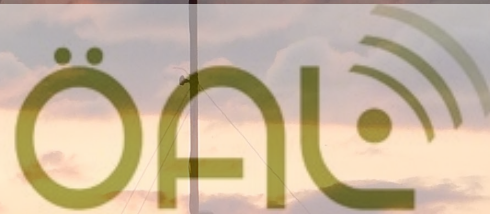


Schallausbreitung unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen

Dr. Dieter Hohenwarter, TGM-Versuchsanstalt

Präsentation bei der 280. Plenarsitzung des ÖAL am 28. Juni 2023



ÖSTERREICHISCHER ARBEITSRING
FÜR LÄRMBEKÄMPFUNG

Schallausbreitung unter Berücksichtigung der Meteorologie

- Schallausbreitung und **Bodeneffekte**
- Schallausbreitung von **flächenförmigen Quellen**
- Schallausbreitung in **bewegten Medien**
- Schallausbreitung (frequenzabhängig) bei **Mit- und Gegenwind**
- Beschreibung der meteorologischen Situation durch den **Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit** (verantwortlich für die Brechung von „Schallstrahlen“)
- Messergebnisse der Autobahn-Messstelle in Bad Vöslau (Messung in 200 m Abstand, südlich und nördlich der Autobahn)
- Messergebnisse der Eisenbahn-Messstelle in Aderklaa (Messung bis 500 m Abstand, südlich und nördlich der Eisenbahnstrecke)
- Einführung der **S-Funktion** zur Beschreibung der **Pegelminderung in Abhängigkeit vom Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit**

Schallausbreitung und Bodeneffekte

Modelle zur Beschreibung der Bodeneffekte wurden entwickelt von Keith Attenborough:

Übertragungsfunktion: Überlagerung der direkten und der am Boden reflektierten Welle. Es wird angenommen, dass die **Bodenoberfläche lokal reagiert**.

Die Theorie enthält eine **Bodenwelle** für tiefe Frequenzen und streifenden Einfall des Schallstrahls. Mit der Bodenwellenfunktion kann das Wellenfeld über einer Oberfläche mit streifendem Schalleinfall beschrieben werden.

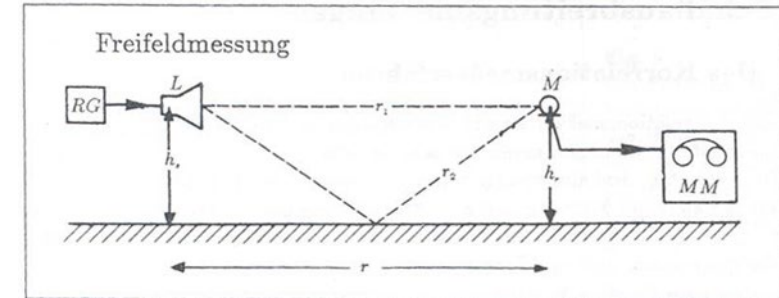
Die normalisierte Bodenimpedanz Z beschreibt das akustische Verhalten des Bodens. Die Bodenimpedanz Z enthält einen Real- und einen Imaginärteil und beinhaltet die Frequenz der Schallwelle und die Struktur des Bodens. Häufig wird für die Bodenbeschreibung das empirische Modell von Delany und Bazley verwendet.

$$Z(f) = 1 + 9,08 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0,75} + i11,9 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0,73} \quad \text{Pegelminderung } \Delta L = 20 \log \left| 1 + Q \frac{r_1}{r_2} e^{(ikr_2 - ikr_1)} \right|$$

boundary condition. The excess attenuation function

$$H = 20 \log (1 + r_1 R(\exp ik_1 \Delta r)/r_2 + r_1(1 - R)F(w)(\exp ik_1 \Delta r)/r_2) \quad (7)$$

is normalized to the direct wave and includes Δr , the difference between the direct path length r_1 and the reflected path length r_2 . The plane wave reflection coefficient R includes



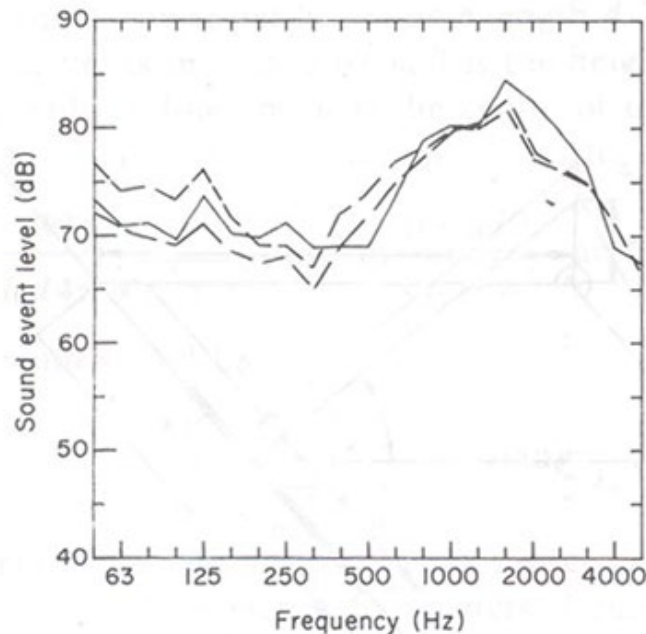
Schallausbreitung und Bodeneffekte

Journal of Sound and Vibration (1990) 141(3), 17-41

RAILWAY NOISE PROPAGATION MODELS

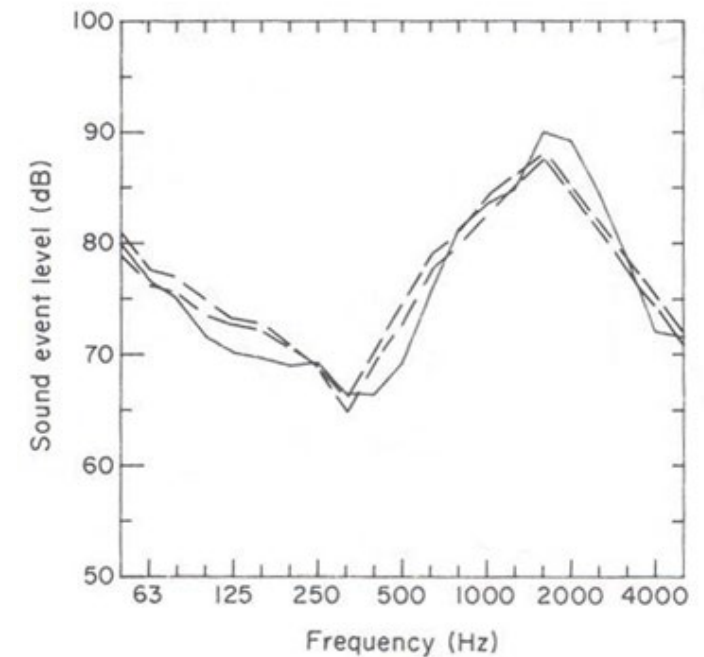
D. HOHENWARTER

National Institute for Research on Heat and Noise Technology, Wexstraße 19-23,
A-1200 Vienna, Austria

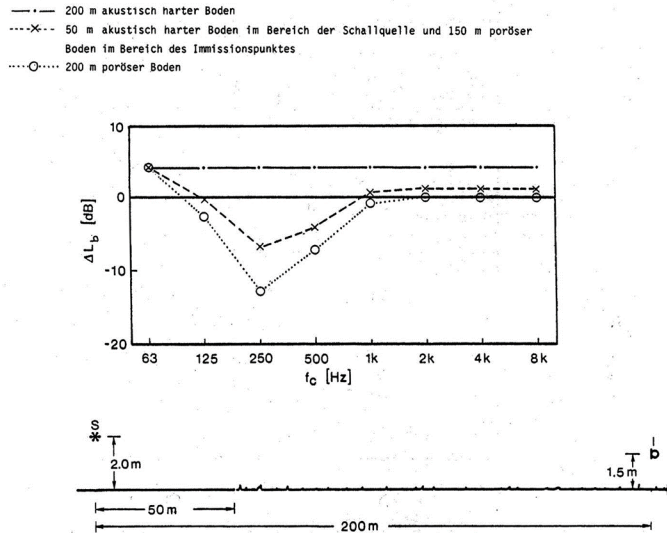


← Zwei gemessene und ein berechneter Schallereignispegel einer Zugvorbeifahrt (**v=80 km/h**, Zuglänge 280 m) in 50 m Abstand von der Schienenstrecke; Emissions- und Immissionspunkt in 1,5 m Höhe), Strömungswiderstand $\sigma=80 \text{ kPa s/m}^2$

Zwei gemessene und ein berechneter Schallereignispegel einer Zugvorbeifahrt (**v=110 km/h**, Zuglänge 280 m) in 50 m Abstand von der Schienenstrecke; Emissions- und Immissionspunkt in 1,5 m Höhe, Strömungswiderstand $\sigma=80 \text{ kPa s/m}^2$ →



Schallausbreitung und Bodeneffekte: Regelwerke ISO 9613-2 und CNOSSOS-EU



Entsprechend ISO 9613-2 waren die Bodeneffekte vor allem bei 250 Hz wirksam.

Bei der neuen Vorschrift CNOSSOS-EU werden aber zusätzlich homogene und schallausbreitungsgünstige (meteorologische) Bedingungen in dem Rechenmodell eingeführt.

Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)

VI.4.3.b. Acoustic characterisation of ground

The acoustic absorption properties of the ground are mainly linked to its porosity. Compact ground is generally reflective and porous ground is absorbent.

For operational calculation requirements, the acoustic absorption of a ground is represented by a dimensionless coefficient G , between 0 and 1. G is independent of the frequency. Table VI.1 gives the G values for the ground outdoors. In general, the average of the coefficient G over a path takes

Für verschiedene Bodentypen wird ein Zusammenhang zwischen dem Strömungswiderstand und dem G-Faktor hergestellt.

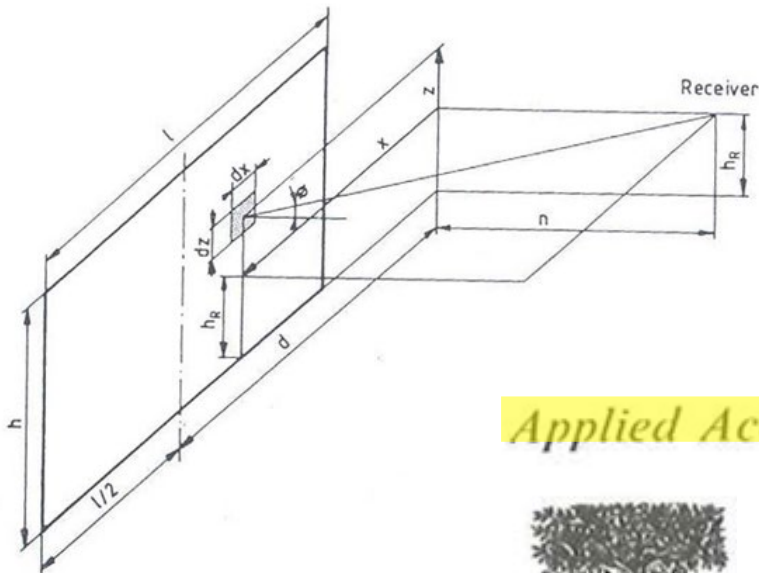
G_{path} is defined as the fraction of absorbent ground present over the entire path covered.

$$G'_{path} = \begin{cases} G_{path} \frac{d_p}{30(z_s + z_r)} + G_s \left(1 - \frac{d_p}{30(z_s + z_r)} \right) & \text{if } d_p \leq 30(z_s + z_r) \\ G_{path} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (VI-14)$$

where G_s is the ground factor of the source area. $G_s=0$ for road platforms⁷, slab tracks. $G_s=1$ for rail tracks on ballast. There is no general answer in the case of industrial sources and plants.

Schallausbreitung einer punkt-, linienförmigen und flächenförmigen Schallquelle

- Punktförmige Schallquelle: kugelförmige Schallausbreitung 6 dB/Entfernungsverdopplung
- Linienförmige Schallquelle: zylinderförmige Schallausbreitung 3 dB/Entfernungsverdopplung
- **Schallausbreitung einer flächenförmigen Schallquelle:** z.B. offenes Fenster mit dahinterliegenden Lärmquellen (inkohärent abstrahlende Flächenelemente)



$$I = \frac{W}{2\pi h l} \int_{z=-h_R}^{h-h_R} \int_{x=d-1/2}^{d+1/2} \frac{ndx dz}{(x^2 + z^2 + n^2)^{3/2}}$$

$$I = \frac{W}{2\pi h l} \int_{z=-h_R}^{h-h_R} \frac{ndz}{(n^2 + z^2)} \left[\frac{d+1/2}{\sqrt{(d+1/2)^2 + n^2 + z^2}} - \frac{d-1/2}{\sqrt{(d-1/2)^2 + n^2 + z^2}} \right]$$

Applied Acoustics 33 (1991) 45–62

Noise Radiation of (Rectangular) Plane Sources



Dieter Hohenwarter

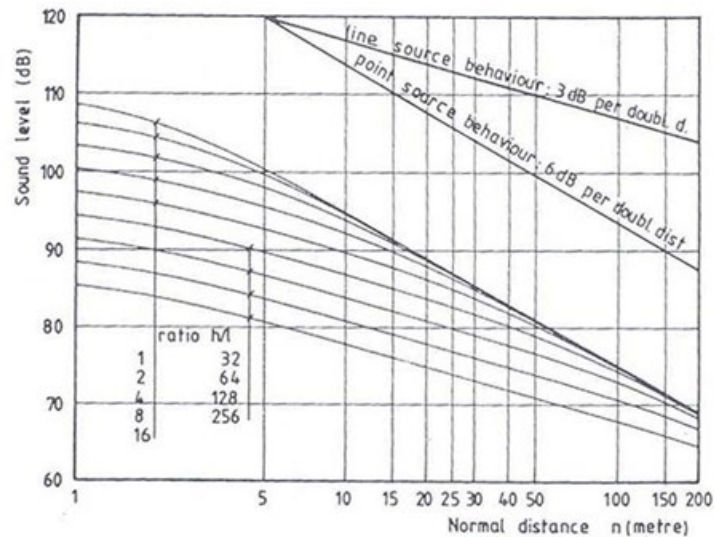
National Institute for Research on Heat and Noise Technology,
Wexstraße 19–23, A-1200 Vienna, Austria

Schallausbreitung einer flächenförmigen Schallquelle mit inkohärent abstrahlenden Flächenelementen



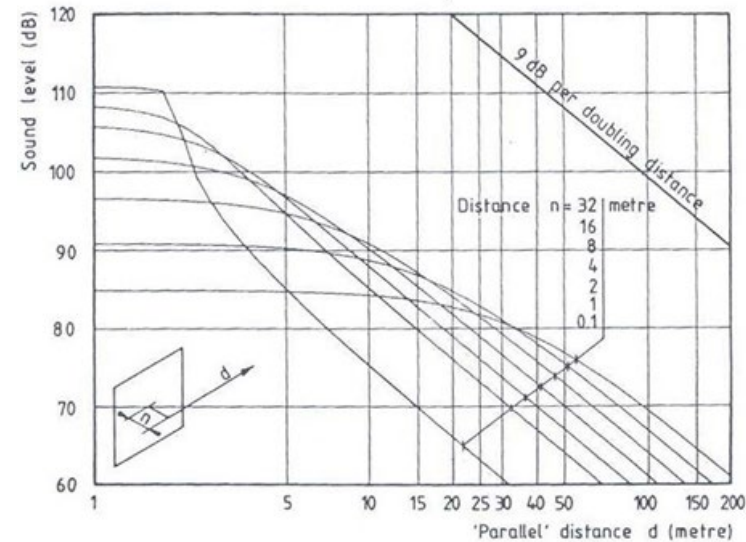
Staatliche Versuchsanstalt

Schallausbreitung **senkrecht** zu einer inkohärent schallabstrahlenden Fläche
 Quadratisch: „punktförmig“ 6 dB/Entfernungsverdopplung
 Länglich: „linienförmig“ 3 dB/Entfernungsverdopplung



Schallpegel in einer **Fläche senkrecht zur Schallquelle**
 für verschiedene Verhältnisse h/l ($10 \log W/(hl \cdot 10^{-12}) = 120 \text{ dB} - 10 \log h/1 \text{ m}; l=4 \text{ m}, d=0, h_R=h/2$)

Schallausbreitung parallel zur inkohärent schallabstrahlenden Fläche
Parallel: 9 dB/Entfernungsverdopplung



Schallpegel für eine **Immissionsfläche parallel zur Schallquelle** ($10 \log W/(hl \cdot 10^{-12}) = 120 \text{ dB}, h=l=4 \text{ m}, h_R=2 \text{ m}$)
 für unterschiedliche Abstände der parallelen Immissionsflächen

Schallausbreitung in bewegten Medien

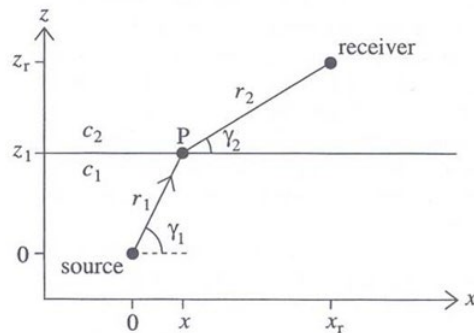
Snell's Law of Refraction and Sound Rays for a Moving Medium

Dieter Hohenwarter, Friedrich Jelinek

Institute of Technology, Departement for research and testing, Wexstraße 19-23, 1200 Wien, Austria

In ruhenden Medien gilt das Snellius'sche Brechungsgesetz. **Was gilt in einem bewegten Medium?** Das **Brechungsgesetz für bewegte Medien** kann aus der Ermittlung des schnellsten Weges zwischen Schallquelle und Immissionspunkt nach dem Fermat'schen Prinzip abgeleitet werden.

Snellius'sches Brechungsgesetz



$$\frac{\cos \gamma(z)}{c(z)} = \text{const. entlang eines Schallstrahles}$$

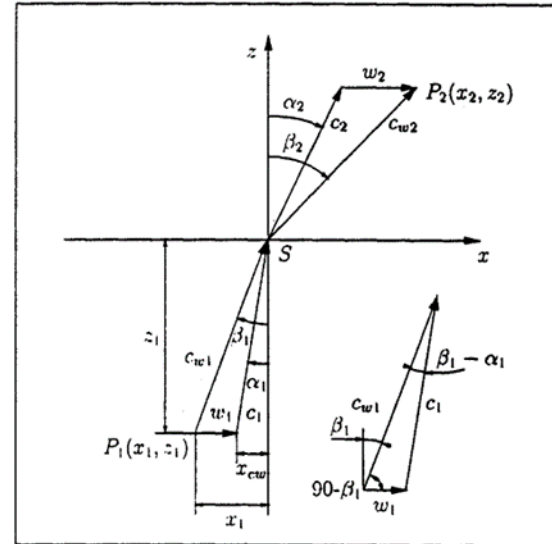


Figure 1. Velocity of sound c , wind speed w and the resulting speed c_w in the media 1 and 2.

$$\left(\frac{\sin \beta}{c} - \frac{w}{c^2} \right) = \text{const.}$$

Das **neue Brechungsgesetz** für bewegte Medien verursacht nur eine **geringe Änderung des „Schallstrahlenweges“** gegenüber dem **Snellius'schen Brechungsgesetz**.

Windgeschwindigkeit $w \ll c$ Schallgeschw.

Schallausbreitung in bewegten Medien: 3-dimensionale Berechnung

tgm

Staatliche Versuchsanstalt

acta acustica · ACUSTICA
Vol. 87 (2001) 303–306

© S. Hirzel Verlag · EAA

On the Refraction Law for a Sound Ray in a Moving Medium

V. E. Ostashev

NOAA/Environmental Technology Laboratory, 325 Broadway, Boulder, CO 80305 and Department of Physics, New Mexico State University, Las Cruces, NM, U.S.A.

D. Hohenwarter

Institute of Technology, Wexstraße 19-23, 1200 Wien, Austria

K. Attenborough

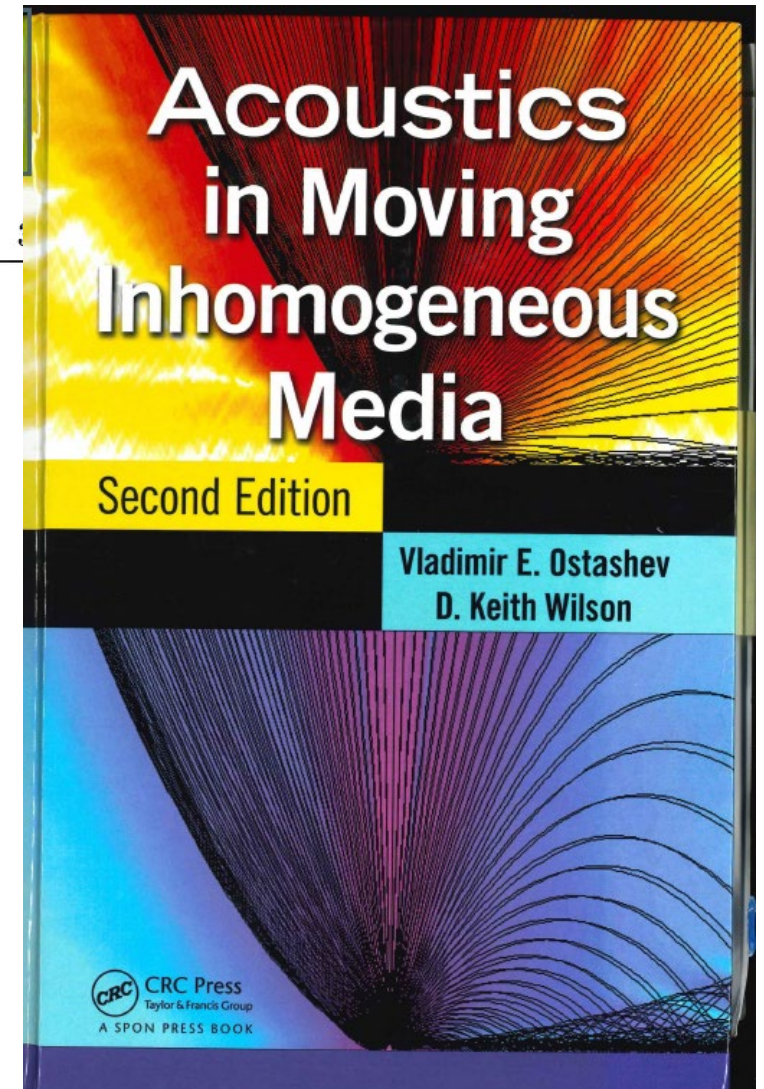
School of Engineering, University of Hull, Hull, HU6 7RX, U.K.

Ph. Blanc-Benon, D. Juvé

Centre Acoustique, équipe LMFA/UMR CNRS 5509, Ecole Centrale de Lyon, 36 Avenue Guy de Collongue, BP 163, 69131 Ecully, France

G. H. Goedecke

Department of Physics, New Mexico State University, Las Cruces, NM, U.S.A.



Schallausbreitung in bewegten Medien: dreidimensionale Berechnung

On the Refraction Law for a Sound Ray in a Moving Medium

V. E. Ostashev

NOAA/Environmental Technology Laboratory, 325 Broadway, Boulder, CO 80305 and Department of Physics, New Mexico State University, Las Cruces, NM, U.S.A.

D. Hohenwarter

Institute of Technology, Wexstraße 19-23, 1200 Wien, Austria

3.4. Refraction law obtained by Hohenwarter and Jelinek [17]

Finally, let us consider the refraction law for a sound ray presented in reference [17], see equation (3) from that reference. In our notation, that equation can be written as

$$\frac{1}{c \left(1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2\right)} \left[\frac{\sin(90^\circ - \alpha)}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2 \cos^2(90^\circ - \alpha)}} - \frac{u}{c} \right] = \text{const.} \quad (11)$$

5. Conclusion

Using results from reference [1], we have presented refraction laws for a sound ray in 3D and 2D stratified moving media, i.e. Equations (1) and (2), respectively. We have shown that equation (2) coincides with previously published refraction laws for a sound ray in 2D stratified moving media, e.g., [3, 4, 5, 12, 18]. It also coincides with the refraction law recently obtained in reference [17] where, most likely for the first time, it was derived by using Fermat's principle of least time.

[17] D. Hohenwarter, F. Jelinek: Snell's law of refraction and sound rays for a moving medium. *Acustica - acta acustica* **86** (2000) 1-14.

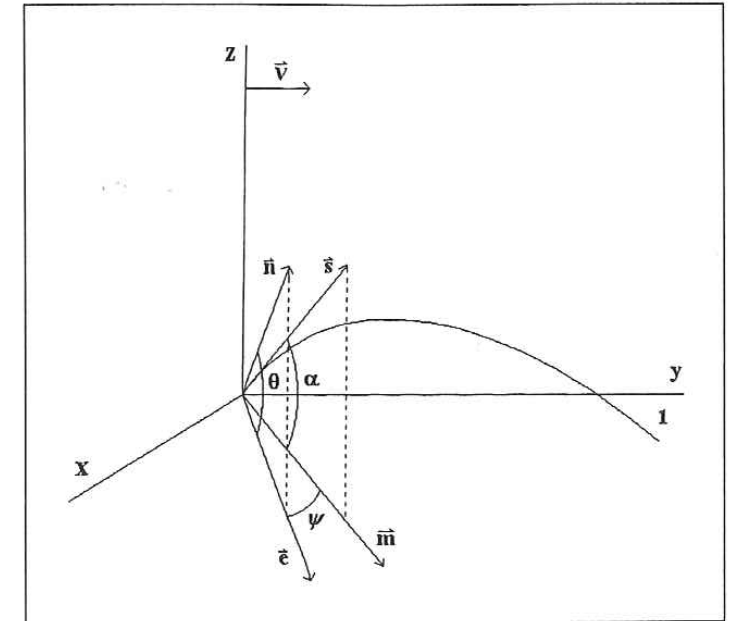


Figure 1. The geometry of a sound ray path (1) and the unit vectors \mathbf{s} and \mathbf{n} in the directions of the sound ray and the normal to a wavefront in a 3D stratified moving medium.

Meteorologische Beschreibung der Atmosphäre hinsichtlich Schallausbreitung

Die **meteorologische Situation** und der Unterschied zwischen **Tag und Nacht** kann sehr gut durch die Obukhov Länge beschrieben werden.

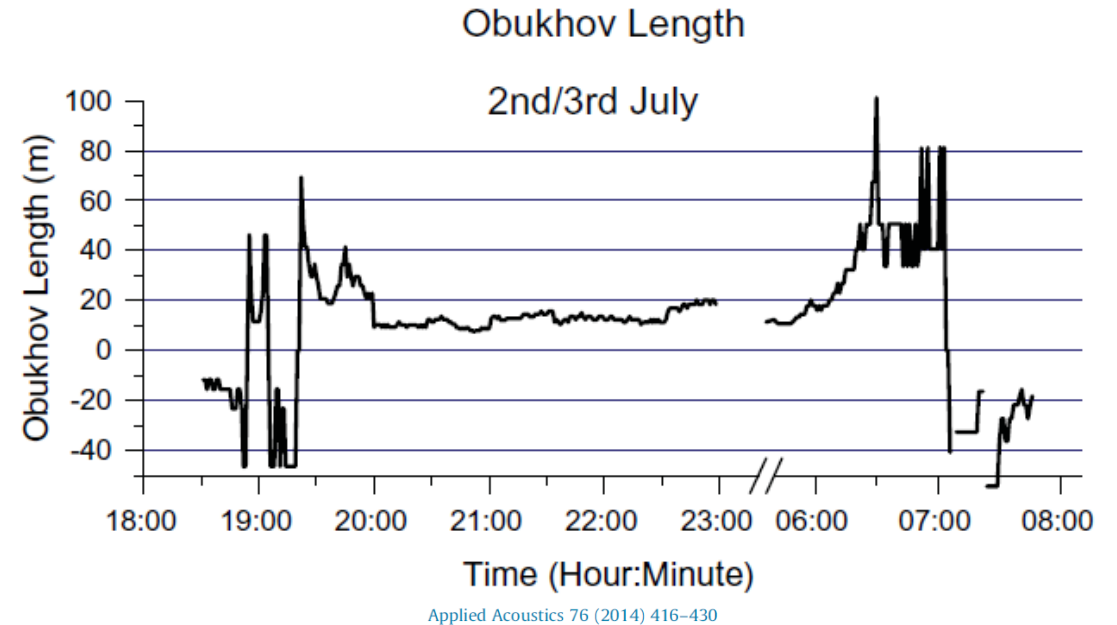
Am Tag: häufig **negative Obukhov-Länge**

In der Nacht: häufig **positive Obukhov-Länge**

For statically stable conditions it is suggested that the shape similarity of the temperature and wind profiles are utilised to use the (bulk definition of the) Obukhov length L [4] with

$$L = \frac{u_* \bar{\theta} (\Delta u / \Delta z)}{kg (\Delta \theta / \Delta z)} \quad (1)$$

where u_* is the Friction velocity (m/s); $\bar{\theta}$ the $\theta = T + \Gamma z$ Potential temperature (T measured in Kelvin); $\Delta u / \Delta z = (u(z_2) - u(z_1)) / (z_2 - z_1)$ the Wind speed gradient between height z_2 and height z_1 ; k the Von Karman constant $k = 0.41$; g the acceleration due to gravity $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ and $\Delta \theta / \Delta z = (T(z_2) - T(z_1)) / (z_2 - z_1)$ the Temperature gradient between height z_2 and height z_1



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Applied Acoustics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apacoust



Nocturnal boundary layer profiles and measured frequency dependent influence on sound propagation

Dieter Hohenwarter^{a,*}, Erich Mursch-Radlgruber^b

Meteorologische Beschreibung der Atmosphäre und akustische Messungen



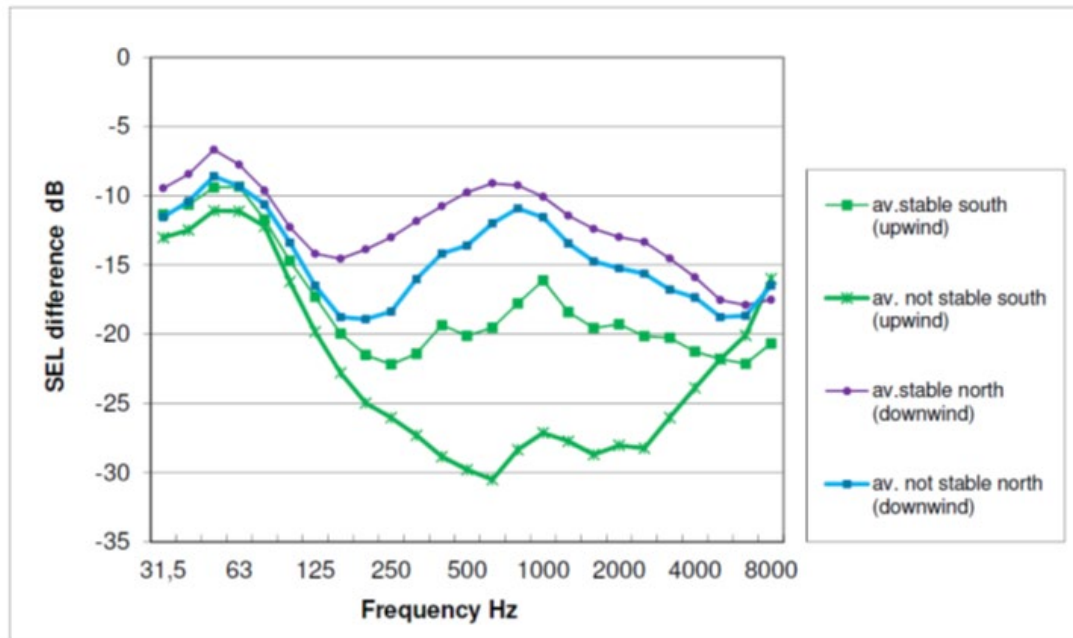
Temperatur-, Windgeschwindigkeits- und -richtungsmessgerät



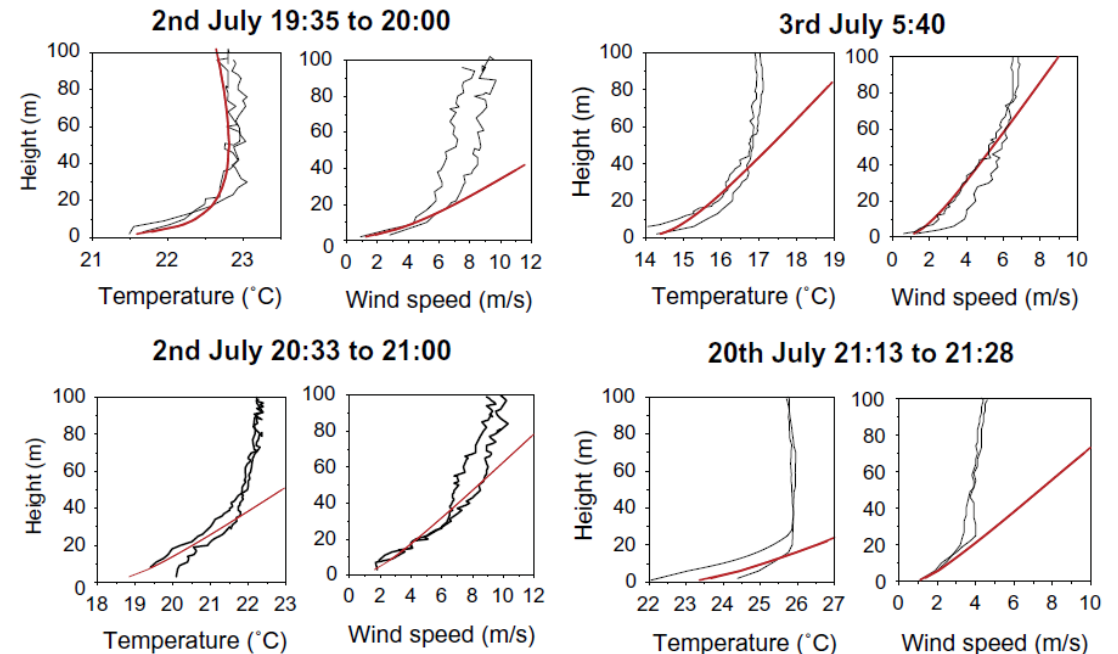
Meteorologische Messung bis 100 m Höhe mit einem Ballon

Temperatur- und Windgeschwindigkeitsschichtung verursacht durch Brechung der Schallstrahlen wesentliche Pegelunterschiede

Es ergeben sich wesentliche Pegelunterschiede bedingt durch die stabile (üblich nachts) und labile (not stable) Atmosphäre (üblich tagsüber).



D. Hohenwarter, E. Mursch-Radlgruber / Applied Acoustics 76 (2014) 416–430



Pegeldifferenz $\Delta LA,E$ (25 m – 200 m) gemessen an einer Eisenbahnmessstelle.

Frequenzabhängige Pegelunterschiede zw. Tag und Nacht und bei Mit- und Gegenwind.

Schallausbreitung und Meteorologie

Im Abschnitt 1.4.3 des Buches „**Predicting Outdoor Sound**“ (erschienen 2021) sind die wesentlichen Ergebnisse der vorhergehend dargestellten Arbeit auf etwa 4 Seiten dargestellt.

18 Predicting Outdoor Sound

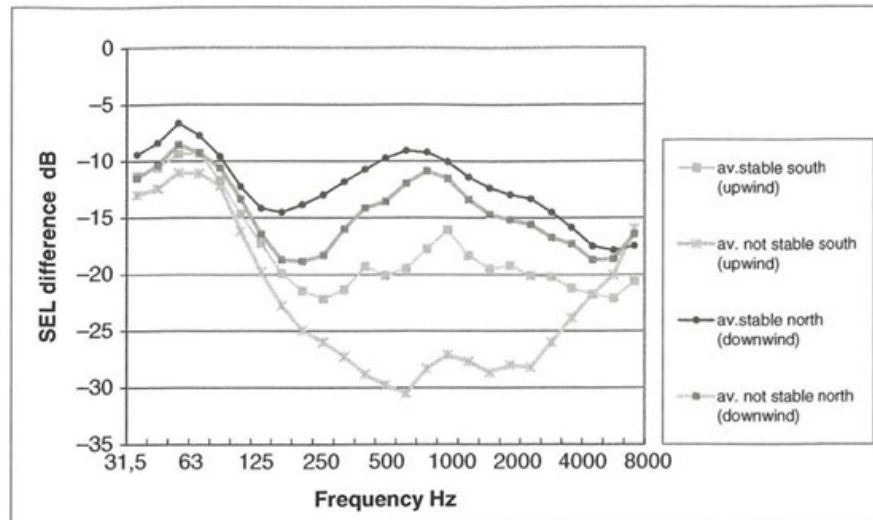
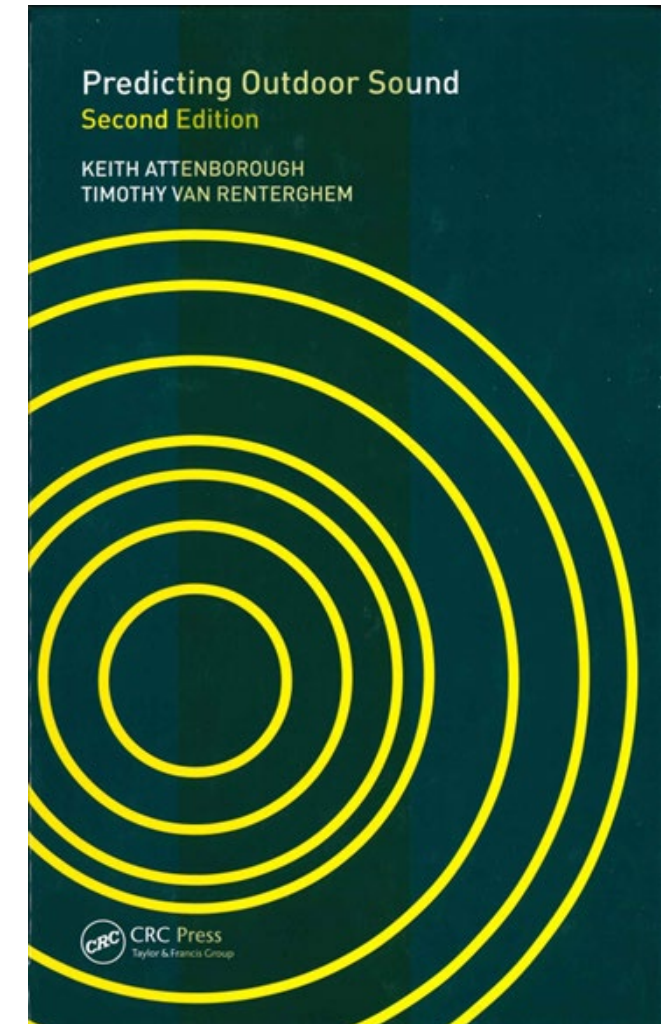


Figure 1.15 SEL differences, in 1/3 octave bands, during the selected period (2–3 July) between the close measurement point (at 25 m from the railway line) and the microphone at 200 m [14].

[14] D. Hohenwarter and E. Mursch-Radlgruber, Nocturnal boundary layer profiles and measured frequency dependent influence on sound propagation, *Appl. Acoust.* 76 416–430 (2014).

tgm

Staatliche Versuchsanstalt



Acta Acustica 2022, 6, 13

© The Author(s), Published by EDP Sciences, 2022

<https://doi.org/10.1051/aacus/2022005>



Available online at:

<https://acta-acustica.edpsciences.org>

SCIENTIFIC ARTICLE

OPEN ACCESS

S-shaped dependence of the sound pressure level in outdoor propagation on the effective sound speed gradient

Dieter Hohenwarter^{1,*} , Erich Mursch-Radlgruber², and Christian Kirisits^{3,4} 

¹ TGM – Institute of Technology, Department for Research and Testing, Wexstrasse 19-23, 1200 Wien, Austria

² University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU), Institute of Meteorology (BOKU-Met), Gregor Mendel-Haus, Gregor-Mendel-Strasse 33, 1180 Wien, Austria

³ Kirisits Consulting Engineers, Kolpinggasse 10, 7423 Pinkafeld, Austria

⁴ Medical University of Vienna, Department of Radiation Oncology, Waehringer Guertel 18–20, 1090 Wien, Austria

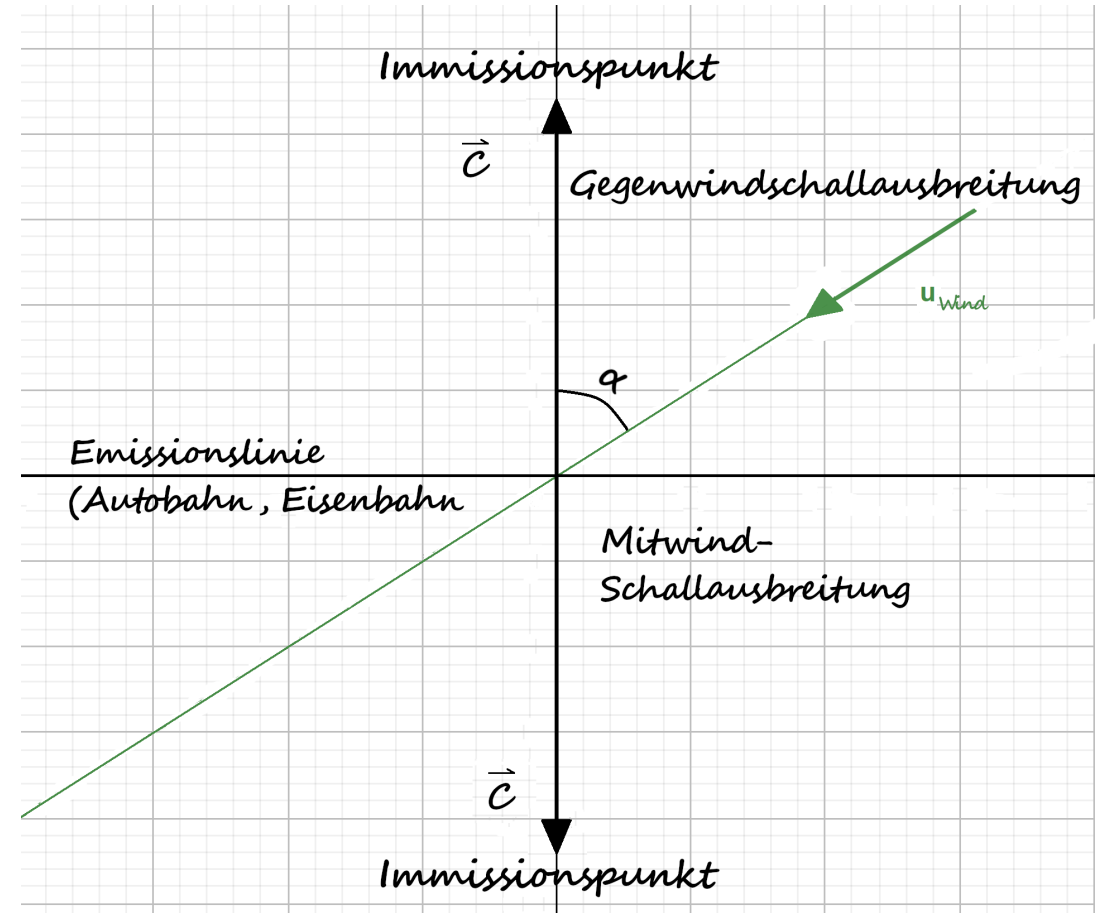
S-shaped dependence of sound level on effective sound speed gradient

- Beschreibung der meteorologischen Situation durch den **Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit** (verantwortlich für die Brechung von „Schallstrahlen“)
- Messergebnisse der **Autobahn-Messstelle in Bad Vöslau** (Messung in 200 m Abstand, südlich und nördlich der Autobahn)
- Messergebnisse der **Eisenbahnmess-Stelle in Aderklaa** (Messung bis 500 m Abstand, südlich und nördlich der Eisenbahnstrecke)
- Einführung der **S-Funktion** zur Beschreibung der Pegelminderung in Abhängigkeit des Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit

Effektive Schallgeschwindigkeit c_{eff}

Es wird die effektive Schallgeschwindigkeit $c_{eff}(z)$ als Summe der höhenabhängigen Schallgeschwindigkeit $c(z)$ und der Komponente der horizontalen Windgeschwindigkeit $u_c(z)$ zwischen Schallquelle und Immissionspunkt eingeführt.

$$\overrightarrow{c_{eff}(z)} = \overrightarrow{c(z)} + \overrightarrow{u_c(z)}$$



Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit c'_{eff}

$$\vec{c}_{eff}(\mathbf{z}) = \vec{c}(\mathbf{z}) + \vec{u}_c(\mathbf{z})$$

$$c_{eff}(z) = c(z) + u(z) \cos \alpha$$

$$c(z) = \sqrt{\kappa R T(z)}$$

R allgemeine Gaskonstante $R=287 \text{ J/kg K}$
 T(z) Temperatur in Kelvin

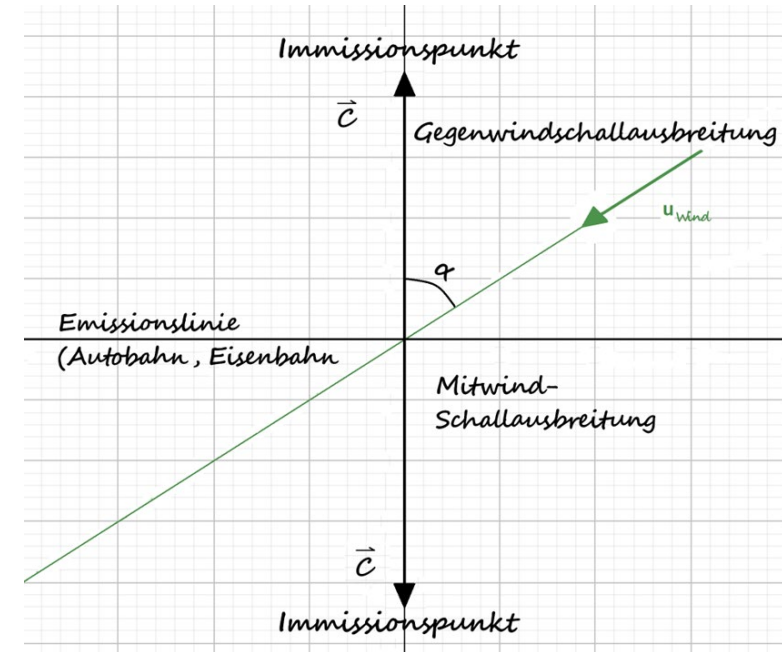
$$\kappa = c_p / c_v$$

c_p spez. Wärme bei konst. Druck
 c_v spez. Wärme bei konst. Volumen

$$c = c_0 \left[1 + 0.5 \left(\frac{\Delta T}{T_0} \right) \right]$$

$$c'_{eff} = \frac{dc_{eff}}{dz} = \frac{c_0}{2T_0} \frac{dT}{dz} + \frac{du}{dz} \cos \alpha$$

$\frac{dT}{dz}$ Temperaturgradient $\frac{du}{dz}$ Windgeschwindigkeitsgradient



$dc_{eff}/dz < 0$ nach oben gebrochene Schallstrahlen
 (Pegelminderung)

$dc_{eff}/dz > 0$ nach unten gebrochene Schallstrahlen
 (Pegelerhöhung)

Zusammenhang zwischen dem **Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit** $c'_{eff} = \Delta c_{eff} / \Delta T$ und der **Obukhov-Länge L**

Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit (dargestellt mit endlichen Differenzen)

$$\frac{\Delta c_{eff}}{\Delta z} = \frac{c_0}{2 T_0} \frac{\Delta T}{\Delta z} + \cos \alpha \frac{\Delta u}{\Delta z}$$

- $\frac{\Delta T}{\Delta z}$ Temperaturgradient
- $\frac{\Delta u}{\Delta z}$ Windgeschwindigkeitsgradient

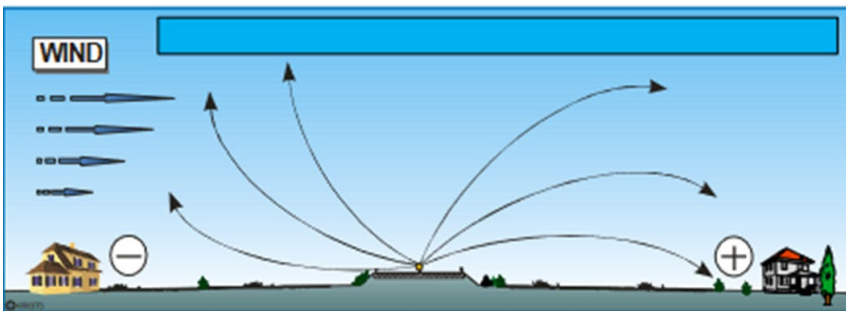
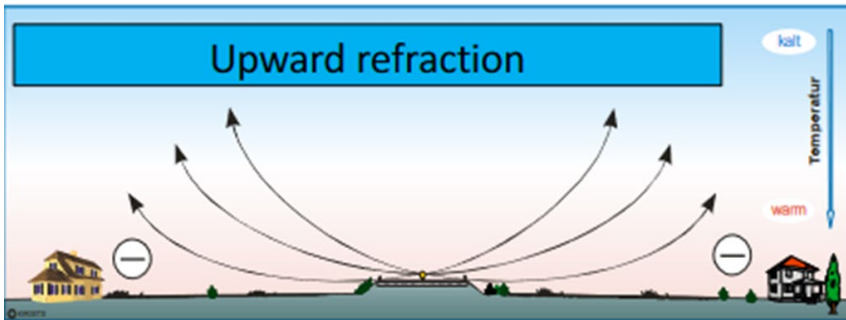
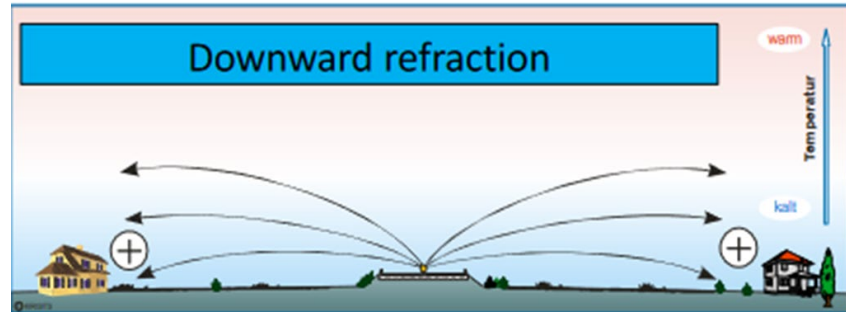
- Obukhov Länge L

$$L = \frac{u_* \Theta}{k g} \frac{\Delta u / \Delta z}{\Delta T / \Delta z}$$

Beim Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit kommen der **Temperatur- und Windgeschwindigkeitsgradient** als Summe vor, bei der Obukhov-Länge als Quotient.

→ **Zusammenhang zw. Meteorologie und Akustik darstellbar/vorhanden.**

Schallausbreitung und Meteorologie beschrieben durch c'_{eff}



c'_{eff} effective sound speed gradient

$c'_{eff} > 0$ with $\Delta u / \Delta z = 0$:
downward refracted sound rays (level increase)

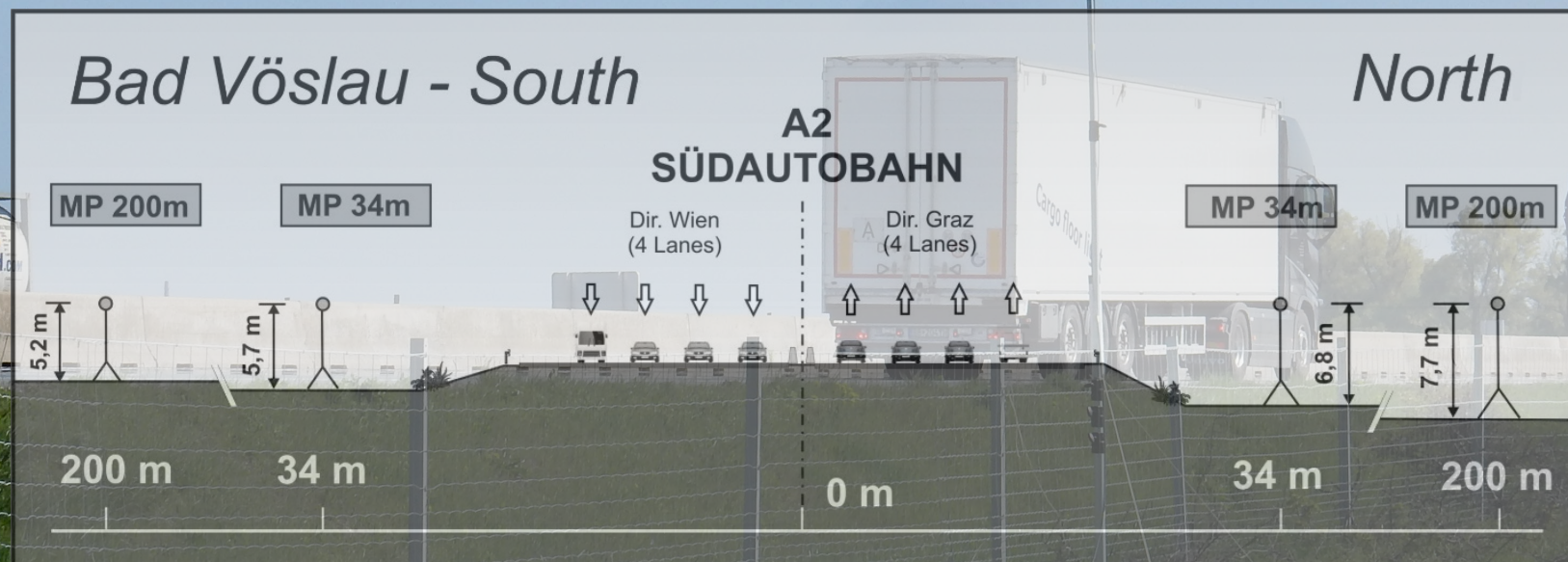
$c'_{eff} < 0$ with $\Delta u / \Delta z = 0$:
upward refracted sound rays (level decrease)

Sound level increase and decrease as a result of
downwind ($c'_{eff} > 0$) and upwind ($c'_{eff} < 0$)
sound propagation.

← Internoise 2012 – Concepts to determine sound
propagation conditions – Kirisits

Akustische Messungen: **Bad Vöslau**

- Referenzmessung in 34 m Abstand und 4 m Höhe über Fahrbahndecke
- Messung in 200 m Abstand auf beiden Seiten der Autobahn, 4 m Höhe über Fahrbahndecke

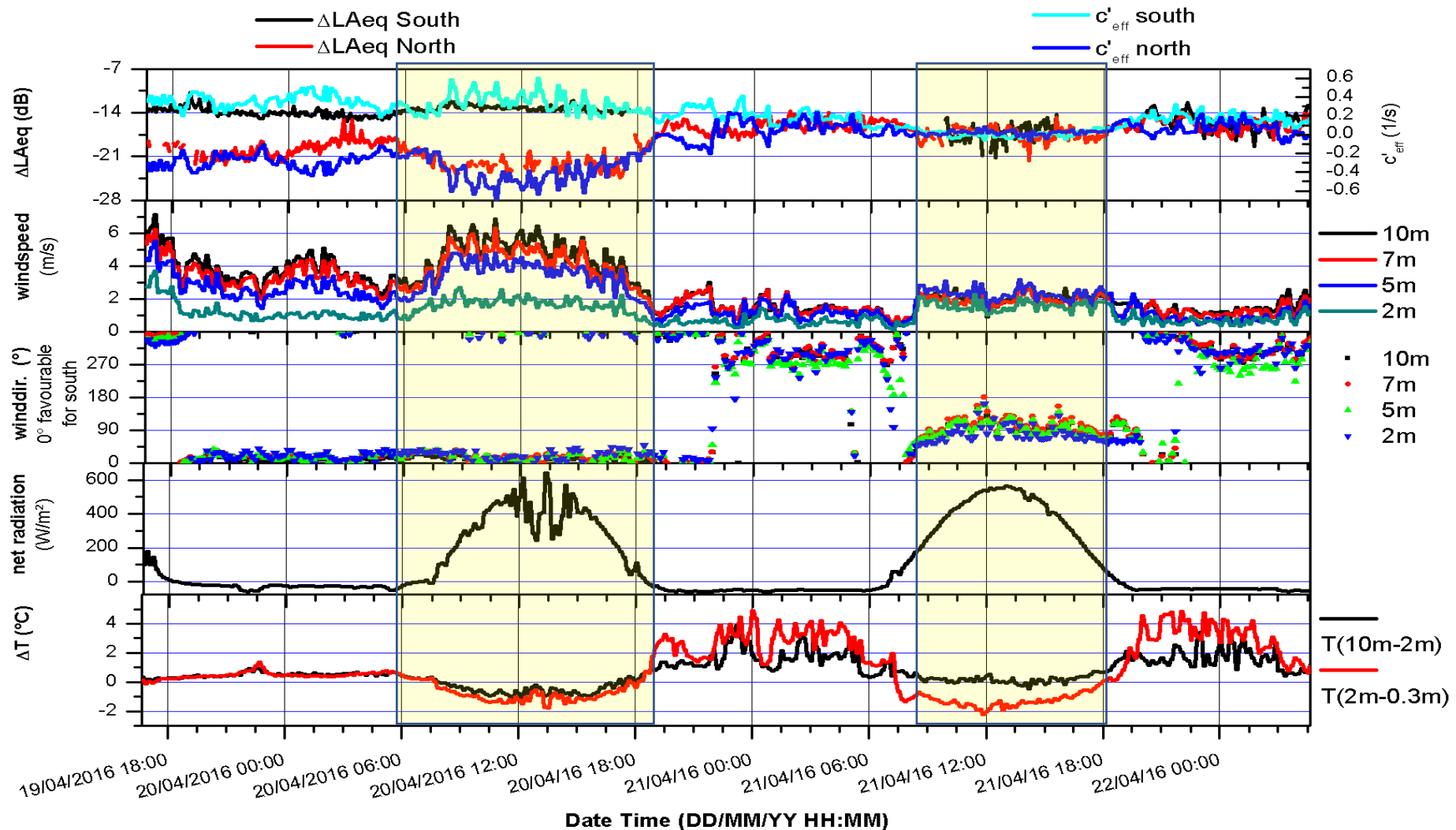


Bad Vöslau: akustische und meteorologische Messungen (Dauer 60 Stunden), 1.Tag (20.04.) Mitwind im Süden, Gegenwind im Norden

**Pegeldifferenz zw.
Süd und Nord**

Schallausbreitung
20.04. Süd: günstig
Nord: ungünstig
 $\Delta LA_{eq} \sim 9 \text{ dB(A)}$

Schallausbreitung
21.04. Windrichtung
etwa parallel zur
Autobahn
 $\Delta LA_{eq} \sim 0 \text{ dB(A)}$



Verteilung des Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit c'_{eff}

c'_{eff} hat zwei Anteile:

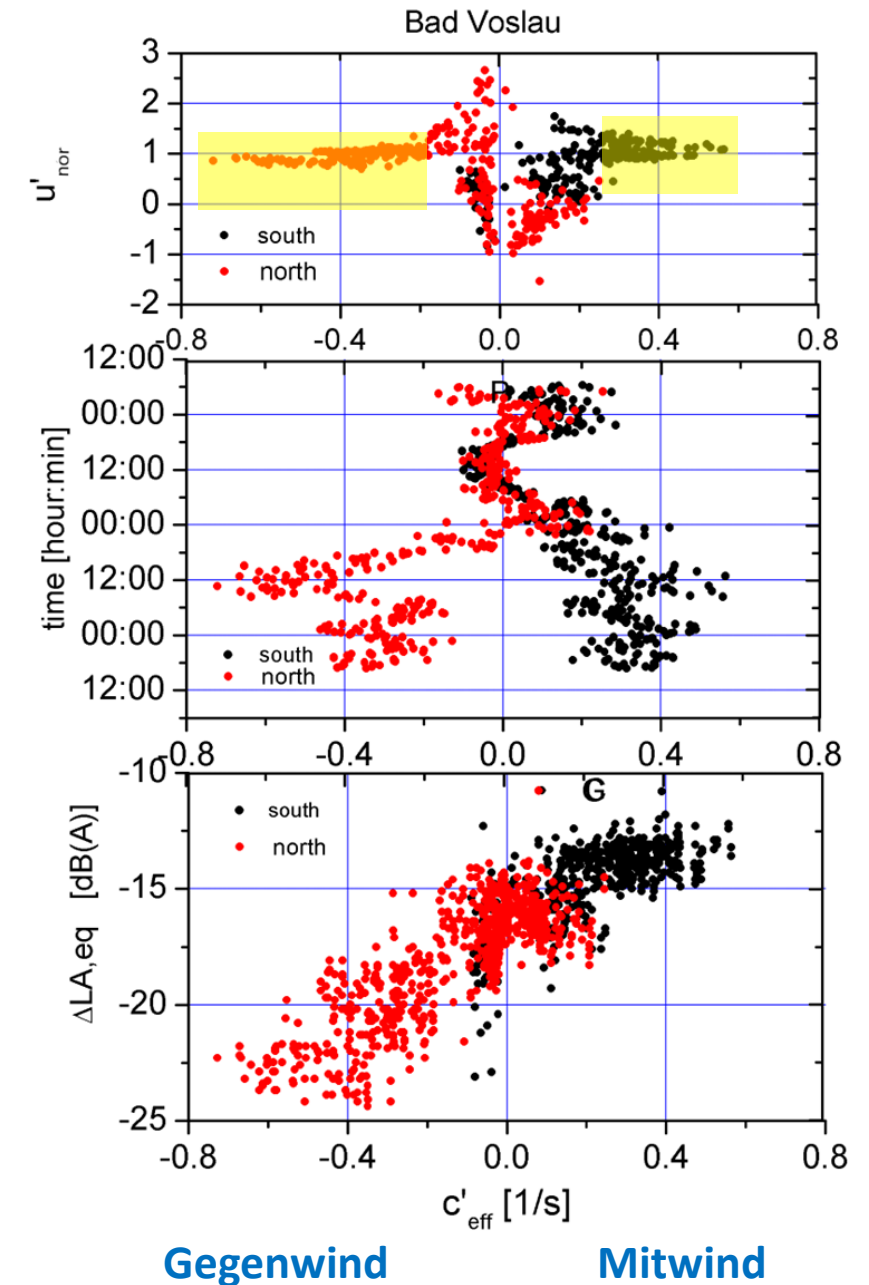
Temperaturgradient T' und Windgradient u'

$$c'_{eff} = \frac{dc_{eff}}{dz} = \frac{c_0}{2T_0} T' + u' \cos \alpha$$

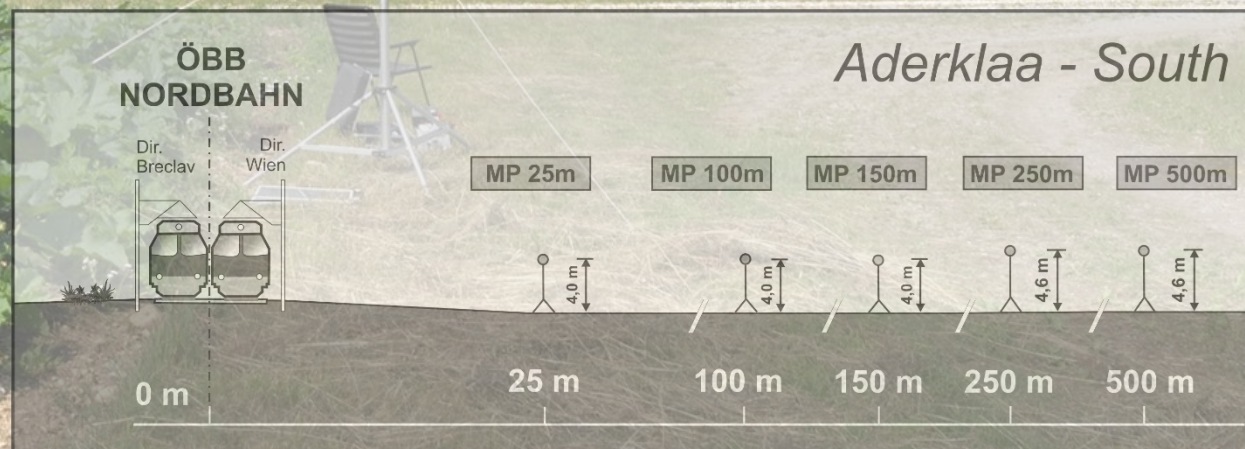
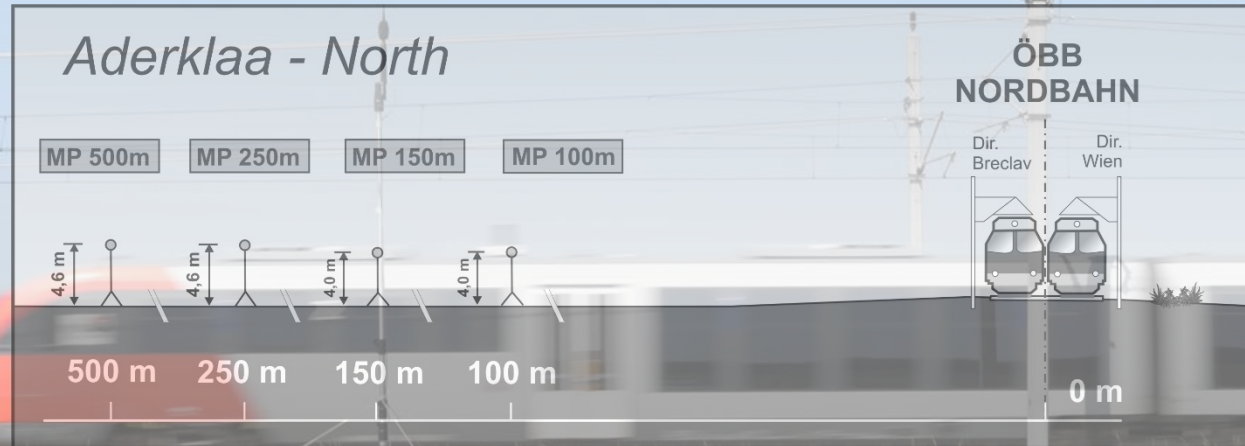
- Normierter Windgeschwindigkeitsgradient u'_{nor} (→ Anteil des jeweiligen Gradienten)

$$u'_{nor} = \frac{u' \cos \alpha}{c'_{eff}} = 1 - \frac{c_0}{2T_0} \frac{T'}{c'_{eff}}$$

Größere Gradienten werden durch den Wind verursacht.



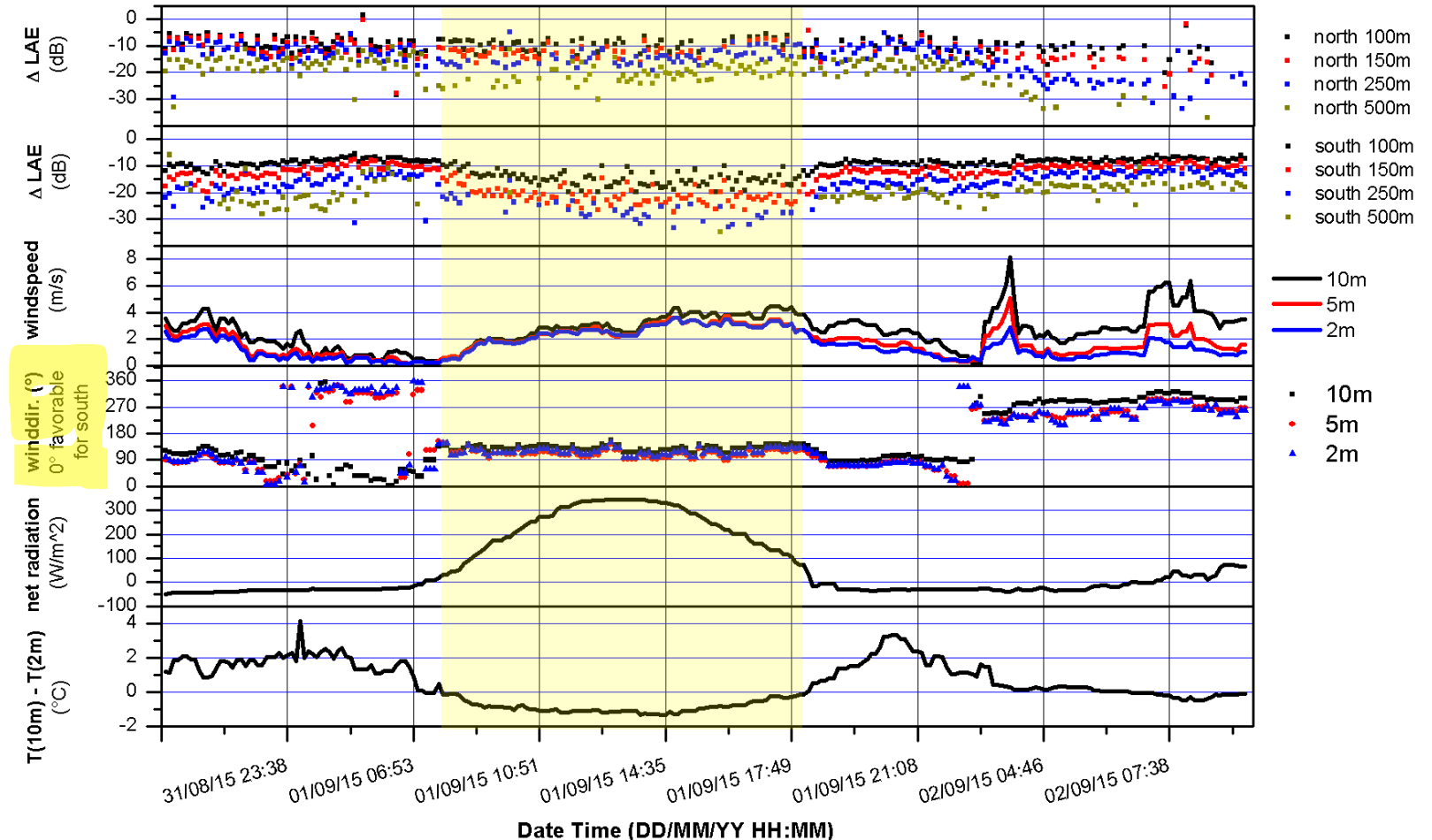
Messungen in Aderklaa: gemessen wurden 250 Zugvorbeifahrten in 36 Stunden



Aderklaa: akustische und meteorologische Messungen tagsüber **Gegenwind (unter 45°) im Süden (Windrichtung etwa 135 °)**

Schallausbreitungsgünstig:
Windrichtung 0° für Süden

01.09. Windrichtung
vorhanden etwa 135°
(→ 45° zur Schienenstrecke)
→ **Gegenwind unter
45° im Süden,**
Mitwind unter 45° im Norden

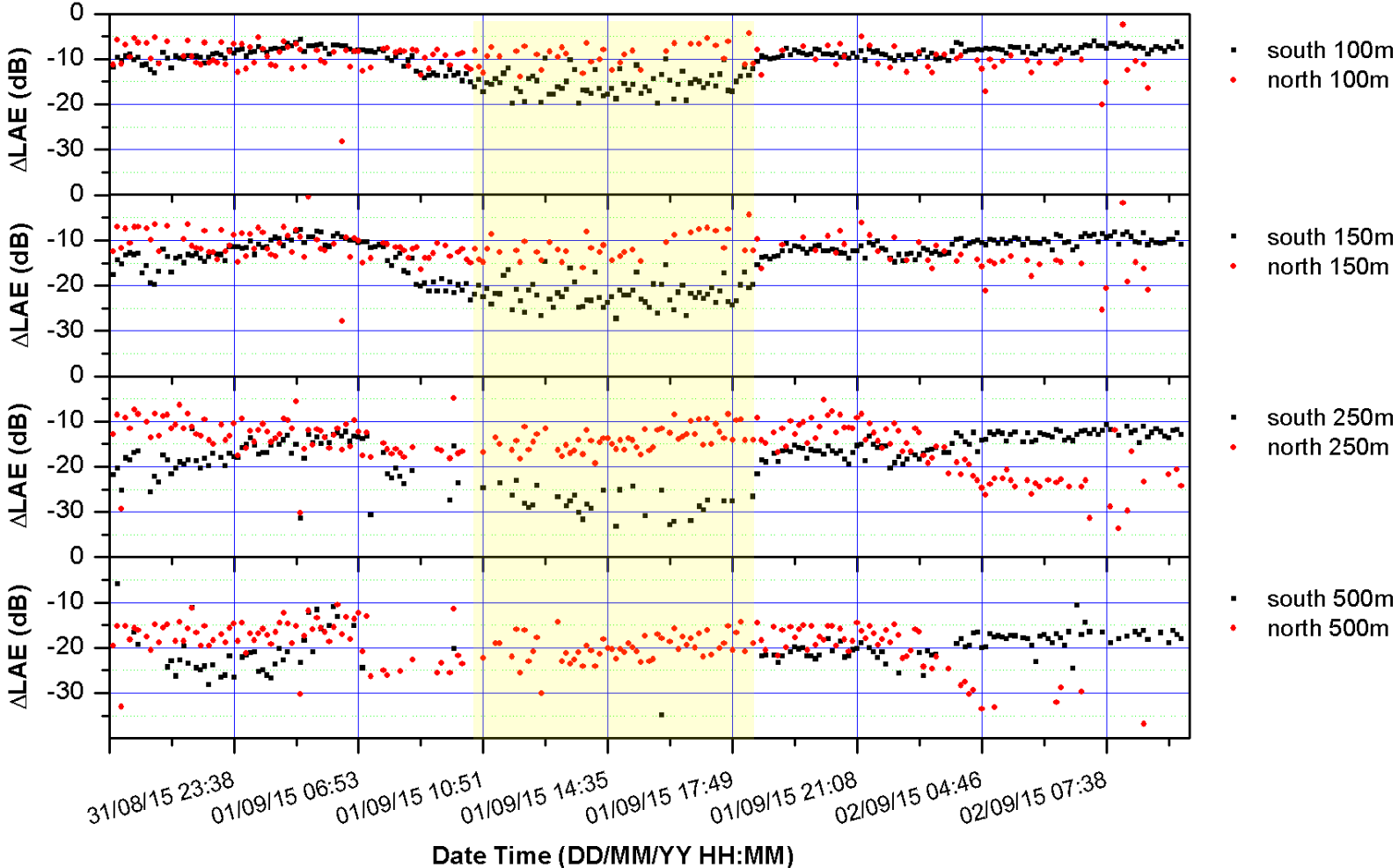


Aderklaa: Pegelminderung (bez. auf Referenzpunkt 25 m) in 100 m, 150 m, 250 m und 500 m; **Gegenwind (45°) im Süden, Mitwind (45°) im Norden**

Pegeldifferenz zw.
Süd und Nord verursacht
durch den Wind unter 45°

$\Delta LAE \sim 5 \text{ dB(A)}$ 100 m

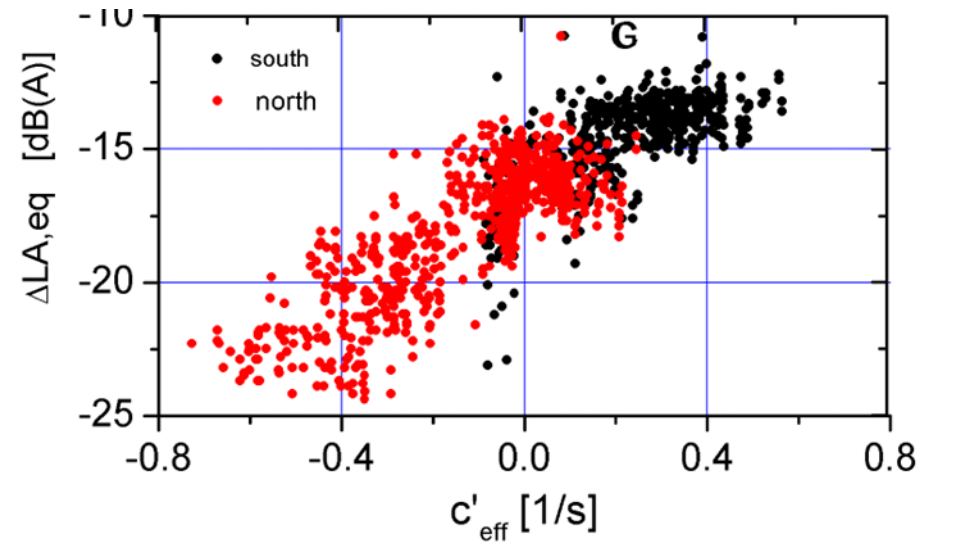
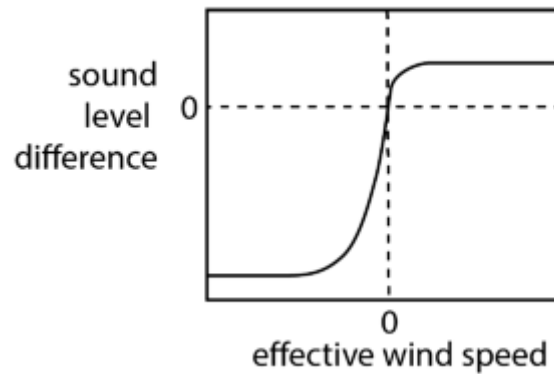
$\Delta LAE \sim 10 \text{ dB(A)}$ 250 m



S-shaped function

Es wird in [1] die Pegelminderung in Abhängigkeit von verschiedenen meteorologischen Bedingungen mit verschiedenen Modellen (holländisches Straßenverkehrsmodell, ISO 9613-2 und CNOSSOS-EU) berechnet und die Pegelminderung durch eine S-förmige Funktion angenähert.

[1] E. M. Salomons, T. Bakri: Fluctuating traffic noise levels calculated from time-dependent traffic data: an engineering approach, Noise Control Engr. J 66(5), September-October 2018, 432-445

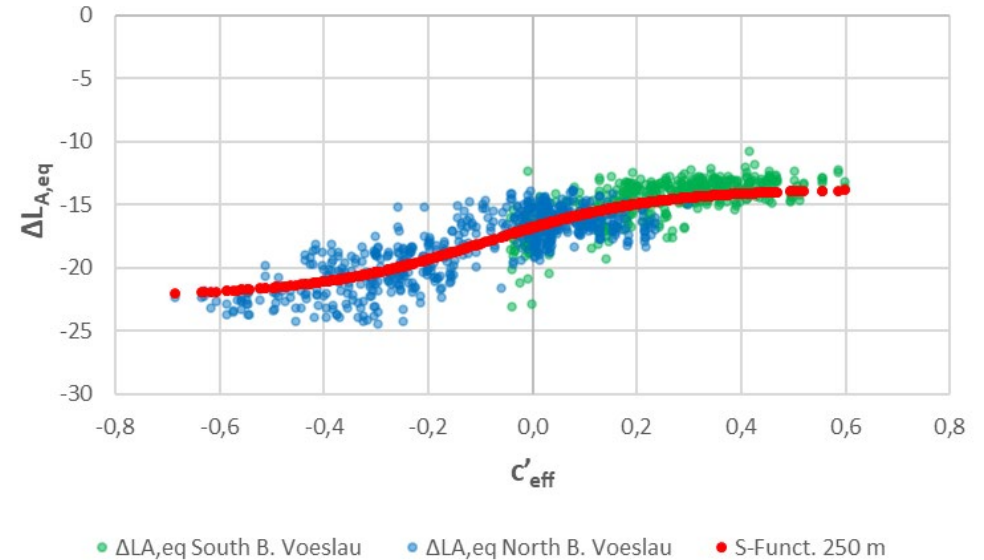


S-shaped function (sigmoid)

- LL Lower Limit
- UL Upper Limit
- $H = UL - LL$
- a, b Konstante

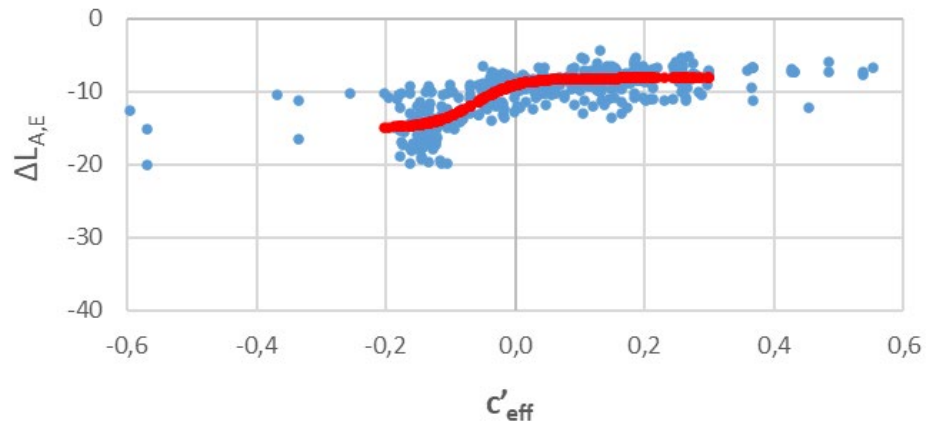
$$\Delta L(d, c'_{eff}) = LL + \frac{H}{e^{b-a c'_{eff}} + 1}$$

$$\Delta L(d, c'_{eff}) = LL + \frac{(\Delta L(d, 0) - LL)(e^b + 1)}{e^{b-a c'_{eff}} + 1}$$



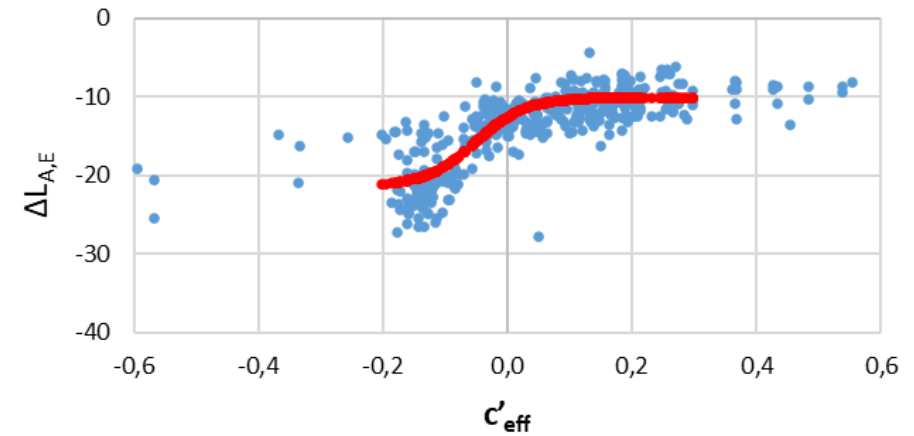
S-Funktion und Pegelminderung in Aderklaa

100 m Abstand



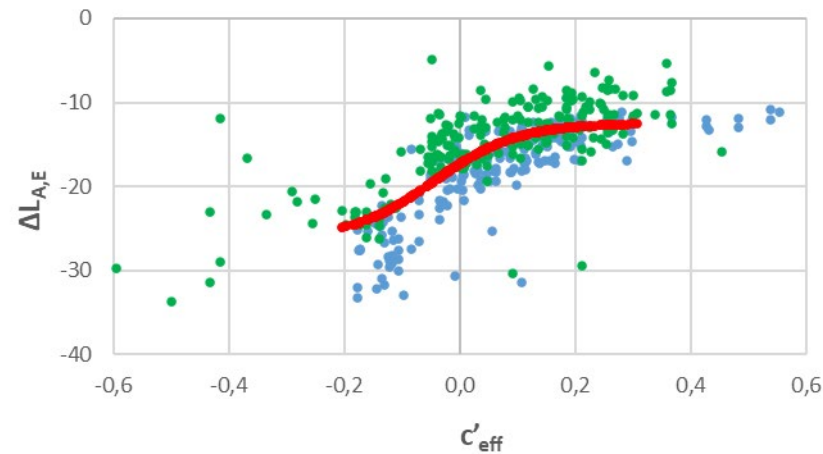
• $\Delta L_{A,E}$ 100 m • S-Function 100r

150 m Abstand



• $\Delta L_{A,E}$ 150 m • S-Function 150m

250 m Abstand



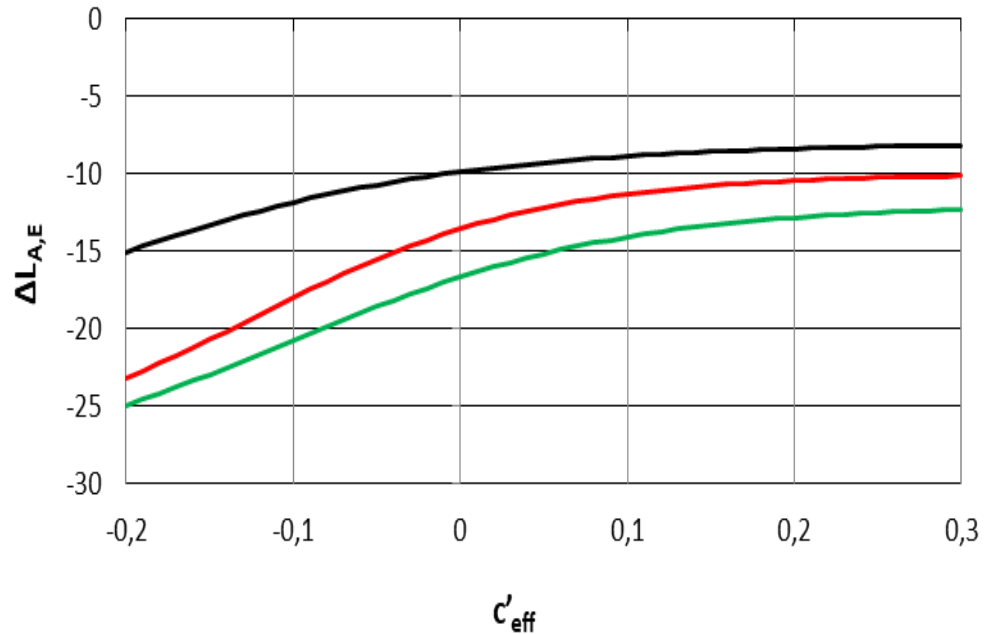
• south 250m • north 250m • S-Funct.

Vergleich der S-Funktionen



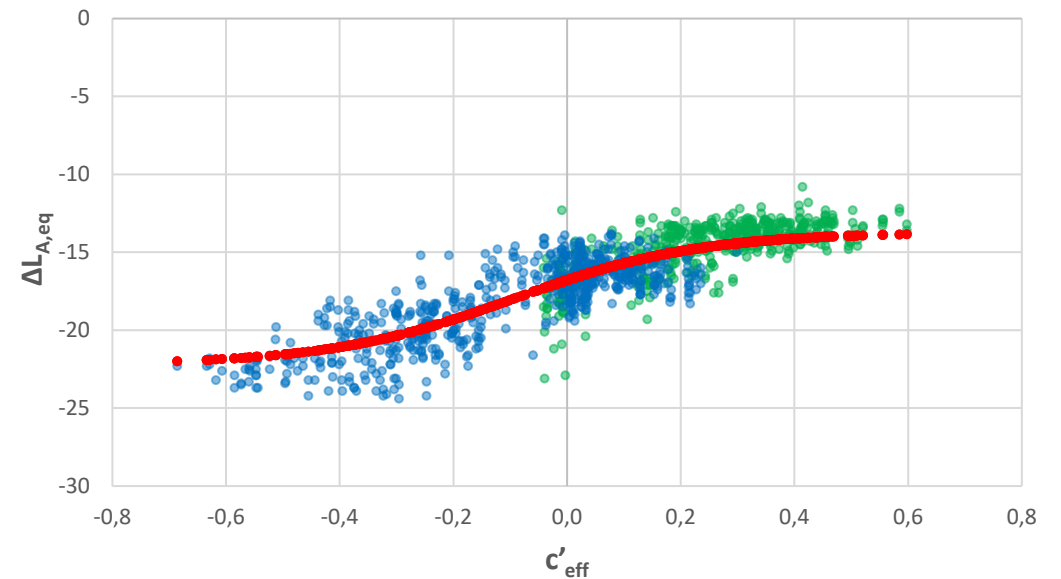
Staatliche Versuchsanstalt

S-Funktion Aderklaa 100 m, 150 m, 250 m
-0,2 < c'eff < 0,3 1/s



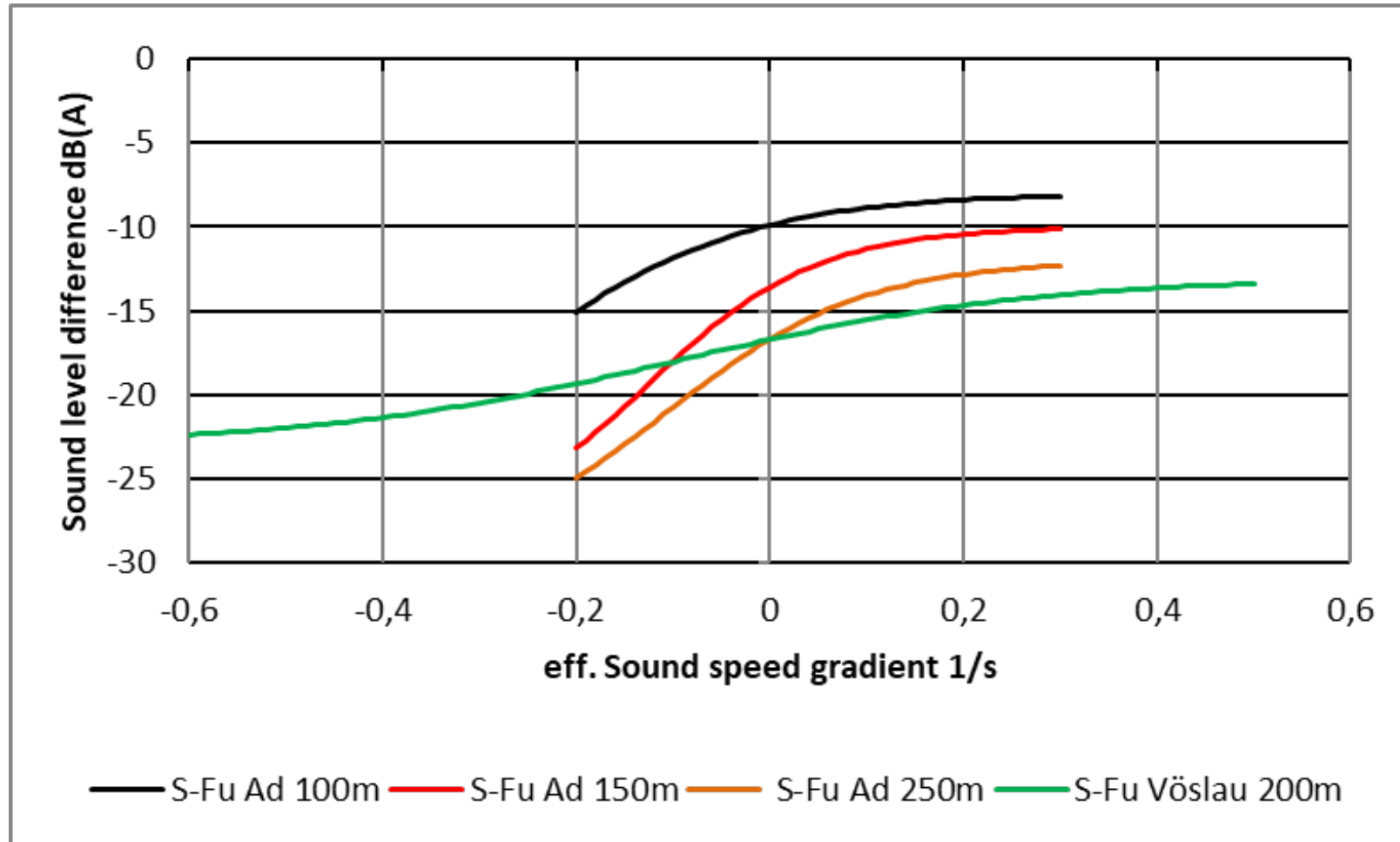
— S-Fu Aderklaa 100m — S-Fu Aderklaa 150m — S-Fu Aderklaa 250m

Pegelminderung und S-Funktion Bad Vöslau 200 m: -0,6 < c'eff < 0,6 1/s



● ΔLA,eq South B. Vöslau ● ΔLA,eq North B. Vöslau ● S-Funct. 250 m

S-Funktion für verschiedene Messstellen



Zusammenfassung 1

- Schallausbreitung und Bodeneffekte: Die Übertragungsfunktion des Bodens wäre mit verschiedenen Modellen gut beschreibbar. Entsprechend ISO 9613-2 (alt) sind die Bodeneffekte nur bei 250 Hz wirksam. Bei CNOSSOS-EU (neu) wird zusätzlich die Meteorologie mit „neutral (homogeneous)“ und „schallausbreitungsgünstig (favourable)“ eingeführt.
- Das Brechungsgesetz für bewegte Medien bringt nur eine geringfügige Änderung gegenüber dem Snellius'schen Brechungsgesetz für ruhende Medien.
- Bei flächenförmigen Schallquellen beträgt die Pegelabnahme 9 dB/Entfernungsverdopplung parallel zum offenen Fenster als Schallquelle.
- Umfangreiche akustische und meteorologische Messungen an einer Eisenbahn-Messtelle wurden durchgeführt und die frequenzabhängige Pegelminderung in Abhängigkeit von der meteorologischen Situation ermittelt.

Zusammenfassung 2

- Der Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit c'_{eff} ist gut geeignet die meteorologische Situation in Bezug auf die Schallausbreitung zu beschreiben. c'_{eff} ist proportional zur Pegelminderung.
- Umfangreiche akustische und meteorologische Messungen an Autobahn- und einer Eisenbahn-Messtelle wurden durchgeführt.
- **Kleinere Gradienten** der effektiven Schallgeschwindigkeit ($-0,1 < c'_{eff} < 0,1$ 1/s) werden durch den **Temperaturgradienten**, größere durch den **Windgeschwindigkeitsgradienten** verursacht.
- Die **S-Funktion ist gut geeignet** die Abhängigkeit der Pegeldifferenz vom Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit c'_{eff} zu beschreiben.



Dr. Dieter Hohenwarter
email: dhohenwarter@tgm.ac.at