

Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen gezeigt am Beispiel der Schallausbreitung im Freien

Dieter Hohenwarter¹

¹ Versuchsanstalt TGM, 1200 Wien, E-Mail: Dieter.Hohenwarter@TGM.AC.AT

Einleitung und Zusammenfassung

Es wird gezeigt, dass wissenschaftliche Entwicklungen nicht linear verlaufen, sondern durch wissenschaftliche Revolutionen wesentlich weiterentwickelt werden. Am historischen Beispiel der Änderung des Weltbildes durch Galileo Galilei wird die Struktur von wissenschaftlichen Revolutionen dargestellt. Es wird die These gewagt, dass die exakte Berechnung der Bodeneffekte, die vor allem durch Keith Attenborough vorangetrieben wurde, eine wissenschaftliche Revolution (natürlich im kleineren Ausmaß als bei Galileo Galilei) im Vergleich zur vorhergehenden empirischen Berechnung der Bodeneffekte darstellt.

Die Schallausbreitung im Freien, wird mit Ausnahme der Mitwindsituation, wesentlich durch die meteorologischen Einflüsse bestimmt. Es wird dargestellt, welche Parameter die Schallausbreitung beeinflussen und damit die Eckpunkte für eine wissenschaftliche Revolution auf diesem Gebiet sein können.

Wissenschaftliche Revolutionen am Beispiel von Galileo Galilei

Um zu zeigen, dass wissenschaftliche Entwicklungen nicht kontinuierlich voranschreiten, werden die Erkenntnisse von Galileo Galilei herangezogen, dessen Geburtstag sich heuer zum 450. Mal jährt. Wissenschaftliche Entwicklungen sind kein kontinuierlicher Erkenntnisprozess, sondern erfolgen sprunghaft durch wissenschaftliche Revolutionen [1]. Am historischen Beispiel von Galilei wird dargestellt, dass durch revolutionäre Prozesse ein bisher geltendes Erklärungsmodell verworfen und durch ein anderes ersetzt wird, also ein Paradigmenwechsel [1] erfolgt.

Als Galileo Galilei vor 450 Jahren am 15. Februar 1564 in Pisa geboren wird, dreht sich vermeintlich noch alles um die Erde (geozentrisches Weltbild). Tagtäglich rast der ganze Kosmos um den Menschen herum, mit all seinen Sternen, der Sonne und den Planeten. Unsere Welt bildet das ruhende Zentrum des Universums. Seit 1543 gibt es allerdings einen radikalen Gegenentwurf: Nikolaus Kopernikus lehrt die tägliche Rotation der Erde. Gleichzeitig schickt er diese auf eine jährliche Bahn um die Sonne – und macht sie so erst zu einem Planeten.

Doch den allermeisten Zeitgenossen Galileis erscheint dieses sonnenzentrierte Modell (heliocentrisches Weltbild) absurd. Sie beharren auf der zentralen Sonderstellung der Erde. Mit Hilfe des Fernrohrs wird der Italiener ab 1610 alles versuchen, um unsere eigene Welt mit anderen Wandelgestirnen gleichzusetzen und so ihren planetaren Charakter zu unterstreichen. Erst nach Abschluss seiner ersten Teleskopbeobachtungen wagt er es, öffentlich für Kopernikus einzutreten und vertritt damit die Kopernikanische Wende. Doch jetzt als Galilei so tut, als

könne er mit seine Teleskopbeobachtungen das Modell von Kopernikus tatsächlich beweisen, fühlt sich der Vatikan im Zugzwang und die neue Kosmologie wird verboten. Als Galilei gegen das römische Dekret verstößt, kommt es zum Inquisitionsprozess und der Schuldspruch durch den Vatikan macht ihn zur Legende [aus 2].

Kopernikus und Galilei revolutionierten die damaligen Vorstellungen und wiesen die Gültigkeit des heliozentrischen Weltbildes nach. Das Paradigma des geozentrischen wurde durch ein neues Paradigma des heliozentrischen Weltbildes abgelöst.

Berechnung der Bodeneffekte nach ISO 9613-2

Die Berechnung der Lärmkarten in Österreich und Deutschland erfolgt nach der ISO 9613-2. Für die Berechnung der Bodendämpfungsanteile werden empirische Gleichungen verwendet und mit einem Faktor G kann akustisch harter (G=0) oder akustisch weicher Boden (G=1) berücksichtigt werden. Diese Bodendämpfung G kann im Quellbereich, Mittelbereich und Empfängerbereich unterschiedlich gewählt werden.

Die empirischen Gleichungen nach ISO 9613-2 ergeben eine Bodendämpfung, welche immer im selben Frequenzbereich mit unterschiedlicher Pegelminderung liegt, wie aus Abb. 1 ersichtlich ist.

Exakte Berechnung der Bodeneffekte

Der Boden reflektiert den Schall und so erreichen den Immissionspunkt der direkte und der am Boden reflektierte Schall. Damit wird auch die Interferenz des direkten und des am Boden reflektierten Schalls wirksam mit der Annahme einer homogenen Atmosphäre über dem Boden.

Die Schallquelle ist charakterisiert durch ein Freifeld und die komplexe Druckamplitude beim Immissionspunkt enthält auch die reflektierte Welle mit dem Kugelwellenreflexionskoeffizienten, der durch den Reflexionskoeffizient von ebenen Wellen angenähert wird.

Das akustische Verhalten des Bodens wird durch die normalisierte Bodenimpedanz Z beschrieben. Die Bodenimpedanz Z enthält einen Real- und einen Imaginärteil und beinhaltet die Frequenz der Schallwelle und die Struktur des Bodens. Für die Beschreibung der Struktur des Bodens wird beim Modell von Delany und Bazley der Strömungswiderstand σ des Bodens verwendet.

Keith Attenborough verwendet dieses Modell und hat zahlreiche weitere Modelle zur Beschreibung des Bodens entwickelt [3]. Kürzlich wurde gezeigt [4], dass der effektive Strömungswiderstand σ des Bodens zwischen 47 für langes Gras und 746 kPa s m⁻² Rasen schwanken kann. Die Abbildung 1 zeigt, dass für einen weichen Boden und geringem Strömungswiderstand ($\sigma=50$ kPa s m⁻²) die exakte Berechnung recht gut mit der empirischen Berechnung nach ISO 9613-2 übereinstimmt. Bei einem höheren Strömungs-

widerstand ($\sigma=700 \text{ kPa s m}^{-2}$) zeigt sich ein völlig anderes Verhalten bei der exakten Berechnung der Bodendämpfung im Vergleich zur ISO 9613.

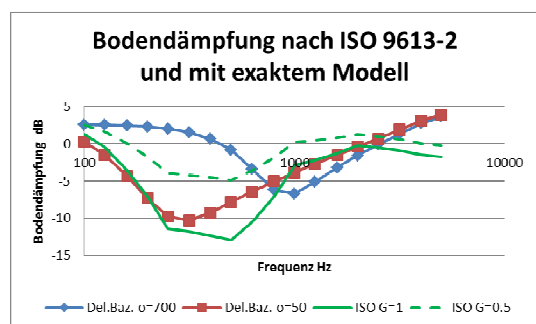


Abb.1: Bodendämpfung nach ISO 9613-2 für unterschiedlich weichen Boden ($G=1$ und 0.5) und für Grasoberflächen ($\sigma=50$, $\sigma=700 \text{ kPa s m}^{-2}$) für eine Schienenstrecke in 200 m Abstand vom Immissionspunkt, Empfänger- (Hr) und Quellhöhe (Hs) Hr=Hs=1m.

Wissenschaftliche Revolution bei der Berechnung der Bodeneffekte realisiert

Die exakte Berechnung der Bodeneffekte kann im Vergleich zur empirischen Berechnung nach ISO 9613-2 als eine (kleinere) wissenschaftliche Revolution angesehen werden. Keith Attenborough hat am wesentlichsten an diesem Wandel zur exakten Berechnung der Bodeneffekte mitgewirkt. Man könnte also sagen, dass Keith Attenborough eine (kleinere) wissenschaftliche Revolution bei der Berechnung der Bodeneffekte bewirkt hat, weil die vorher vorhandene empirische Berechnung nach ISO 9613-2 durch ein exaktes physikalisches Modell abgelöst wurde. Dieses exakte physikalische Modell enthält die Interferenz zwischen direktem und am Boden reflektiertem Schallstrahl, den Reflexionskoeffizienten des Bodens ausgedrückt durch die Bodenimpedanz. Es kann der durch die Bodenreflexionen verursachte Schallpegel bei Kenntnis von Emissions- und Immissionspunkthöhe und der Bodeneigenschaften exakt berechnet werden. Damit kann die exakte Berechnung der Bodeneffekte als wissenschaftliche Revolution betrachtet werden.

Wissenschaftliche Revolution bei der Berechnung der meteorologischen Einflüsse auf die Schallausbreitung noch notwendig

Die Kenntnis der meteorologischen Einflüsse auf die Schallausbreitung ist noch nicht so weit fortgeschritten, dass mit der Kenntnis einiger meteorologischer Parameter die Schallimmissionen exakt vorausgesagt werden können, wie es bei den Bodeneffekten möglich ist.

Die Schallimmissionen bei Mitwind werden nur sehr wenig durch die meteorologischen Bedingungen beeinflusst. Bei allen anderen Windrichtungen haben die meteorologischen Bedingungen sehr viel größeren Einfluss. Nachfolgend werden jene meteorologischen Parameter dargestellt, die die Schallausbreitung neben der Windrichtung hauptsächlich beeinflussen.

Der Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit (dc_{eff}/dz) enthält den Temperaturgradienten ($\partial T/\partial z$), den Gradienten der Windgeschwindigkeit ($\partial u/\partial z$), die Richtung zwischen Schallquelle und Immissionspunkt ($\cos \alpha$) und die Temperatur T_0 und die Schallgeschwindigkeit c_0 [5].

$$\frac{dc_{eff}}{dz} = \frac{c_0}{2 T_0} \frac{\partial T}{\partial z} + \cos \alpha \frac{\partial u}{\partial z} \quad [1/s] \quad (1)$$

Der Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit ist damit für die Brechung der Schallstrahlen maßgebend und bestimmt damit den durch die Brechung verursachten Schallpegel.

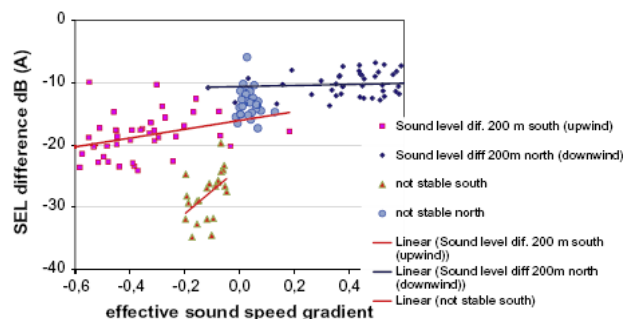


Abb.2: Schallpegeldifferenz ($\Delta L=L_{SEL,200m}-L_{SEL,25m}$) bei Mitwind und Gegenwind bei stabiler (nachts) und labiler (tagsüber) meteorologischer Situation [4].

Eine wesentliche meteorologische Messgröße ist die **Monin-Obukhov Länge L** , welche den Temperaturgradienten (näherungsweise $\Delta T/\Delta z$), den Gradienten der Windgeschwindigkeit ($\Delta u/\Delta z$), die potentielle Temperatur ($\Theta=T+0,0098z$), Bodenoberfläche beschrieben durch die Reibungsgeschwindigkeit (u_*), die Karman Konstante ($k=0,41$) und die Erdbeschleunigung ($g=9,81 \text{ m/s}^2$) enthält.

$$L = \frac{u_* \Theta}{k g} \frac{\Delta u / \Delta z}{\Delta T / \Delta z} \quad [m] \quad (2)$$

Die akustische Beschreibungsgröße effektiver Schallgeschwindigkeitsgradient (Gl. 1) hängt also eng mit der meteorologischen Beschreibungsgröße Obukhov Länge (Gl. 2) zusammen, weil beide den Temperaturgradienten und den Windgeschwindigkeitsgradienten einmal in der Summe und einmal als Verhältnis enthalten [5].

Der Einfluss der Meteorologie auf die Schallausbreitung wird wesentlich durch den effektiven Schallgeschwindigkeitsgradienten bestimmt und ist durch die meteorologische Beschreibungsgröße Obukhov Länge damit zusammenhängend. Diese beiden Beschreibungsgrößen könnten Eckpunkte einer wissenschaftlichen Revolution bei dem Zusammenhang zwischen Meteorologie und Schallausbreitung sein, doch ist sie auf diesem Gebiet noch nicht realisiert.

Literatur

- [1] Thomas S. Kuhn: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Suhrkamp-Taschenbücher Wissenschaft, 25, Frankfurt am Main Suhrkamp 1979
- [2] C. Pinter: Kein Teleskop für Galilei, Wiener Zeitung, 15./16.2.2014
- [3] Keith M. Attenborough, KM Li, K Horoshenkov: Predicting Outdoor Sound“, K., Taylor & Francis, 2007
- [4] K. Attenborough, I. Bashir, S. Taherzadeh: Outdoor ground impedance models, J. Acoust. Soc. Am. 129(5), May 2011, p 2806-2819
- [5] D. Hohenwarter, E. Mursch-Radlgruber, Nocturnal boundary layer profiles and measured frequency dependent influence on sound propagation, Applied Acoustics 76 (2014) 416-430