

Kritische Faktoren für den erfolgreichen Einsatz lärmarmen Belägen im Innerortsbereich

Sebastian Egger¹, Hanspeter Gloor² und Erik Bühlmann¹

¹ Grolimund + Partner AG, 3007 Bern, Schweiz, E-Mail: Sebastian.Egger@Grolimund-Partner.ch

² Departement Bau Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau, 5001 Aarau

Einleitung

Im Innerortsbereich hängen die Erfolgchancen von lärmarmen Belägen nicht immer einzig von den Belagsrezeptur und der Einbauqualität ab, sondern werden häufig durch belagsfremde Fahrbannelemente wie Schachtdeckel, Strukturmarkierungen, Betonelemente, Fahrbahnübergänge und Fugen bestimmt. Da sich das Lärmniveau durch den Einbau lärmarmen Belägen stark senken lässt, wirken Impulsgeräusche und Frequenzverschiebungen durch das Überrollen belagsfremder Elemente zum Teil störender auf die Anwohner als vor dem Einbau des lärmarmen Belags. Diese Tatsache kann bei der Planung und beim Einbau jedoch häufig nicht ausreichend berücksichtigt werden, da die Grundlagen zur Abschätzung des akustischen Einflusses belagsfremder Fahrbannelemente sowie Best-Practice-Lösungen bisher nur wenig dokumentiert sind.

Ziel dieses Projektes ist es, kritische Faktoren für den erfolgreichen Einsatz von lärmarmen Belägen im Innerortsbereich zu charakterisieren und zu bewerten. Anhand gezielter Rollgeräuschmessungen mit der Close-Proximity Methode wurden die Schallpegel beim Überrollen belagsfremder Fahrbannelemente spezifisch erfasst und bewertet. Die Studie präsentiert Lösungsansätze zur Minimierung der negativen Wirkung von belagsfremden Fahrbannelementen, die den Erfolg von lärmarmen Belägen im Innerortsbereich gewährleisten.

Kritische Faktoren

Fahrbahnübergänge

Die Planung und Umsetzung von Fahrbahnübergängen kann für die angrenzende Wohnbevölkerung als ein entscheidender Faktor für den Erfolg von lärmarmen Belägen wahrgenommen werden. Das gilt insbesondere an Fahrbahnübergängen zwischen herkömmlichen und lärmarmen Belägen mit grossen akustischen Differenzen bezüglich der akustischen Eigenschaften (siehe Abbildung 1),



Abbildung 1: Belagsübergang eines herkömmlichen Strassenbelags auf einen lärmarmen SDA 4C Strassenbelag in Beinwil am See (Schweiz).

wo das Verlassen des lärmarmen Belags zu einem abrupten Anstieg der Rollgeräuschpegel führt von bis zu 10 dB führt. Ziel dieser Studie ist die Distanz zwischen Übergang und dem nahegelegensten lärmempfindlichen Immissionspunkt zu bestimmen, die eingehalten werden muss, damit das Ansteigen der Lärmpegel aus Sicht der Anwohner nicht wahrnehmbar ist und zu einer potentiellen Belästigung führt.

Fahrbahnmarkierungen

Aus akustischer Sicht kann bei Fahrbahnmarkierungen grundsätzlich zwischen Farbmarkierungen und Strukturmarkierungen unterschieden werden. Diese Klassierung basiert auf der unterschiedlichen Oberflächentextur der Markierungen. Die Textur von Strukturmarkierungen hebt sich, durch den Zusatz grober Agglomerate deutlich von der Fahrbahnoberfläche ab. Bei Farbmarkierungen wird hingegen auf grobe Agglomerate verzichtet, sodass sich die Textur des Strassenbelags durch das Auftragen der Markierung nur geringfügig verändert. Abbildung 2 zeigt Beispiele die Markierungstypen auf einem lärmarmen Strassenbelag.

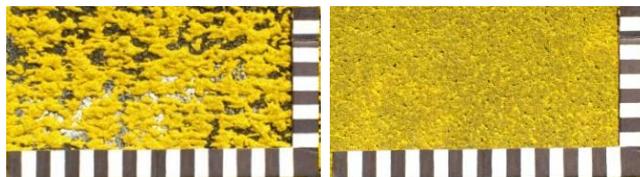


Abbildung 2: Fotos einer Strukturmarkierung (links) und einer Farbmarkierung (rechts) auf einem lärmarmen SDA 4C Belag in Safenwil (Schweiz).

Die Wahrscheinlichkeit für das Überrollen von Fahrbahnmarkierungen variiert mit deren Platzierung auf der Fahrbahn sowie mit der Fahrspurwahl der Fahrzeuge. Am Fahrbahnrand platzierte Radstreifen, müssen dabei anders bewertet werden als Fussgängerstreifen oder durchgezogene Fahrbahnbegrenzungen. Um den akustischen Einfluss einer Fahrbahnmarkierung auf die akustische Wirksamkeit eines lärmarmen Belags zu bewerten, soll die Lärmauswirkung in Abhängigkeit des Flächenanteils der Markierung zum restlichen Belag sowie dem statistischen Anteil der darüber rollenden Fahrzeuge abgeschätzt werden können. In Abhängigkeit vom statistischen Anteil der Fahrzeuge, welche die Markierung überrollen, kann die von der Markierung ausgehende Lärmauswirkung bezüglich des lärmarmen Strassenbelags ermittelt werden.

Schachtdeckel

Die Beschaffenheit von Schachtdeckeln im Strassenbau ist unterliegt einer grossen Streuung. Zur Verdeutlichung dieses Zusammenhangs zeigt Abbildung 3 je ein Exemplar eines runden und eines eckigen Schachtdeckels auf einem lärmarmen und einem herkömmlichen Strassenbelag. Ähnlich wie bei den Fahrbahnmarkierungen sind die

Position auf der Fahrbahn und der daraus resultierende Anteil an überrollenden Fahrzeugen entscheidend für das von ihnen ausgehende Lärmpotential. Da die Abwasserleitsysteme im Untergrund bei der Positionierung von Schachtdeckeln auf der Fahrbahn häufig nur wenig oder keinen Spielraum gestatten und die Wahrscheinlichkeit für ein Überrollen daher nicht beeinflusst werden kann, muss die Lärmauswirkung von Schachtdeckeln über andere Parameter reduziert werden. Das Ziel der vorliegenden Studie ist die entscheidenden Parameter zu identifizieren und Lösungsansätze aufzuzeigen, die das Störpotential von Schachtdeckeln minimieren.



Abbildung 3: Beispiele für einen eckigen Plattenschacht auf einem lärmarmen Belag (links) und einen runden Schachtdeckel auf einem herkömmlichen Belag (rechts).

Betonelemente & Fugen

Betonelemente werden teilweise auf lärmarmen Belägen mit Busverkehr nachgerüstet, um eine erhöhte Dauerhaftigkeit an den mechanisch stärker beanspruchten Haltestellen zu gewährleisten. Zusätzlich zu der Störwirkung, die dort vom Abbremsen und Beschleunigen haltender Busse ausgeht, entstehen beim Überrollen der Betonelemente ähnliche Impulsgeräusche wie beim Überrollen von Schachtdeckel entstehen können. Kritische Faktoren für auftretende Impulsgeräusche sind die Bauweise und Einbauqualität der Fugen sowie der Niveauunterschied an den Fahrbahnübergängen sowie zwischen den Betonelementen. Zudem kann die Oberflächentextur der Betonelemente (z.B. Beton mit/ohne Besenstrich, Waschbeton, poröser Beton) und die Textur des Betons (z.B. fein, grob, homogen, inhomogen) zu einer Erhöhung der Lärmpegel führen. Sind die Niveauunterschiede zwischen den Betonelementen gross, kann das Lärminderungspotential des lärmarmen Belags durch lose bzw. lärmende Ladung auf Ladeflächen von Lastwagen zusätzlich beeinträchtigt werden. In Abbildung 4 sind eine Bushaltestelle mit Betonelementen und eine knapp gefüllte Fuge zwischen zwei Betonelementen dargestellt.



Abbildung 4: Betonelemente an einer Bushaltestelle (links) und eine vergrößerte Fuge zwischen zwei Betonelementen (rechts).

Ziel dieser Studie ist das Störpotential von Betonelementen und Fugen näher zu bezeichnen und Lösungsansätze aufzuzeigen, wie Impulsgeräusche minimiert und ein Anstieg der Lärmpegel mittels akustisch optimierter Oberflächentexturen vermindert werden kann.

Close-Proximity Methode (CPX)

Für die Bewertung der akustischen Qualität der Beläge sowie der analysierten belagsfremden Fahrbahnelemente wurden Belagsgütemessungen mit der Close-Proximity Methode (CPX) gemäss ISO/FDIS 11819-2:2016 [1] und ISO/TS 11819-3:2016 [2] durchgeführt. Bei dieser Methode werden die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen durch eine kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt. Das CPX-Messsystem misst die Schallpegel in zwei separaten schallgedämmten Kammern innerhalb des Messanhängers in unmittelbarer Reifennähe mit je zwei Mikrofonen. Der eingesetzte Anhänger erfüllt die in der ISO/FDIS 11819-2:2016 [1] festgelegten Kriterien betreffend Beeinflussung der Messergebnisse durch geräteeigene Schallreflexionen sowie durch interne und externe Schallgeräusche. Die verwendeten Testreifensätze entsprechen der Empfehlung der ISO/CD TS 11819-3:2016 [2]: Uniroyal Tigerpaw (SRTT) 225/60-R16 (Testreifen P1 für Personenwagen) und Avon AV4 195-R14C (Testreifen H1 für Lastwagen).

Resultate

Fahrbahnübergänge

Die Wirkung von Fahrbahnübergängen wird anhand einer Immissionsmodellierung untersucht. Als Beispiel dient ein Fahrbahnübergang zwischen einem lärmarmen Strassenbelag mit einer akustischen Belagsgüte von -8 dB und einem herkömmlichen Strassenbelag mit einer akustischen Belagsgüte von $+2$ dB, in dessen unmittelbarer Nähe eine Häuserreihe gelegen ist (siehe Abbildung 5).

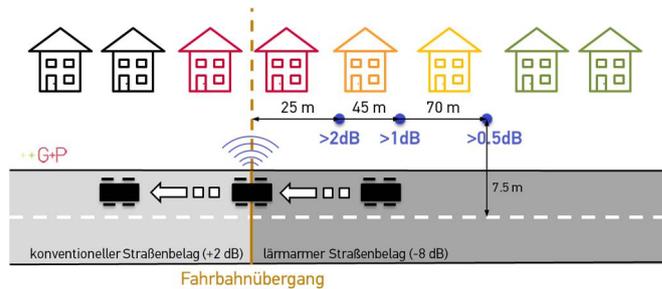


Abbildung 5: Akustische Wirkung eines Fahrbahnübergangs auf eine angrenzende, in 7.5m Entfernung zur Fahrbahnmitte platzierte Häuserreihe. Die Wirkung ist als Abstand zum Fahrbahnübergang ausgewiesen, in welchem sich der konventionelle Strassenbelag noch >2 dB, >1 dB bzw. >0.5 dB auf die Lärmbelastung am jeweiligen Haus auswirkt.

Für die Modellierung wurden zwei Streckenabschnitte mit einem lärmarmen und einem herkömmlichen Belag als Linienquellen definiert und entlang der Häuserfassade in äquidistanten Abständen von einem Meter Immissionspunkte festgelegt (7.5m Abstand zur Fahrbahnmitte, 1.8m Höhe über dem Boden). Für die Wirkungsbeurteilung wurde derjenige Abstand beurteilt, in welchem sich der konventionelle Strassenbelag noch >2 dB, >1 dB bzw. >0.5 dB auf den jeweiligen Immissionspunkt entlang des lärmarmen Strassenbelages auswirkt. Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Bewertung der Wahrnehmbarkeit eines Fahrbahnübergangs zwischen einem lärmarmen und einem konventionellen Strassenbelag

Bewertung der Wahrnehmbarkeit	Einfluss des konventionellen Belags auf den lärmarmen Belag	Distanz zum Fahrbahnübergang
stark wahrnehmbar	> 2 dB	25 m
deutlich wahrnehmbar	> 1 dB	45 m
geringfügig wahrnehmbar	> 0.5 dB	70 m

Abbildung 6 verdeutlicht, dass an Fahrbahnübergängen zudem eine Verschiebung der Peak-Frequenz vom tiefen (500 Hz) in den mittleren Frequenzbereich (800 bis 1000 Hz) stattfindet, die sich auf Anwohner zusätzlich störend auswirken kann [vgl. 3].

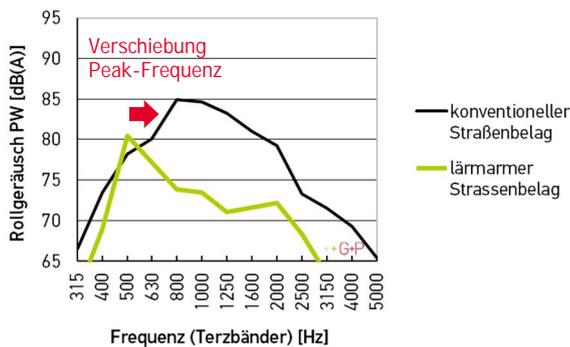


Abbildung 6: Rollgeräuschspektren eines lärmarmen und eines konventionellen Belags und Visualisierung der Verschiebung der Peak-Frequenz.

Fahrbahnmarkierungen

Zur Bewertung des Einflusses von Fahrbahnmarkierungen auf lärmarme Beläge wurden Struktur- und Farbmarkierungen mit unterschiedlichen Flächenanteilen untersucht. Dazu wurden die Rollgeräusche auf den beiden auf Schweizer Strassen im Innerortsbereich am häufigsten vorkommenden Markierungen (Radstreifen mit ca. 50% Flächenanteil, durchgezogene Linie mit 100% Flächenanteil) mit den Rollgeräuschen auf der angrenzenden Fahrbahn auf einem Streckenabschnitt von ca. 100m verglichen.

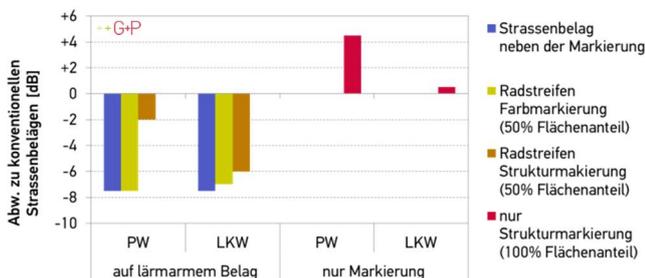


Abbildung 7: Akustische Wirkung unterschiedlicher Fahrbahnmarkierungen auf einem lärmarmen Strassenbelag.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse in einem Balkendiagramm dargestellt. Der lärmarme Strassenbelag neben der Markierung zeigt mit ca. -7.5 dB eine sehr gute akustische Qualität. Während sich die akustische Güte des Radstreifens mit 50% Flächenanteil als Farbmarkierung nur sehr wenig von der akustische Güte des lärmarmen Belags unterscheidet (Differenz ≤ 0.5 dB), zeigt der Radstreifen mit 50% Flächenanteil als Strukturmarkierung eine Differenz von ca. 5.5 dB für PW und 1.5 dB für LKW-Bereifung. Für

eine durchgezogene Strukturmarkierung mit 100% Flächenanteil wurden für PW-Bereifung +4.5 dB und für LKW-Bereifung +0.5 dB in Abweichung zu einem herkömmlichen Belag gemessen. Daraus ergibt sich zwischen dem lärmarmen Strassenbelag und einer durchgezogenen Strukturmarkierung eine akustische Differenz von ca. 12 dB für PW-Bereifung und für ca. 8 dB LKW-Bereifung. Setzt man diese Resultate mit der statistischen Komponente des Verkehrs in Beziehung, so lässt sich der Einfluss von Strukturmarkierungen anhand des Anteils derjenigen Fahrzeuge beschreiben, die die Markierung überrollen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Kritischer Pegelanstieg durch Strukturmarkierungen in Abhängigkeit des Anteils derjenigen Fahrzeuge, die die Markierung überrollen.

Akustische Belagsgüte	Anteil Fahrzeuge, die beim Überfahren der Markierung $\geq +1$ dB Lärmzunahme bewirken	
	durchgezogene Strukturmarkierung (100% Flächenanteil)	Fahrradstreifen Strukturmarkierung (50% Flächenanteil)
+5	-	-
+4	-	-
+3	54%	-
+2	30%	60%
+1	19%	39%
0	13%	27%
-1	10%	19%
-2	7%	14%
-3	5%	11%
-4	4%	8%
-5	3%	6%

Schachtdeckel

Für die Bewertung der Lärmwirkung von Schachtdeckeln, wird ein Vergleich zwischen der Wirkung auf lärmarmen Belägen und auf herkömmlichen Belägen durchgeführt. In Abbildung 8 sind zu diesem Zweck der Pegel-Zeit-Verlauf einer Messfahrt auf einem lärmarmen und einem angrenzenden konventionellen Strassenbelag dargestellt und die beim Überrollen der Schachtdeckeln auftretenden Impulsgeräusche gekennzeichnet.

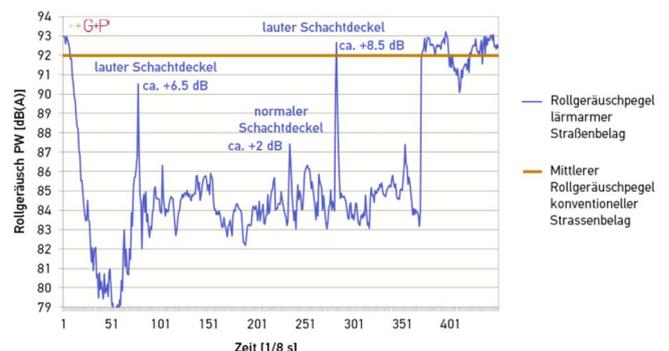


Abbildung 8: Pegel-Zeit-Verlauf einer Messfahrt auf einem lärmarmen Strassenbelag mit Schachtdeckeln unterschiedlicher akustischer Wirkung.

Der Pegel-Zeit-Verlauf zeigt drei, während der Messfahrt überrollte Schachtdeckel mit Impulsgeräuschen von +8.5 dB, +6.5 dB und +2 dB im Vergleich zum mittleren Lärmniveau des lärmarmen Belags (je nach Streckenabschnitt zwischen 84 und 85 dB(A)). Auf dem angrenzenden konventionellen Strassenbelag würde lediglich der lauteste der drei Schachtdeckel akustisch ins Gewicht fallen.

Betonelemente & Fugen

Die Wechselwirkung von Betonelementen und Fugen auf lärmarmen Belägen ist komplex, da sich die Bauweise und Oberflächentextur, Niveauunterschiede und der Fugenfüllungsgrad überlagernd auf die akustische Wirkung angrenzender lärmarmen Beläge auswirken können. Messungen mit der CPX-Methode erlauben allerdings eine Abschätzung des ungünstigsten Falls über den maximal zu erwartenden akustischen Einfluss auf lärmarme Beläge.

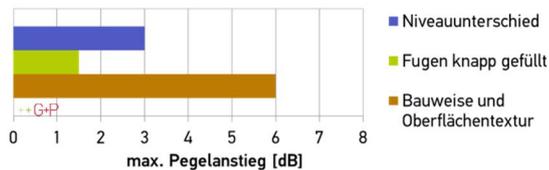


Abbildung 9: Maximal zu erwartender Pegelanstieg bei Betonelementen mit Niveauunterschied, knapp gefüllten Fugen und durch die Bauweise bzw. die Oberflächentextur der Betonelemente.

In Abbildung 9 ist der maximal zu erwartenden akustische Pegelanstieg anhand unterschiedlicher Fallstudien im Balkendiagramm visualisiert. Der grösste Einfluss ist dabei von der Bauweise und der Oberflächentextur von Betonfahrbahnen zu erwarten (bis zu 6 dB), Niveauunterschiede zwischen Betonelementen können einen Pegelanstieg von bis zu ca. 3 dB verursachen und von knapp gefüllten Fugen sind Impulsgeräusche von bis zu 1.5 dB zu erwarten.

Fugen innerhalb Betonfahrbahn



knapp gefüllt
(ca. +1.5 dB)



satt gefüllt

Übergang Betonfahrbahn & angrenzender Belag

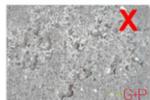


Niveaunterschied
(ca. +3 dB)



niveaugleich

Bauweise und Oberflächentextur



grobe Textur,
inhomogen
(bis zu +6 dB)



Längsbesenstrich,
homogen

Abbildung 10: Beispiele für Betonfahrbahnen und Fugen mit akustisch ungünstiger Bauweise (links) und akustisch günstiger Bauweise (rechts).

Diskussion & Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss belagsfremder Fahrbahnelemente wie Schachtdeckel, Strukturmarkierungen, Fahrbahnübergänge, Betonelemente und Fugen auf die Akustik lärmarmen Beläge bestimmt.

Es konnte gezeigt werden, dass beim Einsatz von Strukturmarkierungen bereits bei einem geringen Prozentsatz von Überrollungen ein wesentlicher Einfluss auf die Wirksamkeit von lärmarmen Belägen zu erwarten ist. Daher empfiehlt sich auf lärmarmen Belägen im Innerortsbereich der Einsatz von Farbmarkierungen, welche die Wirksamkeit von lärmarmen Belägen nur äusserst geringfügig beeinträchtigen. In Abhängigkeit der Anforderungen (z.B. bei

sicherheitsrelevanten Elementen) müssen Strukturmarkierungen weiterhin in Erwägung gezogen werden.

Die abrupten Pegelzunahmen an Fahrbahnübergängen zwischen herkömmlichen und lärmarmen Strassenbelägen können bis zu einer Distanz von ca. 70m durch Anwohner wahrgenommen werden. Die Verschiebung der Peak-Frequenz vom tiefen (500 Hz) in den mittleren Frequenzbereich (800 Hz) kann dabei von Anwohnern als zusätzlicher Störfaktor wahrgenommen werden. Scharfe Fahrbahnübergänge, mit grossen akustischen Differenzen zwischen angrenzenden Strassenbelägen sollten in geschlossenen Siedlungsgebieten daher nach Möglichkeit vermieden werden. In Siedlungsgebieten empfiehlt sich z.B. die Gestaltung eines Übergangsbereichs mit akustisch günstigen Eigenschaften oder eine Verlängerung des Perimeters des lärmarmen Belags um ca. 70m hinter das Siedlungsende.

Bei Betonelementen und Fugen wurden die Bauweise und die Oberflächentextur, Niveauunterschiede und der Fugenfüllungsgrad als entscheidende Faktoren für die Lärmwirkung identifiziert. Die Bauweise und die Oberflächentextur der Betonelemente zeigen dabei im Vergleich das grösste Potential zur akustischen Optimierung. Für den Einsatz auf lärmarmen Belägen empfehlen sich lärmarme Betonbauweisen (z.B. homogener Längsbesenstrich), wobei jedoch den Anforderungen an die Griffbarkeit Rechnung getragen werden muss. Die Fugen zwischen einzelnen Betonelementen und dem angrenzenden Belag sollten satt gefüllt sein, wobei auf ein ebenes Einbauniveau zu achten ist.

Auf lärmarmen Strassenbelägen können beim Überrollen von Schachtdeckeln Impulsgeräusche von bis zu +10 dB entstehen, welche bei konventionellen Strassenbelägen aufgrund des höheren Hintergrundpegels deutlich abgeschwächt auftreten. Da die Position von Schachtdeckeln auf der Fahrbahn zur Minimierung der Wahrscheinlichkeit für ein Überrollen nur selten beeinflusst werden kann, muss Lärmwirkung von Schachtdeckeln über deren Einbauparameter optimiert werden. Beim Einbau von Schachtdeckeln empfiehlt es sich insbesondere einen niveaugleichen Einbau zum Strassenbelag, eine feste und ebene Sockelfassung sowie eine möglichst ebene Oberflächentextur zu gewährleisten. Bei der Gestaltung von Schachtdeckeln und Betonfahrbahnen muss zudem beachtet werden, dass es beim Asphalt im Gegensatz zur Betonfahrbahn bzw. Schachtdeckel unter Verkehr zu einer gewissen Nachverdichtung kommen kann, was die Gestaltung niveaugleicher Übergänge zusätzlich erschwert.

Literatur

- [1] ISO/FDIS 11819-2:2016(E), "Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method." p. 72.
- [2] ISO/TS 11819-3:2016, "Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 3: Reference tyres." ISO TC 43/SC 1/WG 33, p. 31.
- [3] U. Sandberg, "The multi-coincidence peak around 1kHz in tyre/road noise spectra," *Proc. Euronoise Naples, Italy*, pp. 1–8, 2003.