

# Schallausbreitungsmodell IMAGINE

Dieter Knauß

deBAKOM GmbH, Bergstraße 36, 51519 Odenthal, knauss@debakom.de

## 1 Einleitung

Bereits im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes HARMONOISE wurde ein Schallausbreitungsmodell entwickelt, das die unterschiedlichen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen berücksichtigt [1]. Hierzu wird aus meteorologischen Kenngrößen (z.B. Windgeschwindigkeit, atmosphärische Stabilität) der Krümmungsradius der Schallstrahlen näherungsweise berechnet. Das HARMONOISE Modell wurde in IMAGINE auf Schallquellen mit größeren Höhen erweitert, um die Schallausbreitung für industrielle Quellen und Flugzeuge zu beschreiben [2]. Im Folgenden sollen Messungen an Kühltürmen eines Kraftwerkes unter dem Aspekt der in IMAGINE eingeführten meteorologischen Schallausbreitungsklassen betrachtet werden.

## 2 Messungen

Die Messungen wurden in der Nähe eines Kernkraftwerkes durchgeführt. Neben akustischen Parametern wie Pegel und Spektren wurden meteorologische Parameter zur Bestimmung der Schallausbreitungsklasse/Krümmungsradius erfasst. Hierzu wurde ein Ultraschallanemometer verwendet, mit dem die drei Windgeschwindigkeitskomponenten bestimmt werden können. Hieraus lassen sich andere Parameter zur Beschreibung der atmosphärischen Stabilität ermitteln. Die Messungen wurden in mittleren Abständen von 370 m (M3) und 540 m (M4, M5) zu den beiden Kühltürmen durchgeführt, wobei sich M4 und M5 lediglich in der Messhöhe unterscheiden (4/10m). Während der gesamten Messung wurde im Nahbereich der Kühltürme der Schalldruckpegel ermittelt, um Pegeländerungen der Schallquelle zu bestimmen. Die Pegelschwankungen betragen dabei ca. 1 dB.

## 3 Schallausbreitungsmodell

Das Schallausbreitungsmodell HARMONOISE/IMAGINE, kurz HI-Modell, entspricht in seinen Grundzügen dem Nord2000 Modell [3,4]. Wesentlich am HI-Modell ist die Berücksichtigung der unterschiedlichen meteorologischen Ausbreitungsklassen. Das ursprüngliche HARMONOISE-Modell umfasste 25 Schallausbreitungsklassen [2], mit 5 Windgeschwindigkeitsklassen (0-10m/s) und 5 Stabilitätsklassen. Anhand der Klassen lässt sich das vertikale Schallgeschwindigkeitsprofil nach

$$c_{eff} = c_o + B \cdot \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) + A \cdot z \quad (1)$$

berechnen. Die beiden Koeffizienten A und B ergeben sich dabei aus den meteorologischen Parametern L (Monin-Obukhov-Länge),  $u^*$  (Schubspannungsgeschwindigkeit in Ausbreitungsrichtung) und  $T^*$  (Skalierungstemperatur) [5,6],

die die Stabilität der Atmosphäre bestimmen. Anhand des Geschwindigkeitsprofils wiederum kann der Krümmungsradius der Schallstrahlen näherungsweise berechnet werden. In IMAGINE wurden die Schallausbreitungsklassen von 25 auf 4 reduziert [7]. Die 4 Schallausbreitungsklassen sind über den Parameter d/R wie folgt definiert:

	d/R Range	d/R Representative value	Verbal description
M1 <sup>1)</sup>	< - 0.04	-0.08	Unfavourable
M2 <sup>2)</sup>	-0.04 ... 0.04	0.00	Neutral
M3 <sup>3)</sup>	0.04 ... 0.12	0.08	Favourable
M4 <sup>4)</sup>	> 0.12	0.16	Very favourable

<sup>1)</sup> Typical value of wind speed component at 10 m, <1m/s/<-1m/s at day/night.

<sup>2)</sup> Typical value of wind speed component at 10 m, 1-3m/s.

<sup>3)</sup> Typical value of wind speed component at 10 m, 3-6m/s.

<sup>4)</sup> Typical value of wind speed component at 10 m, >6m/s/>-1m/s at day/night.

Tabelle 1: Schallausbreitungsklassen nach IMAGINE [7].

Da der Krümmungsradius vom Abstand Schallquelle/Aufpunkt abhängt, wird zur Beschreibung der Ausbreitungsklassen der Parameter d/R verwendet. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die Schallstrahlenkrümmung mit D/R = 0.1 (Klasse M3).

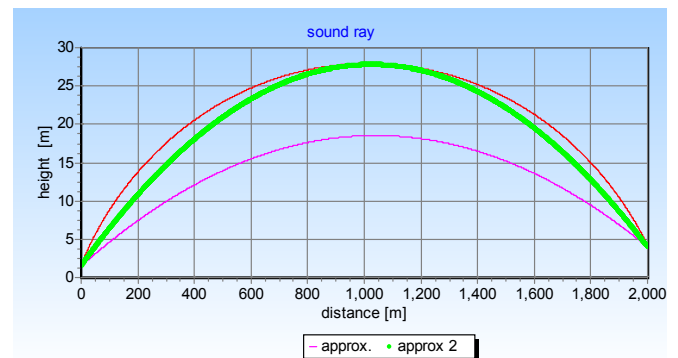


Abbildung 1: Abstand Schallquelle-Aufpunkt 2000 m; Krümmungsradius 20000 m (S2/W2); untere Kurve: Näherung nach IMAGINE; mittlere Kurve: Kreisbogen mit R=20000 m

## 4 Ergebnisse

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit die dem HI-Modell zugrunde gelegten Schallgeschwindigkeitsprofile ausreichend sind, um die aus den Messungen ermittelten Profile zu beschreiben. Abbildung 2 zeigt die Gesamtzahl der Messungen und die durch die Schallgeschwindigkeitsprofile beschreibbaren Messungen (Vollkreise).

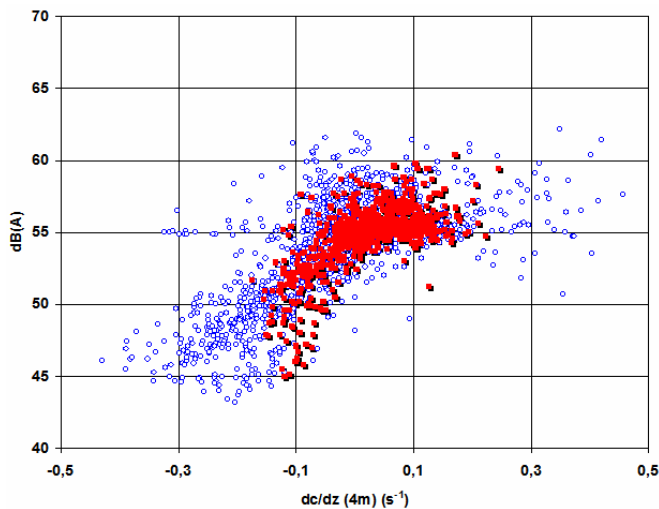


Abbildung 2: Pegel (° Symbol) als Funktion des Schallgeschwindigkeitsgradienten. Die durch • gekennzeichneten Punkte sind durch die HI-Profile beschreibbar; aus [8]

Ein Grund dafür, dass nur ein Teil der ermittelten Gradienten durch das Modell beschrieben werden, liegt in der Abweichung zwischen der im HI-Modell angesetzten Abhängigkeit der Schubspannungsgeschwindigkeit  $u^*$  und der Windgeschwindigkeit. Ausgehend von den in Tabelle 1 definierten Klassen M1-M4 für das Verhältnis Abstand/Krümmungsradius  $d/R$ , ergeben sich für den Messpunkt M3 (ca. 380 m Entfernung) mit einer Messhöhe von 4 m die in Abb. 3 dargestellten mittleren und klassierten Spektren für M2.

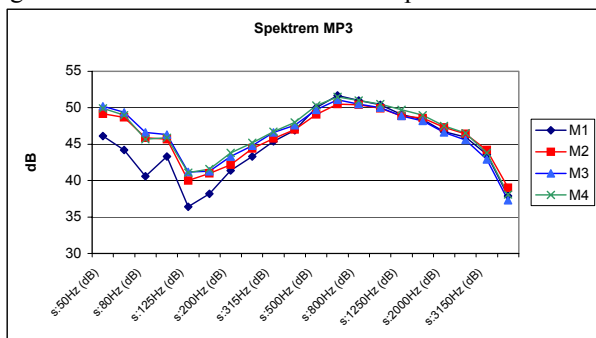


Abbildung 3: Mittlere Terzspektren für die Ausbreitungsklassen M1-M4 (MP3)

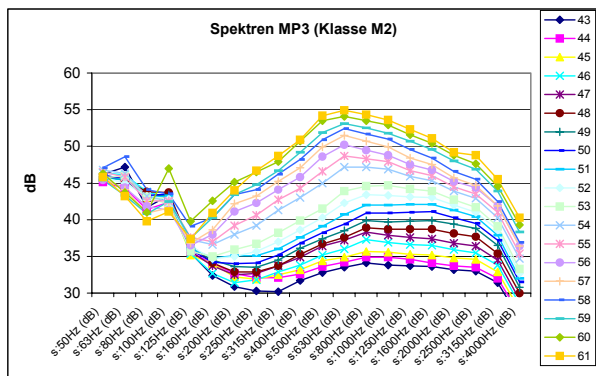


Abbildung 4: Terzspektren MP3 für die Ausbreitungsklasse M2, klassiert nach Summenpegel (A-bewertet)

Wie der Abb. 4 zu entnehmen ist, ergeben sich bei diesem Abstand für die 4 Schallausbreitungsklassen im Mittel nur geringe Abweichungen. Hingegen zeigen einzelne Messungen eine erhebliche Varianz der Pegel sowie der Spektren. Die in Abb. 4 zu erkennenden Abweichungen der Terzspektren für Frequenzen kleiner 125 Hz werden durch Fremdgeräusche aus der Umgebung verursacht. Aus den Untersuchungen ergibt sich, dass bei Verwendung der obigen Klassierung (M1-M4) hohe Pegel nicht notwendigerweise an Klassen mit günstigen Ausbreitungsbedingungen gebunden sind.

Abschließend bleibt noch die Frage, wie gut das HI-Modell die gemessenen Pegel wiedergibt. Erste Berechnungen ergaben für ausgewählte Ausbreitungsbedingungen eine Abweichung von  $\pm 2$  dB für den A-bewerteten Summenpegel [8].

## 5 Zusammenfassung

Das HARMONOISE-IMAGINE-Modell erlaubt es, Schallausbreitungen für unterschiedliche meteorologische Situationen durchzuführen. Die ursprünglich 25 Ausbreitungsklassen wurden auf 4 reduziert. Die Klassierung der Ausbreitungsbedingungen erfolgt anhand des Parameters  $d/R$  ( $d$ : Abstand Schallquelle zu Aufpunkt;  $R$ : Krümmungsradius des direkten Schallstrahls). Anhand von Validierungsmessungen an Kühltürmen konnte dabei gezeigt werden, dass die im Modell verwendeten Schallgeschwindigkeitsprofile nicht die gesamten Messwerte abdecken. Besonders bei instabilen Situationen lassen sich die Messwerte nur bedingt durch das Modell reproduzieren. Auch weist die Ausbreitungsklasse M2 starke Pegelfluktuationen auf, so dass bei Messungen eine entsprechend lange Messzeit erforderlich ist, um einen statistisch abgesicherten Wert zu erhalten.

## 6 Literatur

- [1] Abschlussbericht Harmonoise, HAR28TR-041109-TNO10.doc, 2004
- [2] IMAGINE Report IMATR03-060610-CSTB01.doc, 2006
- [3] DELTA Acoustics, Report AV 1849/00, Dez. 2001
- [4] DELTA Acoustics, Report AV 1851/00, Dez. 2001
- [5] Turbulence and Diffusion in the Atmosphere, A.K. Blackadar, Springer Verlag
- [6] Harmonoise Report, HAR25MO-031121-DLR01.doc, D. Heimann
- [7] IMAGINE Report WP3, IMA32TR-040510-SP09, 9<sup>th</sup> Draft of measurement Standard
- [8] IMAGINE Report EDF, F. Junker, IMA7TR-060614EDF01, 2006