

Knoten und Kreisel -

Wie ist die abweichende Störwirkung zu berücksichtigen?

Valentina Cocco¹, Hanspeter Gloor² und Erik Bühlmann¹,

¹ Grolimund + Partner AG – Umwelttechnik + Bauphysik + Informatik, Bern, Schweiz

² Departement Bau Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau, Aarau, Schweiz

Ausgangslage

Der für die Beurteilung des Strassenlärms massgebende Beurteilungspegel basiert meist auf dem A-bewerteten Mittelungspegel (LAeq), welcher anhand jahresdurchschnittlicher Verkehrsverhältnisse bei frei fliessendem Verkehr ermittelt wird. Spezialsituationen wie Knoten und Kreisel werden hinsichtlich des Belästigungspotentials durch den LAeq aufgrund von Pegelschwankungen und Frequenzverschiebungen nicht ausreichend beschrieben, wie Lärmklagen von Anwohnern bei Umgestaltungen mit neuen Lichtsignalanlagen (LSA) oder Verkehrskreiseln (trotz ähnlichem LAeq bei Kontrollmessungen) immer wieder zeigen.

Im Rahmen dieser Studie wurden bereits vorhandene Untersuchungen bezüglich der Störwirkung von Knoten und Kreiseln zusammengeführt und mit gezielt durchgeführten Lärmmessungen und statistischen Felderhebungen ergänzt. Aus der Studie erfolgt eine praxisorientierte Vollzugshilfe mit welcher sowohl im Lärmvollzug, als auch in der Planung die Lärmauswirkungen von Knoten und Kreiseln abgebildet werden können.

Lästigkeit eines Knotens im Vergleich zur durchgehenden Strasse

Um zu ermitteln inwiefern sich die Lästigkeit von Knoten und Kreiseln von der Lästigkeit der Standardbeurteilungssituation der durchgehenden Strasse bei freiem Verkehrsfluss unterscheidet, wurden im Jahr 2011 durch Grolimund + Partner AG im Auftrag des Kantons Aargau eine gezielte Messkampagne durchgeführt. Dazu erfolgten an einer manuell auslösbaren Lichtsignalanlage sowie bei einem benachbarten Messpunkt bei durchgehender Strasse während vier Stunden simultane Lärmmessungen. Das Layout der Messkampagne erlaubte einen direkten Vergleich der akustischen Signatur exakt derselben Fahrzeuge in zwei unterschiedlichen Situationen:

1. an der Ampel (Lichtsignalanlage, LSA): beim Abbremsen, Stillstehen und Beschleunigen.
2. auf der durchgehenden Strasse: bei der freien Vorbeifahrt mit 50 km/h.

Einflussgrösse

Der Vergleich der akustischen Messgrössen an den beiden Standorten hat folgende Resultate ergeben (siehe Tabelle 1):

1. **Leq:** Beim Messpunkt an der LSA wurde derselbe Leq gemessen wie beim Messpunkt auf der freien Strecke (Unterschied 0.05 dBA).

2. **L_{Amax}:** Die Maximalpegel der beiden Situationen unterschieden sich nur sehr geringfügig (um 0.8 dBA höhere Pegel beim Messpunkt an der LSA).
3. **Lärmspektrum:** Die Standorte "LSA" und "durchgehende Strasse" wurden separat ausgewertet, um die Frequenzzusammensetzung für Personenwagen (PW) und Lastwagen (LKW) zu vergleichen. Die entsprechenden Lärmspektren weisen die nachfolgenden Unterschiede auf und sind in der Abb. 1 dargestellt:
 - Bei LKW und PW sind aufgrund des Motorengeräusches beim Beschleunigen überdurchschnittliche Pegelzunahmen im tieffrequenten Bereich (≤ 315 Hz) zu verzeichnen.
 - Die Auswirkungen der Frequenzverschiebung auf die Lästigkeit können gemäss Persson und Björkman [1] mit eventbasierten Zuschlägen von ca. 3 dB pro LKW berücksichtigt werden.
4. **Pegelzunahmen / intrusive noise:** Über sämtliche Fahrzeugkategorien werden für den Standort "LSA" (Event: Beschleunigung) konsistent um ca. 4 bis 5 dB grössere Pegelzunahmen verzeichnet (Abb. 2). Für grundlegende menschliche Tätigkeiten und Bedürfnisse wie Kommunikation, konzentriertes Arbeiten und Schlaf bestimmen vorrangig Pegelschwankungen das Störpotential. Je deutlicher sich ein Ereignis vom Hintergrundpegel abhebt, desto mehr wird der Sprachaustausch erschwert, und desto wahrscheinlicher sind Aufwachreaktionen [2][3][4]. Diese Art von Lästigkeit wird auch „*intrusive noise*“ genannt. Weitere untersuchte nicht oder weniger relevanten Einflüsse sind die Rückstaulänge (kein wesentlicher Einfluss auf die Lärmemissionen) und die Verkehrszusammensetzung (maximaler Einfluss: 0.16 dB bei 20% LKW).

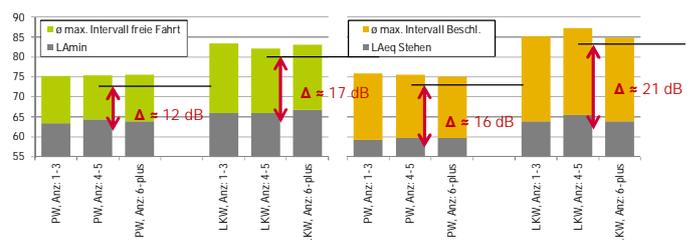


Abbildung 1: Auswertung der Pegelzunahmen (Lärmemissionen im Vergleich zum Hintergrundgeräusch

für verschiedene Rückstaulänge und Fahrzeugkategorien).

Auswertung der Lästigkeit

Die kontinuierlichen Lärmmessungen an beiden Standorten "LSA" und "durchgehende Strasse" wurden 1) in 15 Sekunden-Intervalle unterteilt, 2) die jeweiligen Pegelzunahmen („intrusive noise“) wurden berechnet und 3) nach dem Lästigkeitsbewertungsschema von Fidell and Teffeteller [5] bewertet. Diese Autoren geben Schwellenwerte an, ab welchen Pegelzunahmen als leicht lästig (slightly annoying), mittelmässig lästig (moderately annoying), sehr lästig (very annoying) oder extrem lästig (extremely annoying) beurteilt werden (siehe Abb. 2).

Es ergeben sich durchschnittlich 34 zusätzliche Lästigkeitspunkte für den Standort "LSA" im Vergleich zur Situation „durchgehende Strasse“ (ermittelt für durchschnittlich 46 pro Stunde). Somit ergeben sich 0.75 zusätzliche Lästigkeitspunkte pro Rotphase (Stop & Go Ereignis).

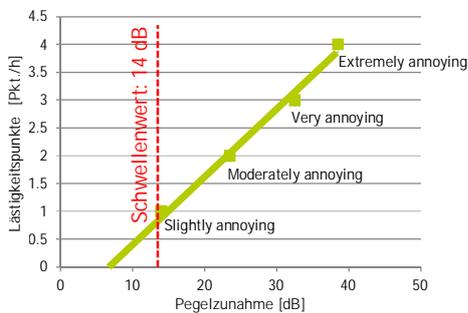


Abbildung 2: Schwellenwerte für die Lästigkeitsbewertung von intrusive noise (Quelle: Fidell and Teffeteller [5]).

Störwirkung

Referenzsituation

In der Reihe Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik des Deutschen Bundesministeriums erschien im Jahr 2011 die Studie „Akustische Auswirkungen von Lichtsignalanlagen und Kreisverkehren“ (Papenfus et al. 2011, [6]). Diese Studie hatte zum Ziel, im Rahmen einer Überarbeitung der RLS-90 (Richtlinie für den Lärmschutz an Strassen) zu untersuchen, ob Zuschläge für weitere Knotensituationen nötig sind (bisher waren in der RLS-90 einzig Störzuschläge von 3dB für Kreuzungen und Einmündungen mit LSA vorgesehen). In der Studie wurde das Ausmass von Störzuschlägen jeweils für eine Referenzsituation mit einem bestimmten Verkehrsaufkommen und Verkehrsregime bestimmt. Durch die Bewertung unterschiedlicher Situationen bei gleichem Pegel wurde die Störwirkung ermittelt. Die Störzuschläge wurden mit Hilfe der subjektiven Beurteilung von Hörbeispielen quantifiziert. Das Studienkonzept beinhaltete:

1. Nachstellen von Verkehrssituationen für Knoten mit und ohne LSA sowie Kreisel auf Testgelände für die Referenzsituation 650 Fz/h mit 0%, 8% und 14% LKW.
2. Tonaufnahmen mit der Kunstkopfmessetechnik in div. Abständen zum Knoten bzw. Kreisel.

3. Bewertung unterschiedlicher Situationen bei gleichem Pegel (Hörstudie mit 120 Probanden).
4. Ermittlung der Störwirkung aus der Bewertungsdifferenz unterschiedlicher Situationen bei gleichem Pegel (anhand eines Beispiels für LSA in Abb. 3 exemplarisch aufgezeigt).

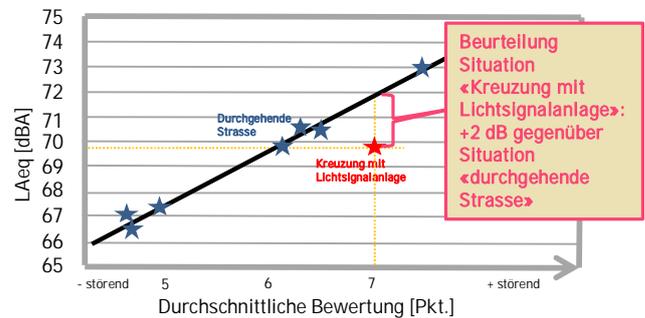


Abbildung 3: Ermittlung der Zuschläge auf den LAeq aufgrund der durchschnittlichen Bewertung von Hörproben: Bewertung für die Situation "durchgehende Strasse" (blau) und Kreuzung mit Lichtsignalanlage (rot) (Quelle: [6]).

Für die Referenzsituation mit 650 Fz/h und 14% LKW-Anteil wurden auf diese Weise distanz- und situationspezifische Störwirkungen ermittelt (Abb. 4).

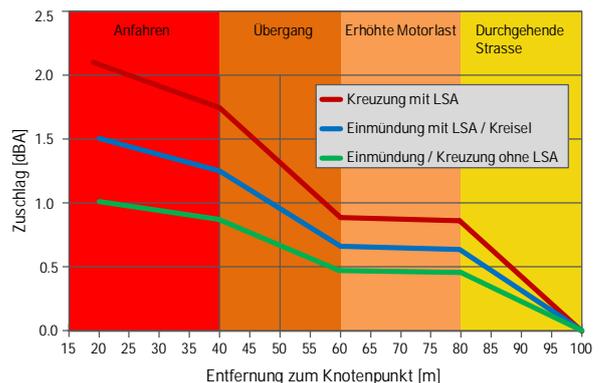


Abbildung 4: Pegelzuschläge aufgrund der Störwirkung für Knoten mit LSA, Einmündungen mit LSA/Kreisel sowie für Einmündungen/Kreuzungen ohne LSA in Abhängigkeit der Distanz (Quelle: [6]).

Bezug zur Referenzsituation

Die Gültigkeit der ermittelten Störwirkung für eine beliebige reelle Verkehrssituation ist gegeben, wenn sie eine ähnliche Anzahl Stop & Go Ereignisse aufweist. Die in der Studie Papenfus [6] erstellten Hörproben weisen eine Länge von 60 Sekunden auf, worin neben der durchgehenden Strasse jeweils ein Stop & Go Ereignis stattfand. Dies würde also 60 Stop & Go Ereignisse pro Stunde entsprechen, unter der Annahme, dass die Probanden ein gleiches Urteil fällen würden, wenn sie ein 60 Minuten dauerndes Experiment mit 60 Stop & Go Ereignissen bewertet hätten.

Der Standort der beschriebenen Simultanlärmmessungen zur Erhebung der Lästigkeit von Knotensituationen wurde so ausgewählt, dass er bezüglich Verkehrsmenge und Stop & Go Ereignissen möglichst nahe an der durch Papenfus [6] abgebildeten Referenzsituation liegt. Dies erlaubt das Erstellen eines Zusammenhangs zwischen der

Lästigkeitsbewertung nach [5] (zusammen mit den eventbasierten Zuschlägen nach [1]) mit der durch Papenfus [6] mittels Hörproben ermittelten Störwirkung (Abb. 5).

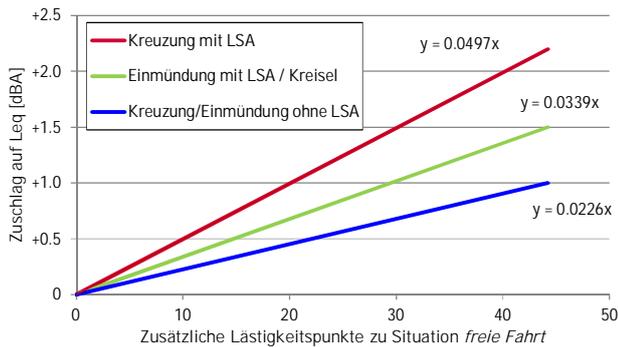


Abbildung 5: Ermittlung der Zuschläge auf den L_{Aeq} in Abhängigkeit der zusätzlichen Lästigkeitspunkte im Vergleich zur Situation "durchgehende Strasse".

Störwirkung für abweichende Situationen

Für die Beurteilung von abweichenden Situationen wird angenommen, dass sich die Störwirkung in Abhängigkeit der Anzahl Stop & Go Ereignisse verändert.

Bei einer minimal im Lärmvollzug zu berücksichtigenden Störwirkung von 0.5 dB und unter der Annahme, dass die durch Papenfus [6] ermittelte Störwirkung der maximalen Störwirkung bei Knoten und Kreiseln entspricht, wurde der Zusammenhang zwischen Störwirkung und Anzahl Stop & Go Events gemäss Abb. 6 aufgestellt.

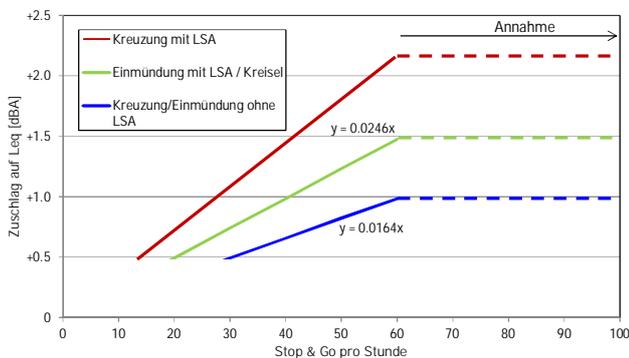


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Störwirkung von Knoten und Kreiseln und der Anzahl Stop & Go Ereignisse (Anlehnung an [6]).

Die zur Bestimmung der Störwirkung eines Knoten oder Kreisels massgebende Anzahl Stop & Go Ereignisse sind in der Praxis jedoch meist nicht bekannt. Um die Störwirkung direkt von der Verkehrsmenge (durchschnittlicher täglicher Verkehr in Fahrzeuge/24h auf der Hauptachse) ableiten zu können, wurden statistische Felderhebungen an 36 Knoten und Kreiseln durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Erhebungen sind in Abb. 7 dargestellt. Aufgrund dieser Ergebnisse konnten die kritischen Schwellenwerte (Verkehrsmenge auf der Hauptachse ab welcher eine Störwirkung gegeben ist), sowie die Abstufung der Störwirkung in Abhängigkeit der Distanz zum Knotenmittelpunkt (<25, 25-50 m und 50-80 m) für Knoten

mit LSA, Knoten ohne LSA, sowie Kreiseln bestimmt werden (siehe Abb. 8).

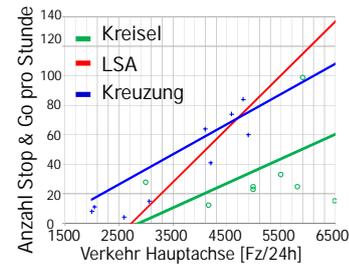


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen der Anzahl Stop & Go Ereignisse und der Verkehrsmenge auf der Hauptachse in Fahrzeuge/Tag (dargestellt sind ausschliesslich die Ergebnisse der statistischen Erhebungen bei Knoten und Kreiseln mit einem Verkehr von bis zu 6'500 Fahrzeuge/24h)

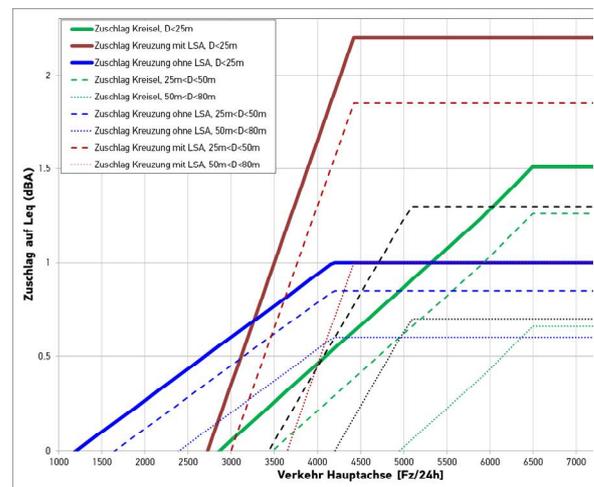


Abbildung 8: Modell zur Abschätzung der Störwirkung in Abhängigkeit des Verkehrs (Fz/24h) auf der Hauptachse und pro Knotentyp. (Entfernung zum Achsenschnittpunkt < 25m als durchgezogene Linien; Entfernung zum Achsenschnittpunkt zwischen 25m und 50m als gestrichelte Linien; Entfernung zum Achsenschnittpunkt zwischen 50m und 80m als gepunktete Linien).

Vollzugshilfe

In einer zweiten Phase wurden sämtliche entscheidungsrelevanten Grundlagen bezüglich der Störwirkung von Knoten- und Kreiselsituationen so aufbereitet, damit diese in eine ergänzende Vollzugshilfe einfließen konnten. Dabei wurde die Gliederung der existierenden schweizerischen Vollzugshilfe (Art der Korrekturen, Kategorisierung und Abstände) soweit wie möglich beibehalten werden.

Allgemeines Vorgehen für die Lärmermittlung bei Knoten und Kreiseln

In der Vollzugshilfe [7] wird die Gesamtlärmsituation im Bereich von Knoten und Kreiseln berücksichtigt. Dazu gehören, neben der Störwirkung:

- die emissionsseitigen Pegelinflüssen z. B. aufgrund der tieferen gefahrenen Geschwindigkeit sowie
- die abweichende Wirkung des Strassenbelages aufgrund der erhöhten mechanischen

Beanspruchung besonders widerstandsfähige und oft auch laute Strassenbeläge.

Beide Aspekte werden nachfolgend nicht beschrieben.

Anwendung der Korrektur für die Störwirkung

Distanz: Bei Knoten wird die Distanz ab dem Schnittpunkt der Fahrbahnen eingemessen; bei Kreiseln ab der nächstgelegenen Kreiselfahrspur. Alle Ermittlungspunkte, die sich auf der durch den Kreis mit Radius 100 m angeschnittenen Fassade befinden, erhalten einen Zuschlag sofern die Quelle sichtbar ist (siehe Abb. 9).

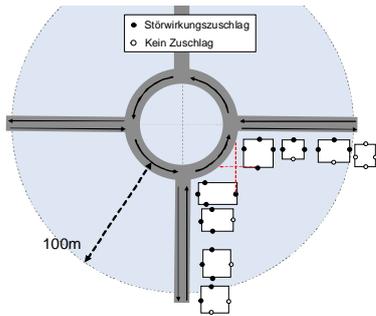


Abbildung 9: Handhabung „angeschnittene“ und lärmabgewandte Fassaden.

Verkehrsmenge: Neben der Distanz ist die Korrektur auch abhängig von der Verkehrsmenge. Massgebend ist in der Regel der höchste Verkehr aller Äste (d.h. die Anzahl Fahrzeuge/24h auf der Hauptachse).

Spezialfälle: Die Handhabung von Spezialfällen (wie z. B. Gebäude mit langen Fassaden, Reihenhäuser, Hochhäuser sowie LSA, die in der Nachtperiode ausgeschaltet werden) werden in der Vollzugshilfe in einigen Praxisbeispielen illustriert.

Die Korrektur für die Störwirkung (S=Zuschlag in dB) kann mit der nachfolgenden Funktion berechnet werden:

$$S(DTV, D) = g(DTV) \cdot h(D) \quad \text{mit} \quad (1)$$

$$g(DTV) = \begin{cases} 0 & DTV < DTV_0 \\ (DTV - DTV_0) / (DTV_1 - DTV_0) & DTV_0 \leq DTV \leq DTV_1 \\ 1 & DTV > DTV_1 \end{cases}$$

$$h(D) = \begin{cases} S_0 & D < D_1 \\ a + b \cdot D & D_1 \leq D \leq D_2 \\ 0 & D > D_2 \end{cases}$$

$$\text{mit} \quad \begin{aligned} a &= S_0 \cdot D_2 / (D_2 - D_1) & D_1 &= 25 \\ b &= -S_0 \cdot 1 / (D_2 - D_1) & D_2 &= 100 \end{aligned}$$

Die Parameter DTV0 (Untergrenze für das Auftreten einer Belästigung), DTV1 (DTV bei Erreichen der maximalen Störwirkung) und S0 (maximale Störwirkung) sind für die jeweiligen Knotentypen in der nachfolgenden Tabelle gegeben.

Tabelle 1: Parameter für die Berechnung der Störwirkung

	Knoten	Knoten mit LSA	Kreisel
DTV ₀ [Fz/Tag]	1200	2700	2900
DTV ₁ [Fz/Tag]	4200	4400	6500
S ₀ [dB]	1.0	2.2	1.5

Die Funktion ermöglicht eine feinere Abstufung nach Distanz. Es ist von einer Distanz D1 bei maximaler Wirkung von ca. 25 m auszugehen. Basierend auf die Funktion

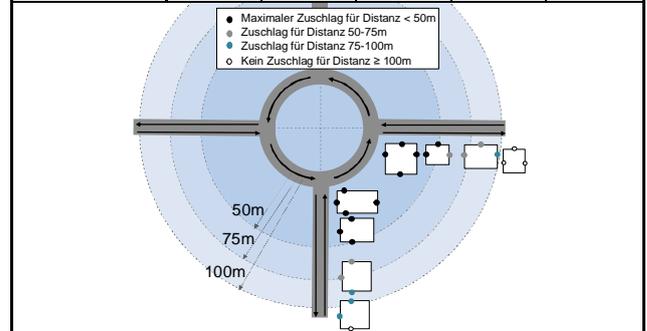
werden in Abhängigkeit des erforderlichen Detaillierungsgrades zwei weiteren Verfahren zur Ermittlung der Korrektur vorgeschlagen. Zum Beispiel für die Situation "Kreisell":

Tabelle 2: Grobabschätzung für Kreisell

Verkehrsmenge [Fz/Tag]	Störwirkungszuschlag (dB) für Kreisell		
	Distanz D [m]		
	< 50	50-100	> 100
≤ 4000	0.5	0.5	0
> 4000	1.5	1	0

Tabelle 3: Tabelle mit Stützwerten für Kreisell

Distanz D [m]	Störwirkungszuschlag (dB) für Kreisell				
	Verkehrsmenge [Fz/Tag]				
	< 2900	2900-4000	4000-5000	5000-6000	> 6000
< 50	0.0	0.5	0.9	1.3	1.5
50-75	0.0	0.3	0.6	0.9	1.0
75-100	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5
< 100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



Literatur

- [1] Persson K. & Björkman M: Annoyance due to low frequency noise and the use of the dBA scale. Journal of Sound and Vibration (1988), 127, 490-497
- [2] Griefahn B.: Sleep disturbances related to environmental noise. Noise & Health (2002), 14, 57-60
- [3] Fidell A., Pearsons K., Tabachnick B., Howe R., Silvati L., Barber D.: Field study of noise-induced sleep disturbance. Journal of the Acoustical Society of America (1995), 98(2), 1025-1033
- [4] Öhrström E.: Effects of low levels of road traffic noise during the night: a laboratory study on the number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. Journal of Sound and Vibration (1995), 179, 603-615
- [5] Fidell S. & Teffeteller S: Scaling the annoyance of intrusive sounds. Journal of Sound and Vibration (1981), 78(2), 291-298
- [6] Papenfus T., Fiebig A., Genuit K.: Akustische Auswirkungen von Lichtsignalanlagen und Kreisverkehren, Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.298/2008/LRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Wirtschaftsverlag N. W. Verl. (2011), Bremerhaven.
- [7] Cercle Bruit: Vollzugshilfe 3.21 "Lärmtechnische Ermittlung bei Knoten und Kreiseln" (2016).