



Weitergehende Analyse der Reifenliste bezüglich möglicher Ziel- konflikte Abschlussbericht

Bundesamt für Umwelt BAFU
A6667
14. Mai 2024

Impressum

Disclaimer

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

Auftragnehmer

Grolimund + Partner AG

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Lärm und NIS, Dominique Schneuwly

Projektteam

Felix Schlatter

Erik Bühlmann

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 0.9	08.12.2022	fs	Zwischenbericht	BAFU
V 1.2	28.07.2023	fs	Abschlussbericht (Entwurf)	BAFU
V 2	19.02.2024	fs	Abschlussbericht	BAFU
V 3	14.05.2024	fs	Abschlussbericht inkl Layout	BAFU

A6667_AnalyseReifenlisteZielkonflikte_V3.docx

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurde anhand der vom TCS erstellten und beim BFE publizierten Reifenliste mit einem Grossteil in der Schweiz verkauften Reifenprodukte auf Basis des Reifenlabels untersucht, ob Zielkonflikte zwischen den Reifenlabel-Kategorien Lärm, Nasshaftung und Rollwiderstand bestehen. Dabei wurde die Analyse nur für C1-Reifen (Reifen für PKW-Fahrzeuge) durchgeführt. Ebenso wurde die Verfügbarkeit von Reifen mit guter Leistung in Bezug auf die drei erwähnten Labelkategorien und weitere Reifeneigenschaften untersucht.

Sowohl aus der bivariaten Korrelationsanalyse wie auch aus der multivariaten Modellierung wurden für das Rollgeräusch des Reifens keine signifikanten Zielkonflikte mit den Eigenschaften Nasshaftung und Rollwiderstand ermittelt. Bei den Sommerreifen zeigte sich sogar eher das Gegenteil: Die besten Reifen hinsichtlich des Lärms wiesen eher gute Nasshaftungs- respektive gute Rollwiderstands-Eigenschaften auf.

Im Hinblick auf die Verfügbarkeit der gut abschneidenden Reifen zeigte sich, dass nur zehn Reifen aus der ganzen Reifenliste (Total 13'320) einem AAA-Reifen (A-Bewertung in Bezug auf Lärm, Rollwiderstand und Nasshaftung) entsprechen. Zu bemerken ist hierbei, dass diese zehn Reifen allesamt aus dem XL-Segment (Extra-Load → verstärkte Reifen) stammen. Solche Reifen profitieren von 1 dB(A) zusätzlicher Erleichterung beim Lärm.

Wegen der begrenzten Auswahl an AAA-Reifen wurde zusätzlich die Verfügbarkeit von Reifen mit der Bewertung „B“ bezüglich des Rollwiderstands und der Nasshaftung („A“ Bewertung bezüglich des Lärms) näher untersucht. Hierbei zeigte sich, dass es bezüglich der Verfügbarkeit von lärmarmen Sommerreifen kaum Einschränkungen hinsichtlich der Reifenbreite sowie der Geschwindigkeits- und Reifenlastindizes gibt. Bei den Winter- respektive All-Season-Reifen wurden nur wenige Reifen (5 respektive 34 von Total 94/200) gefunden, welche dem oben erwähnten B-Kriterium hinsichtlich Rollwiderstand und Nasshaftung entsprachen. Dies liegt daran, dass Winter- und All-Season-Reifen-Reifen in Bezug auf den Rollwiderstand schlechter abschneiden.

Die Analyse der Reifenliste offenbarte zudem, dass 92.5 % der Reifen eine Lärmlabel-Bewertung „B“ aufweisen. Dadurch haben die Konsumenten:innen hinsichtlich des Lärmschutzes lediglich eine kleine Auswahl an „A“-Reifen, denn es gibt hauptsächlich nur B-Reifen und C-Reifen (die über dem Grenzwert liegen und dementsprechend kaum angeboten werden). Neben der Lärm ABC-Bewertung ist auf der Reifenetikette jedoch noch die Lautstärke des Reifens in Dezibel angegeben. Diese Dezibel-Angabe erlaubt eine feinere Bewertung von Reifen mit gleicher Label-Kennzeichnung. Für die Konsumierenden sind diese Dezibel-Angaben jedoch schwierig einordbar – ist z. B. 71 dB(A) in der „B“ Kategorie gut oder schlecht? Damit ist das Lärmlabel in der Praxis sehr schwierig zu unterscheiden und limitiert die Interpretierbarkeit für den/die Konsumenten/In. Ebenfalls dürfte dieser Hintergrund kaum Anstrengungen bei der Reifenherstellung hervorrufen, einen leisen Reifen zu produzieren, da sowieso fast alle Reifen in der Kategorie „B“ landen.

Ebenfalls zeigte sich, dass mehr als die Hälfte der C1-Reifen unter dem XL-Label geführt werden. Das heisst, dass mehr als die Hälfte der angebotenen Reifen von der 1 dB(A)-Ausnahmeregelung profitieren.

In dieser Studie werden Handlungsoptionen erörtert, die einerseits die Relevanz der Reifenkennzeichnung für die Verbraucher erhöhen und andererseits den Herstellern grössere Anreize zur Entwicklung von Hochleistungsreifen in allen drei Dimensionen bieten können.

Inhalt

1.	Einleitung	6
1.1	EU-Reifenlabel	6
1.2	Reifenkennzeichnungen.....	9
2.	Grundlagen & Vorgehen.....	11
3.	Analyse der Reifenliste bezüglich Trade-Offs.....	11
3.1	Verfügbare Reifen (C1) in der Reifenliste pro Hersteller und Saison.....	11
3.2	Reifen und Lärm.....	13
3.3	Ausnahmeregelung Extra-Load Reifen.....	18
3.4	Klassierung Reifen nach Nasshaftung/Rollwiderstand und Lärm.....	18
3.5	Einteilung nach Geschwindigkeitsklasse (Speed-Index).....	19
3.6	Auswertung nach Reifenbreite	20
3.7	Auswertung nach Reifenlast	21
3.8	Analyse der AAA-Reifen.....	21
3.9	Verfügbarkeit A-Noise-Label-Reifen	22
4.	Zielkonflikte von Reifeneigenschaften	27
4.1	Korrelationsanalyse	28
5.	Modellierung des Reifenlabels	31
5.1	Modellbeschreibung	31
5.2	Modellvalidierung	31
5.3	Modellierungsergebnisse.....	32
5.4	Diskussion der Modellierung	34
6.	Diskussion.....	35
6.1	EU-Lärmlabel	35
6.2	Verfügbarkeit von Reifen.....	36
6.3	Zielkonflikte.....	36
6.4	Handlungsbedarf:	37
7.	Literatur.....	37

14. Mai 2024

1. Einleitung

Die Hauptfunktion des Reifens besteht darin, das Fahrzeug zu tragen und ihm Haftung und Traktion zu verleihen, um ein sicheres und kontrolliertes Fahren zu ermöglichen. Es ist ausserdem wünschenswert, dass der Reifen neben guten Nasshaftungseigenschaften und einem ausreichenden Geschwindigkeits- und Lastindex einen möglichst niedrigen Rollwiderstandskoeffizienten aufweist, um eine wirtschaftliche Fortbewegung zu ermöglichen. Darüber hinaus ist der Reifen in Wechselwirkung mit der Fahrbahn eine der Hauptquellen des Strassenlärms. Bei der Entwicklung eines Reifens müssen diese (und weitere) Funktionen möglichst in einem optimalen Verhältnis zueinanderstehen. Dies ist ein klassischer Fall von Zielkonflikten bei der Produktoptimierung.

In der internationalen Literatur finden sich einige frühere Untersuchungen [1], [2], [3], [4], welche Zielkonflikte von Lärm, Nasshaftung und Rollwiderstand bereits untersucht haben. In der FEHRL-Studie [1] konnte keine signifikante Beziehung zwischen Reifenlärm und Sicherheit gefunden werden. Dies gilt ebenfalls für Rollwiderstand und Lärm. In einer nachfolgenden Studie von de Graaff und van Blokland [4] konnten diese Aussagen bekräftigt werden. Grunder [2] fand in seiner Analyse für zwei weitverbreitete Reifendimensionen (195 65 R15 und 205 55 R16) eine «geringe bis mittlere (positive) Korrelation» zwischen Nasshaftung und Rollwiderstand. Für eine weitere Reifendimension (225 45 R17) wurde eine "geringe (positive) Korrelation zwischen Aussengeräusch und Nasshaftung bzw. Aussengeräusch und Rollwiderstand" gefunden.

Demgegenüber wurde im Jahr 2021 von der ETRTO eine Studie mit 10 ausgewählten Sommer- und Winterreifen inklusive zwei profillosen Reifen durchgeführt [5]. Dabei wurde herausgefunden, dass *„das Rollgeräusch im Widerspruch zur Leistung der Nasssicherheit steht, zumindest in der Stichprobe der Studie.“* Allerdings gilt es dabei zu berücksichtigen, dass diese Analyse zwei profillose Reifen enthielt, welche per se schlecht abschneiden auf nassem Untergrund. Die Erkenntnis aus [5] steht somit im Gegensatz zu den oben präsentierten Studien [1], [2], [3], [4], welche allesamt auf einer grossen Anzahl an Reifen basieren. Statistisch gesehen ist es durchaus möglich, dass bei einer Auswahl bestimmter Reifen eine signifikante Korrelation ausgewiesen werden kann. Allerdings sollte betont werden, dass eine Korrelation, die für eine kleine Stichprobe gilt, nicht zwangsläufig auch für die Gesamtheit der Reifen gilt. Die Resultate aus [5] sind somit kritisch zu beurteilen.

In der vorliegenden Studie soll nun eine zusätzliche Untersuchung zu Zielkonflikten durchgeführt werden, basierend auf der vom TCS erstellten und beim BFE publizierten Reifenliste. Ebenso soll diese Studie Klarheit geben, ob gute Reifen in allen Kategorien (Nasshaftung, Rollwiderstand und Lärm) für die am häufigsten vorkommenden Reifentypen existieren.

Bei der Analyse von Zielkonflikten basierend auf Labelwerten muss zwingend berücksichtigt werden, dass die „Nasshaftung“ als einzige Grösse für den Aspekt der Fahrsicherheit nicht genügt. Beispielsweise verhält sich die Trockenhaftung nicht zwingendermassen gleich, wie die Nasshaftung. Die einzige Sicherheitsinformation auf dem Reifenetikett ist jedoch die Nasshaftung.

1.1 EU-Reifenlabel

Die EU-Verordnung 1222/2009 [6] wurde ab dem 01.05.2021 durch die neue EU-Verordnung 740/2020 [7] ersetzt. PW- und LW-Reifen mit der alten Kennzeichnung dürfen dadurch nur noch bis Ende 2021 verkauft werden. Der Hauptunterschied in der Änderung der Kennzeichnung in Bezug auf das Reifengeräusch besteht darin, dass die Bewertung mit Schallwellen durch die einfachere

Klassifizierung A-C ersetzt wurde, wobei A der leiseste und C der lauteste Reifen ist. Darüber hinaus wurden bis anhin leere Kategorien bei Nasshaftung und Rollwiderstand aufgelöst und optionale Piktogramme hinzugefügt, die die Schneehaftung und/oder Eishaftung für Winterreifen abdecken. In der folgenden Abbildung 1 ist die neue Energieetikette dargestellt. Die Vergabe der Labelwerte ist durch die normierte Messungen gemäss UNECE-Regelung Nr. 117 [8] geregelt. Dabei gilt es aber zu beachten, dass die Labels der Reifen durch die Hersteller selber vergeben werden und ohne externe Prüfung erfolgt. Ebenso ist es möglich, dass ähnliche Reifengruppen (Reifenfamilie) zusammengenommen werden.

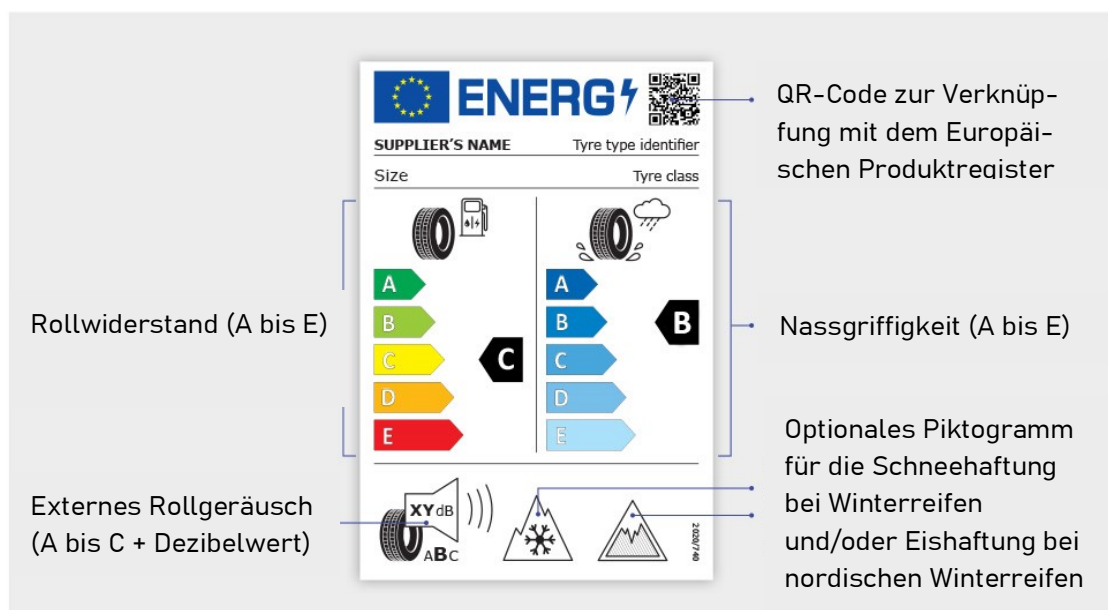


Abbildung 1: Neue EU-Vorschriften über die Kennzeichnung von Strassenreifen, gültig ab 01.05.2021. Quelle der Abbildung: Europäische Kommission, EC 740/2020 [7].

1.1.1 Rollwiderstand/Energieeffizienz

Je grösser der Rollwiderstand eines Reifens ist, desto geringer ist seine Energieeffizienz und desto schlechter ist seine Einstufung in der Kraftstoffeffizienzklasse. Die Kraftstoffeffizienzklasse wird auf Grundlage des Rollwiderstandskoeffizienten (CR in N/kN) bestimmt. Dieser wird gemäss Anhang 6 der UNECE-Regelung Nr. 117 [8] gemessen. Diese gemessenen Werte werden und nach dem in Anhang 5 (der EU 740/2020) [7]) beschriebenen Verfahren in der nachstehenden angegebenen Skala von "A" bis "E" klassiert (Vgl. Tabelle 1). und auf der Reifenkennzeichnung angegeben wird. Fällt ein Reifentyp in mehr als eine Reifenklasse (z. B. C1 und C2), so ist zur Bestimmung der Kraftstoffeffizienzklasse dieses Reifentyps die Skala für die höchste Reifenklasse (d. h. C2 und nicht C1) zu verwenden. C1 ist die Reifenklasse für Personenwagen, C2 und C3 sind die Reifenklassen für leichte respektive schwere Nutzfahrzeuge.

Tabelle 1: Kraftstoffeffizienzklassen und Rollwiderstandskoeffizienten gemäss EU 740/2020 [7].

	Reifen der Klasse C1	Reifen der Klasse C2	Reifen der Klasse C3
Kraftstoffeffizienzklasse	CR in N/kN	CR in N/kN	CR in N/kN
A	$CR \leq 6,5$	$CR \leq 5,5$	$CR \leq 4,0$
B	$6,6 \leq CR \leq 7,7$	$5,6 \leq CR \leq 6,7$	$4,1 \leq CR \leq 5,0$
C	$7,8 \leq CR \leq 9,0$	$6,8 \leq CR \leq 8,0$	$5,1 \leq CR \leq 6,0$
D	$9,1 \leq CR \leq 10,5$	$8,1 \leq CR \leq 9,0$	$6,1 \leq CR \leq 7,0$
E	$CR \geq 10,6$	$CR \geq 9,1$	$CR \geq 7,1$

1.1.2 Nasshaftung

Die Nasshaftung ist ein wesentlicher Sicherheitsfaktor, insbesondere bei Sommerreifen. Er vermittelt die Manövrierfähigkeit des Reifens auf nasser Fahrbahn. Die Nasshaftungsklasse wird, wie in Tabelle 2 ersichtlich, in einer Skala von "A" bis "E" angegeben. Die Klasse wird anhand der nachfolgenden Formel unter Verwendung des Nasshaftungskennwerts G (Berechnung gemäss Anhang 5 der UN/ECE-Regelung Nr. 117 [8]) bestimmt.

Tabelle 2: Nasshaftungskennwert G und die entsprechenden Nasshaftungsklassen gemäss EU 740/2020 [7].

	Reifen der Klasse C1	Reifen der Klasse C2	Reifen der Klasse C3
Nasshaftungsklasse	G	G	G
A	$1,55 \leq G$	$1,40 \leq G$	$1,25 \leq G$
B	$1,40 \leq G \leq 1,54$	$1,25 \leq G \leq 1,39$	$1,10 \leq G \leq 1,24$
C	$1,25 \leq G \leq 1,39$	$1,10 \leq G \leq 1,24$	$0,95 \leq G \leq 1,09$
D	$1,10 \leq G \leq 1,24$	$0,95 \leq G \leq 1,09$	$0,80 \leq G \leq 0,94$
E	$G \leq 1,09$	$G \leq 0,94$	$G \leq 0,79$

1.1.3 Externes Rollgeräusch / Lärmklassifizierung

Wie laut oder leise ein Reifen ist, ist neu anhand der einfachen Klassifizierung des externen Rollgeräusches ersichtlich. Der Messwert des externen Rollgeräusches (N in dB(A)) ist gemäss Anhang 3 der UNECE-Regelung Nr. 117 [8] zu berechnen. Die Klasse des externen Rollgeräusches eines Reifens wird wie in den Piktogrammen der Tabelle 3 angegeben. Die entsprechenden Grenzwerte (LV) sind abhängig von der Reifenbreite und können der Tabelle 4 entnommen werden. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass die Reifenklasse „C“ höhere Lärmwerte aufweist, als es der Grenzwert erlaubt und diese Reifen daher nicht zulässig sind.

Tabelle 3: Externe Geräuschklassen und ihre Piktogramme zur Geräuschkennzeichnung gemäss EU 740/2020 [7].

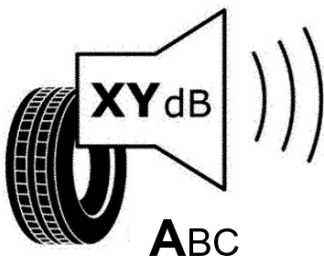
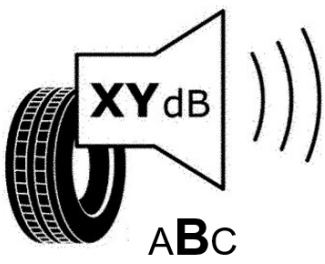
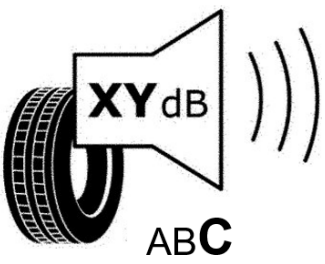
$N \leq LV - 3$	$LV - 3 < N \leq LV$	$N > LV$
		

Tabelle 4: Aktuelle Geräuschgrenzwerte für C1-Reifen gemäss UN/ECE R117 [8], [9]. Die genannten Grenzwerte sind um 1 dB(A) zu erhöhen, wenn der Reifen als Winterreifen, Schwerlastreifen oder verstärkter Reifen eingestuft oder mit einer Kombination dieser Einstufungen versehen ist. Die Erleichterung ist nicht kumulierbar (Bspw. für Winterreifen in XL-Ausführung).

Reifenklasse	Nennbreite in mm	Grenzwerte (LV) in dB(A)
C1A	≤ 185	70
C1B	$> 185 \leq 215$	71
C1C	$> 215 \leq 245$	71
C1D	$> 245 \leq 275$	72
C1E	> 275	74

Für Matsch- und Schnee-Reifen (M+S), Schwerlastreifen, verstärkte Reifen oder eine Kombination dieser Klassifizierungen sind die oben genannten Grenzwerte um 1 dB(A) erhöht.

1.2 Reifenkennzeichnungen

Die Reifenkennzeichnung ist eine gesetzlich vorgeschriebene Markierung auf dem Reifen, die wichtige Informationen über den Reifen enthält. Diese Informationen umfassen den Hersteller, das Fabrikationsdatum, die Grösse und den Typ des Reifens sowie die zulässige Geschwindigkeit und Belastung. Die Reifenkennzeichnung dient dazu, den Fahrzeugführer über die Eigenschaften und die Sicherheit des Reifens zu informieren und ihm bei der Auswahl der passenden Reifen für sein Fahrzeug zu unterstützen. In der Abbildung 2 ist ein Beispiel solcher Reifenkennzeichnungen exemplarisch dargestellt.

DIE GRÖSSENBEZEICHNUNG
(z.B. 205/55 R 16 91W)



- | | | | |
|--------|--|---------|---------------------------------------|
| 1. 205 | Reifenbreite in mm | 5. 91 | Tragfähigkeits-Kennzahl (Load-Index) |
| 2. 55 | Verhältnis von Höhe zu Breite in Prozent | 6. W | Geschwindigkeits-Symbol (Speed-Index) |
| 3. R | Radial-Bauweise (Gürtelreifen) | 7. 0201 | Herstelldatum (02. Woche 2001) |
| 4. 16 | Felgendurchmesser in Zoll | | |

Abbildung 2: Beispiel Reifenkennzeichnung. Quelle Grafik: <https://www.reifendirekt.ch/reifenkennzeichnung.html>

1.2.1 Geschwindigkeitsindex

Der Geschwindigkeitsindex bei Reifen wird in Kürzeln angegeben (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Geschwindigkeitsindex für Reifen

Index-Kürzel	Max. Geschwindigkeit
G	90 km/h
J	100 km/h
K	110 km/h
L	120 km/h
M	130 km/h
N	140 km/h
P	150 km/h
Q	160 km/h
R	170 km/h
S	180 km/h
T	190 km/h
H	210 km/h
V	240 km/h
W	270 km/h
Y	300 km/h
VR	> 210 km/h
ZR	> 240 km/h

1.2.2 Reifenlast - Load Index (LI)

Der Reifenlastindex bei Reifen wird in Kürzeln angegeben (vgl. Tabelle 6). Dabei sollte die Reifenlast maximal dem halben Achsengewicht entsprechen. Beispiel: Ein Fahrzeug wiegt 2000 kg. Verteilt auf die 4 Räder ergibt sich somit eine mittlere Reifenlast von 2000/4 kg und somit eine zulässige Höchstlast pro Reifen von 500 kg. Dies entspräche einem Load Index von mindestens 84.

Tabelle 6: Lastindex und zugehörige maximale Reifenlast

Load Index (LI)	Reifenlast [kg]	Load Index (LI)	Reifenlast [kg]
75	387	93	650
76	400	94	670
77	412	95	690
78	425	96	710
79	437	97	730
80	450	98	750
81	462	99	775
82	475	100	800
83	487	101	825
84	500	102	850
85	515	103	875
86	530	104	900
87	545	105	925
88	560	106	950
89	580	107	975
90	600	108	1000
91	615	109	1030
92	630	110	1060

1.2.3 XL-Reifen

Ein Reifen wird als XL (Extra-Load) bezeichnet, wenn er eine höhere Tragfähigkeit und einem höheren Reifendruck standhält als ein vergleichbarer Standardreifen. Dies liegt daran, dass XL-Reifen mit verstärkten Materialien und Konstruktionen hergestellt werden, die eine höhere

Tragfähigkeit und Stabilität bieten. Bei Schwerlastreifen erhöhen sich die Lärmgrenzwerte gemäss UNECE-Regelung Nr. 117 um 1 dB(A).

Solch verstärkte Reifen sind gekennzeichnet durch:

- Einen von den Herstellern in Zusammenarbeit mit ETRTO-Experten (European Tyre and Rim Technical Organisation oder Europäische Reifen- und Felgennorm) festgelegten Tragfähigkeitsindex
- Eine verstärkte Lauffläche
- Eine Konstruktion, die hochbeständige Materialien integriert.

2. Grundlagen & Vorgehen

Die Auswertungen in diesem Projekt basieren hauptsächlich auf der vom TCS erstellten und beim BFE publizierten Reifenliste. Diese enthält grundsätzlich einen Grossteil der von den Herstellern gemeldeten und in der Schweiz zugelassenen Reifen. So gibt es für verschiedene Reifendesigns (z. B. ECOCONTACT von CONTINENTAL) häufig noch weitere Untervarianten (unterschiedliche Reifenbreite, Felgendurchmesser, Load Index, Speed Index, ...) Diese Reifen tragen alle dieselbe Bezeichnung, haben aber unterschiedliche Eigenschaften.

In diesem Projekt wird der Fokus auf die C1-Reifen gelegt (Reifen für Personenwagen), da die Reifenliste 2022 hauptsächlich aus C1-Reifen besteht (13'320 C1-Reifen vs. 1'911 C2-Reifen).

3. Analyse der Reifenliste bezüglich Trade-Offs

Bereits in der Studie «Analyse TCS-Reifenliste Schweiz» [10] konnte gezeigt werden, dass bei Sommerreifen bei leiseren Reifen die relative Anzahl an gut bewerteten Reifen in den Kategorien (Rollwiderstand und Nasshaftung) nicht abnimmt, sondern in der Tendenz eher zunimmt. In der vorliegenden Studie soll nun untersucht werden, inwiefern diese Top-Reifen in verschiedenen Reifenkenngrössen verfügbar sind, um festzustellen, ob es für alle Fahrzeuge geräuscharme Alternativen gibt, die gleichzeitig gute Leistungen in Bezug auf Nasshaftung und Rollwiderstand bieten.

3.1 Verfügbare Reifen (C1) in der Reifenliste pro Hersteller und Saison

Nicht jeder Reifenhersteller bedient dasselbe Kundensegment und ist zudem in der Schweiz auch nicht überall gleichmässig verbreitet. In der Abbildung 3 ist die Gesamtanzahl an verfügbaren Reifen pro Reifenhersteller dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die grösste Vielfalt auch von den marktführenden Reifenherstellern stammt. Eine Ausnahme stellt allerdings z. B. Michelin dar, welche bei den C1-Reifen nur gerade 31 verschiedene Einträge in der Liste aufweist und dabei eine einzige Reifenfamilie («Latitude-Cross») eingetragen hat. Je nach Hersteller ist es möglich, dass dem TCS nicht die komplette Produktpalette übermittelt wurde, in diesen Fällen ist die Reifenliste entsprechend unvollständig.

14. Mai 2024

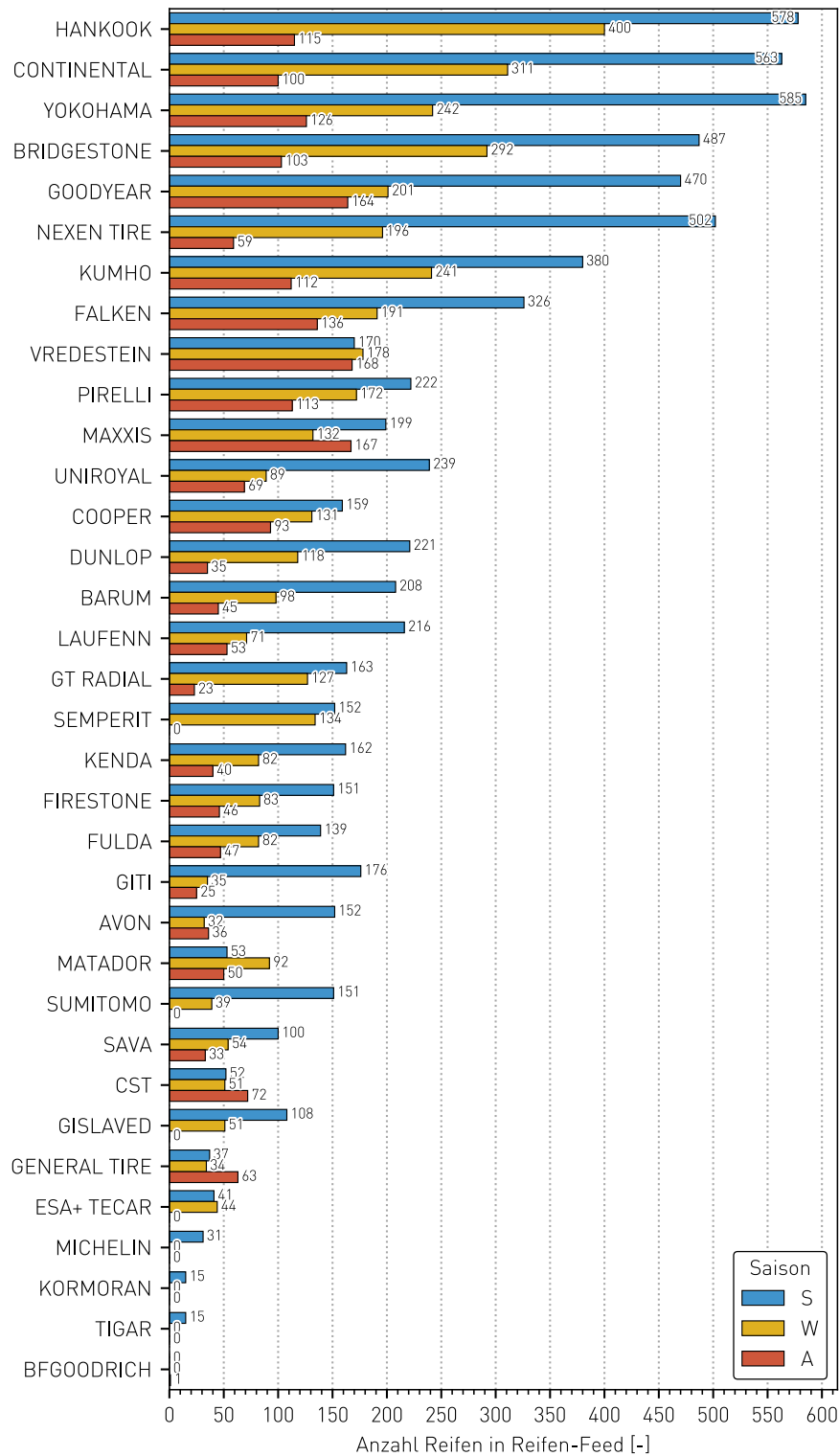


Abbildung 3: Anzahl Reifen pro Reifenhersteller. Total der Reifenliste (C1): 13'320. S = Sommerreifen, W = Winterreifen, A = Ganzjahresreifen

3.2 Reifen und Lärm

In diesem Kapitel wird die Reifenliste bezüglich der Lärmangaben etwas näher untersucht. Das Kapitel ist unterteilt in die Untersuchung absoluter Geräuschemission und der Betrachtung der Labelwerte.

3.2.1 Auswertung nach Reifenlabel

In Abbildung 4 ist für C1-Reifen ausgewertet, welcher Anteil der Reifen welcher EU-Lärm Kategorie zugeordnet werden. Dabei zeigt sich, dass von den insgesamt 13'320 Reifen nur gerade 990 Reifen dem EU-Lärmlabelwert „A“ zugewiesen werden (7.4 %). Der überwiegende Teil der Reifen weist daher den Lärmwert „B“ mit 92.5 % auf. Dabei gilt es teilweise deutliche Herstellerunterschiede: So hat z.B. Pirelli 29% der Reifen als Lärmlabelwert „A“ angegeben, während andere Hersteller ausschliesslich Reifen der Kategorie „B“ anbieten. GTI hat als einziger Reifen der nicht mehr zulässigen Kategorie „C“ ausgewiesen. Dies könnte sich auch um ein Datenrelikt handeln.

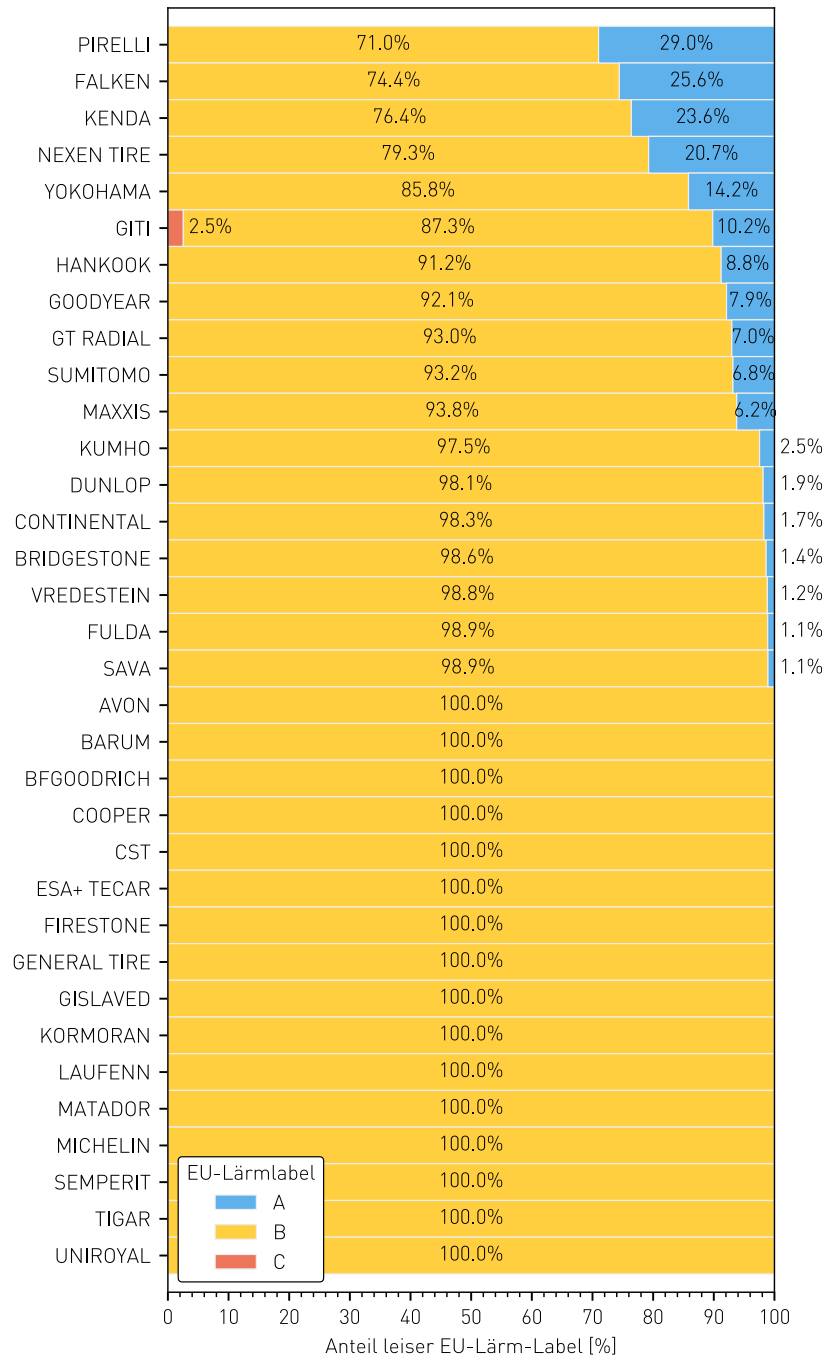


Abbildung 4: Anteil der Lärmlabel für C1-Reifen pro Reifenhersteller.

Tabelle 7: Anzahl C1-Reifen (relativ und absolut) pro Reifentyp (Sommer = S, All-Season = A und Winter = W) und EU-Reifenlärmlevel gemäss Tabelle 3.

EU-Lärmlevelklasse	Reifentyp	Anzahl	Anteil
A	A	94	0.7 %
A	S	696	5.2 %
A	W	200	1.5 %
B	A	2'000	15.0 %
B	S	6'521	49.0 %
B	W	3'803	28.6 %
C	S	6	0.0 %
Total	-	13'320	100.0 %

Aus Abbildung 4 lässt sich nun ableiten, dass einige Hersteller gar keine Reifen in der Lärm-A Kategorie angeboten haben.

3.2.2 Auswertung nach effektiver Lautheit

In den folgenden Abbildung 5 - Abbildung 9 sind die effektiv angegebenen Lautheitspegel der Reifenbreiten A – E dargestellt (Reifenbreiten: Vgl. Tabelle 4).

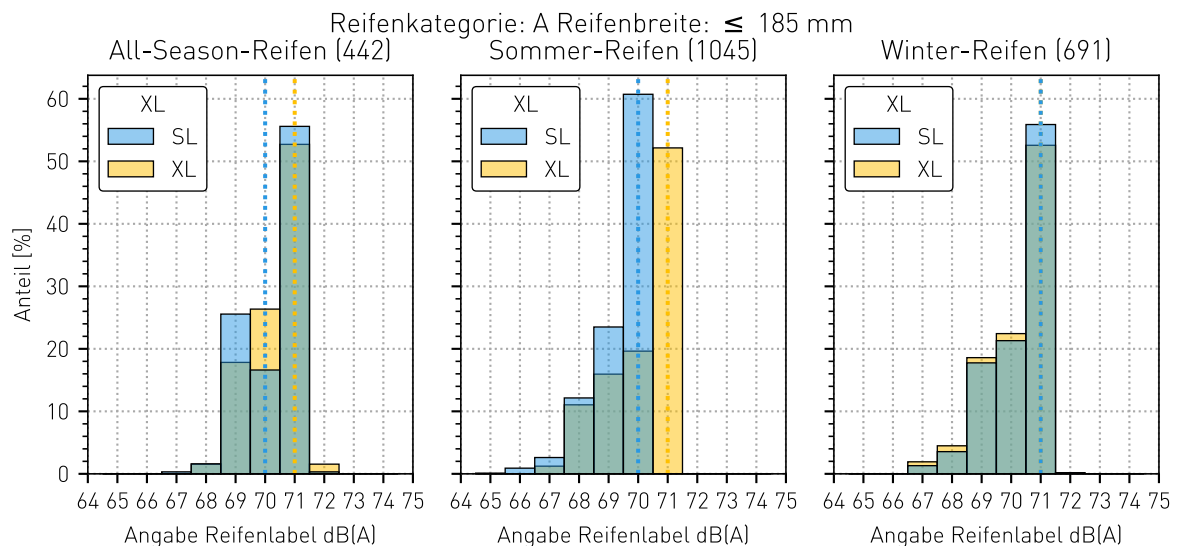


Abbildung 5: Auswertung der Reifenliste für die Reifenkategorie A, aufgeteilt nach Einsatzzweck (Sommer, Winter und All-Season) und Unterteilung nach Extra-Load (XL) und Normallast-Reifen (SL, Standard Load). Der Geräuschgrenzwert der Reifenbreite ≤ 185 beträgt gem. UN/ECE R117 70 dB(A). Winterreifen und XL-Reifen profitieren von einer Erhöhung um 1 dB(A).

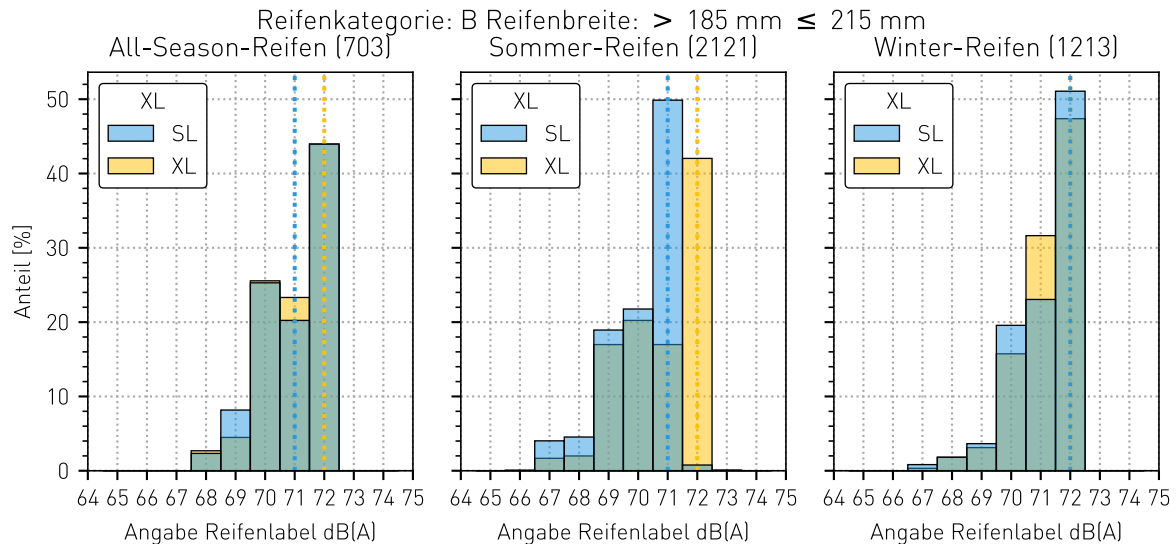


Abbildung 6: Auswertung der Reifenliste für die Reifenkategorie B, aufgeteilt nach Einsatzzweck (Sommer, Winter und All-Season) und Unterteilung nach Extra-Load (XL) und Normallast-Reifen (SL, Standard Load). Der Geräuschgrenzwert der Reifenbreite $>185 \leq 215$ beträgt gem. UN/ECE R117 71 dB(A). Winterreifen und XL-Reifen profitieren von einer Erhöhung um 1 dB(A).

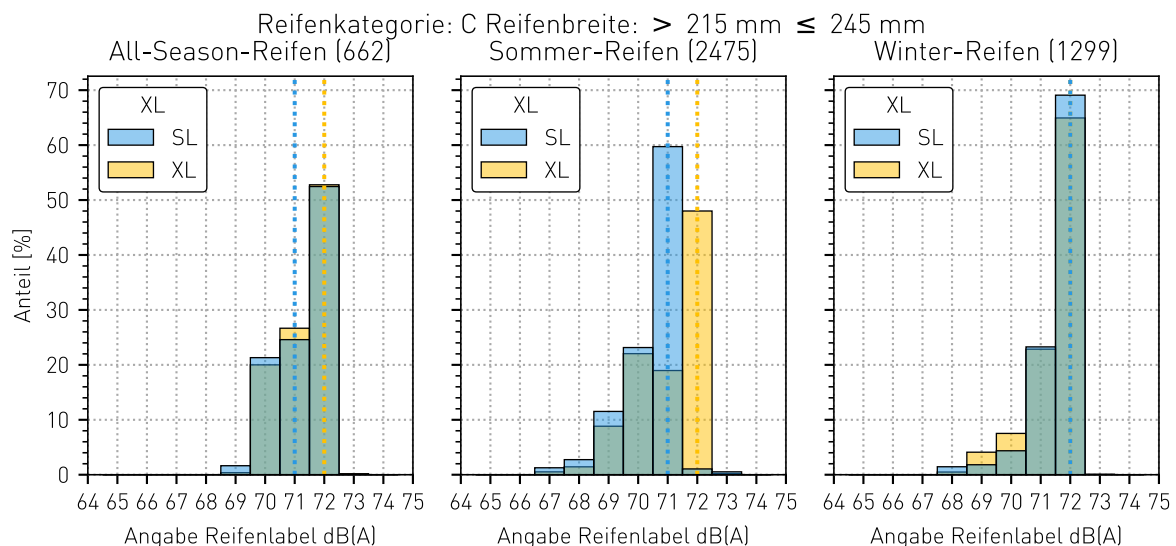


Abbildung 7: Auswertung der Reifenliste für die Reifenkategorie C aufgeteilt nach Einsatzzweck (Sommer, Winter und All-Season) und Unterteilung nach Extra-Load (XL) und Normallast-Reifen (SL, Standard Load). Der Geräuschgrenzwert der Reifenbreite $>215 \leq 245$ beträgt gem. UN/ECE R117 71 dB(A). Winterreifen und XL-Reifen profitieren von einer Erhöhung um 1 dB(A).

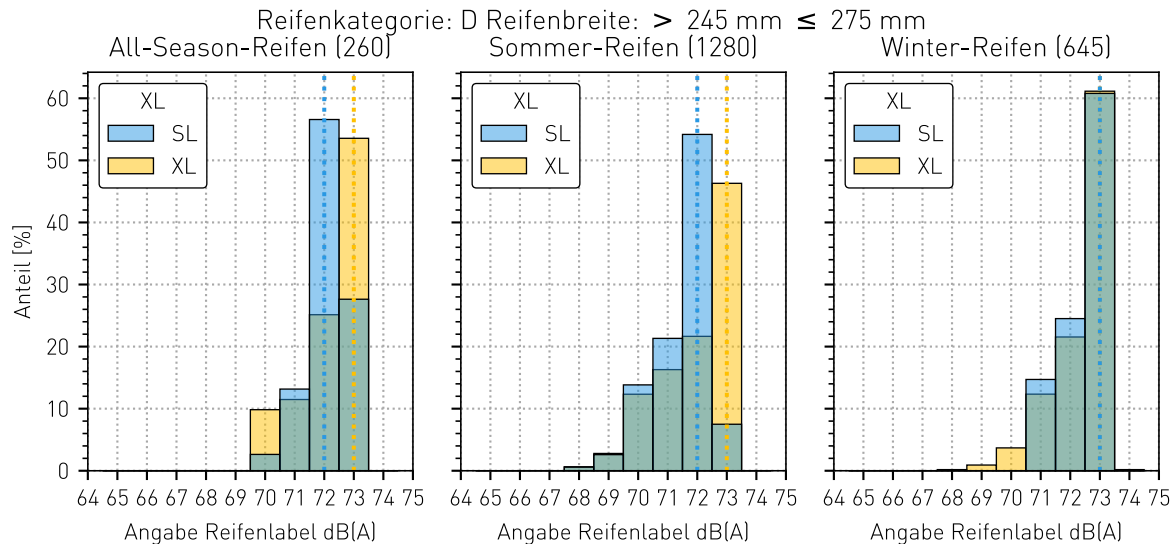


Abbildung 8: Auswertung der Reifenliste für die Reifenkategorie D, aufgeteilt nach Einsatzzweck (Sommer, Winter und All-Season) und Unterteilung nach Extra-Load (XL) und Normallast-Reifen (SL, Standard Load). Der Geräuschgrenzwert der Reifenbreite $>245 \leq 275$ beträgt gem. UN/ECE R117 72 dB(A). Winterreifen und XL-Reifen profitieren von einer Erhöhung um 1 dB(A).

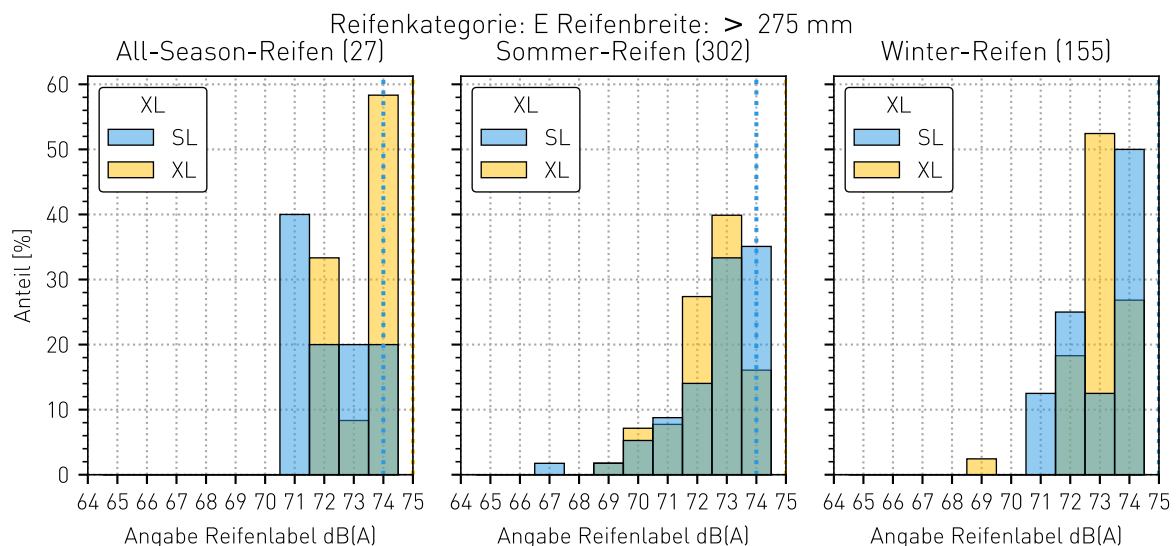


Abbildung 9: Auswertung der Reifenliste für die Reifenkategorie E, aufgeteilt nach Einsatzzweck (Sommer, Winter und All-Season) und Unterteilung nach Extra-Load (XL) und Normallast-Reifen (SL, Standard Load). Der Geräuschgrenzwert der Reifenbreite >275 beträgt gem. UN/ECE R117 74 dB(A). Winterreifen und XL-Reifen profitieren von einer Erhöhung um 1 dB(A).

Aus den oben gezeigten Grafiken lässt sich schliessen, dass sich die angegebenen Reifengeräuschmessungen oft nahe dem Grenzwert befinden. Ebenfalls ist auffällig, dass in den meisten Fällen bei den Sommerreifen eine Differenz zwischen den XL- und den SL-Reifen ersichtlich ist; Die XL-Reifen sind häufig 1 dB lauter. Bei den Winterreifen gibt es diese Differenz in den angegebenen

14. Mai 2024

Reifengeräuschwerte nicht. Dies kommt daher, dass der XL- und der Winterreifenzuschlag nicht kumulierbar ist und somit für beide Reifenarten der gleiche Grenzwert gilt.

3.3 Ausnahmeregelung Extra-Load Reifen

In der R117 [8] wird definiert, dass Extra-Load (XL), Winterreifen oder Verstärkte (RF) Reifen auf die Lärmgrenzwert eine nicht kumulierbare Erleichterung von +1 dB(A) erhalten. Wenn nun die Reifenliste analysiert wird, zeigt sich, dass gesamthaft 68.7 % der Reifen von einer 1 dB(A) Erleichterung profitieren und 57.2 % der Produkte XL-Reifen sind (vgl. Abbildung 10).

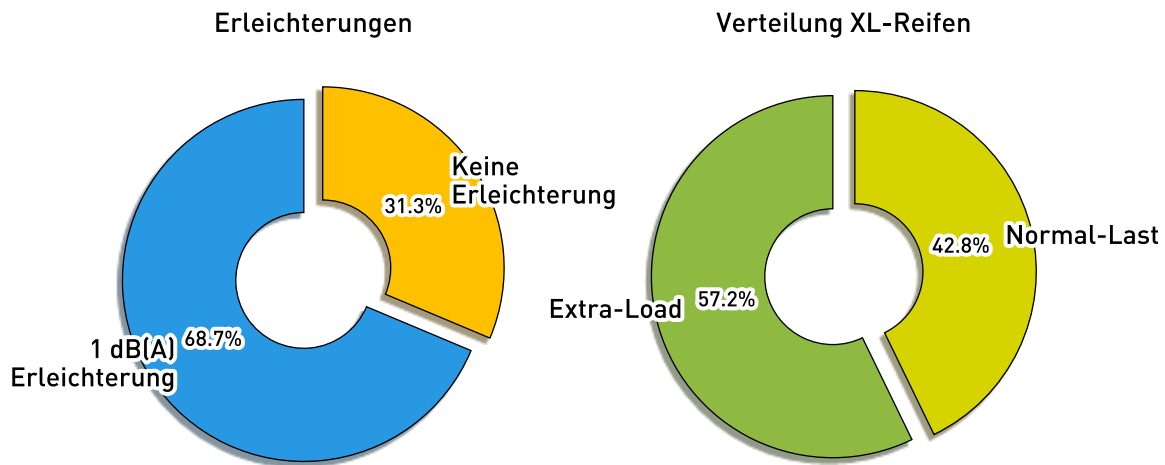


Abbildung 10: Links: Anteil Reifen, welche von 1 dB(A) – Erleichterung profitieren. Rechts: Verhältnis Extra-Load zu Normalreifen für C1 und gesamte Reifenliste.

Tabelle 8: Aufteilung der Extra-Load-Reifen nach Reifentyp. Mit XL = Extra Load und SL = Normallast

Reifentyp	XL	Erleichterung 1 dB(A)	Anzahl Reifen	Prozent
Sommer	XL	Ja	3824	53%
Sommer	SL	Nein	3399	47%
Winter	XL	Ja	2474	62%
Winter	SL	Ja	1529	38%
All-Season	XL	Ja	1319	63%
All-Season	SL	Nein	775	37%

3.4 Klassierung Reifen nach Nasshaftung/Rollwiderstand und Lärm

Aus den vorderen Kapiteln zeigte sich, dass die Lärm-A-gelabelte Reifen nur gerade 7.4 % ausmachen. Wenn nun weitere Unterscheidungskategorien, wie der Rollwiderstand und Nasshaftung hinzugezogen werden, reduziert sich die Gesamtanzahl der Lärm-A bewerteten Reifen weiter. In der folgenden Abbildung 11 sind für alle C1-Reifen aus der Reifenliste die Anzahl an Reifen aufgeführt.

Die Buchstaben beziehen sich dabei auf die entsprechenden Kombinationen der einzelnen Labelbewertungen für Nasshaftung, Rollwiderstand und Lärm.

Es zeigt sich, dass aus der gesamten Reifenliste nur gerade zehn Reifen das Kriterium „AAA“ (Top-Rating in allen Kategorien) erfüllen. Diese Art der Auswertung ist aber stark an die Einteilung der Indexwerte gebunden. Denn wie bereits im vorhergehenden Kapitel 3.2 gezeigt, fallen praktisch alle Reifen in die Lärmkategorie B. Somit gibt es bereits hinsichtlich des Lärmkriteriums (Indexwert „A“) nur eine kleine Anzahl an Reifen.

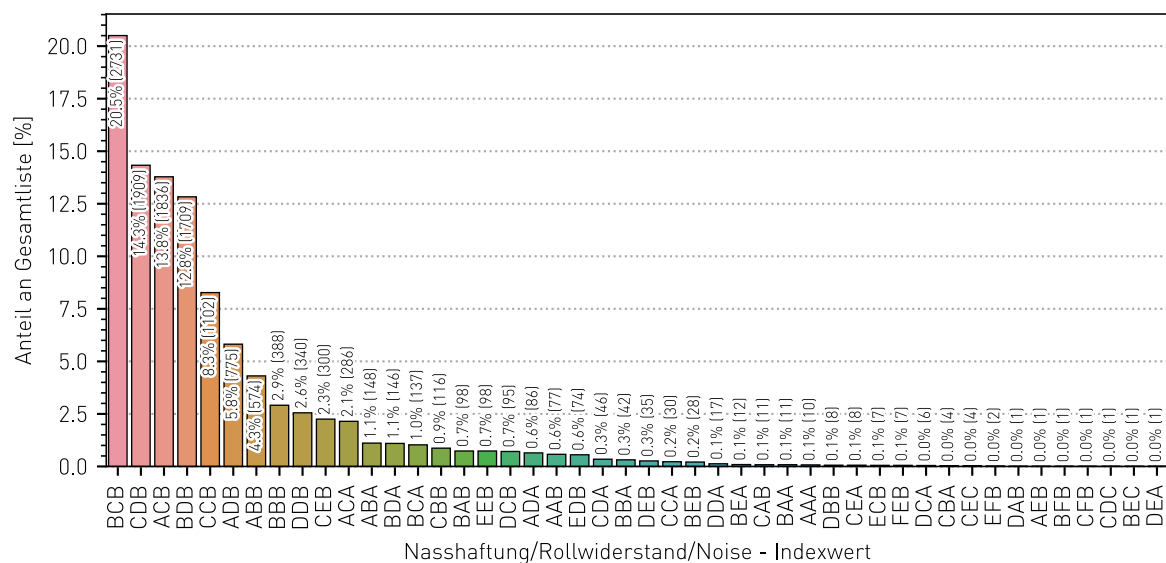


Abbildung 11: Relative Anzahl an C1-Reifen an der Reifenliste, sortiert nach den drei Kategorien Nasshaftung-Label, Rollwiderstand-Label und Lärmlabel. (z. B die Katgorie „BCB“ steht für B-Nasshaftung, C-Rollwiderstand und B-Lärm.

3.5 Einteilung nach Geschwindigkeitsklasse (Speed-Index)

Der Geschwindigkeitsindex gibt an, bis zu welcher Geschwindigkeit ein Reifen zugelassen ist (vgl. Kapitel 1.2). Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Geschwindigkeitsindizes für die C1-Reifen der Reifenliste auf. Der Grossteil der Reifen weist Speed-Indizes (T, H und sogar W auf).

14. Mai 2024

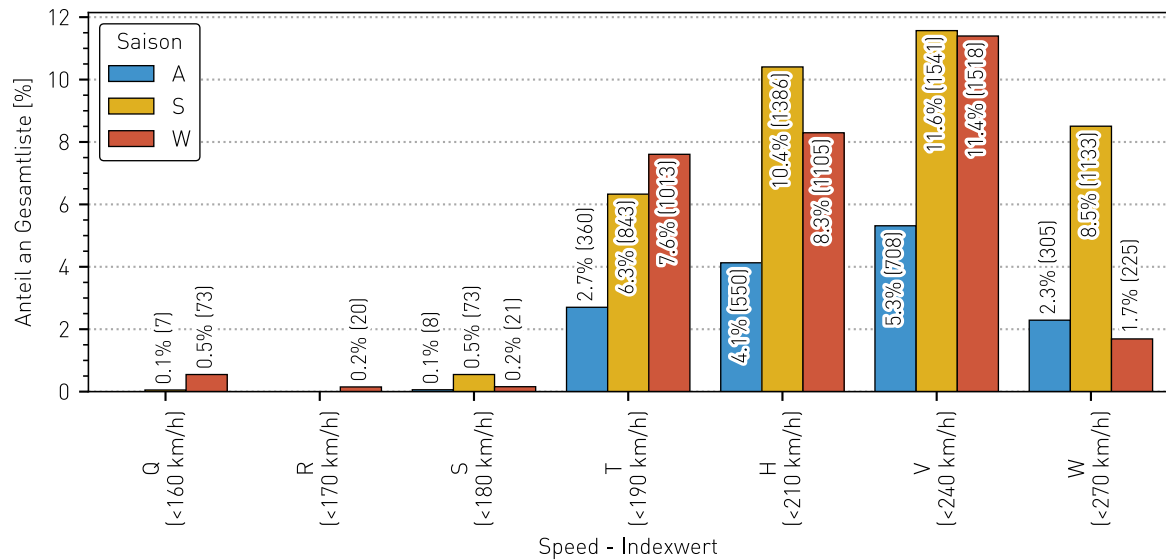


Abbildung 12: Verteilung der Geschwindigkeits-Indizes für C1-Reifen

3.6 Auswertung nach Reifenbreite

Aus der Reifenliste lässt sich die Verteilung der mittleren Reifenbreiten ablesen. Abbildung 13 zeigt, dass sowohl für Sommer-, Winter- und All-Season-Reifen die meisten Reifen in der Klasse C1C, also in einer breite zwischen 215 und 245 mm liegen.

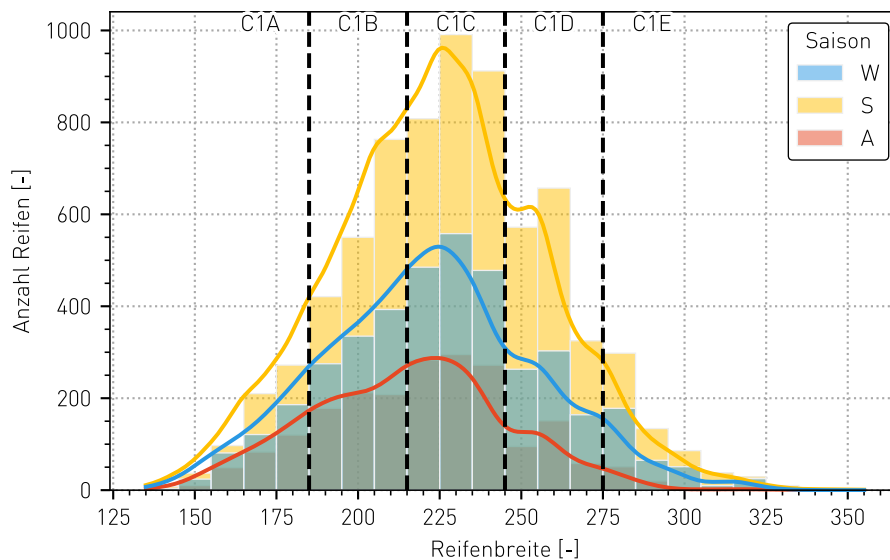


Abbildung 13: Verteilung der Reifenbreiten für Winter (W), Sommer (S) und All-Season (A)-Reifen für C1-Reifen aus der Reifenliste.

3.7 Auswertung nach Reifenlast

In Bezug auf die Reifenlast (Abbildung 14) zeigt sich ein ähnliches Bild. So sind die meisten Reifen mit einem Reifenlastindex von 90 – 105 ausgestattet. Dies entspricht einer Gesamtlast von 2400 kg – 3700 kg.

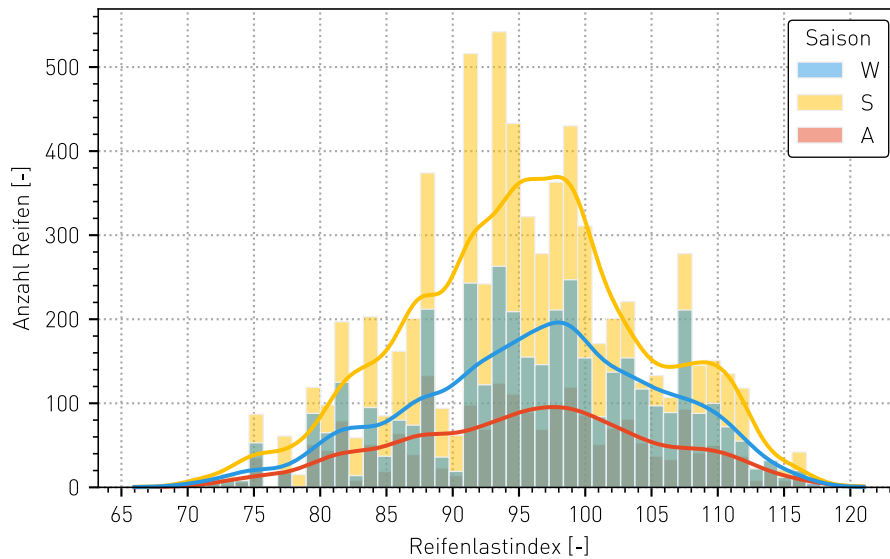


Abbildung 14: Verteilung der Reifenlast für Winter (W), Sommer (S) und All-Season (A)-Reifen für C1-Reifen aus der Reifenliste.

3.8 Analyse der AAA-Reifen

Wie sich bereits im Kapitel 3.4 gezeigt hat, gibt es für AAA-Reifen (Top-Bewertung in Lärm, Rollwiderstand und Nasshaftung) nur gerade zehn Reifen. In diesem Kapitel werden diese zehn Reifen etwas genauer untersucht (vgl. Tabelle 9). Es zeigt sich, dass diese zehn Reifen allesamt Sommerreifen sind. Auffallend ist auch, dass es alles Schwerlastreifen sind (XL). Da der Grenzwert und auch die Lärm-Klassengrenzen für diese Reifentypen um je 1 dB(A) erhöht sind (vgl. Kapitel 1.1.3), erreichen diese Reifen das Lärmlabel „A“ verhältnismässig einfach.

Tabelle 9: Top-Performing C1-Reifen gemäss Labelwerten (AAA-Reifen)

Marke	Design	EAN- Nummer	See Code	Run Flat	Tire Width	Tire Serie	Tire Diameter	Tire load index	Speed Code	Tire Loudness	Tire Eu DBA	WG_Index	RR_Index	LV
GOODYEAR	EFFICIENTGRIP PERFORMANCE	4038526020536	S	XL	205	50	19	94	H	69	A	A	A	72
GOODYEAR	EFFICIENTGRIP PERFORMANCE 2	4038526026699	S	XL	205	55	19	97	V	69	A	A	A	72
GOODYEAR	EAGLE F1 (ASYMMETRIC) 5	4038526107084	S	XL	215	50	18	96	W	69	A	A	A	72
FALKEN	ZIEX ZE310AEC	4250427430126	S	XL	235	55	17	103	H	69	A	A	A	72

14. Mai 2024

Marke	Design	EAN- Nummer	Sea Code	Run Flat	Tire Width	Tire Serie	Tire Diameter	Tire load index	Speed Code	Tire Loudness	Tire Eu DBA	WG_Index	RR_Index	LV
GITI	GITISYNERGY H2	6943829506725	S	XL	205	60	16	96	H	69	A	A	A	72
GITI	GITISYNERGY H2	6943829506732	S	XL	215	55	17	98	H	69	A	A	A	72
PIRELLI	SCORPION	8019227409260	S	XL	255	50	20	109	Y	70	A	A	A	73
HANKOOK	IK01	8808563570907	S	XL	305	30	21	104	Y	69	A	A	A	75
HANKOOK	IK01A	8808563570983	S	XL	255	45	20	105	Y	68	A	A	A	73
HANKOOK	IK01A	8808563571003	S	XL	275	35	21	103	Y	68	A	A	A	73

3.9 Verfügbarkeit A-Noise-Label-Reifen

Es hat sich gezeigt, dass für AAA-Reifen nur gerade zehn verschiedene Reifenprodukte zur Verfügung stehen. Davon sind alles Sommerreifen in der XL-Kategorie (Schwerlastreifen). Tabelle 7 zeigt auf, dass insgesamt 7.4 % der Reifen dem Lärmlabelwert „A“ zugeordnet werden können. In diesem Kapitel soll nun die Verfügbarkeit dieser Reifen in Bezug auf die Gesamtpalette der Reifen analysiert werden. Diese 7.4% enthalten aber alle möglichen Nasshaftungs und Rollwiderstands-labels. Um die „besten“ Reifen in allen drei Kategorien auszuwählen, wurden für die Labels Nasshaftung und Rollwiderstand ebenfalls die Labels „B“ toleriert. Mit diesem Vorgehen gibt es 211 unterschiedliche Reifen, welche das Geräusch-Label „A“ aufweisen und gleichzeitig im Rollwiderstands und Nasshaftungsklasse besser oder gleich der Labelbewertung „B“ sind. Werden diese 211 Reifen nach Einsatzzweck aufgeteilt, ergeben sich folgende Anzahlen:

Tabelle 10: Verfügbare Reifen nach Einsatz (Saison) mit Lärmlabel A, und Rollwiderstand respektive Nasshaftung mindestens Klasse B.

Einsatz	Anzahl Reifen
S	172
A	34
W	5

Es zeigt sich, dass nur sehr wenige Winterreifen verfügbar sind, welche in allen drei Kategorien gut abschneiden. Dies ist prinzipiell bereits aus den Analysen in Abbildung 15 - Abbildung 18 ersichtlich.

3.9.1 Sommerreifen

In der folgenden Abbildung 15 ist die Verteilung der Lärm-A-bewerteten Sommerreifen aufgeführt. Es zeigt sich, dass bei dieser Auswahl der Grossteil der Reifen relativ gut in Bezug auf das Nasshaftungs-Label abschneidet. Etwas anders sieht es in Bezug auf das Rollwiderstandslabel aus, bei welchem die Verteilung eher einer Normalverteilung mit dem Schwerpunkt beim Rollwiderstandslabel „C“ gleicht. Ein ähnliches Verhalten ist für die Reifen mit B-Lärmlabel (rechte Bildhälfte) zu erkennen.

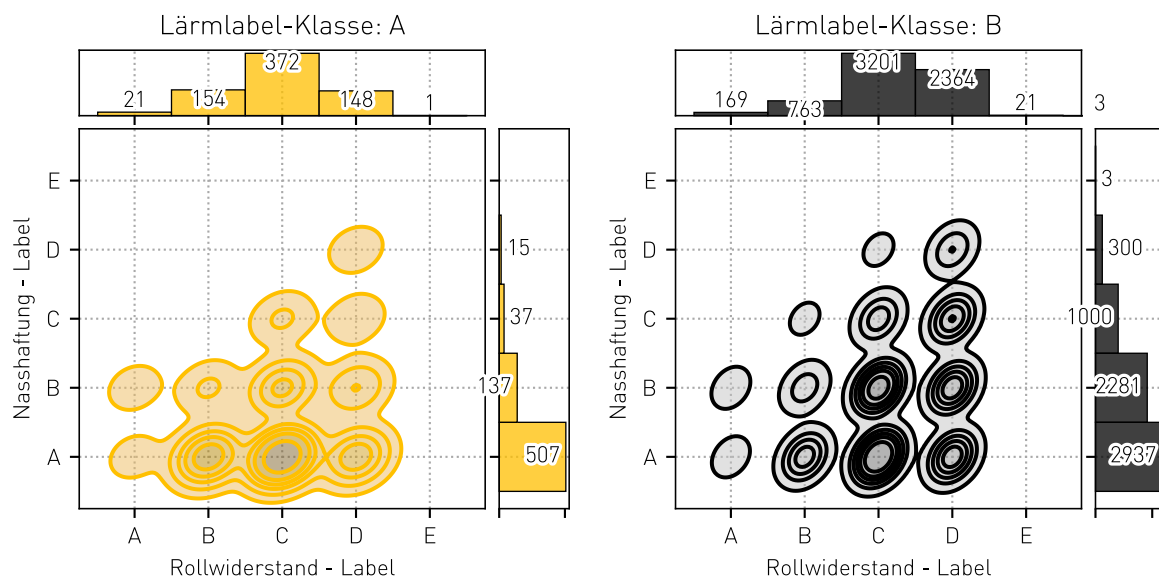


Abbildung 15: Verteilung für Rollwiderstands- respektive Nasshaftung Label von A-Lärm Reifen (Links) und B-Lärm-Reifen (Rechts) von Sommer -Reifen.

Die weiterführende Analyse in Bezug auf Verfügbarkeit ist in der folgenden Abbildung 16 gezeigt. Hier wird die Anzahl der Reifen in Bezug auf die Breite (X-Achse) und verstärkte Reifen (XL-Reifen, Linke Bildhälfte: Normallast, Rechte Bildhälfte: XL-Reifen) respektive Speed-Code (Farbcode), welche ein Rollwiderstands- und Nasshaftungslabel von mindestens „B“ aufweisen. Dabei zeigt sich, dass ein Grossteil dieser Reifen ebenfalls wiederum XL-Reifen sind. Aber von diesen gibt es eigentlich in fast allen Geschwindigkeitsklassen und Reifenbreitenklassen gute Reifen. Bei den „Normallastreifen“, finden sich ebenfalls Reifen für jede Reifenbreitenklasse, jedoch nur in ausgewählten Geschwindigkeitsbändern. Wobei diese jeweils mindestens das Geschwindigkeitsband „T“ oder „V“ abdecken, was gemäss der Tabelle 5 einer Maximalgeschwindigkeit von 190 km/h respektive 240 km/h entspricht.

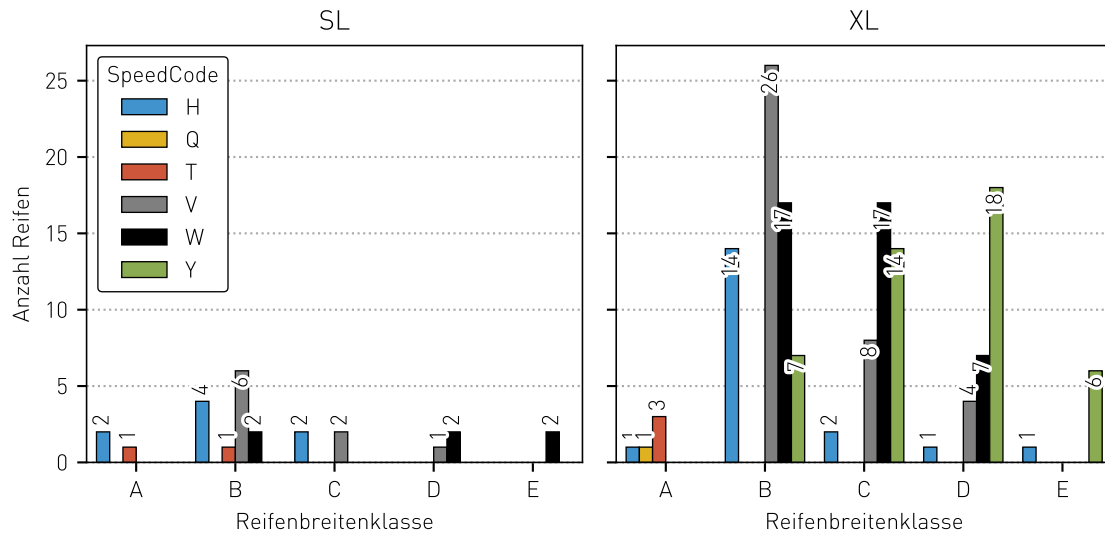


Abbildung 16: Anzahl verfügbarer Sommerreifen mit Lärmlabel „A“ und Rollwiderstands- und Nasshaftungslabel von mind. „B“. Dabei wird unterschieden nach Reifenbreite (Klasse A – E) und nach XL-Label (Abbildung Links: Normallast, Abbildung Rechts: XL).

3.9.2 Winterreifen

Bei den Winterreifen zeigt sich, dass die Lärm-A-bewerteten Reifen eher schlechter abschneiden in Bezug auf die Rollwiderstandswerte. Bei den Winterreifen zeigt sich, dass diese in Bezug auf die Rollwiderstandswerte eher schlechter abschneiden, sowohl für Lärm-A wie Lärm-B-bewertete Reifen [10]. Allerdings weisen diese Winterreifen neben den guten Lärmwerten ebenfalls gute Nasshaftungseigenschaften auf.

In Bezug auf die gut abschneidenden Winterreifen mit hoher Nasshaftung und tiefem Rollwiderstand gibt es jedoch nur fünf Reifen, welche ein Labelwert von mind. „B“ aufweisen.

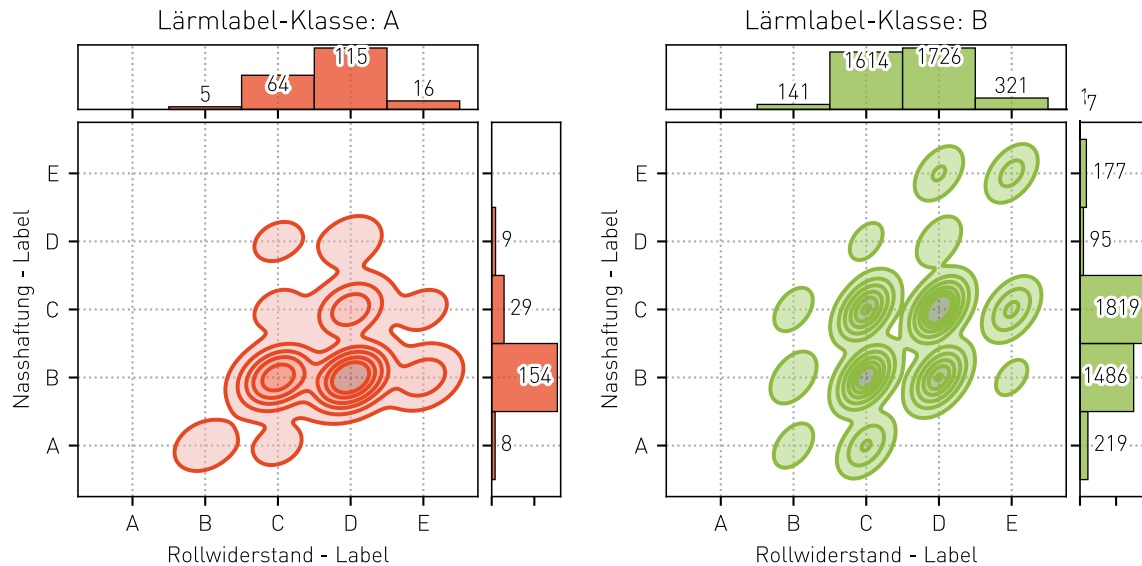


Abbildung 17: Verteilung des Rollwiderstands- respektive Nasshaftungs-Label der Lärm-A bewerteten Winterreifen. (Links). Rechts: B-Lärmlabelklasse.

Auf eine zusätzliche Aufschlüsselung nach weiteren Kategorien, wie für die Sommerreifen wird hier verzichtet, da nur gerade 5 Reifen den oben erwähnten Kriterien entsprachen.

3.9.3 All-Season-Reifen

Ähnliches, wie bei den Winterreifen zeigt sich auch für die All-Season-Reifen, wobei der Rollwiderstand im Vergleich zu den Winterreifen etwas besser ausfällt (vgl. Abbildung 18). Auch bei den All-Season-Reifen gibt es aus der gesamten Reifenliste nur 35 Reifentypen, welche ein Nasshaftungs- und Rollwiderstandslabel von mind. „B“ aufweisen (bei einem Lärmlabel „A“).

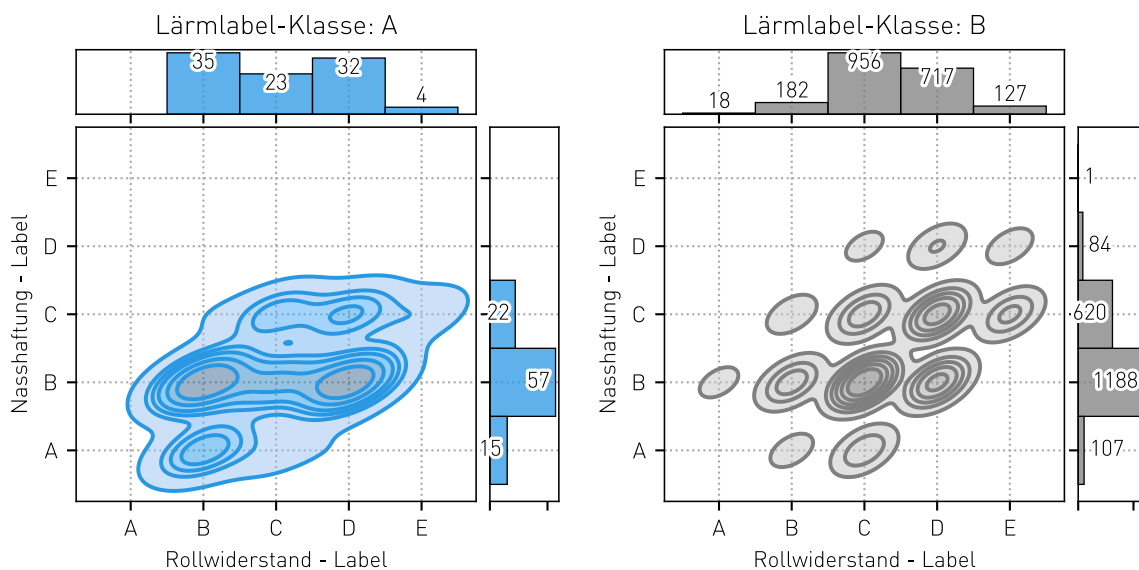


Abbildung 18: Verteilung des Rollwiderstands- respektive Nasshaftungs-Label von Lärm-A-bewerteten All-Season-Reifen. Rechts: B-Lärmlabelklasse.

Wie bei den Winterreifen wird auch hier auf eine detaillierte Aufschlüsselung nach weiteren Kategorien verzichtet. Es zeigte sich aber grundsätzlich dasselbe Bild wie bei den Sommerreifen, nämlich dass ein grosser Teil der Reifen aus XL-Reifen besteht.

4. Zielkonflikte von Reifeneigenschaften

Bei der Entwicklung von Reifen gibt es verschiedene Zielkonflikte, insbesondere zwischen Lärm, Rollwiderstand und Nasshaftung. Ein Zielkonflikt bedeutet, dass ein höherer Wert in einer Eigenschaft zu einer Verschlechterung einer anderen Eigenschaft führen kann. Im FEHRL-Bericht [11] wurde eine Zusammenstellung von verschiedenen Zielkonflikten in der Reifenentwicklung publiziert. Die entsprechende Grafik wurde dabei von der ETRTO zur Verfügung gestellt. (vgl. Abbildung 19).

Darin zeigen sich verschiedene Zielkonflikte, welche in Zusammenhang mit dem Lärm stehen. Es gibt hierbei auch Zielkonflikte, welche nicht nur das Abrollgeräusch betreffen, sondern auch noch weitere Bereiche der Reifenkonstruktion beeinflussen.

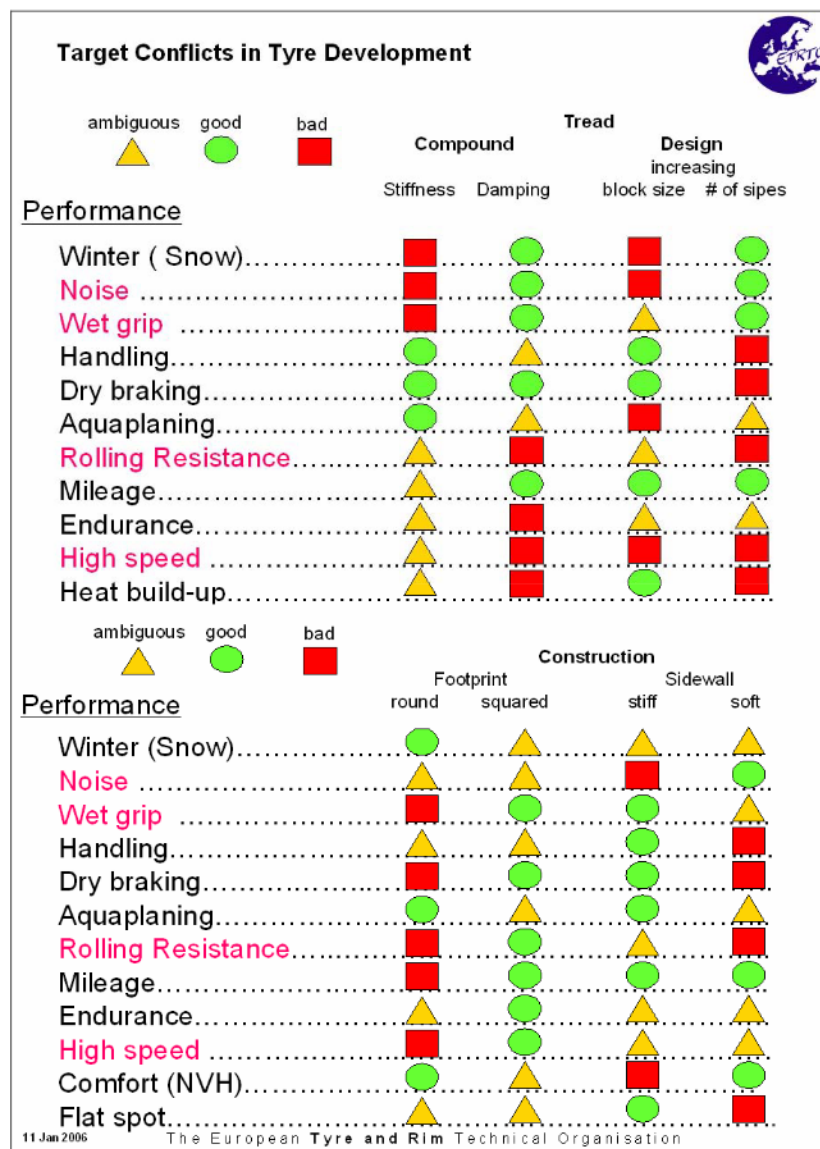


Abbildung 19: Zielkonflikte in der Reifenentwicklung. Quelle: [11, S. 49]

Die Frage ist nun, lassen sich diese Zielkonflikte ebenfalls in der Reifenliste finden?

4.1 Korrelationsanalyse

Um den Einfluss der einzelnen, paarweisen Einflussgrössen zu veranschaulichen, wurde eine Korrelationsanalyse für die C1-Reifen (PKW-Reifen) durchgeführt. Dabei wurden die Parameter Rollwiderstandslabel (RR), Nasshaftungslabel (WG), Lärm (Lärmangabe in dB(A)), Reifenbreite und Reifendurchmesser miteinander verglichen. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um paarweise Vergleiche handelt. Diese Analyse vermag mehrfache Zusammenhänge nicht aufzudecken.

Wenn der Korrelationskoeffizient nahe bei +1 liegt, bedeutet dies eine stark positive lineare Beziehung zwischen den beiden Variablen. Das heisst, wenn eine Variable zunimmt, nimmt auch die andere Variable zu. Ein Beispiel dafür ist zum Beispiel die Beziehung zwischen Reifenbreite und Reifendurchmesser. In den untersuchten Daten resultiert bei diesen beiden Variablen eine hohe positive Korrelation. Das bedeutet, dass bei Zunahme der Reifenbreite auch der Reifendurchmesser linear zunimmt. Somit gibt es kaum schmale Reifen mit gleichzeitig grossem Durchmesser.

Für den Rollwiderstand (RR) und Nasshaftung (WG) zeigt sich, dass in der Tendenz eine positive Korrelation vorliegt. Somit schneiden die Reifen mit hohem Rollwiderstand auch tendenziell schlechter ab bei der Nasshaftung. Dieses Phänomen ist am ausgeprägtesten bei den All-Season-Reifen (0.47) und den Winterreifen (0.42). Bei den Sommerreifen (Abbildung 21) ist dieser Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizient von (0.29) kaum ersichtlich. (Abbildung 20 - Abbildung 22)

Umgekehrt lässt sich vor allem für die Winterreifen (Abbildung 22) zwischen dem Reifendurchmesser und dem Rollwiderstand ein schwacher gegenläufiger Zusammenhang erkennen. Das heisst, je grösser ein Rad ist, desto kleiner wird der Rollwiderstandskoeffizient.

In Bezug auf den Lärm korrelieren hauptsächlich die Einflussfaktoren Reifenbreite und Reifendurchmesser. Diese Korrelation fällt für die Reifenbreite jeweils höher aus für den Reifendurchmesser. Die anderen Faktoren, wie die Nasshaftung (WG) und Rollwiderstand (RR) zeigen, wenn überhaupt, nur sehr schwache Zusammenhänge. So sind für die All-Season-Reifen (Abbildung 20) kaum Korrelationen ermittelbar (-0.07 bzw. +0.07). Dasselbe gilt für Sommerreifen (Abbildung 21). Bei den Winterreifen (Abbildung 22) zeigt sich zumindest für den Rollwiderstand (-0.22) eine schwach negative Korrelation. Dies bedeutet, dass bei einer Zunahme des Lärms, der Rollwiderstandskoeffizient leicht abnimmt.

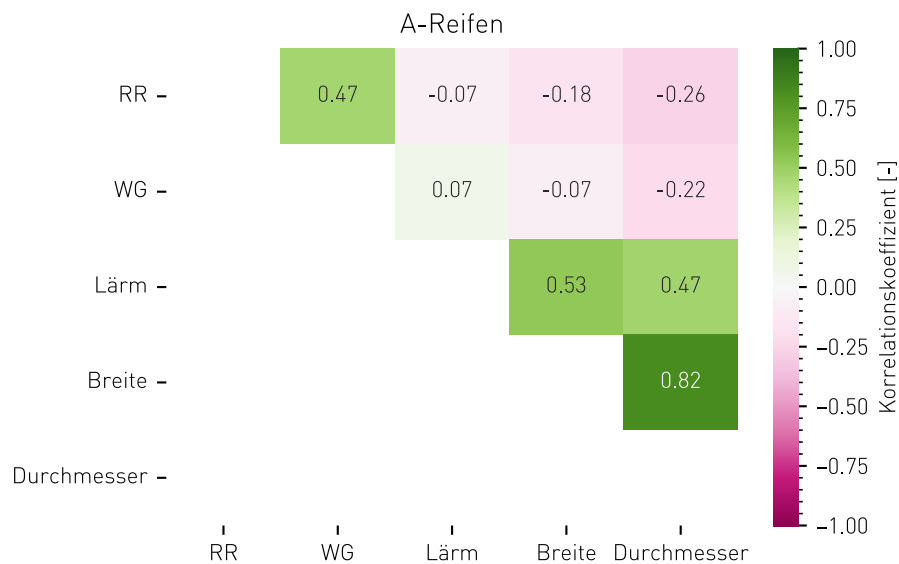


Abbildung 20: Paarweise Korrelationsanalyse für All-Season-Reifen (A) für Rollwiderstandslabel (RR), Nasshaftungslabel (WG), Lärm (Lärmangabe in dB(A)), Reifenbreite und Reifendurchmesser.

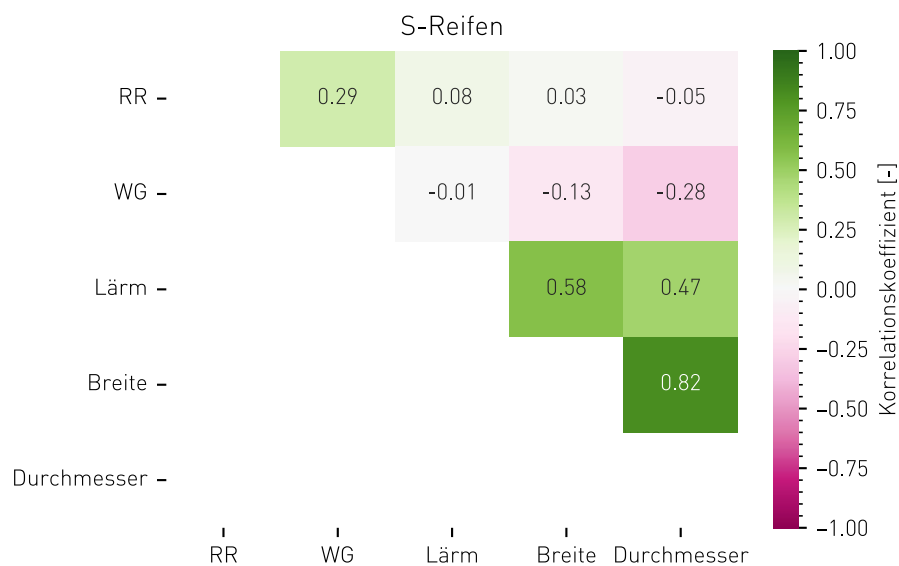


Abbildung 21: Paarweise Korrelationsanalyse für Sommerreifen (S) für Rollwiderstandslabel (RR), Nasshaftungslabel (WG), Lärm (Lärmangabe in dB(A)), Reifenbreite und Reifendurchmesser.

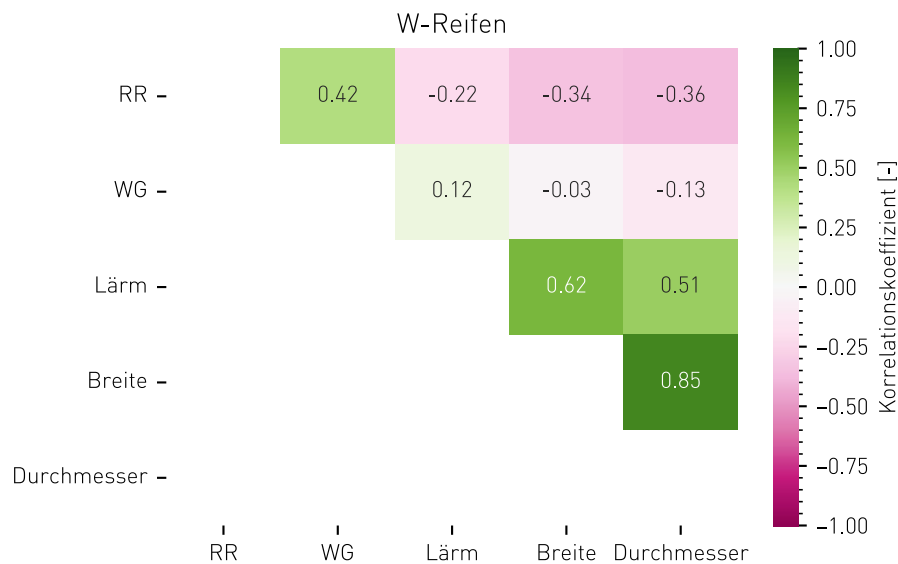


Abbildung 22: Paarweise Korrelationsanalyse für Winterreifen (W) für Rollwiderstandslabel (RR), Nasshaftungslabel (WG), Lärm (Lärmangabe in dB(A)), Reifenbreite und Reifendurchmesser.

Aus den oben gezeigten Abbildungen lassen sich aufgrund der paarweisen Betrachtung nur bivariate Zusammenhänge interpretieren. Daher muss eine weitere Betrachtung, z. B. mittels einer multivariaten Analyse, durchgeführt werden. Dadurch kann ein umfassenderes Verständnis der Beziehungen zwischen den Variablen erhalten werden. Eine multivariate Analyse ermöglicht es, mehrere Variablen gleichzeitig zu betrachten und deren gemeinsamen Einfluss aufeinander zu untersuchen.

Grundsätzlich lässt sich aber aus der bivariaten Analyse schließen, dass die Reifenlabels (Nasshaftung, Lärm und Rollwiderstand) kaum direkte lineare Zusammenhänge aufweisen. Einzig der Rollwiderstand und der Lärm scheinen – zumindest für die Winterreifen – einen leicht gegenläufigen Trend und somit einen Zielkonflikt aufzuweisen.

5. Modellierung des Reifenlabels

Die Reifenlabel stellen ein multidimensionales Problem dar, da sie verschiedene Eigenschaften und Kriterien wie z.B. Nasshaftung, Rollwiderstand und Geräuscentwicklung umfassen. Durch die Modellierung können diese verschiedenen Zusammenhänge besser visualisiert und analysiert werden. So können einzelne Einflussfaktoren gesondert betrachtet werden, da sie vom Modell in kontrollierter Weise abgebildet werden.

5.1 Modellbeschreibung

Für die Modellierung wurde ein *Random Forest* – Modell [12] gebildet. Im Modell wurden hierbei folgende Variablen berücksichtigt:

- Kategorische Variablen:
 - Saison-Code (Winter, Sommer, All-Season)
 - XL oder SL-Reifen
- Ordinale Variablen (Werte weisen bestimmte Rangordnung oder Ordnung auf, haben aber keinen festen numerischen Abstand zwischen den Kategorien):
 - Geschwindigkeits-Index
 - Rollwiderstands-Label
 - Nasshaftungs-Label
- Numerische Inputs
 - Reifenbreite
 - Reifendimension (Querschnitt/TireSeries)
 - Reifendurchmesser

Für die Modellbildung wurde eine Hyperparameter-Optimierung durchgeführt, um die beste Kombination an Parametern zu erlangen.

5.2 Modellvalidierung

Das Modell wurde mit vorgängig 10 % ausgesonderten Daten getestet. Das Ergebnis ist in der Abbildung 23 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass das Modell nur ein R^2 von 0.47 aufweist. Der mittlere Fehler beträgt 1.0 dB(A). Dementsprechend sind die Resultate mit gewisser Vorsicht zu interpretieren.

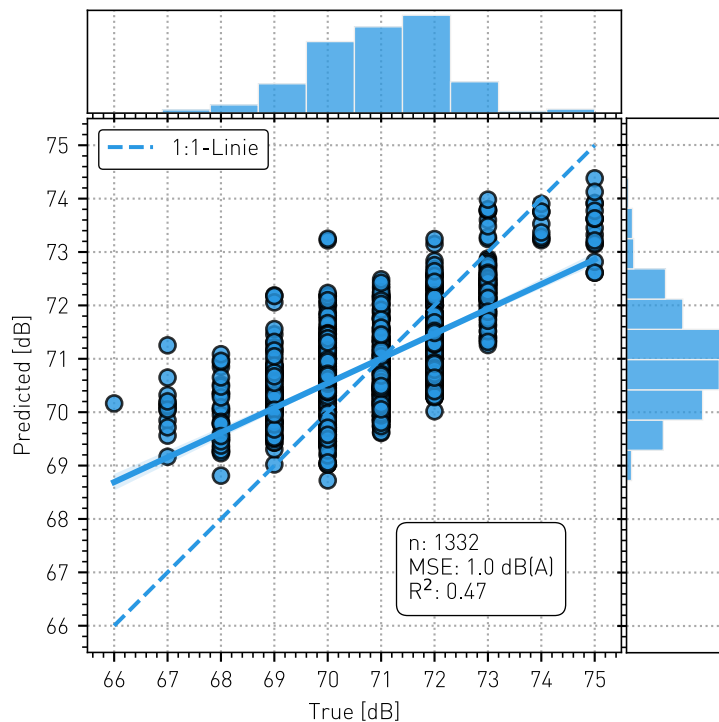


Abbildung 23: Modellvalidierung mit 10 % der Daten.

Auffallend bei der Modell-Performance ist, dass die Reifenlabelwerte unter 69 dB(A) und bei > 74 dB(A) vom Modell relativ schlecht abgebildet werden (vgl. Abbildung 23). Dabei gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass diese Werte im Grundlagendatensatz auch sehr selten anzutreffen sind und somit das Modell eher auf den anderen Daten aufgebaut wurde (vgl. Histogramm auf der X-Achse in Abbildung 23). Weiter kann es auch sein, dass innerhalb der Reifen diese Parameterkombinationen bei anderen Reifen vermehrt vorkommen und bei diesen einfach häufig «zu hoch» angeschrieben werden, folglich kann das Modell diese wenigen Reifen nicht gut abbilden. Zudem ist zu beachten, dass das obige Modell nicht auf der Basis von akustischen Messungen ermittelt wurde, sondern indirekt über das Reifengeräuschlabel erstellt wurde. Aufgrund der relativ hohen Unsicherheiten, die für das EU-Reifenlärm-Label ermittelt wurden [13], sind Einschränkungen hinsichtlich der Vorhersagegenauigkeit des Modells zu erwarten.

5.3 Modellierungsergebnisse

Grundsätzlich kann das Modell für Vorhersagen über die Zielkonflikte in Bezug auf den Lärm verwendet werden. Denn mit dem Modell können einzelne Parameterkombinationen gesondert und isoliert betrachtet wie auch visualisiert werden. Dabei gilt es immer zu beachten, dass es sich hier um eine Vorhersage basierend auf den angeschriebenen Label-Werten handelt. Dementsprechend muss die Vorhersage mit entsprechender Vorsicht interpretiert werden.

5.3.1 Sommerreifen

In der folgenden Abbildung 24 ist zum Beispiel die Vorhersage des Lärm-Labelwerts eines Reifens über die Parameter Rollwiderstand (RR-Label), Nasshaftung (Wet-Grip-Label) und über

verschiedene Reifenbreiten von 185 – 255 mm dargestellt. Dabei wurden folgende Eingangsgrößen modelliert:

- Sommerreifen
- Speed-Code «V» (somit $v < 240$ km/h)
- Tire-Load-Index: 100
- TireSerie: 55
- Reifendurchmesser: 18'

Dies entspricht somit einem Reifen der Bezeichnung XXX/55R18. Mit XXX als Reifenbreite in mm.

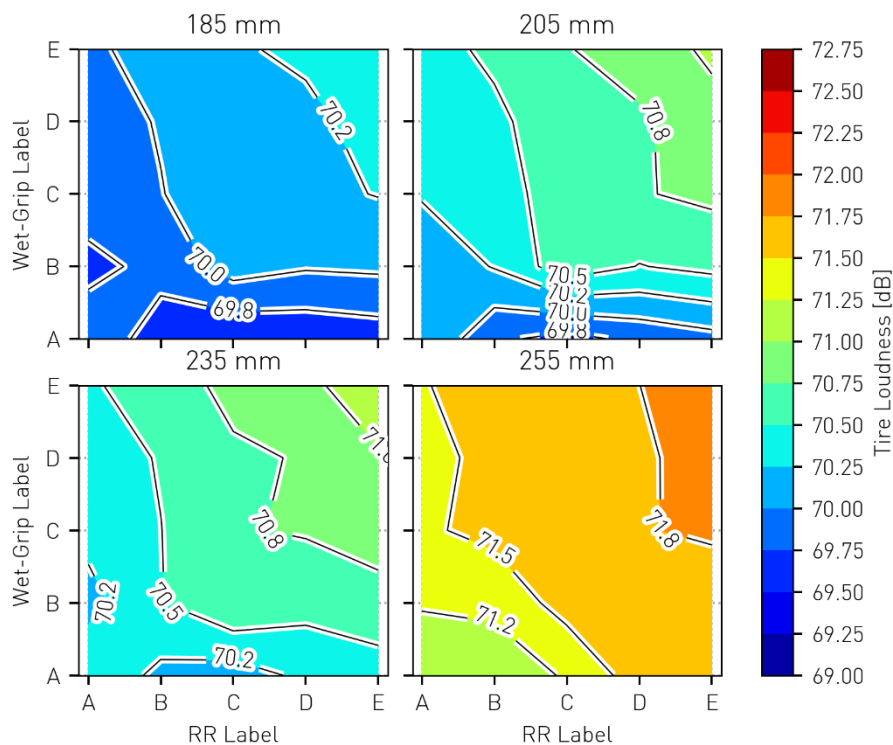


Abbildung 24: Modellierungsergebnisse eines Sommerreifens für verschiedene Reifenbreiten (185 – 225 mm, oben links nach unten rechts). Farblich dargestellt sind die modellierten Schallpegel (rot = laut, blau = leise).

Es ist sehr gut zu erkennen, dass das Modell verschiedene Trends innerhalb der multidimensionalen Analyse abbilden kann. So nimmt die Geräuschemission des Reifens mit zunehmender Breite erwartungsgemäss deutlich zu. Ebenfalls zeigt sich, dass die Geräuschemission mit zunehmenden Diagonalabstand (Links unten nach rechts oben) in der Tendenz zunimmt. Das deutet darauf hin, dass die Reifen, welche in Bezug auf Rollwiderstand und Nasshaftung schlecht abschneiden, in der Tendenz auch die lautesten Reifen sind.

Was sich auch angedeutet, ist, dass die besten Lärmwerte nicht immer beim Rollwiderstandslabel „A“ auftreten. Dies ist bei den Reifenbreiten 185, 205 und 235 mm ersichtlich, wenn man sich entlang der X-Achse bewegt. Wenn man sich entlang der Y-Achse bewegt, nimmt die Geräuschemission mit

zunehmendem Wet-Grip-Label in der Tendenz ebenfalls zu. Somit sind die Reifen mit schlechten Nasshaftungseigenschaften tendenziell auch etwas lauter.

5.3.2 Winterreifen

Dieselbe Analyse wie im vorhergehenden Kapitel 5.3.1 wurde auch für einen Winterreifen vorgenommen und in Abbildung 25 dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Verteilung der Konturlinien nicht gleichermassen diagonal verläuft, wie dies in Abbildung 24 bei den Sommerreifen der Fall ist. Hier zeigt sich vor allem, dass sich die Geräuschemission in Bezug auf das Rollwiderstandslabel etwas anders verhält. So sind die besten Lärmwerte - bei guten Nasshaftungseigenschaften - vornehmlich bei schlechteren Rollwiderstandslabels zu finden. Dieser Trend ist aber nicht sehr ausgeprägt. Denn bei einem Reifen von 185 mm Breite beträgt der Unterschied gerade einmal 0.3 dB(A). Dasselbe ist auch bei den breiteren Reifen zu verzeichnen. Dies lässt sich durch die paarweise Korrelationsanalyse (Abbildung 22) ebenfalls ableiten.

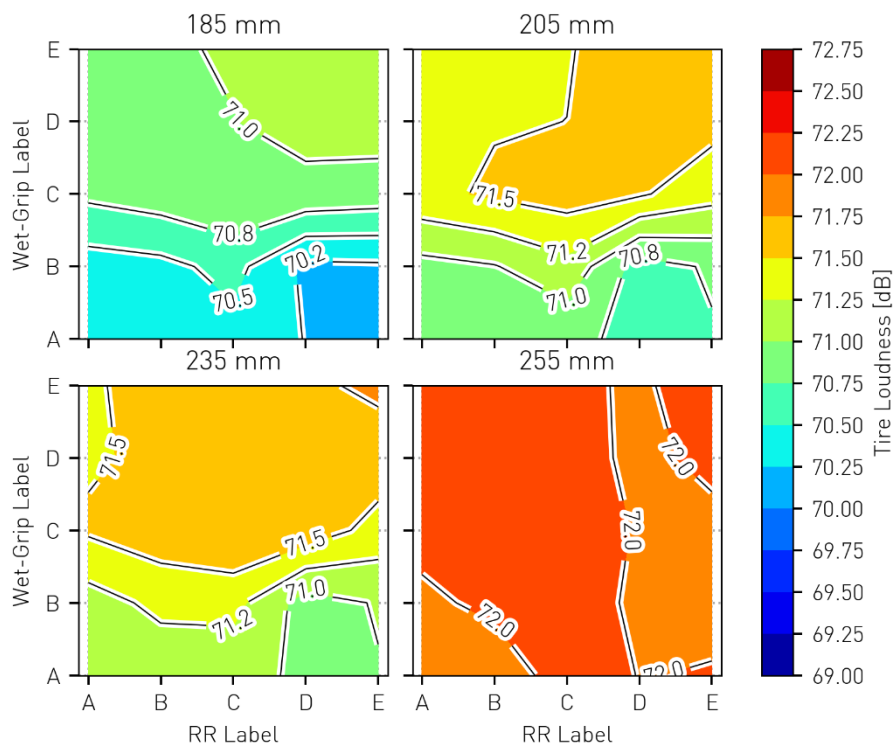


Abbildung 25: Modellierungsergebnisse für einen Winterreifen verschiedene Reifenbreiten (185 – 225 mm, oben links nach unten rechts). Farblich dargestellt sind die modellierten Schallpegel (rot = laut, blau = leise).

5.4 Diskussion der Modellierung

Wie im Kapitel 5.2 erwähnt, vermag das Modell nicht die gesamte Varianz im Datensatz zu erklären. Die Modellierung mit dem Random Forest - Modell zeigte, dass die lärmässig schlechtesten Sommerreifen in der Tendenz bei den anderen Label-Eigenschaften auch schlecht abschneiden.

6. Diskussion

6.1 EU-Lärmlabel

Die Auswertung der Lärmliste zeigte deutlich, dass die meisten Reifen (93.5%) der BFE-Reifenliste innerhalb der Lärmlabelkategorie „B“ zu liegen kommen. Dieser Wert aber je nach Hersteller variiert und bis 29% erreicht). Auf der Lärmetikette sind neben der Lärm-Klassierung in die Kategorien A, B und C auch noch die Schallpegelwerte in Dezibel angegeben. Da Dezibelangaben aber auch abhängig von der Reifenbreite sind, ist eine Unterscheidung für die Konsumierenden ohne absolutes Expertenwissen sehr schwierig. Den Konsumenten stellt dies somit vor Probleme, wenn er/sie auf ein leises Produkt umstellen will. Denn diese Darstellung reduziert den Einfluss der Lärmetikette deutlich. Wenn sowieso immer die Kategorie „B“ angeschrieben wird, gibt es keine Unterscheidungsmöglichkeit für den Konsumenten.

Umgekehrt nimmt die Darstellung des Labels in dieser Form auch die Hersteller aus der Pflicht. Die Reifenhersteller sind gemäss der EU-Verordnung angewiesen, die Reifen entsprechend zu labeln. Dabei ist es erlaubt, sein Produkt lauter anzuschreiben, als effektiv gemessen. Dies ist eine gängige Praxis, um Testkosten zu sparen. Da aber in 92.5 % der Fälle sowieso die Kategorie „B“ auf dem Label erscheint, gibt es auch von dieser Seite nur einen sehr kleinen Anreiz, das Produkt möglichst leise zu gestalten oder auch überhaupt korrekt anzuschreiben. Denn, um eine Verbesserung eines Reifens von der Labelbewertung „B“ nach „A“ zu erreichen, sind grosse Anstrengungen nötig. Bei allen restlichen Kategorien resultiert sowieso nur der Labelwert „B“. Die Anstrengungen für leisere Reifen sind folglich – bei geringen Reduktionen – nur in der Dezibelangabe ersichtlich, was die «normalen» Konsumierenden kaum unterscheiden kann. Der Anreiz für die Reifenhersteller, einen etwas leiseren Reifen auf den Markt zu bringen, dürfte daher ebenfalls begrenzt sein. Da die Lärmlabelkategorie C defakto illegal ist, kann sie sowohl für Hersteller und Konsumenten eigentlich nutzlos.

Da das Lärmlabel sehr oft in die Lärmkategorie „B“ fällt, gibt es für die Reifenhersteller auch keinen Anreiz, das Produkt korrekt anzuschreiben respektive genau zu testen. Ein Reifenhersteller kann den Reifen einfach auf den Grenzwert anschreiben, obwohl der Reifen eigentlich leiser wäre. In Bezug auf den Labelwert gibt es mit dieser Praxis keinen Unterschied, jedoch aber kann der Reifenhersteller dadurch (teure) Testkosten sparen. Viele dieser Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen aus dem Projekt *Strengthening the Effect of Quieter Tyres on European Roads (STEER)* [13].

Es zeigte sich ebenfalls, dass ein grosser Teil der Reifen dem XL-Reifensegment zuzuweisen sind, und damit von einem erhöhten Lärmgrenzwert von +1 dB(A) profitieren. Es scheint aus akustischer Sicht logisch, dass steifere Reifen mit potenziell härteren Gummimischungen tendenziell lauter sind. Allerdings wurde im FEHRL-Bericht [1, S. 46,105], basierend auf einem sehr limitierten Datensatz, gefolgert, dass diese verstärkten Reifen im Vergleich zu normalen Reifen keinen signifikant höheren Schallpegel produzierten und somit diese Ausnahmeregelung überdenkt werden sollte. Demgegenüber hat De Graaff und van Blokland in [14] festgestellt, dass die verstärkten Reifen ca. 1 dB(A) höheren Schallpegel produzierten und daher die Grenzwerterhöhung gerechtfertigt ist. In diesem Bericht ist aufgrund der Labelwerte keine qualifizierte Aussage über die effektive Lärmzunahme von verstärkten oder XL-Reifen möglich. In der hier präsentierten Analyse ist es einfach

aufgefallen, dass 57.2 % der Reifen in diese „Regelung“ fallen und somit mehr als die Hälfte der Reifen ausmachen.

6.2 Verfügbarkeit von Reifen

Es zeigte sich, dass nur gerade 7.4 % aller Reifen der BFE-Reifenliste in die Lärmlabelkategorie „A“ fallen. Im Hinblick auf die Verfügbarkeit der gut abschneidenden Sommerreifen zeigte sich weiter, dass nur zehn Reifen aus der ganzen Reifenliste einem AAA-Reifen (A-Bewertung in Bezug auf Lärm, Rollwiderstand und Nasshaftung) entsprechen. Dies sind allesamt XL-Reifen, welche von einer Grenzwertreduktion von 1 dB(A) profitieren und deswegen das A-Label in Bezug auf den Lärm einfacher erreichen.

Wenn aber das Kriterium in Bezug auf Rollwiderstand- und Nasshaftungslabel etwas „aufgeweicht“ wird und das Label „B“ in diesen zwei Kategorien akzeptiert wird, ist, zumindest für Sommerreifen, mit 172 Reifen eine bestimmte Auswahl verfügbar. Für Winterreifen wie auch All-Season-Reifen finden sich kaum solche, die diesem „aufgeweichten“ Kriterium genügen. Der Grund dafür ist, dass diese Reifen meistens beim Rollwiderstand schlechtere Werte aufweisen. Diese erhöhten Rollwiderstandswerte sind für die Winterreifen nicht erstaunlich, da diese eine gewollt grössere Profilierung mit hoher Haftreibung aufweisen.

6.3 Zielkonflikte

Die bivariaten Korrelationsanalysen basierend auf den Labelwerten, wie sie bereits in verschiedensten Studien [1], [2], [3], [4] präsentiert wurde, zeigten grundsätzlich keine signifikanten Zielkonflikte zwischen den Labelwerten Nasshaftung, Rollwiderstand und Lärm. Es konnte insbesondere hinsichtlich der Nasshaftung sogar schwache Tendenzen zu einer positiven Korrelation aufgezeigt werden. Dies wurde durch die multivariate Analyse ebenfalls noch bestätigt. So zeigte sich zumindest für Sommerreifen, dass es durchaus sehr gute Reifen in allen Kategorien (Nasshaftung, Rollwiderstand) gibt. Ebenfalls konnte die Modellierung zeigen, dass die besten Reifen tendenziell bei guten Nasshaftung und Rollwiderstandslabels zu finden sind.

Basierend auf der Literatur [1], [2], [3], [4] und den Erkenntnissen aus dieser Studie zeigt sich, dass grundsätzlich keine schwerwiegenden Zielkonflikte zwischen den drei Grössen Rollwiderstand, Nasshaftung und Lärm ersichtlich sind. Dies steht im Gegensatz zur ETRTO-Studie [5], bei welcher die Zielkonflikte zwischen Nasshaftung und Lärm gefunden wurden. Es ist jedoch zu bemerken, dass diese gefundenen Zielkonflikte zumindest teilweise auf die selektive Auswahl von Reifen (inklusive zwei Profillosen Reifen) zurückzuführen sind. Denn es ist offensichtlich, dass ein glatter Reifen ohne Profil in Bezug auf Nasshaftung schlecht abschneidet.

Bei der Analyse von Zielkonflikten allein auf der Basis von Labelwerten ist unbedingt zu beachten, dass die drei Labels (Nasshaftung, Rollwiderstand und Lärm) nicht allgemein gültig sind, da sie bei einem spezifischen Testsetup erhoben worden sind. Auch bei der Reifenoptimierung gibt es noch eine Vielzahl weiterer Parameter, die zu berücksichtigen sind und die sich ggf. deutlicher als Zielkonflikte im Designprozess manifestieren können. Auch die Reduzierung der Sicherheitsmerkmale allein auf das Nasshaftungsetikett ist sicherlich unzureichend, da es nur eines von mehreren möglichen sicherheitsrelevanten Merkmalen darstellt.

6.4 Handlungsbedarf:

- Aus Sicht des Lärmschutzes und zur besseren Information der Verbraucher ist eine Überarbeitung des Reifenlabels in Bezug auf Lärm dringend erforderlich: Anpassung des Lärmlabels in feinere Kategorien inkl. Aufhebung der leeren/unsinnigen Klasse C > LV. (z.B. von A bis E), die die Konsumierenden klar informieren (vgl. Schlussfolgerungen und Empfehlungen in [13]). Mit dieser Umsetzung könnten zudem für die Reifenentwicklung grössere Anreize geschaffen werden weitere Verbesserungen hinsichtlich der Lärmentwicklung von Reifen vorzunehmen.
- Überarbeitung der Darstellung durch z. B. zusätzliche farbliche Abgrenzung des Lärmwerts, ähnlich wie bei den anderen Labelkategorien
- Überarbeitung der Ausnahmeregelung der Extra-Load-Reifen. Dies beinhaltet die Überprüfung, ob die Ausnahmeregelung in Bezug auf den Lärm effektiv gerechtfertigt ist. Dies im Hinblick, dass es bei den Sommerreifen in Bezug auf die Absolutpegel einen Unterschied gibt von 1 dB, dies aber bei Winterreifen sich nicht zeigt (Vgl. Kapitel 3.2.1).
- Spezielle Hervorhebung von AAA-Reifen als „Testsieger“. Dadurch werden für die Reifentwicklung grössere Anreize geschaffen, Reifenprodukte bezüglich aller drei Performancedimensionen zu perfektionieren.

7. Literatur

- [1] FEHRL, «STUDY SI2.408210 TYRE/ROAD NOISE, Volume 1: Final Report». 2006. [Online]. Verfügbar unter: https://www.laerminfo.at/dam/jcr:88f53d8e-4333-4975-a7ca-b3ee780dbb5f/report_tyre_road_noise1_en.pdf
- [2] Sascha Grunder, «Analyse EU-Reifenlabel Klassen, Eine Abschätzung der Korrelation zwischen den Werten für Aussengeräusch, Nassbremsen und Rollwiderstand und deren Veränderung über die Jahre 2016 bis 2019», Touring Club Schweiz, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/laerm/externe-studien-berichte/analyse-eu-reifenlabel-klassen.pdf.download.pdf/Analyse_Labelwerte_TCS2020.pdf
- [3] U. Sandberg und J. A. Ejsmont, «Tyre/road noise: reference book», 2002.
- [4] E. de Graaff und G. van Blokland, «Exterior noise, grip and rolling resistance levels of C1, C2 and C3 tyres in relation to the tyre noise directive (EU directive 2001/43/EC) and consumer interests.», gehalten auf der INTER-NOISE 2007, Istanbul, Turkey, 2007.
- [5] ETRTO (European Tyre and Rim Technical Organisation), «ETRTO Tyre Performance Study», gehalten auf der GRBP 73rd session, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://unece.org/sites/default/files/2021-01/GRBP-73-11e.pdf>
- [6] Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union, *Verordnung Nr. 1222/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über die Kennzeichnung von Reifen in Bezug auf die Kraftstoffeffizienz und andere wesentliche Parameter (Text von Bedeutung für den EWR)*, Bd. 32009R1222. 2012.
- [7] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, *Verordnung (EU) 2020/740 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über die Kennzeichnung von Reifen in Bezug auf die Kraftstoffeffizienz und andere Parameter, zur Änderung der Verordnung (EU) 2017/1369 und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1222/2009 (Text von Bedeutung für den EWR)*, Bd. 32020R0740. 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0740>
- [8] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE), *Regelung Nr. 117 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Reifen hinsichtlich der Rollgeräuschemissionen und der Haftung*

- auf nassen Oberflächen und/oder des Rollwiderstandes, Bd. 42011X1123(03). 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A42011X1123%2803%29>
- [9] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, *Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 78/2009, (EG) Nr. 79/2009 und (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnungen (EG) Nr. 631/2009, (EU) Nr. 406/2010, (EU) Nr. 672/2010, (EU) Nr. 1003/2010, (EU) Nr. 1005/2010, (EU) Nr. 1008/2010, (EU) Nr. 1009/2010, (EU) Nr. 19/2011, (EU) Nr. 109/2011, (EU) Nr. 458/2011, (EU) Nr. 65/2012, (EU) Nr. 130/2012, (EU) Nr. 347/2012, (EU) Nr. 351/2012, (EU) Nr. 1230/2012 und (EU) 2015/166 der Kommission (Text von Bedeutung für den EWR)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A32019R2144>
- [10] F. Schlatter, D. Schweizer, und E. Bühlmann, «Analyse TCS-Reifenliste Schweiz Mehrdimensionale Analyse von Reifenlabels», Grolimund-Partner AG, Bern, 2021.
- [11] FEHRL, «STUDY SI2.408210 TYRE/ROAD NOISE VOLUME 2: APPENDICES», 2006. [Online]. Verfügbar unter: https://www.laerminfo.at/dam/jcr:8f62da47-67e7-406e-aeae-5fd327dc37de/report_tyre_road_noise2_en.pdf
- [12] L. Breiman, «Random Forests», *Mach. Learn.*, Bd. 45, Nr. 1, S. 5–32, 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.
- [13] E. Bühlmann, U. Sandberg, T. Berge, L. Goubert, und F. Schlatter, *Call 2018 Noise and Nuisance: STEER Final Report*, Nr. June. CEDR, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.cedr.eu/docs/view/6373a6fec0dc7-en>
- [14] «de Graaff und van Blokland - Exterior noise, grip and rolling resistance levels.pdf».

Grolimund + Partner AG



Felix Schlatter



Erik Bühlmann