

# Validierung von Eisenbahnlärmmodellen in einer Talsituation anhand einer Langzeitmessung

Kurt Heutschi, EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, CH-8600 Dübendorf  
Reto Höin, Sinus Engineering AG, CH-6203 Sempach-Station  
Franz Akermann, Kanton Uri, Amt für Umweltschutz, CH-6460 Altdorf

## Zusammenfassung

Im komplexen topographischen und meteorologischen Umfeld von Talsituationen können sich besondere Schallausbreitungsphänomene ausbilden. Mit den heute noch weit verbreiteten empirischen bzw. semi-empirischen Ausbreitungsmodellen wie z.B. ISO 9613-2 werden viele dieser Effekte nur rudimentär nachgebildet oder gänzlich ignoriert. Da in Tälern besondere, asymmetrische Windverhältnisse und inhomogene Temperaturverteilungen auftreten können, ist nicht a priori mit einer Ausmittlung dieser Effekte zu rechnen. Speziell in Alpentälern mit hohem Verkehrsaufkommen auf Schiene und Strasse kann dies zu einer systematischen Fehlbewertung der Lärmbelastung führen. Mit Messungen des Eisenbahnlärms in einer typischen Talsituation an der Gotthardlinie sollten allfällige Modellmängel aufgedeckt werden. Während zweier Monate wurden gleichzeitig schienennahe Messungen und solche an den Talflanken bei Quellen-Empfängerabständen in der Grössenordnung von knapp 1 km durchgeführt. Die als Schallausbreitungsdämpfung zwischen Emissions- und Immissionspunkt ausgewerteten akustischen Daten wurden mit Berechnungen verglichen und mit den erfassten Meteorodaten korreliert. Die mit SEMIBEL und Schall-03 durchgeführten Berechnungen zeigten im Vergleich zu den Messungen Abweichungen von maximal 3 dB(A).

## Einleitung

Der zunehmende Verkehr auf den bedeutenden Eisenbahntransitachsen führt dazu, dass sich die grenzwertrelevanten Zonen zu immer grösseren Abständen ausdehnen. Mit zunehmender Entfernung von der Quelle zum Immissionspunkt gewinnen meteorologische Einflüsse auf die Schallausbreitung an Bedeutung. Mit vielen der heute eingesetzten empirischen bzw. semi-empirischen Rechenmodellen wie z.B. dem in der Schweiz verwendeten SEMIBEL oder ISO 9613-2 werden Meteoroeffekte ignoriert bzw. nur rudimentär mitberücksichtigt. Oft hilft zwar der Umstand, dass Jahresmittelwerte gesucht werden und deshalb eine gewisse Ausmittlung der Wettereinflüsse erwartet werden darf. In besonderen Umgebungen wie z.B. Talsituationen muss aber auch im Mittel mit Asymmetrien gerechnet werden. Anhand einer Langzeitmessung über zwei Monate wurde eine Antwort auf die Frage gesucht, wie gut aktuelle Rechenmodelle die Realität der Schallausbreitung in einem Tal abbilden. Dazu wurde ein Querschnitt bei Altdorf (CH) im Süd-Nord verlaufenden Reusstal gewählt.

## Meteorologie in Alpentälern

Nord-Süd orientierte Alpentäler weisen besondere meteorologische Eigenheiten auf [1]. Nachts kühlt sich durch Strahlungsverluste die bodennahe Luftschicht ab. Dabei entsteht eine Inversion und als Folge davon entwickeln sich Hangabwinde. Am Tag wärmt sich der Boden und die bodennahe Luftschicht auf. Es entstehen asymmetrische Hangaufwinde, da sich die Talflanken auf Grund der ungleichen Sonneneinstrahlung unterschiedlich erwärmen. Extreme Temperaturgradienten können dann auftreten, wenn im Tal ein Kaltluftsee vorhanden ist und gleichzeitig ein warmer Föhnwind bläst. Der Wind kann die Kaltluftma-

asse nur langsam ausräumen, sodass sich an der Grenzschicht innerhalb von 50 m ein Temperatursprung von mehr als 10 Grad Celsius einstellen kann.

## Schallausbreitungsmessung und Meteorologiebeobachtungen

### Akustische Messanordnung

Die Schallausbreitungsmessungen wurden über einen Zeitraum von zwei Monaten angelegt. Als Quelle wurde die im Talgrund verlaufende Eisenbahnlinie verwendet. Als Emissionspunkt E1 wurde ein Mikrofon in 9.9 bzw. 13.7 m Abstand von den beiden Geleiseachsen installiert. Einander gegenüber liegend wurden an den beiden Talflanken in den Abständen 850 bzw. 820 m in den Höhen 150 bzw. 180 m über dem Talgrund zwei Immissionspunkte (I1 und I3) eingerichtet. Ein dritter Empfangspunkt I2 wurde im Abstand von 630 m auf 4.5 m Höhe im Talboden installiert. I2 wies hinsichtlich der Ausbreitung sowohl einen deutlichen Bodeneffekt als auch Hinderniswirkung auf. Der Emissionspunkt E1 und der Immissionspunkt I1 an der Talflanke wurden permanent überwacht, an den beiden anderen Punkten wurden nur kurzzeitig Messungen durchgeführt. Die primäre Messinformation bestand aus dem Zeitverlauf des A-bewerteten 1 Sekunden Leq's.

### Meteoinformationen

Als Meteoinformation standen viertelstündlich die Temperatur, die Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit und -richtung an zwei Messstellen in der Nähe des untersuchten Talquerschnitts zur Verfügung. Zusätzlich konnte auf eine Temperaturmessung an der westlichen Talflanke auf den Höhen 0, 48, 93, 128 und 518 m über dem Talgrund zurückgegriffen werden. Daraus liess sich Information über den Temperaturgradienten im Tal ableiten.

### Messergebnisse und Auswertungen

Aus dem Pegel-Zeitverlauf am Emissionspunkt wurden über eine Zeit- und Schwellwertbedingung automatisch die Zugsvorbeifahrereignisse detektiert. Am Emissions- und den Immissionspunkten wurde dann jeweils die Ereignisenergie durch Aufintegration des Pegel-Zeitverlaufs bestimmt. Die Ereignisenergien wurden in Stundenwerte zusammengefasst, wobei zusätzlich eine Störgeräuschschätzung und -kompensation vorgenommen wurde. Für die anschliessenden statistischen Untersuchungen stand damit ein Set von Stunden-SEL Werten mit zugehöriger Wetterinformation zur Verfügung. Dabei ergaben sich folgende Zusammenhänge:

- Die wesentlichen Windkomponenten zeigten in Talrichtung. Erwartete Querwinde als Folge von thermischen Effekten durch einseitige Besonnung der Talflanken waren nur in unbedeutender und die Schallausbreitung nicht beeinflussender Stärke aufgetreten.
- Die Ausbreitungsdämpfungen zu allen Punkten korrelierten nur sehr schwach mit dem Wind. Die Hauptwirkung bestand in der Verhinderung der Ausbildung einer Temperaturschichtung.

- Während über 50 % der Messzeit bestand auf den untersten 50 m im Tal eine Inversionslage.
- Die Ausbreitungsdämpfungen für alle Immissionspunkte zeigen eine relativ deutliche Korrelation mit der Luftfeuchte, wobei der Zusammenhang gut mit dem theoretisch erwarteten Einfluss der Feuchte auf die Luftabsorption übereinstimmt.
- Für die beiden Immissionspunkte I1 und I3 an den Talflanken ergeben die Messungen eine erstaunlich geringe Schwankung der Ausbreitungsdämpfung (80% der Werte innerhalb +/- 2 dB(A)). Ein bedeutendes Merkmal dieser beiden Punkte ist, dass bei der Ausbreitung weder ein wesentlicher Bodeneffekt noch eine Hinderniswirkung auftritt.
- An den Immissionspunkten I1 und I3 manifestierten sich keine pegelrelevanten Fokussierungs- oder Streueffekte.
- Für den im Talboden lokalisierten Immissionspunkt I2 schwankte die Ausbreitungsdämpfung deutlich (80% der Werte innerhalb +/- 4 dB(A)). Dabei zeigt sich eine markante Korrelation mit dem Temperaturgradienten auf den ersten 100 m ab Talboden (Abbildung 1). Bei maximaler Inversion lag die Ausbreitungsdämpfung rund 7 dB(A) tiefer als im Fall mit verschwindendem Temperaturgradienten. Dies entspricht einem Wegfall des Bodeneffekts und eines Grossteils der Hinderniswirkung.
- Die Ausbreitungsdämpfungen zu den Punkten I1 und I3 an den gegenüberliegenden Talflanken korrelierten hoch miteinander (Abbildung 2). Allerdings zeigt I3 rund 3 dB(A) höhere Immissionspegel als I1. Dies dürfte auf eine für I3 bedeutende Reflexion an einer Felswand zurückzuführen sein.

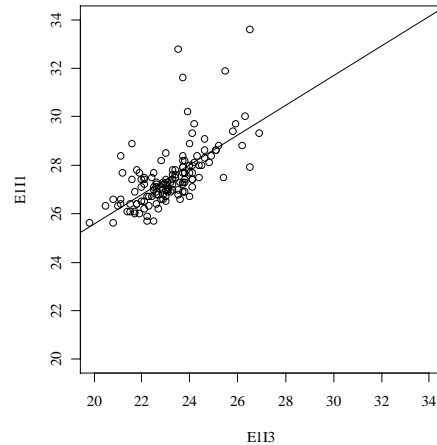


Abbildung 2: Ausbreitungsdämpfung E1I1 [dB(A)] von E1 nach I1 in Abhängigkeit der Ausbreitungsdämpfung E1I3 [dB(A)] von E1 nach I3.

### Vergleich Messung und Berechnung

Basierend auf einem digitalen Geländemodell wurde die Messsituation mit SEMIBEL nachgebildet. Dabei wurde analog zur Messung eine Ausbreitungsdämpfung vom Emissions- zu den Immissionspunkten berechnet und mit den Messungen verglichen. Ergänzend wurde die Berechnung auch gemäss der Vorschrift Schall-03 durchgeführt (Abbildung 3). Der Vergleich zeigt, dass sowohl SEMIBEL als auch Schall-03 die Ausbreitungsdämpfung zum Immissionspunkt I1 leicht unterschätzen. Die Ausbreitungsdämpfung zu I2 wird von beiden Modellen um rund 3 dB(A) überschätzt. Dies dürfte auf die angesprochene Felswandreflexion zurückzuführen sein, die in den Modellen nicht berücksichtigt wird. Die Ausbreitungsdämpfung zu dem im Tal liegenden Punkt I2 wird von SEMIBEL über-, von Schall-03 unterschätzt.

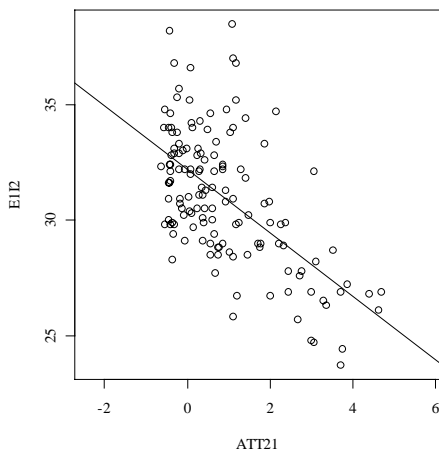


Abbildung 1: Ausbreitungsdämpfung E1I2 [dB(A)] von E1 nach I2 in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz ATT21 [°C] gemessen auf 50 m und im Talgrund.

### Rechenmodell SEMIBEL

Der Berechnung von Eisenbahnlärm wird in der Schweiz der akustische Kern SEMIBEL [2] zu Grunde gelegt. SEMIBEL zerlegt die Eisenbahnlinie in Segmente und rechnet unter Berücksichtigung einer  $\cos^2$  Abstrahlcharakteristik die Ausbreitung für die A-Bewertung von den Segmentmittelpunkten zum Empfangspunkt. Aus dem Abstand wird die geometrische Verdünnung und die Luftdämpfung ermittelt. Aus der Topographie im Schnitt werden allfällige Hinderniswirkungen und anhand der mittleren Ausbreitungshöhe über Boden der Bodeneffekt mittels empirisch begründeter Formeln berücksichtigt. Meteorologische Effekte werden gänzlich ignoriert.

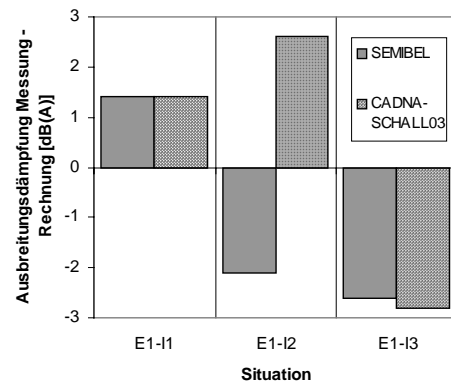


Abbildung 3: Vergleich der gemessenen zu den mit SEMIBEL bzw. Schall03 berechneten Ausbreitungsdämpfungen vom Emissionspunkt E1 zu den Immissionspunkten I1...I3.

### Literatur

- [1] D. Heimann, G. Gross, Gekoppelte Simulation meteorologischer und akustischer Parameter in einem engen Tal. Fortschritte der Akustik, DAGA 98, S. 598-599 (1998).
- [2] R. Hofmann, K. Eggenschwiler, A. Rosenheck, Aufbau und Arbeitsweise des Berechnungsverfahrens SEMIBEL für Bahnlärm. Fortschritte der Akustik, DAGA 90, S. 123-128 (1990).