



Industrie Service

Schall, Schatten und Ertrag

Bürgerwindpark zwischen Streu und Saale

Thomas Arnold

Infoveranstaltung Windkraft bei Hendungen, 12. November 2012



I Schallgutachten

II Schattenwurfgutachten

III Maßnahmen gegen derartige Immissionen

IV Ertragsermittlung

I. Schallgutachten



Industrie Service

Definition Schall

Schall ist eine mechanische Schwingung in einem elastischen Medium

Charakteristik:

Regelmäßige Schwingung: Ton

Unregelmäßige Schwingung: Geräusch

Wichtige Größen:

Schalldruckpegel L_p : [dB]

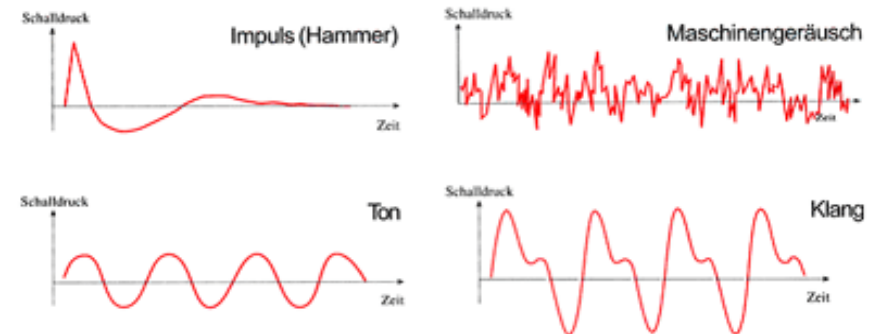
Frequenz: [Hz]

Ausbreitung:

Kreisförmig um die Quelle

Abnahme:

Logarithmische Abnahme bei steigendem Abstand



I. Schallgutachten



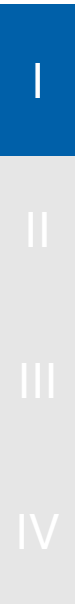
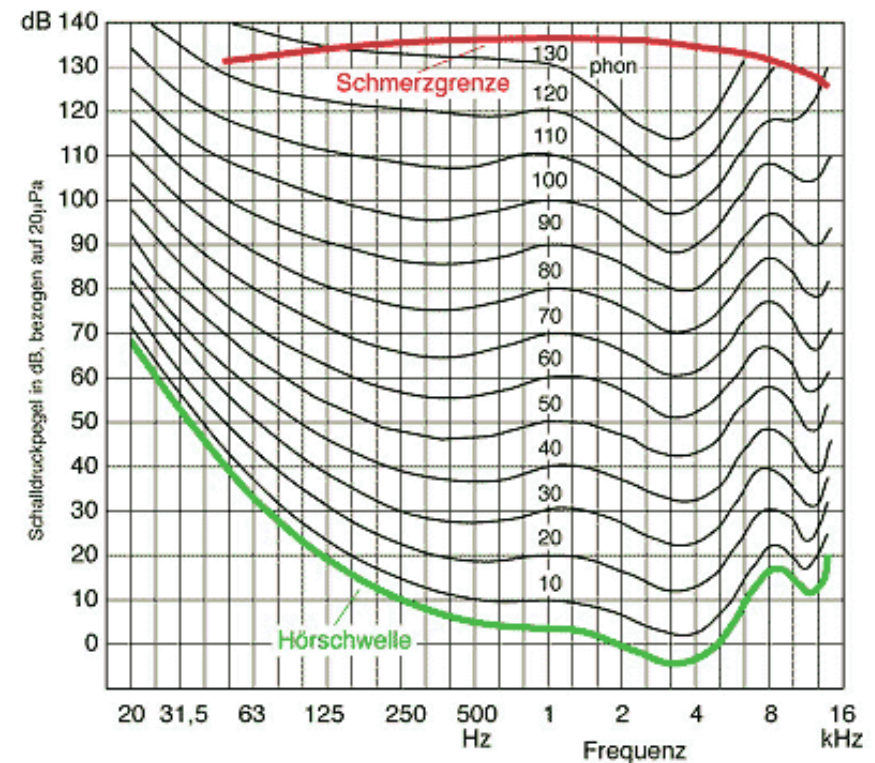
Industrie Service

Hörbarer Bereich (menschlich): 20 Hz – 20 kHz

„A“-Filter:

Im Bereich des hörbaren Frequenzbandes werden unterschiedlich laute Geräusche emittiert. Daher wird in der Praxis der Schallleistungspegel L_W über einen der Hörcharakteristik des Menschen angepassten Filter gemessen. Damit können unterschiedliche Geräusche miteinander verglichen und bewertet werden.

Dieser über einen Filter (mit der Charakteristik „A“ nach DIN IEC 651, Index A) gemessene Schallleistungspegel wird als **„A-bewerteter Schallpegel“** bezeichnet. Dieser wird für die Berechnung der Schallausbreitung nach DIN ISO 9613-2 verwendet.



Infraschall

- als Infraschall werden Schallwellen unterhalb von 20 Hz definiert und ist für das menschliche Ohr nicht bis kaum wahrnehmbar. Sie sind ein Teil des sog. tieffrequenten Schalls, der den Bereich unter 100 Hz umfasst
- für Infraschall gibt es natürliche (z.B. Stürme) und künstliche Quellen (z.B. Klimaanlage in Gebäuden)
- je tiefer die Frequenz des Infraschalls, desto höher muss der Schalldruck sein, damit er gehört werden kann.

Frequenz	8 Hz	10 Hz	12.5 Hz	16 Hz	20 Hz
L_{eq}	72 dB	71 dB	69 dB	68 dB	65 dB
Hörschwelle	103 dB	95 dB	87 dB	79 dB	71 dB

Infraschallpegel ermittelt in 250 m Abstand von einer 1 MW-Windenergieanlage bei einer Windgeschwindigkeit von 15 m/s – LfU Bayern 2000

- „Liegen die Pegel des Infraschalls unterhalb der Hörschwelle, konnten in Studien am Menschen bisher keine Wirkungen auf das Gehör, auf das Herz-Kreislaufsystem oder andere Symptome beobachtet werden,“ – *Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012*

Schallquellen bei WEA

Aerodynamisch bedingte Geräusche durch Rotorblätter (Laminare Ablösungen können hochfrequente Pfeifgeräusche verursachen)

- Reduktion der Rotorblattgeschwindigkeit durch hohe Drehmomente
- angepasstes Blattdesign

Generator

- Schallisolierung der Gondel (erfordert jedoch wieder gezielte Be- und Entlüftung)

Transformator (Netzbrummton)

- Schallisolierung des Transformatorhäuschens

Getriebe

- Einsatz geräuscharmer Getriebe
- Schallisolierung der Gondel

Lüftung/Kühlung

I

II

III

IV

Wichtige Begriffe im Schallgutachten

Schalleistungspegel L_w [dB]:

Maximaler Wert der von einer Schallquelle emittiert wird, quasi der Wert unmittelbar im Emissionszentrum

Schalldruckpegel L_s [dB(A)]:

Augenblicklicher Wert der an einem bestimmten Immissionsort gemessen wird

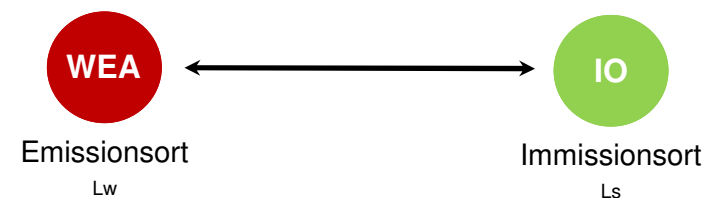
Mittelungspegel L_{aeq} :

Zeitlich gemittelter Wert des Schalldruckpegels L_s
(Das Schallgutachten berücksichtigt als ungünstigsten Fall $L_s = L_{Aeq}$)

Beurteilungspegel L_{rA} :

Resultiert aus dem Mittelungspegel und den Zuschlägen aus Ton- und Impulshaltigkeit aller Geräuschquellen

- Die Schallemission einer WEA verläuft nicht konstant, sondern ist stark abhängig von der Windgeschwindigkeit, bzw. der damit produzierten Leistung



I

II

III

IV



Industrie Service

I. Schallgutachten

Immissionsrichtwerte nach TA Lärm

(Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm)

- maximaler Lärmpegel bei 10 m/s in 10m Höhe oder bei 95% der Nennleistung, da hier mit **größten Beurteilungspegeln** zu rechnen ist
- Immissionsorte werden durch das zuständige Landratsamt festgelegt
- Grundlage der Gebietstypisierung bildet der Flächennutzungsplan
- maßgeblich sind die Schallrichtwerte für den Nachtzeitraum (Tag-/Nachtregelung)
- letzte Gewissheit erst durch Messung vor Ort (evtl. Auflage durch Landratsamt)
- Berechnungsmethode gemäß DIN ISO 9613-2

$$L_{AT}(DW) = L_{WA} + D_C - A - C_{met} \quad \text{mit} \quad D_C = D_{\Omega} - 0dB$$

L_{WA} : Schalleistungspegel der Punktschallquelle (A-bewertet)

$L_{AT}(DW)$: Dauerschalldruckpegel jeder einzelnen Quelle am Immissionspunkt

D_C : Richtwirkungskorrektur für die Quelle ohne Richtwirkung (0dB), aber unter Berücksichtigung der Reflexion am Boden D_{Ω}

A : Dämpfung zwischen der Punktquelle (WEA-Gondel) und dem Immissionspunkt, die während der Schallausbreitung vorhanden ist. Wobei: $A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$

C_{met} : Meteorologische Korrektur

Gesamtunsicherheitsaufschlag

- wird als Obere Vertrauensbereichsgrenze L_O auf den Schalldruckpegel zu Gunsten des Immissionsorts aufaddiert

$$\sigma_{ges} = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2 + \sigma_{Prog}^2 + \sigma_{Schirm}^2}$$

- σ_R : Ungenauigkeit der Schallemissions-Vermessung der WEA
 $\sigma_R = 0.5 \text{ dB(A)}$, wenn die WEA gem. DIN 61400 – 11 vermessen wurde oder (3-fach),
 $\sigma_R =$ Ungenauigkeit, die im Vermessungsbericht durch das Messinstitut angegeben wird
 $\sigma_R = 1 \text{ dB(A)}$ bei nicht vermessenen WEA
- σ_P : Serienstreuung der WEA (falls nicht 3-fach vermessen)
 $\sigma_P = 0.87 \text{ dB(A)}$ (ansonsten StAbw der vermessenen Werte)
- σ_{Prog} : prinzipielle Unsicherheit des Prognosemodells der Ausbreitungsrechnung.
 $\sigma_{Prog} = 1.15 \text{ dB(A)}$
- σ_{Schirm} : Ungenauigkeit der Bestimmung des Abschirmmaßes
 $\sigma_{Schirm} = 0 \text{ dB(A)}$, da ohne Abschirmung gerechnet wurde.

I. Schallgutachten



Industrie Service

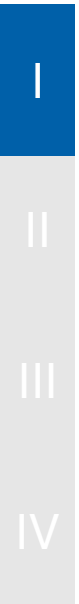
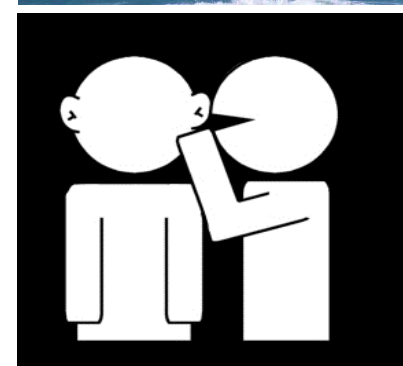
Beurteilungspegel gemäß TA Lärm
(Technische Anleitung zum Schutz
gegen Lärm)

Nutzungsart	Kurz- bezeichnung	Zeitraum	Beurteilungs- pegel
[-]	[-]	[-]	[dB(A)]
Industriegebiete	GI		70
Gewerbegebiete	GE	Tag	65
		Nacht	50
Kerngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete	MD / MI	Tag	60
		Nacht	45
Allg. Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete	WA / WS	Tag	55
		Nacht	40
Reine Wohngebiete	WR	Tag	50
		Nacht	35
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	S	Tag	45
		Nacht	35






Tag: 6:00 - 22:00
Nacht: 22:00 - 6:00

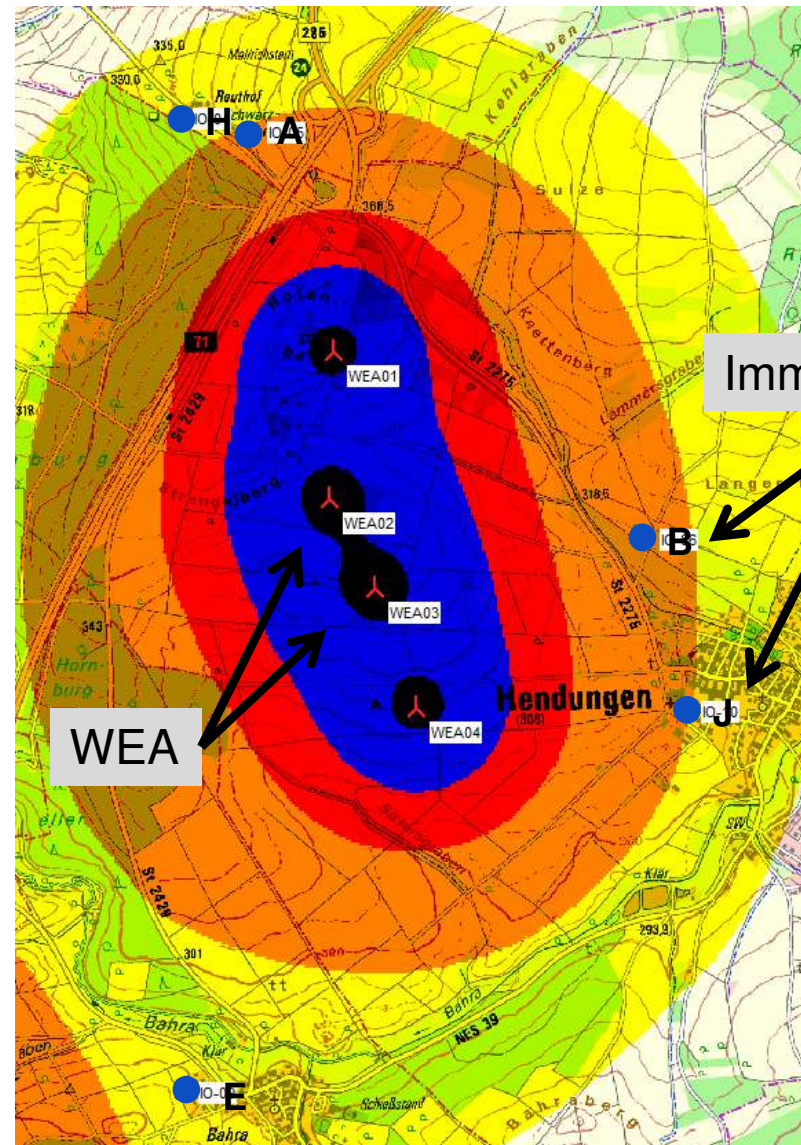
Lärm-/Geräuschbeispiel

Lärmbeispiel	Schalldruckpegel
[-]	[dB(A)]
Flugzeug, Abstand - Schmerzgrenze-	120
Presslufthammer in unmittelbarer Nähe	110
Kreissäge, Diskothek	100
Lkw, 1 m Abstand	90
Pkw, 50 km/h, am Fahrbahnrand	80
Staubsauger oder am fließenden Gebirgsbach	70
Gespräch oder am Meer	60
Leise Musik	50
Kühlschrank oder ruhiges Wohngebiet im Grünen	40
Flüstern	30
Klick einer PC-Maus in 3m Entfernung	20
Stille	10
Hörschwelle	0

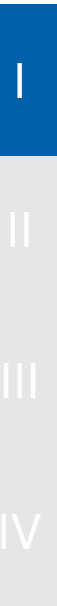


I. Schallgutachten

- der Schall breitet sich in konzentrischen Kreisen um die Anlagen aus
- topographische Einflüsse werden berücksichtigt
- mehr Anlagen erhöhen den Schalldruckpegel
- geplante Anlagen: SWT-2.3-113
 - 142.5 m Nabenhöhe
 - Maximaler Schallleistungspegel 105 dB(A)
 - über 55.0 dB(A) 
 - 49.0 – 55.0 dB(A) 
 - 45.0 – 49.0 dB(A) 
 - 39.0 – 45.0 dB(A) 
 - 35.0 – 39.0 dB(A) 



Industrie Service



I. Schallgutachten

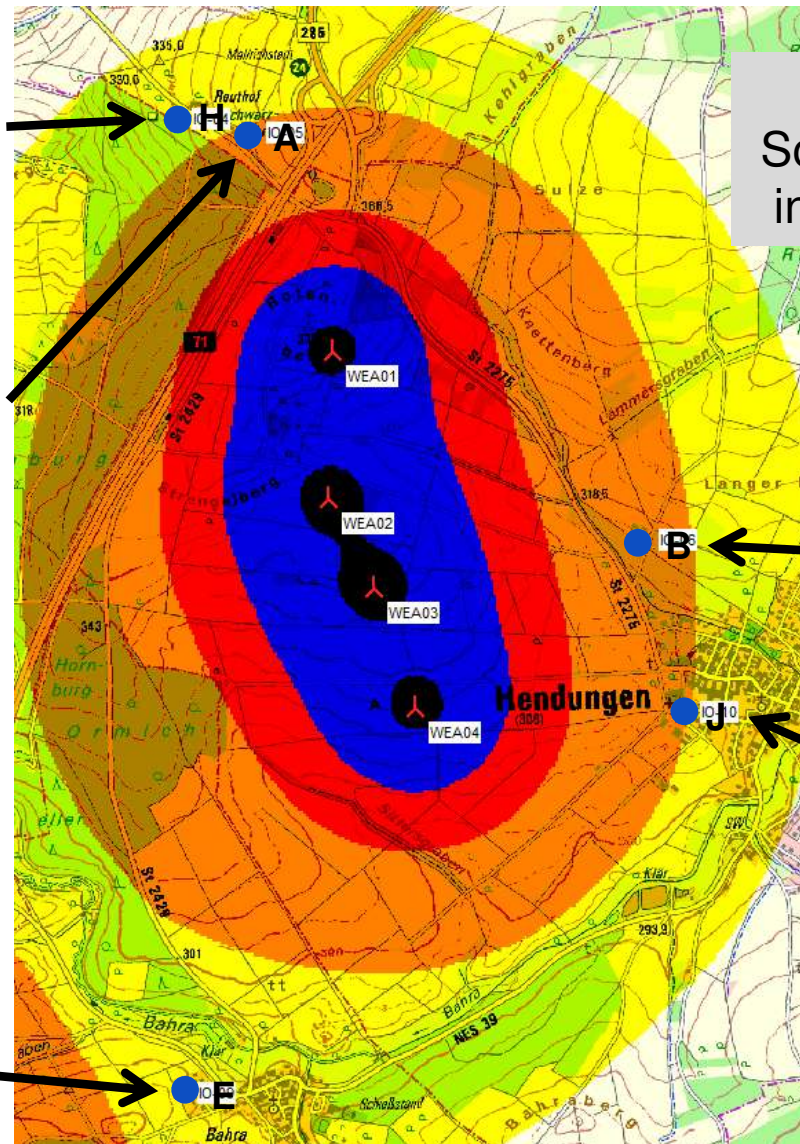


Industrie Service

IO-H: **37.5** dB(A)
Richtwert: 45.0 dB(A)

IO-A: **39.4** dB(A)
Richtwert: 45.0 dB(A)

IO-E: **38.0** dB(A)
Richtwert: 40.0 dB(A)

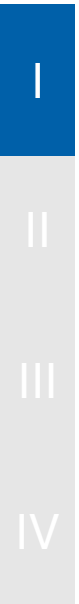


Berechnete
Schallbelastungen
inkl. Unsicherheit

IO-B: **40.6** dB(A)
Richtwert: 45.0 dB(A)

IO-J: **39.1** dB(A)
Richtwert: 40.0 dB(A)

Die Richtwerte an den
Immissionsorten werden
eingehalten.



II. Schattenwurfgutachten



Industrie Service

Immissionsrichtwerte für astronomisch maximal mögliche Beschattung

- Schwellenwert für tägliche Beschattungsdauer pro Tag: 30 Minuten
- Schwellenwert für jährliche Beschattungsdauer pro Jahr: 30 Stunden
- Hinweise des Länderausschuss Immissionen (LAI) zusammen mit dem staatlichen Umweltamt Schleswig von 2002 (gelten in Deutschland als Standard)

Worst-Case-Szenario:

- die Sonne scheint an allen Tagen des Jahres, nicht Wolkenverdeckt
- die Sonne stellt eine punktförmige Quelle dar
- die Rotorfläche steht senkrecht zum Einfallswinkel der direkten Sonneneinstrahlung
- die Windrichtung entspricht dem Azimutwinkel der Sonne
- die WEA ist immer in Betrieb (100% Verfügbarkeit)
- Abstände zwischen Rotor- und Turmachse und die Lichtbrechung der Atmosphäre werden nicht berücksichtigt
- der Schattenwurf wird erst ab einer Höhe von 3° berechnet (Bewuchs, Bebauung etc.)
- Halbschatten gilt ab 20% Bedeckung der Sonne als nicht mehr relevant



I

II

III

IV

Berechnung der **meteorologisch wahrscheinlichen Beschattung** möglich.

II. Schattenwurfgutachten



Industrie Service

Wichtige Begriffe

Maßgebliche Immissionsorte

Schutzwürdige Räume (Wohnräume, Dielen, Schlafräume, Übernachtungsräume, Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien, Unterrichtsräume in Schulen und Hochschulen, Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume ...)

Kernschatten

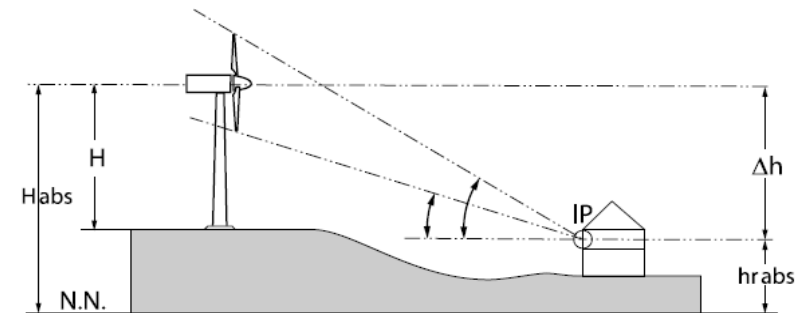
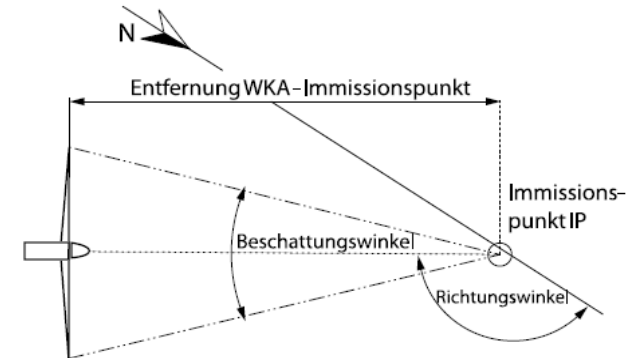
Vom Immissionsort aus betrachtete, vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt

Halbschatten

Vom Immissionsort aus betrachtete, nicht vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt. Bei einer WEA wird davon ausgegangen, dass ab einer Entfernung von etwa 500m nur mehr Halbschatten auftritt.

Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer

Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird.



I

II

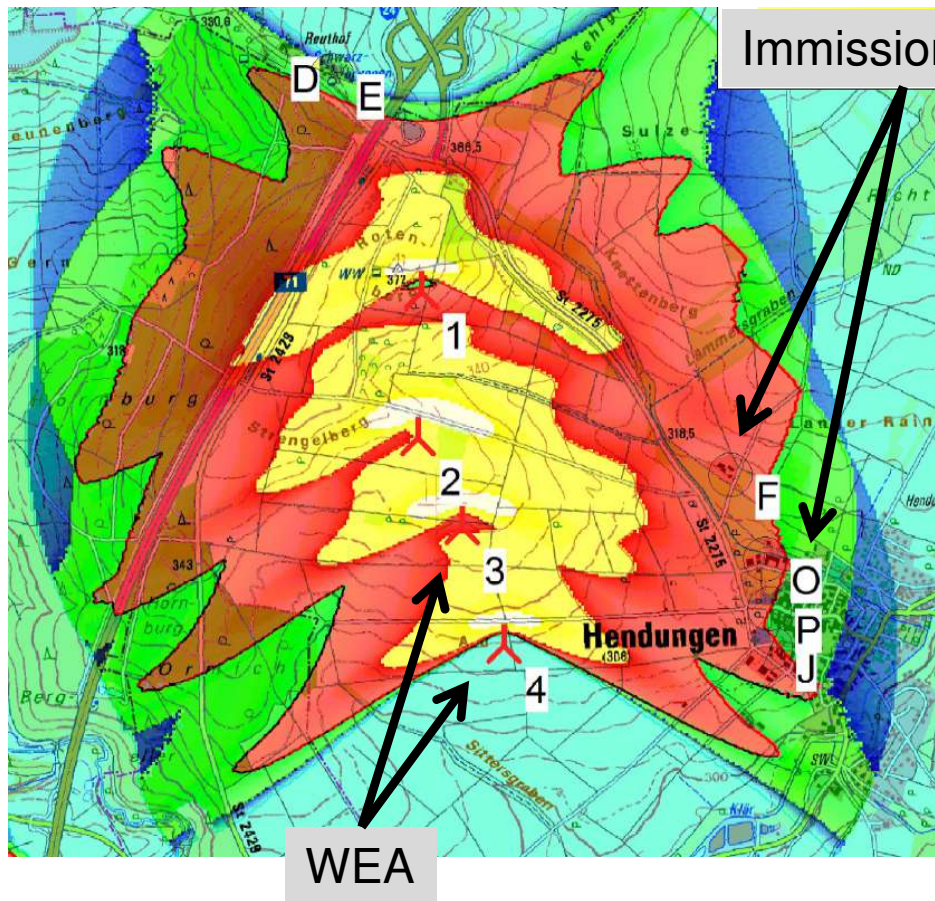
III

IV

II. Schattenwurfgutachten



Industrie Service



- 0-9 max. astronomisch mögliche Schattenstunden/a
- 10-29 max. astronomisch mögliche Schattenstunden/a
- 30-99 max. astronomisch mögliche Schattenstunden/a
- 99-100 max. astronomisch mögliche Schattenstunden/a

- typisches „Schmetterlingsmuster“ bei der Schattenwurfprognose von WEA
- Schatten mehrerer Anlagen kann sich überlagern
- topographische Einflüsse werden berücksichtigt

I

II

III

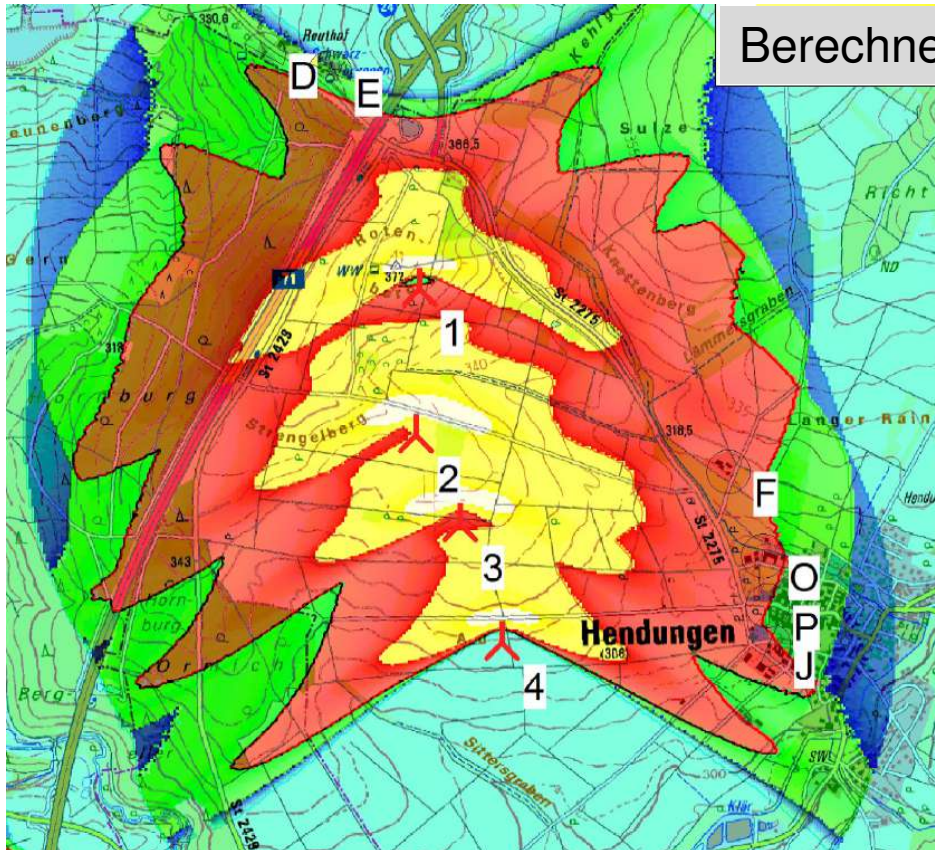
IV

II. Schattenwurfgutachten



Industrie Service

Berechnete Schattenwurfbelastungen



	Std. pro Jahr	Std. pro Tag
IO-D	24:54	0:29
IO-E	13:10	0:26
IO-F	38:18	0:28
IO-O	36:22	0:27
IO-P	26:46	0:28
IO-J	36:23	0:28



Grenzwerte für astronomisch maximal mögliche Beschattung: 30 Std. pro Jahr
30 Std. pro Tag

II. Schattenwurfgutachten



Industrie Service

Problematik

- stationärer Schattenwurf (unbewegtes Objekt, Baum, WEA in Parkstellung) wird allgemein als nicht sonderlich störend empfunden (situationsabhängig)
- bei laufendem Betrieb der WEA wandert der Schatten und ist an jedem Immissionspunkt nur von kurzer Dauer, was als besonders störend empfunden wird
- Rotorblätter „durchschneiden“ das Sonnenlicht mit 3-facher Drehfrequenz (3-Blattrotor) und erzeugen so einen stroboskopähnlichen Effekt (nicht zu verwechseln mit Disco-Effekt!)

I

II

III

IV

II. Schattenwurfgutachten



Industrie Service

- Rotorblätter „durchschneiden“ das Sonnenlicht mit 3-facher Drehfrequenz (3-Blattrotor) und erzeugen so einen stroboskopähnlichen Effekt
(*nicht zu verwechseln mit Disco-Effekt!*)

Periodische Reflexionen des Sonnenlichts an den Rotorblättern

- abhängig vom Glanzgrad der Rotoroberfläche und vom Reflexionsvermögen der gewählten Farbe
- mittlerweile nur noch bei Anlagen aus den Anfängen der Windenergie anzutreffen
- ▶ Verwendung matter Lacke



II. Schattenwurfgutachten



Industrie Service

Problematik

Überschreitungen an drei Immissionsorten in Hendungen festgestellt

IO-F: um 8:18 Std. / Jahr

IO-J: um 6:23 Std. / Jahr

IO-O: um 6:22 Std. / Jahr

- ▶ Anlagen mit Schattenabschaltautomatik ausgestattet
 - einprogrammierte, astronomisch mögliche Schattenwurfzeiten
 - Abschaltung über Lichtsensor, wenn kritischer Schattenwurf möglich wird

- ▶ Wetterverhältnisse verringern die effektive Schattendauer auf ca. 20...30% der astronomisch möglichen Maximaldauer

I

II

III

IV

III. Maßnahmen gegen derartige Immissionen



Industrie Service

- schalloptimierte und schattenoptimierte Planung
 - in Bezug auf → Anordnung der Anlagen,
 - Anzahl der Anlagen
 - Anlagentyp

- schallreduzierter Betrieb der Anlagen → bei den hier geplanten Anlagen nicht notwendig, da Richtwerte eingehalten

- Schattenabschaltung der Anlagen bei Überschreitung der Richtwerte
 - Hier: Untersuchung bzgl. der meteorologisch wahrscheinlichen Beschattung weitere Möglichkeit
 - Sonst: Schattenabschaltung mit Hinblick auf Einhaltung der Richtwerte

I

II

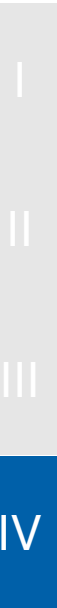
III

IV

IV. Ertragsermittlung



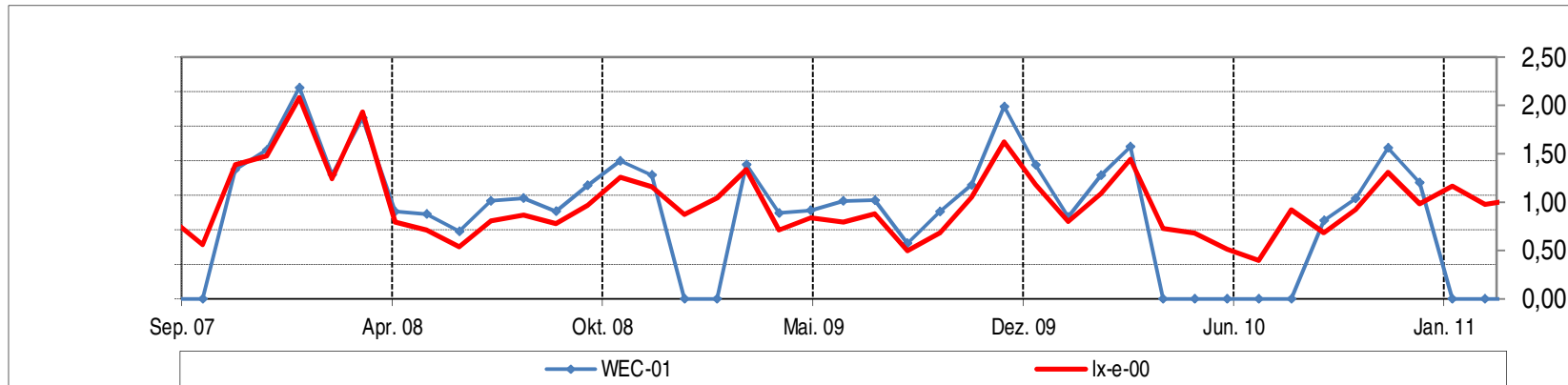
Industrie Service



IV. Ertragsermittlung



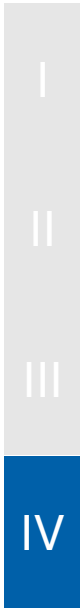
Industrie Service



Monthly Analysis		E-mea [kWh]	Verf. [%]
Validat. 104%		WEC-01	
mean value	Monthly Energy Matrix	319752	97
max. value		599174	100
min. value		159334	82
rel. deviat.		99661	4.2%
15.01.2008		599174	98
15.02.2008		358938	100
15.03.2008		465068	89
15.04.2008		248015	98
15.05.2008		243266	99
15.06.2008		194911	100
15.07.2008		274275	97
15.08.2008		290504	100
15.09.2008		253135	100
15.10.2008		321764	98
15.11.2008		397296	99
15.12.2008		357996	100

Monthly Analysis		E-mea [kWh]	Verf. [%]
Validat. 101%		WEC-01	
mean value	Monthly Energy Matrix	334951	100
max. value		611402	100
min. value		160629	100
rel. deviat.		104807	0.0%
15.01.2008		611402	100
15.02.2008		359454	100
15.03.2008		523465	100
15.04.2008		253077	100
15.05.2008		245244	100
15.06.2008		195727	100
15.07.2008		283812	100
15.08.2008		291287	100
15.09.2008		253487	100
15.10.2008		328331	100
15.11.2008		399516	100
15.12.2008		358478	100

Monthly Analysis		E-mea [kWh]
Validat. 105%		WEC-01
mean value	Monthly Energy Matrix	322119
max. value		369777
min. value		270061
rel. deviat.		25558
15.01.2008		293830
15.02.2008		289696
15.03.2008		271029
15.04.2008		319299
15.05.2008		343864
15.06.2008		364210
15.07.2008		352211
15.08.2008		336126
15.09.2008		326406
15.10.2008		339676
15.11.2008		318187
15.12.2008		309246



IV. Ertragsermittlung



Industrie Service



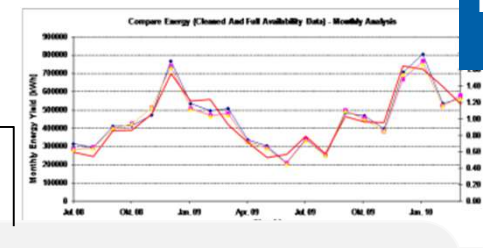
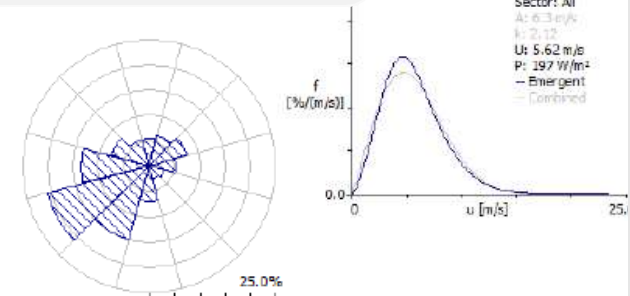
Modellergebnisse:
– Topographische Eingangsdaten

Ertrag

Ertrag

Modell

Korrigiert, Langzeitbezug



Güte Validierung =



Korrigierte Erträge:

- Korrektur auf 100% Verfügbarkeit
- Leistungskennlinie des exakten Anlagentyps
- Dichtekorrektur der Kennlinie (Temperaturmessung, Nabenhöhe ü. NN)

Langzeitbezug:

- Langjährige Ertragsdaten (Keiler-Häuser Index)
- Lokale Anpassung des Index (standortbezogen)

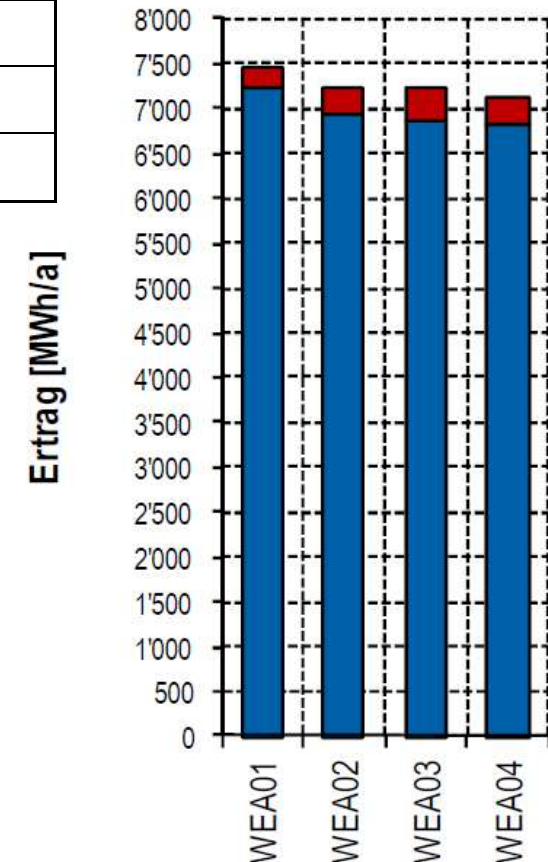
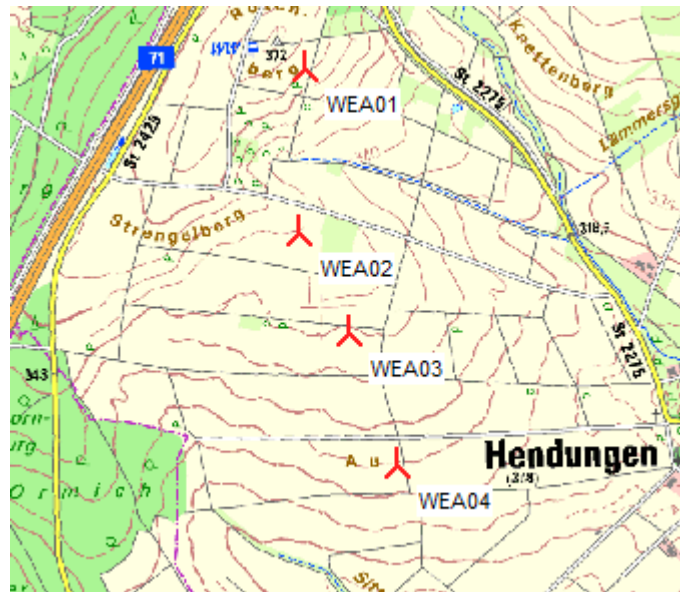
IV. Ertragsermittlung



Industrie Service

Für die geplanten WEA bei Hendungen ermittelt:

Freie Anströmung			Ergebnisse im Windpark	
WEA-Nr.	v	Ertrag	Ertrag	Parkwirkungsgrad
[-]	[m/s]	[MWh/a]	[MWh/a]	[-]
WEA 01	6.2	7'467	7'219	96.7%
WEA 02	6.1	7'229	6'933	95.9%
WEA 03	6.2	7'239	6'855	94.7%
WEA 04	6.1	7'112	6'830	96.0%



IV



Industrie Service

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Wind Cert Services

Thomas Arnold

Ludwig-Eckert-Straße 8
93049 Regensburg
Telefon +49 (0)941 460212-10
E-Mail: thomas.arnold@tuev-sued.de