



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

Lärmimmissionen bei Knoten und Kreiseln

Immissions de bruit près de carrefours et giratoires

Noise immissions near crossroads and roundabouts

BBS Ingenieure AG, Winterthur
Martin Stauber, dipl. Kulturing. ETH SIA
Sibylle Näf, dipl. Umwelting. ETH SIA

Grolimund + Partner AG, Bern / Aarau
Erik Bühlmann, MSc Geographie
Stéphanie Conrad, MSc Geographie
Toni Ziegler, dipl. Umwelting. ETH SIA

**Forschungsprojekt VSS 2009/201 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

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

Lärmimmissionen bei Knoten und Kreiseln

Immissions de bruit près de carrefours et giratoires

Noise immissions near crossroads and roundabouts

BBS Ingenieure AG, Winterthur
Martin Stauber, dipl. Kulturing. ETH SIA
Sibylle Näf, dipl. Umwelting. ETH SIA

Grolimund + Partner AG, Bern / Aarau
Erik Bühlmann, MSc Geographie
Stéphanie Conrad, MSc Geographie
Toni Ziegler, dipl. Umwelting. ETH SIA

**Forschungsprojekt VSS 2009/201 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Martin Stauber, dipl. Kulturing. ETH SIA

Toni Ziegler, dipl. Umwelting. ETH SIA

Mitglieder

Erik Bühlmann, MSc Geographie

Stéphanie Conrad, MSc Geographie

Sibylle Näf, dipl. Umwelting. ETH SIA

Unterstützung Messungen

Ruedi Süss (†), Ing. HTL, Freifeldlärmmessungen

Federführende Fachkommission

Fachkommission FK 2: Projektierung

Begleitkommission

Forschungs- und Normierungskommission FNK 2.09: Lärmschutz

Präsident

Markus Weber, Basler & Hofmann

Mitglieder

Maria Balmer, Bundesamt für Strassen ASTRA

Kurt Heutschi, EMPA

Frank Larghi, Anliker AG

Didier Racine, Service de l'environnement NE

Irène Schlachter, Bundesamt für Umwelt BAFU

Thomas Stern, Tiefbauamt BE

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	9
	Summary	11
1	Einleitung	13
1.1	Ausgangslage	13
1.2	Forschungsauftrag	13
1.2.1	Forschungskonzept	13
1.2.2	Vorgehen und Arbeitsphasen	14
1.2.3	Umsetzung und Anwendung	15
2	Grundlagen	17
2.1	Knoten und Kreisel in der Akustik	17
2.1.1	Definition	17
2.1.2	Akustische Einflussgrössen	17
2.2	Literatur: Internationale Forschung und Vollzugspraxis	19
2.2.1	Schweiz	19
2.2.2	Deutschland	19
2.2.3	Frankreich	20
2.2.4	Grossbritannien	20
2.2.5	Dänemark	20
2.2.6	Schlussfolgerungen	20
2.3	Mess- und Berechnungsdaten aus der Schweiz	21
2.3.1	Standorte mit Messungen und Berechnungen	21
2.3.2	Standorte mit Messungen	22
2.3.3	Standorte mit Berechnungen	23
2.3.4	Schlussfolgerungen	23
3	Methodik	25
3.1	Übersicht über das methodische Vorgehen	25
3.2	Datenerhebung	26
3.2.1	Messkonzept	26
3.2.2	Auswahl der Knoten und Kreisel	27
3.3	Auswertungskonzept	28
3.3.1	Aufbereitung der Messdaten	28
3.3.2	Auswertung der Messdaten	29
3.4	Evaluation der Modellierungsansätze	29
3.5	Statistische Ermittlung Einflussgrössen	31
4	Ergebnisse und Diskussion	33
4.1	Modellierungsansatz	33
4.1.1	Differenz Messung-Berechnung	33
4.1.2	Bewertung der Modellierungsansätze	34
4.1.3	Auswahl des Basismodellierungsansatzes	34
4.2	Pegelveränderungen im Vergleich zur freien Strecke	35
4.3	Vergleich Messung - Modellberechnung	37
4.3.1	Abweichungen Messung - Modellberechnung	37
4.3.2	Prognosegenauigkeit	38
4.4	Vergleich Knoten- und Kreiselsituationen mit Basismodellierungsansatz	38
4.5	Tendenzen der Einflussfaktoren	39
4.5.1	Strassenbelag	40
4.5.2	Geschwindigkeit	41
4.5.3	Fussgängerstreifen	42
4.5.4	Veränderung Prognosegenauigkeit unter Berücksichtigung Einflussfaktoren	42
4.6	Fehlerquellen	43

5	Schlussfolgerungen	45
5.1	Einfluss von Knoten und Kreisel auf die Lärmpegel.....	45
5.2	Fazit.....	47
5.3	Weiterer Forschungsbedarf.....	47
	Anhänge	49
	Abkürzungen	67
	Literaturverzeichnis	69
	Projektabschluss	71
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	75

Zusammenfassung

Die Lärmimmissionen von Strassen setzen sich zusammen aus den Immissionen der freien Strecken und den Immissionen der Knoten- und Kreiselnbereiche. Für freie Strecken mit gleichmässiger Geschwindigkeit und freiem Verkehrsfluss liegen erprobte Emissionsmodelle vor, die laufend angewendet und validiert werden. Momentan fehlen jedoch Grundlagen für eine präzise und spezifische Abschätzung der Lärmbelastung im Bereich von Knoten und Kreiseln. Für eine höhere Genauigkeit von Lärmprognosen im Innerortsbereich sind solche Kenntnisse von grosser Bedeutung.

In der vorliegenden Forschung wurde eine möglichst umfassende Datenbasis zu den Auswirkungen von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel erarbeitet. Neben einer internationalen Literaturstudie sowie einer Zusammenstellung der bei Kantonen und Gemeinden vorhandenen Ergebnisse aus Fallstudien, wurden im Nahbereich von Knoten und Kreiseln an insgesamt 80 Empfangspunkten quellennahe Lärmmessungen durchgeführt. Im Fokus des adaptierten Mess- und Auswertkonzeptes standen systematische Vergleiche zwischen knoten- bzw. kreiselnahen Messpunkten mit Standorten entlang der freien Strecke mit Hilfe von Simultanmessungen bei gleichem Verkehr. Des Weiteren wurden verschiedene einfache Modellansätze bezüglich ihrer Prognosegenauigkeit für Knoten- und Kreiselsituationen getestet. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Basismodellierungsansatz. Folgender Basismodellierungsansatz führt zur höchsten Prognosegenauigkeit, bildet den Gesamteinfluss von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel am besten ab und soll für zukünftige Berechnungen angewendet werden:

- Knoten: Modellansatz V1 (1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit auf Anschlüssen)
- Kreiseln: Modellansatz V3 (1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit, 30 km/h auf Kreiselfahrbahn und auf Anschlüssen innerhalb 50 m Abstand zum Kreiselmittelpunkt)

Mit dem Basismodellierungsansatz wird über sämtliche Messpunkte bei Knoten eine Prognosegenauigkeit von 38% und bei Kreiseln von 52% erreicht (Toleranz ± 1 dBA).

Lärmpegelveränderungen im Vergleich zur freien Strecke. Im Nahbereich (Abstand ca. 25 m zu Anlagemitte) von Knoten ist im Vergleich zur freien Strecke im Mittel mit einer Pegelveränderung +0.5 dBA zu rechnen. Im Nahbereich von Kreiseln beträgt diese zwischen 0 dBA (Ausfahrbereich) bis -1 dBA (Einfahrbereich).

Immissionsseitige Korrekturen. Werden diese Pegelveränderungen als immissionsseitige Korrekturen angewendet, kann die Prognosegenauigkeit bei Kreiseln bei allen Messpositionen um ca. 15 % auf insgesamt über 56% gesteigert werden. Bei Knoten hingegen ist im Nahbereich nur im Einfahrbereich eine Verbesserung der Prognosegenauigkeit um rund 15% zu verzeichnen. Im Ausfahrbereich hingegen resultiert keine eindeutige Veränderung der Prognosegenauigkeit.

Einflussgrössen. Aufgrund zahlreichen Einflussgrössen stand bei der vorliegenden Forschung die Erhebung des Gesamteinflusses von Knoten und Kreiseln im Vordergrund. Für die während der Messkampagne flächendeckend erhobenen Einflussgrössen konnte jedoch der statistische Einfluss auf die Lärmpegel ermittelt werden.

- Strassenbelag: Das Ausmass des statistischen Einflusses des Strassenbelages unterstreicht dessen Wichtigkeit auch in Bezug auf die Lärmemissionen bei Knoten- und Kreiselsituationen. Dies ist insbesondere deshalb bemerkenswert, da aufgrund anderer Einflüsse der relative Beitrag der Antriebsgeräusche zunimmt. Allerdings scheinen die Rollgeräusche im Mittel auch bei knoten- und kreiselnahen Messpunkten vorzuherrschen.
- Fahrgeschwindigkeit: In Bezug auf die Fahrgeschwindigkeit konnte kein statistischer Einfluss nachgewiesen werden.
- Fussgängerstreifen: Bei Messpunkten in der Nähe eines Fussgängerstreifens fallen die Lärmpegel im Mittel ca. 1 dBA leiser aus als bei solchen ohne Fussgängerstreifen.

Résumé

Les immissions de bruit routier comprennent les émissions des voies courantes et les émissions aux carrefours et aux giratoires. Pour les voies courantes avec une vitesse de circulation régulière et un flux de trafic constants, des modèles d'émissions expérimentés existent, lesquels sont constamment appliqués et validés. Pour une estimation de bruit précise et spécifique à proximité des carrefours et giratoires, l'information de base est toutefois toujours manquante. Pour augmenter la précision de l'estimation du bruit dans les zones urbaines, une telle connaissance est d'une grande importance.

Dans la présente étude, une base de données expérimentale aussi complète que possible sur les implications du bruit de carrefours et giratoires est recueillie et évaluée. Outre une étude littéraire internationale ainsi qu'un résumé établi à partir d'études de cas des cantons et communes, des mesures de bruit sur 80 positions de réception à proximité de carrefours et de giratoires ont été entreprises. Le concept de mesure adapté avec des mesures simultanées permet de comparer des niveaux de bruit à des positions de mesure à proximité des carrefours et giratoires avec ceux des voies courantes. En outre, différentes approches de modélisation ont été testées en respectant la précision de l'estimation aux carrefours et aux giratoires. Les principaux résultats peuvent être résumés comme suit:

Principale approche de modélisation. L'approche de modélisation suivante produit la précision de l'estimation la plus élevée, représente le mieux l'influence globale des carrefours et des giratoires sur les niveaux de bruit et devrait être utilisée pour les calculs:

- carrefours: approche du modèle V1 (1 axe, vitesse signalisée sur les connecteurs)
- giratoires: approche du modèle V3 (1 axe, vitesse signalisée, et 30 km/h sur la chaussée du giratoire et sur les connecteurs à moins de 50 m de distance du centre)

Avec l'approche de modélisation principale, on obtient une précision de l'estimation de 38% pour les carrefours et de 52% pour les giratoires (tolérance ± 1 dB).

Changements de niveau de bruit par rapport aux voies courantes. Sur une distance d'environ 25 m des carrefours, une augmentation moyenne du niveau de bruit de 0,5 dB est à prévoir par rapport aux voies courantes avec un flux de trafic constant. À proximité des giratoires, les niveaux de bruit changent entre 0 dBA (zone de sortie) et -1 dBA (zone d'entrée).

Correction d'immission. Si ces changements de niveau de bruit sont appliqués comme termes de correction, la précision de l'estimation aux giratoires peut être augmentée d'environ 15% à plus de 56% pour toutes les positions de mesure. La précision de l'estimation pour les carrefours peut être augmentée de 15% dans la zone d'entrée. Dans la zone de sortie, aucune amélioration significative de la précision de l'estimation n'est obtenue.

Les paramètres d'influence. En raison du grand nombre de paramètres d'influence, la présente étude est focalisée sur l'influence globale des carrefours et giratoires sur les niveaux de bruit. Néanmoins, l'effet statistique sur le niveau de bruit peut être déterminé pour un nombre limité de paramètres recueillis au cours de la campagne de mesures.

- Revêtement: l'étendue significative de l'influence statistique de la chaussée souligne son importance par rapport aux émissions sonores même aux carrefours et aux giratoires. Ceci est particulièrement remarquable car d'autres paramètres d'influence conduisent à une plus grande contribution du bruit de propulsion dans de telles situations. Néanmoins, les bruits des pneumatiques semblent ainsi l'emporter également à la proximité des carrefours et giratoires.
- Vitesse: Concernant la vitesse de conduite, aucune influence statistique n'a pu être détectée.
- Passages piétons: Dans les situations où la position de mesure était à proximité d'un passage piéton, les niveaux de bruit étaient en moyenne 1 dBA inférieurs à ceux sans passage piéton.

Summary

Roads noise immissions consist of emissions from street sections together with the emissions at crossroads and roundabouts. For street sections, with free flowing traffic and uniform speeds, proven emission models exist, which are constantly applied and validated. For accurate and specific noise prediction in the vicinity of crossroads and roundabouts, however, basic information is still missing. To increase accuracy of noise prediction in urban areas, such knowledge is of great importance.

In the present study a comprehensive pool of experimental data on the noise implications of crossroads and roundabouts is gathered and evaluated. In addition to a review of international literature on the topic as well as a collection and evaluation of existing experimental data from case studies in cantons and communities, noise measurements at 80 receiver positions in the vicinity of crossroads and roundabouts were made. The adapted measurement scheme with simultaneous measurements allowed systematic comparisons of noise levels at measurement positions close to crossroads and roundabouts with those at the street section under free flowing traffic. Furthermore, various straightforward modelling approaches were tested with regard to their prediction accuracy at crossroads and roundabouts. The main results can be summarised as follows:

Main modelling approach. The following modelling approaches lead to the highest prediction accuracy, best represented the overall influence of crossroads and roundabouts on the noise levels and should be used for calculations:

- crossroads: V1 model approach (1 axis, signalled speed on the connectors)
- roundabouts: Model approach V3 (1 axis, signalled speed, 30 km/h on the roundabout roadway and on the roundabout connectors within 50 m distance from the centre)

With the main modelling approach, prediction accuracy of 38% for crossroads and of 52% for roundabouts was obtained (tolerance ± 1 dBA).

Noise level changes in comparison to free flowing traffic. Within a distance of approximately 25 m to crossroads, an average noise level increase of +0.5 dBA is expected compared to street sections under free flowing traffic. In the vicinity of roundabouts the noise levels change by between 0 dBA (exit area) and -1 dBA (entry area).

Immission corrections. If these noise level changes are applied as correction-terms, the prediction accuracy at roundabouts can be increased by about 15% to more than 56% for all measurement positions. At crossroads the prediction accuracy can be increased by 15% in the entry area. In the exit area no significant improvement of the prediction accuracy was obtained.

Influencing parameters. Due to the large number of influencing parameters, the present study focused on the overall influence of crossroads and roundabouts on noise levels. Nonetheless, the statistic effect on the noise levels could be determined for a limited number of influencing parameters collected during the measurement campaign.

- Road surface: The extent of the statistical influence of the road surface highlights its importance in respect to the noise emissions at crossroads and roundabouts. This is particularly remarkable because other influencing parameters lead to a larger contribution of propulsion noise in such situations. Nevertheless, tyre/road noise seems to dominate in the vicinity of crossroads and roundabouts.
- Driving speed: With respect to the driving speed, no statistical influence could be detected.
- Pedestrian crossings: In situations where the measurement position was close to a pedestrian crossing, the noise levels were on average 1 dBA lower than those without a pedestrian crossing.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Lärmimmissionen von Strassen setzen sich zusammen aus den Immissionen der freien Strecken und den Immissionen der Knoten- und Kreiselbereiche. Für freie Strecken mit gleichmässiger Geschwindigkeit und freiem Verkehrsfluss liegen erprobte Emissionsmodelle vor, die laufend angewendet und validiert werden. Für Knoten- und Kreiselbereiche aber gibt es keine differenzierten Ansätze zur Berechnung der Emissionen und Immissionen. Dadurch sind keine spezifischen Aussagen in deren Nähe möglich. Dies wäre aber wichtig, da Knoten und Kreisel innerorts sehr häufig vorkommen und gerade beim Ersatz von mehrarmigen Knoten durch Kreisel häufig die Frage nach der Veränderung der Lärmimmissionen gestellt wird.

Im Leitfaden Strassenlärm von BAFU/ASTRA [9] wird bei Berechnungen mit Zuschlägen für den Knotenbereich von bis zu 2 dBA) gerechnet. Dieser Zuschlag bezieht sich nicht auf die Lärmpegelveränderungen in Knotennähe, sondern soll die subjektive Störwirkung berücksichtigen. Breit abgestützte und allgemein gültige Grundlagen zur Abschätzung des Einflusses von Knoten auf die Lärmpegel sind keine vorhanden.

Bei Kreiseln ist gemäss Leitfaden Strassenlärm eine Reduktion der im Modell eingesetzten Fahrgeschwindigkeit zulässig. Zudem dürfen im nahen Umfeld der Anlage aufgrund von einer Verstetigung des Verkehrsflusses Lärmreduktionen von 1 bis 2 dBA angewendet werden. Diese im Leitfaden Strassenlärm empfohlene Handhabung ist nicht genügend abgestützt und muss überprüft werden.

Aufgrund mangelnder Datenbasis wird derzeit bei der Berechnung der Immissionen im Bereich von Knoten und Kreiseln in der Regel davon ausgegangen, dass die Emissionen gegenüber der freien Strecke unverändert sind und dass die zusätzlichen Brems- und Antriebsgeräusche durch Geräuschabnahmen infolge tieferer Geschwindigkeiten kompensiert werden. Aus den bisherigen Erfahrungen aus Fallstudien muss aber davon ausgegangen werden, dass anlage- und situationsabhängig im Vergleich zur freien Strecke erhebliche Unterschiede in den Immissionen bestehen. Momentan fehlen Grundlagen für eine präzise und spezifische Abschätzung der Lärmbelastung im Bereich von Knoten und Kreiseln. Für die Verbesserung der Genauigkeit von Lärmprognosen im Innerortsbereich sind solche Kenntnisse von grosser Bedeutung.

1.2 Forschungsauftrag

1.2.1 Forschungskonzept

Das Hauptziel dieser Studie ist, eine möglichst umfassende und breit abgestützte Datenbasis zu den Auswirkungen von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel zu erarbeiten. Daraus werden spezifische Empfehlungen für die Handhabung von Knoten- und Kreisel-situationen in der Praxis formuliert. Die Forschung soll mittels einer möglichst grossen Anzahl von Messungen und einem adaptierten Messkonzept aussagekräftige Aussagen über die Veränderung der Lärmpegel bei Knoten und Kreiseln geben. Im Fokus stehen dabei systematische Vergleiche zwischen knoten- bzw. kreiselnahen Messpunkten mit Standorten entlang der freien Strecke mit Hilfe von Simultanmessungen bei gleichem Verkehr. Um eine möglichst breite Abstützung der Erkenntnisse zu gewährleisten, werden zusätzlich bei Kantonen und Gemeinden vorhandene Ergebnisse aus Fallstudien zusammengetragen und ausgewertet. Die Ergebnisse werden mit Recherchen zu Erfahrungen im Ausland vervollständigt. Die Ergebnisse sind in einen Berechnungsansatz zu überführen, welcher mit bestehenden Berechnungsmodellen in der Praxis umgesetzt werden kann. Dabei steht die Ermittlung von Zuschlägen im Sinne von Modellkorrekturen mit Bezug auf die Lärmpegel im Vordergrund. Nicht Bestandteil dieser Arbeit ist das Ermitteln von Lästigkeitsaspekten sowie das Bestimmen von Störzuschlägen.

1.2.2 Vorgehen und Arbeitsphasen

Phase 1: Literaturlauswertung

Die Literaturrecherche mit Kontaktaufnahme zu anderen Forschungsstellen, sowie die Sichtung von im In- und Ausland vorhandenen Fallstudien dienen dazu, eine Bestandesaufnahme des momentanen Kenntnisstandes zu erstellen. Es ist zu recherchieren, ob im Ausland validierte Modellansätze oder Daten grösserer Messkampagnen vorhanden sind.

Die Bestandesaufnahme soll dazu dienen, Bedürfnisse für die eigene Messkampagne abzuleiten und damit sicherzustellen, dass die eigenen Messungen die vorhandenen Daten optimal ergänzen. Zudem soll untersucht werden, inwiefern ausländische Resultate auf Schweizer Verhältnisse übertragen werden können.

Phase 2: Auswertung der vorhandenen Messungen

Da in der Schweiz keine systematischen Untersuchungen auf diesem Gebiet vorliegen, sollen die bei den Kantonen und Gemeinden vorhandenen Fallstudien zusammengetragen und ausgewertet werden. Bei Fallstudien (z.B. Vergleich von Vorher- und Nachhermessungen anlässlich eines Umbaus von einem Knoten in einen Kreisel) ergibt sich die Problematik, dass mehrere dieser Parameter gleichzeitig ändern: Gefahrene Geschwindigkeiten, Geometrie der Fahrbahnen und damit Abstand zum Empfangspunkt, allenfalls anderer Strassenbelag, anderes Verkehrsregime (Vortrittsregelung) andere Betriebszustände (fliessender oder stockender Verkehr, sonstige Änderungen des Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer). Die Ergebnisse einer einzelnen Fallstudie liefern daher kaum verallgemeinerbare Erkenntnisse. Es soll jedoch eine globale Auswertung sämtlicher Fallstudien erstellt werden, welche zur Überprüfung von Trends, die sich aus der eigenen Messkampagne ergeben, beigezogen werden kann.

Phase 3: Datenerhebung

In einem Messkonzept wird zunächst festgelegt, welche Parameter an den Knoten und Kreiseln zu erheben sind, wie viele Messungen pro Knoten notwendig sind, wo und mit welcher Methodik zu messen ist. Es wird auch geprüft, welche weiteren Daten (z.B. Verkehrsaufkommen, Verkehrstypisierung, Verkehrsfluss, Geschwindigkeit) neben den Lärmpegeln zu bestimmen sind. Diese Festlegungen werden in einem Pflichtenheft für die Messungen zusammengestellt. Aufgrund der grossen Anzahl von Einflussgrössen (z.B. bezüglich Fahrgeschwindigkeit, Fahrverhalten, stehende Fahrzeuge, Strassenbelag, Quellenlage, Abschirmungen, situationsspezifische Einflüsse) steht eine Erhebung des Gesamteinflusses von Knoten und Kreiseln im Vordergrund, bei welcher die Einflussgrössen nicht im Einzelnen sondern in der Summe betrachtet werden.

Phase 4: Auswertung und Synthese

Die Daten aus der Messkampagne werden aufbereitet, die Lärmpegel der knoten- und kreiselnahen Messpunkte mit denjenigen der freien Strecke (bei freiem Verkehrsfluss) verglichen. Bei der Auswertung der Daten soll ein möglichst geringer Normalisierungsgrad angewendet werden um eine Kontaminierung der Messdaten modellbezogenen Fehlern soweit möglich zu verhindern. Die Aussagekraft und Allgemeingültigkeit der Schlussfolgerungen wird durch Beiziehen der Ergebnisse aus den vorhandenen Fallstudien der Kantone und Gemeinden gesteigert.

1.2.3 Umsetzung und Anwendung

Die Resultate der Untersuchungen dienen als Grundlage für eine Ergänzung der heute verwendeten Berechnungsansätze und sollen auch in den BAFU-Leitfaden und in die Dokumente des Cercle Bruit einfließen.

Nutznieser der Forschungsergebnisse sind die Anwender der Berechnungsmodelle (Ingenieurbüros usw.) sowie die Behörden, welche im Rahmen von UVP- und Baubewilligungs-Verfahren Lärmimmissionen beurteilen müssen.

Relevanz bezüglich Sicherheit: keine.

Relevanz bezüglich Nachhaltigkeit: Präzisere Grundlagen für die Planung von Lärm-schutzmassnahmen und die Verminderung der Lärmimmissionen.

2 Grundlagen

2.1 Knoten und Kreisel in der Akustik

2.1.1 Definition

Die Lärmimmissionen von Strassen setzen sich zusammen aus den Immissionen der freien Strecke und den Immissionen von Knoten- und Kreiselbereichen. Knoten sind Verknüpfungen von mehr als zwei Strassenabschnitten und werden auf folgende Weise definiert:

Ein **Knoten** ist eine bauliche Anlage, die der Verknüpfung von Strassen dient. Gemäss SN 640 250 [4] werden kreuzungsfreie Knoten (in mehreren Ebenen, zum Beispiel Autobahnanschlüsse) und Knoten in einer Ebene unterschieden.

Der **Kreisel** (Kreisverkehr oder Verkehrskreisel) stellt eine Sonderform von Knoten dar, da er ein Niveau aufweist und sich keine Verkehrsströme direkt kreuzen.

Kreisel sind im Prinzip auch Knoten, zur besseren Verständlichkeit werden nachfolgend nur Verknüpfungen ohne Kreisel Knoten genannt.

2.1.2 Akustische Einflussgrössen

Im Vergleich zur Situation mit freiem Verkehrsfluss werden die Lärmpegel an Knoten und Kreiseln durch diverse Faktoren beeinflusst. Eine Zusammenstellung mit der tendenziellen Beeinflussungsrichtung ist in Tabelle 1 gegeben und im anschliessenden Text näher erläutert.

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf Lärmpegel an Knoten und Kreiseln und tendenzielle Beeinflussungsrichtung

Einfluss	Tendenz Leq
Fahrgeschwindigkeit (of geringer als signalisiert)	↓
Abweichendes Fahrverhalten (Ausrollen, Bremsen, Beschleunigen)	↓ ↑
Abweichender Fahrstil (ruhig-vorausblickend bzw. sportlich-aggressiv)	↓ ↑
Stehen (reines Motorengeräusch)	↓
Abweichender Strassenbelag (z.B. SMA statt AC)	↑
Abweichender Einfluss des Strassenbelags (situativ)	↓ ↑
Abweichende Quellenlage: (Vorsortierstreifen, Bushaltestellen, Parkfelder)	↓ ↑
Hinderniswirkung (Abschirmung durch andere Fahrzeuge)	↓
Situationspezifische strassenbauliche Aspekte	↓ ↑
Situationspezifische lokale Aspekte	↓ ↑

Fahrgeschwindigkeit

Die effektive Fahrgeschwindigkeit liegt im Ein- und Ausfahrbereich, sowie unmittelbar auf der Fahrbahn von Knoten und Kreiseln meist deutlich unter der signalisierten Geschwindigkeit von 50 km/h. In Tempo-30-Zonen ist diese Abweichung geringer. Die Fahrgeschwindigkeit variiert stark in Abhängigkeit von der strassenbaulichen Gestaltung des Knotens bzw. des Kreisels und in der Tageszeit respektive der Verkehrsmenge. Mit abnehmender Fahrgeschwindigkeit fallen vor allem die Rollgeräusche niedriger aus, während sich die Antriebsgeräusche bei freiem Verkehrsfluss in Abhängigkeit der Gangwahl bzw. der Motordrehzahl in kleinerem Ausmass verändern.

Fahrverhalten

Das Fahrverhalten bei Knoten und Kreiseln unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von jenem im freien Verkehrsfluss, auf welcher die heute zur Verfügung stehenden Berechnungsmodelle beruhen. Beim Ausrollen oder Bremsen des Fahrzeugs geht das Motorengeräusch zurück und die Emissionen sind hauptsächlich auf das Rollgeräusch und nur in geringem Masse auf den im Leerlauf stehenden Motor zurückzuführen. In Einzelfällen können Bremsgeräusche (z.B. Quietschen mechanischer Bremsvorrichtungen, Quietschen der Reifen durch Reibung auf dem Strassenbelag, Zischen pneumatischer Bremsvorrichtungen) auftreten. Beschleunigungsmanöver haben aufgrund der erhöhten Motorenlast eine Zunahme des Motorengeräusches zur Folge.

Fahrstil

Der Fahrer beeinflusst die Lärmmissionen durch seinen Fahrstil bzw. durch seine Gangwechselstrategie, welche ruhig-vorausblickend oder sportlich-aggressiv sein kann. Je nach Ort und Verkehrssituation kann die Anzahl ruhig-vorausblickender bzw. sportlich-aggressiver Fahrer variieren. Durch den Fahrstil verändert sich die Gangwahl, die Drehzahl und die Motorenlast, was sich ebenfalls auf die Lärmmissionen auswirkt.

Stehen (reines Motorengeräusch)

Die Lärmmissionen, welche durch stehende Fahrzeuge verursacht werden, sind hauptsächlich abhängig vom Fahrzeugpark. In Einzelfällen können bei älteren Motoren (Motorenrasseln) oder durch die Bedienung der Motoren (Motorenheulen) bzw. des Getriebes (Zischen pneumatischer Getrieben oder Knarren mechanischer Getriebe) beim Stehen zusätzliche Geräusche entstehen.

Strassenbelag

Die akustischen Eigenschaften der Fahrbahnbeläge unmittelbar auf dem Knoten bzw. im Kreisel können wesentlich von denjenigen auf den Knotenzufahrten oder auf der freien Strecke abweichen. Aufgrund der grossen mechanischen Kräfte die beim Beschleunigen und bei Kurvenfahrten auf die Fahrbahnoberfläche wirken, werden im Nahbereich von Knoten und Kreiseln oft besonders widerstandsfähige Strassenbeläge (wie z.B. Beton, SMA 11, SMA 16, HRA 16) eingesetzt. Diese Strassenbeläge besitzen ungünstige akustische Eigenschaften (meist 1 bis 4 dBA lauter als Beläge AC 11) und können deshalb zu einer Zunahme der Lärmmissionen führen.

Auch das Alter und der Zustand der Beläge können eine Rolle spielen. Bei älteren Belägen ist das Bitumen stärker abgefahren und die Körner treten stärker hervor, was den Emissionspegel erheblich erhöhen kann. Reparierte Risse sind diesbezüglich eher günstig, weil das Bitumen die Zwischenräume zwischen den Körnern auffüllt.

Der Einfluss des Strassenbelages auf die Lärmmissionen ist jedoch abhängig von der effektiven Fahrgeschwindigkeit, dem Fahrverhalten sowie der Verkehrszusammensetzung und kann deshalb situationsbedingt stark variieren. Aufgrund der oftmals tieferen Fahrgeschwindigkeiten sowie der Beschleunigungsereignisse auf Knoten und Kreiseln ist im Vergleich zur freien Strecke mit einem reduzierten, aber keinesfalls zu vernachlässigenden Belageeinfluss zu rechnen. Aufgrund der bei Kurvenfahrten wirkenden Zentrifugalkräfte kann es auf Knoten oder Kreiseln zu einer Zunahme der Belageeinflusses und der Rollgeräusche kommen.

Quellenlage

Im Prinzip wird eine Linienquelle in der Strassenachse modelliert. Die effektive Lage der vorbeifahrenden Fahrzeuge im Querprofil kann erheblich davon abweichen, insbesondere wenn Vorsortierstreifen markiert sind, Bushaltestellen oder Parkfelder auf der Fahrbahn liegen. Solche Abweichungen sind insbesondere bei kleinen Distanzen zwischen Quelle und Empfangspunkt relevant.

Hinderniswirkung (Abschirmung durch andere Fahrzeuge)

Fahrzeuge und Fahrzeugkolonnen nahe beim Empfangspunkt können den Lärm von Fahrzeugen auf anderen Fahrstreifen oder auf der Gegenfahrbahn ganz oder teilweise abschirmen. Die Lärmpegel werden dadurch gesenkt.

Im Auftrag des Deutschen Bundesministeriums für Verkehr wurde deshalb eine Studie durchgeführt, welche das Ausmass der Störwirkung für Einmündungen, Kreuzungen und Kreiseln mittels der subjektiven Beurteilungen von Hörbeispielen durch Probanden quantifiziert. Die Störwirkung wurde pro Anlagentyp ermittelt und in Abhängigkeit der Distanz zur Anlage abgestuft. Die in der Studie ermittelten Störwirkungen gelten jedoch für eine Referenzsituation mit einem bestimmten Verkehrsaufkommen und Verkehrsregime (Nachbildung auf Testgelände). Um Störwirkungen ebenfalls für beliebige, von der Referenzsituation abweichende Situationen bestimmen zu können, ist eine Differenzierung der Störwirkung, zum Beispiel nach Grösse der Anlage bzw. dem Verkehrsaufkommen, notwendig. Ausserdem gilt es zu klären, durch welche Faktoren die zusätzliche Lästigkeit hervorgerufen wird und ab welcher Anlagegrösse bzw. ab welchem Verkehrsaufkommen eine Störwirkung gegeben ist.

2.2.3 Frankreich

Studien in Frankreich untersuchten verschiedene Modellierungsmöglichkeiten von Kreiseln [12] [13] [14]. Dabei werden Verkehrsmodelle (Mikrosimulationen) für Kreisel und Knoten mit Lärmausbreitungsmodellen kombiniert und dabei der Einfluss von Knoten oder Kreiseln auf die Lärmsituation untersucht. Zudem werden verschiedene Verkehrsmodelle verglichen. Teilweise wurden die Modelle mit Messungen kalibriert. Je nach Betriebszustand des Kreisels ergeben sich Lärmreduktionen von bis zu 2.5 dB.

2.2.4 Grossbritannien

In Nordirland wurden bei einem Strassenbauprojekt Messungen und Berechnungen durchgeführt [15]. An Empfangspunkten im Nahbereich des Kreisels wurden um 2.5 dB tiefere Pegel gemessen als mit dem Modell (mit freier Strecke) prognostiziert. Es wird vermutet, dass diese Pegelverminderung hauptsächlich auf eine reduzierte Geschwindigkeit zurückzuführen ist.

2.2.5 Dänemark

Zwei Situationen – ein Umbau eines Knotens in einen Kreisel, eine Vergrösserung eines Kreisels zur Verbesserung des Verkehrsflusses – wurden gemessen [17]. Im ersten Fall ergab sich durch den Kreiselbau eine Lärmreduktion bis zu 3.7 dB aufgrund tieferer Geschwindigkeiten, im anderen Fall ein Lärmanstieg von maximal 1 dB wegen besserem Verkehrsfluss und höherer Ausfahrtsgeschwindigkeiten. Die gemessenen Werte im Nahbereich waren beim Knoten 2.8 dB höher, bei den Kreiseln 0.3 bis 2.1 dB höher als die berechneten.

Im Bericht werden zudem Vorschläge für die Durchführung der Messungen gemacht: Verkehrszählung pro Messpunkt und Fahrzeugkategorie (ev. mit Videoaufnahmen), Messung der Geschwindigkeit und Beschleunigung pro Fahrzeug, genaue Lage der Mikrofone (Lage möglichst so, dass der Lärm von Seitenstrassen vernachlässigbar ist, ansonsten in die Berechnung integrieren), Messung der Lufttemperatur, Aufnahme der Beläge und Geländeoberflächen.

2.2.6 Schlussfolgerungen

International gibt es unterschiedliche Ansätze für die Abbildung der Lärmsituation an Knoten. Zuschläge für die subjektive Störwirkung an Knoten sind bekannt in Deutschland (auf Verordnungsstufe) und in der Schweiz (im BAFU-Leitfaden).

Messungen in mehreren Ländern zeigen, dass die Lärmpegel bei Kreiseln tendenziell tiefer sind als bei Knoten. Die örtlichen Situationen sind allerdings zu verschieden und die Randbedingungen zu wenig bekannt, um repräsentative Schlüsse daraus zu ziehen.

2.3 Mess- und Berechnungsdaten aus der Schweiz

Folgende Kantone lieferten vorhandene Daten (Messungen und/oder Berechnungen):

- Kanton Aargau, Abteilung Tiefbau, Hanspeter Gloor
- Kanton Basel-Stadt, Amt für Umwelt und Energie, Priska Plüss
- Kanton Bern, Tiefbauamt, Thomas Stern
- Kanton Schaffhausen, Tiefbauamt, Peter Eberlin
- Kanton Solothurn, Amt für Verkehr und Tiefbau, Rolf Müller
- Kanton Thurgau, Tiefbauamt, Ulrich Wapf
- Kanton Zürich, Tiefbauamt, Fachstelle Lärmschutz (FALS), Urs Waldner

Folgende Büros stellen im Auftrag der Kantone Daten zur Verfügung:

- BBS Ingenieure AG, Winterthur (Kanton Schaffhausen)
- Grolimund & Partner AG, Aarau/Bern (Kantone Aargau, Bern und Solothurn)
- Ghielmetti Ingenieur- und Planungsbüro, Winterthur (Kanton Thurgau)
- Hofer Ingenieure AG, Arbon (Kanton Thurgau)
- Prona AG, Biel (Kanton Bern)

Verschiedene Projektleiter von kantonalen Tiefbau- oder Umweltämtern gaben Auskunft über laufende oder geplante Projekte.

2.3.1 Standorte mit Messungen und Berechnungen

Es liegen Daten aus Lärmmessungen und Lärmberechnungen an fünf Knoten bzw. Kreiseln aus drei Kantonen vor. Eine tabellarische Zusammenstellung ist im Anhang I.

Kanton Aargau, Gemeinden Brunegg, Kölliken und Küttigen, 4 Knoten ohne LSA

Die Messungen und Berechnungen wurden durch Grolimund + Partner AG durchgeführt. Der Standort weist die folgenden Charakteristiken auf:

- Knoten mit 3 oder 4 Ästen, ohne Lichtsignalanlage, Hauptstrasse vortrittsberechtigt, Geschwindigkeit generell 50, Steigung 0% oder 5%, Asphaltbetonbelag
- Empfangspunkte in 10 bis 25 m Distanz zum Knoten, Messdauer je 30 Minuten
- Differenz Messung-Berechnung -2.6 bis +1.6 dBA, im Mittel -0.6 dBA

Kanton Bern, Gemeinde Thierachern, Umbau Knoten ohne LSA in Kreiseln

Es handelt sich um den Knoten Blumenstein-/Sandbühlstrasse. Die Messungen (Knoten) und Berechnungen wurden durch Grolimund + Partner AG durchgeführt. Der Standort weist die folgenden Charakteristiken auf:

- Knoten/Kreiseln mit 3 Ästen, Bushaltestellen nahe beim Knoten/Kreiseln, Geschwindigkeit generell 50, Steigung 0%, Asphaltbetonbelag
- Knoten ohne Lichtsignalanlage, Kreiseldurchmesser 30 m
- Berechnung Kreiselfahrbahn und Nahbereich Kreiseln bis 30 m mit 30 km/h
- Empfangspunkt in 20 bis 100 m Distanz zum Knoten/Kreiseln, Messdauer je 30 Min.
- Differenz Messung-Berechnung Knoten -0.8 bis +2.3 dBA, im Mittel +0.6 dBA
- Differenz Berechnung Kreiseln-Knoten 0 bis -1 dBA

Kanton Basel-Stadt, Stadt Basel, Umbau Knoten mit LSA in Kreiseln

Es handelt sich um den Dorenbachkreisel Höllee-/Oberwilerstrasse an der Grenze zu Binningen BL. Der Standort weist die folgenden Charakteristiken auf:

- Knoten/Kreiseln mit 4 Ästen, Strassenbahntrasse mit Kurve durch den Knoten/Kreiseln, Geschwindigkeit generell 50, Steigung 0%, Asphaltbetonbelag
- Knoten mit Lichtsignalanlage, Kreiseldurchmesser 32 bis 46 m (Ellipse)
- Empfangspunkt in 20 m Distanz zum Knoten/Kreiseln, Messdauer je 4 Wochen
- Differenz Messung-Berechnung Knoten -0.8 dBA tags, +2.6 dBA nachts

- Differenz Messung-Berechnung Kreisel +0.9 dBA tags, +1.4 dBA nachts
- Differenz Messung Kreisel-Knoten -1.7 dBA tags, -2.9 dBA nachts
- Mögliche Ursachen für Differenzen: Geschlossene Bebauung

Kanton Thurgau, Gemeinde Amriswil, Umbau Knoten ohne LSA in Kreisel

Es handelt sich um den Knoten Romanshorne-/Säntisstrasse. Die Messungen wurden durch das Ingenieurbüro Ghielmetti durchgeführt. Der Standort weist die folgenden Charakteristiken auf:

- Knoten/Kreisel mit 4 Ästen, Geschw. generell 50, Steigung 0%, Asphaltbetonbelag
- Knoten ohne Lichtsignal, Hauptstrasse vortrittsberechtigt, Kreiseldurchmesser 30 m
- 2 Empfangspunkte in 12 m Distanz zum Knoten, Messdauer je 2x 15 Minuten
- Berechnung Kreiselfahrbahn mit 40 km/h, Berechnungsergebnisse auf 1 dB gerundet
- Differenz Messung-Berechnung Knoten +0.6 dBA
- Differenz Messung-Berechnung Kreisel +0.2 dBA
- Differenz Kreisel-Knoten +0.6 und +1.1 dBA Messung und +1 dB Berechnung
- Mögliche Ursachen für Differenzen: Mit Kreisel geringerer Abstand zum Strassenrand

Kanton Thurgau, Gemeinde Romanshorn, Umbau Knoten ohne LSA in Kreisel

Es handelt sich um den Knoten Amriswiler-/Hofstrasse. Die Parameter (neue Nebenstrasse, Geschwindigkeit 80->50 km/h, neue Lärmschutzwand) sind variabel für einen Vergleich.

2.3.2 Standorte mit Messungen

Es liegen Daten aus Lärmmessungen an drei Knoten, welche zu Kreiseln umgebaut wurden, aus zwei Kantonen vor. Eine tabellarische Zusammenstellung ist im Anhang I.

Kanton Schaffhausen, Stein am Rhein, Umbau Knoten ohne LSA in Kreisel

Es handelt sich um die Verzweigung Wagenhauser-/Bahnhofstrasse. Die Messungen wurden durch BBS Ingenieure durchgeführt. Der Standort weist die folgenden Charakteristiken auf:

- Knoten/Kreisel mit 3 Ästen, Geschw. generell 50, Steigung 0-5%, Asphaltbetonbelag
- Knoten ohne Lichtsignal, Hauptstrasse vortrittsberechtigt, Kreiseldurchmesser 30 m
- 1 Empfangspunkt in 30 m Distanz zum Knoten/Kreisel, Messdauer je 2x15 Minuten, Lastwagen befahren teilweise Pflasterung am Kreiselinnenrand
- Differenz Kreisel-Knoten -1.5 dBA

Kanton Thurgau, Gemeinde Steckborn, Umbau Knoten ohne LSA in Kreisel

Es handelt sich um die Verzweigung See-/Frauenfelderstrasse. Die Messungen wurden durch das Ingenieurbüro Ghielmetti durchgeführt. Der Standort weist die folgenden Charakteristiken auf:

- Knoten/Kreisel mit 3 Ästen, Geschw. generell 50, Steigung 0%, Asphaltbetonbelag
- Knoten ohne Lichtsignal, Hauptstrasse vortrittsberechtigt, Kreiseldurchmesser 25 m
- Empfangspunkt in 17 m Distanz zum Knoten/Kreisel, mit Kreisel geringerer Abstand zum Strassenrand, Messdauer je 2x 15 Minuten
- Differenz Kreisel-Knoten +0.1 dBA

Kanton Zürich, Gemeinde Hedingen, Umbau Knoten ohne LSA in Kreisel

Es handelt sich um den Knoten Zürcher-/Affolternstrasse mit 4 Nebenstrassenästen. Die Messungen wurden durch das Ingenieurbüro Rathe durchgeführt. Der Standort weist die folgenden Charakteristiken auf:

- Knoten/Kreisel mit 6 Ästen, Geschw. generell 50, Steigung 0%, Asphaltbetonbelag
- Knoten ohne Lichtsignal, Hauptstrasse vortrittsberechtigt, Kreiseldurchmesser 30 m
- Empfangspunkte in 1.5 m Distanz zum Strassenrand, Messdauer je 2 Wochen
- Differenz Kreisel-Knoten -1.1 dBA tags, -1.7 dBA nachts

2.3.3 Standorte mit Berechnungen

Es liegen Daten aus Lärmmessungen an acht Knoten, welche zu Kreiseln umgebaut wurden, aus zwei Kantonen vor. Die Ergebnisse sind im Anhang II zusammengestellt. Weil sich aus diesen Daten keine Rückschlüsse auf die Modellgenauigkeit ziehen lassen, sind sie für die Forschung von untergeordneter Bedeutung.

2.3.4 Schlussfolgerungen

Differenzen Messungen-Berechnungen

Bei Messungen an total sieben Knoten (AG, BE, BS, TG) betragen die Differenzen zu den Berechnungen für die Tagperiode -0.8 bis +0.6, im Mittel -0.5 dBA. Modelliert wurde mit der signalisierten Geschwindigkeit von 50 km/h. Mit einer Langzeitmessung in der Nachtperiode ergibt sich eine Differenz von +2.6 dBA. Es ist anzunehmen, dass diese auf wesentlich höhere effektive Geschwindigkeiten in der verkehrsarmen Periode zurückzuführen ist.

Bei Messungen an total zwei Kreiseln (BS, TG) betragen die Differenzen zu den Berechnungen für die Tagperiode +0.2 bis +0.9 dBA, für die Nachtperiode +1.4 dBA. Es ist anzumerken, dass die Berechnungen im Kreisel mit $v = 50$ bzw. 40 km/h durchgeführt wurden.

Differenzen Messungen Kreisel-Knoten

Bei Langzeitmessungen an 2 Orten (BS, ZH) betragen die Differenzen Kreisel-Knoten -1.7 und -1.1 dBA tags sowie -2.9 und -1,7 dBA nachts. Bei Kurzzeitmessungen an 3 Orten (SH, TG) waren Differenzen von -1.5 bis +1.1, im Mittel -0.3 dB zu beobachten. Bei den Knoten mit positiver Abweichung (TG) befanden sich die Empfangspunkte im Nahbereich, wo der Strassenrand mit Kreisel teilweise deutlich näher ist als ohne Kreisel und es dadurch zu einer Verschiebung der Lärmquelle gekommen ist.

Schlussfolgerungen

Aus den beschriebenen Messungen und Berechnungen können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- Werden Knoten mit der signalisierten Geschwindigkeit modelliert, ergeben sich geringe Abweichungen (weniger als ± 1 dB) zwischen Messungen und Berechnungen.
- Werden Kreisel mit 40 oder 50 km/h auf der Kreiselfahrbahn modelliert, ergeben sich tags geringe Abweichungen (weniger als +1 dB) zwischen Messungen und Berechnungen. Nachts ergibt sich eine Differenz von über 1 dB. Dies liegt vermutlich daran, dass im Kreisel mit relativ grossem Durchmesser (BS) nachts schneller gefahren wird.
- Die Lärmpegel bei Kreiseln sind tendenziell (0 bis 2 dB) tiefer als bei Knoten. Höher können sie aber insbesondere sein, wenn bei strassennahen Empfangspunkten die Lärmquelle bei Kreiseln näher liegt als bei Knoten (geometrische Verschiebung der Quelle).

3 Methodik

3.1 Übersicht über das methodische Vorgehen

Ein zusammenfassendes Flussdiagramm der gewählten Methoden und des Vorgehens ist in Abbildung 1 dargestellt.

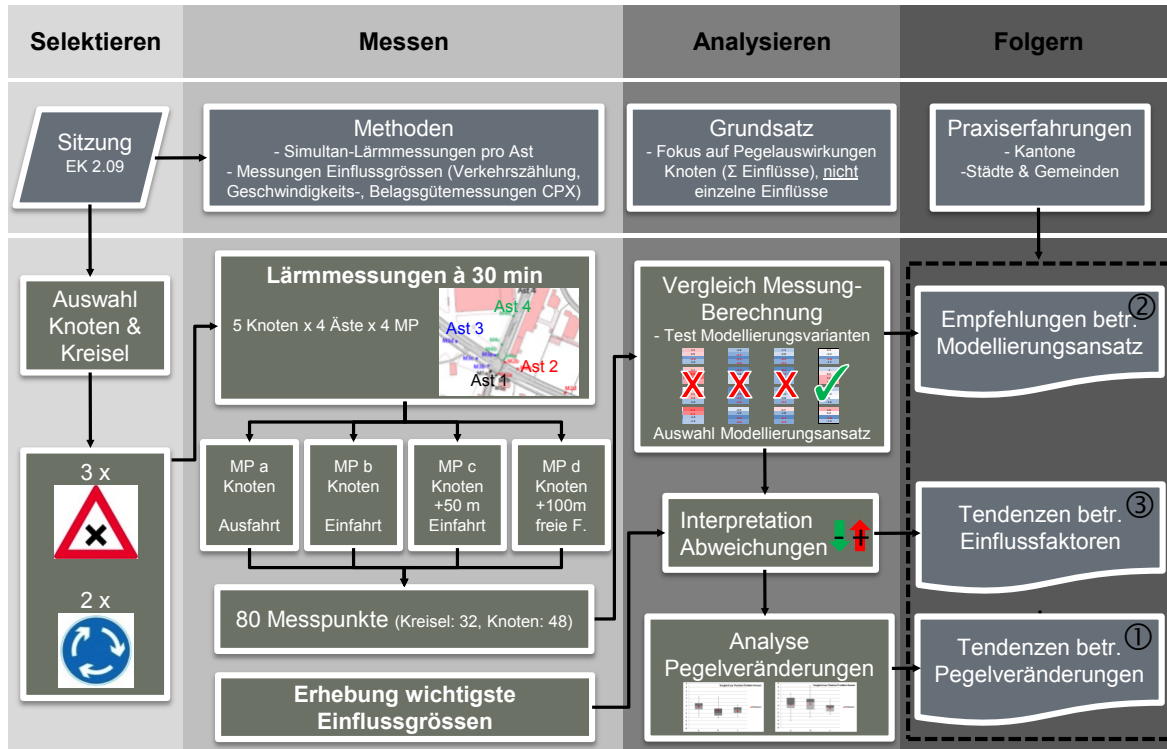


Abbildung 1: Flussdiagramm methodisches Vorgehen

Folgende Elemente bilden die Eckpfeiler des Untersuchungskonzeptes:

- (1) **Tendenzen betreffend Pegelveränderungen.** Die Lärmpegel an den knotennahen Messpositionen werden mit denjenigen der freien Strecke verglichen. Da die Messungen an den verschiedenen Messpositionen pro Ast simultan und bei gleichem Verkehr durchgeführt wurden, können Aussagen über die tendenziellen Pegelveränderungen knoten- bzw. kreiselnaher Messpunkte abgeleitet werden.
- (2) **Empfehlungen betreffend Modellierungsansatz.** Als Basis für die Auswertung der Pegelveränderung wird pro Messpunkt ein Vergleich zwischen gemessenen und mit einer Strassenlärm-Prognose-Software berechneten Lärmpegeln angestellt. Durch Testen unterschiedlicher Modellierungsansätze bezüglich ihrer mittleren Prognosegenauigkeit, können Empfehlungen über den für Knoten- und Kreiselsituationen geeignetsten Modellierungsansatzes aufgestellt werden.
- (3) **Tendenzen betreffend Einflussfaktoren.** Zwei der wichtigsten Einflussgrößen (Geschwindigkeit, Fahrbahnbelag) auf die Lärmpegel wurden in der Datenerhebungsphase quantifiziert und beigezogen, um Abweichungen einzelner Messpunkte erklären zu können. Durch eine Auswertung der Lärmpegel nach Einflussgrösse können Tendenzen betreffend der Beeinflussungsrichtung bzw. der Relevanz der Einflussgrösse abgeschätzt werden.

3.2 Datenerhebung

Das vorliegende Datenerhebungskonzept zielt auf die Quantifizierung des Gesamteinflusses von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel, bei welchem die Einflussgrößen nicht im Einzelnen sondern in der Summe betrachtet werden.

3.2.1 Messkonzept

Den Hauptpfeiler des Messkonzeptes bilden simultane Lärmmessungen während 30 Minuten an verschiedenen Messpositionen jeweils an einem Ast des Knotens bzw. Kreisels. Die Messpositionen befinden sich in unterschiedlicher Distanz zur Anlage. Durch Simultanmessungen bei gleichem Verkehr, können für die einzelnen Messpositionen Aussagen bezüglich der relativen Veränderung der Lärmpegel im Vergleich zur freien Strecke gemacht werden.

Pro Ast (1 bis 4) wurden Erhebungen an folgenden Messpositionen durchgeführt:

- a: unmittelbar beim Knoten/Kreisel ausfahrseitig
- b: unmittelbar beim Knoten/Kreisel einfahrseitig
- c: rund 40 m entfernt vom Knoten/Kreisel einfahrseitig
- d: rund 100 m vom Knoten/Kreisel einfahrseitig (freie Strecke)

Pro Knoten und Kreiseln wurden Erhebungen an allen vier Ästen durchgeführt. Eine Übersicht der Lage der Messpositionen ist zur Veranschaulichung in Abbildung 2 dargestellt.

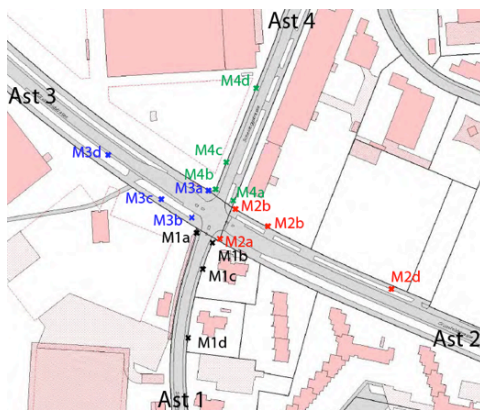


Abbildung 2: Veranschaulichung der Messpositionen pro Knoten/Kreisel

Folgende Größen wurden pro Messposition erhoben:

- Akustische Parameter: Leq, Lmax und Lmin (A-bewertet)
- Verkehr (automatische Erhebung): Zählung Kategorien Swiss 10 und Geschwindigkeitsmessung (a und b: je eine Fahrtrichtung, c: keine Erhebung, d: beide Fahrtrichtungen)
- Verkehr (manuelle Erhebung): Zählung für Kategorien gemäss LSV (N1: PW, LiW, Mofa; N2: LW, MR, Bus, Traktor) auf beiden benachbarten Ästen
- Akustische Belagsgüte: Mittels dem Anhängeremessverfahren CPX (close proximity) [18] wurden die akustischen Eigenschaften der Strassenbeläge im Bereich der Messstandorte flächendeckend erfasst¹.
- Detaillierte Beschreibung Standort: Standort des Messgerätes, Geometrie der Strasse sowie allfällige Einflüsse auf die gemessenen Lärmpegel mittels Plänen und Fotos dokumentiert

¹ Im Innern der Kreiseln und auf den Nebenästen der Kreuzungen stehen keine Angaben bezüglich Belagsgüte zur Verfügung, weil die Fahrgeschwindigkeit für normkonforme CPX-Messungen zu niedrig ist.

² Innerortsbelag (Auswertung CPX Messungen der Grolimund + Partner AG über eine Gesamtstreckenlänge Juni 2015)

3.2.2 Auswahl der Knoten und Kreisel

Bei der Auswahl der Knoten und Kreisel für die Datenerhebung standen Repräsentativitätskriterien im Vordergrund. Folgende Kriterien wurden angewendet:

- Anschlüsse: Anlagen mit vier Ästen.
- Strassenbelag: Asphaltbeläge (kein Beton).
- Haupttypen sollen vertreten sein: Knoten mit und ohne Lichtsignalanlage, Kreisel mit ca. 30 m Durchmesser und Sichthindernis.
- Verkehrsregime: signalisierte Geschwindigkeit wenn möglich 50 km/h, während des Tages sollen Messungen bei repräsentativen Betriebszuständen möglich sein (kein stockender Verkehr wegen Verkehrsüberlastung).

Neben den Repräsentativitätskriterien wurden ebenfalls methodische und praktische Aspekte für die Auswahl der Anlagen berücksichtigt:

- Verfälschungen der Messpegel infolge Reflexionen an der Bebauung sind zu vermeiden. Die Messungen werden deshalb nach Möglichkeit an Knoten ausserhalb des Siedlungsgebietes durchgeführt.
- Die Präsenz anderer (standortgebundener) Lärmquellen sollte vermieden werden, um eine entsprechende Verfälschung der Messergebnisse möglichst ausschliessen zu können.
- Aus Kosteneffizienzüberlegungen sollen Knoten im Raum Winterthur bevorzugt werden (geographische Nähe zur Forschungsstelle).

Aufgrund dieser Kriterien wurden in der Region Winterthur zwei Knoten ohne Lichtsignalanlage (Scheidegg und Kollbrunn), ein Knoten mit Lichtsignalanlage (Wiesendangen), sowie zwei Kreisel (Grüzefeld und Unterohringen) für die Messkampagne ausgewählt. Ein zweiter Knoten mit Lichtsignalanlage (Tagelswangen) musste ausgeschlossen werden, weil sich in seinem Nahbereich eine Hochbau-Baustelle befand. Die ausgewählten Anlagen sind in Anhang II näher beschrieben.

3.3 Auswertungskonzept

Hauptziel der Auswertung für die nach Abschnitt 3.1 durchgeführten Messungen ist ein Vergleich der Lärmpegel knoten- bzw. kreiselnahe Messpositionen mit denjenigen der freien Strecke sowie ein Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Pegeln an allen Messpositionen. Das vorliegende Auswertungskonzept zielt dabei auf die Quantifizierung des Gesamteinflusses von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel, bei welchem die Einflussgrößen nicht im Einzelnen sondern in der Summe betrachtet werden. Für die während der Messkampagne flächendeckend erhobenen Einflussgrößen wird jedoch der statische Einfluss auf die Lärmpegel ermittelt.

3.3.1 Aufbereitung der Messdaten

Als Basis für die Auswertung der Pegelveränderung wurde zwecks Bereinigung geometrischer und situationsbedingter Einflüsse pro Messpunkt ein Vergleich zwischen gemessenen Lärmpegeln und berechneten Lärmpegeln vorgenommen. Alle weiteren Auswertungen stützen sich auf diesen Vergleich ab.

Für die Berechnung der Emissionen wurde das in der Praxis erprobte Strassenlärm-Berechnungsmodell StL86+ verwendet. Das Modell berücksichtigt die Verkehrsmenge und -zusammensetzung (N1/N2), Geschwindigkeit und Steigung für die Emissionsberechnung. Bezüglich der freien Strecke (Situation "freie Fahrt" mit Durchfahrt bei konstanter Fahrgeschwindigkeit) liefert StL86+ solide Ergebnisse. Die Anwendung des Standardemissionsmodells bei Knoten und Kreiseln wurde durch Testen unterschiedlicher Modellierungsvarianten bezüglich ihrer mittleren Prognosegenauigkeit geprüft und angepasst.

Um eine potentielle Vermischung von Mess- und Modellfehlern zu verhindern, wurde bewusst auf eine Verkehrs-/Distanznormalisierung und rechnerische Eliminierung der kreuzenden Achse verzichtet. Die Lärmbelastung an den Messpunkten wurde mit dem Messverkehr und einer angenommenen Modellgeschwindigkeit, jedoch ohne Einbezug der erhobene Einflussgrößen (Belageigenschaften und Fahrgeschwindigkeit) nach StL86+ berechnet und direkt mit den Messpegeln verglichen. Die Abweichung zwischen den tatsächlichen, gemessenen Lärmpegel und den vom Modell prognostizierten Werten wird als Differenz Messung-Berechnung ausgedrückt und dient als Beurteilungsgröße für die weiteren Untersuchungen. Geschwindigkeit und Belageigenschaften werden nur zur Interpretation und Erklärung der Abweichungen zwischen Messung und Berechnung herangezogen, da ein praxisnaher, mit verhältnismässigem Aufwand erstellbarer Modellansatz gesucht wird, und diese Informationen in der Regel nicht zur Verfügung stehen. Zudem werden im Rahmen der vorliegenden Studie die Auswirkungen der Summe sämtlicher bei Knoten und Kreiseln vorhandener Einflüsse betrachtet. Somit können allgemeine Tendenzen hinsichtlich der Abweichungen zwischen Messung und Berechnung sowie im Vergleich zur freien Strecke (Situation "freier Verkehrsfluss") für die Handhabung in der Praxis abgeleitet werden. Eine isolierte Untersuchung der Einflussfaktoren ist im Rahmen der Studie nicht möglich.

3.3.2 Auswertung der Messdaten

Insgesamt stehen Daten von 80 Messpunkten zur Verfügung (4 Messpositionen pro Ast, je 4 Äste, 3 Knoten und 2 Kreisel).

Um Aussagen über die Pegelveränderungen von Knoten und Kreiseln im Vergleich zur freien Strecke (Situation freier Verkehrsfluss) zu erhalten, werden die an knotennahen Messpositionen (a, b, c) erhaltenen Abweichungen Messung-Berechnung mit denjenigen, welche bei gleichem Verkehr an der Messposition der freien Strecke (d) festgestellt wurden, normalisiert.

Um die Variationsbreite der gemessenen Lärmpegel darzustellen und um Aussagen bezüglich der Tendenzen ableiten zu können, werden die Ergebnisse statistisch ausgewertet. Durch die statistische Betrachtungsweise soll verhindert werden, dass die Ergebnisse durch einzelne Mess- oder Modellierungsfehler verfälscht werden.

Als Nebenergebnis wurden die Abweichung Messung-Berechnung in Bezug auf die zwei erhobenen Einflussgrößen (akustische Güte Strassenbelag und effektive Fahrgeschwindigkeit) ausgewertet. Dadurch können Tendenzen betreffend der Beeinflussungsrichtung bzw. die Wichtigkeit der Einflussgröße bei Knoten- und Kreiselsituationen abgeschätzt werden.

3.4 Evaluation der Modellierungsansätze

Als Basis für die Auswertung der Pegelveränderung wurde zwecks Bereinigung geometrischer und situationsbedingter Einflüsse pro Messpunkt ein Vergleich zwischen gemessenem Lärmpegel und berechnetem Lärmpegel vorgenommen. Für die Berechnung der Lärmpegel bei Knoten und Kreiseln wurden Modellierungen mit dem Standardemissionsmodell StL86+ durchgeführt. Um die Anwendung des Standardemissionsmodells bei Knoten- und Kreiselsituationen zu verbessern, wurden die folgenden drei in der Praxis häufig angewendeten Modellierungsansätze (siehe Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5) bezüglich ihrer mittleren Prognosegenauigkeit geprüft.

Der Modellierungsansatz Variante 1 (V1), Modellierung mit einer Achse, signalisierte Geschwindigkeit auf den Ästen und 30 km/h im Innern des Kreisels ist in Abbildung 3 dargestellt.

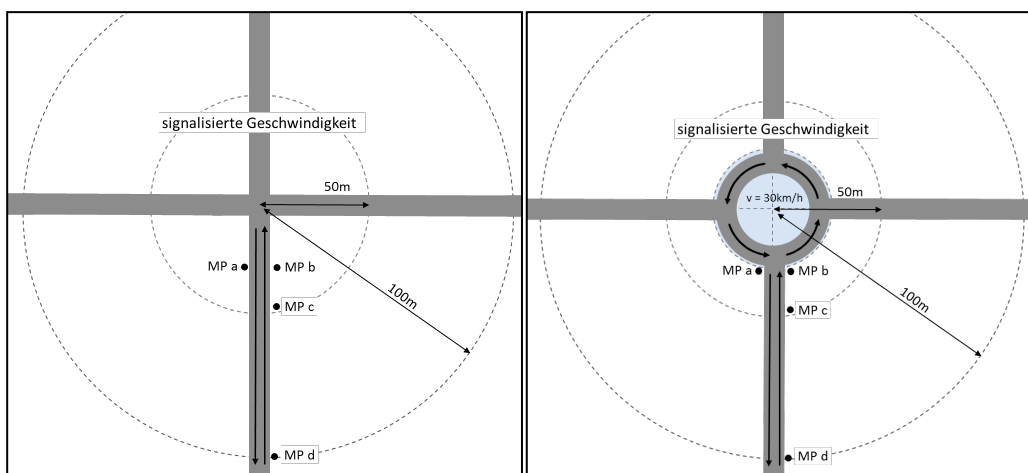


Abbildung 3: Modellansatz Variante 1, Knoten (links) und Kreisel (rechts)

Der Modellierungsansatz Variante 2 (V2), Modellierung mit zwei Achsen gleicher Verkehrslast, signalisierte Geschwindigkeit auf den Ästen, 30 km/h im Innern des Kreisels ist in Abbildung 4 dargestellt.

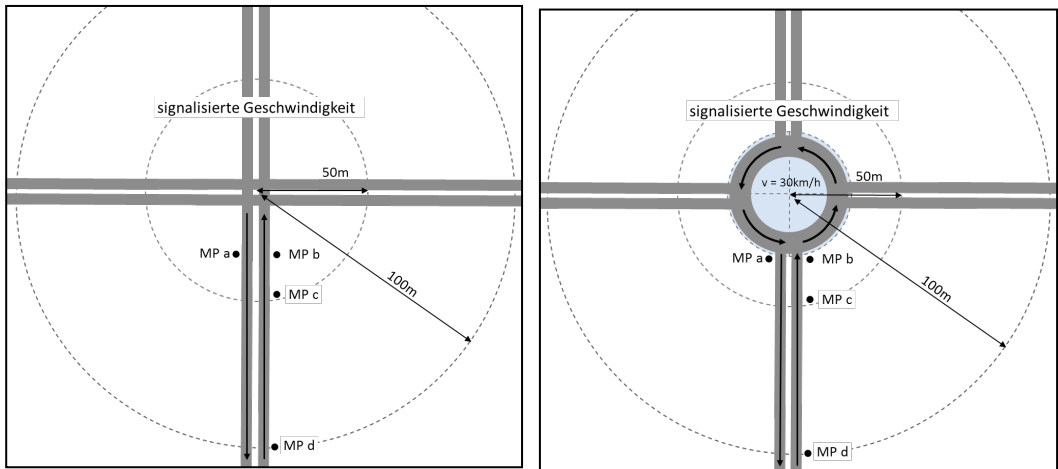


Abbildung 4: Modellansatz Variante 2, Knoten (links) und Kreiseln (rechts)

Bei beiden Achsen wurde von derselben Verkehrslast ausgegangen, da keine spurgegrenzten Zählungen vorhanden sind. Da die Messungen jedoch nicht zu Stosszeiten durchgeführt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass keine einseitige Verteilung aufgrund grosser Pendlerströme stattfand.

Der Modellierungsansatz Variante 3 (V3), Modellierung mit einer Achse, Geschwindigkeit 30 km/h im Innern des Kreisels bzw. des Knotens und auf den ersten 50 m der Anschlüsse (Äste) ist in Abbildung 5 dargestellt.

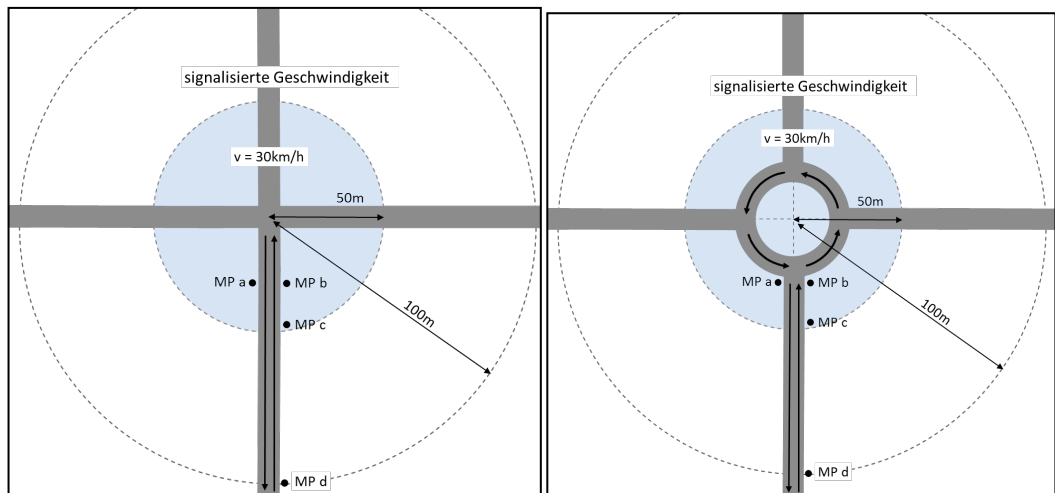


Abbildung 5: Modellansatz Variante 3, Knoten (links) und Kreiseln (rechts)

3.5 Statistische Ermittlung der Einflussgrössen

Grundsätzlich zielt das vorliegende Auswertungskonzept auf die Quantifizierung des Gesamteinflusses von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel, bei welchem die Einflussgrössen nicht im Einzelnen sondern in der Summe betrachtet werden. Für die während der Messkampagne flächendeckend erhobenen Einflussgrössen wurde jedoch der statische Einfluss auf die Lärmpegel ermittelt. Dabei werden die Auswertungen nach den erhobenen Einflussgrössen (akustische Güte Strassenbelag, effektive Fahrgeschwindigkeit) sortiert und in zwei gleich grosse Gruppen unterteilt mit dem Median als Klassengrenze. Im Folgenden wird das Ausmass ermittelt, in welchem die jeweilige Einflussgrösse die Lärmpegel statistisch beeinflusst. Eine analoge Auswertung wurde für Situationen mit und ohne Fussgängerstreifen durchgeführt.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Modellierungsansatz

Um die Anwendung des Standardemissionsmodells StL86+ bei Knoten- und Kreiselsituationen zu verbessern, wurden drei in der Praxis häufig angewendete Modellierungsansätze (siehe Abschnitt 3.4) bezüglich ihrer mittleren Prognosegenauigkeit geprüft. Das für die Praxis massgebende Risiko für Unterschätzung durch das Modell, wurde für die einzelnen Modellierungsansätze ebenfalls ausgewertet. Die Bewertung der einzelnen Modellierungsansätze wurde für Knoten und Kreisel separat vorgenommen.

4.1.1 Differenz Messung-Berechnung

Die Pegelabweichungen zwischen Messung und Modellberechnung sind graphisch pro Modellierungsansatz (Varianten 1 bis 3) in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt. In den Boxplots sind der Median (grüner Strich) die 25%- und 75%-Quantile (Box), die Extremwerte (Whiskers), sowie der Mittelwert (Dreiecksymbol) dargestellt.

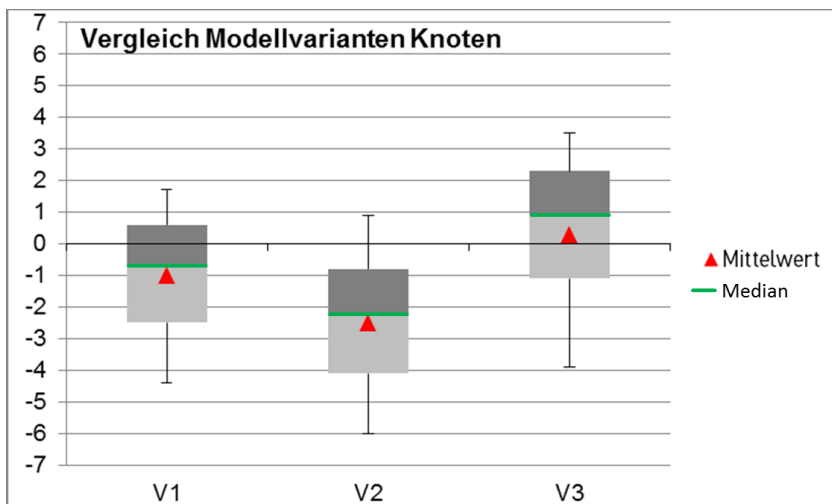


Abbildung 6: Statistische Verteilung (Boxplots) der Abweichungen Messung-Berechnung für die drei geprüften Modellierungsansätze bei Knoten

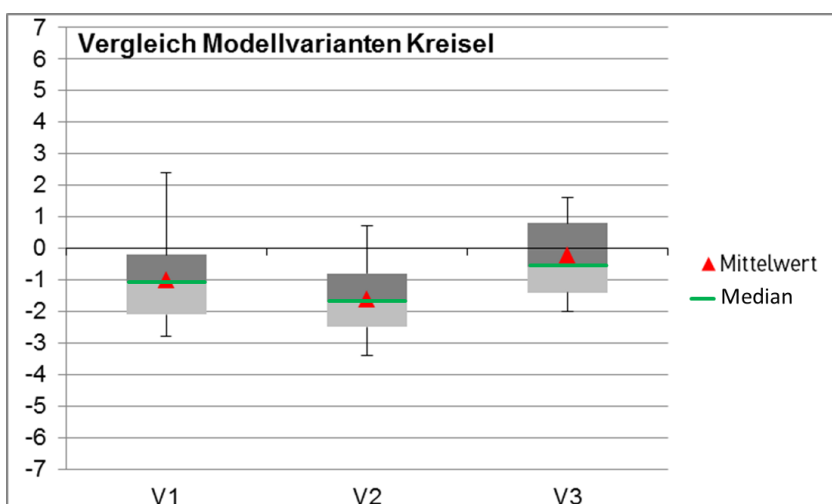


Abbildung 7: Statistische Verteilung (Boxplots) der Abweichungen Messung-Berechnung für die drei geprüften Modellierungsansätze bei Kreiseln

Die Auswertung der Pegelabweichungen Messung-Berechnung bei Knoten in Abbildung 6 zeigt, dass durch Modellierungsansatz V1 die Lärmbelastungen leicht überschätzt werden (in ca. 60% der Fälle). Beim zweispurigen Modellierungsansatz V2 wird die Lärmbelastung deutlich überschätzt (> 80% der Fälle). Modellierungsansatz V3 unterschätzt die Lärmbelastungen in mehr als der Hälfte (ca. 60%) der Fälle.

Für Kreisel zeigt die Auswertung in Abbildung 7 dass der Modellierungsansatz V1 die Lärmbelastungen in mehr als 75% der Fälle überschätzt. Beim Modellierungsansatz V2 treten sogar bei über 90% der Messpunkte Überschätzungen auf. Modellierungsansatz V3 reduziert den Anteil überschätzter Lärmpegel auf ca. 60 %.

Werden die Auswertungen Pegelabweichungen gesamthaft betrachtet, fällt auf, dass die Streuung der Pegelabweichungen Messung-Berechnung bei den Messpunkten an den Kreiseln deutlich geringer ausfällt als bei Messpunkten an Knoten.

4.1.2 Bewertung der Modellierungsansätze

Ein in der Praxis anwendbarer Modellansatz für die Prognose von Lärmpegeln bei Knoten und Kreiseln soll über eine möglichst hohe Prognosegenauigkeit verfügen (Anteil der Fälle mit Abweichungen zwischen +1 und grösser als -1 dBA im Vergleich zum Messpegel zur Berücksichtigung, Bereich des Messfehlers). Tabelle 2 zeigt die Beurteilung der Prognosegenauigkeit der geprüften drei Modellierungsansätze.

Tabelle 2: Bewertung der Modellierungsansätze bezüglich Prognosegenauigkeit

Grösse		Modellierungsansätze		
		V1	V2	V3
Knoten	Mittlerer Fehler [dBA]	1.4	2.2	1.6
	Median Pegelabweichungen [dBA]	-0.7	-2.2	0.9
	Standardabweichung [dBA]	2.0	2.3	2.5
	Prognosegenauigkeit* [%]	38%	22%	24%
	Mittelwert Pegelabweichungen [dBA]	-1.0	-2.5	0.3
Kreisel	Mittlerer Fehler [dBA]	1.1	1.4	0.9
	Median Pegelabweichungen [dBA]	-1.1	-1.7	-0.6
	Standardabweichung [dBA]	1.3	1.3	1.3
	Prognosegenauigkeit* [%]	38%	35%	52%
	Mittelwert Pegelabweichungen [dBA]	-1.0	-1.6	-0.2

Beurteilte Modellierungsansätze: V1: 1-achsig, v-signalisiert, v30 im Innern der Kreisel; V2: 2-achsig, v-signalisiert, v30 im Innern der Kreisel; V3: 1-achsig, v-signalisiert, v30 auf Anschlüssen innerhalb 50 m Abstand zum Anlagemittelpunkt, v30 im Innern der Kreisel. Die für die Auswahl des Modellierungsansatzes betrachteten Bewertungskenngrössen sind grün und schwarz dargestellt.

* Toleranz ± 1 dBA

Die in Tabelle 2 präsentierte Werte basieren auf einer Auswertung der Prognosegenauigkeit an sämtlichen Messpunkten im Nahbereich (MP a bis c). Wie die Übersichtstabelle in Anhang III zeigt, werden die gemessenen Lärmpegel an einigen Messpunkten durch standortspezifische Aspekte verfälscht. Werden diese Messpunkte aus der obenstehenden Bewertung ausgeschlossen, ergeben sich keine wesentlichen Verschiebungen.

4.1.3 Auswahl des Basismodellierungsansatzes

Aufgrund der in Abschnitt 4.1.2 erhobenen Bewertungskenngrössen wurde für Knoten und Kreisel jeweils derjenige Modellierungsansatz ausgewählt, welcher die beste Prognosegenauigkeit besitzt. Gemäss der Bewertung in Tabelle 2 schneiden folgende Modellansätze bezüglich der Prognosegenauigkeit am besten ab und wurden für die Auswertungen in der vorliegenden Forschungsarbeit ausgewählt:

- **Knoten: Modellansatz V1** (1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit auf Anschlüssen)
- **Kreisel: Modellansatz V3** (1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit, 30 km/h im Innern des Kreisels und auf Anschlüssen innerhalb 50 m Abstand zum Anlagemittelpunkt)

Die hier beschriebenen Basismodellierungsansätze werden für sämtliche weiteren Auswertungen und Analysen verwendet.

4.2 Pegelveränderungen im Vergleich zur freien Strecke

Der systematische Vergleich der Lärmpegel an den knotennahen Messpositionen mit denjenigen der freien Strecke erlaubt es, Aussagen über die tendenziell zu erwartenden Pegelveränderung in Knoten- bzw. Kreiselnähe abzuleiten. Der Vergleich wird jeweils pro Ast vorgenommen, da die Messungen an den verschiedenen Messpositionen pro Ast simultan und bei gleichem Verkehr durchgeführt wurden.

Eine ausführliche Auflistung der Pegelveränderungen bei knoten- bzw. kreiselnahen Messpositionen (a, b, c) im Vergleich zur freien Strecke ist pro Messpunkt in Anhang III aufgeführt. Zusätzlich werden weitere erhobene Grössen (effektiv gefahrene Geschwindigkeit, akustische Belagsgüte) sowie situationsspezifische Einflussfaktoren angegeben, um einzelne Abweichungen erklären zu können. Die statistische Auswertung (Boxplots) dieser Pegelveränderungen ist in Abbildung 8 und Abbildung 9 enthalten. In den Boxplots sind der Median (grüner Strich), die 25%- und 75%-Quantile (Box), die Extremwerte (Whiskers), sowie der Mittelwert (Dreiecksymbol) dargestellt.

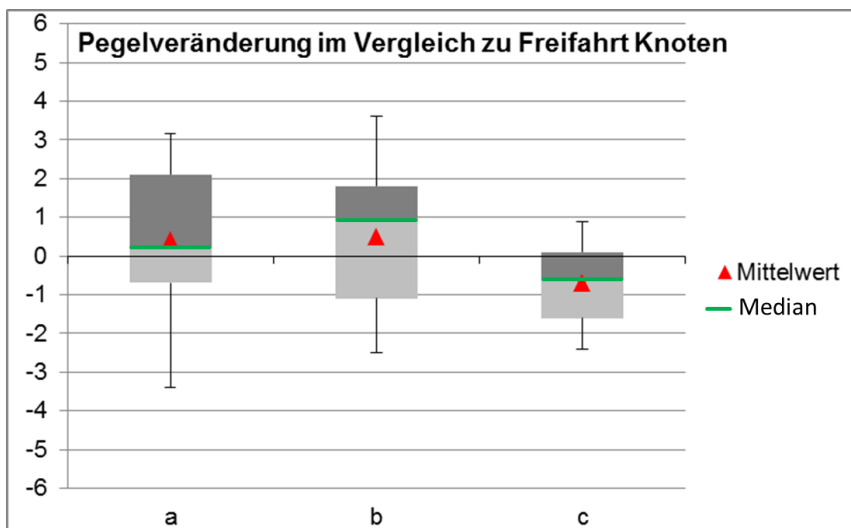


Abbildung 8: Statistische Verteilung (Boxplots) der Pegelveränderungen im Vergleich zur freien Strecke für drei Messpositionen (a, b, c) bei Knoten

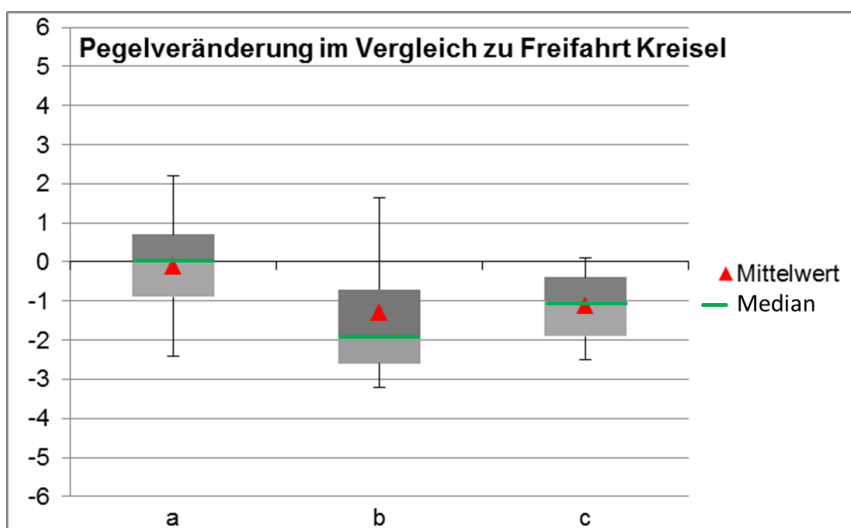


Abbildung 9: Statistische Verteilung (Boxplots) der Pegelveränderungen im Vergleich zur freien Strecke für drei Messpositionen (a, b, c) bei Kreiseln

Eine numerische Auswertung der statistischen Verteilung der Pegelveränderung für knoten- bzw. kreiselnahe Messpositionen im Vergleich zur freien Strecke ist in Tabelle 3 enthalten.

Tabelle 3: Statistische Verteilung Pegelveränderungen knoten- bzw. kreiselnahe Messpositionen im Vergleich zur freien Strecke (numerische Auswertung)

	MP	MW	Q ₅₀	Q ₇₅	Q ₈₃	Q ₉₀	Tendenz
Knoten	a	0.4	0.2	2.1	2.8	3	+
	b	0.5	0.9	1.8	2.1	2.1	+
	c	-0.7	-0.6	0.1	0.4	0.4	-
Kreisel	a	-0.1	0.0	0.7	1.3	1.8	keine
	b	-1.3	-1.9	-0.7	-0.1	0.9	-
	c	-1.1	-1.0	-0.4	-0.3	-0.1	-

Basierend auf den Auswertungen in Tabelle 3 können bezüglich der Auswirkungen von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel folgende Tendenzen abgeleitet werden. Die Pegelveränderungen beziehen sich auf die Lärmsituation der freien Strecke (freier Verkehrsfluss, Messposition d) des jeweiligen Astes.

Tendenzen Pegelveränderung Knoten

Im Ein- und Ausfahrtsbereich unmittelbar beim Knoten (Messpositionen a und b) sind ausgehend vom Basismodellierungsansatz im Mittel Pegelzunahmen von ca. 0.5 dBA zu erwarten. In ca. 25 % der Fälle ist mit Pegelzunahmen von 2 dBA und mehr zu rechnen. Auf den Knotenanschlüssen im Einfahrtsbereich (Messposition c) hingegen ist aufgrund des abwartenden Fahrverhaltens (Ausrollen / Bremsen) im Mittel mit Pegelabnahmen von 0.5 dBA zu rechnen.

Tendenzen Pegelveränderungen Kreisel

Unmittelbar bei Kreiselausfahrt (Messposition a) ist ausgehend vom Basismodellierungsansatz im Mittel mit keinen Pegelveränderungen zu rechnen. In lediglich ca. 20% der Fälle ist mit Pegelzunahmen von 1 dB und mehr zu rechnen. Im Einfahrtsbereich unmittelbar beim Kreisel (Messposition b) sowie auf dem Anschluss (Messposition c) ist im Mittel mit Pegelabnahmen von ca. 1 dBA zu rechnen. Nur in weniger als 10 % der Fälle ist im Einfahrtsbereich mit Pegelzunahmen zu rechnen.

4.3 Vergleich Messung - Modellberechnung

4.3.1 Abweichungen Messung - Modellberechnung

Für die Beurteilung der Lärmsituation bei Knoten und Kreiseln in der Praxis ist das Risiko für Unter- sowie Überschätzung der Lärmpegel durch das Modell von Bedeutung. Zu dessen Abschätzung ist die Abweichung zwischen Messung und Berechnung bei den untersuchten Knoten und Kreiseln pro Messposition in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt. Dabei wurde keine Normalisierung bezüglich der Pegel der freien Strecke vorgenommen. In der Boxplot-Darstellung sind der Median (grüner Strich), die 25%- und 75%-Quantile (Box), die Extremwerte (Whiskers), sowie der Mittelwert (Dreiecksymbol) dargestellt.

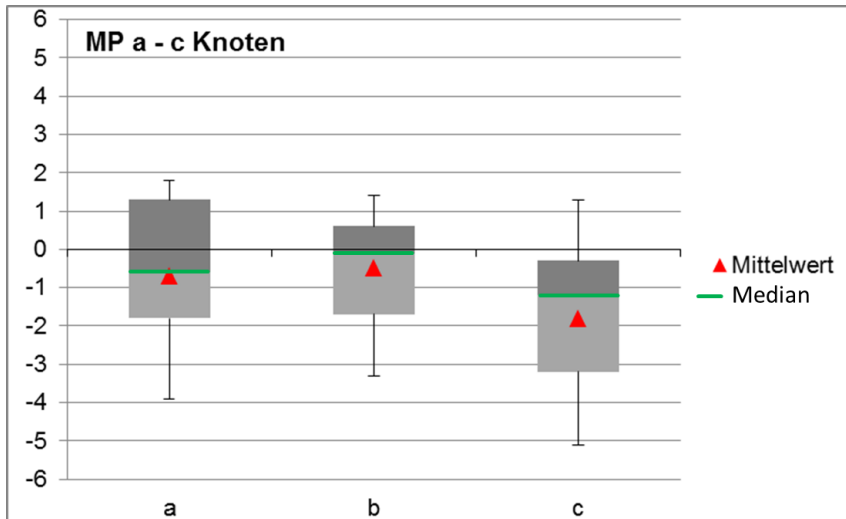


Abbildung 10: Statistische Verteilung (Boxplots) Abweichung Messung-Berechnung pro Messposition bei Knoten und Kreiseln zur Abschätzung des Risikos für Unter- und Überschätzung durch den Basismodellierungsansatz bei Knoten

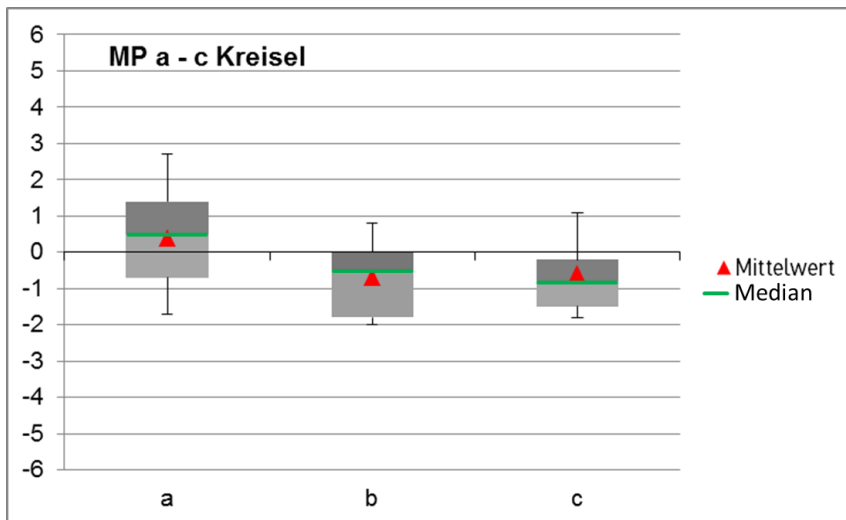


Abbildung 11: Statistische Verteilung (Boxplots) Abweichung Messung-Berechnung pro Messposition bei Knoten und Kreiseln zur Abschätzung des Risikos für Unter- und Überschätzung durch den Basismodellierungsansatz bei Kreiseln

4.3.2 Prognosegenauigkeit

Gemäss Abbildung 11 sowie der detaillierten Auswertung in Anhang III wurden für die einzelnen Messpositionen folgende Prognosegenauigkeiten erreicht. Das Risiko für eine Unter- resp. Überschätzung der Lärmpegel durch den Basismodellierungsansatz kann wie folgt geschätzt werden (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Prognosegenauigkeit (Toleranz 1.0 dBA) und Risiko für Unter- und Überschätzung Lärmpegel durch Basismodellierungsansatz pro Messposition (Toleranz: 0.25 dBA)

	MP	Beschreibung	Prognosegenauigkeit	Risiko Unterschätzung	Risiko Überschätzung
Knoten	a	Ausfahrbereich	20%	36%	53%
	b	Einfahrbereich	45%	38%	36%
	c	Anschluss (+ 25 bis 50 m) Einfahrbereich	37%	16%	76%
Kreisel	a	Ausfahrbereich	35%	56%	34%
	b	Einfahrbereich	69%	16%	64%
	c	Anschluss (+ 25 bis 50 m) Einfahrbereich	49%	20%	75%

4.4 Vergleich Knoten- und Kreiselsituationen mit Basismodellierungsansatz

Für eine theoretische Situation einer Umgestaltung eines Knotens in einen Kreisel wird unter Anwendung des *Basismodellierungsansatzes* abgeschätzt, mit welchen Veränderungen der berechneten Lärmbelastung zu rechnen ist. Abbildung 12 zeigt die Pegelveränderungen bei einer Umgestaltung eines Knotens in einen Kreisel mit einem Durchmesser von 32 m.

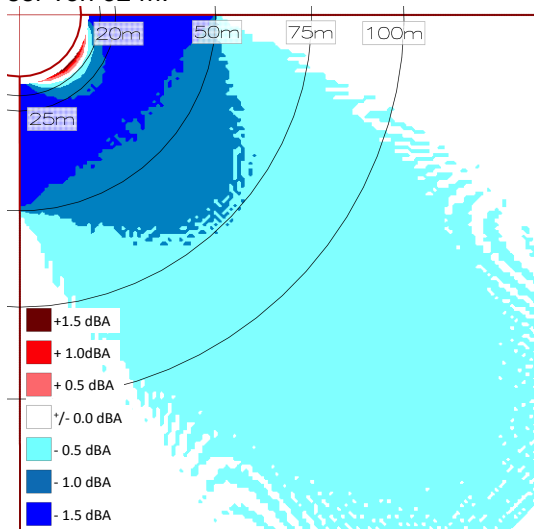


Abbildung 12: Berechnete Pegelveränderung bei Umgestaltung eines Knotens in einen Kreisel basierend auf dem Basismodellierungsansatz

Die grössten Pegelveränderungen sind in einem 45°-Winkel zwischen den Achsen auszumachen. Die Lärmbelastung nimmt an keinem Ort zu. Bereits 2 m ab Fahrbahnrand Kreiselsegment resp. 20 m ab Knotenmittelpunkt, findet eine Lärmreduktion von ca. 0.5 dBA statt. Bis ca. 40 m ab Knotenmittelpunkt ist im gesamten Immissionsbereich mit ei-

ner Lärmabnahme von -1.5 dBA zu rechnen. Zwischen 50 und 75 m ab Knotenmittelpunkt sind Pegelveränderungen zwischen -1.0 und -0.5 dBA zu erwarten. Ab einer Distanz von 75 m ab Knotenmittelpunkt sinkt die Lärmbelastung noch um maximal -0.5 dBA. 180 m ab Knotenmittelpunkt sind keine Pegelveränderungen mehr auszumachen.

Abbildung 13 zeigt die Pegelveränderung bei einer *rein geometrischen Betrachtung* (Knoten: 50 km/h auf den Ästen, Kreisel: 50 km/h auf Ästen, 30 km/h im Kreisellinnern) der Umgestaltung eines Knotens in einen Kreisel.

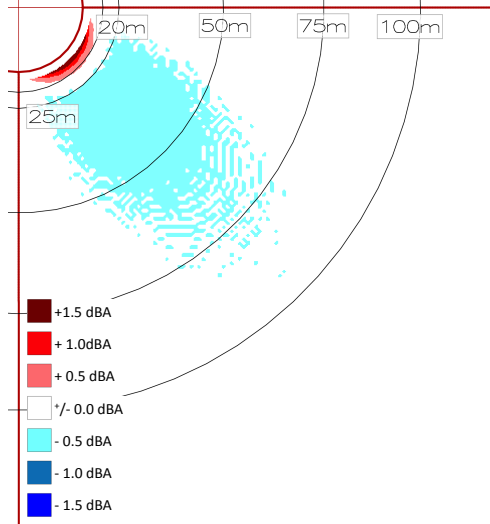


Abbildung 13: Pegelveränderung bei Umgestaltung eines Knotens in einen Kreisel bei rein geometrischer Betrachtung

Bis in einen Umkreis von 20 m ab Knotenmittelpunkt, d.h. bis 2 m ab Fahrbahnrand Kreiselsegment, ist mit einer Lärmzunahme von +1.5 bis +0.5 dBA zu rechnen. 20 bis 25 m ab Knotenmittelpunkt ist keine Pegelveränderung auszumachen. Ab 25 m bis ca. 65 m ist mit einer Lärmabnahme von 0.5 dBA zu rechnen. Mehr als 75 m ab Knotenmittelpunkt ist der geometrische Einfluss nicht mehr relevant.

4.5 Tendenzen der Einflussfaktoren

Im Vergleich zur Situation auf der freien Strecke (freier Verkehrsfluss) werden die Lärmpegel an Knoten und Kreiseln durch diverse weitere Faktoren beeinflusst. Diese Einflussfaktoren wurden in Abschnitt 2.1.2 erläutert und mit ihrer theoretischen Beeinflussungsrichtung beschrieben. In der vorliegenden Forschung wurden jedoch die Auswirkungen der Summe sämtlicher an Knoten und Kreiseln vorhandener Einflussfaktoren auf die Lärmpegel messtechnisch erhoben und bewertet. Da aber einige Einflussgrößen (akustische Belagsgüte, effektiv gefahrene Geschwindigkeit sowie standort-spezifische Merkmale) zur Erklärung einzelner Abweichungen flächendeckend erhoben wurden, können die akustischen Messdaten hinsichtlich der genannten Einflussgrößen ausgewertet werden, um deren Einfluss auf die Lärmpegel zu ermitteln. Dadurch können Aussagen über die Größenordnung der einzelnen Einflussgrößen, deren Beeinflussungsrichtung und Relevanz für Knoten- und Kreiselsituationen abgeleitet werden.

4.5.1 Strassenbelag

Abbildung 14 zeigt eine vergleichende statistische Auswertung (Boxplot) der Abweichungen Messung-Berechnung zwischen Messstandorten mit eher lauten und solchen mit eher leisen Strassenbelägen². Als Klassengrenze wurde der Median der CPX-Daten zur akustischen Belagsgüte der Fahrzeugkategorie PW gewählt. Dieser liegt bei +1 dBA (in Abweichung zu StL86+), was dem durchschnittlichen Innerortsbelag entspricht.

In den Boxplots sind der Median (grüner Strich), die 25%- und 75%-Quantile (Box), die Extremwerte (Whiskers), sowie der Mittelwert (Dreiecksymbol) dargestellt.

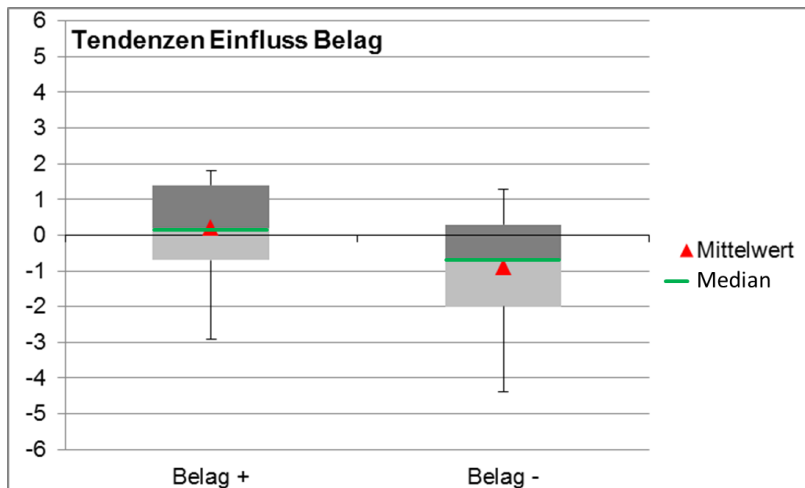


Abbildung 14: Einfluss des Strassenbelag (Messpositionen a, b und c, n = 60, Beläge AB 11 S und SMA 11 S)

Wie aus Abbildung 14 hervorgeht, haben die akustischen Eigenschaften des Strassenbelages bei Knoten und Kreiseln statistisch gesehen einen wesentlichen Einfluss auf die Lärmemissionen. Bei Messstandorten auf Höhe der 50% lauterer Strassenbelägen nehmen die Lärmemissionen im Vergleich zu Messstandorten mit leiseren Strassenbelägen im Mittel um ca. 1 dBA zu. Entsprechend wird die Lärmbelastung in der Berechnung an der Stelle von Belägen mit lauterer akustischen Eigenschaften eher unterschätzt, als dies bei tendenziell leiseren Belägen der Fall ist. Diese Ergebnisse unterstreichen die Wichtigkeit der Einflussgrösse Strassenbelag für Knoten- und Kreiselsituationen in Bezug auf die Lärmemissionen. Der deutliche Unterschied in der statistischen Auswertung ist insbesondere deshalb bemerkenswert, da wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert im Bereich von Knoten und Kreiseln andere Einflussgrössen einen Anstieg der Antriebsgeräusche mit sich bringen, was den Einfluss des Strassenbelages auf die Lärmemissionen infolge einer Abnahme der relativen Bedeutung der Rollgeräusche reduziert.

Wird die akustische Belagsgüte als einzige Einflussgrösse bei den Berechnungen berücksichtigt, reduziert sich die Prognosegenauigkeit (\emptyset MP a, b und c) bei Knoten von 37% auf 27%, bei Kreiseln von 51% auf 17%. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Lärmpegel, wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert, durch diverse weitere Faktoren beeinflusst werden. Ausserdem wurde die Auswahl des Basismodellierungsansatzes für denjenigen Fall optimiert, in welchem keine Informationen zur akustischen Qualität des Strassenbelages vorliegen (entspricht dem Regelfall in der Praxis). Sollen Informationen zur akustischen Qualität des Strassenbelages in die Berechnungen miteinbezogen werden, ist die Verwendung von alternativen Modellierungsansätzen zu prüfen.

² Innerortsbelag (Auswertung CPX Messungen der Grolimund + Partner AG über eine Gesamtstreckenlänge von ca. 5'000 km)

4.5.2 Geschwindigkeit

Abbildung 15 zeigt eine vergleichende statistische Auswertung (Boxplot) der Abweichungen Messung-Berechnung zwischen Messstandorten bei welchen eher schneller bzw. langsamer gefahren wurde. Die Klassengrenze bildet die mittlere effektive Geschwindigkeit (Median). Die mittlere Fahrgeschwindigkeit über die Messpunkte a und b betrachtet betrug ca. 32 km/h³.

Um Verfälschungen durch Modelleffekte ausschliessen zu können wurden die Anschlüsse (Äste) mit signalisierter Geschwindigkeit 30 km/h in der Auswertung nicht berücksichtigt. In den Boxplots sind der Median (grüner Strich), die 25%- und 75%-Quantile (Box), die Extremwerte (Whiskers), sowie der Mittelwert (Dreiecksymbol) dargestellt.

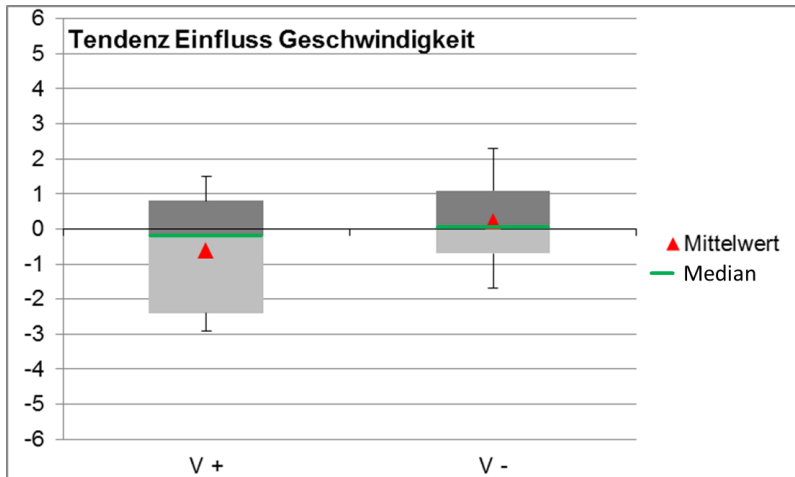


Abbildung 15: Einfluss Geschwindigkeit bei untersuchten Messpunkten ($n = 66$)

Hinsichtlich des Geschwindigkeitseinflusses auf die Lärmpegel (Auswertung in Abbildung 15) sind keine deutlichen Trends erkennbar. Dies bedeutet, dass andere Einflussgrößen das Ausmass des Geschwindigkeitseinflusses auf die Lärmpegel übersteigen. Für die Abschätzung der Lärmemissionen an Knoten und Kreiseln scheint die effektiv gefahrene Geschwindigkeit demnach eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Berücksichtigt man die effektive Geschwindigkeit bei den Berechnungen als einzige Einflussgrösse, reduziert sich die Prognosegenauigkeit (\emptyset MP a, b) bei Knoten von 33% auf 23%. Bei Kreiseln verbessert sich die Genauigkeit bei MP a geringfügig von 35% auf 39% und bleibt bei MP b gleich (69%). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Lärmpegel, wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert, durch diverse weitere Faktoren beeinflusst werden. Ausserdem wurde die Auswahl des Basismodellierungsansatzes für denjenigen Fall optimiert, in welchem keine Informationen zur effektiven Fahrgeschwindigkeit vorliegen (entspricht dem Regelfall in der Praxis). Sollen Informationen zur effektiven Fahrgeschwindigkeit in die Berechnungen miteinbezogen werden, ist die Verwendung von alternativen Modellierungsansätzen zu prüfen.

³ Mittelwert Messpositionen a und b (für Messposition c liegen keine Geschwindigkeitsmessungen vor)

4.5.3 Fussgängerstreifen

Abbildung 16 zeigt eine vergleichende statistische Auswertung (Boxplot) der Abweichungen Messung-Berechnung zwischen Messstandorten mit und ohne Fussgängerstreifen auf dem jeweiligen Ast.

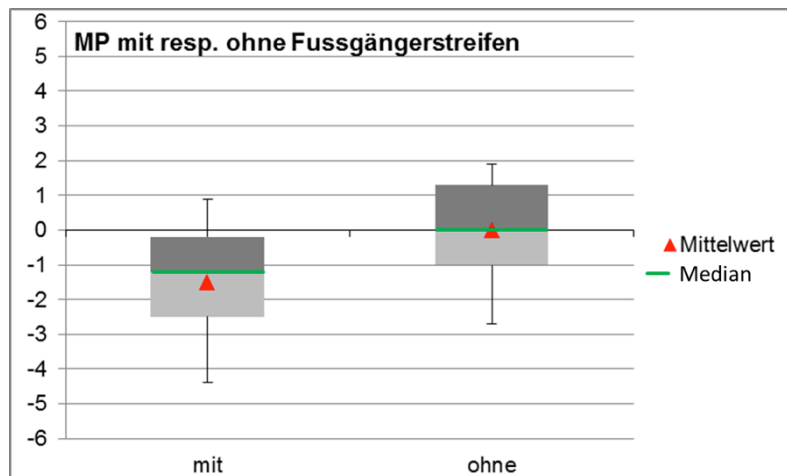


Abbildung 16: Einfluss Fussgängerstreifen bei untersuchten Messpunkten (n = 27)

Die Abbildung 16 zeigt, dass Messungen bei Ästen mit Fussgängerstreifen tendenziell ca. 1 dBA leiser sind als solche ohne Fussgängerstreifen. Die Lärmbelastung wird beim Vorhandensein von Fussgängerstreifen in mehr als 75% der Fälle überschätzt. Vermutlich rechnet der Fahrzeuglenker damit, mit hoher Wahrscheinlichkeit anhalten zu müssen. Dies hat Auswirkungen auf das Fahrverhalten, die Lenkerin lässt den Wagen ausrollen. Das Motorengeräusch und damit auch die Gesamtlärmemissionen nehmen ab.

4.5.4 Veränderung Prognostizität unter Berücksichtigung Einflussfaktoren

Werden die flächendeckend erhobenen Einflussgrößen akustische Güte Strassenbelag sowie die effektiv gefahrene Geschwindigkeit bei den Modellierungen berücksichtigt, nimmt die Prognosegenauigkeit bei Knoten von 33% auf 31% und bei Kreiseln von 52% auf 46% ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Lärmpegel, wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert, durch diverse weitere Faktoren beeinflusst werden. Ausserdem wurde die Auswahl des Basismodellierungsansatzes für denjenigen Fall optimiert, in welchem keine Informationen zur akustischen Qualität der Strassenbeläge und zur effektiven Fahrgeschwindigkeit vorliegen (entspricht dem Regelfall in der Praxis). Sollen Informationen zu diesen Einflussgrößen in die Berechnungen miteinbezogen werden, ist die Verwendung von alternativen Modellierungsansätzen zu prüfen.

4.6 Fehlerquellen

Grundsätzlich ist sowohl bei den akustischen Messungen wie auch bei den Lärmberechnungen mit Verfälschungen und Störeinflüssen durch diverse Fehlerquellen zu rechnen. Deshalb sollten für die Herleitung von Tendenzen und Beeinflussungen keine Ergebnisse einzelner Messpunkte/Messungen herangezogen werden. Durch die statistische Betrachtungsweise bei der Datenauswertung soll verhindert werden, dass die Ergebnisse durch einzelne Mess- oder Modellierungsfehler verfälscht werden.

Zu den möglichen Fehlerquellen bei der Datenerhebung gelten:

- Zählfehler Anzahl Fahrzeuge (Verkehrszählung)
- Falschklassierung des Schwerverkehrs (Verkehrszählung)
- Aufzeichnung von Hintergrundgeräuschen (diverse Lärmquellen, Kirchenglocken, naheliegende Nationalstrasse oder Bahnlinie etc.)
- Inkorrekte Aufzeichnung Leq und Geschwindigkeit durch die Messgeräte (fehlerhafte Handhabung, fehlerhafte Messgeräte)
- Nicht korrekte Ausmessung der Lage der Messpunkte und der Hauptachse (akustische Messungen)
- Nichtrepräsentativer Fahrzeugpark während den Messungen
- Nichtrepräsentatives Fahrverhalten aufgrund Sichtbarkeit der Messgeräte

Zu den möglichen Fehlerquellen bei der Datenauswertung gelten:

- Allgemeine Modellierfehler wie fehlerhafte Eingabe der Modellparameter (Verkehr, Geschwindigkeit etc.)
- Inkorrekte geometrische Modellierung der Lage der Messpunkte oder der Quelle⁴
- Falsche Annahmen bei der Bezeichnung der Lage der Hauptachse (keine spurgetrennten Zählungen vorhanden, v.a. bei Knoten mit Einspurstrecken problematisch)
- Fehlerhafte Annahmen hinsichtlich Reflexionen

Hinzu kommen allgemeine Fehler des Emissionsansatzes StL86+:

- Fehler des Standardmodells StL86+ bezüglich der Berechnung der Emissionen (aufgrund der Veränderung des Fahrzeugparkes und der Bereifung seit Erstellung des Emissionsansatzes)
- Fehler des Standardmodells StL86+ im niedrigen Geschwindigkeitsbereich z.B. bei signalisierter Geschwindigkeit 30 km/h (aufgrund der limitierten Anwendbarkeit des Emissionsansatzes im niedrigen Geschwindigkeitsbereich)
- Allgemeine Berechnungsfehler des Modellansatzes StL86+ (Fehlinterpretation Reflexionen, Bodeneffekte, etc.)

Durch die statistische Betrachtungsweise wurde verhindert, dass die Ergebnisse und Folgerungen durch einzelne Messfehler verfälscht wurden. Es kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass systematisch auftretende Verfälschungen zu Falschzuweisung und damit zu einer Falschinterpretation der Einflüsse führen können.

Bei der Auswahl der in der Forschungsarbeit untersuchten Knoten und Kreisel standen Repräsentativitätskriterien im Vordergrund. Aufgrund des gewählten Messkonzeptes mit Simultanmessungen, verschiedenen Messpositionen, sowie der vollständigen Erhebung auf Anschlüssen konnte jedoch nur eine begrenzte Anzahl Anlagen untersucht werden. Eine separate Erhebung weiterer Anlagentypen oder Subtypen mit deren akustischen Auswirkungen war deshalb im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit nicht möglich. Entsprechend kann nicht ausgeschlossen werden, dass die hier präsentierten Ergebnisse für weitere Anlagentypen und Subtypen lediglich eine limitierte Gültigkeit besitzen.

⁴ Da sich die Distanzdämpfung von Schall logarithmisch verhält, führen im Nahbereich zur Quelle bereits geringe Abweichungen der Quellenlage resp. Lage des Messpunktes zu wesentlichen Veränderungen des Leq.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Einfluss von Knoten und Kreisel auf die Lärmpegel

Hauptziel der vorliegenden Forschung war das Ermitteln des Gesamteinflusses von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel. Eine spezifisch auf die Fragestellung ausgelegte Messkampagne mit Simultanmessungen an mehreren Messpositionen erlaubte das Quantifizieren von Pegelveränderungen bei Knoten und Kreiseln im Vergleich zur freien Strecke. Die Ergebnisse werden untenstehend zusammengefasst und diskutiert.

Basismodellierungsansatz

Die Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Lärmpegel bei Knoten- und Kreiselsituationen konnte in der Summe mit einfachen Modellierungsansätzen erfolgreich nachgebildet werden.

Folgender Basismodellierungsansatz führte zur höchsten Prognosegenauigkeit, ohne das Risiko für Unterschätzung gleichzeitig zu erhöhen:

- Knoten: Modellansatz V1 (1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit auf Anschlüssen)
- Kreisel: Modellansatz V3 (1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit, 30 km/h im Innern des Kreisels und auf Anschlüssen innerhalb 50 m Abstand zum Anlagemittelpunkt)

Mit dem Basismodellierungsansatz wurde über sämtliche Messpunkte bei Knoten eine Prognosegenauigkeit von 38% und bei Kreiseln von 52% erreicht (Toleranz ± 1 dBA). Auf der freien Strecke kann mit einer Prognosegenauigkeit von über 50% gerechnet werden, an Knoten mit sehr heterogenen Einflussgrößen ist dieser Parameter deutlich tiefer zu erwarten. Insofern liefert der Basismodellierungsansatz für Kreisel unerwartet gute Werte.

Lärmpegelveränderungen im Vergleich zur freien Strecke

Im Nahbereich (Abstand ca. 25 m zu Anlagemitte) von Knoten und Kreiseln ist im Vergleich zur freien Strecke im Mittel mit den in Tabelle 5 dargestellten Pegelveränderungen zu rechnen. Die Werte der Prognosegenauigkeit entsprechen der Modellierung unter Anwendung des Basismodellierungsansatzes. Die Steigerung resp. Minderung der Prognosegenauigkeit bezieht sich auf die Situation, in welcher die für die einzelnen Messpositionen festgestellten Pegelveränderungen immissionsseitig zum Basismodellierungsansatz hinzugerechnet werden.

Tabelle 5: Pegelveränderungen Knoten/Kreiselnähe - freie Strecke

		Geltungsbereich	Tendenz & Korrektur	Prognosegenauigkeit (Toleranz: ± 1 dBA)	Δ Genauigkeit im Vgl. zu Basisvariante*
Knoten	< 25m	Ausfahrbereich	ca. + 0.5 dBA	35%	-7%
		Einfahrbereich	ca. + 0.5 dBA	13%	+7%
	25 – 50m	Ausfahrbereich	keine Daten vorhanden		
		Einfahrbereich	ca. -0.5 dBA	48%	+16%
Kreisel	< 25m	Ausfahrbereich	keine	49%	-
		Einfahrbereich	ca. - 1 dBA	35%	+14%
	25 – 50m	Ausfahrbereich	keine Daten vorhanden		
		Einfahrbereich	ca. - 1 dBA	56%	+15%

* ohne Korrektur

Für die Messposition c im Ausfahrbereich in 25 bis 50 m Abstand zur Anlagemitte können keine Aussagen gemacht werden, da nur auf Seite Einfahrt gemessen wurde.

Die Erkenntnisse gehen tendenziell in die gleiche Richtung wie jene aus den ausländischen Untersuchungen und jene aus den Messungen in verschiedenen Kantonen (vgl. 2.2.6 und 2.3.4).

Immissionsseitige Korrekturen

Werden zum Basismodellierungsansatz zusätzlich die in der Tabelle 5 dargestellten Tendenzen als immissionsseitigen Korrekturen angewendet, kann die Prognosegenauigkeit bei Kreiseln bei allen Messpositionen um ca. 15 % auf insgesamt über 56% gesteigert werden. Bei Knoten hingegen ist im Nahbereich entweder eine Verschlechterung oder keine eindeutige Verbesserung der Prognosegenauigkeit zu verzeichnen, da die Streuung der Messpegel grösser ist. Nur im Einfahrbereich verbessert sich die Prognosegenauigkeit um rund 15%. Eine zusätzliche Korrektur im Nahbereich von Kreiseln und Knoten empfiehlt sich in Fällen, wo genaue Berechnungsergebnisse gewünscht sind.

Differenzen Einfahr- und Ausfahrbereich

Wie die vorliegende Studie zeigt, ist im Einfahr- bzw. Ausfahrbereich von Knoten und Kreiseln im Nahbereich mit unterschiedlichen Lärmpegeln zu rechnen. Mit zunehmender Entfernung zur Quelle nehmen diese Differenzen jedoch aufgrund geometrischer Effekte ab. Bei einer emissionsseitig gemessenen Differenz von 2 dBA zwischen Ein- und Ausfahrbereich, wie es bei fast 90% der ausgewerteten Messpunkte der Fall ist, kann davon ausgegangen werden, dass die im Nahbereich festgestellten Differenzen ab einer Entfernung von 15 bis 20 m nicht mehr signifikant sind. Entsprechend sollte solchen Differenzen bei Beurteilungen im Nahfeldbereich Rechnung getragen werden.

Einflussgrössen

Aufgrund der grossen Anzahl von Einflussgrössen (Fahrgeschwindigkeit, Fahrverhalten, stehende Fahrzeuge, Strassenbelag, Quellenlage, Abschirmungen, situationsspezifische Einflüsse etc.) stand die Erhebung des Gesamteinflusses von Knoten und Kreiseln im Vordergrund, bei welchem die Einflussgrössen nicht im Einzelnen sondern in der Summe betrachtet wurden. Für die während der Messkampagne flächendeckend erhobenen Einflussgrössen konnte folgender statistischer Einfluss auf die Lärmpegel ermittelt werden:

Tabelle 6: Pegelveränderungen durch die Einflussgrössen

Einflussgrösse	Untersuchte Klassen	Klassengrenze	Mittlere Beeinflussung	Q50 Klasse 1	Q50 Klasse 2
Strassenbelag	leiser / lauter	Q50 = 1.0 dBA	ca. +1 dBA	0.0	-0.7
Fahrgeschwindigkeit	langsam / schnell	Q50 = 32 km/h	keine	-	-
Fussgängerstreifen	nein / ja	-	ca. -1 dBA	- 1.2	0.0

- Strassenbelag: Das Ausmass des statistischen Einflusses des Strassenbelages unterstreicht dessen Wichtigkeit auch in Bezug auf die Lärmemissionen bei Kreiseln und Knotensituationen. Dies ist insbesondere deshalb bemerkenswert, da im Bereich von Knoten und Kreiseln aufgrund anderer Einflüsse der relative Beitrag der Antriebsgeräusche zunimmt. Allerdings scheinen die Rollgeräusche im Mittel auch bei knoten- und kreiselnahen Messpunkten vorzuherrschen.
- Fahrgeschwindigkeit: In Bezug auf die Fahrgeschwindigkeit konnte kein statistischer Einfluss nachgewiesen werden. Nicht auszuschliessen ist jedoch, dass die Fahrgeschwindigkeit die Lärmpegel im Einzelfall beeinflussen kann. Es ist aber anzunehmen, dass andere Einflussgrössen das Ausmass des Geschwindigkeitseinflusses auf die Lärmpegel übersteigen. Für die Abschätzung der Lärmemissionen an Knoten und Kreiseln scheint die effektiv gefahrene Geschwindigkeit demnach eine untergeordnete Rolle zu spielen.

- Fussgängerstreifen: Bei Messpunkten in der Nähe eines Fussgängerstreifens fallen die Lärmpegel im Mittel ca. 1 dBA leiser aus als bei solchen ohne Fussgängerstreifen. Vermutlich rechnet der Fahrzeuglenker damit, mit hoher Wahrscheinlichkeit anhalten zu müssen. Dies hat Auswirkungen auf das Fahrverhalten, die Lenkerin lässt den Wagen ausrollen. Das Motorengeräusch und damit auch die gesamten Lärmemissionen nehmen ab.
- Die Auswahl des Basismodellierungsansatzes wurde für denjenigen Fall optimiert, in welchem keine Informationen zur akustischen Qualität der Strassenbeläge und zur effektiven Fahrgeschwindigkeit vorliegen (entspricht dem Regelfall in der Praxis). Sollen Informationen zu den einzelnen Einflussgrössen in die Berechnungen miteinbezogen werden, ist die Verwendung von alternativen Modellierungsansätzen zu prüfen.

5.2 Fazit

Die Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Lärmpegel bei Knoten- und Kreiselsituationen konnte in der Summe mittels einfachen Modellierungsansätzen erfolgreich nachgebildet werden. Gemessen an der Komplexität der einzelnen Knoten- und Kreiselsituationen, wird mit dem auf dem Standardemissionsmodell StL86+ beruhenden Basismodellierungsansatz

- Knoten: 1 Achse pro Strassenast, signalisierte Geschwindigkeit
- Kreisel: 1 Achse pro Strassenast, signalisierte Geschwindigkeit, Geschwindigkeit 30 km/h auf Kreiselfahrbahn und auf Anschlüssen innerhalb 50 m vom Kreiselmittelpunkt

eine ausreichende Prognosegenauigkeit erreicht. Der Basismodellierungsansatz soll für zukünftige Berechnungen angewendet werden. Bei erhöhten Genauigkeitsansprüchen können zusätzlich zum Basismodellierungsansatz immissionsseitige Korrekturen angewendet werden, womit die Prognosegenauigkeit weiter gesteigert werden kann.

Die Auswahl des Basismodellierungsansatzes wurde für denjenigen Fall optimiert, in welchem keine Informationen zur akustischen Qualität der Strassenbeläge und zur effektiven Fahrgeschwindigkeit vorliegen (entspricht dem Regelfall in der Praxis). Die allgemeine Prognosegenauigkeit für die physikalischen Auswirkungen von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel kann mit vertretbarem Aufwand nicht weiter gesteigert werden. Entsprechend sind keine zusätzlichen Forschungen in diesem Bereich anzustreben.

5.3 Weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Forschung befasst sich mit den von Knoten und Kreiseln ausgehenden Auswirkungen auf die Lärmpegel. In der Praxis spielen neben der Berücksichtigung von Pegelveränderungen ebenfalls die erhöhte Lästigkeit, welche von Knoten und Kreiseln ausgeht, deren Ermittlung jedoch nicht Bestandteil der vorliegenden Forschung war, eine zunehmende Rolle. In einer deutschen Studie wurde das Ausmass der Störwirkung von Einmündungen, Kreuzungen und Kreiseln für eine Referenzsituation ermittelt. Um jedoch Störwirkungen auch für von der Referenzsituation abweichende Situationen bestimmen zu können, ist eine Differenzierung der Störwirkung, zum Beispiel nach Grösse der Anlage bzw. dem Verkehrsaufkommen, notwendig. Ausserdem gilt es zu klären, durch welche Faktoren die zusätzliche Lästigkeit hervorgerufen wird und ab welcher Anlagegrösse, respektive ab welchem Verkehrsaufkommen eine zusätzliche Lästigkeit bzw. Störwirkung gegeben ist.

Anhänge

I	Bestehende Messungen und Berechnungen.....	51
II	Untersuchte Knoten und Kreisel.....	55
III	Vergleich Messung-Berechnung.....	61
IV	Vergleich Messung-Berechnung mit Geschwindigkeit und Belagsgüte.....	63
V	Auswertung statistischer Grössen nach Einflussfaktoren	65

I Bestehende Messungen und Berechnungen

Evaluation bestehende Messungen und Berechnungen

Umbau Knoten in Kreisel (5 Gemeinden, Kantone AG+BS+TG)

EP	Empfangspunkt		NB	Nahbereich <25 m		dL	Pegeldifferenz	
HS	Hauptstrasse		MB	Mittelbereich 25-50 m		[dBA]	Messung-Berech	
NS	Nebenstrasse		FB	Fernbereich >50 m			Knoten	

EP	Strasse	Bereich	Alle EP	EP HS	EP NS	EP NB	EP MB	EP FB	Bemerkungen
	HS/NS	N/M/FB	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	

Brunegg AG

K2	NS	MB	-2.6		-2.6			-2.6	
----	----	----	------	--	------	--	--	------	--

Küttigen AG

St1E	HS	NB	-0.7	-0.7				-0.7	
St1S	NS	NB	-0.3		-0.3			-0.3	

Kölliken AG

H29S	NS	NB	1.6		1.6			1.6	
H16N	NS	NB	-1.0		-1.0			-1.0	

Basel BS

Hol2	NS	NB	-0.8		-0.8			-0.8	
------	----	----	------	--	------	--	--	------	--

Amriswil TG

R32N	HS	NB	0.6	0.6		0.6			
R32M	HS	MB	-0.6	-0.6				-0.6	

Arithmetisches Mittel

	-0.5	-0.2	-0.6	-0.1	-1.6				Tagperiode
Standardabweichung	1.2	0.4	1.2	0.9	0.9				
Maximum	1.6	0.6	1.6	1.6	-0.6				
Minimum	-2.6	-0.7	-2.6	-1.0	-2.6				
Anzahl EP	8	3	5	6	2	0			

EP	Strasse	Bereich	Alle EP	EP HS	EP NS	EP NB	EP MB	EP FB	Bemerkungen
	HS/NS	N/M/FB	dL nacht	dL nacht	dL nacht	dL nacht	dL nacht	dL nacht	

Basel BS (nachts)

Hol2	NS	NB	2.6		2.6	2.6			Nachtperiode
------	----	----	-----	--	-----	-----	--	--	--------------

Anzahl EP			1	0	1	1	0	0	
-----------	--	--	---	---	---	---	---	---	--

Differenzen Messungen-Berechnungen

Bei Messungen an total sieben Knoten (AG, BE, BS, TG) betragen die Differenzen zu den Berechnungen für die Tagperiode -0.8 bis +0.6, im Mittel -0.5 dBA. Modelliert wurde mit der signalisierten Geschwindigkeit von 50 km/h. Mit einer Langzeitmessung in der Nachtperiode ergibt sich eine Differenz von +2.6 dBA. Es ist anzunehmen, dass diese auf wesentlich höhere effektive Geschwindigkeiten in der verkehrsarmen Periode zurückzuführen ist.

Bei Messungen an total zwei Kreiseln (BS, TG) betragen die Differenzen zu den Berechnungen für die Tagperiode +0.2 bis +0.9 dBA, für die Nachtperiode +1.4 dBA. Es ist anzumerken, dass die Berechnungen im Kreisel mit $v = 50$ bzw. 40 km/h durchgeführt wurden.

Evaluation bestehende Messungen

Umbau Knoten in Kreisel (5 Gemeinden, Kantone BS+SH+TG+ZH)

EP	Empfangspunkt	NB	Nahbereich <25 m	dL	Pegeldifferenz				
HS	Hauptstrasse	MB	Mittelbereich 25-50 m	[dBA]	Kreisel-Knoten				
NS	Nebenstrasse	FB	Fernbereich >50 m		(Messung)				
EP	Strasse	Bereich	Alle EP	EP HS	EP NS	EP NB	EP MB	EP FB	Bemerkungen
	HS/NS	N/M/FB	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	
Basel BS									
Hol2	NS	MB	-0.8		-0.8		-0.8		
Stein am Rhein SH									
Wa10	HS	MB	-1.5	-1.5			-1.5		
Amriswil TG									
R32N	HS	NB	0.6	0.6		0.6			
R32M	HS	MB	1.1	1.1			1.1		
Steckborn TG									
Se129	HS	NB	0.1	0.1		0.1			
Hedingen ZH									
Rand	HS	MB	-1.1	-1.1			-1.1		
Arithmetisches Mittel			-0.3	-0.2	-0.8	0.4	-0.6		Tagperiode
Standardabweichung			1.0	1.0	0.3	0.2	0.9		
Maximum			1.1	1.1	-0.8	0.6	1.1		
Minimum			-1.5	-1.5	-0.8	0.1	-1.5		
Anzahl EP			6	5	1	2	4	0	
EP	Strasse	Bereich	Alle EP	EP HS	EP NS	EP NB	EP MB	EP FB	Bemerkungen
	HS/NS	N/M/FB	dL nacht	dL nacht	dL nacht	dL nacht	dL nacht	dL nacht	
Basel BS (nachts)									
Hol2	NS	MB	2.6		2.6		2.6		
Hedingen ZH (nachts)									
Rand	HS	MB	-1.7	-1.7			-1.7		
Arithmetisches Mittel			0.5	-1.7	2.6		0.5		Nachtperiode
Standardabweichung			3.0	1.2	1.8		3.0		
Maximum			2.6	-1.7	2.6		2.6		
Minimum			-1.7	-1.7	2.6		-1.7		
Anzahl EP			2	1	1	0	2	0	

Differenzen Messungen Kreisel-Knoten

Bei Langzeitmessungen an 2 Orten (BS, ZH) betragen die Differenzen Kreisel-Knoten -1.7 und -1.1 dBA tags sowie -2.9 und -1,7 dBA nachts. Bei Kurzzeitmessungen an 3 Orten (SH, TG) waren Differenzen von -1.5 bis +1.1, im Mittel -0.3 dB zu beobachten. Bei den Knoten mit positiver Abweichung (TG) befanden sich die Empfangspunkte im Nahbereich, wo der Strassenrand mit Kreisel teilweise deutlich näher ist als ohne Kreisel und es dadurch zu einer Verschiebung der Lärmquelle gekommen ist.

Evaluation bestehende Berechnungen

Umbau Knoten in Kreisel (7 Gemeinden, Kantone SO+TG)

EP	Empfangspunkt	NB	Nahbereich <25 m	dL	Pegeldifferenz				
HS	Hauptstrasse	MB	Mittelbereich 25-50 m	[dBA]	Kreisel-Knoten				
NS	Nebenstrasse	FB	Fernbereich >50 m		(Berechnung)				
EP	Strasse	Bereich	Alle EP	EP HS	EP NS	EP NB	EP MB	EP FB	Bemerkungen
	HS/NS	NM/FB	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	
Däniken SO									
1	HS	FB	-2.1	-2.1				-2.1	Hauptstrasse mit Knoten v = 60 km/h mit Kreisel v = 50 km/h
3	HS	FB	-1.2	-1.2				-1.2	
4	HS	FB	-1.3	-1.3				-1.3	
5	NS	FB	-1.8		-1.8			-1.8	
6	NS	FB	-2.0		-2.0			-2.0	
7	NS	FB	-0.7		-0.7			-0.7	
8	NS	FB	-0.1		-0.1			-0.1	
9a	HS	NB	-1.2	-1.2		-1.2			
9b	NS	NB	0.5		0.5	0.5			
10	NS	MB	-0.5		-0.5		-0.5		
12	HS	FB	-1.3	-1.3				-1.3	
13	HS	FB	-1.1	-1.1				-1.1	
14	HS	FB	-1.1	-1.1				-1.1	
17a	HS	FB	-1.1	-1.1				-1.1	
18	HS	FB	-1.1	-1.1				-1.1	
19	HS	FB	-1.3	-1.3				-1.3	
20	HS	MB	-1.6	-1.6			-1.6		
21a	HS	NB	-0.9	-0.9		-0.9			
21b	HS	NB	0.4	0.4		0.4			
23	NS	MB	0.1		0.1		0.1		
25	NS	FB	-0.6		-0.6			-0.6	
27	NS	FB	-0.2		-0.2			-0.2	
28a	NS	NB	0.3		0.3	0.3			
28b	HS	NB	-0.6	-0.6		-0.6			
Amriswil TG									
W24S	HS	NB	-0.8	-0.8		-0.8			Kreisel und Nahbereich v = 30 km/h (NB ca 30 m)
W24E	HS	NB	-0.5	-0.5		-0.5			
A01S	NS	NB	0.3		0.3	0.3			
A01E	NS	NB	0.2		0.2	0.2			
W20W	NS	NB	0.5		0.5	0.5			
W20S	HS	NB	-0.3	-0.3		-0.3			
W15E	HS	NB	-1.0	-1.0		-1.0			
W15W	HS	NB	-0.3	-0.3		-0.3			
W17E	HS	MB	-1.5	-1.5			-1.5		
W17W	HS	MB	-1.4	-1.4			-1.4		
Bürglen TG									
G10S	HS	MB	0.0	0.0			0.0		Kreisel und Nahbereich v = 40 km/h
G10E	HS	MB	-1.0	-1.0			-1.0		
G09N	HS	MB	0.0	0.0			0.0		
LinN	HS	MB	0.0	0.0			0.0		
LinW	NS	MB	-1.0		-1.0		-1.0		

(Fortsetzung nächste Seite)

EP	Empfangspunkt		NB	Nahbereich <25 m		dL	Pegeldifferenz		
HS	Hauptstrasse		MB	Mittelbereich 25-50 m		[dBA]	Kreisel-Knoten		
NS	Nebenstrasse		FB	Fernbereich >50 m			(Berechnung)		
EP	Strasse	Bereich	Alle EP	EP HS	EP NS	EP NB	EP MB	EP FB	Bemerkungen
	HS/NS	N/M/FB	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	dL tags	
Kemmental TG									
D02N	NS	FB	-0.2		-0.2			-0.2	Kreisel und Nahbereich v = 30 km/h (NB ca 25 m)
D02W	NS	FB	-0.1		-0.1			-0.1	
O01W	HS	MB	-0.5	-0.5			-0.5		
H15E	HS	MB	-1.5	-1.5			-1.5		
H15S	NS	MB	-1.5		-1.5		-1.5		
A01E	HS	NB	-1.5	-1.5		-1.5			
A01N	NS	NB	-1.0		-1.0	-1.0			
H13E	HS	FB	0.0	0.0				0.0	
H18W	HS	FB	-0.1	-0.1				-0.1	
Kradolf TG									
H53S	HS	FB	-0.3	-0.3				-0.3	Kreisel und Nahbereich v = 30 km/h (NB ca 30 m)
H53E	HS	MB	-1.7	-1.7			-1.7		
H57S	NS	MB	-1.9		-1.9		-1.9		
H60N	HS	FB	-0.5	-0.5				-0.5	
H60W	HS	MB	-1.4	-1.4			-1.4		
H56N	NS	MB	-0.9		-0.9		-0.9		
Salmsach TG									
S02S	NS	NB	-0.9		-0.9	-0.9			Kreisel und Nahbereich v = 30 km/h (NB ca 15 m)
S02E	HS	NB	-0.8	-0.8		-0.8			
A03W	HS	NB	-1.1	-1.1		-1.1			
A03S	NS	NB	-0.9		-0.9	-0.9			
A06E	HS	MB	-0.3	-0.3			-0.3		
A04E	HS	NB	-0.5	-0.5		-0.5			
A04N	NS	NB	-1.2		-1.2	-1.2			
Wilén TG									
D07W	NS	NB	-3.2		-3.2	-3.2			Kreisel und Nahbereich v = 30 km/h (NB ca 30 m)
D07S	NS	NB	-2.8		-2.8	-2.8			
D15N	HS	NB	-2.9	-2.9		-2.9			
Arithmetisches Mittel			-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	
Standardabweichung			0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	
Maximum			0.5	0.4	0.5	0.5	0.1	0.0	
Minimum			-3.2	-2.9	-3.2	-3.2	-1.9	-2.1	
Anzahl EP			64	39	25	25	18	21	

Differenzen Berechnungen Kreisel-Knoten

Es liegen Berechnungen an 25 Empfangspunkten in Däniken SO sowie 40 Empfangspunkten in sechs Gemeinden im Kanton TG vor. Die mittlere Differenz Kreisel-Knoten liegt bei -0.9 dBA, die Standardabweichung bei 0.8 dBA. Zwischen Haupt- und Nebenstrassen (mit Knoten vortrittsbelastet) sind keine wesentlichen Unterschiede sichtbar. Im "Fernbereich" (Distanz über 50 m zum Knoten/Kreisel) nehmen die Differenzen zwischen Kreisel und Knoten deutlich ab. Dies kommt nicht zum Ausdruck, weil in Däniken SO gleichzeitig mit dem Kreiselbau die signalisierte Geschwindigkeit von 60 auf 50 km/h gesenkt wurde, was grössere Differenzen verursacht.

II Untersuchte Knoten und Kreisel

Knoten Scheidegg Winterthur-Grüze: Grüzefeld-/Scheideggstrasse (ohne LSA)

Der Knoten liegt innerorts zwischen dem Wohnquartier Gutschick und dem Industriegebiet Grüze, die Höchstgeschwindigkeiten betragen 50 bzw. 30 km/h (Scheideggstrasse Süd). Die Grüzefeldstrasse ist vortrittsberechtigt. An der Grüzefeldstrasse liegt eine beidseitige Trolleybushaltestelle. Ein viergeschossiges Gebäude steht nordöstlich und ein sechsgeschossiges südöstlich des Knotens in einem gegenseitigen Abstand von 50 m.

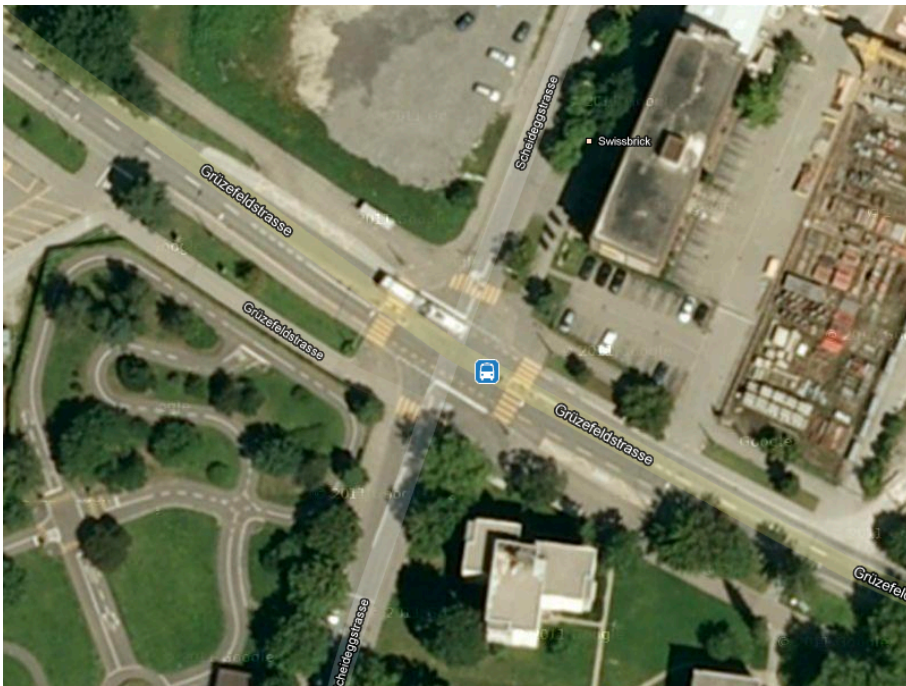


Abbildung 1: Knoten Scheidegg Winterthur (Quelle: Google Maps)

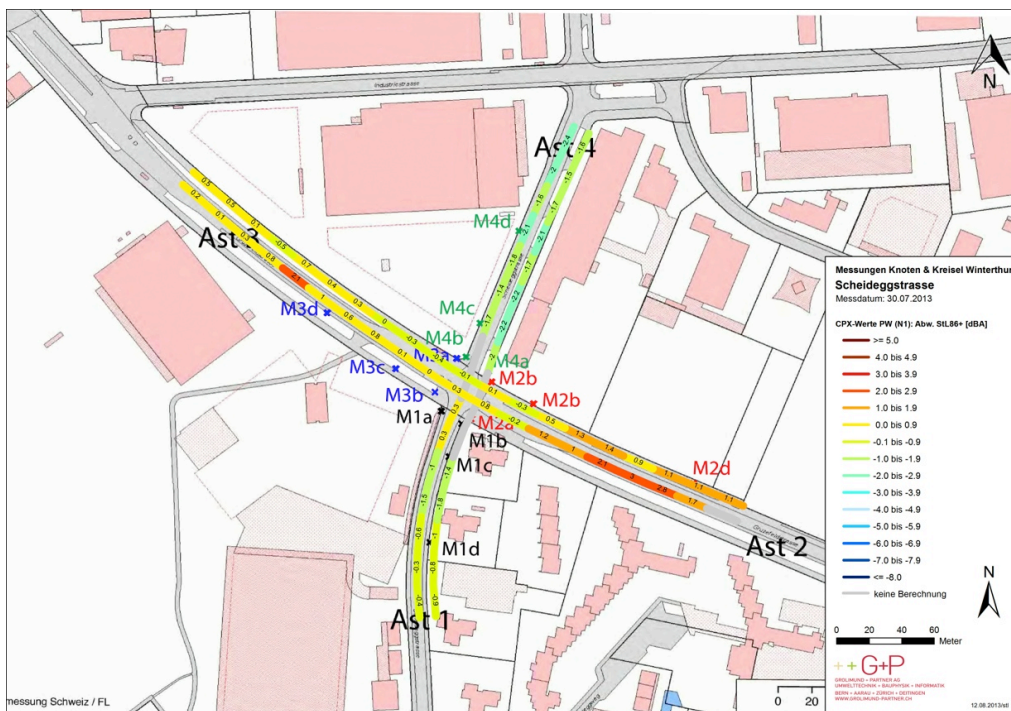


Abbildung 2: Akustische Güte der Strassenbeläge CPX Knoten Scheidegg Winterthur

Knoten Kollbrunn: Tösstal-/Weisslinger-/Dorfstrasse (ohne LSA)

Der Knoten liegt innerorts am südlichen Dorfrand, die Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Die Tösstalstrasse ist vortrittsberechtigt. Entlang der Dorfstrasse liegen beidseitig dreigeschossige Gebäude im Nahbereich.



Abbildung 3: Knoten Kollbrunn (Quelle: Google Maps)

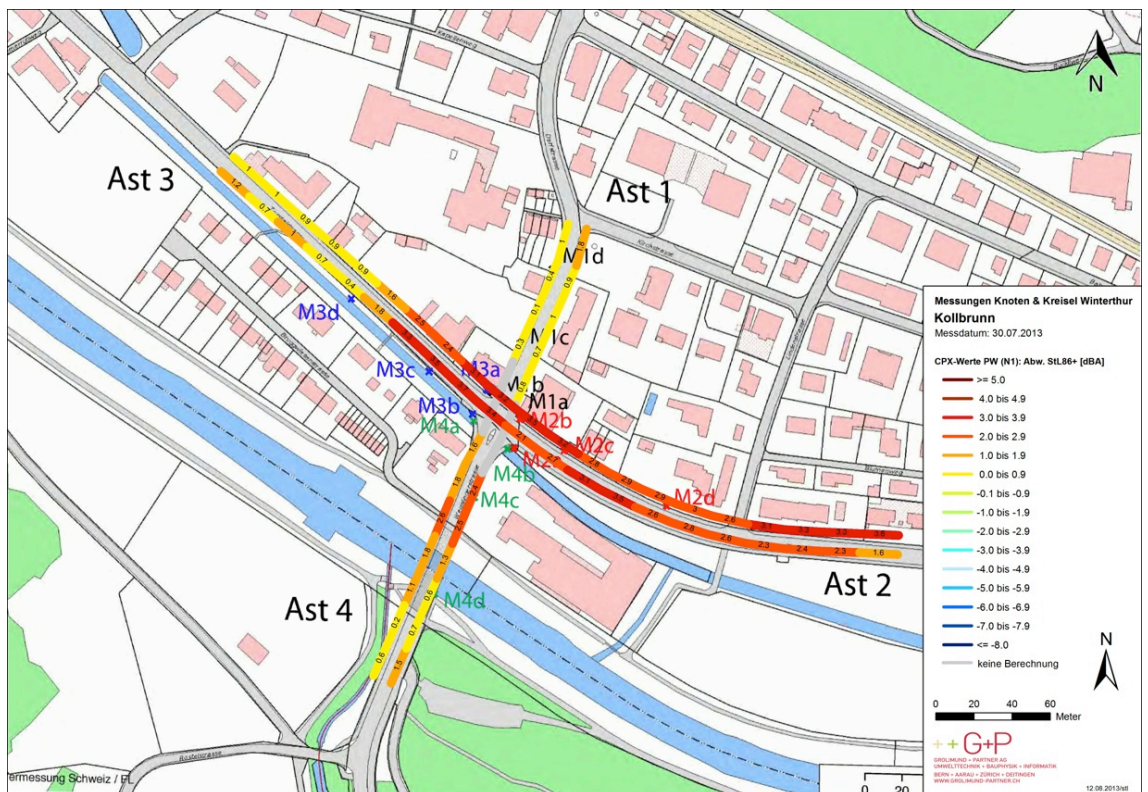


Abbildung 4: Akustische Güte der Strassenbeläge CPX Knoten Kollbrunn

Knoten Wiesendangen: Frauenfelder-/Wiesendanger-/Stadlerstrasse (mit LSA)

Der lightsignalgesteuerte Knoten liegt ausserorts zwischen Oberwinterthur und dem Autobahnanschluss bzw. Wiesendangen und Stadel, die Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. In der Umgebung sind keine Gebäude vorhanden.



Abbildung 5: Knoten Wiesendangen (Quelle: Google Maps)

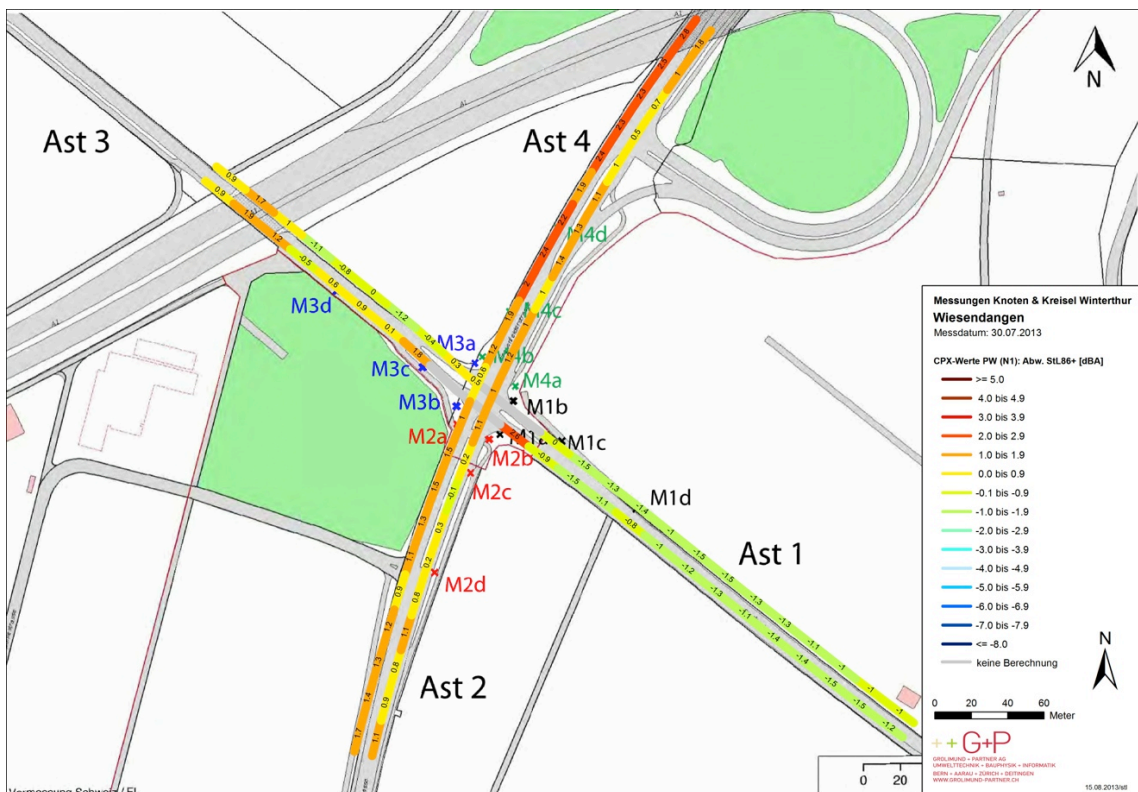


Abbildung 6: Akustische Güte der Strassenbeläge CPX Knoten Wiesendangen

Kreisel Grüzefeld Winterthur-Seen: Grüzefeld-/Seener-/Etzbergstrasse

Der Kreisel liegt zwischen dem Industriegebiet Grütze und dem Wohnquartier Wingertli. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Ein zweigeschossiges Gewerbegebäude steht nordwestlich und ein viergeschossiges Wohngebäude südöstlich des Knotens in einem gegenseitigen Abstand von 70 m. Auf dem Südast der Seenerstrasse liegt eine beidseitige Trolleybushaltestelle.



Abbildung 7: Kreisel Grüzefeld Winterthur (Quelle: Google Maps)

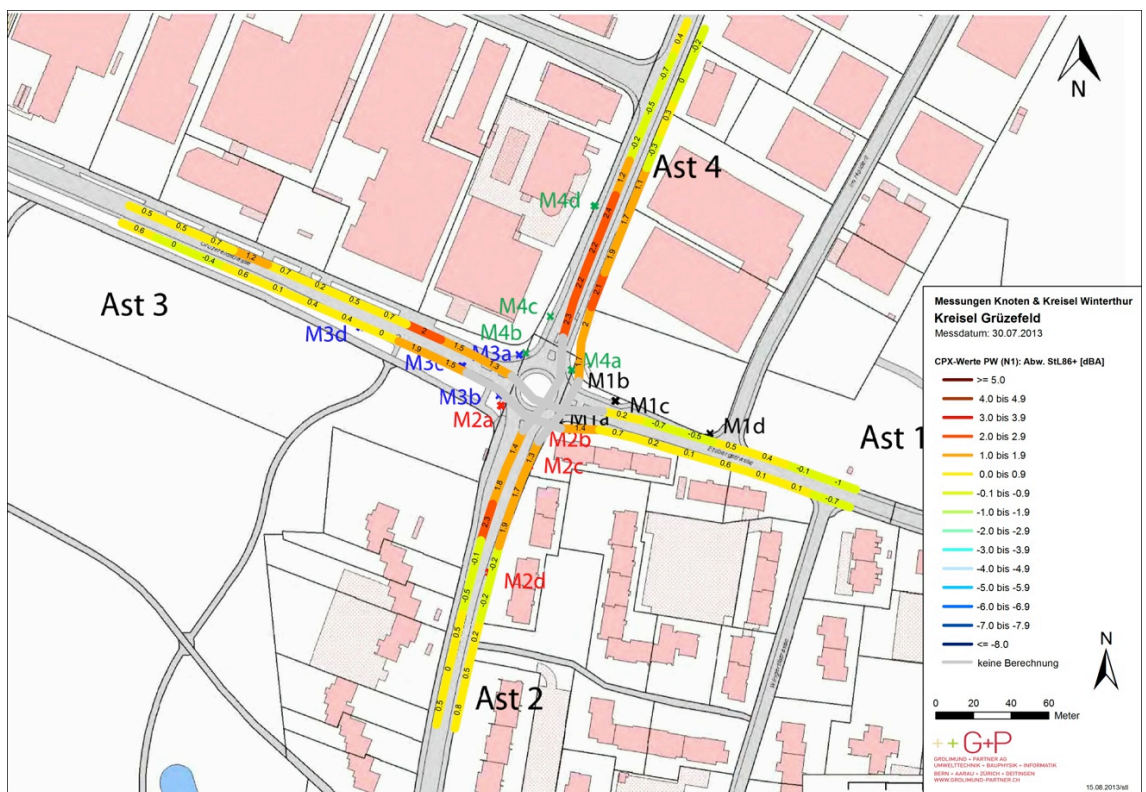


Abbildung 8: Akustische Güte der Strassenbeläge CPX Kreisel Grüzefeld Winterthur

Kreisel Unterohringen: Schaffhauser-/Ohringer-/Rietstrasse

Der Kreisel liegt am Westrand von Unterohringen. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 80 bzw. 50 km/h (Ostast: Ohringerstrasse). Ein zweigeschossiges Gasthaus steht nordöstlich des Kreisels. Auf dem Nordast liegt eine beidseitige Postautohaltestelle.



Abbildung 9: Kreisel Unterohringen (Quelle: Google Maps)

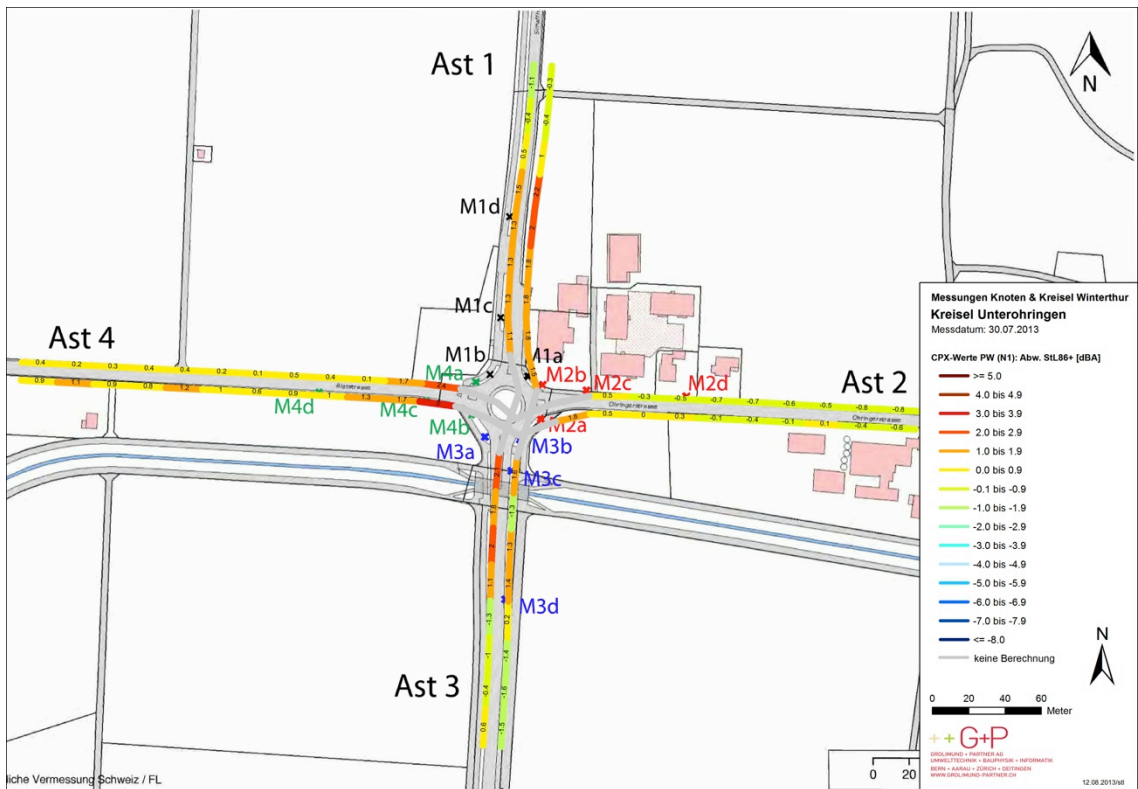


Abbildung 10: Akustische Güte der Strassenbeläge CPX Kreisel Unterohringen

III Vergleich Messung-Berechnung

Knoten Scheidegg

MP	M-B 1-Spur	Δ zu Freifahrt	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar	Dimension Ast
1a	-4.5	1.8	7.0	30	30	↓ 27	⇒ 0	sehr viel N2 => Zählfehler?, Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
1b	-4.2	2.1	9.5	30	30	↓ 19	⇒ 0	Lage MP unklar, Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
1c	-5.9	0.4	5.5	30	30	↓ -0.5		Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
1d	-6.3	-	5.4	30	30	↓ 25	↓ -1	Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
2a	-3.4	-4.2	14.5	50	50	↓ 34	⇒ 0	Lage MP unklar, Bus, Fussgängerstreifen	
2b	-2.4	-3.2	7.9	50	50	↓ 35	⇒ 0	Bus, Fussgängerstreifen	
2c	-1	-1.8	8.6	50	50	⇒ 0		Bus, Fussgängerstreifen	
2d	0.8	-	5.5	50	50	↓ 42	↑ 1	Bus, Fussgängerstreifen	
3a	-2.5	-1.1	12.5	50	50	↓ 36	↓ -0.5	Bus, Fussgängerstreifen	
3b	-2.5	-1.1	8.0	50	50	↓ 40	⇒ 0	Bus, Fussgängerstreifen	
3c	-1.4	0	9.1	50	50	⇒ 0		Bus, Fussgängerstreifen	
3d	-1.4	-	6.5	50	50	↓ 45	↑ 1	Bus, Fussgängerstreifen	
4a	-1.6	2.8	7.5	30	30	⇒ 31	↓ -2	Lage MP unklar, Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
4b	1	5.4	6.5	30	30	↓ 19	-	Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
4c	-4	0.4	6.0	30	30	↓ -1.5		Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
4d	-4.4	-	6.0	30	30	⇒ 31	↓ -2	Fussgängerstreifen	Nebenast ohne Vortritt
med.	-2.5								
Ø	2.5								
std.dev.	2.0								

Knoten Kollbrunn

MP	M-B 1-Spur	Δ zu Freifahrt	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar	Dimension Ast
1a	0.2	1.9	6.5	30	30	↑ 32	↑ 2		Nebenast ohne Vortritt
1b	-0.2	1.5	6.5	30	30	↓ 26	-		Nebenast ohne Vortritt
1c	-2.6	-0.9	4.8	30	30	↑ 0.5		Schild Umleitung => Ausrollen um zu Lesen	Nebenast ohne Vortritt
1d	-1.7	-	5.0	30	30	↑ 35	↑ 1		Nebenast ohne Vortritt
2a	-1	-2.7	9.0	50	50	↓ 42	↑ 2	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)	
2b	0.5	-1.2	6.7	50	50	↓ 41	↑ 1.5	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)	
2c	1.6	-0.1	6.6	50	50	↑ 2.5			
2d	1.7	-	5.7	50	50	↓ 47	↑ 2.5		
3a	-1.2	0.4	7.0	50	50	↓ 41	↑ 2.5		
3b	-0.2	1.4	7.5	50	50	↓ 39	↑ 2.5	Fussgängerstreifen nahe Kindertagesstätte (Messung 8:00-11:00) => häufiges Halten (Stop-and-go)?	
3c	0	1.6	6.2	50	50	↑ 2.5			
3d	-1.6	-	5.2	50	50	↓ 47	↑ 1		
4a	1.6	3	14.0	50	50	↓ 32	↑ 2.5		Nebenast ohne Vortritt
4b	0.3	1.7	11.8	50	50	↓ 32	↑ 2		Nebenast ohne Vortritt
4c	-2.9	-1.5	5.4	50	50	↑ 2		Hinweis Baustelle => Ausrollen um zu Lesen	Nebenast ohne Vortritt
4d	-1.4	-	5.0	50	50	↓ 43	↑ 0.5		Nebenast ohne Vortritt
med.	-0.2								
Ø	1.0								
std.dev.	0.9								

- weniger 100 Fz gezählt Ast 4 in 0.5h

Knoten Wiesendangen - mit LSA

MP	M-B 1-Spur	Δ zu Freifahrt	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar	Dimension Ast
1a	1.3	3.4	11.8	50	50	↓ 35	↑ 0.5		
1b	0	2.1	9.9	50	50	↓ 22	⇒ 0	Stop-and-go	
1c	-4.4	-2.3	7.2	50	50	↓ -1			
1d	-2.1	-	4.3	50	50	⇒ 51	↓ -1		
2a	1.3	-0.1	9.4	50	50	↑ 1		Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)	Nebenast
2b	1.8	0.4	10.4	50	50	↓ 26	↑ 1.5	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke), Stop-and-go	Nebenast
2c	1	-0.4	7.7	50	50	↑ 1			Nebenast
2d	1.4	-	8.5	50	50	↓ 45	↑ 0.5	bei kleinem Abzweiger => Stop-and-Go?	Nebenast
3a	2.1	0	11.8	50	50	↓ 30	↑ 0.5		Nebenast
3b	1.1	-1	11.7	50	50	↓ 22	↑ 1	Stop-and-go	Nebenast
3c	-0.4	-2.5	7.3	50	50	↑ 0.5			Nebenast
3d	2.1	-	4.6	50	50	↑ 53	⇒ 0	MP sehr nahe bei NS und Unterführung	Nebenast
4a	-0.1	-0.5	10.6	50	50	↓ 38	↑ 1	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)	
4b	-1.5	-1.9	11.1	50	50	↓ 32	↑ 0.5	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke), Stop-and-go	
4c	-1	-1.4	8.2	50	50	↑ 1.5			
4d	0.4	-	7.9	50	50	↓ 45	↑ 1.5	Ausrollen für Kurve Autobahn	
med.	0.7								
Ø	1.2								
std.dev.	1.1								

- Knoten nahe Autobahn [keine Zählung] => Beeinflussung Messresultate durch Hintergrundlärm

- ¹ Distanz Messpunkt zu Achse
 - ² signalisierte Geschwindigkeit
 - ³ berechnete Geschwindigkeit im Modell
 - ⁴ effektiv gefahrene Geschwindigkeit
 - ⁵ akustische Belagsgüte bei 50km/h
- Abweichungen Messung-Berechnung (M-B):
- M > B
 - M < B
- Beeinflussungsrichtung Pegel:
- ↑ Pegelzunahme
 - ↓ Pegelabnahme

Kreisel Grüzefeld

MP	M-B V30	Δ zu Freifahrt	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar
1a	-1.9	-1.8	11.0	30	30	↑ 33	↑ 0.5	Fussgängerstreifen
1b	-0.1	0	10.0	30	30	↓ 28	⇒ 0	Fussgängerstreifen
1c	-2	-1.9	7.0	30	30	-	⇒ 0	Fussgängerstreifen
1d	-0.1	-	6.1	30	30	↓ 27	⇒ 0	Fussgängerstreifen
2a	-0.5	-0.6	14.5	50	30	↓ 29	↑ 1	Fussgängerstreifen, Bushalte
2b	-0.7	-0.8	13.0	50	30	↓ 28	↑ 1	Fussgängerstreifen, Bushalte
2c	-0.9	-1	10.5	50	30	-	↑ 1	Fussgängerstreifen, Bushalte
2d	0.1	-	7.6	50	50	↓ 40	⇒ 0	Fussgängerstreifen, Bushalte
3a	0.2	1.5	14.8	50	30	↓ 31	↑ 1	Fussgängerstreifen, Autogarage
3b	1.1	2.4	14.5	50	30	↓ 30	-	Fussgängerstreifen, Autogarage
3c	-1.5	-0.2	5.1	50	30	-	↑ 1	Fussgängerstreifen, Autogarage
3d	-1.3	-	8.3	50	50	↓ 39	⇒ 0	Fussgängerstreifen, Autogarage
4a	0.8	0.4	12.5	50	30	↓ 33	↑ 1	Fussgängerstreifen
4b	0.3	-0.1	14.5	50	30	↓ 25	-	Fussgängerstreifen
4c	-0.6	-1	7.8	50	30	-	↑ 2	Fussgängerstreifen
4d	0.4	-	8.0	50	50	↓ 40	↑ 1	Fussgängerstreifen
med.	-0.3							
∅	0.7							
std.dev.	0.6							

Dimension Ast
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

- Kreisel als Hindernis bei Berechnung miteinbezogen, Einfluss Bewuchs schwer abschätzbar

Kreisel Unterohringen

MP	M-B V30	Δ zu Freifahrt	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar
1a	-1.4	-2.7	8.0	50	30	↓ 27	↑ 1	Bushalte, Situation unübersichtlich
1b	-1.7	-3	9.5	50	30	↓ 29	↑ 1	Bushalte
1c	-0.7	-2	7.4	50	30	-	↑ 1	Bushalte
1d	1.3	-	5.1	50	50	⇒ 51	↑ 1	Bushalte
2a	-3.2	2.6	8.0	50	30	↓ 32	↑ 1	
2b	-0.7	-1.3	9.0	50	30	↓ 28	↑ 1	
2c	0.9	0.3	5.4	50	30	-	↑ 0.5	
2d	0.6	-	5.5	50	50	↓ 45	⇒ 0	
3a	1.7	0.4	8.8	50	30	↓ 34	↑ 2	leichte Steigung?
3b	-2	-3.3	9.5	50	30	↓ 30	↑ 1	leichte Steigung?
3c	-1.5	-2.8	7.3	50	30	-	↑ 1	leichte Steigung?
3d	1.3	-	5.4	50	50	-	↑ 0.5	leichte Steigung?
4a	1.3	-0.4	8.1	50	30	↓ 35	↑ 1.5	
4b	-0.4	-2.1	8.9	50	30	↓ 30	↑ 1.5	
4c	1.2	-0.5	4.7	50	30	-	↑ 1	
4d	1.7	-	4.2	50	50	↑ 54	↑ 0.5	
med.	0.8							
∅	1.1							
std.dev.	0.8							

Dimension Ast

- Fahrt von Ast 1 auf Ast 4: Unübersichtliche Situation wg. Restaurant

¹ Distanz Messpunkt zu Achse

² signalisierte Geschwindigkeit

³ berechnete Geschwindigkeit im Modell

⁴ effektiv gefahrene Geschwindigkeit

⁵ akustische Belagsgüte bei 50km/h

Abweichungen Messung-Berechnung (M-B):

M > B

M < B

Beeinflussungsrichtung Pegel durch v eff und cpx:

↑ Pegelzunahme

↓ Pegelabnahme

IV Vergleich Messung-Berechnung mit Geschwindigkeit und Belagsgüte

Knoten Scheidegg

MP	M-B 1-Spur v eff ⁴ + CPX ⁵	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar
1a	-4.2	7.0	30	30	↓ 27	⇒ 0	sehr viel N2 => Zählfehler?, Fussgängerstreifen
1b	-3.9	9.5	30	30	↓ 19	⇒ 0	Lage MP unklar, Fussgängerstreifen
1c		5.5	30	30	↓ -0.5		Fussgängerstreifen
1d	-5.1	5.4	30	30	↓ 25	↓ -1	Fussgängerstreifen
2a	-2.9	14.5	50	50	↓ 34	⇒ 0	Lage MP unklar, Bus, Fussgängerstreifen
2b	-1.6	7.9	50	50	↓ 35	⇒ 0	Bus, Fussgängerstreifen
2c		8.6	50	50	⇒ 0		Bus, Fussgängerstreifen
2d	0	5.5	50	50	↓ 42	↑ 1	Bus, Fussgängerstreifen
3a	-1.5	12.5	50	50	↓ 36	↓ -0.5	Bus, Fussgängerstreifen
3b	-1.6	8.0	50	50	↓ 40	⇒ 0	Bus, Fussgängerstreifen
3c		9.1	50	50	⇒ 0		Bus, Fussgängerstreifen
3d	-1.4	6.5	50	50	↓ 45	↑ 1	Bus, Fussgängerstreifen
4a	-0.3	7.5	30	30	⇒ 31	↓ -2	Lage MP unklar, Fussgängerstreifen
4b	2.5	6.5	30	30	↓ 19	-	Fussgängerstreifen
4c		6.0	30	30	↓ -1.5		Fussgängerstreifen
4d	-2.5	6.0	30	30	⇒ 31	↓ -2	Fussgängerstreifen
med.	-1.6						
∅	1.4						
std.dev.	1.7						

Dimension Ast
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

Knoten Kollbrunn

MP	M-B 1-Spur v eff ⁴ + CPX ⁵	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar
1a	-0.5	6.5	30	30	↑ 32	↑ 2	
1b	-0.8	6.5	30	30	↓ 26	-	
1c		4.8	30	30		↑ 0.5	Schild Umleitung => Ausrollen um zu Lesen
1d	-2.6	5.0	30	30	↑ 35	↑ 1	
2a	-2.1	9.0	50	50	↓ 42	↑ 2	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)
2b	-0.8	6.7	50	50	↓ 41	↑ 1.5	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)
2c		6.6	50	50		↑ 2.5	
2d	-0.4	5.7	50	50	↓ 47	↑ 2.5	
3a	-2.5	7.0	50	50	↓ 41	↑ 2.5	
3b	-1.5	7.5	50	50	↓ 39	↑ 2.5	Fussgängerstreifen nahe Kindertagesstätte (Messung 8:00-11:00) => häufiges Halten (Stop-and-go)?
3c		6.2	50	50		↑ 2.5	
3d	-2.3	5.2	50	50	↓ 47	↑ 1	
4a	0.8	14.0	50	50	↓ 32	↑ 2.5	
4b	-0.5	11.8	50	50	↓ 32	↑ 2	
4c		5.4	50	50		↑ 2	Hinweis Baustelle => Ausrollen um zu Lesen
4d	-1.7	5.0	50	50	↓ 43	↑ 0.5	
med.	-1.2						
∅	0.9						
std.dev.	0.9						

Dimension Ast
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

- weniger 100 Fz gezählt Ast 4 in 0.5h

Knoten Wiesendangen - mit LSA

MP	M-B 1-Spur v eff ⁴ + CPX ⁵	d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpx ⁵	Kommentar
1a	2	11.8	50	50	↓ 35	↑ 0.5	
1b	0.6	9.9	50	50	↓ 22	⇒ 0	Stop-and-go
1c		7.2	50	50		↓ -1	
1d	-1.3	4.3	50	50	⇒ 51	↓ -1	
2a	2.1	9.4	50	50		↑ 1	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)
2b	2.6	10.4	50	50	↓ 26	↑ 1.5	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke), Stop-and-go
2c		7.7	50	50		↑ 1	
2d	1	8.5	50	50	↓ 45	↑ 0.5	bei kleinem Abzweiger => Stop-and-Go?
3a	2.6	11.8	50	50	↓ 30	↑ 0.5	
3b	1.7	11.7	50	50	↓ 22	↑ 1	Stop-and-go
3c		7.3	50	50		↑ 0.5	
3d	2.5	4.6	50	50	↑ 53	⇒ 0	MP sehr nahe bei NS und Unterführung
4a	0.2	10.6	50	50	↓ 38	↑ 1	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke)
4b	-1.3	11.1	50	50	↓ 32	↑ 0.5	Definition Hauptachse schwierig (Einspurstrecke), Stop-and-go
4c		8.2	50	50		↑ 1.5	
4d	-0.6	7.9	50	50	↓ 45	↑ 1.5	Ausrollen für Kurve Autobahn
med.	1.4						
∅	1.0						
std.dev.	1.0						

Dimension Ast

Nebenast
Nebenast
Nebenast
Nebenast

Nebenast
Nebenast
Nebenast
Nebenast

- Knoten nahe Autobahn [keine Zählung] => Beeinflussung Messresultate durch Hintergrundlärm

¹ Distanz Messpunkt zu Achse

² signalisierte Geschwindigkeit

³ berechnete Geschwindigkeit im Modell

⁴ effektiv gefahrene Geschwindigkeit

⁵ akustische Belagsgüte bei 50km/h

Abweichungen Messung-Berechnung (M-B):

M > B

M < B

Beeinflussungsrichtung Pegel:

↑ Pegelzunahme

↓ Pegelabnahme

Kreisel Grüzefeld

MP	M-B 1-Spur		d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpX ⁵	Kommentar
	v eff ⁴ + CPX ⁵							
1a	-2.4		11.0	30	30	↑ 33	↑ 0.5	Fussgängerstreifen
1b	-0.6		10.0	30	30	↓ 28	⇒ 0	Fussgängerstreifen
1c			7.0	30	30	-	⇒ 0	Fussgängerstreifen
1d	0		6.1	30	30	↓ 27	⇒ 0	Fussgängerstreifen
2a	-1		14.5	50	30	↓ 29	↑ 1	Fussgängerstreifen, Bushalte
2b	-1.1		13.0	50	30	↓ 28	↑ 1	Fussgängerstreifen, Bushalte
2c			10.5	50	30	-	↑ 1	Fussgängerstreifen, Bushalte
2d	0.8		7.6	50	50	↓ 40	⇒ 0	Fussgängerstreifen, Bushalte
3a	-0.7		14.8	50	30	↓ 31	↑ 1	Fussgängerstreifen, Autogarage
3b	0.5		14.5	50	30	↓ 30	-	Fussgängerstreifen, Autogarage
3c			5.1	50	30	-	↑ 1	Fussgängerstreifen, Autogarage
3d	-0.9		8.3	50	50	↓ 39	⇒ 0	Fussgängerstreifen, Autogarage
4a	0.1		12.5	50	30	↓ 33	↑ 1	Fussgängerstreifen
4b	-0.4		14.5	50	30	↓ 25	-	Fussgängerstreifen
4c			7.8	50	30	-	↑ 2	Fussgängerstreifen
4d	-0.5		8.0	50	50	↓ 40	↑ 1	Fussgängerstreifen
med.	-0.6							
Ø	0.5							
std.dev.	0.6							

Dimension Ast
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt
Nebenast ohne Vortritt

- Kreisel als Hindernis bei Berechnung miteinbezogen, Einfluss Bewuchs schwer abschätzbar

Kreisel Unterohringen

MP	M-B 1-Spur		d Achse ¹	v sig ²	v ber ³	v eff ⁴	cpX ⁵	Kommentar
	v eff ⁴ + CPX ⁵							
1a	-2		8.0	50	30	↓ 27	↑ 1	Bushalte, Situation unübersichtlich
1b	-2.3		9.5	50	30	↓ 29	↑ 1	Bushalte
1c			7.4	50	30	-	↑ 1	Bushalte
1d	-0.2		5.1	50	50	⇒ 51	↑ 1	Bushalte
2a	2.9		8.0	50	30	↓ 32	↑ 1	
2b	-1.1		9.0	50	30	↓ 28	↑ 1	
2c			5.4	50	30	-	↑ 0.5	
2d	1.1		5.5	50	50	↓ 45	⇒ 0	
3a	1		8.8	50	30	↓ 34	↑ 2	leichte Steigung?
3b	-2.5		9.5	50	30	↓ 30	↑ 1	leichte Steigung?
3c			7.3	50	30	-	↑ 1	leichte Steigung?
3d			5.4	50	50	-	↑ 0.5	leichte Steigung?
4a	0.3		8.1	50	30	↓ 35	↑ 1.5	
4b	-1.2		8.9	50	30	↓ 30	↑ 1.5	
4c			4.7	50	30	-	↑ 1	
4d	0.6		4.2	50	50	↑ 54	↑ 0.5	
med.	-0.2							
Ø	0.8							
std.dev.	1.0							

Dimension Ast

- Fahrt von Ast 1 auf Ast 4: Unübersichtliche Situation wg. Restaurant

- ¹ Distanz Messpunkt zu Achse
 - ² signalisierte Geschwindigkeit
 - ³ berechnete Geschwindigkeit im Modell
 - ⁴ effektiv gefahrene Geschwindigkeit
 - ⁵ akustische Belagsgüte bei 50km/h
- Abweichungen Messung-Berechnung (M-B):
M > B
M < B
- Beeinflussungsrichtung Pegel durch v eff und cpX:
 ↑ Pegelzunahme
 ↓ Pegelabnahme

V Auswertung statistischer Grössen nach Einflussfaktoren

stat. Grösse	Fahrgeschwindigkeit		Belag		Fussgängerstreifen	
	schnell	langsam	≤ 1 dBA	> 1 dBA	nein	ja
Q ₉₅	1.5	2.3	3.2	1.8	1.9	0.9
Q ₇₅	0.8	1.1	0.9	1.3	1.3	-0.2
Q ₅₀	-0.2	0.1	-0.7	0.0	0.0	-1.2
Q ₂₅	-2.4	-0.7	-1.5	-1.0	-1.0	-2.5
Q ₀₅	-2.9	-1.7	-4.4	-2.9	-2.7	-4.4
Ø	-0.6	0.2	-0.5	0.1	0.0	-1.5

Literaturverzeichnis

-
- [1] Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, Bedienungsanleitung zu StL-86, Bundesamt für Umweltschutz BUS, 1987
-
- [2] Strassenlärmmodell für überbaute Gebiete, Schriftenreihe Umwelt Nr. 15, Bundesamt für Umweltschutz BUS, April 1991 (3. Auflage)
-
- [3] K. Heutschi, SonRoad – Berechnungsmodell für Strassenlärm, Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft BUWAL, 2004
-
- [4] SN 640 250, Knoten; Grundlagennorm
-
- [5] SN 640 570, Lärmschutz an Strassen; Grundlagen
-
- [6] SN 640 572, Lärmschutz an Strassen; Planerische Massnahmen
-
- [7] SN 640 573, Lärmschutz an Strassen; Bauliche Massnahmen
-
- [8] SN 640 574, Lärmschutz an Strassen; Betriebliche Massnahmen
-
- [9] G. Schguanin, T. Ziegler: Leitfaden Strassenlärm, Vollzugshilfe für die Sanierung, Umwelt-Vollzug Nr. 0637, Bundesamt für Umwelt BAFU, 2006
-
- [10] T. Papenfus, A. Fiebig, K. Genuit. Akustische Auswirkungen von Lichtsignalanlagen und Kreisverkehren. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. BMVBS-Reihe "Forschung Strassenbau..." Band 1053, 2011
-
- [11] RLS 1990, Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen. BM für Verkehr, Bonn, Deutschland
-
- [12] Improving noise assessment at intersections by modeling traffic dynamics E. Chevallier, A. Can, M. Nadji, L. Leclercq* Université de Lyon ENTPE / INRETS - Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transport
-
- [13] E. Chevallier, L. Leclercq, J. Lelong, R. Chatagnon, 2008. Dynamic noise modeling at roundabouts.
-
- [14] Berengier Michel, 12.10.2006. Impact acoustique des aménagements de voirie et des discontinuités de chaussée. Journée d'information sur le bruit des transports terrestres. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Centre de Nantes
-
- [15] A2 Shore Road Greenisland, Environmental Statement. February 2007 15-8
-
- [16] R. Makarewicz and R. Golebiewski, 2007. Modeling of roundabout noise impact. Journal of the Acoustical Society of America, 122(2):860-868
-
- [17] G. Pigasse, 2010. A method study, Traffic flow and noise. Danish Road Institute Report 180-2010
-
- [18] ISO/DIS 11819-2, 2012: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close proximity method, Information aus der Working-Group WG33.
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 06.06.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2009/201
 Projekttitel: Lärmimmissionen bei Knoten und Kreiseln
 Enddatum: 30.06.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im Gegensatz zur freien Strecke fehlen Grundlagen für eine präzise und spezifische Abschätzung der Lärmbelastung im Bereich von Knoten und Kreiseln. Für eine höhere Genauigkeit von Lärm- prognosen sind solche Kenntnisse von grosser Bedeutung. In der vorliegenden Forschung wurde eine möglichst umfassende Datenbasis zu den Auswirkungen von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel erarbeitet. Neben einer internationalen Literatur- studie sowie einer Zusammenstellung der bei Kantonen und Gemeinden vorhandenen Ergebnisse aus Fallstudien, wurden im Nahbereich von Knoten und Kreiseln an insgesamt 80 Empfangspunk- ten quellennahe Lärmmessungen durchgeführt.

Es wurden verschiedene einfache Modellansätze bezüglich ihrer Prognosegenauigkeit für Knoten und Kreiselsituationen getestet. Folgender Basismodellierungsansatz führt zur höchsten Prognosegenauigkeit und bildet den Gesamteinfluss von Knoten und Kreiseln auf die Lärmpegel am besten ab:

- Knoten: Modellansatz mit 1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit auf Anschlüssen
- Kreiseln: Modellansatz mit 1 Achse, signalisierte Geschwindigkeit, 30 km/h auf Kreiselfahrbahn und auf Anschlüssen innerhalb 50 m Abstand zum Kreiselmittelpunkt

Für die während der Messkampagne flächendeckend erhobenen Einflussgrößen konnte der statistische Einfluss auf die Lärmpegel ermittelt werden.

- Strassenbelag: Das Ausmass des statistischen Einflusses des Strassenbelages unterstreicht dessen Wichtigkeit auch in Bezug auf die Lärmemissionen bei Knoten- und Kreiselsituationen.
- Fahrgeschwindigkeit: In Bezug auf die Fahrgeschwindigkeit konnte kein statistischer Einfluss nachgewiesen werden.
- Fussgängerstreifen: Bei Messpunkten in der Nähe eines Fussgängerstreifens fallen die Lärmpegel im Mittel ca. 1 dBA leiser aus als bei solchen ohne Fussgängerstreifen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die Zielsetzungen wurden wie folgt erreicht:

- Aufzeigen der Einflüsse von verschiedenen Knotentypen, insbesondere auch mit Kreiseln, auf die Lärmimmissionen in der näheren Umgebung (Pegel und Charakteristik): erfüllt.
- Entwicklung von Berechnungsansätzen zur Quantifizierung der Lärmemissionen und -immissionen und für die Übernahme in Strassenlärm-Berechnungsmodelle oder Beurteilungsmethoden: erfüllt.
- Vorschlag von Massnahmen zur Verminderung der Lärmimmissionen von Knoten und Kreiseln: durch Darstellung der Einflussgrössen implizit erfüllt.
- Erarbeitung von Grundlagen für eine Norm samt Normkonzept und erstem Normentwurf: nach neuesten Erkenntnissen nicht mehr sinnvoll.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Erkenntnisse der Forschung sollen in die Grundlagendokumente des BAFU, des Cercle Bruit und des VSS aufgenommen werden, um die Praxis und den Vollzug zu unterstützen.

Das Modell StL-86 ist anzupassen, so dass es auch für Geschwindigkeiten unter 40 km/h realistische Resultate liefert.

Zur Bestimmung der Störwirkung von Knoten und Kreiseln mittels Korrekturwerten sind weitere Erkenntnisse anzustreben. Dafür sollte ein neuer Forschungsantrag eingereicht und bewilligt werden.

Allfällige Korrekturwerte müssten mit einer Revision der LSV in Kraft gesetzt werden.

Publikationen:

- VSS-Forschungsbericht "Lärmimmissionen bei Knoten und Kreiseln"
- Fachartikel in verschiedenen Fachzeitschriften (geplant)

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Stauber

Vorname: Martin

Amt, Firma, Institut: BBS Ingenieure AG, Gertrudstrasse 17, 8400 Winterthur

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Zielsetzungen wurden im Wesentlichen erreicht:

- Die Einflüsse von verschiedenen Knoten- und Kreiseltypen auf die Lärmimmissionen werden aufgezeigt.
- Geeignete Berechnungsansätze zur Quantifizierung der Lärmemissionen und -immissionen und für die Übernahme in Strassenlärm-Berechnungsmodelle oder Beurteilungsmethoden werden beschrieben.

Umsetzung:

Die Erkenntnisse der Forschung sollen in die Grundlagendokumente des BAFU, des CercleBruit und des VSS aufgenommen werden, um die Praxis und den Vollzug zu unterstützen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Für die Bestimmung der effektiven Lärmpegel bei Knoten und Kreiseln sind momentan keine weiteren Forschungen notwendig. Für die Pegelberechnungen im Niedriggeschwindigkeitsbereich und zur Bestimmung der Störwirkung von Knoten und Kreiseln sind weitere Erkenntnisse anzustreben.

Einfluss auf Normenwerk:

Kein Einfluss

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Weber

Vorname: Markus

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

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen kann unter [www.astra.admin.ch/Dienstleistungen/Forschung im Strassenwesen/Downloads/Formulare](http://www.astra.admin.ch/Dienstleistungen/Forschung%20im%20Strassenwesen/Downloads/Formulare) heruntergeladen werden.