

1. Ausfertigung

E. 10/02/03



Schattenwurfprognose für  
1 Windenergieanlage  
am Standort  
**Hinterweiler**

(Rheinland-Pfalz)

Datum: 29.01.2003

Bericht Nr. HIN0301281SU

Auftraggeber:



Signature of the preparer, written in blue ink over a grid background.

Bearbeiter:

CUBE Engineering GmbH

Kirsten Ullner

Tannenweg 11

DE-25813 Husum


Tel 04841 / 9677-0

Fax 04841 / 9677-15

Die vorliegende Schattenwurfprognose für den Standort Hinterweiler (Rheinland-Pfalz) wurde der CUBE Engineering GmbH im Januar 2003 von der [REDACTED] in Auftrag gegeben und gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach bestem Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt.

Für die Einhaltung der prognostizierten Ergebnisse der Schattenwurfprognose werden seitens des Gutachters keine Garantien übernommen. Sie basieren auf Berechnungen nach den Empfehlungen des Arbeitskreises zu den Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen am Staatlichen Umweltamt Schleswig sowie den vom Auftraggeber und dem WEA-Hersteller gestellten Standort- und Anlagendaten. Die Berechnungen wurden mit dem Softwareprogramm WindPRO (Modul SHADOW) von Energi- og Miljødata (DK) durchgeführt.

Husum, 6.2.2003



## **Inhalt:**

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Teil .....</b>	<b>5</b>
2.1	Sonnenstand.....	5
2.2	Schattenwurf .....	7
2.2.1	Beschattungsbereich einer WEA.....	7
2.2.2	Schattenverlauf, Berechnung .....	8
2.2.3	Richtlinien.....	10
2.3	Wahrscheinlichkeitsbetrachtung .....	11
2.3.1	Sonnenscheinwahrscheinlichkeit .....	11
2.3.2	Reduktion der Schattenwurfdauer durch den Azimutwinkel .....	12
2.3.3	Schattenwurf nur bei Betrieb der Anlage.....	12
<b>3</b>	<b>Standort- und WEA-Daten.....</b>	<b>14</b>
3.1	Aufgabenstellung.....	14
3.2	Windenergieanlagen .....	15
3.3	Immissionsorte.....	16
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Vorschriften und Quellen (Auswahl) .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>18</b>

## 1 Einleitung

Die Nutzung des Windes zur elektrischen Stromerzeugung gewinnt im Rahmen der umweltfreundlichen Energieversorgung zunehmend an Bedeutung. Im Gegensatz zu konventionellen Stromerzeugungsanlagen bestehen bei Windenergieanlagen (WEA) wesentlich weniger negative Beeinträchtigungen (u.a. Flächenverbrauch, Schadstoffausstoß) auf unsere Umwelt. Eine der möglichen unerwünschten Auswirkungen ist jedoch periodischer Schattenwurf an den Wohn- und Arbeitsstätten in der Umgebung eines Windenergievorhabens. *Periodischer Schattenwurf* ist definiert als die wiederkehrende Verschattung des direkten Sonnenlichts durch die Rotorblätter einer Windenergieanlage. Der periodische Schattenwurf verursacht je nach Drehzahl des Rotors hinter der Windenergieanlage starke Lichtwechsel mit einer Frequenz zwischen 0,4 und 3 Hz, was auf den Menschen störend wirkt und auf längere Dauer nicht zumutbar ist. Aus diesem Grund sollte bei jeder WEA-Planung eine Untersuchung des periodischen Schattenwurfs durchgeführt werden. Durch eine Schattenwurfprognose ist es möglich, die Dauer des periodischen Schattenwurfs durch Windenergieanlagen auf benachbarte Wohngebäude und Arbeitsstätten zu ermitteln. Ist eine Beeinträchtigung durch den periodischen Schattenwurf zu erwarten, wird in der Prognose der Schattenwurf zeitlich (Datum/Uhrzeit/Dauer) vorhergesagt.

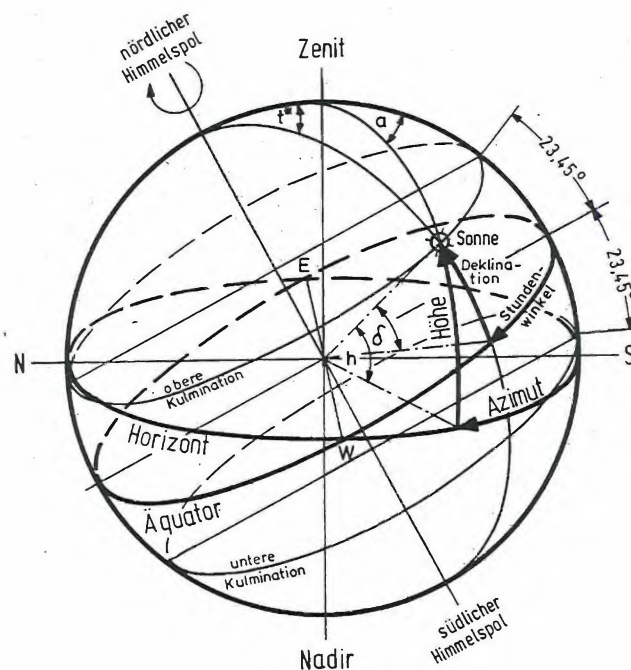
In dieser Prognose wird zum einen die *Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer* (*worst case*) ermittelt, d.h. die Beschattung für den Fall, dass die Sonne immer scheint, der Rotor sich kontinuierlich dreht und senkrecht zu den Sonnenstrahlen steht. Dieses Ergebnis ermöglicht eindeutige und vergleichbare Aussagen über das maximale Ausmaß des periodischen Schattenwurfs an einzelnen Tagen sowie die Summe über das Jahr. Zum anderen wird anhand der statistischen Daten über die Sonnenscheindauer und die Windverhältnisse die *Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer* über ein Jahr für jeden Immissionspunkt ermittelt, die Anhaltspunkte dafür gibt, ob Maßnahmen zur Beschränkung des Schattenwurfs erwogen werden sollten.



## 2 Theoretischer Teil

### 2.1 Sonnenstand

Der Sonnenstand bildet die Grundlage für die Berechnung des Schattenwurfs. Der Stand der Sonne ist im Wesentlichen von der Erdrotation, der Neigung der Erdachse und der elliptischen Laufbahn der Erde um die Sonne abhängig. Weiterhin müssen für jeden beliebigen Standort die geographischen, jahreszeitlichen und tageszeitlichen Daten berücksichtigt werden.



**Abbildung 1** Winkelzusammenhänge des Sonnenstands an einem Betrachtungspunkt

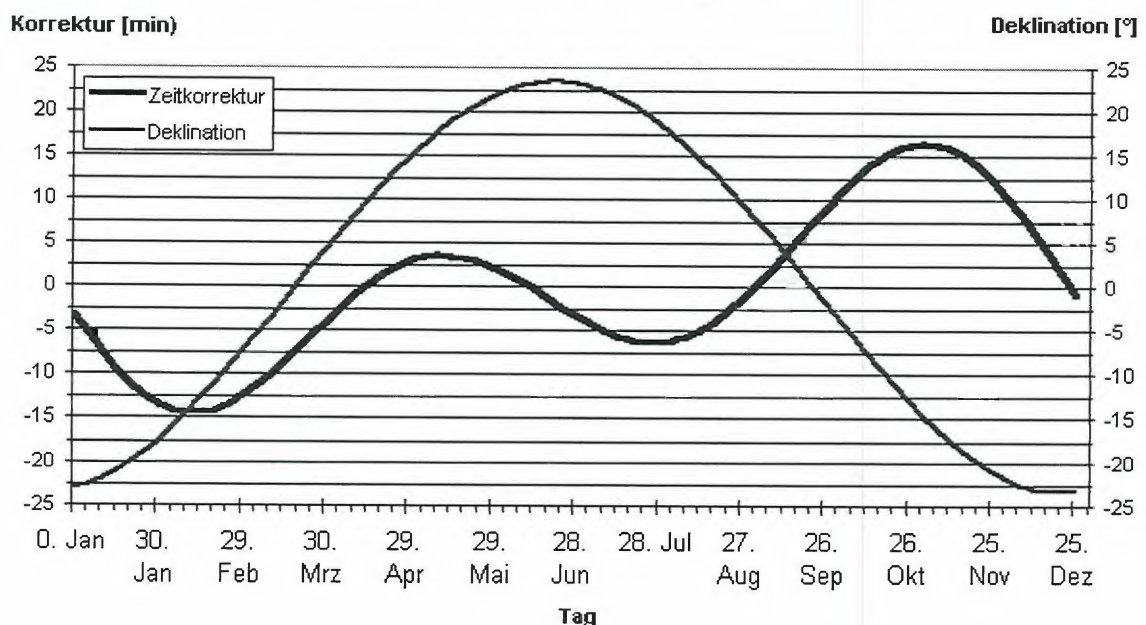
Mit diesen Daten werden die Deklination  $\delta$ , der Stundenwinkel  $\omega$ , die Sonnenhöhe  $h$ , der Azimut  $\gamma$  sowie der Sonnenauf- und -untergang  $t_a$  und  $t_u$  berechnet. Die Begriffe bedeuten (siehe Abb. 1):

- Deklination  $\delta$ : Jahresgang der Sonne. Winkel, in welchem sich die Sonne im Verlauf der Jahreszeiten über den Zenit am Äquator in südlicher und nördlicher Richtung hinausbe-

wegt. (Winteranfang (21.12.)  $-23,45^\circ$ , Sommeranfang (21.6.)  $23,45^\circ$  und Herbst- (23.9.) sowie Frühlingsanfang (21.3.)  $0^\circ$ );

- Sonnenhöhe  $h$ : Einfallswinkel der Sonne gegenüber einer horizontalen Fläche;
- Stundenwinkel  $\omega$ : Winkel zwischen dem Sonnenhöchststand und der aktuellen Sonneneinstrahlung.
- Azimut  $\gamma$ : Winkel zwischen der Südrichtung und dem auf die horizontale Ebene projizierten Sonnenstand.
- Sonnenaufgang  $t_a$ , Sonnenuntergang  $t_u$ : Aufgang/Untergang in dem Moment, wenn der Sonnenmittelpunkt über der horizontalen Fläche morgens/abends am Horizont sichtbar/verdeckt wird.

Die Berechnungen berücksichtigen die sich verändernde Tageslänge von einem zum nächsten Sonnenhöchststand, die aufgrund der elliptischen Umlaufbahn der Erde um die Sonne um bis zu 16 Minuten variiert. In Abbildung 2 sind die Abweichungen der Tagesdauer von den 24 Stunden (Zeitkorrektur) und die Deklination in Abhängigkeit vom Tag des Jahres dargestellt.



**Abbildung 2** Zeitkorrektur und Deklination über ein Jahr

Da die Ergebnisse nicht nur für ein Jahr gültig sein sollen, wird in den Berechnungen die Zahl der Tage pro Jahr auf 365,25 Tage gemittelt. Dadurch verschieben sich die Ergebnisse wegen des Schaltjahres alle vier Jahre um bis zu einem Tag.

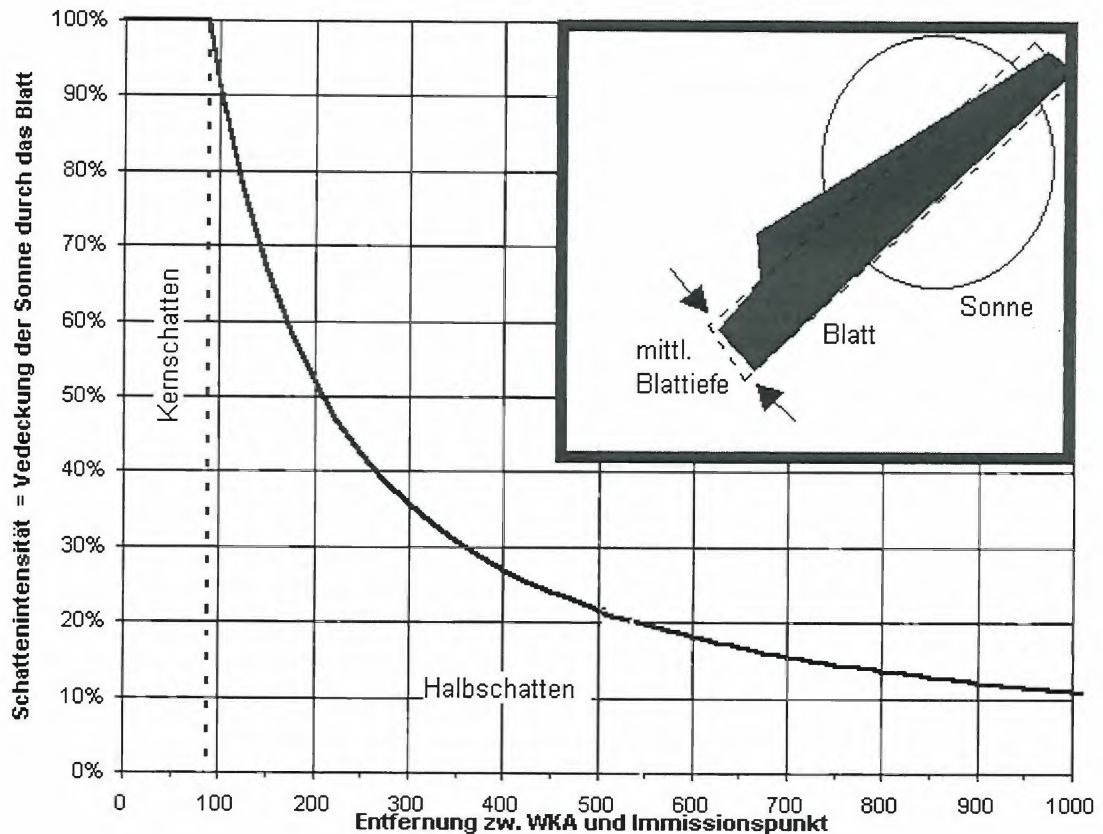
## **2.2 Schattenwurf**

### **2.2.1 Beschattungsbereich einer WEA**

Periodischer Schattenwurf wird durch die sich bewegenden Rotorblätter einer WEA erzeugt. Der Bereich, in dem der periodische Schattenwurf einer WEA untersucht werden muss (*Beschattungsbereich*), ist definiert als der Bereich, in dem die Sonnenscheibe zu mehr als 20% durch sich bewegende Rotorblätter verdeckt wird. Wird durch ein Rotorblatt weniger als 20% der Sonnenscheibe verdeckt, so ist der dadurch entstehende Helligkeitswechsel nicht mehr relevant. Da die Breite des Rotorblatts nicht über die ganze Länge konstant ist, wird um den Beschattungsbereich zu berechnen ersatzweise ein rechteckiges Rotorblatt mit einer mittleren Blatttiefe ermittelt und zugrunde gelegt.

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Schattenintensität bei einem typischen Rotorblatt von rund 20 m Länge in Abhängigkeit von der Entfernung.





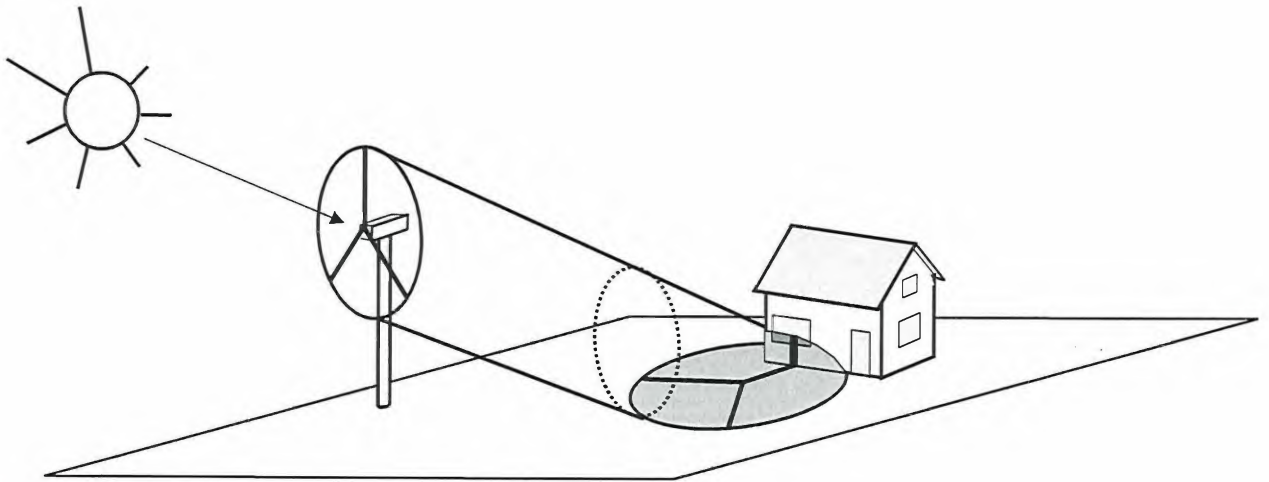
**Abbildung 3** Schattenintensität in Abhängigkeit von Rotorblatttiefe und Entfernung

### 2.2.2 Schattenverlauf, Berechnung

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

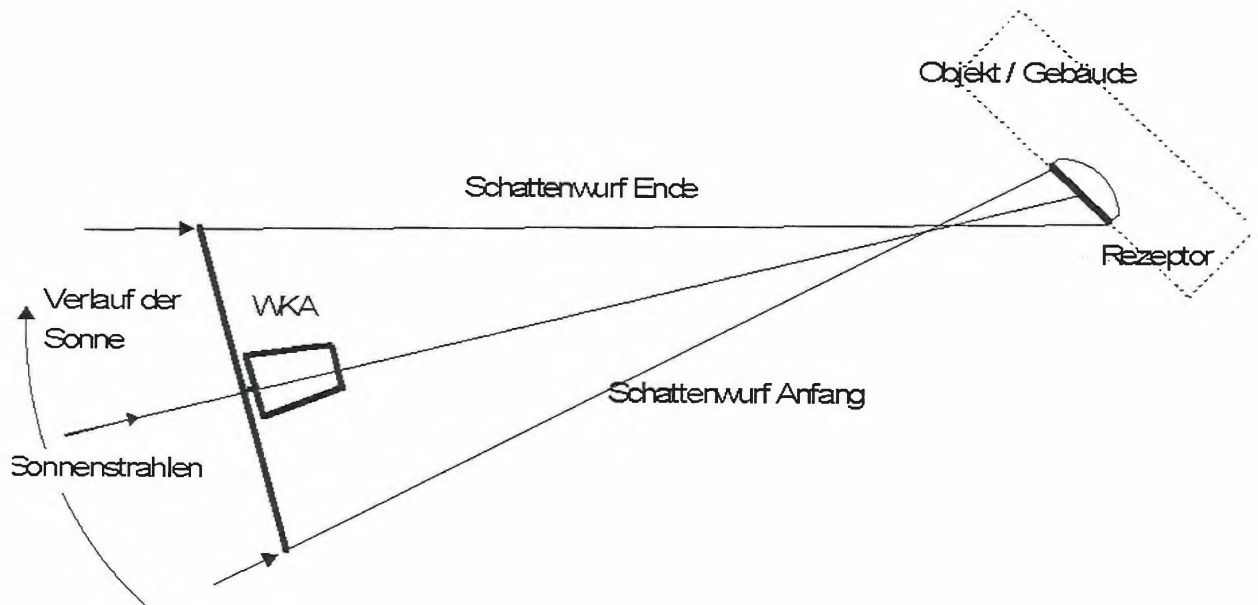
- die Position/Koordinaten der WEA und der Immissionsorte (Rechts- und Hochwerte, Höhe über N.N., Genauigkeit +/- 10 m),
- Ausmaße der WEA (Nabenhöhe und Rotordurchmesser),





**Abbildung 4** Schattenwurf des Rotors

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



**Abbildung 5** Schattenbeziehung WEA – Gebäude (Draufsicht)

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

### 2.2.3 Richtlinien

Offizielle Richtlinien für maximal zulässige Schattenwurfzeiten bei Windenergieanlagen existieren momentan noch nicht. Das staatliche Umweltamt Schleswig erarbeitet derzeit gemeinsam mit Fachleuten, Gutachtern (u.a. auch der CUBE Engineering GmbH), Gewerbeaufsichtsämtern und weiteren betroffenen Einrichtungen eine Regelung zur Schattenwurfproblematik. Die folgenden Angaben sind die bisher geltenden Vorgaben und Immissionsrichtwerte, die bei der Berechnung von Schattenwurfzeiten an einem Immissionspunkt zugrundegelegt werden:

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

## 2.3 Wahrscheinlichkeitsbetrachtung

Um aus der *Astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer (worst case)* die *Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer* zu ermitteln, fließen statistische Daten zur Sonnenscheinwahrscheinlichkeit, zu den Betriebsstunden der WEA und zur Windrichtung in die Berechnung ein. Diese Einflussfaktoren werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

### 2.3.1 Sonnenscheinwahrscheinlichkeit

Den Berechnungen der *Astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer (worst case)* wurde die Annahme kontinuierlichen Sonnenscheins zugrundegelegt. Um dagegen die *Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer* zu bestimmen, muss die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit mit berücksichtigt werden, die in der Praxis gleichzusetzen ist mit der Wahrscheinlichkeit der Existenz eines Schattenwurfs. Die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit ist von Region zu Region unterschiedlich und wird an Wetterstationen gemessen. Die dazu erhältlichen Daten basieren auf mehrjährigen Messungen. Angegeben wird üblicherweise die mittlere



tägliche Sonnenscheindauer in Stunden jeweils bezogen auf die einzelnen Monate. Teilt man diese Sonnenscheindauer durch die mittlere Zeitdauer von Sonnenaufgang bis -untergang im gleichen Monat, erhält man die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit im jeweiligen Monat. Dieser Wert liegt im Dezember zwischen 10% (Kassel) und 22% (Freiburg) und im Juli/August zwischen 40% (Düsseldorf) und 52% (Freiburg) [Quelle: Atlas über die Sonnenstrahlung Europas].

### **2.3.2 Reduktion der Schattenwurfdauer durch den Azimutwinkel**

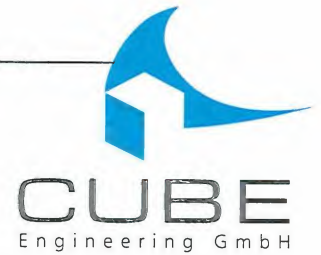
Bei der Berechnung der *Astronomisch maximal möglichen Beschattungsdauer (worst case)* wird ebenfalls vom ungünstigsten Fall ausgegangen, dass die Windrichtung mit der Richtung der Sonnenstrahlen identisch ist und die Ausrichtung des Rotors damit den größtmöglichen Schatten zur Folge hat. Wird die statistische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

Als Basis dient hier die Windrichtungsverteilung in 12 Sektoren, die dem Windgutachten oder einer in der Nähe gemessenen Windstatistik entnommen werden kann. Entsprechend der Windrichtungsverteilung in Sektoren wird die relevante Schattenwurfrichtungsbeziehung (WEA - Immissionspunkt) einem Windrichtungssektor zugeordnet. Gegenüberliegende Sektoren (Luv oder Lee von der Sonne angestrahlt) werden dabei in gleicher Weise berücksichtigt. Durch die Schrägstellung der Rotorebene verkleinern sich der Schattenwurfkegel und somit auch die Zeitpunkte des Schattenanfangs und des Schattenedes, also die Dauer des Schattenwurfs auf den Immissionspunkt.

### **2.3.3 Schattenwurf nur bei Betrieb der Anlage**

Weiterhin ist die WEA nicht ständig in Betrieb, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit eines Schattenwurfs durch den sich drehenden Rotor zusätzlich reduziert. Erst wenn die Windgeschwindigkeit einen Wert über der Anlaufwindgeschwindigkeit erreicht, beginnt sich die WEA zu drehen. Die Stillstandshäufigkeit kann ebenfalls mit Hilfe der Weibull-Funktion (Windgut-





achten bezogen auf Nabenhöhe) und der Anlaufwindgeschwindigkeit der WEA angegeben werden. Die "In-Betrieb"-Häufigkeit bezeichnet so das Verhältnis von Betriebsstunden der Anlage und der Stundenzahl eines Jahres (8760 h). Die entsprechenden Werte können in der Regel ebenfalls dem Windgutachten zum Standort entnommen werden.

## **3 Standort- und WEA-Daten**

### **3.1 Aufgabenstellung**

Der Auftraggeber plant, am Standort Hinterweiler zwischen den Orten Dockweiler im Norden und Hinterweiler im Westen eine Windenergieanlage des Typs Enercon E-30 mit 50 m Nabenhöhe zu errichten. Als Vorbelastung sind zwei Windenergieanlagen vom Typ Südwind S 77 mit 85 m Nabenhöhe sowie zwei Anlagen vom Typ GE Wind Energy 1.5 sl mit 85 m Nabenhöhe zu berücksichtigen (siehe Übersichtskarte im Anhang). Hierzu sollen die Immissionen durch periodischen Schattenwurf der Windenergieanlagen an der umliegenden Bebauung berechnet werden.

Die Berechnungen des Schattenwurfs basieren auf der vom Auftraggeber in Form einer Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5.000 vorgegebenen Datengrundlage. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in der Prognose zur kartographischen Darstellung vorwiegend die Topographische Karte im Maßstab 1:25.000 verwendet. Aus technischen Gründen können die WEA und Rezeptoren auf diesen Karten leicht verschoben erscheinen. In der Berechnungssoftware wurde mit den exakten Koordinaten gearbeitet, die der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5.000 entnommen wurden.

### 3.2 Windenergieanlagen

Der Antragsteller plant am Standort Hinterweiler die Errichtung von einer Windenergieanlage. Die Position der Anlagen ist der Übersichtskarte im Anhang zu entnehmen. Die für den Schattenwurf relevanten Kenndaten zu den bestehenden und geplanten Windenergieanlagentypen sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

	Bestand	Bestand	Neu geplant
Nummer	2-3	4-5	1
WEA-Hersteller	Südwind	Ge Wind Energy	Enercon
WEA-Typ	S-77	1.5 sl	E-30
Rotordurchmesser /m	77	77	30
Nabenhöhe /m	85	85	50
Nennleistung /kW	1500	1500	300
Mittlere Blatttiefe /m	2,15	1,88	1,02 <sup>1)</sup>
Beschattungsbereich /m	1152	1010	545 <sup>1)</sup>
Drehzahl /U/min	17	18	46
Schattenfrequenz /Hz	0,9	0,9	2,3
Zuschaltwindgeschw. /m/s	3	3	2,5

**Tabelle 1**

<sup>1)</sup>Da über das Rotorblatt der Enercon E-30 keine Angaben vorliegen, wurden die mittlere Blatttiefe und der Beschattungsbereich des größeren Rotorblatts der Enercon E-40 angesetzt.

Die Zuschaltwindgeschwindigkeit ist die Windgeschwindigkeit, ab der die Anlagen sich zu drehen beginnen. Bei drehzahlvariablen Anlagen variiert die Drehzahl und damit die Frequenz der Helligkeitsänderungen durch den Schattenwurf zwischen einem Maximum und einem Minimum, ansonsten treten in der Regel nur zwei verschiedene Drehzahlen für die beiden Generatorstufen einer WEA auf.

Der Beschattungsbereich wurde nach dem 20%-Kriterium (vgl. Kapitel 2.2.1) ermittelt.

### **3.3 Immissionsorte**

*Maßgebliche Immissionsorte* entsprechend den *WEA-Schattenwurf-Hinweisen* des StUA Schleswig sind schutzwürdige Räume sowie (nach Bauordnungs- und -planungsrecht) bebau- bare Freiflächen. Diese breite Definition wird in dieser Prognose praxisorientiert eingeschränkt auf:

- Immissionsorte, die innerhalb des Beschattungsbereichs der neugeplanten WEA liegen
- Immissionsorte, an denen laut der berechneten *Karte der Linien gleicher Beschattungs- dauer in Stunden pro Jahr* (s. Seite Anhang) eine relevante Menge Schattenwurf (astro- nomisch maximal mögliche Beschattungsdauer) auftritt.

Entsprechend dieser Definitionen sind an dem Standort Hinterweiler im Bezug der zusätzlich geplanten WEA keine Immissionsorte vorhanden.

## **4. Zusammenfassung und Empfehlungen**

Am Windparkstandort konnten innerhalb des Beschattungsbereiches der neu geplanten Anla- ge keine Immissionsorte ermittelt werden.

Gegen einen Betrieb der Anlagen ist somit als Sicht des Immissionsschutzes vor Belastungen durch Schattenwurf nichts einzuwenden.



## 4 Vorschriften und Quellen (Auswahl)

- BImSchG; Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)
- H.D. Freund: Effektive Einwirkzeit  $T_w$  des Schattenwurfs bei  $T_{max} = 30$  h/Jahr, Ausarbeitung Institut für Physik und allgemeine Elektrotechnik, Fachhochschule Kiel (24.01.2001)
- H.D. Freund: Die Reichweite des Schattenwurfs von Windkraftanlagen; Umweltforschungsbank UFORDAT (Juni 1999)
- K. Bohne, D. Michelbrand: Der Schattenwurf von Windkraftanlagen; Diplomarbeit FH Kiel (April 2000)
- DIN 67530 / ISO 2813: Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und Kunststoff-Oberflächen; Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin (1978)
- RAL 7035-HR – Farbbregister; Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung; Bonn / St. Augustin (1998)
- Staatliches Umweltamt Schleswig; Ergebnisprotokoll des 3. Fachgesprächs vom 19.11.1999 über Umwelteinwirkungen von Windenergieanlagen, Schleswig (1999)
- J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld; Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Feldstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (31.07.1999)
- J. Pohl, F. Faul, R. Mausfeld; Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen, Laborpilotstudie, Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (15.05.2000)
- DIN 5034-2: Tageslicht in Innenräumen – Grundlagen, Beuth-Verlag Berlin (1985)
- VDI 3789 Blatt2-10/94: Umweltmeteorologie – Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung, VDI, Düsseldorf (1994)
- StUA Schleswig: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise); Schleswig 2001

## 5 Anhang

- Übersichtskarte
- Karte der Linien gleicher Beschattungsdauer in Stunden pro Jahr
- Schattenintensitätsgrafik der WEA



Projekt:

Hinterweiler

Beschreibung:

Karte der Linien gleicher Beschattungsdauer in Stunden pro Jahr

Ausdruck/Seite

29.01.2003 10:14 / 1

Lizenzierter Anwender:

CUBE Engineering GmbH

Ludwig-Erhard-Str. 10

DE-34131 Kassel

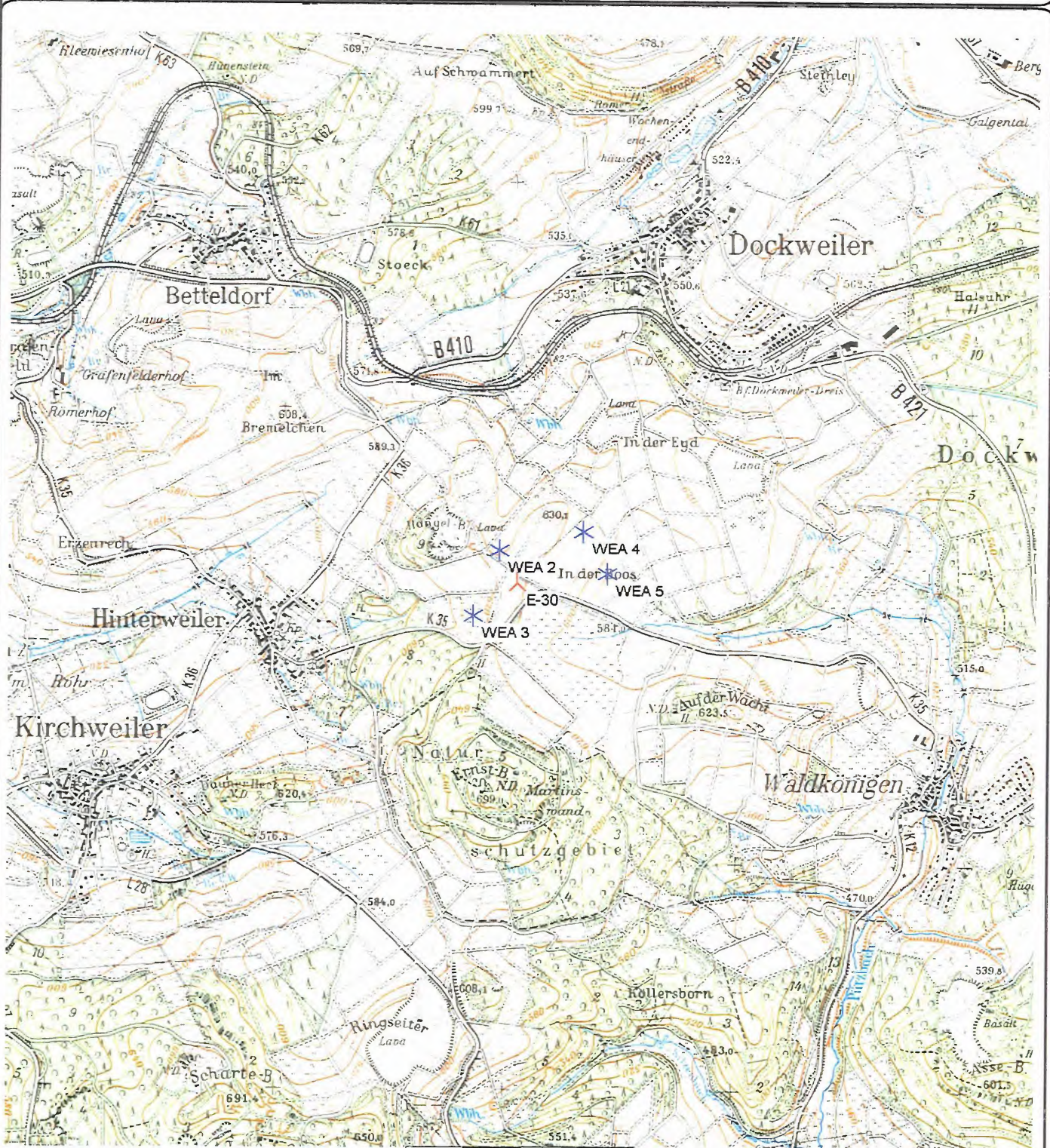
+49 561 34338

Umwelt Husum

29.01.2003 10:13/2.3.1.127

### SHADOW - Hinterweiler 25K

Berechnung: Übersichtskarte    Datei: Hinterweiler 25K.bmi



Karte: Hinterweiler 25K, Druckmaßstab 1:25.000, Kartenzentrum GK Zone: 2 Ost: 2.555.134 Nord: 5.567.281

▲ Neue WEA    \* Existierende WEA



Projekt:  
Hinterweiler

Beschreibung:  
Karte der Linien gleicher Beschattungsdauer in Stunden pro Jahr

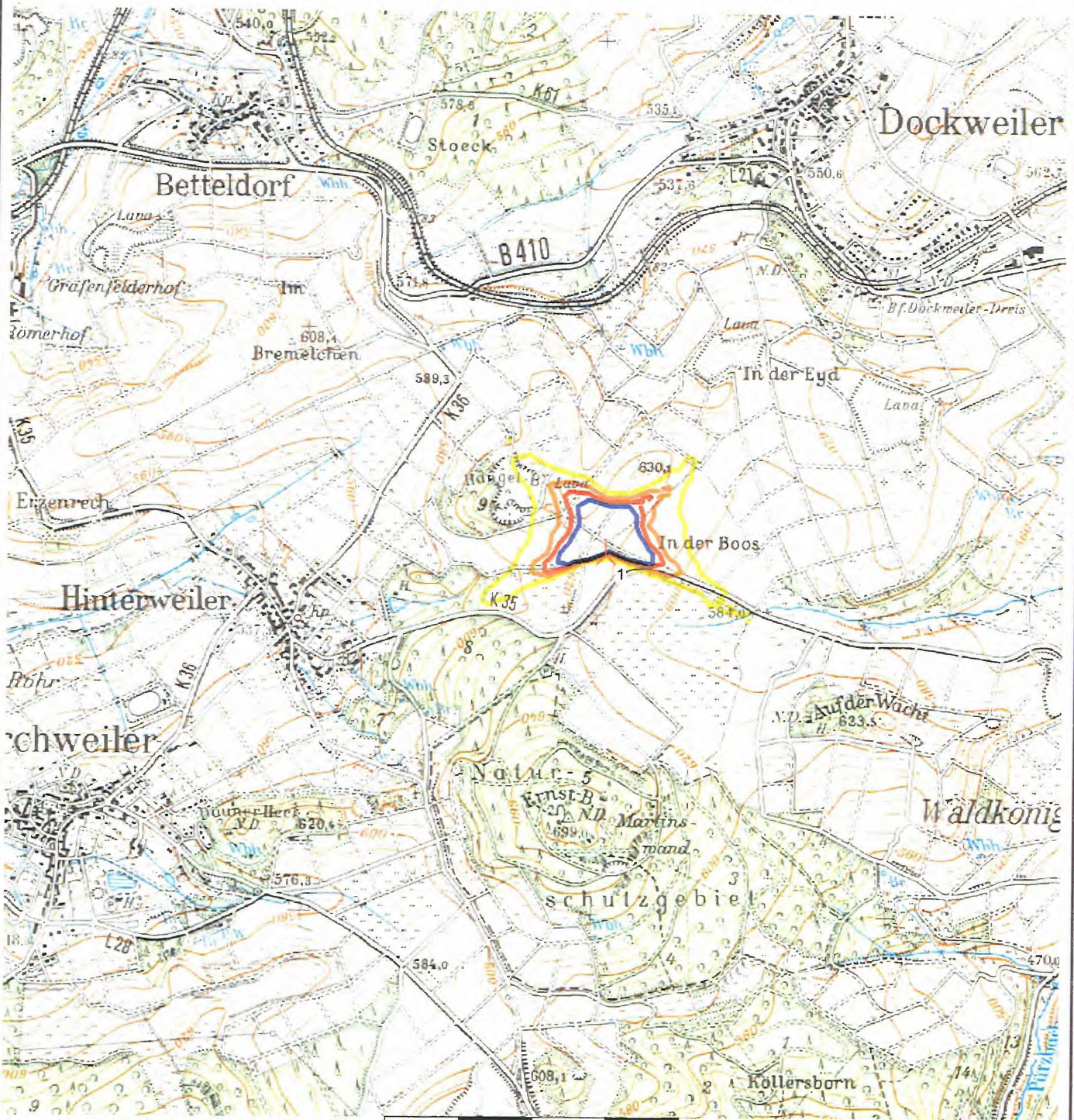
Ausdruck/Seite  
29.01.2003 10:07 / 1

Lizenzierter Anwender:  
**CUBE Engineering GmbH**  
Ludwig-Erhard-Str. 10  
DE-34131 Kassel  
+49 561 34338

Umwelt Husum  
29.01.2003 09:57/2.3.1.127

### SHADOW - Hinterweiler 25K

Berechnung: Zusatzbelastung    Datei: Hinterweiler 25K.bmi



Karte: Hinterweiler 25K , Druckmaßstab 1:20.000, Kartenzentrum GK Zone: 2 Ost: 2.554.851 Nord: 5.567.260

▲ Neue WEA

ISO-Schattenlinien, Linien gleicher Schattenwurfdauer in Schattendauer in Stunden pro Jahr. 'worst case'-Berechnung.

10    20    30    40



# Schattenintensität / Verdeckungsgrad der Sonne

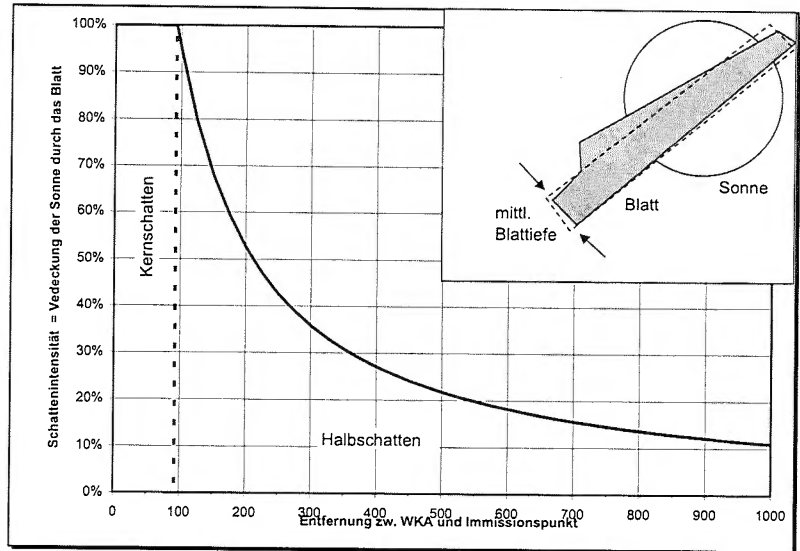
WKA Daten	
Hersteller	Enercon
Typ	E 40
Rotordurchmesser	40,3
Nabenhöhe	58
mittl. Blatttiefe	1,02
Max. Blatttiefe	1,57
Min. Blatttiefe (R=90%)	0,47
Drehzahl [U/min] von	18
Drehzahl [U/min]bis/und	38

Schattenwurfgrößen		
Länge ab Gondel	Kernschatten	109,6
Länge ab WKA-Fuß	Kernschatten	93,0
Länge ab Gondel bei Verdeckung	20%	548,1
Länge ab Gondel bei Verdeckung	15%	730,8
Länge ab Mastfuß bei Verdeckung	20%	545,0
Schattenwurf bei 3° Sonnenhöhe		1107
Schattenfrequenz [Hz]	von	0,9
Schattenfrequenz [Hz]	bis / und	1,9

Grundlage	
Sonnendurchmesser	1392000
Entfernung	149597890
Einstrahlwinkel	0,5331
Min. Sonnenhöhe / °	3

Alle Angaben in m

Entfernung	Intensität	Schattengeschwindigkeit
0	100,0%	0,25 m/min
40	100,0%	0,31 m/min
93	100,0%	0,48 m/min
100	94,8%	0,50 m/min
125	79,5%	0,60 m/min
150	68,2%	0,70 m/min
175	59,5%	0,80 m/min
200	52,6%	0,91 m/min
225	47,2%	1,01 m/min
250	42,7%	1,12 m/min
275	39,0%	1,23 m/min
300	35,9%	1,33 m/min
325	33,2%	1,44 m/min
350	30,9%	1,55 m/min
375	28,9%	1,66 m/min
400	27,1%	1,76 m/min
425	25,6%	1,87 m/min
450	24,2%	1,98 m/min
475	22,9%	2,09 m/min
500	21,8%	2,20 m/min
525	20,8%	2,30 m/min
550	19,8%	2,41 m/min
575	19,0%	2,52 m/min
600	18,2%	2,63 m/min
625	17,5%	2,74 m/min
650	16,8%	2,85 m/min
675	16,2%	2,96 m/min
700	15,6%	3,06 m/min
725	15,1%	3,17 m/min
750	14,6%	3,28 m/min
775	14,1%	3,39 m/min
800	13,7%	3,50 m/min
825	13,3%	3,61 m/min
850	12,9%	3,72 m/min
875	12,5%	3,83 m/min
900	12,2%	3,94 m/min
925	11,8%	4,04 m/min
950	11,5%	4,15 m/min
975	11,2%	4,26 m/min
1000	10,9%	4,37 m/min
1025	10,7%	4,48 m/min
1050	10,4%	4,59 m/min
1075	10,2%	4,70 m/min
1100	10,0%	4,81 m/min
1125	9,7%	4,92 m/min
1150	9,5%	5,02 m/min
1175	9,3%	5,13 m/min



Intensität des Schattens in Abhängigkeit der Entfernung bei einer Enercon E 40 mit 58m Nabenhöhe und 1,02m mittlerer Blatttiefe

