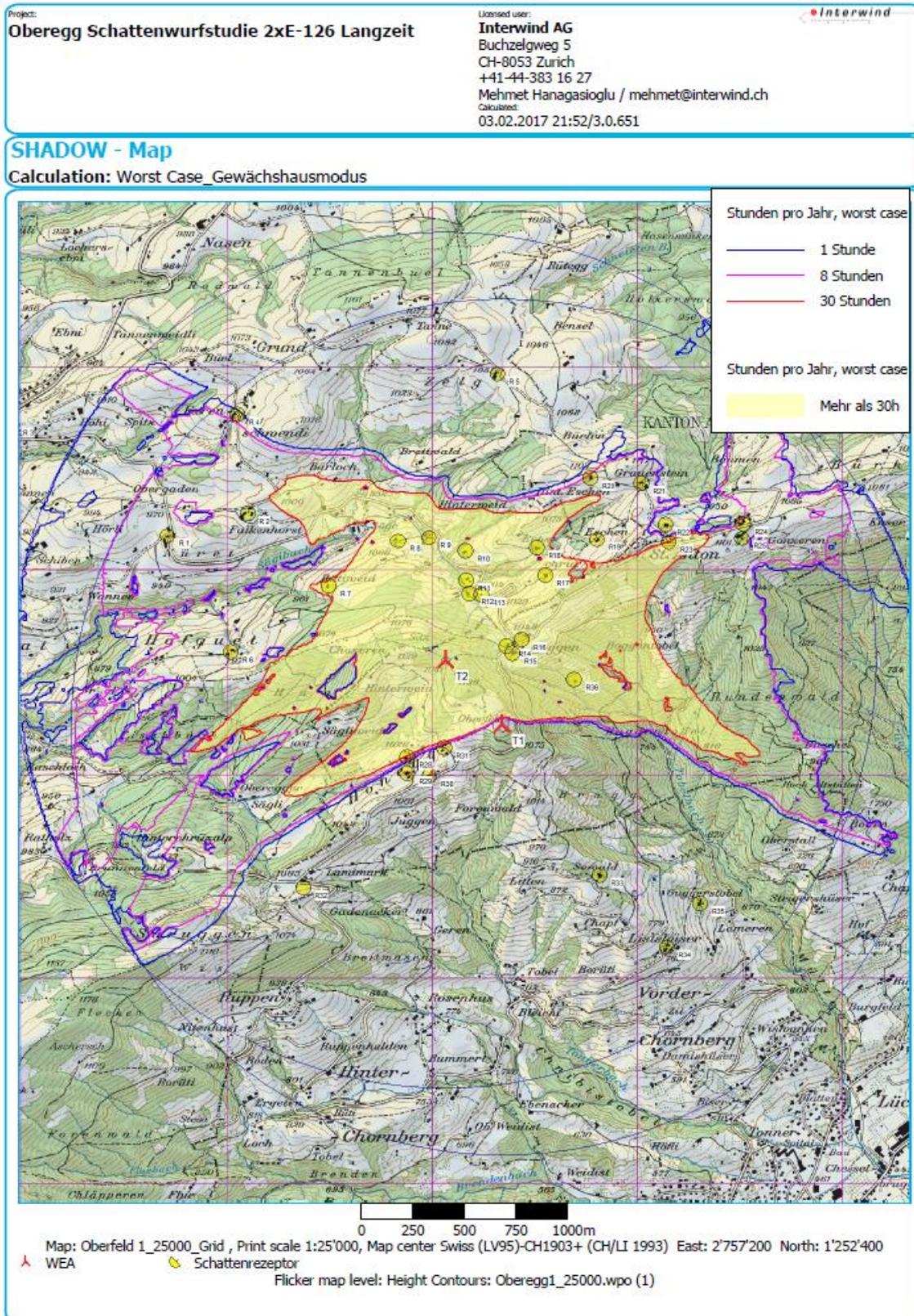
Anhang IV Langzeitwindrosen am Standort

Windturbine E-126 dreht sich erst ab einer Windgeschwindigkeit $\geq 3\text{m/s}$. Windgeschwindigkeiten $< 3\text{m/s}$ weggelassen um die Betriebsstunden nach Sektor zu ermitteln

Oberfeld, Oberegg AI Langzeit Windrose auf 135m Höhe			
Häufigkeit (%)	Sektor	Alle Stunden	Stunden (h)
Sektor	Mittelpunkt	v 135m	v 135m $\geq 3\text{m/s}$
1	0°	95.2	71.9
2	10°	91.5	69.1
3	20°	80.1	58.3
4	30°	86.2	65.9
5	40°	114.3	84.1
6	50°	134.1	103.7
7	60°	161.8	126.6
8	70°	154.3	117.0
9	80°	239.0	175.2
10	90°	184.4	139.3
11	100°	104.6	65.6
12	110°	80.2	48.4
13	120°	73.0	42.9
14	130°	103.4	66.4
15	140°	120.1	84.2
16	150°	114.0	76.9
17	160°	122.3	83.3
18	170°	225.4	165.1
19	180°	293.7	222.9
20	190°	289.6	220.5
21	200°	295.1	220.1
22	210°	279.9	198.2
23	220°	287.9	204.2
24	230°	487.8	371.7
25	240°	935.4	782.6
26	250°	1430.4	1224.1
27	260°	759.5	598.4
28	270°	314.1	251.1
29	280°	210.9	164.7
30	290°	172.8	138.5
31	300°	142.3	110.2
32	310°	113.6	83.1
33	320°	79.9	60.3
34	330°	68.7	47.9
35	340°	68.0	47.0
36	350°	245.7	180.0
	Calm		1990
	Total	8759.3	6769.2

Anhang V Schattenwurfkarten (Langzeitdaten, Gewächshaus-Modus)

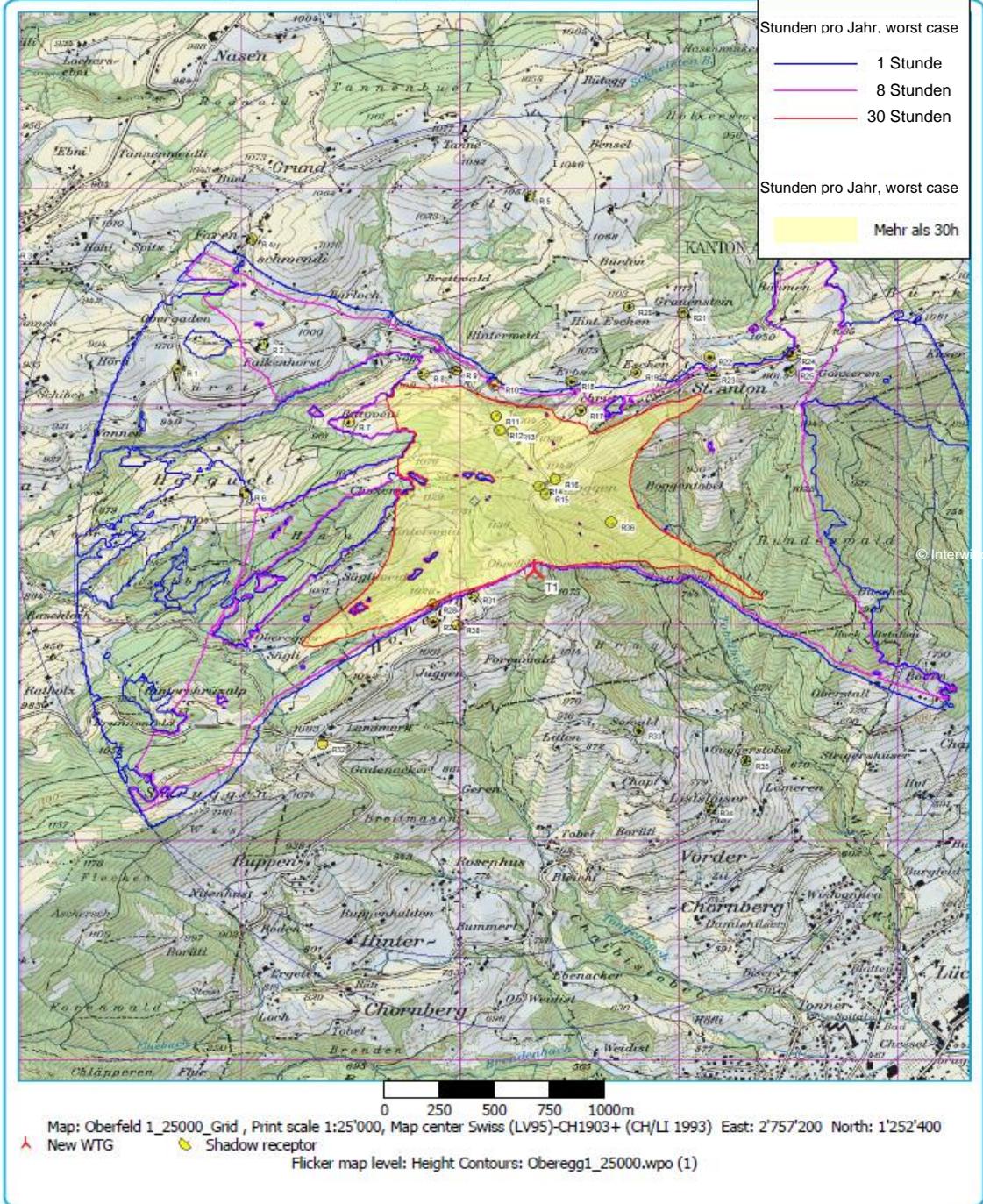
Worst Case



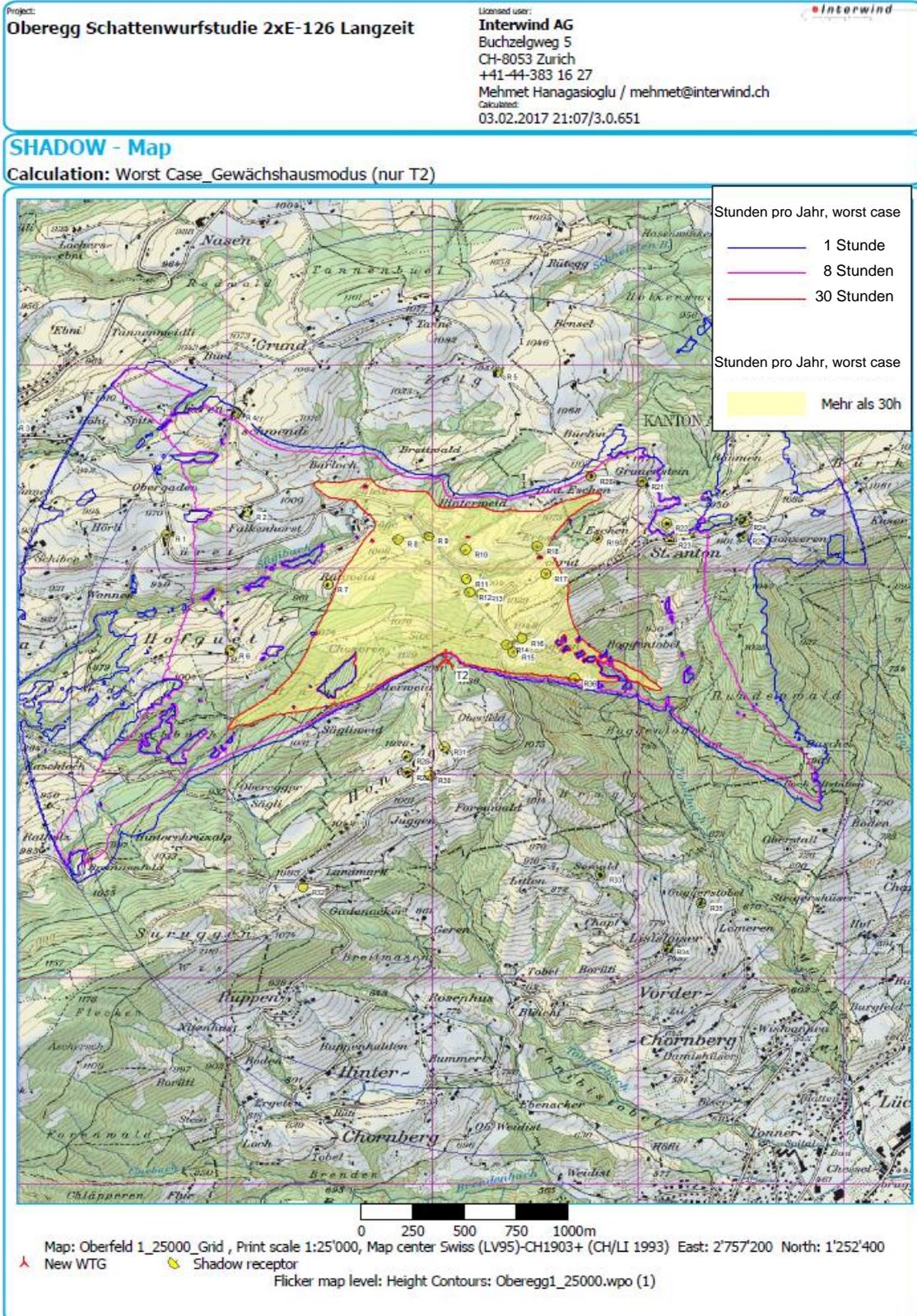
Worst Case Einzelanlage T1

<p>Project: Oberegg Schattenwurfstudie 2xE-126 Langzeit</p>	<p>Licensed user: Interwind AG Buchzelgweg 5 CH-8053 Zurich +41-44-383 16 27 Mehmet Hanagasioglu / mehmet@interwind.ch Calculated: 03.02.2017 22:25/3.0.651</p>	
--	--	---

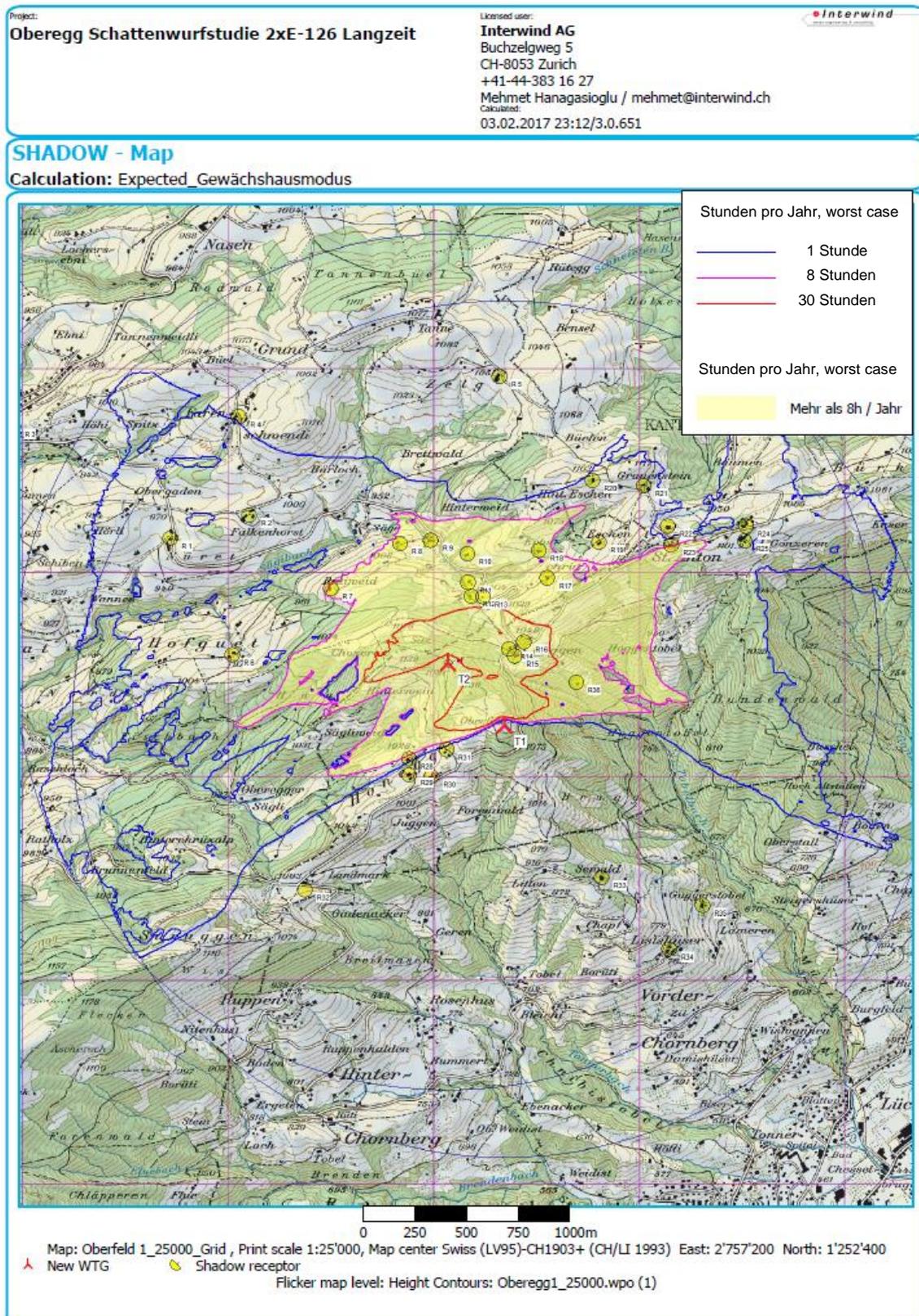
SHADOW - Map
Calculation: Worst Case_Gewächshausmodus (nur T1)



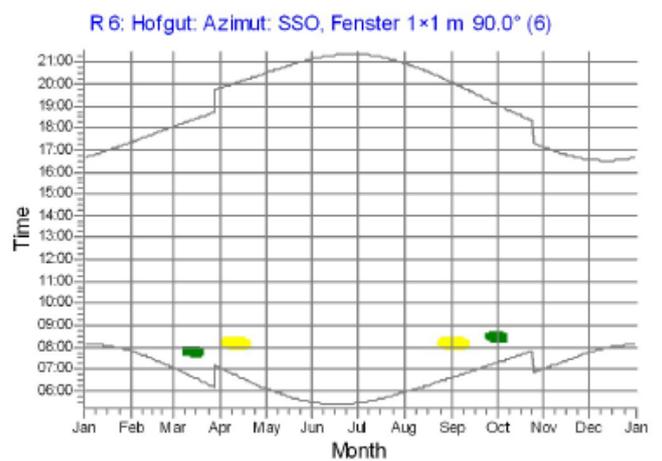
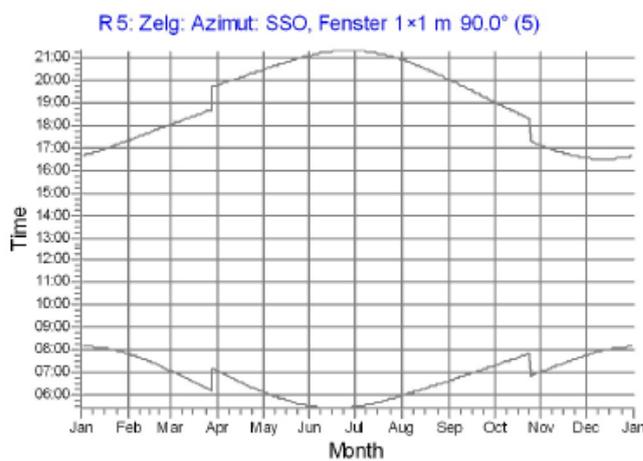
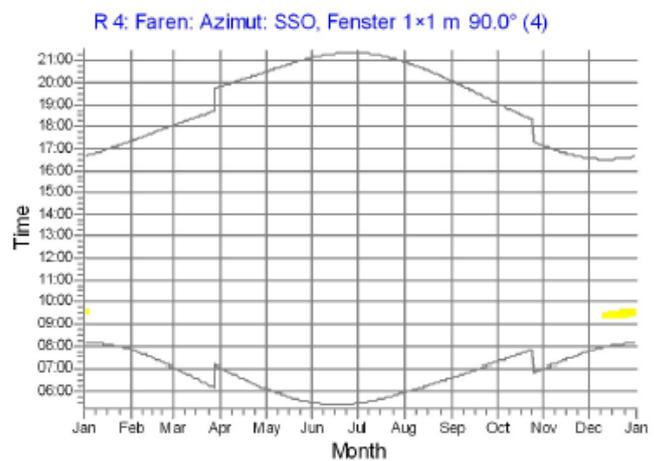
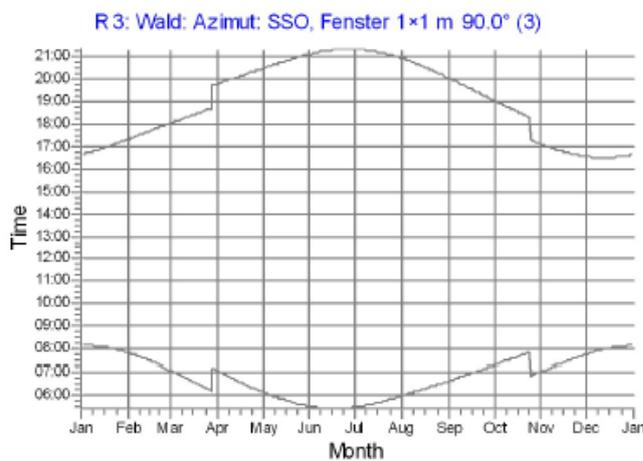
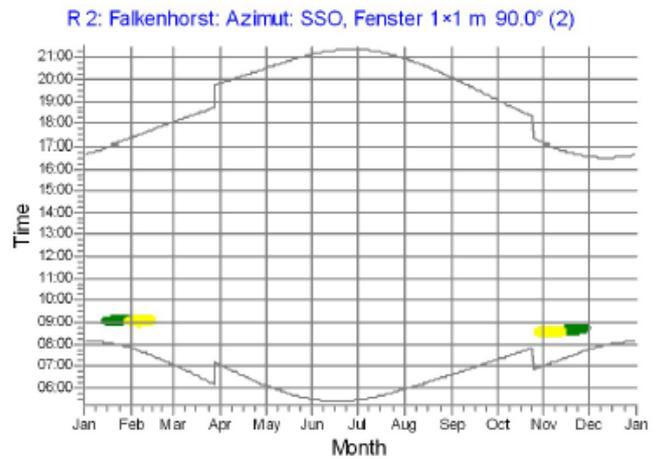
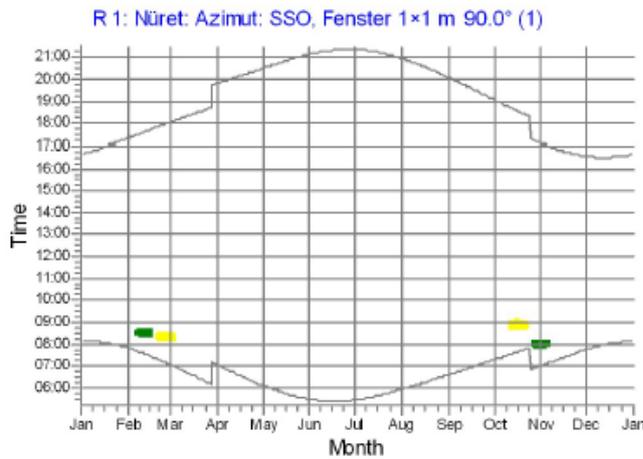
Worst Case Einzelanlage T2



„Expected“ Szenario, d.h. mittlere erwartete Dauer des Schattenwurfs

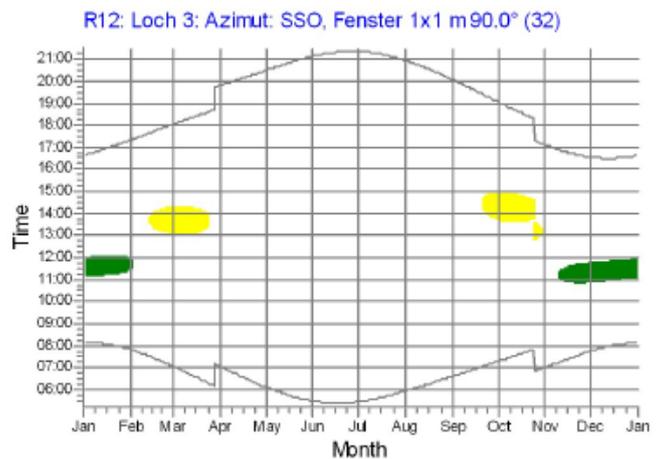
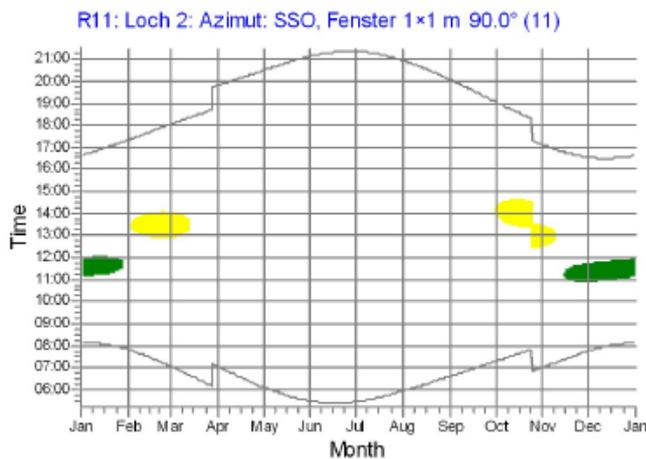
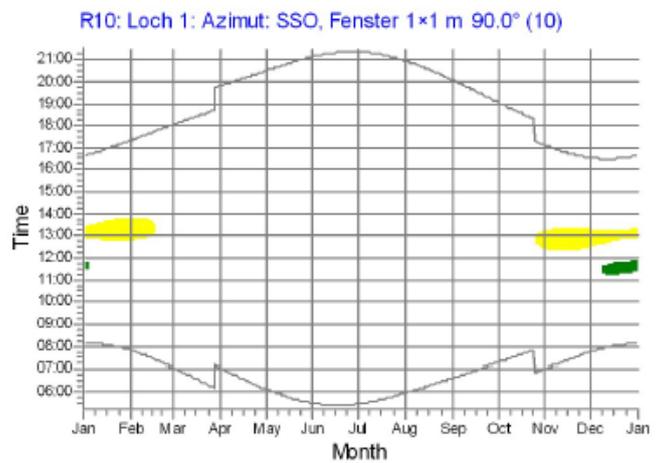
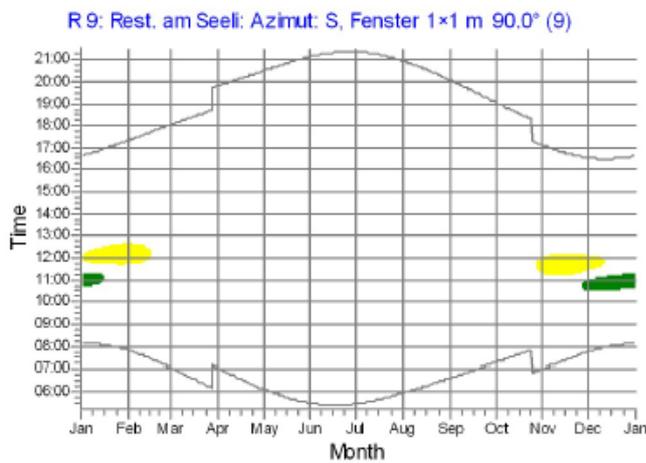
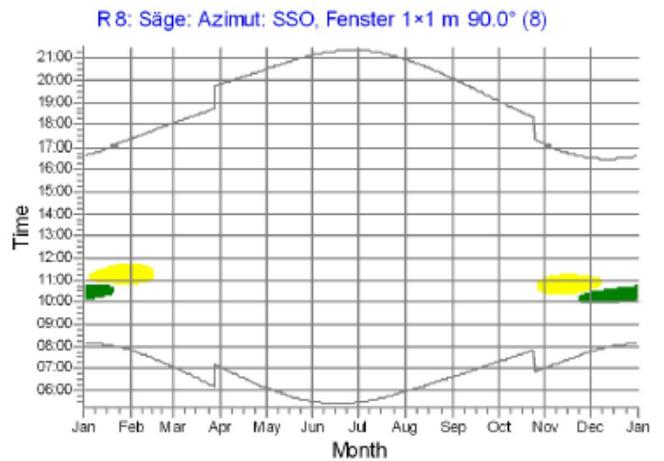
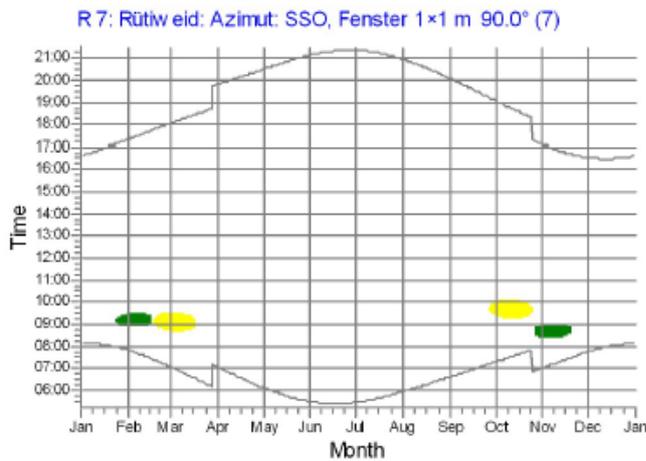


Anhang VI Schattenkalender, Rezeptoren



WTGs

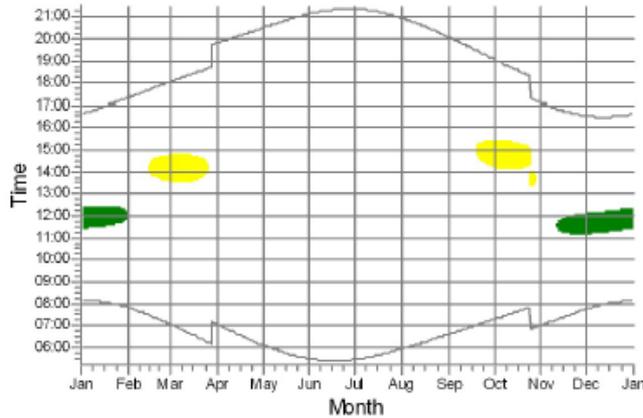
-  T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)
-  T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)



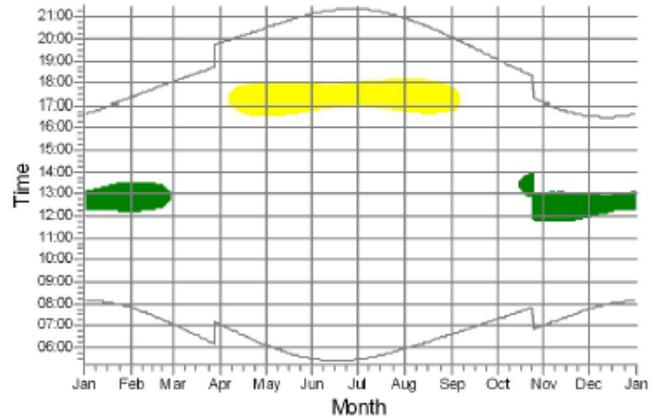
WTGs

-  T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)
-  T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)

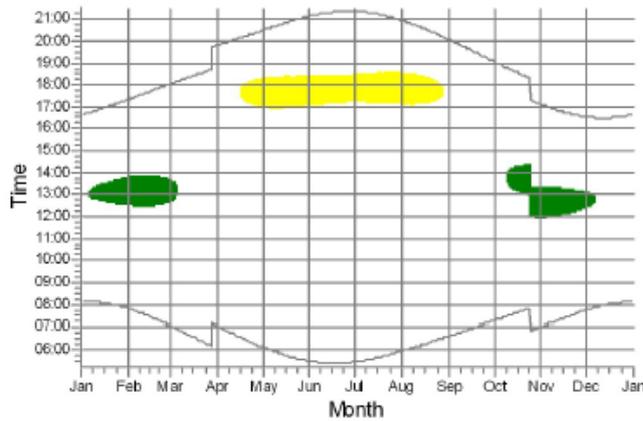
R13: Loch 4: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (12)



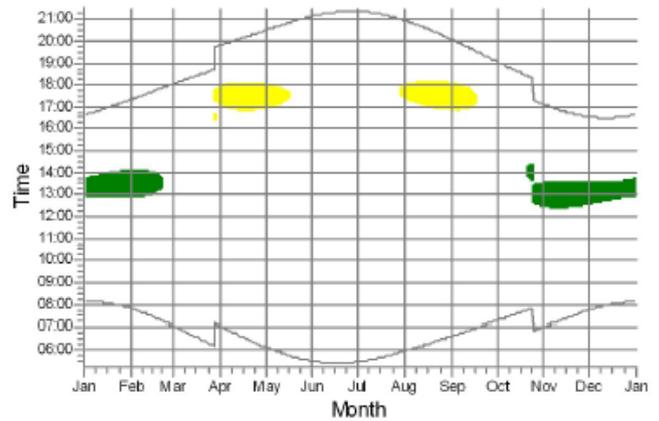
R14: Haggen W: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (33)



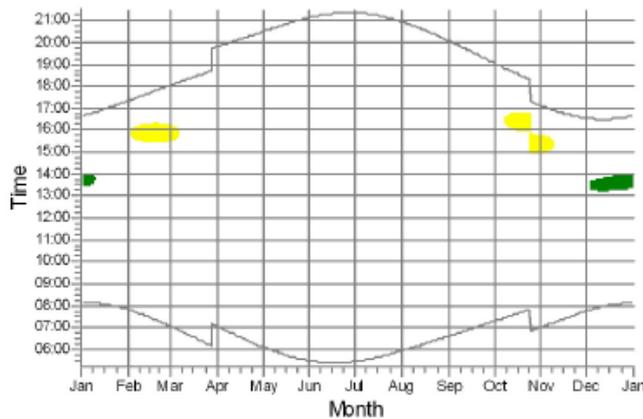
R15: Haggen S: Azimut SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (34)



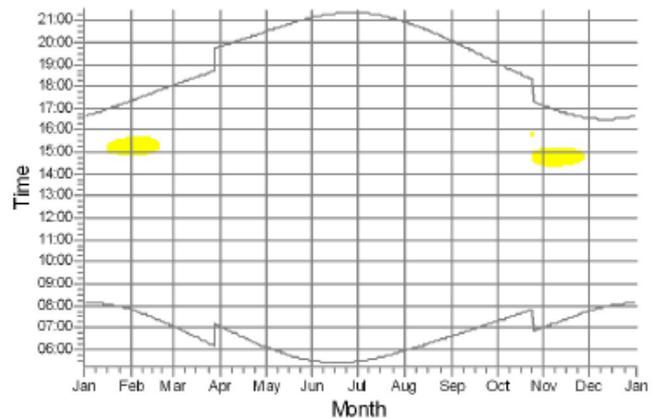
R16: Rest. Wilder Mann: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (13)



R17: Erbschrot: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (14)



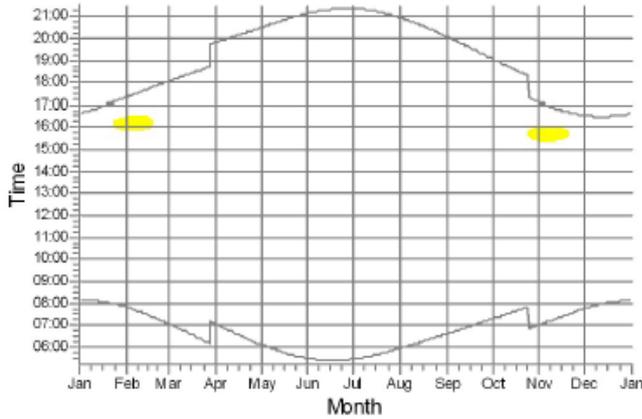
R18: Erbschrot: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (15)



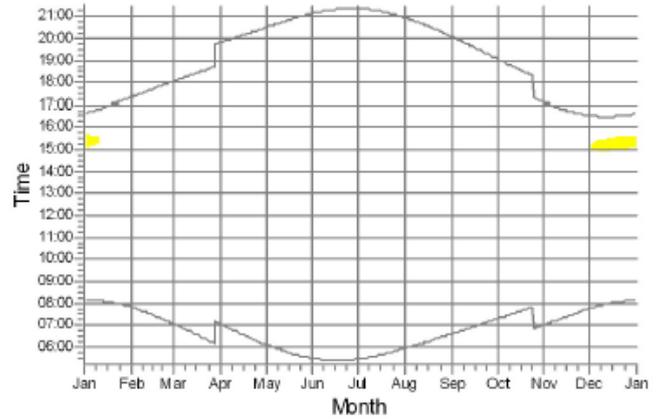
WTGs

- T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)
- T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)

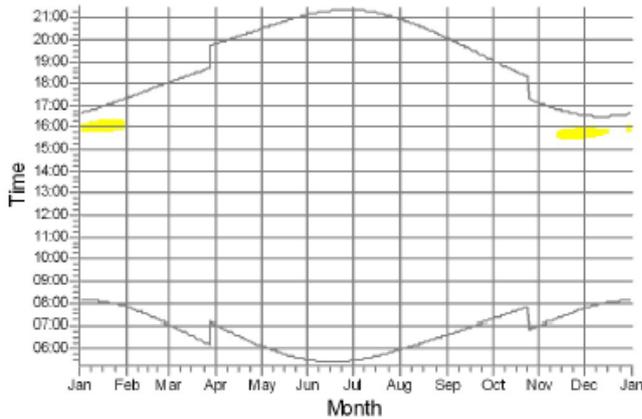
R19: Eschen: Azimut: SSO, Fenster 1×1 m 90.0° (16)



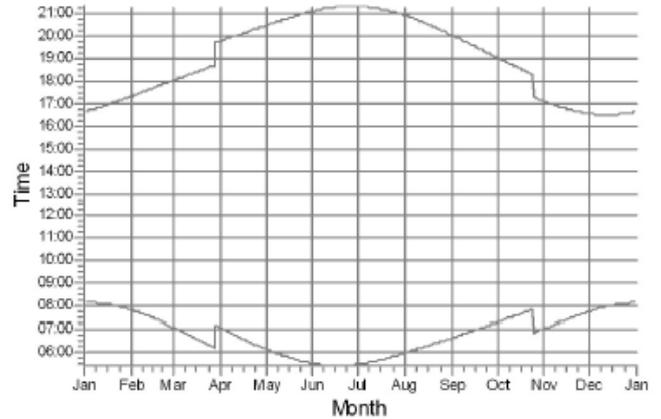
R20: Schutz: Azimut: O, Fenster 1×1 m 90.0° (17)



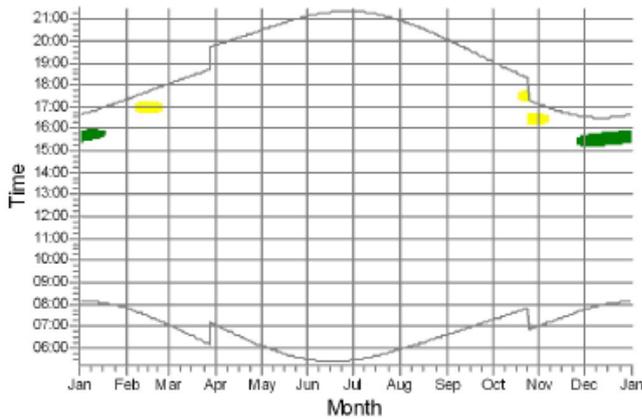
R21: Grauenstein: Azimut: SSO, Fenster 1×1 m 90.0° (18)



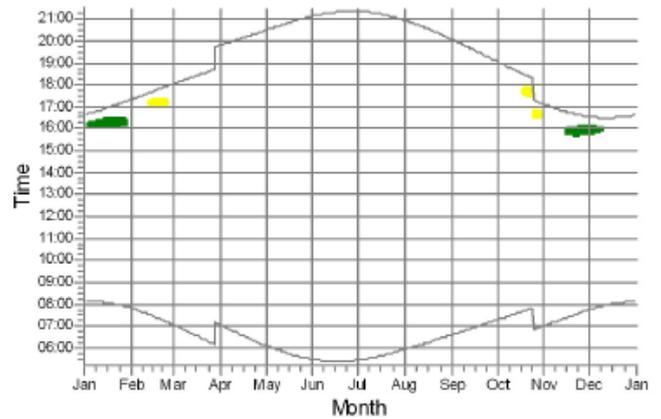
R22: St. Anton (Haggen): Azimut: S, Fenster 1×1 m 90.0° (19)



R23: St. Anton: Azimut: S, Fenster 1×1 m 90.0° (20)



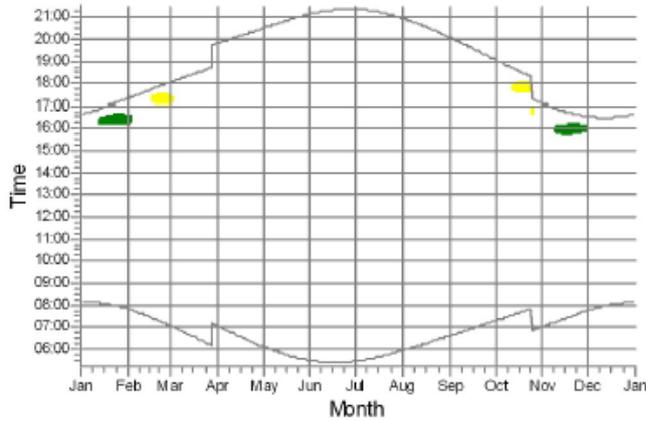
R24: Rest. S. Anton: Azimut: S, Fenster 1×1 m 90.0° (21)



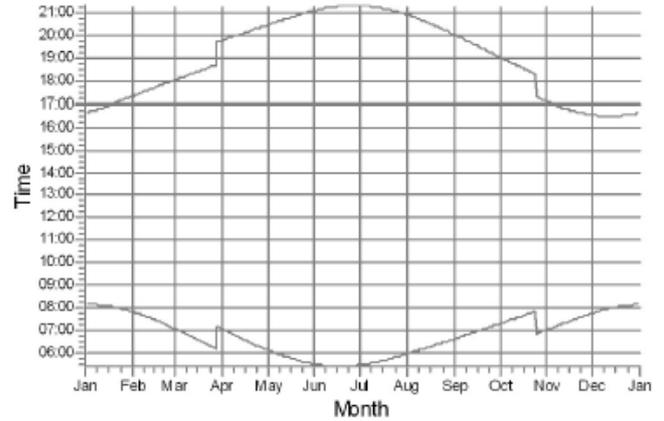
WTGs

-  T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)
-  T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)

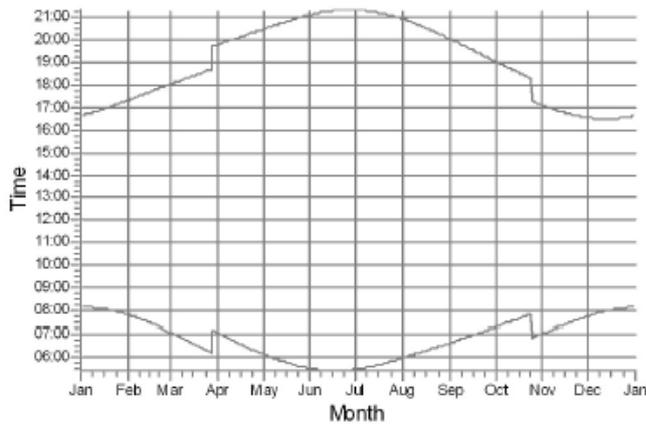
R25: Bauer: Azimut: SSO, Fenster 1×1 m 90.0° (22)



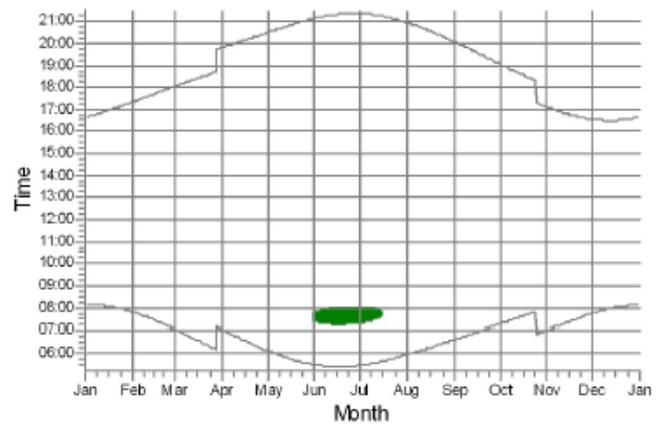
R26: Moos-Eugst: Azimut: O, Fenster 1×1 m 90.0° (23)



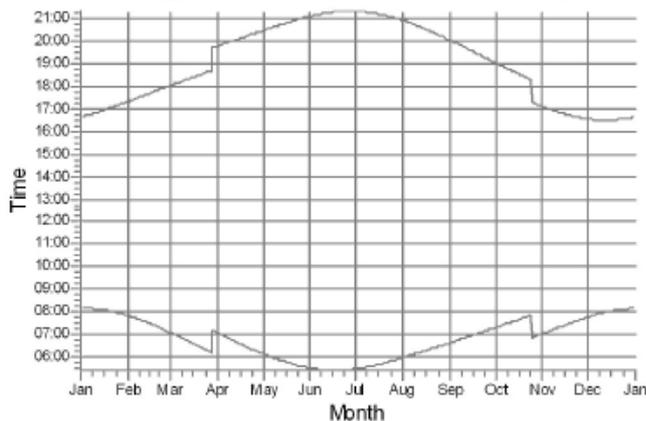
R27: Schulhaus: Azimut: S, Fenster 1×1 m 90.0° (24)



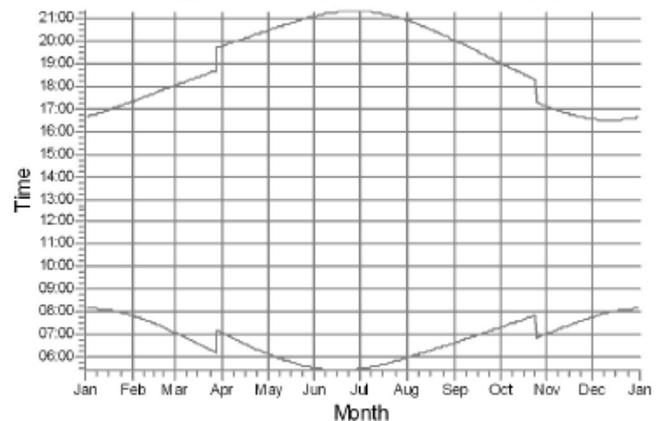
R28: Honegg NW: Azimut: S, Fenster 1×1 m 90.0° (25)



R29: Honegg SW: Azimut: S, Fenster 1×1 m 90.0° (26)



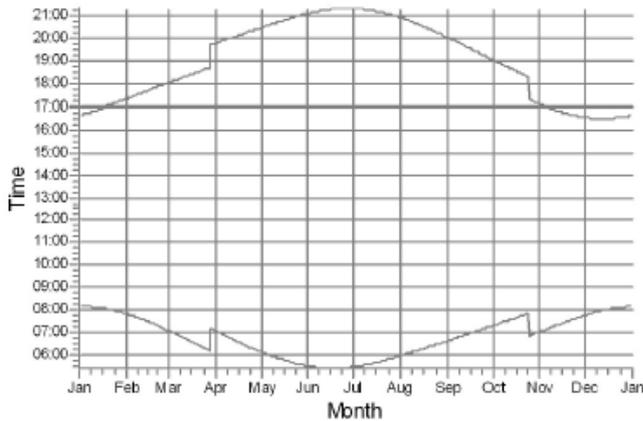
R30: Honegg S: Azimut: S, Fenster 1×1 m 90.0° (27)



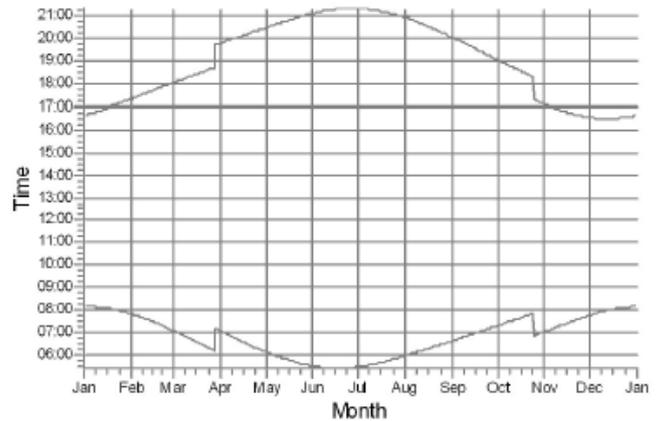
WTGs

-  T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)
-  T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)

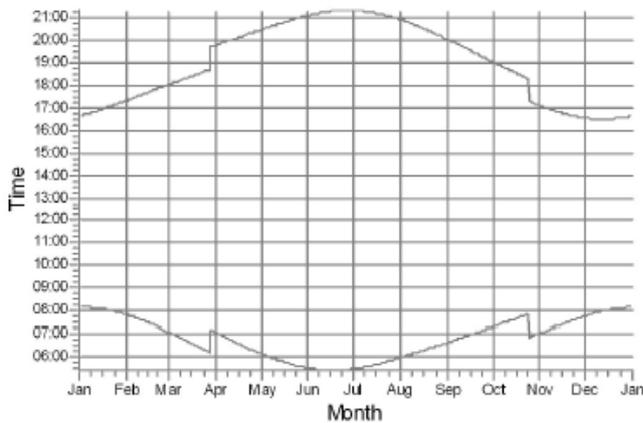
R31: Honegg O: Azimut NNO, Fenster 1x1 m 90.0° (35)



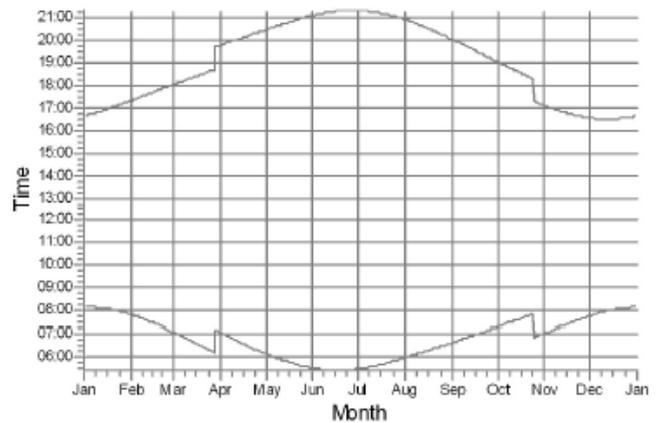
R32: Landmark: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (28)



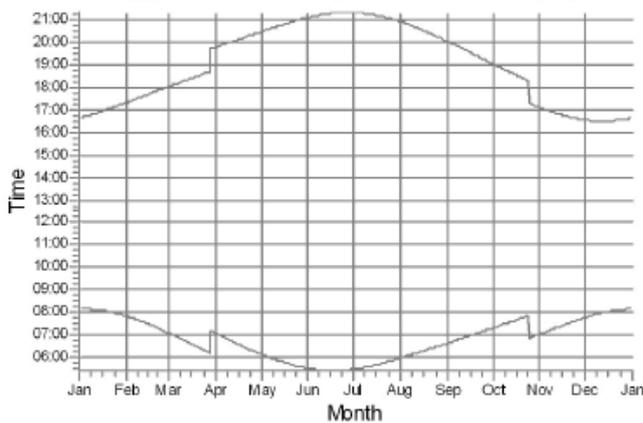
R33: Seewald: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (29)



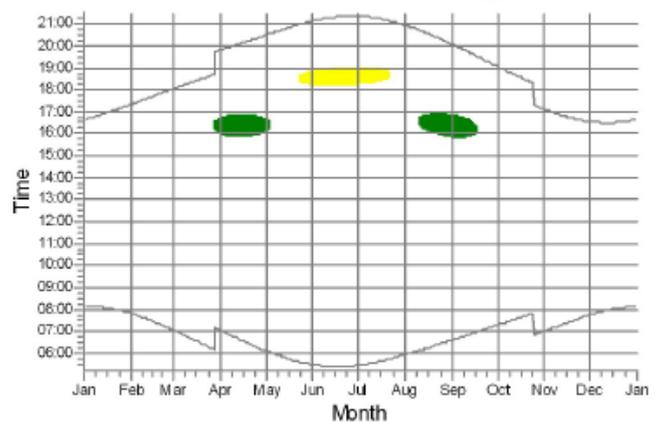
R34: Listhüser: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (30)



R35: Guggerstobel: Azimut: O, Fenster 1x1 m 90.0° (31)



R36: Im Tobelbach: Azimut: 90.0° (36)

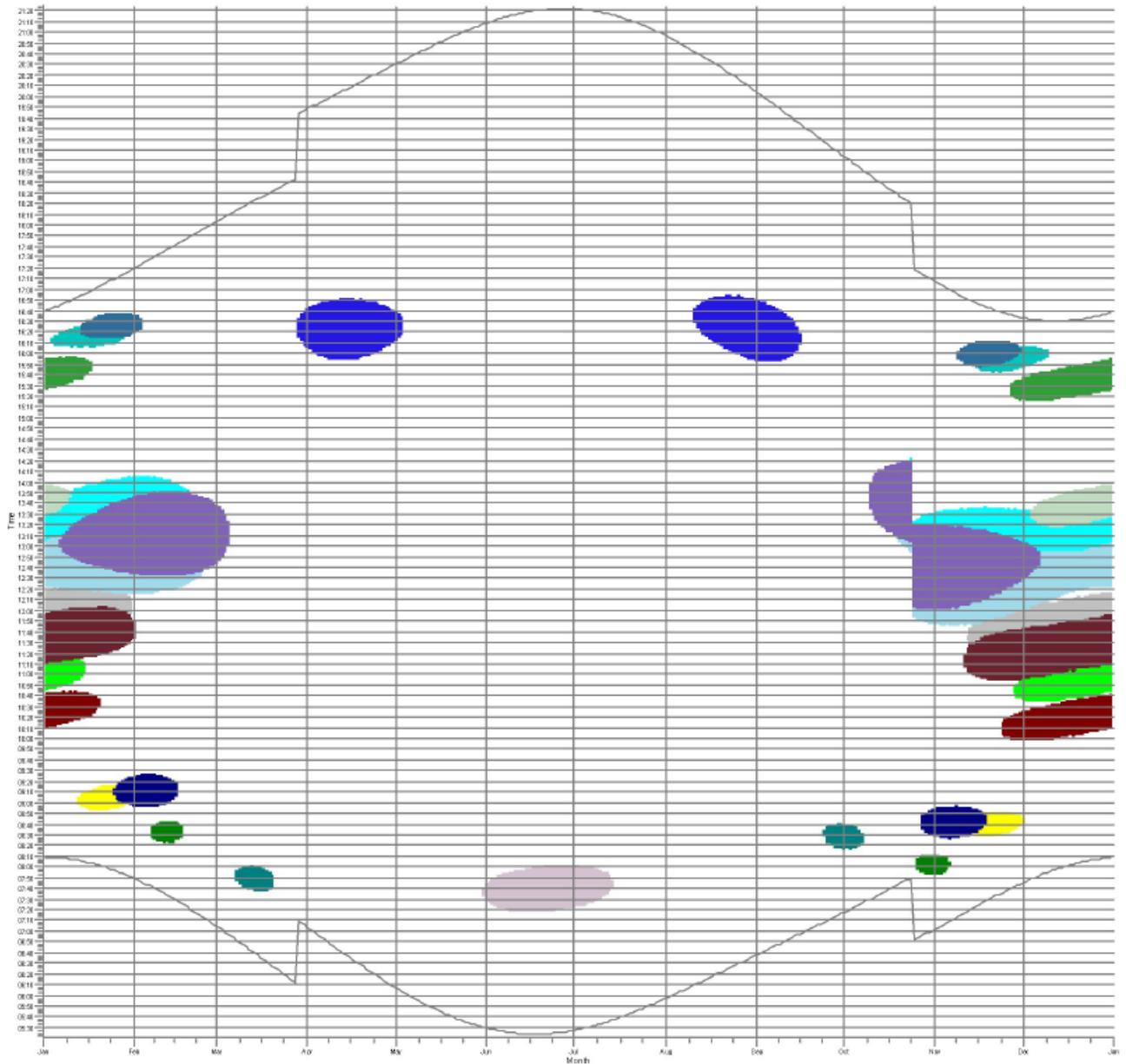


WTGs

-  T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)
-  T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)

Anhang VII Schattenkalender WEAs-Worst Case

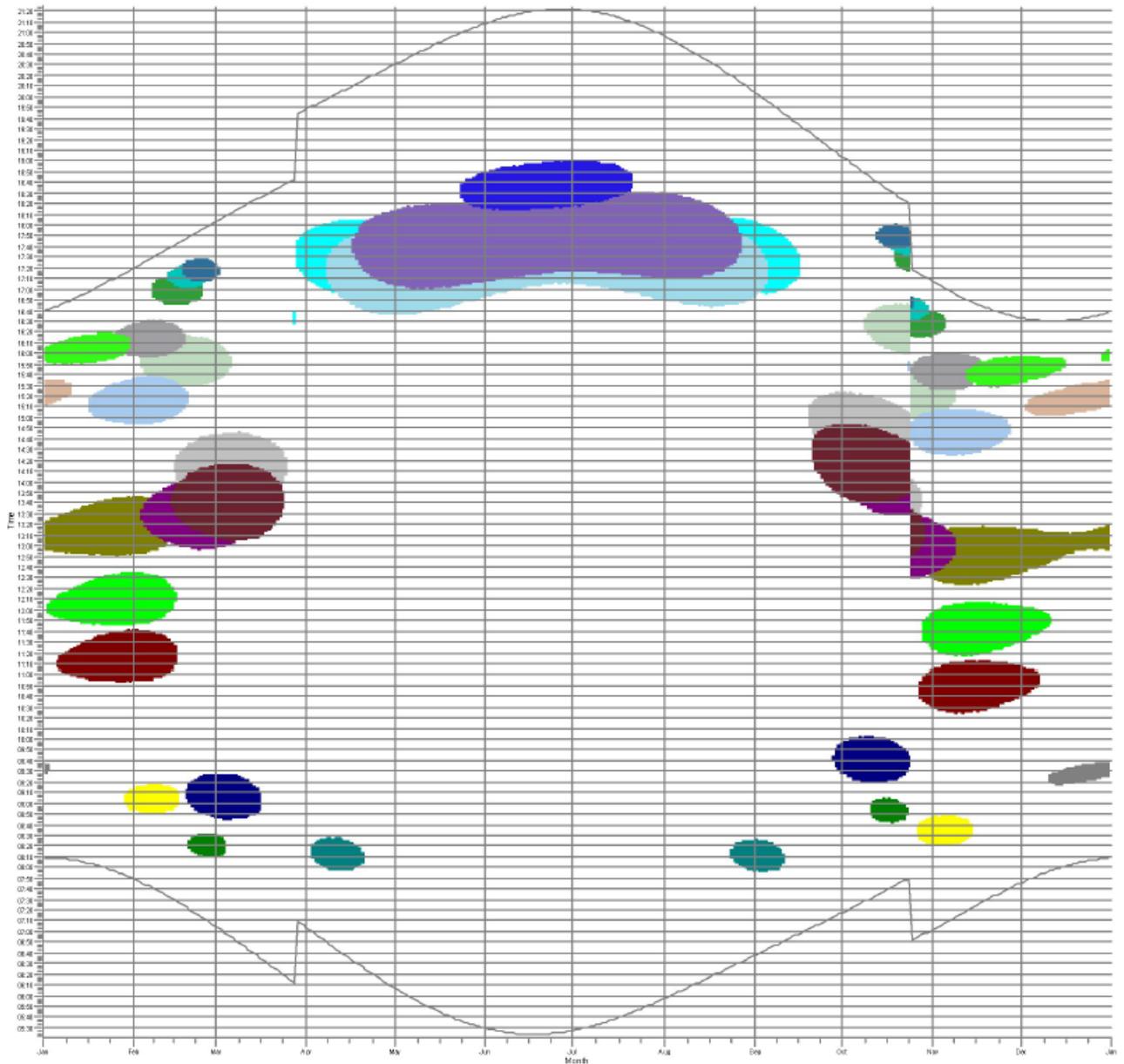
T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 IO! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)



Shadow receptors

 R 1: Nüret: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (1)	 R11: Loch 2: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (11)	 R28: Honegg NW: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (25)
 R 2: Falkenhornst: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (2)	 R13: Loch 4: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (12)	 R12: Loch 3: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (32)
 R 6: Hofgut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (6)	 R16: Rest. Wilder Mann: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (13)	 R14: Haggen W: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (33)
 R 7: Rüttwald: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (7)	 R17: Erbschrot: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (14)	 R15: Haggen S: Azimut SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (34)
 R 8: Sälg: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (8)	 R23: St. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (20)	 R36: Im Tobelbach: Azimut: 90.0° (36)
 R 9: Rest. am Seeli: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (9)	 R24: Rest. S. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (21)	
 R10: Loch 1: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (10)	 R25: Bauer: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (22)	

T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 | O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)

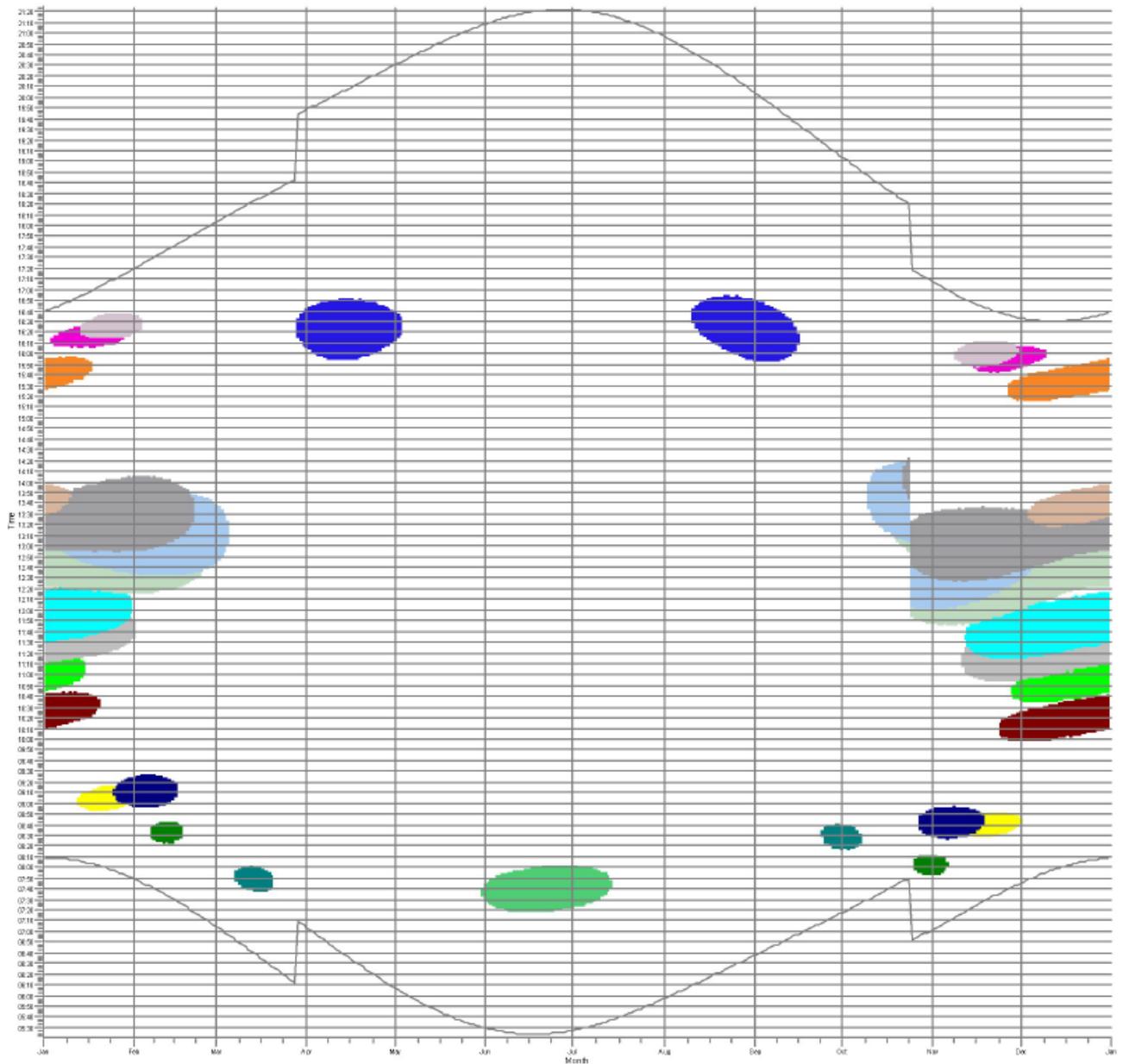


Shadow receptors

 R 1: Nüret: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (1)	 R11: Loch 2: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (11)	 R23: St. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (20)
 R 2: Falkenhorst: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (2)	 R13: Loch 4: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (12)	 R24: Rest. S. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (21)
 R 4: Faren: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (4)	 R16: Rest. Wilder Mann: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (13)	 R25: Bauer: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (22)
 R 6: Hofgut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (6)	 R17: Erbschrut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (14)	 R12: Loch 3: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (32)
 R 7: Rütweid: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (7)	 R18: Erbschrut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (15)	 R14: Haggen W: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (33)
 R 8: Säge: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (8)	 R19: Eschen: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (16)	 R15: Haggen S: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (34)
 R 9: Rest. am Seel: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (9)	 R20: Schutz: Azimut: O, Fenster 1x1 m 90.0° (17)	 R36: Im Tobelbach: Azimut: 90.0° (36)
 R10: Loch 1: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (10)	 R21: Grauenstein: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (18)	

Anhang VIII Schattenkalender WEAs-Expected

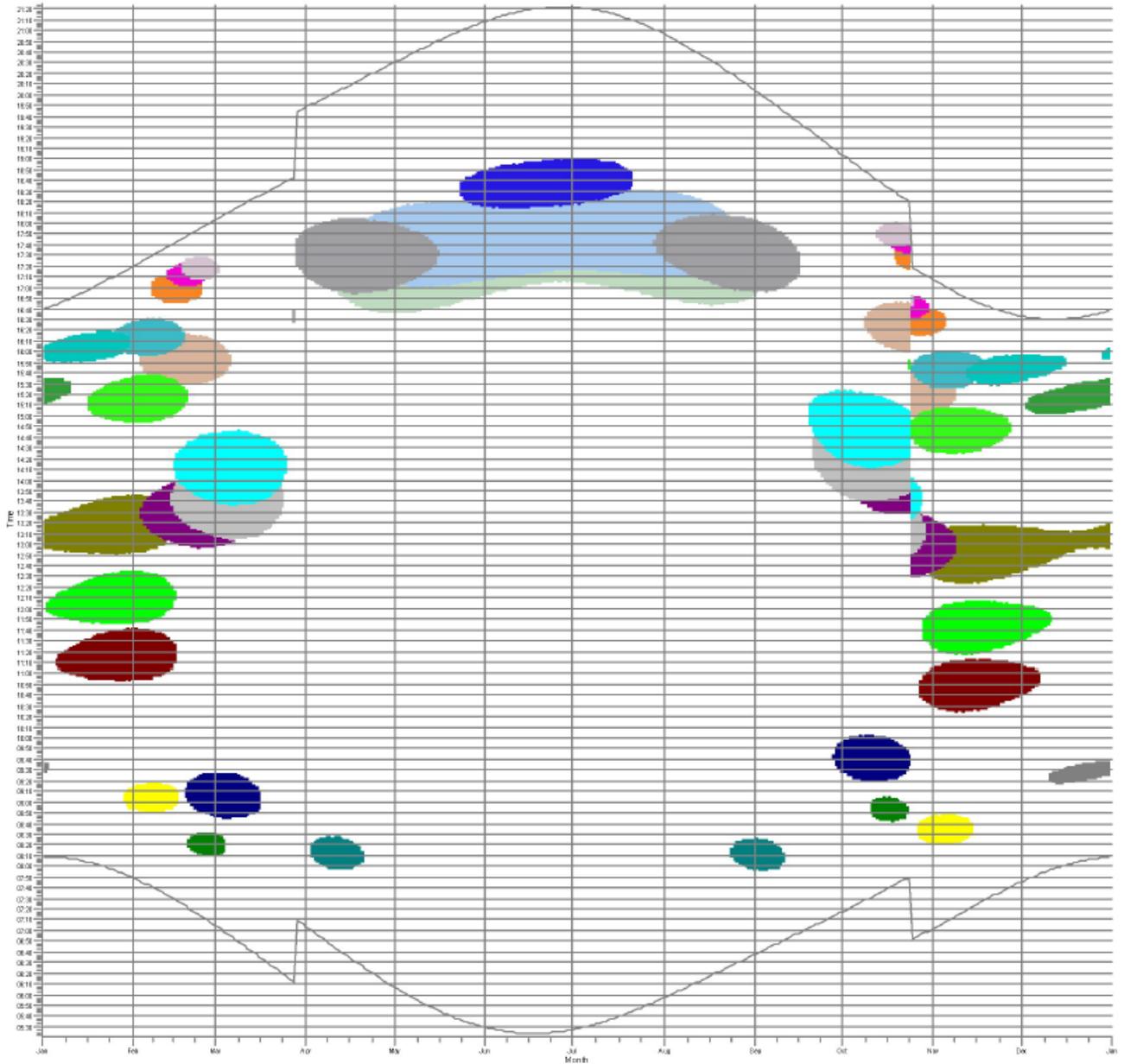
T1: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (1)



Shadow receptors

- | | | |
|---|---|--|
|  R 1: Nüret: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (1) |  R11: Loch 2: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (11) |  R23: St. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (20) |
|  R 2: Falkenhornst: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (2) |  R12: Loch 3: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (32) |  R24: Rest. S. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (21) |
|  R 6: Hofgut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (6) |  R13: Loch 4: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (12) |  R25: Bauer: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (22) |
|  R 7: Rüttwald: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (7) |  R14: Haggen W: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (33) |  R28: Honegg NW: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (25) |
|  R 8: Säge: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (8) |  R15: Haggen S: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (34) |  R36: Im Tobelbach: Azimut: 90.0° (36) |
|  R 9: Rest. am Seel: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (9) |  R16: Rest. Wilder Mann: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (13) | |
|  R10: Loch 1: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (10) |  R17: Erbschnit: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (14) | |

T2: ENERCON E-126 EP4 TES 4200 127.0 !O! hub: 135.0 m (TOT: 198.5 m) (2)



Shadow receptors

- | | | |
|---|---|--|
|  R 1: Nüret: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (1) |  R11: Loch 2: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (11) |  R19: Eschen: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (16) |
|  R 2: Falkenhorn: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (2) |  R12: Loch 3: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (32) |  R20: Schutz: Azimut: O, Fenster 1x1 m 90.0° (17) |
|  R 4: Faren: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (4) |  R13: Loch 4: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (12) |  R21: Grauenstein: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (18) |
|  R 6: Hofgut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (6) |  R14: Hagggen W: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (33) |  R23: St. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (20) |
|  R 7: Rütweid: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (7) |  R15: Hagggen S: Azimut: SSW, Fenster 1x1 m 90.0° (34) |  R24: Rest. S. Anton: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (21) |
|  R 8: Sälg: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (8) |  R16: Rest. Wilder Mann: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (13) |  R25: Bauer: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (22) |
|  R 9: Rest. am Seeli: Azimut: S, Fenster 1x1 m 90.0° (9) |  R17: Erbschnut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (14) |  R36: Im Tobelbach: Azimut: 90.0° (36) |
|  R10: Loch 1: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (10) |  R18: Erbschnut: Azimut: SSO, Fenster 1x1 m 90.0° (15) | |

Anhang IX Enercon Schattendetektor¹⁴

1 Schattenprojektion

Der Betrieb von Windkraftanlagen erzeugt bei Sonnenschein periodischen Schattenwurf auf umliegende Gebäude, was als unangenehm empfunden werden kann. Daher wird für den Betrieb von Windturbinen häufig die Installation einer Abschaltautomatik verlangt.

Periodischer Schattenwurf ist die wiederkehrende Verschattung des direkten Sonnenlichts durch die Bewegung der Rotorblätter einer Windenergieanlage. Das Auftreten dieses Effektes ist abhängig von der aktuellen, lokalen Wetterlage, der Ausrichtung der Gondel entsprechend der Windrichtung, dem Sonnenstand und den Betriebszeiten der Windenergieanlage.

Ziel der ENERCON Schattenabschaltung ist es, die Windenergieanlage unter Berücksichtigung der meteorologischen Situation zielgerichtet abzuschalten und so Immissionen durch periodischen Schattenwurf an relevanten Orten, wie z. B. Wohnräumen, Schlafräumen, Schulen und Terrassen, sicher zu vermeiden bzw. zu verringern.

2 Funktionsweise

Die ENERCON Schattenabschaltung ist eine Funktion, die in der Steuerung der ENERCON Windenergieanlage integriert ist. Sie wird anlagenbezogen in der Anlage aktiviert, für die eine Schattenabschaltung erforderlich ist. Dabei wird jede ENERCON Windenergieanlage autark geregelt. Eine Abschaltung mehrerer Anlagen über ein System, wie z. B. der Parkregelung, ist nicht möglich. Die Programmierung und Einstellung der Parameter der ENERCON Schattenabschaltung erfolgt über das Display im Steuer-schrank der Windenergieanlage.

2.1 Bestimmung der potentiellen Schattenabschaltzeit

Der ENERCON Schattenabschaltung liegt ein kalendarisches System zugrunde. Die Zeiten des astronomisch maximal möglichen Schattenwurfs für betroffene Immissionsorte werden unter Berücksichtigung der standortspezifischen Parameter, wie Nabenhöhe, Rotordurchmesser und Koordinaten der Anlage, sowie der Lage des Immissionsortes und der Topografie berechnet.

Die Ergebnisse umfassen die Schattenwurfperioden an maßgeblichen Immissionsorten unter Angabe der täglichen Anfangs- und Endzeit des periodischen Schattenwurfes. Die ermittelten Abschaltzeiten werden in Form einer Tabelle in die Steuerung der ENERCON Windenergieanlage programmiert. Ein Feinabgleich dieser Abschaltzeiten ist für jeden Immissionsort und Zeitraum jederzeit durchführbar.

2.2 Messung der Beleuchtungsstärke

Die tatsächliche Erzeugung periodischen Schattenwurfes durch die Bewegung der Rotorblätter der Windenergieanlage ist abhängig von der Sonneneinstrahlung. Gemäß der Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) ist Schattenwurf zu erwarten, wenn die Sonnenstrahlung auf der zur Einfallrichtung normalen Ebene mehr als 120 W/m² beträgt.

Die Höhe der Beleuchtungsstärke auf einer waagerechten Messfläche wird vom Einfallswinkel der Sonne (Sonnenstand) sowie dem fotometrischen Strahlungsäquivalent beeinflusst. Dieses wird von der Lichtbrechung und der Lufttrübung bestimmt und ist ebenfalls vom Sonnenstand abhängig.

Für die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit zum Sonnenstand können somit nur näherungsweise Werte bestimmt werden. Zudem ist der Anlagensteuerung der aktuelle Sonnenstand nicht bekannt. Für die ENERCON Schattenabschaltung wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem das Auftreten von Schattenwurf jederzeit genau beurteilt werden kann. Zur Messung der Beleuchtungsstärke werden drei Sensoren im Winkel von 120° im unteren Bereich des Turmes der ENERCON Windenergieanlage montiert. Durch diese Anordnung befinden sich mindestens ein Sensor an der Sonnenseite und ein Sensor an der Schattenseite des Turmes. Die Steuerung ermittelt aus den Messwerten der drei Sensoren die höchste und die

¹⁴ Technische Beschreibung Schattenabschaltung, Enercon D0229982-0

niedrigste Beleuchtungsstärke, also die Licht- bzw. die Schattenintensität. Die Beurteilung, ob Schattenwurf möglich ist, erfolgt somit nicht über eine mit Toleranzen behaftete Messung der Beleuchtungsstärke, sondern über das Verhältnis von Schatten- zu Lichtintensität, der so genannten Abschaltintensität. Für eine Bestrahlungsstärke von 120 W/m^2 beträgt die gemessene Abschaltintensität 36 %. Dieser Wert ist weitestgehend unabhängig vom Sonnenstand. Sinkt nun das Verhältnis von Schatten- zu Lichtintensität unter 36 %, liegt eine Bestrahlungsstärke von mehr als 120 W/m^2 vor. Es kommt zu Schattenwurf. Dieser Wert wurde im Rahmen eines zweijährigen Praxistests von Schattenabschaltmodulen validiert. Die Abschaltintensität kann bei Bedarf individuell verändert werden.

2.3 Abschaltautomatik

Sobald innerhalb des programmierten Abschaltfensters der eingestellte Wert der Abschaltintensität unterschritten ist, wird die ENERCON Schattenabschaltung aktiviert und die ENERCON Windenergieanlage hält an.

Eine Mittelwertbildung für die gemessene Beleuchtungsstärke erfolgt nicht. Die Abschaltautomatik reagiert somit auch bei einer kurzzeitigen Unterschreitung des Referenzwertes. Eine Verzögerungszeit für das Ansprechen der Start- bzw. Stopp-Automatik kann über Filterzeiten definiert werden. Der Parameter **Filterzeit ein** legt fest, wie lange im Mittel die Schattenintensität unterhalb der Abschaltintensität liegen muss, bis die Schattenabschaltung aktiviert wird. Der Parameter **Filterzeit aus** legt fest, wie lange im Mittel die Schattenintensität oberhalb der Abschaltintensität liegen muss, bis die Schattenabschaltung deaktiviert wird.

Ändern sich die Lichtverhältnisse, so dass Schattenwurf nicht mehr möglich ist, bleibt die Schattenabschaltung zunächst aktiv. Erst nach Ablauf des programmierten Zeitfensters oder wenn sich die Lichtverhältnisse über einen vorgegebenen Zeitraum, i. d. R. über fünf Minuten, nicht geändert haben und Schattenwurf in diesem Zeitraum nicht möglich war, wird die Schattenabschaltung inaktiv. Die Anlage nimmt den Betrieb wieder auf.

3 Toleranzen und Sicherheit

Der für die Messung der Beleuchtungsstärke verwendete Sensortyp weist in der Regel eine Toleranz von $\pm 10 \%$ auf. Nach Überprüfung der Sensoren werden im Rahmen der Qualitätssicherung werksseitig jeweils drei Sensoren ausgewählt, die zueinander eine Toleranz von maximal $\pm 1 \%$ aufweisen. Da keine absoluten Messwerte für die Auswertung der Signale von Bedeutung sind, sondern nur das Verhältnis der Beleuchtungsstärken, wird so eine sehr hohe Genauigkeit erzielt.

Zudem wird die Funktion der Lichtsensorik während des Betriebes täglich zweimal automatisch auf Plausibilität überprüft. Hierzu werden die Spannungen an den drei Lichtsensoren um Mitternacht sowie tagsüber um 13 Uhr gemessen. Sind die gemessenen Werte nicht plausibel, wird eine Meldung an den ENERCON Service gesendet, der die Sensoren vor Ort überprüft und ggf. austauscht.

Durch den Ausfall eines Sensors z. B. durch Kabelbruch oder Kurzschluss, fällt das Verhältnis von Schatten- zu Lichtintensität unter den Wert der Abschaltintensität. Die ENERCON Windenergieanlage hält innerhalb des programmierten Zeitfensters an. Die Anlagensteuerung generiert eine Warnmeldung, die angibt, welcher der drei Sensoren ausgefallen ist.

4 Protokollierung und Verfügbarkeit

Die Aktivierung der ENERCON Schattenabschaltung wird von der Datenfernübertragung als Statusmeldung mit Datum, Uhrzeit und Dauer protokolliert und über mehrere Jahre gespeichert.

Bei Bedarf erfolgt eine Protokollierung der gemessenen Daten der Lichtsensorik. Dabei wird das Verhältnis von Schatten- und Lichtintensität als Minutenmittelwert, sowie das Minimum und das Maximum des Minutenintervalls und die definierte Abschaltintensität protokolliert.

Die ENERCON Schattenabschaltung ist für alle Anlagen der aktuellen ENERCON Produktpalette verfügbar.

Anhang X Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen

H. D. Freund, 1999, Institut für Physik und allgemeine Elektrotechnik, FH Kiel

Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen

Hans D. Freund
Institut für Physik und Allgemeine Elektrotechnik, FH Kiel / Legienstr.35, 24103 Kiel

Zusammenfassung

Bewegte Helligkeitsmuster werden für das menschliche Auge unsichtbar, wenn die Helligkeitsunterschiede geringer als 2.5 % sind. Dieser Sachverhalt wird für die Berechnung der Schattenreichweite herangezogen. Die Schattenreichweite hängt von verschiedenen Einflußgrößen ab. Dazu gehören die Rotorblathtiefe, die Rotorblatthöhe und der Linke-Trübungsparameter der Luft. Ein weiterer Einflußparameter ist die Neigung der bestrahlten Fläche. Der Schattenwurf reicht für eine senkrecht bestrahlte Fläche wesentlich weiter als für eine horizontal bestrahlte Fläche.

Die in mehreren Diagrammen dargestellten Berechnungen werden mit dem zur Zeit benutzten Reichweite-Kriterium verglichen. Dieses sog. 20 % Kriterium* zeigt verschiedene Unzulänglichkeiten. Für kleine Rotorblathtiefen unterschätzt das Kriterium die Reichweiten, hingegen überschätzt es die Reichweiten für große Rotorblathtiefen. Die starke Differenzierung, die durch die Rotorblatthöhe zustande kommt, wird von dem Kriterium nahezu vollständig unterdrückt.

Teil I

Berechnungsgrundlagen und Diskussion der Rechenergebnisse

Im Halbschatten ist durch das Rotorblatt ein Teil der aktiven Sonnenfläche abgedeckt, so daß die einfallende Direktstrahlung um diesen Teil vermindert wird. Ist χ der Bruchteil der aktiven Sonnenfläche, so ist die restliche Direktstrahlung im Halbschatten $I_H = \chi \cdot I$

Dazu addiert sich die diffuse Strahlung aus dem Himmelsgewölbe. In diesem Fall können Abschattungsverluste vernachlässigt werden. Für die gesamte Bestrahlungsstärke G_H im Halbschatten ergibt sich daher

$$G_H = D + \chi \cdot I$$

Da sich die diffuse Strahlung D aus der Differenz Globalstrahlung G minus Direktstrahlung I darstellen läßt, kann die Bestrahlungsstärke im Halbschatten auch wie folgt formuliert werden.

$$G_H = G - I + \chi \cdot I = G - (1 - \chi) \cdot I$$

Der absolute und relative Bestrahlungsunterschied zur Globalstrahlung G der Umgebung ist dann

$$\Delta G = G - G_H = (1 - \chi) \cdot I$$

$$\frac{\Delta G}{G} = (1 - \chi) \frac{I}{G} \quad (1)$$

Die Direktstrahlung I und die Globalstrahlung G enthält auch die für das menschliche Auge unsichtbaren ultravioletten und infraroten Spektralbereiche. Um Aussagen über die vom Auge wahrgenommenen Helligkeitsunterschiede machen zu können, muß aus Gleichung (1) der sichtbare Bereich herausgefiltert werden. Gleichung (1) nimmt dann die Form an:

* Das 20% Kriterium geht von der Annahme aus, daß die Schattenbildung zu vernachlässigen ist, wenn von der mittleren Rotorblathtiefe nur noch 20 % der aktiven Sonnenfläche abgedeckt werden.

$$\frac{\Delta L}{L} = (1 - \chi) \frac{E(I)}{E(G)} \quad (2)$$

Darin bezeichnet L die Leuchtdichte der Umgebung, ΔL den Unterschied der Leuchtdichte zum Halbschatten, $E(I)$ die Beleuchtungsstärke der Direktstrahlung und $E(G)$ die Beleuchtungsstärke der Globalstrahlung.

Leuchtdichteunterschiede können vom Auge nicht unbegrenzt wahrgenommen werden. Für bewegte Helligkeitsmuster liegt die Sichtbarkeitsschwelle $\Delta L/L$ bei 2.5 % [6]. Da χ , $E(G)$ und $E(I)$ Funktionen von r sind, kann die Gleichung (2) mit diesem Grenzwert als **Entfernungskriterium** herangezogen werden.

In den nachfolgenden Diagrammen sind die daraus resultierenden Schattenreichweiten dargestellt. Es zeigt sich, daß neben der Höhe h die Rotorblathtiefe B und der Linke-Trübungsparameter T_L der Atmosphäre wesentliche Einflüsse auf die Schattenreichweite besitzen.

Einen großen Einfluß besitzt auch die Neigung der Beschattungsebene. Bei niedrigen Sonnenständen ist die Bestrahlung auf eine senkrechte Fläche intensiver. In diesem Fall reicht auch die Schattenbildung weiter als auf einer horizontalen Fläche. Das gilt besonders für das Flachland, hingegen können sich im Bergland für große Höhenwinkel diese Unterschiede ausgleichen.

Reichweite des Schattenwurfs einer WKA

Linke-Trübungsparameter 6 (Sommermonate)

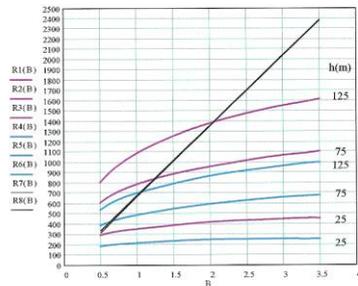


Abb. 1 Reichweiten R_i und Rotorblathtiefe B in Metern
Schattenbildung auf der vertikalen Fläche (rote Kurven)
Schattenbildung auf der horizontalen Fläche (blaue Kurven)
Parameter der Kurvenscharen ist jeweils die Rotorblatthöhe h
Die Geraden kennzeichnen das 20 % Kriterium

- 2 -

- 3 -

- 3 -

Diagramm 1 zeigt die Reichweiten des Schattenwurfs in Abhängigkeit von der Rotorblathtiefe B . Parameter der Kurvenscharen ist die Rotorblatthöhe h . Die roten Kurven beziehen sich auf eine senkrecht beschattete Fläche, hingegen gelten die blauen Kurven für die horizontal beschattete Fläche. Die hier dargestellten Reichweiten gelten für die Sommermonate, in denen der Linke-Trübungsparameter Werte um 6 besitzt. Man erkennt, daß die Schattenbildung für kleine und mittelgroße WKA die 1000 m Grenze nicht überschreitet. MVV-Anlage mit Rotorblatthöhen h oberhalb von 100 m führen hingegen zu Schattenreichweiten, die auch die 1000 m Grenze überschreiten. Aus dem Diagramm ist weiter ersichtlich, daß gerade die Rotorblatthöhe h einen entscheidenden Einfluß auf die Reichweite der Schattenbildung besitzt. Die Höhe h beeinflusst die Sonnenstandshöhe und damit die Atmosphärenschicht, die von der Strahlung zu durchdringen ist. Mit zunehmender Sonnenstandshöhe wird die zu durchdringende Atmosphärenschicht kleiner und entsprechend die direkte Strahlung größer. Die Schattenbildung wird intensiver, sie reicht weiter.

- Zum Vergleich sind die Reichweiten auch nach dem 20 % Kriterium eingetragen (schwarze Geraden). Die Unzulänglichkeit dieses Kriteriums zeigt sich in mehreren Punkten:
- Die Reichweiten errechnen sich hier nahezu unabhängig von der Rotorblatthöhe h . (Die obere Gerade gilt für die Rotorblatthöhe $h=25$ m, die untere Gerade gilt für eine Rotorblatthöhe $h=125$ m)
 - Für kleine Rotorblathtiefen unterschätzt das Kriterium die Schattenreichweiten
 - Für große Rotorblathtiefen überschätzt das Kriterium die Schattenreichweiten

Reichweite des Schattenwurfs einer WKA

Linke-Trübungsparameter 3

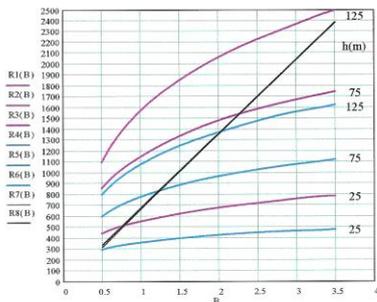


Abb. 2 Reichweiten R_i und Rotorblathtiefe B in Metern
Schattenbildung auf der vertikalen Fläche (rote Kurven)
Schattenbildung auf der horizontalen Fläche (blaue Kurven)
Parameter der Kurvenscharen ist jeweils die Rotorblatthöhe h
Die Geraden kennzeichnen das 20 % Kriterium

- 4 -

- 4 -

Diagramm 2 zeigt die Schattenreichweiten für einen Linke-Trübungsparameter 3. Dabei handelt es sich um sehr klare Luft, wie sie nur sehr selten in den Wintermonaten auftritt. Die dadurch verbesserten Strahlungsverhältnisse führen zu ca. 50 % größeren Schattenreichweiten gegenüber den Sommermonaten.

Für MW-Anlagen ergeben sich jetzt Schattenreichweiten, die für die geometrischen Berechnungen kaum noch eine Begrenzung darstellen. Es stellt sich daher die Frage, ob der Linke-Trübungsparameter T_L nicht näher an die im Mittel zu erwartende Lufttrübung herangeführt werden sollte.

Um diese Frage beantworten zu können, muß der Jahresgang des Trübungsparameters untersucht werden.

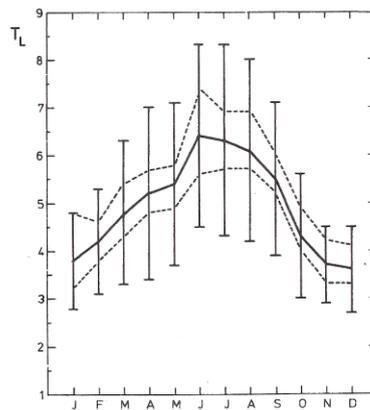


Abb. 3 Mittlerer Jahresgang des Linke-Trübungsparameters T_L in der Bundesrepublik Deutschland (ausgezogene Kurve). Die beiden gestrichelten Kurven verbinden die höchsten bzw. niedrigsten Monatsmittelwerte von 14 Meßstationen. [4]

Der Abb. 3 entnimmt man, daß der Linke-Trübungsparameter T_L im Jahresgang Mittelwerte zwischen 3.6 und 6.4 annimmt. Der Verfasser schlägt daher vor, den unteren Grenzwert des Linke-Trübungsparameters T_L auf 3.5 anzuheben. Da der Trübungsparameter exponentiell in die Rechnungen eingeht, verringern sich die Schattenreichweiten schon wesentlich. Diesen Sachverhalt kann man den nachfolgenden Abb. 4 und 5 entnehmen.

- 5 -

Reichweite des Schattenwurfs einer WKA

Linke -Trübungsfaktor 3.5 / Schattenbildung auf der **vertikalen** Fläche

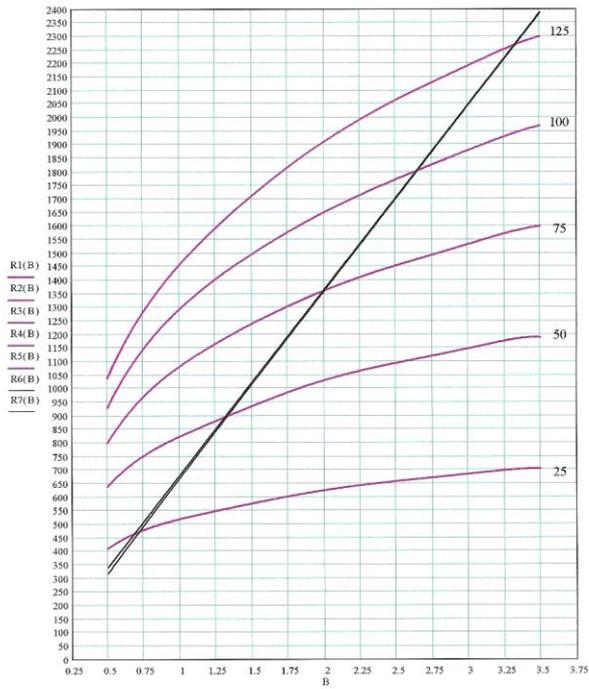


Abb. 4
Reichweiten R_i und Rotorblatttiefe B in Metern
Parameter der Kurvenschar ist die Rotorblatthöhe h (m)
Die Geraden kennzeichnen das 20 %-Kriterium

Reichweite des Schattenwurfs einer WKA

Linke-Trübungsfaktor 3.5 / Schattenbildung auf der **horizontalen** Fläche

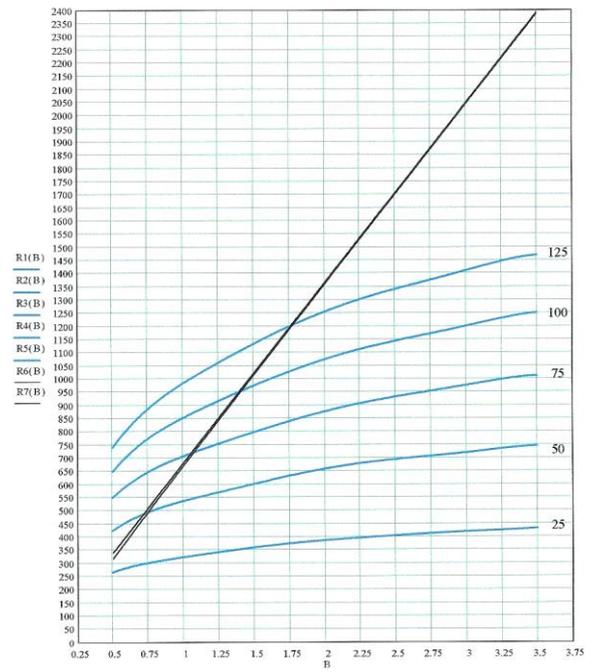


Abb. 5
Reichweiten R_i und Rotorblatttiefe B in Metern
Parameter der Kurvenschar ist die Rotorblatthöhe h (m)
Die Geraden kennzeichnen das 20 %-Kriterium

Teil II

- 7 -

1. Theoretische Auswertung des Reichweitekriteriums

Als Entfernungskriterium wird der Helligkeitsunterschied zwischen Schatten und Umgebung herangezogen. Der theoretische Zusammenhang ist nach Teil 1:

$$\frac{\Delta L}{L} = (1-\gamma) \frac{E(I)}{E(G)} \quad (2)$$

mit $\Delta L/L$: Schwellenkontrast (Grenzwert 2.5 %)
 γ : Bruchteil der aktiv strahlenden Sonnenfläche
 $E(I)$: Beleuchtungsstärke der direkten Strahlung
 $E(G)$: Beleuchtungsstärke der globalen Strahlung

Bestimmung des Quotienten $E(I)/E(G)$

• LEUCHTDICHTE UND BELEUCHTUNGSSTÄRKE

Für das Helligkeitsempfinden des Auges ist primär nicht die Beleuchtungsstärke E der bestrahlten Fläche verantwortlich, sondern die Leuchtdichte L der Reflexionsstrahlung. Gehen wir von diffusen Sekundärstrahlern (Lambertstrahlern) aus, so existiert zwischen der Leuchtdichte L und der Beleuchtungsstärke E die Beziehung:

$$L = \frac{\rho}{\pi \Omega_0} E \quad (3)$$

mit ρ : Reflexionsgrad
 Ω_0 : Einheitsraumwinkel

Man erkennt, daß beide Größen zueinander proportional sind. Dieser Proportionalfaktor kürzt sich bei der Quotientenbildung heraus, so daß nur die Beleuchtungsstärken in der Ausgangsgleichung (2) erhalten bleiben.

• BELEUCHTUNGSSTÄRKE UND ENERGETISCHE BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Die Helligkeitsbewertung eines Energiestroms wird durch seine spektrale Verteilung sowie durch die spektrale Empfindlichkeit des Auges bestimmt. Es gilt:

$$E(I) = 683 \left(\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right) \int V(\lambda) \cdot I(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

$$E(G) = 683 \left(\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right) \int V(\lambda) \cdot G(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

mit $V(\lambda)$: Relative spektrale Empfindlichkeit
 $I(\lambda)$: Spektrale Direktstrahlung
 $G(\lambda)$: Spektrale Globalstrahlung

Da die spektrale Empfindlichkeit $V(\lambda)$ von 380 nm bis 780 nm reicht, sind die Integrale in diesen Grenzen zu berechnen. Das gilt auch für alle weiteren in dieser Arbeit angeführten Integrale. In Gleichung (2) wandelt sich der Quotient wie folgt:

$$\frac{E(I)}{E(G)} = \frac{\int V(\lambda) \cdot I(\lambda) d\lambda}{\int V(\lambda) \cdot G(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

- 8 -

- 9 -

Für die Globalstrahlung G , die Direktstrahlung I sowie die durchstrahlten Atmosphärenmassen m hat Kasten [4,5] Näherungsformeln angegeben. Für die Direktstrahlung gilt:

$$I = I_0 g(\beta) k(T_L) \exp\left(\frac{-T_L}{0.9 + 9.4 / m}\right) \quad (10)$$

mit $k(T_L) = 0.75 + 0.05 T_L$
 $m = [\sin\gamma + 0.15(\gamma + 3.9)^\cdot]^{-1.25}$

Die Korrekturfunktion $k(T_L)$ stammt vom Verfasser. Sie führt zu einer besseren Meßwertanpassung bei kleinen und sehr großen Trübungs Faktoren T_L . Die Funktion $g(\beta)$ berücksichtigt die unterschiedlichen Neigungen der bestrahlten Fläche.

Auch bei der Globalstrahlung ergeben sich je nach Neigung der Empfängerfläche unterschiedliche Formeln.

a) Horizontal geneigte Fläche

$$G = 0.84 \cdot I_0 \sin(\gamma + \gamma_0) \cdot \exp[-0.027 \cdot T_L \cdot m(\gamma + \gamma_0)] \quad (11)$$

mit $\gamma_0 = 3^\circ \cdot \exp(-15 \sin\gamma)$

Die Korrekturfunktion γ_0 wurde vom Verfasser eingefügt. Sie berücksichtigt die höhere diffuse Reflexionsstrahlung der tief stehenden Sonne. Für Sonnenstandshöhen $\gamma > 10^\circ$ geht γ_0 gegen Null.

b) Vertikal geneigte Fläche

Der Beitrag der diffusen Strahlung D ist hier reduziert, da nur die Strahlung aus dem halben Himmelsgewölbe die Fläche erreichen kann. Einen zusätzlichen Beitrag liefert jetzt allerdings die Reflexionsstrahlung vom Erdboden. Nach der Formelsammlung vom Deutschen Wetterdienst folgt:

$$G_{\text{diff}} = I_{\text{diff}} + D_{\text{diff}} \quad (12)$$

$$D_{\text{diff}} = (G_{\text{diff}} - I_{\text{diff}}) \left[\tau \frac{\cos\gamma}{\sin\gamma} + 0.5(1-\tau) \right] + 0.5 \rho \cdot G_{\text{diff}} \quad (13)$$

mit $\tau = I(\beta)/g(\beta) \cdot I_0$
 ρ : Reflexionsgrad
 $G_{\text{diff}} = G(\beta=0^\circ)$, $I_{\text{diff}} = I(\beta=0^\circ)$

Damit sind alle Funktionen des Quotienten $E(I)/E(G)$ bekannt. Mit ihnen wurden die Helligkeitsunterschiede zwischen Schatten und Umgebung berechnet und daraus die Reichweiten ermittelt.

2. Das 20% Kriterium

Aus der 20%igen Abschattungsfläche ermittelt man zunächst die Schattenbreite x auf der Sonnenoberfläche. Sodann errechnet sich die Reichweite R mit dieser Größe aus einer einfachen Strahlensatzbeziehung. Man erhält die Formel:

$$R = \sqrt{\left(\frac{d \cdot B}{x}\right)^2 - h^2} \quad (14)$$

mit $x = 219.556 \text{ km}$ Schattenbreite
 $d = 150.000.000 \text{ km}$ Entfernung Erde - Sonne

- 10 -

- 8 -

Die spektrale Energieverteilung der direkten Sonnenstrahlung wurde von verschiedenen Autoren sowohl für die saubere trockene Atmosphäre als auch für die getrübbte Atmosphäre ermittelt. Hier wurden die Rechenergebnisse von Foitzik und Hinzpeter [1] herangezogen. Unter Einbeziehung des Linke-Trübungs faktors T_L kann für das Integral im Zähler eine Näherungsgleichung formuliert werden.

$$\int V(\lambda) I(\lambda) d\lambda = 0.148 \cdot I_0 g(\beta) c(T_L) \exp(-0.089 \cdot m \cdot T_L) \quad (7)$$

mit γ : Höhenwinkel der Sonne
 $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ Solarkonstante
 m : Luftmassenzahl
 $g(\beta=0^\circ) = \sin\gamma$ gilt für die horizontal beschattete Fläche
 $g(\beta=90^\circ) = \cos\gamma$ gilt für die vertikal beschattete Fläche
 $c(T_L) = 0.675 + 0.045 \cdot T_L$ Korrekturfunktion

Für mittlere Trübungs faktoren um $T_L=5$ stimmt der theoretische Ansatz gut mit den Meßwerten überein. Für sehr große und sehr kleine Trübungs faktoren gewährleistet die Korrekturfunktion $c(T_L)$ die Meßwertanpassung. Gleichung (7) läßt auch erkennen, daß die Neigung β der beschatteten Fläche eine Rolle spielt. Je nach Flächenneigung müssen unterschiedliche trigonometrische Funktionen für $g(\beta)$ gewählt werden.

Die Lösung des Integrals im Nenner der Gleichung (6) gestaltet sich schwieriger. Aufgrund der komplexen Streu- und Absorptionsvorgänge in der Atmosphäre liegen Rechenergebnisse für die spektrale Verteilung der Global- und Diffusstrahlung nur in Sonderfällen vor. Als Verteilungsfunktion wird daher die Normlichtart C der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) herangezogen [3]. Sie entspricht der gemessenen mittleren Häufigkeitsverteilung von Tageslicht (Sonnenlicht und Himmelslicht). Da diese Häufigkeitsverteilung H_0 nur als normierte Verteilung im sichtbaren Bereich bekannt ist ($\int H_0(\lambda) d\lambda = 1$), muß in den weiteren Rechnungen noch der sichtbare Anteil G_s an der gesamten Globalstrahlung ermittelt werden. Das Integral im Nenner verändert sich wie folgt:

$$\int G(\lambda) V(\lambda) d\lambda = G_s + \int H_0(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

$$\int G(\lambda) V(\lambda) d\lambda = \int I_s(\lambda) d\lambda + \alpha D \int H_0(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

mit $D = G - I$ Diffuse Strahlung
 $\alpha = 0.6$ Anteil der sichtbaren diffusen Strahlung

Die Lösung des Integrals $\int H_0(\lambda) V(\lambda) d\lambda$ führt auf den Wert 0.3. Dieser Wert entspricht dem visuellen Nutzeffekt der Globalstrahlung. Der Direktstrahlungsanteil im sichtbaren Bereich wird durch das Integral $\int I_s(\lambda) d\lambda$ beschrieben. Nach [1] kann für dieses Integral ebenfalls eine Näherungsfunktion formuliert werden.

$$\int I_s(\lambda) d\lambda = 0.41 \cdot I_0 g(\beta) c(T_L) \exp(-0.068 m T_L) \quad (9)$$

für $m \cdot T_L \geq 3$

Die Funktionen $g(\beta)$ und $c(T_L)$ sind identisch mit denen in Gleichung (7) angegebenen Gleichungen.

- 10 -

In dieser Beziehung besitzt die Rotorblatthöhe h einen vernachlässigbaren Einfluß. Näherungsweise vereinfacht sich Gleichung (14) zu:

$$R = \frac{d}{x} \cdot B \quad (15)$$

mit B Rotorblatattiefe

3. Beispiel

Betrachtet wird eine MW-Anlage mit den folgenden Abmessungen:

Nabenhöhe $H = 85 \text{ m}$
 Rotordurchmesser $D = 60 \text{ m}$
 Max. Blattiefe $b_1 = 3.30 \text{ m}$
 Min. Blattiefe $b_2 = 0.70 \text{ m}$ ($r=90\%$)
 Mittl. Blattiefe $B = 2.00 \text{ m}$

Der große Rotordurchmesser führt zu ganz unterschiedlichen Schattenreichweiten in Abhängigkeit von der Blattiefe und der Blatthöhe. Die maximale Reichweite R kann bei der Blatthöhe $h = H + D/4$ erwartet werden. Hier stimmt die effektive Blattiefe mit der mittleren Blattiefe überein. In größeren Höhen muß die Reichweite wieder abnehmen, weil die Blattiefe kontinuierlich abnimmt. Auch zur Nabe hin wird die Reichweite nicht größer werden, da die Reichweitzunahme infolge größerer Blattiefe durch eine Reichweitzunahme in geringeren Höhen kompensiert wird. Für das Beispiel gilt mit $h = H + D/4 = 100 \text{ m}$

Aus den Abb. 4 und 5 liest man die folgenden maximalen Reichweiten ab:

Schatten auf der horizontalen Fläche $R = 1075 \text{ m}$ (750 m Sommermonat)
 Schatten auf der vertikalen Fläche $R = 1650 \text{ m}$ (1200 m Sommermonat)
 20% Kriterium $R = 1360 \text{ m}$

Aus dem Zahlenbeispiel wird ersichtlich, daß das 20 % Kriterium in keinem Fall die richtige Lösung liefert.

4. Literatur

- [1] L. Foitzik, H. Hinzpeter
Sonnenstrahlung und Lufttrübung
Akademische Verlagsgesellschaft Gees + Portig, Leipzig 1958
- [2] R. Schulze
Strahlenklima der Erde, Darmstadt, Steinkopff 1970
- [3] Handbuch für Beleuchtung, Girardet 1975
- [4] Kasten, Dehne, Behr, Bergholter
Die räumliche und zeitliche Verteilung der diffusen und direkten Sonnenstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland
Forschungsbericht (BMFT) T84-125 / 1984
- [5] F. Kasten
A New Table and Approximation Formula for the Relative Optical Air Mass
Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. Ser. B14, 206-223 (1965)
- [6] H. - J. Hentschel
Licht und Beleuchtung
Hüthig Verlag Heidelberg 1987

Anhang XI Literaturverzeichnis

Publikationen

Ländergemeinschaft für Immissionsschutz (LAI): Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), Richtlinien Niedersachsen, 13.03.2002.

Bundesverband für Windenergie e.V.: Abstandsempfehlungen für die Planung von Windenergieanlagen. Positionspaper von September 2005.

Dachverband der deutschen Natur- und Umweltschutzverbände (DNR) e. V.: Grundlagenarbeit für eine Informationskampagne "Umwelt- und naturverträgliche Windenergienutzung in Deutschland (onshore)" Analyseteil, 1. März 2005.

Freund, H.D.: Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen. Umweltforschungsdatenbank U-FORDAT, Juni 1999.

Freund, H.D.: Einflüsse der Lufttrübung, der Sonnenausdehnung und der Flügelform auf den Schattenwurf von Windenergieanlagen. DEWI Magazin 20, Februar 2002, 43-51.

Ketteler, G., Beckmann, E.: Aktuelle Rechtsfragen im Zusammenhang mit der Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen. Gutachterliche Stellungnahme im Auftrag des parlamentarischen Beratungs- und Gutachterdienst des Landtags NRW, 9. November 2005.

Ministerium für Arbeit und Landesentwicklung, Umweltministerium: Hinweise für die Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen in Mecklenburg Vorpommern (WKA-Hinweise M-V), Gemeinsame Bekanntmachung, Entwurf vom 6. Juli 2004.

Ullner, K.: Schattenwurfprognose für zwei Windenergieanlagen am Standort Bardowick (Niedersachsen). Bericht Nr. BAR- 04051- 1SU von CUBE Engineering GmbH, 27. August 2004.

Anhang XII Untersuchte Gebäude

Amtliche Vermessung Gde (AI, Bezirk Oberegg) <https://www.geoportal.ch>

R 1 Wald

Flächenblatt

578

Gemeinde:	Wald	Plan:	14
Grundstück:	578	Mutation:	939
Fläche:	4492 m2		
Lokalname:	Nüret		
Strasse:	Nüret		

Anteil	Eigentümer
1	Messmer Philipp, Nüret 630, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			466
Stallgebäude		479	688
Strasse			361
übrige befestigte			808
Wiese / Weide			1709
Wohnhaus mit Käserei	502723	630	175
Wohnhaus mit Stadel	502684	237	285

R 2 Wald

Flächenblatt

415

Gemeinde:	Wald	Plan:	16
Grundstück:	415	Mutation:	939
Fläche:	113637 m2		
Lokalname:	Falkenhorst		
Strasse:	Falkenhorst		

Anteil	Eigentümer
1/2	Hohl Hans, Falkenhorst 161, 9044 Wald AR
1/2	Hohl Irene, Falkenhorst 161, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Bienenhaus		440	7
Gartenanlage			1597
Remise		439	22
Strasse			990
übrige befestigte			526
Weg			908
Wiese / Weide			109004
Wohnhaus mit Scheune	502759	161	583

R 3 Wald

Flächenblatt

80

Gemeinde:	Wald	Plan:	3
Grundstück:	80	Mutation:	939
Fläche:	10920 m2		
Lokalname:	Dorf		
Strasse:	Dorf		

Anteil	Eigentümer
1	Einwohnergemeinde Wald AR, Dorf 37, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			1964
Kindergarten	2008986	592	143
Mehrzweckanlage		629	1083
Schulhaus	502665	388	421
übrige befestigte			2388
Wiese / Weide			4921

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Zone für öffentliche Bauten und Anlagen	OE	10626
Wohnzone	W2	171
Kernzone	K	123

R 4 Wald

376

Flächenblatt

Gemeinde:	Wald	Plan:	17
Grundstück:	376	Mutation:	939
Fläche:	17759 m2		
Lokalname:	Farenschwendi		
Strasse:	Farenschwendi		

Anteil	Eigentümer
1	Laich Hansruedi, Farenschwendi 142, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			54
Gartenanlage			493
geschlossener Wald			972
Strasse			782
Weg			126
Wiese / Weide			15040
Wohnhaus mit Remise	502747	142	292

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	16733
Wald	WA	972
Gewässer	GW	54

Flächenblatt

R 5 Wald

409

Gemeinde:	Wald	Plan:	20, 23
Grundstück:	409	Mutation:	939
Fläche:	133280 m2		
Lokalname:	Zelg		
Strasse:	Zelg		

Anteil	Eigentümer
1	Buschor Felix, Zelg 192, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			760
geschlossener Wald			21413
Stallgebäude		329	129
Strasse			1365
übrige befestigte			861
Weg			1
Wiese / Weide			108226
Wohnhaus mit Scheune	502799	192	525

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	111488
Wald	WA	21030
Gewässer	GW	760
N	N	5
L	L	3

Flächenblatt

R 6 Wald

699

Gemeinde:	Wald	Plan:	27
Grundstück:	699	Mutation:	939
Fläche:	2038 m2		
Lokalname:	Hofguet		
Strasse:	Hofguet		

Anteil	Eigentümer
1/2	Aebi Christian, Im Rosen 10, 9450 Lüchingen
1/2	Aebi Pascale, Loch 211, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			962
Weg			214
Wiese / Weide			702
Wohnhaus	502820	222	160

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	2038

R 7 Wald

Flächenblatt

443

Gemeinde:	Wald	Plan:	26
Grundstück:	443	Mutation:	939
Fläche:	9122 m2		
Lokalname:	Rütiweid		
Strasse:	Rütiweid		

Anteil	Eigentümer
1	Frei Fritz, Erbengemeinschaft, Hohenbachstrasse 59, 8105 Regensdorf

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			355
geschlossener Wald			255
Weg			142
Wiese / Weide			8254
Wohnhaus	502816	216	116

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	8866
Wald	WA	255

R 8 Wald

Flächenblatt

436

Gemeinde:	Wald	Plan:	25, 8
Grundstück:	436	Mutation:	939
Fläche:	24704 m2		
Lokalname:	Büchler		
Strasse:	Büchler		

Anteil	Eigentümer
1	Giezendanner Roland, Obergaden 702, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Betriebsgebäude		468	276
fließendes Gewässer			158
Gartenanlage			113
Weg			825
Wiese / Weide			23332

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	24554
Gewässer	GW	150

R 9 Wald

Flächenblatt

753

Gemeinde:	Wald	Plan:	25
Grundstück:	753	Mutation:	939
Fläche:	5358 m2		
Lokalname:	Loch		
Strasse:	Loch		

Anteil	Eigentümer
1	Aebi Peter, Oberdorf 628, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Betriebsgebäude		549	182
fließendes Gewässer			209
Gartenanlage			1193
Gartenhaus		679	4
Schopf		571	85
übrige befestigte			1199
übrige humusierte			394
Weg			384
Wiese / Weide			1357
Wohn-und Gasthaus	502811	211	351

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
übriges Gemeindegebiet	ÜG	5149
Gewässer	GW	209

R10 Wald

563

Flächenblatt

Gemeinde:	Wald	Plan:	24
Grundstück:	563	Mutation:	939
Fläche:	1000 m2		
Lokalname:	Erbschrut		
Strasse:	Erbschrut		

Anteil	Eigentümer
1/2	Lehner Benedikt, Erbschrut 210, 9044 Wald AR
1/2	Lehner Denise, Erbschrut 210, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			838
Wohnhaus	502810	210	162

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	1000

R11 Wald

Flächenblatt

759

Gemeinde:	Wald	Plan:	25
Grundstück:	759	Mutation:	939
Fläche:	999 m2		
Lokalname:	Loch		
Strasse:	Loch		

Anteil	Eigentümer
1/2	Hunziker Andreas, Loch 208, 9044 Wald AR
1/2	Hunziker Manuela, Obere Neuschwendi 4, 9043 Trogen

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			12
Gartenanlage			753
geschlossener Wald			98
Wohnhaus mit Scheune	502809	208	136

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	889
Wald	WA	98
Gewässer	GW	12

R12 Wald

446

Flächenblatt

Gemeinde:	Wald	Plan:	25
Grundstück:	446	Mutation:	939
Fläche:	16149 m2		
Lokalname:	Loch		
Strasse:	Loch		

Anteil	Eigentümer
1	Einwohnergemeinde Wald AR, Dorf 37, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			73
Gartenanlage			478
geschlossener Wald			7594
Stadel		206	91
übrige befestigte			139
Wiese / Weide			7774

Zonenflächen

Keine Zonenflächen

R13 Wald

Flächenblatt

707

Gemeinde:	Wald	Plan:	25
Grundstück:	707	Mutation:	939
Fläche:	1915 m2		
Lokalname:	Loch		
Strasse:	Loch		

Anteil	Eigentümer
1	Rohner Verena, Loch 588, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			869
übrige befestigte			171
Wiese / Weide			802
Wohnhaus	502840	588	73

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	1915

R14 Oberegg

Flächenblatt

560

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	560	Mutation:	1730
Fläche:	11935 m2		
Lokalname:	Haggen		
Strasse:	Haggenstrasse 14, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Bürki-Heierli Johannes, Haggenstrasse 14, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Bürki-Heierli Johannes, Haggenstrasse 14, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Platz			723
Stall		1135	330
Wald			3783
Weg			144
Wiese			6785
Wohnhaus und Stall	1715773	387	170

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	8143
WA	WA	3783
VFBs	VFBs	9

R15 Oberegg

Flächenblatt

1336

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	1336	Mutation:	1756
Fläche:	600 m2		
Lokalname:	Haggen		
Strasse:	Haggenstrasse 5, Oberegg		
Eigentumsform:	Miteigentum		

Verwalter: **Urech-Stuedler Benjamin, Haggenstrasse 5, 9413 Oberegg**

Anteil	Eigentümer
1/2	Urech-Stuedler Benjamin, Haggenstrasse 5, 9413 Oberegg
1/2	Urech-Stuedler Marlise, Haggenstrasse 5, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			539
Wohnhaus	400016260	960	61

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	598
VFBs	VFBs	1

R16 Oberegg

Flächenblatt

564

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	564	Mutation:	1730
Fläche:	4409 m2		
Lokalname:	Haggen		
Strasse:	Haggenstrasse 10, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Bürki-Widmer Bruno, Haggenstrasse 10, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Bürki-Widmer Bruno, Restaurant zum Wilden Mann, Haggen, Haggenstrasse 10, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Platz			378
Werkgebäude		1262	8
Wiese			3707
Wohn- und Gewerbegebäude	1715769	388	316

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	4408

R17 Wald

706

Flächenblatt

Gemeinde:	Wald	Plan:	24
Grundstück:	706	Mutation:	939
Fläche:	1060 m2		
Lokalname:	Erbschrut		
Strasse:	Erbschrut		

Anteil	Eigentümer
1	Loppacher Hans, Hinterbühle 1053, 9427 Wolfhalden

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			869
Wohnhaus	502807	203	191

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone	L	1060

R18 Wald

485

Flächenblatt

Gemeinde:	Wald	Plan:	24
Grundstück:	485	Mutation:	939
Fläche:	100396 m2		
Lokalname:	Erbschrut		
Strasse:	Erbschrut		

Anteil	Eigentümer
1	Sen Heidi, Erbschrut 198, 9044 Wald AR

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			528
geschlossener Wald			13152
Remise		547	117
übrige befestigte			675
Weg			610
Weidstadel		460	53
Wiese / Weide			84890
Wohnhaus mit Stadel	502804	198	371

Zonenflächen

Keine Zonenflächen

R19 Wald

Flächenblatt

756

Gemeinde:	Wald	Plan:	24
Grundstück:	756	Mutation:	939
Fläche:	1973 m2		
Lokalname:	Eschen		
Strasse:	Eschen		

Anteil	Eigentümer
1/4	Früh Roger, Am Wäldli 6, 9322 Egnach
1/4	Hard Urs Viktor, Weinhaldestrasse 5, 9403 Goldach
1/4	Lachauer Wilhelm Leo, Achslenstrasse 12, 9016 St. Gallen
1/4	Meli Sylvia, Taubenstrasse 19, 9113 Degersheim

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			1108
Weg			61
Wiese / Weide			614
Wohnhaus	502806	202	190

Flächenblatt **R20 Oberegg** 1442

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	5
Grundstück:	1442	Mutation:	1730
Fläche:	873 m2		
Lokalname:	Schutz		
Strasse:	Rüteggstrasse 9, Oberegg		
Eigentumsform:	Miteigentum		

Verwalter: **Ulmann-Küng Thomas, Rüteggstrasse 9, 9413 Oberegg**

Anteil	Eigentümer
1/2	Ulmann-Küng Erika, Rüteggstrasse 9, 9413 Oberegg
1/2	Ulmann-Küng Thomas, Rüteggstrasse 9, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			490
Gebäude		298	18
Platz			191
Wohnhaus	1715807	297	174

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	873

R21 Oberegg

Flächenblatt

421

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	6
Grundstück:	421	Mutation:	1832
Fläche:	86571 m2		
Lokalname:	Schabersloch		
Strasse:	Rüteggstrasse 12, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Eugster-Marchesoni Viktor, Rüteggstrasse 12, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
 1/1 Eugster-Marchesoni Viktor, Rüteggstrasse 12, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gebäude			4
Platz			705
Stall		302	51
Stall		866	627
Strasse			162
übrige befestigte Fläche			86
Wald			28856
Weg			564
Weide			10056
Wiese			45253
Wohnhaus und Stall	1715801	300	207

Zonenflächen

Keine Zonenflächen

R22 Oberegg

Flächenblatt

439

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	6
Grundstück:	439	Mutation:	1737
Fläche:	40673 m2		
Lokalname:	St. Anton		
Strasse:	Rüteggstrasse 2, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Bezirk Oberegg Bezirksverwaltung, Dorfstrasse 17, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
 1/1 Bezirk Oberegg Bezirksverwaltung, Dorfstrasse 17, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			54
Gartenanlage			234
Platz			221
Stall		314	71
Strasse			1411
Wald			296
Weide			15698
Werkgebäude		1141	142
Werkgebäude		1145	10
Wiese			22310
Wohnhaus und Stall	1715800	312	226

Zonenflächen

Keine Zonenflächen

Flächenblatt

R23 Oberegg

440

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	6
Grundstück:	440	Mutation:	1737
Fläche:	899 m2		
Lokalname:	St. Anton		
Strasse:	St. Antonstrasse 68, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Kafi Anton GmbH, St. Antonstrasse 68, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Kafi Anton GmbH, St. Antonstrasse 68, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			66
Platz			631
Wohn- und Gewerbegebäude	1715771	315	202

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
WG3	WG3	779
L	L	119

Flächenblatt

R24 Oberegg

446

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	6
Grundstück:	446	Mutation:	1737
Fläche:	3152 m2		
Lokalname:	St. Anton		
Strasse:	St. Antonstrasse 60, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Manser-Bächler Thomas, St. Antonstrasse 60, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
 1/1 Manser-Bächler Thomas, Restaurant St. Anton, St. Antonstrasse 60, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			393
Platz			1385
Strasse			34
Wald			925
Wohn- und Gewerbegebäude	190192002	319	415

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
WG3	WG3	2216
WA	WA	935
L	L	1

Flächenblatt

R25 Oberegg

496

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	6
Grundstück:	496	Mutation:	1832
Fläche:	63043 m2		
Lokalname:	St. Anton		
Strasse:	St. Antonstrasse 79, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Sonderegger-Mutzner Johannes, St. Antonstrasse 79, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Sonderegger-Mutzner Johannes, St. Antonstrasse 79, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			177
Gebäude			7
Platz			1284
Stall		1245	367
Stall		349	79
Stall		350	38
Strasse			261
übrige befestigte Fläche			42
Wald			17112
Weg			496
Weide			11467
Wiese			30452
Wohnhaus und Stall	1715833	348	1127
Wohnhaus und Stall	1715834	904	134

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	45751
WA	WA	17108
GW	GW	184

R26 Oberegg

Flächenblatt

292

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	4
Grundstück:	292	Mutation:	1832
Fläche:	39038 m2		
Lokalname:	Moos		
Strasse:	St. Antonstrasse 45, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Eugster-Eugster Roman, Bischofsberg 427, 9410 Heiden**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Eugster-Eugster Roman, Bischofsberg 427, 9410 Heiden

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Feldgehölz			183
fließendes Gewässer			60
Gebäude		875	47
Platz			380
Strasse			191
Wald			9282
Weide			11617
Wiese			16697
Wohnhaus und Stall	1715704	275	581

Zonenflächen

Keine Zonenflächen

Flächenblatt

R27 Oberegg

65

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	21
Grundstück:	65	Mutation:	1832
Fläche:	4560 m2		
Lokalname:	Kirchplatz		
Strasse:	Kirchplatz 8, Grüngutmulde, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Schulgemeinde Oberegg, Kirchplatz 5, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Schulgemeinde Oberegg, Kirchplatz 5, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			1473
Gebäude			16
Gebäude		1126	48
Platz			1633
Schulgebäude	1715885	57	156
Schulgebäude	400016259	943	1234

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Oe	Oe	4560

R28 Oberegg

Flächenblatt

543

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	543	Mutation:	1730
Fläche:	177 m2		
Lokalname:	Honegg		
Strasse:	Honeggstrasse 20, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Karrer-Wehrli Gebhard, Honeggstrasse 20, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Karrer-Wehrli Gebhard, Honeggstrasse 20, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			98
Wohnhaus	2711723	380	79

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	177

Flächenblatt

R29 Oberegg

509

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	509	Mutation:	1832
Fläche:	65079 m2		
Lokalname:	Honegg		
Strasse:	Honeggstrasse 3, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Breu-Bamert Paul, sel. Erben, Honeggstrasse 3, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Breu-Bamert Paul, sel. Erben, Honeggstrasse 3, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			371
Gebäude		1285	55
Gebäude		368	165
Platz			866
Stall		369	52
Strasse			400
Wald			14887
Weide			11500
Wiese			36379
Wohnhaus und Stall	1715759	367	404

Zonenflächen

Keine Zonenflächen

Flächenblatt **R30 Oberegg** 545

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	545	Mutation:	1730
Fläche:	2291 m2		
Lokalname:	Honegg		
Strasse:	Honeggstrasse 8, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Bänziger-Bischofberger Werner, Kirchgass 8, 9442 Berneck**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Bänziger-Bischofberger Werner, Kirchgass 8, 9442 Berneck

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			1318
Platz			714
übrige befestigte Fläche			41
Wohnhaus	190192800	382	218

Zonenflächen

Keine Zonenflächen

R31 Oberegg

Flächenblatt

546

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	546	Mutation:	1832
Fläche:	40909 m2		
Lokalname:	Honegg		
Strasse:	Sägliweidstrasse 3, Honegg, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Krippel Martin, Landis + Gyr-Strasse 1, 6304 Zug**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Krippel Martin, Landis + Gyr-Strasse 1, 6304 Zug

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			281
Platz			586
Stall		824	217
Strasse			384
Wald			12679
Weg			312
Weide			26305
Wohnhaus	190192848	384	145

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	28235
WA	WA	12664
VFBs	VFBs	10

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	591	Mutation:	1730
Fläche:	1934 m2		
Lokalname:	Landmark		
Strasse:	Ruppenstrasse 1, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Jud-Frei Stefan, Ruppenboden 3, 9450 Altstätten SG**

Anteil **Eigentümer**
1/1 Jud-Frei Stefan, Ruppenboden 3, 9450 Altstätten SG

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Gartenanlage			478
Platz			804
Stall		410	72
Wiese			345
Wohn- und Gewerbegebäude	1715754	409	235

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
L	L	1934

Gemeinde:	Altstätten	Plan:	17
Grundstück:	4711	Mutation:	LS003339
Fläche:	1563 m2		
Lokalname:	Sewald		
Strasse:	Sewald		

Keine Eigentümerberechtigung oder keine Angaben gefunden.

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Acker, Wiese			151
Gebäude	1094607	2792	108
Gebäude		2793	117
Gebäude		2794	24
geschlossener Wald			25
Strasse, Weg			62
Weide			1076

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone		1562
Hinweis Verkehrsfläche		1

Flächenblatt

R34 Altstätten

1635

Gemeinde:	Altstätten	Plan:	17
Grundstück:	1635	Mutation:	KE ALT
Fläche:	6200 m2		
Lokalname:	Listshüser		
Strasse:	Listshäuser		

Keine Eigentümerberechtigung oder keine Angaben gefunden.

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Acker, Wiese			5727
Gebäude	9016833	2841	94
Gebäude	1094593	2842	142
Gebäude		5750	199
Strasse, Weg			38

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone		6200

Flächenblatt

R35 Altstätten

1647

Gemeinde:	Altstätten	Plan:	17
Grundstück:	1647	Mutation:	KE ALT
Fläche:	18802 m2		
Lokalname:	Guggerstobel		
Strasse:	Guggerstobel		

Keine Eigentümerberechtigung oder keine Angaben gefunden.

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
Acker, Wiese			17985
fließendes Gewässer			55
Gebäude	1094571	2851	85
Gebäude		2852	81
Gebäude		6880	50
geschlossener Wald			35
Strasse, Weg			511

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
Landwirtschaftszone		18761
Hinweis Gewässer		41

R36 Oberegg

Flächenblatt

799

Gemeinde:	Oberegg	Plan:	7
Grundstück:	799	Mutation:	1730
Fläche:	37005 m2		
Lokalname:	Haggentobel		
Strasse:	Haggentobel 8, Oberegg		
Eigentumsform:	Alleineigentum		

Verwalter: **Bürki-Widmer Bruno, Haggenstrasse 10, 9413 Oberegg**

Anteil **Eigentümer**
 1/1 Bürki-Widmer Bruno, Restaurant zum Wilden Mann, Haggen, Haggenstrasse 10, 9413 Oberegg

Bodenbedeckung

Kulturart	EGID	Assek.Nr.	Fläche m2
fließendes Gewässer			357
Stall		361	49
Wald			25546
Weide			11053

Zonenflächen

Zonenart	Kürzel	Fläche m2
WA	WA	25546
L	L	11098
GW	GW	362