

Wirkung von Schallschirmen bei Inversionslagen und Wind

Efficacité des écrans sonores lors d'inversions de température et par temps de vent

The effect of noise barriers under conditions of temperature inversions and wind

B+S Ingenieur AG, 3000 Bern 31

**René Bayer, dipl. Ing. FH
Dr. Kurt Heutschi, (EMPA)**

Forschungsauftrag 2002/012

August 2006

Inhaltsübersicht

Zusammenfassung	4
1 Einleitung	7
1.1 Auftrag	7
1.2 Bearbeitungsteam	7
1.3 Ausgangslage	7
2 Messkonzept	8
2.1 Vorgehen	8
2.2 Messstandort	9
2.3 Messanordnung	10
2.4 Messvorgang	11
2.5 Messgeräte	11
2.6 Messperiode	11
3 Messresultate	12
3.1 Vorgehen Auswertung	12
3.2 Auswertung der Messung	12
3.3 Auswertung Pegelverlauf Gesamtperiode	13
3.4 Pegeldifferenzen bzw. Wirkung der Schallschutzwand	16
3.5 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen	18
3.6 Detailauswertungen	19
3.7 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen	22
3.8 Spurbelegung	23
3.9 Einfluss Windrichtung	24
3.10 Erkenntnisse	27
4 Folgerungen aus den Auswertungen	28
4.1 Erkenntnisse aus der Messung und Auswertungen	28
4.2 Fazit	28
4.3 Forschungsauftrag ASTRA 2001/053	29
5 Auswirkungen auf den praktischen Lärmschutz	30
5.1 Fragen, welche sich im Zusammenhang mit den durchgeführten Ermittlungen ergeben	30
6 Weiteres Vorgehen	31

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.2-1:	Kartenausschnitt mit Messstandort
Abb. 2.3-1:	Messanordnung
Abb. 2.3-2:	Mikrofon 1 mit Wetterstation
Abb. 2.3-3:	Standort Mik 1 und Mik 2
Abb. 3.3-1:	Pegelverlauf (Monat) Mik 1
Abb. 3.3-2:	Pegelverlauf (Monat) Mik 2
Abb. 3.3-3:	Pegelverlauf (24h) Mik 1 und Mik 2
Abb. 3.4-1:	Hindernismwirkung (Monat)
Abb. 3.4-2:	Hindernismwirkung (Stunde)
Abb. 3.6-1:	Wirkung / Temperaturverlauf
Abb. 3.6-2:	Pegel / Temperaturverlauf
Abb. 3.6-3:	Wirkung / Temperaturdifferenz
Abb. 3.6-4:	Wirkungsabfall warme / kalte Nächte
Abb. 3.9-1:	Windrichtung
Abb. 3.9-2:	Windrichtungen / Wirkung
Abb. 3.9-3:	Windrichtung im Tagesverlauf
Abb. 4.2-1:	Umströmung Lärmschutzwand

Abkürzungen

ASTRA	Bundesamt für Strassen
dBA	Dezibel (A-bewerteter Schallpegel)
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr im Jahresmittel
EMPA	Materials Science and Technology (vormals Eidgenössische Material und Prüfungsanstalt)
Fz.	Fahrzeuge
LSV	Lärmschutz-Verordnung
Leq	Mittelungspegel
LSW	Lärmschutzwand
Mik	Mikrofon
N2	Schwerverkehrsanteil
SLIP	Strassen-Lärm-Immissions-Programm
StL 86+	Strassenlärmmodell

Zusammenfassung

Die lärmtechnische Sanierung infolge des Strassenverkehrs soll bis zum Jahre 2015 (Nationalstrassen) bzw. 2018 (übrige Strassen) abgeschlossen sein. Im Zusammenhang mit der Ermittlung der Lärm-situation und Dimensionierung von Massnahmen stellt sich die Frage der massgebenden Zeitperiode, das heisst ist die Situation tags oder diejenige nachts massgebend. Bei den lärmrelevanten Verkehrsach-sen ist mehrheitlich die Nachtperiode die massgebende Beurteilungsphase.

Der projektierende Ingenieur ermittelt im Normalfall die Lärmsituation mittels Berechnungsmodell, verifi-ziert die örtlichen Ausbreitungsbedingungen allenfalls durch eine Messung vor Ort, während der Tagperi-ode. Dies bedeutet, dass prinzipiell von einer modellhaften Schallausbreitung nachts ausgegangen wird.

Unsere Erfahrungen zeigen jedoch, dass insbesondere nachts bei messtechnischen Ermittlungen in Ab-hängigkeit von Lage und Exposition, zum Teil erhebliche Abweichungen zur Berechnung auftreten.

Die vorliegende Forschungsarbeit geht diesem Sachverhalt auf den Grund und prüft, inwieweit auch die Wirkung von Schallschirmen in Abhängigkeit der Meteorologie Schwankungen unterworfen ist.

Die Untersuchungen, welche kontinuierliche Messungen über 1 Jahr beinhalten, haben überraschende Ergebnisse gezeigt und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der messtechnisch ermittelte, normalisierte, jahresdurchschnittliche Pegel während der Nachtperiode ist um 2 - 3 dB höher als dies der Modellwert erwarten lässt.
- Nachts ist tendenziell ein leichter Wirkungsabfall der Lärmschutzwand festzustellen.
- Im Temperaturbereich von +2° bis +12° ist ein markanter Wirkungsabfall von ca. 2 dB feststellbar.
- Die Windrichtung hat einen erheblichen Einfluss auf die Wirkung der Wand und kann auch im Nahbe-reich durchschnittlich 2 dBA betragen.

Während der Nachtperiode kumulieren sich verschiedene Faktoren ungünstig und führen - voraussicht-lich in Abhängigkeit von Lage und Exposition - zu massgeblichen Abweichungen zum erwarteten Wert, das heisst zur Situation gemäss Berechnungsmodell. Für den Betroffenen bedeutet dies, dass es lauter ist als gemeinhin angenommen wird und evtl. Grenzwerte nicht eingehalten werden.

Fazit:

Für Lärmbeurteilungen in Lagen mit Inversionen (z.B. mit Möglichkeit von Kaltluftseen) und ungünstig vorherrschender Windexposition, ist voraussichtlich mit einer signifikanten Abweichung, das heisst einer 2 - 3 dB lauterem Lärmbelastung gegenüber der modellhaften Berechnung zu rechnen.

Weiteres Vorgehen:

Für den ermittelten Standort sind die durchgeführte Messreihe und die resultierenden Ergebnisse aussa-gekräftig und zuverlässig. Die Frage stellt sich nach der Übertragbarkeit der meteorologischen Bedingun-gen auf andere Standorte. Um eine Abgrenzung vornehmen zu können und auch Aussagen auf die Aus-wirkungen und Dimensionierung des erforderlichen Schallschutzes vornehmen zu können, sind Messun-gen und Vergleiche an mindestens 2 weiteren Standorten erforderlich.

Die Weiterführung der Untersuchungen wird dringend empfohlen, um einen effizienten Schallschutz vor-sehen zu können und ein möglichst realitätsnahes Abbild der effektiven Verhältnisse erhalten zu können.

Summary

The acoustic refurbishments as a result of road traffic are due to be complete by 2015 (on the “national” roads) and by 2018 (on other roads). The question of the authoritative time period arises in connection with the definition of the noise situation and setting the scope of the measures to be taken, i.e. is the day-time or night-time situation to be taken as definitive? For noise purposes on the main traffic arteries, night time is taken as the definitive period during which assessments are carried out by the majority of people.

The engineer in charge of the project usually determines the noise situation using computer models and verifies the local dispersion conditions, ideally by site measurements during the day. This means in principle that an assumption is made that noise disseminates at night as in the model.

However, our experiments demonstrate that, especially when measured at night, some significant variations from the calculations can occur, depending on the location and exposure.

This research work examines these facts thoroughly and investigates the extent to which the effect of noise barriers is also subject to variations resulting from meteorological conditions.

The investigations, which involve continuous measurements over one year, produce surprising results and can be summarised as follows:

- The adjusted average annual noise level established by measurements during the night is 2 - 3 dB higher than expected from the model.
- A tendency for noise barriers to be slightly less effective at night was established.
- A significant reduction in efficiency of about 2 dB can be observed at temperatures of +2° to +12°.
- The wind direction has a significant influence on the effectiveness of the barrier; the difference can even average 2 dBA near the barrier.

A number of factors combine to act detrimentally during the night and lead – probably in conjunction with location and exposure – to significant variations from the value expected i.e. compared to the value derived from the computer model. For the person affected this means that there is more noise than was generally accepted previously and that maximum values are possibly not observed.

Conclusion:

In the case of noise assessments in areas with temperature inversions (i.e. with the possibility of layers of cold air) and predominantly unfavourable wind exposure, a significant variation of 2 – 3 dB above the noise levels calculated by the model should be anticipated.

Further action:

The series of measurements and the results they provide for the location measured are significant and reliable. The question now arises as to the transferability of the meteorological conditions to other locations. In order to be able to define this and to be able to make statements on the effect and extent of the necessary noise protection, measurements and comparisons need to be made at a minimum of two further locations.

We strongly recommend that these investigations are continued so that (a) efficient noise protection can be provided and (b) a picture of the actual conditions which comes as close as possible to reality can also be acquired.

Résumé

Il est prévu que la rénovation des installations de protection sonore effectuée en raison de la circulation routière soit achevée d'ici 2015 (routes nationales) et 2018 (autres routes). Au niveau de la détermination de la situation sonore et du dimensionnement des mesures se pose la question de la période déterminante, à savoir est-ce la situation de jour ou celle de nuit qu'il faut prendre en compte. Pour les grandes artères où les nuisances sonores sont importantes, c'est la nuit qui majoritairement représente la période déterminante pour l'évaluation.

L'ingénieur chargé des projets détermine normalement la situation sonore à l'aide d'un modèle de calcul et vérifie les conditions de propagation sur le site en effectuant éventuellement des mesures sur place de jour. Cela signifie que l'on se base en principe sur un modèle de propagation du bruit de nuit.

Néanmoins, notre expérience nous a montré que c'est notamment la nuit, lorsque l'on détermine le bruit avec des appareils de mesure en fonction de l'emplacement et de l'exposition, que l'on enregistre des écarts dont certains sont considérables.

Lors des travaux de recherche actuels, on analyse cet état de fait en profondeur et contrôle quel effet les variations météorologiques ont sur les écrans sonores.

Les examens, lors desquels des mesures sont réalisées en permanence durant plus d'1 an, ont livré des résultats surprenants dont voici le résumé:

- Le niveau sonore annuel moyen normalisé, déterminé par des appareils de mesure de nuit est 2 à 3 dB plus élevé que celui auquel on pourrait s'attendre avec la valeur de référence.
- La nuit, on constate une légère baisse d'efficacité du mur de protection.
- Lors de températures comprises entre +2° et +12°, on remarque une baisse d'efficacité marquante d'environ 2 dB.
- La direction du vent a une influence considérable sur l'efficacité du mur et le bruit peut également s'élever en moyenne à 2 dBA dans un rayon proche.

La nuit, de nombreux facteurs se cumulent de manière défavorable et entraînent – probablement en fonction de l'emplacement et de l'exposition – des écarts considérables par rapport à la valeur escomptée, c'est-à-dire par rapport à la situation selon le modèle de calcul. Pour les personnes concernées, cela signifie que le bruit est plus fort que l'on suppose d'ordinaire et qu'il est possible que les valeurs limites ne soient pas respectées.

Conclusion:

Lorsque l'on évalue le bruit en des lieux soumis à des inversions de températures (p.ex. avec possibilité d'air froid humide) et une exposition au vent principalement défavorable, il faut s'attendre à un écart significatif, à savoir une charge sonore de 2 à 3 dB plus élevée par rapport aux calculs basés sur les valeurs modèles.

Processus à suivre:

La série de mesures effectuée et les résultats fournis sont probants et fiables pour le site étudié. La question qui se pose est la transférabilité des conditions météorologiques aux autres sites. Afin de pouvoir procéder à une délimitation mais également de déterminer les répercussions et le dimensionnement de la protection sonore nécessaire, il est indispensable d'effectuer des mesures et des comparaisons sur au moins deux autres sites.

Nous recommandons vivement la poursuite des examens dans le but de pouvoir prévoir une protection sonore efficace et d'avoir un reflet des rapports effectifs le plus proche de la réalité.

1 Einleitung

1.1 Auftrag

Die Wirkung von Lärmschirmen (Lärmschutzwände, Lärmschutzdämme etc.) ist unter anderem von der Windsituation und der Temperatureinwirkung abhängig. Zur Bedeutung dieser meteorologischen Einflüsse sind heute nur wenige Erkenntnisse vorhanden. Das Forschungsprojekt soll anhand einer Langzeitmessung Aufschlüsse darüber bringen.

Mit Vertrag vom 18.12.2002 beauftragte das Bundesamt für Strassen (ASTRA) die B+S Ingenieur AG und die EMPA, Abteilung Akustik, mit der Untersuchung der Wirkung von Schallschirmen bei Inversionslagen und Wind.

1.2 Bearbeitungsteam

Das Bearbeitungsteam zum vorliegenden Forschungsauftrag setzte sich aus Fachleuten der B+S Ingenieur AG und der EMPA zusammen:

Projektleitung:	René Bayer B+S Ingenieur AG
Wissenschaftliche Begleitung:	Dr. Kurt Heutschi, EMPA
Sachbearbeiter / Messstelle:	Bernhard Kindler / Samuel Heger B+S Ingenieur AG

1.3 Ausgangslage

Die Schallausbreitung wird von der Windsituation und der Luftschichtung (Inversionslagen) beeinflusst. Unsere Erkenntnisse aus über 25 Jahren Akustik und Messtechnik sowie zahlreichen Gesprächen mit den Vollzugsbehörden verschiedener Kantone zeigen, dass bezogen auf die topografischen und meteorologischen Verhältnisse in der Schweiz und die diesbezüglichen akustischen Wirkungen auf Schallschutzmassnahmen im Ausbreitungsbereich, relativ wenig fundierte Kenntnisse vorhanden sind und ein Handlungsbedarf dringend gegeben ist.

Folgende aktuelle Fragen stehen im Vordergrund:

- Ist die Schutzwirkung von Schallhindernissen wie zum Beispiel von Schallschutzwänden, bei Inversionslagen bzw. Mitwind identisch mit den „normgerechten“, theoretischen Ausbreitungs- und Schutzwirkungsbedingungen?
- Würden Abweichungen zum „Normfall“ festgestellt, wären diese massgebend resp. im Jahresdurchschnitt relevant?
- Könnten bei Abweichungen zum „Normfall“ Modellansätze entwickelt werden, welche diese Zustände abbilden?
- Für welche meteorologisch bedingten Regionen in der Schweiz wäre dieser „akustische Sonderfall“ zu prüfen und einzubeziehen?
- Stimmt die bekannte Feststellung, dass nachts z.T. grössere Abweichungen zum Normfall vorhanden sind als tags?



Als Fazit stellt sich letztendlich die Frage, inwieweit der auf Modellen beruhende Dimensionierungsansatz für die Erstellung von Schallhindernissen auch den effektiven Gegebenheiten entspricht, d.h. sind die erstellten Schutzwände /-wälle ausreichend dimensioniert oder haben Einwirkung durch Wind und Inversionslagen nicht nachhaltig Einfluss.

Mangels heute vorhandener Grundlagen können keine Aussagen oder Auswertungen zu oben genanntem Fragenkatalog vorgenommen werden. Die Zielsetzungen formulieren sich dementsprechend wie folgt:

- Messtechnische Erfassung der erforderlichen Daten über einen Zeitraum von 1 Jahr.
- Aussagen in Bezug auf Auftreten, Häufigkeit und akustische Auswirkungen von Inversionslagen bzw. Mitwindsituationen.

2 Messkonzept

2.1 Vorgehen

Folgendes Vorgehen wurde gewählt:

- ① Messperiode: Um Aussagen über die Relevanz allfällig ermittelter Abweichungen machen zu können, wurde eine Messperiode von 12 Monaten gewählt.
- ② Definition Messstelle: Standort im Bereich von bodennahen Inversionslagen (Tallage).
- ③ Messanordnung: Normgerechte Installation einer Messstelle, welche permanent die Pegelermittlung ohne Hindernisdämpfung und mit Hindernisdämpfung erlaubt. Gleichzeitige Erfassung der meteorologischen Bedingungen.
- ④ Verkehrserhebung: Auswertung der Verkehrsdaten (Grundlagen der permanenten Verkehrserhebung des Bundes) in Bezug auf den theoretischen Lärmquellenwert und erfasster Immissionspegel.

2.2 Messstandort

Der Messstandort musste verschiedene Randbedingungen erfüllen:

- Möglichst neutrale Umgebung ohne wesentliche Reflexionseinflüsse und Störgeräusche
- Längeres bestehendes Schallhindernis.

Idealerweise sollte der Messstandort zudem mit Strom versorgt sein und die Aufnahmegeräte vor der Witterung geschützt, betrieben werden können.

Als geeignet stellte sich schliesslich der Standort bei der Fa. Fuhrer Gartenbau AG in Oberwischtrach heraus. Der Standort liegt an der Nationalstrasse A6 Abschnitt Rubigen – Kiesen.

Mit vereinzelt Umgebungsgeräuschen ist morgens um ca. 07.00 Uhr und abends um ca. 17.00 Uhr zu rechnen.

Die automatische Verkehrszählung fand bei der kantonalen Messstelle Nr. 9989 in Münsingen statt (gleicher Autobahnabschnitt).

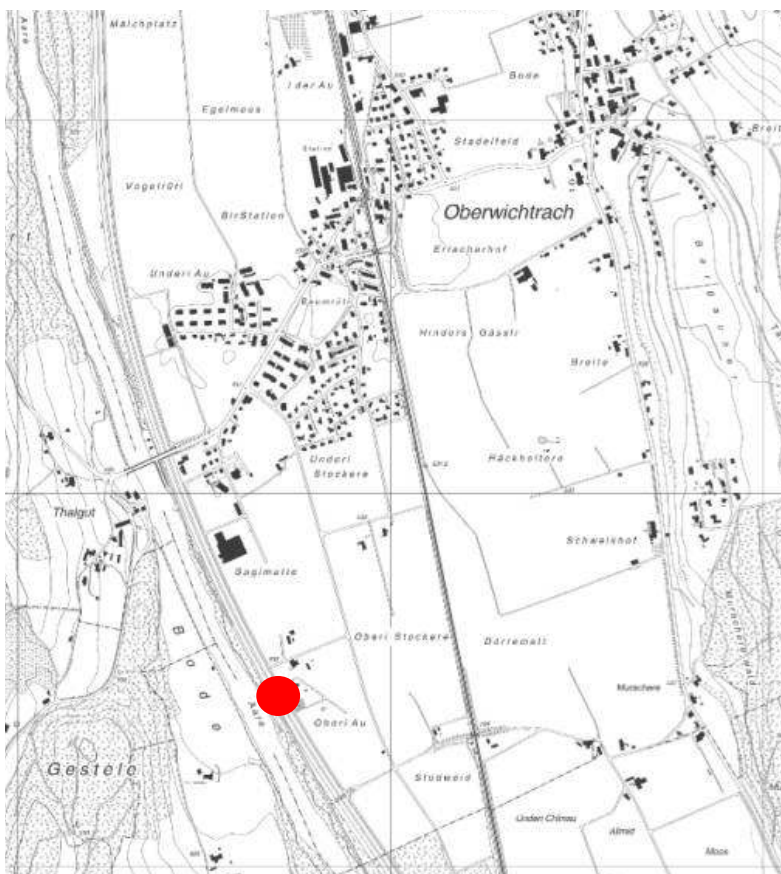


Abb. 2.2-1: Kartenausschnitt mit Messstandort

2.3 Messanordnung

Es wurden 2 Mikrofone installiert, welche eine permanente Pegelaufzeichnung mit und ohne Hindernisdämpfung erlaubten. Mikrofon 1 wurde im Nahbereich der Autobahn, direkt auf der Lärmschutzwand 4.75 m über Terrain (resp. 1.5m über OK LSW¹) montiert.

Mikrofon 2 wurde 24m hinter der Lärmschutzwand auf 6.25m über Terrain montiert. Das Mikrofon liegt dabei knapp im Schallschatten der entferntesten Fahrspur.

Die Wetterstation wurde ebenfalls auf der Lärmschutzwand montiert.

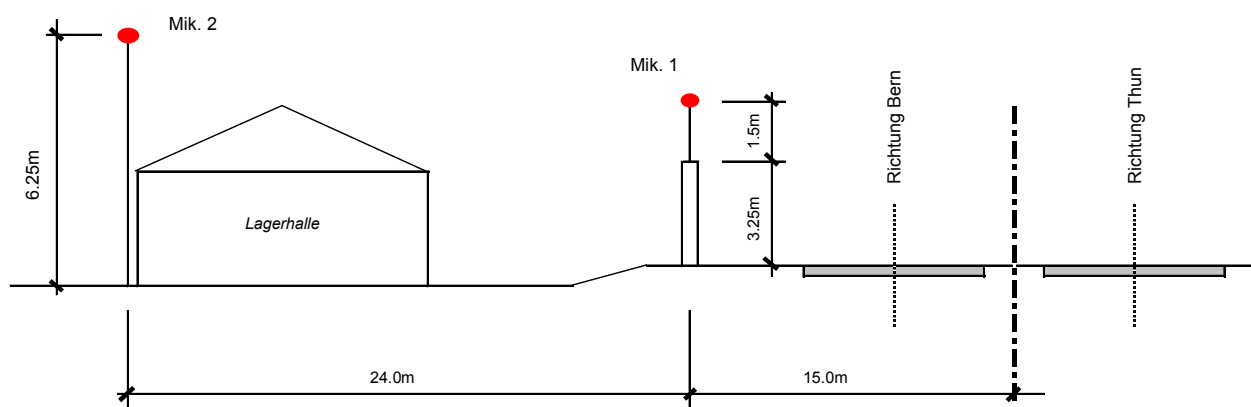


Abb. 2.3-1: Messanordnung



Abb. 2.3-2: Mikrofon 1 mit Wetterstation



Abb. 2.3-3: Standort Mik. 1 und Mik. 2

¹ Norm ISO 10847 Acoustics - In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types, 1997

2.4 Messvorgang

Gemessen und aufgezeichnet wurden der Mittelungspegel sämtlicher Fahrzeuge, diverse Wetterdaten sowie die Verkehrsmengen.

Akustik: - Mittelungspegel Leq (A); Zeitkonstante FAST
 - Frequenzanalyse 50 – 5'000 Hz

Wetterdaten²: - Temperatur
 - Luftdruck
 - Luftfeuchtigkeit
 - Regenmenge
 - Windrichtung / Windstärke

Verkehr: - Anzahl Fz/h (getrennt nach Fahrspuren)

Der Schwerverkehrsanteil wurde der Bundesmessstelle Nr. 208 (Heimberg) entnommen. Erfahrungsgemäss entspricht dieser in etwa dem Schwerverkehrsanteil auf dem Abschnitt Rubigen - Kiesen.

Zusätzlich zu den elektronischen Ermittlungen wurde ein Meteojournal geführt, in welchem das Wetter täglich stichwortartig festgehalten wurde.

2.5 Messgeräte

Die Messungen wurden mit folgendem Messinstrumentarium durchgeführt:

- Norsonic Monitoring System, Typ 121
- Reinhardt Wetter Station, Typ MWS9

Sämtliche Geräte sind amtlich geprüft. Die akustischen Instrumente wurden vor der Messung, während der Messung (2x) sowie nach der Messkampagne kalibriert.

2.6 Messperiode

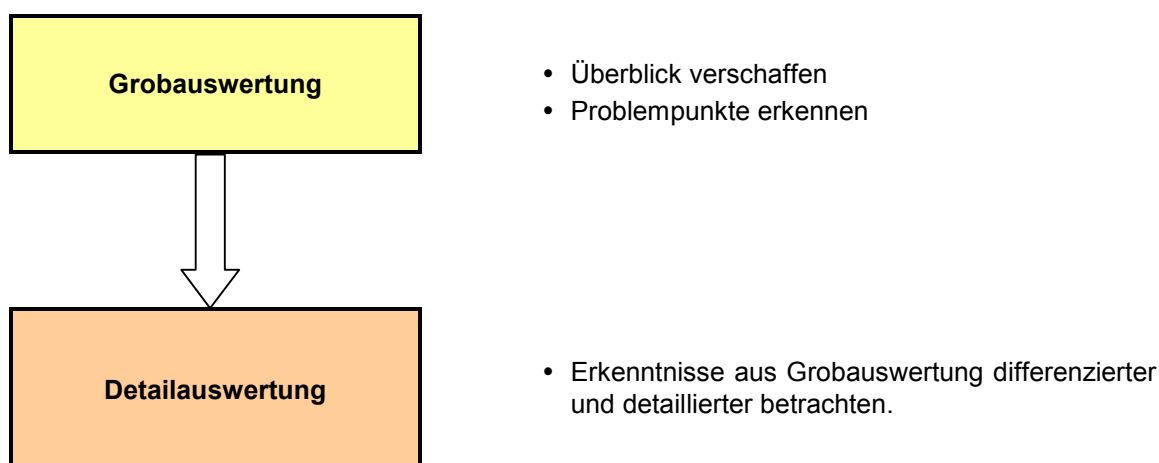
Gemessen wurde über ein Jahr in der Periode April 2003 bis März 2004. Der Sommer 2003 zeichnete sich als sehr heisser, trockener Sommer („Jahrhundertsommer“) mit wenig Niederschlägen aus.

² Die Wetterdaten wurden im 30 sec. Takt registriert und anschliessend als Mittelwert über eine Stunde in den Auswertungen berücksichtigt.

3 Messresultate

3.1 Vorgehen Auswertung

Um eine effiziente Auswertung zu gewährleisten, wurde ein phasenweises Vorgehen nach dem Motto „Vom Groben ins Detail“ gewählt.



3.2 Auswertung der Messung

Um die erhobenen Pegel miteinander vergleichen zu können, wurden die Messwerte „normalisiert“, d.h. die Messwerte wurden auf einen einheitlichen jahresdurchschnittlichen Verkehr umgerechnet.

Der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) beträgt ca. 40'000 Fz./Tag. Den Berechnungen wurde ein Normalisierungsverkehr von 1'900 Fz./h sowie ein Schwerverkehrsanteil N2 von 7% zugrunde gelegt. Dies als Mittelwert sowohl für die Tag- als auch die Nachtperiode. Dies bedeutet, dass die normalisierten Pegel tags und nachts den gleichen Wert ergeben sollten.

Bei der Normalisierung nicht berücksichtigt wurde die Spurbelegung, sowie die effektiv gefahrene Geschwindigkeit.

Sämtliche (theoretischen) Berechnungen wurden mit dem Computermodell SLIP 05 erstellt und beruhen auf dem Strassenlärmmodell StL 86+.

3.3 Auswertung Pegelverlauf Gesamtperiode

3.3.1 Randbedingungen

Ausgewertet wurde die Periode vom April 2003 bis März 2004. Sämtliche Daten wurden verwendet, d.h. nicht normkonforme Messbedingungen (Regen, Schnee, Wind etc.) wurden nicht eliminiert.

Aufgrund der Fragestellung wurden schwergewichtig folgende Aspekte untersucht:

- Sind bei normalisierten Pegel, Schwankungen im 24h Verlauf festzustellen?
- Wie verhält sich die Hinderniswirkung im 24h Verlauf?

3.3.2 Pegelverlauf Monat

Eine erste Auswertung zeigt den normalisierten Pegelverlauf als Durchschnittswert pro Monat, getrennt für die Tagperiode (06.00 – 22.00 Uhr) und die Nachtperiode (22.00 - 06.00 Uhr), dargestellt für die beiden Mikrofone.

Mikrofon 1 (Nahbereich Autobahn)

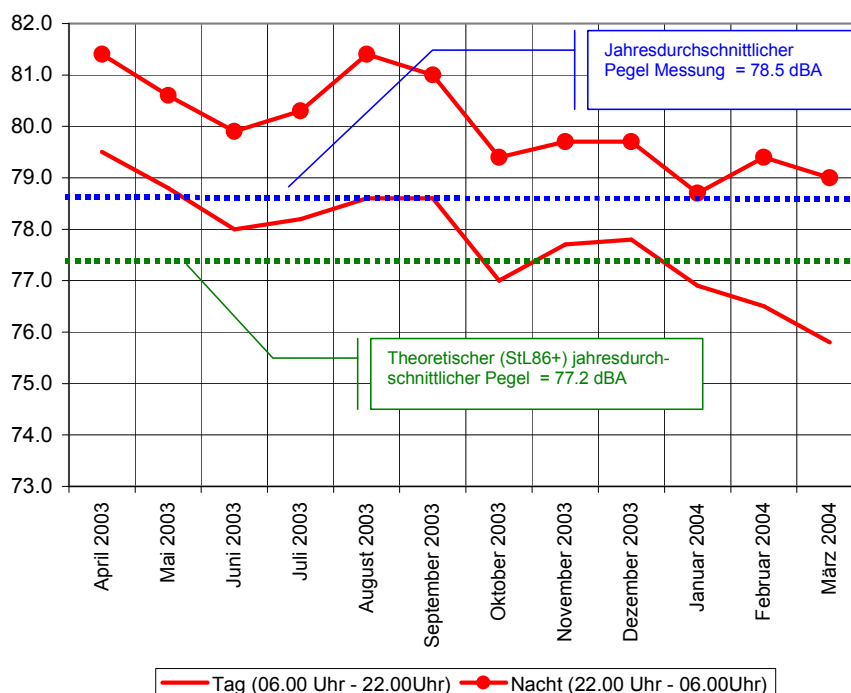


Abb. 3.3-1: Pegelverlauf (Monat) Mik 1

Anmerkung Berechnungen:

Der Berechnung des theoretischen jahresdurchschnittlichen Pegels, wurde die durchschnittliche Spurbelegung der Tagperiode gemäss Kap. 3.8.1 zugrunde gelegt, d.h. 60% der Fahrzeuge auf den beiden Normalspuren sowie 40% der Fahrzeuge auf den jeweiligen Überholspuren.

Mikrofon 2 (mit Hinderniswirkung)

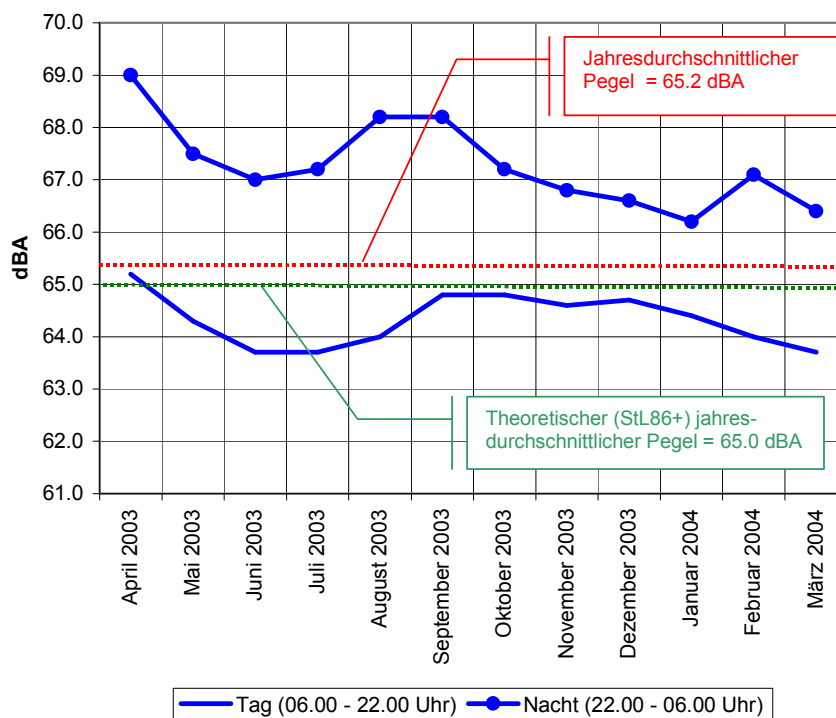


Abb. 3.3-2: Pegelverlauf (Monat) Mik 2

Kommentar

Aufgrund der Normalisierung sollten für die Tag- und Nachtsituation theoretisch die Pegel gleich hoch, d.h. identisch und der Verlauf der beiden Kurven eine Gerade darstellen also deckungsgleich sein.

Erstaunlich ist die Differenz von 2 – 3 dBA von der Tag- zu der Nachtperiode bei Mikrofon 1 (Nahfeld) trotz identischem Normalisierungsverkehr. Bei Mikrofon 2 beträgt die Differenz sogar 2 - 4 dBA. Das heisst, die Nachtperiode ist bei gleichem Verkehr wie während der Tagperiode um 2 - 4 dBA lauter.

Markant sind auch die Schwankungen über das Jahr. Diese betragen bei Mikrofon 1 im Maximum 4 dBA, bei Mikrofon 2 im Maximum 3 dBA.



Dies bedeutet im vorliegenden Fall, dass messtechnische Ermittlungen, die beispielsweise tags vorgenommen und auf die Nachtperiode umgerechnet werden – wie das in der Praxis häufig der Fall ist – eine Differenz bzw. eine Unterschätzung der Lärmbelastung von 2 – 4 dBA zur Folge hätte.

3.3.3 Pegel 24h-Verlauf

Pegel normalisiert

Die nachfolgende Auswertung zeigt den normalisierten Pegelverlauf über 24h im Jahresmittel. Berücksichtigt wurden sämtliche Stundenwerte über ein Jahr.

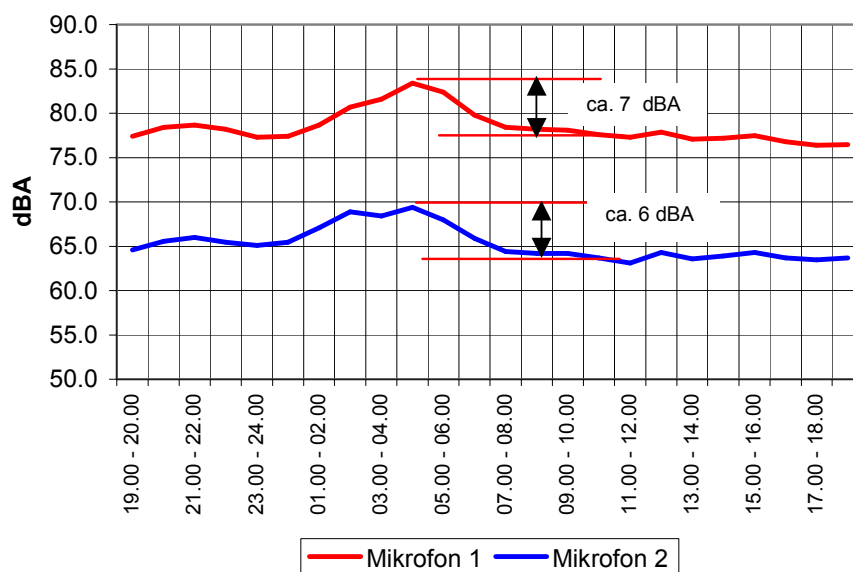


Abb. 3.3-3: Pegelverlauf (24h) Mik 2 und Mik 2

Kommentar

Wie auch schon bei der monatsweisen Auswertung festgestellt wurde, ist bei der Stundenaufösung im Jahresdurchschnitt der normalisierte Pegel in der Nachtstunden unerwartet höher als in den Tagesstunden, das heisst die gleiche Verkehrsmenge erzeugt in der Nacht um bis zu 5 dBA höhere Immissionen als am Tag (als Durchschnittswert über das ganze Jahr betrachtet). Insbesondere in den frühen Morgenstunden (03.00 – 06.00 Uhr) ist dies markant festzustellen, sowohl in unmittelbarem Nahbereich bei Mik. 1, wie auch im Schallschatten bei Mik. 2.

Der Kurvenverlauf der beiden Mikrofone zeigt auch, dass die Wirkung³ der Lärmschutzwand praktisch konstant ist.



Dies bedeutet, dass ein Schallschutz, welcher basierend auf der Lärmsituation dimensioniert wird, für die Nachtperiode voraussichtlich ungenügend ist.

³ Einfachheitshalber wird im folgenden die Pegeldifferenz zwischen Mikrofon 1 und 2 als Wirkung der Wand in Bezug auf Mikrofon 2 bezeichnet.
Vernachlässigt wird dabei die Abstandsdämpfung von ca. 5 dBA. D.h die effektive Wirkung der Wand in Bezug auf Mikrofonposition 2 ist um 5 dBA tiefer.

3.4 Pegeldifferenzen bzw. Wirkung der Schallschutzwand

3.4.1 Pegeldifferenzen Monat

Für den Wirkungsverlauf der Wand darzustellen wurden die Pegeldifferenz der beiden Mikrofone aufgezeigt.

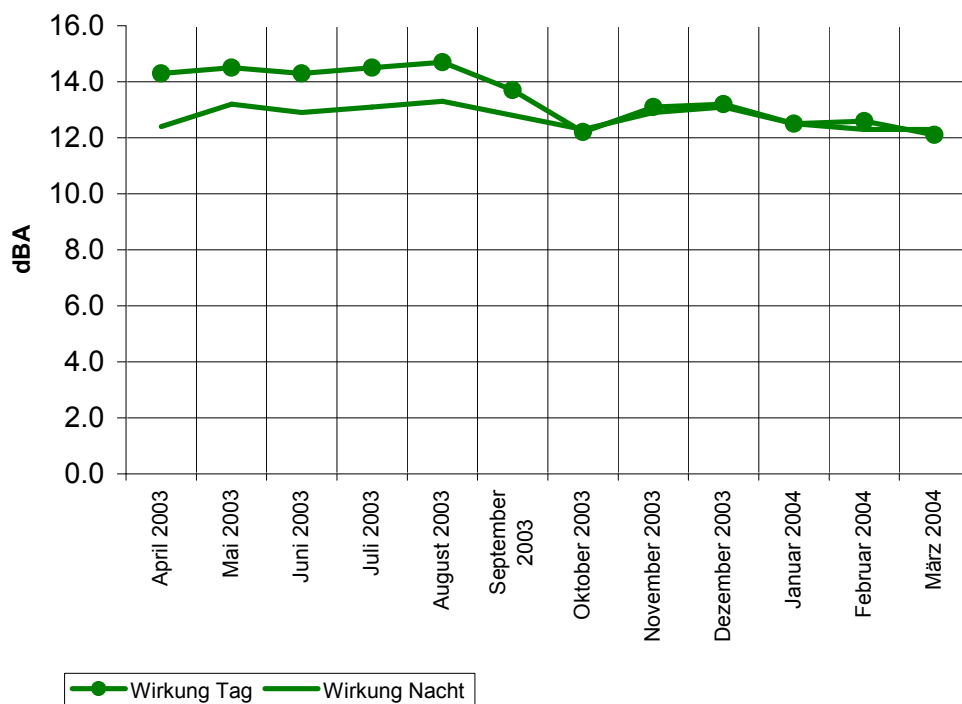


Abb. 3.4-1: Hinderniswirkung (Monat)

Kommentar

Die Auswertung zeigt, dass die Wirkung in der Nacht in den wärmeren Jahreszeiten tendenziell etwas tiefer liegt als am Tag (knapp 1 dBA). In der Betrachtung über das ganze Jahr ist jedoch keine eindeutige Tendenz feststellbar.

3.4.2 Wirkung der Schallschutzwand im Tagesverlauf

Die nachfolgende Auswertung zeigt den Wirkungsverlauf der LSW über 24h im Jahresmittel. Berücksichtigt wurden sämtliche Stundenwerte über ein Jahr.

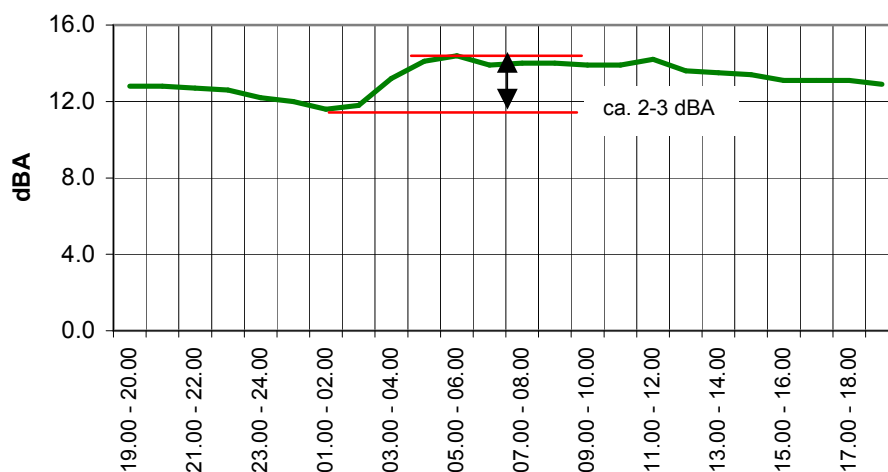


Abb. 3.4-2 Hinderniswirkung (Stunde)

Kommentar

Bei der stundenweisen Betrachtung wird erkannt, dass die Schallschutzwand, insbesondere während der Vormittagsstunden, eine um ca. 2-3 dBA höhere Wirkung aufweist als in den frühen Morgenstunden.



Das bedeutet, dass die effektive Wirkung in der Nacht um bis zu 2 dBA geringer sein kann als die ausgewiesene (Tag-) Wirkung, was evtl. zu unerwarteten Grenzwertüberschreitungen führen könnte.

3.5 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen

Basierend auf den durchgeführten Messungen resultieren folgende wesentlichen Erkenntnisse:

Pegelverlauf:

- Der normalisierte Pegel ist im Jahresmittel für die Nachtperiode durchschnittlich um ca. 2 - 3 dBA höher als die Tagesperiode.
- Die normalisierten Pegel schwanken im Jahresmittel innerhalb der Tagesperiode um bis zu 4 dBA, in der Nachtperiode um bis zu 3 dBA.
- Die normalisierten Pegel schwanken im Jahresmittel, bei der stundenweisen Betrachtung, um bis zu 7 dBA.

Wirkung:

- Nachts ist tendenziell ein Wirkungsabfall der Lärmschutzwand festzustellen.

Mögliche Erklärungen

In der Nacht herrschen im Aaretal häufig Inversionslagen⁴. Durch die Temperaturschichtungen können allenfalls Brechungseffekte entstehen, die einen Einfluss auf die Schallausbreitung haben.

Im weiteren könnte eine allenfalls differenzierte Spurbelegungen Tag/Nacht, einen Einfluss auf die ermittelten Lärmpegel haben.

Weiteres Vorgehen

Aufgrund der ersten Erkenntnisse aus der Grobauswertung wurden im weiteren speziell die Auswirkung der Temperatur auf den Pegelverlauf und die Schutzwirkung untersucht. Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

- Die Wirkung der Wand in Abhängigkeit des Temperaturverlaufs.
- Der Pegelverlauf in Abhängigkeit des Temperaturverlaufs.
- Die Wirkung in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz einer definierten Zeitperiode.

⁴ Als Inversion wird der Zustand der Atmosphäre bezeichnet, bei dem die Temperatur mit der Höhe zunimmt. Normalerweise nimmt die Temperatur mit zunehmender Höhe ab. Ein Prozess der zu einer solchen Inversionslage führen kann, ist die nächtliche Abstrahlung des Erdboden wodurch sich die unmittelbar darüber liegenden Luftschichten stärker auskühlen als die weiter oben liegenden.

3.6 Detailauswertungen

3.6.1 Randbedingungen

Für die nachfolgenden Detailauswertungen wurden neu nur normgerechte Verhältnisse berücksichtigt, d.h. nicht normgerechte Bedingungen⁵ wurden eliminiert.

3.6.2 Wirkung / Temperaturverlauf

Die nachfolgende Graphik zeigt den Wirkungsverlauf der Wand in Abhängigkeit zur Temperatur.

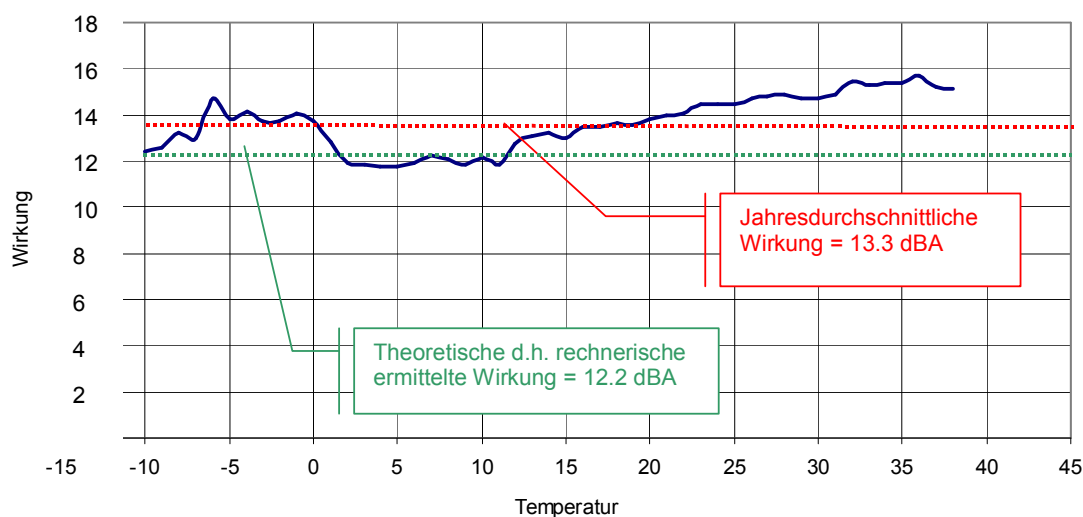


Abb. 3.6-1: Wirkung / Temperaturverlauf

Kommentar

Die Auswertung zeigt einen markanten Wirkungsabfall im Temperaturbereich von +2° C bis +12° C, sowie eine ansteigende Wirkung ab ca. 12° C.

Der Wirkungsabfall im Temperaturbereich von +2° C bis +12° C beträgt ca. 2 dBA. Die Pegelschwankungen über die gesamte Temperaturskala betrachtet betragen bis zu 4 dBA.

⁵ Normgerechte Bedingungen = trockene Fahrbahn, keine Regen- oder Schneeschauer, Wind < 1m/s.

3.6.3 Pegel / Temperaturverlauf

Die nachfolgende Graphik zeigt den Pegelverlauf von Mikrofon 1 in Abhängigkeit der Temperatur. Ausgewertet wurden sämtliche Stundenwerte bei normgerechten Verhältnissen über ein Jahr.

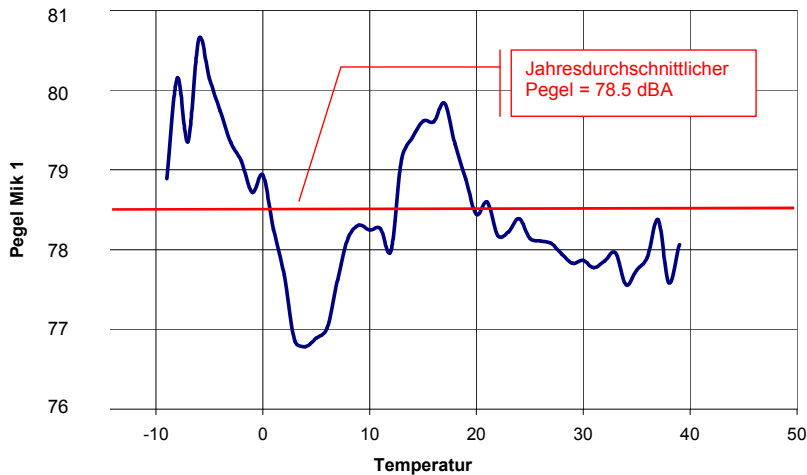


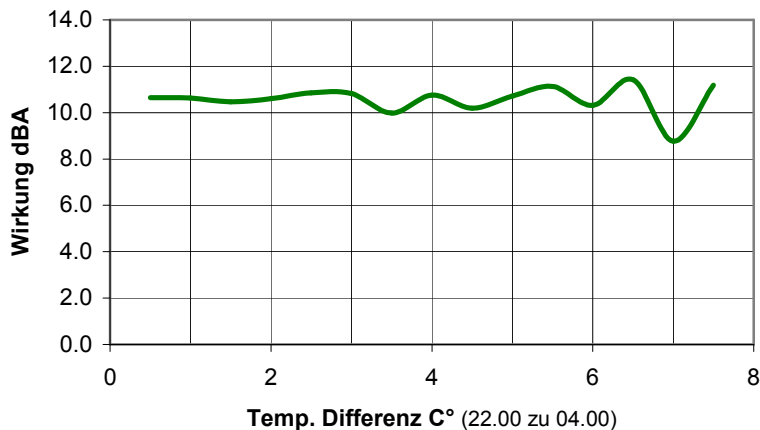
Abb. 3.6-2 Pegel / Temperaturverlauf

Kommentar

Der Pegelverlauf ist relativ schwankend und es ist keine eindeutige Tendenz feststellbar. Erwähnenswert ist, dass im Temperaturbereich von + 2° C bis +12° C ein deutlicher tieferer Pegel feststellbar ist. In diesem Temperaturbereich wurde bereits beim normalisiertem Pegelverlauf ein unterdurchschnittlich tiefer Pegel festgestellt (s. Kap. 3.6.2).

3.6.4 Wirkung/ Temperaturdifferenz

Die nachfolgende Auswertung zeigt, wie sich ein Temperaturabfall in der Nacht auf die Wirkung der Wand auswirkt. Eine grosse Temperaturdifferenz in der Nacht kann ein Indiz für Inversionslagen sein.



Anmerkung:

Je grösser die Temperatur-Differenz auf der x-Achse, desto grösser die Abkühlung in der Nacht.

Abb. 3.6-3: Wirkung versus Temperaturdifferenz

Kommentar

Aufgrund der Auswertungen kann festgestellt werden, dass kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Wandwirkung und der Abkühlung in der Nacht besteht. Es ist zumindest keine Tendenz feststellbar.

3.6.5 Wirkung kalte / warme Nacht

Ausgewertet wurden warme Nächte, d.h. Nächte mit einer durchschnittlichen Temperatur von +20° C bis +26° C sowie kalte Nächte mit einer durchschnittlichen Temperatur von +2° C bis +6° C.

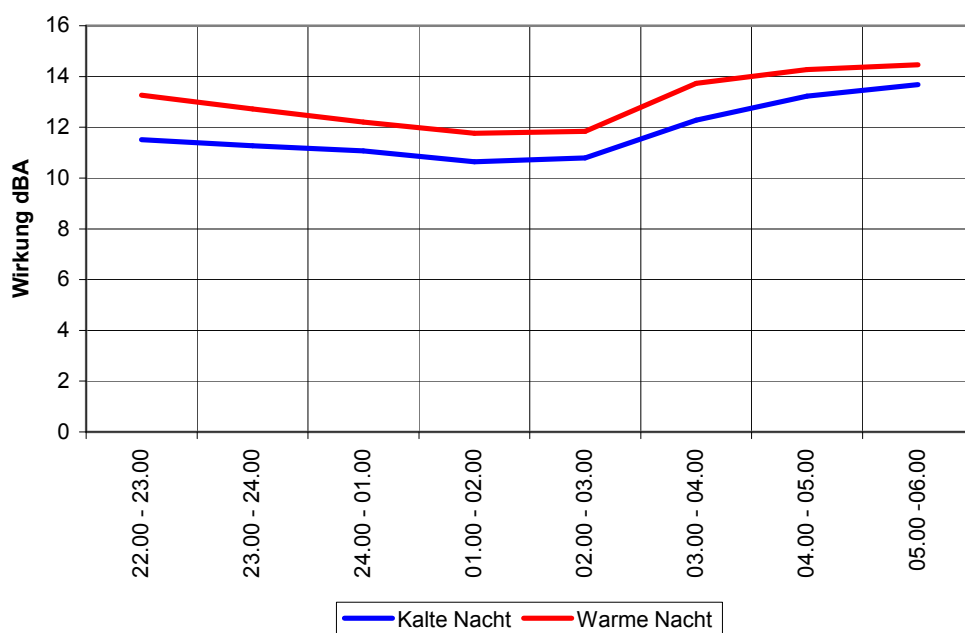


Abb. 3.6-4: Wirkungsabfall warme/kalte Nächte

Kommentar

Es konnten keine Differenzen festgestellt werden. Es fällt aber auf dass der Kurvenverlauf sehr ähnlich bis identisch ist, der Wirkungsabfall in der kalten Nacht, aber auf etwas tieferem Niveau (ca. -1dBA) stattfindet. Deutlich erkennbar bei beiden Fällen die deutlich geringere Wirkung in der zweiten Nachthälfte.

Grundsätzlich ist die Wirkung in den kalten Nächten um ca. 2 dB geringer als in warmen Nächten.

3.7 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen

Aus den Auswertungen aus Kap. 3.6 lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Im Bereich der Temperatur von +2° C bis +12° C ist ein Wirkungsabfall der Lärmschutzwand feststellbar.
- Der Pegelverlauf ist in Bezug zur Temperatur schwankend. Im Temperaturbereich von +2° C bis +12° C ist ein deutlich tieferer Pegel feststellbar.

Weiteres Vorgehen

Die vorangehenden Auswertungen haben deutlich gezeigt, dass der Pegelverlauf über eine betrachtete Periode erhebliche Schwankungen aufweist.

Erfahrungsgemäss hat der Wind erheblichen Einfluss auf den Pegelverlauf. Der Einfluss des Windes kann jedoch für die gewonnenen Erkenntnisse ausgeschlossen werden, da bei den Detailauswirkungen Windgeschwindigkeiten > 1m/s nicht berücksichtigt wurden.

In den vorangehenden Betrachtungen wurden zudem die Spurbelegung sowie die effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten nicht berücksichtigt. Auch diese Einflüsse könnten eine Ursache für die Pegel- und Wirkungsschwankungen sein.

Im weiteren wurden deshalb folgende Fragestellungen untersucht:

- Hat die Spurbelegung einen Einfluss auf den Pegelverlauf sowie die Hinderniswirkung und in welchem Ausmass, d.h. werden gewisse Spuren zu gewissen Tageszeiten deutlich stärker belegt und könnte dies einen Einfluss auf den ermittelten Pegel haben?
- Stehen die festgestellten Pegel- und Wirkungsschwankungen in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Wind?
- Hat die Windrichtung einen Einfluss auf die Hinderniswirkung und in welchem Ausmass?

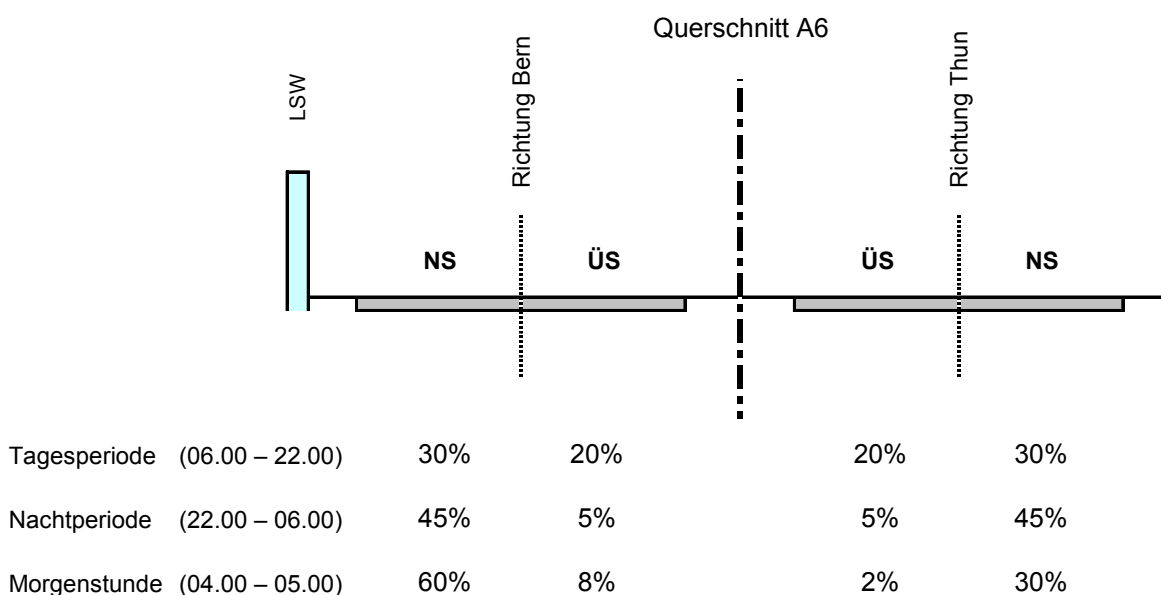
Anmerkung:

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit kann nicht überprüft werden inwieweit das Fahrverhalten in der Nacht infolge des geringeren Verkehrs anders ist als am Tag. Diesbezügliche Untersuchungen und Erfahrungen aus den letzten Jahren zeigten aber, dass dieser Effekt marginal ist.

3.8 Spurbelegung

3.8.1 Prozentuale Aufteilung Verkehr auf Fahrspuren

Die Auswertung erfolgte anhand der automatischen Messung in Münsingen bei welcher die Verkehrsmenge getrennt nach Fahrspuren ermittelt wurde.



3.8.2 Pegeldifferenzen

Nachfolgend wurden die Mittelungspegel Leq für die einzelnen Mik – Positionen basierend auf der effektiven Spurbelegung berechnet (SLIP / StL 86+).

Periode	Mik 1 (Leq)	Mik 2 (Leq) (mit Hinderniswirkung)	Wirkung (Leq) (Diff. Mik 1 / Mik 2)
Tagesperiode (06.00 – 22.00)	77.2 dBA	65.0 dBA	12.2 dBA
Nachtperiode (22.00 – 06.00)	77.7 dBA	65.4 dBA	12.3 dBA
Morgenstunde (04.00 – 05.00)	78.6 dBA	65.1 dBA	13.5 dBA
Max. Differenzen	+ 1.4 dBA	+ 0.4 dBA	+ 1.3 dBA

Erklärung

Der Vergleich zeigt, dass infolge der ungleichmässigen Spurbelegung, der Pegelverlauf sowie die Wirkung der Wand um bis max. 1.4 dBA variieren können.



Dies bedeutet, dass ein Schallschutz, welcher basierend auf einer gleichmässigen Verkehrsaufteilung projiziert wurde – wie das in der Praxis häufig der Fall ist – in gewissen Fällen (Nachtperiode) infolge schwankender Spurbelegung eine ungenügende Wirkung aufweisen kann.

3.9 Einfluss Windrichtung

Die Schallausbreitung in der realen Atmosphäre wird auch durch die Windrichtung und Windstärke beeinflusst. Insbesondere bei grossen Distanzen zwischen Quelle und Empfängerpunkt, kann dieser Einfluss erheblich sein.

Im folgenden wurde ausgewertet, welche Windverhältnisse über das Jahr herrschen und welchen Einfluss sie auf die Emissionspegel haben.

3.9.1 Windrichtung als Mittelwert über ein Jahr

Aus untenstehender Windrose ist die massgebende Nordwest-Wind-Lage deutlich sichtbar.

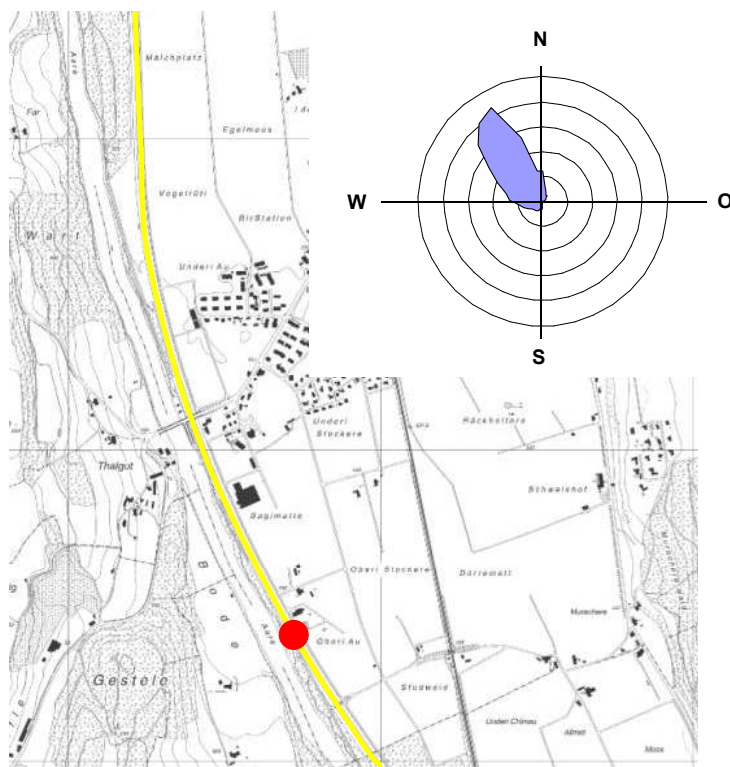


Abb. 3.9-1. Windrichtungen

3.9.2 Windrichtung im Tagesverlauf

Aufgrund der Erkenntnisse aus Kap. 3.5.5, welche in den frühen Morgenstunden eine um ca. 2-3 dBA tiefere Wirkung der Wand ausweisen, wird nun untersucht, ob dies in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der Windrichtung steht.

Die untenstehenden Graphik zeigt die Windrichtung im Jahresmittel über 24h.

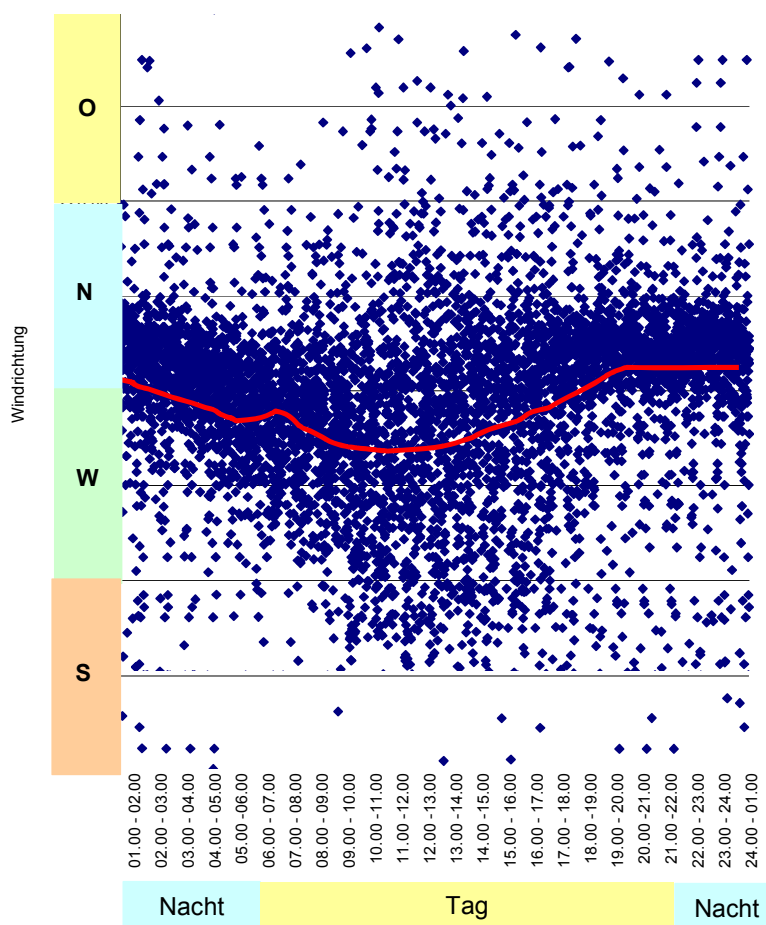


Abb. 3.9-3: Windrichtungen im Tagesverlauf

Kommentar

Tendenziell ist tagsüber eine Westwind-, in der Nacht eher eine Nordwestwind Situation vorherrschend. Die Hauptwindrichtung liegt parallel zur Lärmschutzwand. Einen direkten Zusammenhang mit dem Wirkungsabfall in der Nachtperiode (insbesondere zwischen 20.00 – 02.00 Uhr) gemäss Kap. 3.4.2, kann ausgeschlossen werden.

3.9.3 Wirkung versus Windrichtung

Die nachfolgende Graphik zeigt den Wirkungsverlauf der Wand in Abhängigkeit zur Windrichtung.

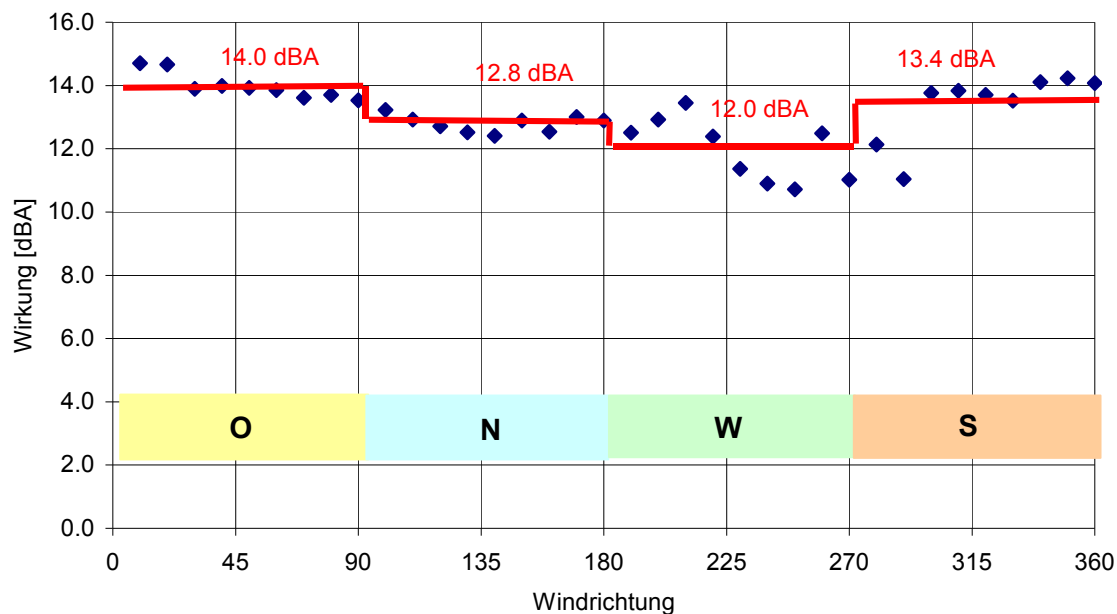


Abb. 3.9-2: Windrichtungen / Wirkung

Kommentar

Die Wirkungsdifferenzen bei parallel zur Wand verlaufenden Windrichtungen d.h. Nordwest- resp. Südostwind sind relativ gering.

Die Wirkungsdifferenz bei gegensätzlichen Windrichtungen senkrecht zur Wand können mit durchschnittlich 2 dBA als erheblich eingestuft werden. Im Maximum beträgt die Differenz sogar ca. 3dBA.



Beurteilungspunkte im Bereich von Schallschutzmassnahmen mit vorwiegender Windrichtung von der Quelle zum Empfangspunkt haben massgebliche Abweichungen zur Modellberechnung zur Folge.

3.10 Erkenntnisse

Basierend auf den durchgeführten Auswertungen aus Kap. 3.8 und Kap. 3.9 resultieren folgende wesentlichen Erkenntnisse:

Pegelverlauf:

- Die Spurbelegung hat (insbesondere im Nahfeld) einen wahrnehmbaren (ca. 1.4 dBA) Einfluss auf den Pegelverlauf.

Wirkung:

- Die Spurbelegung hat einen wahrnehmbaren (ca. 1.3 dBA) Einfluss auf die Wirkung der Wand.
- Die Windrichtung hat einen wahrnehmbaren Einfluss auf die Wirkung der Wand. Bei den Windrichtungen senkrecht zur Wand beträgt die Differenz im Jahresdurchschnitt ca. 2 dBA.

4 Folgerungen aus den Auswertungen

4.1 Erkenntnisse aus der Messung und Auswertungen

Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen und Auswertungen lassen sich für den vorliegenden Standort wie folgt zusammenfassen:

- Der normalisierte Pegel ist für die Nachtperiode durchschnittlich um ca. 2 - 3 dBA höher als die Tagesperiode⁶.
- Nachts ist tendenziell ein leichter Wirkungsabfall der Lärmschutzwand festzustellen.
- Im Temperaturbereich von +2° C bis +12° C ist sowohl ein markanter Wirkungsabfall der Wand feststellbar, als auch ein unterdurchschnittlich tiefer normalisierter Pegel.
- Die Spurbelegung hat einen geringfügigen Einfluss auf den Pegel und die Wirkung.
- Die Windsituation hat einen erheblichen Einfluss auf die Wirkung der Wand. Die Pegeldifferenzen betragen im Durchschnitt 2 dBA und können bis zu 3 dBA betragen.

Generell wurden für verschiedene meteorologische Einflüsse grosse Pegelschwankungen festgestellt. Bei den normalisierten Pegel traten Schwankungen im Jahresmittel von 2-3 dBA auf.

4.2 Fazit

Wurde bis heute angenommen, dass Wind und Temperatur vor allem bei grossen Distanzen zwischen Quelle und Empfänger Auswirkungen auf den Immissionspegel und die Hinderniswirkung haben, zeigt die vorliegende Forschungsarbeit, dass auch im unmittelbarem Nahbereich der Lärmquelle erhebliche Pegelschwankungen festzustellen sind.

Generell wurden für verschiedene meteorologische Einflüsse grosse Pegelschwankungen festgestellt. Bei den normalisierten Pegel traten Schwankungen im Jahresmittel von 2-3 dBA auf. Differenzen in einer solchen Grössenordnung sind gleichzustellen mit einer Verdoppelung resp. Halbierung des Verkehrsvolumens.

Diverse andere Auswertungen zeigten, dass die Pegelschwankungen innerhalb von kürzeren Zeitperioden durchaus noch grösser sein können, im Bereich von 3-6 dBA.

Die Messergebnisse deuten im weiteren darauf hin, dass der Wind einen stärkeren Einfluss auf die Hinderniswirkung eines Lärmschirmes ausübt als der Temperaturgradient. Dies widerspricht der allgemeinen Erfahrung, dass die Schallstrahlenkrümmung für typische Windgeschwindigkeiten bzw. Temperaturgradienten vergleichbare Werte annimmt.

Offenbar führt die Umströmung der Wand zu deutlich stärkeren Windgeschwindigkeitsgradienten, als sie auf offenem Feld auftreten. Die Abb. 4.2-1 zeigt die Ergebnisse einer numerischen Strömungssimulation mit einem mikroskaligen Windfeldmodell für eine Lärmschutzwand. Tatsächlich sind im Bereich der Wandkante sehr hohe Gradienten zu erkennen, die zu einer bedeutenden Krümmung der Ausbreitung führen.

⁶ Perioden gemäss Lärmschutzverordnung LSV, Anhang 3

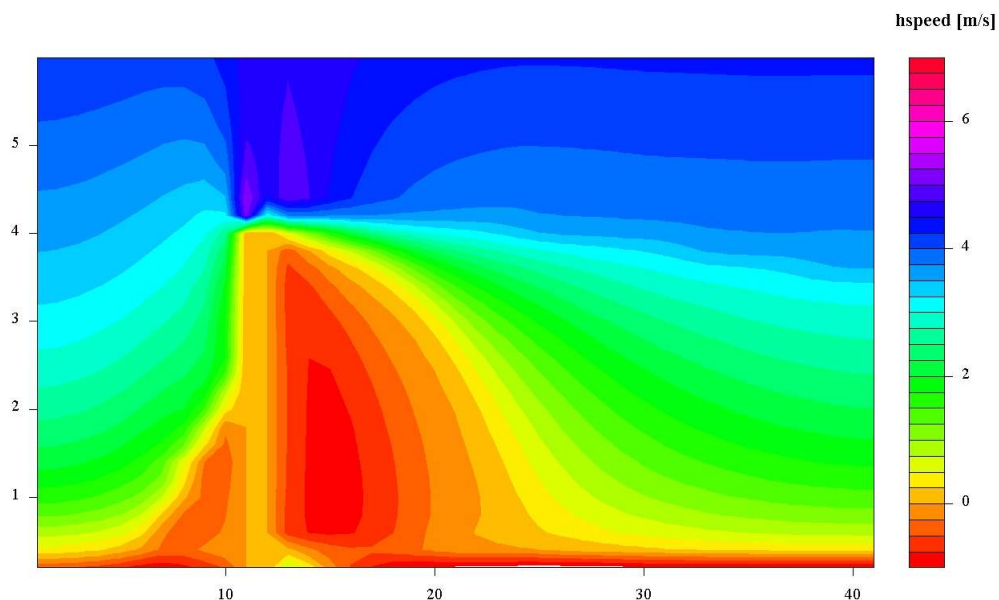


Abb. 4.2-1: Farblich codierte horizontale Windgeschwindigkeiten bei der Umströmung einer Lärmschutzwand (Schnittdarstellung mit Anströmung von links, die Lärmschutzwand ist bei der x-Koordinate 12 m)

4.3 Forschungsauftrag ASTRA 2001/053

Zurzeit wird im Rahmen des ASTRA Forschungsauftrages ASTRA2001/053 (Strassenlärm in grossen Abständen) ein Rechenmodell entwickelt, das in der Lage ist, meteorologische Einflüsse auf die Schallausbreitung einzubeziehen. Dieses Modell sagt selbst nichts über die Meteorologie aus und ist deshalb für die Anwendung auf Erfahrungswerte zur Grössenordnung der Inhomogenitäten von Windgeschwindigkeit und Temperatur angewiesen. Das Rechenmodell kann daher von den Ergebnissen dieser Untersuchung profitieren. In diesem Sinne ergänzen sich die beiden Projekte in idealer Weise.

5 Auswirkungen auf den praktischen Lärmschutz

Was haben nun vorliegende Erkenntnisse für Auswirkungen auf die Beurteilung von bereits realisierten Lärmschutzmassnahmen, resp. auf die Dimensionierung von noch geplanten Massnahmen? In der Praxis kann dies bedeuten dass,

- ☞ Ein auf Modellberechnungen ermittelter Schallschutz kann in Abhängigkeit von Lage und Exposition zu Zieldifferenzen führen, indem die Grenzwerte während der lärmkritischen Nachtperiode nicht eingehalten werden.
- ☞ Schallschutzplanungen in windexponierten Lagen und vorherrschender Windrichtung sind unter Berücksichtigung der Wandsituation durchzuführen, um grössere Abweichungen während der Nachtperiode zu minimieren.
- ☞ Während der Tagperiode messtechnisch ermittelte Lärmsituationen sind nur mit gebotener Vorsicht auf die Nachtsituation umzurechnen, da nachts, wahrscheinlich in Abhängigkeit von Lage und Exposition, von der Norm abweichende, erhöhte Lärmpegel zu erwarten sind.

Kumuliert man die einzelnen Einflüsse miteinander können sowohl in der Berechnung der Pegel als auch in der Dimensionierung der Schutzwirkung von Schallshindernissen, Fehler in der Grössenordnung von bis zu 6 dBA auftreten!

Als „besorgniserregend“ muss die Tatsache eingestuft werden, dass gerade in der Nachtperiode wo das Ruhebedürfnis am grössten ist und die Schutzwirkung eines Schallhindernisses am meisten gefragt ist, Abweichungen nach oben (d.h. höhere Pegel als berechnet) auftreten.

5.1 Fragen, welche sich im Zusammenhang mit den durchgeführten Ermittlungen ergeben

Das Phänomen der erhöhten Lärmbelastung während der Nachtperiode konnte in Oberwichtlach zweifelsfrei ermittelt werden und ist im Jahresdurchschnitt massgebend und relevant. Aus Sicht des praktischen Schallschutzes und auch im Interesse der Anlagebesitzer ergeben sich allerdings noch zahlreiche Fragen:

- Ist beispielsweise der ermittelte Effekt lageabhängig in Bezug auf Inversionslage (Talbereich entlang eines Flusses → tiefliegende Inversionslagen) und Wind (vorherrschende Windrichtung)?
- Wie würde ein Schallschutz aussehen und welcher Mehraufwand würde entstehen, wenn diese „Nachteffekte“ ebenfalls mit einbezogen würden? Wäre es allenfalls effizienter, nur die Tagsituation mit einer Schallschutzwand zu berücksichtigen und der Mehrschutz für die Nacht mit Fenster abzudecken?
- Kann für die Dimensionierung einer Massnahme einfach ein 2 - 4 dB höherer Emissionswert berücksichtigt werden oder ist ein anderer Modellansatz zur Ermittlung der Schutzwirkung zu berücksichtigen?

Die vorliegende Forschungsarbeit liefert eindeutige Indizien einer nicht modellhaften Lärmsituation Tag/Nacht. Wie weit die Ermittlungen auf andere Situationen direkt übertragen werden können, bleibt noch zu klären.

6 Weiteres Vorgehen

Ein wesentlicher Teil der lärmtechnischen Sanierung ist bis zum Jahre 2015 (Nationalstrassen) bzw. 2018 (Hauptstrassen und übrige Strassen) zu realisieren. Die vorliegenden Ergebnisse sind nicht „unbedeutende Schattierungen“ bei der lärmtechnischen Ermittlung, sondern können als wesentliche Veränderung der Lärmsituation bezeichnet werden und gehen zu Lasten des Betroffenen, das heisst die Lärmsituation nachts wird heute unterschätzt bzw. mögliche Wirkungen von Schallhindernissen überschätzt.

Zur weiteren Absicherung der Daten und Aussagen sowie der Frage der Abgrenzung von Bereichen mit kritischen Ausbreitungsbedingungen empfehlen wir sehr, folgende weitere Untersuchungsschritte vorzusehen:

- Messung von weiteren 2 Messpunkten über ein Jahr, identisch dem Messprozedere in Oberwichtlach. Wovon ein Messpunkt in ähnlicher Situation bezüglich Wind und Inversionslage ist, der zweite Punkt eher im Bereich einer Kuppe oder Höhenlage mit abweichender Luftschichtung zum Punkt 1.
- Auswertung hinsichtlich jahresdurchschnittlicher Lärmsituation tags und nachts und Evaluation von möglichen Abweichungen zum Modellfall. Prüfung der Hinderniswirkung in Abhängigkeit der Meteosituation.

Folgende Ziele werden verfolgt:

- Geografische Abgrenzung der Bereiche, in welchen die diskutierten kritischen Bedingungen vorherrschen. Es wird vermutet, dass vorzugsweise Bereiche mit tiefliegenden Inversionslagen (z.B. Kaltluftseen, evtl. entlang Gewässer) eine nicht zu unterschätzende Rolle einnehmen.
- Festlegen von Dimensionierungsgrundsätzen. Das heisst, wenn feststeht, dass die Randbedingungen für die kritischen Schallausbreitungsverhältnisse erfüllt werden, welche Massnahmenszenarien sind zu prüfen und wie ist damit umzugehen (Vergrösserung des Schallschutzes im Ausbreitungsbereich und/oder ergänzende Massnahmen am Gebäude, evtl. auch Auswirkungen auf Zonenplanungen und Ausscheidung neuer Bauzonen etc.).

Bern, 30. Juni 2006

B+S Ingenieur AG

Abteilung Umwelt und Bauphysik

R. Bayer