

# Entwicklung der Bestimmung des Bodeneinflusses in Schallausbreitungsrechnungen ausgehend von Richtlinien 2714 E „Schallausbreitung im Freien“ bis zu DIN ISO 9613-2 „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“

P. Vykoupil, Moers

Die Korrektur für die Bodeneffekte ist ein wichtiger Bestandteil der Schallausbreitungsrechnungen. Nachvollziehbar sind daher die Bemühungen, den praktischen Erfahrungen zu folgen und praktikable Regeln für die Bestimmung der Bodeneffekte zu entwickeln.

## 1. Entwicklung des Bodendämpfungsmaßes

Die erste Empfehlung zur Bestimmung des Bodeneinflusses  $\Delta L_B$  in Schallausbreitungsrechnungen wurde 1976 im ersten Gründruck der Richtlinie gegeben mit

$$\Delta L_B = 2 \text{ dB} \quad (1)$$

Bei  $s_m < 10 (h_Q + h_A)$  ist  $\Delta L_B = 2 \text{ dB}$ .

$h_Q$  und  $h_A$  sind hier die Höhen der Quelle und des Aufpunktes über Boden und  $s_m$  der Abstand Quelle / Aufpunkt. Hinzu kamen Anmerkungen zum Witterungsdämpfungsmaß.

Im März 1985 ist ein Arbeitsentwurf /2/ erschienen. Nach ausführlicher Anwendung und Prüfung und dem Einbeziehen neuer Erkenntnisse aus Forschungsvorhaben ergaben sich zum Entwurf 1976 leichte Veränderungen bei der Beschreibung des Bodeneinflusses (Zitat Arbeitsentwurf). Eingeführt wurde die Zusatzdämpfung in dB

$$\Delta L_{B,M} = 4.8 - (h_Q + h_A) / s_m * (17 + 300 / s_m) \quad (2)$$

$$\Delta L_{B,M} > 0.$$

Den Unterschied zwischen den Jahren 1976 /1/ und 1985 /2/ zeigt das folgende Bild 1.

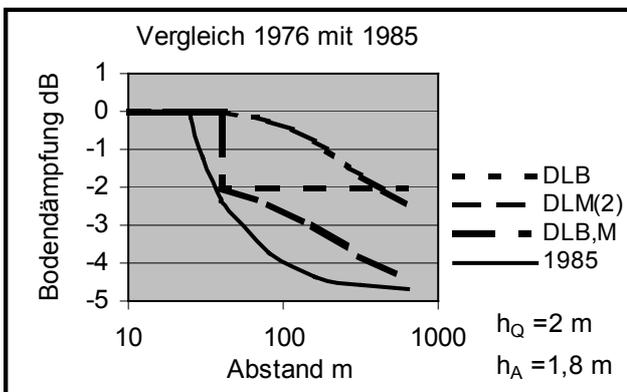


Bild 1

Mit der Beziehung (2) wurden der Bodeneinfluss von max. 2 dB und der Meteorologieeinfluss von max. 3 dB aus 1976 zu etwa max. 5 dB irgendwie zusammengefaßt. Das Ziel war vermutlich, mit geringstem Aufwand die sprunghafte Änderung von 2 dB nach (1) zu mildern, und in diesem Beispiel auf den Bereich von 25 m bis 40 m zu verteilen. Der Arbeitsentwurf /2/ beruft sich im Kommentar zu (2) auf Messungen von Görlich und Rehm von Müller BBM. Es ist jedoch nicht nachvollziehbar, wie aus diesen Messungen für Entfernungen größer 300 m auf eine Situation um 40 m geschlossen werden kann.

Im Juli 1986 ist ein Gründruck der Richtlinie 2714 erschienen. Der Kommentar von 1985 war nicht mehr vorhanden. Dafür war neu der Hinweis, daß die Gleichung (2) mit den bisherigen Erfahrungen gestützt ist. Hinweise auf die Quellen der Erfahrungen sind dort nicht zu erfahren. Im Weißdruck Januar 1988 mutierte die

Gleichung in ihrer Begründung zu einer Vereinbarung. Diese Vereinbarung wurde 1999 in die ISO Richtlinie 9613-2 /3/ als Beziehung [10] eingebracht.

Die Beziehung [10] wurde in keinem der Regelwerke durch die Nennung einer Informationsquelle physikalisch oder meßtechnisch untermauert. Sie ist jedoch bestätigt worden durch ein Abstimmungsergebnis des Arbeitsausschusses mit 10 zu 1 Stimmen bei 6 Enthaltungen.

Wie Meßwerte bei Grundlagenmessungen über Gras aussehen, kann z.B. in /4/, /5/ und /6/ nachgeschlagen werden. Die Ergebnisse für  $h_Q=2\text{m}$ ,  $h_A=1,6\text{ m}$  bei gesicherter Schalleistung zeigt Bild 2. Bei der A-Bewertung wurde von gleichgroßen unbewerteten Schallpegeln in einzelnen Frequenzbereichen ausgegangen. Nach der Bewertung wurden der Mittelwert gebildet und wegen der Vergleichbarkeit mit [10] für  $K_Q=3\text{ dB}$  abgezogen.

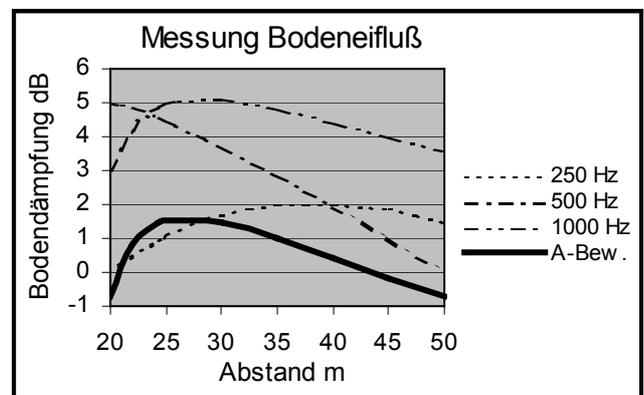


Bild 2

Die Gegenüberstellung der Messung nach Bild 2 mit der Beziehung [10] der ISO in Bild 3 zeigt, daß die Berechnungsergebnisse weit von den Ergebnissen einer einfachen korrekten Messung entfernt sind.

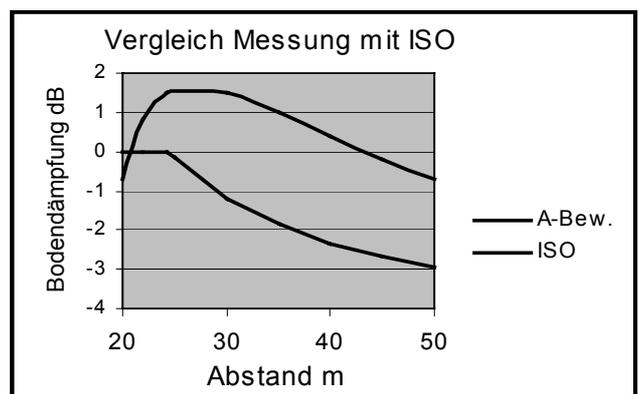


Bild 3

Nicht nur daß die Beziehung [10] fachlich unbegründet ist, sie verursacht auch noch Probleme in Verbindung mit der Abschirmung. Die anfängliche systematische schnelle Zunahme der Bodendämpfung, in Bild 1 und 3 im Abstand 30 bis 40 m durch die Durchbiegung nach unten erkennbar, ist nicht mit der Abnahme der Abschirmung in Einklang zu bringen. Dadurch entstehen bei Schallausbreitungsrechnungen groteske Situationen, bei denen mit steigender Höhe des Aufpunktes oder mit größerem Ab-

stand des Aufpunktes vom Schirm das Einfügungsdämpfungsmaß zunimmt.

Im Arbeitsentwurf 1985 wurde von Thomassen erstmals ein Formelwerk für das frequenz- und höhenabhängige Bodendämpfungsmaß eingebracht. Die Quelle der Erkenntnisse wurde nicht genannt. Im zweiten Gründruck der Richtlinie vom Juli 1986 wurde auf die Veröffentlichung von Kragh et al. /7/ aus dem Jahre 1982 hingewiesen. Dieses Formelwerk ist unverändert auch in den Weißdruck der Richtlinie im Jahre 1988 /8/ eingegangen und 1999 in die ISO /3/.

## 2. Frequenzabhängiger Bodeneffekt nach ISO 9613-2 bzw. nach Kragh et al.

Das Verfahren beruft sich auf dem Effekt der Überlagerung einer vom Boden reflektierten Schallwelle mit der direkten. Das wesentliche Merkmal des Verfahrens ist die Aufteilung des Schallausbreitungsweges in einen quellennahen, in einen aufpunktnahen und in einen restlichen Abstandsbereich. Diese Aufteilung wird mit der Mitwindssituation begründet. Aufgrund des gekrümmten Ausbreitungsweges wird die Dämpfung maßgeblich durch die Bodeneigenschaften in den Nahbereichen der Quelle und des Aufpunktes bestimmt. Der restliche Mittelbereich soll keinen Einfluß auf den Bodeneffekt haben. Die nahen Abstandsbereiche sind auf  $30h_Q$  bzw.  $30h_A$  festgelegt. Für diese Festlegung gibt es auch in /8/ keinen Hinweis. Wenn aber die  $30h$  richtig sein sollten, dann müßte der Reflexionspunkt in diesen Bereichen liegen. Klar ist, daß bei Windstille der Reflexionspunkt außerhalb der Nahbereiche liegt. Bei Mitwind erfolgt die Schallausbreitung auf gekrümmten Bahnen. Nach dem Fermatschen Prinzip bedient sich die Wellenbewegung des schnellsten Weges innerhalb einer Variation. Der Schall weicht in Bereiche mit höherer Geschwindigkeit aus und dadurch entsteht der gekrümmte Schallweg. Bei gleichem Ein- und Ausfallwinkel der reflektierten Welle verschiebt sich sodann der Reflexionspunkt.

Die Tabelle 1 zeigt das Berechnungsergebnis für  $h_Q = h_A = 2$  m und bei Abstand Quelle/Aufpunkt von 300 m für verschiedene Schallgeschwindigkeitsgradienten.

Gradient 1/s	0.02	0.04	0.06	0.08
Krümmung m	17200	8600	5700	4300
Ref-Punkt m	150	144	118	76

Tabelle 1

Abstand m	Reflexionspunktlage (m)				
	ohne cg	mit $cg=0.07$ und $h_Q = h_A =$			
		1m	2m	4m	8m
150	75	75	75	75	75
300	150	37	94	149	150
600	300	17	35	76	190
1200	600	8,5	17	34	70
30h-Bereich		30	60	120	240

Tabelle 2

Den Einfluß der Quellen- und Aufpunkthöhen auf die Verschiebung des Reflexionspunktes mit und ohne eine parabolische Bahnkrümmung aufgrund des Schallgeschwindigkeitsgradienten  $cg = 0.07$  1/s zeigt die Tabelle 2. Zum Vergleich sind auch die 30h-Bereiche nach ISO eingetragen. Die Ergebnisse in Tabelle 2 sprechen recht wenig für die 30h-Bereiche.

Anschließend sind in Bild 4 zu sehen die Berechnungen des Bodeneffektes nach ISO /3/, nach DAGA 84 /6/ und die Meßwerte von Scholes et al. /10/ für Mitwind 1,5 m/s aus dem Jahre 1967. Für die Vergleichbarkeit mit der Messung wurden die Formelwerte um  $K_Q = 3$  dB angehoben. Das ISO-Ergebnis ist bedenklich. Für die Frequenzbänder 500 Hz und 1000 Hz sieht es nicht besser aus.

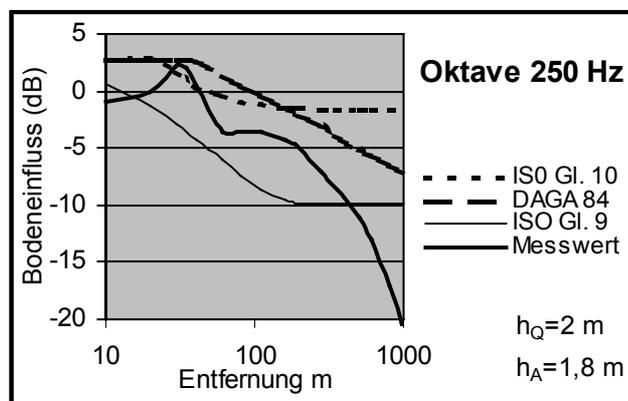


Bild 4

## 3. Zusammenfassung

Die Gleichungen [9] und [10] der ISO 9613-2 für Bodeneffekte sind von den Grundlagen her nicht nachvollziehbar. Aufgrund des unglaublichen Verlaufes der Bodendämpfung sind sie als physikalisch nicht gestützt anzusehen. Hinweise auf Grundlagenarbeiten zum Thema Bodeneffekte fehlen. Bei Kragh sind 9 und in der VDI-Richtlinie 16 Literaturhinweise aufgeführt. Keiner von diesen berührt die Bodeneffekte. Die ISO beruft sich lediglich auf nationale Richtlinien. Die Nachvollziehbarkeit der Richtlinienformeln für alle ist auch ein denkbare Qualitätskriterium eines Regelwerkes.

Zumindest zwei Fragen seien daher erlaubt: Welche Inhalte hat die Qualitätssicherung bei den Regelwerken des DIN, VDI und ISO und wer kennt eigentlich heute noch den Ursprung der Richtlinienformeln für Bodeneffekte und für die Abschirmung?

## Literatur:

- /1/ VDI Richtlinie 2714 E „Schallausbreitung im Freien“, Entwurf 1976
- /2/ VDI Richtlinie 2714 E „Schallausbreitung im Freien“, Arbeitsentwurf März 1985
- /3/ ISO Richtlinie 9613-2 „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“, Teil 2, Oktober 1999
- /4/ P. Vykoupil: „Zusatzdämpfung bei der Schallausbreitung über Boden“, DAGA '81, S. 91-94
- /5/ P. Vykoupil: „Zusatzdämpfung bei Schallausbreitung über Boden“, Acustica 1982, No.1, S. 24-30
- /6/ P. Vykoupil: „Bestimmung des Bodendämpfungsmaßes in Schallausbreitungsrechnungen“, DAGA '84
- /7/ J. Kragh, B. Andersen, J. Jakobsen: „Environmental Noise from Industrial Plants. General Prediction Method“, Danish Acoustical Laboratory, Report no. 32, 1982
- /8/ VDI Richtlinie 2714 E „Schallausbreitung im Freien“, Entwurf Juli 1986
- /9/ VDI Richtlinie 2714 „Schallausbreitung im Freien“, Januar 1988
- /10/ Scholes W. E., Parkin P. H. : „The Effect of Small Changes in Source Height on the Propagation of Sound over Grassland“, J. Sound Vib. 6, S.424-442 (1967)