

Windturbinen aus akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science & Technology,
CH-8600 Dübendorf, Switzerland.

2014-09-26



Materials Science & Technology

Übersicht

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

- ▶ Windturbine als Schallquelle
- ▶ Immissionsprognose von Windturbinenlärm
- ▶ Beurteilung von Windturbinenlärm
- ▶ Aktuelle Projekte aus der Schweiz

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

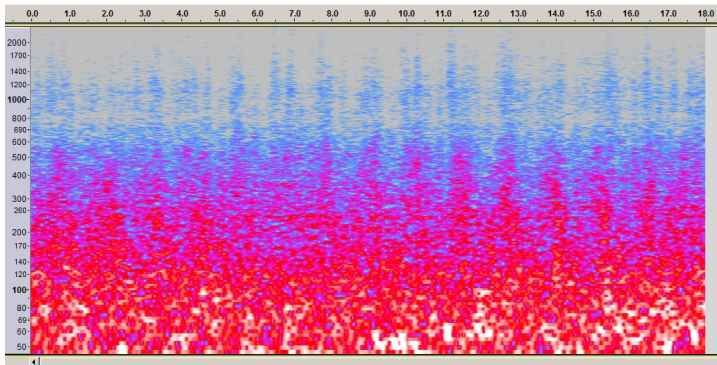
Empa Hörversuche

Studie VD

Windturbine als Schallquelle

Windturbine als Schallquelle

Audio: Turbine St. Brais in 100 m Distanz

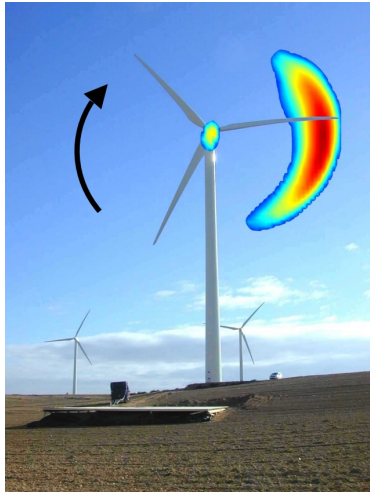


Windturbine als Schallquelle

Geräuschkomponenten einer Windturbine:

- ▶ mechanische Geräusche
 - ▶ Getriebe, bewegte Teile
 - ▶ durch Kapselung bei modernen Turbinen bedeutungslos
- ▶ aerodynamische Geräusche
 - ▶ Umströmung der Flügel
 - ▶ vor allem an Profilhinterkante
 - ▶ während Abwärtsbewegung

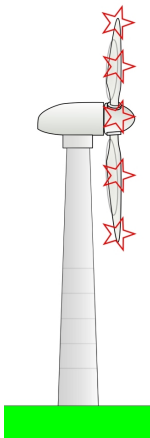
Windturbine als Schallquelle



S. Oerlemans, Detection of aeroacoustic sound sources on aircraft and wind turbines, Thesis University of Twente, Enschede, 2009.

Windturbine als Schallquelle

typ. Schallleistungspegel 105 dB(A)



2 MW Turbine



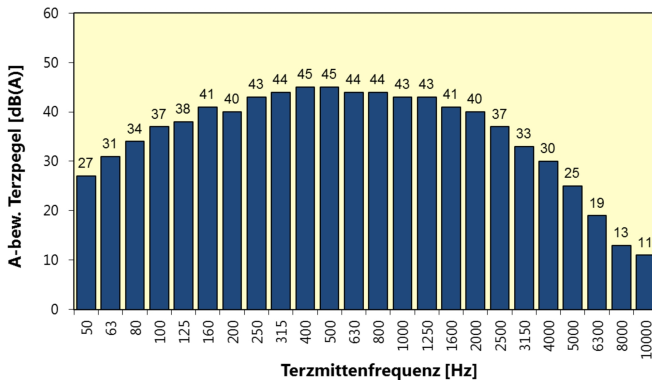
PW, 90 km/h



5 Rasenmäher

Windturbine als Schallquelle

typisches A-bewertetes Emissionsspektrum einer
Windturbine (Lp in ca. 100 m)



Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

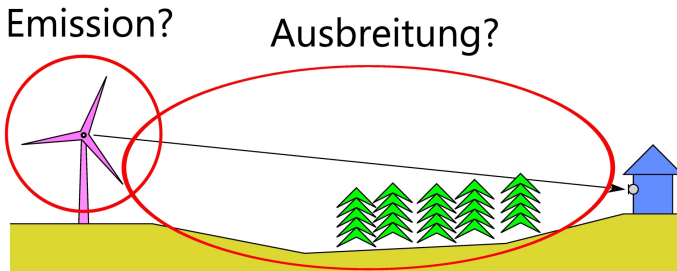
VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

Immissionsprognose von Windturbinenlärm

Elemente einer Immissionsprognose



Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

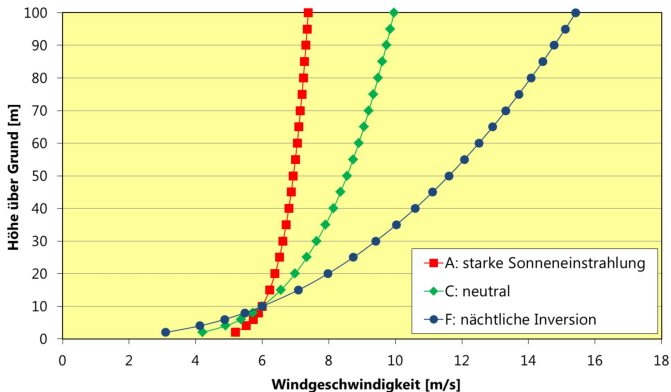
Emissionsbestimmung

Emissionsbestimmung

- ▶ Akustische Emission eines gegebenen Turbinentyps abhängig von
 - ▶ Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe
 - ▶ Betriebsmodus
- ▶ → Prognose:
 - ▶ Windgeschwindigkeitsstatistik (typisch bekannt auf 10 m/s) auf Nabenhöhe transformieren
 - ▶ Betriebsdaten erheben

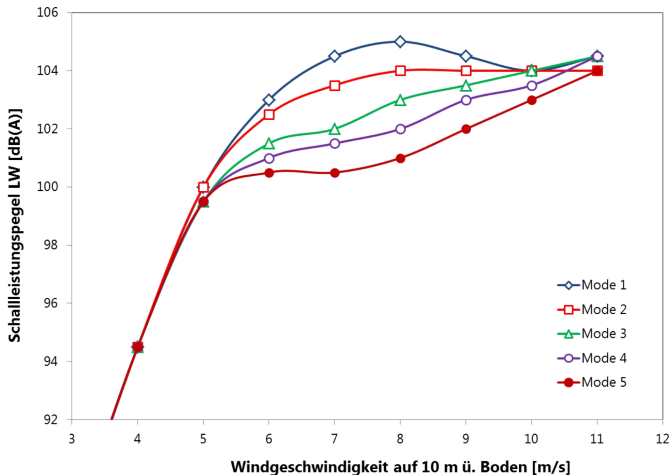
Emissionsbestimmung

Windgeschwindigkeitsprofile:



Emissionsbestimmung

Beispiel: Vestas V80-2MW: $L_W(v)$ für verschiedene Betriebsmodi



Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

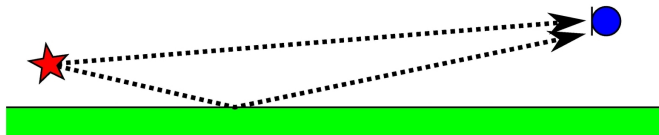
Studie VD

Ausbreitungsrechnung

Ausbreitungsrechnung

- ▶ Engineeringmodelle wie z.B. ISO 9613-2
- ▶ Besonderheit: sehr hohe Quelle → Konsequenzen hinsichtlich
 - ▶ Bodeneffekt?
 - ▶ Meteeffekte?

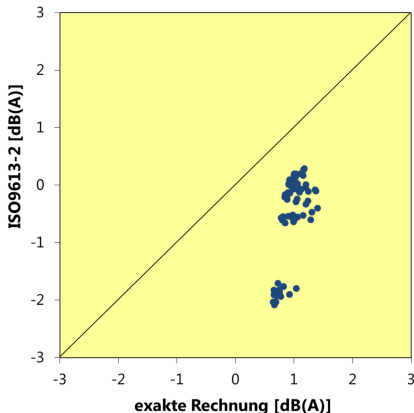
Ausbreitungsrechnung: Bodeneffekt



→ ground.exe

- ▶ Empirische Bodeneffektformeln (ISO 9613-2) sind "best-fit" Formulierungen für bestimmten Bereich von Quellen- und Empfängerhöhen
- ▶ Anwendbarkeit für sehr grosse Quellenhöhen fraglich (→ ISO 9613-2 nicht mehr genauigkeitsspezifiziert)

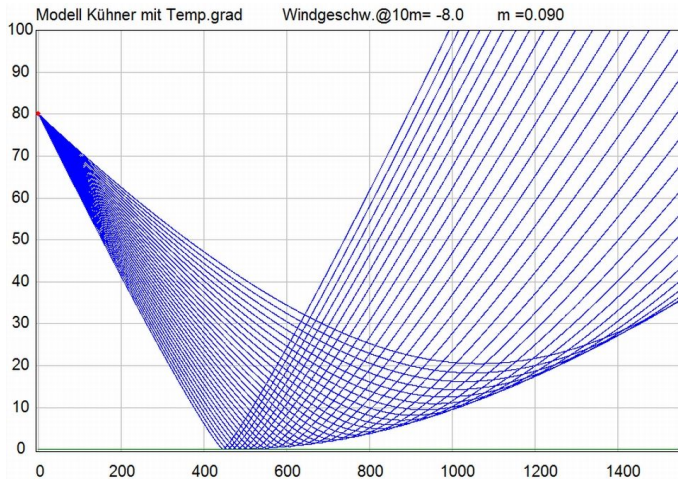
Bodeneffekt für exemplarische, flache Windturbinen-Ausbreitungsgeometrien



→ Bodeneffektwirkung $\approx +1$ dB(A) (DK: $+1.5$ dB(A))

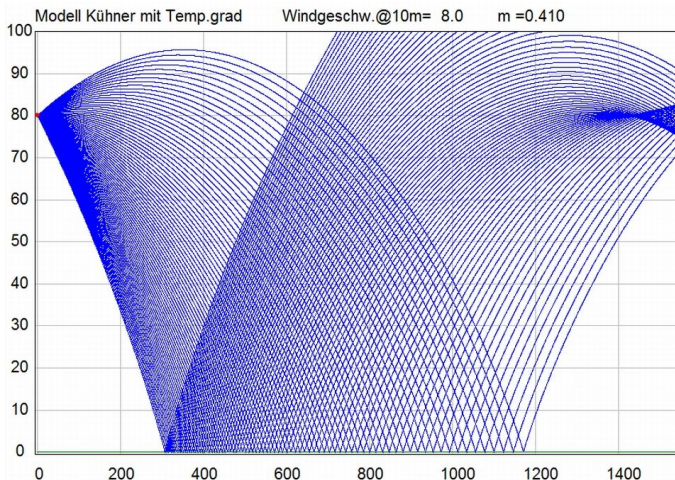
Ausbreitungsrechnung: Meteeffekte

tagsüber, Gegenwind 8 m/s



Ausbreitungsrechnung: Meteeffekte

nachts, Mitwind 8 m/s



Ausbreitungsrechnung: Meteeffekte

- ▶ Schallschattenzone im Gegenwindfall erst in Abständen $> \text{ca. } 800 \text{ m}$
- ▶ im Mitwindfall keine Mehrfachreflexionen im interessierenden Abstandsbereich
- ▶ bei Sicht auf Nabe $\rightarrow$ Meteeffekte vernachlässigbar

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

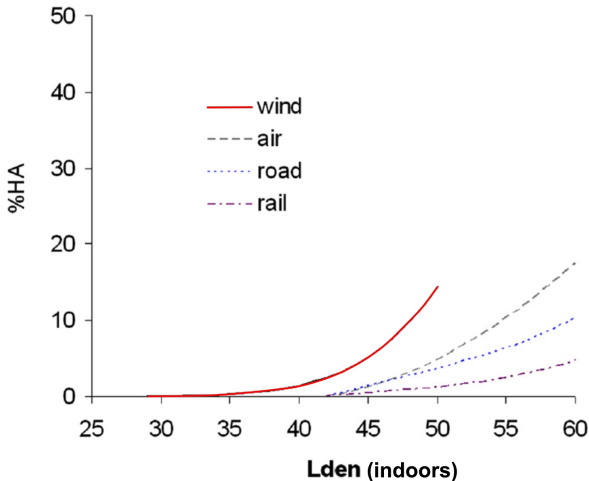
Empa Hörversuche

Studie VD

Beurteilung von Windturbinenlärm

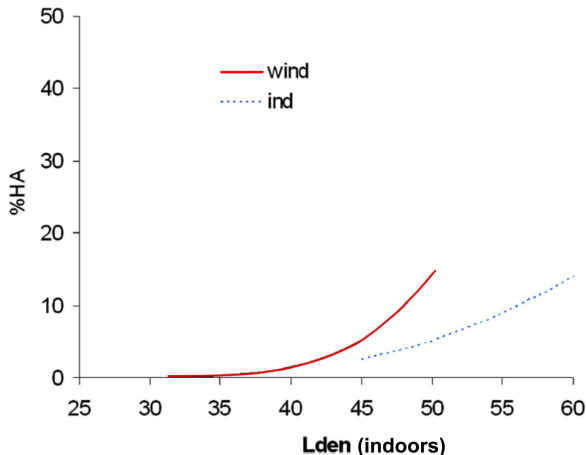
Störwirkung von Windturbinenlärm

Störwirkung von Windturbinenlärm



Sabine A. Janssen et al., A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources, J. Acoust. Soc. Am. 130 (6), December 2011.

Störwirkung von Windturbinenlärm



Sabine A. Janssen et al., J. Acoust. Soc. Am. 130 (6), December 2011.

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

Infraschall

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Infraschall

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD



Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

LSV-Beurteilung

LSV-Beurteilung

- ▶ Beurteilung als *Industrie- und Gewerbelärm*
- ▶ durchschnittlicher Immissionspegel mittels *Windgeschwindigkeitsstatistik* ermitteln
 - ▶ → typ. zeitliche Verdünnung = 3...5 dB
- ▶ Zuschläge:
 - ▶ Anlagentyp: $k_1 = 5$ dB
 - ▶ Tonhaltigkeit: $k_2 = 0$ dB (Stand der Technik)
 - ▶ **Impulshaltigkeit: $k_3 = 4$ dB (Vorschlag zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung)**
- ▶ Bsp. 2 MW Turbine → $L_r = 45$ dB (PW, ESII) in ca. 450 m Entfernung

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

Massnahmen zur Reduktion der potenziellen Störwirkung

Massnahmen zur Reduktion der potenziellen Störwirkung

- ▶ Einsatz lärmarmer Turbinen
- ▶ Emissions-Monitoring zur Überwachung des Zustands der Anlage
 - ▶ Installationsunstimmigkeiten
 - ▶ Flügelprofilverschmutzung
 - ▶ De-Icing Phasen
- ▶ Betriebsmodusvorgaben, z.B. 'silent' Modus in der Nacht
- ▶ Sichtbarkeit vermeiden
- ▶ Integration der Anwohner in Planungsprozess und Ertragsbeteiligungen

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

Aktuelle Projekte aus der Schweiz

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

Bafu UVP Handbuch

Bafu UVP Handbuch

- ▶ Verfassen eines UVP-Handbuches zur Beurteilung der Lärmimmissionen von Windkraftanlagen
 - ▶ Projektleitung: Sébastien Wschiansky
 - ▶ Projektbeteiligte:
 - ▶ Bafu

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

VisAsim

- ▶ → SNF-Projekt: Untersuchung zur Veränderung der Landschaftsbewertung durch Präsenz von Windfarmen
 - ▶ visuell / akustisch / kombiniert
 - ▶ Projektleitung: Ulrike Wissen Hayek, ETH
 - ▶ Projektbeteiligte:
 - ▶ ETH Zürich: PLUS (Planning of Landscape and Urban Systems)
 - ▶ Empa: Abt. Akustik / Lärminderung
- ▶ **Akustisches Kolloquium 19.11.2014:**
 - ▶ Madeleine Manyoky, IRL, PLUS, ETH Zürich, Visuell-Akustische Simulation zur Bewertung der Landschaftsverträglichkeit von Windparks

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

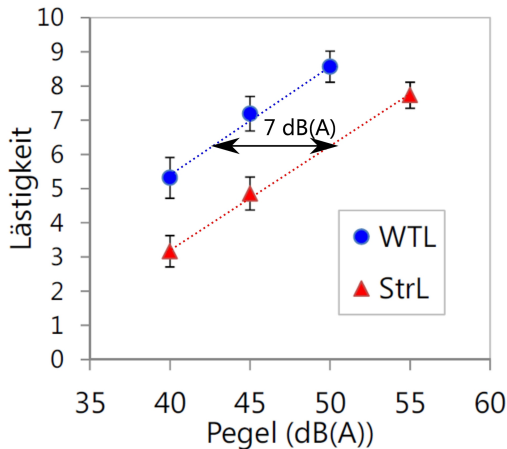
Empa Hörversuche

Empa Hörversuche

- ▶ vom Bafu finanzierte Studie: *Psychoakustische Untersuchungen zur Lästigkeitswirkung von Windturbinen- im Vergleich zu Strassenlärm*
 - ▶ Hörversuche im Labor zur Lästigkeit von Windturbinenlärm
 - ▶ Projektleitung: Beat Schäffer, Empa
 - ▶ Projektbeteiligte:
 - ▶ Empa, Abt. Akustik / Lärminderung

Empa Hörversuche

► Vorversuche zur Stimuluslänge



Empa Hörversuche

- ▶ **eigentliche Hörversuche im Labor mit ca. 40 Versuchspersonen**
 - ▶ Phase 1 (→ Windturbine/Strasse) läuft
 - ▶ Phase 2 (→ Lästigkeitsmerkmale) in Vorbereitung

Windturbinen aus
akustischer Sicht

Kurt Heutschi

Windturbine als
Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahmen

Aktuelles

Bafu UVP Handbuch

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

Studie VD

Studie VD

- ▶ vom Bafu finanzierte Studie: *ETUDE ET MODELISATION DU BRUIT EOLIEN*
 - ▶ messtechnische Untersuchungen von Windturbinenlärm und Hintergrundgeräuschen
 - ▶ Projektleitung: Dominique Bollinger, HEIG-VD, Yverdon
 - ▶ Projektbeteiligte:
 - ▶ G2C - Institut Géomatique, Gestion de l'environnement, Construction - HEIG-VD
 - ▶ PPLUS - Génie de l'environnement, physique du bâtiment, énergie
 - ▶ PRONA SA - Environnement - sécurité