Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilun

Störwirkung

Intrascna

Massnahme

ktuelles

Bafu UVP Handbu VisAsim

VisAsim Empa Hörversuche

Windturbinen aus akustischer Sicht

Kurt Heutschi

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

2014-09-26



Kurt Heutschi

Übersicht

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

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Danukailinaa

Stärwirkung

Infraschal

LSV

Massnahme

Aktuelles

Bafu UVP Handbu VisAsim

Studie VD

Windturbine als Schallquelle

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprogno

Ausbreitungsrechnun

Beurteilur

Störwirku Infraschal

Massnahm

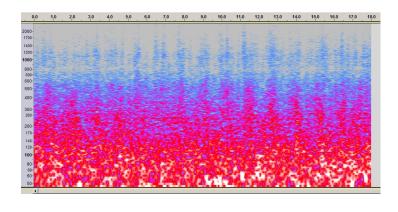
Aktuelle

Bafu UVP Handbu VisAsim

Empa Hörversuche

Windturbine als Schallquelle

Audio: Turbine St. Brais in 100 m Distanz



Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognos

Emissionsbestimmun

Ausbreitungsrechnur

Beurteilur Störwirkung

Störwirkun Infraschall

Massnahn

A 1 - t - - - 11 - -

AKLUEIIES

VisAsim

Empa Hörversuch

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

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognos

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilu

Störwirkung

Infraschal

. .

ktuelle

Bafu UVP Handbi VisAsim

Empa Hörvers

Windturbine als Schallquelle



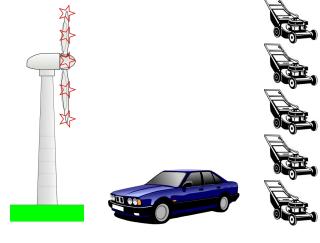
S. Oerlemans, Detection of aeroacoustic sound sources on aircraft and wind turbines, Thesis University of Twente, Enschede, 2009.

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Windturbine als Schallquelle

typ. Schallleistungspegel 105 dB(A)



2 MW Turbine

PW, 90 km/h

5 Rasenmäher

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognos

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilun

Störwirkun Infraschall

iviassnann

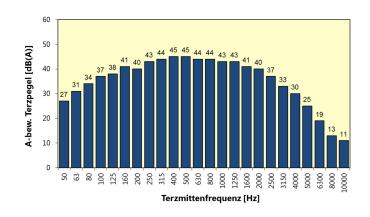
Aktuelle

Bafu UVP Handbu VisAsim

Studie VD

Windturbine als Schallquelle

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



Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilui

Störwirkung

Infrasch

Macenahma

Aktuelle

Bafu UVP Handbu

VisAsim

Immissionsprognose von Windturbinenlärm

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilu

Störwirkung

Infrasch

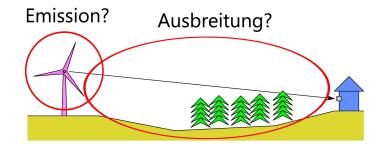
. . .

Bafu UVP Handbi

VisAsim

Studie VD

Elemente einer Immissionsprognose



Kurt Heutschi

Windturbine als

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnur

Deurtenu

Störwirkung

Infrasch

Maccaahm

ktuelles

Bafu UVP Handbuc

Empa Hörversuche

Emissionsbestimmung

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

minissionsprogr

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnu

Beurteilu

Störwirkun

Infrasch:

1 51/

Massnahn

Aktuelle

Bafu UVP Handbu

VisAsim Empa Hörversuche Emissionsbestimmung

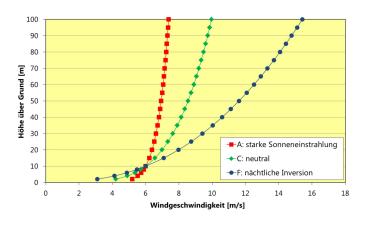
- Akustische Emission eines gegebenen Turbinentyps abhängig von
 - Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe
 - Betriebsmodus
- ightharpoonup Prognose:
 - Windgeschwindigkeitsstatistik (typisch bekannt auf 10 m/s) auf Nabenhöhe transformieren
 - Betriebsdaten erheben

Kurt Heutschi

Emissionsbestimmung

Emissionsbestimmung

Windgeschwindigkeitsprofile:

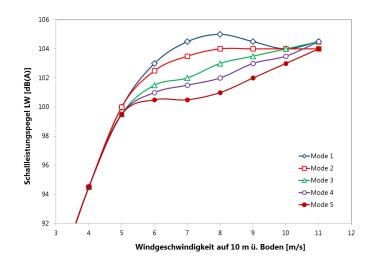


Kurt Heutschi

Emissionsbestimmung

Emissionsbestimmung

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



Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimm

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Storwirk

Infrascha

LSV

iviassilalilile

Aktuelle:

VisAsim

Empa Hörversuche

Ausbreitungsrechnung

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

-

. . . .

Infrascha

Massnahr

AKTUEIIE

Bafu UVP Handbu

VisAsim

Studie VD

Ausbreitungsrechnung

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

Kurt Heutschi

Windturbine als

Immissionsprogno

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnung

Beurteilur Störwirkung Infraschall

Massnahr

Aktuell

Bafu UVP Handbi VisAsim

Empa Hörversuch Studie VD

Ausbreitungsrechnung: Bodeneffekt

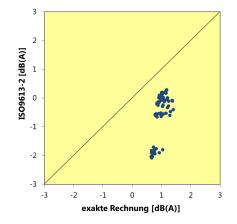


- \rightarrow ground.exe
 - ► Empirische Bodeneffektformeln (ISO 9613-2) sind "best-fit" Formulierungen für bestimmten Bereich von Quellen- und Empfängerhöhen
 - Anwendbarkeit für sehr grosse Quellenhöhen fraglich
 (→ ISO 9613-2 nicht mehr genauigkeitsspezifiziert)

Kurt Heutschi

Ausbreitungsrechnung

Bodeneffekt für exemplarische, flache Windturbinen-Ausbreitungsgeometrien



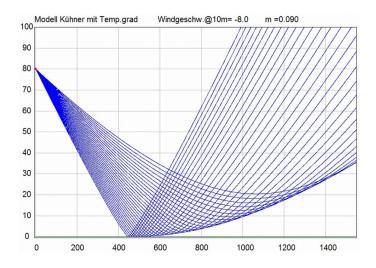
 \rightarrow Bodeneffektwirkung $\approx +1$ dB(A) (DK: +1.5 dB(A))

Kurt Heutschi

Ausbreitungsrechnung

Ausbreitungsrechnung: Meteoeffekte

tagsüber, Gegenwind 8 m/s



Kurt Heutschi

Windturbine a Schallquelle

Emissionsbestimmur

Ausbreitungsrechnung

Störwirku

Infrascha

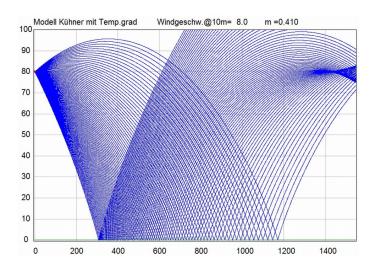
Massnahn

Bafu UVP Handb

VisAsim Empa Hörversu

Ausbreitungsrechnung: Meteoeffekte

nachts, Mitwind 8 m/s



Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognos

Ausbreitungsrechnung

Störwirkung Infraschall LSV

Aktuelles

VisAsim

Empa Hörversu Studie VD

Ausbreitungsrechnung: Meteoeffekte

- Schallschattenzone im Gegenwindfall erst in Abständen > ca. 800 m
- im Mitwindfall keine Mehrfachreflexionen im interessierenden Abstandsbereich
- lackbox bei Sicht auf Nabe ightarrow Meteoeffekte vernachlässigbar

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose.

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Infraecha

1.61/

Massnahme

ktuelle

Bafu UVP Handbu VisAsim

Empa Hörversuche

Beurteilung von Windturbinenlärm

Kurt Heutschi

Windturbine als

Immissionsprognose

Emissionsbestimmun Ausbreitungsrechnun

Danmallina

Störwirkung

Infrascha

iviassnanme

Aktuelle

Bafu UVP Handbu VisAsim

Empa Hörversuche

Störwirkung von Windturbinenlärm

Kurt Heutschi

Windturbine als

Immissionsprogno

Emissionsbestimmu Ausbreitungsrechnu

Danistallia

Störwirkung

Infrasch

Maccaahr

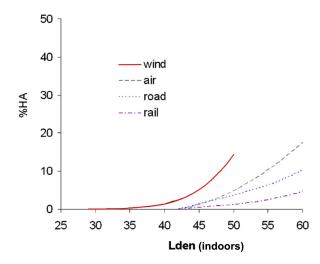
Aletuallac

Bafu UVP Handb

Empa Hönveru

Studie VD

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.

Kurt Heutschi

Windturbine als

Immissionenrognos

Emissionsbestimmun

Our III

Störwirkung

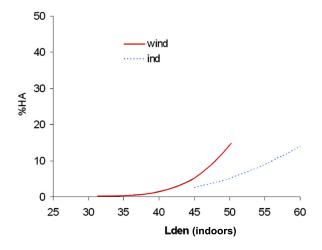
Infrasch

Macenahn

Bafu UVP Handbi

Empa Hörvers

Störwirkung von Windturbinenlärm



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

Kurt Heutschi

Windturbine als

Immissionsprognose

Ausbreitungsrechnung

Ausbreitungsrechnu

Cavanial

Störwirkung

Infraschall

Macchahma

Aktuelles

Bafu UVP Handbu

VisAsim

Empa Hörversuch

Studie VD

Infraschall

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechn

Stönvirkung

Störwirkung

Infraschall

LSV

Massnahn

Aktuelle

Bafu UVP Handb

VisAsim

Empa Hörversucl

Studie VD

Infraschall



Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilur

Stanwirkung

Infraschall

LSV

....

ktuelles

Bafu UVP Handbu Vis∆sim

Empa Hörversuche

LSV-Beurteilung

Kurt Heutschi

Windturbine a Schallquelle

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechnu

Störwirkung

Infrascha

LSV

Aktuelle

Bafu UVP Handbu VisAsim

Empa Hörversuche

LSV-Beurteilung

- ▶ Beurteilung als *Industrie- und Gewerbelärm*
- durchschnittlicher Immissionspegel mittels
 Windgeschwindigkeitsstatistik ermitteln
 - ightharpoonup ightharpoonup typ. zeitliche Verdünnung ightharpoonup 3...5 dB
- Zuschläge:
 - ► Anlagetyp: k1 = 5 dB
 - ▶ Tonhaltigkeit: k2 = 0 dB (Stand der Technik)
 - ► Impulshaltigkeit: k3 = 4 dB (Vorschlag zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung)
- ▶ Bsp. 2 MW Turbine \rightarrow Lr = 45 dB (PW, ESII) in ca. 450 m Entfernung

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilung

Infraschall

Massnahmen

Aktuelles
Bafu UVP Handbud
VisAsim

Massnahmen zur Reduktion der potenziellen Störwirkung

Kurt Heutschi

Windturbine Schallquelle

Emissionsbestimmung

Ausbreitungsrechni Beurteilung

Störwirku Infraschall LSV

Massnahmen

Aktuelles
Bafu UVP Handbuch
VisAsim
Empa Hörversuche

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

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

missionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurteilun

C.

Infrasch

1 61/

Massnahme

Aktuelles

VisAsim

Empa Hörversuche

Aktuelle Projekte aus der Schweiz

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Beurtellur

Störwirkung

Infrascha

LJV

Aktuelle

Bafu UVP Handbuch

17: A :

Studie VD

Bafu UVP Handbuch

Kurt Heutschi

Bafu UVP Handbuch

Bafu UVP Handbuch

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

Kurt Heutschi

Windturbine als

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung

Beurteilun

.

Infrascha

LSV

Massnahmen

ktuelles

Bafu UVP Handbur

VisAsim

Empa Hörversuch Studie VD

VisAsim

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Emissionsbestimmun Ausbreitungsrechnun

Ausbreitungsrechnu

Störwirkung

LSV

Massnahm

Aktuelle

Bafu UVP Handbu

VisAsim Empa Hörversuche

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 / Lärmminderung
- ► Akustisches Kolloquium 19.11.2014:
 - Madeleine Manyoky, IRL, PLUS, ETH Zürich, Visuell-Akustische Simulation zur Bewertung der Landschaftsverträglichkeit von Windparks

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognose

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Deurteilu

Störwirkung

Infrasch

1.4

Ktuelles

VisAsim

Empa Hörversuche

Studie VD

Empa Hörversuche

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognos

Emissionsbestimmung Ausbreitungsrechnung

Ausbreitungsrechnu

Störwirkung

Infraschall

LSV

Aktuelle

Bafu UVP Handb VisAsim

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 / Lärmminderung

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionenrognos

Emissionsbestimmung

Deurtellul

Störwirkun

Infrasch

Massnahn

Metualle

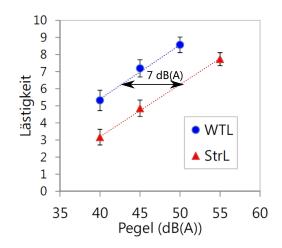
Bafu UVP Handbu

Empa Hörversuche

Studie VD

Empa Hörversuche

► Vorversuche zur Stimuluslänge



Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Immissionsprognos

Emissionsbestimmun

Beurteilur

C+8nuirkung

Infrascha

LSV

Massnahm

Aletrolle

Bafu UVP Handbu VisAsim

Empa Hörversuche Studie VD

Empa Hörversuche

- eigentliche Hörversuche im Labor mit ca. 40 Versuchspersonen
 - ▶ Phase 1 (→ Windturbine/Strasse) läuft
 - $\blacktriangleright \ \, \mathsf{Phase} \,\, 2 \,\, (\to \mathsf{L\"{a}stig} \mathsf{keitsmerkmale}) \,\, \mathsf{in} \,\, \mathsf{Vorbereitung}$

Kurt Heutschi

Studie VD

Studie VD

Kurt Heutschi

Windturbine als Schallquelle

Emissionsbestimmung

Beurteilur Störwirkung

Infraschal LSV

iviassnanme

Aktuelles

VisAsim Empa Hörversuche

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