

Schattenwurfgutachten für das Windprojekt
Oberfeld AI

Berechnung des Schattenwurfs
für zwei Windenergieanlagen

JH Wind GmbH
Johannes Hagemann
Gruberhof 8
79110 Freiburg im Breisgau

Amtsgericht Freiburg HRB 708246
Geschäftsführer: Johannes Hagemann

Auftraggeber:

Appenzeller Wind AG
Wiesstrasse 13
9431 Oberegg
Schweiz

Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Die Lage im Gelände.....	4
3. Die Richtlinien, Literatur und Daten	5
4. Die Vorgehensweise	6
4.1 Die Methode	6
4.2 Die astronomisch maximal mögliche Schattenwurfdauer	10
4.3 Die meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer.....	11
5. Die Immissionsorte.....	13
6. Die Ergebnisse	15
6.1 Karten des Schattenwurfs	15
6.2 Schattenwurf an den Immissionsorten	17
6.3 Detaillierte Ergebnisse	18
7. Fazit	25
8. Schlussbemerkungen zum Gutachten	26
Tabellenverzeichnis	27
Abbildungsverzeichnis.....	27

1. Einleitung

Für den Standort Oberfeld wird für zwei Windenergieanlagen, im Folgenden WEA genannt, der Schattenwurf berechnet. Es soll in diesem Gutachten der mögliche Schattenwurf an Punkten der Schatten-Immission, auch als Schattenrezeptoren bezeichnet berechnet werden.

So kann dargestellt, an welchen Zeiten im Jahr Schattenwurf zu erwarten ist. Es soll somit geklärt werden, ob Grenzwerte vom zulässigen Schattenwurf erreicht werden und ob gegebenenfalls mit einer Abschaltautomatik eine Belastung durch Schattenwurf verhindert werden müsste. Ergebnisse liefern die möglichen jährlichen Stunden des Schattenwurfs und tägliche Schattenwurfdauer und mögliche Tageszeiten. Auf Schattenwurfkarten wird die räumliche Verteilung des Schattenwurfs gezeigt.

2. Die Lage im Gelände

Der Standort liegt ca. 3 km nordwestlich von Altstätten, 10 km östlich von St. Gallen und 12 km nordöstlich von Appenzell.

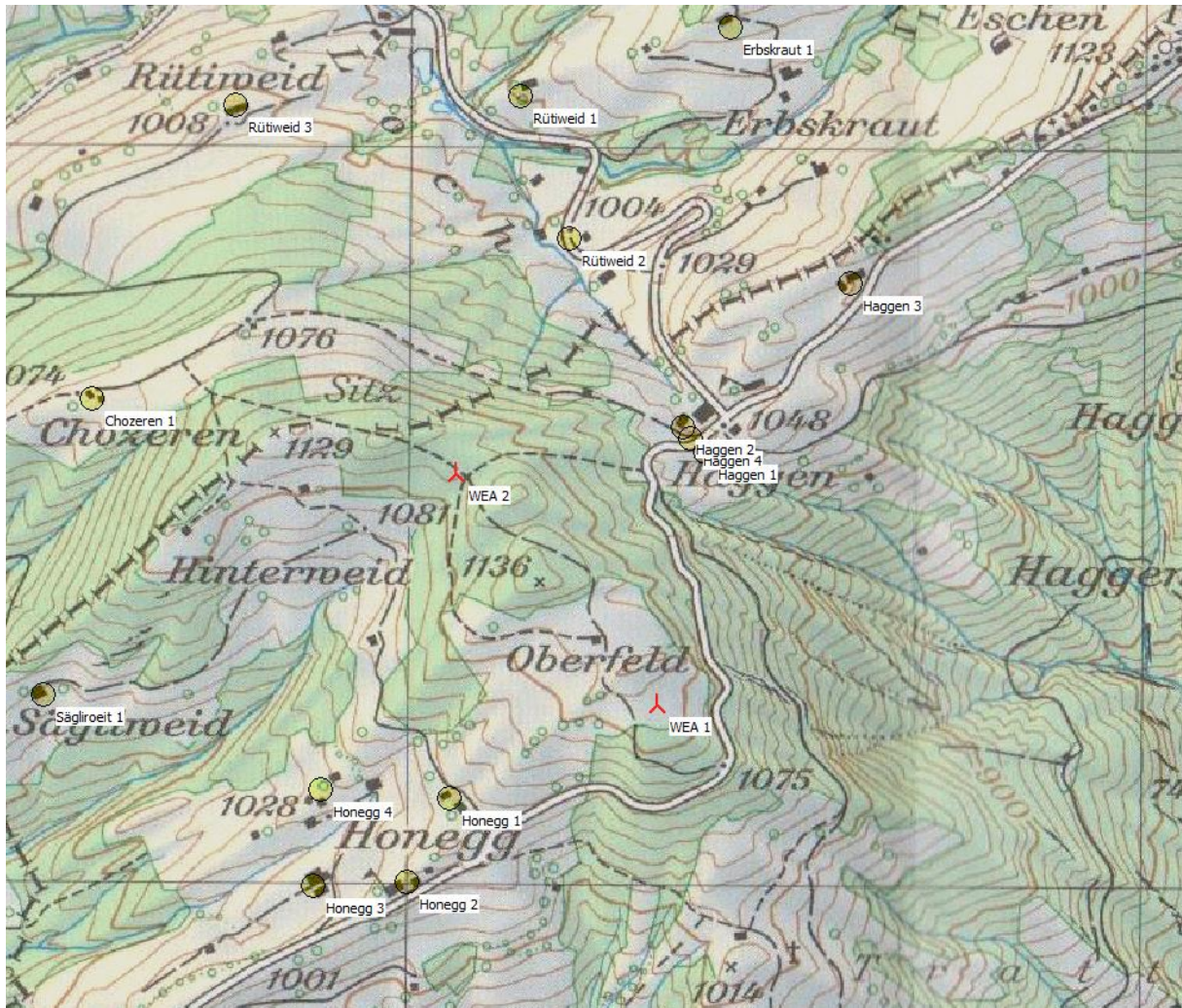


Abbildung 1- Karte: WEA 1, WEA 2 und Immissionsorte, Raster 1 km

	Rechtswert	Hochwert	m ü. M.
WEA 1	2.757.344,0	1.252.243,0	1.106,2
WEA 2	2.757.070,0	1.252.554,0	1.110,0
<i>Koordinatensystem: Swiss (LV95)</i>			

Tabelle 1- Koordinaten der WEA

3. Die Richtlinien, Literatur und Daten

/1/ *Pflichtenheft Machbarkeitsstudie Windenergieprojekt Oberegg, AI, Interwind Ltd Buchzellweg 5 CH-8053*

/2/ *<http://www.suisse-eole.ch/de/windenergie/einfluss-auf-menschen/schattenwurf/>*

/3/ *Sonnenscheindauer St. Gallen, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/ext/climate-overview-series-public.html*

/4/ *The Switzerland Elevation Model (SwissALTI3D) produced by SwissTopo - the Bundesamt for Landestopografie. Distribution through EMD and windPRO.*

/5/ *Eigene Detaillierte Ergebnisse dieses Gutachtens SHADOW_241_16_702_Schatten_Oberfeld.pdf*

In

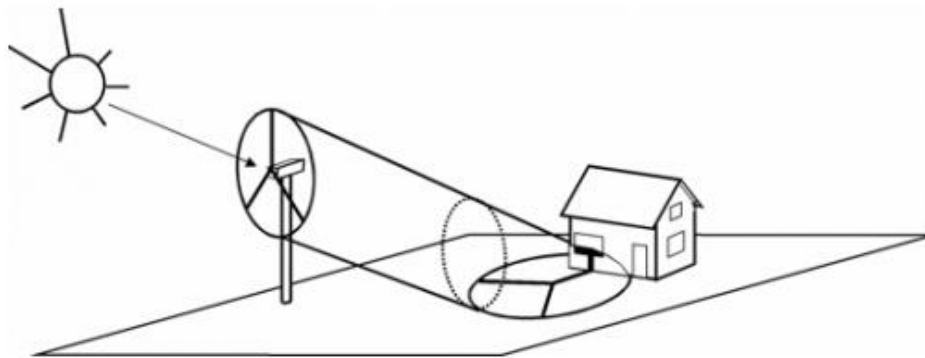
In der Studie /1/ wird darauf verwiesen, dass auch in Appenzell AI, wie in Deutschland, gilt, dass der Schattenwurf auf maximal 8 Stunden im Jahr und 30 Minuten am Tag zu begrenzen ist. Auch auf der Homepage von *suisse éole* wird auf diese Werte verwiesen (siehe: /2/).

4. Die Vorgehensweise

4.1 Die Methode

Schatten einer Windenergieanlage

Von einer WEA wird durch den drehenden Rotor Schattenwurf verursacht, der für Menschen eine Beeinträchtigung darstellen kann. Der Schattenwurf tritt periodisch auf. Je nach Drehzahl einer WEA werden Lichtwechsel verursacht, die Frequenzen von 0,5 bis 3 Hz (Lichtwechsel/Sekunde) betragen können.



- Schattenwurf durch Rotor



Abbildung 2- Foto: Beispiel Schatten einer WEA

Es wird zwischen dem Kernschatten, bei dem das Rotorblatt das einfallende Sonnenlicht völlig abdeckt, und dem Halbschatten, bei dem das Rotorblatt einen Teil des einfallenden Sonnenlichts abdeckt, unterschieden. Bei schmalen Rotorblättern tritt der Kernschatten nur in einer Entfernung bis ca. 150 m zur WEA auf. Mit zunehmender Entfernung zur WEA werden die Helligkeitsschwankungen geringer, d. h. ein immer

geringerer Teil des Sonnenlichts wird durch das Rotorblatt verdeckt. Werden weniger als 20% des Sonnenlichts verdeckt, sind die auftretenden Helligkeitsschwankungen zu vernachlässigen.

Bei Sonnenständen unter 3° würde theoretisch ein unendlich weiter Schattenwurf auftreten. Es hat sich jedoch gezeigt, dass hierbei kaum ein wahrnehmbarer Schattenwurf auftritt. Somit werden Sonnenstände unter 3° nicht bei der Schattenwurfberechnung berücksichtigt.

Der Gang des Schattens wird von dem Modul *SHADOW* der WindPro Software Version 3.6.355 für den Rotor einer WEA jeweils in Abständen von 2 Minuten berechnet.

Folgende Daten gehen in die Berechnungen ein:

WEA-Positionen:

Geographische Koordinaten des Standorts (x,y,z)

WEA-Daten:

Daten über die Rotorblatttiefe der WEA, welche über die Reichweite des Schattenwurfs einer WEA entscheidet.

WEA 1 und WEA 2	
Hersteller	Enercon
Typ	E - 138 EP3 E3
Rotor Drehzahl	4,4 bis 11,1 U/min
Blatttiefe bei 90 % Radius	1,04 m
Blatttiefe maximal	3,93 m
Nennleistung	4.260 [kW]
Nabenhöhe	131,0 [m]
Rotordurchmesser	138 [m]

Tabelle 2- WEA-Typ

Schattenrezeptoren:

Dies sind beispielsweise Fenster nach Osten in einer Größe von 2 m x 2 m. Für jeden Tag des Jahres werden Zeitpunkte des möglichen Schattenwurfs und Summen von möglichen jährlichen, monatlichen und täglichen Schattenwürfen für jeden Rezeptor berechnet.

Sonnenverlauf:

In einem mathematischen Modell wird der Sonnenstand für ein Jahr simuliert, wobei im Wesentlichen folgende Faktoren bestimmend sind:

- Erdrotation
- Neigung der Erdachse
- Die elliptische Laufbahn der Erde um die Sonne:
Die Entfernung zwischen Sonne und Erde ändert sich zwischen 152,1 Mio km und 147,1 Mio km
- Deklination der Sonne: Winkel des Sonnenstrahls zum Erdmittelpunkt:
Zur Äquatorebene ändert sich dieser zwischen $-23,5^\circ$ am 21. Dezember und $+23,5^\circ$ am 21. Juni.

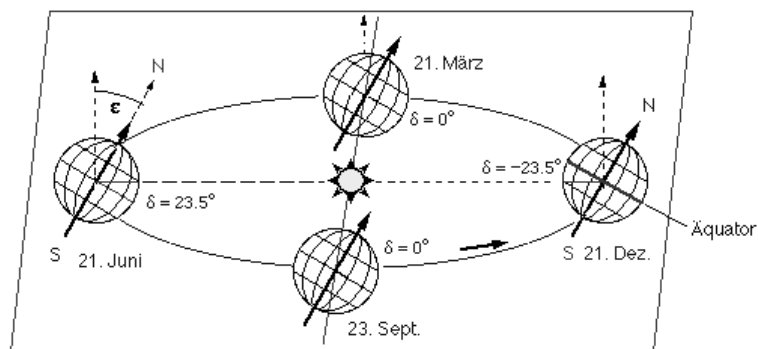


Abbildung 3- Jährlicher Umlauf der Sonne um die Erde

Aus dem Sonnenverlauf ergeben sich für den Betrachter scheinbare Sonnenbahnen je nach Standort und Zeitpunkt. Nachfolgend sehen Sie ein Beispiel für einen Standort 50° nördlicher Breite:

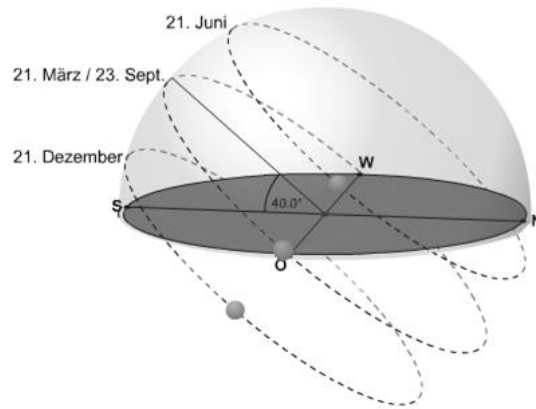


Abbildung 4- Scheinbare Sonnenbahnen

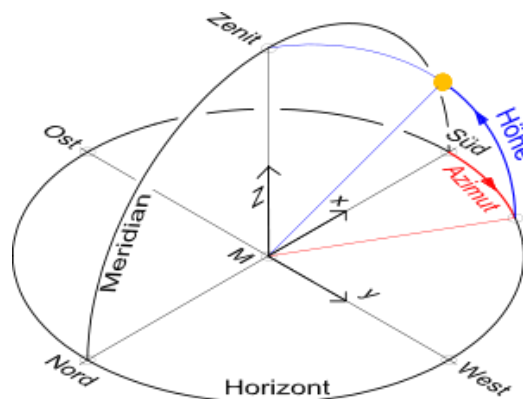


Abbildung 5- Berechnung des Sonnenstands

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den Sonnenstand relativ zum Betrachter. Für den Abstand von 2 Minuten werden der Sonnenstand und der entsprechende Einfallswinkel der Sonnenstrahlen berechnet.

4.2 Die astronomisch maximal mögliche Schattenwurfdauer

Für die geplanten Windenergieanlagen werden aufgrund einer „**worst case**“-Berechnung die täglichen und jährlichen Zeiten des Schattenwurfs für umliegende Immissionspunkte berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass der Himmel nie bewölkt ist, die Windenergieanlagen immer in Betrieb sind und die Windrichtung den Schattenwurf begünstigt. Es gibt Richtlinien, die eine solche Berechnung fordern, wie etwa die in Deutschland oft angewendeten *Empfehlungen des Staatlichen Umweltamtes Schleswig*.

4.3 Die meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer

Bei dieser Berechnung werden zusätzlich zu den täglichen Zeiten von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang die Zeiten der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit berücksichtigt. Dabei wird jeweils die monatlich gemessene mittlere Sonnenscheindauer einer meteorologischen Messung verwendet.

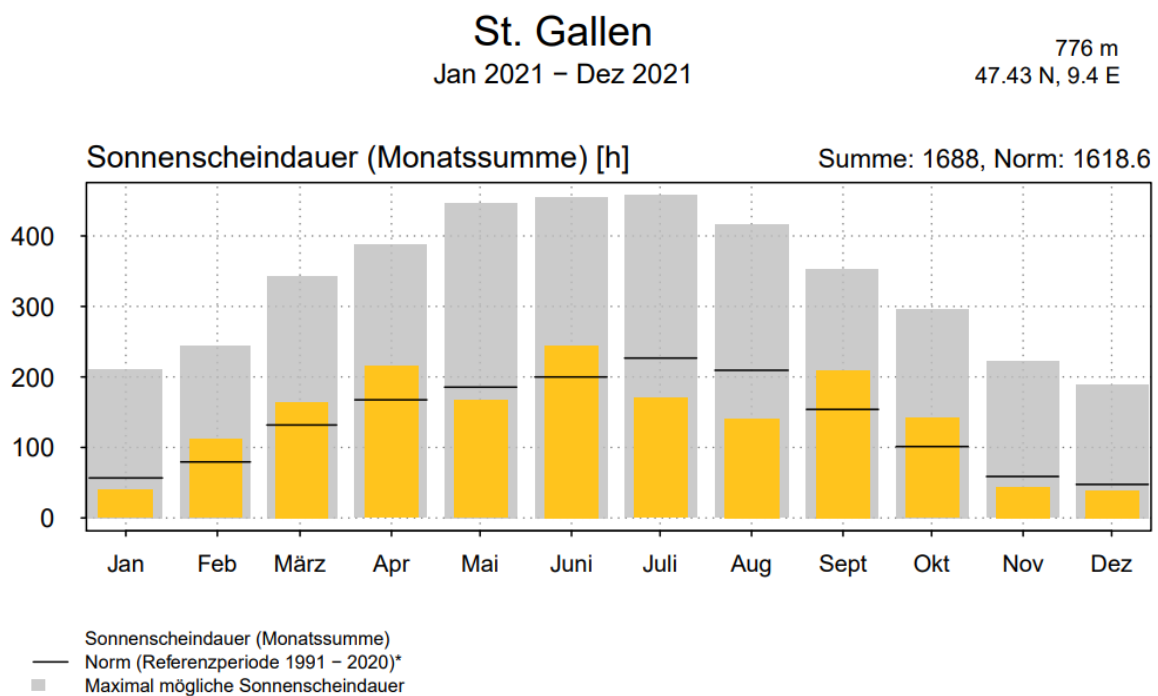


Abbildung 6– Sonnenscheindauer nach/3/

Mittlere tägliche Sonnenstunden											
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
1,85	2,84	4,26	5,69	5,97	6,68	7,26	6,61	5,09	3,24	2,01	1,60

Tabelle 3- Sonnenscheinwahrscheinlichkeiten

Anders als in der worst case-Berechnung wird der Schattenwurf nicht immer durch die Rotorstellung begünstigt. Es werden somit Häufigkeiten von Windrichtungen und Stillstandzeiten berücksichtigt.

In dieses Gutachten gingen die Daten der Windmessung am Standort Oberfeld ein. Nach der Messung von dreizehn Monaten liegt eine Datengrundlage für die durchschnittliche Verteilung von Windrichtungen vor. Wobei die gemessenen Daten auf ein Langzeitliches Mittel korrigiert wurden und

auf eine Höhe von 131 m (der Nabenhöhe) skaliert wurden. In der folgenden Tabelle 4 werden die Betriebsstunden pro Sektor im Jahr für die einzelnen Windrichtungen angegeben, es wurde eine Einschaltgeschwindigkeit der WEA von 2,5 m/s zugrunde gelegt.

N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Summe
395	436	229	207	251	637	1.082	365	782	1.585	809	350	7.128

Tabelle 4- Betriebsdauer Stunden/Sektor

5. Die Immissionsorte

Immissionsorte				
Name	Rezeptor Nr.	Rechtswert	Hochwert	m ü. M.
Haggen 2	A	2.757.378	1.252.620	1.049,5
Honegg 1	B	2.757.064	1.252.114	1.056,2
Sägliroeit 1	C	2.756.513	1.252.250	1.026,9
Haggen 4	D	2.757.389	1.252.604	1.050,0
Haggen 1	E	2.757.409	1.252.586	1.047,8
Haggen 3	F	2.757.603	1.252.816	1.070,0
Erbskraut 1	G	2.757.438	1.253.163	1.044,0
Rütiweid 1	H	2.757.153	1.253.068	1.000,1
Rütiweid 2	I	2.757.222	1.252.874	1.005,0
Chozeren 2	J	2.756.576	1.252.652	1.072,5
Rütiweid 3	K	2.756.767	1.253.053	1.005,4
Honegg 2	L	2.757.008	1.251.998	1.046,6
Honegg 3	M	2.756.880	1.251.994	1.025,9
Honegg 4	N	2.756.889	1.252.125	1.036,4
Koordinatensystem: Swiss (LV95)				

Tabelle 5- Die Immissionsorte

Es wurden vierzehn Immissionsorte gewählt. Hierbei kamen Orte in Frage, die Innerhalb eines Gebiets lagen, in dem die Schattenwurfdauer zulässige Grenzwerte überschreiten könnte. Auf den Flächen sind mehrere Gebäude. Um den Schattenwurf an einem Immissionsort zu berechnen, werden Rezeptoren im digitalen Geländemodell von WindPro platziert.

Durch die Änderung des Koordinatensystems der Schweiz und durch weiterentwickelte Höhendaten /4/, die WindPro zur Verfügung stehen haben sich die Koordinaten, gegenüber vorherigen Gutachten von uns, für diesen Standort leicht geändert.

Hierbei gibt es die Möglichkeit, Rezeptoren z. B. nach einem Fenster auszurichten und dabei die entsprechende Grösse und Lage der Fläche des Fensters einzugeben. Es kann geklärt werden, aus welcher Richtung der Rezeptor Schatten empfangen kann.

Es wäre nun möglich gewesen, mit einem hohen Aufwand an allen umliegenden Gebäuden derartige Rezeptoren zu definieren.

Es wurden aber vereinfacht Rezeptoren im Gewächshausmodus definiert. Hierbei wurden an den entsprechenden Immissionsorten, im digitalen Geländemodell, Rezeptoren in Form einer Halbkugel mit einem Durchmesser von 5 m, einer Höhe von 5 m und mit einer Höhe der Grundfläche von 4 m über Grund, platziert. Aufgrund der Höhe und Ausdehnung der Rezeptoren kann der Schattenwurf gut empfangen werden. Kleinere Hindernisse wie Sträucher und Gebäude, die den Schattenwurf reduzieren

können, wurden somit nicht berücksichtigt. Es sind jedoch nur die Wälder, die auch für das Windgutachten kartiert und als Hindernisse im Geländemodell digitalisiert berücksichtigt worden. Die Wälder wurden auf Karten, Sattelitenbildern und durch Kartierungen im Gelände aufgenommen und in WindPro durch ein AREA-Objekt (Waelder App_2022) im digitalen Geländemodell berücksichtigt.

Es war zu erwarten, dass Grenzwerte des Schattenwurfs überschritten werden. Ist dies der Fall, wird es erforderlich, eine Vorrichtung zur Abschaltung der WEA und zur Vermeidung des Schattenwurfs bei entsprechendem Wind und Einstrahlungsverhältnissen, zu installieren. Ist so eine Abschaltung notwendig, braucht nicht mehr der Schattenwurf für einzelne Fenster berechnet zu werden, da der Schattenwurf praktisch nicht mehr auftritt.

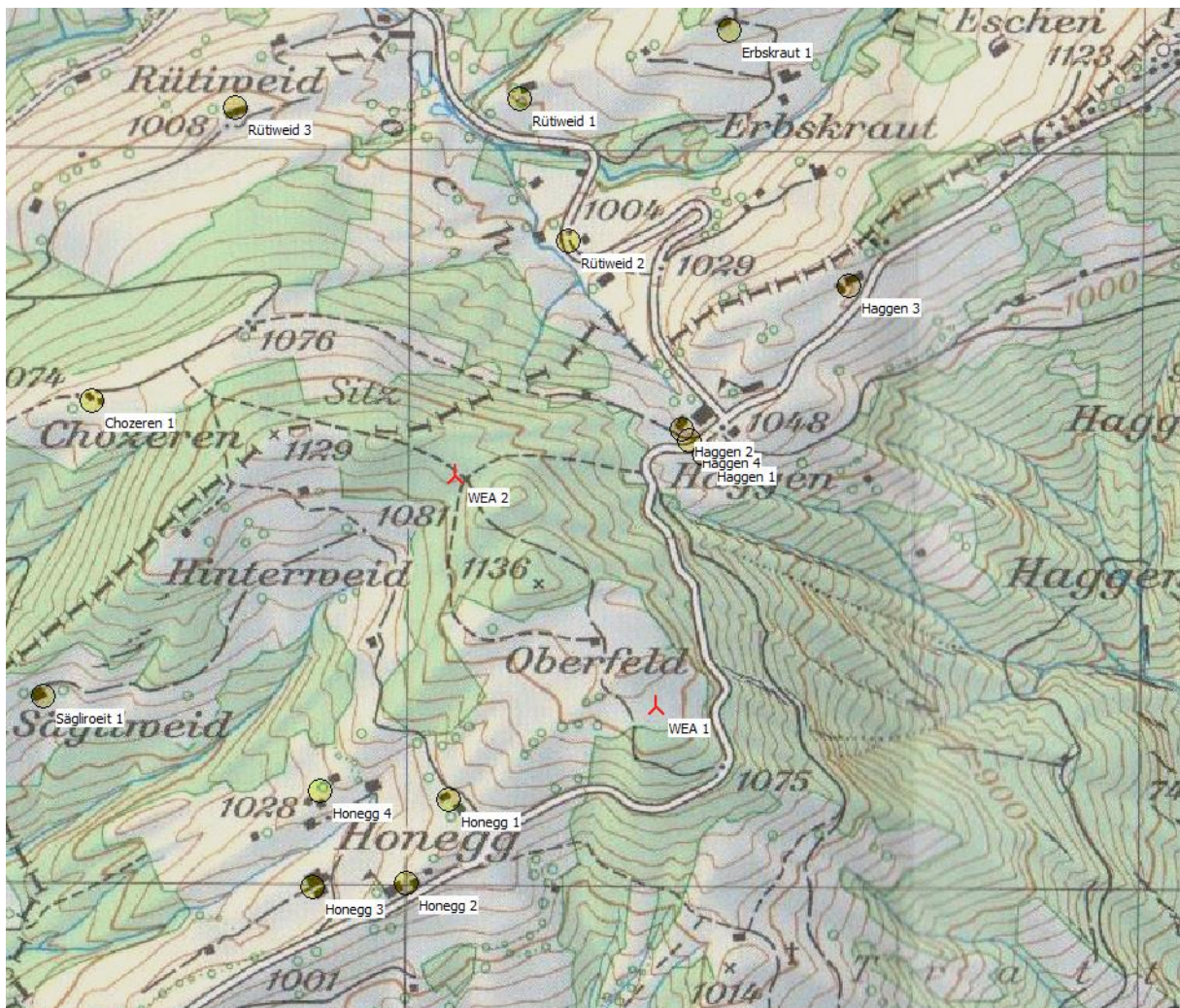


Abbildung 7- Karte der Immissionsorte

6. Die Ergebnisse

6.1 Karten des Schattenwurfs

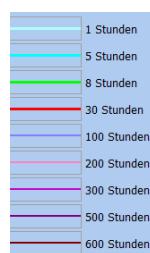
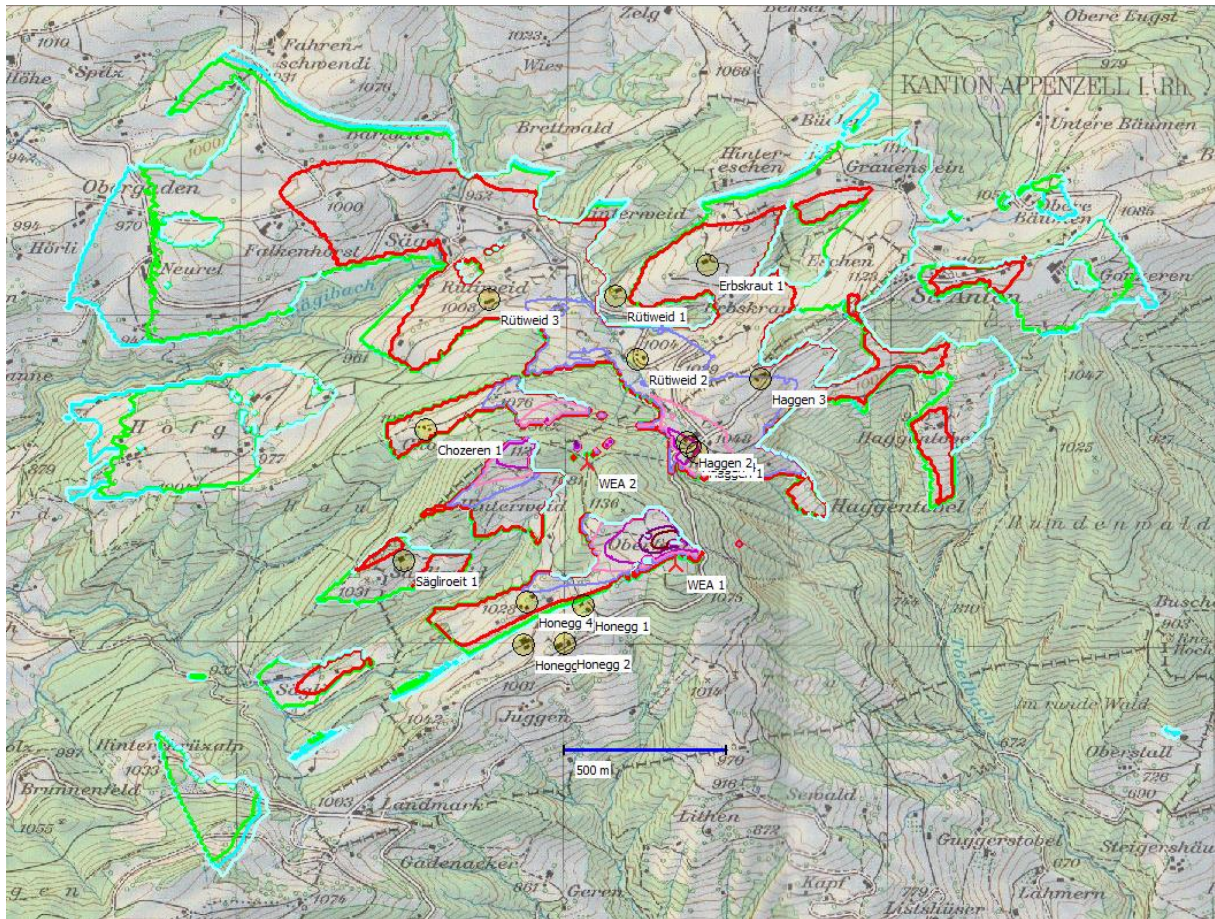


Abbildung 8- Karte: Astronomisch maximal mögliche Schattenwurfdauer Stunden/Jahr

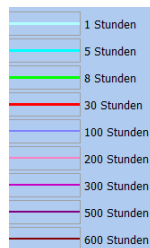
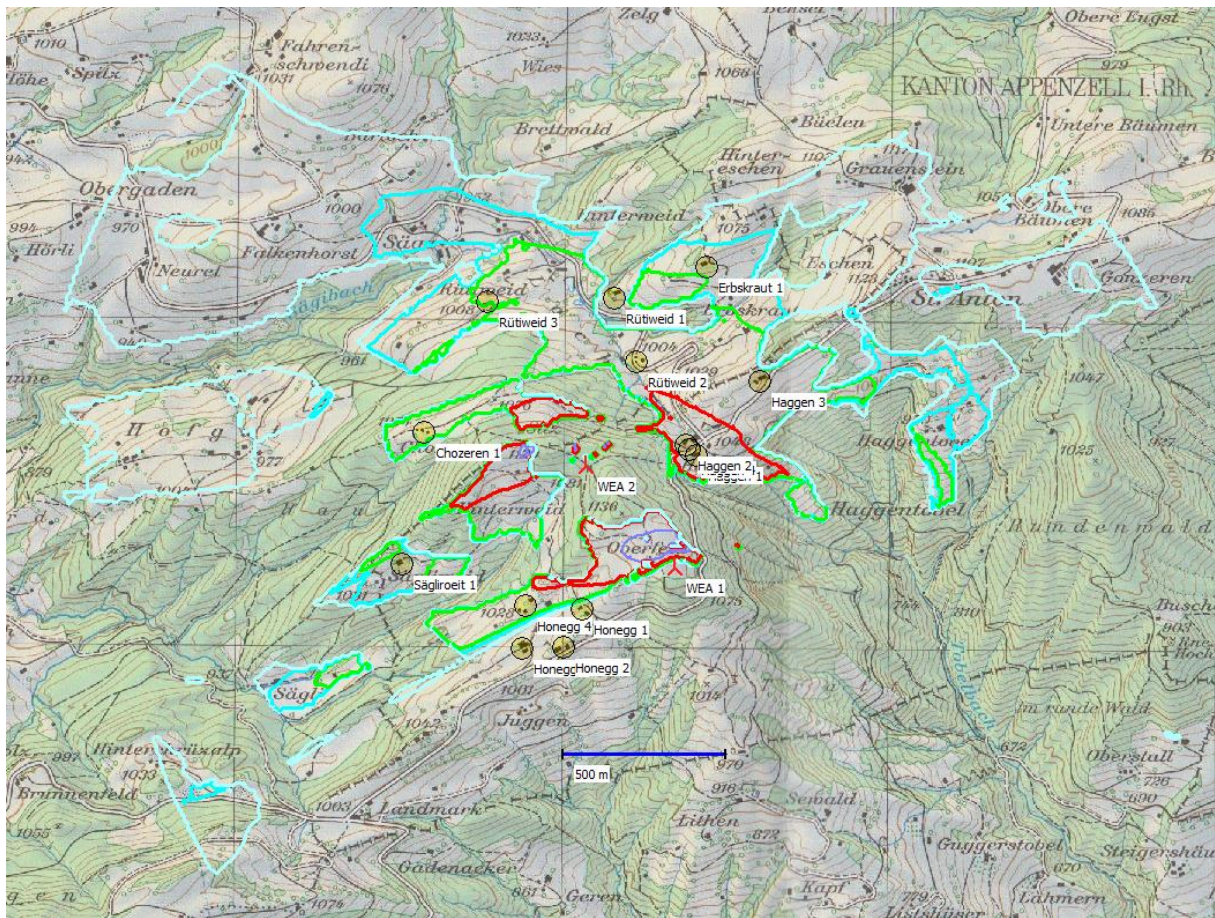


Abbildung 9- Karte: Meteorologisch wahrscheinliche Schattenwurfdauer Stunden/Jahr

Auf der Karte der Abbildung 8 wird ersichtlich, dass der Grenzwert von 8 Stunden pro Jahr häufig in Gebieten mit Siedlungen überschritten wird. Es ist somit davon auszugehen, dass eine Abschaltung bei auftretendem Schattenwurf stattfinden muss.

Auf der Abbildung 9 ist zu erkennen, dass eine Überschreitung bei der Berechnung der meteorologisch wahrscheinlichen Schattenwurfdauer in wenigen Gebieten vorhanden ist. Dies lässt darauf schließen, dass die Anzahl der Gebäude, die betroffen sein können, gering ist und, dass Vorkehrungen getroffen werden können.

6.2 Schattenwurf an den Immissionsorten

Immissionsorte		Astronomisch maximal möglich			meteorologisch wahrscheinlich
Name	Rezeptor Nr.	[Std/Jahr]	[Tage/Jahr]	[Std/Tag]	[Std/Jahr]
Haggen 2	A	347:03:00	298	01:29	60:35:00
Honegg 1	B	00:00	0	00:00	00:00
Sägliroeit 1	C	26:51:00	54	00:39	06:14
Haggen 4	D	351:21:00	297	01:28	61:45:00
Haggen 1	E	339:11:00	296	01:27	60:12:00
Haggen 3	F	107:47:00	145	00:56	14:43
Erbskraut 1	G	65:34:00	92	00:48	07:01
Rütiweid 1	H	00:00	0	00:00	00:00
Rütiweid 2	I	156:52:00	174	01:18	21:28
Chozeren 2	J	65:06:00	82	01:02	14:13
Rütiweid 3	K	101:24:00	126	01:05	11:28
Honegg 2	L	00:00	0	00:00	00:00
Honegg 3	M	00:00	0	00:00	00:00
Honegg 4	N	85:24:00	90	01:09	19:04

Tabelle 6 – Schatten an den Rezeptoren

6.3 Detaillierte Ergebnisse

In den Detaillierten Ergebnissen werden Beispiele gezeigt die vollständigen Ergebnisse befinden sich in der Datei /5/: SHADOW_241_16_702_Schatten_Oberfeld.pdf

In der Abbildung 10 und 11 werden noch mal die Hauptergebnisse und Daten dieses Gutachtens als WindPro Ausdruck dargestellt. In Abbildung 12 ist ein Kalender mit den Zeiten von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang und mit den Zeiten and denen Geländebedingt Schattenwurf am Immissionspunkt auftreten könnte für jeden Rezeptor.

In Abbildung 13 ist grafisch dargestellt, wann der Schattenwurf an einzelnen Immissionspunkten auftreten könnte. Es fällt auf das dies besonders morgens und abends ist.

In Abbildung 14 ist die Darstellung ähnlich wie bei Abbildung 5 wobei der Schattenwurf ausgehend von einer WEA betrachtet wird.

Entsprechend befindet sich eine Darstellung pro WEA in Abbildung 15

Projekt:
241_11_700_Appenzell_2022

Lizenzierter Anwender:
JH Wind GmbH
Gruberhof 8
DE-79110 Freiburg
+49 0761 15612852
Johannes Hagemann / jh-wind@email.de
Bereich:
26.01.2023 22:43/3.6.355

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: 241_16_702_Schatten_Oberfeld

Annahmen für Schattenwurfberechnung

Beschattungsbereich der WEA
Schatten nur relevant, wo Rotorblatt mind. 20% der Sonne verdeckt
Siehe WEA-Tabelle

Minimale relevante Sonnenhöhe über Horizont 3 °
Tage zwischen Berechnungen 1 Tag(e)
Berechnungszeitsprung 1 Minuten

Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,85 2,84 4,26 5,69 5,97 6,68 7,26 6,61 5,09 3,24 2,01 1,60

Betriebsstunden ermittelt aus WEA in Berechnung und Windverteilung:
MAST_2015_2016_Oberf_gefilt_LANG_Erg

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
395 436 229 207 251 637 1.082 365 782 1.585 809 350 7.128
Startwindgeschwindigkeit 2,5m/s

Eine WEA wird nicht berücksichtigt, wenn sie von keinem Teil der
Rezeptorfläche aus sichtbar ist. Die Sichtbarkeitsberechnung basiert auf
den folgenden Annahmen:
Verwendete Höhenlinien: Höhenlinien: Appenzell_Hoe 5m_10_R30km
Areal-Objekt(e) verwendet in Berechnung:
Waelder App_2022
Rasterauflösung: 1,0 m

Alle Koordinatenangaben in:
Swiss (LV95)-CH1903+ (CH/LI 1993)

WEA

O	N	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schattendaten		
				Aktuell	Hersteller	Typ				Beschatt.-Bereich	U/min	
[m]						[kW]	[m]	[m]	[m]	[U/min]		
1	2.757.344	1.252.243	1.106,2	WEA 1	Ja	ENERCON	E-138 EP3 E3-4.260	4.260	138,3	131,0	1.688	11,1
2	2.757.070	1.252.554	1.110,0	WEA 2	Ja	ENERCON	E-138 EP3 E3-4.260	4.260	138,3	131,0	1.688	11,1

Schattenrezeptor-Eingabe

Nr.	Name	O	N	Z	Breite	Höhe	Höhe ü.Gr.	Neigung des Fensters	Ausrichtungsmodus	Augenhöhe (ZVI) ü.Gr.
					[m]	[m]	[m]	[°]		[m]
A	Haggen 2	2.757.378	1.252.620	1.049,5	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
B	Honegg 1	2.757.064	1.252.114	1.056,2	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
C	Sägilroiet 1	2.756.513	1.252.250	1.026,9	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
D	Haggen 4	2.757.389	1.252.604	1.050,0	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
E	Haggen 1	2.757.409	1.252.586	1.047,8	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
F	Haggen 3	2.757.603	1.252.816	1.070,0	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
G	Erbskraut 1	2.757.438	1.253.163	1.044,0	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
H	Rütiweid 1	2.757.153	1.253.068	1.000,1	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
I	Rütiweid 2	2.757.222	1.252.874	1.005,0	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
J	Chozeren 1	2.756.576	1.252.652	1.072,5	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
K	Rütiweid 3	2.756.767	1.253.053	1.005,4	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
L	Honegg 2	2.757.008	1.251.998	1.046,6	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
M	Honegg 3	2.756.880	1.251.994	1.025,9	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0
N	Honegg 4	2.756.889	1.252.125	1.036,4	5,0	5,0	4,0	90,0	"Gewächshaus-Modus"	9,0

Berechnungsergebnisse

Schattenrezeptor

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer	
		Stunden/Jahr	Schattentage/Jahr	Max.Schattendauer/Tag	Stunden/Jahr	
		[h/a]	[d/a]	[h/d]	[h/a]	
A	Haggen 2	347:03	298	1:29	60:35	
B	Honegg 1	0:00	0	0:00	0:00	

(Fortsetzung nächste Seite)...

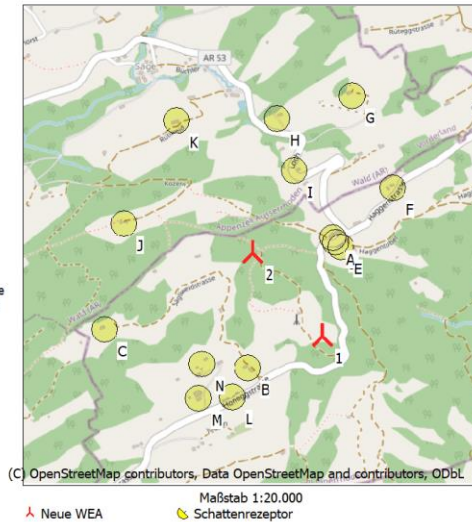


Abbildung 10-Hauptergebnis

Projekt:
241_11_700_Appenzell_2022

Lizenzierter Anwender:
JH Wind GmbH
Grüberhof 8
DE-79110 Freiburg
+49 0761 15612852
Johannes Hagemann / jh-wind@email.de
Berechnet:
26.01.2023 22:43/3.6.355

SHADOW - Hauptergebnis

Berechnung: 241_16_702_Schatten_Oberfeld

...(Fortsetzung von vorheriger Seite)

Nr.	Name	astron. max. mögl. Beschattungsdauer			met. wahrsch. Beschattungsdauer
		Stunden/Jahr [h/a]	Schattentage/Jahr [d/a]	Max.Schattendauer/Tag [h/d]	Stunden/Jahr [h/a]
C	Sägliroeit 1	26:51	54	0:39	6:14
D	Haggen 4	351:21	297	1:28	61:45
E	Haggen 1	339:11	296	1:27	60:12
F	Haggen 3	107:47	145	0:56	14:43
G	Erbskraut 1	65:34	92	0:48	7:01
H	Rütiweid 1	0:00	0	0:00	0:00
I	Rütiweid 2	156:52	174	1:18	21:28
J	Chozeren 1	65:06	82	1:02	14:13
K	Rütiweid 3	101:24	126	1:05	11:28
L	Honegg 2	0:00	0	0:00	0:00
M	Honegg 3	0:00	0	0:00	0:00
N	Honegg 4	85:24	90	1:09	19:04

Gesamtdauer Beschattung an Rezeptoren pro WEA

Nr.	Name	Maximal [h/a]	Erwartet [h/a]
1	WEA 1	482:55	66:08
2	WEA 2	575:34	108:42

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

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

Abbildung 11– Hauptergebnis Seite2

Projekt:
241_11_700_Appenzell_2022

Lizenzierter Anwender:
JH Wind GmbH
Gruberhof 8
DE-79110 Freiburg
+49 0761 15612852
Johannes Hagemann / jh-wind@email.de
Berechnet:
26.01.2023 22:43/3.6.355

SHADOW - Kalender

Berechnung: 241_16_702_Schatten_Oberfeld
Annahmen für Schattenwurfberechnung

Schattenrezeptor: D - Haggen 4
Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,85 2,84 4,26 5,69 5,97 6,68 7,26 6,61 5,09 3,24 2,01 1,60

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
395 436 229 207 251 637 1.082 365 782 1.585 809 350 7.128
Startwindgeschwindigkeit 2,5m/s

	July	August	September	Oktober	November	Dezember	
1 05:29	17:15 (2) 05:59	17:04 (2) 06:40	17:08 (2) 07:20	17:05	11:55 (1) 07:48	68	12:08 (1)
2 05:30	17:15 (2) 06:00	17:03 (2) 06:41	17:11 (2) 07:21	17:07	11:55 (1) 07:49	67	12:09 (1)
3 05:31	17:15 (2) 06:01	17:03 (2) 06:41	17:11 (2) 07:21	17:07	11:55 (1) 07:49	67	12:09 (1)
4 05:31	17:15 (2) 06:03	17:03 (2) 06:44	17:14 (2) 07:24	17:09	11:55 (1) 07:51	66	12:11 (1)
5 05:32	17:15 (2) 06:04	17:01 (2) 06:45	17:17 (2) 07:26	17:11	11:55 (1) 07:53	65	12:11 (1)
6 05:32	17:15 (2) 06:06	17:02 (2) 06:47	17:22 (2) 07:27	17:12	11:54 (1) 07:54	64	12:13 (1)
7 05:33	17:14 (2) 06:07	17:01 (2) 06:48	17:29 (2) 07:28	17:14	11:55 (1) 07:55	63	12:14 (1)
8 05:34	17:14 (2) 06:08	17:01 (2) 06:49	17:30	17:15	11:55 (1) 07:56	62	12:15 (1)
9 05:35	17:14 (2) 06:09	17:00 (2) 06:51	17:31	17:17	11:55 (1) 07:57	61	12:15 (1)
10 05:35	17:14 (2) 06:11	17:01 (2) 06:52	17:32	17:18	11:55 (1) 07:58	61	12:16 (1)
11 05:36	17:14 (2) 06:12	17:00 (2) 06:53	17:34	17:20	11:55 (1) 07:59	60	12:17 (1)
12 05:37	17:12 (2) 06:13	17:00 (2) 06:54	17:35	13:42 (1) 07:21	11:56 (1) 08:00	59	12:18 (1)
13 05:38	17:12 (2) 06:15	16:59 (2) 06:56	17:37	13:29 (1) 07:23	11:56 (1) 08:01	58	12:19 (1)
14 05:39	17:12 (2) 06:16	17:00 (2) 06:57	17:38	13:22 (1) 07:24	11:56 (1) 08:02	57	12:20 (1)
15 05:40	17:12 (2) 06:17	16:59 (2) 06:58	17:40	14:01 (1) 07:26	11:57 (1) 08:02	56	12:20 (1)
16 05:41	17:11 (2) 06:19	16:59 (2) 07:00	17:41	14:04 (1) 07:27	11:57 (1) 08:03	56	12:21 (1)
17 05:42	17:11 (2) 06:20	16:59 (2) 07:01	17:42	14:06 (1) 07:29	11:58 (1) 08:04	55	12:22 (1)
18 05:43	17:10 (2) 06:21	17:00 (2) 07:02	17:44	14:09 (1) 07:30	11:59 (1) 08:05	54	12:23 (1)
19 05:44	17:10 (2) 06:23	17:00 (2) 07:04	17:45	14:10 (1) 07:31	11:59 (1) 08:05	54	12:23 (1)
20 05:45	17:09 (2) 06:24	16:59 (2) 07:05	17:47	14:12 (1) 07:33	12:00 (1) 08:06	54	12:24 (1)
21 05:46	17:09 (2) 06:25	16:59 (2) 07:06	17:48	14:13 (1) 07:34	12:00 (1) 08:07	54	12:24 (1)
22 05:47	17:08 (2) 06:27	17:00 (2) 07:08	17:50	14:14 (1) 07:36	12:01 (1) 08:07	54	12:25 (1)
23 05:48	17:08 (2) 06:28	17:01 (2) 07:09	17:51	14:14 (1) 07:37	12:02 (1) 08:08	54	12:25 (1)
24 05:50	17:07 (2) 06:29	17:01 (2) 07:10	17:52	14:15 (1) 07:39	12:03 (1) 08:08	54	12:25 (1)
25 05:51	17:07 (2) 06:31	17:01 (2) 07:12	17:54	14:16 (1) 07:40	12:03 (1) 08:09	54	12:26 (1)
26 05:52	17:07 (2) 06:32	17:03 (2) 07:13	17:56	14:17 (1) 07:41	12:05 (1) 08:09	54	12:26 (1)
27 05:53	17:06 (2) 06:33	17:03 (2) 07:15	17:57	14:17 (1) 07:43	12:05 (1) 08:09	54	12:26 (1)
28 05:54	17:06 (2) 06:35	17:04 (2) 07:16	17:59	14:17 (1) 07:44	12:05 (1) 08:09	54	12:26 (1)
29 05:56	17:05 (2) 06:36	17:05 (2) 07:17	18:00	14:18 (1) 07:45	12:07 (1) 08:10	54	12:27 (1)
30 05:57	17:04 (2) 06:37	17:06 (2) 07:19	18:02	14:18 (1) 07:47	12:07 (1) 08:10	54	12:27 (1)
31 05:58	17:04 (2) 06:39	17:07 (2) 07:21	18:03	14:19 (1) 07:49	12:08 (1) 08:11	54	12:27 (1)
astr.max.mögl.Beschattung	481	442	378	338	281	265	1798
Red.Sonnenscheinwahrsch.	2320	2508	261	1273	2388	254	0,19
Reduktion Betriebsdauer	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Reduktion Windrichtung	0,65	0,65	0,65	0,62	0,62	0,62	0,62
Gesamte Reduktion	0,25	0,24	0,21	0,15	0,11	0,11	0,09
Met.wahrsch.Beschattung	571	613	55	188	254	167	167

Tabellen-Layout: Die Daten für jeden Tag sind in folgender Matrix wiedergegeben (Sommerzeit wie Bezugsjahr):

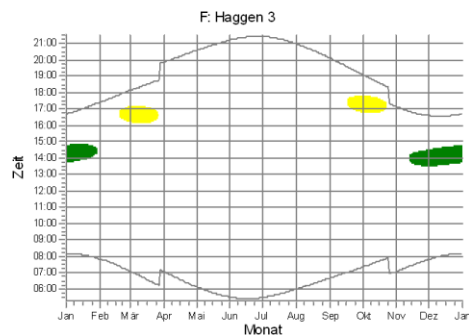
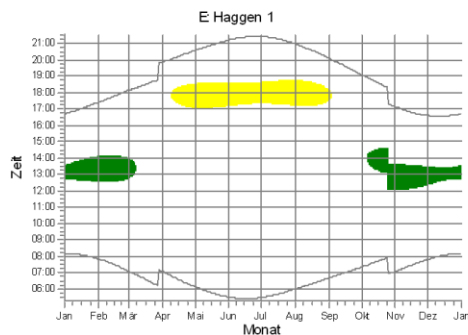
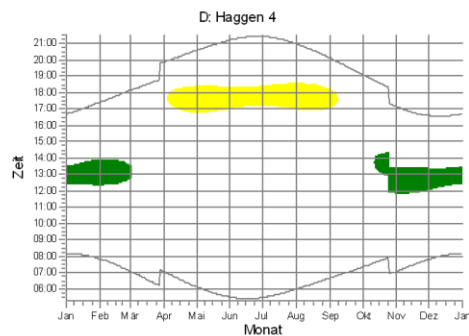
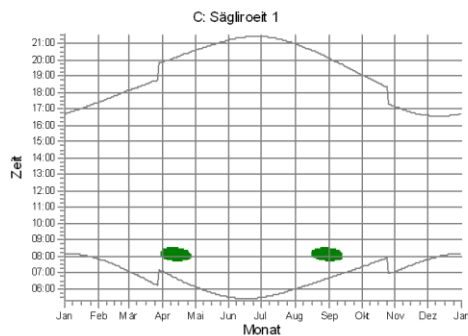
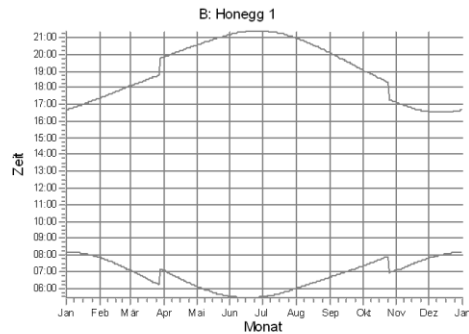
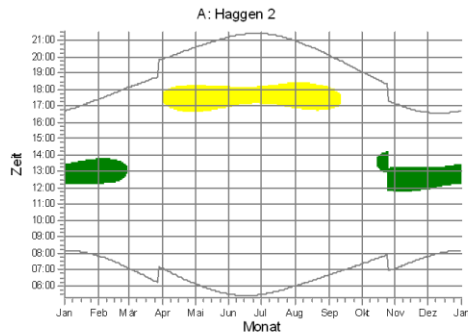
Tag im Monat	Sonnenaufgang (SS:MM)	Sonnenuntergang (SS:MM)	Minuten mit Schatten	Zeitpunkt (SS:MM) Schattenanfang	Zeitpunkt (SS:MM) Schattende	(WEA mit erstem Schatten)	(WEA mit letztem Schatten)
--------------	-----------------------	-------------------------	----------------------	----------------------------------	------------------------------	---------------------------	----------------------------

Abbildung 12– Detaillierter Kalender möglicher Schattenwurfzeiten für Rezeptoren

Projekt:
241_11_700_Appenzell_2022

Lizenzierter Anwender:
JH Wind GmbH
Gruberhof 8
DE-79110 Freiburg
+49 0761 15612852
Johannes Hagemann / jh-wind@email.de
Berechnet:
26.01.2023 22:43/3.6.355

SHADOW - Grafischer Kalender
Berechnung: 241_16_702_Schatten_Oberfeld



WEA
 1: WEA 1
 2: WEA 2

Abbildung 13– Grafischer Kalender möglicher Schattenwurfzeiten für Rezeptoren

Projekt:
241_11_700_Appenzell_2022

Lizenzierter Anwender:
JH Wind GmbH
Gruberhof 8
DE-79110 Freiburg
+49 0761 15612852
Johannes Hagemann / jh-wind@email.de
26.01.2023 22:43/3.6.355

SHADOW - Kalender pro WEA

Berechnung: 241_16_702_Schatten_Oberfeld **WEA:** 1 - WEA 1

Annahmen für Schattenwurfberechnung

Sonnenscheinwahrscheinlichkeit S (Mittlere tägliche Sonnenstunden) []
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
1,85 2,84 4,26 5,69 5,97 6,68 7,26 6,61 5,09 3,24 2,01 1,60

Betriebsdauer je Sektor
N NNO ONO O OSO SSO S SSW WSW W WNW NNW Summe
395 436 229 207 251 637 1.082 365 782 1.585 809 350 7.128
Startwindgeschwindigkeit 2,5m/s

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
1	08:10 09:43-10:18/35 13:47-14:42/55	07:50 12:19-14:01/102	07:05 12:52-13:51/59	07:03 08:01-08:19/18	06:07	05:30 07:13-08:18/65
	16:42 11:20-12:12/52 12:18-13:30/72	17:23	18:06	19:51	20:33	21:11
2	08:10 09:43-10:18/35 13:48-14:43/55	07:48 12:18-14:00/102	07:03 12:54-13:49/55	07:01 07:58-08:21/23	06:09	05:30 07:14-08:19/65
	16:43 11:20-12:13/53 12:18-13:31/73	17:24	18:08	19:52	20:34	21:11
3	08:10 09:43-10:18/35 13:48-14:42/54	07:47 12:19-14:01/102	07:01 12:57-13:46/49	06:59 07:56-08:22/26	06:04	05:29 07:13-08:19/66
	16:44 11:20-12:13/53 12:18-13:31/73	17:26	18:09	19:54	20:35	21:12
4	08:10 09:43-10:18/35 13:49-14:43/54	07:46 12:20-14:02/102	06:59 13:01-13:43/42	06:57 07:54-08:23/29	06:03	05:28 07:13-08:19/66
	16:45 11:21-12:13/52 12:18-13:33/75	17:27	18:11	19:55	20:37	21:13
5	08:10 09:44-10:19/35 13:49-14:43/54	07:44 12:19-14:02/103	06:57 13:07-13:38/31	06:55 07:52-08:24/32	06:01	05:28 07:13-08:19/66
	16:46 11:21-12:14/52 12:18-13:34/76	17:29	18:12	19:56	20:38	21:14
6	08:10 09:45-10:20/35 13:50-14:44/54	07:46 12:20-14:03/103	06:55 13:16-13:31/15	06:53 07:51-08:25/34	06:00	05:27 07:13-08:20/67
	16:47 11:22-12:15/53 12:19-13:35/76	17:31	18:14	19:58	20:40	21:15
7	08:09 09:45-10:20/35 13:50-14:43/53	07:42 12:20-14:03/103	06:53	06:51 07:50-08:25/35	05:58	05:27 07:13-08:19/66
	16:48 11:22-12:14/52 12:18-13:36/78	17:32	18:15	19:59	20:41	21:16
8	08:09 09:45-10:20/35 13:51-14:44/53	07:40 12:21-14:03/102	07:40	06:49 07:49-08:25/36	05:57	07:40-07:51/11
	16:49 11:23-12:15/52 12:18-13:38/80	17:34	18:17	20:01	20:42	21:16
9	08:09 09:46-10:21/35 13:51-14:44/53	07:39 12:21-14:03/102	06:49	06:47 07:48-08:25/37	05:55	07:35-07:56/21
	16:50 11:24-12:16/52 12:18-13:38/80	17:35	18:18	20:02	20:44	21:17
10	08:08 09:46-10:21/35 13:52-14:44/52	07:37 12:22-14:04/102	06:47	06:45 07:47-08:25/38	05:54	07:31-07:58/27
	16:51 11:24-12:16/52 12:18-13:40/82	17:37	18:19	20:03	20:45	21:18
11	08:08 09:47-10:22/35 13:53-14:44/51	07:36 12:22-14:03/101	06:45	06:44 07:46-08:25/39	05:52	07:29-08-01/32
	16:53 11:24-12:15/51 12:18-13:41/83	17:38	18:21	20:05	20:46	21:18
12	08:08 09:48-10:23/35 13:54-14:45/51	07:34 12:22-14:03/101	06:43	06:42 07:46-08:25/39	05:51	07:28-08-03/35
	16:54 11:25-12:16/51 12:18-13:42/84	17:40	18:22	20:06	20:48	21:19
13	08:07 09:48-10:23/35 13:54-14:44/50	07:33 12:23-14:04/101	06:41	06:40 07:47-08:25/38	05:50	07:26-08-05/39
	16:55 11:25-12:16/51 12:18-13:43/85	17:42	18:24	20:08	20:49	21:20
14	08:07 09:49-10:23/35 13:56-14:45/49	07:31 12:24-14:03/99	06:39	06:38 07:46-08:25/39	05:48	07:24-08-05/41
	16:56 11:26-12:17/51 12:19-13:45/86	17:43	18:25	20:09	20:50	21:20
15	08:06 09:49-10:22/35 13:56-14:45/49	07:29 12:24-14:03/99	06:37	06:36 07:46-08-24/38	05:47	07:23-08-07/44
	16:58 11:26-12:17/51 12:18-13:46/88	17:45	18:27	20:10	20:51	21:21
16	08:05 09:50-10:21/31 13:57-14:44/47	07:28 12:26-14:03/97	06:35	06:34 07:46-08:23/37	05:46	07:22-08-08/46
	16:59 11:27-12:17/50 12:18-13:47/89	17:46	18:28	20:12	20:53	21:21
17	08:05 09:51-10:21/30 13:58-14:44/46	07:26 12:27-14:02/95	06:33	06:32 07:46-08:22/36	05:44	07:21-08-09/48
	17:01 11:27-12:16/49 12:18-13:48/90	17:48	18:30	20:13	20:54	21:21
18	08:04 09:52-10:22/30 13:59-14:44/45	07:24 12:28-14:02/94	06:31	06:30 07:46-08-21/35	05:43	07:20-08-10/50
	17:02 11:29-12:17/48 12:18-13:49/91	17:49	18:31	20:15	20:55	21:22
19	08:03 09:53-10:21/28 14:01-14:44/43	07:23 12:29-14:01/92	06:29	06:28 07:47-08-20/33	05:42	07:19-08-11/52
	17:03 11:29-12:17/48 12:18-13:50/92	17:51	18:32	20:16	20:56	21:22
20	08:02 09:54-10:21/27 14:02-14:44/42	07:21 12:31-14:01/90	06:27	06:27 07:48-08-19/31	05:41	07:18-08-12/54
	17:05 11:30-12:17/47 12:18-13:51/93	17:52	18:34	20:17	20:58	21:22
21	08:01 09:55-10:20/25 14:03-14:43/40	07:19 12:33-14:00/87	06:25	06:25 07:49-08-17/28	05:40	07:18-08-13/55
	17:06 11:31-12:16/45 12:18-13:52/94	17:54	18:35	20:19	20:59	21:23
22	08:01 09:56-10:19/23 14:04-14:43/39	07:17 12:35-14:00/85	06:23	06:23 07:49-08-16/27	05:39	07:17-08-14/57
	17:08 11:32-12:16/44 12:18-13:53/95	17:55	18:37	20:20	21:00	21:23
23	08:00 09:58-10:18/20 14:06-14:42/36	07:16 12:36-13:59/83	06:21	06:21 07:50-08-14/24	05:38	07:16-08-14/58
	17:09 11:33-12:16/43 12:18-13:54/96	17:57	18:38	20:22	21:01	21:23
24	07:59 10:00-10:16/16 14:08-14:41/33	07:14 12:38-13:57/79	06:19	06:19 07:53-08-12/19	05:37	07:16-08-15/59
	17:11 11:34-12:15/41 12:18-13:55/97	17:59	18:40	20:23	21:02	21:23
25	07:58 10:02-10:14/12 14:10-14:40/30	07:12 12:40-13:56/76	06:17	06:18 07:55-08-09/14	05:36	07:15-08-15/60
	17:12 11:35-12:14/39 12:18-13:56/98	18:00	18:41	20:24	21:03	21:23
26	07:57 10:06-10:09/3 14:12-14:38/26	07:10 12:44-13:56/72	06:15	06:16 07:59-08-04/5	05:35	07:14-08-15/61
	17:14 11:35-12:13/38 12:18-13:56/98	18:02	18:42	20:26	21:04	21:23
27	07:56 11:37-12:12/35 12:18-13:57/99	07:08 12:47-13:54/67	06:13	06:14	05:34	07:14-08-16/62
	17:15 14:15-14:36/21	18:03	18:44	20:27	21:05	21:23
28	07:55 11:39-12:10/31 12:18-13:58/100	07:07 12:49-13:53/64	06:11	06:12	05:33	07:14-08-17/63
	17:17 14:19-14:33/14	18:05	18:45	20:29	21:07	21:23
29	07:53 11:41-12:09/28		07:09	06:11	05:32	07:14-08-17/63
	17:18 12:18-13:59/101		19:47	20:30	21:08	21:23
30	07:52 11:43-12:06/23		07:07	06:09	05:32	07:13-08-17/64
	17:20 12:18-13:59/101		19:48	20:31	21:09	21:23
31	07:51 11:47-12:03/15		07:05	08:05-08-15/10		21:10
	17:21 12:18-14:00/102		19:49		21:10	20:28
Sonnenscheinstunden	277	287	368	408	468	476
Anzahl Minuten mit Schatten	6141	2605	261	790	1166	2028

Tabellen-Layout: Die Daten für jeden Tag sind in folgender Matrix wiedergegeben (Sommerzeit wie Bezugsjahr):

Tag im Monat Sonnenaufgang (SS:MM) Zeitpunkt (SS:MM) Schattenanfang-Zeitpunkt (SS:MM) Schattenende/Minuten mit Schatten
Sonnenuntergang (SS:MM) Zeitpunkt (SS:MM) Schattenanfang-Zeitpunkt (SS:MM) Schattenende/Minuten mit Schatten

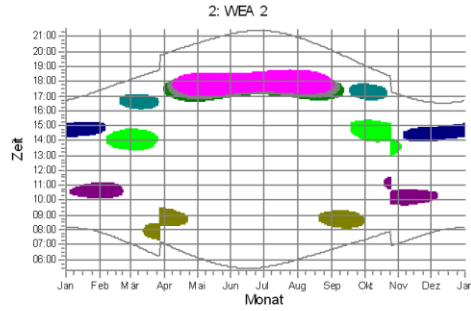
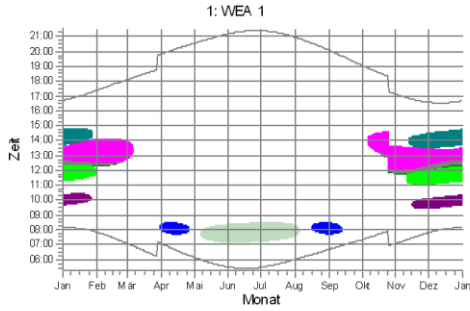
Abbildung 14-Detaillierter Kalender möglicher Schattenwurfzeiten ausgehend von der WEA

Projekt:
241_11_700_Appenzell_2022

Überreichte Anwender:
JH Wind GmbH
Grüberhof 8
DE-79110 Freiburg
+49 0761 15612852
Johannes Hagemann / jh-wind@email.de
Berechnung:
26.01.2023 22:43/3.6.355

SHADOW - Grafischer Kalender pro WEA

Berechnung: 241_16_702_Schatten_Oberfeld



Schattenrezeptoren



 A: Haggen 2	 E: Haggen 1	 I: Rütiweid 2	 N: Honegg 4
 C: Sägliroeit 1	 F: Haggen 3	 J: Chozeren 1	
 D: Haggen 4	 G: Erbskraut 1	 K: Rütiweid 3	

Abbildung 15 Grafischer Kalender der Schattenwurfzeiten ausgehend von den WEA

7. Fazit

Bei den Schattenwurfkarten war zu erkennen, dass eine Abschaltautomatik für den WEA-Betrieb am Standort Oberfeld nötig ist. In der Tabelle 6 tritt bei der astronomisch maximal möglichen Schattenwurfdauer an den meisten Rezeptoren eine deutliche Überschreitung der Anforderungen auf. Bei der meteorologisch wahrscheinlichen Schattenwurfdauer kommt es zu einer deutlichen Reduktion der Stunden. Somit ist ein WEA-Betrieb mit Abschaltautomatik möglich.

In dem grafischen Kalender im Anhang wird ein schneller Überblick gegeben, an welchen Tages- und Jahreszeiten an den jeweiligen Rezeptoren Schattenwurf bei entsprechenden meteorologischen Bedingungen auftreten kann (Sonnenschein, Windgeschwindigkeit und Windrichtung).

Im Anhang befindet sich ein detaillierter Kalender, auf dem angegeben wird, zu welchen Zeitpunkten Schattenwurf auftreten kann.

8. Schlussbemerkungen zum Gutachten

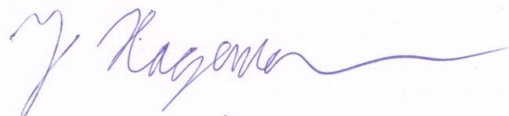
In diesem Gutachten kamen allgemein anerkannte Methoden zur Berechnung des Schattenwurfs im Gelände zur Anwendung. Es bestehen jedoch Unsicherheiten hinsichtlich der angewendeten Methoden, die sich nicht ausreichend quantifizieren lassen und die nicht immer im digitalen Geländemodell berücksichtigt werden können.

Die Erstellung dieses Gutachtens erfolgte nach bestem Wissen und Gewissen.

Haftungsausschluss

Aufgrund der dargestellten Sachverhalte und Unsicherheiten kann für das Eintreffen der Ergebnisse dieses Gutachtens am Standort Oberfeld keine Haftung übernommen werden.

Freiburg, 27.01.2023



Johannes Hagemann

JH Wind GmbH

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1- Koordinaten der WEA.....	4
Tabelle 2- WEA-Typ.....	7
Tabelle 3- Sonnenscheinwahrscheinlichkeiten	11
Tabelle 4- Betriebsdauer Stunden/Sektor.....	12
Tabelle 5- Die Immissionsorte.....	13
Tabelle 6 – Schatten an den Rezeptoren	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1- Karte: WEA 1, WEA 2 und Immissionsorte, Raster 1 km.....	4
Abbildung 2- Foto: Beispiel Schatten einer WEA	6
Abbildung 3- Jährlicher Umlauf der Sonne um die Erde.....	8
Abbildung 4- Scheinbare Sonnenbahnen	9
Abbildung 5- Berechnung des Sonnenstands	9
Abbildung 6– Sonnenscheindauer nach/3/	11
Abbildung 7- Karte der Immissionsorte	14
Abbildung 8- Karte: Astronomisch maximal mögliche Schattenwurfdauer Stunden/Jahr	15
Abbildung 9- Karte: Meteorologisch wahrscheinliche Schattenwurfdauer Stunden/Jahr	16
Abbildung 10-Hauptergebnis.....	19
Abbildung 11– Hauptergebnis Seite2	20
Abbildung 12– Detaillierter Kalender möglicher Schattenwurfzeiten für Rezeptoren	21
Abbildung 13– Grafischer Kalender möglicher Schattenwurfzeiten für Rezeptoren	22
Abbildung 14-Detaillierter Kalender möglicher Schattenwurfzeiten ausgehend von der WEA	23
Abbildung 15 Grafischer Kalender der Schattenwurfzeiten ausgehend von den WEA.....	24