



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Nächtliche Immissions- prognosen von Strassenlärm (Hochleistungsstrassen)

**Pronostic des immissions nocturnes de bruit routier
(routes à haut débit)**

**Immission prognoses for night-time traffic noise
(high-capacity highways)**

**B+S AG, Bern
René Bayer
Mark Ströhle**

**EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dr. Kurt Heutschi**

**Forschungsprojekt ASTRA 2008/013_OBF auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Nächtliche Immissions- prognosen von Strassenlärm (Hochleistungsstrassen)

**Pronostic des immissions nocturnes de bruit routier
(routes à haut débit)**

**Immission prognoses for night-time traffic noise
(high-capacity highways)**

**B+S AG, Bern
René Bayer
Mark Ströhle**

**EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dr. Kurt Heutschi**

**Forschungsprojekt ASTRA 2008/013_OBF auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

René Bayer

Mitglieder

Dr. Kurt Heutschi

Mark Ströhle

Federführende Fachkommission

Fachkommission 2: Planung und Projektierung

Begleitkommission

Präsident

Markus Weber

Mitglieder

Maria Balmer

Frank Larghi

Didier Racine

Gregor Schgülin (bis Jan. 2011)

Irene Schlachter (ab Feb. 2011)

Peter Staub (2008 bis 2009)

Martin Stauber

Thomas Stern

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung	13
1.1 Projektbeschreibung	13
1.2 Forschungsstand	13
1.3 Zielsetzungen	14
2 Methodisches Vorgehen	15
2.1 Pilotstandorte 2009	15
2.2 Standortwahl für akustische Messungen	16
2.3 Statistische Untersuchung von Meteostationen	16
2.4 Statistische Untersuchung von Verkehrszählerdaten	16
2.5 Rechnerische Simulation (Ray Tracing)	16
3 Felderhebungen	17
3.1 Gewählte Messstandorte 2010	17
3.2 Akustische Messungen	19
3.2.1 Messvorgang	19
3.2.2 Messanordnung	19
3.2.3 Aufbereitung der akustischen Rohdaten	20
3.3 Meteodaten	23
3.3.1 Standorte Meteostationen mit verfügbaren Daten	23
3.3.2 Schallausbreitungsklassen	24
3.3.3 Auftretenshäufigkeit der Ausbreitungsklassen	25
3.4 Verkehrszählerdaten	27
4 Untersuchungsergebnisse	29
4.1 Vergleich Modell / Messung	29
4.2 Ausbreitungsdämpfung	33
4.2.1 24-Stunden-Tagesgang	33
4.2.2 Tag- und Nachtperiode	37
4.2.3 Meteoklassen	39
4.2.4 Zuverlässigkeit der Messdaten	41
4.3 Jahresstatistik Meteodaten 2010	42
4.3.1 Statistische Untersuchungen von Meteo-Schweiz Daten	42
4.3.2 Vergleich der durchschnittlichen Auftretenshäufigkeit von nächtlichen Inversionen mit zufälligen 2- und 4-Wochen Epochen	45
4.4 Untersuchung von Verkehrszählerdaten	47
4.4.1 Verwendete Verkehrszählstellen	47
4.4.2 Fahrzeugklassen	47
4.4.3 Verkehrsmengen	48
4.4.4 Geschwindigkeiten	49
4.4.5 Fahrspurbelegung	49
4.4.6 Fahrzeugmix	51
4.4.7 Emissionsmodell	53
4.5 MFM-U Strassenlärmmonitoringdaten	56
4.6 Temperatureinfluss auf die Rollgeräuschemission	58
4.6.1 Temperaturabhängigkeit des Rollgeräusches	58
4.6.2 Auswertung von Temperaturdaten	58
4.7 Rechnerische Simulation (Ray Tracing)	59

4.7.1	Ray tracing Simulation zur Hinderniswirkung im stark förderlichen Fall.....	59
4.7.2	Ray tracing Simulation zur Ausbildung von Schattenzonen im hinderlichen Fall.....	62
5	Folgerungen aus den Auswertungen	65
5.1	Zusammenfassung der systematischen Tag/Nacht Unterschiede bei Strassenverkehrslärm	65
5.1.1	Ausbreitungseffekte	65
5.1.2	Quellseitige Aspekte	65
5.2	Emissionsmodell	66
5.3	Flussdiagramme mit Fallunterscheidungen	67
5.3.1	Meteokorrektur bei ungehinderter Schallausbreitung	67
5.3.2	Reduktion der Hinderniswirkung infolge Meteeffekte	68
5.4	Folgerungen für den praktischen Lärmschutz	70
5.5	Offene Fragen	70
	Anhänge.....	71
	Abkürzungen	89
	Literaturverzeichnis.....	91
	Projektabschluss	93
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen.....	97

Zusammenfassung

Langjährige Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass bei Strassenverkehrslärm (Hochleistungsstrassen) teilweise grosse Differenzen zwischen Messungen und rechnerischen Prognosen insbesondere während der Nacht auftreten. Heutige Prognosemodelle für Strassenverkehrslärm wie StL-86+ oder SonRoad (für spezielle Situationen) berücksichtigen zwar den Einfluss von Verkehrsmenge oder Fahrzeuggeschwindigkeit und Fahrzeugmix, andere Einflussfaktoren wie Oberflächentemperatur des Fahrbahnbelages, Spurbelegung oder atmosphärische Einflüsse (Wind, Temperaturschichtung) bleiben jedoch gänzlich unberücksichtigt.

Ziel des Forschungsprojektes ist die Quantifizierung der systematischen Tag/Nachtunterschiede speziell bei Hochleistungsstrassen (Nationalstrassen). Mit Hilfe eines praxisnahen Ansatzes sollen kritische Fälle hinsichtlich Prognoseunsicherheit besser identifiziert und einheitlich geregelt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden 2010 Lärmmessungen über einen längeren Zeitraum (7 - 10 Wochen) an verschiedenen Orten in der Schweiz vorgenommen. Zusätzlich wurden die Jahresdaten von 2010 aus 36 Meteo-Schweiz Stationen sowie 31 ASTRA-Verkehrszählstellen statistisch ausgewertet. In einer weiteren Bearbeitungsphase wurden rechnerische Schallausbreitungssimulationen mittels Ray Tracing (Strahlverfolgung) durchgeführt. Hierbei wurde insbesondere die Wirkungsreduktion von Schallhindernissen bei förderlichen Ausbreitungsbedingungen evaluiert.

Untersuchungsergebnisse

Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse sind:

- **Meteoklassen**
In Anlehnung an den Normentwurf ISO 1996-2 wurden die folgenden Ausbreitungs-klassen definiert:
 - M1 – hinderliche Schallausbreitung
 - M2 – neutrale Schallausbreitung
 - M3 – förderliche Schallausbreitung
 - M4 – stark förderliche Schallausbreitung
 Die 4 Ausbreitungsklassen hängen im Wesentlichen von der Temperaturschichtung und der Windgeschwindigkeit in Ausbreitungsrichtung ab.
- **Lärmmessungen**
Die Ausbreitungsdämpfungen variieren je nach Meteosituation erheblich (vgl. Abb. 0.1): Von der Meteoklasse M1 (hinderlich) bis M4 (stark förderlich) liegt die Differenz der Dämpfungen zwischen 1.8 bis 4.7 dBA (je nach Messort). Die grösste Variation wurde in der teilweise abgeschirmten Ausbreitungsgeometrie in Preonzo gefunden. Je günstiger die Schallausbreitungsbedingungen sind, desto kleiner ist die Dämpfung und damit höher die Lärmbelastung am Empfänger.
- **Datenauswertung Meteo-Schweiz Stationen**
Am Tag sind die Ausbreitungsbedingungen hauptsächlich durch den Wind geprägt; im Jahresdurchschnitt kann von neutralen Bedingungen ausgegangen werden. In der Nacht hingegen liegt die Häufigkeit von wind- und inversionsbedingten stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen an vielen Messstationen bei mehr als 50%.
- **Quellseitige Aspekte**
Alle quellseitigen Aspekte wie Verkehrsmenge, Geschwindigkeit, Spurbelegung, Fahrzeugmix, Fahrweise sowie Belagstemperatur führen gesamthaft zu einer nächtlichen Emissionszunahme von 0.5 dBA.
- **Emissionsmodell**
Je nach Emissionsmodell (StL-86+ oder SonRoad) kann die Fahrzeugaufteilung in die beiden LSV-Kategorien N1 und N2 in Verbindung mit der im Modell verwendeten Geschwindigkeit (signalisiert oder tatsächlich gefahren) zu systematischen zusätzlichen Tag/Nacht-differenzen von bis zu 0.7 dBA führen.

Durch die heute übliche Praxis des ASTRA (StL-86+; je hälftige Aufteilung der Lieferwagen in die LSV-Kategorien N1 und N2; signalisierte Geschwindigkeit) werden diese zusätzlichen Tag/Nachtdifferenzen wesentlich reduziert.

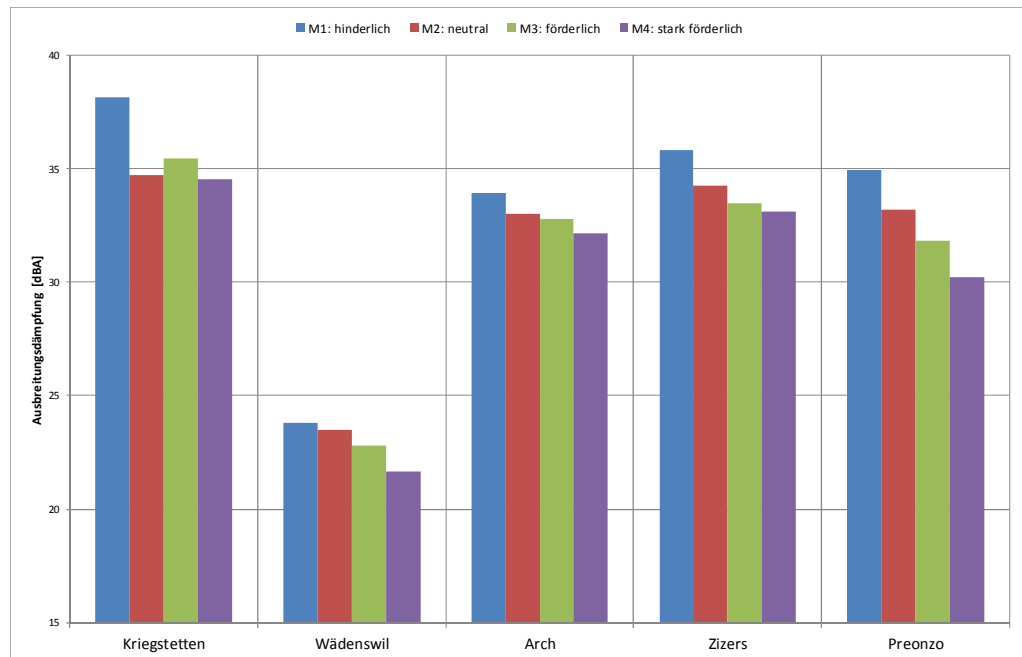


Abb. 0.1 Meteeinfluss auf die Ausbreitungs-dämpfung pro Meteoklasse an den Messstandorten.

Vorschlag zur Berücksichtigung von Meteeinflüssen

Basierend auf den Auswertungen wird ein praxisnahes Verfahren zur Abschätzung der Tag/Nachtunterschiede entwickelt. Dabei wird nur die Ausbreitung berücksichtigt; quellseitige Aspekte und systematische Unterschiede aufgrund des Emissionsmodells werden vernachlässigt.

- Ungehinderte Schallausbreitung
Wenn stark förderliche Ausbreitungsbedingungen im Durchschnitt während mehr als 30% des Jahres vorherrschen, wird die Vergabe einer Immissionspegel-Meteokorrektur von +1 dB am Empfangspunkt vorgeschlagen. Bei hinderlichen Ausbreitungsbedingungen ist eine negative Korrektur von -1 dB angebracht, falls die Auftretenshäufigkeit mehr als 10% beträgt.
- Reduktion der Hinderniswirkung
Hier werden 2 Fälle/Situationen unterschieden:
 1. Quellennahes Hindernis (z.B. Lärmschutzwand direkt an Autobahn)
 2. Quellen-/Empfängermittiges Hindernis (z.B. Geländeerhebung zwischen Quelle und Empfänger)
 Analog zur Meteo-korrektur bei ungehinderter Schallausbreitung wird bei einem zeitlichen Anteil von mehr als 30% förderlicher Ausbreitungsverhältnisse eine entsprechende Wirkungsreduktion des Schallhindernisses vorgeschlagen.

Im Anhang finden sich 2 Anwendungsbeispiele zur Berücksichtigung von Meteeinflüssen

Résumé

De longues années d'expériences pratiques concernant le bruit de la circulation routière (routes à haut débit) montrent en partie de grandes différences entre les mesures et les prévisions calculées, notamment durant la nuit. Bien que les modèles de prévisions actuels concernant le bruit de la circulation routière comme StL-86+ ou SonRoad (pour des situations particulières) tiennent compte de l'influence du volume de trafic ou de la vitesse et du mixe des véhicules, d'autres facteurs d'influence comme la température superficielle du revêtement des routes, l'occupation des pistes ou des influences atmosphériques (vent, stratification de la température) ne sont cependant pas pris en considération.

Le but du projet de recherche présenté est la quantification des différences systématiques jour/nuit en particulier pour les routes à haut débit (routes nationales). Avec l'aide d'une approche pratique, les cas critiques concernant l'incertitude des prévisions doivent être mieux identifiés et uniformément réglés.

Dans le cadre de l'étude suivante le bruit routier a été mesuré en 2010 sur une période prolongée (7 – 10 semaines) à plusieurs endroits en Suisse. En outre les données météorologiques annuelles de 2010 provenant de 36 stations de MétéoSuisse ainsi que de 31 postes de comptage du trafic de l'OFROU ont été analysées statistiquement. Dans une deuxième phase de l'étude des simulations calculées au moyen de Ray Tracing (détermination du cheminement des rayons sonores) ont été effectuées. Ce faisant l'effet de réduction de barrières acoustiques a particulièrement été évalué par des conditions de propagations propices.

Résultats de l'enquête

Les résultats majeurs sont:

- **Classifications météorologiques**
Conformément au projet de norme ISO 1996-2 les classes de propagation suivantes ont été définies:
 - M1 – propagation sonore défavorable
 - M2 – propagation sonore neutre
 - M3 – propagation sonore favorable
 - M4 – propagation sonore très favorable
 Les 4 classes de propagation dépendent essentiellement de la stratification de la température et de la vitesse du vent dans la direction de la propagation.
- **Mesures de bruit**
Les atténuations dues à la propagation varient considérablement selon la situation météorologique (voir figure 0.2): De la classe météorologique M1 (défavorable) à M4 (très favorable) la différence des amortissements se situe entre 1.8 à 4.7 dBA (selon l'endroit de la mesure). Plus les conditions de propagation sonore sont favorables, plus l'amortissement est petit et plus la nuisance sonore est élevée pour le destinataire.
- **Analyses des données des stations de MétéoSuisse**
Durant la journée les conditions de propagation sont principalement marquées par le vent; en moyenne annuelle on peut partir du principe de conditions neutres. Durant la nuit cependant la fréquence de conditions de propagations très favorable dues au vent ou à la situation d'inversion est au-dessus de 50% à beaucoup de stations météorologiques.
- **Aspects concernant les sources de bruit**
Tous les aspects concernant les sources de bruit tel que le volume et la vitesse de trafic, l'occupation des pistes, le mixe des véhicules ainsi que la température superficielle du revêtement des routes mènent à une augmentation des émissions sonores nocturne de 0.5 dBA.

- **Modèle d'émission**

Selon le modèle d'émission choisi (StL-86+ ou SonRoad) la répartition des véhicules dans les deux catégories OPB N1 et N2 en rapport avec la vitesse (signalisée ou effectivement roulée) utilisée dans le modèle peut mener à des différences systématiques jour/nuit allant jusqu'à 0.7 dBA. La pratique actuelle de l'OFROU (StL-86; partage par moitié des camionnettes de livraison dans les catégories OPB N1 et N2, signalisation de la vitesse) réduit considérablement les différences jour/nuit.

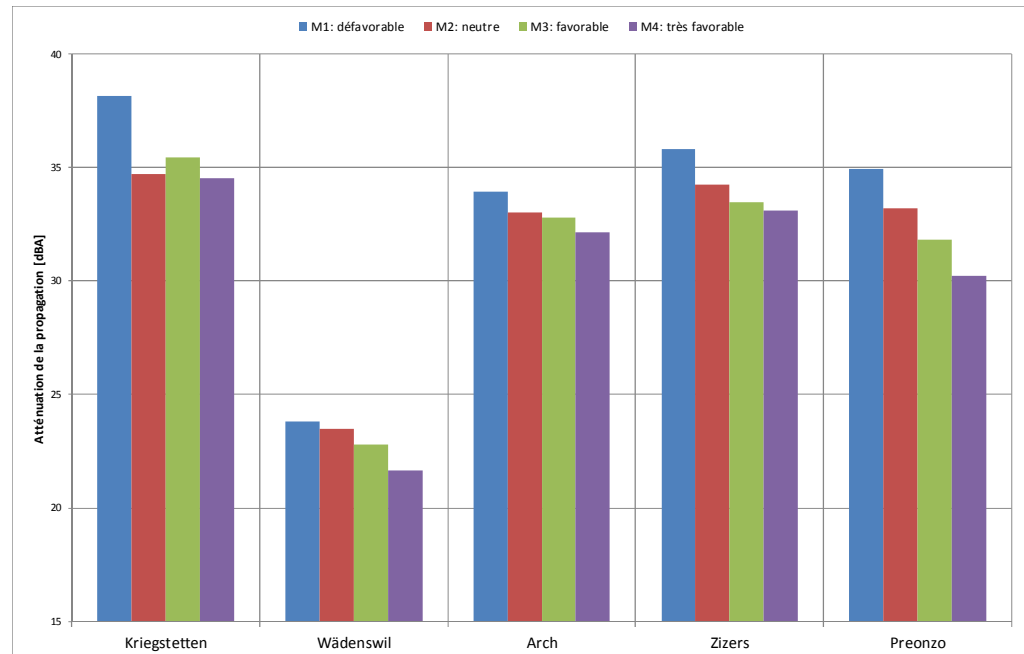


Figure 0.2 Atténuation de la propagation par classe météorologique pour les différentes stations de mesure.

Proposition pour la prise en considération des influences météorologiques

En se basant sur les analyses, une méthode pratique a été développée afin de pouvoir tenir compte des différences jour/nuit. Dans cette approche les aspects concernant les sources de bruit et les différences systématiques dues au modèle d'émissions peuvent être négligés.

- **Propagation sonore sans obstacle**
Si en moyenne annuelle la fréquence d'apparition de conditions de propagation très favorables devaient dépasser les 30%, il est recommandé d'octroyer un facteur de correction météorologique de +1 dB au point de réception. Par des conditions de propagations défavorables dépassant une fréquence de 10% une correction négative de -1 dB est appropriée.
- **Réduction de l'effet d'une barrière acoustique**
Deux cas/situations peuvent être distingués:
 1. Obstacle local (par exemple: mur anti-bruit au bord de l'autoroute)
 2. Obstacle entre source et récepteur (par exemple élévation de terrain entre source et récepteur)

Par analogie avec la correction météorologique en cas de propagation sonore sans obstacle, il est proposé de réduire l'effet d'atténuation d'une barrière acoustique en cas d'une durée de plus de 30% de conditions de propagations favorables.

En annexe se trouve 2 exemples d'application pour la prise en considération des influences météorologiques.

Summary

Long term observations and analyses have shown that traffic noise measurements often differ from calculations, in particular for night-time periods. Current models for traffic noise calculations, such as StL-86+ and SonRoad take into account various factors, including traffic volume, vehicle speed and vehicle type. Further factors such as road surface temperature, lane configuration and atmospheric conditions (wind, temperature) are not included in current prognosis models.

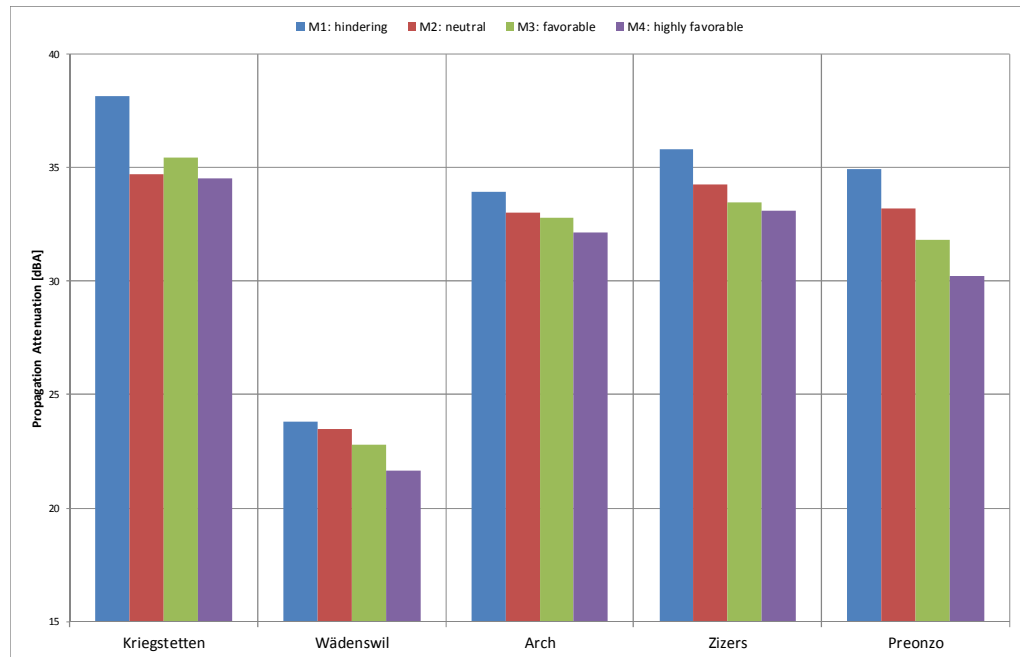
The aim of this research project is to examine systematic discrepancies between measurements made during the day and during the night, in particular for highways. Further an easily applicable recipe is developed to efficiently identify, manage and eliminate discrepancies and critical situations.

As part of this research project, noise measurements were taken throughout various regions of Switzerland over a 7 to 10 weeks period. In addition, the annual data recordings for 2010 from 36 Meteo-Schweiz weather stations as well as the data from 31 ASTRA traffic counting stations were collected and evaluated. In a further stage ray tracing sound propagation simulations were performed in order to investigate the reduction of the shielding effect of barriers in case of favourable conditions.

Research Findings

The key research findings:

- **Weather Classification**
The following classification has been expanded in accordance with the standard ISO 1996-2
 - M1 – hindering sound propagation
 - M2 – neutral sound propagation
 - M3 – favorable sound propagation
 - M4 – highly favorable sound propagation
 The 4 propagation classes depend on temperature stratification as well as wind speed and wind direction.
- **Sound Measurements**
It was found that weather conditions considerably influence propagation attenuation (see graphic 0.3). The variations ranged from 1.8 to 4.7 dBA. Favorable propagation conditions reduce attenuation resulting in higher noise exposure.
- **Data Analyses of Meteo-Schweiz Weather Stations**
Propagation conditions during the day are predominately influenced by wind. However due to varying wind directions, neutral propagation conditions can be assumed during the day-time period in a yearly average. In contrast, many stations were found with more than 50% probability for highly favorable conditions during the night-time period..
- **Noise Sources**
Traffic volume, traffic speed, lane configuration, vehicle fleet and surface temperature all lead to an increase in noise emission of 0.5 dBA.
- **Emission Model**
Depending on the emission model used (StL-86+ or SonRoad), the vehicle distribution for both LSV-Categories, N1 and N2 as well the projected vehicle speed, can lead to additional systematic day/night differences of up to 0.7 dBA. The current method implemented by ASTRA (StL-86+; half of the heavy traffic (trucks) allocated to each of the LSV-Categories N1 and N2; signaled speed) considerably reduces this systematic day/night difference



Graphic 0.3 Propagation Attenuation per Weather Category at Measuring Stations.

Recommendations, Based on the Influence of Weather Conditions

As a result of this research a recipe is proposed to estimate the influence of meteorological effects on sound propagation.

- **Unshielded Sound Propagation**
If the yearly average probability for highly favorable propagation conditions exceeds 30%, a weather correction factor of +1 dB to be added to the level at the receiver is recommended. If hindering propagation occurs at a rate greater than 10%, a correction of -1 dB is needed.
- **Reduction of Barrier Attenuation**
Two cases have to be discriminated
 1. Barrier close to the source or receiver (e.g. noise barrier/sound wall along a highway)
 2. Barrier midway between source and receiver (e.g. raising a railing between the source and receiver)

As well as the aforementioned weather correction factor, a reduction factor should be applied to barrier attenuation if unfavorable propagation conditions exist with a probability higher than 30%.

The annex contains two examples for the consideration of the influence of meteorological effects.

1 Einleitung

1.1 Projektbeschreibung

In der Regel muss bei den lärmrelevanten Verkehrsachsen wie Hochleistungsstrassen (vorallem Nationalstrassen) überwiegend die Nachtperiode als massgebender Beurteilungszeitraum bezeichnet werden. Langjährige Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch, dass insbesondere nachts bei messtechnischen Ermittlungen in Abhängigkeit von Lage und Exposition, zum Teil erhebliche Differenzen zur rechnerischen Prognose auftreten.

Die Aussagen zu den nächtlichen Immissionen werden heute vielfach aus der messtechnischen oder rechnerischen Ermittlung der Tagwerte¹ abgeleitet. Dabei werden entweder pauschale Tag/Nachtdifferenzen angenommen, oder Tagwerte werden durch Korrektur der unterschiedlichen Verkehrsmengen auf Nachtwerte umgerechnet. Obwohl die Verkehrsmenge ein bedeutender Einflussfaktor auf die Strassenlärmimmissionen ist, muss von weiteren systematischen Tag/Nachtunterschieden ausgegangen werden. Hier sind einerseits quellenseitige Unterschiede wie z.B. Fahrzeuggeschwindigkeit, Spurbelegung, Fahrzeugmix und Fahrverhalten sowie Oberflächentemperatur des Fahrbahnbelages und andererseits die Ausbreitung betreffende Unterschiede, insbesondere der Zustand der Atmosphäre (Wind und Temperaturschichtung) zu nennen.

Die heute bei Strassenverkehrslärm mehrheitlich eingesetzten Berechnungsmodelle wie StL-86+ oder SonRoad können für nächtliche Prognosen lediglich den Einfluss der Verkehrsmenge korrekt nachbilden. Da die anderen möglichen Einflussfaktoren unberücksichtigt bleiben, ist deshalb von einer gewissen Prognoseunsicherheit auszugehen.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes werden die möglichen Einflussfaktoren systematisch untersucht, wobei ausschliesslich Nationalstrassen betrachtet werden. Die Untersuchungen werden einerseits experimentell, d.h. in Form von Messungen über einen längeren Zeitraum an 6 über die Schweiz verteilten Standorten und andererseits theoretisch anhand von numerischen Simulationen geführt. Zusätzlich werden statistische Auswertungen von Meteodaten und Verkehrszählerdaten vorgenommen.

1.2 Forschungsstand

Zu den für die Nachtperiode bedeutenden quellenseitigen Einflussfaktoren sind kaum Forschungsarbeiten verfügbar. Es gibt einige Hinweise zum geänderten Fahrverhalten nachts, allerdings nur qualitativer Natur. Fragen zum nächtlichen Verkehrsmix und zur Spurbelegung lassen sich durch Auswertung des schweizweiten Verkehrszählernetzes des ASTRA beantworten.

Zu den Schallausbreitungsphänomenen in Tallagen und bei inhomogener Atmosphäre gibt es ein prinzipielles Verständnis der zu Grunde liegenden Mechanismen. Es sind entsprechende Rechenmodelle verfügbar, die bei Kenntnis der Geometrie und der meteorologischen Bedingungen diese Phänomene nachbilden können. Obwohl in der Literatur vereinzelt messtechnische Untersuchungen vorgestellt werden (vgl. [1]), fehlen breiter abgestützte Erfahrungswerte für praktische Anwendungen.

In [1] wurde für einen Standort an der N06 bei Wichtrach im Aaretal durch kontinuierliche Messungen über 1 Jahr nachgewiesen, dass der jahresdurchschnittliche Pegel während der Nachtperiode um 2 – 3 dB höher ist als dies der rechnerische Prognosewert erwarten lässt.

¹ Seit 2008 werden im Rahmen der Zustandserfassung Lärm (ZEL) auch Strassenlärmmessungen während der Nachtperiode vorgenommen.

1.3 Zielsetzungen

Ziel des vorliegenden Forschungsauftrages ist es, die systematischen Tag/Nachtunterschiede, welche auf quellenseitigen und ausbreitungsbedingten Einflussfaktoren basieren, speziell für Nationalstrassen zu quantifizieren.

Es wird versucht, ein einfaches Verfahren für die Anwendung in der Praxis zu finden, welches dem Akustiker die Detektion und Behandlung von kritischen Fällen hinsichtlich grösserer Unsicherheiten im Lärmmodell erlaubt. Mit Hilfe zweier Flussdiagramme werden diverse Fallunterscheidungen durchgespielt. Zudem finden sich im Anhang zwei Anwendungsbeispiele, die konkret aufzeigen wie Meteeinflüsse bei der Lärmprognose berücksichtigt werden können.

Ein Vergleich der in der Schweiz üblicherweise verwendeten Berechnungsmodelle (StL-86+, SonRoad, etc.) ist nicht primäres Ziel der vorliegenden Untersuchung.

2 Methodisches Vorgehen

In Abb. 2.4 ist die im Nachfolgenden gewählte Vorgehensweise zur Ermittlung von systematischen Tag/Nachtunterschieden an Nationalstrassen dargestellt. Zur besseren Nachvollziehbarkeit des momentanen Arbeitsschrittes erscheint diese Grafik im vorliegenden Bericht an den entsprechenden Stellen.

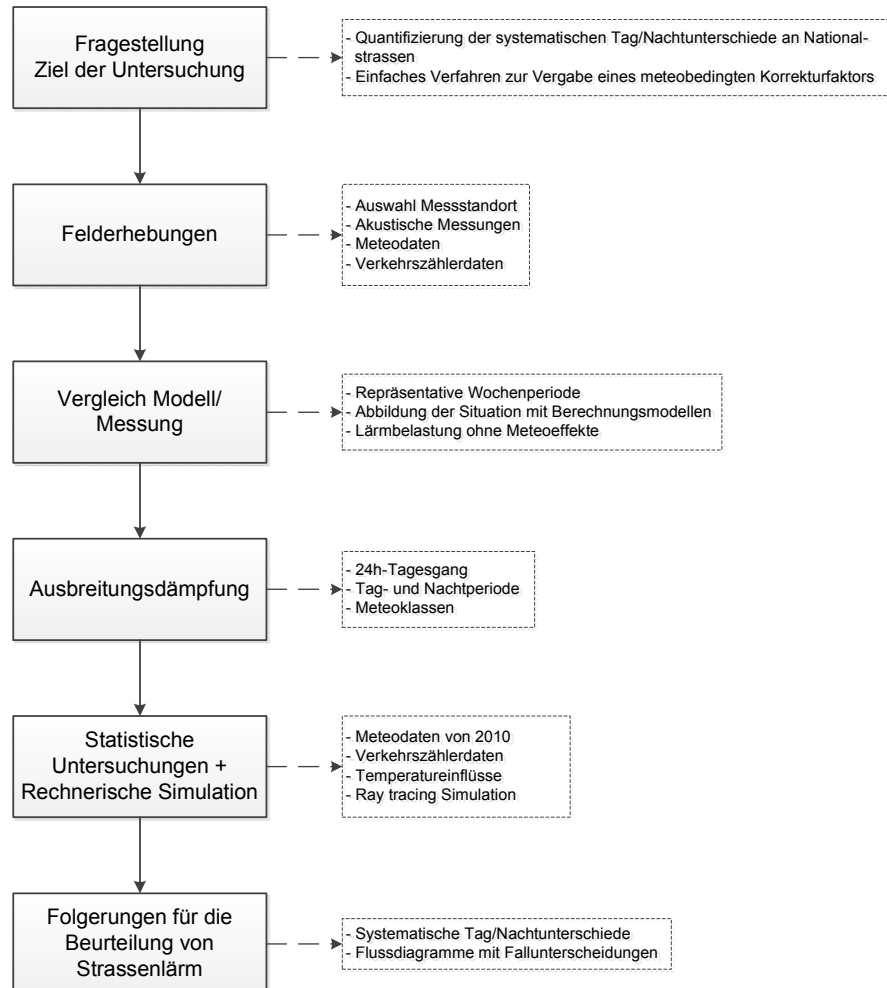


Abb. 2.4 Überblick der Vorgehensweise

2.1 Pilotstandorte 2009

Bereits im Jahr 2009 wurden anhand zweier "Pilotstandorte" erste messtechnische Erfahrungen hinsichtlich der Standortwahl und Datenqualität gesammelt. Es handelte sich um Messorte in Payern und Frauenkappelen.

Payerne

Der Messort lag ca. 300 m von der Nationalstrasse N1 entfernt in unmittelbarer Nähe eines Bauernhofes. Trotz Zugang zum öffentlichen Stromnetz traten häufig Stromausfälle und damit Messdatenverluste auf. Zudem wurde der Verkehrszähler auf dem Streckenabschnitt der Nationalstrasse infolge Wartungsarbeiten ausser Betrieb gesetzt.

Frauenkappelen

Der Messort lag ca. 120 m von der Nationalstrasse N1 entfernt am Rande der nächstgelegenen Wohnüberbauung. Die Ausbreitungsbedingungen sind komplex mit diversen Erdwällen, Einschnitten (Strassenunterführung) entlang der Strecke und ansteigendem

Geländeverlauf. Die lokalen Windeinflüsse waren sehr unterschiedlich und liessen sich durch die entfernte Meteostation nicht hinreichend gut erfassen.

Beide Standorte wurden in den fortschreitenden Arbeiten nicht weiterverfolgt.

2.2 Standortwahl für akustische Messungen

Die Auswahl der Standorte für die akustischen Messungen wurde nach folgenden Kriterien bzw. Voraussetzungen vorgenommen:

- Häufige Inversionswetterlagen
- Streckenabschnitte von Nationalstrassen mit Verkehrszähler SWISS10
- Meteostation in naher Umgebung (Distanz zum Messort unter 10 km)
- Störgeräuschproblematik (möglichst keinen Einfluss durch Eisenbahnlinien, Industrieanlagen, Flugplätze etc.)
- Klare, im Prognosemodell abbildbare Ausbreitungsbedingungen (Distanz, Geländeform, Hindernisse)
- Gewährleistung von Zugänglichkeit, Stromversorgung, Sicherheit (Vandalismus) für die Messstation

2.3 Statistische Untersuchung von Meteostationen

Anhand von Meteo-Schweiz Daten des ganzen Jahres 2010 wurden statistische Untersuchungen zur Auftretenshäufigkeit von definierten Ausbreitungsbedingungen (Differenz der Temperatur von 2 m und 5 cm Höhe über Terrain, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit) durchgeführt. Mit diesen Angaben sollen die Untersuchungsergebnisse der akustischen Messungen in einen schweizweiten Kontext eingeordnet werden. Damit können Aussagen zur Auftretenshäufigkeit von definierten Ausbreitungsbedingungen wie z.B. *Nachtstunden mit starker Inversion* an den jeweiligen Meteostationen getroffen werden.

2.4 Statistische Untersuchung von Verkehrszählerdaten

Mit Hilfe von 31 zufällig ausgewählten ASTRA-Verkehrszählern aus der gesamten Schweiz wurden diverse statistische Untersuchungen hinsichtlich Verkehrsmenge, Geschwindigkeit, Fahrspurbelegung und Fahrzeugmix vorgenommen.

Aufgrund der Auswertung von Messdaten aus dem "Eureka-Footprint-Projekt" wurde eine Zuordnung der SWISS10-Fahrzeugklassen in die beiden LSV-Kategorien² N1 und N2 vorgenommen.

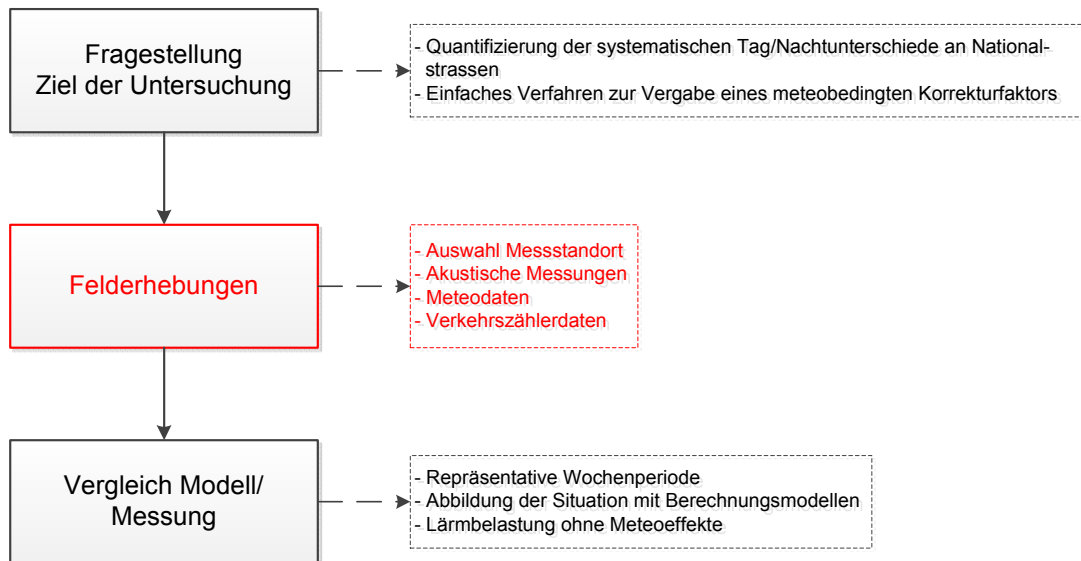
Des Weiteren wurden die Messdaten des Projektes "Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt MFM-U" aus dem Jahr 2010 hinsichtlich tageszeitliche Veränderung von Lärmemissionen ausgewertet.

2.5 Rechnerische Simulation (Ray Tracing)

Auf der Basis von berechneten Schallstrahlen wurden die meteorologischen Einflüsse auf die Schallausbreitung untersucht. Hierbei wurde insbesondere die Reduktion der Hinderwirkung bei förderlichen Ausbreitungsbedingungen evaluiert.

² Gemäss Anhang 3 LSV umfasst die Kategorie N1 folgende Fahrzeuge: Personenwagen, Lieferwagen, Kleinbusse, Motorfahräder und Trolleybusse. Der Kategorie N2 werden folgende Fahrzeuge zugeordnet: Lastwagen, Sattelschlepper, Gesellschaftswagen, Motorräder und Traktoren.

3 Felderhebungen



3.1 Gewählte Messstandorte 2010

Für die Auswahl der Messstandorte wurden insbesondere die Kriterien Inversionshäufigkeit, Streckenabschnitte mit Verkehrszähler sowie nahe gelegene Meteostationen besonders stark gewichtet. In der Übersicht in Abb. 3.5 sind die Standorte der akustischen Messungen dargestellt.

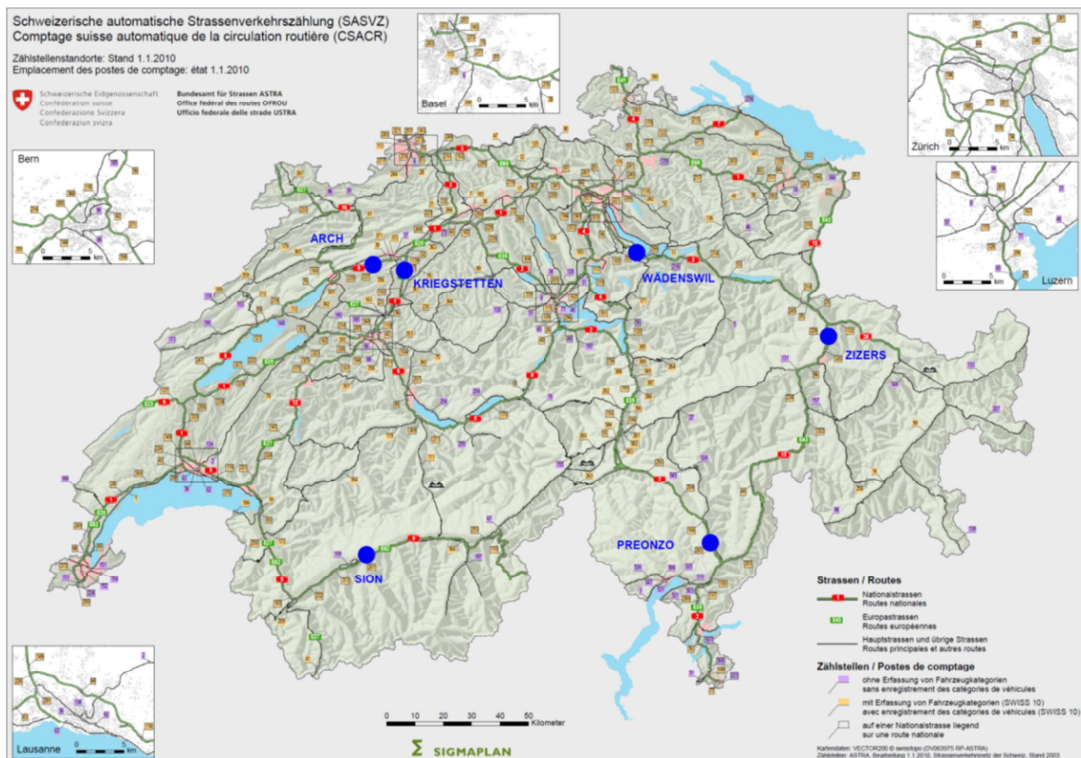
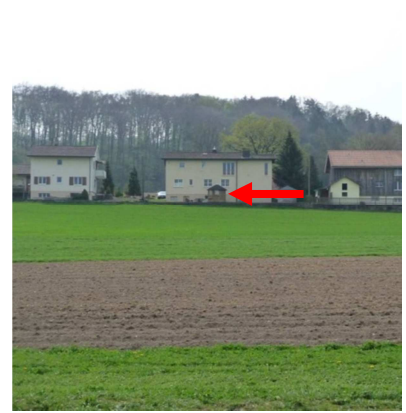
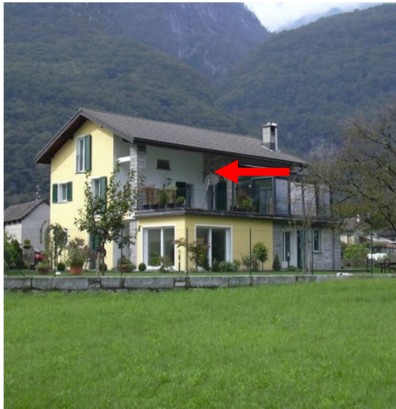


Abb. 3.5 Übersicht der Messstandorte 2010

Tab. 3.6 Angaben zu den Messorten

Foto	Messort
Kriegstetten (Nationalstrasse N01)	 Kürzematthof 2, Kriegstetten (611815 / 224212) Messzeit: 28.04. – 09.07.2010 ASTRA-Zählstelle: Kirchberg N (182) Meteostation: Koppigen Freifeld, ca. 420 m zur N01, Mikrofonhöhe ca. 2 m über Terrain
Wädenswil (Nationalstrasse N03)	 Neuhus 1, Wädenswil (693066 / 230127) Messzeit: 29.07. – 30.09.2010 ASTRA-Zählstelle: Richterswil (55) Meteostation: Wädenswil Freifeld auf Dachterrasse, ca. 75 m zur N03, Mikrofonhöhe ca. 4 m über Terrain
Arch (Nationalstrasse N05)	 Solothurnstrasse 53, Arch (599999 / 224664) Messzeit: 13.07. – 03.09.2010 ASTRA-Zählstelle: Grenchen (237) Meteostation: Grenchen Freifeld, ca. 420 m zur N05, Mikrofonhöhe ca. 3 m über Terrain
Zizers (Nationalstrasse N13)	 Neulöserweg, Zizers (761257 / 201177) Messzeit: 03.09. – 29.10.2010 ASTRA-Zählstelle: Zizers (228) Meteostation: Chur Freifeld, ca. 650 m zur N13, Mikrofonhöhe ca. 2 m über Terrain

Tab. 3.6 Angaben zu den Messorten

Foto	Messort
Preonzo (Nationalstrasse N02) 	Campagna 79a, Preonzo (720575 / 125070) Messzeit: 17.09. – 03.12.2010 ASTRA-Zählstelle: Moleno N (265) Meteostation: Lodrino, Magadino Freifeld auf Balkon, ca. 280 m zur N02, Mikrofonhöhe ca. 4.5 m über Terrain, teilweise abgeschirmt durch Erddamm
Sion (Nationalstrasse N09) 	Rte. des Diligences 16, Sion (Bramois) (596789 / 120758) Messzeit: 06.10. – 01.12.2010 ASTRA-Zählstelle: Sion E (201) Meteostation: Sion Freifeld auf Balkon, ca. 325 m zur N09, Mikrofonhöhe ca. 2.5 m über Terrain

Weitere Details zu den Messorten siehe Anhang I.1 – 0

3.2 Akustische Messungen

3.2.1 Messvorgang

In der Regel betrug die Messdauer pro Standort zwischen 7 und 10 Wochen. Während den Messungen wurden folgende Daten erfasst:

- Mittelungspegel L_{eq} (A-bewertet); Auflösung: 1 s
- Frequenzanalyse 6.3 – 20'000 Hz
- Zeitsynchrone Datenaufzeichnung (pro 24 Stunden 1 Messfile).

3.2.2 Messanordnung

Aufgrund der langen Messdauer musste bei der Wahl des Mikrofonstandortes auf die örtlichen Gegebenheiten Rücksicht genommen werden. Das wetterfeste Aussenmikrofon wurde möglichst im Freifeld zur Nationalstrasse auf einem 2 m-Stativ montiert. Durch Ausnützung der Gebäudestrukturen (Abschirmung) wurde zudem versucht, die Bedeutung der Störgeräusche zu reduzieren. Durch diese Wahl der Messanordnung handelte es sich um keine LSV-konforme Messbedingungen, die auch gar nicht angestrebt wurden, da primär in Relation gesetzte Tag/Nachtunterschiede erfasst werden sollten.

Die genaue Messanordnung am jeweiligen Standort kann den Fotos der Tab. 3.6 entnommen werden.

3.2.3 Aufbereitung der akustischen Rohdaten

Für die Auswertungen in den nachfolgenden Kapiteln wurden die akustischen Rohdaten folgendermassen aufbereitet:

- Berechnung von stündlichen Mittelungspegeln $Leq,1h$
- Löschen von Mittelungspegeln, bei welchen regennasse Fahrbahnbedingungen vorlagen
- Löschen von Mittelungspegeln mit offensichtlichen Störgeräuschen
- Keine Normalisierung mit den Verkehrsdaten

Durch die zeitsynchrone Datenaufzeichnung entfällt pro 24 Stunden ein Stundenwert, da zum Zeitpunkt der täglichen Datenspeicherung das Messgerät die Aufzeichnung kurzzeitig unterbricht. Dieser Zeitpunkt wurde nach Möglichkeit innerhalb der Tagperiode (6 - 22 Uhr) gewählt. Man erhält also pro Tag 23 stündliche Mittelungspegel $Leq,1h$. Am Standort Sion lag dieser Messunterbruch per Zufall ausschliesslich zwischen 16 und 17 Uhr, so dass in Abb. 3.12 eine "Lücke" in der Grafik besonders auffällt.

In den Abb. 3.7 bis Abb. 3.12 sind die aufbereiteten akustischen Messdaten, welche als Basis für die weiteren Auswertungen dienen, für die 6 Standorte dargestellt.

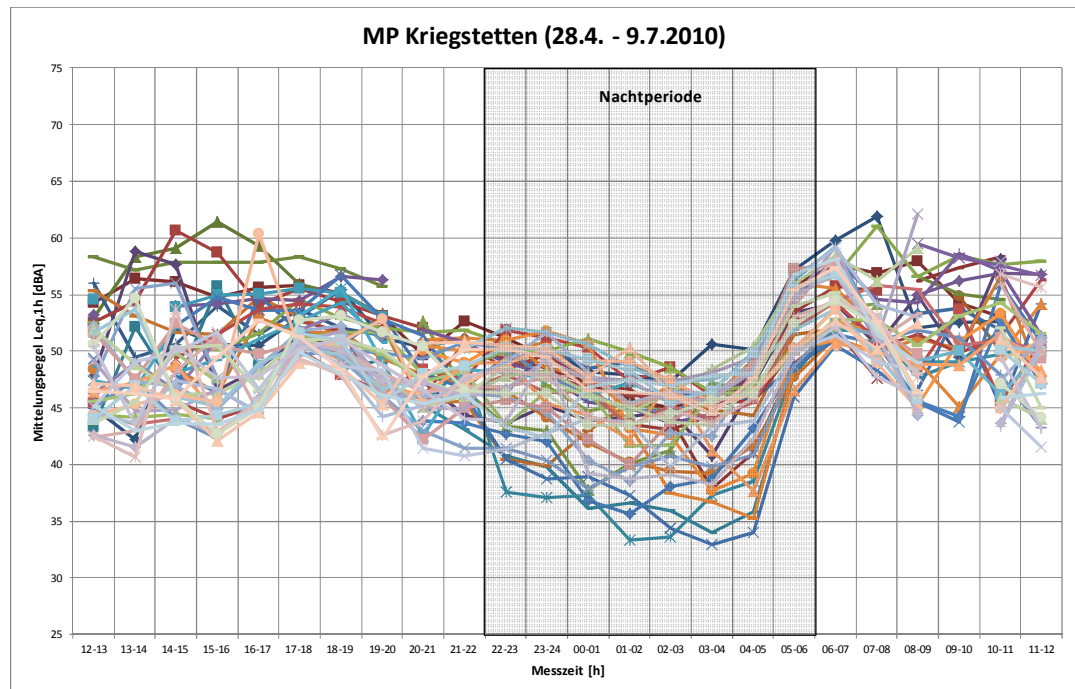


Abb. 3.7 Stündliche Mittelungspegel über 24 Stunden für den Standort Kriegstetten in der Zeit vom 28.4. bis 9.7.2010. Auf der Abszisse sind die Stunden aufgetragen, beginnend um 12 Uhr mittags. Jede farbige Linie stellt einen "Messtag" dar.

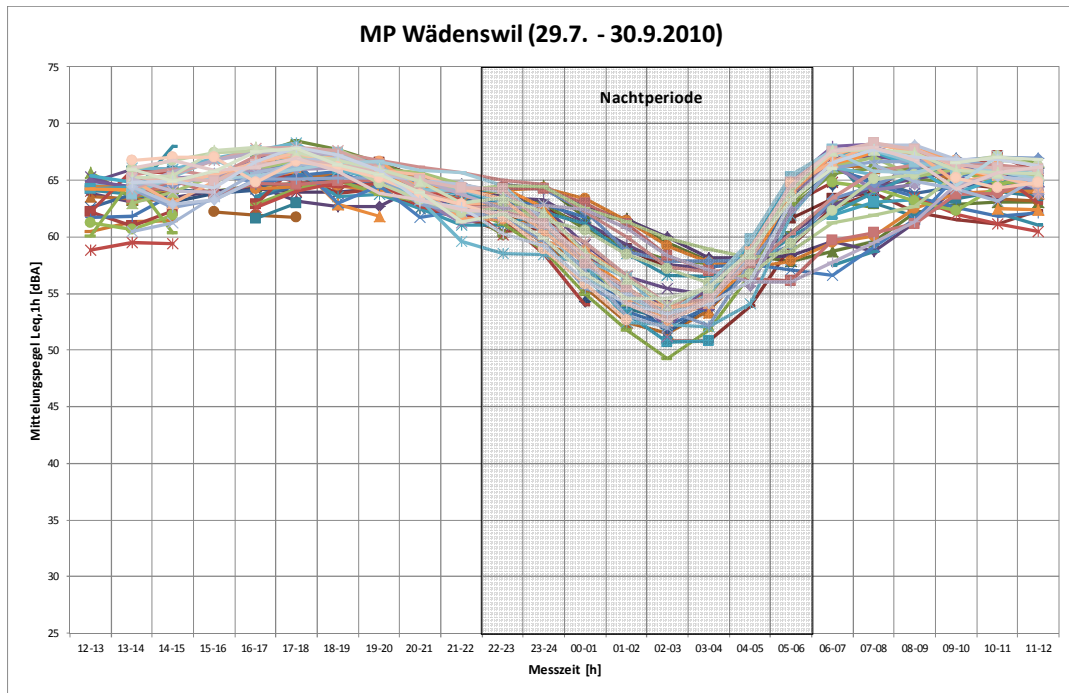


Abb. 3.8 Stündliche Mittelungspegel über 24 Stunden für den Standort Wädenswil. Die Tag/Nacht-Dynamik mit starkem Pegelanstieg am Morgen ist hier gut zu erkennen. An den Wochenenden erfolgt der Pegelanstieg zu einer etwas späteren Uhrzeit.

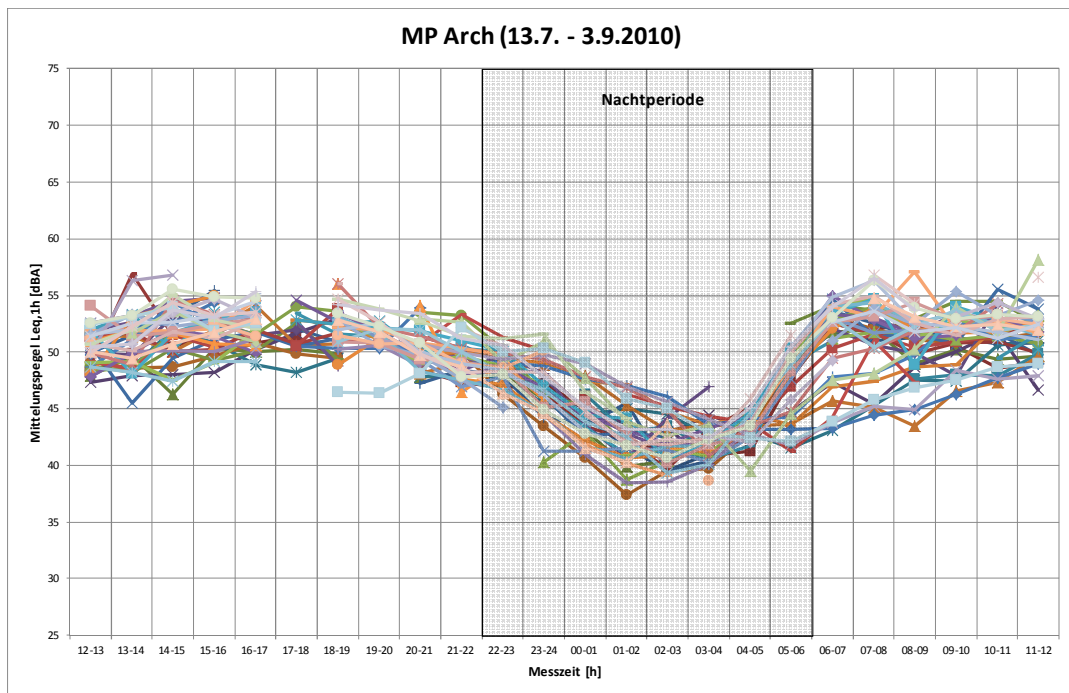


Abb. 3.9 Stündliche Mittelungspegel über 24 Stunden für den Standort Arch.

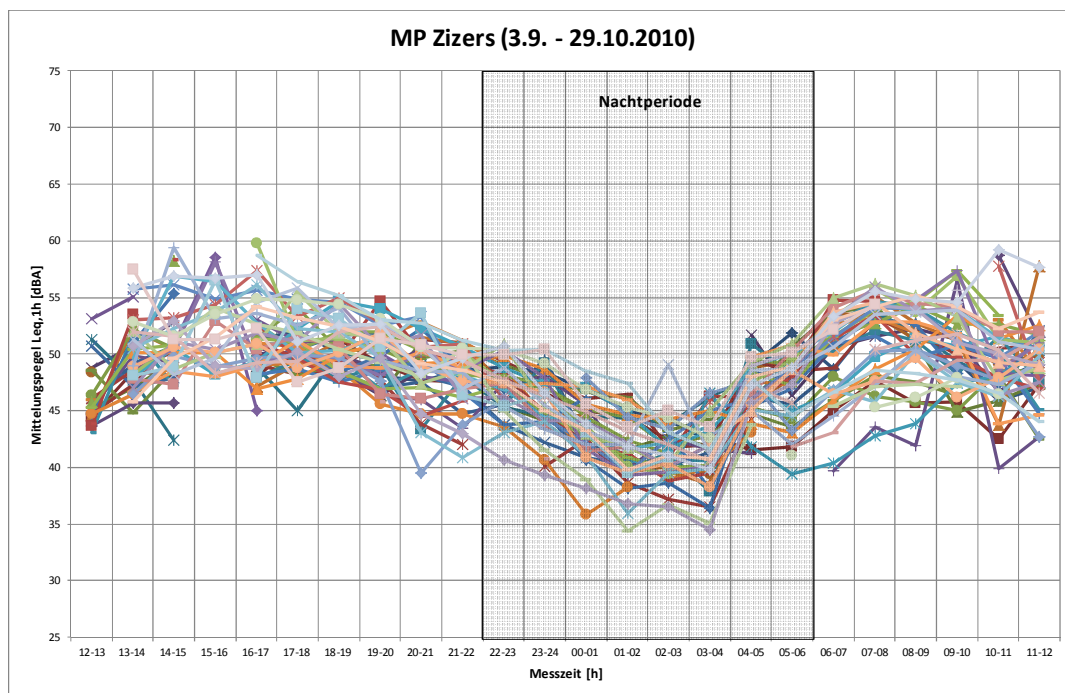


Abb. 3.10 Stündliche Mittelungspegel über 24 Stunden für den Standort Zizers.

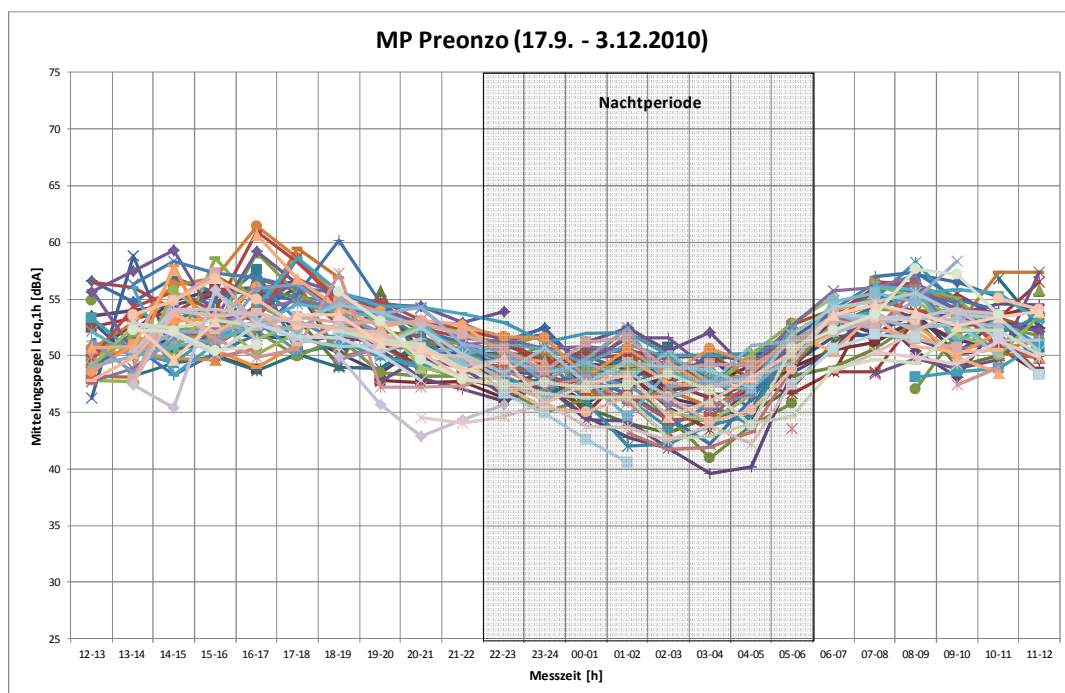


Abb. 3.11 Stündliche Mittelungspegel über 24 Stunden für den Standort Preonzo. Der Tagesgang ist hier nicht so stark ausgeprägt wie beispielsweise in Wädenswil.

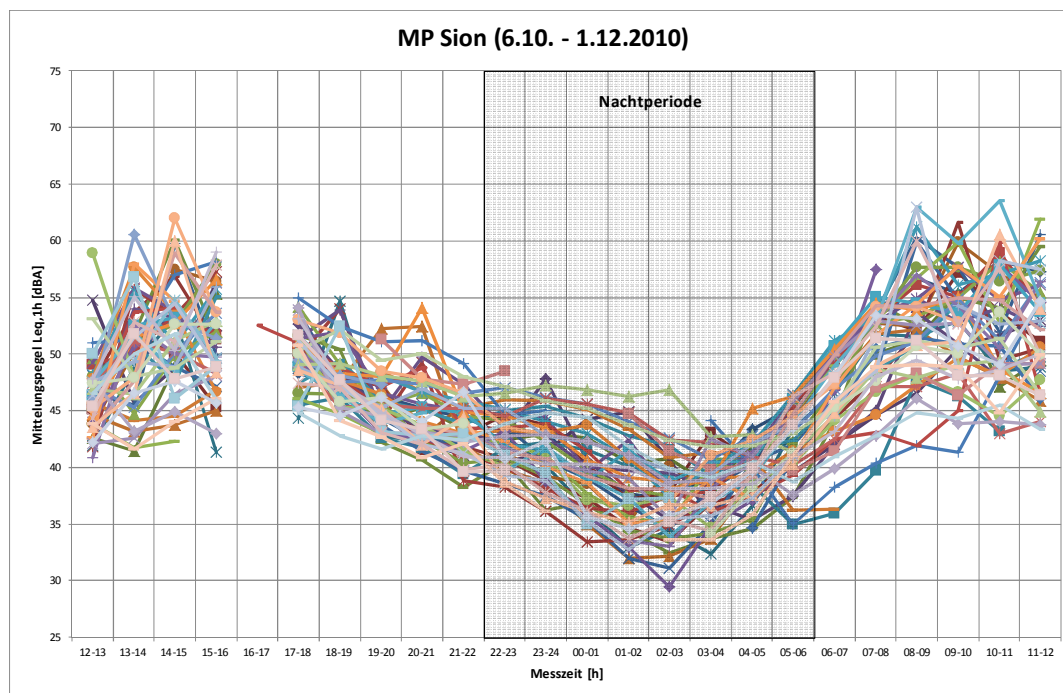


Abb. 3.12 Stündliche Mittelungspegel über 24 Stunden für den Standort Sion. Der Unterbruch der Messung zwischen 16 und 17 Uhr ist auf die tägliche automatisierte Datenspeicherung zurückzuführen. Die Datenablage im Messgerät fand ausschliesslich zu diesem Zeitpunkt statt, so dass die "Lücke" hier besonders auffällt.

Fazit

An allen Messstandorten lässt sich der typische Tagesgang mehr oder weniger stark ausgeprägt erkennen: In den frühen Morgenstunden steigt der Pegel stark an, verbleibt dann auf hohem Niveau und fällt ab den frühen Abendstunden wieder langsam ab. Dies ist massgeblich dem Verkehrsaufkommen geschuldet. Aufgrund des Pegelniveaus und –verlaufs lassen sich grob 3 Kategorien bilden: Wädenswil (Distanz zur Nationalstrasse: 75 m) mit den höchsten Schallpegeln, Preonzo mit weniger stark ausgeprägten Pegelanstiegen am Morgen (Teilabschirmung der Nationalstrasse) sowie die restlichen 4 Standorte (Distanzen zur Nationalstrasse zwischen 325 und 650 m).

3.3 Meteodaten

3.3.1 Standorte Meteostationen mit verfügbaren Daten

Für die Standorte der akustischen Messungen wurden folgende Meteo-Schweiz Stationen mit automatischer Datenerhebung identifiziert:

Tab. 3.13 Messorte und zugehörige Meteo-Schweiz Stationen

	Meteo-Schweiz	Distanz zum Messort	Verfügbare Daten
Kriegstetten	Koppigen	4.90 km	Temp. 2 m Höhe ü.T., Feuchte 2 m Höhe ü.T., Windgeschwindigkeit und –richtung 10 m Höhe ü.T., Bewölkungsgrad (Tagesdurchschnitt)
Wädenswil	Wädenswil	0.98 km	Temp. 2 m Höhe ü.T., Temp. 0.05 m Höhe ü.T., Feuchte 2 m Höhe ü.T., Globalstrahlung, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und –richtung 10 m Höhe ü.T.
Arch	Grenchen	1.97 km	Temp. 2 m Höhe ü.T., Feuchte 2 m Höhe ü.T., Windgeschwindigkeit und –richtung 10 m Höhe ü.T., Niederschlag

Tab. 3.13 Messorte und zugehörige Meteo-Schweiz Stationen

	Meteo-Schweiz	Distanz zum Messort	Verfügbare Daten
Zizers	Chur	8.22 km	Temp. 2 m Höhe ü.T., Temp. 0.05 m Höhe ü.T., Feuchte 2 m Höhe ü.T., Globalstrahlung, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und –richtung 10 m Höhe ü.T.
Preonzo	Lodrino	3.64 km	Windgeschwindigkeit und –richtung 10 m Höhe ü.T.
	Magadino	13.0 km	Temp. 2 m Höhe ü.T., Temp. 0.05 m Höhe ü.T., Feuchte 2 m Höhe ü.T., Globalstrahlung, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und –richtung 10 m Höhe ü.T.
Sion	Sion	5.60 km	Temp. 2 m Höhe ü.T., Temp. 0.05 m Höhe ü.T., Feuchte 2 m Höhe ü.T., Globalstrahlung, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und –richtung 10 m Höhe ü.T.

3.3.2 Schallausbreitungsklassen

Weitgehend dem Normentwurf ISO 1996-2rev, *Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels* folgend, wurden für die Auswertungen folgende 4 Ausbreitungsklassen verwendet:

- M1: hinderliche Schallausbreitung
- M2: neutrale Schallausbreitung
- M3: förderliche Schallausbreitung
- M4: stark förderliche Schallausbreitung

Diese Ausbreitungsklassen hängen von der Temperaturschichtung und der Windgeschwindigkeitskomponente v in Ausbreitungsrichtung ab. Eine gegebene Meteosituation wird wie folgt in die vier Ausbreitungsklassen aufgeschlüsselt:

Tab. 3.14 Zuordnung von Meteosituationen zu den Ausbreitungsklassen M1 bis M4

	$v < -1$	$-1 < v < 1$	$1 < v < 3$	$3 < v < 6$	$v > 6$
bedeckter Himmel	M1	M2	M3	M3	M4
klarer Himmel, tags	M1	M1	M2	M3	M4
klarer Himmel, nachts	M1	M4	M4	M4	M4

Hinweis: v bezeichnet die auf die Ausbreitungsrichtung (von der Quelle zum Empfänger) projizierte Windgeschwindigkeitskomponente in m/s.

Die Abgrenzung in klar/bedeckt erfolgt je nach Datenverfügbarkeit nach folgenden Kriterien:

Primärkriterien

- Klar nachts: Temperaturdifferenz $T(2\text{ m}) - T(0.05\text{ m}) > 1.5^\circ\text{C}$
- Klar tags: Globalstrahlung $> 200\text{ W/m}^2$

Sekundärkriterien (wenn Primärkriterien nicht zur Verfügung stehen)

- Klar nachts/tags: Temperaturdifferenz (24 h) $T_{\max}(2\text{ m}) - T_{\min}(2\text{ m}) > 10^\circ\text{C}$ oder
- Klar nachts/tags: Bewölkungsgrad $< 4/8$

3.3.3 Auftretenshäufigkeit der Ausbreitungsklassen

In den Abb. 3.15 bis Abb. 3.20 ist für jeden Standort die Auftretenshäufigkeit der unter Kapitel 3.3.2 definierten Ausbreitungsklassen (sogenannte Meteoklassen) während den entsprechenden Messperioden dargestellt.

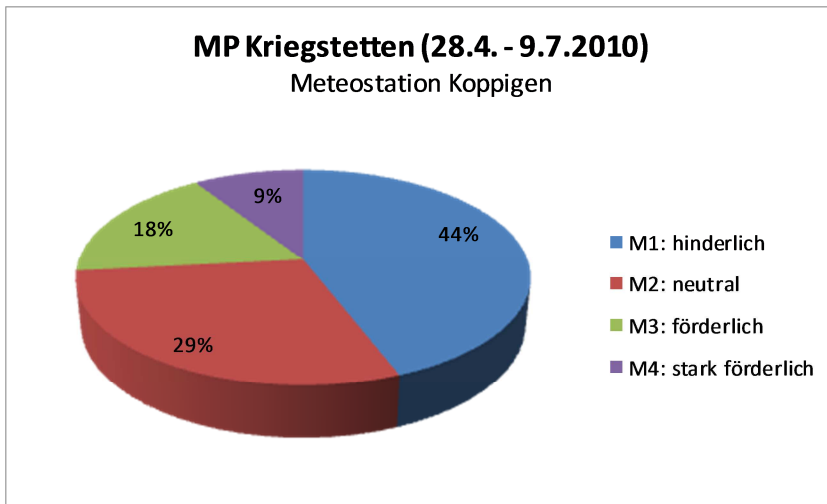


Abb. 3.15 Auftretenshäufigkeit der Meteoklassen für Kriegstetten. Da die Meteostation Koppigen nur 3 Angaben pro 24 h (6, 12 und 18 Uhr) liefert, konnten hier nur 195 Untersuchungseinheiten ausgewertet werden.

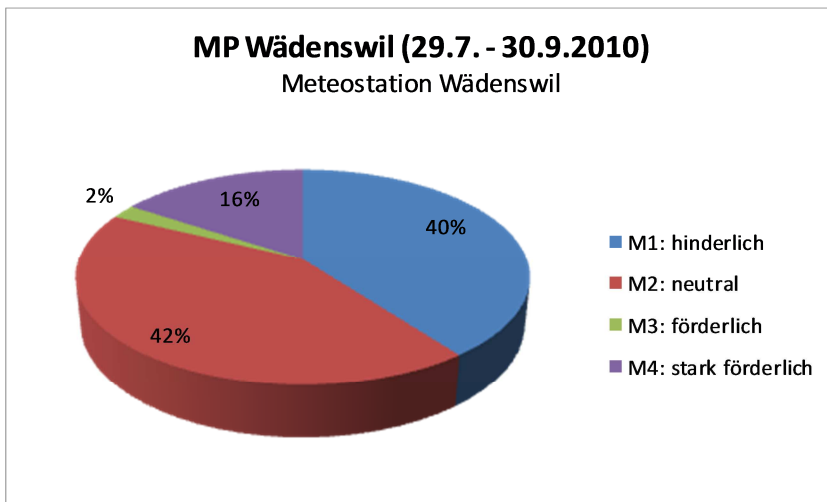


Abb. 3.16 Auftretenshäufigkeit der Meteoklassen für Wädenswil (Studentotal 1'584).

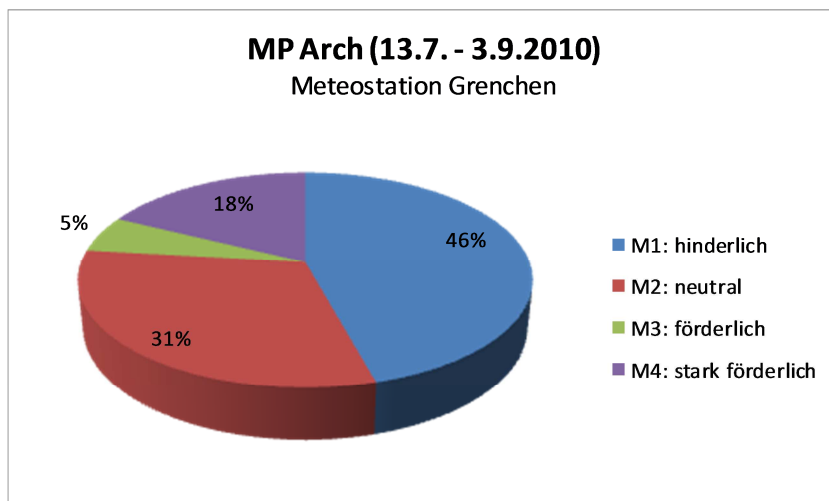


Abb. 3.17 Auftretenshäufigkeit der Meteoklassen für Arch (Stundentotal 1'312).

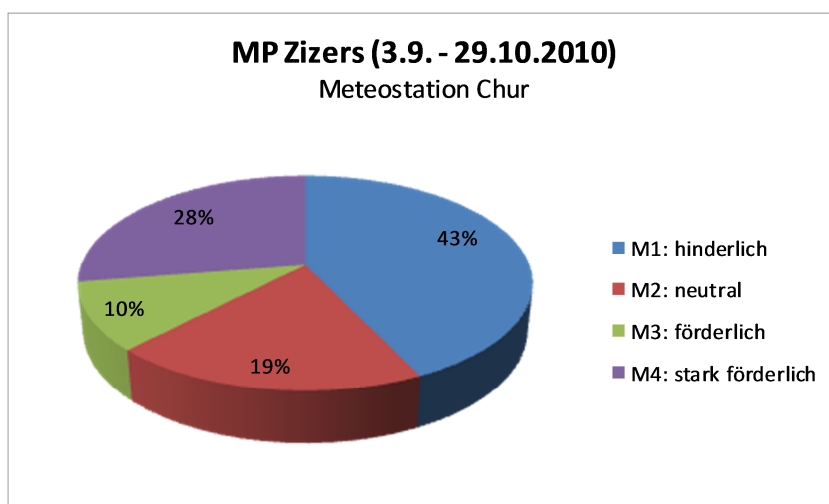


Abb. 3.18 Auftretenshäufigkeit der Meteoklassen für Zizers (Stundentotal 1'368).

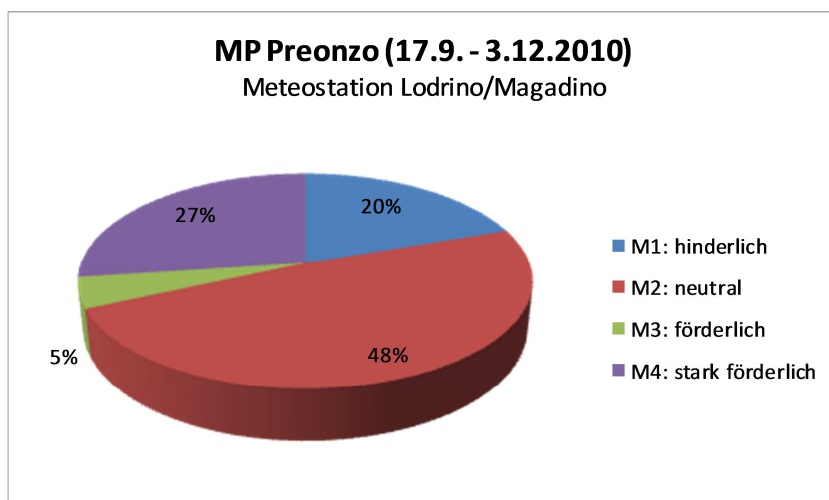


Abb. 3.19 Auftretenshäufigkeit der Meteoklassen für Preonzo (Stundentotal 1'800).

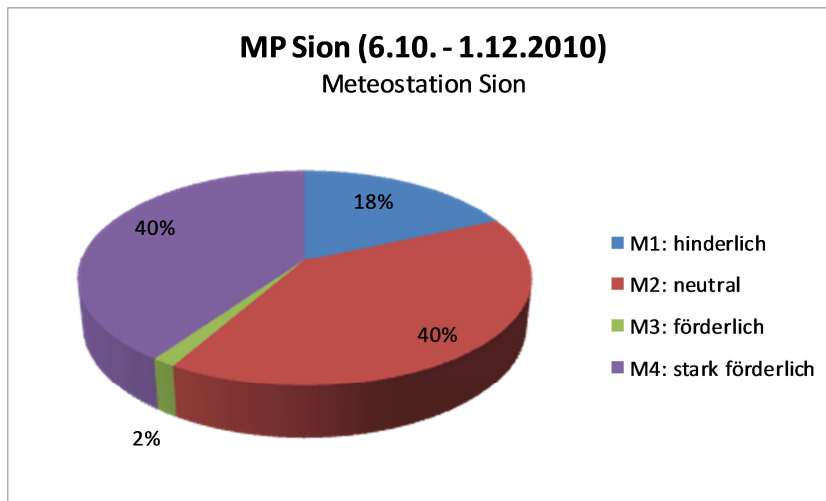


Abb. 3.20 Auftretenshäufigkeit der Meteoklassen für Sion (Studentotal 1'367).

Fazit

Die Messorte lassen sich grob in 2 Klassen einteilen: Standorte im Mittelland (Kriegstetten, Wädenswil und Arch) und im Alpenraum (Zizers, Preonzo und Sion). An den Alpenstandorten lagen signifikant höhere Anteile von förderlichen bzw. stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen vor (32 – 42 %) als an Standorte im Mittelland. Umgekehrt verhielt es sich mit den hinderlichen Schallausbreitungsbedingungen, die im Mittelland mit 40 – 46 % deutlich grösser waren als im Alpenraum. Lediglich der Standort Zizers weist mit 43 % hinderlicher Schallausbreitung ähnlich hohe Anteile auf wie Standorte im Mittelland.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen (vgl. Kapitel 4.3) wird geprüft, ob es sich bei den festgestellten Häufigkeitsverteilungen um repräsentative Jahreswerte handelt.

3.4 Verkehrszählerdaten

Anhand der Verkehrszählerdaten (Einzelereignisliste) wurde für jede Messstunde mittels SonRoad rechnerisch ein Emissionswert Leq_{tot} bestimmt. Durch Differenzbildung des gemessenen Immissionspegels und des entsprechenden Emissionspegels kann auf die Ausbreitungsdämpfung geschlossen werden.

Der Emissionswert Leq_{tot} wird als 1 m-Freifeldemissionspegel verstanden. Dies entspricht dem Mittelungspegel in 1 m Abstand unter Freifeldbedingungen, d.h. ohne Einfluss der Strasse als Reflektor, wenn der ganze Verkehr auf eine Fahrspur konzentriert würde. Die Spuraufteilung des Verkehrs bleibt unberücksichtigt, da hier nur in grösseren Abständen liegende Empfänger interessieren.

In den Emissionswert Leq_{tot} wurde jedes in der entsprechenden Stunde vorbeigefahrene Fahrzeug gemäss seiner Kategorie und individuellen Geschwindigkeit gemäss folgendem Formalismus eingerechnet:

$$Leq_{tot} = 10 \cdot \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1 Leq_i} \right)$$

mit

i : Index des Fahrzeuges

N : Anzahl Fahrzeuge in der betrachteten Stunde

$$Leq_i = L_{w,A,i} - 28.5 - 10 \cdot \log(v_i) - 7.5$$

wobei

$$L_{W,A,i} = 28.5 + 10 \cdot \log \left(10^{0.1(a+35 \cdot \log(v_i))} + 10^{0.1(b+10 \cdot \log(1+(v_i/c)^{3.5}))} \right)$$

mit

$L_{W,A,i}$ A-bewerteter Schallleistungspegel des Fahrzeuges i in [dB(A)]

v_i Geschwindigkeit des Vorbeifahrtereignisses i in [km/h]

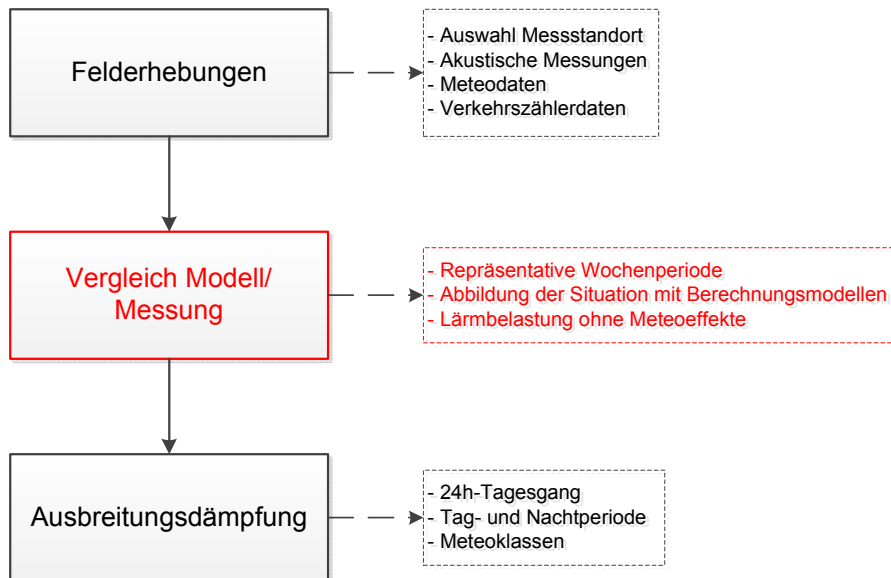
Die Koeffizienten a , b und c sind für die Kategorie N1 "Personenwagen" (umfassend die SWISS10 Kategorien 3, 4, 5 und 6): $a = 7.3$, $b = 60.5$, $c = 44.0$

Für die Kategorie N2 "schwere Güterfahrzeuge" (umfassend die SWISS10 Kategorien 1, 2, 7, 8, 9 und 10) sind die Werte: $a = 16.3$, $b = 74.7$, $c = 56.0$

Die Aufgliederung der SWISS10 Kategorien ist im Kapitel 4.4.2 dargestellt.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Vergleich Modell / Messung



Für den Vergleich zwischen Modell und Messung wurde die örtliche Situation (Mikrofonstandort, Gelände, Lage der Nationalstrasse) mittels der Software CadnaA (Version 4.2.140) nachgebildet und eine mittlere rechnerische Ausbreitungsdämpfung nach dem Berechnungsmodell StL-86+ bestimmt. In Verbindung mit den Freifeldemissionspegeln gemäss Kapitel 3.4 erhält man so die theoretische Lärmbelastung am Messort pro Stunde (rote Kurve in den nachfolgenden Diagrammen). Zum Vergleich sind die gemessenen, von Störgeräuschen bereinigten Mittelungspegel darübergerlegt (blaue Kurven).

Der Vergleich soll aufzeigen, wie gut die Übereinstimmung ist zwischen heute üblichen Lärmprognosemodellen ohne Berücksichtigung von Meteeffekten und tatsächlichen Messungen (mit meteobedingten Effekten). Für jeden Standort wurde jeweils eine repräsentative Wochenperiode ausgewählt, welche in den nachfolgenden Abb. 4.21 bis Abb. 4.26 dargestellt sind.

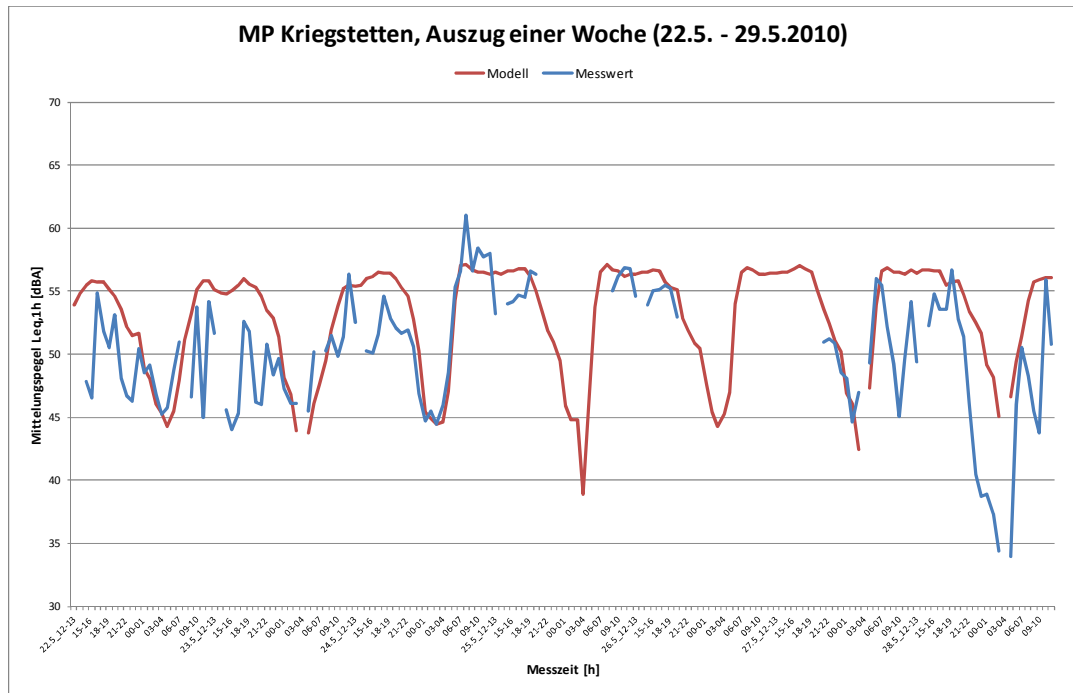


Abb. 4.21 Wochenganglinie des Mittelungspegels für den Standort Kriegstetten. Im Modell ist die tägliche Verkehrsspitze am Morgen und Abend gut zu erkennen. Aufgrund der Meteostation Koppigen (Datenlieferung: 3 Angaben pro 24 Stunden) entfallen bei regennasser Fahrbahn viele Messwerte, was zu einem uneinheitlichen Bild führt.

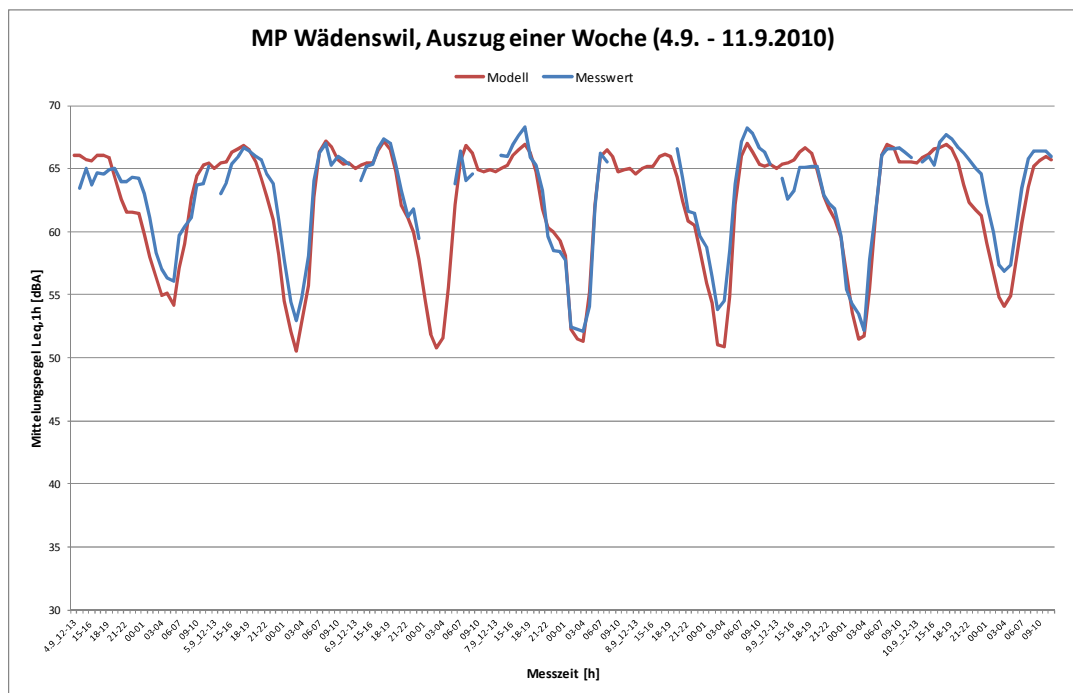


Abb. 4.22 Wochenganglinie des Mittelungspegels für den Standort Wädenswil. Der Vergleich zeigt, dass während der Nacht und teilweise auch am Tag die Messwerte höher sind als im Modell prognostiziert. Insgesamt kann man aber von einer sehr guten Übereinstimmung zwischen Modell und Messung sprechen.

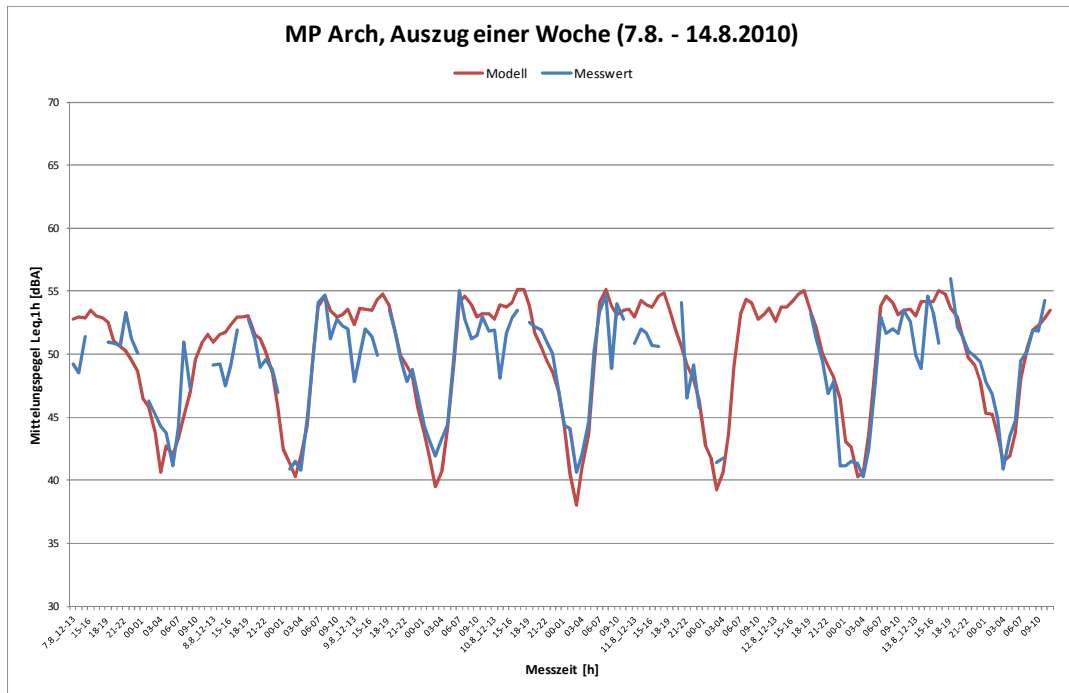


Abb. 4.23 Wochenganglinie des Mittelungspegels für den Standort Arch. In der Tendenz ist die Dynamik der blauen Kurve (Messwert) etwas geringer als die der roten Kurve (Modell). Insgesamt betrachtet ist die Übereinstimmung zwischen Modell und Messwerte gut.

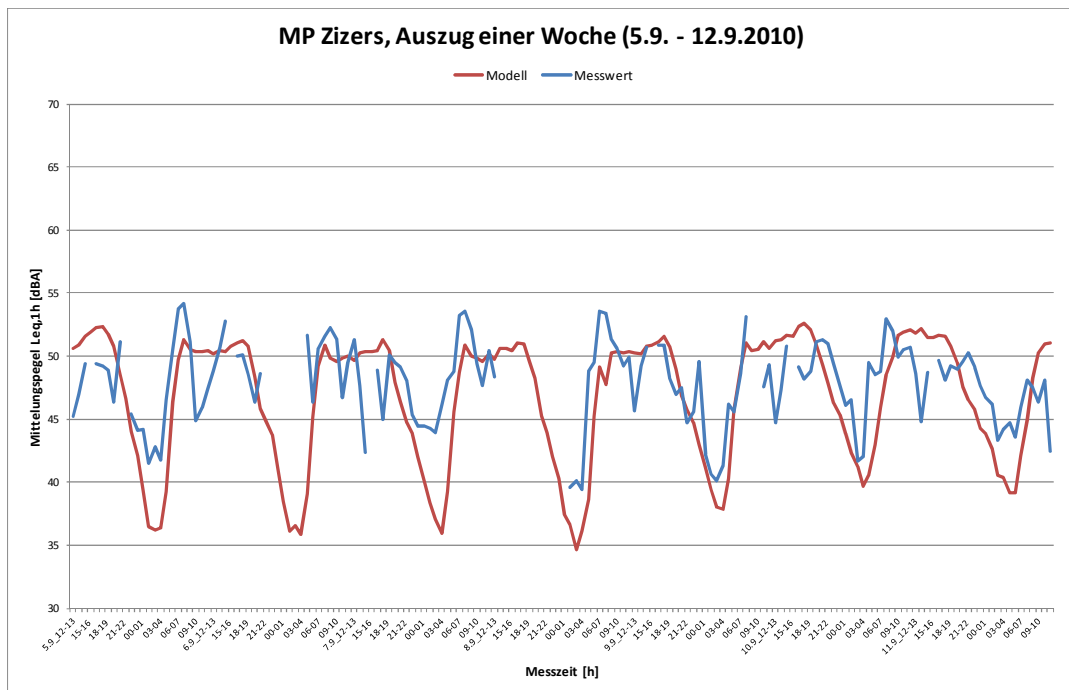


Abb. 4.24 Wochenganglinie des Mittelungspegels für den Standort Zizers. Die blaue Kurve ist gegenüber der roten Kurven nach oben verschoben, d.h. die Messwerte sind sowohl am Tag als auch in der Nacht höher als im Modell vorhergesagt. Insgesamt ist das Modell tendenziell eher zu optimistisch und unterschätzt die Lärmbelastung.

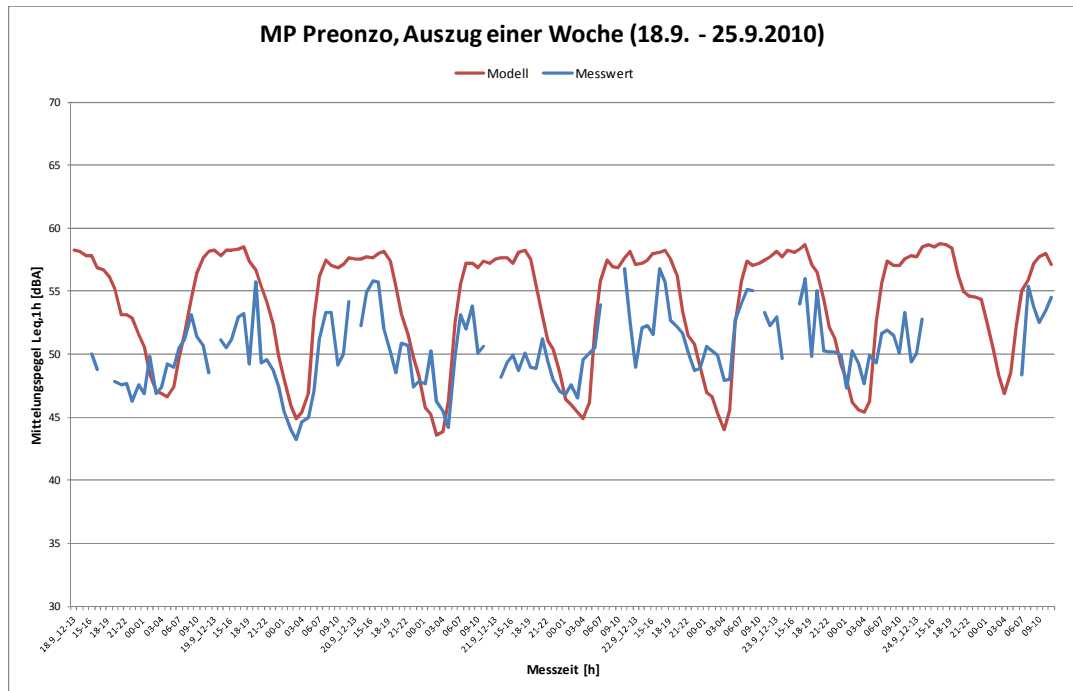


Abb. 4.25 Wochenganglinie des Mittelungspegels für den Standort Preonzo. Die Dynamik der Messwerte ist gegenüber dem Modell deutlich geringer. Während der Nacht sind die Messwerte häufig höher, am Tag häufig niedriger als vom Modell prognostiziert. Die Ursache ist in der Teilabschirmung der Nationalstrasse begründet.

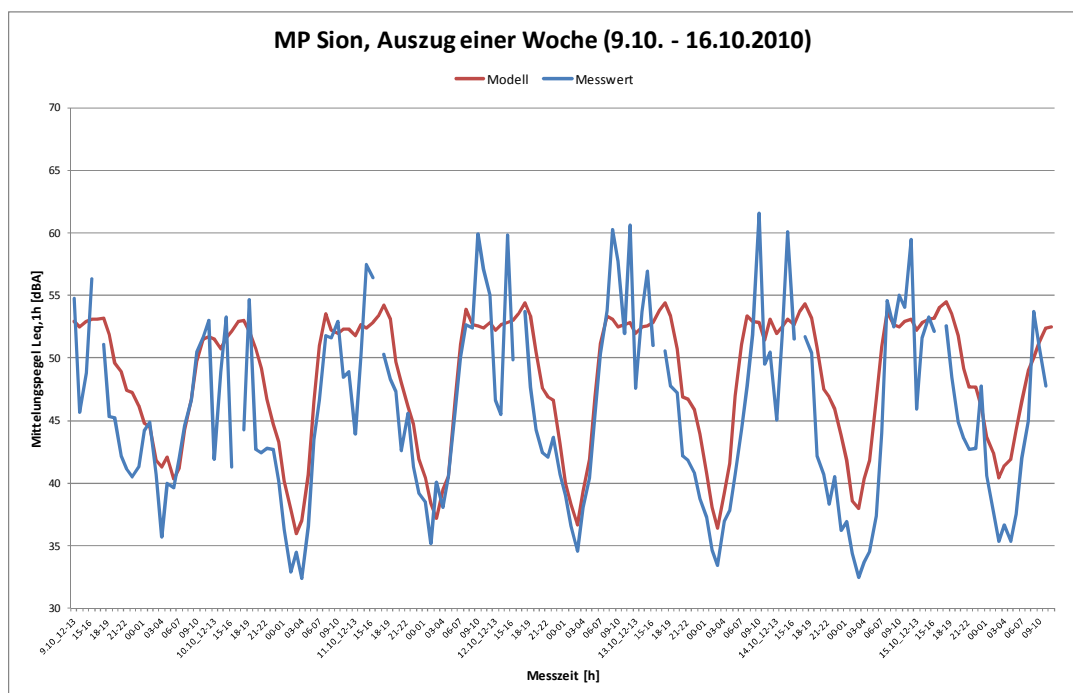


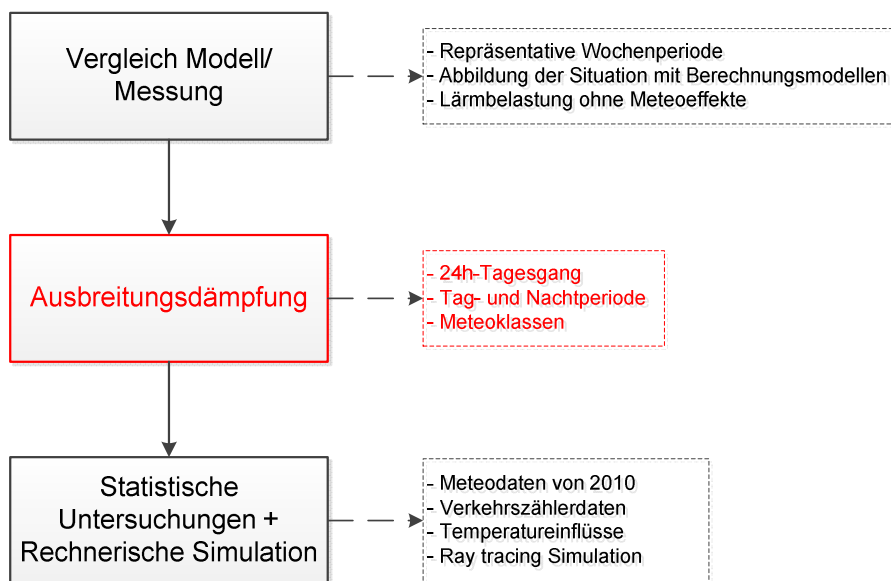
Abb. 4.26 Wochenganglinie des Mittelungspegels für den Standort Sion. Dies ist der einzige Standort, an welchem die Messwerte am Tag höher und in der Nacht tiefer sind als vom Modell vorhergesagt. Eine schlüssige Erklärung für die grösseren Abweichungen zwischen Messung und Berechnungsmodell konnte nicht gefunden werden.

Fazit

Die Wochenganglinien der Standorte zeigen zum Teil eine gute Übereinstimmung aber auch deutliche Abweichungen zwischen dem Berechnungsmodell und den Messwerten. Dies ist einerseits auf die kurze Vergleichsperiode von einer Woche zurückzuführen, andererseits sind im Lärmmodell keine meteobedingten Effekte berücksichtigt. In der Tendenz liegen die Messwerte während der Nacht höher als im Modell prognostiziert. Dies bedeutet, dass Lärmprognosen ohne Berücksichtigung von Meteeffekten, die Nachtsituation unterschätzen oder aber die Tagsituation überbewerten.

Bezüglich der Dauer und Auswahl der Messperiode und des Messzeitraumes wird auf die Auswertungen in Kapitel 4.3.2 verwiesen.

4.2 Ausbreitungsdämpfung



4.2.1 24-Stunden-Tagesgang

Die Auswertung der Ausbreitungsdämpfung im 24-Stunden-Tagesverlauf soll mögliche Unterschiede der Dämpfung während einzelner Tages- oder Nachtperioden aufzeigen.

Dazu werden mittels Differenzbildung aus den Freifeldemissionspegeln gemäss Kapitel 3.4 und den stündlichen Mittelungspegeln (vgl. Kapitel 0) die Ausbreitungsdämpfungen pro Stunde bestimmt und im 24-Stunden-Verlauf grafisch aufgetragen.

In den Abb. 4.27 bis Abb. 4.32 sind für jeden Messstandort die stündlichen Ausbreitungsdämpfungen inkl. des arithmetischen Mittels (rote Linie) dargestellt.

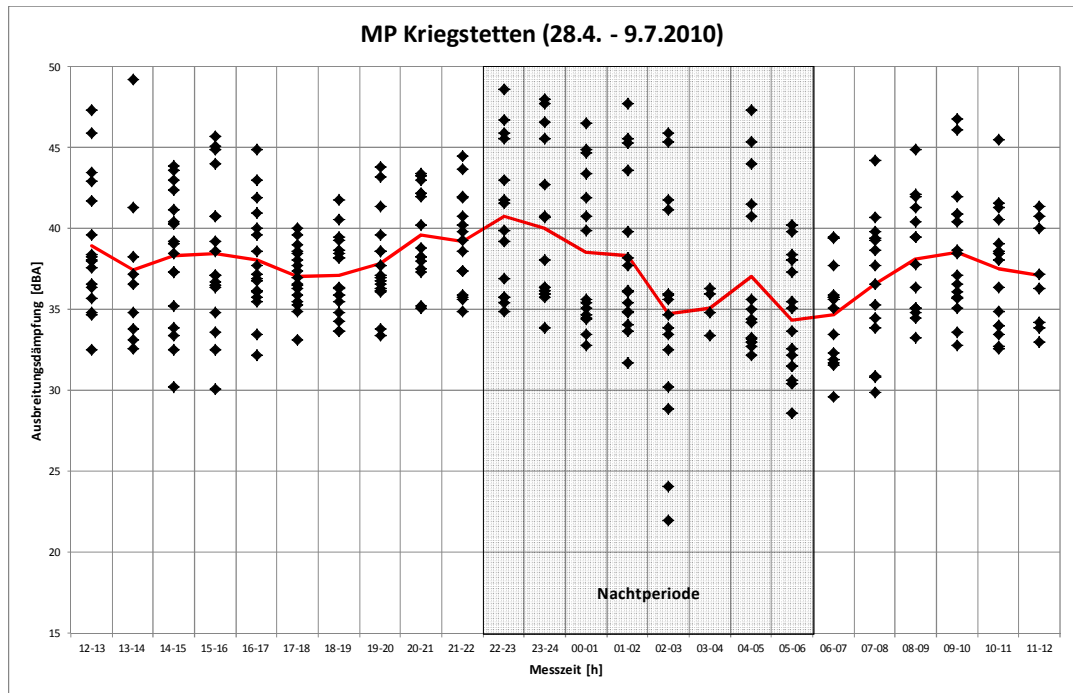


Abb. 4.27 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde für den Standort Kriegstetten. Aufgrund des Ausfalls des Verkehrszählers ab 30. Mai 2010 liegt eine kleinere Anzahl berechneter Ausbreitungsdämpfungen vor als bei den anderen 5 Standorten. Die statistische Sicherheit für den Mittelwert (rote Linie) ist entsprechend tiefer.

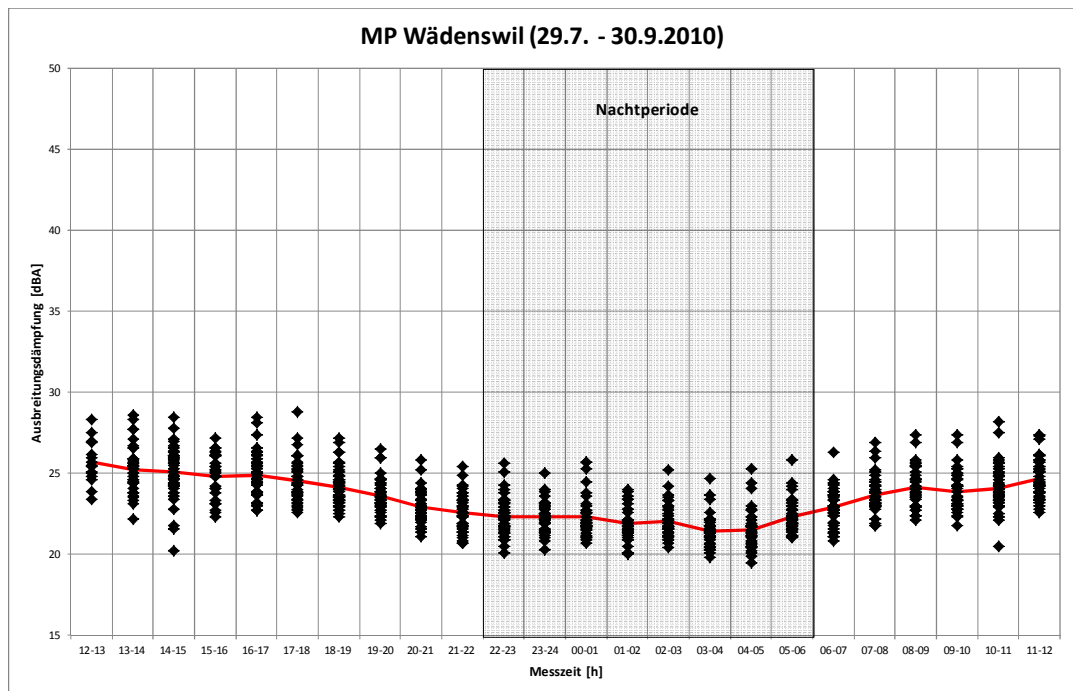


Abb. 4.28 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde für den Standort Wädenswil. Die Streuung der Dämpfungen pro Stunde ist in Wädenswil am geringsten (Mittelwert der stündlichen Streuung: 5.4 dB). Im Mittel (rote Linie) ist die Ausbreitungsdämpfung während der Nacht tiefer als am Tag.

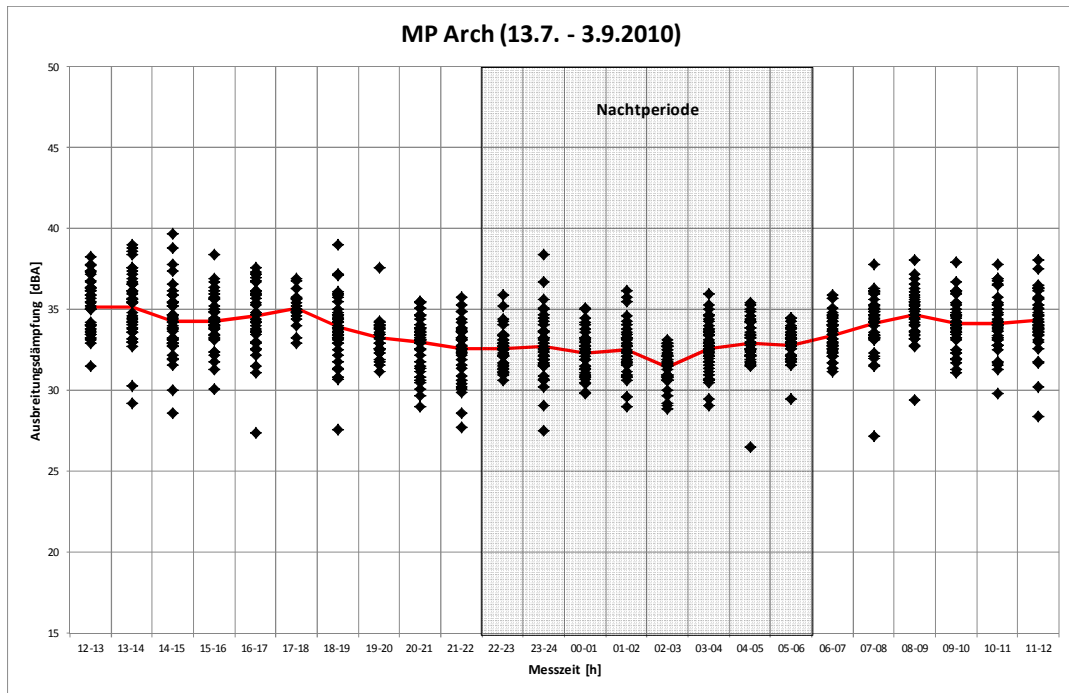


Abb. 4.29 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde für den Standort Arch. Einzelne Stunden liegen etwas ausserhalb des insgesamt schmalen Bandes von stündlichen Ausbreitungsdämpfungen (Mittelwert der stündlichen Streuung: 7.7 dB).

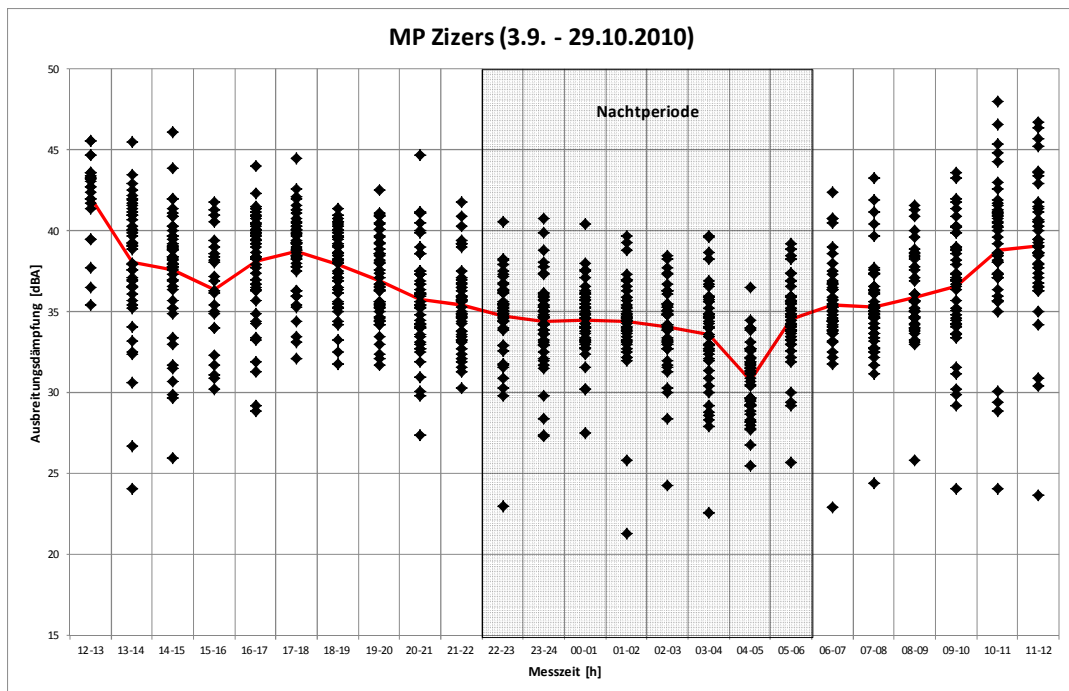


Abb. 4.30 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde für den Standort Zizers. Der Streubereich der stündlichen Dämpfungen ist in Zizers mit 15.8 dB deutlich grösser als beispielsweise in Arch (7.7 dB) oder Wädenswil (5.4 dB), was auf die grosse Distanz von 650 m zwischen Messpunkt und Nationalstrasse zurückzuführen ist. Zudem wurden einige sehr tiefe Werte für die Ausbreitungsdämpfung registriert.

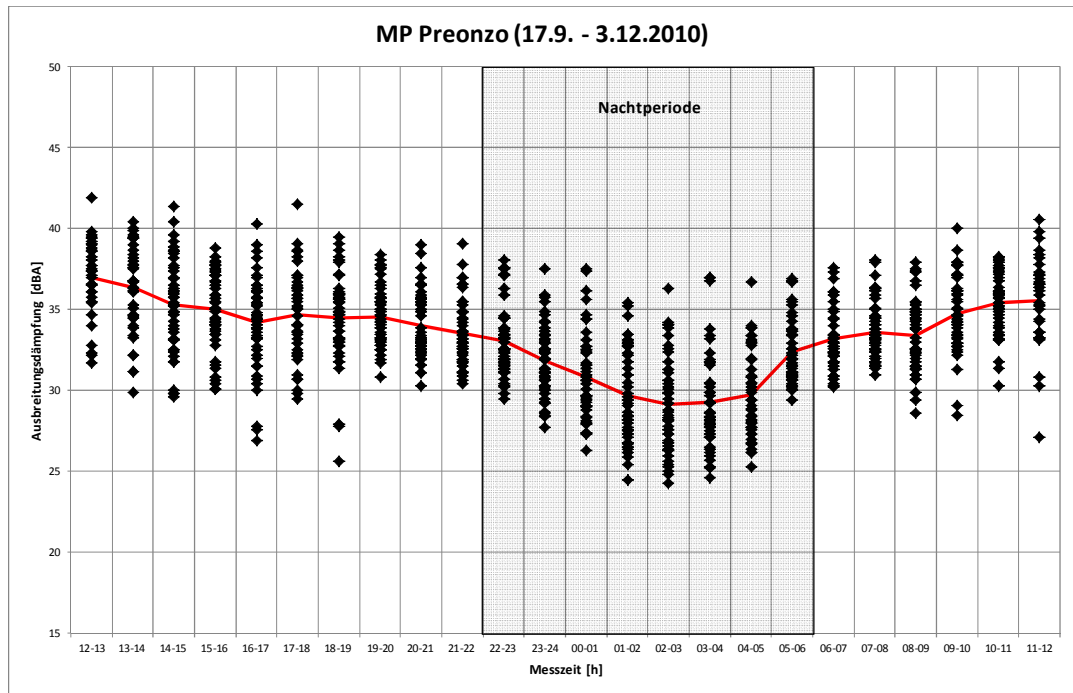


Abb. 4.31 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde für den Standort Preonzo. Die Streuung der stündlichen Dämpfungen ist in Preonzo mit 10.3 dB ebenfalls grösser als in Wädenswil (5.4 dB). Die Mittelwertkurve weist in Preonzo den grössten Rückgang der Dämpfung während der Nachtperiode auf.

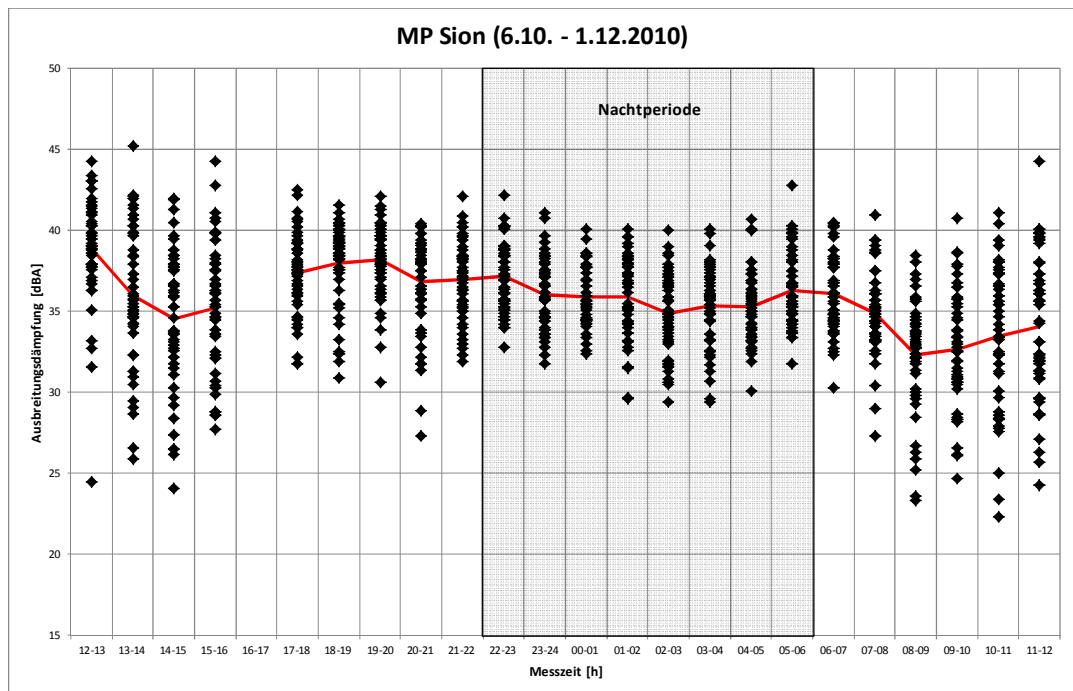


Abb. 4.32 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde für den Standort Sion. Die Lücke im Diagramm für die Stunde zwischen 16 und 17 Uhr ist auf die tägliche Datenspeicherung zurückzuführen. Die Streuung der stündlichen Dämpfungen liegt im Mittel bei 12.7 dB. In Sion ist als einzigem Standort im Mittel (rote Linie) die Ausbreitungsdämpfung während der Nacht nicht so tief wie am Tag. Am Vormittag wurden die kleinsten Dämpfungen ermittelt. Eine schlüssige Erklärung für diesen Effekt konnte nicht gefunden werden.

Fazit

Die gemittelten Streuungen der stündlichen Ausbreitungsdämpfungen variieren je nach Standort stark: von 5.4 dB in Wädenswil bis 15.8 dB in Zizers. Hier ist sicherlich die Distanz zur Nationalstrasse ein wichtiges Kriterium, andererseits sind die Streuungen an den Messorten im Alpenraum (Zizers, Preonzo, Sion) grösser als im Mittelland (Kriegstetten, Wädenswil, Arch).

Ohne Temperaturabhängigkeit der Quelle und ohne Veränderung der Ausbreitungsbedingungen müsste die rote Kurve waagrecht verlaufen, da der Mikrofonstandort während den Messungen nicht verändert wurde und die Verkehrsbedingungen (Fahrzeuganzahl, Schwerlastanteil, Geschwindigkeit) mit Hilfe des Emissionsmodells aus SonRoad abgebildet wurden. Die Messungen zeigen jedoch, dass an 5 der 6 Standorte die nächtlichen Ausbreitungsdämpfungen kleiner sind als am Tag. Es wird vermutet, dass die Abweichungen u.a. von Meteeffekten herrühren.

4.2.2 Tag- und Nachtperiode

Nachdem im vorherigen Kapitel 4.2.1 für die Ausbreitungsdämpfung eine zeitliche Abhängigkeit (Tag-/Nachtperiode) festgestellt wurde, soll dies im vorliegenden Kapitel weiter erhärtet werden.

Dazu werden die gemäss Kapitel 4.2.1 ermittelten stündlichen Ausbreitungsdämpfungen nach der Tag- (6 – 22 Uhr) und Nachtperiode (22 – 6 Uhr) aufgeteilt und grafisch dargestellt. In Abb. 4.33 sind die Ausbreitungsdämpfungen für jeden Standort während der Tagperiode, in Abb. 4.34 für die Nachtperiode abgebildet.

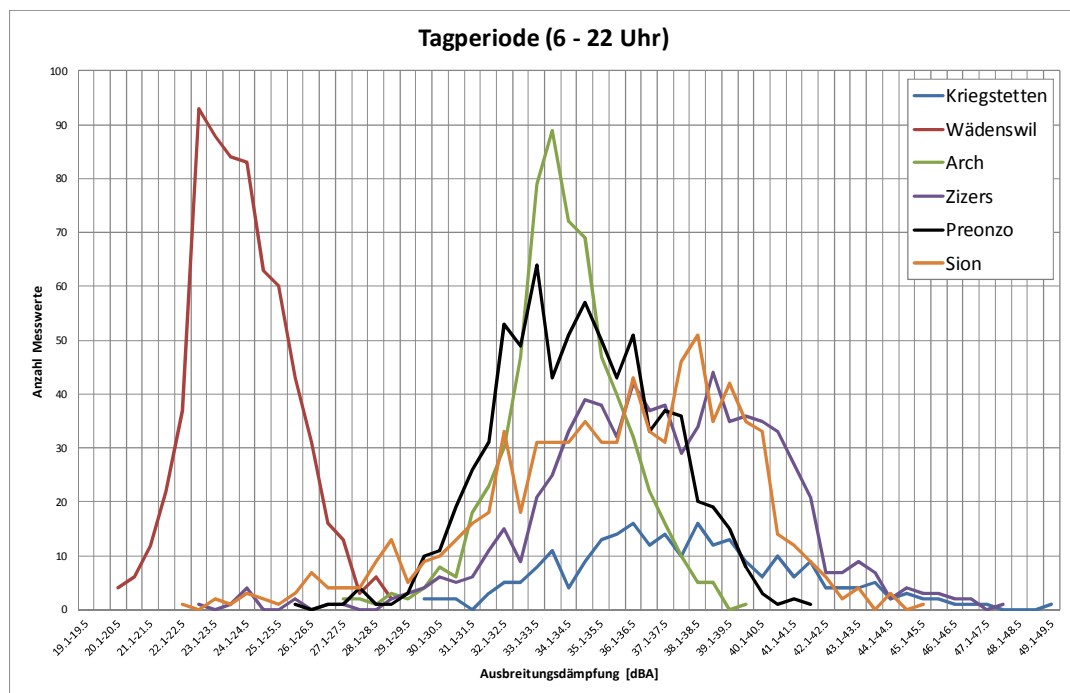


Abb. 4.33 Histogramm der stündlichen Ausbreitungsdämpfung für die Tagperiode. Auf der Abszisse ist die Ausbreitungsdämpfung in 0.5 dBA-Schritten aufgetragen.

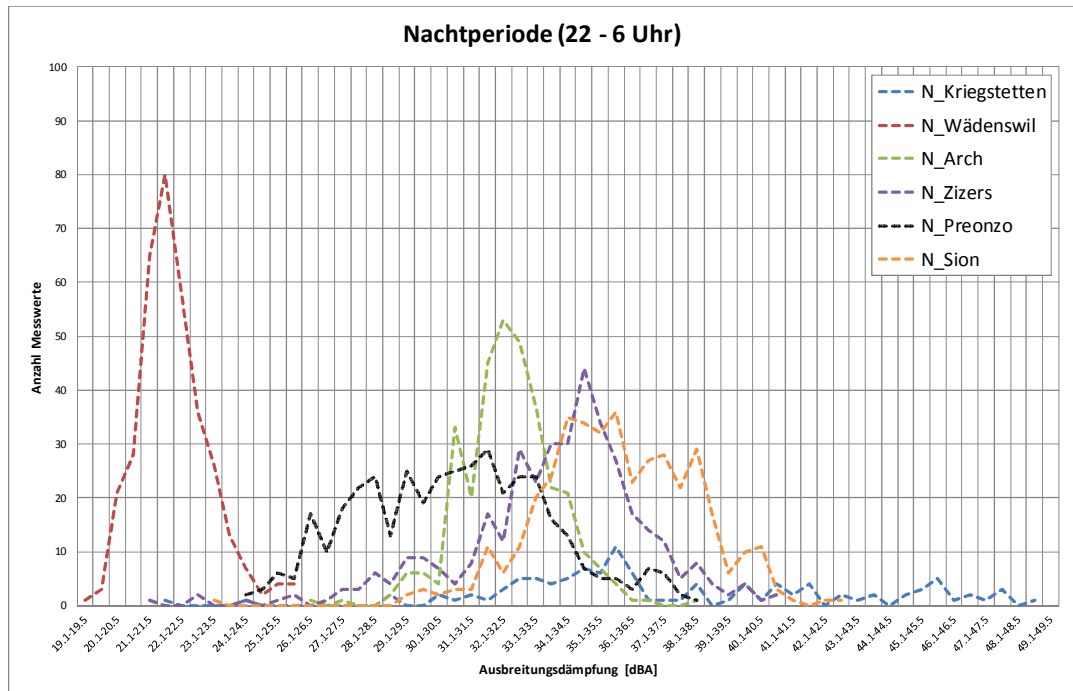


Abb. 4.34 Histogramm der stündlichen Ausbreitungsdämpfung für die Nachtperiode.

Die beiden Grafiken in Abb. 4.33 und Abb. 4.34 implizieren auch Aussagen zur Belastbarkeit der ermittelten Ausbreitungsdämpfungen: Je höher und schmaler die Kurven sind, desto kleiner und besser abgesichert ist die Streubreite der Dämpfungen, d.h. die Qualität der Ergebnisse von Wädenswil und Arch sind sehr gut, das von Kriegstetten hat mehr informativen Charakter.

Anhand der beiden Grafiken (Abb. 4.33 und Abb. 4.34) lässt sich belegen, dass die Ausbreitungsdämpfungen der Tag- und Nachtperiode unterschiedlich gross sind. Zur Quantifizierung der Unterschiede wurde mit Hilfe einer energetischen Mittelwertbildung (Gewichtung über die Anzahl Messwerte) für jeden Standort jeweils eine Ausbreitungsdämpfung pro Tag- und Nachtperiode bestimmt.

Die Mittelwertbildung basiert auf folgenden Messwerten:

- Kriegstetten: 241 (Tag) / 108 (Nacht)
- Wädenswil: 666 (Tag) / 348 (Nacht)
- Arch: 633 (Tag) / 324 (Nacht)
- Zizers: 717 (Tag) / 376 (Nacht)
- Preonzo: 746 (Tag) / 402 (Nacht)
- Sion: 766 (Tag) / 402 (Nacht)

In Abb. 4.35 sind die Ergebnisse für die 6 Standorte dargestellt.

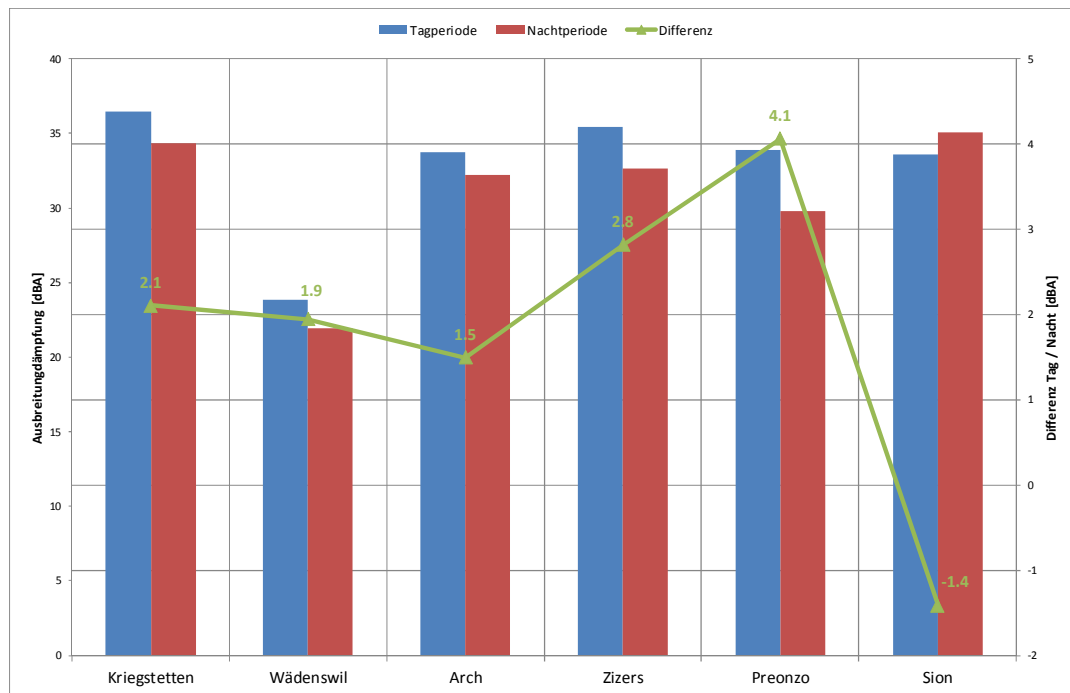


Abb. 4.35 Durchschnittliche Ausbreitungsdämpfung pro Tag- und Nachtperiode für die 6 Standorte. Positive Werte der Differenz weisen auf eine grössere Ausbreitungsdämpfung am Tag als gegenüber der Nacht hin.

Fazit

Die grösste Differenz zwischen der Ausbreitungsdämpfung am Tag und in der Nacht trat mit 4.1 dBA am Standort Preonzo auf. Durch die teilweise Abschirmung der Nationalstrasse verstärkt sich der meteorobedingte Tag/Nachtunterschied. Für Sion wurde in der Nacht eine grössere Ausbreitungsdämpfung als am Tag festgestellt (vgl. auch Abb. 4.32, Dämpfung im Tagesverlauf). Eine schlüssige Erklärung für das umgekehrte Verhalten konnte nicht gefunden werden. Mögliche Gründe könnten im hohen Störgeräuschpotenzial (nahe Obstplantage), einer Aspektwinkelreduktion am Messort und der generellen Windsituation im Rhonetal zu suchen sein. An den restlichen Standorten lagen die Tag/Nachtdifferenzen zwischen 1.5 dBA (Arch) und 2.8 dBA (Zizers).

4.2.3 Meteoklassen

Im Kapitel 4.2.2 wurden die Unterschiede der Ausbreitungsdämpfung zwischen Tag und Nacht beziffert. Im Folgenden wird eine Quantifizierung der Ausbreitungsdämpfungen nach den Meteoklassen vorgenommen.

Die gemäss Kapitel 4.2.1 ermittelten stündlichen Ausbreitungsdämpfungen werden den 4 Meteoklassen (hinderliche, neutrale, förderliche und stark förderliche Schallausbreitung) zugeordnet. In Abb. 4.36 ist dies am Beispiel Wädenswil in einem Histogramm dargestellt. Eine weitere Darstellung der stündlichen Ausbreitungsdämpfungen im 24-Stunden-Tagesverlauf für alle Standorte findet sich im Anhang IV.

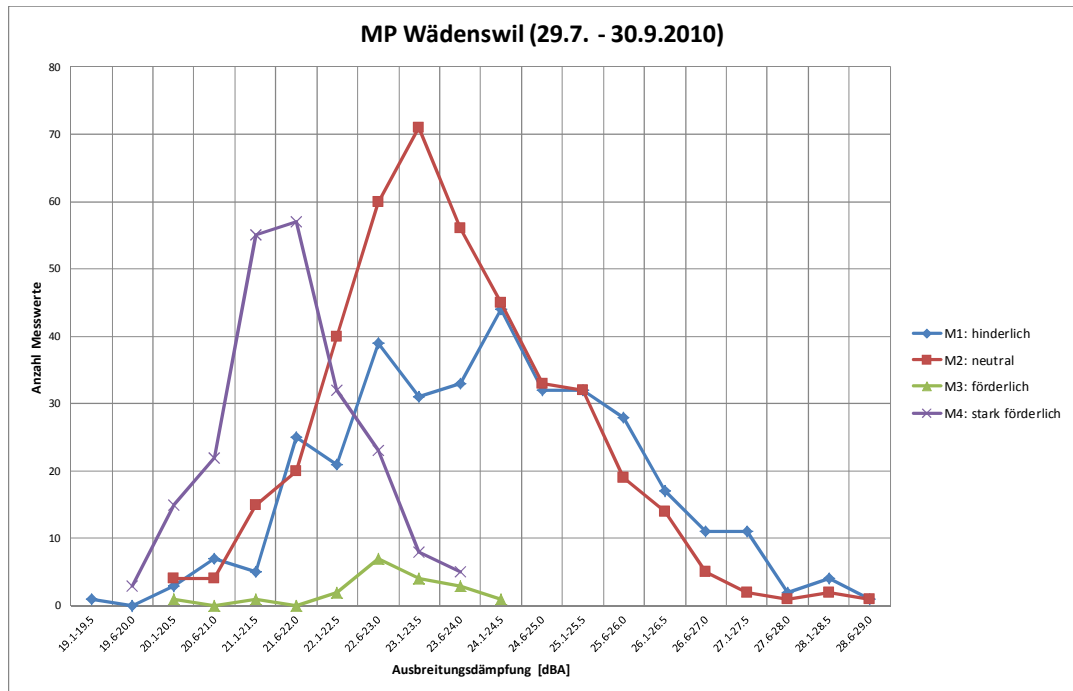


Abb. 4.36 Histogramm der Ausbreitungsdämpfung aufgeschlüsselt nach den 4 Meteoklassen für den Standort Wädenswil. Wie erwartet nimmt die Dämpfung von hinderlichen Schallausbreitungsbedingungen zu stark förderlichen Bedingungen ab, d.h. bei stark förderlichen Bedingungen ist der Schallpegel am Beurteilungspunkt am höchsten.

Durch energetische Mittelwertbildung (Gewichtung über die Anzahl Messwerte) wurde für jeden Standort jeweils eine Ausbreitungsdämpfung pro Meteoklasse gebildet und in Abb. 4.37 gegenüber gestellt.

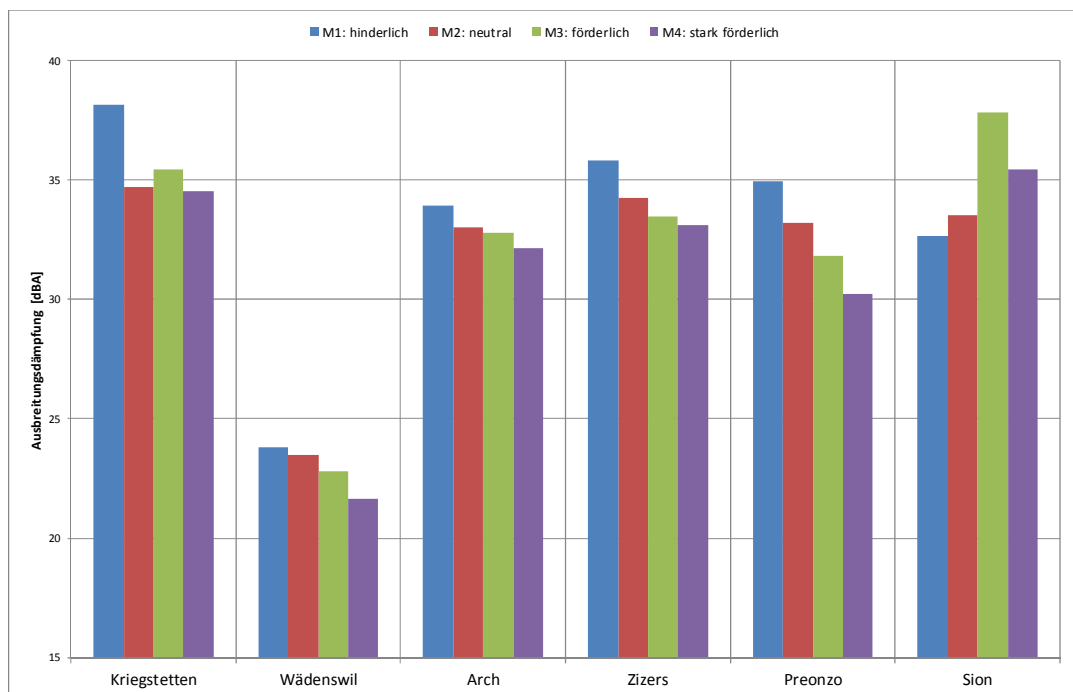


Abb. 4.37 Durchschnittliche Ausbreitungsdämpfung pro Meteoklasse für die 6 Standorte.

Tab. 4.38 Ergebnistabelle der Ausbreitungsdämpfungen pro Meteoklasse

Meteoklassen	Kriegstetten	Wädenswil	Arch	Zizers	Preonzo	Sion
M1: hinderlich	38.2	23.8	33.9	35.8	34.9	32.7
M2: neutral	34.7	23.5	33.0	34.2	33.2	33.5
M3: förderlich	35.5	22.8	32.8	33.5	31.8	37.8
M4: stark förderlich	34.6	21.6	32.1	33.1	30.2	35.4

Zur besseren Vergleichbarkeit sind die Ausbreitungsdämpfungen in Bezug zueinander gesetzt worden (vgl. Abb. 4.39).

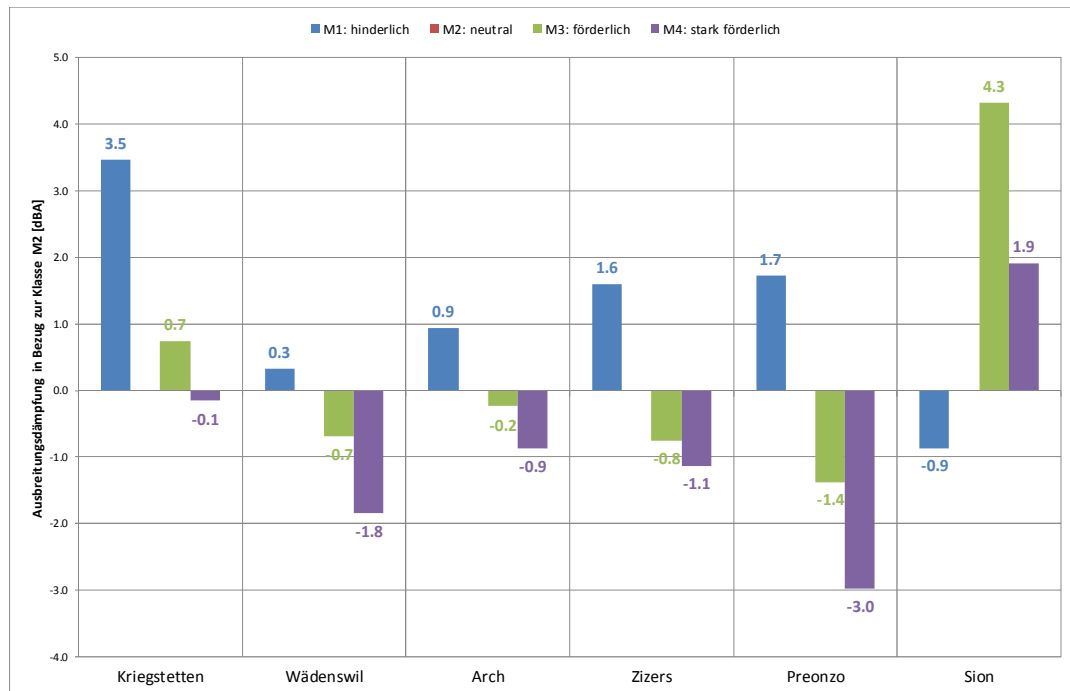


Abb. 4.39 Durchschnittliche Ausbreitungsdämpfung pro Meteoklasse in Bezug zur Klasse M2 (neutral). Für Preonzo bedeutet beispielsweise der Wert -3.0 eine um 3.0 dBA geringere Ausbreitungsdämpfung für stark förderliche Schallausbreitungsbedingungen im Vergleich zu neutralen Bedingungen.

Fazit

An vier der 6 Standorte lässt sich ein Zusammenhang zwischen Ausbreitungsdämpfung und Meteoklasse erkennen: Je "besser" die Schallausbreitungsbedingungen sind, desto kleiner ist die Dämpfung und damit höher die Lärmbelastung am Beurteilungspunkt. In Kriegstetten ist die Abstufung der Dämpfungen aufgrund der kleineren Anzahl von Messwerten nicht so ausgeprägt. Sion weist im Gegensatz zu den restlichen Standorten wiederum ein umgekehrtes Verhalten der Ausbreitungsdämpfung auf. Daher werden die Ergebnisse vom Standort Sion für die weitere Auswertung nicht mehr herangezogen.

Die Auswertungen bestätigen das Ergebnis von Kapitel 4.2.2 (meteobedingte Tag/Nachtdifferenz der Ausbreitungsdämpfung), da besonders "günstige" Schallausbreitungsbedingungen häufig während der Nacht auftreten (vgl. Kapitel 4.3.1).

4.2.4 Zuverlässigkeit der Messdaten

Unsicherheit der Messdaten

Schon bei der Auswahl der Messorte wurde darauf geachtet, dass möglichst keine Störgeräusche wie z.B. SBB-Linien, Industrieanlagen, etc. in der nahen Umgebung vorhanden sind. Aufgrund der Messmethodik einer unüberwachten Langzeitmessung lassen sich Störgeräusche nicht vollständig ausschliessen.

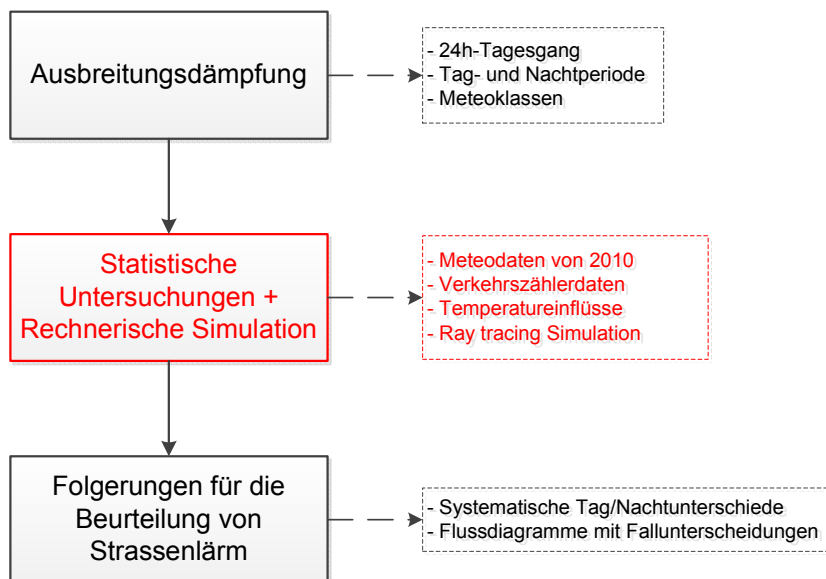
Offensichtliche hohe Peaks im Pegel-Zeit-Verlauf sind bei den Auswertungen gelöscht worden. Allerdings beeinflussen nächtliche Störgeräusche aufgrund des geringeren Strassenlärms die Messungen stärker als am Tag, d.h. der Messpegel nachts ist eher als eine obere Schranke aufzufassen und der wahre Strassenlärmimmissionspegel dürfte etwas tiefer liegen. Eine gewisse Unsicherheit birgt auch die Distanz zwischen Messort und Standort des Verkehrszählers, wo neben den Fahrzeugklassen auch die Geschwindigkeit erhoben wird. Durch den langen Erhebungszeitraum kann davon ausgegangen werden, dass sich zufällige Fehler (Störungen, falsche Geschwindigkeiten) gegenseitig ausgleichen.

Insgesamt liegt die Unsicherheit der Ausbreitungsdämpfung im Bereich der Messgenauigkeit von $\pm 1 - 2$ dBA, wobei die ausgewiesenen Tag/Nacht Meteokorrekturen als untere Schranke interpretiert werden können und die wahren Differenzen noch etwas höher liegen dürften.

Unsicherheit der Meteodaten

Die in den Auswertungen verwendeten Meteodaten sind am jeweiligen Stationsstandort mit hoher Genauigkeit erhoben worden. Allerdings entsprechen die Stationsstandorte nicht exakt den Standorten der Immissionsmessungen. Die Abstände liegen zwischen 1 und 8 km. Als Folge dieses Versatzes ist von einer grösseren Unsicherheit der Windgeschwindigkeit auszugehen. Die am stärksten durch die Windgeschwindigkeit moderierte Ausbreitungssituation ist tagsüber bei klarem Himmel anzutreffen. Die hier im Zentrum stehende nächtliche Inversionslage, die zu stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen führt, ist dagegen nur schwach von der Windgeschwindigkeit abhängig. Insgesamt kann deshalb von einer Unsicherheit der Klassenzuordnung M4 von rund 10 bis 20 % ausgegangen werden.

4.3 Jahresstatistik Meteodaten 2010



4.3.1 Statistische Untersuchungen von Meteo-Schweiz Daten

Anhand von Meteo-Schweiz Daten des ganzen Jahres 2010 wurden statistische Untersuchungen zur Auftretenshäufigkeit von stark förderlichen und hinderlichen Ausbreitungsbedingungen durchgeführt. Dazu wurden jene 54 A-Netz Meteostationen ausgewählt, welche die Lufttemperatur auf 0.05 und 2.0 m, die Globalstrahlung und die Windgeschwindigkeit registrieren. Mit diesen Angaben lässt sich die Klassierung in die Schallausbreitungsklassen M1 bis M4 vornehmen (vgl. Kapitel 3.3.2).

Die Auflistung der Meteo-Schweiz Stationen kann dem Anhang II entnommen werden.

Auftretenshäufigkeiten

Für die nachfolgenden Auswertungen wurden die höher als 1'000 m über Meer gelegenen Meteostationen (siehe Anhang II) nicht miteinbezogen.

Es wurden folgende prozentuale Anteile ausgewertet:

- NF: Anteil der Nachtstunden (22 – 6 Uhr) mit inversionsbedingten, schwachwindigen, stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen. Als Kriterium wurde folgende Bedingung verwendet: Temperaturdifferenz $T(2\text{ m}) - T(0.05\text{ m}) > 1.5^\circ$ und Betrag der Windgeschwindigkeit $\leq 1.0\text{ m/s}$.
- TH: Anteil der Tagstunden (6 – 22 Uhr) mit temperaturschichtungsbedingten (labilen Schichtung), schwachwindigen, hinderlichen Ausbreitungsbedingungen. Als Kriterium wurde folgende Bedingung verwendet: Globalstrahlung $> 200\text{ W/m}^2$ und Betrag der Windgeschwindigkeit $\leq 1.0\text{ m/s}$.

Tab. 4.40 Auftretenshäufigkeiten NF (nachts förderlich) und TH (tags hinderlich) an 36 Meteo-Schweiz A-Netz Stationen unter 1'000 m ü. M.

	Name	Höhe ü.M.	NF [%]	TH [%]
TAE	Aadorf/Tänikon	539	41	7
COM	Acquarossa/Comprovasco	575	11	6
AIG	Aigle	381	34	6
ALT	Altdorf	438	32	6
BAS	Basel/Binningen	316	19	9
BER	Bern/Zollikofen	552	34	7
BEZ	Beznau	325	38	15
BUS	Buchs/Aarau	386	35	11
CHU	Chur	556	25	5
FAH	Fahy	596	16	3
GVE	Genève-Cointrin	420	29	5
GLA	Glarus	516	43	9
GOE	Gösgen	380	31	9
GUT	Güttingen	440	14	6
LEI	Leibstadt	341	37	9
OTL	Locarno/Monti	366	36	7
LUG	Lugano	273	8	15
LUZ	Luzern	454	36	8
MAG	Magadino/Cadenazzo	203	41	11
MUB	Mühleberg	479	48	11
NEU	Neuchâtel	485	19	3
CGI	Nyon/Changins	455	9	4
PAY	Payerne	490	24	9
PIO	Piotta	990	31	7
RUE	Rünenberg	611	20	4
SHA	Schaffhausen	438	4	3
SIO	Sion	482	51	9
STG	St.Gallen	775	22	6
SBO	Stabio	353	42	14
VAD	Vaduz	457	29	6
VIS	Visp	639	39	7
WAE	Wädenswil	485	22	11
WYN	Wynau	422	27	9
REH	Zürich/Affoltern	443	40	10

Tab. 4.40 Auftretenshäufigkeiten NF (nachts förderlich) und TH (tags hinderlich) an 36 Meteo-Schweiz A-Netz Stationen unter 1'000 m ü. M.

	Name	Höhe ü.M.	NF [%]	TH [%]
SMA	Zürich/Fluntern	555	21	7
KLO	Zürich/Kloten	426	15	5

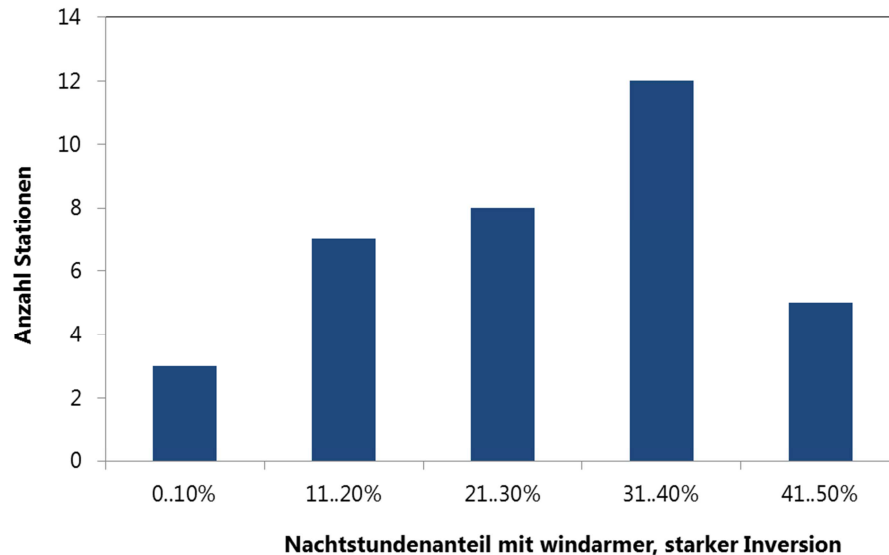


Abb. 4.41 Histogramm über die Meteostationen unter 1'000 m ü. M. zum prozentualen Nachtstundenanteil mit windarmer, starker Inversionslage

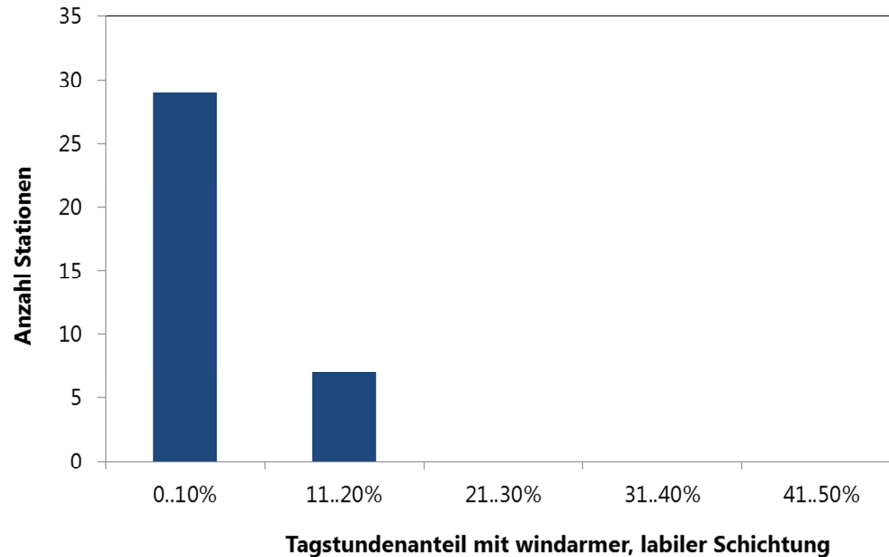


Abb. 4.42 Histogramm über die Meteostationen unter 1'000 m ü. M. zum prozentualen Tagstundenanteil mit windarmer, labiler Temperaturschichtung

Ergebnisdiskussion

Abb. 4.41 zeigt, dass nachts (22 – 6 Uhr) an vielen Standorten während mindestens 30 % der Zeit eine schwachwindige, starke Inversionslage herrscht. Während diesen Zeiten treten richtungsunabhängig stark förderliche Ausbreitungsverhältnisse auf. In der übrigen Zeit können windbedingt ebenfalls stark förderliche Bedingungen auftreten, diese sind dann aber richtungsabhängig. Wenn die Perioden mit windbedingten und inversi-
onsbedingten stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen zusammengezählt werden, ist an vielen Standorten von einer Auftretenshäufigkeit über 50 % auszugehen.

Die Auftretenshäufigkeit von windarmen labilen Schichtungen am Tag (6 – 22 Uhr) ist eher gering (vgl. Abb. 4.42). An den meisten Stationen ist der Zeitanteil unter 10 %. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Tagperiode mit den Morgen- und Abendstunden bedeutende Anteile enthält, während welchen auch bei klarem Himmel die Sonneneinstrahlung zu schwach ist, um die labile Schichtung aufzubauen bzw. zu erhalten. Die Ausbreitungsverhältnisse während den Tagperioden sind also primär durch den Wind geprägt. Da in vielen Fällen auf Grund der wechselnden Windrichtungen zumindest teilweise von einer Ausmittlung der Ausbreitungsverhältnisse auszugehen ist, kann für den Jahresmittelwert tagsüber vereinfachend von neutralen Bedingungen ausgegangen werden.

4.3.2 Vergleich der durchschnittlichen Auftretenshäufigkeit von nächtlichen Inversionen mit zufälligen 2- und 4-Wochen Epochen

Es wurden die Auftretenshäufigkeiten von nächtlichen starken Inversionen für zwei- und vierwöchige Epochen ausgewertet und mit dem Jahresmittel verglichen. Die Auswertung dient der Abschätzung der Zulässigkeit, die jahresdurchschnittlichen Verhältnisse anhand einer zwei oder vierwöchigen Messung zu bestimmen.

Für die Auswertung wurde das Jahr 2010 in 26 zweiwöchige und 13 vierwöchige Intervalle aufgeteilt. Für jedes Intervall wurden die Stunden mit starker nächtlicher Inversion gezählt und mit den Anzahl Nachtstunden verglichen. Die Abb. 4.43 und Abb. 4.44 zeigen die Ergebnisse. Die Abbildungen sind so zu lesen, dass z.B. für die Station TAE ein zweiwöchiges Intervall aufgetreten ist, welches zu über 80 % starke nächtliche Inversionen aufwies, während dem ein anderes Intervall nur gerade 13 % starke nächtliche Inversionen zeigte. Im Jahresmittel liegt der Anteil Nachtstunden mit starker nächtlicher Inversion bei 41 %. Die Extremwerte rücken etwas näher an den Mittelwert, wenn anstelle eines zweiwöchigen Intervalls ein vierwöchiges untersucht wird.

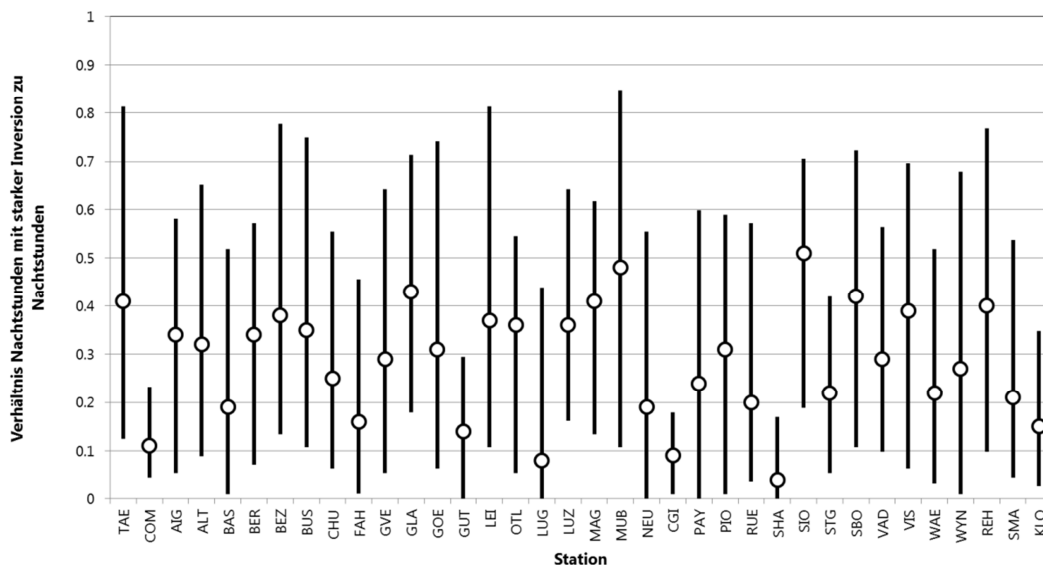


Abb. 4.43 Spannweite der Auftretenshäufigkeiten von starken nächtlichen Inversionen für ein zufällig gewähltes zweiwöchiges Intervall für die untersuchten Meteorostationen (Abkürzungen gemäss Anhang II). Die Kreise markieren den Jahresmittelwert

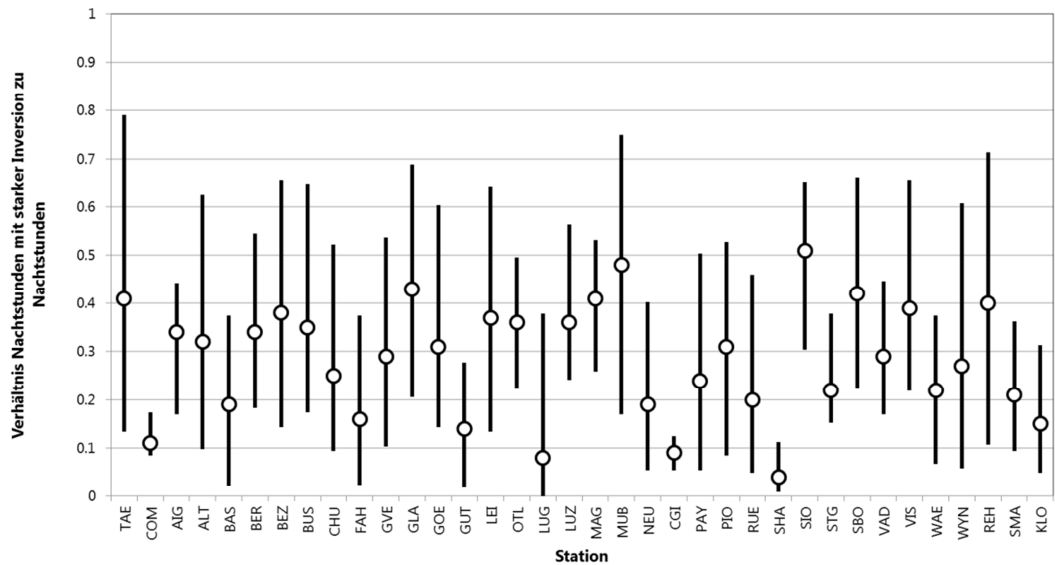


Abb. 4.44 Spanne der Auftretenshäufigkeiten von starken nächtlichen Inversionen für ein zufällig gewähltes vierwöchiges Intervall für die untersuchten Meteostationen (Abkürzungen gemäss Anhang II). Die Kreise markieren den Jahresmittelwert

Abb. 4.45 zeigt für die Auswertungen in vierwöchigen Intervallen den saisonalen Verlauf der Auftretenshäufigkeiten starker nächtlicher Inversionen an allen untersuchten Stationen. Es zeigt sich kein durchgehendes einheitliches Bild. Im Grossen und Ganzen stellen sich aber drei Peaks bei den Nummern 4, 7 und 10 ein. Dies entspricht den Zeiträumen April, Juni- Juli und September-Oktober. Diese Perioden haben im Jahre 2010 die höchsten Inversionshäufigkeiten in der Nacht gezeigt.

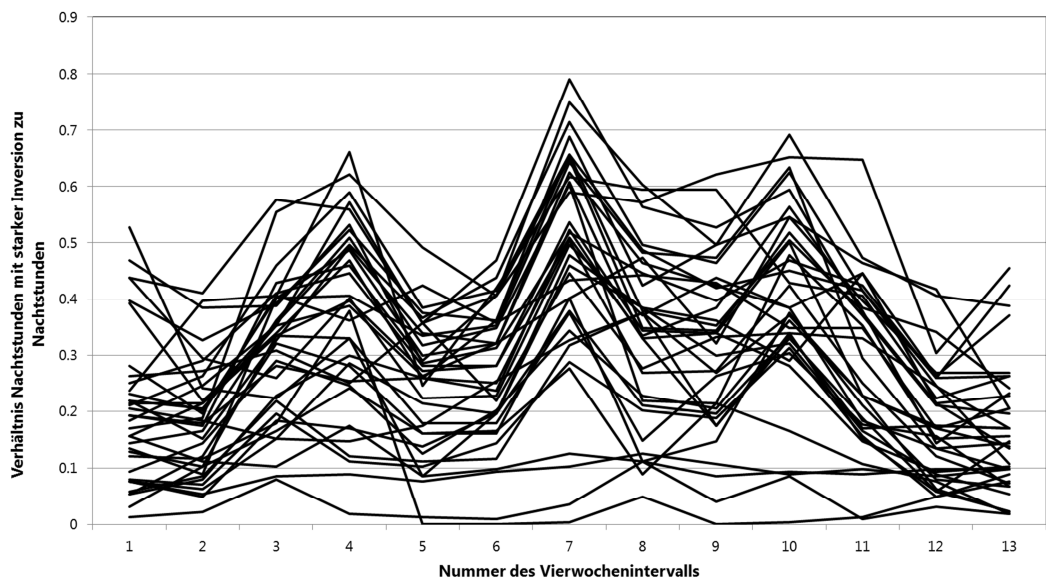


Abb. 4.45 Auftretenshäufigkeiten von starken nächtlichen Inversionen für alle vierwöchigen Intervalle eines Jahres an allen untersuchten Meteostationen.

4.4 Untersuchung von Verkehrszählerdaten

4.4.1 Verwendete Verkehrszählstellen

Für die Untersuchung von möglichen systematischen Tag-/Nachtunterschieden an der Quelle wurden die Daten aus dem Jahr 2008 von 31 zufällig ausgewählten Verkehrszählstellen des ASTRA ausgewertet.

Die Auflistung der ASTRA-Verkehrszählstellen mit den über Tag und Nacht gemittelten Geschwindigkeiten der Personenwagen kann dem Anhang III entnommen werden.

4.4.2 Fahrzeugklassen

Die Information zum jeweiligen Fahrzeugtyp lag im "SWISS10" Schema vor:

- 1: Bus, Car
- 2: Motorrad
- 3: Personenwagen
- 4: Personenwagen mit Anhänger
- 5: Lieferwagen
- 6: Lieferwagen mit Anhänger
- 7: Lieferwagen mit Auflieger
- 8: Lastkraftwagen
- 9: Lastenzug
- 10: Sattelzug

Für die Zuordnung der SWISS10-Klassen zu den StL-86+ Kategorien N1 und N2 verwendet das ASTRA folgende Vorschrift:

- N1,ASTRA: Klassen 3, 4 sowie 50 % der Klassen 5, 6 und 7
- N2,ASTRA: Klassen 1, 2, 8, 9, 10 sowie 50 % der Klassen 5, 6 und 7

Für die hier beschriebene Untersuchung wird basierend auf Ergebnissen aus dem "Eureka-Footprint-Projekt" [6] folgende, leicht abweichende Vorschrift verwendet:

- N1: Klassen 3, 4, 5 und 6
- N2: Klassen 1, 2, 7, 8, 9 und 10

Die Grenze der Zuordnung der Lieferwagen zur N1- bzw. N2-Kategorie wird zwischen der Klasse 6 und 7 gezogen, basierend auf Messungen an 56'000 Güterfahrzeugen in Lenzburg im Rahmen des Eureka-Monitorings [6]. Die Abb. 4.46 zeigt die gemessenen und nicht geschwindigkeitsnormierten maximalen Vorbeifahrpegel für die SWISS10-Klassen 5 bis 10. Dabei ist zwischen 6 und 7 ein klarer Sprung zu erkennen, zudem hat Klasse 7 vergleichbare Emissionswerte wie die Klassen 8 bis 10.

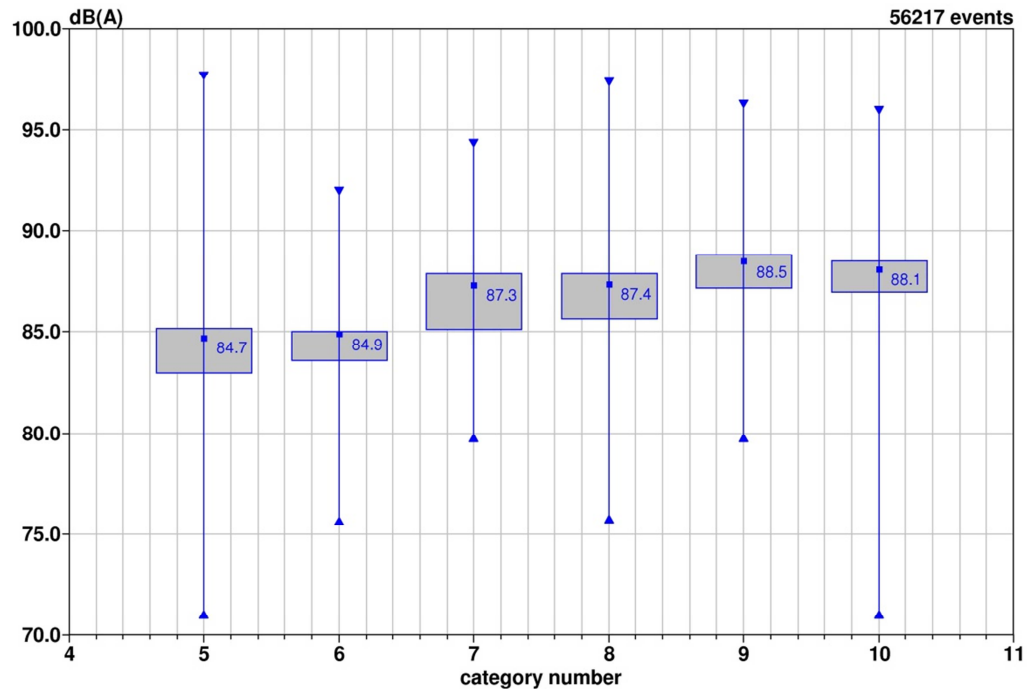


Abb. 4.46 Messung der mittleren maximalen Vorbeifahrtpegel in Lenzburg für die SWISS10-Klassen 5 bis 10

4.4.3 Verkehrsmengen

Anhand der ASTRA-Verkehrszählerdaten wurden systematische Tag/Nacht-Unterschiede der stündlichen Verkehrsmengen N in den beiden Kategorien $N1$ und $N2$ untersucht. Die Abb. 4.47 zeigt in einem xy-Plot für jede Zählstelle mittels eines Punktes die durchschnittliche Verkehrsmenge am Tag und in der Nacht. Sowohl in der $N1$ - als auch in der $N2$ -Kategorie liegen fast alle Punkte in einem Band, welches einer Tag/Nacht-Pegeldifferenz auf Grund der Verkehrsmengenunterschiede von 5...10 dB entspricht.

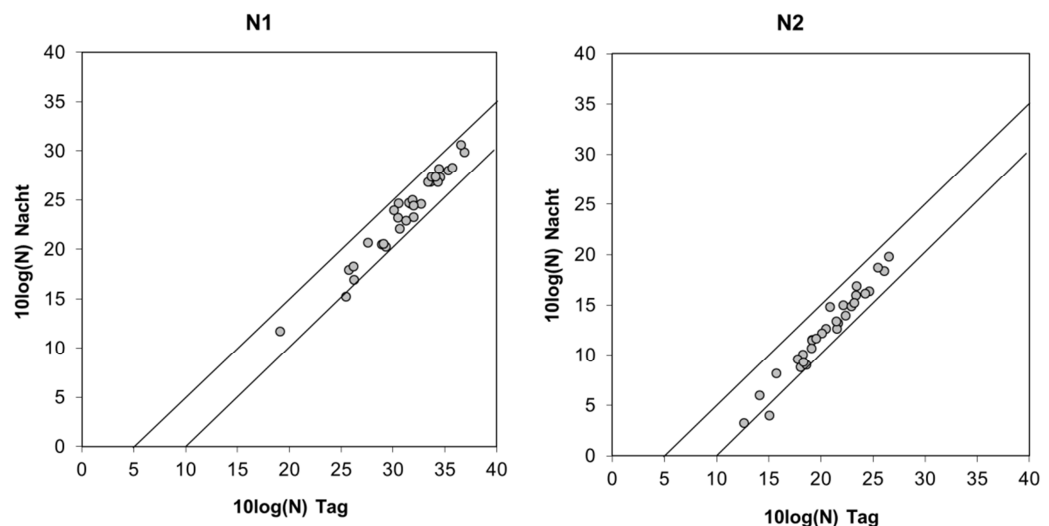


Abb. 4.47 Vergleich der Tag/Nacht-Relation der stündlichen Verkehrsmengen für $N1$ und $N2$ in einer logarithmischen Darstellung. Die beiden Geraden markieren das Band für eine Tag/Nacht Pegeldifferenz auf Grund der Verkehrsmenge von 5...10 dB.

Die Tab. 4.48 zeigt die Statistik der Tag/Nacht Differenzen $10 \log(N_{\text{Tag}}) - 10 \log(N_{\text{Nacht}})$ über die ausgewerteten Verkehrszähler:

Tab. 4.48 Mittlere, maximale und minimale Tag/Nacht Unterschiede der Verkehrszahlen für die Kategorien N1 und N2, ausgedrückt als $10 \log(N_{\text{Tag}}) - 10 \log(N_{\text{Nacht}})$ wobei N_{Tag} der stündlichen Verkehrsmenge tags und N_{Nacht} jener nachts entspricht

	N1		N2	
Mittel	7.5		8.2	
Maximum	10.2	Frutigen	11.8	Grand-St-Bernard
Minimum	5.9	Rapperswil Damm	6.1	ZH-Brunau

4.4.4 Geschwindigkeiten

Anhand der ASTRA-Verkehrszählerdaten wurden mögliche systematische Tag/Nacht-unterschiede der gefahrenen Geschwindigkeiten in den beiden Kategorien N1 und N2 untersucht. Die Abb. 4.49 zeigt in einem xy-Plot für jede Zählstelle mittels eines Punktes die durchschnittlich (arithmetisches Mittel) gefahrene Geschwindigkeit am Tag und in der Nacht. Die durchschnittliche Geschwindigkeit in der Kategorie N2 wird durch Fahrzeuge mitbestimmt, für welche keine Begrenzung auf 80 km/h gilt (SWISS 1,2,7). Es zeigt sich kein einheitliches Bild, d.h. es gibt Zählstellen an welchen die mittlere Geschwindigkeit tags höher liegt als nachts und umgekehrt.

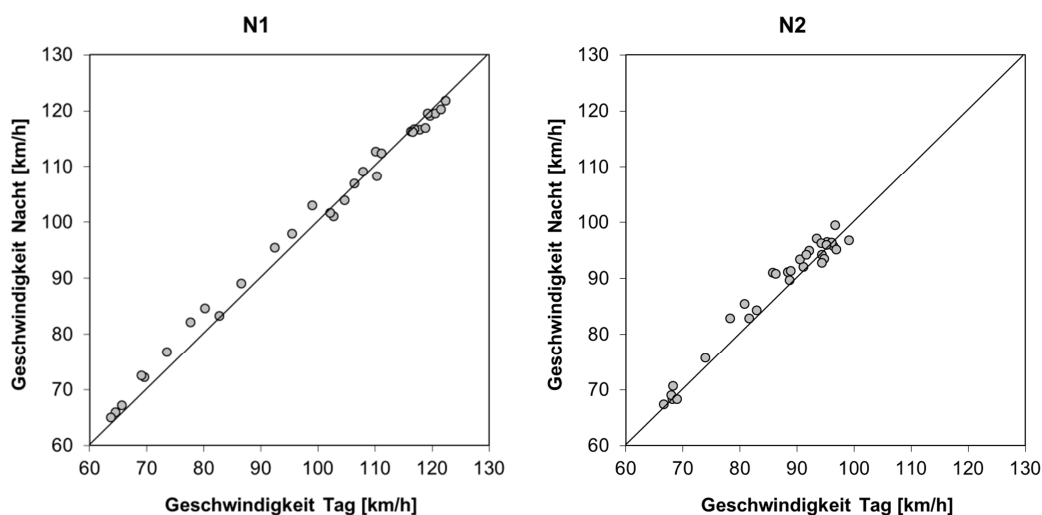


Abb. 4.49 Vergleich der Tag/Nacht-Relation der gefahrenen Geschwindigkeiten für N1 und N2.

Die Tab. 4.50 zeigt die Statistik der Tag/Nacht Differenzen $v_{\text{Tag}} - v_{\text{Nacht}}$ über die ausgewerteten Verkehrszähler. Die Extremwerte von rund 5 km/h höheren Geschwindigkeiten nachts führen zu einer Pegelerhöhung von 0.7 dB(A).

Tab. 4.50 Mittlere, maximale und minimale Tag/Nacht Unterschiede der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten für die Kategorien N1 und N2. Negative Werte bedeuten, dass nachts höhere Geschwindigkeiten gefahren werden.

	N1		N2	
Mittel	-1.9 km/h		-1.4 km/h	
Maximum	1.6 km/h	Colombier	1.3 km/h	Colombier
Minimum	-4.5 km/h	Visp	-4.7 km/h	Giessbachtunnel

4.4.5 Fahrspurbelegung

Anhand der ASTRA-Verkehrszählerdaten wurden mögliche systematische Tag/Nacht-unterschiede der Fahrspurbelegung, aufgeschlüsselt in die Kategorien N1 und N2 untersucht. Dabei wurden nur Verkehrszähler an vierspurigen Strecken verwendet.

Die Abb. 4.51 zeigt in einem xy-Plot für jede Zählstelle mittels eines Punktes den durchschnittlichen prozentualen Anteil der auf der Normalspur bzw. Überholspur verkehrenden Fahrzeuge in der Kategorie N1 am Tag und in der Nacht. Hierbei zeigt sich in der Nacht eine deutliche Verschiebung auf die Normalspur.

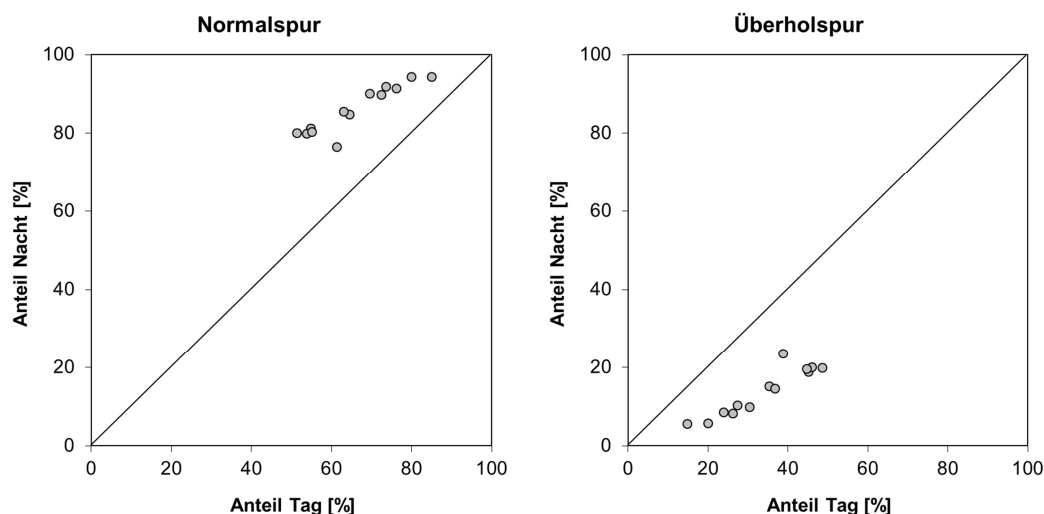


Abb. 4.51 Vergleich der Tag/Nacht-Relation der Fahrspurbelegung für die Kategorie N1.

Die Tab. 4.52 zeigt die Statistik der Normalspuranteile in Prozent über die ausgewerteten Verkehrszähler. Im Mittel über alle Standorte verkehren tagsüber 66 % der N1 Fahrzeuge auf der Normalspur, nachts sind es 86 %. Bei strassennahen Lärmschutzbauten, die für die Normalspur eine grössere Abschirmwirkung erzeugen, können damit nachts die Immissionen systematisch etwas tiefer liegen. Eine überschlagsmässige Abschätzung führt aber nur auf relativ geringe Immissionspegeländerungen unter 0.5 dB(A).

Tab. 4.52 Mittlere, maximale und minimale Anteile der auf der Normalspur verkehrenden Fahrzeuge der Kategorie N1 für den Tag und die Nacht

	Tag		Nacht	
Mittel	66 %		86 %	
Maximum	85 %	Rothenbrunnen	94 %	Rothenbrunnen
Minimum	51 %	Rolle	77 %	Weesen

Die Abb. 4.53 zeigt in einem xy-Plot für jede Zählstelle mittels eines Punktes den durchschnittlichen prozentualen Anteil der auf der Normalspur bzw. Überholspur verkehrenden Fahrzeuge in der Kategorie N2 am Tag und in der Nacht. Sowohl tagsüber als auch nachts verkehrt ein Grossteil der N2 Fahrzeuge auf der Normalspur.

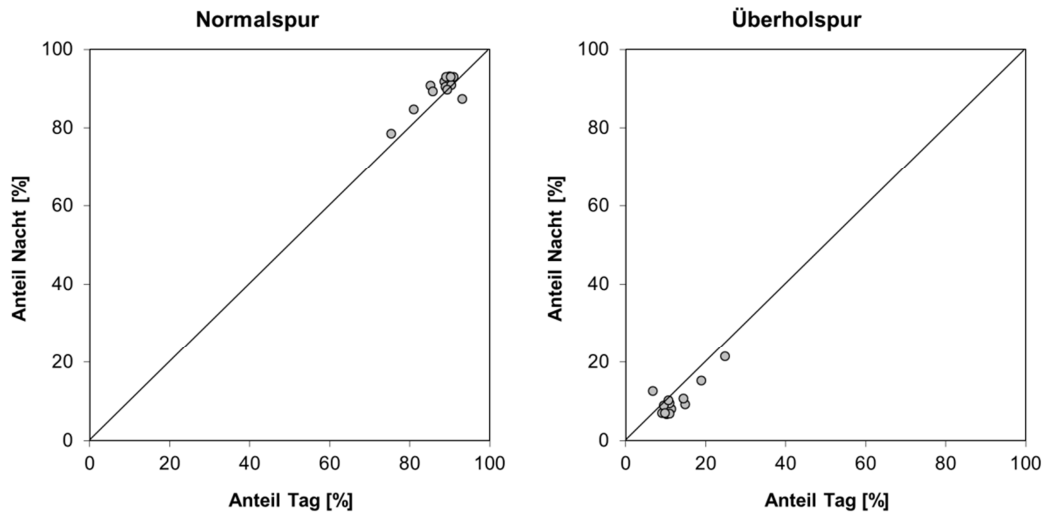


Abb. 4.53 Vergleich der Tag/Nacht-Relation der Fahrspurbelegung für die Kategorie N2.

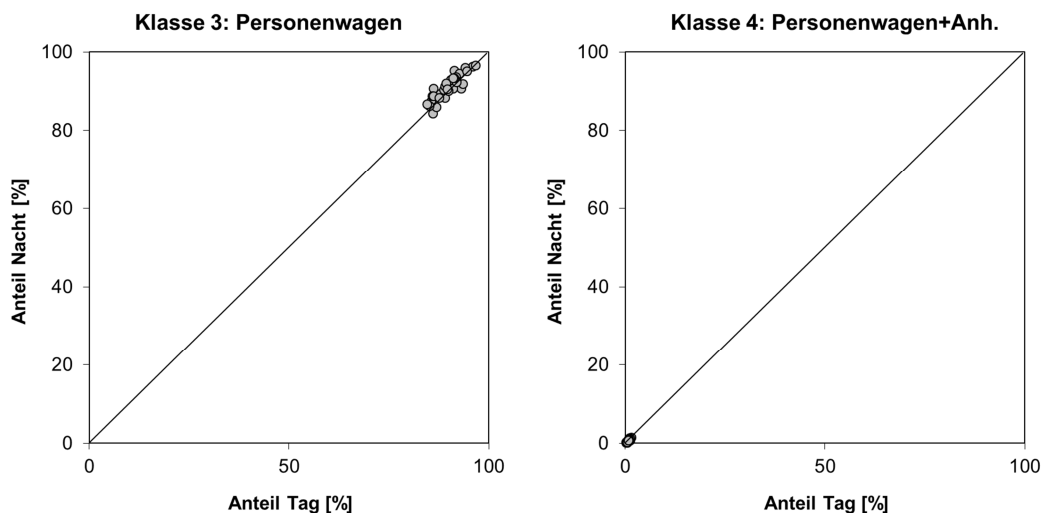
Die Tab. 4.54 zeigt die Statistik der Normalspuranteile in Prozent über die ausgewerteten Verkehrszähler. Im Mittel über alle Standorte verkehren tagsüber 88 % der N2 Fahrzeuge auf der Normalspur, nachts sind es 90 %.

Tab. 4.54 Mittlere, maximale und minimale Anteile der auf der Normalspur verkehrenden Fahrzeuge der Kategorie N2 für den Tag und die Nacht

	Tag		Nacht	
Mittel	88 %		90 %	
Maximum	93 %	Rothenbrunnen	93 %	Sion
Minimum	75 %	Weesen	79 %	Weesen

4.4.6 Fahrzeugmix

Anhand der ASTRA-Verkehrszählerdaten wurden mögliche systematische Tag/Nacht-unterschiede des Fahrzeugmix untersucht. Die Abb. 4.55 zeigt in einem xy-Plot für jede Zählstelle mittels eines Punktes den durchschnittlichen prozentualen Anteil der entsprechenden Klasse an der Kategorie N1 am Tag und in der Nacht. Die Abb. 4.56 zeigt die Anteile an der Kategorie N2. Sowohl in N1 als auch in N2 zeigen sich keine relevanten systematischen Tag/Nacht-Unterschiede.



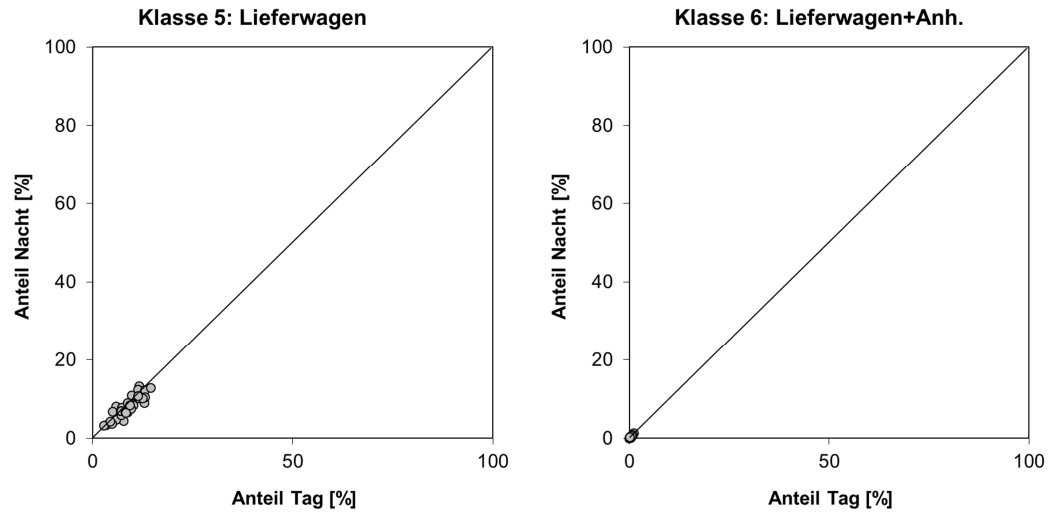
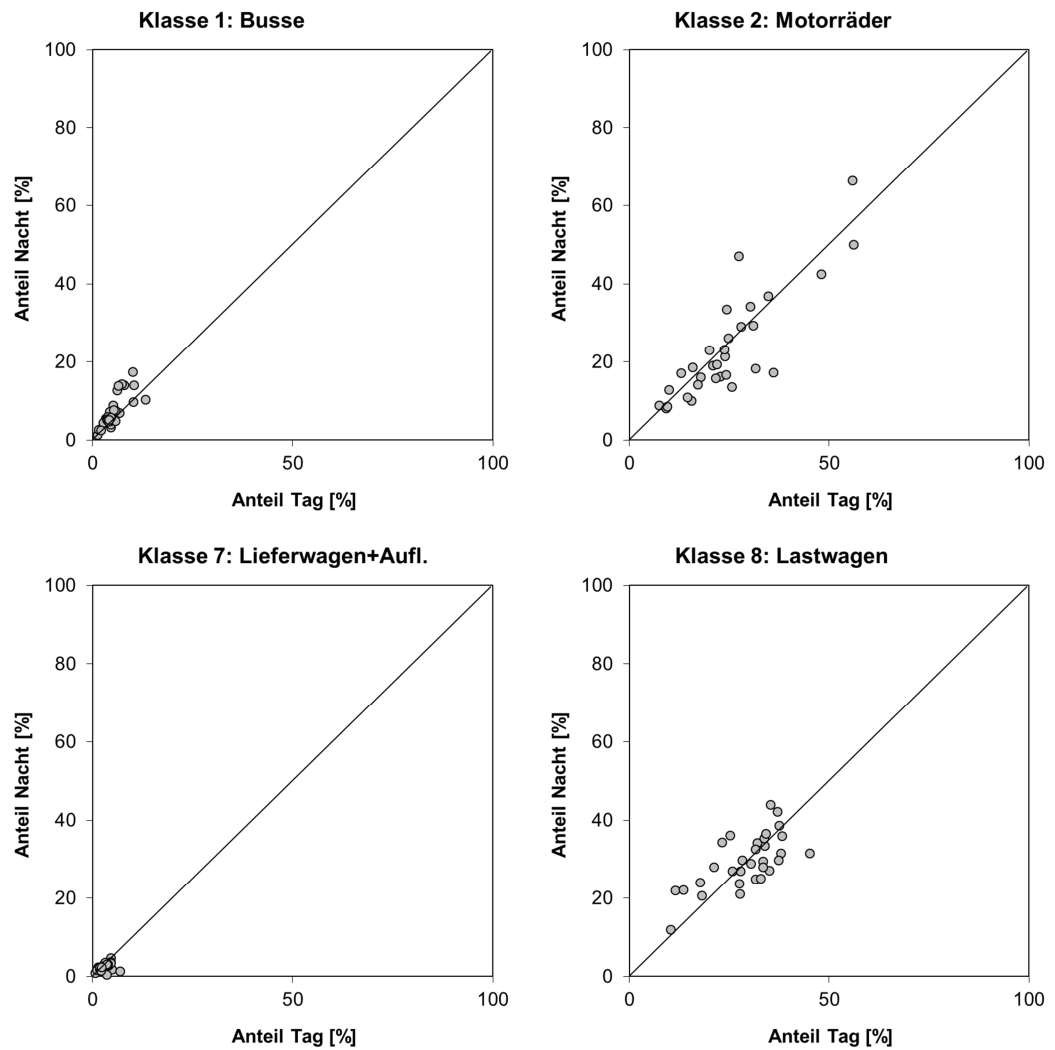


Abb. 4.55 Anteil der Fahrzeugklassen 3, 4, 5 und 6 an der Kategorie N1, aufgeschlüsselt nach Tag und Nacht.



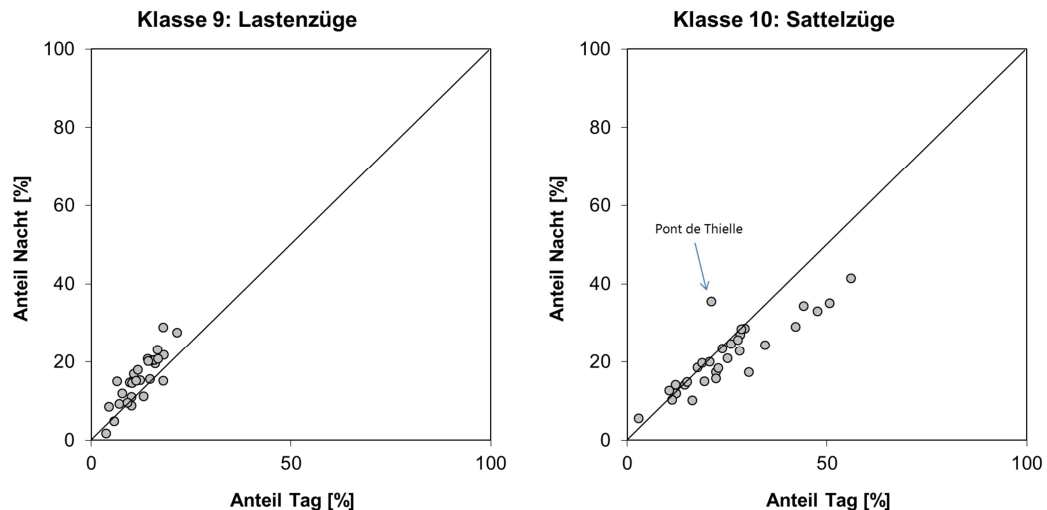


Abb. 4.56 Anteil der Fahrzeugklassen 1, 2, 7, 8, 9 und 10 an der Kategorie N2, aufgeschlüsselt nach Tag und Nacht.

4.4.7 Emissionsmodell

Anhand der ASTRA-Verkehrszählerdaten wurden schliesslich die Unterschiede der drei Emissionsansätze

- StL-86+ mit LSV-Kategorienbildung (N1: 3, 4, 5, 6 und 7; N2: 1, 2, 8, 9 und 10) und signalisierter Geschwindigkeit
- StL-86+ mit ASTRA-Kategorienbildung (N1: 3, 4 sowie 50% von 5, 6 und 7; N2: 1, 2, 8, 9, 10 sowie 50% von 5, 6 und 7) und signalisierter Geschwindigkeit
- SonRoad mit Footprint-Kategorienbildung (N1: 3, 4, 5 und 6; N2: 1, 2, 7, 8, 9 und 10) und gefahrener Geschwindigkeit (individuell für jedes Fahrzeug)

untersucht. Anhand der mittleren gefahrenen PW-Geschwindigkeiten nachts wurde die signalisierte Geschwindigkeit wie folgt geschätzt (die Standorte 78 und 111 erlaubten keine zuverlässige Schätzung und wurden in der Folge weggelassen):

Tab. 4.57 Untersuchte ASTRA-Verkehrszählstellen mit geschätzter signalisierter Geschwindigkeit

	Name	Strasse	Anzahl Spuren	Geschätzte signalisierte Geschwindigkeit [km/h]
11	Rapperswil Seedamm	H18	2	60
24	Rolle	A1	4	120
33	Eptingen	A2	5	120
41	Grand-St-Bernard (Tunnel)	H21	2	80
53	Weesen	A3	4	120
55	Richterswil	A3	5	120
56	Schönbühl	A1	6	100
78	Payerne S	H1	3	--
111	Frutigen S	H223	2	--
112	Pont de Thielle	H10	4	80
120	Sisikon	A4	2	80
121	Colombier	A5	4	100
163	Münchenbuchsee	H6	4	120
164	Visp	H9	2	80
170	Giessbachtunnel	A8	2	80
186	St-Gingolphe	H21	2	60

191	Goldau	A4	5	120
201	Sion	A9	4	120
204	Lavorgo	A2	5	100
207	Heimberg	A6	4	120
221	Zürich Brunau	A3	6	80
238	Rothenbrunnen	A13	4	100
239	Reiden	A2	4	120
241	Opfikon	A11	4	100
271	Muri BE	A6	4	100
275	Frauenfeld Ost	A7	4	120
289	Camignolo	A2	4	120
295	Oeschgen	A3	4	120
303	Thurau	A1	4	120
310	Sennwald	A13	4	120
325	Düdingen	A12	4	120

Mit jedem der drei Emissionsmodelle wurde der jahresdurchschnittliche Leq tags und nachts in 7.5 m Entfernung bestimmt. Für die Auswertung der Emissionsmodellunterschiede wurde die SonRoad Berechnung als Referenz verwendet. Die Abb. 4.58 bis Abb. 4.61 zeigen die resultierenden Pegeldifferenzen der beiden StL-86+ Berechnungen zur SonRoad-Referenz. Die Emissionsbestimmung nach StL-86+ mit LSV-Kategorienbildung zeigt im Mittel systematisch rund 0.7 dB(A) tiefere Pegel als SonRoad. Die Emissionsbestimmung nach StL-86+ mit ASTRA-Kategorienbildung ergibt im Mittel identische Pegel wie SonRoad.

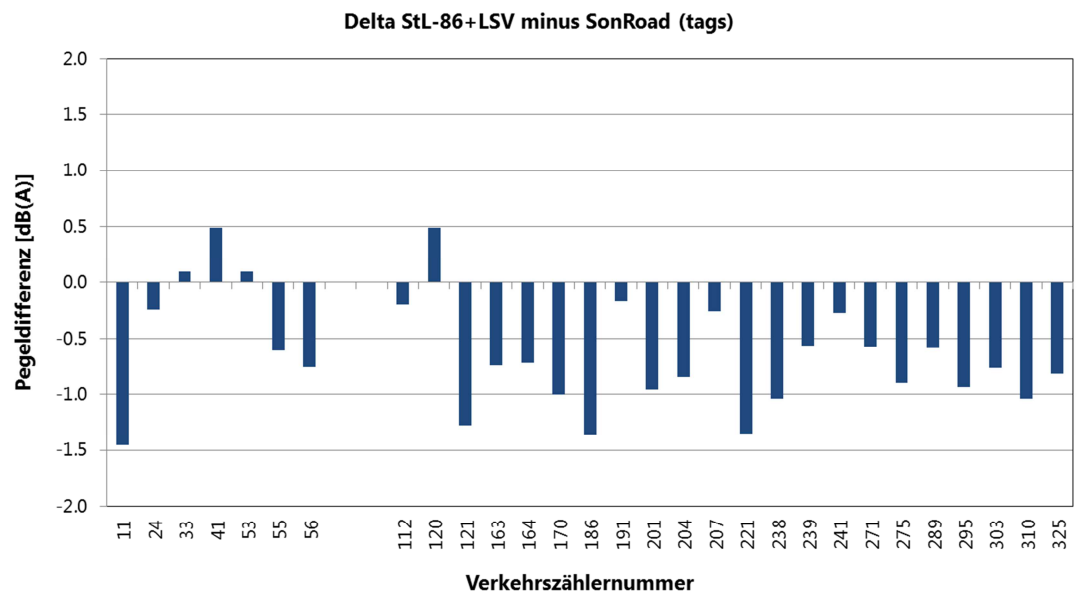


Abb. 4.58 Pegeldifferenz tags der Emissionsbestimmung nach StL-86+ und LSV-Kategorienbildung zu SonRoad.

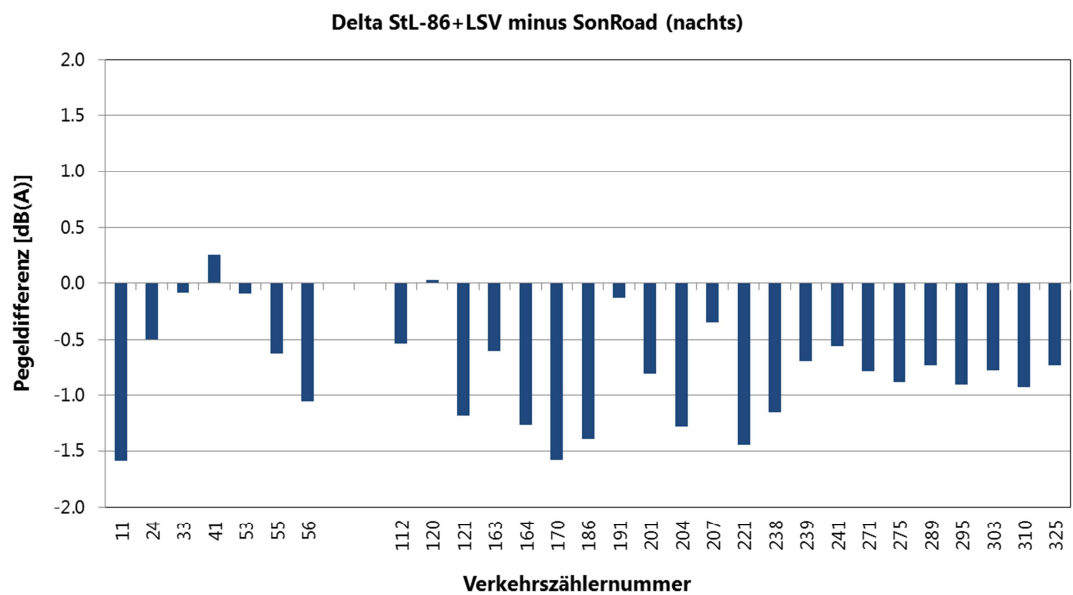


Abb. 4.59 Pegeldifferenz nachts der Emissionsbestimmung nach StL-86+ und LSV-Kategorienbildung zu SonRoad.

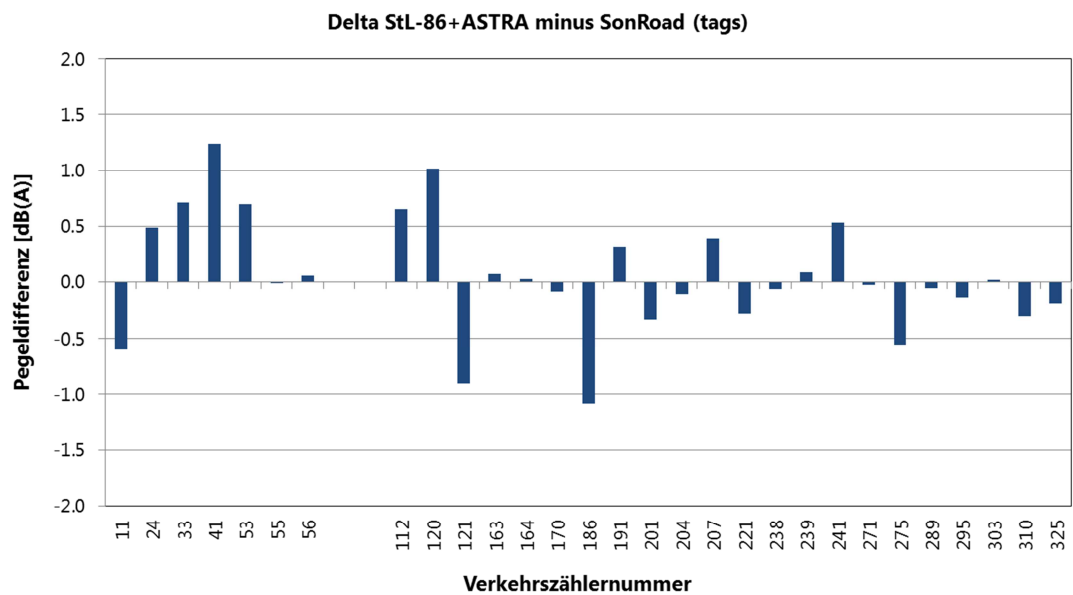


Abb. 4.60 Pegeldifferenz tags der Emissionsbestimmung nach StL-86+ und ASTRA-Kategorienbildung zu SonRoad.

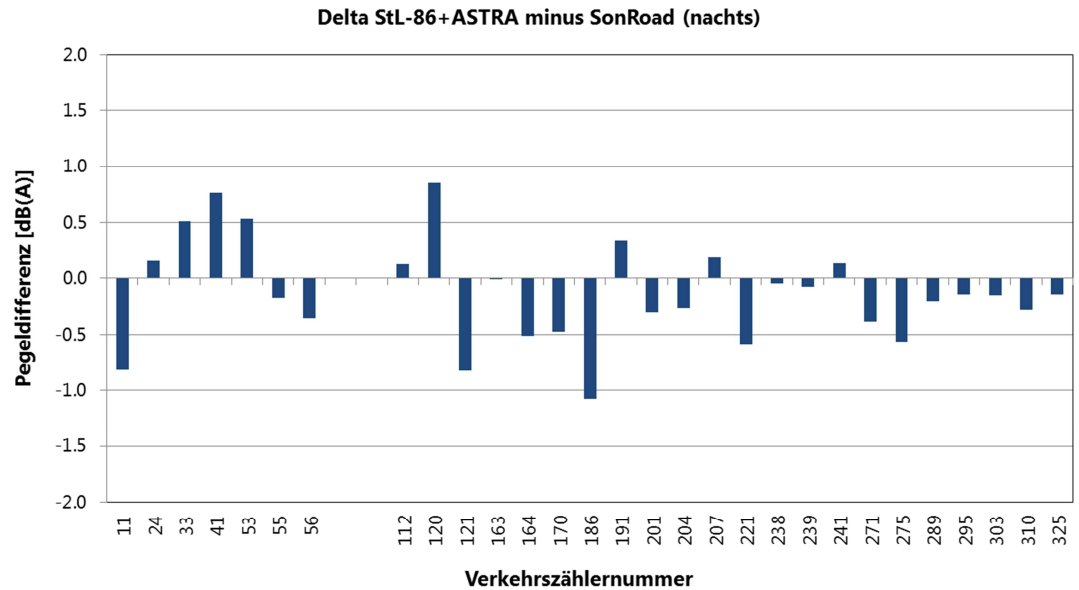


Abb. 4.61 Pegeldifferenz nachts der Emissionsbestimmung nach StL-86+ und ASTRA-Kategorienbildung zu SonRoad.

4.5 MFM-U Strassenlärmmonitoringdaten

Im Rahmen des Monitoring Flankierende Massnahmen Umwelt (MFM-U) werden seit 2004 an sechs bzw. fünf Standorten an der A2 (Gotthard-Route) und A13 (San Bernardino-Route) rund um die Uhr verkehrstechnische und akustische Daten erhoben. Als eine Form der Auswertung wird ein Rechenmodell so adaptiert, dass die gemessenen Schalldruckpegel möglichst genau nachgebildet werden [2]. Das Rechenmodell berücksichtigt die nach den beiden Kategorien N1 "Personenwagen" und N2 "schwere Güterfahrzeuge" aufgeschlüsselte Verkehrsmenge, die gefahrene Geschwindigkeit, die Fahrspurbelegung sowie die Ausbreitungsdämpfungen von allen Fahrspuren zu den Mikrofonen. Für die optimale Nachbildung werden lediglich zwei Parameter, welche die Emission der Personenwagen und der schweren Güterfahrzeuge beschreiben, verändert. Dies geschieht jeweils für eine Periode über einen Monat. Durch stündliche Auswertung der Abweichungen zwischen Messung und Berechnung können mögliche systematische Einflüsse

- der Belagstemperatur,
- des Fahrzeugmix pro Kategorie und
- im nicht die Geschwindigkeit betreffenden Fahrverhalten

aufgedeckt werden. Die Aspekte Geschwindigkeit, Verkehrsmenge und Spurbelegung werden durch das Rechenmodell nachgebildet und damit kompensiert. Die Ausbreitungsdämpfungen sind für die kurzen Abstände meteounabhängig und damit konstant.

Für die hier interessierende tageszeitabhängige Emissionsänderung des durchschnittlichen Fahrzeuges wurden die Differenzen zwischen Messung und rechnerischer Simulation für jede Tagesstunde des Jahres 2010 bestimmt. Anschliessend wurde pro Tagesstunde eine mittlere Abweichung bestimmt, sodass eine Art Tagesgang entsteht.

Die Abb. 4.62 bis Abb. 4.64 zeigen die entsprechenden Auswertungen. Es zeigt sich an allen Standorten das gleiche Grundmuster. In den Nachtperioden sind die gemessenen und rechnerisch normierten Emissionen etwas höher als tagsüber. Allerdings betragen die Unterschiede lediglich rund 0.5 dBA. Dies entspricht ungefähr der auf Grund der systematischen Tag/Nacht Temperaturdifferenzen erwarteten Reifengeräuschänderungen.

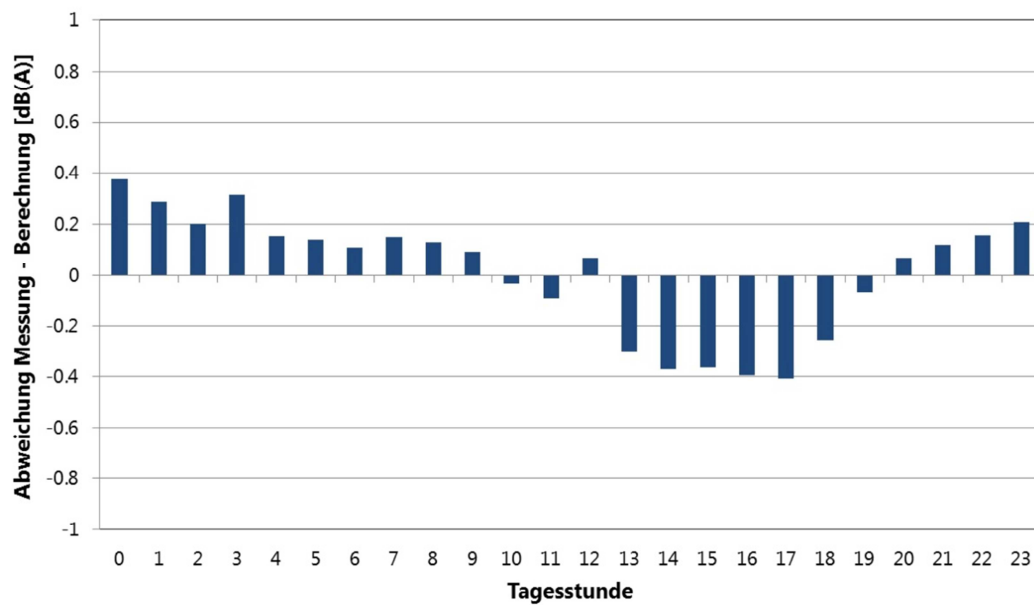


Abb. 4.62 Mittlere Abweichung Messung zu Berechnung in Abhängigkeit der Tagesstunde für die MFM-U Station Camignolo.

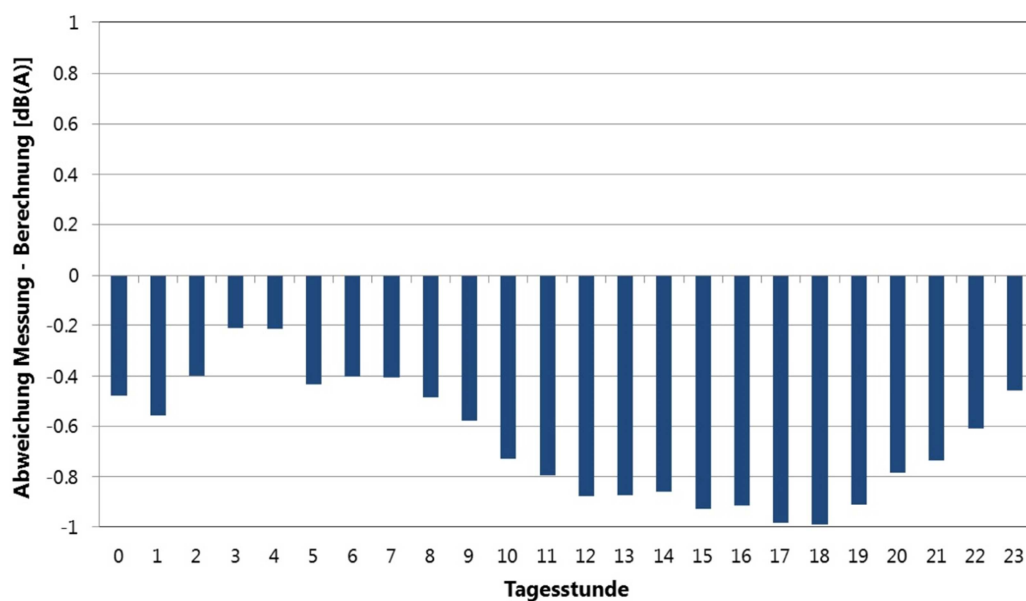


Abb. 4.63 Mittlere Abweichung Messung zu Berechnung in Abhängigkeit der Tagesstunde für die MFM-U Station Moleno.

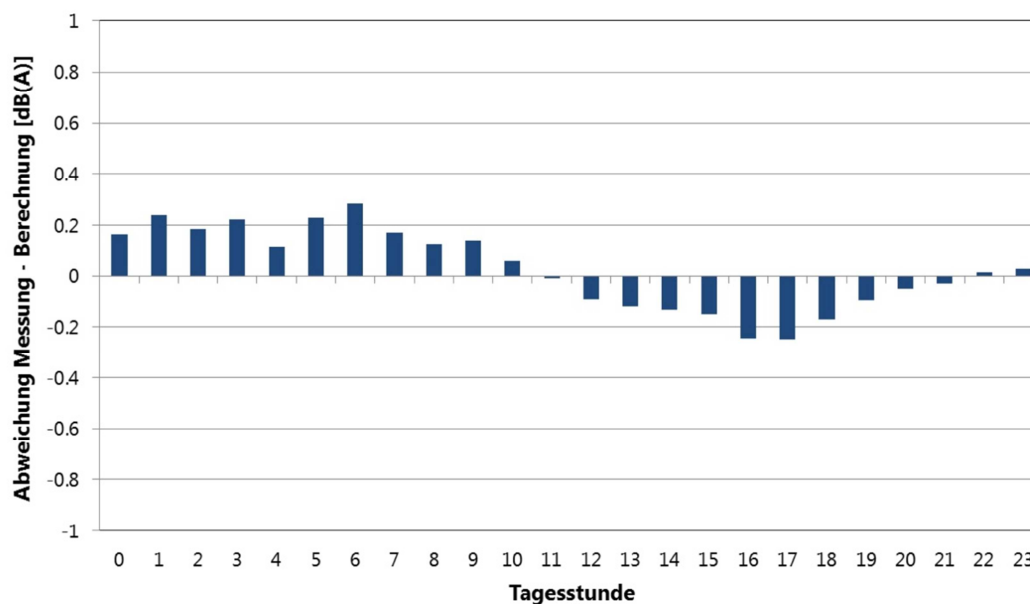


Abb. 4.64 Mittlere Abweichung Messung zu Berechnung in Abhängigkeit der Tagesstunde für die MFM-U Station Reiden.

4.6 Temperatureinfluss auf die Rollgeräuschemission

4.6.1 Temperaturabhängigkeit des Rollgeräusches

Die Steifigkeit und damit das Schwingungsverhalten der Reifen sind temperaturabhängig. Damit ergibt sich eine systematisch mit der Temperatur verlaufende Variation der Strassenlärmemission. Dieser Temperatureinfluss auf das Rollgeräusch ist abhängig vom Reifen- und dem Belagstyp. Vereinfachend kann im Mittel von einer auf die Lufttemperatur bezogenen Abhängigkeit des A-Pegels wie folgt ausgegangen werden [3]:

$$\Delta L = -0.06 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$$

4.6.2 Auswertung von Temperaturdaten

Zur Abschätzung der Bedeutung des Temperatureinflusses im Tag/Nachtunterschied der Strassenlärmemission wurden für 9 repräsentative Meteo-Schweiz Stationen die über das Jahr 2009 gemittelten Temperaturen von 6 bis 22 Uhr (Tag) und von 22 bis 6 Uhr (Nacht) bestimmt und die sich daraus ergebenden Emissionspegeldifferenzen ermittelt (vgl. Tab. 4.65).

Tab. 4.65 Mittlere Temperaturen tags und nachts und die daraus resultierende systematische Emissionspegeldifferenz aufgrund des erhöhten Reifengeräusches für verschiedene Standorte

Station	Temp. [°C] Tag	Temp. [°C] Nacht	Temp.diff. [°C] Nacht – Tag	Pegeldiff. [dBA] Nacht – Tag
Altdorf	10.6	7.1	-3.5	0.2
Basel	12.2	9.1	-3.1	0.2
Bern	10.6	7.1	-3.5	0.2
Chur	11.9	8.4	-3.5	0.2
Geneve	12.5	8.8	-3.7	0.2
La Chaux de Fonds	8.3	4.9	-3.4	0.2
Lugano	14.1	11.4	-2.7	0.2
Samedan	3.9	-0.9	-4.8	0.3
St. Gallen	9.5	7.7	-1.8	0.1

4.7 Rechnerische Simulation (Ray Tracing)

Zur Einordnung der Bedeutung der meteorologischen Einflüsse (inhomogene Atmosphäre) wurden Strahlverfolgungssimulationen (ray tracing) für flachen Boden, mit und ohne Hindernis durchgeführt. Die verwendeten Algorithmen basieren auf [4]. In den Simulationen wurde nur der Einfluss der Temperaturschichtung untersucht, da diesbezüglich die bedeutendsten systematischen Tag/Nacht Unterschied erwartet werden. Der Einfluss von Wind blieb unberücksichtigt, da als Folge der unterschiedlichen Windrichtungen bis zu einem gewissen Grad von teilweiser Ausmittelung auszugehen ist.

Hinweis: Es wurde nur die Variation der Hinderniswirkung untersucht, tatsächlich wird aber auch der Bodeneffekt verändert, d.h. es können sich andere Höreindrücke ergeben, allerdings geht der Pegel nicht klar systematisch in eine Richtung.

Die Modellierung der Temperaturschichtung stützte sich auf die im Harmonoise-Projekt entwickelten Profilkfunktionen [5]. Tagsüber ist bei klarem Himmel oder nur schwacher Bewölkung von einer Stabilitätsklasse S1 auszugehen. Nachts ist bei klarem Himmel oder teilweiser Bewölkung die Stabilitätsklasse S5 anzusetzen. Schwachwindige Situationen bis rund 2 m/s können durch die Mittelwerte der Windgeschwindigkeitsklassen W1 und W2 charakterisiert werden. Damit lassen sich für die hinderlichen Ausbreitungsbedingungen tagsüber die in Tab. 4.66 gezeigten Parameterwerte angeben, nachts für stark förderliche Bedingungen ergeben sich die Werte in Tab. 4.67.

Tab. 4.66 Parameter zur Erzeugung der Temperaturprofilfunktion im hinderlichen Fall tagsüber (S1)

Inverse Monin-Obukhov Länge $1/L$	Temperaturskalierungsparameter T^*	a_c	b_c
-0.065	-0.3	-0.328	0.016

Tab. 4.67 Parameter zur Erzeugung der Temperaturprofilfunktion im stark förderlichen Fall nachts (S5)

Inverse Monin-Obukhov Länge $1/L$	Temperaturskalierungsparameter T^*	a_c	b_c
0.05	0.25	0.27	0.08

Mit den Parametern a_c und b_c lässt sich schliesslich das Vertikalprofil der effektiven Schallgeschwindigkeit c angeben zu:

$$c(z) = c_0 + a_c \cdot \ln(1 + z / z_0) + b_c z$$

mit:

- z : Höhe über Boden [m]
- z_0 : Rauigkeitslänge der Bodenstruktur [m]
- c_0 : Referenzschallgeschwindigkeit

4.7.1 Ray tracing Simulation zur Hinderniswirkung im stark förderlichen Fall

Die Temperaturschichtung nachts entspricht in Bodennähe oft einer Inversionslage. Dies führt auf Grund der zum Boden hin gekrümmten Ausbreitung zu förderlichen Ausbreitungsbedingungen. Diese manifestieren sich besonders relevant, wenn die direkte Sicht unterbrochen ist und dann durch die Krümmung der Ausbreitung eine Reduktion der Hinderniswirkung entsteht. Die Abb. 4.68 zeigt das Strahlenbild für den stark förderlichen Fall. So erreicht beispielsweise die Ausbreitung über eine Distanz von 1'100 m eine maximale Höhe über Boden von knapp 40 m, für 750 m liegt die Höhe bei 20 m.

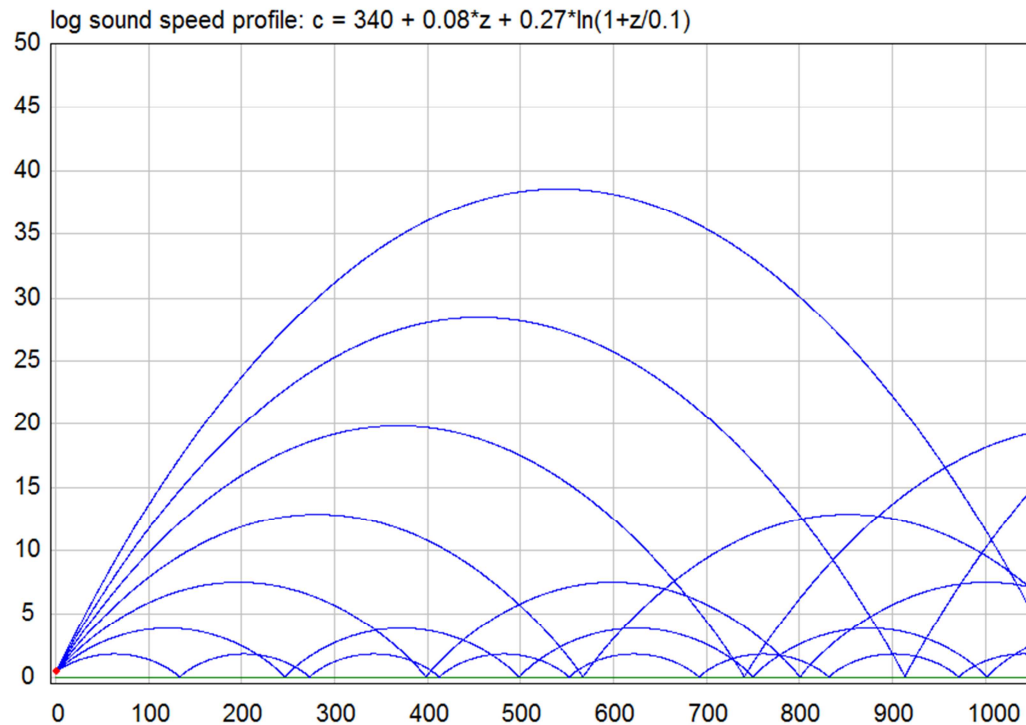


Abb. 4.68 Strahlenverlauf im stark förderlichen Fall. Man beachte die unterschiedliche Skalierung der horizontalen Längsachse und der vertikalen Höhenachse.

Die Hinderniswirkung im stark förderlichen Fall wurde mittels untenstehender Parameter aus dem Strahlenverlauf bestimmt:

- Weglänge l_0 : Quelle – Hinderniskante – Empfänger
- Höhe des Schallstrahls beim Hindernis ($\rightarrow$ Punkt P)
- Weglänge l_1 : Quelle – P – Empfänger
- Weglängendifferenz $z_{\text{meteo}} = l_0 - l_1$
- Hinderniswirkung $D_{z,\text{meteo}}$ gemäss ISO 9613-2 mit z_{meteo} , $C2 = 20$ und $\lambda = 0.45$ m (entsprechend 750 Hz als Schwerpunktsfrequenz für Strassenverkehrslärm)

Situation eines Hindernisses in Quellennähe

Die erste Reihe von Simulationen untersuchte die typische Hinderniswirkung von strassennahen Massnahmen wie Lärmschutzwänden. Dazu wurde eine Punktquellenreihe zur Simulation einer Linienquelle 0.45 m über ebenem Terrain mit einem Hindernis in 16 m Entfernung und Höhen zwischen 2 und 8 m angenommen. Immissionspunkte wurden auf 4 und 10 m Höhe in Abständen zwischen 50 und 1'000 m gesetzt. Abb. 4.69 zeigt den Vergleich von Immissionspegelberechnungen für eine willkürliche Emissionsskalierung mit und ohne Metoeinfluss als XY-Plot.

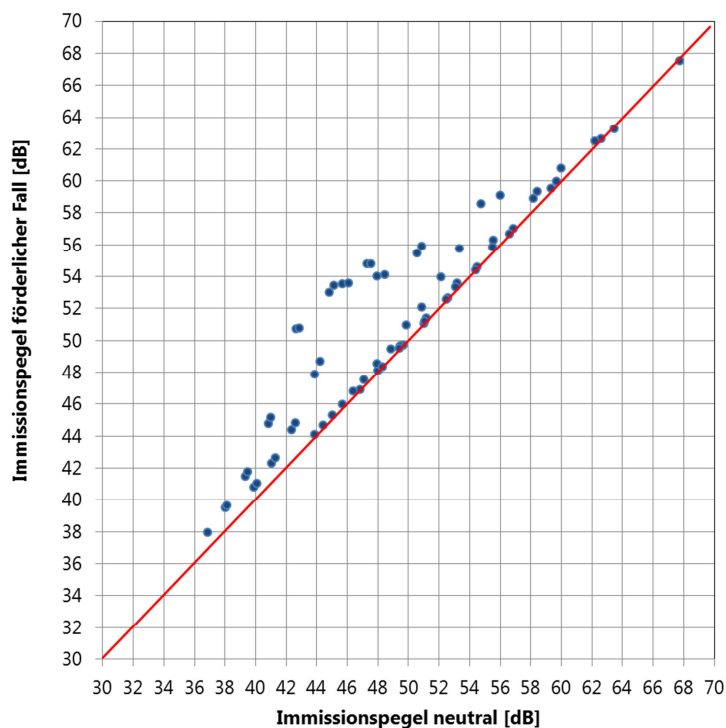


Abb. 4.69 Gegenüberstellung der Immissionspegelberechnung im neutralen und stark förderlichen Fall für ein quellennahes Hindernis

Die folgende Tabelle zeigt die Median- und Maximalwerte der Abweichungen in Abhängigkeit des Abstandes.

Tab. 4.70 Medianwert und maximale Pegelunterschiede stark förderlich – neutral in Abhängigkeit des Abstandes für ein quellennahes Hindernis

Abstand [m]	50	100	200	500	1'000
Median des Pegelunterschieds bei 750 Hz [dB]	0.0	0.2	0.6	4.0	4.0
Max. Pegelunterschied bei 750 Hz [dB]	0.2	0.9	3.8	7.8	8.3

Situation eines Hindernisses in der Mitte zwischen Quelle und Empfänger

Die zweite Reihe von Simulationen untersuchte die typische Hinderniswirkung von Hindernissen in halber Entfernung zwischen Quelle und Empfänger. In dieser Geometrie wird der grösste Metoeinfluss auf die Hinderniswirkung erwartet. Dazu wurde eine Punktquellenreihe zur Simulation einer Linienquelle 0.45 m über ebenem Terrain mit einem Hindernis in Höhen zwischen 2 und 30 m angenommen. Immissionspunkte wurden auf 4 und 10 m Höhe in Abständen zwischen 50 und 1'000 m gesetzt. Die Abb. 4.71 zeigt den Vergleich von Immissionspegelberechnungen für eine willkürliche Emissionsskalierung mit und ohne Metoeinfluss.

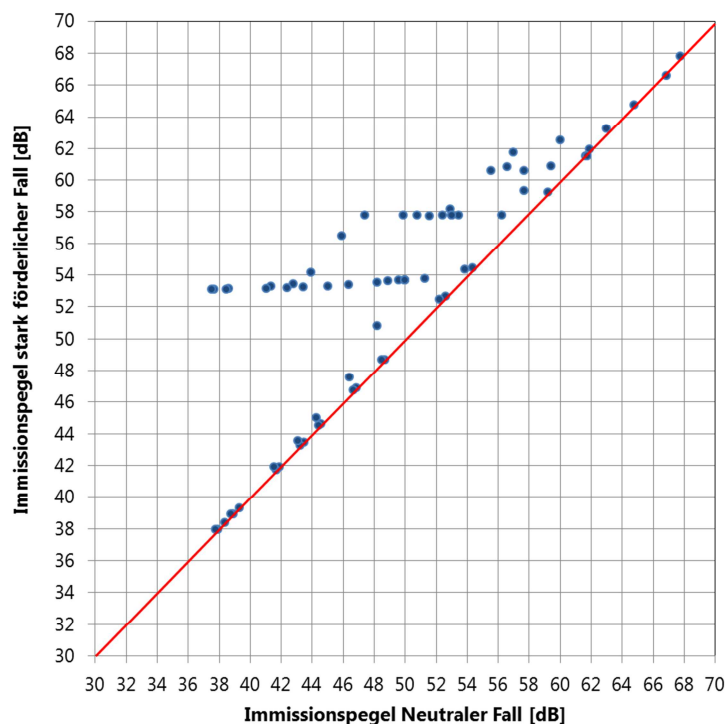


Abb. 4.71 Gegenüberstellung der Immissionspegelberechnung im neutralen und stark förderlichen Fall für ein Hindernis in der Mitte zwischen Quelle und Empfänger

Die folgende Tabelle zeigt die Median- und Maximalwerte der Abweichungen in Abhängigkeit des Abstandes.

Tab. 4.72 Medianwert und maximale Pegelunterschiede stark förderlich – neutral in Abhängigkeit des Abstandes für ein Hindernis in der Mitte zwischen Quelle und Empfänger

Abstand [m]	50	100	200	500	1'000
Median des Pegelunterschieds bei 750 Hz [dB]	0.0	0.2	1.9	7.0	7.0
Max. Pegelunterschied bei 750 Hz [dB]	0.2	2.5	6.2	15.4	15.5

4.7.2 Ray tracing Simulation zur Ausbildung von Schattenzonen im hinderlichen Fall

Tagsüber bildet sich bei nicht zu starker Bewölkung eine Schichtung aus in welcher mit zunehmender Höhe die Temperatur abnimmt. Dies führt - wie im Gegenwindfall - zu einer Strahlenkrümmung vom Boden weg, so dass sich eine Schattenzone mit starker Pegelreduktion ausbildet (vgl. Abb. 4.73). Im Abstand von 100 m liegen Empfänger mit einer Höhe über Boden kleiner als 4 m bereits im Schatten, in ca. 190 m Entfernung reicht die Schattenzone bereits auf eine Höhe von 10 m.

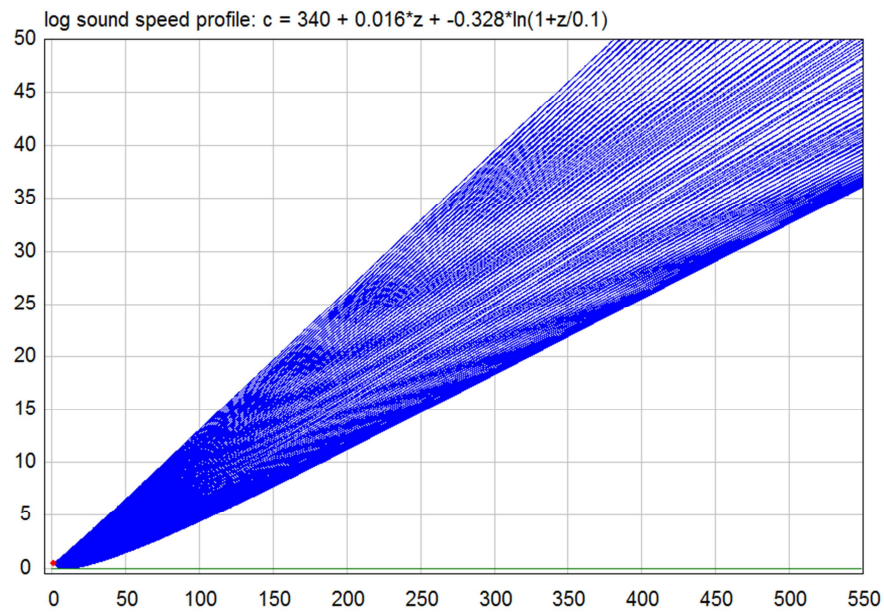
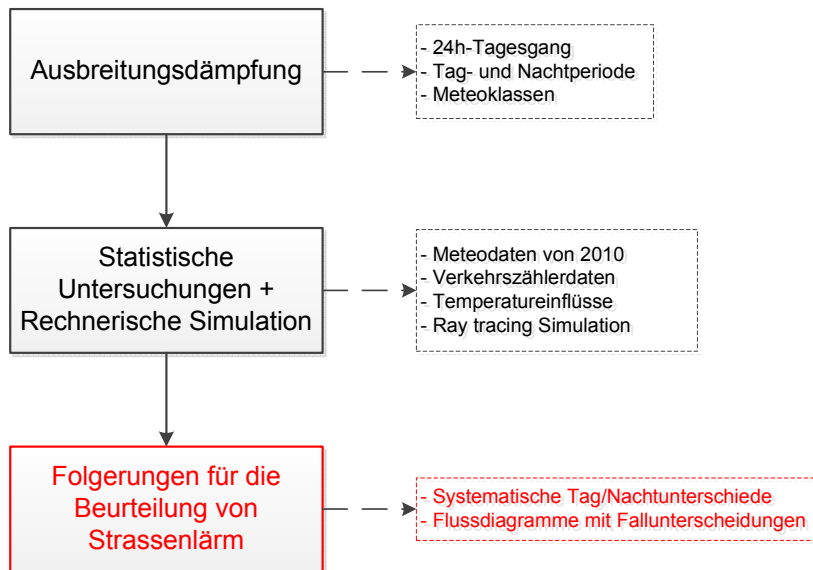


Abb. 4.73 Strahlenverlauf im hinderlichen Fall. Man beachte die unterschiedliche Skalierung der horizontalen Längsachse und der vertikalen Höhenachse. Die weisse Zone unterhalb des blauen Strahlenbündels entspricht dem geometrischen Schatten, der nur durch Beugung und Streuung mit Schallenergie versorgt wird.

5 Folgerungen aus den Auswertungen



5.1 Zusammenfassung der systematischen Tag/Nacht Unterschiede bei Strassenverkehrslärm

5.1.1 Ausbreitungseffekte

Die Datenauswertung von 36 Meteo-Schweiz Stationen ergab für 2010 folgendes Bild:

- In der Nacht (22 – 6 Uhr) beträgt die Auftretenshäufigkeit von wind- und inversionsbedingten stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen an vielen Messstationen mehr als 50 %.
- Am Tag (6 – 22 Uhr) sind die Ausbreitungsbedingungen primär durch den Wind geprägt. Aufgrund der Ausmittelung (wechselnde Windrichtungen) kann im Jahresdurchschnitt von neutralen Bedingungen ausgegangen werden.

Die Auswertung der Messdaten von 2010 ergab bei ungehinderter Schallausbreitung eine Tag-/Nachtdifferenz der Ausbreitungsdämpfung von 1.5 bis 2.8 dBA. Für den Standort Preonzo (Teilabschirmung der Nationalstrasse) betrug der Tag/Nacht Unterschied der Dämpfung 4.1 dBA.

Der Bereich der Ausbreitungsdämpfungen über die 4 Meteoklassen streute noch stärker als bei der Tag-Nachtdifferenz: Von der Meteoklasse M1 (hinderlich) bis M4 (stark förderlich) lag die Spanne der Dämpfungen zwischen 1.8 bis 3.6 dBA, für Preonzo mit der Teilabschirmung sogar bei 4.7 dBA (vgl. Tab. 4.38).

5.1.2 Quellseitige Aspekte

Verkehrsmengen

Die Auswertung der 31 ASTRA-Verkehrszählstellen ergab im Jahr 2010 eine Tag-/Nachtdifferenz bedingt durch die Verkehrszahlen von durchschnittlich 7.5 dBA (Kategorie N1) bzw. 8.2 dBA (Kategorie N2).

Gefahrene Geschwindigkeiten

Die durchschnittliche Geschwindigkeit in der Kategorie N2 wird von Fahrzeugen mitbestimmt, für welche die 80 km/h-Begrenzung nicht gelten (Motorräder, Reisebusse, Lieferwagen mit Auflieger).

Die Auswertung der ASTRA-Daten von 2010 ergab eine bis zu rund 5 km/h höhere Geschwindigkeit in der Nacht, was zu einer Pegelerhöhung von 0.7 dBA führt. Im Durchschnitt betrug die Tag/Nachtdifferenz der Kategorie N1 1.9 km/h, die der Kategorie N2 1.4 km/h. Aus diesen nächtlichen Geschwindigkeitsüberhöhungen resultieren Pegelzunahmen von 0.3 bzw. 0.1 dBA.

Fahrspurbelegung

Die Auswertung der ASTRA-Verkehrszählstellen mit 4 Fahrspuren ergab, dass 2010 im Mittel über alle Standorte tagsüber 66% der N1 Fahrzeuge auf der Normalspur, nachts 86% auf der Normalspur verkehrten. Für Fahrzeuge der N2 Kategorie lag die durchschnittliche Fahrspurbelegung tagsüber bei 88% auf der Normalspur und nachts bei 90%.

Die systematisch unterschiedliche Fahrspurbelegung tags und nachts ist bei sehr nahen Immissionspunkten oder im Fall von strassennahen Hindernissen von Bedeutung. Bei sehr nahen und unabgeschirmten Immissionspunkten ergibt sich nachts eine Pegelerhöhung, in abgeschirmten Situationen reduziert sich der Pegel. Auf Grund der grossen Spanne möglicher Situationsgeometrien können keine quantitativen, allgemein gültigen Aussagen gemacht werden. Abschätzungen zur Bedeutung gegenseitiger Abschattung zwischen den Fahrzeugen zeigen keine relevanten Effekte.

Fahrzeugmix

Hinsichtlich des Fahrzeugmixes haben sich keine relevanten systematischen Tag/Nacht Unterschiede ergeben.

Fahrweise

Die Datenauswertung der MFM-U Station für das Jahr 2010 zeigten, dass die in der Nacht gemessenen und rechnerisch normierten Emissionspegel rund 0.5 dBA höher sind als am Tag.

Belagstemperatur

Die Auswertung der Daten von 9 Meteo-Schweiz Stationen ergab im Jahr 2009 eine mittlere Tag-/Nachtdifferenz der Temperatur von 1.8 bis 4.8 °C. Daraus resultiert eine nächtliche Emissionszunahme von bis zu 0.3 dBA.

FAZIT

Es ist davon auszugehen, dass die quellseitigen Aspekte (verkehrszahlenbereinigt) hauptsächlich sind für eine nächtliche Emissionszunahme von 0.5 dBA.

5.2 Emissionsmodell

Bei Lärmberechnungen kommen in der Schweiz zurzeit die beiden Berechnungsansätze StL-86+ und SonRoad zum Einsatz. Die unterschiedliche Aufteilung der SWISS10-Fahrzeugklassen in die Kategorien N1 und N2 in Verbindung mit der verwendeten Geschwindigkeit (signalisiert oder gefahren) führt ebenfalls zu systematischen Tag-/Nachtdifferenzen.

Die Auswertung der ASTRA-Verkehrszählstellen mit drei unterschiedlichen Emissionsmodellen (StL-86+ mit LSV-Kategorienbildung und signalisierter Geschwindigkeit, StL-86+ mit ASTRA-Kategorienbildung und signalisierter Geschwindigkeit, SonRoad mit Footprint-Kategorienbildung [6] und gefahrener Geschwindigkeit) zeigte, dass die Emissionsbestimmung nach StL-86+ mit LSV-Kategorienbildung im Mittel ca. 0.7 dBA tiefere Pegel ergab als mit SonRoad. Dagegen ergab die Emissionsbestimmung nach StL-86+ mit ASTRA-Kategorienbildung im Mittel identische Pegel wie mit SonRoad.

5.3 Flussdiagramme mit Fallunterscheidungen

5.3.1 Meteokorrektur bei ungehinderter Schallausbreitung

Wie bei den Messungen 2010 festgestellt, streuen die Ausbreitungsdämpfungen zwischen den jeweiligen Meteoklassen M1 (hinderlich) bis M4 (stark förderlich) zwischen 1.8 und 3.6 dB. In Abb. 4.39 ist der Streubereich der Dämpfungen in Bezug zu neutralen Ausbreitungsbedingungen (Klasse M2) gesetzt. Im Sinne eines konservativen und pragmatischen Ansatzes wird der Meteoeinfluss wie folgt definiert:

- M2 (neutral) → M1 (hinderlich): Meteokorrektur = -1 dB
- M2 (neutral) → M4 (stark förderlich): Meteokorrektur = +1 dB

Mit Hilfe von Meteostatistiken³, die die Häufigkeit von förderlichen Schallausbreitungsverhältnissen am zu untersuchenden Standort aufzeigen, sowie dem Diagramm in Abb. 5.74 lässt sich die Meteokorrektur am Empfangspunkt für ungehinderte Schallausbreitung bestimmen.

Ausgangslage: Neutrale Ausbreitungsbedingungen

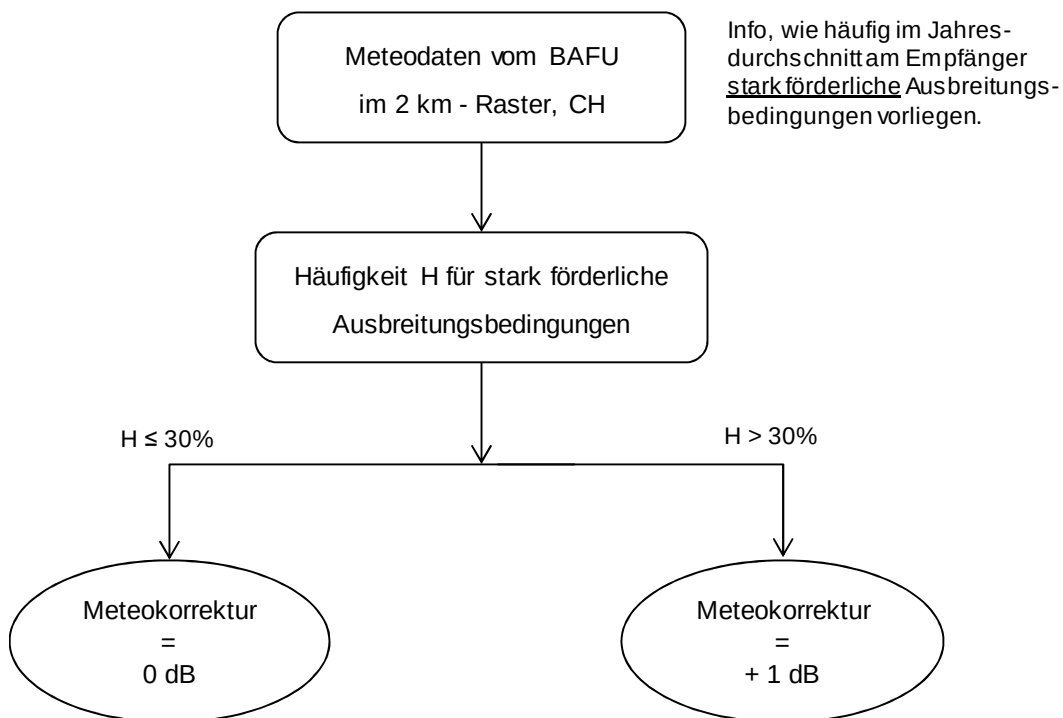


Abb. 5.74 Meteokorrektur am Empfangspunkt bei ungehinderter Schallausbreitung

Für hinderliche Schallausbreitungsverhältnisse wird die Anwendung einer negativen Meteokorrektur von -1 dB am Empfangspunkt vorgeschlagen, falls die jahresdurchschnittliche Häufigkeit am fraglichen Standort grösser 10% beträgt⁴.

³ Das BAFU stellt demnächst Statistiken bereit, die schweizweit in einem 2 km-Raster den zeitlichen Anteil förderlicher Schallausbreitungsverhältnisse, aufgeschlüsselt nach Tageszeit und Ausbreitungsrichtung, beinhalten.

⁴ Der Wert von 10% stellt eine Grössenordnung dar, welche aus den statistischen Auswertungen der Meteoschweiz-Daten abgeleitet ist.

5.3.2 Reduktion der Hinderniswirkung infolge Meteeffekte

Rechnerische Simulationen zeigen, dass die positive Wirkung von Schallhindernissen (LSW/LSD, Gebäude, Gelände, etc.) an Empfangspunkten durch meteorologische Einflüsse eingeschränkt bzw. im ungünstigsten Fall komplett aufgehoben werden (vgl. Kapitel 4.7). Zur Abschätzung der Reduktion der Hinderniswirkung infolge von Meteeinflüssen wird im Folgenden ein praxisnaher Ansatz vorgestellt.

Es werden zwei grundsätzliche Fälle/Situation unterschieden:

- Quellennahes Hindernis (siehe Abb. 5.75): Typischer Fall von strassennahen Massnahmen wie LSW direkt an Autobahnen.
- Quellen-/Empfängermittiges Hindernis (siehe Abb. 5.76): Typischer Fall wäre eine Geländeerhebung in der Mitte zwischen Quelle und Empfänger.

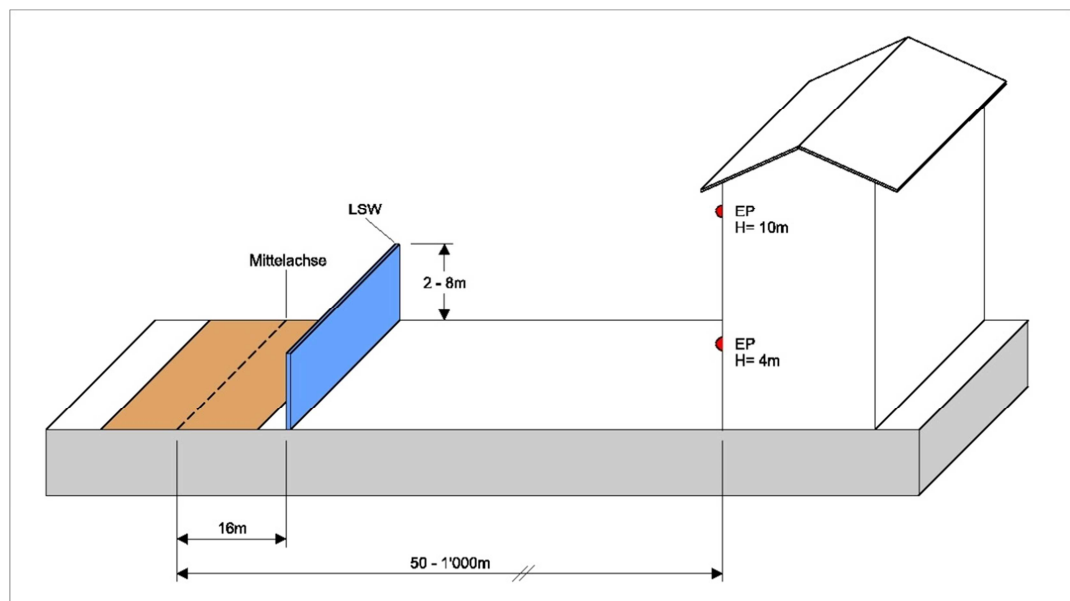


Abb. 5.75 Quellennahes Hindernis – Hindernis zwischen 2 und 8 m hoch; Distanz der Immissionspunkte zwischen 50 und 1'000 m.

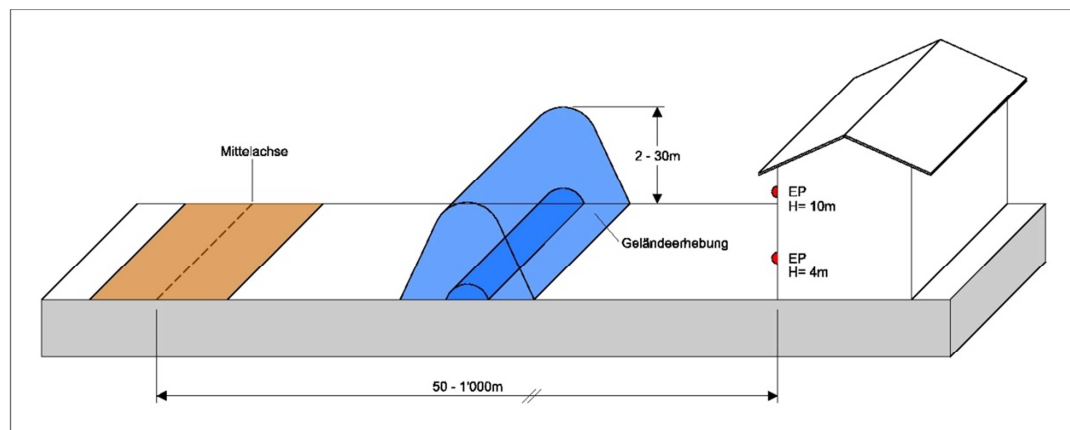
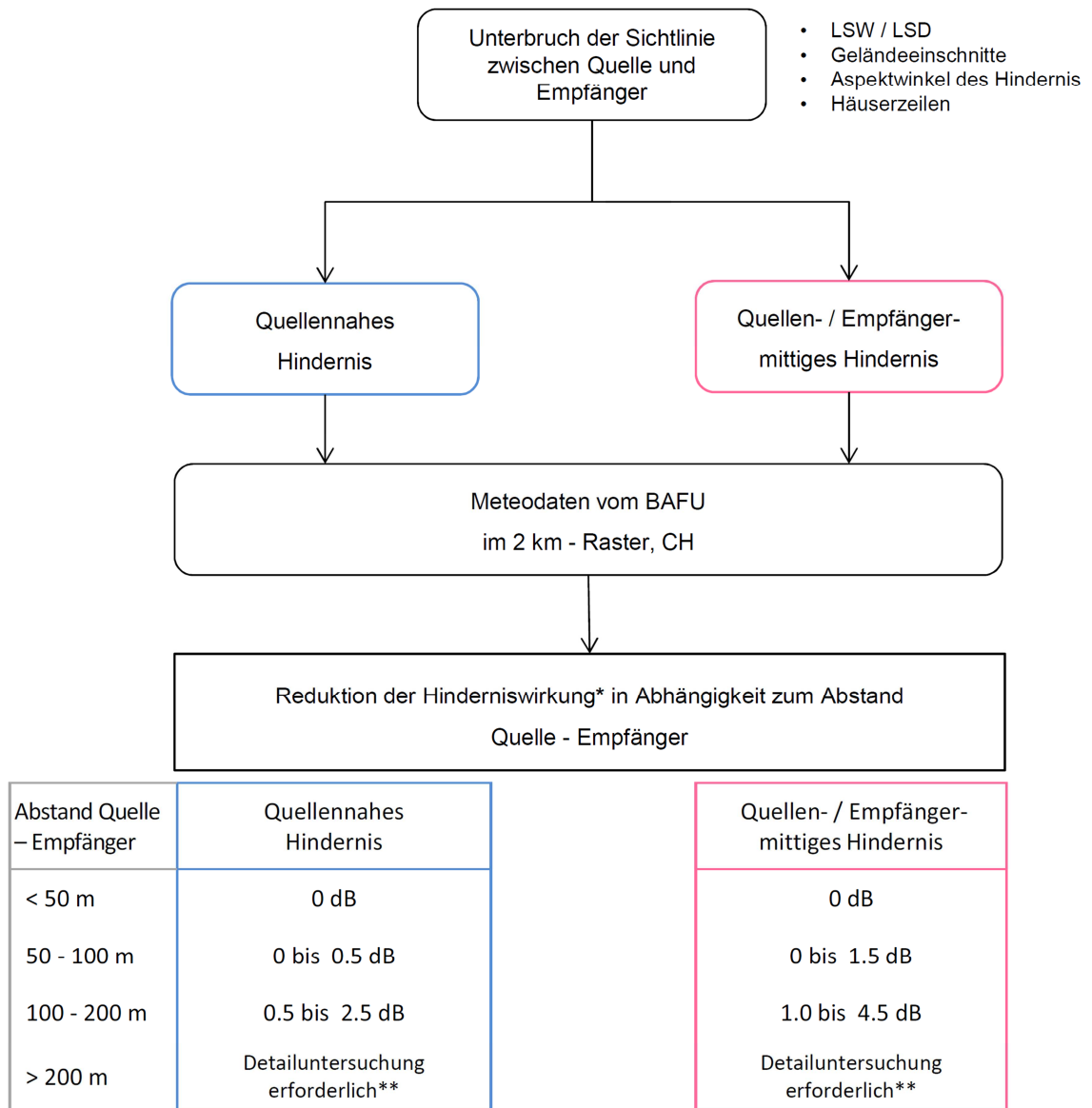


Abb. 5.76 Quellen-/Empfängermittiges Hindernis – Hindernis 2 bis 30 m hoch, in halber Entfernung zwischen Quelle und Empfänger; Distanz der Immissionspunkte zwischen 50 und 1'000 m.

In Abb. 5.77 ist der schematische Ablauf zur Abschätzung der verminderten Wirkung von Schallhindernissen dargestellt. Analog zur Meteo korrektur bei ungehinderter Schallausbreitung (Abb. 5.74) wird bei einem zeitlichen Anteil von mehr als 30% förderlicher Ausbreitungsverhältnisse am Standort eine Wirkungsreduktion vorgeschlagen.

Ausgangslage: Neutrale Ausbreitungsbedingungen

* *Abminderung* der Werte je nach Häufigkeit H für stark förderliche Ausbreitungsbedingungen:

$H \leq 30\% \rightarrow$ keine Reduktion der Hinderniswirkung

$H > 30\% \rightarrow$ Werte von oben

** Die *Reduktion der Hinderniswirkung* kann auch mehr als 4.5 dB betragen (vgl. Kapitel 4.7).

Abb. 5.77 Wirkungsreduktion von Schallhindernissen

Bei Distanzen von mehr als 200 m zwischen Quelle und Empfänger nimmt die Unsicherheit infolge weiterer Effekte wie z.B. Bodeneinflüsse deutlich zu, so dass hier Detailuntersuchungen erforderlich sind.

Hinweis: Die nach Abb. 5.77 gefundene Wirkungsreduktion darf nicht gleichzeitig mit der Meteokorrektur gemäss Abb. 5.74 verwendet werden, da sonst der Meteeinfluss am Empfangsort zweimal berücksichtigt wird.

5.4 Folgerungen für den praktischen Lärmschutz

Für Lärmuntersuchungen in der Praxis ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Für Langzeitmessungen (Messdauer: i.d.R. 1 Woche nach üblicher Praxis des ASTRA), die zur Verifizierung der Tag/Nachtunterschiede verwendet werden, sollten zukünftig auch Meteodaten erfasst und berücksichtigt werden. Dies kann durch eigene Erhebungen oder durch Zugriff auf entsprechende Meteostationen in der nahen Umgebung geschehen. Durch Vergleich mit Jahres-Meteostatistiken können die Ergebnisse auf jahresdurchschnittliche Werte hochgerechnet werden. Es ist zu erwarten, dass in Kürze schweizweite Meteostatistiken des BAFU vorliegen, die für die Anwendung bei Lärmprognosen geeignet sind.
- Bei zukünftigen Lärmmessungen und -prognosen ist eine transparente Darstellung insbesondere was den Emissionsansatz betrifft, notwendig (StL-86+ oder SonRoad, LSV- oder ASTRA-Kategorienbildung, signalisierte oder gefahrene Geschwindigkeit). Nur so kann abgeschätzt werden, ob emissionsseitige Metekorrekturen noch eingerechnet werden müssen oder bereits im Emissionsansatz indirekt enthalten sind.
- Die meteobedingten Tag/Nachtdifferenzen für Siedlungsgebiete im Bereich von Lärmschutzwänden oder -dämmen sind messtechnisch noch nicht abgesichert. Theoretische Berechnungen zeigen, dass die Wirkung solcher Massnahmen bei stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen deutlich reduziert sein kann.

5.5 Offene Fragen

Folgende Fragen konnten im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit nicht abschliessend geklärt werden:

- Die Wirkungsreduktion von Lärmschutzhindernissen wurde in der vorliegenden Untersuchung rechnerisch nachgewiesen. An einem Standort (Preonzo) mit teilweiser Abschirmung der Nationalstrasse wurden Messungen vorgenommen. Zur Absicherung der Ergebnisse sind weitere Standorte im Schallschatten erforderlich. Hier könnte auch die Auswertung der im Rahmen der ZELs vorgenommenen Strassenlärmmessungen hilfreich sein.
- Die vorliegenden Untersuchungen wurden ausschliesslich für Hochleistungsstrassen durchgeführt. Die Übertragung der Ergebnisse auf andere Strassenkategorien ist nicht ohne weiteres möglich. Einerseits gibt es emissionsseitige Unterschiede (z.B. Verkehrszusammensetzung, tiefere Geschwindigkeiten, weniger Verkehr in der Nacht) und andererseits differieren die geometrischen Bedingungen erheblich (kürzere Distanzen, städtische Bebauungen).
- Die Auswertung für den Standort Sion weist im Gegensatz zu den anderen 5 Standorten gegenläufige Ergebnisse in Bezug auf die Ausbreitungsdämpfung auf, d.h. in der Nachtperiode ist die Dämpfung grösser als am Tag. Eine eindeutige Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden. Zur Klärung wären weitere Messungen speziell im Rhonetal notwendig.
- Für die tageszeitliche Abhängigkeit der Ausbreitungsdämpfung (vgl. Kapitel 4.2.1 und Anhang IV) konnte noch keine schlüssige Erklärung gefunden werden. Es werden einerseits tageszeitabhängige Störeinflüsse und andererseits lokale Meteeinflüsse vermutet.
- Der Bedarf nach einer Weiterentwicklung der Emissionsansätze mit mehr als 2 Fahrzeugkategorien ist vorhanden (Verkehrszahlen an Nationalstrassen werden bereits heute flächendeckend in 10 Fahrzeugklassen erfasst). Dies bedingt jedoch eine Anpassung der eidgenössischen Lärmschutzverordnung.

Anhänge

I	Messstandorte 2010	73
I.1	Kriegstetten	73
I.2	Wädenswil.....	74
I.3	Arch	75
I.4	Zizers	76
I.5	Preonzo	77
I.6	Sion.....	78
II	Meteo-Schweiz Stationen	79
III	Verkehrszählstellen	81
IV	Ausbreitungsdämpfung.....	83
V	Anwendungsbeispiele	87
V.1	Beispiel 1: Ungehinderte Schallausbreitung.....	87
V.2	Beispiel 2: Quellennahes Hindernis	88

I Messstandorte 2010

I.1 Kriegstetten

Messort

Gemeinde	Kriegstetten	Name	Hänggärtner
Adresse	Kürzematthof 2	Koordinaten	611815 / 224212
Lärmquelle	N01	Geschwindigkeit	120 km/h
Distanz zur Quelle	ca. 420 m	Höhe über Terrain	ca. 2 m
Aufstellungsort	Freifeld		

Messung

Messzeit	28.04. – 09.07.2010	Messdauer	72 Tage
Messgerät	Norsonic Typ 140 (1402959)	Aussenmikrofon	Typ 1211 (23803)
ASTRA-Zählstelle	Nr. 182 Kirchberg N	Meteostation	Koppigen
Bemerkung	ab 30.05.2010 Ausfall der ASTRA-Zählstelle		

Situation und Fotos



I.2 Wädenswil

Messort

Gemeinde	Wädenswil	Name	Zollinger
Adresse	Neuhus 1	Koordinaten	693066 / 230127
Lärmquelle	N03	Geschwindigkeit	120 km/h
Distanz zur Quelle	ca. 75 m	Höhe über Terrain	ca. 4 m
Aufstellungsort	Freifeld, auf Dachterrasse		

Messung

Messzeit	29.07. – 30.09.2010	Messdauer	63 Tage
Messgerät	Norsonic Typ 140 (1402960)	Aussenmikrofon	Typ 1211 (20187)
ASTRA-Zählstelle	Nr. 55 Richterswil	Meteostation	Wädenswil
Bemerkung	Vom 24.08. – 01.09.2010 sind keine Daten von ASTRA-Zählstelle vorhanden.		

Situation und Fotos



I.3 Arch

Messort

Gemeinde	Arch	Name	Wüthrich
Adresse	Solothurnstrasse 53	Koordinaten	599999 / 224664
Lärmquelle	N05	Geschwindigkeit	120 km/h
Distanz zur Quelle	ca. 420 m	Höhe über Terrain	ca. 3 m
Aufstellungsort	Freifeld		

Messung

Messzeit	13.07. – 03.09.2010	Messdauer	52 Tage
Messgerät	Norsonic Typ 140 (1402959)	Aussenmikrofon	Typ 1211 (23803)
ASTRA-Zählstelle	Nr. 237 Grenchen	Meteostation	Grenchen
Bemerkung	--		

Situation und Fotos



I.4 Zizers

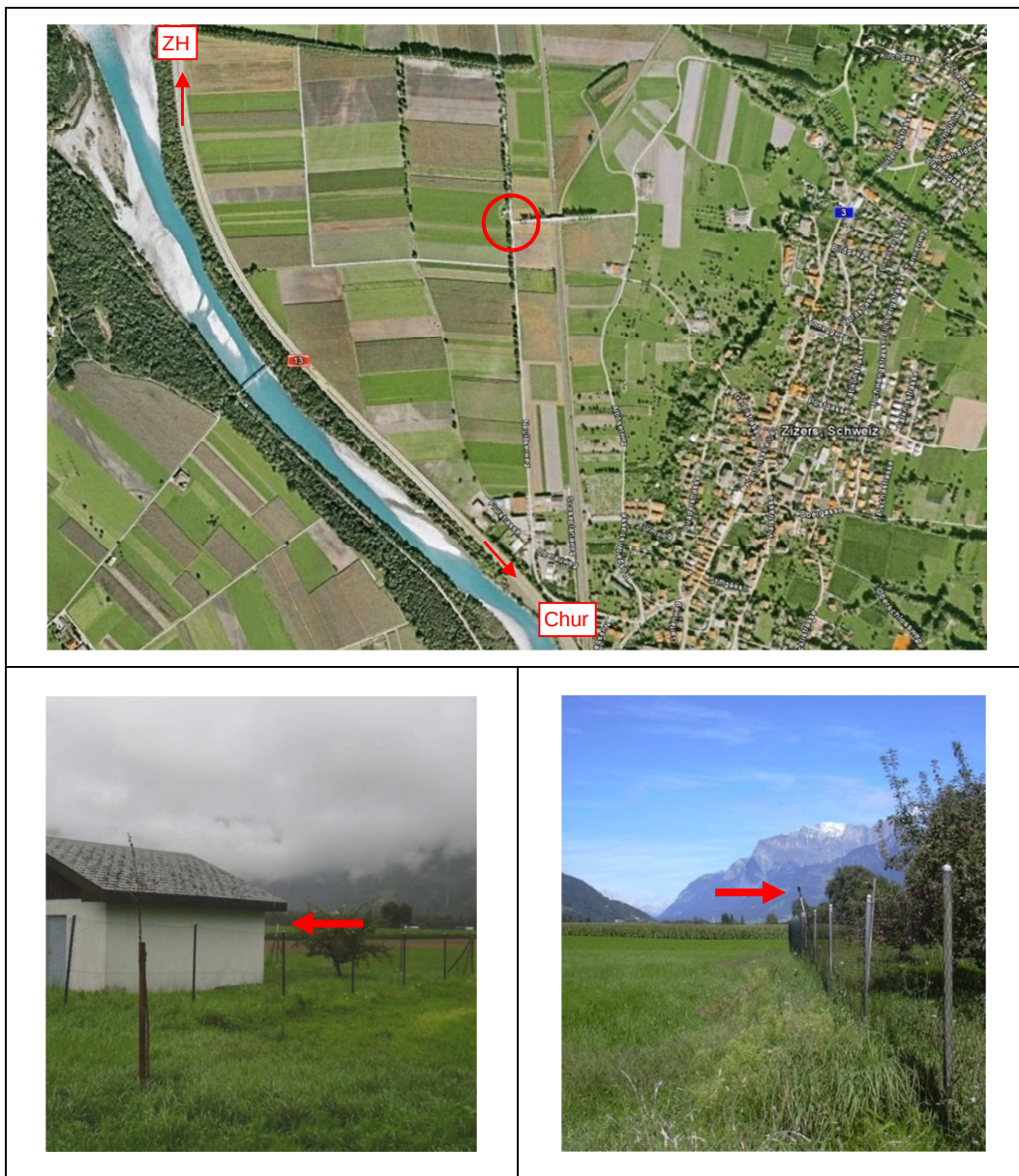
Messort

Gemeinde	Zizers	Name	Pumpwerk Viertellöser
Adresse	Neulöserweg	Koordinaten	761257 / 201177
Lärmquelle	N13	Geschwindigkeit	120 km/h
Distanz zur Quelle	ca. 650 m	Höhe über Terrain	ca. 2 m
Aufstellungsort	Freifeld		

Messung

Messzeit	03.09. – 29.10.2010	Messdauer	56 Tage
Messgerät	Norsonic Typ 140 (1402959)	Aussenmikrofon	Typ 1211 (23804)
ASTRA-Zählstelle	Nr. 228 Zizers	Meteostation	Chur
Bemerkung	--		

Situation und Fotos



I.5 Preonzo

Messort

Gemeinde	Preonzo	Name	Banfi
Adresse	Campagna 79a	Koordinaten	720575 / 125070
Lärmquelle	N02	Geschwindigkeit	120 km/h
Distanz zur Quelle	ca. 280 m, teilw. abgeschirmt	Höhe über Terrain	ca. 4.5 m
Aufstellungsort	Freifeld, auf Balkon		

Messung

Messzeit	17.09. – 03.12.2010	Messdauer	69 Tage
Messgerät	Norsonic Typ 140 (1402724), Norsonic Typ 140 (1402959)	Aussenmikrofon	Typ 1211 (23803)
ASTRA-Zählstelle	Nr. 265 Moleno N	Meteostation	Lodrino, Magadino
Bemerkung	Vom 30.09. – 08.10.2010 liegen keine Messdaten vor.		

Situation und Fotos



I.6 Sion

Messort

Gemeinde	<i>Sion (Bramois)</i>	Name	<i>Zimmermann</i>
Adresse	<i>Rte. des Diligences 16</i>	Koordinaten	<i>596789 / 120758</i>
Lärmquelle	<i>N09</i>	Geschwindigkeit	<i>120 km/h</i>
Distanz zur Quelle	<i>ca. 325 m</i>	Höhe über Terrain	<i>ca. 2.5 m</i>
Aufstellungsort	<i>Freifeld, auf Balkon</i>		

Messung

Messzeit	<i>06.10. – 01.12.2010</i>	Messdauer	<i>56 Tage</i>
Messgerät	<i>Norsonic Typ 140 (1402960)</i>	Aussenmikrofon	<i>Typ 1211 (20187)</i>
ASTRA-Zählstelle	<i>Nr. 201 Sion E</i>	Meteostation	<i>Sion</i>
Bemerkung	<i>--</i>		

Situation und Fotos



II Meteo-Schweiz Stationen

Für die statistischen Untersuchungen wurden Daten von folgenden Meteostationen ausgewertet:

Tab. II.1 Untersuchte Meteo-Schweiz A-Netz Stationen

	Name	X-Koordinate	Y-Koordinate	Höhe ü.M.
TAE	Aadorf/Tänikon	710514	259821	539
COM	Acquarossa/Comprovasco	714998	146440	575
ABO	Adelboden	609400	148975	1320
AIG	Aigle	560400	130713	381
ALT	Altdorf	690174	193558	438
BAS	Basel/Binningen	610911	265600	316
BER	Bern/Zollikofen	601929	204409	552
BEZ	Beznau	659808	267693	325
BUS	Buchs/Aarau	648389	248365	386
FRE	Bullet/LaFrétaz	534221	188081	1205
CHU	Chur	759471	193157	556
DAV	Davos	783514	187457	1594
DIS	Disentis/Sedrun	708188	173789	1197
ENG	Engelberg	674156	186097	1035
EVO	Evolène/Villa	605415	106740	1825
FAH	Fahy	562458	252676	596
GVE	Genève-Cointrin	498903	122624	420
GLA	Glarus	723752	210567	516
GOE	Gösgen	640417	245937	380
GUT	Güttingen	738419	273960	440
HIR	Hinterrhein	733900	153980	1611
CDF	LaChaux-de-Fonds	550923	214893	1018
LEI	Leibstadt	656378	272111	341
OTL	Locarno/Monti	704160	114350	366
LUG	Lugano	717873	95884	273
LUZ	Luzern	665540	209848	454
MAG	Magadino/Cadenazzo	715475	113162	203
MVE	Montana	601706	127482	1427
MUB	Mühleberg	587788	202478	479
NAP	Napf	638132	206078	1403
NEU	Neuchâtel	563150	205600	485
CGI	Nyon/Changins	506880	139573	455
PAY	Payerne	562127	184612	490
PIO	Piotta	695888	152261	990
PLF	Plaffeien	586808	177400	1042
ROB	Poschiavo/Robbia	801850	136180	1078
ROE	Robièi	682587	144091	1894
RUE	Rünenberg	633246	253845	611
SAM	Samedan	787210	155700	1708
SBE	San Bernardino	734112	147296	1638
SHA	Schaffhausen	688698	282796	438
SCU	Scuol	817135	186393	1303
SIO	Sion	591630	118575	482

Tab. II.1 Untersuchte Meteo-Schweiz A-Netz Stationen

	Name	X-Koordinate	Y-Koordinate	Höhe ü.M.
STG	St.Gallen	747861	254586	775
SBO	Stabio	716034	77964	353
ULR	<i>Ulrichen</i>	<i>666740</i>	<i>150760</i>	<i>1345</i>
VAD	Vaduz	757718	221696	457
VIS	Visp	631149	128020	639
WAE	Wädenswil	693849	230708	485
WYN	Wynau	626400	233850	422
ZER	<i>Zermatt</i>	<i>624350</i>	<i>97566</i>	<i>1638</i>
REH	Zürich/Affoltern	681428	253545	443
SMA	Zürich/Fluntern	685117	248061	555
KLO	Zürich/Kloten	682706	259337	426

Stationen, die höher als 1'000 m über Meer gelegen sind, sind *kursiv* markiert.

III Verkehrszählstellen

Für die statistischen Untersuchungen wurden Daten von folgenden Verkehrszählstellen ausgewertet:

Tab. III.2 Untersuchte ASTRA-Verkehrszählstellen

	Name	Strasse	Anzahl Spuren	Über Tag und Nacht gemittel- te PW-Geschw. [km/h]
11	Rapperswil Seedamm	H18	2	65
24	Rolle	A1	4	111
33	Eptingen	A2	5	106
41	Grand-St-Bernard (Tunnel)	H21	2	71
53	Weesen	A3	4	108
55	Richterswil	A3	5	116
56	Schönbühl	A1	6	102
78	Payerne S	H1	3	88
111	Frutigen S	H223	2	66
112	Pont de Thielle	H10	4	75
120	Sisikon	A4	2	71
121	Colombier	A5	4	102
163	Münchenbuchsee	H6	4	117
164	Visp	H9	2	80
170	Giessbachtunnel	A8	2	82
186	St-Gingolphe	H21	2	64
191	Goldau	A4	5	109
201	Sion	A9	4	119
204	Lavorgo	A2	5	104
207	Heimberg	A6	4	112
221	Zürich Brunau	A3	6	83
238	Rothenbrunnen	A13	4	102
239	Reiden	A2	4	117
241	Opfikon	A11	4	94
271	Muri BE	A6	4	97
275	Frauenfeld Ost	A7	4	120
289	Camignolo	A2	4	116
295	Oeschgen	A3	4	121
303	Thurau	A1	4	119
310	Sennwald	A13	4	122
325	Düdingen	A12	4	118

IV Ausbreitungsdämpfung

Darstellung der Ausbreitungsdämpfung im 24-Stunden-Tagesverlauf, Aufteilung in die 4 Meteoklassen (hinderliche, neutrale, förderliche und stark förderliche Schallausbreitung):

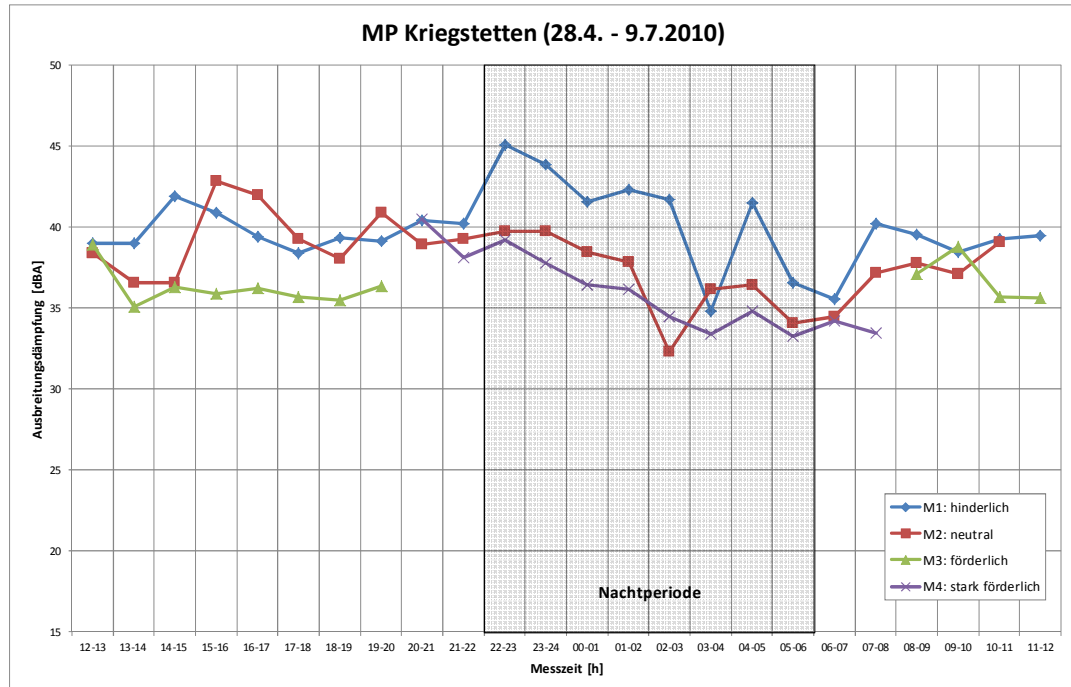


Abb. IV.3 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde aufgeschlüsselt nach den 4 Meteoklassen für den Standort Kriegstetten.

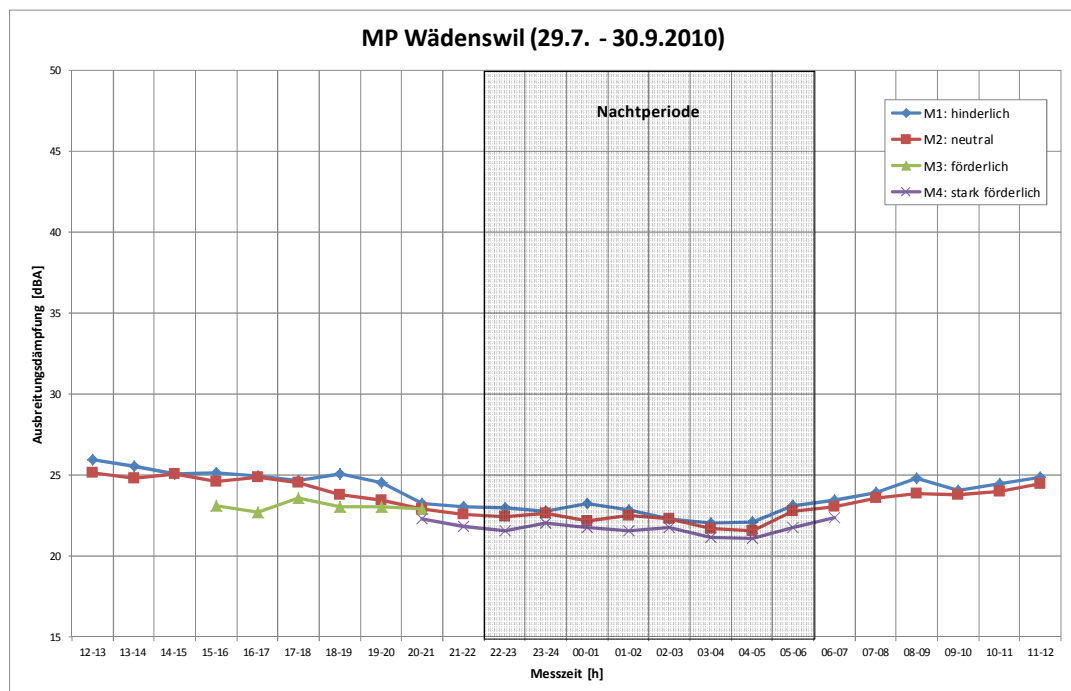


Abb. IV.4 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde aufgeschlüsselt nach den 4 Meteoklassen für den Standort Wädenswil.

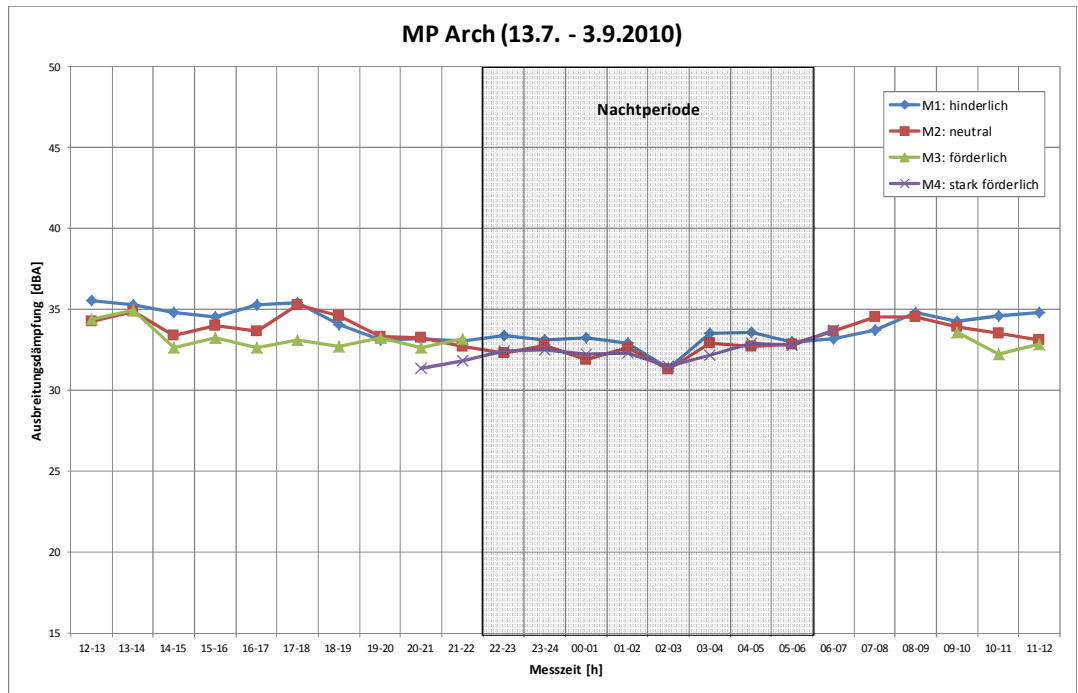


Abb. IV.5 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde aufgeschlüsselt nach den 4 Meteoklassen für den Standort Arch.

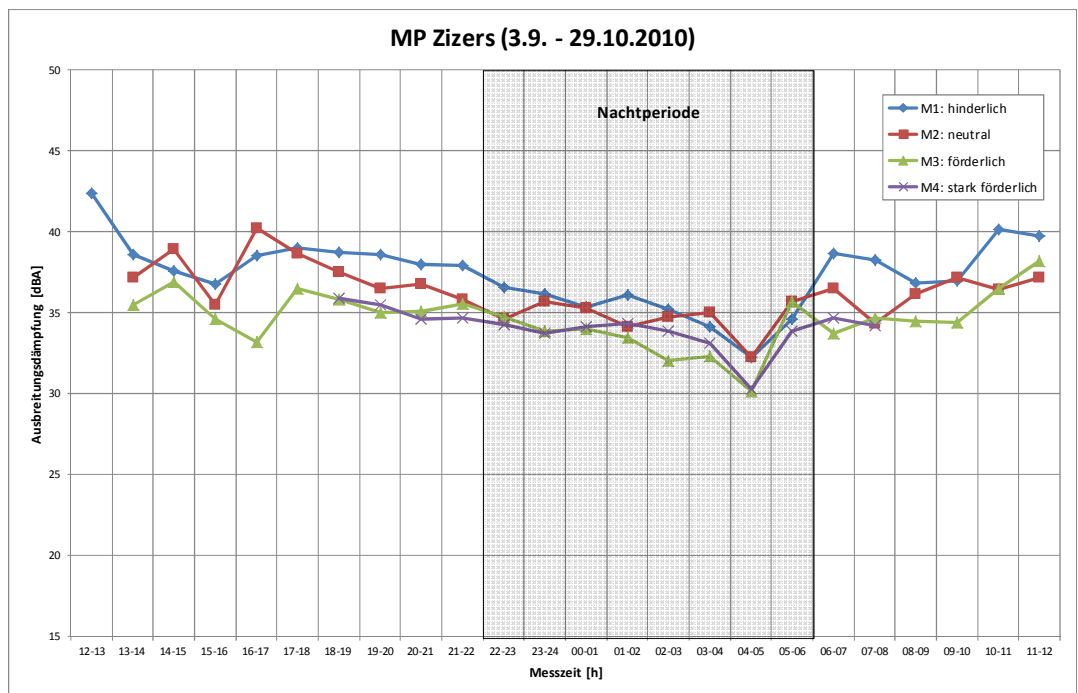


Abb. IV.6 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde aufgeschlüsselt nach den 4 Meteoklassen für den Standort Zizers.

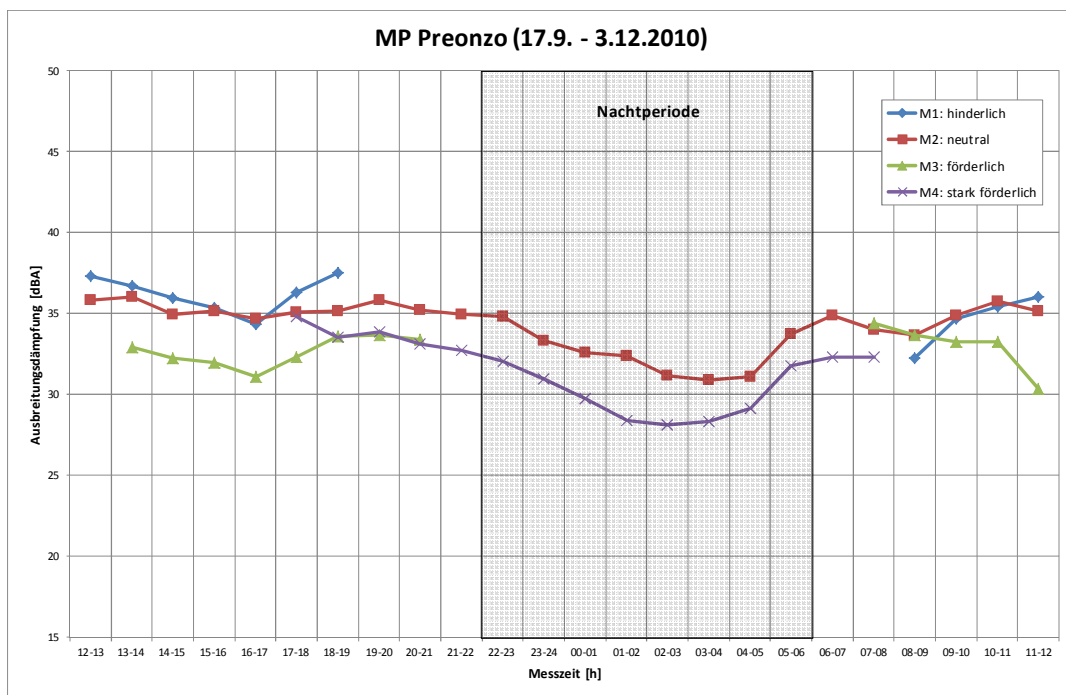


Abb. IV.7 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde aufgeschlüsselt nach den 4 Meteoklassen für den Standort Preonzo.

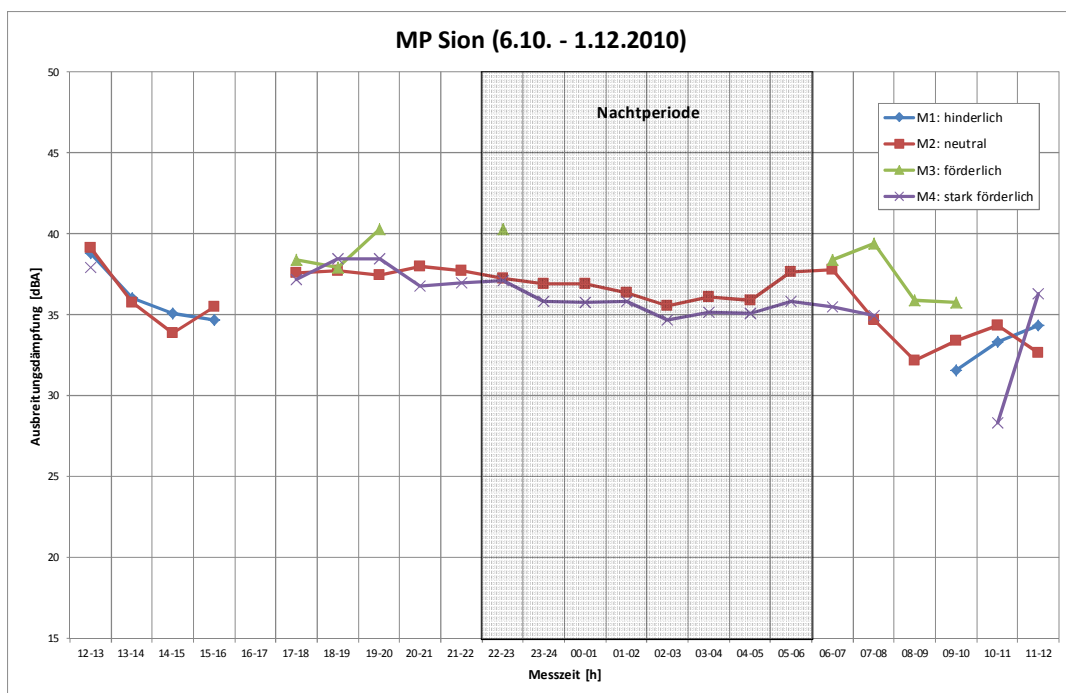
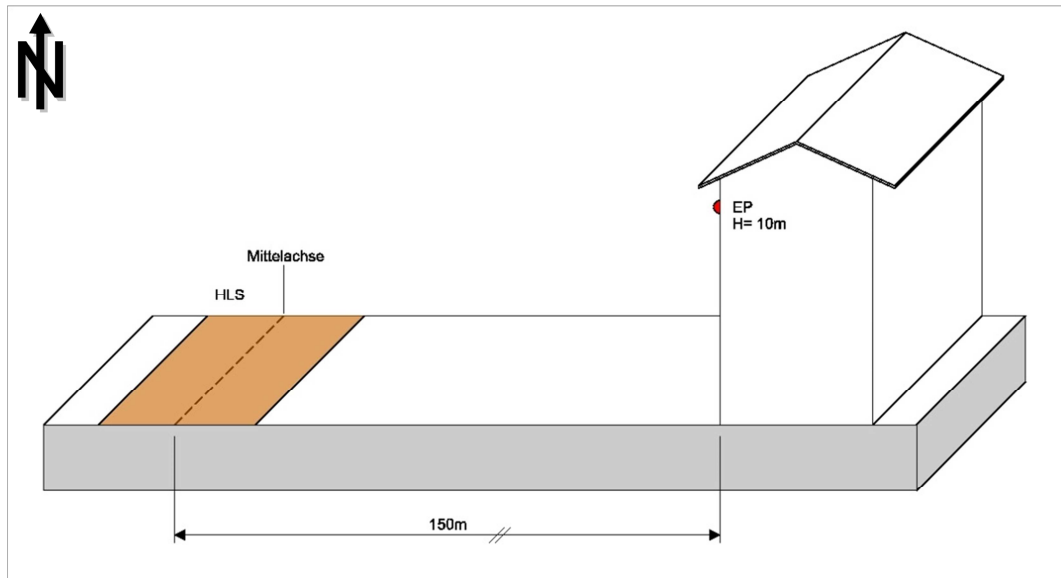


Abb. IV.8 Ausbreitungsdämpfung pro Stunde aufgeschlüsselt nach den 4 Meteoklassen für den Standort Sion.

V Anwendungsbeispiele

V.1 Beispiel 1: Ungehinderte Schallausbreitung

Situation



Eingabedaten

- Emissionspegel: Tag $L_{e,1m} = 90 \text{ dBA}$
Nacht $L_{e,1m} = 83 \text{ dBA}$ } $\Delta = 7 \text{ dB}$
- Quellenhöhe = 0.8 m
- Empfänger EP: 150 m östlich der Lärmquelle

Tab. V.9 Häufigkeit für stark förderliche Ausbreitungsbedingungen am EP

	Nord (0°)	Ost (90°)	Süd (180°)	West (270°)
Tag	5 %	10%	5%	5%
Nacht	30%	35%	25%	25%

Berechnungsergebnisse

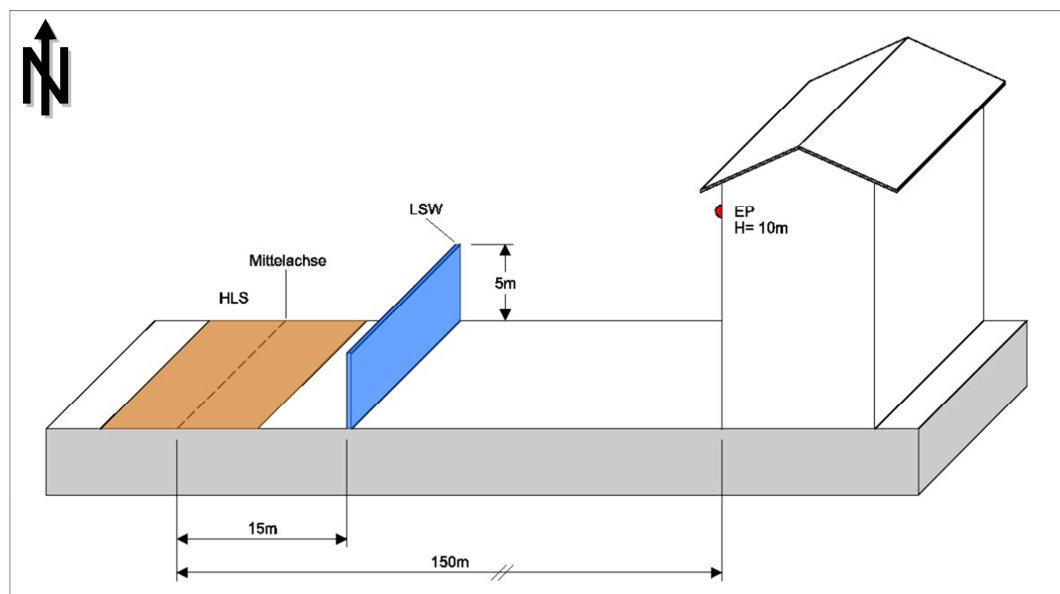
- Berechnungsmodell StL-86+: Ausbreitungsdämpfung D_{tot} für EP
 $D_{\text{tot}} = 23.4 \text{ dB}$
- Beurteilungspegel am EP: Tag 66.6 dBA
Nacht 59.6 dBA
- Meteorokorrektur (vgl. Abb. 5.74): Tag 0 dB
Nacht 1 dB
- Beurteilungspegel am EP inkl. Meteorokorrektur:
Tag 66.6 dBA
Nacht 60.6 dBA } $\Delta = 6 \text{ dB}$

Hinweis

Der Emissionspegel wurde mit dem Berechnungsansatz StL-86+ mit ASTRA-Kategorienbildung und signalisierter Geschwindigkeit berechnet; eine allfällige nächtliche Emissionszunahme ist ebenfalls berücksichtigt.

V.2 Beispiel 2: Quellennahes Hindernis

Situation



Eingabedaten

- Emissionspegel: Tag $L_{e,1m} = 90 \text{ dBA}$
Nacht $L_{e,1m} = 83 \text{ dBA}$ } $\Delta = 7 \text{ dB}$
- Quellenhöhe = 0.8 m
- Lärmschutzwand mit $H = 5 \text{ m}$
- Empfänger EP: 150 m östlich der Lärmquelle

Tab. V.10 Häufigkeit für stark förderliche Ausbreitungsbedingungen am EP

	Nord (0°)	Ost (90°)	Süd (180°)	West (270°)
Tag	5 %	10%	5%	5%
Nacht	30%	35%	25%	25%

Berechnungsergebnisse

- Berechnungsmodell StL-86+: Ausbreitungsdämpfung D_{tot} für EP
 $D_h = 15.6 \text{ dB (LSW)}$
 $D_{\text{tot}} = 39.0 \text{ dB}$
- Beurteilungspegel am EP: Tag 51.0 dBA
Nacht 41.0 dBA
- Wirkungsreduktion LSW (vgl. Abb. 5.77): Tag 0 dB
Nacht 0.5 – 2.5 dB (im Mittel: 1.5 dB)
- Beurteilungspegel am EP inkl. Meteeinfluss:
Tag 51.0 dBA
Nacht 45.5 dBA } $\Delta = 5.5 \text{ dB}$

Hinweise

- Der Emissionspegel wurde mit dem Berechnungsansatz StL-86+ mit ASTRA-Kategorienbildung und signalisierter Geschwindigkeit berechnet; eine allfällige nächtliche Emissionszunahme ist ebenfalls berücksichtigt.
- Bei der Berücksichtigung einer Wirkungsreduktion darf für den Beurteilungspegel am Empfänger nicht gleichzeitig eine Metekorrektur (für ungehinderte Schallausbreitung) verwendet werden.

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
CadnaA	Software zur Berechnung von Schallimmissionen, DataKustik GmbH
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt der Schweiz
ISO	Internationale Organisation für Normung
HLS	Hochleistungsstrasse
Leq	Mittelungspegel in dBA
Leq,1h	Stündlicher Mittelungspegel in dBA
LSD	Lärmschutzdamm
LSV	Lärmschutz-Verordnung des Bundes
LSW	Lärmschutzwand
LW	Lieferwagen
MFM-U	Monitoring Flankierende Massnahmen Umwelt
MP	Messpunkt
N1	Fahrzeugkategorie N1 gemäss Anhang 3 LSV: Personenwagen, Lieferwagen, Kleinbusse, Motorfahräder und Trolleybusse
N2	Fahrzeugkategorie N2 gemäss Anhang 3 LSV: Lastwagen, Sattelschlepper, Gesellschaftswagen, Motorräder und Traktoren
PW	Personenwagen
SonRoad	Berechnungsmodell für Strassenlärm, BUWAL 2004 (SRU-366-D)
StL-86+	Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell, Mitteilungen zur LSV, Nr. 6, BUWAL 1995
SWISS10	Fahrzeugklassen gemäss ASTRA-Richtlinie 13012 "Verkehrszähler", 2009
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
ZEL	Zustandserfassung Lärm

Literaturverzeichnis

-
- [1] Forschungsauftrag ASTRA 2002/012 "Wirkung von Schallschirmen bei Inversionslagen und Wind", Bericht Nr. 1179, Juli 2007
-
- [2] K. Heutschi, Schätzung der mittleren akustischen Leistungen von Personen- und Lastwagen anhand von quellennahen Strassenlärmimmissionsmessungen, Tagung Fortschritte der Akustik DAGA 2005.
-
- [3] U. Sandberg, J. A. Ejsmont: Tyre/road noise reference book. Published by Informex, 2002.
-
- [4] R. J. Thompson, Ray Theory for an Inhomogeneous Moving Medium, Journal of the Acoustical Society of America, vol. 51, 1675 – 1682 (1972).
-
- [5] J. Defrance, et al., Outdoor Sound Propagation Reference Model Developed in the European Harmonoise Project, Acta Acustica united with Acustica, vol. 93, 213 – 227 (2006)
-
- [6] L. D. Poulikakos, K. Heutschi, M. Arraigada, P. Anderegg, P. Soltic, Environmental footprint of road freight: Case studies from Switzerland, Transport Policy Journal, vol. 17, 342 – 348 (2010).
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 10.04.2015

Grunddaten

Projekt-Nr.: ASTRA 2008/013_OBF
Projekttitel: Nächtliche Immissionsprognosen von Strassenlärm (Hochleistungsstrassen)
Enddatum: April 2015

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Ziel des Forschungsprojektes ist die Ermittlung und Quantifizierung der systematischen Tag-/Nachtunterschiede, basierend auf den emissionsseitigen und ausbreitungsbedingten Einflussfaktoren. Die Untersuchungen und ermittelten Ergebnisse gelten für Hochleistungsstrassen.

Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse sind:

- Die aus den Lärmessungen ermittelten Ausbreitungsdämpfungen variieren je nach Meteosituation erheblich: Die Differenz der Dämpfungen zwischen hinderlichen und stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen beträgt je nach Messort zwischen 1.8 und 4.7 dBA.
- Die Datenauswertung von 36 Meteo-Schweiz Stationen zeigt, dass am Tag die Ausbreitungsbedingungen hauptsächlich vom Wind geprägt sind. Im Jahresdurchschnitt kann von neutralen Bedingungen ausgegangen werden. In der Nacht liegt die Häufigkeit von wind- und inversionsbedingten stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen an vielen Messstationen bei mehr als 50%.
- Alle quellseitigen Aspekte wie Verkehrsmenge, Geschwindigkeit, Spurbelegung, Fahrzeugmix, Fahrweise sowie Belagstemperatur führen zu einer nächtlichen Emissionszunahme in der Grössenordnung von 0.5 dBA.
- Je nach Emissionsmodell (StL-86+ oder SonRoad) kann die Fahrzeugaufteilung in die beiden LSV-Kategorien N1 und N2 in Verbindung mit der im Modell verwendeten Geschwindigkeit (signalisiert oder tatsächlich gefahren) zu systematischen Tag/Nachtdifferenzen von bis zu 0.7 dBA führen.

Basierend auf den Auswertungen wird ein praxisnahes Verfahren zur Berücksichtigung von Meteeinflüssen entwickelt. Damit können Lärmsituationen von ungehinderter Schallausbreitung sowie eine Reduktion der Hinderniswirkung realitätsnah beurteilt werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Alle Ziele des Forschungsprojektes wurden erreicht.

Folgerungen und Empfehlungen:

Das vorliegende Forschungsprojekt liefert wertvolle Impulse für die Berücksichtigung von Meteeinflüssen bei Lärmprognosen.

Für zukünftige Lärmmessungen und -prognosen ist eine transparente Darstellung des Emissionsansatzes erforderlich. Dies ermöglicht die Prüfung und Anwendung von allfälligen Meteokorrekturen. Die meteobedingten Tag/Nachtdifferenzen für Siedlungsgebiete im Bereich von Lärmschutzwänden oder -dämmen sind messtechnisch noch nicht abgesichert. Theoretische Berechnungen zeigen, dass die Wirkung solcher Massnahmen bei stark förderlichen Ausbreitungsbedingungen deutlich reduziert werden.

Publikationen:

Neben dem Forschungsbericht ist Folgendes vorgesehen:

- Publikation in ausgewählten Fachzeitschriften oder an Fachveranstaltungen (noch offen)

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Bayer

Vorname: René

Amt, Firma, Institut: B+S AG, Weltpoststrasse 5, Postfach 313, 3000 Bern 15

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Ziel des Forschungsauftrags war es, mittels Messungen die Schallausbreitung in Abhängigkeit der meteorologischen Einflüsse (Wind und Inversionslagen) zu erfassen und daraus die Immissionsunterschiede zwischen Tag und Nacht abzuleiten.

Dieses Ziel ist insofern erreicht worden, in dem sich aus den Messdaten Unterschiede Tag/Nacht ableiten lassen. Die Ausbreitungen für die gleichen meteorologischen Lagen sind jedoch für Tag und Nacht sehr unterschiedlich; eine eindeutige Erklärung dafür konnte nicht gefunden werden. Zudem lieferte eine der Messstationen (Sion) Resultate, die den eindeutigen Erkenntnissen aus den übrigen Stationen widersprechen und nicht erklärbar sind.

Umsetzung:

Als Resultat enthält die Publikation eine Anleitung, welche bei der Lärmbeurteilung von Hochleistungsstrassen herangezogen werden kann. Bevor diese Anleitung zur normativen Anwendung festgeschrieben resp. im Leitfaden Strassenlärm aufgenommen werden kann, sind die noch vorhandenen Erkenntnislücken zu schliessen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die Ausbreitung über grössere Distanzen unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen ist starken tageszeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Ursachen dieser Schwankungen sind im Prinzip bekannt (Wind- und Temperaturfelder), allerdings besteht eine erhebliche Unsicherheit in der konkreten Identifikation der relevanten Einflussgrössen. Weiter sind meteobedingte Tag/Nacht-Differenzen für Lärmschutzwände oder -dämme messtechnisch noch nicht abgesichert. Damit ist ein Forschungsbedarf in dieser Frage gegeben.

Einfluss auf Normenwerk:

Kein Einfluss auf das Normenwerk

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Weber

Vorname: Markus

Amt, Firma, Institut: Basler & Hofmann, Bachweg 1, 8133 Esslingen

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen kann unter www.astra.admin.ch (*Dienstleistungen* --> *Forschung im Strassenwesen* --> *Downloads* --> *Formulare*) heruntergeladen werden.