



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

Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30

**Basic information for assessing noise effects at speed limit
30 km/h**

**Bases d'évaluation de l'effet d'une vitesse de 30 km/h sur le
bruit**

Grolimund + Partner AG
Erik Bühlmann, MSc Geografie, Dipl. Akustiker SGA
Sebastian Egger, MSc Climate Science
Emanuel Hammer, Dr. sc. ETH
Toni Ziegler, Dipl. Natw. ETH

**Forschungsprojekt VSS 2012/214 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Februar 2017

1600

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

Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30

**Basic information for assessing noise effects at speed limit
30 km/h**

**Bases d'évaluation de l'effet d'une vitesse de 30 km/h sur le
bruit**

Grolimund + Partner AG
Erik Bühlmann, MSc Geografie, Dipl. Akustiker SGA
Sebastian Egger, MSc Climate Science
Emanuel Hammer, Dr. sc. ETH
Toni Ziegler, Dipl. Natw. ETH

**Forschungsprojekt VSS 2012/214 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Februar 2017

1600

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Toni Ziegler

Mitglieder

Erik Bühlmann

Sebastian Egger

Dr. Emanuel Hammer

Federführende Fachkommission

Fachkommission 2: Projektierung

Begleitkommission

Präsident

Thomas Stern, BVE Kanton Bern

Mitglieder

Markus Weber, Basler & Hofmann AG

Dr. Kurt Heutschi, EMPA

Maria Balmer, ASTRA, I/FU

Stefanie Rüttener, St. ZH, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Lärmschutz

Didier Racine, Service de l'énergie et de l'environnement, Kanton NE

Michael Gerber, BAFU, Abt. Lärm und NIS

Ursula Waber, Stadt Bern, Amt für Umweltschutz

Martin Stauber, BBS Ingenieure AG

KO-Finanzierung des Forschungsprojekts

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

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 Ausgangslage und Problemstellung	13
1.2 Forschungskontext	14
1.3 Vergleich existierender Modelle	14
1.4 Forschungsbedarf	15
1.4.1 Einflussgrösse Geschwindigkeit	15
1.4.2 Einflussgrösse Fahrverhalten	16
1.4.3 Veränderungen Fahrzeugpark und Bereifung	16
1.4.4 Einflussgrösse strassenbauliche Massnahmen	16
1.4.5 Einflussgrösse gestalterische Massnahmen	16
1.4.6 Einflussgrösse Strassenbelag	17
1.5 Ziele der Forschungsarbeit	17
2 Methoden	19
2.1 Untersuchungskonzept	19
2.2 Datenerhebungen Emissionsansatz niedriger Geschwindigkeitsbereich	20
2.2.1 Messkonzept	20
2.2.2 Fahrzeugpark	21
2.2.3 Messverfahren	22
2.2.4 Grobabschätzung Wirkung unterschiedlicher Bereifung	27
2.3 Datenerhebung statistisches Fahrverhalten	28
2.3.1 Messkonzept	28
2.3.2 Messverfahren	29
2.3.3 Messablauf	30
2.4 Ermittlung Emissionsansatz konstante Fahrweise	31
2.4.1 Rollgeräusch	31
2.4.2 Antriebsgeräusch	33
2.5 Ermittlung Emissionsansatz beschleunigende Fahrweise	36
2.6 Ermittlung Quellenformulierung	37
2.6.1 Abbilden des Fahrverhaltens	38
2.6.2 Berücksichtigung Belageinfluss, Zusammenführung Emissionsansatz & Umrechnung in Leq	38
2.6.3 Gewichtung PW-Fahrzeugpark	41
2.7 Durchführung der Validierung	42
3 Ergebnisse	43
3.1 Emissionsansatz	43
3.1.1 Rollgeräusch	43
3.1.2 Antriebsgeräusch	44
3.1.3 Beschleunigung	45
3.2 Statistisches Fahrverhalten	46
3.2.1 Geschwindigkeitsverteilung	46
3.2.2 Fahrweise	47
3.2.3 Geschwindigkeits-Gang-Bezug	48
3.2.4 Beschleunigungsstil	49
3.3 Quellenformulierung	51
3.3.1 Grobvalidierung der Quellenformulierung	51
3.3.2 Vergleich mit dem Schweizer Emissionsmodell StL86+ bei Tempo 50	52
3.3.3 Einfluss Geschwindigkeiten	53

3.3.4	Einfluss LKW- Anteile	55
3.3.5	Einfluss Strassenbeläge	57
3.4	Limitierungen	59
4	Schlussfolgerungen	61
5	Beispiel für Wirkungsabschätzung in der Praxis	65
	Anhänge.....	67
	Glossar.....	95
	Symbole und Abkürzungen	97
	Literaturverzeichnis.....	99
	Projektabschluss	103
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen.....	107

Zusammenfassung

Im verdichteten städtischen Raum stellen Geschwindigkeitsreduktionen neben dem Einbau von lärmarmen Belägen häufig die einzige Möglichkeit dar, übermässigen Strassenlärm gemäss Lärmschutz-Verordnung an der Quelle zu reduzieren. Bei Lärmsanierungsprojekten im Innerortsbereich steht die Einführung von Tempo 30 daher immer häufiger im Fokus. Da die heute verfügbaren Lärmemissionsmodelle in der Schweiz jedoch nicht für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich und die Besonderheiten von Tempo 30 Situationen ausgelegt sind, fehlen die Grundlagen um zuverlässige Prognosen zur Lärmwirkung von Verkehrsberuhigungsmassnahmen und der Einführung von Tempo 30 vornehmen zu können.

Im Rahmen des Forschungsprojektes VSS 2012/214 wurden aktuelle Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30 ausgearbeitet, um zukünftig zuverlässigere Prognosen bezüglich des Lärminderungspotentials für niedrige Geschwindigkeiten, insbesondere für Tempo 30, zu gewährleisten. Dazu wurden die Schallemissionen eines aktuellen, für die Schweiz repräsentativen Fahrzeugparks bei unterschiedlichem Fahrverhalten (Gangwahl, unstetige Fahrweise, Fahrstil etc.) in einer umfangreichen Messkampagne systematisch erfasst und in Emissionsansätze für konstantes und beschleunigtes Fahrverhalten überführt. Mithilfe statistischer Erhebungen zum Fahrverhalten an bereits realisierten, häufig vorkommenden Tempo 30 Zonen, sowie eines adaptierten Emissionsansatzes für LKW aus dem Europäischen Emissionsmodell CNOSSOS wurden diese Emissionsansätze in eine Quellenformulierung überführt, welche es ermöglicht Tempo 30 Situationen hinsichtlich ihrer Lärmwirkung mit guter Zuverlässigkeit zu beurteilen. Die Ergebnisse zeigen, dass wesentliche Lärmreduktionen durch die Einführung von Tempo 30 möglich sind. Je nach effektiv gefahrener Geschwindigkeit, Lastwagenanteil und Strassenbelag lassen sich Reduktionen der Lärmpegel (Leq) zwischen ca. 2 dB und 4.5 dB erzielen. Die Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugparks und des Fahrverhaltens ist dabei von zentraler Bedeutung. Weiterhin zeigt sich eine entscheidende Abhängigkeit der Lärmwirkung von der Art der Massnahme bzw. des Zonentyps, mit welcher die Temporeduktion herbeigeführt wird. Die untersuchten Beispiele zeigen, dass auch ohne grosse bauliche Massnahmen erhebliche Geschwindigkeitsreduktionen bei stetigem Verkehrsfluss herbeigeführt werden können und die Lärmemissionen dadurch deutlich gesenkt werden.

Basierend auf der Prognose der Lärmwirkung für verschiedene Tempo 30 Situationen wurden die effektive Geschwindigkeit, der LKW-Anteil sowie die akustische Beschaffenheit der Strassenbeläge als entscheidende Ursachen für die im Rahmen von Fallstudien beobachtete starke Streuung der Lärmwirkung identifiziert. Die durch Tempo 30 effektiv erreichte Geschwindigkeitsreduktion (die Differenz zwischen den effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten in der Ausgangssituation und der Zielsituation) bildet eine wesentliche Einflussgrösse bezüglich der Lärmwirkung von Tempo 30. Falls die getroffenen Massnahmen nicht zu einer unstetigeren Fahrweise sowie zum Fahren in kleineren Gängen führen, genügt für die meisten Situationen eine effektive Geschwindigkeitsreduktion von lediglich 10 km/h um wesentliche Lärmreduktionen zu erzielen. Es gilt dabei zu beachten, dass die akustische Wirkung von Tempo 30 mit steigendem LKW-Anteil deutlich abnimmt. Bei LKW-Anteilen von mehr als 15% ist generell nur noch mit einer geringen akustischen Wirksamkeit von Tempo 30 zu rechnen. Des Weiteren hat die akustische Beschaffenheit des Strassenbelages einen wesentlichen Einfluss auf die Lärmwirkung von Tempo 30. Grundsätzlich gilt: Je lauter ein Strassenbelag ist bzw. je stärker er zur Entstehung von Rollgeräuschen beiträgt, desto grösser ist die potentielle Lärmreduktion durch Tempo 30. In Abhängigkeit des Belagskennwerts des lärmarmen Belags kann bei Tempo 30 mit zusätzlichen Wirkungen von bis zu -2 dB gerechnet werden. Entsprechend kann eine Kombination der Lärmschutzmassnahme Tempo 30 mit dem Einsatz von lärmarmen Belägen situativ als zielführend betrachtet werden. Bei tiefen LKW-Anteilen ist eine höhere Wirksamkeit der Strassenbeläge zu erwarten. Empfohlene Forschungsschwerpunkte für zukünftige Untersuchungen bilden die Lärmwirkung von Tempo 30 bei hohen Verkehrsanteilen von LKWs oder Bussen, der Massnahme-Wirkungsbezug, die Kombinationswirkung von lärmarmen Belägen und Tempo 30, sowie die Lärmwirkung

von Tempo 30 auf Streckenabschnitten mit grösseren Steigungen (von über 6%), welche die Prognosezuverlässigkeit weiter steigern könnten.

Résumé

Dans les zones à forte densité urbaine, la pose de revêtements phono-absorbants et la réduction de la limite de vitesse sont souvent les seules mesures de réduction du bruit à la source possibles selon l'Ordonnance de Protection contre le Bruit (OPB). Dans les projets d'assainissement de bruit routier en milieu urbain, la mise en place de zones 30 est ainsi privilégiée. Or les modèles d'émission de bruit disponibles actuellement en Suisse ne sont pas conçus pour les secteurs à faibles vitesses et ne tiennent pas compte des particularités liées aux zones 30. Il manque aujourd'hui une base de données fiable permettant de définir l'impact des mesures de réduction de trafic ou des zones 30.

Dans le cadre du projet de recherche VSS 2012/214, une base de données actuelle a été créée afin d'évaluer les nuisances sonores dans les zones 30. L'objectif est de garantir la fiabilité des pronostics de réduction de bruit dans les zones à faible vitesse, en particulier dans les zones 30. Pour cela, une campagne de mesures a été réalisée sur une flotte de véhicules actuelle et représentative de la Suisse. Les émissions sonores liées à plusieurs types de comportements (changements de vitesse, conduite irrégulière, style de conduite etc.) ont été collectées. Des algorithmes en ont été déduits pour deux modes de conduite: conduite à vitesse constante et conduite avec accélération. À l'aide d'analyses statistiques sur les modes de conduite dans des zones 30 existantes, et de l'adaptation des données d'émission pour les poids lourds issues du modèle d'émission européen CNOS-SOS, ces algorithmes d'émissions ont permis d'obtenir des valeurs sources, et donc une évaluation fiable des nuisances sonores dans les zones 30. Les résultats montrent que des réductions de bruit notables sont possibles grâce aux zones 30. En fonction de la vitesse effective, du taux de poids lourds et du type de revêtement, les émissions sonores (Leq) dans les zones 30 sont réduites d'environ 2 dB à 4.5 dB. La prise en compte d'une flotte de véhicules actuelle et du type de conduite joue un rôle principal dans cette étude. On constate une corrélation entre la réduction de bruit et le type de zone à vitesse réduite. En effet, les exemples montrent que même sans mesures constructives importantes, si un trafic régulier est maintenu il est possible d'obtenir des réductions de vitesse considérables, et d'aboutir ainsi à une réduction notable des émissions de bruit.

D'après les pronostics de réduction du bruit pour les différents types de zones 30, les paramètres clés influençant les émissions sonores sont la vitesse effective, le taux de poids lourds et la qualité acoustique du revêtement en place. La réduction de vitesse (soit la différence de vitesses effectives avant et après mise en place de la zone 30) est déterminante pour l'efficacité acoustique d'une zone 30. Dans la plupart des cas, une réduction de 10km/h suffit pour réduire notablement le bruit, si la réduction de trafic obtenue n'entraîne pas une conduite irrégulière ni l'utilisation des petites vitesses. L'effet acoustique des zones 30 s'amointrit cependant à mesure que le taux de poids lourds augmente. Pour un taux de poids lourds de plus de 15%, une limitation de la vitesse à 30km/h ne produira qu'une faible réduction des nuisances sonores. Qui plus est, la qualité acoustique du revêtement a un fort impact sur l'effet acoustique des zones 30. En effet, plus le revêtement est bruyant, c'est-à-dire sa contribution aux bruits de roulement est importante, plus le potentiel de réduction de bruit de la zone 30 est important. En fonction de la valeur caractéristique acoustique d'un revêtement phono-absorbant, une réduction supplémentaire allant jusqu'à -2 dB peut être atteinte avec une zone 30. Ainsi, la mise en place de zone 30 combinée à la pose d'un revêtement phono-absorbant peut s'avérer efficace. La performance acoustique des revêtements routiers est encore meilleure lorsque le taux de poids lourds est faible.

Les recherches qui permettraient d'améliorer davantage les résultats obtenus sont les suivantes: étude de l'impact acoustique d'un fort taux de poids lourds ou de bus dans les zones 30, liens entre différentes mesures constructives et la réduction du bruit, effet combiné des zones 30 et des revêtements phono-absorbants, ou encore l'étude des performances acoustiques dans les zones 30 ayant des tronçons routiers avec une pente de plus de 6%.

Summary

Speed reductions and low noise road surfaces often represent the only option to reduce excessive traffic noise at the source. Noise abatement projects in urban areas therefore increasingly focus on the introduction of limiting speed to 30 km/h. However, existing noise emission models are commonly not designed for such low speeds and the peculiarities of a 30 km/h speed limit. Hence, the basis for a reliable prediction of the noise reduction by traffic calming measures for a 30 km/h speed limit is currently missing.

The research project VSS 2012/214 provides an up-to-date basis for more reliable predictions on the noise reduction potential at low speeds, specifically at 30 km/h speed limit. Noise emissions were systematically assessed for different driving behaviours (gear selection, discontinuous driving and driving style) for a representative and up-to-date vehicle fleet during a comprehensive measurement campaign. The acquired data were further transferred into two separate emission approaches for constant and accelerated driving behaviour. These emission approaches were combined with a statistical survey on the actual driving behaviour at representative 30 km/h speed limit situations and an adapted emission approach for heavy vehicles from the European noise emission model CNOS-SOS and transferred into a source approach. The source approach allows an evaluation of 30 km/h speed limit situations regarding their noise reduction with a good reliability. The noise modelling results from this source formulation show that substantial noise reductions can be achieved by introducing speed limits of 30 km/h. Noise levels (L_{eq}) can be reduced between approx. 2 dB and 4.5 dB, depending on the effective driven speed, the proportion of heavy vehicles and the road surface. Using an up-to-date and representative vehicle fleet as well as considering driving behaviour is also of great importance. Additionally, the results show a crucial dependency of the total noise reduction on the situation type and the type of the installed traffic calming measure. The situations investigated show that it is possible to achieve substantial speed reductions and a considerable reduction of noise levels, even without substantial road redesign.

The effective speed, the proportion of heavy vehicles and the acoustic state of the road surface have been identified as the main sources for the variability in the total noise effect observed in various case studies by modelling the noise effect for different 30 km/h speed limit situations. The effective speed reduction is defined by the difference between the real driven speed in the initial and the target situation. While investigating the noise effect of 30 km/h speed limit situations, the effective speed reduction constitutes a crucial parameter for the noise effect. If the implemented traffic calming measures do not lead towards more discontinuous driving behaviour or towards driving in smaller gears, speed reductions of 10 km/h have been shown to be sufficient to realise substantial noise reductions. It is, however, necessary to be aware of the fact that the acoustic effect of a 30 km/h speed limit decreases with an increasing proportion of heavy vehicles. When considering proportions of heavy vehicles of more than 15%, a 30 km/h speed limit will generally only provide a small acoustic improvement.

The acoustic state of the road surface also has a crucial influence on the noise effect of a 30 km/h speed limit. Generally, the louder the road surface or rather the stronger it contributes to the rolling noise formation, the more distinctive is the potential noise reduction of a 30 km/h speed limit. Depending on their specific noise parameters, low noise road surfaces can cause an additional noise effect of up to -2 dB in speed limit 30 situations. Hence, a combination of a speed limit of 30 km/h with a low noise road surface can be advantageous in certain situations. Generally, the acoustic effectiveness of road surfaces is expected to be higher at low proportions of heavy vehicles.

Recommendations for further research is to investigate the noise effect of 30 km/h speed limits at high proportions of trucks or buses, the noise effect of traffic calming measures, the effect of combining low noise pavements and 30 km/h speed limits and the noise effect of 30 km/h speed limits on road sections with slopes (more than 6%), in order to further increase the prediction reliability.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Verpflichtung zur Lärmsanierung. Das Umweltschutzgesetz der Schweizerischen Eidgenossenschaft [1] und die Lärmschutz-Verordnung (LSV) [2] verpflichten die Strassen-eigentümer zur Sanierung von Strassenabschnitten, die übermässigen Lärm verursachen und wesentlich zur Überschreitung der Immissionsgrenzwerte (IGW) beitragen. Auf Haupt- und den übrigen Strassen muss die Lärmsanierung bis 2018 abgeschlossen sein. Aktuell laufen schweizweit deshalb in vielen grösseren Städten und Gemeinden Lärmsanierungsprojekte, bei welchen Massnahmen zur Lärmreduktion untersucht werden.

Temporeduktion als mögliche Massnahme. Gemäss Umweltschutzgesetz (Art. 11 Abs. 1 USG) ist die Lärmbelastung in erster Priorität an der Quelle zu reduzieren. Als mögliche Massnahmen an der Quelle gelten, neben dem Einsatz von lärmarmen Strassenbelägen, in erster Linie Temporeduktionen.

Diskussion Tempo 30. Bei Lärmsanierungsprojekten im Innerortsbereich steht vermehrt die Einführung von Tempo 30 im Fokus. Auf Strassen kann mit einer Temporeduktion von 50 km/h auf 30 km/h, oder auch in geringerem Masse von 50 km/h auf 40 km/h, einerseits die Verkehrssicherheit verbessert werden, andererseits gewinnen Quartiere an Wohnqualität und die Strasse wird zum Begegnungsraum. Der politische Diskurs sah bisher aus verschiedenen Gründen von einer Einführung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsachsen ab. Nach den jüngsten Entscheiden des Bundesgerichtes [3]–[6] sowie des Berner Verwaltungsgerichtes [7] ist eine grundsätzliche Ablehnung ohne Grundlagen und harte Fakten gegen eine Temporeduktion nicht haltbar. Zudem wird in zahlreichen Einsprachen gegen Lärmsanierungsprojekte nun die Prüfung der Einführung von Tempo 30 als Sanierungsmassnahme auch lärmbelasteter Hauptverkehrsachsen gefordert. Damit ist aktuell eine bewegte Diskussion zwischen Befürwortern und Gegnern von Tempo 30 auf Hauptverkehrsachsen entbrannt. Im Zuge dieser Diskussion wurden bereits mehrere Fallstudien durchgeführt, die einzelne Aspekte um die Lärmwirkung von Tempo 30 untersuchten: Eine Fallstudie im Kanton Aargau mit Fahrversuchen zur Maximalwirkung von Tempo 30 [8], sowie eine Studie in den Kantonen Aargau und Zürich zur Erhebung der Wirkung von Tempo 30 bei konstanter Fahrweise [9]. Die Erkenntnisse aus diesen Fallstudien flossen ebenfalls in den zusammenfassenden Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lärmbekämpfung (EKLB) mit dem Titel "Tempo 30 als Lärmschutzmassnahme, Grundlagenpapier zu Recht – Akustik – Wirkung" [10] ein.

Aktuelle Grundlagen für Abschätzung Lärmabnahme. Abschätzungen der potentiellen Lärmabnahme durch Temporeduktionen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich basieren heute oft auf Berechnungen mittels Standardmodellen. Die für die Schweiz gültigen Strassenlärm-Emissionsmodelle StL86+ [11] und SonRoad [12], aber auch die anderswo eingesetzten Modelle, sind jedoch nicht für diesen Geschwindigkeitsbereich und die Besonderheiten von Tempo 30 Situationen ausgelegt (siehe auch Abschnitt 1.3). Die mit einer Temporeduktion erzielbare Lärmabnahme hängt stark von denjenigen Einflussgrössen ab, welche mit den heutigen Modellen, aufgrund ihres Fokus auf Tempi von 50 km/h und mehr, nicht abgebildet werden können. Zu diesen Einflussgrössen zählen z.B. die effektive Geschwindigkeitsverteilung, der vorherrschende Strassenbelag, die Art der Verkehrsberuhigungsmassnahme, das Fahrverhalten, die Gangwahl, die Motorisierung und Bereifung des aktuellen regionalen bzw. nationalen Fahrzeugparks. Die Bedeutung solcher Einflussgrössen wird weiter durch die teilweise stark variierende akustische Wirkung aus diversen Fall- und Kontrollstudien bestätigt [13]–[16]. Die Analysen und Schlussfolgerungen solcher Studien lassen sich entsprechend kaum direkt auf andere Situationen übertragen. Mit den heute verfügbaren Grundlagen sind zuverlässige Prognosen zur Lärmwirkung von Verkehrsberuhigungsmassnahmen sowie für die Einführung von Tempo 30 nur bedingt möglich.

1.2 Forschungskontext

Übermässiger Strassenlärm gefährdet die menschliche Gesundheit und das menschliche Wohlbefinden [10]. Um die Bevölkerung vor diesen Negativeffekten zu schützen, wurden durch geeignete Regelungen in einzelnen Ländern Belastungsgrenzwerte festgelegt. In der Schweiz wird die Basis für den Schutz der Bevölkerung vor schädlichem Lärm im Umweltschutzgesetz [1] gelegt. Umsetzung und Vollzug sind in der Lärmschutz-Verordnung [2] geregelt. Im Falle des Strassenlärms ist der Vollzug in der Vollzugshilfe für die Sanierung des Leitfadens Strassenlärm [17] erläutert. Die gesetzlichen Grundlagen stellen Lärmberechnungen und Lärmmessungen gleich. Um die Belastungspegel zu eruieren sind daher entweder eine Messkampagne oder ein geeignetes Verkehrslärmmodell erforderlich. Die Vorteile der Modellierung gegenüber einer Messkampagne liegen darin, einerseits die akustischen Auswirkungen neuer Strasseninfrastrukturen bewerten zu können, und andererseits die akustischen Auswirkungen auf dem bestehenden Strassennetz mit geringerem Aufwand abschätzen zu können. Aufgrund der Ergebnisse bisher durchgeführter Fallstudien [13]–[15], [18], sind keine allgemeingültigen Regeln für die Prognose der Lärmreduktion von geplanten Geschwindigkeitsreduktionen ableitbar, da zur Verkehrsberuhigung im niedrigen Geschwindigkeitsbereich oft unterschiedliche bauliche und gestalterische Massnahmen zur Anwendung kommen, die das Fahrverhalten und auch die Lärmwirkung massgeblich beeinflussen können [10], [19]. Für eine zuverlässige Prognose der Lärmauswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen ist eine isolierte Betrachtung und Quantifizierung der einzelnen akustischen Einflussgrössen (Geschwindigkeitsverteilung, Fahrverhalten, Strassenbelag etc.) notwendig. Diese Aspekte wurden in den bisherigen nationalen und internationalen Studien nicht ausreichend untersucht [20], [21]. Zudem erleben Strasseninfrastrukturen sowie Fahrzeuge aller Kategorien eine Zeit des Wachstums, der Verbesserung und der Entwicklung; vor allem in weiterentwickelten Ländern [22], wie z.B. der Schweiz, was sich in einer Veränderung der Schallemissionen und deren Zusammensetzung niederschlägt.

1.3 Vergleich existierender Modelle

In diesem Kapitel werden einige der gängigen Verkehrslärmmodelle in einer Übersicht dargestellt und qualitativ miteinander verglichen (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Vergleich gängiger Strassenverkehrslärmmodelle

	StL-86+ [11]	sonRoad [12]	CNOSSOS [23]	RLS-90 (Mobilev) [24]	Nord2000 [25]
Fahrzeugkategorien	PW, LKW	PW, LKW	PW, LKW (2-Achsen und mehrere Achsen), MR*	PW, LKW (leichte und schwere Nutzfahrzeuge)	PW, LKW (2-Achsen und mehrere Achsen)
Geschwindigkeitsbereich [km/h]	ca. 50-120	ca. 30-120	20 bis 130	n/d	30 bis 130
spektrale Auflösung	Summenpegel	Terzband	Oktavband	Summenpegel	Terzband
modellierte Lärmquellen	Gesamtlärm	Roll u. Antrieb	Roll u. Antrieb	Roll u. Antrieb	Gesamtlärm
Jahr des Fahrzeugparks	< 1987	< 2004		< 1970 [26]	< 2006
Beschleunigung und Abbremsung des Fahrzeuges	nicht enthalten	nicht enthalten	konstanter Faktor	-	konstanter Faktor

* : Motorräder

Wie aus Tab. 1 hervorgeht, beruhen viele etablierte Modelle oft auf älteren Datensätzen, welche den technischen Standard des heutigen Fahrzeugparks nur mit grossen Unsicherheiten abbilden können. Dies ist insofern problematisch, als das es aufgrund der technischen Entwicklungen in der Fahrzeugindustrie, zu einer Verschiebung der Hauptlärmquellen gekommen ist. Dabei spielen insbesondere leiser werdende Motoren, eine hochwertigere Verarbeitung und Montage der Fahrzeugteile, und die stetige Verbreiterung des Reifenparks tragende Rollen. Ein direkter Vergleich der prognostizierten Strassenlärmemissionen dieser Modelle ist in **Abb. 1** dargestellt.

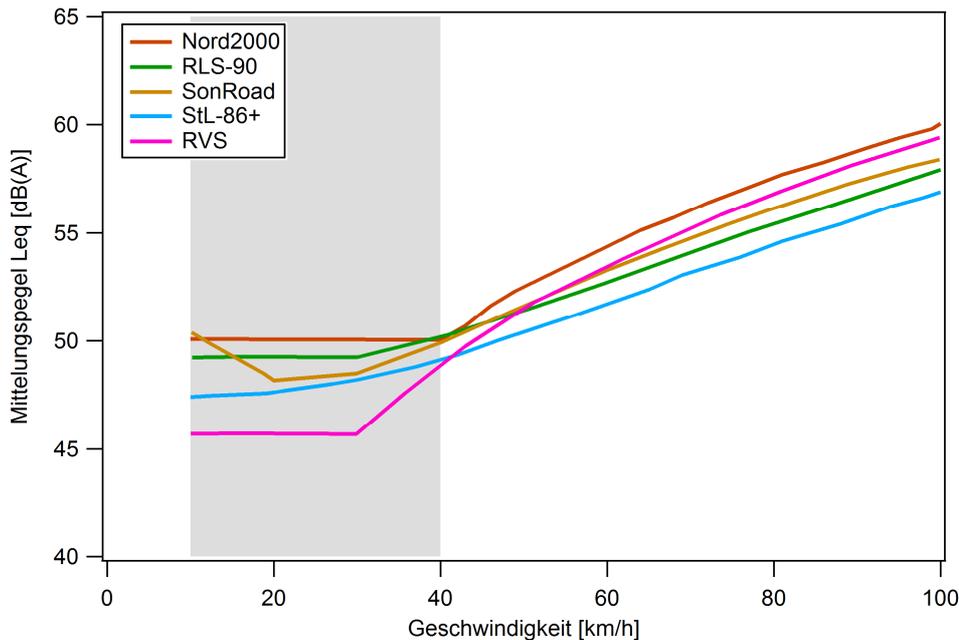


Abb. 1: Visualisierung der Modellierungsbandbreite einiger gängiger Lärmemissionsmodelle für Personenwagen (adaptiert von [27]).

Eine Gegenüberstellung der mit verschiedenen Modellen berechneten Schallemissionen in Abb. 1 verdeutlicht, dass bei höheren Geschwindigkeiten (ab ca. 40 km/h) eine bessere Übereinstimmung zwischen den unterschiedlichen Modellen vorhanden ist, während im niedrigen Geschwindigkeitsbereich (unterhalb ca. 40 km/h) grössere Unterschiede bezüglich der Modellprognosen zu verzeichnen sind. Die Ursache für diese Unterschiede liegt höchstwahrscheinlich darin, dass die Datengrundlage dieser Modelle für Lärmprognosen im Geschwindigkeitsbereich von 50 km/h und mehr erhoben wurde und eine Kalibrierung der Modellparameter für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich auf dieser Datengrundlage nur sehr begrenzt vorgenommen werden konnte.

1.4 Forschungsbedarf

Die Studie von Quartieri et al. (2009) [20], welche einige der meistgenutzten Verkehrslärmmodelle detailliert beschreibt und evaluiert, kommt zum Schluss, dass die Aussagekraft der evaluierten Modelle auf die jeweilig erhobene statistische Stichprobe beschränkt ist und daher der zufälligen Komponente des Verkehrsflusses nicht ausreichend Rechnung trägt [28]. Für die Formulierung eines idealen Modells wird empfohlen, den Charakter des Verkehrsflusses über eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Fahrverhalten und Fahrzeugeigenschaften abzubilden, ohne dabei eine kollektive Geschwindigkeit anzunehmen. Eine isolierte Erhebung und Quantifizierung der wichtigsten Einflussgrößen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich ist deshalb dringend notwendig, um allgemeingültige Aussagen bezüglich der Lärmauswirkungen von Geschwindigkeitsreduktionen treffen zu können.

1.4.1 Einflussgrösse Geschwindigkeit

Für die Beschreibung des Geschwindigkeitseinflusses auf die Schallemissionen des Strassenverkehrs im niedrigen Geschwindigkeitsbereich (<50 km/h), ist eine separate Betrachtung der Hauptquellen Antriebsgeräusch (Geräusche des Motors, des Getriebe und des Auspuffs) und Rollgeräusch (Schallentstehung durch Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche) notwendig. In der Akustikforschung geht man davon aus, dass bei neueren Fahrzeugen mit Baujahr nach Mitte der Neunzigerjahre die Rollgeräusche schon ab einer Geschwindigkeit von ca. 15-25 km/h und bei neueren Lastwagen ab 30-40 km/h dominieren [29]. Zudem zeigt sich, dass sich das Rollgeräusch in Abhängigkeit der Geschwindigkeit stärker verändert, als dies für das Antriebsgeräusch der Falls ist, da

das Antriebsgeräusch hauptsächlich von der Motordrehzahl sowie der Motorenlast (verwendete Leistung) abhängt und bei freiem Verkehrsfluss durch den Schaltvorgang auf ähnlichem Niveau gehalten wird [30]. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich findet demnach situationsabhängig ein komplexer Übergang zwischen den beiden Hauptlärmquellen statt. Um den Effekt der Fahrgeschwindigkeit auf die Schallemissionen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich genau berechnen zu können, muss das Verhalten der beiden Hauptlärmquellen in diesem Bereich bekannt sein.

1.4.2 Einflussgrösse Fahrverhalten

Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich sind konstante Fahrgeschwindigkeiten seltener anzutreffen, als dies in höheren Geschwindigkeitsregimes der Fall ist. Entsprechend wird das Fahrverhalten im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zu einer wesentlichen Einflussgrösse [31], [32]. Der Fahrer beeinflusst die Schallemissionen durch seine Gangwechselstrategie und durch seinen Beschleunigungsstil, welcher vorausblickend oder sportlich/aggressiv sein kann [33], [34]. Das Fahrverhalten steuert nicht nur die Drehzahl, sondern auch Maxima in der Fahrgeschwindigkeit und Beschleunigung und wirkt damit direkt auf die Schallemissionen ein. Informationen zu den Lärmauswirkungen des Fahrverhaltens sind bisher wenig vorhanden.

1.4.3 Veränderungen Fahrzeugpark und Bereifung

Aufgrund der Entwicklungen in der Fahrzeug- und Reifenindustrie haben sich die Schallemissionen des Strassenverkehrs in den vergangenen Jahrzehnten stetig verändert [22]. Die Zusammensetzung sowie der Entwicklungsstand des Fahrzeugparks sind ein wichtiger Bestandteil von Verkehrslärmmodellen und haben einen wesentlichen Einfluss auf die Modellsimulation [20]. Durch die unterschiedliche Beschaffenheit der Bereifung (im Übrigen dokumentiert durch die Europäische und Schweizerische Reifenetikette) können weitere Abweichungen bezüglich der Fahrzeugemissionen entstehen. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich verstärkt sich deren Einfluss, weil in diesem Bereich Veränderungen in der Zusammensetzung der Hauptlärmquellen zu grösseren Verschiebungen der Gesamtemissionen führen können [35]. National und international verfügbare Standardemissionsmodelle beruhen meist auf einem Fahrzeugpark der 80er, 90er und frühen 2000er Jahre. Um die Lärmauswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen zuverlässig abschätzen zu können, ist ein Einbezug des aktuellen Fahrzeugparkes und dessen Bereifung unumgänglich.

1.4.4 Einflussgrösse strassenbauliche Massnahmen

Der Fahrer kann nicht in jeder Situation das Fahrverhalten selber bestimmen [36]. Durch strassenbauliche Massnahmen wie Schwellen oder andere Hindernisse (Horizontalversatz, seitliche Einengung, Vertikalversatz) kann der Fahrer zu einer Anpassung seines Fahrverhaltens gezwungen werden [37]. Entsprechend können strassenbauliche Massnahmen neben gewünschten Effekten der Lärmreduktion (aufgrund erzwungener Geschwindigkeitssenkung) auch negative Auswirkungen auf die Schallemissionen haben, beispielsweise durch eine Häufung von Beschleunigungsereignissen [38]. Heute stehen zwar einige Fallstudien zu den Lärmauswirkungen von strassenbaulichen Verkehrsberuhigungsmassnahmen zur Verfügung [39]–[42], lassen jedoch kaum eine Verallgemeinerung zu.

1.4.5 Einflussgrösse gestalterische Massnahmen

Einen Einfluss auf das Fahrverhalten haben ebenfalls gestalterische Massnahmen, wie zum Beispiel Fahrbahnmarkierungen, Zonenmarkierungen und Hinweiselemente neben der Fahrbahn. Der Einfluss solcher gestalterischen Massnahmen auf die Fahrgeschwindigkeit bildet aktuell einen Untersuchungsschwerpunkt in der Forschungstätigkeit der Verkehrsingenieure.

1.4.6 Einflussgrösse Strassenbelag

Es gibt einen wissenschaftlichen Konsens darüber, dass Rollgeräusche für die Situation *freier Verkehrsfluss* auch im niedrigen Geschwindigkeitsbereich dominieren können [43]. Daher kann der Strassenbelag auch in Tempo 30 Situationen eine wesentliche Einflussgrösse auf die Schallemissionen darstellen. Zudem ist durch die heutige Veränderung des Fahrzeugparkes und dessen Bereifung eine Zunahme des Belageinflusses im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zu erwarten [44].

1.5 Ziele der Forschungsarbeit

Das zentrale Ziel der Forschungsarbeit ist aktuelle Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30 auszuarbeiten, welche zuverlässigere Prognosen bezüglich des Lärminderungspotentials für niedrige Geschwindigkeiten, insbesondere für Tempo 30, erlauben. Dies umfasst folgende Nebenziele:

- Die getrennte Erhebung von Roll- und Antriebsgeräuschen für eine möglichst breite Auswahl von repräsentativen Fahrzeugtypen, Antriebsarten und Bereifungen mit Fokus auf Personenwagen;
- Die Ermittlung eines Emissionsansatzes für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich bei konstanter Geschwindigkeit und unterschiedlicher Gangwahl / Motorendrehzahl für Personenwagen;
- Zur Grobabschätzung des Einflusses von Lastwagen auf die Lärmwirkung von Tempo 30 eine Integration des Emissionsansatzes für Lastwagen, entsprechend dem europäischen Emissionsmodell CNOSSOS;
- Die Ermittlung eines Emissionsansatzes für unterschiedliches Fahrverhalten;
- Die Erhebung des statistischen Fahrverhaltens an bereits realisierten Tempo 30 Situationen;
- Das Eruiere der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Lärmwirkung von Tempo 30;
- Das Zusammenführen der statistischen Erhebungen des Fahrverhaltens mit den ermittelten Emissionsansätzen in einer Quellenformulierung;
- Die Validierung des Quellenansatzes anhand unabhängiger Messdaten.

2 Methoden

2.1 Untersuchungskonzept

Nach einer intensiven Planungsphase wurde für die Umsetzung des Forschungsprojekts ein Untersuchungskonzept mit vier Phasen entworfen (siehe Abb. 2)

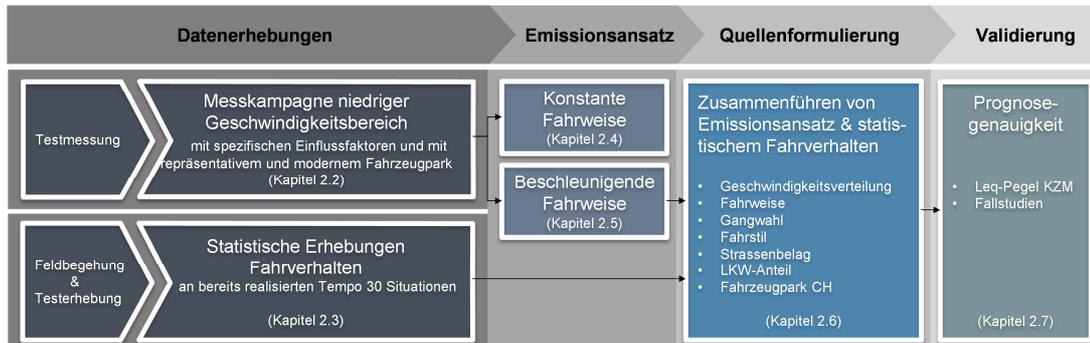


Abb. 2: Schematisches Untersuchungskonzept des Forschungsprojekts

Datenerhebung. Die Datenerhebungsphase ist in zwei Komponenten unterteilt. Die erste Komponente widmet sich der messtechnischen Erhebung von Grundlegenden Daten zur Bestimmung eines Emissionsansatzes im niedrigen Geschwindigkeitsbereich mit spezifischen Einflussfaktoren und mit einem modernen und repräsentativen Fahrzeugpark. Im zweiten Teil der Datenerhebungsphase werden für die Parametrisierung des Emissionsansatzes im Rahmen einer Erhebungskampagne statistische Daten zum Fahrverhalten in bereits realisierten Tempo 30 Situationen gesammelt und mit einer Referenzsituation bei Tempo 50 verglichen. Den Messkampagnen gingen Testmessungen voraus, in denen die komplexen Erhebungskonzepte von internem und externem Fachpersonal getestet und evaluiert werden konnten. Im Fokus dieser Testmessungen stehen neben der Eignung der Messgeräte, des Messaufbaus, Messablaufs und der Messprotokolle, die Evaluation von Platz- und Zeitbedarf, die Klarheit des Anweisungskatalogs für die freiwilligen Helfer und messenden Ingenieure, sowie die Vorbereitung der Datenauswertung.

Emissionsansatz. Die zweite Phase befasst sich mit einer geeigneten Auswertung der während der ersten Phase gesammelten Daten und der Entwicklung eines spektralen Emissionsansatzes für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich. Der Emissionsansatz kann grob in zwei Komponenten gegliedert werden: den Emissionsansatz für die konstante und den Emissionsansatz für die beschleunigende Fahrweise. Die beiden Komponenten stützen sich gleichermassen auf die Daten der Messkampagnen der Datenerhebungsphase.

Quellenformulierung. Die dritte Phase umfasst die Entwicklung einer Quellenformulierung für drei repräsentative Tempo 30 Zonentypen unter Berücksichtigung einer zonentypischen Geschwindigkeitsverteilung, sowie eines zonentypischen Fahrverhaltens. In der Quellenformulierung werden im Wesentlichen die Daten der statistischen Erhebungen im Feld mit den im Projekt erarbeiteten Emissionsansätzen für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich zusammengeführt.

Validierung. In der vierten und letzten Phase wird die Prognosegenauigkeit des entwickelten Modellansatzes eruiert. Zu diesem Zweck werden die während der statistischen Erhebungen durchgeführten emissionsnahen Lärmmessungen mit den Resultaten des neuen Modellansatzes verglichen.

2.2 Datenerhebungen Emissionsansatz niedriger Geschwindigkeitsbereich

2.2.1 Messkonzept

Hauptziel der Datenerhebungen Emissionsansatz niedriger Geschwindigkeitsbereich ist die Ermittlung der Schallemissionen im komplexen Übergangsbereich zwischen Roll- und Antriebsgeräusch für moderne Fahrzeuge, sowie die Bestimmung des Einflusses der in solchen Situationen oft beobachteten un stetigen Fahrweise.

Die Messkampagne wurde am 22 April 2015 auf einem Testgelände durchgeführt. Die Erhebungen umfassen Gesamt-, Antriebs- und Rollgeräuschmessungen einer grossen und für den Schweizer Fahrzeugpark repräsentativen Auswahl von Fahrzeugen. In unterschiedlichen Szenarien wurden die Schallemissionen bei konstanter Geschwindigkeit sowie bei unterschiedlicher Gangwahl bzw. Motorendrehzahl für unterschiedliche Fahrzeugklassen gemessen. Zusätzlich wurden Beschleunigungsereignisse aus dem Stand und aus der Fahrt bei unterschiedlichem Fahrverhalten durchgeführt, um die Lärmauswirkung bei unterschiedlichem Tempo 30 Zonengestaltung situationsspezifisch charakterisieren zu können.

Mithilfe eines Fahrzeugparks von 22 unterschiedlichen Fahrzeugen wird den spezifischen Eigenschaften verschiedener Fahrzeugtypen, Antriebsarten und Bereifungen Rechnung getragen. Zu einem späteren Zeitpunkt werden Fahrzeugstatistiken beigezogen, um durch eine entsprechende Gewichtung, die aktuelle Zusammensetzung des Schweizer Fahrzeugparks repräsentativ abbilden zu können.

Aufgrund der grossen Anzahl notwendiger Messfahrten (22 Fahrzeuge à 18 Szenarien) und zur Gewährleistung der Sicherheit der freiwilligen Teilnehmer wurde die Messkampagne auf einem vom Verkehr abgesperrten Areal des Dynamic Test Centers in Vauffelin (BE) durchgeführt. Neben der Möglichkeit zur Installation einer Warte-, Beschleunigungs-, Mess- und Bremszone verfügt das Testgelände über die notwendige Infrastruktur zur Einrichtung eines Rundkurses. Neben der Absenz von Lärmquellen in unmittelbarer Nähe zur Messstrecke, verfügt das Gelände weiterhin über einen Standard-Asphaltbelag (AC 11) in der Messzone sowie über genügend Platzangebot zur Durchführung von Drehzahlmessungen an einem separaten Standort. Ein schematischer Rundkurs der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich ist in **Abb. 3** dargestellt. Ein Detailplan des DTC Geländes befindet sich in Anhang II.2.

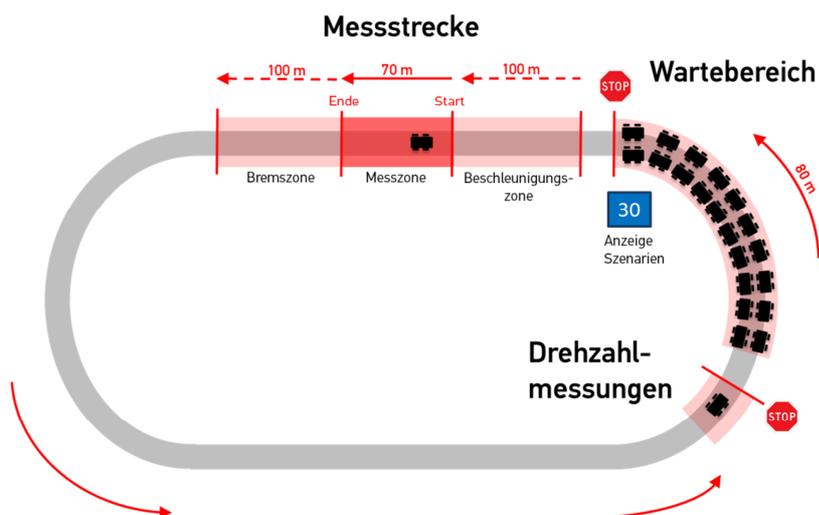


Abb. 3: Schematischer Rundkurs der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich

2.2.2 Fahrzeugpark

Der Fahrzeugpark für die Messkampagne bestand aus 22 Fahrzeugen, die teilweise durch freiwillige Helfer, teilweise durch Mitarbeiter von G+P AG zur Verfügung gestellt und gezielt mit Anmietungen ergänzt wurden. Der Fahrzeugpark wird so zusammengestellt, dass er die vier gängigen Antriebsarten (Benzin, Diesel, Hybrid, Elektro) sowie eine repräsentative Anzahl der in der Schweiz verkehrenden Fahrzeuge in sechs Fahrzeugkategorien abdeckt. In *Tab. 2* befindet sich eine vollständige Auflistung des untersuchten Fahrzeugparks.

Tab. 2: Fahrzeugpark der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich

Fz	Marke	Typ	Fahrzeugkategorie	Antrieb
1	Ford USA	Mustang 5.0i-V8 GT	Sportwagen	Benzin
2	Volkswagen	Touran	Kombi/Limousine/Minivan	Benzin
3	Toyota	Highlander	SUV/Geländewagen	Hybrid
4	Audi	A1 1.4 TFSI CoD Sportsback	Kleinwagen/Kompaktwagen	Benzin
5	Toyota	Auris HSD	Kombi/Limousine/Minivan	Hybrid
6	Volkswagen	Touran 2.0D Blue Motion	Kombi/Limousine/Minivan	Diesel
7	Subaru	Impreza	Kombi/Limousine/Minivan	Diesel
8	Volkswagen	T5 California TDI	Kleinbus/Van	Diesel
9	Volkswagen	Golf VII 1.4 TSI 5	Kleinwagen/Kompaktwagen	Benzin
10	Volvo	XC60 D3 AWD	SUV/Geländewagen	Diesel
11	Citroen	C4 Picasso 1.6i	Kombi/Limousine/Minivan	Benzin
12	Volkswagen	Golf VI 1.4 TFSI	Kleinwagen/Kompaktwagen	Benzin
13	Renault	Espace 2.0 DCI	Kleinbus/Van	Diesel
14	BMW	i3	Kleinwagen/Kompaktwagen	Elektro
15	Skoda	Octavia C 1.8 TFSI	Kombi/Limousine/Minivan	Benzin
16	Audi	A3 SB 2.0 TDI	Kleinwagen/Kompaktwagen	Diesel
17	Peugeot	308 SW 1.6 HDI FAP	Kombi/Limousine/Minivan	Hybrid
18	VW	e-Golf	Kleinwagen/Kompaktwagen	Elektro
19	Mini	Cooper	Kleinwagen/Kompaktwagen	Benzin
20	Toyota	Previa 2.4	Kombi/Limousine/Minivan	Benzin
21	Mercedes-Benz	Viano 3.0 CDI	Kleinbus/Van	Diesel
22	Mercedes-Benz	313 CDI	Lieferwagen (3,5t)	Diesel

Angaben zur Bereifung des Fahrzeugparks befinden sich in *Tab. 3* (Reifengrösse) und *Tab. 4* (Reifenalter, Reifentyp, Reifenlabel zur Treibstoffeffizienz).

Tab. 3: Angaben zur Reifengrösse des Fahrzeugparks

Reifenquerschnitt [mm]	Reifennennbreite [mm]				Total
	<195	195-205	215-235	>235	
< 40	0	0	0	1	1
40 - 50	0	0	2	3	5
51 - 60	0	8	2	2	12
> 60	1	1	2	0	4
Total	1	9	6	6	22

Wie in *Tab. 3* ersichtlich, zeigt sich bei der Reifengrösse eine Tendenz hin zu breiterer Bereifung (die mittlere Reifenbreite im europäischen CNOSSOS Modell beträgt lediglich 187 mm [23]). Bei 12 von 22 Fahrzeugen sind Reifen mit einer Breite von mehr als

215 mm aufgezogen, bei 6 Fahrzeugen (d.h. bei etwa 1/4 des Fahrzeugparks) beträgt die Reifenbreite mehr als 235 mm. Im Mittel ergeben sich 219 mm breite Reifen auf R17-Felgen.

Weitere Eigenschaften der Fahrzeugbereifung sind in *Tab. 4* wiedergegeben.

Tab. 4: Angaben zu Reifenalter, Reifentyp, Reifenlabel (Akustik und Treibstoffeffizienz) des Fahrzeugparks

Produktionsjahr	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Anzahl Fahrzeuge	1	5	3	4	7	2	22

Saison	Sommer	Winter	Total
Anzahl Fahrzeuge	16	6	22

Rollgeräusch [dB]	≤ 68	69 - 70	71 - 72	≥ 73	n.b.	Total
Anzahl Fahrzeuge	3	6	9	3	1	22

Treibstoffeffizienz	A	B	C	D	E	n.b.	Total
Anzahl Fahrzeuge	2	2	9	0	7	1	21

Wie *Tab. 4* zeigt, umfasst die gesamte Stichprobe fast neue bis fünfjährige Reifen, bei einer deutlichen Dominanz von Sommer- gegenüber Winterbereifung. Mithilfe des Europäischen Reifenlabels können die Reifen bezüglich ihrer akustischen Eigenschaften sowie der Treibstoffeffizienz kategorisiert werden.

Eine vollständige Liste der Fahrzeugtypen mit Details zur Motorisierung, Gewicht, Fahrzeugspezifikationen und Bereifung befindet sich in Anhang II.3.

2.2.3 Messverfahren

In der Studie kommen drei Typen von Vorbeifahrtsmessungen in 18 verschiedenen Szenarien (Messdurchläufen) zum Einsatz, welche es erlauben das Roll- und Gesamtgeräusch bei konstanter Vorbeifahrt sowie das Gesamtgeräusch bei beschleunigter Fahrt getrennt voneinander zu ermitteln: Coast-By Messungen, Controlled pass-by Messungen und Acceleration pass-by Messungen. Als Messgrößen wurden die Maximalpegel in Terzbändern zwischen 31.5 Hz und 5 KHz erfasst. Zudem werden Stillstandsmessungen mit einem vereinfachten Setup und einem einzelnen Messkanal durchgeführt, bei welchen die Positionierung des Mikrofons fahrzeugweise auf die Geometrie des Fahrzeugs eingestellt wird. Um den Einfluss des Belags auf die Schallemissionen zu quantifizieren, werden im Vorfeld der Vorbeifahrtsmessungen Belagsgütemessungen nach der Close-Proximity (CPX) Methode durchgeführt. Zur standardisierten Erhebung der Schallemissionen werden alle Vorbeifahrtsmessungen in Anlehnung an die Normen UNECE R117 und ISO 11819-1 durchgeführt. Ein einzelnes Messsetup besteht aus zwei Mikrofonen (mit Windschutz) und zugehörigen Schallpegelmessgeräten, die in einer Distanz von 7.5 m zur Fahrbahnachse und in einer Distanz von je 10 m zu Beginn (A) und Ende (B), beidseitig der Messzone lotrecht und in 1.2 m Höhe aufgestellt werden (siehe Abb. 4). Geometrische Effekte aufgrund einer Abweichung der genauen Lage der Fahrspur der einzelnen Fahrten können dadurch ausgemittelt und weitgehend eliminiert werden.

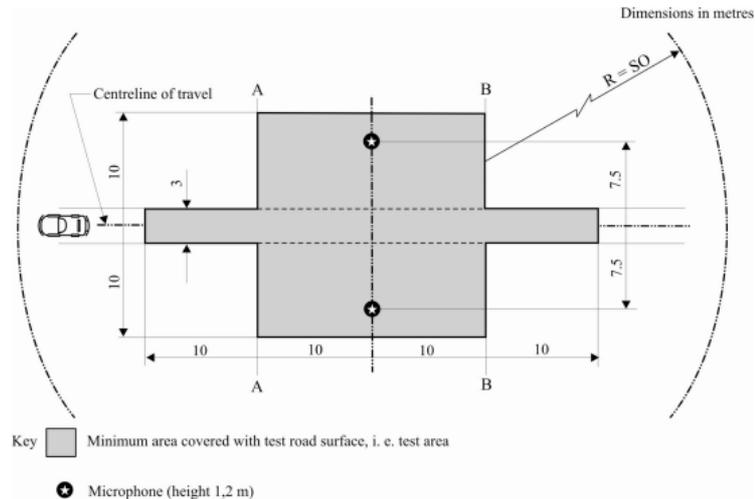


Abb. 4: Messsetup Vorbeifahrtsmessung nach UN EC R117(Quelle:[45])

Der Ein- und Austritt des Fahrzeugs in die Messzone hinein (A) und aus der Messzone heraus (B) wird mithilfe von Lichtschranken erfasst, welche elektronisch mit den Schallpegelmessgeräten gekoppelt sind. Die Lichtschranken werden so positioniert, dass sie jeweils den Beginn bzw. das Ende der Messzone, in 10 m Distanz zur Verbindungslinie der beiden Mikrofone bezeichnen. Beim Durchqueren der ersten Lichtschranke wird eine Tonaufnahme ausgelöst. Beim Durchqueren der 2. Lichtschranke wird diese wieder gestoppt. Auf diese Weise kann die Vorbeifahrt über exakt 20 m in der Signalaufzeichnung markiert werden.

Die Lufttemperatur wird in regelmässigen Abständen von einem Klimalogger abgelesen und protokolliert. Ebenfalls regelmässig protokolliert wird die Belagsoberflächentemperatur, welche mit einem Pyrometer (Strahlungsthermometer) erfasst wird. Die gefahrenen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge wurden mit einem Radarmessgerät während der Messung für jedes Fahrzeug separat erfasst und protokolliert.

Coast-by Messungen

Die Rollgeräuschstudie wird anhand der Coast-by Methode bei ausgeschalteten und ausgekuppelten Motor durchgeführt. Dabei wird das Fahrzeug auf einer Beschleunigungsstrecke zunächst auf eine konstante Geschwindigkeit beschleunigt. Kurz vor der Einfahrt des Fahrzeuges in die Messzone, wird der Motor ausgekuppelt und abgeschaltet. In der Messzone wird das akustische Signal der Vorbeifahrt bei abgeschaltetem und ausgekuppeltem Motor über eine Strecke von 20 m erhoben. Bei allen Fahrzeugen werden Rollgeräuschmessungen mit Geschwindigkeiten von 20, 30, 40 und 50 km/h durchgeführt. Der Messaufbau ist in Abb. 5 schematisch dargestellt.

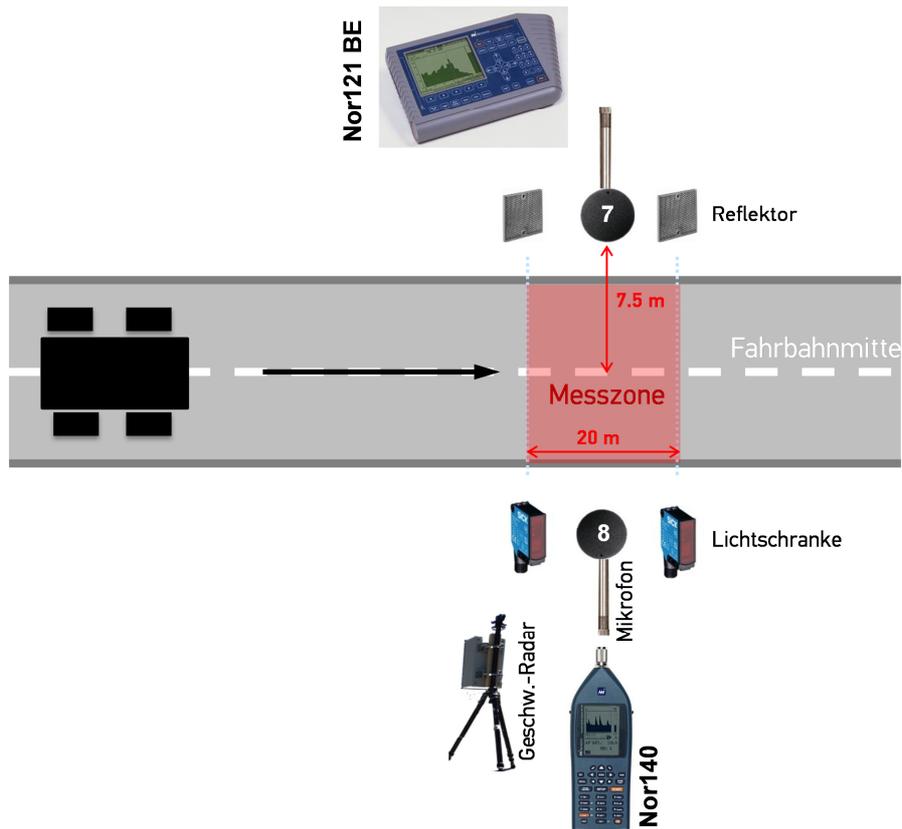


Abb. 5: Messaufbau bei den Emissionsmessungen mit konstantem Fahrverhalten (Coast-by Messungen, Controlled Pass-by Messungen). Gemessen wurde an den Mikrofonpositionen 7 und 8 eines komplexeren Aufbaus mit insgesamt zehn Mikrofonen.

Controlled Pass-by Messungen

Für die Erhebung des Gesamtgeräusches der Fahrzeuge wird die Controlled pass-by Methode verwendet. Das Fahrzeug wird auf einer Beschleunigungsstrecke auf eine vorgegebene konstante Geschwindigkeit beschleunigt. Die Messzone wird mit dieser konstanten Geschwindigkeit durchquert, wobei das Gesamtgeräusch (Rollgeräusch und Antriebsgeräusch) der Vorbeifahrt über eine Strecke von 20 m gemessen wird. Zur möglichst vollständigen Abbildung des tiefen Geschwindigkeitsbereichs werden bei allen Fahrzeugen Vorbeifahrtsmessungen bei unterschiedlichen Gang-Geschwindigkeits-Kombinationen durchgeführt (siehe Tab. 5). Der Messaufbau ist in Abb. 5 schematisch dargestellt.

Tab. 5: Szenarien für die Controlled Pass-by Gesamtgeräuschmessungen

Geschwindigkeit	Gang
20 km/h	1, 2
30 km/h	1, 2, 3
40 km/h	2, 3
50 km/h	2, 3, 4

Acceleration Pass-by Messungen

Die Beschleunigungsmessungen dienen der Erhebung der Geräuschemission beim vollständigen Abbremsen, Anhalten und dem darauffolgenden Beschleunigungsvorgang, beispielsweise aufgrund einer baulichen Massnahme in einer Tempo 30 Zone, sowie bei

unstetiger Fahrweise, welche häufig bei unübersichtlichen Rechtsvortritten oder bei Vertikalversätzen zu beobachten ist. Um das Fahrverhalten unterschiedlicher Fahrertypen abzubilden, werden beide Szenarien jeweils in zwei Varianten, mit einem aggressiven und einem vorausblickenden Beschleunigungsstil erhoben (siehe Tab. 6). Die Messstrecke ist aus einer Sequenz von fünf aufeinanderfolgenden und sich teilweise überlappenden Messzonen à 20 m zusammengesetzt, um die unterschiedlichen Phasen des Beschleunigungsvorgangs sowie den Schaltvorgang ganzheitlich zu erfassen. Jede Messzone besteht aus einem Mikrofonpaar, welches über einen Messabschnitt von 20 m die Geräuschemission separat erfasst.

Tab. 6 Szenarien für die Beschleunigungsmessungen

Geschwindigkeit	Gang	Bezeichnung Beschleunigungsstil	Bezeichnung Fahrweise
0 auf 30 km/h	1 auf 2	Aggressiv	Mit Anhalten
0 auf 30 km/h	1 auf 2	Vorausblickend	Mit Anhalten
25 auf 35 km/h	2 auf 3	Aggressiv	unstetig
25 auf 35 km/h	3	Vorausblickend	unstetig

Um die Lärmemissionen von Auspuff und Motor beim Start des Beschleunigungsvorgangs möglichst präzise zu erfassen, werden die Beschleunigungsereignisse für jedes Fahrzeug zwischen den Mikrofonpositionen 1 und 3 gestartet (siehe Abb. 6). Die Schallemissionen des restlichen Beschleunigungsvorgangs und des Schaltvorgangs werden dann mithilfe der Mikrofonpositionen 5 bis 10 kontinuierlich gemessen.

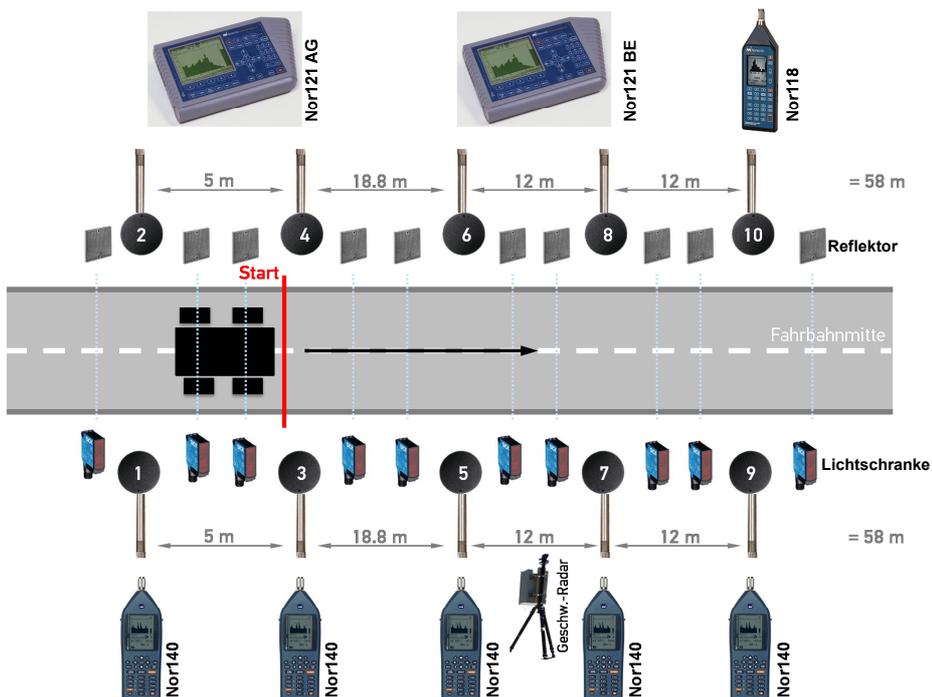


Abb. 6: Messaufbau bei den Emissionsmessungen zum beschleunigten Fahrverhalten

Close-Proximity (CPX) Belagsgütemessung

Um den Einfluss des Belags auf die während der Vorbeifahrtsmessungen erhobenen Schallemissionspegel im Emissionsansatz berücksichtigen zu können, werden auf dem Testgelände DTC in Vauffelin Belagsgütemessung mit der Close-Proximity (CPX) Methode nach ISO/FDIS 11819-2 [46] und ISO/TS 11819-3 [47] durchgeführt. Bei dieser Methode werden die akustischen Eigenschaften von Straßenbelägen durch eine kontinuierliche

liche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt. Das CPX-Messsystem misst die Schallpegel in zwei separaten schallgedämmten Kammern innerhalb des Messanhängers in unmittelbarer Reifennähe mit je zwei Mikrofonen. Es wird mit 2 Teststreifensätzen gemessen: Uniroyal Tigerpaw (SRTT) 225/60-R16 (Testreifen P1 für Personenwagen) und Avon AV4 195-R14C (Testreifen H1 für Lastwagen).

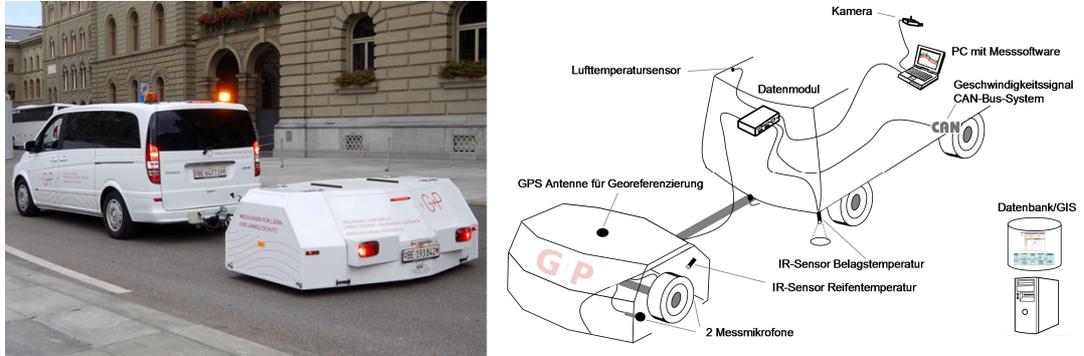


Abb. 7: Das CPX-Messsystem als Fotografie und in einer schematischen Übersicht

Stillstandsmessungen

Die Drehzahlmessungen werden im Stillstand und mit ausgekuppeltem Motor durchgeführt. Das Motorengeräusch wird für jedes Fahrzeug separat mit einem in 7.5 m Entfernung aufgestellten Mikrofon mithilfe eines Norsonic 121 Messgeräts aufgezeichnet (siehe Abb. 8). Zusätzlich werden reine zweikanalige Audioaufnahmen mit einem B&K 4006 auf 1.2 m und 0.0 m aufgenommen. Pro Fahrzeug werden über eine Dauer von je 10 s die Geräuschemissionen bei Standgas, 1'500, 2'000 und 3'000 U/min erhoben. Die Ergebnisse der Stillstandsmessungen werden in diesem Bericht nicht präsentiert, dienen aber zur groben Verifizierung der fahrzeugspezifischen Antriebsgeräuschmodelle.

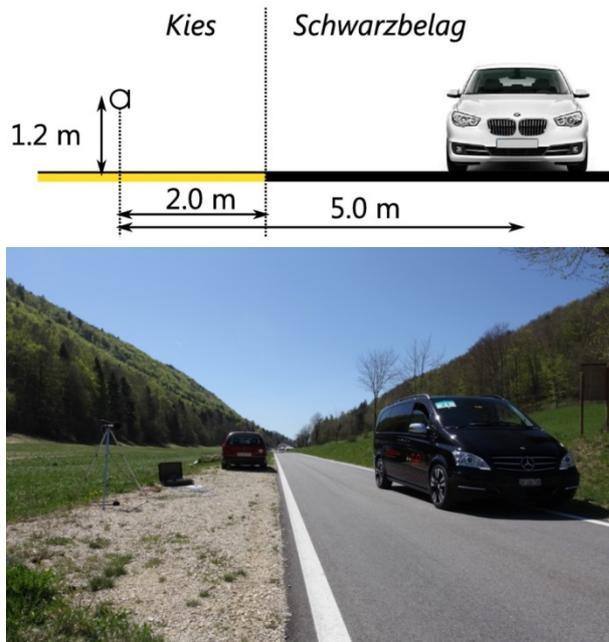


Abb. 8: Messsetup Stillstandsmessungen

2.2.4 Grobabschätzung Wirkung unterschiedlicher Bereifung

Der Einsatz von unterschiedlichen Reifenkombinationen auf demselben Fahrzeug und bei konstanten Umweltbedingungen soll eine grobe Abschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher Bereifungsarten ermöglichen. Dazu wurde im direkten Anschluss an die Hauptmesskampagne auf dem Testgelände der DTC AG in Vauffelin eine zusätzliche Reihe von Vorbeifahrtsmessungen durchgeführt. Dabei werden Rollgeräuschmessungen von drei ausgewählten Fahrzeugen aus dem Fahrzeugpark der Messkampagne mit jeweils einem weiteren vollständigen Reifensatz à vier Reifen wiederholt.

Im Fokus der Betrachtung des Reifeneinflusses auf die Schallemissionen standen dabei folgende Varianten:

- Standard Sommerreifen vs. Standard Winterreifen
- Standard Sommerreifen vs. lärmarme Sommerreifen
- Schmale Sommerreifen vs. breite Sommerreifen

In *Tab. 7* sind die drei aus dem Fahrzeugpark ausgewählten Fahrzeuge und die gemessenen Reifenvarianten aufgeführt.

Tab. 7: Übersicht über die Fahrzeuge und Reifenspezifikationen der Grobabschätzung Wirkung unterschiedlicher Bereifung

Fz	Fahrzeugtyp	Fahrzeug-Kategorie	Variation	Reifentypen & Reifenspezifikationen
9	VW Golf VII 1.4 TSI 5	Kleinwagen / Kompaktwagen	Sommerreifen	1) Bridgestone Turanza ER300 205/55 R16 91V
			Winterreifen	2) Goodyear Ultragrip 9 M+S 205/55 R 16 91T
15	Skoda Octavia C 1.8 TFSI	Kombi / Limousine / Minivan	Standard Sommerreifen	1) Bridgestone Turanza ER300 205/55 R16 91V
			lärmarme Sommerreifen	2) Dunlop SportMaxx 205/55 R16 91Y
10	Volvo XC60 D3 AWD	SUV / Geländewagen	Sommerreifen breit	1) Pirelli Scorpion Zero 255/45 R20 105
			Sommerreifen schmal	2) Continental Sport Contact 5 215/50 R17 95W XL

2.3 Datenerhebung statistisches Fahrverhalten

2.3.1 Messkonzept

Ein zentrales Element der Studie bilden die statistischen Erhebungen in bereits realisierten Tempo 30 Situationen, bei welchen das statistische Fahrverhalten untersucht wird. Im Auftrag der Stadt Zürich wurden im September und Oktober 2015 an fünf Messquerschnitten in der Stadt Zürich und in Köniz (BE) statistische Erhebungen zum Fahrverhalten in Tempo 30 Situationen sowie an einer Referenzsituation mit Tempo 50 durchgeführt. Die statistischen Untersuchungen sind als Ergänzung des Forschungsprojektes zu sehen und dienen dem übergeordneten Ziel, die Verwendbarkeit und Praxistauglichkeit der Quellenformulierung zu verbessern. Dabei liegt der Untersuchungsfokus auf der Ermittlung und Charakterisierung des in der Realität vorherrschenden typischen Fahrverhaltens, der Fahrgeschwindigkeit, der Gangwahl und des Beschleunigungsverhaltens von Personenwagen in repräsentativen Hauptsituationstypen mit signalisiertem Tempo 30. Der Fokus der Untersuchung richtet sich auf Situationen mit mittlerem bis hohem Verkehrsaufkommen (z.B. kommunale Strassen ab einem durchschnittlichen Tagesverkehr DTV von 3'000 Fahrzeugen bis hin zu Kantonsstrassen mit einem DTV von rund 18'000 Fahrzeugen). Das spezifische Fahrverhalten von Lastwagen wurde im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet. Die Methodik und die detaillierten Ergebnisse dieser Erhebungen sind im Bericht G+P AG, "Statistische Erhebungen zum Fahrverhalten mit Fokus Tempo 30", Stadt Zürich, Umwelt - und Gesundheitsschutz, 2016 [48] beschrieben.

In Kooperation mit der Abteilung Verkehrsplanung der Stadt Zürich konnten mithilfe einer Vorselektion von geeigneten Standorten, sowie einer späteren Feldbegehung drei repräsentative Tempo 30 Zonentypen und eine Referenzsituation mit signalisiertem Tempo 50 charakterisiert, und sechs repräsentative Messquerschnitte an diesen Strecken definiert werden. Nachfolgend sind die vier definierten Zonentypen beschrieben, und in Tab. 8 ihren Messquerschnitten zugeordnet (für eine detaillierte Charakterisierung der Standorte siehe [48], Anhang II.1)

Tempo 30 Zone eng: Tempo 30 Situationen, welche mit begleitenden Massnahmen (z.B. Poller, Quer-, Vertikalversatz), Zonengestaltung und Verengungen, die das Kreuzen von Fahrzeugen erschweren, umgesetzt sind.

Tempo 30 Zone übersichtlich: Tempo 30 Situationen, welche mit begleitenden Massnahmen und einer übersichtlichen Zonengestaltung umgesetzt sind, die das Kreuzen von Fahrzeugen im Allgemeinen ermöglichen.

Tempo 30 Strecke: Tempo 30 Situationen ohne begleitende Massnahmen und ohne Zonengestaltung (nur Geschwindigkeits-Signalisation)

Referenzsituation Tempo 50: Situation mit signalisierter Geschwindigkeit 50 km/h mit ebenfalls eher engen Platzverhältnissen, welche als Ausgangssituation zur Wirkungsbestimmung beigezogen werden soll.

Tab. 8: Zonentypen und Messquerschnitte an denen statistische Erhebungen zum Fahrverhalten durchgeführt werden

Zonentyp	Messquerschnitte
Referenzsituation Tempo 50	1 Messquerschnitt
Tempo 30 Strecke	1 Messquerschnitt
Tempo 30 Zone übersichtlich	2 Messquerschnitte: je 1 Messquerschnitt bei mittlerem und hohem Verkehrsaufkommen
Tempo 30 Zone eng	2 Messquerschnitte: je 1 Messquerschnitt an der Massnahme und zwischen den Massnahmen

2.3.2 Messverfahren

Im Rahmen der statistischen Erhebungen kamen neben etablierten Messverfahren zwei neue Erhebungsverfahren zum Einsatz, welche im Rahmen dieser Studie definiert und erfolgreich umgesetzt wurden. Dazu zählen zum einen die akustische Gangerhebung und zum anderen die Erhebung einer Beschleunigungsstatistik. Beide basieren auf einem akustisch-visuellen Beurteilungsverfahren. Der Bewertungsmaßstab für beide Verfahren ergibt sich jeweils aus den Erfahrungen der während der Messkampagne zur Erhebung des Emissionsansatzes im niedrigen Geschwindigkeitsbereich durchgeführten Szenarien (siehe Abschnitt 2.2). Nachfolgend sind alle zeitlich parallel durchgeführten Messungen pro Messquerschnitt kurz erläutert und in Tab. 9 nochmals zu einer Übersicht zusammengefasst.

Geschwindigkeitsmessungen: Alle Geschwindigkeitsmessungen erfolgen mit einem Sierzega SR4 Radarmessgerät.

Akustische Gangerhebung: Bei konstanter Fahrweise ohne Beschleunigungsereignis wurde die Gangwahl der Fahrzeuge akustisch beurteilt und protokolliert. Aufgrund der akustisch bestimmten Drehzahlklasse (sehr hochtourig, eher hochtourig, eher tiefcourig, sehr tiefcourig) und der gefahrenen Geschwindigkeit wird die Gangwahl des vorbeifahrenden Fahrzeuges geschätzt. Vorbeifahrten die teilweise oder vollständig mit ausgekuppeltem Motor stattfanden (z.B. bei Bremsbereitschaft), wurden im Allgemeinen als tiefcouriges Ereignis bewertet und einem entsprechend hohen Gang zugeordnet. Bei einer Probeerhebung zeigte sich, dass die Abschätzung der Gangwahl nach akustischen Kriterien bei drei verschiedenen Ingenieuren zu einer sehr guten Übereinstimmung führte. Sämtliche Gangwahlbeurteilungen während der Messkampagne wurden von einer einzigen Fachperson durchgeführt, die bei den Probeerhebungen ebenfalls beteiligt war. Damit konnte sichergestellt werden, dass der bei den Probeerhebungen definierte Bewertungsmaßstab für alle Messungen bestmöglich gewährleistet wurde. Eine subjektive Komponente bleibt jedoch bestehen.

Situationsbeispiel 1: Mithilfe der Geschwindigkeitsmessung wurde bei der Vorbeifahrt eine Geschwindigkeit von 28 km/h gemessen. Bei der Vorbeifahrt war das Motorengeräusch deutlich hörbar und im hochtourigen Bereich zu klassifizieren. Die Bewertung des Vorbeifahrtsergebnisses fällt auf den 2. Gang.

Situationsbeispiel 2: Die Vorbeifahrt fand bei 31 km/h statt, wobei das Motorengeräusch hauptsächlich tieffrequent zu hören war und als tiefcourig eingestuft wurde. Das Vorbeifahrtsergebnis wird auf den 3. Gang klassiert.

Beschleunigungsstatistik: Beschleunigende Fahrzeuge wurden hinsichtlich ihrer Fahrweise (mit Anhalten, unstetig) und ihres Beschleunigungsstils (vorausblickend, sportlich, aggressiv) beurteilt. Die Bewertung des Beschleunigungsstils wurde bei Probemessungen an den entsprechenden Erhebungsstandorten von drei Ingenieuren parallel und unabhängigen getestet, wobei man zu einer sehr guten Übereinstimmung kam. Allerdings können geringfügige Abweichungen aufgrund der qualitativen Bewertungsmethode nicht ausgeschlossen werden.

Der sportliche Beschleunigungsstil wurde bei den statistischen Erhebungen zwar separat erhoben, ein kongruentes Szenario wurde jedoch aus praktischen Gründen bei der Messkampagne in Vauffelin (Abschnitt 2.2) zur Erhebung des Emissionsansatzes nicht durchgeführt.

Verkehrszählung: Über die gesamte Dauer einer statistischen Erhebung wurden Gesamtverkehrszählungen durchgeführt (Verkehrszählung beider Richtungsfahrbahnen). Personenwagen und lärmige Fahrzeuge wurden dabei getrennt gezählt.

Zählung akustisch besonderer Fahrzeuge: Akustisch besondere Fahrzeuge wie Motorräder, Lieferwagen, Lastwagen, Elektrofahrzeuge etc. wurden zur verbesserten Interpretation der simultan durchgeführten Kurzzeitlärmmessungen (KZM) gesondert ausgewiesen und protokolliert.

Kurzzeit-Lärmmessungen: Kurzzeitmessungen erfassen die ortsspezifischen Schallausbreitungsverhältnisse. Sie wurden zeitlich parallel zur akustischen Beurteilung mit einem Norsonic Nor116 bzw. Nor140 Messgerät in 7.5 m Distanz zur Fahrbahnmitte und 1.8 m Höhe während mindestens 30 min durchgeführt.

Tab. 9: Übersicht über die Erhebungsmethoden und Messgeräte bei den statistischen Erhebungen zum Fahrverhalten

Erhebung	Messgeräte & Erhebungsmethoden
Geschwindigkeitsmessung	Mit Sierzega SR4 Radarmessgerät
Akustische Gangwählerhebung	Akustische Bestimmung der Gangwahl aufgrund akustisch wahrgenommener Drehzahl und Geschwindigkeitsmessung
Beschleunigungsstatistik	Charakterisierung von beschleunigenden Fahrzeugen hinsichtlich Beschleunigungsvorgang (a. mit Anhalten, b. unstetige Fahrweise) und des Beschleunigungsverhaltens (a. vorausblickend, b. sportlich, c. aggressiv)
Kurzzeitlärmmessung	30 min Kurzzeitlärmmessung mit Norsonic Nor116 bzw. Nor140 Messgerät in 7.5m Distanz zur Fahrbahnmitte
Verkehrszählung	Durchführung einer Gesamtverkehrszählung beider Richtungsfahrbahnen
Akustisch besondere Fahrzeuge	Zusätzliche Erhebung und Ausweisung akustisch besonderer Fahrzeuge wie Motorräder, Lieferwagen, Lastwagen, Elektrofahrzeuge etc.

2.3.3 Messablauf

Eine einzelne Erhebung dauerte mindestens 30 min und wurde solange fortgesetzt bis eine Stichprobengrösse von mindestens 100 Fahrzeugen erhoben war. An jedem Untersuchungsquerschnitt wurden Erhebungen während der Spitzenstunden (6 - 8 Uhr und 16 - 19 Uhr), ausserhalb der Spitzenstunden (8 - 16 Uhr und 19 - 21 Uhr) und in der Nacht (21 - 6 Uhr) durchgeführt. In *Abb. 9* ist der pro Erhebungsquerschnitt realisierte Messaufbau skizziert. Die Kurzzeitmessung wurde an allen Standorten in 180 cm Höhe über dem Boden und in 7.5 m Entfernung zum Mittelstreifen installiert.

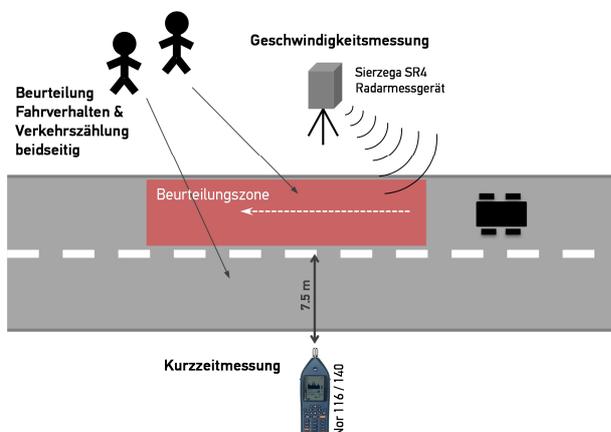


Abb. 9: Situationsskizze des Messaufbaus am Messquerschnitt

2.4 Ermittlung Emissionsansatz konstante Fahrweise

Für die Ermittlung des Emissionsansatzes für die konstante Fahrweise werden ausschließlich Maximalpegel in 7.5 m Distanz zur Quelle verwendet. Sämtliche Symbole und Indizes sind im Glossar und im Symbolverzeichnis im Berichtanhang erläutert.

2.4.1 Rollgeräusch

Personenwagen (PW)

Das Rollgeräusch wird mithilfe der Coast-by Messungen während der Emissionsmessungen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich für die meisten Fahrzeuge bei vier unterschiedlichen Geschwindigkeiten zwischen 20 und 50 km/h erhoben. Die Rollgeräuschemissionen werden spektral als energetischer Mittelwert der gemessenen Pegel an Mikrofonposition 7 und 8 (siehe *Abb. 6*) aus den Coast-by Messungen bei abgeschaltetem Motor und konstanter Geschwindigkeit berechnet (siehe Gl. 1).

$$L_{\text{Roll: PW, Fz, f, v}} = 10 \cdot \log \left(\sum_{\text{Mic}=7}^8 \frac{1}{2} 10^{0.1 \cdot L_{\text{Roll: PW, Mic, Fz, f, v}}} \right) \quad \text{Gl. 1}$$

Mithilfe der ermittelten Rollgeräuschemissionen und den zugehörigen gemessenen Vorbeifahrtsgeschwindigkeiten wurde pro Fahrzeug und Terzband-Mittenfrequenz zwischen 31.5 und 5'000 Hz ein logarithmisches Modell erstellt.

$$L_{\text{Roll: PW, Fz, f}}(v) = a_{\text{Roll: PW, Fz, f}} + b_{\text{Roll: PW, Fz, f}} \cdot \log(v) \quad \text{Gl. 2}$$

wobei $L_{\text{Roll: PW, Fz, f}}(v)$ die geschwindigkeits- (v), fahrzeug- (Fz), und frequenzabhängige (f) Lärmemission und $a_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$ und $b_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$ die ermittelten abhängigen Modellparameter darstellen.

Rollgeräuschmodelle $L_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$ mit negativer Steigung $b_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$ wurden als fehlerhaft bzw. durch Störgeräusche verfälscht identifiziert, da sie bei zunehmender Geschwindigkeit geringere Schallemissionen vorhersagen würden. Solche Beeinflussungen sind insbesondere in Frequenzen und Geschwindigkeiten zu erwarten, in denen sich das Signal nur geringfügig vom Hintergrundrauschen abhebt (bei schlechtem Signal-Rausch-Verhältnis). Zur Identifikation solcher Beeinflussungen wurden in einem nächsten Schritt die während der Emissionsmessungen erhobenen spektralen Gesamtgeräuschpegel herbeigezogen und mithilfe der beiden folgenden Kriterien a und b identifiziert:

1. Das gemessene Gesamtgeräusch in einer bestimmten Frequenz liegt mehr als 1.5 dB unterhalb des modellierten Rollgeräusches

$$L_{\text{Gesamt: PW, Gang, Fz, f, v}} - L_{\text{Roll: PW, Fz, f}}(v) \leq 1.5 \text{ dB} \quad \text{Gl. 3}$$

2. Das Rollgeräuschmodell in einer bestimmten Frequenz besitzt eine negative Steigung

$$b_{\text{Roll: PW, Fz, f}} < 0 \quad \text{Gl. 4}$$

Rollgeräuschmodelle, auf die mindestens eines dieser Kriterien zutrifft, werden in drei Schritten neu bestimmt. Dabei gilt es eine Methode anzuwenden, die dem Genauigkeitsanspruch dieser Studie gerecht wird, ohne dabei den fahrzeugspezifischen Charakter des Emissionsansatzes zu verletzen.

1. In einem ersten Schritt wird der Fahrzeugpark der Messkampagne anhand der montierten Reifenbreite unter Ausschluss der Elektro- und Hybridfahrzeuge in drei Kategorien aufgeteilt (siehe **Tab.**).

Tab. 10: Reifenkategorien für die Bereinigung fehlerhafter Rollgeräuschkurven

Reifenkategorie	Reifenbreite [mm]
Schmal	bis 205
Mittelbreit	206 bis 235
Breit	236 und mehr

Anschliessend wird mithilfe aller Messdaten der entsprechenden Reifenkategorie je ein frequenz- und Reifenkategorie-spezifisches Rollgeräuschmodell für Fahrzeuge mit schmaler, mittelbreiter und breiter Bereifung berechnet.

$$L_{\text{Roll: PW, RKat, f}}(v) = a_{\text{Roll: PW, RKat, f}} + b_{\text{Roll: PW, RKat, f}} \cdot \log(v) \quad \text{Gl. 5}$$

Mit der auf diese Weise vergrösserten Stichprobe können relativ robuste Rollgeräuschkurven ermittelt werden, wobei der Einfluss von Ausreissern (d.h. einzelne fehlerhafte Messfahrten) nur einen zu vernachlässigenden Einfluss auf das Gesamtmodell besitzen.

- Bei Rollgeräuschkurven, auf welche eines der beiden Kriterien zutrifft (siehe Gl. 3 oder Gl. 4), wird in einem nächsten Schritt der fahrzeugspezifische Modellparameter $b_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$ durch den Modellparameter $b_{\text{Roll: PW, RKat, f}}$ der entsprechenden Reifenkategorie ersetzt.
- Anschliessend wird der Modellparameter $a_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$ mithilfe des neuen Modellparameters $b_{\text{Roll: PW, RKat, f}}$ und des gemessenen Rollgeräusches bei 50 km/h neu berechnet. Bei 50 km/h überwiegt im Übrigen das Rollgeräusch, sodass ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis und ein robuster Messwert erwartet werden kann.

Bei wenigen Fahrzeugen war der Motor während der Fahrt nicht abschaltbar bzw. auskuppelbar (z.B. bei den Elektrofahrzeugen und zwei Hybrid-Fahrzeugen). Um die Schallemissionen dieser Fahrzeuge dennoch im Emissionsansatz abbilden zu können, wurden die Gesamtemissionen (inklusive dem geringen Antriebsgeräuschanteil) im Rollgeräuschmodell abgebildet und die dazugehörigen Antriebsmodelle nullgesetzt.

Lastwagen (LKW)

Die Erhebung einer Datengrundlage für einen Emissionsansatz der Rollgeräusche für Lastwagen ist im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen. Um die Rollgeräuschemissionen von Lastwagen dennoch abschätzen zu können, wird der Emissionsansatz für Lastwagen des europäischen Modelles CNOSSOS [23] aus dem Jahr 2014 verwendet. Dabei wird aus den vier Fahrzeugkategorien (*Light motor vehicles, medium heavy vehicles, heavy vehicles, powered two-wheelers*) die Kategorie *heavy vehicles* gewählt und als repräsentativ für die Schweizer LKW-Flotte angenommen. Diese Kategorie beinhaltet die schweren Lastwagen, Busse, Reisebusse, usw. mit drei und mehreren Achsen. Das Modell berechnet das Antriebs- sowie das Rollgeräusch mit folgenden Referenzbedingungen: konstante Fahrgeschwindigkeit, Strassenverlauf ohne Neigung, Lufttemperatur von 20°C, trockene Fahrbahn, Fahrzeugpark repräsentativ für das europäische Mittel und keine Stollen an den Reifen. Der dazu verwendete Strassenbelag besteht aus dem Mittel eines dichten Asphaltbeton AC 0/11 und Steinmastixasphalt SMA 0/11 mit einem Alter zwischen 2 und 7 Jahren.

Das Rollgeräusch für LKW wird wie folgt berechnet:

$$L_{\text{W, Roll: LKW, fOkt}}(v) = a_{\text{Roll: LKW, fOkt}} + b_{\text{Roll: LKW, fOkt}} \cdot \log \frac{v}{v_{\text{ref}}} \quad \text{Gl. 6}$$

Wobei $L_{W, \text{Roll: LKW}, f_{\text{Okt}}}(v)$ den Rollgeräuschschalleistungspegel für LKW pro Oktavband, $a_{\text{Roll: LKW}, f_{\text{Okt}}}$ und $b_{\text{Roll: LKW}, f_{\text{Okt}}}$ die Modellkoeffizienten, f_{Okt} die Oktavband-Mittenfrequenz, v die gefahrene Geschwindigkeit und v_{ref} die Referenzgeschwindigkeit von 70 km/h bezeichnet. Da CNOSSOS die Berechnung des Rollgeräusches lediglich in Oktavbändern vornimmt, wurden die berechneten Emissionspegel für LKW energetisch gedrittelt und analog zum Emissionsansatz für PW in Terzbändern ausgewiesen. Der Schalleistungspegel wird unter Annahme der Schallausbreitung in der Halbkugel und unter Vernachlässigung der Luftdämpfung wie folgt in einen Schalldruckpegel $L_{\text{Roll: LKW}, f_{\text{Okt}}}$ mit einer Distanz r von 7.5 m zur Quelle umgerechnet:

$$L_{\text{Roll: LKW}, f_{\text{Okt}}} = L_{W, \text{Roll: LKW}, f_{\text{Okt}}} - \left| 10 \cdot \log \frac{2}{4 \cdot \pi \cdot r} \right| \quad \text{Gl. 7}$$

2.4.2 Antriebsgeräusch

Da das Antriebsgeräusch unter Motorenlast unter Freifeldbedingungen nicht isoliert gemessen werden kann, stützt sich der Emissionsansatz auf den Zusammenhang, dass die energetische Summe von Roll- und Antriebsgeräuschemissionen die Gesamtgeräuschemission ergeben. Aerodynamische Geräusche am Fahrzeugchassis können im niedrigen Geschwindigkeitsbereich vernachlässigt werden.

Personenwagen (PW)

Für die Berechnung der Antriebsgeräuschmodelle werden zunächst die Gesamtgeräuschemissionen aus den Vorbeifahrtsmessungen bei konstanter Geschwindigkeit (Controlled pass-by Messungen) über die Mikrofonpositionen 7 und 8 (siehe Abb. 6) frequenzweise energetisch gemittelt.

$$L_{\text{Gesamt: PW}, Fz, Gang, f, v} = 10 \cdot \log \left(\sum_{\text{Mic}=7}^8 \frac{1}{2} 10^{0.1 \cdot L_{\text{Gesamt: PW}, \text{Mic}, Fz, Gang, f, v}} \right) \quad \text{Gl. 8}$$

wobei $L_{\text{Gesamt: PW}, Fz, Gang, f, v}$ den geschwindigkeits- (v), fahrzeug- (Fz), gang- und frequenzabhängige (f) Vorbeifahrtspegel darstellt.

Anschließend wird mithilfe der fahrzeug- und frequenzspezifischen Rollgeräuschmodelle die Rollgeräuschemission für v_{Gesamt} , d.h. für die während der Gesamtgeräuschmessung gefahrene Geschwindigkeit, berechnet. Über die energetische Subtraktion von der gemessenen Gesamtgeräuschemission und der berechneten Rollgeräuschemission kann der Antriebsgeräuschpegel bei gefahrener Geschwindigkeit v_{Gesamt} ermittelt werden. Auf diese Weise kann pro Frequenz für jede erhobene Gesamtgeräuschmessung die dazugehörige Antriebsgeräuschemission berechnet werden.

Mithilfe der ermittelten spektralen Antriebsgeräuschemissionen können im nächsten Schritt über einen Geschwindigkeits-Drehzahl-Pegel-Bezug die gangspezifischen Antriebsgeräuschmodelle berechnet werden. Der verwendete Geschwindigkeits-Drehzahl-Pegel-Bezug ergibt sich einerseits aus dem proportionalen Zusammenhang zwischen Drehzahl und Geschwindigkeit (aus Diskussion mit K. Heutschi, 2015) und einer experimentell bestimmten gangabhängigen Geschwindigkeitskonstante. Folgender Zusammenhang wird abgeleitet:

$$DZ_{Fz, f, Gang}(v) = \frac{900}{9 + c_{\text{Antr: Gang}}} \cdot v \quad \text{Gl. 9}$$

wobei $DZ_{Fz, f, Gang}(v)$ die Drehzahl, v die Geschwindigkeit und $c_{\text{Antr: Gang}}$ eine gangabhängige Geschwindigkeitskonstante (siehe Anhang I.2) bezeichnen. Der Nenner entspricht der Geschwindigkeit bei der definierten minimalen Drehzahl von 900 U/min.

Für die Berechnung des Antriebsgeräuschmodells gilt entsprechend:

$$L_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}}(v) = a_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}} + b_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}} \cdot \log\left(DZ_{\text{Fz, f, Gang}}(v)\right) \quad \text{Gl. 10}$$

Durch die Substitution der Drehzahl $DZ_{\text{Fz, f, Gang}}(v)$ in Gl. 10 mithilfe von Gl. 9, ergibt sich ein funktionaler Zusammenhang zwischen dem Emissionspegel und der Geschwindigkeit

$$L_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}}(v) = a_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}} + b_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}} \cdot \log\left(\frac{900}{9 + c_{\text{Antr: Gang}}} \cdot v\right) \quad \text{Gl. 11}$$

wobei $L_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}}(v)$ die frequenz- und fahrzeugspezifische Antriebsgeräuschemission, $a_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}}$, $b_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}}$ und $c_{\text{Antr: Gang}}$ die Modellkoeffizienten und v die Geschwindigkeit bezeichnen.

Nach Angaben der Fahrzeugindustrie kommt es im tieffrequenten Bereich zu Schallemissionen aufgrund schwingender Metallkörper (z.B. Ölwanne, Teile der Motorabdeckung), welche nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit bzw. der Motordrehzahl in ihrer Eigenfrequenz angeregt werden [49]. Entsprechend kommt es zu mehr oder weniger konstanten Schallemissionen insbesondere im Frequenzbereich <125 Hz. Bei Antriebsgeräuschmodellen, die ein solches Verhalten zeigen, wird $b_{\text{Antr: Fz, f}}$ auf null gesetzt (vergleiche Gl. 12). Damit resultieren in einigen Frequenzen konstante Antriebsgeräuschemissionen.

$$b_{\text{Antr: PW, Fz, f, Gang}} = 0 \quad \text{Gl. 12}$$

Die Antriebsgeräusche der gemessenen Elektrofahrzeuge wurden gleich null gesetzt.

Lastwagen (LKW)

Die Erhebung einer Datengrundlage für einen Emissionsansatz der Antriebsgeräusche für Lastwagen ist im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen. Um die Antriebsgeräuschemissionen von Lastwagen dennoch abschätzen zu können, wird der Emissionsansatz für Lastwagen des europäischen Modelles CNOSSOS [23] aus dem Jahr 2014 verwendet. Das Antriebsgeräusch für Lastwagen wird analog zum Rollgeräusch aus dem Emissionsmodell abgeleitet (vgl. Abschnitt 2.4.1). Gleichung 13 zeigt den zugrundeliegenden Emissionsansatz für Schalleistungspegel

$$L_{\text{W, Antr: LKW, fOkt}}(v) = a_{\text{Antr: LKW, fOkt}} + b_{\text{Antr: LKW, fOkt}} \cdot \frac{(v - v_{\text{ref}})}{v_{\text{ref}}} + C_{\text{KorrCNOSSOS}} \quad \text{Gl. 13}$$

wobei $L_{\text{W, Antr: LKW, fOkt}}$ die Antriebsgeräuschemission für Lastwagen pro Oktavband, $a_{\text{Antr: LKW, fOkt}}$ und $b_{\text{Antr: LKW, fOkt}}$ die spektralen Modellkoeffizienten, $C_{\text{KorrCNOSSOS}}$ den konstanten Korrekturterm für die Unterschätzung des Antriebsgeräusches durch CNOSSOS, v die gefahrene Geschwindigkeit und v_{ref} die Referenzgeschwindigkeit von 70 km/h bezeichnen. Da CNOSSOS die Berechnung des Rollgeräusches lediglich in Oktavbändern vornimmt, werden die berechneten Emissionspegel für LKW analog zur Ermittlung des Rollgeräusches für LKW jeweils energetisch gedrittelt und in Terzbändern ausgewiesen (siehe Abschnitt 2.4.1). Um von den im CNOSSOS-Modell ausgewiesenen Schalleistungspegel ($L_{\text{W, Antr: LKW}}$) in Schalldruckpegel ($L_{\text{Antr: LKW}}$) umzurechnen, wurde eine Schallausbreitung in der Halbkugel unter Vernachlässigung der Luftdämpfung angenommen und auf eine Distanz r von 7.5 m Abstand zur Quelle umgerechnet:

$$L_{\text{Antr: LKW}} = L_{\text{W, Antr: LKW}} - \left| 10 \cdot \log \frac{2}{4 \cdot \pi \cdot r} \right| \quad \text{Gl. 14}$$

Regional können die vorherrschenden Fahrzeugparks der Lastwagen bezüglich Grösse, Typ und Modernisierungsgrad starke Unterschiede aufweisen, was sich wesentlich auf die Schallemissionen auswirken kann. Zur Gewährleistung der Repräsentativität der

Emissionsberechnungen durch CNOSSOS für den aktuellen Lastwagenpark in der Schweiz, werden die Modellprognosen mit einer grossen Anzahl von aktuellen statistischen Vorbeifahrtsmessungen abgeglichen. Der Abgleich basiert auf 431 Messungen welche seit 2010 nach der Methode SPB (statistical pass-by) [50] durchgeführt und der Fahrzeugkategorie LKW zugeordnet wurden. Für die Auswertung wurden einzig Messungen bei signalisierter Geschwindigkeit 50 km/h auf akustisch neutralen Belägen verwendet. Der Abgleich offenbarte eine geringfügige Unterschätzung durch CNOSSOS von 0.6 dB, welche primär auf die abweichende statistische Verteilung der innerorts verkehrenden LKW im Vergleich zur CNOSSOS Kategorie *heavy vehicles* zurückzuführen sein dürfte. Es ist davon auszugehen, dass diese Differenz insbesondere durch abweichende Antriebsgeräusche hervorgerufen wird, da bisherige Tendenzen bezüglich der Fahrzeugemissionen von LKWs primär durch eine Veränderung der Antriebsgeräusche erfolgten. Das von CNOSSOS stammende Antriebsgeräuschmodell für Lastwagen wurden daher um den Korrekturterm $C_{KorrCNOSSOS} = 0.8$ erweitert (siehe Gl. 14), welcher die auf 0.6 dB bezifferte Unterschätzung von CNOSSOS gegenüber StL86+ korrigiert.

2.5 Ermittlung Emissionsansatz beschleunigende Fahrweise

Für die Ermittlung des Emissionsansatzes beschleunigende Fahrweise werden ausschließlich Maximalpegel in 7.5 m Distanz zur Quelle verwendet. Sämtliche Symbole und Indizes sind im Glossar und im Symbolverzeichnis im Berichtanhang erläutert.

Personenwagen (PW)

Die Schallemissionen bei beschleunigter Vorbeifahrt konnten bei der Messkampagne für den gesamten Fahrzeugpark mithilfe der Acceleration pass-by Messungen erhoben werden. Da die Lärmemission bei einem Beschleunigungsereignis durch Schaltvorgänge und Eigenheiten bei der Fahrweise bestimmt werden, wurden die Gesamtemissionen als energetischer Mittelwert der Summenpegel aller zehn Mikrofonpositionen wie folgt berechnet

$$L_{\text{Beschl: PW, Fz}}(v) = 10 \cdot \log \left(\sum_{\text{Mic}=1}^{10} \sum_{f=31.5\text{Hz}}^{5000\text{Hz}} \frac{1}{n_{\text{Mic}} \cdot n_f} 10^{0.1 \cdot L_{\text{Beschl: PW, Fz, Mic, f}}(v)} \right) \quad \text{Gl. 15}$$

wobei $L_{\text{Beschl: PW, Fz}}$ den energetisch gemittelten Vorbeifahrtspegel pro Fahrzeug, Mic die Mikrofonposition (vgl. Abb. 6), f die Terzbandmittenfrequenz, n_{Mic} die Anzahl der Mikrofonpositionen 1 bis 10, n_f die Anzahl der Terzbandmittenfrequenzen repräsentiert. Vereinfachend ist damit der Emissionsansatz für die beschleunigende Fahrweise belagsunabhängig.

Lastwagen (LKW)

Die Erhebung einer Datengrundlage für einen Emissionsansatz für Lastwagen in beschleunigender Fahrweise ist im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen. Im europäischen Emissionsmodell CNOSSOS werden Lärmemissionen von beschleunigenden Lastwagen lediglich im Bereich von Knoten und Kreiseln mithilfe eines Distanzparameters berücksichtigt. Dieses Vorgehen kann für den hier präsentierten Emissionsansatz nicht adaptiert werden. Daher bleibt der Beschleunigungsvorgang von Lastwagen im hier präsentierten Emissionsansatz unberücksichtigt.

2.6 Ermittlung Quellenformulierung

Basierend auf den Emissionsansätzen für konstante Fahrweise und beschleunigende Fahrweise sowie dem statistischen Fahrverhalten wird die Quellenformulierung in drei Schritten ermittelt. Die Quellenformulierung bildet die Grundlage zur Ermittlung der Lärmwirkung von Situationen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich.

1. Das in realen Situationen erhobene statistische Fahrverhalten (zontypische Geschwindigkeitsverteilungen und statistische Gangwahl für die Zonentypen Tempo 30 und die Ausgangssituation Tempo 50) wird für die verschiedenen Tagesperioden gewichtet und über das Roll- und Antriebsgeräuschmodell mithilfe des Geschwindigkeits-Gang-Bezuges abgebildet. Die beschleunigende Fahrweise wird separat über das Beschleunigungsmodell berücksichtigt. Grundlage bilden die Statistik des Fahrverhaltens aus Abschnitt 2.3, sowie die fahrzeugspezifischen Emissionsansätze aus Abschnitt 2.4 und 2.5. Für LKW wird nur die Geschwindigkeitsverteilung berücksichtigt.

2. Die in Schritt 1 ermittelten Roll- und Antriebsgeräusche werden unter Berücksichtigung des Zielbelages in den Emissionsansatz für die konstante Fahrweise zusammengeführt. Anschliessend werden die aus den Emissionsansätzen für konstante Fahrweise, beschleunigende Fahrweise und LKW resultierenden fahrzeugspezifischen Maximalpegel geschwindigkeitsabhängig in energieäquivalente Dauerschallpegel umgerechnet.

3. Die fahrzeugspezifischen Emissionen werden zu Fahrzeugklassen zusammengefasst und mit der Statistik des Schweizer Fahrzeugparks (Statistik der in der Schweiz zugelassenen Fahrzeuge [51], [52]) gewichtet.

Für die drei Zonentypen (Tempo 30 Strecke, Tempo 30 Zone übersichtlich, Tempo 30 Zone eng) werden drei separate Quellenformulierung vorgenommen und ausgewiesen. Die einzelnen Schritte hin zur Quellenformulierung sind in *Abb. 10* dargestellt und nachstehend erläutert.

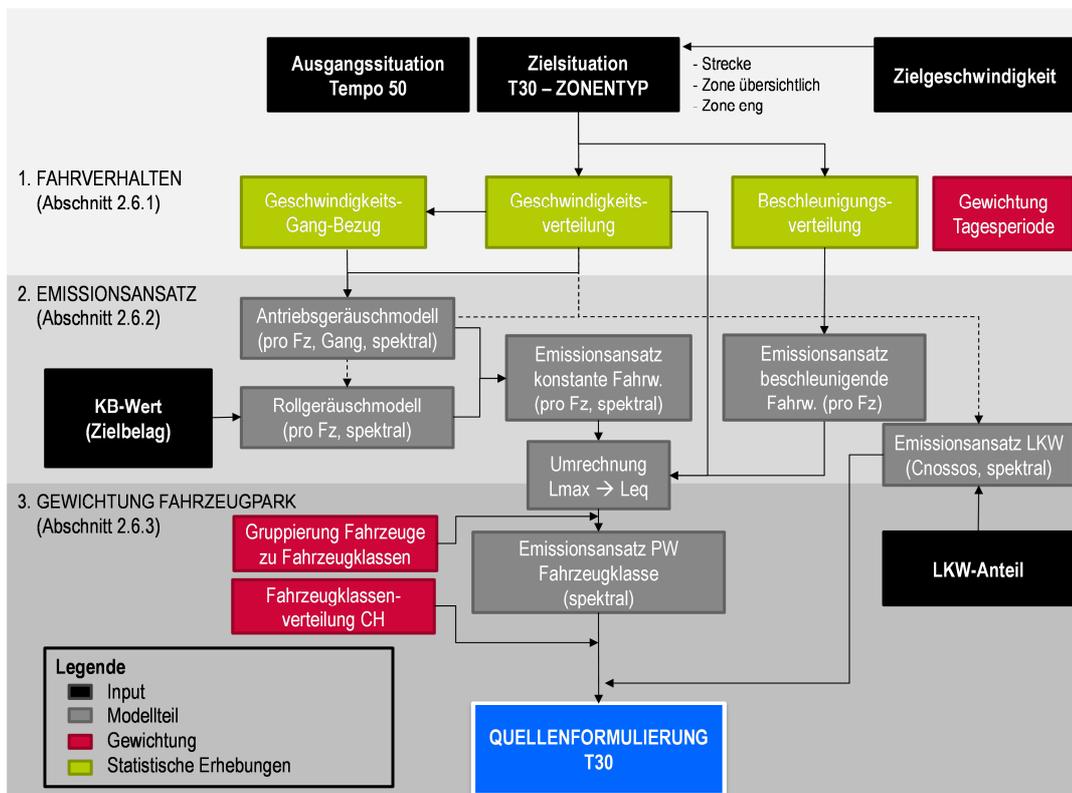


Abb. 10: Flussdiagramm der Prozessschritte bis zur Quellenformulierung

2.6.1 Abbilden des Fahrverhaltens

Als zentrales Element der Quellenformulierung wird das im niedrigen Geschwindigkeitsbereich vorherrschende Fahrverhalten basierend auf den statistischen Erhebungen abgebildet. Die für die drei Tagesperioden (tagsüber, Spitzenstunden, nachts) ermittelten statistischen Erhebungen wurden anteilmässig zu mittleren Tageswerten zusammengefasst.

Geschwindigkeitsverteilung. Die während den statistischen Erhebungen ermittelte Geschwindigkeitsverteilung bildet das Hauptelement für die Berechnung der Emissionen mittels den Roll- und Antriebsgeräuschmodellen für die konstante Fahrweise und wird pro Zonentyp abgebildet. In der Zielsituation wurden für die drei zonenspezifischen Geschwindigkeitsstatistiken in guter Näherung Normalverteilungen angenommen, die ihren Scheitelpunkt bei der gemessenen mittleren Geschwindigkeit (v_{Q50}) besitzen. Gleichermaßen wurde für die Geschwindigkeitsstatistik der Referenzsituation Tempo 50 eine Normalverteilung angenommen, dessen Scheitelpunkt für das Abbilden der Ausgangssituation jedoch bei einer mittleren Geschwindigkeit (v_{Q50}) von 50 km/h angenommen wurde. Die Geschwindigkeitsverteilungen unterscheiden nicht zwischen PW und LKW und werden fahrzeugkategorieübergreifend für die Emissionsansätze von PW und LKW verwendet.

Geschwindigkeits-Gang-Bezug. Zusammen mit der Geschwindigkeitsverteilung bildet der Geschwindigkeits-Gang-Bezug die Grundlage für die Berechnung des Antriebsgeräusches und wird nicht zonenspezifisch sondern für die Gesamtheit der statistisch erhobenen Daten ermittelt. Die zonengerechte Abbildung erfolgt durch die zonenspezifische Geschwindigkeitsverteilung. Bei der Berechnung des Antriebsgeräusches werden die bei einer bestimmten Geschwindigkeit fahrenden Fahrzeuge entsprechend ihrem, durch die Gangverteilung vorgegebenen Anteil gewichtet. Dabei wird die Geschwindigkeit auf ganze Zahlen zwischen 1 und 60 km/h diskretisiert. Der Geschwindigkeits-Gang-Bezug kommt bei der Berechnung des Emissionsansatzes für PW zur Anwendung.

Beschleunigungsverteilung. Die Statistik der beschleunigenden Fahrweise wird zur Berechnung der Emissionen beschleunigender Fahrzeuge verwendet und unterscheidet in Beschleunigung aus der Fahrt (unstetig fahrende Fahrzeuge) und Beschleunigung nach Anhalten. Ebenfalls wird zwischen *vorausblickendem*, *sportlichem* und *aggressivem* Beschleunigungsstil unterschieden. Da aus erhebungstechnischen Notwendigkeiten im Beschleunigungsmodell einzig die Beschleunigungsstils *vorausblickend* und *aggressiv* abgebildet sind, wurde die Kategorie der *sportlichen* Beschleunigungen mit folgender Gewichtung dem *vorausblickenden* bzw. dem *aggressiven* Beschleunigungsstil zugerechnet. Die Gewichtung wurde so ermittelt, dass durch die Zuordnung, die Emissionen des *sportlichen* Beschleunigungsstils 3 dB (unstetige Fahrt) bzw. 2 dB (Beschleunigen nach Anhalten) unterhalb des *aggressiven* Beschleunigungsstils zu liegen kommen. Die Beschleunigungsverteilung kommt bei der Berechnung des Emissionsansatzes für PW zur Anwendung.

In der vorliegenden Studie wurden keine separaten Erhebungen zum Fahrverhalten von LKW im niedrigen Geschwindigkeitsbereich durchgeführt. Für die Abbildung des Fahrverhaltens von Lastwagen wird die statistische ermittelte zonentypische Geschwindigkeitsverteilung unabhängig vom Gang verwendet.

2.6.2 Berücksichtigung Belageinfluss, Zusammenführung Emissionsansatz & Umrechnung in L_{eq}

Berücksichtigung des Strassenbelags. Um den akustischen Einfluss unterschiedlicher Strassenbeläge im Emissionsansatz berücksichtigen zu können, wurden auf dem Testgelände des DTC in Vauffelin, akustische Belagsgütemessungen mit dem CPX-Verfahren (siehe Abschnitt 2.2.3) durchgeführt. Mithilfe des dort ermittelten spektralen Rollgeräusches für den Ausgangsbelag kann der Emissionsansatz für Personenwagen auch auf andere Beläge angewendet werden. Für Lastwagen wird ein analoges Verfahren angewendet, bei welchem jedoch vom CNOSSOS Standardbelag ausgegangen wird. Da die-

ser Belag in der CNOSSOS Dokumentation zwar beschrieben, nicht aber spektral charakterisiert wird, wird seine spektrale Signatur entsprechend seiner Zusammensetzung aus der Datenbank der Grolimund + Partner AG für CPX-Messungen ermittelt.

Zur Ermittlung der Lärmwirkung von Tempo 30 auf lärmarmen Belägen, sowie auf Pflaster wird für die Zielbeläge eine spektrale Differenz zum Ausgangsbelag bei 50 km/h ermittelt und zum Rollgeräusch addiert (siehe Gl. 16 und Gl. 17),

$$L_{\text{Roll,korrBelag: PW,Fz,f}}(v) = L_{\text{Roll: PW,Fz,f}}(v) + k_{\text{Vauffelin,f}} \quad \text{Gl. 16}$$

$$L_{\text{Roll,korrBelag: LKW,fOkt}}(v) = L_{\text{Roll: LKW,fOkt}}(v) + k_{\text{CNOSSOS,fOkt}} \quad \text{Gl. 17}$$

wobei $L_{\text{Roll,korrBelag: PW,Fz,f}}(v)$ und $L_{\text{Roll,korrBelag: LKW,fOkt}}(v)$ die belagskorrigierten Rollgeräusche für PW und LKW sind, $L_{\text{Roll: PW,Fz,f}}(v)$ und $L_{\text{Roll: LKW,fOkt}}(v)$ die nicht-belagskorrigierten Ausgangsrollgeräuschpegel und $k_{\text{Vauffelin,f}}$ und $k_{\text{CNOSSOS,fOkt}}$ die frequenzspezifischen Korrekturterme. Es wird vereinfacht angenommen, dass diese spektrale Differenz unabhängig von der Geschwindigkeit konstant bleibt. Auf gleiche Weise wurde mit der spektralen Differenz zu den Validierungsbelägen (d.h. den auf den Validierungsstrecken vorhandenen Belägen, siehe Anhang II.1) verfahren. In Abb. 11 sind die Rollgeräuschspektren sämtlicher in dieser Studie verwendeter Beläge abgebildet. Tab. 11 zeigt die jeweilige Differenz bezüglich der Referenzbeläge DTC Vauffelin und CNOSSOS in dB unter Berücksichtigung des Umrechnungsfaktors der Belagswirkung im Nahfeldbereich (CPX-Messung) zu emissionsnahen Messungen (z.B. SPB-Messungen) nach [17].

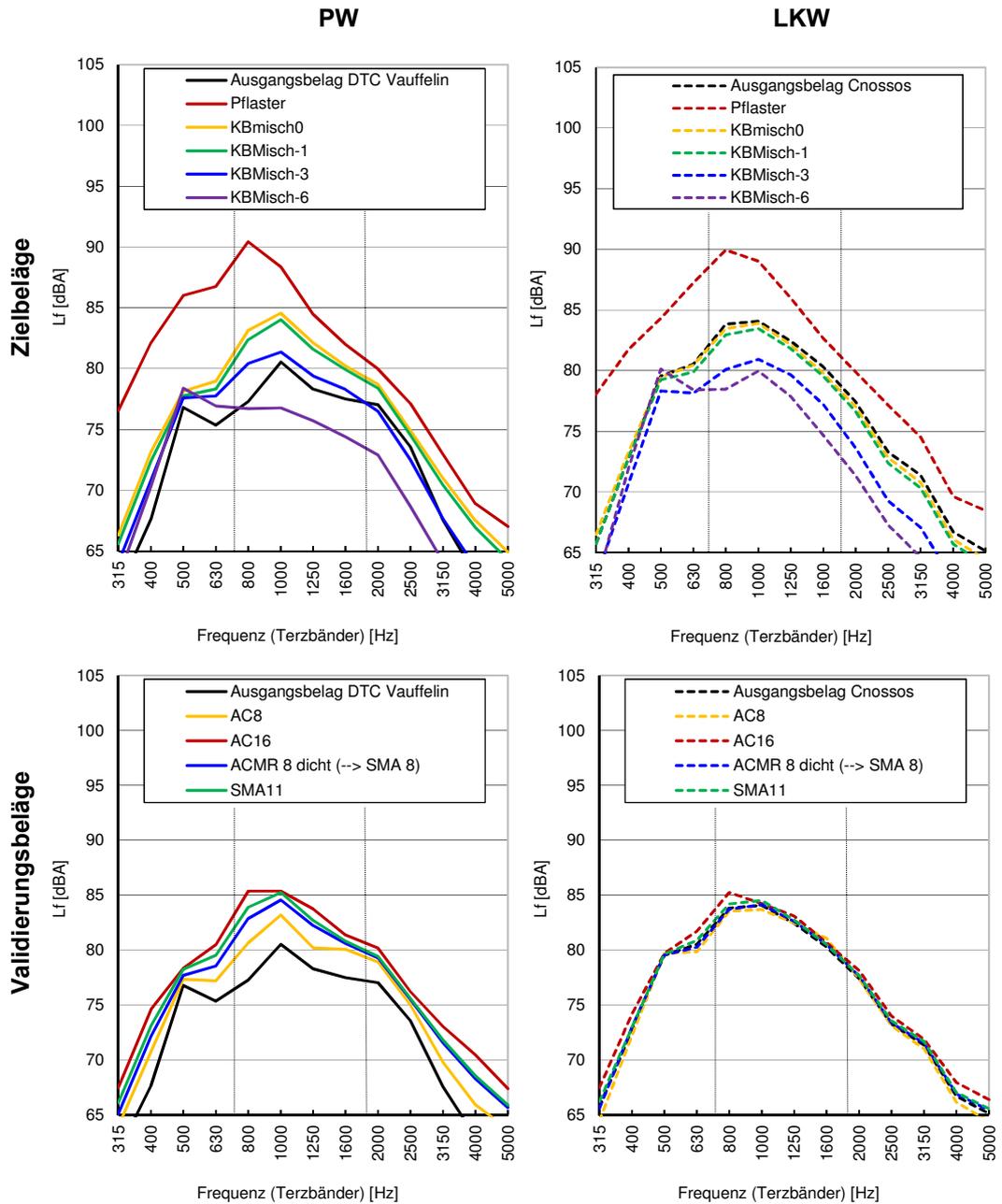


Abb. 11: Spektrale Signatur der Ziel- und Validierungsbeläge im Vergleich zu den Ausgangsbelägen (für PW Belag auf dem Testgelände DTC Vauffelin, für LKW der Belag aus CNOSSOS).

Tab. 11: Akustische Differenzen der verwendeten Beläge zum jeweiligen Ausgangsbelag (DTC Vauffelin für PW und CNOSSOS für LKW)

Belag	Akustische Differenz zum Referenzbelag [dB]												
	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz
PW													
Zielbeläge													
Pflaster	18.5	18.0	11.5	14.2	16.4	9.8	7.7	5.6	3.7	4.4	6.7	7.3	7.6
KBMisch0	5.8	6.9	1.7	4.5	7.3	5.0	4.8	3.4	2.1	1.7	4.3	5.6	5.0
KBMisch-1	4.9	5.9	1.2	3.7	6.4	4.3	4.1	3.0	1.7	1.2	3.6	4.9	4.2
KBMisch-3	2.9	4.0	1.0	3.0	3.9	1.0	1.4	1.0	-0.7	-1.3	0.1	0.9	0.1
KBMisch-6	1.4	3.3	2.0	2.0	-0.7	-4.7	-3.2	-3.9	-5.2	-6.1	-4.3	-3.6	-4.6
Validierungsbeläge													
AC 8	2.9	3.9	0.7	2.3	4.2	3.3	2.4	3.2	2.3	1.8	2.8	3.6	3.5
AC 16	7.2	8.7	2.0	6.4	10.1	6.0	6.8	4.8	3.9	3.3	6.9	9.3	8.1
SMA 8	4.3	5.6	1.1	4.0	7.0	5.0	4.9	3.9	2.8	2.4	5.0	6.6	5.9
SMA 11	5.5	6.8	1.8	5.2	8.2	5.9	5.5	4.1	3.0	2.6	5.3	6.9	6.2
LKW													
Zielbeläge													
KBMisch0	1.0	0.5	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	-0.3	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7
KBMisch-1	0.0	0.0	-0.4	-0.9	-1.2	-0.8	-0.9	-1.1	-1.1	-1.3	-1.4	-1.4	-1.6
KBMisch-3	-3.9	-2.9	-1.7	-3.2	-5.1	-4.3	-3.8	-4.2	-5.2	-5.5	-5.8	-5.4	-6.0
KBMisch-6	-4.6	-1.1	0.8	-2.9	-7.3	-5.6	-6.2	-7.7	-8.3	-8.2	-9.2	-8.5	-9.9
Validierungsbeläge													
AC 8	-1.7	-0.8	0.2	-0.9	-0.4	-0.5	0.0	1.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.7	-1.0
AC 16	2.4	1.9	0.2	1.6	1.9	0.2	0.9	0.5	1.0	1.0	0.7	1.7	1.7
SMA 8	-0.2	0.3	0.0	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4
SMA 11	0.7	0.2	0.1	0.5	0.5	0.6	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6

Aus Abb. 11 geht hervor, dass es sich beim Belag auf dem Testgelände in Vauffelin um einen ausserordentlich leisen AC11 Belag handelt, wie dies auf Teststrecken oft zu beobachten ist, da diese kaum mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Daher ist der Belag in Vauffelin für Beläge des gleichen Typs im öffentlichen Strassenverkehr nicht repräsentativ und muss entsprechend korrigiert.

Zusammenführen Emissionsansatz

Die Modellierungen des Roll- und Antriebsgeräusches werden in den Emissionsansatz für die konstante Fahrweise zusammengefasst.

Umrechnung L_{max} in Leq

Die Emissionsansätze für konstante Fahrweise, beschleunigende Fahrweise und LKW basieren komplett auf Maximalpegeln und werden mithilfe einer von der EMPA hergeleiteten Gleichung (Gl. 18) [12] in Abhängigkeit der Geschwindigkeitsverteilung in energieäquivalente Dauerschallpegel $Leq_{1Fz/h,A}$ umgerechnet.

$$Leq_{1Fz/h,A} = L_{max,7.5m,A} - 10 \cdot \log(v) - 10 \cdot \log(d) - 7.5 \quad \text{Gl. 18}$$

mit $L_{max,7.5m,A}$ maximaler A-bewerteter Vorbeifahrtpegel in 7.5 m Abstand [dB(A)], v Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h] und d Abstand Empfänger - Fahrspur [m]. Somit können in der Quellenformulierung sowohl Maximalpegel und energieäquivalente Dauerschallpegel ausgewiesen werden.

2.6.3 Gewichtung PW-Fahrzeugpark

Ein wichtiges Ziel dieser Studie ist die Abbildung eines Emissionsansatzes für einen repräsentativen und aktuellen PW-Fahrzeugpark. Zu diesem Zweck wurden die Immatrikulationen von Personenwagen zwischen 2001 und 2014 in der Schweiz nach Hubraumklassen [53] summiert und als prozentualer Anteil ausgewiesen (siehe Tab. 12). Der An-

teil Lieferwagen mit einem Gewicht von weniger als 3.5 t basiert auf dem, während der statistischen Erhebungen ermittelten, prozentualen Anteil über alle Messungen.

Tab. 12: PW-Fahrzeugpark für Quellenformulierung nach Hubraumklassen und prozentualen Anteil am nationalen Fahrzeugpark CH

Hubraumklasse	Fahrzeugklasse	Anteil [%]
1000 - 1399	Kleinwagen*	24.4
1400 - 1799	Kompaktwagen**	23.4
1800 - 1999	Mittelklassewagen*	27.5
2000 - 2499	Luxuswagen / Minibus / Minivan	9.1
2500 - 2999	SUV / Van	7.6
3000 und mehr	Sportwagen / Geländewagen **	4.9
Nicht definiert	Lieferwagen < 3.5t	3.1

* beinhaltet Elektrofahrzeuge

** beinhaltet Hybridfahrzeuge

Die Zuteilung der im Rahmen dieser Studie erhobenen Fahrzeuge erfolgt entsprechend deren Hubraumgrösse gemäss Anhang II.3 und der dazugehörigen Bereifung. Da die Messkampagne Ende April durchgeführt wurde, kamen sowohl Sommer- wie Winterreifen zum Einsatz (siehe Tabelle in AnhangTab. 4). Wird in Zukunft eine Veränderung in der Zusammensetzung des Fahrzeugparks festgestellt, könnte solchen Tendenzen mit einer Anpassung der Fahrzeugklassen Rechnung getragen werden.

2.7 Durchführung der Validierung

Zur Erstellung eines Validierungsdatensatzes wurden simultan zu den statistischen Erhebungen während minimal 30 min emissionsnahe Lärmmessungen durchgeführt. Der Validierungsdatensatz erlaubt einen direkten Vergleich der Modellprognosen mit den vor Ort gemessenen Lärmpegeln. Es ist jedoch zu beachten, dass die Lärmmessungen während den statistischen Erhebungen nicht überwacht, d.h. auf Störgeräusche kontrolliert werden konnten. Da die Messungen in verdichteten Innerortsbereich (in der Stadt Zürich und in Köniz (BE)) durchgeführt werden, ist mit einer gewissen nicht quantifizierbaren Beeinflussung der Messpegel zu rechnen. Die zur Validierung verwendeten Modellprognosen basieren auf den gezählten Verkehr inklusive LKW-Anteil und den Informationen zum Belagstyp. Es lagen keine in-situ ermittelten Belagsgütewerte vor.

3 Ergebnisse

3.1 Emissionsansatz

Die im Abschnitt 3.1 präsentierten Ergebnisse basieren auf den Messergebnissen der Datenerhebung zum Emissionsansatz für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich auf dem Testgelände des DTC in Vauffelin (BE). Grundsätzlich ist zu beachten, dass die im vorliegenden Abschnitt präsentierten Ergebnisse für die Situation auf dem Strassenbelag des Testgeländes gelten. Um diese Ergebnisse auf Situationen mit abweichenden Strassenbelägen zu übertragen, werden die spektralen akustischen Differenzen des Zielbelages zum Ausgangsbelag auf dem Testgelände (siehe Abschnitt 2.6.2) mit dem Rollgeräusch des Emissionsansatzes verrechnet.

3.1.1 Rollgeräusch

Die Rollgeräuschmodelle für PW ergeben sich aus den Rollgeräuschmessungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten während der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich. Die Modellkoeffizienten sowie die Darstellung der Rollgeräuschmodelle für die einzelnen Fahrzeuge des Fahrzeugpark Testsamples und Frequenzen sind in Anhang I.4 bzw. I aufgeführt. Zur Veranschaulichung ist in Abb. 12 das mittlere Rollgeräuschmodell (arithmetisches Mittel des gesamten untersuchten Fahrzeugpark Testsamples) auf dem Strassenbelag des Testgeländes einschliesslich des als Band dargestellten Interquartilsabstands (Streuung) abgebildet.

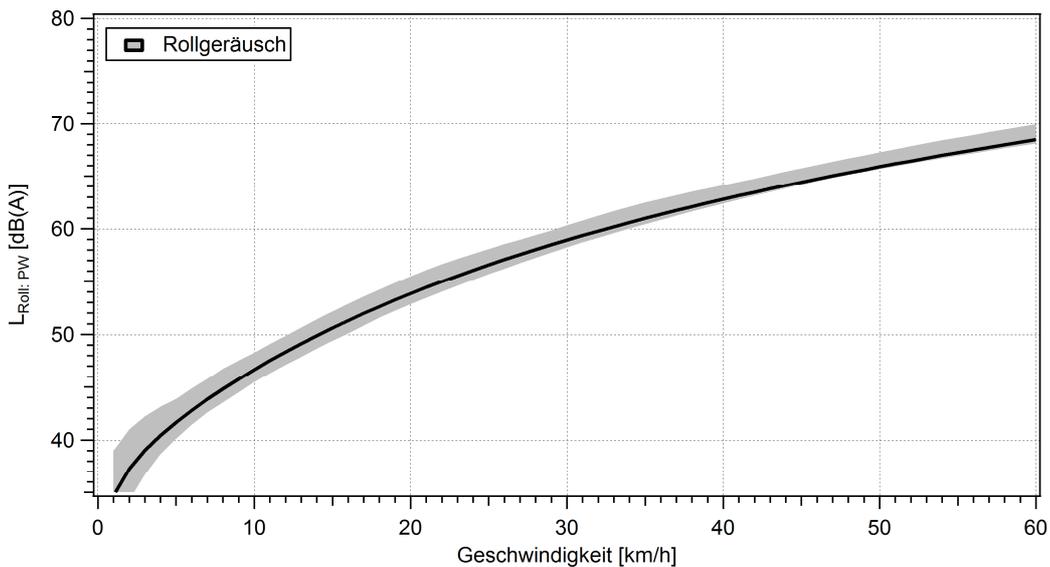


Abb. 12: *Arithmetisch gemittelttes Rollgeräuschmodell auf dem Strassenbelag des Testgeländes in 7.5 m Distanz zur Quelle und Streuung (Interquartilsabstand) des untersuchten Fahrzeugpark Testsamples*

Aus Abb. 12 geht hervor, dass die Rollgeräusche pro Geschwindigkeitsdekade im tieferen Geschwindigkeitsbereich stärker zunehmen, als dies bei höheren Geschwindigkeiten (z.B. ab 40 km/h) der Fall ist. Zudem streuen die Rollgeräusche bei niedrigen Geschwindigkeiten etwas stärker. Im relevanten Geschwindigkeitsbereich zwischen 20 und 50 km/h streuen die Rollgeräusche des untersuchten Fahrzeugpark Testsamples 2 bis 3 dB.

Die Ergebnisse der Nebemesskampagne zum Einfluss verschiedener Reifeneigenschaften deutet darauf hin, dass der Reifentyp (Sommer oder Winterreifen), Reifenlabel für das akustische Abrollverhalten des Reifens (Schallemissionskategorien) und die Reifenbreite einen wesentlichen Einfluss auf die Rollgeräuschemissionen haben können. Die Ergeb-

nisse sind in Anhang III dargestellt. Im vorliegenden Projekt wurden diese Differenzen indirekt über die Gewichtung des Fahrzeugparkes berücksichtigt.

3.1.2 Antriebsgeräusch

Die Antriebsgeräuschmodelle für PW wurden wie in Abschnitt 2.4.2 beschrieben, aus den Roll- und Gesamtgeräuschmessungen während der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich berechnet. Die Modellkoeffizienten sowie die Darstellung der Antriebsgeräuschmodelle für die einzelnen Fahrzeuge, Gänge und Frequenzen sind in den Anhängen I.4 bzw. I.2 aufgeführt. Zur Veranschaulichung sind in *Abb. 13* das mittlere Antriebsgeräuschmodell pro Gang (arithmetisches Mittel) sowie deren Streuung charakterisiert durch den Interquartilsabstand abgebildet.

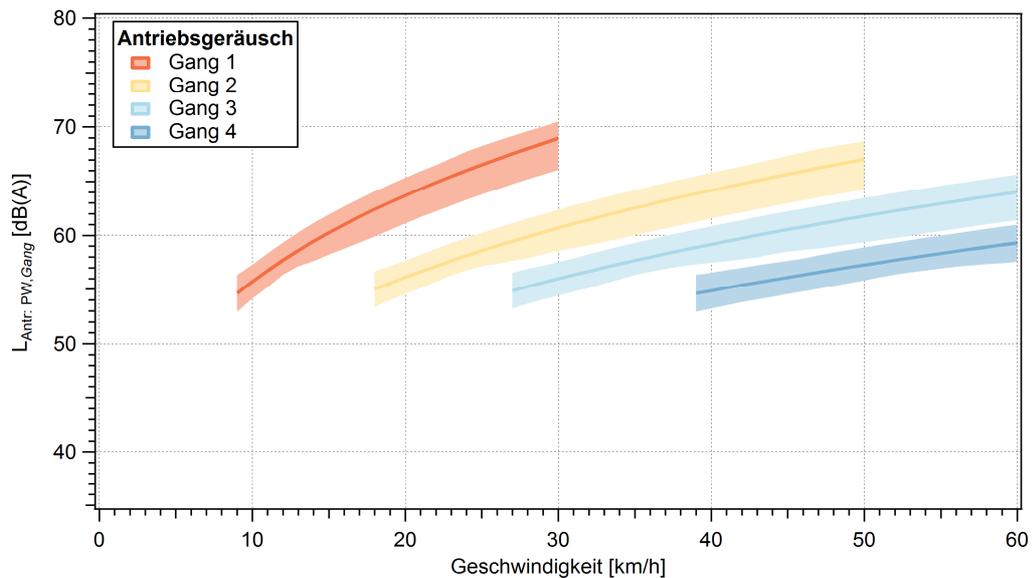


Abb. 13: Mittleres Antriebsgeräuschmodell pro Gang in 7.5 m Distanz zur Quelle und deren Streuung (Interquartilsabstand) des untersuchten Fahrzeugparks

Abb. 13 zeigt, dass sich die Antriebsgeräusche in Abhängigkeit des gewählten Ganges deutlich unterscheiden. Allerdings gilt es zu beachten, dass die einzelnen Gänge nur in einem beschränkten Geschwindigkeitsbereich zur Anwendung kommen. Wird das mittlere Rollgeräusch bei 30 km/h von etwa 58.5 dB beigezogen, wird deutlich, dass die Antriebsgeräusche im 3. Gang deutlich tiefer ausfallen. Im 2. Gang liegen die Antriebsgeräusche mehrheitlich leicht oberhalb des mittleren Rollgeräusches. Würde im 1. Gang gefahren, dominierten die Antriebsgeräusche sehr deutlich.

3.1.3 Beschleunigung

Das Beschleunigungsverhalten wurde mithilfe von vier typischen Beschleunigungsszenarien abgebildet, die einerseits die beschleunigende Fahrweise und andererseits den Beschleunigungsstil beinhalten. In Abb. 14 sind die statistischen Verteilungen der gemessenen Schallpegel für die vier Beschleunigungsszenarien und zum Vergleich für den 2. und 3. Gang bei konstanter Fahrweise (vgl. 3.1.2) mithilfe von Boxplots dargestellt.

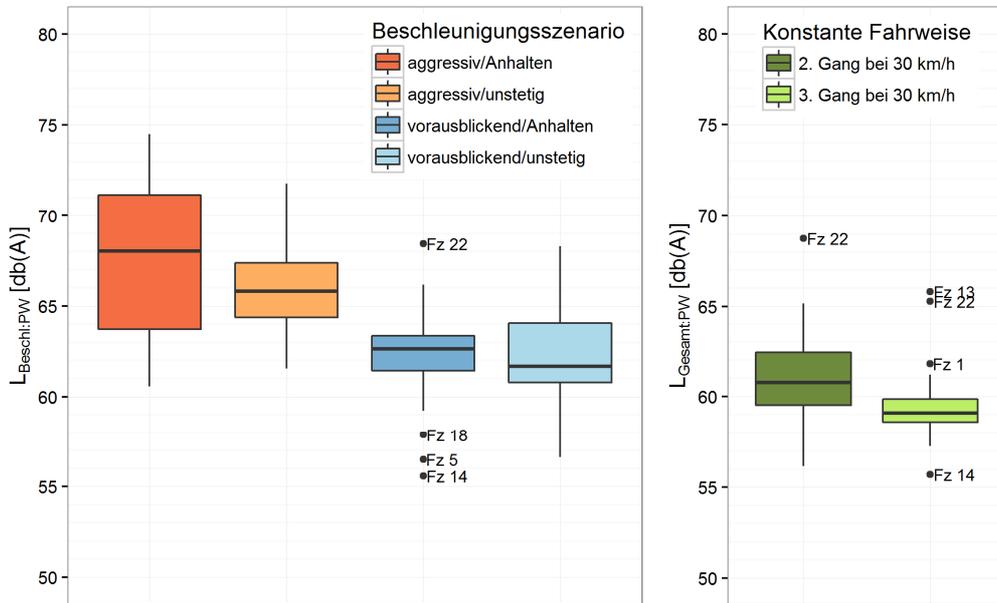


Abb. 14: Statistische Verteilung (Boxplots) des gemessenen Gesamtgeräuschs auf dem Testgelände pro Beschleunigungsszenario ($L_{\text{Beschl:PW}}$), kategorisiert nach dem vorgegebenen Fahrverhalten, im Vergleich zum Gesamtgeräusch bei konstanter Fahrweise im 2. und 3. Gang ($L_{\text{Gesamt:PW}}$).

Es zeigt sich, dass die Fahrweise und der Beschleunigungsstil einen entscheidenden Einfluss auf den Schallpegel besitzen. Eine aggressive Fahrweise nach Anhalten, zeigt im Mittel die höchsten Schallpegel (68.0 dB(A)), und eine vorausblickende Fahrweise bei uneteter Fahrt (ohne Anhalten) die tiefsten Pegel (61.7 dB(A)). Im Vergleich liegen der mittlere gemessene Schallpegel bei konstanter Fahrt im 2. und 3. Gang bei 30 km/h bei 60.8 dB(A) bzw. 59.1 dB(A) und damit leicht unterhalb der Pegel der vorausblickenden Beschleunigungsszenarios.

Tab. 13: Kennwerte zur statistischen Verteilung des, auf dem Testgelände gemessenen Gesamtgeräuschs ($L_{\text{Beschl:PW}}$) bei beschleunigter Fahrt im Vergleich zum Gesamtgeräusch bei konstanter Fahrt im 2. und 3. Gang ($L_{\text{Gesamt:PW}}$)

Szenario	Modellparameter	Median [dB(A)]	Standardabweichung [dB(A)]	Q(0.25) [dB(A)]	Q(0.75) [dB(A)]
aggressiv/Anhalten	$L_{\text{Beschl:PW}}$	68.0	4.3	63.7	71.2
aggressiv/unstetig	$L_{\text{Beschl:PW}}$	65.8	2.6	64.4	67.4
vorausblickend/Anhalten	$L_{\text{Beschl:PW}}$	62.6	3.0	61.4	63.4
vorausblickend/unstetig	$L_{\text{Beschl:PW}}$	61.7	2.7	60.8	64.1
2. Gang bei 30 km/h	$L_{\text{Gesamt:PW}}$	60.8	2.8	59.5	62.4
3. Gang bei 30 km/h	$L_{\text{Gesamt:PW}}$	59.1	2.3	58.6	59.8

3.2 Statistisches Fahrverhalten

3.2.1 Geschwindigkeitsverteilung

Mithilfe der während der statistischen Erhebungen zum Fahrverhalten gemessenen effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten kann pro Zonentyp eine Geschwindigkeitsverteilung abgeleitet werden. Die Verteilungen für die Referenzsituation sowie die drei Tempo 30 Zonentypen sind in *Abb. 15* mithilfe von Boxplots dargestellt. Die zugehörigen statistischen Kennwerte zur Geschwindigkeitsverteilung (Mittelwert, v_{Q50} , v_{Q85} , n) sind in *Tab. 14* aufgeführt. Auf eine tageszeiteinspezifische Auswertung wird verzichtet, da zwischen den Tagesperioden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden konnten (siehe [48]).

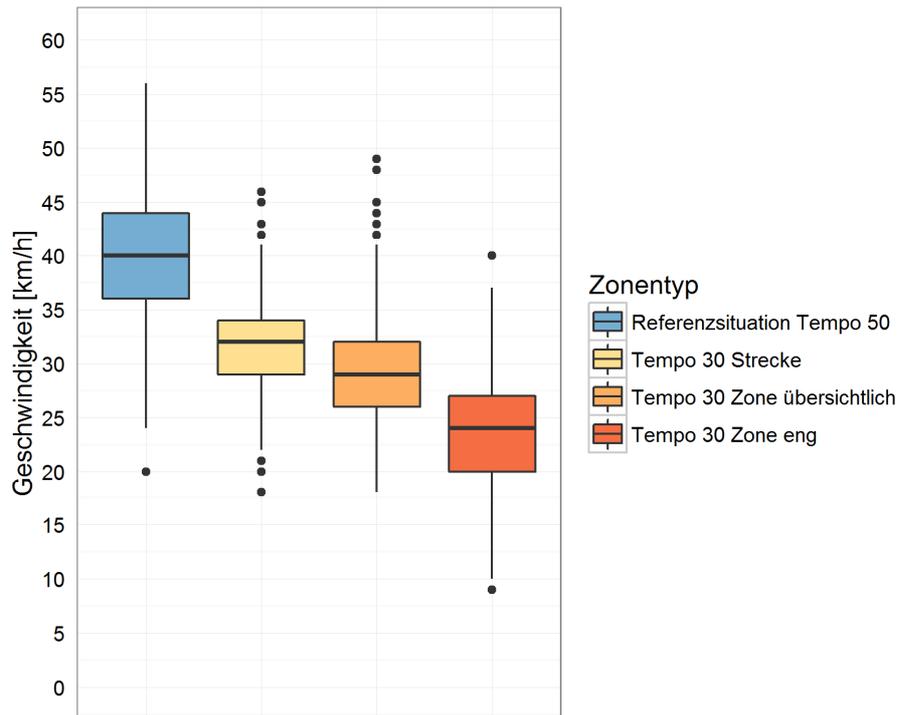


Abb. 15: Boxplots zur effektiv gefahrenen Geschwindigkeit pro Zonentyp.

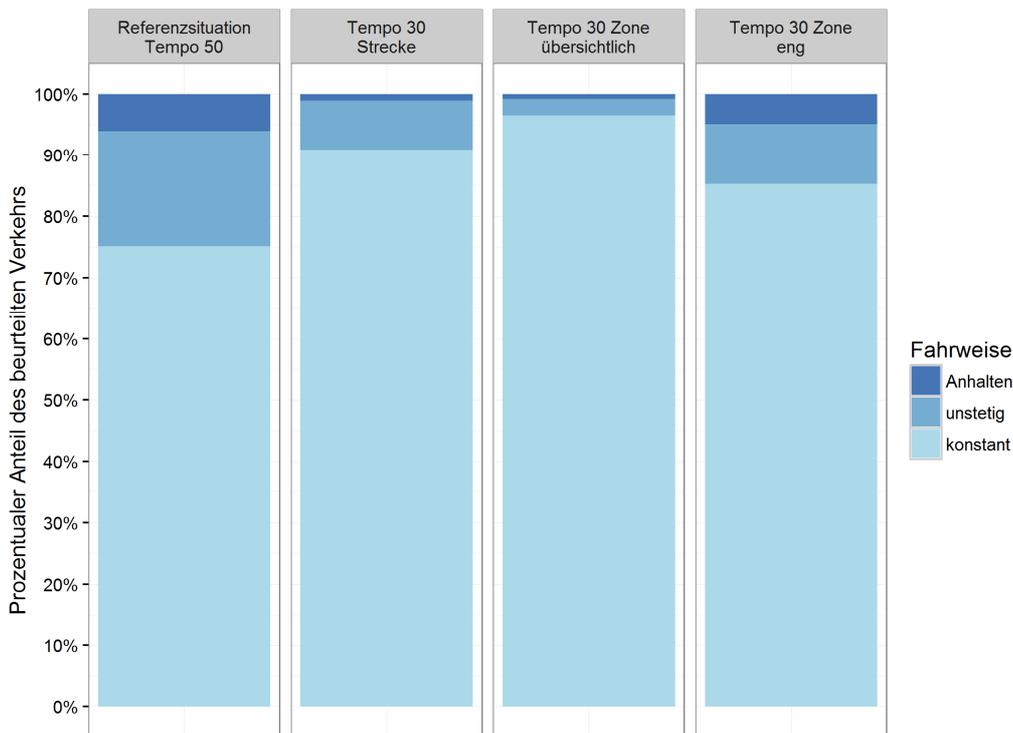
In der Referenzsituation wird im Mittel deutlich langsamer als die signalisierte Geschwindigkeit von 50 km/h gefahren (v_{Q50} : 40 km/h). Für die drei untersuchten Tempo 30 Situationen werden im Vergleich zur Referenzsituation Tempo 50 deutlich tiefere Geschwindigkeiten gemessen. Die tiefsten Geschwindigkeiten treten dabei in der Tempo 30 Zone eng auf (v_{Q50} : 24 km/h). In der Tempo 30 Strecke (v_{Q50} : 32 km/h) werden im Mittel leicht höhere Geschwindigkeiten als in der Tempo 30 Zone übersichtlich (v_{Q50} : 29 km/h) gemessen. Die Streuung fällt gemessen am Interquartilsabstand (IQR) für die drei Tempo 30 Situationen relativ ähnlich aus. Zu bemerken ist jedoch, dass die Streuung im Vergleich der Tempo 30 Zonentypen für die Tempo 30 Zone eng trotz der niedrigsten mittleren Geschwindigkeit am grössten ist, und für die Tempo 30 Strecke trotz der höchsten effektiv gefahrenen Geschwindigkeit am geringsten ausfällt. Die Streuung der Fahrgeschwindigkeiten ist bei der Referenzsituation Tempo 50 geringfügig grösser als bei den untersuchten Tempo 30 Situationen.

Tab. 14: Kennwerte zur statistischen Verteilung der effektiv gefahrenen Geschwindigkeit bei konstanter Fahrt pro Zonentyp

Zonentyp	Mittelwert [km/h]	V _{Q50} [km/h]	V _{Q85} [km/h]	IQR	n
Referenzsituation Tempo 50	39.7	40	44	8	311
Tempo 30 Strecke	31.7	32	34	5	334
Tempo 30 Zone übersichtlich	29.4	29	32	6	747
Tempo 30 Zone eng	23.6	24	27	7	349

3.2.2 Fahrweise

Die Fahrweise beschreibt die Stetigkeit einer Vorbeifahrt. Während eine konstante Fahrweise das Fahrverhalten bei konstanter Geschwindigkeit in einem bestimmten Gang und relativ konstanter Geräuschemissionen beschreibt, ist die Ausprägung der Geräuschemission bei einer Vorbeifahrt mit beschleunigender Fahrweise (mit Anhalten oder bei un stetiger Fahrweise) lokal teils sehr unterschiedlich. Der Fahrweise wurde durch Vorbeifahrtsmessungen separater Beschleunigungsszenarien, sowie bei Fahrten in unterschiedlichen Getriebegängen Rechnung getragen, welche dann bei den statistischen Erhebungen zum Fahrverhalten kategorisiert erfasst wurden. In Abb. 16 sind die Ergebnisse der statistischen Erhebungen zur Fahrweise als prozentualer Anteil des beurteilten Verkehrs dargestellt. Die prozentualen Anteile sind in Tab. 15 aufgelistet.

**Abb. 16:** Fahrweise als prozentualer Anteil des beurteilten Verkehrs

In allen untersuchten Situationen stellen die konstant fahrenden Fahrzeuge den deutlich grössten Anteil dar (75 bis 97% des Gesamtverkehrs). In der Referenzsituation Tempo 50 ist der Anteil beschleunigender Fahrzeuge mit 25% am grössten. In der Situation Tempo 30 Zone eng kommt es zu einem grösseren Anteil an Beschleunigungsvorgängen als dies in den übersichtlichen Tempo 30 Situationen der Fall ist. In der Tempo 30 Zone übersichtlich und der Tempo 30 Strecke liegen die Anteile beschleunigender Fahrzeuge mit 3% bzw. 7% deutlich tiefer als bei der Tempo 30 Zone eng. Die Unterschiede beim Fahrverhalten könnten einerseits auf die verkehrsgestalterischen Massnahmen am jeweiligen Messstandort zurückzuführen sein. Absolut gesehen, provozierten Standorte in unmittelbarer Entfernung zu einem Fussgängerstreifen oder zu einem Vertikalversatz häufiger

ger Beschleunigungsereignisse als Erhebungsstandorte an freier Strecke. Andererseits könnte sich eine höhere Akzeptanz der Autofahrer gegenüber länger bestehenden Tempo 30 Zonen positiv auf das Fahrverhalten auswirken (vgl. [54], S. 154-161).

Tab. 15: Fahrweise als prozentualer Anteil des beurteilten Verkehrs pro Zonentyp

Zonentyp	Fahrweise	Prozentualer Anteil
Referenzsituation Tempo 50	konstant	75.1%
Referenzsituation Tempo 50	unstetig	18.8%
Referenzsituation Tempo 50	Anhalten	6.0%
Tempo 30 Strecke	konstant	90.9%
Tempo 30 Strecke	unstetig	8.0%
Tempo 30 Strecke	Anhalten	1.1%
Tempo 30 Zone übersichtlich	konstant	96.5%
Tempo 30 Zone übersichtlich	unstetig	2.7%
Tempo 30 Zone übersichtlich	Anhalten	0.8%
Tempo 30 Zone eng	konstant	85.3%
Tempo 30 Zone eng	unstetig	9.8%
Tempo 30 Zone eng	Anhalten	4.9%

3.2.3 Geschwindigkeits-Gang-Bezug

Wie in *Abb. 16* dargestellt, stellen die mit konstanter Geschwindigkeit fahrenden Fahrzeuge den deutlich grössten Anteil am Gesamtverkehr dar (75 bis 97 % des Gesamtverkehrs). Das Antriebsgeräusch bei konstanter Fahrweise wird massgeblich von der Motordrehzahl bestimmt. Die Erhebung von Geschwindigkeit und Gangwahl während der statistischen Erhebungen zum Fahrverhalten, ermöglichen die Erstellung eines Geschwindigkeits-Gang-Bezugs. Über diesen Zusammenhang kann für jede Geschwindigkeit der prozentuale Anteil von Fahrzeugen mit einem bestimmten Getriebegang bestimmt, und gewichtet in die Quellenformulierung überführt werden.

Zur Bestimmung des Geschwindigkeits-Gang-Bezuges, wurden die in *Abb. 17* kumulativ dargestellten Geschwindigkeits-Gang-Verteilungen mithilfe der "Hill-Gleichung" gefittet

$$f_{Gang}(v) = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{a_{Gang}}{v}\right)^{b_{Gang}}} \quad \text{Gl. 19.}$$

wobei v die Geschwindigkeit und a_{Gang} und b_{Gang} die getriebegangspezifischen Schätzparameter der Funktion darstellen, welche in *Tab. 16* aufgelistet sind.

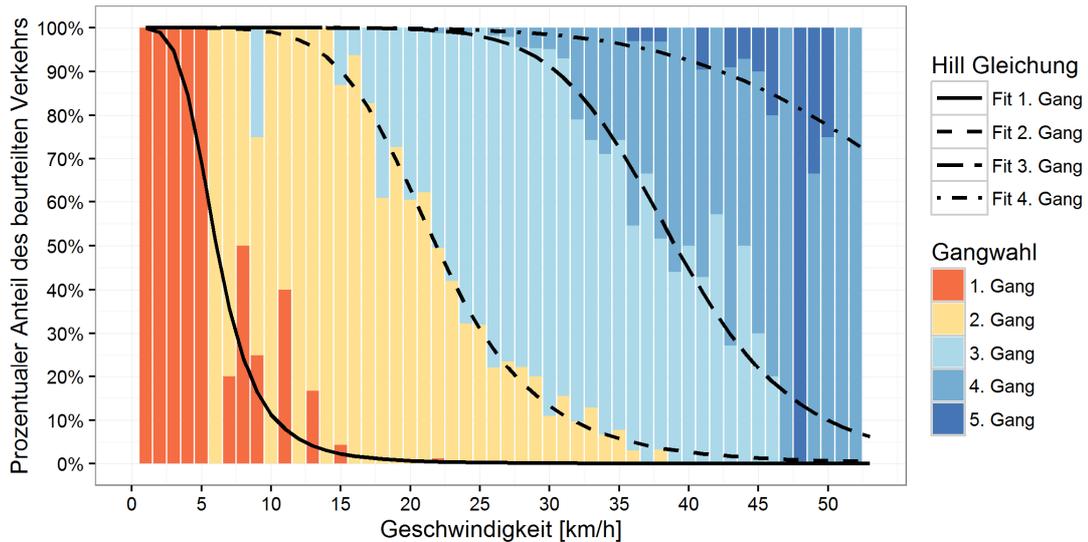


Abb. 17: Geschwindigkeits-Gang-Bezug mit konstanter Fahrgeschwindigkeit ($n=1832$).

Tab. 16: Schätzparameter und Standardfehler der Hill Gleichung bezeichneten funktionalen Geschwindigkeits-Gang-Bezug.

Getriebegang	$a_{Gang} \pm \text{Standardfehler}$	$b_{Gang} \pm \text{Standardfehler}$
Gang 1	6.067 ± 0.34	4.124 ± 0.79
Gang 2	21.848 ± 0.23	5.933 ± 0.32
Gang 3	39.041 ± 0.36	8.893 ± 0.69
Gang 4	62.123 ± 8.57	5.732 ± 2.73

Mithilfe von Abb. 17 und Tab. 16 lässt sich der prozentuale Anteil der Fahrzeuge abschätzen, die bei einer gegebenen Geschwindigkeit in einem bestimmten Getriebegang fahren. Es zeigt sich, dass Fahrten im 1. Gang in der Regel nur bei sehr tiefen Geschwindigkeiten von weniger als 15 km/h stattfinden. Laut Modellkurve wird ab ca. 6 km/h mehrheitlich im 2. Gang gefahren. Diese Grenzggeschwindigkeit dürfte allerdings in der Realität, bzw. bei Auswertung einer grösseren Stichprobe im sehr niedrigen Geschwindigkeitsbereich, etwas höher liegen (siehe Zähldaten bei 8 bzw. 12 km/h). Ab ca. 22 km/h wird mehrheitlich im 3. Gang, und ab ca. 39 km/h mehrheitlich im 4. Gang gefahren. Zusatzauswertungen haben gezeigt, dass der Geschwindigkeits-Gang-Bezug vorbeifahrender Fahrzeuge keinen ausgeprägten zonenspezifischen Charakter aufweist. Es ist zu beachten, dass es sich bei der vorliegenden Beschreibung der Gangwahl um eine akustische Klassifizierung handelt, deren Verwendbarkeit ausserhalb des akustischen Kontexts zu prüfen ist. Des Weiteren wurden Vorbeifahrten, die teilweise oder vollständig mit ausgekuppeltem Motor stattfanden (z.B. bei Bremsbereitschaft), im Allgemeinen als Ereignis im tiefen Drehzahlbereich bewertet und einem entsprechend hohem Gang zugeordnet.

3.2.4 Beschleunigungsstil

Der Beschleunigungsstil ist durch das Schaltverhalten und die Verwendung des Gaspedals während des Beschleunigungsvorgangs charakterisiert. Er wird in vorausblickend, sportlich und aggressiv unterschieden. Der Beschleunigungsstil wurde mithilfe unterschiedlicher Beschleunigungsszenarien während der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich abgebildet und bei den statistischen Erhebungen zum Fahrverhalten in den entsprechenden Kategorien erfasst. In Abb. 18 sind die Ergebnisse der statistischen Erhebungen zum Beschleunigungsstil als prozentualer Anteil der Beschleunigungsereignisse dargestellt. Die prozentualen Anteile sind in Tab. 17 aufgelistet.

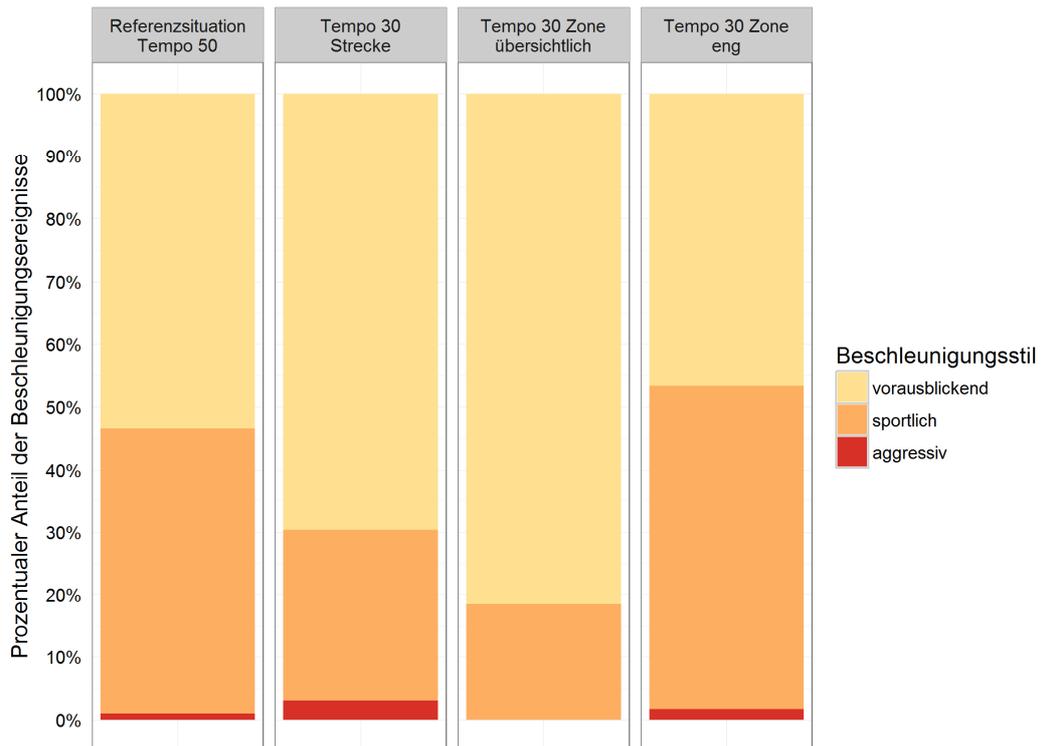


Abb. 18: Beschleunigungsstil als prozentualer Anteil der Beschleunigungsereignisse.

Im Quervergleich aller untersuchten Situationen ist der Anteil akustisch relevanter, sportlicher und aggressiver Beschleunigungsereignisse am Gesamtverkehr in der Tempo 30 Zone übersichtlich am kleinsten (ca. 20 %). In der Tempo 30 Zone eng ist dieser Anteil mit etwa 50 % der Beschleunigungsereignisse ebenso gross oder sogar leicht höher als in der Referenzsituation Tempo 50. Insgesamt zeigt sich, dass von den beschleunigenden Fahrzeugen, die Mehrheit vorausschauend beschleunigt. Ein aggressiver Beschleunigungsstil wurde nur in Einzelfällen registriert.

Tab. 17: Beschleunigungsstil als prozentualer Anteil der Beschleunigungsereignisse pro Zonentyp

Zonentyp	Beschleunigungsstil	Prozentualer Anteil
Referenzsituation Tempo 50	aggressiv	1.0%
Referenzsituation Tempo 50	sportlich	45.6%
Referenzsituation Tempo 50	vorausschauend	53.4%
Tempo 30 Strecke	aggressiv	3.0%
Tempo 30 Strecke	sportlich	27.3%
Tempo 30 Strecke	vorausschauend	69.7%
Tempo 30 Zone übersichtlich	sportlich	18.5%
Tempo 30 Zone übersichtlich	vorausschauend	81.5%
Tempo 30 Zone eng	aggressiv	1.7%
Tempo 30 Zone eng	sportlich	51.7%
Tempo 30 Zone eng	vorausschauend	46.7%

3.3 Quellenformulierung

In der Quellenformulierung wurden die Daten der statistischen Erhebungen im Feld mit den im Projekt erarbeiteten Emissionsansätzen für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich zusammengeführt. Die Ergebnisse werden im vorliegenden Abschnitt erläutert, wobei sich die ausgewiesenen akustischen Wirkungen sowie die Validierung stets auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel beziehen. Um die Ergebnisse der Quellenformulierung bezüglich der spezifischen akustischen Eigenschaften des Strassenbelages auf dem Testgelände in Vauffelin zu korrigieren, wurden die mit dem Emissionsansatz ermittelten Rollgeräusche nach der in Abschnitt 2.6.2 beschriebenen Methode auf einen neutralen Belag (KB Wert 0 dB im heutigen Emissionsmodell StL-86+) umgerechnet, welcher ungefähr einem neueren Asphaltbeton AC 11 Belag entspricht.

3.3.1 Grobvalidierung der Quellenformulierung

Zur Validierung der Quellenformulierung wurden in einem ersten Schritt, die 18 während der statistischen Erhebungen zum Fahrverhalten gemessenen Kurzzeit-Schallmesspegel mit den prognostizierten Emissionspegeln verglichen. Für die Prognose werden Emissionsberechnungen mit den vorherrschenden Belagstypen (siehe Abschnitt 2.6.2), den zonenspezifischen Geschwindigkeitsverteilungen, dem statistisch erfassten Fahrverhalten, dem während der statistischen Erhebungen gezählten und nach Tagesperiode gewichteten Verkehr (8h Nacht, 12h Randzeit, 4h Spitzenstunden) sowie dem erhobenen LKW-Anteil durchgeführt. Die zonenspezifischen Geschwindigkeitsverteilungen stammen aus den Ergebnissen der statistischen Erhebungen und werden mit der gemessenen mittleren Geschwindigkeit als Scheitelpunkt berücksichtigt (siehe Abschnitt 3.2.1 Geschwindigkeitsverteilung). Die zonenspezifische Fahrweise sowie der Beschleunigungsstil werden ebenfalls entsprechend der Ergebnisse der statistischen Erhebungen berücksichtigt (siehe Abschnitte 3.2.2 und 3.2.4). Die gemessenen Kurzzeit-Schallmesspegel werden für den Vergleich mit den Prognose-Schallpegeln entsprechend ihrer Tagesperiode (8h Nacht, 12h Randzeit, 4h Spitzenstunden) zu einem gewichteten Mittelwert zusammengefasst. Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen prognostizierten und gemessenen energieäquivalenten Dauerschallpegeln sind in Tab. 18 zusammengefasst.

Tab. 18: Prognostizierte und gemessene energieäquivalente Dauerschallpegel in dB in 7.5 m Abstand zur Fahrbahnmitte

Zonentyp	Belagstyp	Fz/h ¹	mittlere Geschw. [km/h]	LKW-Anteil [%]	Leq [dB(A)]		Δ
					Prognose ²	Gemessen ³	
Referenzsituation Tempo 50	SMA 11	625	39.7	2.1	66.2	66.1	0.1
Tempo 30 Zone eng	AC 8	83	23.6	1.5	53.5	56.6	-3.1
Tempo 30 Strecke	AC 16	424	31.7	1.2	62.7	61.9	0.8
Tempo 30 Zone übersichtlich (Bullingerstrasse)	SMA 11	511	29.4	2.3	63.1	63.6	-0.5
Tempo 30 Zone übersichtlich (Köniz)	ACMR 8 dicht ⁴	805	29.4	4.3	65.2	66.7	-1.5

¹ nach Tageszeit gewichteter Mittelwert aus drei Messperioden (8h Nacht, 12h Randzeit, 4h Spitzenstunden) bzw. bei der Tempo 30 Zone eng aus sechs Messperioden (je zweimal Nacht, Randzeit und Spitzenstunden)

² ohne Berücksichtigung von Reflexionen.

³ nach Tageszeit gewichteter Mittelwert aus drei Messperioden (8h Nacht, 12h Randzeit, 4h Spitzenstunden) in ca. 7.5 m Entfernung zur Fahrbahnmitte bzw. bei der Tempo 30 Zone eng aus sechs Messperioden (je zweimal Nacht, Randzeit und Spitzenstunden)

⁴ ACMR 8 Belag der 1. Generation, welcher bezüglich der akustischen Eigenschaften einem SMA 8 Belag ähnelt (im Modell entsprechend berücksichtigt).

Insgesamt zeigen sich gute Übereinstimmungen zwischen den Prognosen und den akustischen Emissionsmessungen. Für die Referenzsituation sowie die Tempo 30 Zone übersichtlich (Bullingerstrasse) können sehr gute Übereinstimmungen mit Abweichungen von kleiner ± 0.5 dB zu den gemessenen Emissionspegeln verzeichnet werden. Für die Tempo 30 Strecke zeigt sich eine nur geringfügig höhere Abweichung von 0.8 dB. In der Tempo 30 Zone übersichtlich (Köniz) ergibt sich eine Abweichung von -1.5 dB, die teilweise mit den am Messstandort auftretenden Reflexionen erklärt werden kann. In der Tempo 30 Zone eng mit geringerer Verkehrsmenge muss davon ausgegangen werden,

dass Störgeräusche bzw. ein erhöhter Umgebungslärm die akustischen Messresultate des insgesamt leisesten und daher für Störgeräusch disponiertesten Standorts, beeinflusst haben (z.B. Baustellenlärm, Fluglärm, Sirenen etc.).

Limitierungen des direkten Vergleichs:

- Es ist zu beachten, dass die Kurzzeit-Lärmmessungen während den statistischen Erhebungen nicht überwacht, d.h. auf Störgeräusche kontrolliert, werden konnten. Da die Messungen in städtischer Umgebung (in der Stadt Zürich und in Köniz (BE)) durchgeführt wurden, ist mit deshalb situationsabhängig mit tendenziell höheren Messpegeln zu rechnen.
- Ein Validierungspunkt beruht auf drei Kurzzeit-Schallmesspegeln, die jeweils während einer Dauer von 30 Minuten erhoben wurden. Aus Erfahrungen im Lärmvollzug ist bekannt, dass es während Kurzzeit-Lärmmessungen in Bezug auf den am Standort vorherrschenden mittleren Fahrzeugpark zu leichten Abweichungen kommen kann, die sich ebenfalls in den Messpegeln niederschlagen können.
- Strassenbeläge des gleichen Typs können aufgrund des verwendeten Materials, Rezeptur und Bauweise, sowie durch Alterungsprozesse sehr unterschiedliche akustische Eigenschaften aufweisen. Die spezifischen akustischen Eigenschaften der Strassenbeläge bei den Validierungsstandorten wurden nicht messtechnisch bestimmt und konnten deshalb nur näherungsweise über die Mittelwerte des Belagstyps in den Prognosen berücksichtigt werden.
- Die Kurzzeit-Lärmmessungen wurden zum Teil in bebauten Strassenzügen durchgeführt (v.a. in der Referenzsituation, in der Zone eng, sowie der Tempo 30 Zone übersichtlich in Köniz, siehe auch Situationsübersichten im Anhang II.1). Die daraus resultierende Beeinflussung der Messresultate durch Reflexionen wurde nicht bestimmt und nicht in der Modellierung berücksichtigt. Entsprechend ist in diesen Situationen mit einer tendenziellen Unterschätzung der Lärmpegel durch das Modell zu rechnen.

3.3.2 Vergleich mit dem Schweizer Emissionsmodell StL86+ bei Tempo 50

Lärmemissionsberechnungen mit dem Schweizer Emissionsmodell StL86+ gehören im Geschwindigkeitsbereich um 50 km/h in der Schweiz zur gängigen Praxis. Da die in dieser Studie erarbeitete Quellenformulierung als Ergänzung des Emissionsmodells im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zur Anwendung gebracht werden soll, wird nachfolgend ein Vergleich der beiden Modelle bei 50 km/h vorgenommen. Grundlage für diesen Vergleich bilden die modellierten Emissionswerte für die Referenzsituation Tempo 50 aus der Quellenformulierung sowie das Schweizer Emissionsmodell StL-86+. Für beide Modellansätze wurden die energieäquivalenten Dauerschallpegel für jeweils ein Fahrzeug, bei 6% LKW-Anteil und einem akustisch neutralen Belag in 1m Distanz zur Quelle berechnet (siehe Tab. 19). Die drei Tempo 30 Zonen aus der Quellenformulierung werden aufgrund der abweichenden Fahrweisen und Geschwindigkeitsverteilungen nicht für den Vergleich herbeigezogen.

Tab. 19: Gegenüberstellung des energieäquivalenten Dauerschallpegels prognostiziert über die Quellenformulierung und das Schweizer Emissionsmodell StL86+

Emissionsmodell (mit Parametern)	Leq [dB(A)]
StL-86+ (v = 50 km/h; N1-Anteil = 0.94; N2-Anteil = 0.06; akustisch neutraler Belag)	48.6
Quellenformulierung (statistische Verteilungen Fahrverhalten aus "Referenzsituation Tempo 50"; Geschwindigkeitsverteilung "Referenzsituation Tempo 50" mit $v_{0.50} = 50$ km/h; PW-Anteil = 0.94; LKW-Anteil = 0.06; akustisch neutraler Belag)	48.3

Die Gegenüberstellung zeigt für einen akustisch neutralen Belag bei 50 km/h mit einem N2-Anteil von 6% eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem Emissionsmodell StL86+ und der Quellenformulierung.

Bei diesem Vergleich gilt es zu berücksichtigen, dass, wie Erfahrungen aus statistischen Vorbeifahrtmessungen zeigen, das Emissionsmodell StL86+ im Bereich von 50 km/h für die Fahrzeugkategorien separat betrachtet einen systematischen Fehler beinhaltet (tendenzielle Unterschätzung der Emissionen von Personenkraftwagen, tendenzielle Überschätzung der Emissionen von LKW). Vergleiche zwischen Lärmmessungen und Modellberechnungen im Mischverkehr bei Lärmsanierungsprojekten zeigen jedoch für das StL-86+ Modell im Bereich von 50 km/h mehrheitlich eine gute Übereinstimmung.

3.3.3 Einfluss Geschwindigkeiten

Die akustische Wirkung einer Temporeduktion kann in Abhängigkeit von der effektiv gefahrenen Geschwindigkeit in der Zielsituation unterschiedlich ausfallen. In Abb. 19 ist dieser Sachverhalt mithilfe der prognostizierten Wirkung im Vergleich zu einer Situation bei $v_{Q50} = 50$ km/h, bei einem LKW-Anteil von 2, 4 und 6% und einem neutralen Belag (KB Wert 0 dB, entspricht ungefähr einem neueren AC 11 Belag) für die drei untersuchten Tempo 30 Zonentypen verdeutlicht.

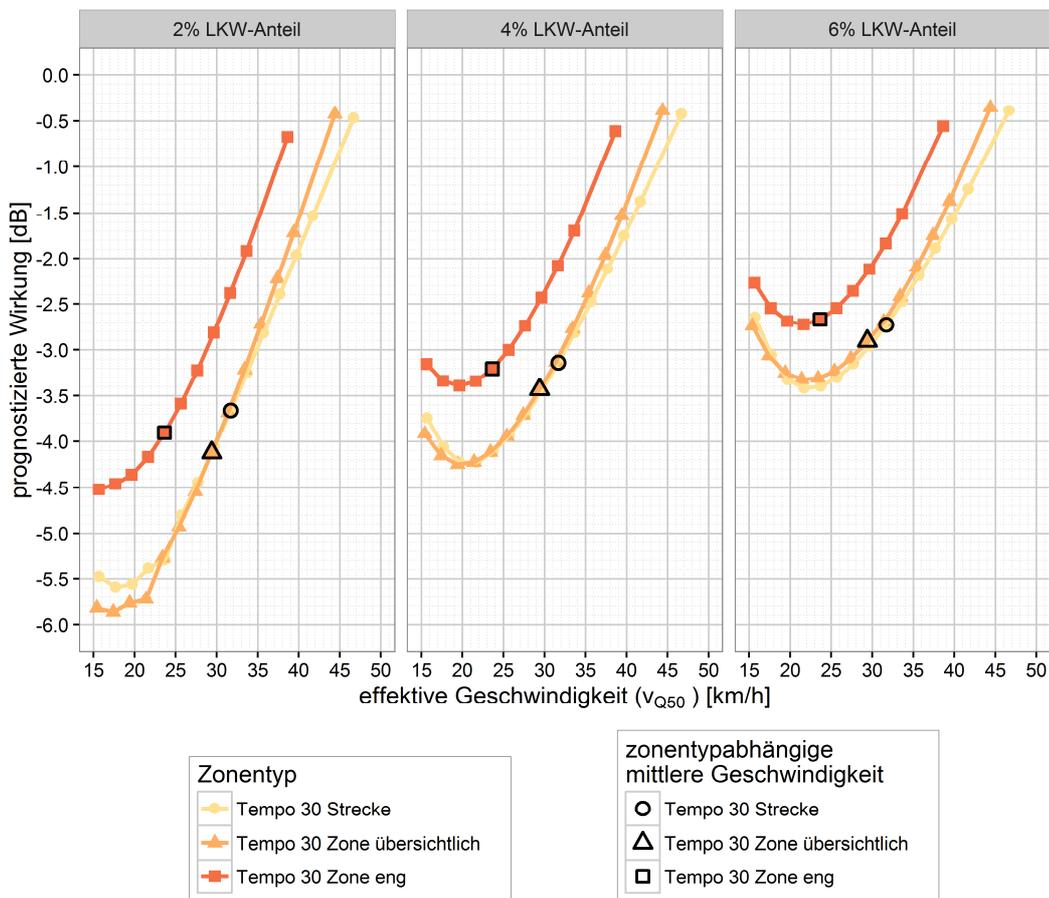


Abb. 19: Prognostizierte Wirkung auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel in dB bei Temporeduktion ausgehend von einer Ausgangssituation mit $v_{Q50}=50$ km/h in Abhängigkeit der effektiv gefahrenen mittleren Geschwindigkeit (v_{Q50}) bei 2, 4 und 6% LKW-Anteilen auf einem akustisch neutralen Belag. Die effektive Geschwindigkeit (x-Achse) bezieht sich auf den Scheitelpunkt der zonentypabhängigen Geschwindigkeitsverteilungen der drei Tempo 30 Situationen. Die prognostizierte Wirkung wird ausgehend von der Geschwindigkeitsverteilungen der Ausgangssituation bei $v_{Q50}=50$ km/h angegeben. Die Wirkung bei der zonentypabhängigen mittleren Geschwindigkeit ist mit einer schwarzen Umrandung markiert. Die Wirkung wurde ausgehend von der jeweiligen zonentypabhängigen mittleren Geschwindigkeit in 2-km/h-Intervallen berechnet (Symbole) und zwischen den berechneten Werten linear interpoliert (Linien).

Der Wirkungsverlauf ist bei allen drei Situationen ähnlich. Mit zunehmender effektiver Geschwindigkeit nimmt die prognostizierte Wirkung der Temporeduktion ab. Weiterhin weist die prognostizierte Wirkung in Abhängigkeit des Zonentyps einen Bereich auf, in welchem die Maximalwirkung erreicht wird (bei 20 bis 25 km/h). Ein wesentlicher Teil zu diesem Phänomen könnte beitragen, dass ab diesen tieferen Geschwindigkeiten statistisch vermehrt in kleineren Gängen, d.h. hochtouriger gefahren wird (vgl. Abb. 13). Zudem dauert bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten die Durchfahrt länger, so dass mehr Energie beim Empfänger eintrifft.

Bei einer mittleren Geschwindigkeit (v_{Q50}) von 30 km/h zeigen die Tempo 30 Strecke und die Tempo 30 Zone übersichtlich mit einer potentiellen Wirkung von -4.1 dB (LKW-Anteil 2%), -3.4 dB (LKW-Anteil 4%) und -2.9 dB (LKW-Anteil 6%) im Quervergleich die grösste akustische Wirkung gegenüber einer Ausgangssituation bei Tempo 50. Für die Tempo 30 Zone eng sind bei derselben Geschwindigkeit aufgrund des Fahrverhaltens um jeweils ca. 1 bis 1.5 dB geringere Wirkungen zu erwarten. Wird die zonenspezifische mittlere effektiv gefahrene Geschwindigkeit in Betracht gezogen, sind folgende Wirkungen zu erwarten (siehe Tab. 20).

Tab. 20: Prognostizierte Wirkung auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel in dB bei Temporeduktion ausgehend von einer Ausgangssituation mit $v_{Q50}=50$ km/h in Abhängigkeit der effektiv gefahrenen mittleren Geschwindigkeit (v_{Q50}) bei 2,4 und 6% LKW-Anteil auf einem akustisch neutralen Belag.

Zonentyp	Prognostizierte Wirkung [dB]								
	bei zonentypabhängiger mittlerer Geschwindigkeit			bei zonentypabhängiger mittlerer Geschwindigkeit + 6 km/h			Maximalwirkung		
LKW-Anteil	2%	4%	6%	2%	4%	6%	2%	4%	6%
Tempo 30 Strecke	-3.7	-3.1	-2.7	-2.4	-2.1	-1.9	-5.6	-4.2	-3.4
Tempo 30 Zone übersichtlich	-4.1	-3.4	-2.9	-2.7	-2.4	-2.1	-5.9	-4.3	-3.3
Tempo 30 Zone eng	-3.9	-3.2	-2.7	-2.8	-2.4	-2.1	-4.5	-3.4	-2.7

Die in **Tab. 20** ermittelten Werte stimmen mit bisherigen Erhebungen zur maximalen Wirkung von Tempo 30 überein [8], [9].

Hinweis: Die im vorliegenden Abschnitt ausgewiesenen Werte gelten für die spezifischen LKW-Anteile auf einem akustisch neutralen Strassenbelag (z.B. neuerer AC 11 Belag). Bei abweichenden LKW-Anteilen oder Strassenbelägen kann der Einfluss der effektiven Geschwindigkeit massgeblich anders ausfallen.

3.3.4 Einfluss LKW- Anteile

Im Vorliegenden Projekt wurden die Emissionen von Lastwagen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich nicht spezifisch untersucht und lediglich mittels des europäischen Emissionsmodells CNOSSOS in der Quellenformulierung berücksichtigt (detaillierte Erläuterung siehe Kapitel 2). Die in diesem Abschnitt präsentierten Werte können deshalb mit Unsicherheiten behaftet sein. Da für andere laute Fahrzeuge (Kategorie N2 nach Lärmschutzverordnung), wie z.B. Traktoren Motorräder etc., kein separater Emissionsansatz vorliegt, wird empfohlen solche Fahrzeuge bei entsprechend lauter Lärmsignatur der Fahrzeugkategorie Lastwagen zuzurechnen. In *Abb. 20* ist die potentielle Wirkung für vier charakteristische Strassentypen mit einem typischen LKW-Anteil zwischen 0 und 15% und einem akustisch neutralen Strassenbelag graphisch dargestellt.

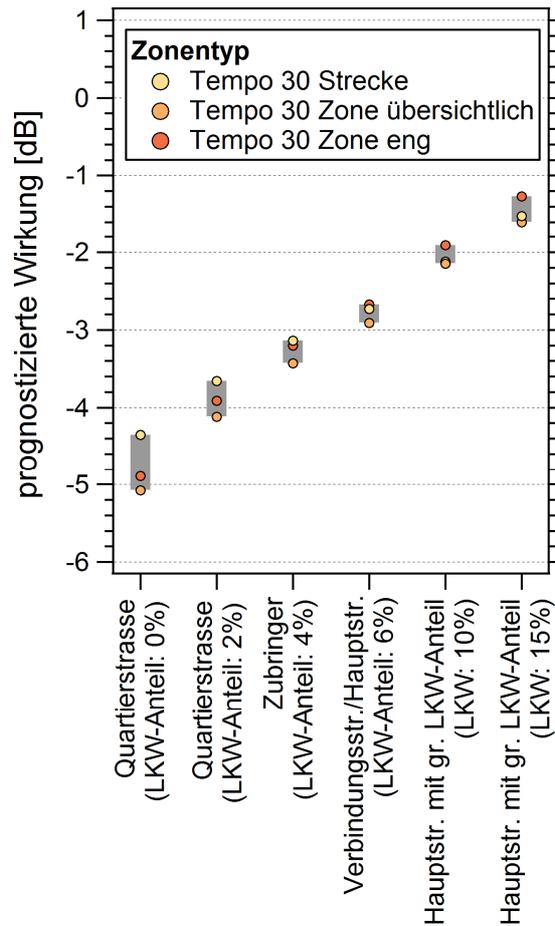


Abb. 20: Prognostizierte Wirkung auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel in dB bei unterschiedlichen Strassentypen bzw. LKW-Anteilen von 0 bis 15 %, ausgehend von einer Ausgangssituation mit $v_{Q50}=50$ km/h mit einem akustisch neutralen Belag. Die prognostizierte Wirkung bezieht sich auf die zonentypabhängige mittlere Geschwindigkeit der jeweiligen Tempo 30 Situationen.

Wie *Abb. 20* zeigt, ist je nach Strassentyp und LKW-Anteil von wesentlichen Unterschieden der akustischen Wirkung von Temporeduktionen auszugehen. Die akustische Wirkung einer Temporeduktion nimmt mit steigendem LKW-Anteil stetig ab. Auf Quartierstrassen mit einem geschätzten LKW-Anteil von 2% liegt die zu erwartende Wirkung je nach Tempo 30 Zonentyp bei -4.1 bis -3.7 dB. Bei Hauptstrassen mit grossem LKW-Anteil von 10 bis 15% nimmt die zu erwartende Wirkung je nach Tempo 30 Situation bis auf -2.2 bis -1.3 dB ab. Ab einem LKW-Anteil von 20% sind Temporeduktionen akustisch kaum mehr wirksam (Wirkung Temporeduktion <1 dB).

Tab. 21: Prognostizierte Wirkung auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel in dB bei unterschiedlichen Strassentypen bzw. LKW-Anteilen von 0 bis 15 %, ausgehend von einer Ausgangssituation mit $v_{Q50}=50$ km/h mit einem akustisch neutralen Belag. Die prognostizierte Wirkung bezieht sich auf die zonentypabhängige mittlere Geschwindigkeit der jeweiligen Tempo 30 Situationen.

Zonentyp	Prognostizierte Wirkung [dB]						
	LKW-Anteil	0 %	2 %	4 %	6 %	10 %	15 %
Tempo 30 Strecke		-4.4	-3.7	-3.1	-2.7	-2.1	-1.6
Tempo 30 Zone übersichtlich		-5.1	-4.1	-3.4	-2.9	-2.2	-1.5
Tempo 30 Zone eng		-4.9	-3.9	-3.2	-2.7	-1.9	-1.3

Hinweis: Die im vorliegenden Abschnitt ausgewiesenen Werte gelten bei der zonentypspezifischen mittleren Geschwindigkeit auf einem akustisch neutralen Strassenbelag (z.B. neuerer AC 11 Belag). Bei abweichenden effektiven Geschwindigkeiten oder abweichenden Strassenbelägen kann der Einfluss des LKW-Anteils massgeblich anders ausfallen kann.

3.3.5 Einfluss Strassenbeläge

Wird neben der Realisierung einer Temporeduktion ebenfalls der Belag ersetzt, kann das deren akustische Wirkung zusätzlich beeinflussen. Zur Abschätzung der Wirksamkeit von lärmarmen Strassenbelägen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich sind in *Abb. 21* die zusätzliche Wirkung des Belags ausgehend von der Situation mit einem akustisch neutralen Strassenbelag und mit 2, 4 und 6% LKW-Anteil für vier ausgewählte Belagsklassen visualisiert. Die Belagsklassen sind als Belagskennwerte in Abweichung zum Schweizer Emissionsmodell StL86+ ausgewiesen und beziehen sich jeweils auf den Mischverkehrswert bei einem Schwerververkehrsanteil (N2) von 8%.

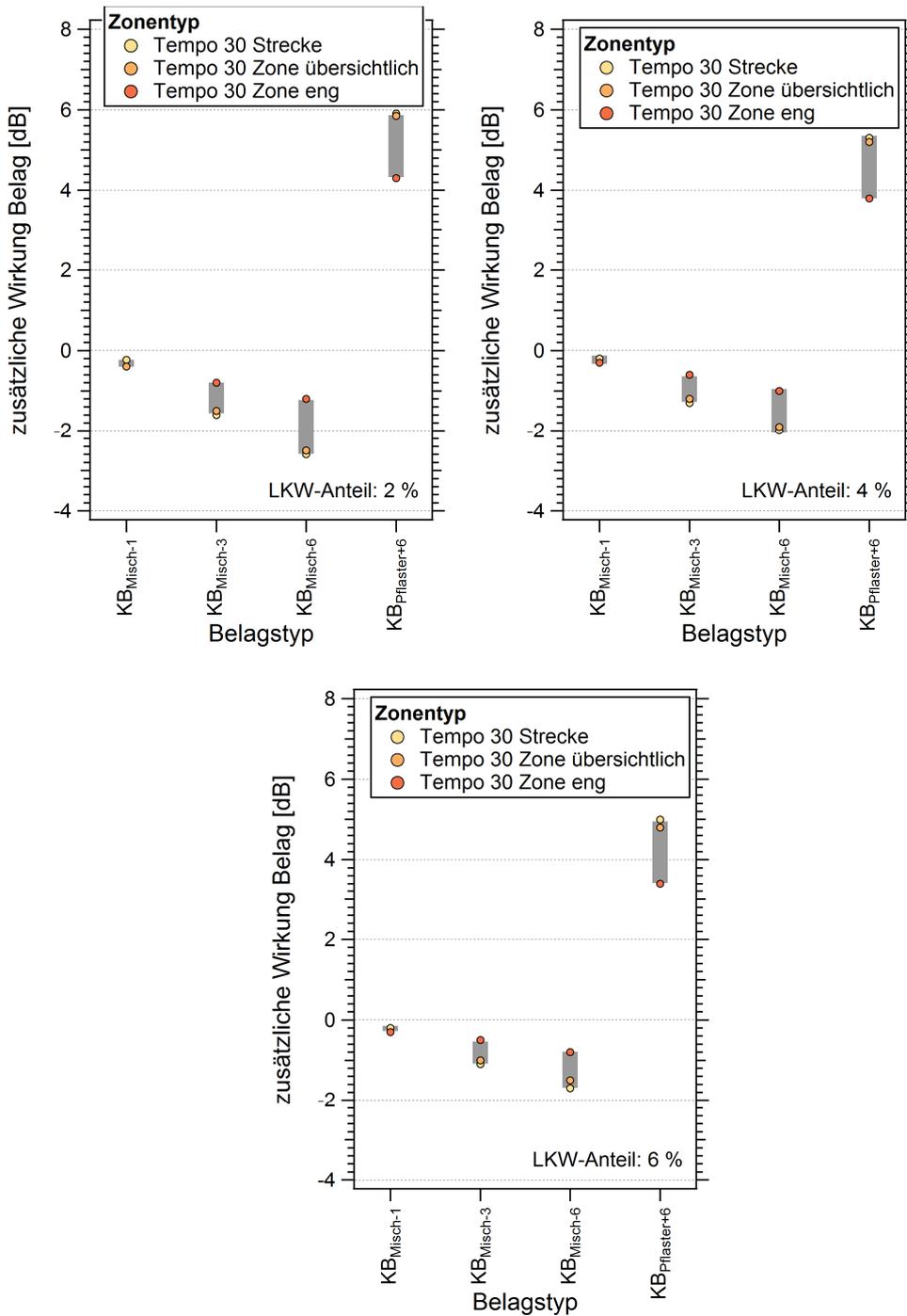


Abb. 21: Zusätzlich zu erwartende lärmreduzierende Wirkung bei verschiedenen Zielbelägen mit unterschiedlichen Belagskennwerten (KB) und einem LKW-Anteil von 2, 4 und 6%. Die Ausgangssituation bezieht sich auf die jeweilige Tempo 30 Situation mit der zonentypabhängigen mittleren Geschwindigkeit und mit akustisch neutralem Belag.

Abb. 21 zeigt, dass durch den Einsatz von lärmarmen Belägen in Tempo 30 Situationen die lärmreduzierende Wirkung von Temporeduktionen gesteigert werden kann. Allerdings fällt die akustische Wirkung eines lärmarmen Strassenbelages im Ausmass deutlich geringer aus als dies bei Tempo 50 der Fall ist (wo eine den Belagskennwerten (KB) entsprechende Wirkung zu erwarten ist). So wird bei 2% LKW-Anteil für einen Belag mit KB -1 lediglich eine zusätzliche Wirkung von ungefähr -0.3 dB, für einen Belag mit KB -3 eine zusätzliche Wirkung von -0.8 bis -1.6 dB und für einen Belag mit KB -6 eine zusätzliche Wirkung von -1.2 bis -2.6 dB erzielt. Andererseits fällt in Tempo 30 Situationen auch die Wirkung einer lauten Strassenoberfläche geringer aus: Eine Pflasterung mit KB +6 wirkt sich in Tempo 30 Situationen bei 2%-LKW Anteil mit einem Pegelanstieg von maximal 4.3 bis 5.9 dB aus.

In Tab. 22 bis Tab. 24 ist die akustische Wirkung der Strassenbeläge bei Tempo 30 als Prozent im Vergleich zur Belagswirkung bei Tempo 50 ausgewiesen. Die Werte beziehen sich auf einen LKW-Anteil von 2, 4 und 6%.

Tab. 22: *Prozentualer Anteil der Belagswirkung bei signalisierter Geschwindigkeit 30 km/h gegenüber der Belagswirkung bei 50 km/h und 2% LKW-Anteil*

Zonentyp	KB _{misch-1}	KB _{misch-3}	KB _{misch-6}	Pflaster _{Misch+6}
Tempo 30 Strecke	41%	52%	43%	98%
Tempo 30 Zone übersichtlich	40%	51%	42%	98%
Tempo 30 Zone eng	23%	27%	21%	72%

Tab. 23: *Prozentualer Anteil der Belagswirkung bei signalisierter Geschwindigkeit 30 km/h gegenüber der Belagswirkung bei 50 km/h und 4% LKW-Anteil*

Zonentyp	KB _{misch-1}	KB _{misch-3}	KB _{misch-6}	Pflaster _{Misch+6}
Tempo 30 Strecke	34%	43%	34%	89%
Tempo 30 Zone übersichtlich	32%	40%	32%	87%
Tempo 30 Zone eng	18%	21%	16%	63%

Tab. 24: *Prozentualer Anteil der Belagswirkung bei signalisierter Geschwindigkeit 30 km/h gegenüber der Belagswirkung bei 50 km/h und 6% LKW-Anteil*

Zonentyp	KB _{misch-1}	KB _{misch-3}	KB _{misch-6}	Pflaster _{Misch+6}
Tempo 30 Strecke	29%	37%	28%	83%
Tempo 30 Zone übersichtlich	27%	33%	25%	79%
Tempo 30 Zone eng	15%	18%	13%	57%

In Tab. 25 ist dieselbe prozentuale Wirkung bei einem LKW-Anteil von 0% ausgewiesen, was dem maximalen Wirkungspotential von lärmarmen Strassenbelägen bei Tempo 30 entsprechen dürfte. Entsprechend ist bei kleineren LKW-Anteilen eine deutlich erhöhte Wirksamkeit der Strassenbeläge zu erwarten.

Tab. 25: *Prozentualer Anteil der Belagswirkung bei signalisierter Geschwindigkeit 30 km/h gegenüber der Belagswirkung bei 50 km/h und 0% LKW-Anteil*

Zonentyp	KB _{misch-1}	KB _{misch-3}	KB _{misch-6}	Pflaster _{Misch+6}
Tempo 30 Strecke	52%	68%	60%	109%*
Tempo 30 Zone übersichtlich	55%	72%	65%	112%*
Tempo 30 Zone eng	30%	36%	29%	85%

* Werte über 100% sind hier möglich, da der Belagskennwert für den Mischverkehr aus den Rollgeräuschemissionen für PW und LKW zusammensetzt ist. Die Pflasterung wirkt sich akustisch stärker auf die Rollgeräusche für PW als für LKW aus.

Hinweis: Die im vorliegenden Abschnitt ausgewiesenen Werte gelten bei der zonentyp-spezifischen mittleren Geschwindigkeit und den angegebenen LKW-Anteilen. Bei abwei-

chenden effektiven mittleren Geschwindigkeiten und abweichenden LKW-Anteilen oder Strassenbelägen kann der Einfluss der Strassenbeläge massgeblich anders ausfallen.

3.4 Limitierungen

Im Rahmen des vorliegenden Projekts konnte ein aktueller Roll- und Antriebsgeräuschdatensatz bei niedrigen Geschwindigkeiten von Personenwagen gewonnen werden. Die Grobvalidierung deutet darauf hin, dass sich mit einer Auswahl von 21 repräsentativen Personenwagen und einem Lieferwagen (<3.5t), die Geräuschemissionen des gesamtschweizerischen Fahrzeugmix dieser Fahrzeugkategorie verlässlich abbilden lassen. Darüber hinaus wurden Daten erhoben, die es erlauben, die Lärmauswirkungen des besonderen Fahrverhaltens im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zu berücksichtigen. Dennoch bestehen bei der Verwendung des entwickelten Quellenansatzes Limitierungen, die nachfolgend erläutert werden:

- **Unsicherheiten bei höheren LKW-Anteilen.** Zu den Emissionen von Lastwagen konnten im Rahmen des vorliegenden Projektes keine eigenen Daten erhoben werden. Es wird daher der Emissionsansatz des Europäischen Strassenlärmemissionsmodells CNOSSOS beigezogen, welches auf Datenerhebungen aus den 2000ern basiert. Die Auswertungen zeigen, dass der im Innerortsbereich verkehrende schweizerische Fahrzeugpark an schweren Motorfahrzeugen gegenüber dem EU-Raum bei 50 km/h um 0.6 dB höhere Gesamtgeräusch-Werte aufweist. Diese Differenz ist primär wohl auf die abweichende statistische Verteilung der innerorts verkehrenden LKW im Vergleich zur CNOSSOS Kategorie *heavy vehicles* zurückzuführen. Der Emissionsansatz von CNOSSOS wurde entsprechend kalibriert. Da eine analoge Überprüfung bei tieferen Geschwindigkeiten aufgrund mangelnder Daten nicht möglich war, konnte der Abgleich für den tieferen Geschwindigkeitsbereich nicht spezifisch vorgenommen werden. Entsprechend ist bei der Abschätzung der Lärmwirkung von Temporeduktionen auf Strassen mit hohen LKW-Anteilen (z.B. Einfallsstrasse) Vorsicht geboten. Dies insbesondere, weil die Wirkung von Temporeduktionen für die Fahrzeugkategorie LKW nicht separat validiert werden konnte.
- **Unsicherheiten bei der Modellierung von lauten Fahrzeugen (N2).** Da für andere laute Fahrzeuge der Kategorie N2 nach Lärmschutzverordnung, wie z.B. Traktoren, Motorräder, etc. kein separater Emissionsansatz vorliegt, wird empfohlen solche Fahrzeuge bei entsprechend lauter Lärmsignatur der Fahrzeugkategorie Lastwagen zuzurechnen. Es ist zwar zu erwarten, dass sich die Gewichtung der Hauptlärmquellen bzw. des Antriebs- und Rollgeräuschs ähnlich wie bei der Fahrzeugkategorie LKW verhalten dürfte, dennoch können bei einem hohen Anteil solcher Fahrzeuge Unsicherheiten bei der Abschätzung der Lärmwirkung entstehen.
- **Unsicherheiten bezüglich des Massnahmen-Wirkungsbezuges.** Die im vorliegenden Bericht präsentierte Quellenformulierung für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich basiert auf statistischen Erhebungen des Fahrverhaltens an fünf Tempo 30-Situationen und einer Referenzstrecke bei signalisierter Geschwindigkeit 50 km/h im innerstädtischen Raum. Es ist davon auszugehen, dass das Fahrverhalten in zu beurteilenden Tempo 30 Situationen in Abhängigkeit der spezifischen baulichen und gestalterischen Massnahmen vom Fahrverhalten der hier untersuchten Zonentypen abweichen kann. Obwohl solche Abweichungen mit einer Anpassung der mittleren Geschwindigkeit (bzw. mit einer entsprechenden Verschiebung der Geschwindigkeitsverteilung) in der Quellenformulierung berücksichtigt werden können, ist zu erwarten, dass insbesondere in der Nähe von baulichen oder gestalterischen Massnahmen, das spezifische Fahrverhalten und somit auch die Lärmwirkung von den im Bericht präsentierten Werten abweichen kann. Wo Massnahmen eingesetzt werden, die stark von den hier beschriebenen Massnahmen abweichen, ist deren Wirkung in Bezug auf das Fahrverhalten vorgängig zu prüfen und gegebenenfalls in der Wirkungsabschätzung mit zu berücksichtigen.
- **Unsicherheiten bezüglich Lärmwirkung in der Steigung.** Die in diesem Bericht ausgewiesenen Lärmwirkungen beziehen sich auf ebene Strecken bzw. Strassen mit horizontalem Streckenverlauf. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass

die Aussagen bei geringeren LKW-Anteilen auch für Steigungen bis zu 6% gültig sind. Aufgrund immer leistungsfähigeren Motoren und dem Trend hin zu stärker motorisierten Fahrzeugen ist erst ab einer Steigung von ca. 6% mit allmählich angepasster Fahrweise und Gangwahl zu rechnen. Im Zweifelsfall sollte die Möglichkeit bezüglich dem Auftreten abweichender Fahrweise infolge Steigung vor Ort abgeklärt werden.

- **Unsicherheiten bei abweichenden Strassenbelägen.** Die in den Abschnitten 3.3.3 und 3.3.4 ausgewiesenen Lärmwirkungen für Tempo 30 gelten für einen akustisch neutralen Strassenbelag (z.B. neuerer AC 11 Belag). Bei Strassenbelägen mit abweichenden akustischen Eigenschaften kann die Lärmwirkung massgeblich anders ausfallen.
- **Validierung nicht abschliessend vorgenommen.** Eine umfassende Validierung der Quellenformulierung war im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes nicht möglich. Die Grobvalidierung zeigt jedoch, dass mit der neuen Quellenformulierung für den tiefen Geschwindigkeitsbereich, die Lärmwirkung trotz den oben ausgeführten Limitierungen mit grösserer Zuverlässigkeit abgeschätzt werden kann als mit den bisher vorhandenen Emissionsansätzen. Es ist wünschenswert, die Gültigkeit der Quellenformulierung bei zukünftiger Verfügbarkeit neuer Messdaten mit gleichzeitigen Erhebungen zum Fahrverhalten für unterschiedliche Tempo 30 Situationen und Massnahmen weiter zu prüfen.

4 Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde durch eine Neubestimmung des Emissionsansatzes für einen aktuellen Fahrzeugpark unter Einbezug des spezifischen Fahrverhaltens, die Lärmwirkung von Tempo 30 ermittelt. Folgende zentrale Ergebnisse resultierten:

- **Wesentliche Lärmreduktionen durch Tempo 30 möglich.** Die Forschungsarbeit zeigt, dass Temporeduktionen in vielen Fällen eine zielführende Massnahme zur Reduktion der Lärmemissionen an der Quelle darstellen. Bei Tempo 30 anstelle von 50 km/h lassen sich je nach effektiv gefahrener Geschwindigkeit, Lastwagenanteil und Strassenbelag Reduktionen der Lärmpegel (Leq) von zwischen ca. 2 dB und 4.5 dB erzielen. Insbesondere bei Lärmproblemen in der Nachtperiode, wenn die Lastwagenanteile oft tief liegen, sind durch die Einführung von Tempo 30 wesentliche Pegelreduktionen zu erwarten. Auch tagsüber sind in der überwiegenden Mehrheit der Situationen wahrnehmbare Pegelreduktionen zu erwarten.
- **Verbesserte Zuverlässigkeit Abschätzung Lärmwirkung.** Mit der im vorliegenden Projekt spezifisch für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich entwickelten Quellenformulierung kann die Lärmwirkung von Tempo 30 aufgrund der Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugparks, des Fahrverhaltens und des Zonentyps mit grösserer Zuverlässigkeit abgeschätzt werden als dies mit bisher zur Verfügung stehenden Modellen möglich war.
- **Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugparks von zentraler Bedeutung.** Aufgrund rezenter Entwicklungen in der Fahrzeugindustrie zu leiseren Motoren und schwereren Fahrzeugen kommt es zu deutlichen Verlagerungen der Hauptlärmquellen hin zu leiseren Antriebsgeräuschen und lauterem Rollgeräuschen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass sich dieses Phänomen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich besonders stark auswirkt. Der Übergangsbereich, bei dem das Rollgeräusch das Antriebsgeräusch überwiegt, hat sich zu tieferen Geschwindigkeiten hin verschoben. Dies bedeutet, dass das Gesamtgeräusch v.a. bei tiefen Geschwindigkeiten von der Entlastung des Antriebsgeräuschs profitieren kann. Für die zuverlässige Ermittlung der Lärmauswirkungen von Tempo 30 ist die Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugparks deshalb von zentraler Bedeutung.
- **Berücksichtigung des Fahrverhaltens essentiell.** In Tempo 30 Situationen kann das Fahrverhalten deutlich von demjenigen in Tempo 50 Situationen abweichen, was entsprechend wesentliche Auswirkungen auf die Schallemissionen hat.
- **Art der Massnahme bzw. Zonentyp entscheidend.** Die Lärmwirkung von Tempo 30 variiert auch in Abhängigkeit der Umsetzung der Massnahme. Entsprechend fällt die Lärmwirkung in Abhängigkeit des Zonentyps (Zone eng mit vielen Massnahmen, Zone übersichtlich mit wenig Massnahmen und Strecke ohne begleitende Massnahmen) unterschiedlich aus. Die Studie zeigt, dass auch ohne grosse bauliche Massnahmen erhebliche Geschwindigkeitsreduktionen bei stetigem Verkehrsfluss herbeigeführt werden können und somit die Lärmemissionen deutlich gesenkt werden. Bei engen Tempo 30 Zonen, wie sie häufig auf kleineren Quartierstrassen zu finden sind, wird die Lärmwirkung durch eine weitere Senkung der Geschwindigkeit erreicht, welche teilweise durch das unstetigere Fahrverhalten verringert wird. Diese Tempo 30 Zonen wurden und werden auch heute v.a. aus Gründen der Verkehrssicherheit und des Zugewinns an Lebensqualität für die ansässige Bevölkerung eingeführt und können neuerlich zusätzlich auch mit dem Lärmschutzgedanken begründet werden.

Ursachen für starke Streuung Lärmwirkung identifiziert und quantifiziert. Basierend auf der Prognose der Lärmwirkung für verschiedene Tempo 30 Situationen, konnten in der vorliegenden Forschungsarbeit die Ursachen für die im Rahmen von Fallstudien beobachtete starke Streuung der Lärmwirkung identifiziert und quantifiziert werden. Die wesentlichsten Einflussfaktoren sind untenstehend beschrieben und bezüglich ihrer Praxisrelevanz näher erläutert:

Effektive Geschwindigkeit

- **Effektive Geschwindigkeitsreduktion entscheidend.** Die durch Tempo 30 effektiv erreichte Geschwindigkeitsreduktion (die Differenz zwischen den effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten in der Ausgangssituation und der Zielsituation) bildet eine wesentliche Einflussgrösse bezüglich der Lärmwirkung von Tempo 30. **Geschwindigkeitsreduktionen von 10 km/h erzielen bereits Wirkung.** Für die überwiegende Mehrheit von Situationen reicht eine effektive Geschwindigkeitsreduktion von lediglich 10 km/h aus um wesentliche Lärmreduktionen zu erzielen.
- **Langsamer ist nicht immer leiser.** Tiefere Geschwindigkeiten unterhalb ca. 25 km/h führen nicht immer zu weiteren Lärmreduktionen, insbesondere wenn die getroffenen Massnahmen zu un stetiger Fahrweise sowie zum Fahren in kleineren Gängen führen.

LKW-Anteil

- **LKW-Anteil trägt viel zur Streuung der Lärmwirkung bei.** Die vorliegende Forschungsarbeit zeigt, dass der LKW-Anteil einer Strasse eine wichtige Einflussgrösse darstellt. Die akustische Wirkung von Tempo 30 nimmt mit steigendem LKW Anteil deutlich ab. Dieses Phänomen ist auf ein dominanteres und geschwindigkeitsunabhängigeres Antriebsgeräusch bei LKW im Vergleich zu Personenwagen zurückzuführen.
- **Bei LKW-Anteilen von mehr als 15% ist Lärmwirkung gering.** Bei LKW-Anteilen von mehr als 15% ist nur noch mit einer geringen akustischen Wirksamkeit von Tempo 30 zu rechnen.
- **Unsicherheiten bei höheren LKW-Anteilen und lauten Fahrzeugen (N2).** Im vorliegenden Projekt wurden die Emissionen von Lastwagen und lauten Fahrzeugen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich nicht spezifisch untersucht und lediglich mittels eines adaptierten existierenden Modells berücksichtigt. Aufgrund dieser Lücke ist bei der Abschätzung der Lärmwirkung von Tempo 30 auf Strassen mit hohen Anteilen von LKW und lauten Fahrzeugen Vorsicht geboten.

Akustische Beschaffenheit der Strassenbeläge

- **Laute Beläge machen Tempo 30 effektiver.** Die akustische Beschaffenheit des Strassenbelages hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lärmwirkung von Tempo 30. Grundsätzlich gilt: Je lauter ein Strassenbelag ist bzw. je stärker er zur Entstehung von Rollgeräuschen beiträgt, desto grösser ist die potentielle Lärmreduktion durch Tempo 30.
- **Lärmarme Beläge mit Tempo 30 als Lärmschutzmassnahme kombinierbar.** Erwartungsgemäss fällt die Wirkung lärmarmen Strassenbeläge bei Tempo 30 im Vergleich zu 50 km/h geringer aus. In vielen Fällen beträgt die zusätzliche Wirkung von lärmarmen Strassenbelägen bei Tempo 30 etwa 50% von der Belagswirkung bei 50 km/h, kann aber situationsabhängig zwischen ca. 20 und 70% variieren. In Abhängigkeit des Belagskennwerts des lärmarmen Belags kann bei Tempo 30 mit zusätzlichen Wirkungen von bis zu -2 dB gerechnet werden. Entsprechend kann eine Kombination der Lärmschutzmassnahme Tempo 30 mit dem Einsatz von lärmarmen Belägen situativ als zielführend betrachtet werden. Bei tiefen LKW-Anteilen ist eine höhere Wirksamkeit der Strassenbeläge zu erwarten.

Weiterer Forschungsbedarf:

- **Fokus LKW-Lärmemissionen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich.** In der vorliegenden Studie lag der Fokus auf den Lärmemissionen von Personenwagen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich. Die Emissionen von LKW wurden in der vorliegenden Studie nicht spezifisch untersucht. Da die auf einer Strasse vorherrschenden LKW-Anteile bezüglich der Lärmwirkung von Tempo 30 eine entscheidende Einflussgrösse darstellen, sollten die Emissionen von LKW im niedrigen Geschwindigkeitsbereich im Rahmen von zukünftigen Forschungsvorhaben im Fokus stehen und näher ermittelt werden.

- **Fokus Massnahme-Wirkungsbezug.** In Übereinstimmung mit bisherigen Studien, werden die effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten sowie das Fahrverhalten durch die begleitenden baulichen und gestalterischen Massnahmen beeinflusst. Der Einfluss solcher Massnahmen ist indirekt über die verschiedenen Zonentypen (Strecke, übersichtlich, eng) berücksichtigt. Es wird jedoch empfohlen, im Rahmen zukünftiger Forschungsvorhaben einen direkten Massnahme-Wirkungsbezug näher zu untersuchen.
- **Fokus Kombination Tempo 30 und lärmarme Beläge.** Die Kombinationswirkung von lärmarmen Belägen und Tempo 30 wurde in der vorliegenden Studie modelliert. Diese Wirkungen sollte in Zukunft durch Messungen verifiziert werden.
- **Fokus Steigung.** Die in diesem Bericht ausgewiesenen Lärmwirkungen beziehen sich auf Strassen mit horizontalem Streckenverlauf. Es wird empfohlen, die Wirkung von Tempo 30 in grösseren Steigungen (von über 6%) im Rahmen zukünftiger Forschungsvorhaben näher zu untersuchen.

5 Beispiel für Wirkungsabschätzung in der Praxis

Zur Abschätzung der Wirkung von Geschwindigkeitsreduktionen wird nachfolgend eine kurze Anleitung für die Anwendung in der Praxis präsentiert. Grundsätzlich gilt: Je detaillierter die Datengrundlage zur Ausgangs- und Zielsituation, desto präziser wird die Abschätzung der Lärmwirkung. Eine Empfehlung der Autoren umfasst die in Tab. 26 aufgelisteten, aus möglichst aktuellen Messungen erhobenen Parameter:

Tab. 26: Empfohlene Grundlagedaten zur Abschätzung der Lärmwirkung bei Geschwindigkeitsreduktion

Situation	Parameter	Beschreibung
Ausgangssituation	Nt	Durchschnittlicher stündlicher Motorfahrzeugverkehr tags
	Nt2	Teilverkehrsmenge Schwerverkehr tags
	Nn	Durchschnittlicher stündlicher Motorfahrzeugverkehr nachts
	Nn2	Teilverkehrsmenge Schwerverkehr nachts
	v-sig	Signalisierte Geschwindigkeit
	v-eff	Mittlere effektiv gefahrene Geschwindigkeit
	Strassenbelag	Optimal: Akustische Signatur bzw. akustischer Kennwert des Strassenbelags Minimal: Belagstyp, Einbaujahr, Hohlraumgehalt am Bohrkern
Zielsituation	Geplanter Zonentyp	Tempo 30 Zone übersichtlich, Tempo 30 Zone eng, Tempo 30 Strecke
	Zielgeschwindigkeit	Prognostizierte mittlere Geschwindigkeit (v_{Q50}) in der Tempo 30 Situation
	Zielgeschwindigkeit worst-case	Zu erwartende maximale mittlere Geschwindigkeit, falls gewünschte Zielgeschwindigkeit überschritten wird zur Abschätzung der minimalen Wirkung

Tab. 27 enthält ein Beispiel für eine Abschätzung der Lärmwirkung von Geschwindigkeitsreduktionen.

Tab. 27: Beispiel zur Abschätzung der Lärmwirkung einer geplanten Tempo 30 Situation gegenüber einer Ausgangssituation mit einer mittleren Geschwindigkeit von 50 km/h

Schritt	Kurzbeschreibung	siehe Abschnitt	Beispiel
1	Auswahl der Zielsituation	2.3.1	Zonentyp: Tempo 30 Strecke
2	Bestimmung der Lärmreduktion für die prognostizierte mittlere Zielgeschwindigkeit unter Berücksichtigung des LKW-Anteils	3.3.3 Abb. 19	Wirkung bei 30 km/h und 2% LKW-Anteil: -4.0 dB
3	Bei Belagseratz Bestimmung der zusätzlichen Wirkung des Strassenbelags	3.3.5 Tab. 22 bis Tab. 25	Zusätzl. Belagswirkung bei Einbau eines Belages mit $KB_{\text{Misch-1}}$: 41%, d.h. $-1 \text{ dB} * 0.41 \approx -0.4 \text{ dB}$
4	Handhabung Tag / Nacht: falls Verkehrszusammensetzung oder Geschwindigkeiten abweichen, ist eine separate Beurteilung Tag/Nacht vorzunehmen		Wirkung Tempo 30: - Tag: $-4.0 \text{ dB} - 0.4 \text{ dB} = -4.4 \text{ dB}$ - Nacht: bei Bedarf Schritte 1 bis 3 mit angepassten Parametern wiederholen
5	Abschätzen der Wirkung bei nicht Erreichen der Zielgeschwindigkeit		Schritte 1 bis 3 mit angepassten Parametern wiederholen. Wirkung würde bei mittleren Geschwindigkeit von 36 km/h um 1.1 dB geringer ausfallen ($-2.9 \text{ dB} - 0.4 \text{ dB} = -3.3 \text{ dB}$)

Anhänge

I	Emissionsansatz	69
I.1	Rollgeräuschmodell PW	69
I.2	Antriebsgeräuschmodell PW	70
I.3	Drehzahl-Pegel-Bezug	71
I.4	Roll- und Antriebsgeräuschmodellkoeffizienten PW	72
I.5	Modellkoeffizienten LKW	83
I.6	Reifenkategoriespezifische Rollgeräuschmodell-koeffizienten	84
II	Details zu den Messkampagnen	87
II.1	Standortdetails (Statistische Erhebungen Fahrverhalten)	87
II.2	Detailplan zur Messkampagne im niedrigen Geschwindigkeitsbereich	90
II.3	Fahrzeugdaten zur Messkampagne im niedrigen Geschwindigkeitsbereich	91
II.4	Umweltbedingungen während der Messkampagne im niedrigen Geschwindigkeitsbereich	92
III	Grobabschätzung Reifeneinfluss	93

I Emissionsansatz

I.1 Rollgeräuschmodell PW

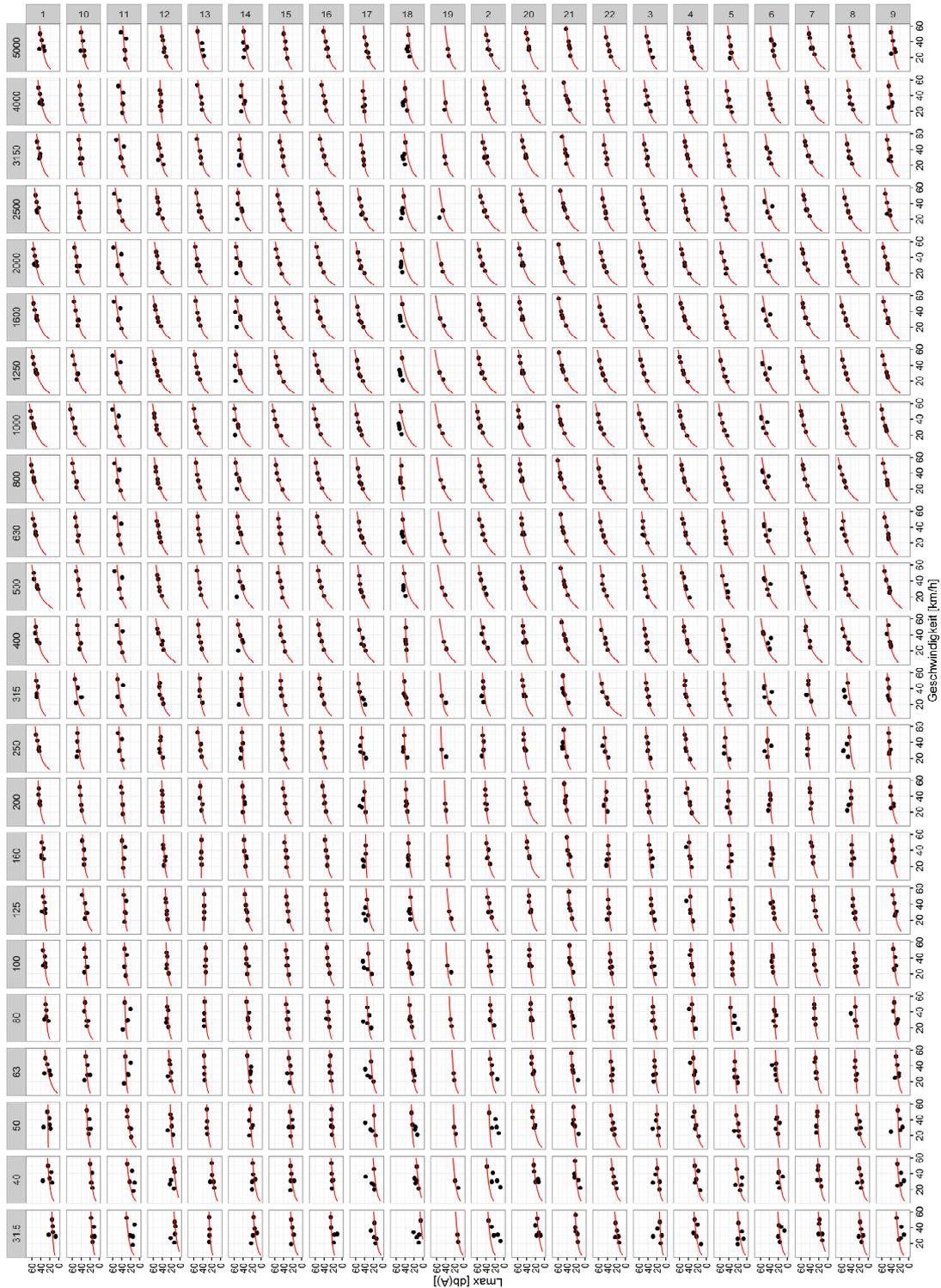


Abb. 1: Rollgeräuschemissionen und Rollgeräuschmodelle pro Fahrzeug und Frequenz

I.2 Antriebsgeräuschmodell PW

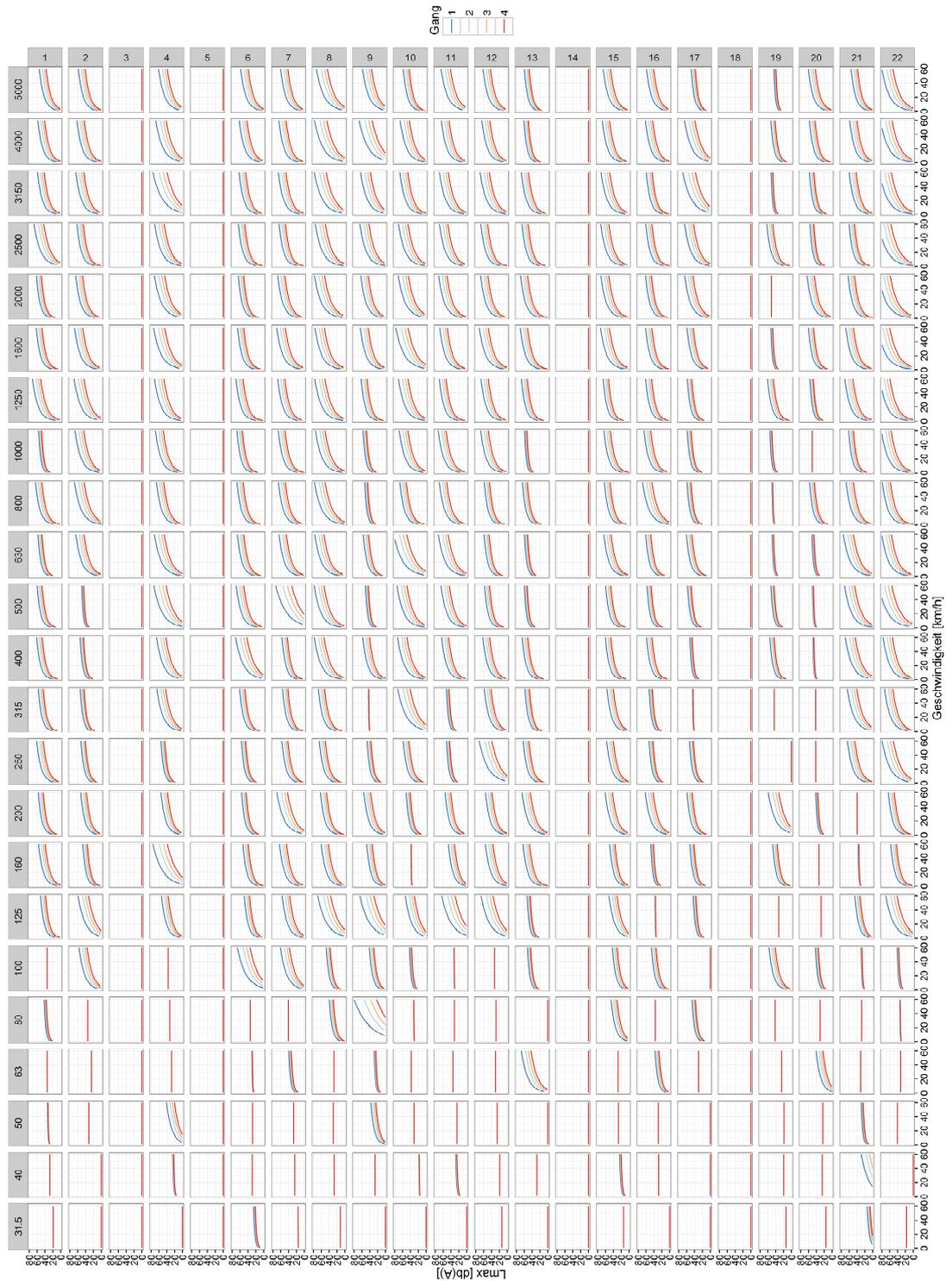


Abb. 2: Antriebsgeräuschmodelle pro Gang, Fahrzeug und Frequenz

I.3 Drehzahl-Pegel-Bezug

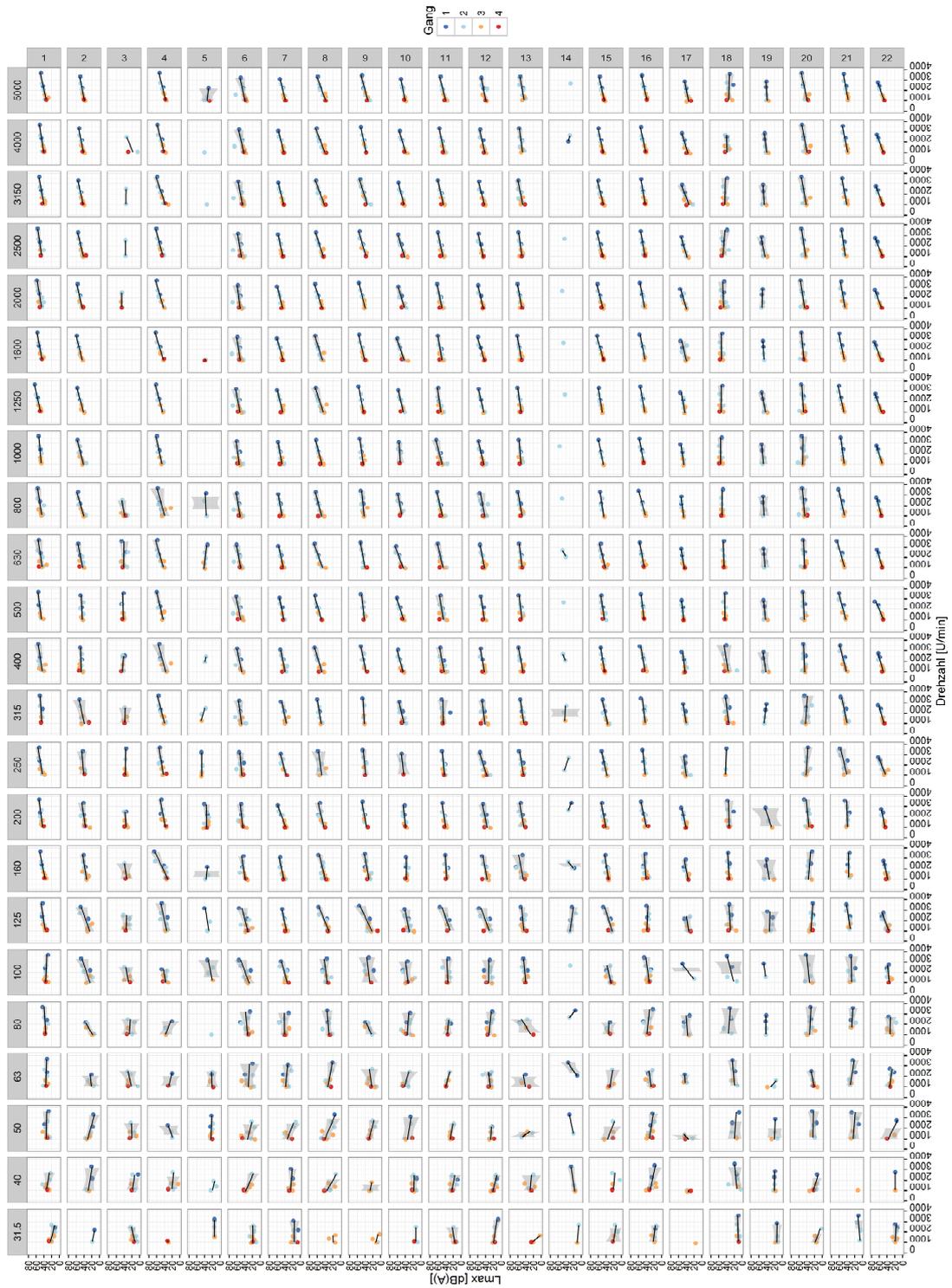


Abb. 3: Drehzahl-Pegel-Bezug pro Fahrzeug und Frequenz

I.4 Roll- und Antriebsgeräuschmodellkoeffizienten PW

Tab. 1: Roll- und Antriebsgeräuschmodellkoeffizienten für Personewagen in Terzbändern

Grau - Antriebsgeräuschkoeffizienten für Hybridfahrzeuge

Hellgrau - Antriebsgeräuschkoeffizienten für Elektrofahrzeuge

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$	$b_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$	$a_{\text{Antr: PW, Fz, f}}$	$b_{\text{Antr: PW, Fz, f}}$
1	31.5	3.85	6.58	19.0468	0
1	40	1.57	13.19	27.6234	0
1	50	23.24	0.4	24.1746	2.56367
1	63	-17.05	27.13	34.5321	0
1	80	12.64	9.85	9.50262	8.62931
1	100	12.31	12.69	34.4733	0
1	125	21.38	7.36	-25.8002	20.4397
1	160	30.59	3.75	-43.9765	26.5905
1	200	22.27	13.49	-17.001	19.5969
1	250	-1.73	30.72	-38.8645	26.5631
1	315	15.43	20.49	-17.8866	19.8263
1	400	2.88	28.51	-22.3199	22.132
1	500	-18.19	44.24	-14.3599	19.6922
1	630	8.39	28.7	-2.97995	16.1298
1	800	12.78	28.65	-32.101	25.5355
1	1000	0.7	36.73	10.0916	12.1889
1	1250	-7.1	38.51	-52.195	32.8656
1	1600	-5.71	36.57	-25.0333	23.1479
1	2000	17.85	22.35	-13.1709	19.8193
1	2500	-0.67	30.9	-79.7056	39.1765
1	3150	4.61	25.24	-42.4096	26.8728
1	4000	-0.75	26.77	-45.2197	27.404
1	5000	1.74	23.12	-49.4229	27.5603
2	31.5	8.78	15.36	0	0
2	40	11.53	15.77	0	0
2	50	22.63	6.33	31.8094	0
2	63	8	13.62	25.0139	0
2	80	12.84	10.59	34.5131	0
2	100	17.6	10.89	-64.6386	32.1954
2	125	-6.23	25.2	-99.1568	41.9942
2	160	9.75	17.16	-21.3847	18.1563
2	200	27.92	8.24	-34.4224	23.0234
2	250	37.59	5.94	-14.9267	17.708
2	315	18.5	16.74	-4.01758	15.2897
2	400	-5.25	32.5	3.06084	13.4621
2	500	-1.93	33.16	20.0789	7.88208
2	630	-5.22	34.97	-58.1078	32.6032
2	800	0.53	32.36	-76.6603	38.4087
2	1000	-0.92	36.04	-64.2504	34.7744
2	1250	-11.38	40.6	-78.797	39.2261
2	1600	-12.46	40.35	-55.3059	32.7103
2	2000	-12.58	40.74	-37.9957	27.307
2	2500	-20.54	43.08	-33.1387	25.2144
2	3150	-1.94	28.79	-55.6905	31.9685
2	4000	-2.25	27.32	-48.1278	29.1858
2	5000	-11.74	30.5	-44.7763	27.3774

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
3	31.5	-0.46	8.42	0	0
3	40	-2.53	13.19	0	0
3	50	6.12	8.37	0	0
3	63	8.37	10.28	0	0
3	80	13.46	9.38	0	0
3	100	14.04	11.23	0	0
3	125	14.55	11.27	0	0
3	160	24.14	8.05	0	0
3	200	18.73	14.59	0	0
3	250	17.97	15.14	0	0
3	315	10.25	20.49	0	0
3	400	0.4	28.51	0	0
3	500	-1.42	30.55	0	0
3	630	8.08	26.03	0	0
3	800	4.58	31.98	0	0
3	1000	2.3	34.44	0	0
3	1250	-1.35	34.76	0	0
3	1600	1.24	34.47	0	0
3	2000	6.61	30.4	0	0
3	2500	0.9	30.9	0	0
3	3150	7.28	24.68	0	0
3	4000	4.09	25.07	0	0
3	5000	3.03	23.99	0	0
4	31.5	-1.83	16.49	0	0
4	40	-7.34	19.49	8.94745	4.24034
4	50	-6.24	19.49	-80.7322	32.2004
4	63	19.4	5.71	27.7692	0
4	80	21.61	6.12	32.2474	0
4	100	18.47	9.34	36.2206	0
4	125	21.95	8.22	-48.4656	27.0312
4	160	29.27	5.45	-143.636	58.0077
4	200	-5.17	28.92	-46.0129	26.7694
4	250	5.64	25.45	-3.95132	15.6024
4	315	11.47	22.13	-66.7884	34.9863
4	400	-5.91	33.14	-74.7688	37.3154
4	500	7.44	27.74	-112.365	49.1328
4	630	0.22	31.14	-76.7455	39.2971
4	800	-4.46	35.68	-44.247	29.2698
4	1000	-6.93	39.63	-50.2445	31.5541
4	1250	-13.44	43.32	-71.5142	37.8694
4	1600	-14.55	42.16	-93.0454	44.2268
4	2000	-15.83	42.55	-82.8752	40.9361
4	2500	3.3	29.02	-72.3478	37.9472
4	3150	-1.97	29.52	-138.812	56.7985
4	4000	2.89	24.56	-89.1867	41.6748
4	5000	-14.59	31.98	-70.5128	34.8613

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
5	31.5	-8.54	16.49	0	0
5	40	-9.98	19.49	0	0
5	50	-8.9	19.49	0	0
5	63	17.13	5.71	0	0
5	80	26.42	6.12	0	0
5	100	18.46	9.34	0	0
5	125	22.98	8.22	0	0
5	160	30.34	5.45	0	0
5	200	29.77	7.11	0	0
5	250	26.87	12.75	0	0
5	315	18.36	19.34	0	0
5	400	6.84	27.38	0	0
5	500	8.47	27.74	0	0
5	630	13.83	23.12	0	0
5	800	8.95	27.6	0	0
5	1000	7.74	31.06	0	0
5	1250	4.25	32.73	0	0
5	1600	-0.45	33.59	0	0
5	2000	-1.31	34.71	0	0
5	2500	1.25	31.25	0	0
5	3150	5.5	25.89	0	0
5	4000	8.32	21.98	0	0
5	5000	0.81	23.63	0	0
6	31.5	-6.09	15.36	-0.716811	7.04975
6	40	-6.82	15.77	29.149	0
6	50	12.77	6.33	28.3898	0
6	63	2.65	13.62	22.0383	2.17576
6	80	21.68	4.22	34.1932	0
6	100	15.27	10.89	-124.052	50.6341
6	125	-0.57	21.4	-30.3345	21.1687
6	160	21.81	8.09	-28.3658	21.5711
6	200	28.8	5.99	-12.3575	18.1817
6	250	34.49	5.94	-6.12409	16.6292
6	315	7.07	25.46	-18.8456	21.2148
6	400	-0.34	33.52	-98.8966	45.2355
6	500	1.47	28.83	-44.6788	30.3801
6	630	10.48	23.79	-29.2561	25.5145
6	800	4.78	29.31	-24.8742	24.5813
6	1000	5.12	31.08	-14.2752	21.8227
6	1250	2.55	30.31	-37.3031	28.6336
6	1600	-3.03	32.86	-26.0249	24.5164
6	2000	-6.79	35.75	-16.6999	21.5537
6	2500	-4.77	31.84	-31.6612	25.5117
6	3150	-6.88	31.86	-38.0924	26.7326
6	4000	-6.17	29.35	-54.001	30.8331
6	5000	1.87	20.21	-55.4986	30.2642

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
7	31.5	-14.84	20.39	14.785	0.228475
7	40	-5.33	15.77	24.3285	0
7	50	12.53	6.33	27.0418	0
7	63	4.45	13.62	1.75357	10.0528
7	80	15.64	8.82	40.7668	0
7	100	5.94	15.32	-75.8724	36.2283
7	125	-2.95	20.97	-57.4205	30.1879
7	160	13.41	13.59	-43.4557	28.2564
7	200	25	8.67	-90.5791	42.5625
7	250	34.83	5.94	-32.1954	23.6871
7	315	15.03	16.74	-26.1228	21.6405
7	400	-14.19	37.37	-25.349	21.8308
7	500	0.2	33.16	-168.713	63.9985
7	630	11.65	23.53	-46.9779	29.5529
7	800	3.64	31.08	-39.0763	27.8401
7	1000	2.82	33.77	-35.8926	27.0801
7	1250	-5.51	36.8	-40.3275	28.63
7	1600	-9.2	38.72	-60.3106	34.649
7	2000	-8.68	39.16	-40.7278	28.7233
7	2500	-16.73	42.15	-32.6094	25.6748
7	3150	-22.39	43.34	-49.1698	30.5956
7	4000	-20.33	40.14	-44.1016	28.8402
7	5000	-20.58	36.95	-49.3805	29.071
8	31.5	-9.1	16.49	11.6215	0
8	40	-12.32	19.49	27.166	0
8	50	-7.65	19.49	29.7627	0
8	63	19.66	5.71	27.8815	0
8	80	18.7	6.12	-20.9164	16.0455
8	100	11.53	11.61	-12.7654	15.9626
8	125	6.33	16.99	-124.817	51.3486
8	160	33.66	1.27	-49.2512	29.0393
8	200	27.12	7.11	-30.4344	24.5464
8	250	20.85	12.75	-27.1415	24.5086
8	315	13.6	19.34	-27.587	25.2055
8	400	-16.47	43.05	-69.1629	39.0155
8	500	-4.14	36.25	-70.0117	39.2377
8	630	17.32	23.12	-61.5648	36.6659
8	800	-8.92	42.89	-83.5736	42.6871
8	1000	5.22	30.63	-70.3342	38.5037
8	1250	-3.73	36.69	-77.1591	40.7625
8	1600	-9.97	41.29	-65.7632	37.6409
8	2000	-3.67	34.66	-74.9555	40.3463
8	2500	-12.31	38.87	-77.2755	40.4795
8	3150	-6.83	32.47	-102.609	47.8874
8	4000	-8.18	31.48	-107.903	49.0506
8	5000	-1.91	25.21	-93.0303	43.8538

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
9	31.5	0.62	15.36	0	0
9	40	-1.71	15.77	26.7633	0
9	50	13.85	6.33	-38.1187	19.9519
9	63	5.15	13.62	3.79599	6.5714
9	80	14.24	10.59	-262.379	90.7201
9	100	15.91	10.89	-26.6967	17.9475
9	125	4.65	17.38	-146.078	55.9483
9	160	16.65	11.78	-35.9867	22.1894
9	200	16.79	13.67	-49.0647	27.6475
9	250	34.7	5.94	-12.1065	15.6251
9	315	18.42	16.74	37.8303	1.46531
9	400	7.33	23.54	-45.3637	27.3391
9	500	-13.12	39.07	6.77261	11.6962
9	630	4.47	28.48	-23.1302	21.1189
9	800	1.64	32.17	8.25468	11.7839
9	1000	-1.35	36.24	3.99953	14.0482
9	1250	-8.55	39.15	-27.2266	23.6402
9	1600	-4.35	35.08	-54.6876	31.4705
9	2000	-1.36	33.73	-50.2403	29.9204
9	2500	3.8	28.02	-71.8036	36.3176
9	3150	3.61	26.05	-84.672	39.2773
9	4000	13.43	18.18	-131.152	52.5009
9	5000	12.38	14.82	-77.3601	35.9795
10	31.5	3.71	8.42	0	0
10	40	-2.33	13.19	13.6731	1.17433
10	50	13.57	8.37	30.8826	0
10	63	12.33	10.28	37.7651	0
10	80	2.04	17.73	28.5802	0.841259
10	100	21.69	5.63	8.92453	8.86235
10	125	1.34	19.84	-83.5873	36.1453
10	160	17.94	10.91	33.7733	1.23353
10	200	21.79	12.55	-9.97531	16.0525
10	250	22.66	15.14	-28.0615	22.9021
10	315	19.14	20.49	-114.089	49.3458
10	400	14.26	19.88	-68.1457	37.2857
10	500	18.68	18.02	-76.1334	39.8459
10	630	21.58	18.04	-114.747	52.3036
10	800	11.67	27.64	-30.6397	25.8149
10	1000	5.41	34.44	-62.109	34.5689
10	1250	8.96	28.38	-73.321	38.0461
10	1600	10.15	26.34	-106.611	48.7191
10	2000	18.9	20.23	-81.1754	40.2971
10	2500	16.83	18.77	-72.6972	37.875
10	3150	23.19	12.39	-52.4985	31.634
10	4000	18.34	14.81	-72.627	36.7774
10	5000	13.59	15.38	-31.2863	23.6788

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
11	31.5	0.94	16.49	0	0
11	40	-5.53	19.49	9.0107	5.04172
11	50	-5.36	19.49	24.7939	0
11	63	22.23	5.71	34.8305	0
11	80	22.69	6.12	31.2877	0
11	100	17.73	9.34	28.4262	1.0688
11	125	21.49	8.22	-137.635	53.248
11	160	30.06	5.45	-47.2772	24.8916
11	200	26.44	8.26	-31.2329	22.865
11	250	25.26	12.04	3.66669	12.6717
11	315	16.31	19.34	11.9187	10.4908
11	400	19.82	15.46	-42.7869	28.302
11	500	15.54	19.79	-61.5585	33.6898
11	630	22.41	16.22	-76.8167	39.5524
11	800	17.7	20.38	-42.9911	29.8752
11	1000	16.41	23.13	-46.5408	31.5483
11	1250	15.64	22.42	-32.9326	27.194
11	1600	9.04	25.38	-45.649	30.3004
11	2000	9.43	25.13	-54.6851	33.3695
11	2500	-1.09	31.39	-58.0266	33.7861
11	3150	12.26	19.44	-64.511	35.5209
11	4000	19.22	13.62	-52.9214	31.144
11	5000	14.05	13.28	-75.8899	37.4431
12	31.5	-13.38	15.36	13.6042	0
12	40	-12.51	15.77	19.2784	0
12	50	11.12	6.33	25.7826	0
12	63	1.5	13.62	29.9689	0
12	80	11.38	10.59	28.3537	0
12	100	12.23	10.89	32.4634	0
12	125	12.86	11.66	-114.011	47.8935
12	160	23.32	8.2	-58.6687	30.3291
12	200	30.63	5.99	-42.4566	25.9313
12	250	28.07	10.3	-118.892	50.426
12	315	6.18	24.53	-43.5492	27.0538
12	400	-18.33	40.92	-41.4171	27.4913
12	500	6.15	26.89	-18.5882	20.2472
12	630	10.04	24.83	-17.7652	20.4
12	800	9.51	27.34	-21.2443	21.1132
12	1000	7.32	30.7	-48.5481	30.7923
12	1250	-6.35	38.59	-44.5446	29.5408
12	1600	-5.61	37.29	-64.6082	36.0127
12	2000	-3.6	34.45	-42.9777	29.3477
12	2500	5.33	27.64	-37.0051	27.6573
12	3150	11.95	21.65	-70.9355	37.1893
12	4000	35.24	5.59	-55.3629	31.8369
12	5000	0.72	23.65	-50.5713	29.765

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
13	31.5	11.19	8.42	0	0
13	40	-2.89	13.19	28.0605	0
13	50	16.28	8.37	0	0
13	63	19.24	10.28	-79.1236	38.9106
13	80	19.4	9.38	0	0
13	100	34.2	-0.34	3.42312	12.8732
13	125	38.77	-1.25	5.92805	12.4396
13	160	43.37	-0.1	-35.3744	26.1775
13	200	24.9	12.1	-59.5723	33.2638
13	250	13.5	21.27	-23.7322	22.9653
13	315	26.27	12.74	-9.97582	18.0693
13	400	12.48	21.94	-20.3856	22.7464
13	500	11.07	23.79	17.2507	11.2557
13	630	24.86	15.56	11.8431	12.6592
13	800	14.7	23.67	-10.088	19.8617
13	1000	7.73	30.78	23.9682	9.31789
13	1250	6.28	30.12	-21.7873	23.6347
13	1600	8.38	27.57	-39.0985	28.9888
13	2000	10.36	27.08	-37.5167	28.3174
13	2500	3.06	29.67	-28.0043	24.8682
13	3150	4.3	27.57	-39.6329	28.4213
13	4000	1.13	28.42	-6.82586	17.9455
13	5000	10.26	23.99	-12.9027	19.2518
14	31.5	-9.67	15.36	0	0
14	40	-8.6	15.77	0	0
14	50	13.19	6.33	0	0
14	63	7.75	13.62	0	0
14	80	14.23	10.59	0	0
14	100	15.86	10.89	0	0
14	125	6.7	17.22	0	0
14	160	24.24	8.09	0	0
14	200	31.38	5.99	0	0
14	250	32.62	5.94	0	0
14	315	15.47	16.74	0	0
14	400	-6.27	33.52	0	0
14	500	-6.84	33.16	0	0
14	630	10.52	24.47	0	0
14	800	2.78	31.38	0	0
14	1000	-1.21	35.02	0	0
14	1250	-8.03	37.14	0	0
14	1600	-7.87	36.51	0	0
14	2000	-3.6	34.51	0	0
14	2500	2.76	28.43	0	0
14	3150	2.9	26.05	0	0
14	4000	12.22	18.18	0	0
14	5000	0.09	22.6	0	0

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$	$b_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$	$a_{\text{Antr: PW, Fz, f}}$	$b_{\text{Antr: PW, Fz, f}}$
15	31.5	-2.83	15.36	13.9068	0
15	40	-2.08	15.77	0.41282	6.27907
15	50	14.97	6.33	26.8019	0
15	63	5.44	13.62	27.8831	0
15	80	16.5	10.59	-44.7831	24.043
15	100	16.41	10.89	-30.9239	19.4733
15	125	4.89	17.22	-71.4504	32.5479
15	160	19.15	10.23	-32.1957	21.6374
15	200	11.6	17.03	-50.3537	29.4876
15	250	15.35	17.43	-43.6435	26.6879
15	315	18.2	16.74	-40.8071	25.7193
15	400	0.17	27.95	-23.1586	22.1109
15	500	12.42	22.37	-19.6364	21.0309
15	630	25.98	14.97	-45.548	29.1679
15	800	3.94	31.38	-24.2497	23.0832
15	1000	3.24	35.02	-35.261	26.3419
15	1250	-12.35	41.26	-16.0901	21.7575
15	1600	-9.47	38.67	-60.4657	35.3215
15	2000	3.59	31	-48.352	31.8375
15	2500	0.69	30.41	-49.9176	32.3582
15	3150	14.57	19.16	-59.6663	34.7806
15	4000	12.2	18.3	-41.8498	29.1878
15	5000	9.54	17.42	-45.407	29.4964
16	31.5	10.78	8.42	0	0
16	40	1.29	13.19	27.9468	0
16	50	9	8.37	28.831	0
16	63	14.41	7.47	-22.3543	15.7904
16	80	16.48	9.38	36.3224	0
16	100	6.41	16.16	-23.8372	18.5802
16	125	14.93	12.53	31.8503	1.3493
16	160	13.51	13.92	8.31285	10.4386
16	200	11.06	18.67	-56.4032	31.4574
16	250	21.96	15.14	-6.36958	15.5499
16	315	4.66	27.03	3.66929	12.8409
16	400	-1.86	31.98	-24.1463	21.9788
16	500	-2.6	32.69	-5.10174	16.6099
16	630	-1.79	33.45	-16.8154	20.6226
16	800	-1	34.92	-72.3206	37.45
16	1000	-1.91	37.67	-37.1577	27.1768
16	1250	-9.79	41.45	-30.7119	24.3874
16	1600	-13.6	41.79	-33.7389	25.1777
16	2000	-12.03	40.32	-27.4148	23.4758
16	2500	-16.56	41.19	-32.7348	24.7912
16	3150	-11.13	34.85	-29.6117	23.6044
16	4000	-0.13	26.12	-47.748	28.9984
16	5000	-5.13	26.46	-48.8045	28.5287

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
17	31.5	-7.44	15.36	0	0
17	40	-6.93	15.77	0	0
17	50	8.54	6.33	0	0
17	63	3.18	13.62	29.7112	0
17	80	16.44	10.59	-3.87915	13.3092
17	100	13.9	10.89	0	0
17	125	6.35	17.22	0.933202	11.2692
17	160	32.65	2.93	-10.1013	16.4119
17	200	30.29	5.99	-18.2	20.4938
17	250	36.89	5.94	-5.56027	15.5344
17	315	25.68	16.74	38.1188	1.82714
17	400	-5.2	33.67	15.8108	9.58151
17	500	13.01	23.85	1.78159	14.853
17	630	1.94	31.09	-21.4234	21.762
17	800	5.39	30.14	-1.95867	16.2188
17	1000	6.21	31.25	-0.492034	15.649
17	1250	-1.47	35.77	-8.99586	17.8626
17	1600	-6.75	38.5	-34.5647	24.8934
17	2000	-7.7	38.35	-58.542	32.7577
17	2500	-5.02	34.46	-69.5648	35.7743
17	3150	19.41	16.29	-120.569	50.5438
17	4000	32.13	6.5	-91.295	41.5574
17	5000	-1.82	24.95	-14.2375	16.5947
18	31.5	-20.79	15.36	0	0
18	40	-12.64	15.77	0	0
18	50	15.03	6.33	0	0
18	63	2.58	13.62	0	0
18	80	7.58	13.69	0	0
18	100	15.03	10.89	0	0
18	125	-1.19	17.22	0	0
18	160	18.83	8.09	0	0
18	200	25.72	7.6	0	0
18	250	31.89	5.94	0	0
18	315	10.87	19.13	0	0
18	400	32.23	3.99	0	0
18	500	-13.74	33.16	0	0
18	630	3.78	24.47	0	0
18	800	37.53	7.47	0	0
18	1000	-9.63	35.02	0	0
18	1250	-15.91	37.14	0	0
18	1600	-15.37	36.51	0	0
18	2000	-11.81	34.51	0	0
18	2500	-4.92	28.43	0	0
18	3150	-4.73	26.05	0	0
18	4000	9.29	18.18	0	0
18	5000	-5.43	22.6	0	0

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$	$b_{\text{Roll: PW, Fz, f}}$	$a_{\text{Antr: PW, Fz, f}}$	$b_{\text{Antr: PW, Fz, f}}$
19	31.5	-9.56	15.36	13.5197	0
19	40	-4.65	15.77	19.5697	0
19	50	11.53	6.33	19.0786	0
19	63	1.79	13.62	25.1314	0
19	80	13.24	10.59	41.5798	0.0159431
19	100	20	10.89	-37.9824	25.2001
19	125	6.46	17.22	32.1412	0
19	160	22.36	8.09	-21.6254	18.3676
19	200	32.06	5.99	-100.518	42.3509
19	250	40.08	5.94	0	0
19	315	23.67	16.74	43.7008	0
19	400	-5.87	33.52	-9.80837	17.2098
19	500	-1.24	33.16	5.03166	12.5213
19	630	12.77	24.47	25.8173	6.24283
19	800	4.21	31.38	37.5168	3.21654
19	1000	1.47	35.02	24.1261	8.14429
19	1250	-1.87	37.14	-27.4006	23.3728
19	1600	-2.39	36.51	22.457	7.97084
19	2000	-1.65	34.51	51.0353	0
19	2500	3.71	28.43	-28.8651	24.3278
19	3150	3.14	26.05	23.8722	7.40144
19	4000	13.11	18.18	-12.7632	17.2955
19	5000	1.35	22.6	14.0125	8.08204
20	31.5	-11.99	16.49	15.6723	0
20	40	-9.3	19.49	24.8163	0
20	50	-8.75	20.94	23.5009	0
20	63	-0.7	17.35	-62.9718	27.4535
20	80	20.22	6.12	30.0148	0
20	100	17.74	9.34	-1.86391	11.6673
20	125	2.28	19.2	27.6995	0
20	160	-7.05	27.43	33.3419	0
20	200	-4.24	28.01	9.40243	8.48051
20	250	24.6	12.75	41.4335	0
20	315	9.74	23.3	41.4832	0
20	400	12.14	21.1	32.3977	4.36722
20	500	-8.38	34.62	33.3772	4.40915
20	630	18.23	19.55	19.6527	8.35481
20	800	15.8	23.08	-15.489	19.2282
20	1000	11.55	27.74	50.3234	0
20	1250	0.13	32.64	3.63989	13.9459
20	1600	4.24	30.14	-16.9625	20.3935
20	2000	-4.07	35.43	-46.2964	29.1149
20	2500	-10.97	37.44	-3.11756	15.7263
20	3150	-14.64	37.72	-10.931	18.1592
20	4000	-17.25	36.8	-27.3881	22.4843
20	5000	-5.12	26.66	-44.9214	27.8789

Fz	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Roll: PW,Fz,f}}$	$a_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$	$b_{\text{Antr: PW,Fz,f}}$
21	31.5	-2.37	13.84	-32.0513	12.2853
21	40	-0.98	13.19	-142.012	45.2963
21	50	11	8.37	-1.05596	8.00704
21	63	12.37	10.28	30.7225	0
21	80	16.45	9.38	27.8201	0
21	100	14.86	11.23	14.6683	3.9445
21	125	4.64	18.38	-32.7861	20.6751
21	160	17.25	12.6	25.3563	3.12018
21	200	20.95	14.59	39.5394	0
21	250	20.84	15.14	-47.9059	29.7114
21	315	13.25	20.49	-78.2748	37.825
21	400	-11.65	36.29	-79.9037	39.6478
21	500	-12.47	37.74	-80.5144	40.3191
21	630	0.98	30.7	-77.0763	40.2563
21	800	-1.48	35.84	-42.4854	29.1363
21	1000	-2.98	36.56	-11.022	19.0801
21	1250	-12.14	40.21	-51.1018	32.3231
21	1600	-12.25	40.9	-46.7214	30.5103
21	2000	-2.3	34.89	-35.124	25.8594
21	2500	-13.88	39.28	-22.9582	21.9661
21	3150	5.92	24.69	-44.6596	27.6873
21	4000	-14.38	35.15	-51.4942	29.1497
21	5000	-1.78	24.44	-41.9453	25.6899
22	31.5	-5.35	16.49	17.0205	0
22	40	-2.84	19.49	0	0
22	50	-0.53	19.49	40.3816	0
22	63	23.08	5.71	32.0985	0
22	80	21.36	6.12	28.5516	1.47977
22	100	19.01	9.34	15.7995	6.68001
22	125	25.07	8.22	-100.892	45.2638
22	160	29.39	5.45	-29.0819	22.9215
22	200	43.1	0.96	-26.6049	23.875
22	250	25.3	12.75	-91.0188	45.1261
22	315	-23.74	46.41	-51.92	33.0955
22	400	-12.82	39.07	-63.6381	37.2094
22	500	5.23	28.81	-108.477	51.9922
22	630	-0.75	34.23	-65.1184	38.5147
22	800	8.32	31.26	-44.5249	32.6943
22	1000	-2.56	39.17	-66.1116	39.0611
22	1250	-6.79	39.12	-67.0509	40.2959
22	1600	-3.89	37.19	-92.2682	48.5827
22	2000	-8.05	38.02	-85.1539	45.9157
22	2500	8.12	25.47	-99.2326	49.7988
22	3150	14.9	19.06	-91.0789	46.8827
22	4000	9.28	21.49	-91.6722	46.472
22	5000	-10.58	32.09	-86.1998	43.9908

Tab. 2: Gangabhängiger Antriebsgeräuschmodellkoeffizient

Gang	$c_{\text{Antr: Gang}} [\text{km/h}]$
1	0.00
2	8.33
3	17.33
4	30.00

I.5 Modellkoeffizienten LKW

Tab. 3: *Modellkoeffizienten für Antriebs- und Rollgeräusch in Oktavbändern, berechnet durch CNOSSOS [23] für die Fahrzeugkategorie "heavy vehicles"*

Frequenz	$a_{\text{Roll: LKW, fOkt}}$	$b_{\text{Roll: LKW, fOkt}}$	$a_{\text{Antr: LKW, fOkt}}$	$b_{\text{Antr: LKW, fOkt}}$
63	87.0	30.0	104.4	0.0
125	91.7	33.5	100.6	3.0
250	94.1	31.3	101.7	4.6
500	100.7	25.4	101.0	5.0
1000	100.8	31.8	100.1	5.0
2000	94.3	37.1	95.9	5.0
4000	87.1	38.6	91.3	5.0
8000	82.5	40.6	85.3	5.0

I.6 Reifenkategoriespezifische Koeffizienten

Rollgeräuschmodell-

Tab. 4: Modellkoeffizienten für die reifenkategoriespezifischen Rollgeräuschmodelle

Reifen-kategorie	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW, RKat, f}}$	$b_{\text{Roll: PW, RKat, f}}$
1	31.5	-5.87657	15.3691
1	40	-4.40345	15.7704
1	50	12.9963	6.3349
1	63	4.96672	13.6224
1	80	13.1394	10.5936
1	100	14.8172	10.8962
1	125	4.88249	17.2262
1	160	22.6487	8.09991
1	200	29.8629	5.99852
1	250	35.0639	5.94484
1	315	19.4247	16.7482
1	400	-7.27503	33.5218
1	500	-3.8008	33.1653
1	630	10.576	24.4798
1	800	2.9115	31.3801
1	1000	0.80465	35.022
1	1250	-5.78876	37.1484
1	1600	-6.20165	36.5172
1	2000	-2.77144	34.5148
1	2500	3.37207	28.4395
1	3150	3.60785	26.0556
1	4000	13.1439	18.1843
1	5000	0.846081	22.6096
2	31.5	-6.89846	16.4926
2	40	-9.27658	19.4988
2	50	-5.45681	19.4934
2	63	19.2754	5.71501
2	80	20.9187	6.12795
2	100	17.7845	9.34635
2	125	21.8207	8.22496
2	160	28.7106	5.45763
2	200	29.8806	7.11757
2	250	26.0107	12.7533
2	315	16.7944	19.3445
2	400	3.73814	27.3861
2	500	5.22931	27.742
2	630	14.3644	23.121
2	800	10.2491	27.6062
2	1000	6.19675	31.0664
2	1250	1.53716	32.7355
2	1600	-0.576883	33.5907
2	2000	-3.75198	34.7136
2	2500	-0.711183	31.252
2	3150	3.5394	25.8962
2	4000	6.79231	21.9878
2	5000	-0.278181	23.6353

Reifen- kategorie	Frequenz	$a_{\text{Roll: PW, RKat, f}}$	$b_{\text{Roll: PW, RKat, f}}$
3	31.5	5.45601	8.42574
3	40	-0.365249	13.1906
3	50	11.9277	8.37232
3	63	12.2599	10.2855
3	80	16.3194	9.38534
3	100	14.6111	11.2397
3	125	16.3862	11.2701
3	160	24.7886	8.05426
3	200	19.7439	14.5955
3	250	23.2539	15.1423
3	315	15.1872	20.4954
3	400	2.32966	28.5116
3	500	0.592192	30.5539
3	630	9.74552	26.0357
3	800	4.54058	31.989
3	1000	2.8868	34.4427
3	1250	-1.20187	34.7634
3	1600	-2.29009	34.4766
3	2000	4.35947	30.4099
3	2500	-0.351806	30.9002
3	3150	5.80858	24.6887
3	4000	2.71897	25.0716
3	5000	0.851248	23.9947

II Details zu den Messkampagnen

II.1 Standortdetails (Statistische Erhebungen Fahrverhalten)

Standort

- + Am Wasser, Zürich

Typ

- + **Tempo 30 Strecke** seit 2011
- + überkommunale Strasse mit Verbindungsfunktion
- + ca. DTV 9'900
- + Strassenbelag: AC16

Beschrieb

- + Geschwindigkeitslimit 30 km/h regelmässig signalisiert
- + ca. 700 m Richtung Europabrücke mobiler Blitzer installiert
- + Fussgängerstreifen ca. 15 m entfernt



Standort

- + Bullingerstrasse, Zürich

Typ

- + **Tempo 30 Zone übersichtlich** seit 2011
- + Kommunale Strasse
- + DTV ca. 6'000
- + Strassenbelag: SMA 11

Beschrieb

- + Tempo 30 Zonengestaltung mit Mehrzweckstreifen
- + Während der Spitzenstunden starker Rückstau von der LSA Bullingerstr./Hardstr. über den Erhebungsstandort hinaus



Standort

- + Schwarzenburgstrasse, Köniz

Typ

- + **Tempo 30 Zone übersichtlich** seit 12.12.2005
- + überkommunale Strasse
- + DTV ca. 18'000
- + Strassenbelag: ACMR 8 (dicht)

Beschrieb

- + Tempo 30 Zonengestaltung mit Mehrzweckstreifen
- + Am Erhebungsstandort stets rollender Verkehr trotz sehr hohem Verkehrsaufkommen



Standort

- + Langmauerstrasse, Zürich
- + am Vertikalversatz

Typ

- + **Tempo 30 Zone eng** seit 2000
- + kommunale Strasse mit Erschliessungsfunktion
- + DTV ca. 3'000
- + Strassenbelag: AC 8

Beschrieb

- + Tempo 30 Zonengestaltung mit Vertikalversatz und Fahrbahnverengung
- + Die Beurteilung erfolgte direkt an der Massnahme, kreuzen von Fahrzeugen erschwert



Standort

- + Langmauerstrasse, Zürich
- + zwischen 2 Vertikalversätzen

Typ

- + **Tempo 30 Zone eng** seit 2000
- + kommunale Strasse mit Erschliessungsfunktion
- + DTV ca. 3'000
- + Strassenbelag: AC 8

Beschrieb

- + Die Beurteilungszone entspricht einem Bereich mit freier Fahrt (ohne Vertikalversatz und Fahrbahnverengung), kreuzen der Fahrzeuge möglich



Standort

- + Steinstrasse, Zürich

Typ

- + **Referenzsituation Tempo 50** seit 1984
- + Kommunale Strasse mit Sammel- und Erschliessungsfunktion
- + DTV ca. 10'600
- + Strassenbelag: SMA 11

Beschrieb

- + Die Beurteilungszone liegt auf freier Strecke
- + Fussgängerstreifen ca. 15 m entfernt



Besonderheiten:

- + Bei den Standorten Am Wasser und Steinstrasse lagen die Messquerschnitte in 15 m Entfernung zu einem Fussgängerstreifen.

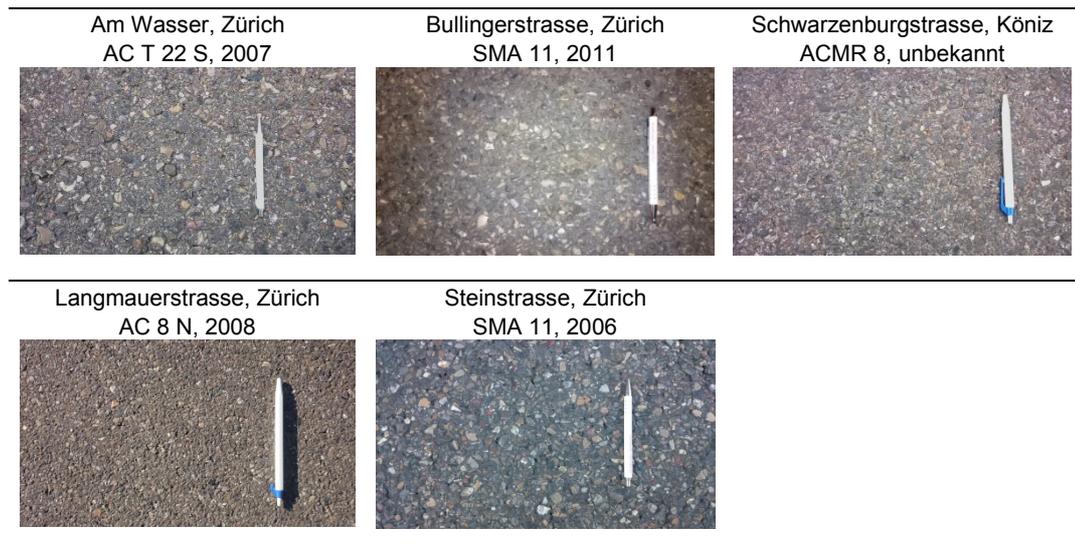


Abb. 4: Fotos des Belages am Erhebungsstandort (Sept./Okt. 2015)

II.2 Detailplan zur Messkampagne im niedrigen Geschwindigkeitsbereich

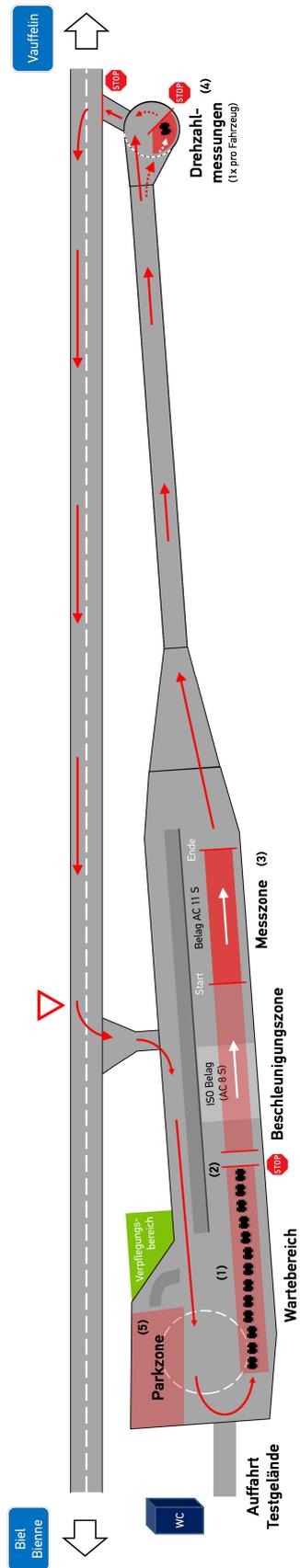


Abb. 5: Detailplan des Rundkurses im Dynamic Test Centers (Vauffelin)

II.3 Fahrzeugdaten zur Messkampagne im niedrigen Geschwindigkeitsbereich

ID	Marke	Typ	Antrieb	Art	Plaetze	Hubraum	Leistung	Leergewicht	Gesamtgewicht	Inverkehrsetzung
1	Ford USA	Mustang 5.0i-V8 GT	Benzin	Personenwagen	5	4951	312	1775	k.a	2015
2	Volkswagen	Touran	Benzin	Personenwagen	7	1390	103	1600	2200	12.03.2009
3	Toyota	Highlander	Hybrid	Personenwagen	7	3331	155	2140	2785	30.07.2014
4	Audi	A1 1.4 TFSI CoD Sb	Benzin	Personenwagen	5	1395	103	1215	1635	07.11.2013
5	Toyota	Auris HSD	Hybrid	Personenwagen	5	1798	73	1420	1865	15.04.2014
6	Volkswagen	Motion	Diesel	Personenwagen	5	1968	103	1616	2190	06.01.2012
7	Subaru	Impreza	Diesel	Personenwagen	5	1998	110	1505	1920	05.04.2011
8	Volkswagen	T5 California TDI	Diesel	Personenwagen	4	1968	103	2413	3000	27.02.2012
9	Volkswagen	Golf VII 1.4 TSI 5	Benzin	Personenwagen	5	1395	90	1259	1750	11.04.2013
10	Volvo	XC60 D3 AWD	Diesel	Personenwagen	5	2400	151	1809	2505	15.10.2010
11	Citroen	C4 Picasso 1.6i	Benzin	Personenwagen	5	1598	110	1641	2040	28.09.2010
12	Volkswagen	Golf VI 1.4 TFSI	Benzin	Personenwagen	5	1390	118	1354	1860	26.07.2011
13	Renault	Espace 2.0 DCI	Diesel	Personenwagen	7	1995	110	1900	2555	18.05.2006
14	BMW	i3	Elektro	Personenwagen	4	647	125	1390	1730	25.09.2014
15	Skoda	Octavia C 1.8 TFSI	Benzin	Personenwagen	5	1798	118	1375	1985	16.12.2011
16	Audi	A3 SB 2.0 TDI	Diesel	Personenwagen	5	1968	110	1390	1870	22.02.2013
17	Peugeot	308 SW 1.6 HDI FAP	Hybrid	Personenwagen	5	1560	82	1491	1975	04.10.2012
18	VW	e-Golf	Elektro	Personenwagen	5	k.a.	85	1675	1960	29.07.2014
19	Mini	Cooper	Benzin	Personenwagen	4	1598	85	1150	1505	14.06.2002
20	Toyota	Previa 2.4	Benzin	Personenwagen	7	2362	115	1830	2355	15.10.2004
21	Mercedes-Benz	Viano 3.0 CDI	Diesel	Personenwagen	7	2987	165	2284	3050	01.07.2013
22	Mercedes-Benz	313 CDI	Diesel	Lieferwagen	3	2143	95	2520	3500	05.11.2012

II.4 Umweltbedingungen während der Messkampagne im niedrigen Geschwindigkeitsbereich

Am 22. April 2015 war es zum Zeitpunkt der Messungen im Bereich der Messstrecke windstill und niederschlagsfrei. Die Fahrbahn war trocken. Es herrschten Lufttemperaturen zwischen 13°C und 22°C.

Uhrzeit [MEZ]	Temperatur [°C]	
	Luft	Belag
09:30	13.2	18.3
10:30	15.0	24.0
11:30	18.4	25.0
12:30	20.1	30.0
13:30	20.8	34.2
14:30	21.9	33.3
15:30	21.6	36.6
16:30	21.5	33.4
17:30	20.2	33.3

III Grobabschätzung Reifeneinfluss

Zur Abschätzung des Einflusses der Reifen auf die Rollgeräuschemission wurden während der Messkampagne drei ausgewählte Fahrzeuge mit unterschiedlichen Reifensätzen bestückt und auf deren Schallemission untersucht (siehe Abschnitt 0). Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in *Abb. 6* graphisch dargestellt.

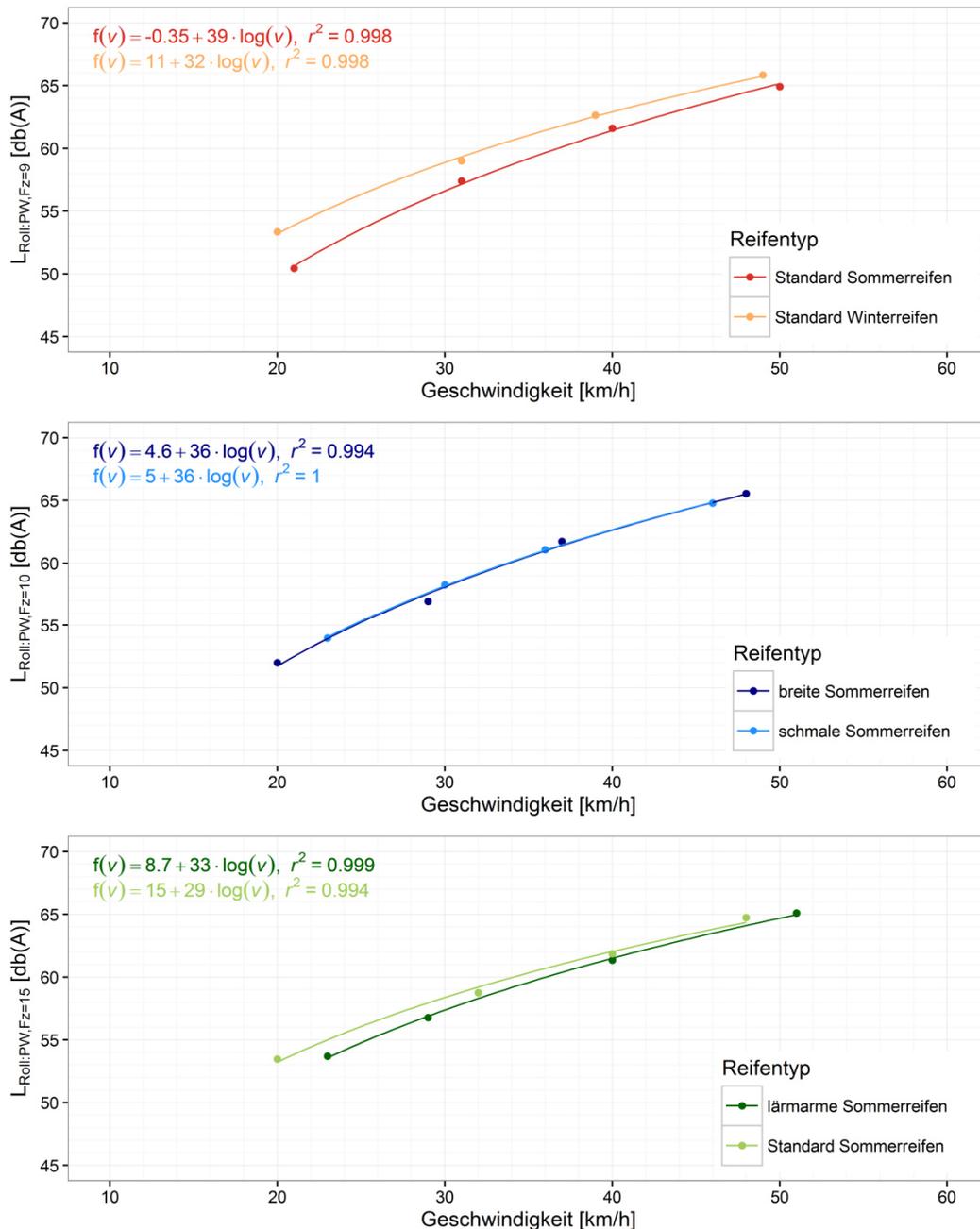


Abb. 6: Gemessener Vorbeifahrtspegel (L_{Roll|PW}) bei unterschiedlicher Bereifung

In *Abb. 6* sind die Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen von Standard Sommer- und Winterreifen gleicher Reifendimensionen (oben), von breiten Sommerreifen und schmalen Sommerreifen (Mitte), sowie von Standard Sommerreifen und lärmarmen Sommerreifen gleicher Dimensionen (unten) grafisch dargestellt.

Der Vergleich von Standard Sommer- und Winterreifen identischer Reifendimensionen zeigt, dass das Rollgeräusch für Sommerreifen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich deutlich unterhalb des Rollgeräusches für Winterreifen liegt. Für breite und schmale Sommerreifen konnten im Versuch kaum unterschiedliche Schallpegel gemessen werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen von Heutschi et al. (in Vorbereitung) [55], die zwar eine Korrelation zwischen Schallemissionspegel und Reifenbreite feststellen konnten, jedoch eine grosse Spannbreite der Geräuschemissionen bei gleicher Reifenbreite verzeichneten. Im unteren Diagramm zeigen die lärmarmen Sommerreifen bei gleichen Reifendimensionen ein geringfügig leiseres Rollgeräusch als Standard Sommerreifen.

Es ist anzunehmen, dass andere Parameter wie Alter, Kilometerleistung, Profil, Reifenlabel, Gummihärtigkeit etc. die Geräuschemission entscheidend mitbeeinflussen. Da im Zuge der Messkampagne nicht alle lärmrelevanten Reifenparameter erhoben werden konnten, ist die Auswertung des Reifeneinflusses auf das Rollgeräusch nur bedingt aussagekräftig. Es ist bekannt, dass bei alternden Reifen mit Gummihärtezunahmen und einer daraus resultierenden Zunahme der Geräuschemissionen zu rechnen ist (vgl. [56]).

Glossar

Begriff	Bedeutung
Beschleunigungsstil	Der Beschleunigungsstil ist durch das Schaltverhalten und die Verwendung des Gaspedals während des Beschleunigungsvorgangs charakterisiert. Es wird zwischen vorausblickendem, sportlichem und aggressivem Beschleunigungsstil unterschieden
Fahrverhalten	Überbegriff für die Fahrweise und den Beschleunigungsstil, welche bei der Bestimmung der Schallemissionen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich von besonderer Bedeutung sind
Fahrweise	Die Fahrweise beschreibt die Stetigkeit einer Vorbeifahrt. Konstante Fahrweise beschreibt das Fahrverhalten bei konstanter Geschwindigkeit; beschleunigende Fahrweise beschreibt das Fahrverhalten von Fahrzeugen im Beschleunigungsvorgang (mit Anhalten, unstetig)
Fahrzeugpark	Gesamtheit der betrachteten Fahrzeuge
Fahrzeugpark Testsample	Gesamtheit der Fahrzeuge, die im Rahmen der Datenerhebungen zum Emissionsan-satz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich untersucht wurden
Gangwahl	Zur Charakterisierung der konstanten Fahrweise wird zwischen den jeweiligen Getrie-begängen unterschieden (z.B. 1., 2., 3. Gang etc.)
Geschwindigkeits- verteilung	Definiert die Verteilungsfunktion der effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten, wie sie während den statistischen Erhebungen ermittelt wurden (siehe Abs. 3.2.1). Im Projekt wird sie mit der mittleren Geschwindigkeit v_{Q50} beschrieben. Generell wurde angenom-men, dass sich bei den modellierten Situationen mit abweichender effektiver Geschwin-digkeit nur die Lage der Geschwindigkeitsverteilung, nicht aber deren zonentypabhängi-ge Form ändert.
KZM	Kurzzeit- Lärmmessungen (durchgehende Messung während mindestens 30 min, emissionsnah oder immissionsseitig)
nachts	Definiert den Zeitraum zwischen 22:00 und 6:00 Uhr
Spitzenstunden	Definiert den Zeitraum zwischen 6:00 und 8:00 Uhr und zwischen 16:00 und 18:00 Uhr
tagsüber	Definiert den Zeitraum zwischen 8:00 und 16:00 Uhr und zwischen 18:00 und 22:00 Uhr
Tempo 30 Situationen	Überbegriff für Zonen und Strecken mit signalisierter Geschwindigkeit 30 km/h
Tempo 30 Strecke	Tempo 30 Situationen ohne begleitende Massnahmen und ohne Zonengestaltung (nur Geschwindigkeitssignalisation)
Tempo 30 Zone eng	Tempo 30 Situationen, welche mit begleitenden Massnahmen (z.B. Poller, Quer-, Verti-kalversatz), Zonengestaltung und Verengungen, die das Kreuzen von Fahrzeugen erschweren umgesetzt sind
Tempo 30 Zone übersichtlich	Tempo 30 Situationen, welche mit begleitenden Massnahmen und einer übersichtlichen Zonengestaltung umgesetzt sind die das Kreuzen von Fahrzeugen im Allgemeinen ermöglichen
Referenzsituation Tempo 50	Bezeichnet die Tempo 50 Situation in der Steinstrasse in Zürich und die dort erhobene Datengrundlage (Fahrweise, Beschleunigungsstil, Geschwindigkeitsverteilung).
Ausgangssituation	Bezeichnet die Situation im Ausgangszustand mit signalisiertem Tempo 50, d.h. vor der Umgestaltung in eine Tempo 30 Situation. Die Fahrweise und der Beschleunigungsstil werden durch die Referenzsituation Tempo 50 beschrieben. Die Form der Geschwindig-keitsverteilung wird ebenfalls von der Referenzsituation übernommen, jedoch bei einer mittleren Geschwindigkeit (v_{Q50}) von 50 km/h.
Zielsituation	Bezeichnet die Situation im Zielzustand mit signalisiertem Tempo 30, d.h. nach der Umgestaltung in eine Tempo 30 Situation. Fahrweise, Beschleunigungsstil und Ge-schwindigkeitsverteilung entsprechen einem der drei definierten Zonentypen. Die mittlere Geschwindigkeit (v_{Q50}) kann aber variiert werden.

Symbole und Abkürzungen

Symbol	Einheit / Quantität	Bedeutung
a_{Antr}		Modellkoeffizient a des Antriebsgeräuschmodells
a_{Roll}		Modellkoeffizient a des Rollgeräuschmodells
b_{Antr}		Modellkoeffizient b des Antriebsgeräuschmodells
b_{Roll}		Modellkoeffizient b des Rollgeräuschmodells
c_{Antr}		Modellkoeffizient c des Antriebsgeräuschmodells
$C_{\text{KorrCNOSSOS}}$		Konstanter Korrekturterm des Antriebsgeräuschmodelles für LKW zur Korrektur der Modellunterschätzung durch CNOSSOS
f	Hz	Terzband-Mittenfrequenz
f_{Oct}	Hz	Oktavband-Mittenfrequenz
Fz	1 .. 22	Fahrzeugnummer aus dem Fahrzeugpark der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich in Vauffelin
$Gang$	1 .. 4	Getriebegang
IQR		Interquartilsabstand
KB	dB(A)	Belagskennwert in Abweichung zum Emissionsmodell StL-86+
KB_{Misch}		Belagskennwert in Abweichung zum Emissionsmodell StL-86+ bei Mischverkehr und einem Schwerverkehrsanteil von 8%
L_{Antr}	dB(A)	A-bewerteter Antriebsgeräuschpegel
L_{Beschl}	dB(A)	A-bewerteter Gesamtgeräuschpegel für beschleunigte Vorbeifahrten
L_{Gesamt}	dB(A)	A-bewerteter Gesamtgeräuschpegel (beinhaltet Roll- und Antriebsgeräusch)
LKW		Lastwagen
L_{Roll}	dB(A)	A-bewerteter Rollgeräuschpegel
Mic	1 .. 10	Mikrofonposition während der Messkampagne zum Emissionsansatz im niedrigen Geschwindigkeitsbereich in Vauffelin
n		Die Anzahl aller, im jeweiligen Zusammenhang betrachteter Datenpunkte
PW		Personenwagen
r	m	Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger
v	km/h	Geschwindigkeit
v_{Q50}	km/h	Der Median der Geschwindigkeitsverteilung (Definition siehe Glossar), d.h. die Geschwindigkeit bei der 50% der Fahrzeuge verkehren
v_{Q85}	km/h	Das 85%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung, d.h. die Geschwindigkeit bei der 85% der Fahrzeuge verkehren
v_{ref}	km/h	Referenzgeschwindigkeit
$Zone$	1 .. 3	Tempo 30 Zonentyp

Literaturverzeichnis

Bundesgesetze

- [1] Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, "**Bundesgesetz über den Umweltschutz**", Umweltschutzgesetz (USG). 1983, p. 46.

Verordnungen

- [2] Der Schweizerische Bundesrat, "**Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV)**", SR 814.41, Schweiz, 1986.

Bundesbeschlüsse

- [3] Urteil (des Bundesgerichts) 1C_160/2012 vom 10. Dezember 2012, Sumvitg, "**Einführung einer Tempo 30 auf der Hauptstrasse gegen den Willen des Kantons aufgrund Verkehrssicherheit (kein Trottoir)**", 2012.
- [4] Urteil (des Bundesgerichts) 1C_45/2010 vom 9. September 2010, Zug, "**Pflicht, Tempo 30 im Rahmen einer Lärmsanierung zu prüfen**", 2010.
- [5] Urteil (des Bundesgerichts) 1C_17/2010 vom 8. September 2010, Münsingen, "**Tempo 30 ist auf verkehrsorientierten Durchgangsstrassen unter gewissen Umständen zulässig**", 2010.
- [6] Urteil (des Bundesgerichts) 1C_589/2014 vom 3. Februar 2016, Zug, "**Tempo 30 zur Lärmreduktion ist auch auf kantonalen Durchgangsstrassen zu prüfen**", 2016.
- [7] Urteil (des Verwaltungsgerichts des Kantons Bern) 100.2014.208U vom 23. Mai 2016, Belp, "**Anordnung eines Versuchs mit Tempo 30 auf der Kantonsstrasse**", 2016, pp. 1–8.

Weisungen und Richtlinien

- [17] ASTRA und BAFU, "Leitfaden Strassenlärm," 2006.
- [24] "**Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen - RLS-90**", in Allgemeine Rundschreiben Straßenbau Nr. 8, Bundesminister für Verkehr, 1990, p. 23.
- [52] Bundesamt für Strassen (ASTRA), "**Statistischer Atlas der Schweiz, Thema Mobilität und Verkehr**", 2014.

Normen

- [45] United Nations, "**UN Regulation No. 117**", 1995.
- [46] ISO/FDIS 11819-2:2016(E), "**Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method**", ISO TC 43/SC 1/WG 33, 2016
- [47] ISO/TS 11819-3:2016, "**Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 3: Reference tyres**", ISO TC 43/SC 1/WG 33, p. 31., 2016
- [50] EN ISO 11819-1:2002, "**Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method**", ISO TC 43/SC 1/WG 33, 2002

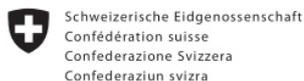
Dokumentation

- [8] R. H. Meier (KI Kt. AG), "**Fahrversuche zur Bestimmung der maximalen Lärmreduktion von Tempo 30**", in Konferenz der Kantonsingenieure (KIK).
- [9] Grolimund + Partner AG, "**Potential von Temporeduktionen innerorts als Lärmschutzmassnahme**", Stadt Zürich (UGZ) und Kanton Aargau (ATB), 2015.
- [10] K. Heutschi, A.-C. Favre, G. Thomann, J.-M. Wunderli, A. Schrade, und M. Brink, "**Tempo 30 als Lärmschutzmassnahme Grundlagenpapier zu Recht – Akustik – Wirkung**", Bern: Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung EKLB, 2015.
- [11] EMPA, "**Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm**", in Schriftenreihe Umwelt Nr. 60, Bern: Bundesamt für Umweltschutz, 1987, p. 47.
- [12] K. Heutschi, "**SonRoad - Berechnungsmodell für Strassenlärm**" in Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2004, p. 74.
- [13] R. Bayer, R. Schwarz, und M. Ströhle, "**Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen**", Bundesamt für Strassen, VSS, no. November, 2010.

-
- [14] A. Köpfli und T. Boss, "**T30-Versuch Kalchbühlstrasse, Stadt Zürich, Akustische Begleitmessungen**", Messbericht Grolimund + Partner AG, 2009.
-
- [15] T. Boss, "**Versuch Tempo 30 auf der Staufenbergstrasse in Niederlenz**", Zwischenbericht Grolimund + Partner AG, 2011.
-
- [16] Kanton Luzern, "**Schlussbericht Tempo 30 Zone Flecken Rothenburg**", Schlussbericht Pilotprojekt, Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement Luzern, 2016.
-
- [18] M. Brink, K. Wirth, R. Rometsch und C. Schierz, "**Lärmstudie 2000 Zusammenfassung.**", 2000
-
- [19] B. Obrist, M. Ringger und R. Schürmann, "**Lärmsanierung an der Quelle durch Tempo 30**", Fachhochschule Nordwestschweiz, 2013.
-
- [20] J. Quartieri, N. E. Mastorakis, G. Iannone, C. Guarnaccia, S. D'Ambrosio, A. Troisi, and T. Lenza, "**A Review of Traffic Noise Predictive Models**", 5th WSEAS Int. Conf. Appl. Theor. Mech., pp. 72–80, 2009.
-
- [21] C. Steele, "**A critical review of some traffic noise prediction models**", Appl. Acoust., vol. 62, no. 3, pp. 271–287, 2001.
-
- [22] C. Guarnaccia, T. Lenza, N. E. Mastorakis, and J. Quartieri, "**A Comparison between Traffic Noise Experimental Data and Predictive Models Results**", Int. J. Mech., vol. 5, no. 4, pp. 379–386, 2011.
-
- [23] S. Kephelopoulos, M. Paviotti, und Anfosso-Ledee, "**Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)**", 2012.
-
- [25] J. Kragh, "**User's Guide Nord2000 Road**", 2006.
-
- [26] H. Steven, "**Minderungspotenziale beim Straßenverkehrslärm**", in Lärmkongress, 2000.
-
- [27] W. Probst und B. Huber, "**Accuracy and precision in traffic noise prediction**", in Euro-Regio, 2010.
-
- [28] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, "**TNM Version 2.5 Addendum to Validation of FHWA's Traffic Noise Model® (TNM): Phase 1**", 2004.
-
- [29] U. Sandberg und J. A. Ejsmont, "**Tyre/road noise reference book**", 2002.
-
- [30] W. Schwanen, G. Van Blokland, und M. Van Leeuwen, "**Comparison of potential CPX-tyres - Variability within AVON AV4 and SRTT tyre type**", M+P - Consult. Eng. Rep. DWW.07.04.2, pp. 1–29, 2007.
-
- [31] U. Sandberg, "**Tyre/ road noise - Myths and realities**", Inter-noise 2001, no. 27–30, p. 22, 2001.
-
- [32] W. Heather, R. Sandy, und A. Richard, "**Managing speeds of traffic on European roads: non-accident external and internal effects of vehicle use and how these depend on speed**", in 9th International Conference on Road safety in Europe, 1998, vol. 1.
-
- [33] G. Van Blokland und B. Peeters, "**Modeling the noise emission of road vehicles and results of recent experiments**", Internoise, 2009.
-
- [34] J. van Dongen, "**Prevalence of acceleration at low speed (≤ 50 km/h) and driving at constant low speed (≤ 50 km/h) and the influence on community annoyance**", 2001.
-
- [35] E. Verheijen, "**SWUNG en het Reken- en Meetvoorschrift**", 2012.
-
- [36] W. Kockelke, "**Untersuchungen zum Fahrverhalten bei Rechts-vor-Links-Regelung in Tempo 30-Zonen**", Forschungsbericht der Bundesanstalt für Strassenwesen, no. 236, 1991.
-
- [37] E. van Blokland, G.J., Kuijpers, A., Gerritsen, "**Twee-laags ZOAB, handleiding voor wegbeheerders**", CROW publication No. 161, 2001.
-
- [38] H. Steven und J. Richard, "**Laermminderung in Wohnstrassen - Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf Fahrverhalten, Gerauschemission, Abgasemission und Kraftstoffverbrauch**", Umweltbundesamt, Texte, Nr. 13, 1991.
-
- [39] A. Doeldissen, "**Veränderung von Lärm und Abgasen durch die flächenhafte Einführung von Tempo 30-das Beispiel Buxtehude**", Gemeinde-Stadt-Land, Nr. 11, 1985.
-
- [40] B. Spessert und B. Kühn, "**Vergleichende messtechnische Untersuchungen zum Einfluss einer nächtlichen Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h auf 30 km/h auf die Lärmimmissionen durch den Strassenverkehr**", 2010.
-
- [41] S. Nozon und H. Mazur, "**Lärmreduzierung auf innerstädtischen Hauptverkehrsstrassen - Auswertung eines Modellversuches im Rahmen der Rostocker Lärmreduzierungsplanung**", Strassenverkehrstechnik, vol. 47, no. 7, 2003.
-
- [42] K. Wirth, M. Brink, und C. Schierz, "**Lärmstudie 2000. Schlussbericht zur 2. Befragungsstudie vom August 2003**", 2006.
-

-
- [43] W. Bartolomaeus, “**Lärmindernde Straßenoberflächen innerorts eine Bestandsaufnahme**”, vol. 4, no. 6, pp. 250–253, 2009.
-
- [44] L. Goubert, G. Descornet, H. Bendtsen, E. Nielsen, J. Kragh, und J. D. Visscher, “**Performance management of low noise pavements, a decision support guide - Technical report**”, Ausgabe November 2007, p. 301, 2007.
-
- [48] S. Egger, E. Hammer, J. Schaffer, und E. Bühlmann, “**Statistische Erhebungen zum Fahrverhalten mit Fokus Tempo 30**”, Stadt Zürich, 2016.
-
- [49] H. Ono und Y. Shirahashi, “**Vehicle/Road Sound**”, 2015.
-
- [51] Bundesamt für Statistik (BFS), “**Strassenfahrzeuge im Januar 2016: Neue Inverkehrsetzungen**”, 2016.
-
- [53] D. Haefeli, “**Schweizer Fahrzeugmarkt 2015**”, p. 28, 2012.
-
- [54] E. Heinrichs, F. Kumsteller, S. Rath, P. Seidel, und S. Gurok, “**Lärmbilanz 2015, Wissenschaftlich-technische Unterstützung bei der Datenberichterstattung zur Lärmaktionsplanung**”, 2016.
-
- [55] K. Heutschi, E. Bühlmann, und J. Oertli, “**Options for reducing noise from roads and railway lines**”, pp. 1–14, 2016.
-
- [56] E. Bühlmann, S. Schulze, und T. Ziegler, “**Ageing of the new CPX reference tyres during a measurement season**”, in Proc. Inter-noise, 2013, pp. 1–8.
-

Projektabschluss



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: 20.09.2016/2.11.2016

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2012/214

Projekttitel: Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30

Enddatum: 30.09.2016

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

- Wesentliche Lärmreduktionen durch Tempo 30 möglich. Die Forschungsarbeit zeigt, dass Temporeduktionen in vielen Fällen eine zielführende Massnahme zur Reduktion der Lärmemissionen an der Quelle darstellen. Bei Tempo 30 anstelle von 50 km/h lassen sich je nach effektiv gefahrener Geschwindigkeit, Lastwagenanteil und Strassenbelag Reduktionen der Lärmpegel (Leq) von zwischen ca. 2 dB und 4.5 dB erzielen.
- Verbesserte Zuverlässigkeit Abschätzung Lärmwirkung. Mit der im vorliegenden Projekt spezifisch für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich entwickelten Quellenformulierung kann die Lärmwirkung von Tempo 30 aufgrund der Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugparks, des Fahrverhaltens und des Zonentyps mit grösserer Zuverlässigkeit abgeschätzt werden als dies mit bisher zur Verfügung stehenden Modellen möglich war.
- Berücksichtigung des aktuellen Fahrzeugparks von zentraler Bedeutung. Aufgrund rezenter Entwicklungen in der Fahrzeugindustrie zu leiseren Motoren und schwereren Fahrzeugen kommt es zu deutlichen Verlagerungen der Hauptlärmquellen hin zu leiseren Antriebsgeräuschen und lauterem Rollgeräuschen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass sich dieses Phänomen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich besonders stark auswirkt. Der Übergangsbereich, bei dem das Rollgeräusch das Antriebsgeräusch überwiegt, hat sich zu tieferen Geschwindigkeiten hin verschoben.
- Berücksichtigung des Fahrverhaltens essentiell. In Tempo 30 Situationen kann das Fahrverhalten deutlich von demjenigen in Tempo 50 Situationen abweichen, was entsprechend wesentliche Auswirkungen auf die Schallemissionen hat.
- In den drei untersuchten Tempo 30 Zonentypen (Zone eng mit vielen Massnahmen, Zone übersichtlich mit wenig Massnahmen und Strecke ohne begleitende Massnahmen) fällt die Lärmwirkung unterschiedlich aus.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

- Die im Forschungsprojekt angestrebten Zielaussagen konnten vollumfänglich umgesetzt werden:
- + Die getrennte Erhebung von Roll- und Antriebsgeräuschen für eine möglichst breite Auswahl von repräsentativen Fahrzeugtypen, Antriebsarten und Bereifungen mit Fokus auf Personenwagen
 - + Die Ermittlung eines Emissionsansatzes für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich bei konstanter Geschwindigkeit und unterschiedlicher Gangwahl / Motorendrehzahl für Personenwagen
 - + Die Ermittlung eines Emissionsansatzes für unterschiedliches Fahrverhalten
 - + Zur Grobabschätzung des Einflusses von Lastwagen auf die Lärmwirkung von Tempo 30 wurde ein Emissionsansatz für Lastwagen aus dem europäischen Emissionsmodell CNOSSOS integriert
 - + Die Erhebung des statistischen Fahrverhaltens an bereits realisierten Tempo 30 Situationen
 - + Das Eruiere der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Lärmwirkung von Tempo 30
 - + Das Zusammenführen der statistischen Erhebungen des Fahrverhaltens mit den ermittelten Emissionsansätzen in einer Quellenformulierung
 - + Die Validierung des Quellenansatzes anhand unabhängiger Messdaten

Folgerungen und Empfehlungen:

- Effektive Geschwindigkeit**
- Die durch Tempo 30 effektiv erreichte Geschwindigkeitsreduktion (die Differenz zwischen den effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten in der Ausgangssituation und der Zielsituation) bildet eine wesentliche Einflussgrösse bezüglich der Lärmwirkung von Tempo 30. Geschwindigkeitsreduktionen von 10 km/h erzielen bereits Wirkung.
 - Langsamer ist nicht immer leiser. Tiefere Geschwindigkeiten unterhalb ca. 25 km/h führen nicht immer zu weiteren Lärmreduktionen, insbesondere wenn die getroffenen Massnahmen zu unstetiger Fahrweise sowie zum Fahren in kleineren Gängen führen.
- LKW-Anteil**
- Die vorliegende Forschungsarbeit zeigt, dass der LKW-Anteil einer Strasse eine wichtige Einflussgrösse darstellt. Die akustische Wirkung von Tempo 30 nimmt mit steigendem LKW-Anteil deutlich ab.
 - Bei LKW-Anteilen von mehr als 15% ist nur noch mit einer geringen akustischen Wirksamkeit von Tempo 30 zu rechnen.
 - Unsicherheiten bei höheren LKW-Anteilen und lauten Fahrzeugen (N2). Im vorliegenden Projekt wurden die Emissionen von Lastwagen und lauten Fahrzeugen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich nicht spezifisch untersucht und lediglich mittels eines existierenden Modells (CNOSSOS) berücksichtigt. Aufgrund dieser Lücke ist bei der Abschätzung der Lärmwirkung von Tempo 30 auf Strassen mit hohen Anteilen von LKW und lauten Fahrzeugen Vorsicht geboten.
- Akustische Beschaffenheit der Strassenbeläge**
- Laute Beläge machen Tempo 30 effektiver. Die akustische Beschaffenheit des Strassenbelages hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lärmwirkung von Tempo 30. Grundsätzlich gilt: Je lauter ein Strassenbelag ist bzw. je stärker er zur Entstehung von Rollgeräuschen beiträgt, desto grösser ist die potentielle Lärmreduktion durch Tempo 30.
 - Lärmarme Beläge mit Tempo 30 als Lärmschutzmassnahme kombinierbar. Erwartungsgemäss fällt die Wirkung lärmarmen Strassenbeläge bei Tempo 30 im Vergleich zu 50 km/h geringer aus. In vielen Fällen beträgt die zusätzliche Wirkung von lärmarmen Strassenbelägen bei Tempo 30 etwa 50% von der Belagwirkung bei 50 km/h, kann aber situationsabhängig zwischen ca. 20 und 70% variieren. In Abhängigkeit des Belagkennwerts des lärmarmen Belags kann bei Tempo 30 mit zusätzlichen Wirkungen von bis zu -2 dB gerechnet werden. Entsprechend kann eine Kombination der Lärmschutzmassnahme Tempo 30 mit dem Einsatz von lärmarmen Belägen situativ als zielführend betrachtet werden. Bei tiefen LKW-Anteilen ist eine höhere Wirksamkeit der Strassenbeläge zu erwarten.

Publikationen:

Neben der Publikation des Forschungsberichts in der Mobilityplattform werden Beiträge für internationale Konferenzen sowie ein Artikel in den Zeitschriften "Strasse und Verkehr" und SVI-Zeitschrift Strassenverkehrstechnik angestrebt.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Ziegler Vorname: Toni
Amt, Firma, Institut: VR-Präsident, Grolimund + Partner AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

sign. Toni Ziegler

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Das zentrale Ziel der Forschungsarbeit, nämlich aktuelle Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30 auszuarbeiten, gilt als erreicht. Allerdings gibt es auch Unsicherheiten so z.B. beim Einfluss von Lastwagen, Motorrädern, Bussen und Traktoren (N2-Anteil). Dazu konnte eine umfassende Validierung der Quellenformulierung aus Kosten Gründen nicht vorgenommen werden. Die ausgewiesenen Lärmwirkungen gelten auf ebener Strecke und bei geringen LKW-Anteilen und Steigungen bis 6%. Bei den Strassenbelägen gelten die ausgewiesenen Lärmwirkungen für Tempo 30 für einen akustisch neutralen Strassenbelag (z.B. neuerer AC 11). Bei Strassenbelägen mit abweichenden akustischen Eigenschaften kann die Lärmwirkung massgeblich anders ausfallen.

Umsetzung:

Das im Forschungsbericht entwickelte Modell hat einen Stand erreicht, so dass dieses durch die EMPA nach programmiert werden und in Lärmberechnungsmodellen für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich implementiert werden kann.

weitergehender Forschungsbedarf:

Das BAFU sichert für weitergehende Validierungsmessungen für schwere Fahrzeuge und Motorräder finanzielle Mittel zu. Dadurch soll die Prognosequalität weiter geprüft und die Akzeptanz des Modells gesteigert werden. Der Auftrag soll wiederum unter dem Patronat des VSS mit denselben Begleitkommissionsmitgliedern und Grolimund & Partner AG bearbeitet werden. Die Umsetzung von Tempo 30 und die Auswirkungen von Massnahmen auf die effektive Geschwindigkeit waren nicht Teil der vorliegenden Arbeit. Dazu sind ergänzende Forschungsarbeiten nötig.

Einfluss auf Normenwerk:

Keinen.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Stern Vorname: Thomas

Amt, Firma, Institut: Tiefbauamt des Kantons Bern

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

sign. Thomas Stern

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.