



Lärminderungspotential leiser Reifen auf gängigen Schweizer Strassenbelägen

Ihre Kontaktperson: Emanuel Hammer
emanuel.hammer@grolimund-partner.ch, D 031 356 32 21

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
und den Kantonen Aargau, Graubünden, Solothurn und Zürich
A4957
11. Juni 2018

Impressum

Auftragnehmer

Grolimund + Partner AG

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU

Kanton Aargau

Kanton Graubünden

Kanton Solothurn

Kanton Zürich

Autoren

Emanuel Hammer

Erik Bühlmann

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	04.04.2018	E. Hammer	Endfassung	BAFU, Kt AG, GR, SO & ZH
V 2.0	11.06.2018	E. Hammer	überarbeitete Endfassung	BAFU, Kt AG, GR, SO & ZH

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU und den Kantonen AG, GR, SO und ZH verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

A4957_LaermmindpotLeiseReifen_Bericht_20180608.docx

Zusammenfassung

In dieser Studie wurden durch einen modifizierten CPX (close proximity) Messanhänger der Rollgeräuschpegel von 14 marktüblichen, leisen bis lauten Sommerreifen gemessen. Das Rollgeräusch der Reifen wurde in 2-er Sets nach Regelung Nr. 117 von UN/ECE auf 10 verschiedenen, herkömmlichen und auf einem lärmarmen Strassenbelag (SDA4-12) gemessen. Das Ziel war es das Lärminderungspotential zu ermitteln, welches von „leisen“ Reifen auf den häufigsten Schweizer Strassenbelägen ausgeht. Die wichtigsten reifenseitigen Einflussgrössen wurden identifiziert und quantifiziert um damit Szenarien für zukünftige Trends erstellen zu können. Es wurde ein relativ grosses Lärminderungspotential festgestellt. Bei 100% Einsatz von leisen Reifen entspräche dies akustisch bis zu einer Halbierung des Verkehrs. Als entscheidende Einflussgrössen für ein mögliches Lärminderungspotential resultierten die Parameter Reifenbreite, Reifenradius, Reifengummihärte und Rollwiderstandslabel. Somit dienen diese Einflussgrössen als Berechnungsparameter für zukünftige Szenarien. Aufgrund der jüngsten Reifentrends (Zunahme der Reifenbreite und Reifenradius) muss davon ausgegangen werden, dass die reifenbedingten Lärmemissionen in Zukunft geringfügig bis mässig zunehmen. Kann das Lärminderungspotential der Reifen zukünftig stärker ausgenutzt werden, so liessen sich die Lärmemissionen um wenige dB reduzieren. Bei einem vollständigen Durchdringungsgrad von lärmarmen Reifen wurde ein Lärminderungspotential von bis zu 3.5 dB ermittelt. Aufgrund dieser Resultate wird empfohlen weitere Bestrebungen zur Förderung des Verbreitungsgrades von leisen Reifen zu unternehmen.

Inhalt

1. Ausgangslage & Projektziel	5
2. Messkampagne	7
2.1 Testreifen	7
2.2 Teststrecke	11
2.3 Messmethodik	12
2.4 Unsicherheiten Methodik	13
3. Resultate	16
3.1 Lärminderungspotential Reifen	16
3.2 Einflussgrössen für Lärminderungspotential	19
3.3 Mögliche Trends und Szenarien	21
4. Schlussfolgerungen	24
Literaturverzeichnis	26

Anhang

I Verlauf Rollgeräuschpegel und Lärminderungspotential Reifen	28
II Illustrationen Messkampagne	30

1. Ausgangslage & Projektziel

Rollgeräusche dominieren bereits ab sehr tiefen Geschwindigkeiten. Schweizer Studien zeigen, dass im Strassenverkehrslärm bei modernen Personenwagen (mit Baujahr ab 2005) Rollgeräusch bereits ab sehr tiefen Geschwindigkeiten von ca. 15 bis 20 km/h dominieren (Hammer et al. 2016; Egger et al. 2017; Egger et al. 2016). Somit kann der Strassenlärm von PW durch die Verminderung des Rollgeräusches bereits ab tiefen Geschwindigkeiten wesentlich und an der Quelle reduziert werden. Realisiert werden kann dieses Potential sowohl durch den Einsatz von lärmarmen Belägen als auch durch leise Reifen.

Per 1.8.2014 wurde auch in der Schweiz die EU-Reifenetikette eingeführt, welche unter anderem die Lärmemissionen von Reifen mittels eines standardisierten Emissionspegelwerts kategorisiert. Bei diesem Test der Reifen werden Messungen nach Regelung Nr. 117 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE; 2011) durchgeführt, indem das externe Rollgeräusch bei einem vorbeifahrenen Fahrzeug im neutralen Gang, abgestelltem Motor, auf trockener, normierter Fahrbahn mit 60-90 km/h an zwei Mikrofonen (links und rechts der Fahrbahn im Abstand von 7.5 m der Fahrbahnmitte und 1.2 m Höhe positioniert) ermittelt wird. Weiter werden die Parameter Reifendruck, Reifenzustand, Fahrzeugtyp, Testoberfläche, Temperatur, Windgeschwindigkeit etc. festgelegt und der Temperatureinfluss der Testoberfläche korrigiert. Die so gemessenen Rollgeräuschemissionen der verschiedenen Reifen weisen heute Reifenetiketten mit Emissionspegeln im Bereich von ca. 67 bis ca. 74 dB(A) auf.

Diverse Studien folgerten, dass die auf den Reifenetiketten angegebenen Werte und die daraus abgeleiteten Lärmreduktionen nicht direkt in die Realität übersetzt werden können (Berge et al. 2017; Świczko-Zurek et al. 2014; Berge & Sandberg 2017). Der Hauptgrund dafür ist, dass das Reifenlabel (auch als Reifenetikette bezeichnet) für einen standardisierten Strassenbelag (DIN ISO 10844:2014 2016) ausgerichtet ist und die Lärmwirkung sich nicht direkt auf die Beschaffenheit von Schweizer Strassenbelägen übertragen lässt. Der standardisierte Strassenbelag weist eine äusserst feine Oberfläche auf (ähnlich einem AC 8 Belag), der auf den Schweizer Strassen selten auf der Fahrbahn eingebaut wird. Da die Reifenhersteller die verschiedenen Reifenmodelle auf ihren Teststrecken zu den gegebenen klimatischen Bedingungen durchführen, werden die Reifen bei unterschiedlichen Temperaturen getestet. Da der Korrekturmechanismus der UN/ECE R117 die Temperatureinflüsse nur ungenügend zu korrigieren vermag (Sandberg 2015) hat die Temperatur einen gewichtigen Einfluss auf das Rollgeräuschlabel. Ein weiterer Faktor, welcher das Lärminderungspotential aufgrund der Reifenlabel nicht direkt aus dem Reifenlabel ermitteln lässt, ist die Testprozedur der Reifengruppen. Aus wirtschaftlichen Überlegungen werden lediglich einige zufällig ausgewählten Reifen für das Label getestet und allfällige Unterschiede in der Gummimischung der nächsten Reifenproduktion gehen dabei nicht ins Label mit ein (Berge & Sandberg 2017). Es war somit nicht bekannt, welches Lärminderungspotential durch leise Reifen auf den häufigsten Schweizer Strassenbelägen erwartet werden kann.

Ziel dieser Studie ist das Ermitteln des Lärminderungspotentials von „leisen“ Reifen auf den häufigsten Schweizer Strassenbelägen. Um möglichst viele Kombinationen von Reifen und Fahrbahnbelägen untersuchen zu können, wurde ein Messkonzept gewählt, das die Montage der Reifen im CPX (close proximity) Messanhänger erlaubt. Mittels einer Spezialvorrichtung kann der Messanhänger spezifisch für den jeweiligen Tragfähigkeitsindex der Reifen beladen werden und so die Rollgeräuschemissionen kosteneffizient ermittelt und das Lärminderungspotential abgeleitet werden. Zudem wird das Lärminderungspotential für die Kombination "leise" Reifen mit lärmarmen Strassenbelägen mit Hauptfo-

kus auf SDA 4 Rezepturen ermittelt. Die wichtigsten reifenseitigen Einflussgrössen werden identifiziert und quantifiziert um damit Szenarien für zukünftige Trends erstellen zu können.

2. Messkampagne

In diesem Kapitel wird auf die Auswahl der Testreifen eingegangen (siehe Kapitel 2.1). Damit das Lärminderungspotential der Reifen repräsentativ für Schweizer Strassenbeläge bestimmt werden kann, wurde die Teststrecke sorgfältig ausgewählt um die meisten in der Schweiz vorkommenden Bauweisen abzudecken (siehe Kapitel 2.2). Um die Reifen unterschiedlicher Spezifikationen nach UN/ECE Regelung Nr. 117 messen zu können, muss der Reifen spezifisch für seinen jeweiligen Tragfähigkeitsindex beladen werden. Dabei musste der CPX Messanhänger für die in dieser Studie durchgeführten Messungen adaptiert werden (siehe Kapitel 2.3). Die Messungen nach UN/ECE Regelung Nr. 117 werden mittels Coast-by Messungen durchgeführt, wobei vier Reifen an einem Fahrzeug montiert werden. Da für jeden zu untersuchenden Strassenbelag eine separate abgesperrte Teststrecke für die Durchführung der Coast-by Messungen gefunden werden müsste, wurde in dieser Studie eine effizientere Messmethode gewählt, indem lediglich zwei Reifen in einem adaptierten CPX Messanhänger verwendet wurden. Die dabei entstehenden Messunsicherheiten wurden mittels eines direkten Vergleichs der Messverfahren CPX und Coast-by näher abgeschätzt (siehe Kapitel 2.4).

2.1 Testreifen

In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU und dem Touring Club Schweiz TCS wurden die Testreifen für die Studie selektiert. Dabei wurde auf die drei folgenden Fragestellungen geachtet:

- Vergleich leise und laute Reifen anhand Geräuschlabel der Reifenetikette in Kombination mit den unabhängigen Messungen vom TCS-Reifentests
- Quervergleich der Reifenbreite anhand derselben Reifenmarke und -typ für drei unterschiedliche Reifenbreiten
- Lärmauswirkungen von Reifenbreitenextrema durch die Selektion eines extrem schmalen und extrem breiten Reifens

In Tabelle 1 sind die aus diesen ergebenden Fragestellungen selektierten Testreifen gelistet. Es wurden jeweils vier Reifensätze der Breiten von 185, 205 und 225 ausgewählt. Innerhalb jeder Reifenbreite wurden jeweils ein leiser, ein mittlerer und ein lauter Reifen ausgewählt. Die Beurteilung der Lärmemissionen beruht auf den TCS Aussengeräuschmessungen sowie des Geräuschlabels der Reifenetikette. Zudem wurde mit der Hilfe des TCS darauf geachtet, dass lediglich in der Schweiz marktübliche Reifen ausgewählt werden. Der Reifen Dunlop Sport BluResponse wurde in allen drei Reifenbreiten für den Quervergleich eingesetzt. Für die Ermittlung der Lärmauswirkungen von Reifenbreitenextrema wurden die Reifen Bridgestone EcoPia EP500 mit der Reifenbreite 155 mm sowie der Michelin Pilot Super Sport mit der Reifenbreite 295 mm ausgewählt. Der Reifen Bridgestone EcoPia wird standardmässig beim Elektroauto BMW i3 verwendet, da er durch die schmale Bauweise einen geringeren Rollwiderstand (d.h. bessere Energieeffizienz eines Reifens) aufweist (Goodwin 2015). Der Michelin Pilot Super Sport Reifen ist für den Rennsport konzipiert und wird hauptsächlich auf Sportwagen montiert (z. B Porsche Panamera Turbo S, Jaguar F-Type, etc.).

Die beiden Normreifen für PW (Uniroyal Tigerpaw SRTT) und LKW (Avon AV4) der CPX Messungen wurden ebenfalls in der Messkampagne verwendet und dienten als Referenzmessungen für eine allfällige akustische Veränderung des Messanhängers während der gesamten Messkampagne.

Tabelle 1: Spezifikationen der in diesem Projekt analysierten Reifen

ID Nummer	Reifenmarke	Reifenmodell	Reifenbreite	Flankenhöhe	Tragfähigkeitsindex	Geschw. index	Radius ["]	Rollwiderstand	Nasshaftung	Rollgeräusch [dB(A)]
1	Infinity	Ecosis	185	65	88	H	15	E	C	70
2	Hankook	Kinergy Eco K425	185	65	88	H	15	E	A	69
3	Semperit	Comfort-Life 2	185	65	88	H	15	E	C	70
4	Dunlop	Sport BluResponse	185	65	88	H	15	B	A	67
5	Hankook	Kinergy Eco K425	205	55	91	V	16	B	B	70
6	Nokian	Line	205	55	91	V	16	C	A	71
7	Dunlop	Sport BluResponse	205	55	91	V	16	B	A	68
8	Pirelli	Cinturato P7 Blue	205	55	91	V	16	B	A	72
9	GT Radial	Champero HPY	225	45	94	Y	17	E	B	70
10	Hankook	Ventus S1 evo2 K117	225	45	94	Y	17	E	A	71
11	Yokohama	Advan Sport V105	225	45	94	Y	17	F	A	72
12	Dunlop	Sport BluResponse	225	45	94	Y	17	B	A	69
13	Bridgestone	Ecopia EP500	155	70	84	Q	19	C	B	69
14	Michelin	Pilot Super Sport	295	25	96	Y	21	E	A	73
15*	Uniroyal	Tigerpaw SRTT	225	60	97	S	16			
16*	Avon	AV 4	195	-	106	N	14	F	C	74

*: Norm-Referenzreifen für CPX-Messungen nach Norm (ISO/TS 11819-3 2017)

In Abbildung 1 sind alle Testreifen zusammen mit dem CPX Messanhänger dargestellt.

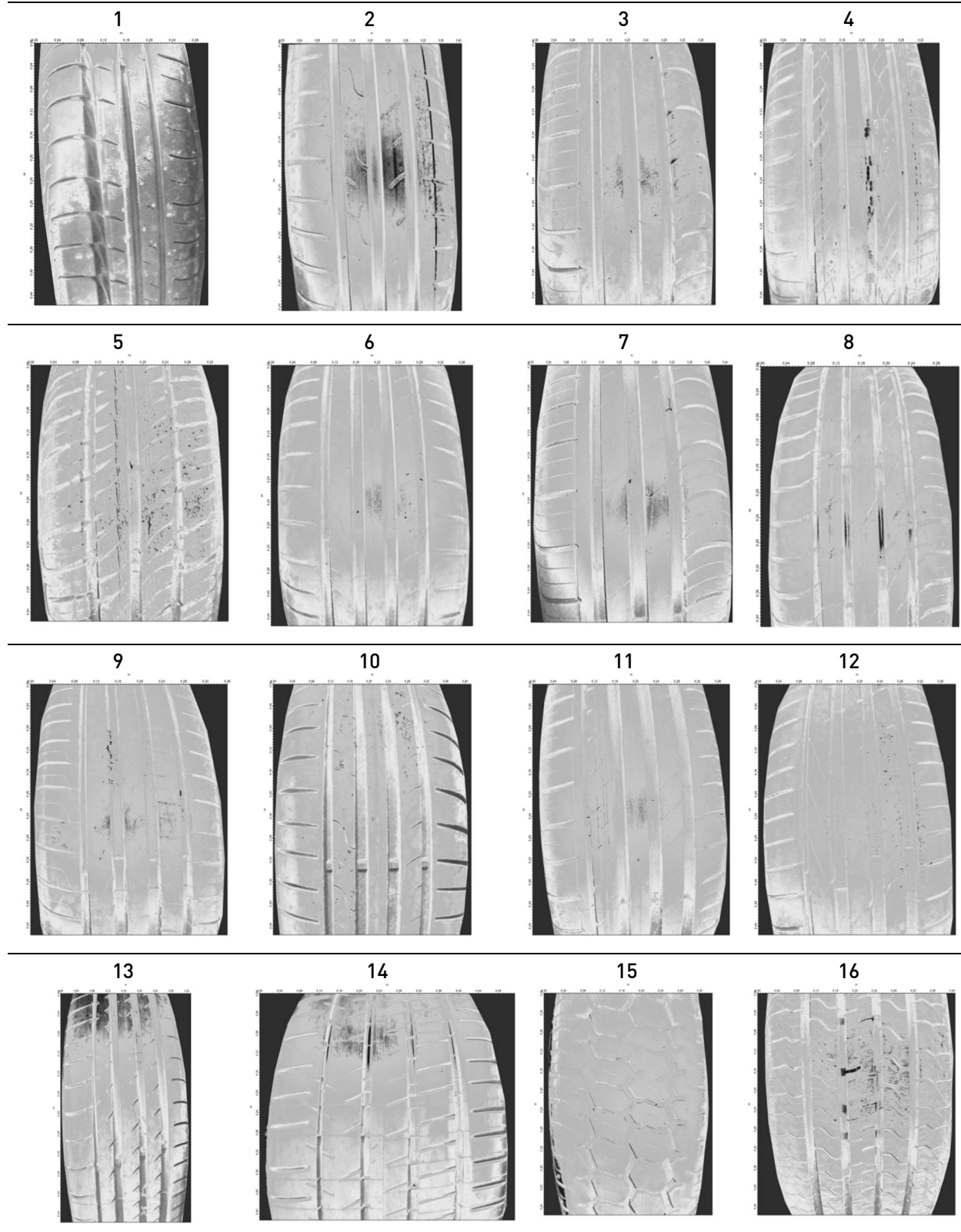


Abbildung 1: Alle in diesem Projekt verwendeten Testreifen mit dem CPX-Messfahrzeug von Grolimund + Partner AG.

Mehrere Studien zeigen, dass das Reifenprofil einen wesentlichen Einfluss auf die Lärmentstehung durch die Interaktion der Reifen mit der Fahrbahn hat (Bekke et al. 2014; Feng et al. 2017; Zhou & Hong 2013; Ishihama et al. 2015). Es sind hauptsächlich zwei Lärmentstehungsmechanismen davon betroffen: 1) Anregung des Reifens durch die Interaktion zwischen den Profilblöcken und der Fahrbahntextur und 2) durch die Kompression/Expansion der Luft in den Profiltrillen, was durch das Abrollen des Reifens auf der Fahrbahn entsteht (Li et al. 2016). In Tabelle 2 sind die Reifenprofile aller in dieser Studie verwendeten Testreifen gelistet. Es ist erkennbar, dass bis auf den CPX Standardreifen für LKW (Avon AV4, ID 15) alle Testreifen ein symmetrisches Reifenprofil aufweisen. In der Reifenindustrie wird bereits seit mehreren Jahren darauf geachtet, dass auf typischen Personenwagen solche Reifen verwendet werden (Ridha & Theves 1994), da diese generell als leise gelten und länger halten sollen. Zudem können diese in beide Richtungen montiert werden, was diese Reifen vielfältiger und praktikabler machen (PepBoys 2017).

11. Juni 2018

Tabelle 2: Reifenprofile der in diesem Projekt analysierten Testreifen



2.2 Teststrecke

Für die Auswahl der Teststrecke wurde darauf geachtet, dass möglichst viele für die Schweiz repräsentative Bauweisen und Belagsrezepturen sowie ein Belag mit semidichter Rezeptur (nach VSS 2015) eingebaut sind. Eine hierfür optimale Strecke konnte im Kanton Aargau auf der Kantonsstrasse zwischen Villnachern und Schinznach-Dorf gefunden werden. Im Auftrag des Kantons Aargau wurden im Jahr 2016 auf dieser Strecke mittels des CPX Messverfahrens bereits akustische Zustandserfassungen durchgeführt, so dass die Belagsinformationen sowie die akustische Belagsgüte in Abweichung zum StL-86+ Modell G+P AG bereits vorlagen. Abbildung 2 zeigt die Teststrecke mit der akustischen Belagsgüte für PW-Reifen sowie für die jeweiligen Belagsabschnitte die Belagsrezeptur mit Belagsfoto erstellt am Messtag, 12.03.2017.

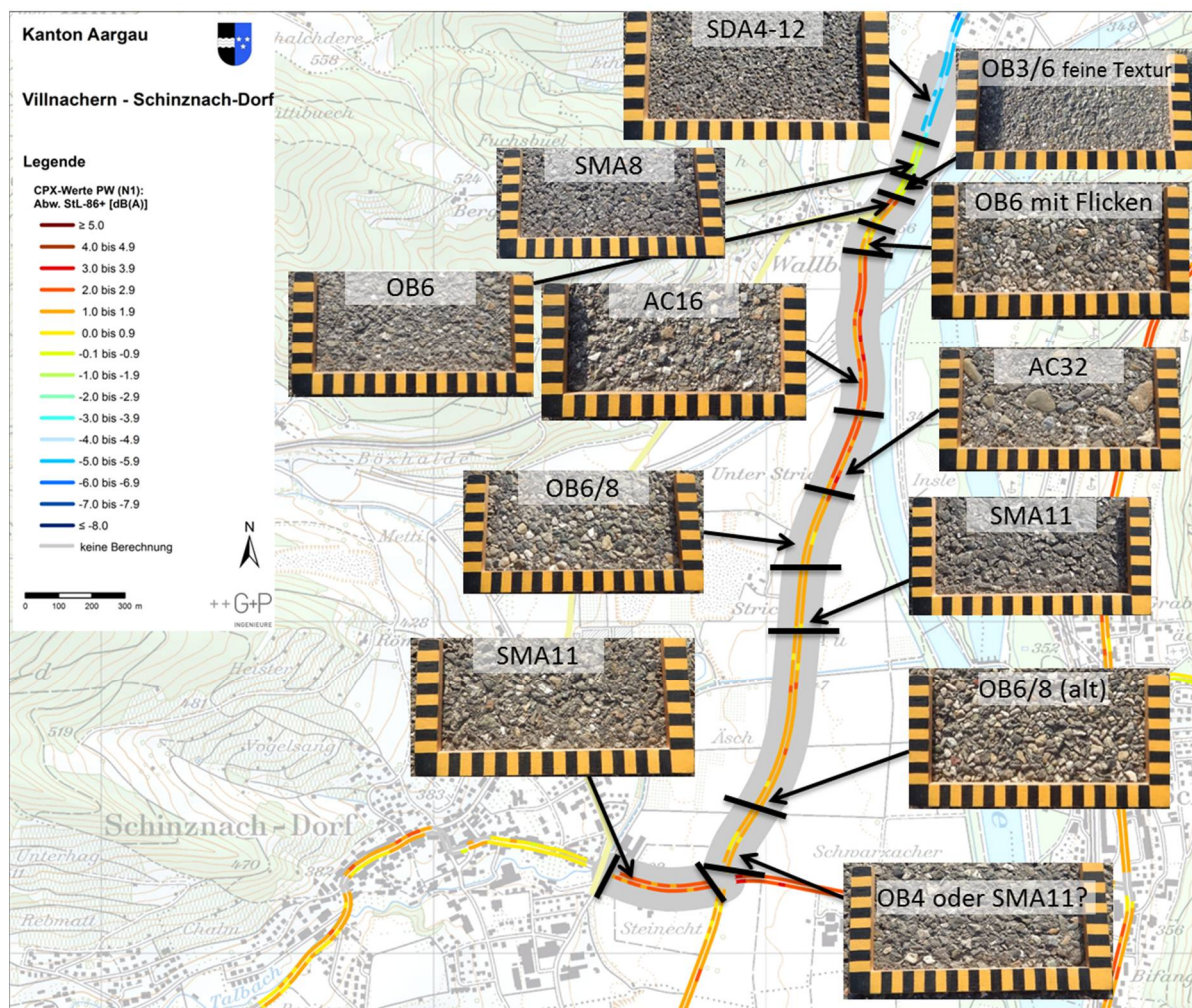


Abbildung 2: Teststrecke mit den Belagstypen sowie deren Belagsfotos. Die Farben zeigen die CPX-Werte für PW (N1) in Abweichung zu StL-86+.

In Tabelle 3 sind die Informationen zu den jeweiligen auf der Teststrecke liegenden Belägen, deren Einbaujahr (falls vorhanden) und Streckenlänge angegeben.

Tabelle 3: Belagsinformationen und Streckenlänge

Belagstyp (Einbaujahr)	Streckenlänge [m]	relativ zur Gesamtlänge [%]
AC 16 (1995)	440	14
AC 32 (unbekannt)	280	9
OB 11 (1997)	200	6
OB 3/6 (unbekannt)	120	4
OB 6 (unbekannt)	280	9
OB 6 mit Flicker	200	6
OB 6/8 (unbekannt)	560	18
SDA 4-12 (2015)	380	12
SMA 11 (2011)	340	11
SMA 11 (unbekannt)	180	6
SMA 8 (unbekannt)	100	3

2.3 Messmethodik

Nach UN/ECE Regelung Nr. 117 müssen Testreifen vor der Messung auf Betriebstemperatur gebracht werden, damit es keine Verfälschung der Lärmentstehung durch kalten und zu harten Gummi gibt (Mioduszewski et al. 2015). Die Teststrecke wurde deshalb vor jeder Messung mit den zu messenden Testreifen abgefahren um die Reifen aufzuwärmen. Eine valide Messung bestand nach der Aufwärmfahrt durch das zweimalige Befahren der Teststrecke in beide Fahrtrichtungen.

Da die unterschiedlichen Reifendimensionen unterschiedliche Tragfähigkeitsindizes aufweisen, ist es notwendig die Reifen mit unterschiedlichem Gewicht zu belasten. Nach UN/ECE Regelung Nr. 117 sollen die Reifen für die akustischen Messungen mit 75 ± 5 % des Tragfähigkeitsindex der jeweiligen Reifen beladen gemessen werden. Da der CPX Messanhänger 680 kg wiegt, ist dieser auch für den Reifen mit dem tiefsten Tragfähigkeitsindex (Bridgestone Ecopia EP500) zu leicht, so dass für alle Reifen der Messanhänger beladen werden kann und kein Gewicht entnommen werden muss. In Abbildung 3 ist das adaptierte CPX Messverfahren zu sehen. In der Box aus Aluminium wurde das jeweilige für die Reifen passendes Gewicht gleichmässig befüllt um die 75 ± 5 % des Tragfähigkeitsindex aller Reifen einzuhalten. Das maximale Gewicht, welches zusätzlich im Anhänger beladen werden musste war 320 kg für den Reifen Michelin Pilot Super Sport. So war ein Quervergleich der akustischen Eigenschaften aller verschiedenen Reifendimensionen möglich.

Der Reifenprüfdruck aller Reifen betrug mit dem Kriterium von 75 ± 5 % des Tragfähigkeitsindex nach UN/ECE Regelung Nr. 117 1.8 bar.



Abbildung 3: Adaptiertes CPX Messsystem von Grolimund + Partner AG. Mit der Befestigung auf dem Anhänger wurde das Gewicht am jeweiligen Reifen angepasst um sie bei relativ zum Load-Index identischer Belastung (75% gemäss UN/ECE Reg. 117) zu messen.

2.4 Unsicherheiten Methodik

Als Ausgangspunkt der in dieser Studie durchgeführten Messungen galt die UN/ECE Regelung Nr. 117. Um möglichst viele Kombinationen von Reifen und Strassenbelägen untersuchen zu können, wurde anstatt auf Coast-by Messungen, bei welchen ein Set von vier Reifen für die Messungen sowie eine Reihe abgesperrter Teststrecken benötigt wird, auf die effizientere Methode eines adaptierten CPX-Messverfahrens zurückgegriffen, wobei lediglich ein Set aus zwei Reifen benötigt wird. Dabei wurde wie in Kapitel 2.3 beschrieben mittels zusätzlich angebrachten Gewichten die relative Belastung gemäss UN/ECE Regelung Nr. 117 eingehalten und mittels Nahfeldmessung die Rollgeräuschemissionen gemessen. Da in der UN/ECE Regelung Nr. 117 Messungen von Freifeldemissionen vorgesehen sind, wurde die Unsicherheitsabschätzung von diesem zum adaptierten CPX Messverfahren auf der Prüfstrecke zur Messung von Geräuschemissionen (DIN ISO 10844:2014 2016) in Vauffelin ermittelt. Dabei wurden Coast-by Messungen mit drei Fahrzeugen unterschiedlicher Fahrzeuggeometrie, Chassishöhe und Bereifung, durchgeführt (siehe Abbildung 4 links). Der ausgewählte Fahrzeugpark bestand aus einem Mercedes A180 (Kleinwagen), Audi A3 (Mittelklassewagen) und Mercedes Vito (Van). Die beiden hinteren Reifen wurden zudem am adaptierten CPX Messanhänger montiert und jeweils für den Tragfähigkeitsindex beladen und der spezifische Prüfreifendruck nach UN/ECE Regelung Nr. 117 eingestellt (siehe Abbildung 4 rechts). Aus dem direkten Vergleich der Resultate dieser beiden Messungen lässt sich ein Transferfilter der Nahfeldmessung hin zur Maximalpegelmessung in 7.5 m Abstand zum Strassenrand ermitteln. Die Unsicherheit der in der vorliegenden Studie gewählten Methodik kann über die Variabilität dieses Transferfilters abgeschätzt werden. Je kleiner die Variabilität des Transferfilters ist, desto zuverlässiger können Coast-by Pegel (oder Pegeldifferenzen) mit der gewählten Methodik ermittelt werden.



Abbildung 4: Coast-by Messung der Continental ContiSportContact 225/55 R16 Reifen am Audi A3 SB 2.0 TDI (links) und dieselben Reifen am adaptierten CPX-Messanhänger montiert mit gemessen unter Last nach UN/ECE R117 (Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) 2011) auf dem Testgelände DTC in Vauffelin.

In Abbildung 5 sind die Resultate dieser Messungen dargestellt.

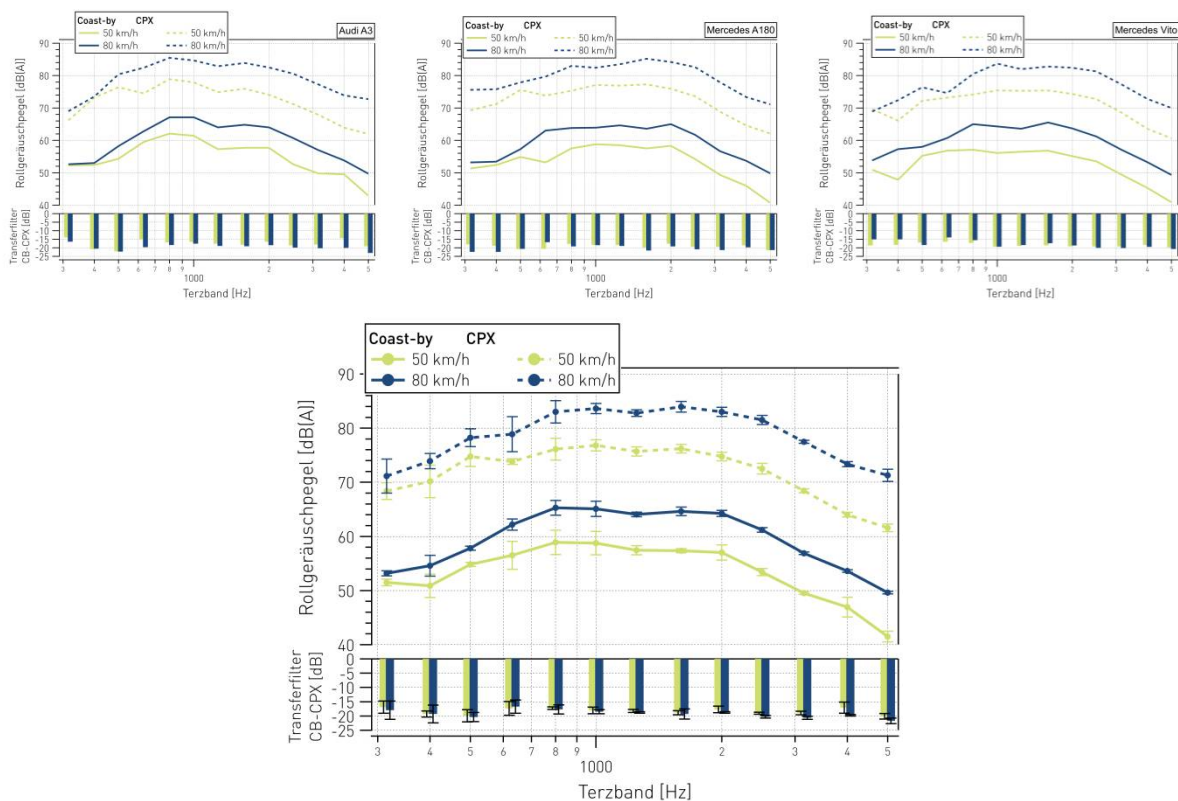


Abbildung 5: Spektren der Coast-by und adaptierten CPX-Messungen in Vauffelin bei Geschwindigkeiten von 50 und 80 km/h der Reifen der drei Fahrzeuge Audi A3, Mercedes A180 und Mercedes Vito (oben) sowie der Mittelwert und Standardabweichung deren (unten). In Allen Grafiken sind in Balken die Transferfilter von CB minus adaptiertes CPX-Messverfahren angegeben.

Aus dem unteren Teil der Abbildung 5 ist erkennbar, dass der Transferfilter bei den für Rollgeräuschen massgebenden Frequenzen im Mittel zwischen 800 Hz und 1250 Hz lediglich um 0.4 dB bis 3.2 dB für 50 bzw. 80 km/h variiert. Angesichts der absichtlich möglichst stark variierten Fahrzeuggeometrie, Chassishöhe und Bereifung kann die gewählte Methodik als relativ zuverlässig bezeichnet werden. Dies ist insbesondere der Fall, da beim Verfahren nach UN/ECE Regelung Nr. 117 die Reifen ebenfalls

an unterschiedlichen Fahrzeugen montiert werden, was eine vergleichbare fahrzeugbedingte Beeinflussung der Messresultate mit sich bringen dürfte. Dies zeigt, dass für Reifentests bei welchen eine grössere Anzahl an Kombinationen von Reifen und Belägen untersucht werden soll, das adaptierte CPX Messverfahren ohne grössere Abstriche bezüglich Genauigkeit als effizientere Alternative für Coast-by Messungen verwendet werden kann.

3. Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der Messkampagne auf der Teststrecke zwischen Villnachern und Schinznach-Dorf mit 11 verschiedenen Strassenbelägen und dem Testreifensatz von 14 unterschiedlichen Reifen sowie den Standard CPX-Reifen für PW und LKW präsentiert. Dabei wird das Lärminderungspotential von leisen Reifen in der Schweiz aufgezeigt sowie die wichtigsten Einflussgrößen, welche für das Lärminderungspotential der Reifen verantwortlich sind, präsentiert. Der zusätzliche Effekt der leisen Reifen in Kombination mit lärmarmen Belägen wird dargestellt. Zudem werden Trends und Szenarien der Lärmreduktion von leisen Reifen durch mögliche Entwicklungen bezüglich Einsatz von unterschiedlichen Reifendimensionen oder Eigenschaften aufgezeigt.

3.1 Lärminderungspotential Reifen

Um das Lärminderungspotential von leisen Reifen zu eruieren wurden innerhalb derselben Reifendimension ein lauter, mittlerer und leiser Reifen getestet und dies in drei verschiedenen Dimensionen (Reifenbreiten: 185 mm, 205 mm und 255 mm). Zudem wurden ein sehr schmaler (155 mm) und ein sehr breiter (Reifenbreite: 295 mm) beigezogen. Alle diese Reifen wurden am adaptierten CPX Messanhänger montiert und mit insgesamt vier Messmikrofonen das Rollgeräusch gemessen (links und rechts, jeweils seitlich in Fahrtrichtung vor und hinter dem Reifen).

In Abbildung 6 sind die Rollgeräusche als Gesamtpegel über die gesamte Messstrecke und somit gewichtet nach Länge der Beläge (siehe Tabelle 3) dargestellt.

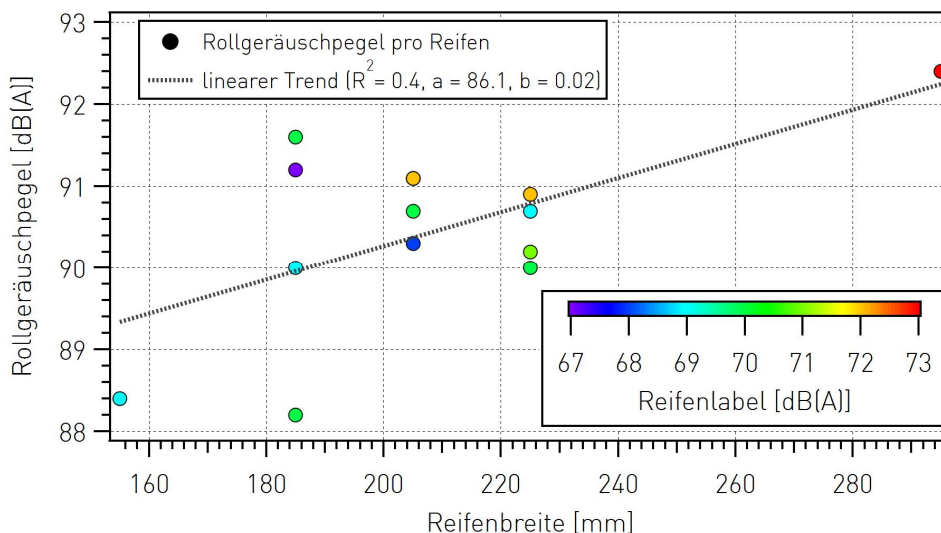


Abbildung 6: Rollgeräuschpegel der einzelnen Reifen in Funktion der Reifenbreite. Die Farbcodierung zeigt das vom Reifenhersteller angegebene Reifenlabel in dB(A) an.

Generell nehmen die Rollgeräuschpegel innerhalb derselben Reifenbreite mit der Zunahme des Rollgeräusches (der Reifenetikette; www.reifenetikette.ch) zu. Es ist somit eine Konsistenz der Reifenlabel und der in dieser Studie durchgeführten Messungen erkennbar. Hierzu muss jedoch angemerkt werden, dass die Ermittlung der Zuverlässigkeit des Reifenlabels nicht im Fokus dieser Studie stand. Zudem resultiert ein Trend einer Zunahme von schmalen zu breiten Reifen mit einer Zunahme der Rollgeräuschpegel von 0.1 dB pro 5 mm Reifenbreitenzunahme (mit einem Bestimmtheitsmass von $R^2=0.4$). Das Bestimmtheitsmass ist dabei eher klein aufgrund der in dieser Studie gewählten Stichpro-

11. Juni 2018

be, allerdings ist dieser Zusammenhang bereits auch in anderen Studien ausgewiesen (Berge et al. 2015; Wehr et al. 2014; Sandberg & Ejsmont 2002) worden. Weiter ist aber auch erkennbar, dass innerhalb der Reifenbreiten eine relativ grosse Variation der Rollgeräuschpegel unabhängig der Reifenbreite vorhanden ist. Bei der Reifenbreite 185 mm resultierte eine Streuung der Rollgeräuschpegel von knapp 4 dB. Dies bedeutet, dass aufgrund von Reifeneigenschaften innerhalb einer Reifenbreite bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h ein Lärmreduktionspotential von 4 dB vorhanden ist. Auch wenn bei der Reifenbreite von 225 mm mit den selektierten Testreifen lediglich eine Streuung von 1 dB erkennbar ist, gehen wir davon aus, dass durch geeignete Reifeneigenschaften ein Lärmreduktionspotential von 4 dB auch in dieser Reifenbreite zu erwarten ist. Dies wird insbesondere durch einen vergleichbaren Bereich der Rollgeräuschlabelwerte in den grösseren Reifenbreiten impliziert.

Um von einem wirksamen Lärmreduktionspotential sprechen zu können, sollte dieses auf den wichtigsten Schweizer Strassenbelägen in ähnlicher Weise gegeben sein. Abbildung 7 zeigt die Rollgeräuschpegel aller Testreifen pro Belagstyp. Der Belagstyp ist aufsteigend nach deren akustischen Belagsgüte (gemessen mit CPX Verfahren nach ISO 11819-2:2016 und ISO/TS 11819-3:2017) sortiert.

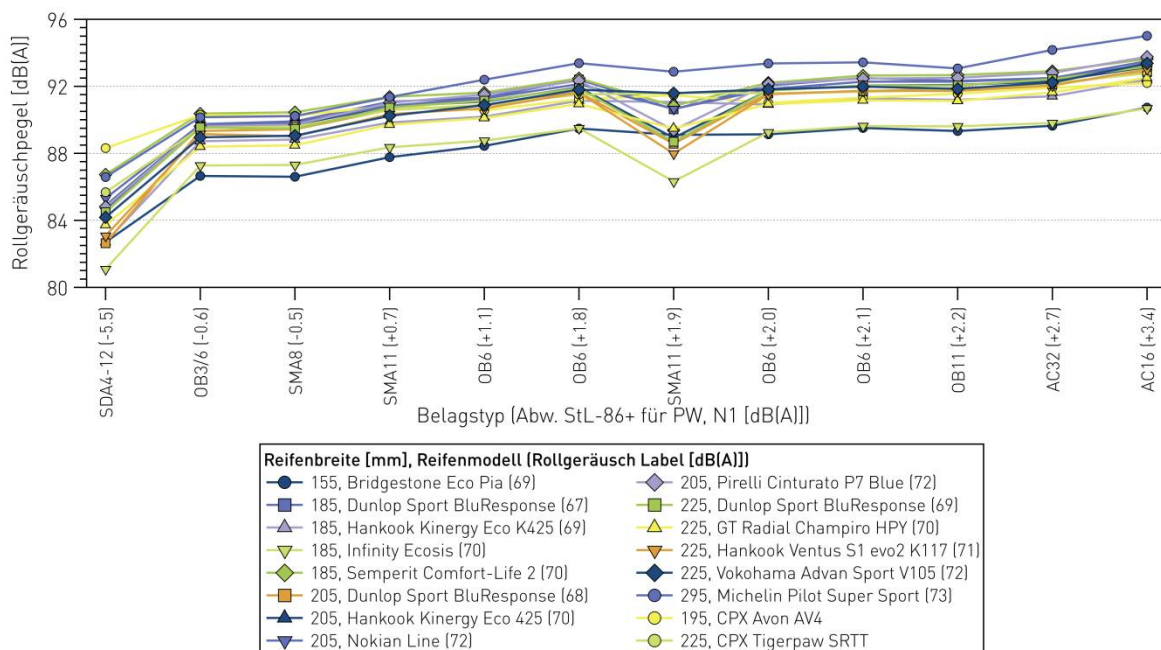


Abbildung 7: Verlauf der Rollgeräuschpegel der einzelnen Reifen auf den unterschiedlichen Belagstypen. Die Belagstypen sind mit dem CPX-Messwert für PW (N1) in Abweichung zu StL-86+ aufsteigend gegliedert.

Wie Abbildung 7 veranschaulicht, kann im Gegensatz zu den für Skandinavien präsentierte Ergebnisse (Berge et al. 2017) auf allen Schweizer Strassenbelägen von einem ähnlichen Lärminderungspotential ausgegangen werden: generell ist ein Reifenmodell auf allen gemessenen Belägen im Verhältnis zu den anderen Reifenmodellen ähnlich laut (z.B. weist das Reifenmodell Nokian Line auf dem SDA4-12 Belag den fünfthöchsten Rollgeräuschpegel und behält in etwa diesen Rang auf allen Belägen). Einzige Ausnahme bildet der SMA 11 Belag mit unbekanntem Einbaujahr und einer akustischen Belagsgüte von +1.1 dB(A), wo es für einige wenige Reifenmodelle zu Rangverschiebungen kommt. Speziell hervorzuheben ist das Modell Infinity Ecosis mit Reifenbreite 185 mm, dieser Reifentyp ist ähnlich leise wie das um einiges schmalere Reifenmodell Bridgestone Eco Pia der Reifenbreite 155 mm. Diese beiden

Reifenmodelle sind im Mittel fast 2 dB leiser als das Reifenmodell GT Radial Champiro mit dem nächsthöheren Rollgeräuschpegel.

Eine Studie vom TCS (Blättler 2017) zeigte, dass auch nach Gebrauch der Reifen mit 15'000 gefahrenen Kilometern, sich die Rangierung der Reifen bezüglich ihren Rollgeräuschpegeln kaum ändert (siehe Abbildung 8). Auch wenn die Rollgeräuschpegel mit zunehmendem Gebrauch leicht zunehmen, heisst dies, dass leise Reifen auch nach gefahrenen 15'000 km im Quervergleich immer noch leise Reifen bleiben.

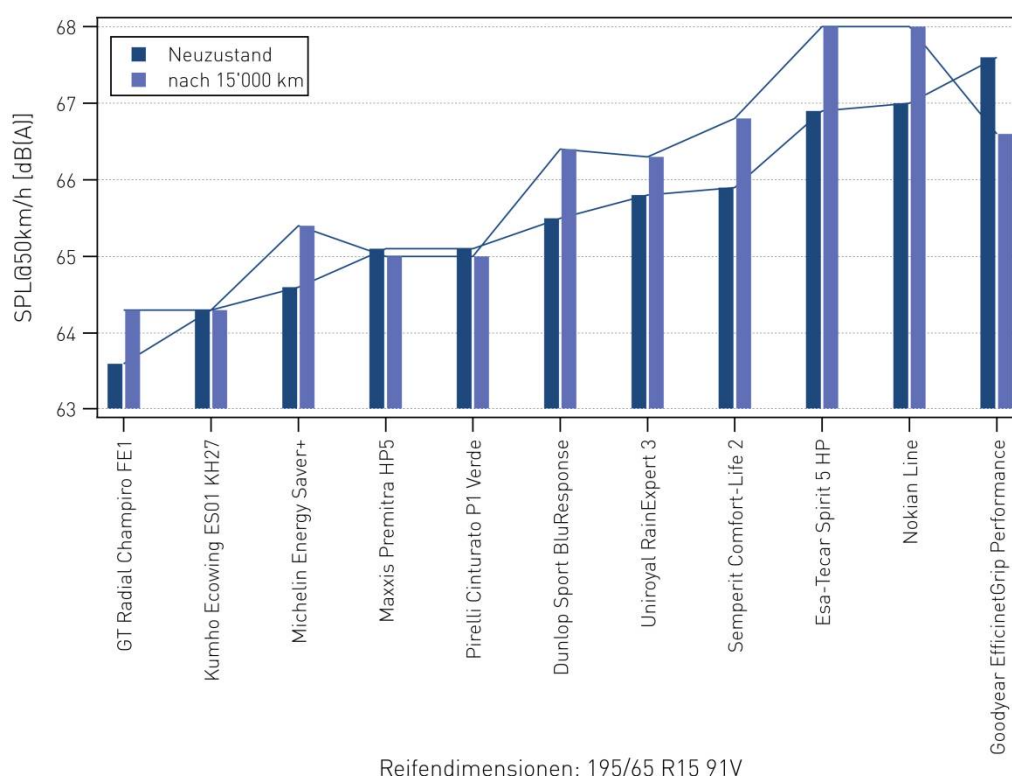


Abbildung 8: Rollgeräuschmessungen, Schallpegel (SPL) bei 50 km/h verschiedener Reifen der Dimensionen 195/65 R15 91V im Neuzustand und nach 15'000 gefahrenen Kilometern. Die Werte sind aufsteigend sortiert nach SPL im Neuzustand. Basierend auf Daten aus: Blättler (2017)

Für die Reifenbreitenkategorie 185 mm zeichnet sich das in dieser Studie gemessene Reifenmodell Infinity Ecosis am leisesten aus mit fast 4 dB tieferen Rollgeräuschpegeln im Vergleich zum in derselben Reifenbreitenkategorie lautesten Reifenmodell. In der Reifenbreitenkategorie 205 mm resultiert das Reifenmodell Dunlop Sport BluResponse als leisester Reifen mit knapp 1 dB geringerem Rollgeräuschpegel im Vergleich zum lautesten Reifenmodell dieser Kategorie. Hierbei ist anzumerken, dass das Modell Dunlop Sport BluResponse mit der Reifenbreite 205 mm auch leiser als die beiden schmaleren Reifenmodelle Dunlop Sport BluResponse und Semperit Comfort-Life 2 mit Breite 185 mm ist. In der analysierten Reifenbreitenkategorie 225 mm ist das Reifenmodell GT Radial Champiro HPY um ca. 1 bis 2 dB leiser als der in dieser Reifenbreitenkategorie lauteste Reifen Dunlop Sport BluResponse. Der mit einer Breite von 295 mm und somit in dieser Studie breiteste untersuchte Reifen weist auf allen Belägen einen um 1 bis 2 dB höheren Lärmpegel auf als das Reifenmodell Dunlop Sport BluResponse mit einer Breite von 225 mm.

Das Lärminderungspotential innerhalb einer Reifenbreite wurde im Rahmen dieser Studie durch die Differenz des Reifenmodells mit dem kleinsten und grössten gemessenen Pegel (siehe Abbildung 9) bestimmt. Mit Ausnahme des SMA 11 Belages mit einer akustischen Belagsgüte von +1.9 dB(A) in Abweichung zu StL-86+ für PW, befindet sich das Lärminderungspotential auf allen Belägen in etwa auf demselben Wert. Für die Reifenbreite 185 mm mit in dieser Studie gemessenen Reifen, ist ein Lärminderungspotential von ca. 3 dB möglich. Bei der Reifenbreite 205 mm liegt das mittlere Potential für die ausgewählten Reifen bei ca. 1 dB und für 225 mm bei ca. 1.5 dB. Interessanterweise ist das Lärminderungspotential von leisen Reifen auf dem lärmarmen SDA 4 Belag am grössten. Die Kombination von leisen Reifen mit einem lärmarmen Belag zeigte ein mögliches Lärminderungspotential von bis zu 6 dB bei der Reifenkategorie 185 mm und von ca. 2.5 dB bei den Reifenbreitenkategorien 205 und 225 mm. Das Potential auf dem lärmarmen Belag ist damit um ca. 1 bis 1.5 dB grösser als auf den konventionellen Strassenbelägen.

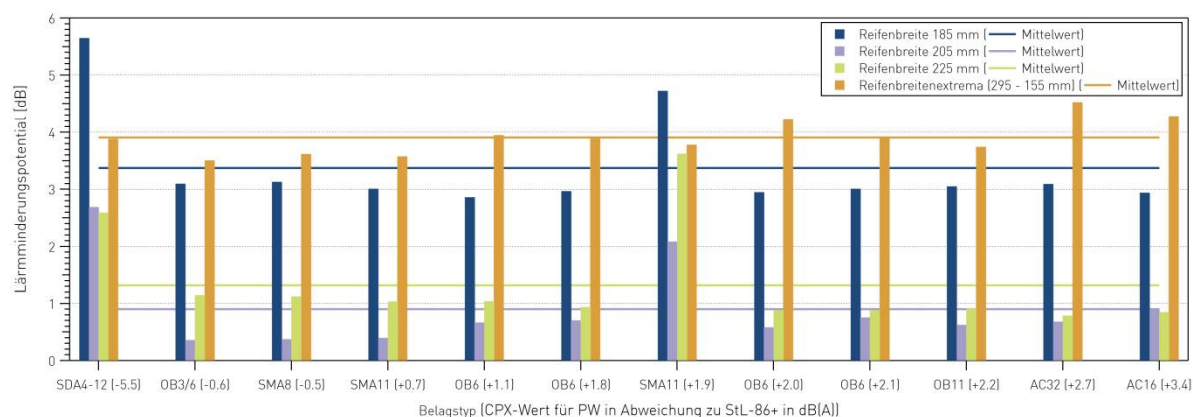


Abbildung 9: Lärminderungspotential innerhalb der Reifenbreitenklassen sowie Reifenbreitenextrema (im Vergleich von 155 mm und 295 mm) pro Belagstyp. Die horizontalen Linien zeigen das Lärminderungspotential im Mittel über alle Belagstypen für die Reifenbreitenklasse 185 mm (in blau), 205 mm (in violett), 225 mm (in grün) und im Vergleich der Reifenbreitenextrema von 155 zu 295 mm (in orange).

Das Lärminderungspotential beim Einsatz von schmalen statt breiten Reifen (Unterschied bei Reifenbreiten von 295 mm zu 155 mm) ist bei allen Belägen ca. 4 dB. Hierbei resultiert die Kombination mit einem lärmarmen Belag mit einem ähnlichen Lärminderungspotential wie mit den anderen Belagstypen.

Eine in Polen und Norwegen durchgeführte Messkampagne von SINTEF Digital und Gdansk University zeigte ähnliche Resultate auf herkömmlichen Belägen der beiden Ländern (Berge et al. 2017). Es wurde ein Lärminderungspotential von ca. 4 dB auf herkömmlichen Belägen ermittelt und in Kombination mit lärmarmen Belägen (double layer porous asphalt) von bis zu 6 dB.

3.2 Einflussgrössen für Lärminderungspotential

3.2.1 Quervergleich eines Reifenmodells verschiedener Dimensionen

Um die Einflussgrössen für das Lärminderungspotential der Reifen zu bestimmen, wurde dasselbe Reifenmodell Dunlop Sport BluResponse mit drei verschiedenen Dimensionen untersucht. Dies geschah unter Annahme, dass die Reifenzusammensetzung und -aufbau in den drei Dimensionen ähnlich ist.

In Abbildung 10 sind die Rollgeräuschpegel des Reifenmodells Dunlop Sport BluResponse in den drei Dimensionen 185/65 R15 88H, 205/55 R16 91V, 225/45 R17 94Y für jeden Belagstyp dargestellt. Der Belagstyp ist aufsteigend anhand dessen akustischen Belagsgüte CPX gegliedert. Mit Ausnahme des SMA 11 (+1.9) und des SDA4-12 (-5.5) Belages ist die Varianz der drei Reifendimensionen auf den verschiedenen Belagstypen zwischen 0.4 und 1 dB. Auf dem SMA 11 und SDA4-12 Belag beträgt die Varianz 2 dB, wobei jeweils die Reifendimension 205/55 R16 91V die leisesten Eigenschaften und die Reifendimension 185/65 R15 88H die lautesten Eigenschaften aufweist. Die Rollgeräuschpegel der Reifendimension 225/45 R17 94Y ist generell zwischen den beiden Reifendimensionen der Breiten 185 und 205 mm, allerdings gilt zu beachten, dass die Varianz relativ klein ist.

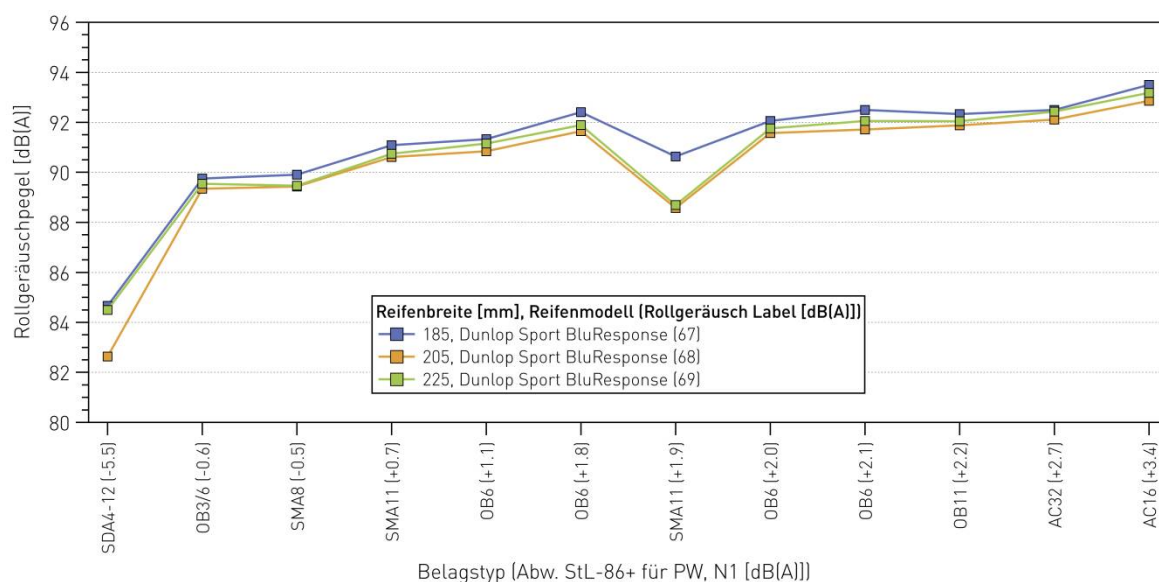


Abbildung 10: Verlauf der Rollgeräuschpegel des Reifenmodells Dunlop Sport BluResponse in drei Dimensionen auf den unterschiedlichen Belagstypen. Die Belagstypen sind mit dem CPX-Messwert für PW (N1) in Abweichung zu StL-86+ aufsteigend gegliedert.

Die eher kleine Varianz kann einerseits darauf hinweisen, dass die Reifenzusammensetzung und der Reifenaufbau wie angenommen sehr ähnlich sind und die Reifenbreite in diesen Dimensionen einen geringeren Einfluss hat. Andererseits ist es auch möglich, dass die Einflussgrösse Reifenbreite durch einen anderen Effekt (z.B. abweichender Reifenaufbau oder andersverlaufende Karkassenlage) kompensiert wird. Somit muss davon ausgegangen werden, dass dieser Reifen aufgrund eines unterschiedlichen Aufbaus (wahrscheinlich auch in den verschiedenen Reifenbreiten) nicht aussagekräftig für die Ermittlung der Einflussgrössen für das Lärminderungspotential der Reifen ist. Da über den Reifenaufbau eher wenig zu erfahren ist, wurden mit den vorhandenen Daten mittels multivariater Regressionsanalyse die Einflussgrössen ermittelt indem alle Daten der in dieser Studie verwendeten Testreifen benutzt wurden.

3.2.2 Einflussgrössen aller in der Studie verwendeten Testreifen

Es wurde getestet inwiefern die Rollgeräuschpegel auf konventionellen Belägen (ohne SDA 4) mit den Reifeneigenschaften Flankenhöhe, Geschwindigkeitsindex, Reifenradius, Reifenbreite, Rollgeräuschlabel, Rollwiderstandslabel, Reifengummihärte (ShoreA) gemessen am Profil, Reifengummihärte ge-

messen an der Seitenwand und dem Tragfähigkeitsindex zusammenhängen. Die Analysen zeigen, dass die Rollgeräuschpegel der in dieser Studie untersuchten Reifen mit einem Bestimmtheitsmass (R^2) von 0.76 durch die Parameter Reifenbreite, Reifenradius, Reifengummihärte und das Rollwiderstandslabel erklärt werden können (siehe Tabelle 4). Die Reifenbreite beschreibt den Rollgeräuschpegel am signifikantesten ($p=0.03$) und lässt die Rollgeräusche mit der Reifenbreite zunehmen. Das Rollwiderstandslabel, Reifenradius und Reifengummihärte beschreiben den Rollgeräuschpegel mit ähnlichem Signifikanzniveau¹ (p zwischen 0.1 und 0.15). Die Reifenbreite trägt mit 0.21 zum Bestimmtheitsmass bei und hat somit einen beträchtlichen Einfluss auf den Rollgeräuschpegel aller gemessenen Reifen. Somit ist wahrscheinlich, dass beim Reifenmodell Dunlop SportBluResponse eine Eigenschaft des Reifenaufbaus ausschlaggebend ist, dass die Reifenbreite nicht mit dem Rollgeräuschpegel korreliert.

Tabelle 4: Wichtigste Einflussgrössen und Signifikanzniveau auf Rollgeräuschpegel aller in dieser Studie analysierten Reifen auf allen herkömmlichen Belagstypen (ohne SDA4-12). Das Symbol * zeigt ob ein Parameter signifikant ist bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$.

wichtige Einflussgrössen	Signifikanzniveau ($\alpha=0.05$)
Reifenbreite	0.03*
Reifenradius	0.12
Reifengummihärte (Seitenwand)	0.12
Rollwiderstandslabel	0.15
Reifengummihärte (Profil)	0.17

Um die Wirkung von leisen Reifen auf einem lärmarmen Belag zu untersuchen wurde eine separate multivariate Regressionsanalyse auf dem SDA4-12 Belag durchgeführt. Dabei resultierten, wie bei den herkömmlichen Belägen, die Reifengummihärte, das Rollwiderstandslabel und die Reifenbreite als einflussreichste Variablen (siehe Tabelle 5). Diese Einflussgrössen beschreiben die Rollgeräuschpegel auf dem SDA4-12 Belag mit einem Bestimmtheitsmass (R^2) von 0.47. Der Reifenradius beschreibt die Rollgeräuschpegel aller Reifen mit einem vernachlässigenden Anteil. Die Reifenbreite trägt lediglich noch 6 % zum Bestimmtheitsmass (R^2) bei. Eine mögliche Erklärung ist, dass der durch die Reifenbreite beeinflusste Horn-Effekt durch die absorbierende Wirkung der lärmarmen Beläge vermindert wird.

Tabelle 5: Wichtigste Einflussgrössen und Signifikanzniveau auf Rollgeräuschpegel der in dieser Studie analysierten Reifen auf dem lärmarmen Belag SDA4-12

wichtige Einflussgrössen	Signifikanzniveau ($\alpha=0.05$)
Rollwiderstandslabel	0.45
Reifenbreite	0.34
Reifengummihärte (Profil)	0.45
Reifengummihärte (Seitenwand)	0.16

3.3 Mögliche Trends und Szenarien

In den vorangegangenen Kapiteln wurde gezeigt: 1) die Parameter Reifenradius und -breite sowie Rollwiderstandslabel und Reifengummihärte beschreiben den Rollgeräuschpegel und 2) in Kombination von leisen Reifen mit einem lärmarmen Belag kann ein zusätzliches Lärminderungspotential erreicht

¹ Das Signifikanzniveau α bezeichnet den Schwellwert ob ein Parameter statistisch signifikant ist. Falls somit ein Parameter unter den Schwellwert von $\alpha=0.05$ fällt, ist in diesem Fall der jeweilige Parameter eine statistisch signifikante Einflussgrösse zum Rollgeräuschpegel.

werden. Nun gilt es abzuschätzen wie sich diese Einflussgrößen in der Zukunft entwickeln um mögliche Szenarien für ein zukünftiges Lärminderungspotential von leisen Reifen ausmachen zu können.

Da die Studie Blättler (2017) zeigte, dass die Alterungsraten (Vergleich Neuzustand zu gefahrenen 15'000 km) der Rollgeräuschpegel verschiedener Reifenmodelle zueinander nicht signifikant variieren, kann davon ausgegangen werden, dass generell leise Reifen gemessen im Neuzustand auch nach gefahrenen 15'000 km leise Reifen bleiben im Vergleich zu Reifen höherer Rollgeräuschpegel (siehe Kapitel 3.1).

Die Alterungsrate der Reifen hängt stark von der Einflussgrösse Reifengummihärte ab. Da sich also die Alterungsrate relativ ähnlich verhält, kann bei der Entwicklung von Trendszenarien die Einflussgrösse Reifengummihärte vernachlässigt werden. Wichtige Einflussgrößen für die zukünftigen Entwicklungen des Lärminderungspotentials von leisen Reifen sind somit Reifenradius, Reifenbreite und Reifenaufbau. Die Studie Grunder (2017) des Touring Club Schweiz im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU zeigte, dass es sowohl eine Zunahme der mittleren Felgenreisse von 2005 bis 2015 um 0.7 Zoll als auch eine Zunahme der mittleren Reifenbreite im selben Zeitraum um ca. 9 mm stattfand (siehe Abbildung 11).

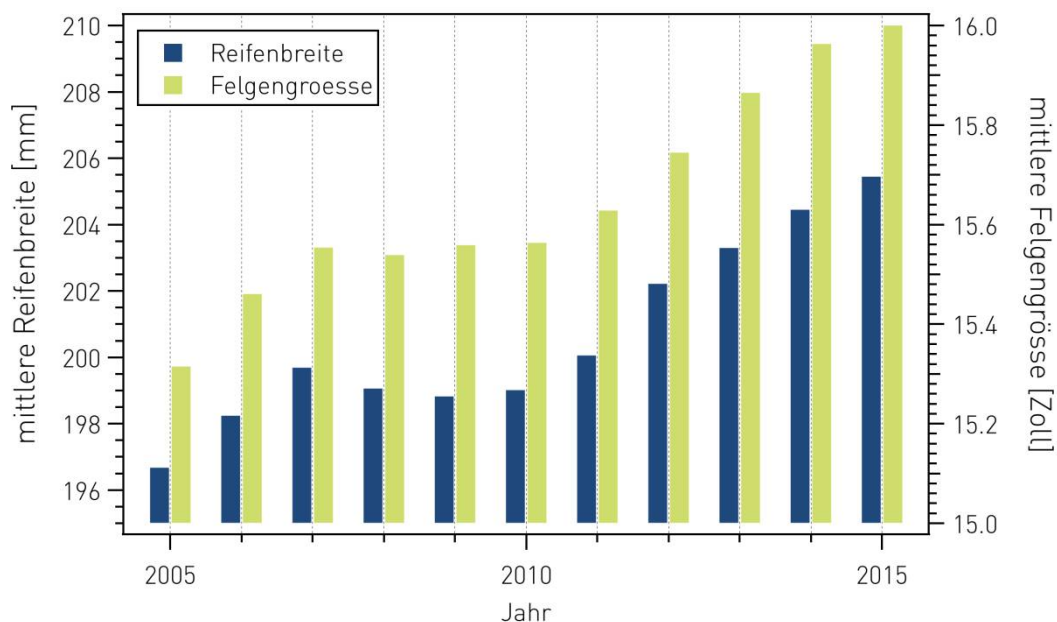


Abbildung 11: Entwicklung der mittleren Reifenbreite und Felgenreisse von Erst-Bereifung neuer Fahrzeuge in der Schweiz (basierend auf Daten aus: Grunder, 2017)

Abbildung 12 zeigt mögliche Trendszenarien mit den vorangehend beschriebenen Daten unter folgenden Annahmen:

- das Lärminderungspotential nimmt mit der Zunahme der Reifenbreite linear ab
- Reifendimension der Erstbereifung beschreibt die mittlere eingesetzte Reifenflotte

Die Trendszenarien sind mit Vorsicht zu betrachten und erheben keinen Anspruch auf Richtigkeit der angegebenen Verschiebungen bezüglich der Rollgeräusche. Nichtsdestotrotz erlauben die Szenarien die Richtung einzelner Trends sowie die relative Wichtigkeit der einzelnen Aspekte zueinander abzuschätzen. Sofern seit 2015 der Trend von zunehmenden Reifen linear weiter zunimmt, kann davon ausge-

11. Juni 2018

gangen werden, dass im 2018 die in der Schweiz gefahrene mittlere Reifenbreite bei ca. 207 mm liegt. Dies wird als Ausgangszustand betrachtet und somit auf das Jahr 2018 indexiert. Die weitere Zunahme der Reifenbreite bis 2030 basiert auf einer linearen Zunahme und der zugrunde liegende Lärmtrend wurde basierend auf den Daten aus Abbildung 6 berechnet. Das minimale Lärmminderungspotential basiert auf der Zunahme der mittleren Reifenbreite und dem damit ermittelten Lärmminderungspotential innerhalb dieser Reifenbreite (mittleres Lärmminderungspotential aller Reifenbreiten). Geht man davon aus, dass aufgrund des Reifenaufbaus und Gummizusammensetzung auch in den grösseren Reifenbreiten ein Lärmminderungspotential von 3.5 dB möglich ist (wie es für die Reifenbreite 185 mm ermittelt wurde; siehe 3.1) ist ein deutlich grösseres Lärmminderungspotential bis 2030 zu erwarten. Die Fläche dazwischen zeigt somit den geschätzten Trend als „best case“ des Lärmminderungspotentials bis zum Jahr 2030.

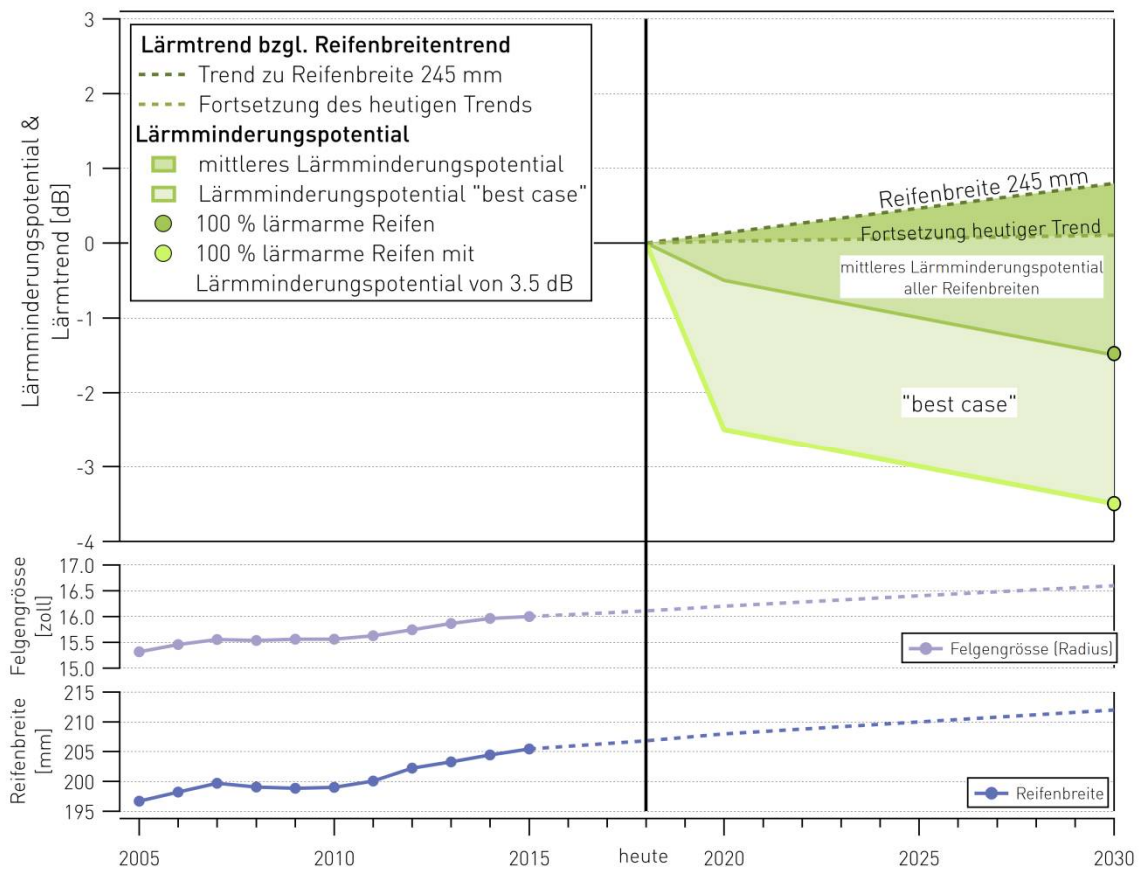


Abbildung 12: Trendszenario des Lärmminderungspotentials durch vermehrten Einsatz leiser Reifen (oben; dunkelgrün) sowie Lärmtrend bezüglich Zunahme der Reifenbreite (oben; hellgrün). Zudem sind die möglichen Entwicklungsverläufe (unten) der Felgengrösse (violett) und Reifenbreite (indigoblau) dargestellt. Die zukünftigen und somit nicht erfassten Daten basieren auf der Annahme einer linearen Zunahme (gestrichelt).

4. Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurden auf effiziente Art durch einen modifizierten CPX (close proximity) Messanhänger der Rollgeräuschpegel von 14 marktüblichen Sommerreifen gemessen. Das Rollgeräusch der Reifen wurde in 2-er Sets nach Regelung Nr. 117 von UN/ECE auf 10 verschiedenen, herkömmlichen und auf einem lärmarmen Strassenbelag gemessen. Das Ziel war es das Lärminderungspotential zu ermitteln, welches von „leisen“ Reifen auf den häufigsten Schweizer Strassenbelägen ausgeht. Die wichtigsten reifenseitigen Einflussgrössen wurden identifiziert und quantifiziert um damit Szenarien für zukünftige Trends erstellen zu können.

Lärminderungspotential

- Es wurde ein relativ grosses Lärminderungspotential festgestellt, welches als Differenz zwischen lautestem und leisesten Reifen der in dieser Studie gemessenen Reifen je Kategorie definiert wurde. Bei 100% Einsatz von leisen Reifen entspräche dies bis zu einer Halbierung des Verkehrs.

Reifenbreite	185 mm	205 mm	225 mm	295 → 155 mm
Strassenbelag				
herkömmliche Schweizer Beläge	3.5 dB	1 dB	1.5 dB	4 dB

- Im Gegensatz zu bisherigen Studien ist das Lärminderungspotential auf allen 10 untersuchten konventionellen Belägen fast identisch. Interessanterweise wird das Lärminderungspotential auf lärmarmen Belägen dabei nicht geringer.
- Daten einer Studie vom TCS zeigen, dass im Neuzustand ermitteltes Lärminderungspotential von Reifen auch nach 15'000 km bestehen bleibt. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass ein in dieser Studie als leise ermittelter Reifen auch im gealterten Zustand leise bleiben wird.

Einflussgrössen

- Als wichtigste Einflussgrössen für das Lärminderungspotential resultierten folgende Parameter:

wichtigste Einflussgrössen

- Reifenbreite
- Reifenradius
- Reifengummihärtigkeit (Profil und Seitenwand)
- Rollwiderstandslabel

- Somit dienen diese Einflussgrössen als Berechnungsparameter für zukünftige Szenarien.

zu erwartende Trends Lärmemissionen

- Aufgrund der jüngsten Reifentrends (Zunahme der Reifenbreite und Reifenradius) muss davon ausgegangen werden, dass die reifenbedingten Lärmemissionen in Zukunft geringfügig bis mässig zunehmen.
- Kann das Lärminderungspotential der Reifen zukünftig stärker ausgenutzt werden, so liessen sich die Lärmemissionen um wenige dB reduzieren.
- Bei einem vollständigen Durchdringungsgrad von lärmarmen Reifen wurde ein Lärminderungspotential von bis zu 3.5 dB ermittelt.

auf offene Fragen Ausblick geben

- Aufgrund dieser Resultate wird empfohlen weitere Bestrebungen zur Förderung des Verbreitungsgrades von leisen Reifen zu unternehmen.
- Die vielversprechende Kombination von leisen Reifen mit lärmarmen Strassenbelägen (und die zusätzliche Wirkungsweise) lassen weiteren Spielraum offen für die gezielte Optimierung der Interaktion und des gemeinsamen Lärminderungspotentials.
- Zwei mögliche Schwerpunkte sehen wir im Vordergrund:
 - die Verbesserung der Aussagekraft des Labels (Reifenetikette) bezüglich Rollgeräusch anzustreben
 - die Attraktivität des Labels für den Käufer zu steigern.
- Zudem wird empfohlen, das Lärminderungspotential bei den zukünftigen Entwicklungen der Bereifung von Elektrofahrzeugen sowie auch autonomer Fahrzeuge näher zu untersuchen (Kraftübertragung versus „downsizing“).

Grolimund + Partner AG



Emanuel Hammer



Erik Bühlmann

Literaturverzeichnis

- Bekke, D. et al., 2014. Tyre tread pattern noise optimization by a coupled source-human perception model. *Conference Proceeding Internoise 2014*, pp.1–8.
- Berge, T. et al., 2017. Reduction of road traffic noise by source measures present and future strategies. *Noise Control Engineering Journal*, 65(6), pp.549–559.
- Berge, T. et al., 2015. Tyre/road noise of passenger car tyres, including tyres for electric vehicles–road measurements. , pp.1333–1338. Available at:
<http://www.conforg.fr/eurnoise2015/proceedings/data/articles/000307.pdf>.
- Berge, T. & Sandberg, U., 2017. Five years of EU tyre labelling - Success or failure? *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, 255(7), pp.6803–6814.
- Blättler, R., 2017. *Geräuschnachmessung 10 Sommerreifen aus TCS Reifentest, Testkriterium Verschleiss*,
- DIN ISO 10844:2014, 2016. *Akustik - Anforderungen an Prüfstrecken zur Messung der Geräuschemission von Straßenfahrzeugen und ihren Reifen (ISO 10844:2014)*,
- Egger, S. et al., 2016. A new method for reliable determination of the acoustic performance of low-noise road surfaces at speeds below 50 km/h. , pp.6942–6951.
- Egger, S. et al., 2017. Grundlagen zur Beurteilung der Lärmwirkung von Tempo 30. *Forschungsprojekt VSS 2012/214 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)*.
- EN ISO 11819-2, 2017. *Akustik - Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche - Teil 2: Nahfeldmessverfahren*,
- Feng, J. et al., 2017. *Separation of Tread-pattern Noise in Tire-pavement Interaction Noise Jianxiang Feng Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science i.*
- Goodwin, A., 2015. Tire Tech: How does the BMW i3 handle so well on such narrow tires? *Roadshow by CNET*. Available at: <https://www.cnet.com/roadshow/news/tire-tech-the-bmw-i3s-bridgestone-ecopia-ep500s/> [Accessed January 24, 2018].
- Grunder, S., 2017. *Entwicklung der PKW-Lärm-Emissionen bei der Zulassung - Analyse der Stand- und Vorbeifahrtsmessung der Jahre 2005 bis 2015*,
- Hammer, E. et al., 2016. Traffic noise emission modelling at lower speeds. In *Conference Proceeding ICSV 2016*. pp. 1–8.
- Ishihama, M. et al., 2015. Tire tread vibration damping increase for better road noise and minimum adverse effects. *INTER-NOISE 2015 - 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, p.ADC 40; Institute of Noise Control Engineering of.
- ISO/FDIS 11819-2:2016, Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method. , p.72.
- Li, T. et al., 2016. The Effects of Tread Pattern on Tire Pavement Interaction Noise. *45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering INTER-NOISE 2016 Hamburg, Germany, August 21-24, 2016*, pp.2185–2196.
- Mioduszewski, P. et al., 2015. Temperature influence on tire/road noise evaluated by the drum method. *Internoise 2015*.

- PepBoys, 2017. The four different types of tire tread. Available at:
https://www.pepboys.com/tires/treadsmart/tread_type/.
- Ridha, R.A. & Theves, M., 1994. *Advances in tyre mechanics*, Rapra Technology, Ltd. Available at:
<http://site.ebrary.com/id/10597063>.
- Sandberg, U., 2015. Standardized corrections for temperature influence on tire/road noise. *Conference Proceedings Internoise San Francisco*.
- Sandberg, U. & Ejsmont, J.A., 2002. *Tyre/road noise reference book*,
- Świczko-żurek, B., Ejsmont, J. & Ronowski, G., 2014. How efficient ist noise labelling of tires?
Conference Proceeding of ICSV21, Beijing, China, (July), pp.13–17.
- VSS, 2015. VSS 640436 - Semidichtes Mischgut und Deckschichten.
- Wehr, R. et al., 2014. Project ROSANNE : Rolling resistance , Skid resistance , and Noise Emission measurement standards for road surfaces Reinhard Wehr Austrian Institute of Technology The ROSANNE project. *Präsentation auf der Internoise Melbourne, Australia*, pp.1–6.
- Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE), 2011. Regelung Nr. 117 - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Reifen hinsichtlich der Rollgeräuschemissionen und der Haftung auf nassen Oberflächen und/oder des Rollwiderstandes. *TRANS/WP.29/343*, (117). Available at:
<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>.
- Zhou, Z. & Hong, L., 2013. Analysis Tire Tread Patterns Noise Based on Wavelet Transform. *Computing, Control and Industrial Engineering IV*, 823(Advanced Materials Research), pp.180–183.

I Verlauf Rollgeräuschpegel und Lärminderungspotential Reifen

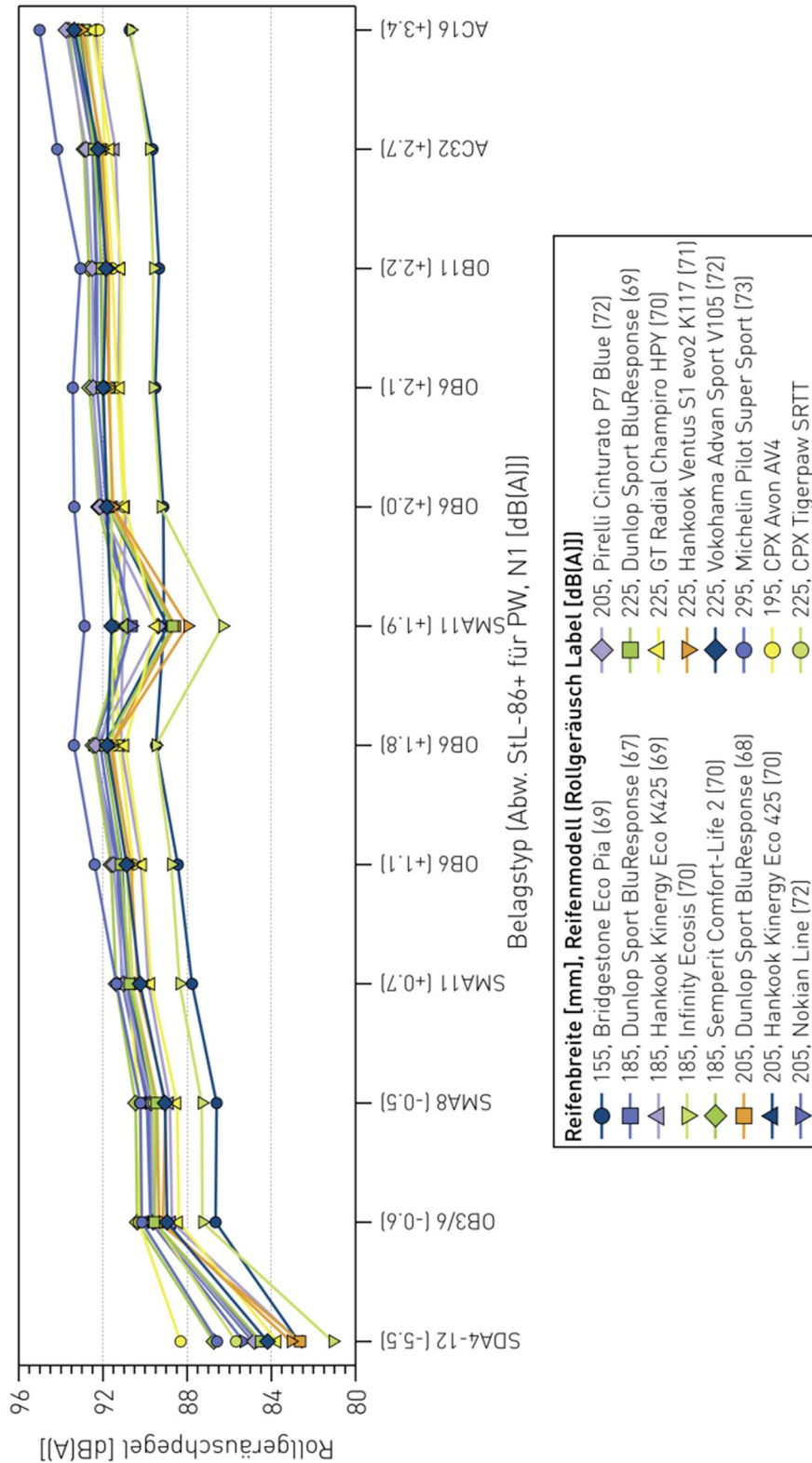


Abbildung 7 (Grossformat): Verlauf der Rollgeräuschpegel der einzelnen Reifen auf den unterschiedlichen Belagstypen. Die Belagstypen sind mit dem CPX-Messwert für PW (N1) in Abweichung zu StL-86+ aufsteigend gegliedert.

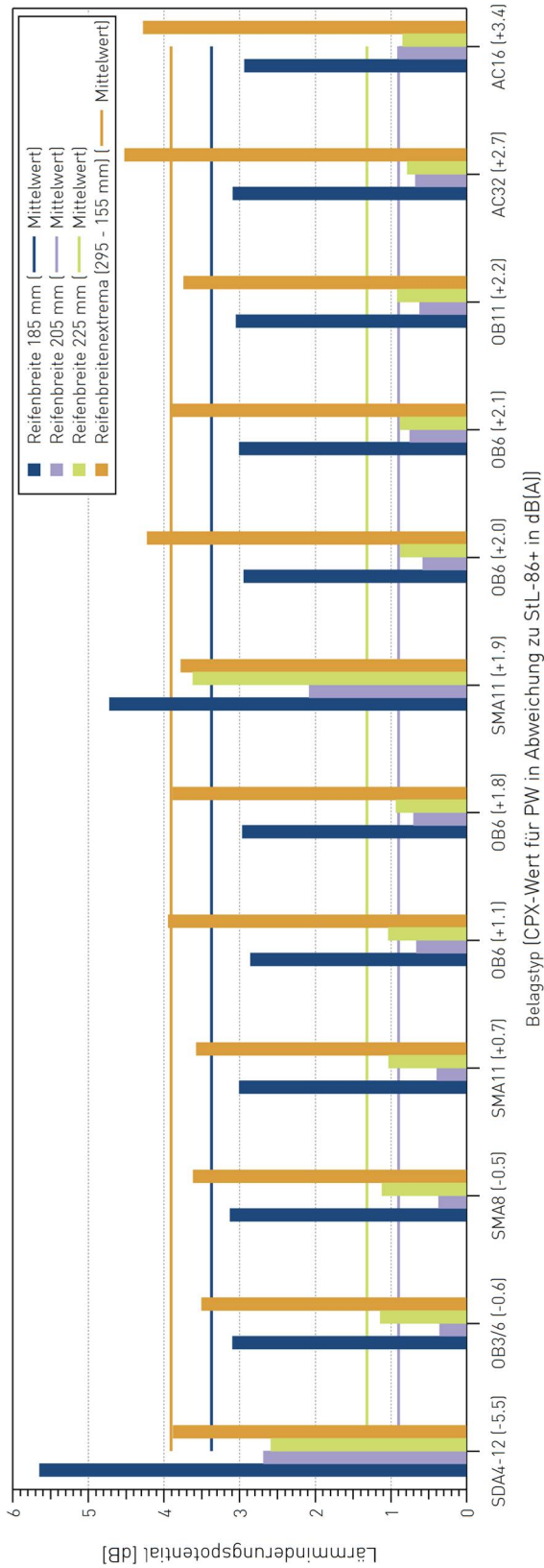


Abbildung 9 (Grossformat): Lärminderungspotential innerhalb der Reifenbreitenklassen sowie Reifenbreitenextrema (im Vergleich von 155 mm und 295 mm) pro Belagstyp. Die horizontalen Linien zeigen das Lärminderungspotential im Mittel über alle Belagstypen für die Reifenbreitenklasse 185 mm (in blau), 205 mm (in violett), 225 mm (in grün) und im Vergleich der Reifenbreitenextrema von 155 zu 295 mm (in orange).

II Illustrationen Messkampagne



Abbildung 13: Shore A (Gummihärte) Messungen.



Abbildung 14: Transport der Reifen und Zementsäcke (Gewichte) zur Messkampagne.



Abbildung 15: Reifenwechsel am modifizierten CPX-Anhänger.



Abbildung 16: Beladen der Gewichte auf der Vorrichtung des CPX-Anhängers.



Abbildung 17: Modifizierter CPX Messfahrzeug von Grolimund + Partner AG während der Messung auf der Teststrecke zwischen Villnachern und Schinznach Dorf.



Abbildung 18: Coast-by und CPX-Messungen auf dem normierten Testbelag des Testgeländes DTC in Vauffelin.