

Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 312

bast

Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

von

Andreas Hegewald
Andreas Vesper
Marco Irzik
Rainer Krautscheid
Klaus Sander
Arne Lorenzen
Udo Löffler
Oliver Ripke
Franz Bommert

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Bergisch Gladbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 312

baSt

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: F1100.61108009
Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 – 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 – 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-427-2

Bergisch Gladbach, November 2018

Kurzfassung – Abstract

Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

An Landstraßen ist das Abkommen von der Fahrbahn nach rechts (Unfallart 8) die häufigste Unfallart bei Unfällen mit Personenschaden und Unfällen mit Schwerverletzten (DESTATIS, 2012). Da sowohl zahlreiche internationale Untersuchungen für Autobahnen als auch einige wenige für Landstraßen gezeigt haben, dass ein nicht unerheblicher Anteil von Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach rechts durch neben den Fahrstreifen in den Randstreifen eingefräste Rüttelstreifen vermieden werden können, war es Ziel dieser Untersuchung, eine geeignete Form von Rüttelstreifen für Landstraßen zu identifizieren und diese auf ausgewählten Pilotstrecken umzusetzen, um anschließend deren Sicherheitswirkung zu untersuchen. Da internationale Erfahrungen auch von einer positiven Sicherheitswirkung von in den Mittelstreifen eingefrästen Rüttelstreifen berichten, sollte auch diese Maßnahme pilothaft betrachtet werden.

Im ersten Untersuchungsteil wurden im Rahmen einer Literaturanalyse zunächst die internationalen Erfahrungen ausgewertet. Bezüglich der Form der Rüttelstreifen wurde schnell deutlich, dass auf Landstraßen sinus- oder ellipsenförmige Rüttelstreifen dem klassischen rechteckigen Rüttelstreifen vorzuziehen sind, da diese ein geringes Außengeräusch erzeugen und die Befahrbarkeit mit Einspurfahrzeugen (Fahrrad, Motorrad) unkritischer ist.

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Literatur wurden im nächsten Schritt für zwölf verschiedene Rüttelstreifenvarianten empirische Untersuchungen (Schwingungs- und Lärmmessungen mit Zweispurfahrzeugen sowie Fahrversuche mit Einspurfahrzeugen) auf einer abgesperrten Teststrecke durchgeführt. Die zwölf Rüttelstreifenvarianten unterschieden sich dabei sowohl hinsichtlich der Grundform als auch hinsichtlich der Abmessungen. Als Vorzugsvariante wurde eine völlig neue Form von Rüttelstreifen (Kombination aus Ellipsen- und Sinusform) identifiziert.

Diese Form wurde im nächsten Schritt auf zwei geeigneten Pilotstrecken (4,15 km langer Abschnitt der B 55 bei Warstein in NW und 2,8 km langer Abschnitt der B 313 bei Trochtelfingen in BW) in den Randstreifen gefräst. Zudem wurde auf einem 2,75 km langen 2+1-Abschnitt der B 33 bei Triberg

in BW der Rüttelstreifen in den Mittelstreifen eingefräst. Auf allen drei Pilotstrecken wurden die Rüttelstreifen im Jahr 2010 gefräst.

Auf Basis eines dreijährigen Nachherzeitraums nach Fräsen der Rüttelstreifen lässt sich die Sicherheitswirkung wie folgt zusammenfassen:

Die in den Randstreifen gefrästen Rüttelstreifen erwiesen sich auf den beiden Pilotstrecken als wirksame Maßnahme zur Reduktion von Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach rechts (U-Art 8). Die positiven internationalen Erfahrungen konnten somit, wenngleich auch nur auf Basis einer äußerst geringen Datengrundlage, bestätigt werden.

Für den 2+1-Abschnitt der B 33, auf dem die Rüttelstreifen im Mittelstreifen eingefräst wurden, zeigt sich, dass die Maßnahmenwirkung bezogen auf die Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr (U-Art 4) und Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach links (U-Art 9) zum Teil negativ ist. Entgegen der internationalen Erfahrungen konnte im Rahmen der durchgeführten Pilotstudie somit keine positive Maßnahmenwirkung festgestellt werden.

Die im Rahmen der durchgeführten Pilotstudie an Landstraßen ermittelten Maßnahmenwirksamkeiten von in den Fahrbahnrand und in den Mittelstreifen gefrästen Rüttelstreifen konnten aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs, der den Untersuchungen zugrunde lag, kein allgemeingültiges Ergebnis darstellen. Im Fall der in den Randstreifen gefrästen Rüttelstreifen konnten durch die Pilotstudien jedoch die positiven internationalen Erfahrungen mit dieser infrastrukturellen Maßnahme bestätigt werden, sodass deren Einsatz an spezifischen Problemstellen im Bestand unter den im Rahmen dieses Projekts definierten Randbedingungen als eine mögliche Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Betracht gezogen werden sollte.

Ein flächendeckender Einsatz von in den Randstreifen gefrästen Rüttelstreifen auf Landstraßen erscheint vor dem Hintergrund der fortschreitenden Verbreitung von Spurhalteassistenten hingegen nicht angezeigt.

Bezüglich der Wirksamkeit von in Mittelstreifen eingefrästen Rüttelstreifen konnten die positiven internationalen Erfahrungen mittels der betrachteten Pilotstrecke nicht bestätigt werden. Bevor jedoch diese Maßnahme endgültig verworfen wird, sollten hierzu weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Abschließend wurde noch die Dauerhaftigkeit des im Jahr 2003 auf einem 36 km langen Abschnitt der

BAB A 24 bei Herzsprung gefrästen rechteckigen Rüttelstreifens bewertet. Im Ergebnis der Laserprofilmessung konnten keine Kantenausbrüche sowohl längs als auch quer zur Fahrtrichtung festgestellt werden.

Safety effect, durability and noise emission of milled rumble strips

Running off the roadway to the right (accident type 8) is the most common accident type for accidents involving personal injury and serious personal injury on rural roads (DESTATIS, 2012). Since numerous international studies for motorways as well as a few for rural roads have shown that a considerable proportion of run-off-road accidents to the right can be avoided by means of rumble strips milled into the hard shoulder next to the lane, the aim of this study was to identify a suitable form of rumble strip for rural roads and to implement this on selected pilot routes in order to subsequently investigate its safety effect. Since international experiences also report a positive safety effect of rumble strips milled into the central reservation, this measure was also to be examined in a pilot application.

In the first part of the study, the international experiences were first evaluated within the framework of a literature analysis. With regard to the shape of the rumble strips, it quickly became clear that sinusoidal or elliptical rumble strips are preferable to the classic rectangular rumble strips on rural roads, as these generate a low external noise and their passability is less critical for single-track vehicles (bicycles, motorcycles).

Based on the findings from the literature, empirical investigations (vibration and noise measurements with two-track vehicles as well as driving tests with single-track vehicles) were carried out on a closed-off test track for twelve different rumble strip variants in the next step. The twelve rumble strip variants differed with regard to both the basic shape and the dimensions. A completely new form of rumble strip (combination of elliptical and sinusoidal shape) was identified as the preferred variant.

In the next step, this shape was milled into the hard shoulder on two suitable pilot sections (4.15 km long section of the B 55 near Warstein in North Rhine Westphalia and 2.8 km long section of the B 313 near Trochtelfingen in Baden-Wuerttemberg). In addition, on a 2.75 km long 2+1 section of the B 33 near Triberg in BW, the rumble strip was

milled into the central reservation. On all three pilot sections the rumble strips were milled in 2010.

On the basis of a three-year follow-up period after milling the rumble strips, the safety effect can be summarized as follows:

The rumble strips milled into the hard shoulder proved to be an effective measure for reducing the number of run-off-road accidents to the right (accident type 8). The positive international experiences could thus be confirmed, albeit only on the basis of an extremely low data basis.

For the 2+1 section of the B 33, on which the rumble strips were milled in the central reservation, it can be seen that the effect of the measure in relation to collisions with oncoming traffic (accident type 4) and run-off-road accidents to the left (accident type 9) is partly negative. Contrary to international experience, therefore, the pilot study carried out did not reveal any positive impact of this measure.

The effectiveness of rumble strips milled into the roadside and the central reservation determined within the framework of the pilot study on rural roads could not represent a generally valid result due to the small sample size on which the investigations were based. In the case of the rumble strips milled into the hard shoulder, however, the pilot studies could confirm the positive international experience for this infrastructural measure, so that their use at existing specific problem areas under the boundary conditions defined within the framework of this project should be considered as a possible measure for improving traffic safety.

However, the widespread use of rumble strips milled into the hard shoulder on rural roads does not appear to be appropriate against the background of the progressive spread of lane departure warning systems.

With regard to the effectiveness of rumble strips milled into the central reservation, the positive international experience could not be confirmed by means of the examined pilot section. However, further investigations should be carried out before this measure is definitely rejected.

Finally, the durability of the rectangular rumble strip milled on a 36 km long section of the A 24 motorway at Herzsprung in 2003 was evaluated. As a result of the laser profile measurement, no edge breaks could be detected both lengthwise and crosswise to the direction of travel.

Inhalt

1	Einleitung	7	4.3.3	Einschränkung der Untersuchung	30
2	Literaturrecherche	8	4.4	Maßnahmenwirkung	30
3	Variantenuntersuchung von eingefrästen Rüttelstreifen	9	4.5	Pilotuntersuchungen	31
3.1	Varianten von Rüttelstreifen	9	4.5.1	SRS-Pilotstrecke B 55 (NW)	31
3.2	Testfeld	11	4.5.2	SRS-Pilotstrecke B 313 (BW)	33
3.3	Versuchsfahrzeuge	11	4.5.3	CRS-Pilotstrecke B 33 (BW)	35
3.4	Untersuchungsmethodik	12	4.6	Fazit	39
3.5	Schwingungen und Innengeräusche bei Zweispurfahrzeugen	12	4.6.1	Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS)	39
3.5.1	Messequipment	12	4.6.2	Rüttelstreifen im Mittelstreifen (CRS)	40
3.5.2	Messdurchführung	12	4.7	Empfehlungen	40
3.5.3	Messergebnisse	14	4.7.1	Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS)	40
3.5.4	Zusammenfassung	18	4.7.2	Rüttelstreifen im Mittelstreifen (CRS)	40
3.6	Außengeräusche von Zweispurfahrzeugen	20	5	Dauerhaftigkeit	41
3.6.1	Messdurchführung	20	6	Zusammenfassung	42
3.6.2	Messergebnisse	21	Literatur		43
3.6.3	Zusammenfassung	22	Bilder		45
3.7	Schwingungen und Fahrdynamik bei Einspurfahrzeugen	22	Tabellen		46
3.7.1	Messdurchführung und -equipment	22	Anhang – Unfalldatensatzbeschreibung		48
3.7.2	Ergebnisse – Fahrrad	23			
3.7.3	Ergebnisse – Motorrad	24			
3.7.4	Zusammenfassung	26			
3.8	Bewertung	26			
4	Sicherheitswirkung	28			
4.1	Erforderlicher Untersuchungs- umfang	28			
4.2	Entwicklung Verkehrsunfälle	28			
4.3	Auswahl Untersuchungskollektiv	29			
4.3.1	Ursprüngliche Auswahlkriterien	29			
4.3.2	Auswahl der Untersuchungs- strecken	29			

1 Einleitung

Im Jahr 2011 wurden 4.009 Menschen bei Verkehrsunfällen getötet, davon rund 60 % (2.441) auf Landstraßen (DESTATIS, 2012). Die drei dominierenden Unfallarten auf Landstraßen hinsichtlich tödlich verunglückter Verkehrsteilnehmer sind nachfolgend aufgeführt:

- 751 Getötete bei Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr (31 %),
- 544 Getötete bei Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach rechts (22 %),
- 421 Getötete bei Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach links (17 %).

Der Kontrollverlust über das Fahrzeug infolge nicht angepasster Geschwindigkeit oder infolge eines Konfliktes mit einem anderen Fahrzeug ist gemäß der amtlichen Statistik die Hauptursache für diese Unfälle. Daneben wird vermutet, dass ein nicht unerheblicher Teil der Unfälle durch Übermüdung und Unaufmerksamkeit verursacht wird.

Wie viele Unfälle auf Landstraßen den Unfallursachen Übermüdung und Unaufmerksamkeit zuzuordnen sind, ist nur schwer abschätzbar. Auf Straßen außerhalb von Ortschaften (Landstraßen und Autobahnen) waren laut DESTATIS (2012) im Jahr 2011 von 95.839 Unfällen mit Personenschaden 1.390 (1,5 %) auf die Unfallursache Übermüdung zurückzuführen. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der tatsächliche Anteil ermüdungsbedingter Unfälle deutlich höher ist, insbesondere auf Autobahnen sowie bei den besonders schweren Unfällen.

Bei der Unfallursache Unaufmerksamkeit ist eine Abschätzung noch schwieriger als bei der Unfallursache Übermüdung, da es im amtlichen Unfallursachenverzeichnis eine solche Ursache nicht gibt. Es wird jedoch vermutet, dass ein erheblicher Anteil der Unfälle der Unfallursache „Andere Fehler beim Fahrzeugführer“ auf die Unaufmerksamkeit der Fahrzeugführer zurückgeführt werden kann (eigene Schätzung auf Basis der Unfalltexte in Unfallanzeigen).

Zur Prävention von Unfällen infolge Übermüdung und Unaufmerksamkeit gibt es eine Reihe von Maßnahmen (z. B. Fahrerassistenzsysteme). Eine mögliche infrastrukturelle Maßnahme sind parallel zur Fahrtrichtung eingefräste sogenannte Rüttelstreifen¹.

Vom Fahrstreifen abkommende Fahrzeugführer erhalten durch den Rüttelstreifen ein haptisches und akustisches Signal, wodurch ein Unfall möglicherweise noch vermieden bzw. zumindest die Unfallschwere etwas minimiert werden kann.

Im amerikanischen und skandinavischen Raum werden Rüttelstreifen auf Landstraßen in der Fahrbahnmitte – sogenannte Centre Rumble Strips (CRS) – sowohl zur Vermeidung von Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr als auch von Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn nach links schon seit einigen Jahren erfolgreich eingesetzt. Zur Vermeidung von Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach rechts werden dort, wo auf Landstraßen ein ausreichend breiter Seitenstreifen vorhanden ist, auch sogenannte Shoulder Rumble Strips (SRS), d. h. Rüttelstreifen im Seiten- bzw. Randstreifen eingesetzt.

Über die Wirkung von Rüttelstreifen auf die Verkehrssicherheit auf Landstraßen liegen in Deutschland bislang keine Erkenntnisse vor. Ob Rüttelstreifen auch auf Landstraßen einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten können, soll im Rahmen dieser Untersuchung analysiert werden.

Insgesamt ist die Untersuchung dreigeteilt. Im ersten Untersuchungsteil wurden unterschiedliche Formen und Abmessungen von eingefrästen Rüttelstreifen vor dem Hintergrund der Lärmemission, der Wirksamkeit sowie der Befahrbarkeit mit Einspurfahrzeugen beurteilt. Im zweiten Untersuchungsteil erfolgte die Umsetzung der Vorzugsvariante auf geeigneten Pilotstrecken, welche auf Basis des Unfallgeschehens sowie der örtlichen Randbedingungen ausgewählt wurden. Auf diesen Untersuchungsstrecken wurde in durchgeführten Pilotversuchen die Sicherheitswirksamkeit der ausgewählten Rüttelstreifenvariante exemplarisch untersucht. Im letzten Untersuchungsteil wurde die Dauerhaftigkeit von eingefrästen Rüttelstreifen untersucht.

¹ Wenn im Weiteren von Rüttelstreifen die Rede ist, sind damit stets parallel zur Fahrtrichtung eingefräste Rüttelstreifen gemeint, sofern nicht explizit anders bezeichnet.

2 Literaturrecherche

Es gibt unterschiedliche Formen und Abmessungen von eingefrästen Rüttelstreifen. Neben den klassischen rechteckigen Rüttelstreifen gibt es ellipsen- und sinusförmige Rüttelstreifen. Ellipsen- und sinusförmige Rüttelstreifen bieten die Vorteile, dass die Lärmemission im Vergleich zu den rechteckigen Rüttelstreifen geringer (gleichzeitig ist die haptische und akustische Rückmeldung im Fahrzeug jedoch auch geringer) und die Befahrbarkeit mit Zweirädern etwas besser ist (GARDNER et al., 2007; KRAGH et al., 2007). Diese beiden Formen werden daher primär in der Nähe zu bebauten Gebieten und auf Landstraßen mit zugelassenem Radverkehr eingesetzt.

Die Abmessungen der Rüttelstreifen beeinflussen die Stärke der haptischen und akustischen Rückmeldung im Fahrzeug. In einer Untersuchung von unterschiedlichen Abmessungen von rechteckigen Rüttelstreifen kommen MILES et al. (2007) zu dem Ergebnis, dass die haptische und akustische Rückmeldung umso größer ist, je breiter die Rüttelstreifen sind, je kleiner der Abstand zwischen zwei Rüttelstreifen ist und je größer die Rüttelstreifenlänge ist.

Zahlreiche internationale Untersuchungen zur Wirksamkeit von Rüttelstreifen entlang des Seitenstreifens von Autobahnen (Freeways, Interstates) belegen eine Verbesserung der Verkehrssicherheit (LIGON et al., 1985; CHAUDOIN et al., 1985; GRIFFITH, 1999; CHENG et al., 1994; GÄRDER et al., 1995; PERRILLO, 1998; ANNINO, 2003; STUTTS, 2000; HARWOOD, 1993; MORENA, 2003; MARVIN et al., 2003; CHEN et al., 2003; CARRASCO et al., 2004; PATEL et al., 2007). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden von TORBIC et al. (2009) wie folgt zusammengefasst:

- Reduktion aller Unfälle um 13 bis 33 % (im Mittel: 21 %),
- Reduktion von Alleinunfällen mit Abkommen von der Fahrbahn um 10 bis 80 % (im Mittel: 36 %).

Die doch deutlichen Unterschiede insbesondere bei den Rückgängen der Alleinunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn sind am ehesten darauf zurückzuführen, dass bei den Untersuchungen verschiedene Untersuchungsmethoden gewählt wurden. Die deutlichen Rückgänge wurden ausschließlich bei Untersuchungen mit einfachem Vorher-Nachher-Vergleich ohne Kontrollstrecke ermittelt. Bei dieser

Untersuchungsmethodik wird die Wirksamkeit der Maßnahme in der Regel deutlich überschätzt, da verschiedene Randbedingungen, die auf das Unfallgeschehen Einfluss haben, nicht berücksichtigt werden.

Die von ELVIK et al. (2009) im Rahmen einer Metaanalyse ermittelten Sicherheitseffekte von eingefrästen Rüttelstreifen im Seitenstreifen sind im Gegensatz zu den von TORBIC et al. (2009) ermittelten Effekten etwas geringer. Dies begründet sich in der Vorgehensweise, dass ELVIK et al. (2009) gewisse Grundanforderungen an die Methodik der in die Metaanalyse einbezogenen Untersuchungen hatten und sowohl Untersuchungen auf Autobahnen als auch auf Landstraßen betrachtet haben. Die Ergebnisse der Metaanalyse von ELVIK et al. (2009) zu SRS sind in Tabelle 1 dargestellt.

Untersuchungen in Schweden bestätigen die positive Sicherheitswirkung von SRS an Autobahnen. An zwei Streckenabschnitten mit einer Gesamtlänge von ca. 200 km konnte nach Einbau der SRS ein Rückgang von Alleinunfällen von 27 % ermittelt werden (IRDES, 2011).

In Deutschland wurde die Sicherheitswirkung von eingefrästen Rüttelstreifen bisher für eine 36 km lange Pilotstrecke entlang der A 24 ermittelt. LERNER et al. (2009) konnten für diese Strecke durch einen Vorher-Nachher-Vergleich mit Kontrollgruppe einen maßnahmenbedingten Rückgang aller Unfälle um 1 % sowie einen Rückgang der Alleinunfälle um 7 % und der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts um 43 % ermitteln. Im Vergleich mit den Ergebnissen von TORBIC et al. (2009) und ELVIK et al. (2009) ist die von LERNER et al. (2009) ermittelte Sicherheitswirkung bei Betrachtung aller Unfälle sowie der Alleinunfälle deutlich geringer. Dies kann möglicherweise mit der Untersuchungsmethodik erklärt werden, aber unter Umständen auch damit zusammenhängen, dass die Rüttelstreifen in Deutschland, anders als in den USA, deutlich weiter von der rechten Fahrbahnbegrenzungslinie abgerückt, in einem Abstand von 900 mm gefräst wurden. Nach TORBIC et al. (2009) hat der Abstand der Rüttelstreifen zur Fahrbahnbegrenzungslinie insbesondere bei der Betrachtung von schweren Alleinunfällen mit Abkommen von der Fahrbahn einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme.

Von TORBIC et al. (2009) wurden ebenfalls zahlreiche Untersuchungen zu CRS und SRS auf Land-

Accident severity	Percentage change in the number of accidents		
	Types of accident affected	Best estimate	95% confidence interval
Shoulder Rumble Strips (motorways + rural roads)			
Unspecified	All accidents	-10	(-21; +4)
Unspecified	Single vehicle accidents	-25	(-41; -5)
Unspecified	Road departure accidents		
	Controlled for publication bias:	-16	(-41; +20)
	Not controlled for publication bias:	-44	(-59; -24)
Injury accidents	Road departure accidents	-52	(-80; +14)
Centre Rumble Strips (rural roads)			
Unspecified	All accidents	-4	(-19; +13)
Unspecified	Head-on collisions	-24	(-33; -13)
Unspecified	Accidents in daylight	-8	(-16; +0)
Unspecified	Accidents at night	-15	(-23; -7)

Tab. 1: Wirkung von SRS und CRS an Autobahnen und Landstraßen (ELVIK et al., 2009)

straßen zusammengefasst. Nach TORBIC et al. (2009) reduzieren SRS auf zweistreifigen Landstraßen die Anzahl von Alleinunfällen, bei denen das Fahrzeug von der Fahrbahn abkommt, um 15 % (29 % bei Betrachtung der Unfälle mit Personenschaden dieser Konstellation).

Die Wirkung der CRS wird wie folgt zusammengefasst:

- Reduktion aller Unfälle um 9 %,
- Reduktion der Unfälle mit Personenschaden um 12 %,
- Reduktion von Zusammenstößen mit den Gegenverkehr um 30 % (um 44 % bei Unfällen mit Personenschaden dieser Konstellation).

Wie bereits für die SRS auf Autobahnen gezeigt, ermittelten ELVIK et al. (2009) auch für die Landstraßen methodenbedingt etwas geringere Wirksamkeiten von CRS als TORBIC et al. (2009). Die Ergebnisse der Metaanalyse von ELVIK et al. (2009) zu CRS sind ebenfalls in Tabelle 1 dargestellt. Danach kann die Anzahl von Zusammenstößen mit den Gegenverkehr durch CRS um 24 % reduziert werden.

RAJAMÄKI (2010) untersuchte die Sicherheitswirkung von eingefrästen CRS und SRS in Finnland. Im Rahmen eines Vorher-Nachher-Vergleiches mit Kontrollstrecke kommt er für Landstraßen (3.000 km) zu dem Ergebnis, dass 10 % der Unfälle mit Personenschaden mit Abkommen von der Fahr-

bahn nach links sowie Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr und ungefähr 3 % aller Unfälle durch CRS vermieden werden konnten.

3 Variantenuntersuchung von eingefrästen Rüttelstreifen

3.1 Varianten von Rüttelstreifen

Auf Basis der Literaturrecherche wurden neun verschiedene Varianten von Rüttelstreifen sowie drei völlig neue Rüttelstreifenvarianten zur vertiefenden Untersuchung vorgesehen. Diese 12 Rüttelstreifenvarianten wurden auf einer für den öffentlichen Verkehr nicht mehr zugelassenen Straße gefräst. In Tabelle 2 sind die verschiedenen Rüttelstreifenvarianten zusammenfassend dargestellt.













Die Rüttelstreifenvariante 1 entspricht bis auf die Breite (um 50 mm schmaler) der Ausführung von Rüttelstreifen, die seinerzeit auch auf der Pilotstrecke A 24 in Brandenburg gefräst wurden. Die Rüttelstreifenvariante 2 unterscheidet sich von Rüttelstreifenvariante 1 nur dadurch, dass der Abstand zwischen zwei Fräsungen von 300 mm (Rüttelstreifenvariante 1) auf 600 mm (Rüttelstreifenvariante 2) erweitert wurde. Der Unterschied von Rüttelstreifenvariante 6 und 7 zu Rüttelstreifenvariante 1 und 2 besteht in der Breite der Rüttelstreifen (350 mm versus 200 mm). Die Verringerung der Breite der Rüttelstreifen erfolgte maßgeblich aufgrund der im Vergleich zu Autobahnen einge-

schränkt verfügbaren Fläche bzw. aufgrund des fehlenden Seitenstreifens auf Landstraßen.

Die Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5 und 8 orientieren sich an den Untersuchungsergebnissen von KRAGH et al. (2007). Diese sinusförmigen Rüttelstreifen wurden in Dänemark vor allem vor dem Hintergrund der geringen Lärmemissionen und der

geringen Frästiefe (weniger Schädigung der Asphaltdeckschicht) als positiv eingestuft. Die vier ausgewählten Rüttelstreifenvarianten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Breite sowie der Frästiefe.

Rüttelstreifenvariante 9 basiert auf den Ergebnissen der Untersuchungen von GARDNER et al. (2007). Danach sind die ellipsenförmigen Rüttel-

Rüttelstreifenvariante 1	Rüttelstreifenvariante 2	Rüttelstreifenvariante 3
 <p>Form: Rechteck Breite: 350 mm Abstand: 300 mm Tiefe: 13 mm</p>	 <p>Form: Rechteck Breite: 350 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 13 mm</p>	 <p>Form: Sinus Breite: 350 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 7 mm</p>
Rüttelstreifenvariante 4	Rüttelstreifenvariante 5	Rüttelstreifenvariante 6
 <p>Form: Sinus Breite: 350 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 4 mm</p>	 <p>Form: Sinus Breite: 200 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 4 mm</p>	 <p>Form: Rechteck Breite: 200 mm Abstand: 300 mm Tiefe: 13 mm</p>
Rüttelstreifenvariante 7	Rüttelstreifenvariante 8	Rüttelstreifenvariante 9
 <p>Form: Rechteck Breite: 200 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 13 mm</p>	 <p>Form: Sinus Breite: 200 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 7 mm</p>	 <p>Form: Ellipse Breite: 200 mm Abstand: 300 mm Tiefe: 10 mm</p>
Rüttelstreifenvariante 10	Rüttelstreifenvariante 11	Rüttelstreifenvariante 12
 <p>Form: Sinus + Ellipse Breite: 70 - 200 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 3 - 10 mm (7 mm)</p>	 <p>Form: Sinus + Ellipse Breite: 100 - 300 mm Abstand: 600 mm Tiefe: 5 - 15 mm (10 mm)</p>	 <p>Form: Sinus + Ellipse Breite: 100-300 mm Abstand: 300 mm Tiefe: 5 - 15 mm (10 mm)</p>

Tab. 2: Rüttelstreifenvarianten

streifen eine gute Alternative zu den rechteckigen Rüttelstreifen und zeichnen sich insbesondere durch das Fehlen von harten Kanten aus.

Die Rüttelstreifenvarianten 10, 11 und 12 sind eine Kombination aus sinus- und ellipsenförmigen Rüttelstreifen. Diese wurde eigens für diese Untersuchung von einem Hersteller von Fräsen entwickelt und erstmalig hergestellt.

3.2 Testfeld

Als ideale Versuchsstrecke wurde eine in einem zukünftigen Braunkohletagebau liegende und nicht öffentlich zugängliche Landstraße westlich von Pier in der Nähe von Düren gefunden. Auf einer Länge von insgesamt 470 m wurden hier im Abstand von 0,1 m zur Leitlinie 10 Rüttelstreifenvarianten mit jeweils einer Länge von 20 m gefräst. Der Abstand zwischen den Rüttelstreifenvarianten betrug 30 m. Die Rüttelstreifenvarianten 1 bis 10 wurden in westlicher Fahrtrichtung gefräst. Zwei zusätzliche Rüttelstreifen (Rüttelstreifenvarianten 11 und 12) wurden in der Nähe von Rüttelstreifenvariante 1 und 2 angeordnet, wobei die Fahrtrichtung östlich verlief.




Am östlichen Anfang der Versuchsstrecke befinden sich zwei größere kurvige Abschnitte, auf denen die Rüttelstreifenvarianten 6 und 9 als S-Kurve mit einem Radius von jeweils 50 m gefräst wurden. Hintergrund dafür waren geplante Überfahrversuche in Schräglage mit einem motorisierten Einspurfahrzeug.

3.3 Versuchsfahrzeuge

Um den Einfluss verschiedener Reifenbreiten und Radlasten von Zweispurfahrzeugen auf die Wirkung von Rüttelstreifen beurteilen zu können, wurden als Versuchsfahrzeuge ein Pkw, ein Transporter bis 3,5 t ZGM (zulässige Gesamtmasse) und ein Lkw mit einer ZGM von über 7,5 t aus dem Dienstfahrzeugbestand der BASt ausgewählt. Die wichtigsten Fahrzeugdaten der ausgewählten Versuchsfahrzeuge sind zusammenfassend in Tabelle 3 dargestellt.

Die Reihenfolge der verschiedenen Rüttelstreifenvarianten entspricht der Reihenfolge auf der Versuchsstrecke. Die auf der Versuchsstrecke gewählte Reihenfolge orientierte sich am Fräsaufwand (erst breite, dann schmale Rüttelstreifen) und nicht an der Form der Rüttelstreifen. Um die im Kapitel 3 dargestellten Ergebnisse zu den einzelnen Varianten einfacher nachzuvollziehen, ist am Ende dieses Berichtes die Tabelle 2 nochmal dargestellt (Anhang). Es besteht die Möglichkeit diese auszuklappen, sodass die Übersicht als auch die Ergebnisse direkt nebeneinanderliegend betrachtet werden können.

Für die Gruppe der Einspurfahrzeuge wurde als Versuchsfahrrad ein Mountainbike der Einsteigerklasse mit Vorderradfedergabel eingesetzt (Bild 1). Als Versuchsmotorrad kam eine Reiseenduro zum Einsatz (Bild 2). Die verwendete Reiseenduro besitzt eine tragende Motor-Getriebe-Einheit mit geschraubtem Hilfsrahmen, eine längslenkergeführte Teleskopgabel mit verstellbarer Federbasis und eine Zweigelenk-Einarmschwinge mit direkt angelenktem Zentralfederbein mit ebenfalls verstellbarer Federbasis und Zugstufendämpfung.

Bezeichnung	Pkw	Transporter	Lkw
			
Fahrzeug	VW Passat Variant	Mercedes Sprinter	MAN 14.192
Leermasse [kg]	1.594	2.640	13.000
Radstand [mm]	2.709	3.550	3.200
Reifengröße	215/55 R 16 97 W	225/70 R 15 C	275/80 R 22
Reifenhersteller	Dunlop SP Sport	Goodyear Cargo G26	Michelin Pilot XZ A1

Tab. 3: Versuchsfahrzeuge und deren Bereifung



Bild 1: Longus LTD XT black



Bild 3: Triaxialer Lenkradsensor



Bild 2: BMW R 1150 GS



Bild 4: Sitzkissen mit Triaxialsensor

3.4 Untersuchungsmethodik

Die nachfolgend behandelten Fahrversuche gliedern sich in einen umfangreichen Teil zur Bewertung von Schwingungen, von Außen- und Innengeräuschen von Zweispurfahrzeugen sowie einen separaten Teil zur Beurteilung der Fahrsicherheit von Einspurfahrzeugen auf. Hier wurden sowohl Schwingungsmessungen an Lenkern von Einspurfahrzeugen als auch fahrdynamische Untersuchungen durchgeführt. Um praxisnahe Versuchsergebnisse zu erzielen, wurde vereinbart, dass die Rüttelstreifenvarianten bei den Versuchen mit Zweispurfahrzeugen mit der rechten Fahrspur, d. h. mit dem rechten Vorder- und Hinterrad in Geradeausfahrt überfahren werden sollten.

3.5 Schwingungen und Innengeräusche bei Zweispurfahrzeugen

3.5.1 Messequipment

Zur Erfassung der Lenkradschwingungen wurde ein triaxialer Beschleunigungssensor (Messbereich ± 500 g) im Hochpunkt des Lenkrades des Versuchsfahrzeuges mit der in Bild 3 eingezeichneten Orientierung befestigt. Die Erfassung der Sitzschwingungen erfolgte mit einem speziellen Sitzkissen, das mit einem triaxialen Beschleunigungssens-



Bild 5: Messmikrofon

or (Messbereich ± 50 g) ausgerüstet war (Bild 4). Das Innengeräusch wurde mit einem $\frac{1}{4}$ -Zoll-Messmikrofon mit einer Empfindlichkeit von 50 mV/Pa gemessen, das mittels einer Halterung an der Kopfstütze des Fahrersitzes angebracht war (Bild 5).

Die Datenerfassung erfolgte mit einem 4-kanaligen Vibrations- und Schallanalysator. Die drei Schwingungskomponenten sowie das Mikrofonsignal wurden mit einer Abtastrate von 48.000/s und einer Auflösung von 24 Bit digitalisiert und in einem modifizierten Waveformat abgespeichert.

3.5.2 Messdurchführung

Die Schwingungs- und Schalldruckmessungen mit den 3 Zweispurfahrzeugen wurden vom 05. bis 07. September 2009 und am 03. November 2009 mit einem Gesamtumfang von 293 Messfahrten durchgeführt. Es wurden je Fahrzeug und Geschwindigkeit wenigstens drei Messungen durchgeführt.

Vor Planung der einzelnen Versuche wurde überlegt, ob und wie die jeweilige Wirksamkeit der unter-

schiedlichen Rüttelstreifenvarianten, d. h. die beim Befahren eines Rüttelstreifens im Fahrzeuginnenraum auftretende haptische und akustische Rückmeldung auf den Fahrer quantitativ am besten erfasst werden könnte. Das Überfahren eines Rüttelstreifens ruft am Vorder- und Hinterrad Radlastschwankungen hervor, die über das Federdämpfungssystem der Radaufhängung in die Karosseriestruktur geleitet werden, sich dort überlagern und vom Fahrer im Fahrzeuginnenraum in Form von Schwingungen bzw. Vibrationen gut wahrgenommen werden können. Das im Latsch² der Reifen auftretende Reifen-Fahrbahngeräusch ist darüber hinaus im Fahrzeuginnenraum neben dem Fahrgeräusch mehr oder weniger gut hörbar.

Von den im Fahrzeug möglichen Vibrationsquellen wurden das Lenkrad und der Fahrersitz gewählt, da der Fahrer auf haptischem Weg (Handkontakt am Lenkrad, Körperkontakt am Sitz) über das Befahren eines Rüttelstreifens informiert wird. Das Fahrzeuginnengeräusch wurde gleichzeitig mit den Lenkrad- und Sitzschwingungen erfasst, um die Anzahl der erforderlichen Versuchsfahrten zu begrenzen.

Da die Rüttelstreifenvarianten 1 bis 10 auf der Versuchsstrecke fortlaufend hintereinander angeordnet waren (s. Kapitel 3.2) und das Messgerät im Versuchsfahrzeug mitgeführt wurde, konnten während einer Messfahrt 10 Einzelmessungen durchgeführt werden. Die Rüttelstreifenvarianten 11 und 12 lagen in der Nähe von Rüttelstreifenvariante 1 und 2 und wurden bei der Rückfahrt zur Startposition gemessen.

Die Fahrversuche zur Messung der Lenkradschwingung mussten getrennt von denen der Sitzschwingung durchgeführt werden, da nur ein triaxialer Sensor an das Messgerät angeschlossen werden konnte. Die Innengeräuschmessung wurde in beiden Fällen durchgeführt, so konnte hier der doppelte Stichprobenumfang erhoben werden.

Zur Beurteilung des Einflusses der Geschwindigkeit auf das Innengeräusch und die Fahrzeuginnen-schwingungen wurden exemplarisch für Rüttelstreifenvariante 12 Fahrversuche bei 60 km/h, 80 km/h, 100 km/h und 120 km/h durchgeführt. Weiterhin wurden bei Rüttelstreifenvariante 12 Diagonalüber-

fahrten in einem Winkel von 5° mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h durchgeführt.

Wie umfangreiche Vorversuche gezeigt hatten, ist die Aussagekraft der Einzelkomponenten der Schwingungen zur Beschreibung der Wirksamkeit der Rüttelstreifen nur bedingt geeignet. Je nach Art der Fräsung und des Versuchsfahrzeuges ergeben sich unterschiedlich verteilte Schwingungsamplituden in den einzelnen Messachsen, die eine eindeutige Zuordnung verhindern. Vielmehr kann mit dem in der allgemeinen Schwingungsmesstechnik verwendeten Verfahren der Bildung einer Gesamtergebnisse der drei Schwingungskomponenten die Wirksamkeit der unterschiedlichen Rüttelstreifenvarianten besser beschrieben werden. Es wurde daher bei der späteren Auswertung ein resultierender Schwingungsvektor als vektorielle Addition der drei x-, y- und z-Anteile der Beschleunigungskomponenten (Wurzel aus der Summe der drei Komponentenquadrate) berechnet.

Weiterhin wurde der bei einer Überfahrt auftretende Spitzenwert ermittelt, da sich insbesondere bei den Rüttelstreifenvarianten mit einer Breite von 200 mm das exakte Befahren über die gesamte Länge von nur 20 m als sehr schwierig erwies und erhebliche Schwankungen der Messamplituden aufgrund unterschiedlicher und wechselnder Spurlagen auftraten. Zwei Beispiele für unterschiedlich gut durchgeführte Überfahrten mit dem Pkw bei 80 km/h sind in Bild 6 und Bild 7 dargestellt.

Die Streuung der Messwerte konnte durch einen Ausreißertest weitgehend auf statistisch gesicherte Werte mit einem Variationskoeffizienten (Quotient aus Standardabweichung und Mittelwert) im Bereich um 20 % reduziert werden.

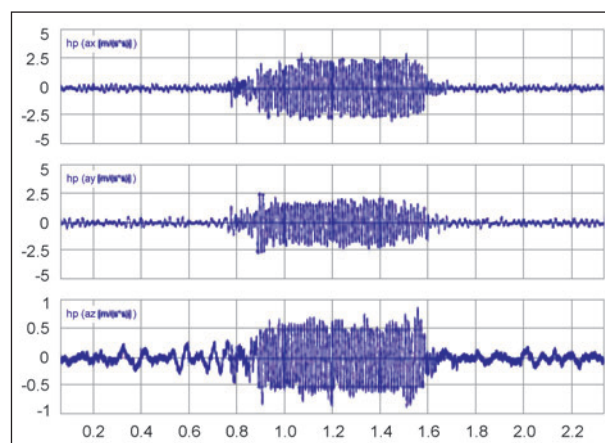


Bild 6: Konstante Amplituden einer idealen Überfahrt

² Latsch = Reifenaufstandsfläche, derjenige Teil des Reifens, der Kontakt zur Straße hält.

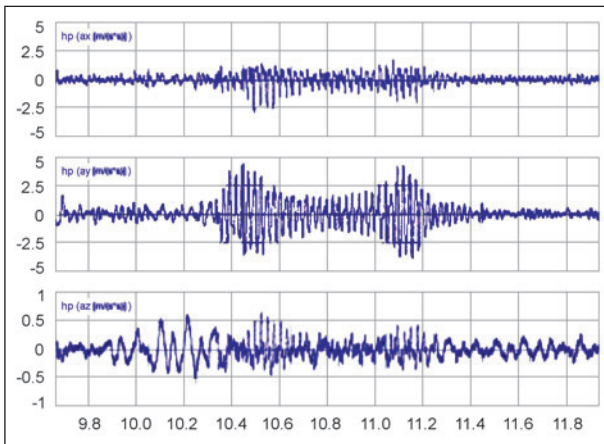


Bild 7: Rüttelstreifen zu Beginn und am Ende überfahren

Aus dem gleichen Grund wurde auch vom A-bewerteten Innenschalldruckpegel der Spitzenwert innerhalb des jeweiligen Messabschnittes gebildet. Als Referenzwerte wurden die unmittelbar zu Beginn des jeweiligen Messabschnittes erfassten Werte für den Schwingungsvektor und Schalldruckpegel herangezogen und die Differenz gebildet.

Bei den Überfahrten mit dem Lkw war insbesondere eine Auswertung der Sensorsignale des Lenkrades teilweise nicht möglich. Die Sitzschwingungen waren ohne Ausnahme nicht auswertbar. Verantwortlich hierfür dürfte die im Lkw vorhandene pneumatische Sitzfederung sein, die aufgrund ihrer weichen und tieffrequenten Abstimmung sämtliche Sitzschwingungen ausfilterte. Eine durch den Rüttelstreifen hervorgerufene spürbare Schwingung im Fahrersitz dürfte somit in allen modernen Lkw unwahrscheinlich sein.

3.5.3 Messergebnisse

Lenkradschwingungen

Eine zusammenfassende Darstellung der Fahrversuche mit dem Pkw bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h zeigt Bild 8. In Bild 9 sind die Ergebnisse für den Transporter und in Bild 10 für den Lkw dargestellt. Die fehlenden Werte für die Rüttelstreifenvarianten 5, 10 und 11 beim Lkw sind auf die insgesamt hohe Eigenschwingung des Lenkrades zurückzuführen, die eine Auswertung der nur geringen zusätzlichen Anregung durch die betreffenden Rüttelstreifen verhinderte.

Beim Pkw werden Schwingungsamplituden im Bereich zwischen $1,3 \text{ m/s}^2$ und $3,4 \text{ m/s}^2$ mit einem Mittelwert von $2,4 \text{ m/s}^2$ erreicht. Die entsprechen-

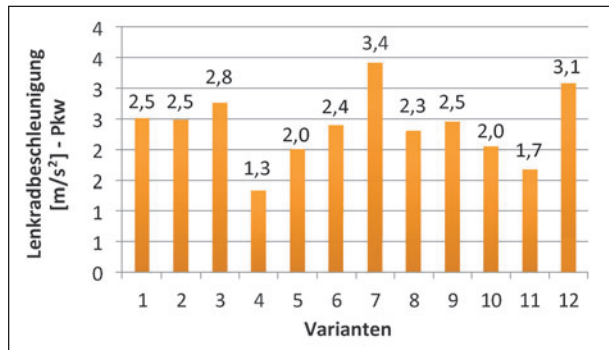


Bild 8: Maximalvektor der Differenz von Lenkrad- und Referenzbeschleunigung, Pkw, 80 km/h

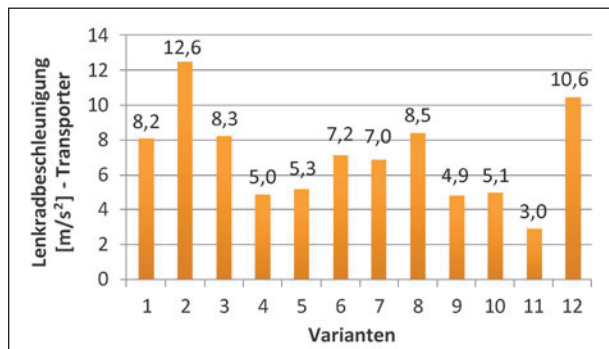


Bild 9: Maximalvektor der Differenz von Lenkrad- und Referenzbeschleunigung, Transporter, 80 km/h

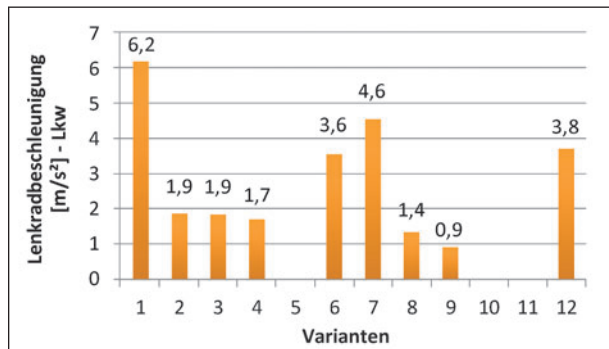


Bild 10: Maximalvektor der Differenz von Lenkrad- und Referenzbeschleunigung, Lkw, 80 km/h

den Werte für den Transporter liegen mit einem Bereich von $3,0 \text{ m/s}^2$ bis $12,6 \text{ m/s}^2$ und einem Mittelwert von $7,1 \text{ m/s}^2$ erheblich über den Pkw-Werten. Für den Lkw wurden Werte im Bereich von $0,9 \text{ m/s}^2$ bis $6,2 \text{ m/s}^2$ und ein Mittelwert von $2,9 \text{ m/s}^2$ ermittelt. Für die Rüttelstreifenvarianten 5, 10 und 11 war beim Lkw keine Auswertung möglich. Dies bedeutet, dass der Lkw-Fahrer keine Rückmeldung über das Lenkrad beim Überfahren der betreffenden Rüttelstreifen erfährt und diese Rüttelstreifenvarianten somit für eine haptische Warnung am Lenkrad beim Abkommen von der Fahrbahn nicht geeignet erscheinen.

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse für die haptische Wirksamkeit am Lenkrad in Form einer Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten zusammen. In der unteren Hälfte des Feldes – und somit mit der geringsten Wirksamkeit – sind weitgehend die Rüttelstreifenvarianten vertreten, deren Fräsbild durch einen Abstand von 600 mm sowie eine geringe Tiefe von 4 mm bzw. variabel von 3 – 10 mm charakterisiert werden kann (Rüttelstreifenvarianten 4, 5, 10 und 11).

Die oberen sechs Rüttelstreifenvarianten der Pkw-Messung liegen um einen Mittelwert von 2,7 m/s² nah beieinander. Bei den Versuchen mit dem Transporter erreicht Rüttelstreifenvariante 2 annähernd den zweifachen Wert wie Rüttelstreifen-

a _{ges} Lenkrad					
Pkw		Transporter		Lkw	
[m/s ²]	Var.	[m/s ²]	Var.	[m/s ²]	Var.
3,4	7	12,6	2	6,2	1
3,1	12	10,6	12	4,6	7
2,8	3	8,5	8	3,8	12
2,5	1	8,3	3	3,6	6
2,5	2	8,2	1	1,9	2
2,5	9	7,2	6	1,9	3
2,4	6	7,0	7	1,7	4
2,3	8	5,3	5	1,4	8
2,0	10	5,1	10	0,9	9
2,0	5	5,0	4	0,0	5
1,7	11	4,9	9	0,0	10
1,3	4	3,0	11	0,0	11

Tab. 4: Rangfolge der Rüttelstreifen nach bester haptischer Wirksamkeit am Lenkrad bei 80 km/h

variante 6. Mit 10,6 m/s² liegt Rüttelstreifenvariante 12 auf einem guten 2. Platz.

Wesentlich ausgeprägter sind die Verhältnisse bei den Versuchen mit dem Lkw. Die Rüttelstreifenvariante 1 weist mit einem Wert von 6,2 m/s² mehr als das 1,6-fache des Wertes der Rüttelstreifenvariante 12 auf.

Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Lenkradmessungen mit dem Pkw zeigt Bild 11. Mit einer undifferenzierten Verteilung entspricht das Gesamtergebnis nicht ganz der Erwartung. Die Zunahme der Lenkradschwingung mit der Geschwindigkeit ist mehr oder weniger ausgeprägt (Rüttelstreifenvarianten 2-5), wobei sich teilweise der Verlauf umkehrt (Rüttelstreifenvarianten 11 und 12).

Sitzschwingungen

Eine zusammenfassende Darstellung der Messungen sämtlicher Rüttelstreifenvarianten mit dem Pkw und dem Transporter bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h zeigen Bild 12 und Bild 13. Die Messungen

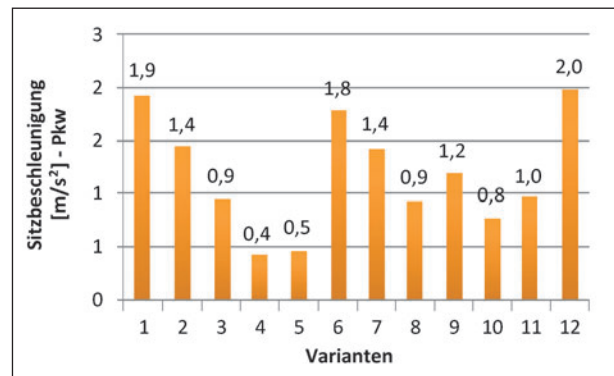


Bild 12: Maximalvektor der Differenz von Sitz- und Referenzbeschleunigung, Pkw, 80 km/h

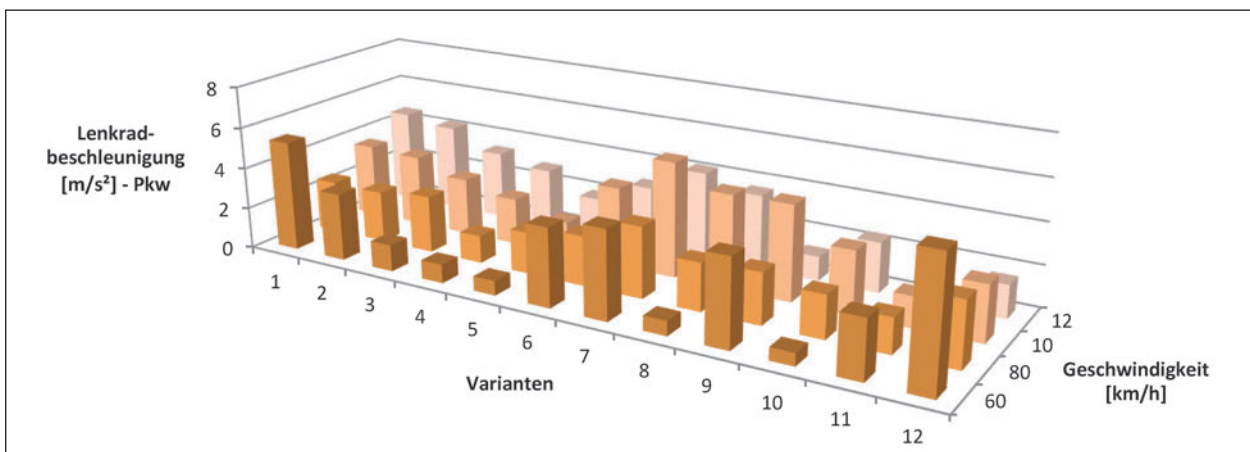


Bild 11: Lenkradbeschleunigung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Pkw

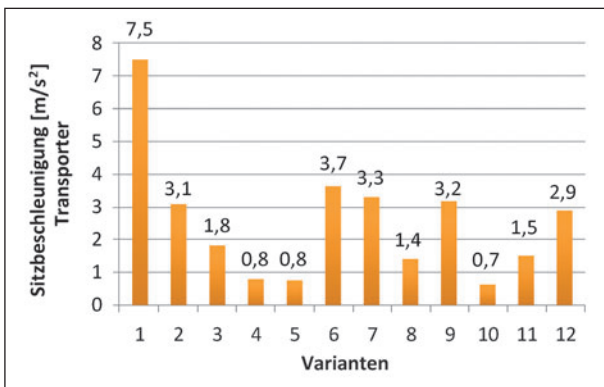


Bild 13: Maximalvektor der Differenz von Sitz- und Referenzbeschleunigung, Transporter, 80 km/h

der Sitzschwingungen mit dem Lkw waren für keine der zwölf Rüttelstreifenvarianten auswertbar, da diese nicht vom allgemeinen Schwingungspegel am Sitz zu unterscheiden waren. Als Ursache hierfür wird die vorhandene pneumatische Sitzfederung gesehen, wodurch die Anregungen durch die Rüttelstreifen unterdrückt wurden.

Beim Pkw werden Schwingungsamplituden im Bereich zwischen $0,4 \text{ m/s}^2$ und $2,0 \text{ m/s}^2$ mit einem Mittelwert von nur $1,2 \text{ m/s}^2$ erreicht. Die entsprechenden Werte für den Transporter liegen zwischen $0,7 \text{ m/s}^2$ und $7,5 \text{ m/s}^2$. Der Mittelwert von $2,6 \text{ m/s}^2$ beträgt mehr als das Doppelte des Wertes beim Pkw.

a _{ges} Sitz			
Pkw		Transporter	
[m/s ²]	Variante	[m/s ²]	Variante
2,0	12	7,5	1
1,9	1	3,7	6
1,8	6	3,3	7
1,4	2	3,2	9
1,4	7	3,1	2
1,2	9	2,9	12
1,0	11	1,9	3
0,9	3	1,5	11
0,9	8	1,4	8
0,8	10	0,8	4
0,5	5	0,8	5
0,4	4	0,7	10

Tab. 5: Reihung der Rüttelstreifenvarianten nach bester Wirksamkeit der Sitzschwingungen bei 80 km/h

In Tabelle 5 ist die aus den Messwerten abgeleitete Reihung der Rüttelstreifenvarianten für die ermittelten Sitzschwingungen für die zwei Versuchsfahrzeuge dargestellt. In der unteren Hälfte des Feldes befinden sich die Rüttelstreifenvarianten 3 bis 5, 8 sowie 10 und 11. In der oberen Hälfte liegen sämtliche Werte relativ dicht beisammen. Bei der Pkw-Messung liegen die oberen drei Rüttelstreifenvarianten 1, 6, und 12 im Bereich um $1,9 \text{ m/s}^2$. Die Rüttelstreifenvarianten 2, 7 und 9 liegen in einem größeren Abstand hierzu mit einem mittleren Wert von $1,3 \text{ m/s}^2$.

Die Messungen mit dem Transporter hingegen zeigen ein etwas deutlicheres Bild. Die Rüttelstreifenvariante 1 liegt mit einem Wert von $7,5 \text{ m/s}^2$ mehr als doppelt so hoch wie die nächsten 5 Varianten mit einem Mittelwert von $3,2 \text{ m/s}^2$.

Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Sitzschwingungsmessungen für den Pkw in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zeigt Bild 14. Im Gegensatz zu den Lenkradschwingungen zeigt

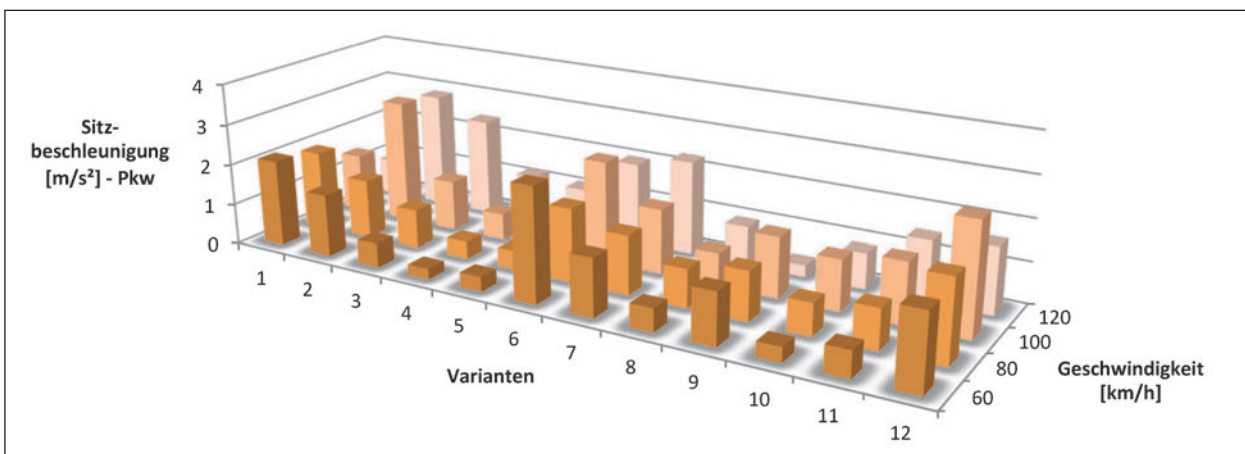


Bild 14: Sitzbeschleunigung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Pkw

sich hier bei einigen Rüttelstreifenvarianten der erwartete Anstieg mit zunehmender Geschwindigkeit (Rüttelstreifenvarianten 3, 7 und 11). Die Rüttelstreifenvariante 1 ist dagegen durch einen annähernd linearen Abfall der Sitzbeschleunigung mit steigender Geschwindigkeit gekennzeichnet. Rüttelstreifenvariante 12 weist bis auf eine Überhöhung bei 100 km/h einen weitgehend konstanten Verlauf auf.

Innengeräusch

Das Innengeräusch im Versuchsfahrzeug beim Überfahren der verschiedenen Rüttelstreifenvarianten mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h ist für den Pkw in Bild 15, für den Transporter in Bild 16 und für den Lkw in Bild 17 dargestellt.

Bei den Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8 und 10 treten innerhalb der Lkw-Versuche nicht auswertbare Messungen auf, da hier das Rüttelstreifengeräusch besonders geringe Werte annimmt, sodass diese im relativ hohen Fahrzeugeigengeräusch nicht mehr differenzierbar sind.

Beim Pkw werden Schallpegeldifferenzen im Bereich zwischen 2,4 dB(A) und 25,6 dB(A) mit

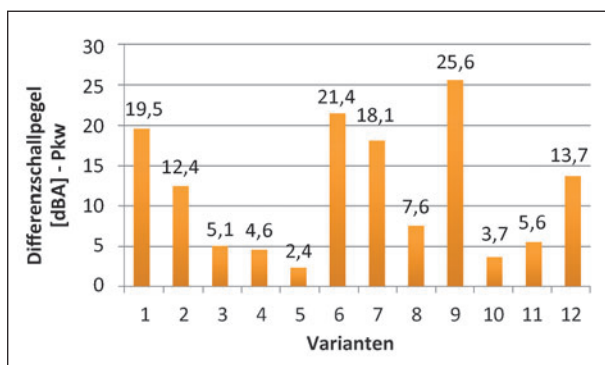


Bild 15: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch, Pkw, 80 km/h

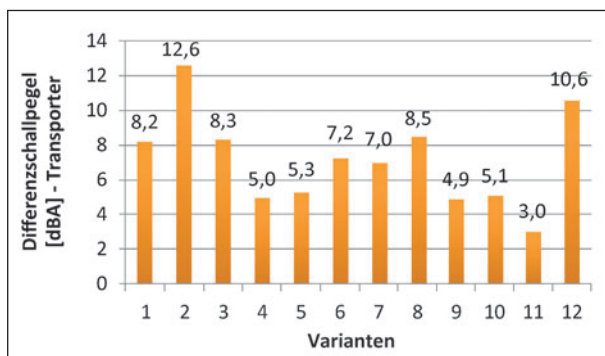


Bild 16: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch, Transporter, 80 km/h

einem Mittelwert von 11,6 dB(A) erreicht. Die entsprechenden Werte für den Transporter liegen mit einem Bereich von 3,0 dB(A) bis 12,6 dB(A) und einem Mittelwert von 6,7 dB(A) erheblich unterhalb des Wertes der Pkw-Messung. Für den Lkw wurden Werte im Bereich von 4,3 dB(A) bis 8,7 dB(A) und ein Mittelwert von 6 dB(A) ermittelt. Für die Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8 und 10 war keine Auswertung möglich. Dies bedeutet, dass der Fahrer über die Innenraumakustik keinerlei Rückmeldung beim Befahren der betreffenden Rüttelstreifen erfährt. Diese Rüttelstreifenvarianten sind somit für eine akustische Warnung beim Abkommen von der Fahrbahn nicht geeignet.

Die aus den Messwerten abgeleitete Reihung der Rüttelstreifenvarianten für die ermittelten Innengeräusche ist in Tabelle 6 dargestellt.

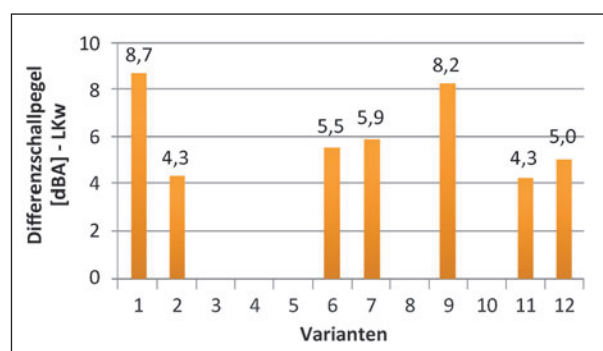


Bild 17: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch, Lkw, 80 km/h

L _i -L ₀					
Pkw		Transporter		Lkw	
[dB(A)]	Var.	[dB(A)]	Var.	[dB(A)]	Var.
25,6	9	19,5	1	8,7	1
21,4	6	11,4	6	8,2	9
19,5	1	10,1	9	5,9	7
18,1	7	8,6	12	5,5	6
13,7	12	7,9	2	5,0	12
12,4	2	6,7	7	4,3	2
7,6	8	4,0	11	4,3	11
5,6	11	3,9	3	0,0	3
5,1	3	3,3	8	0,0	4
4,6	4	2,0	10	0,0	5
3,7	10	1,8	4	0,0	8
2,4	5	1,5	5	0,0	10

Tab. 6: Reihung der Rüttelstreifenvarianten nach bester Wirksamkeit des Innengeräusches bei 80 km/h

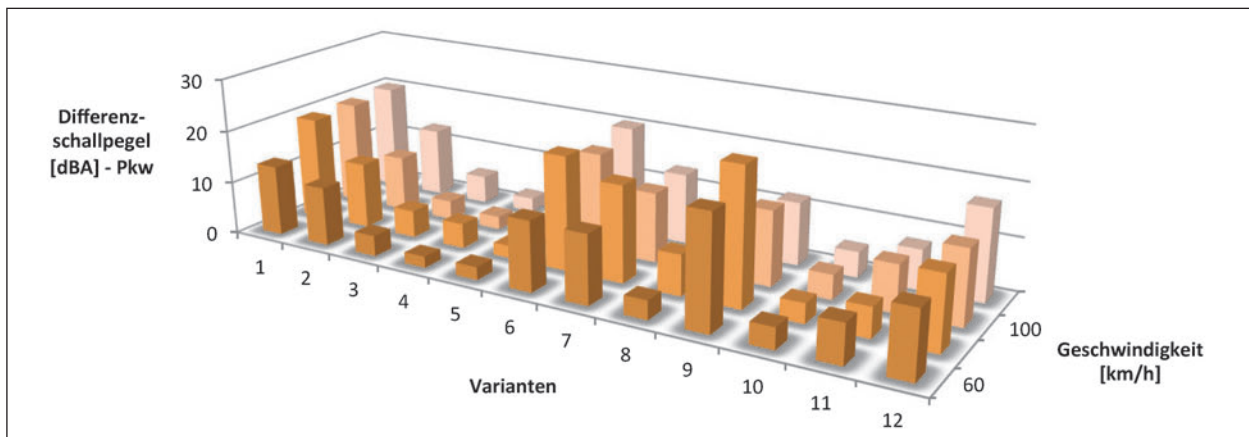


Bild 18: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Pkw

In der unteren Hälfte des Feldes befinden sich bei sämtlichen drei Versuchsfahrzeugen die gleichen Rüttelstreifenvarianten (Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8, 10 und 11).

Zu den drei am besten im Pkw hörbaren Rüttelstreifen gehören die Rüttelstreifenvariante 9 mit einem Wert von 25,6 dB(A) sowie die Rüttelstreifenvarianten 1 und 6. Bei den Messungen im Transporter führt vermutlich eine Resonanz zu einer Überhöhung des Innengeräusches bei Rüttelstreifenvariante 1, da der gemessene Wert mit 19,5 dB(A) weit über den der anderen Rüttelstreifenvarianten liegt. Im Lkw werden weitaus geringere Pegel gemessen, wobei Rüttelstreifenvariante 1 das Feld mit 8,7 dB(A) anführt.

Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Innengeräuschmessungen für den Pkw in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zeigt Bild 18. Im Gegensatz zu den Lenkradschwingungen ist bei einigen Rüttelstreifenvarianten der erwartete Anstieg mit zunehmender Geschwindigkeit festzustellen (Rüttelstreifenvarianten 1, 2 und 12).

Diagonalüberfahrten

Da in der Praxis das Überfahren eines Rüttelstreifens nicht auf der gesamten Länge sondern vielmehr nur kurzzeitig unter geringem Winkel stattfindet, wurden zusätzlich bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h Diagonalüberfahrten bei der Rüttelstreifenvariante 12 mit einem Winkel von 5° durchgeführt. Die Ergebnisse der Diagonalüberfahrten sind Tabelle 7 mit den zugehörigen Werten für die Geradeausüberfahrt zusammengefasst.

Im Vergleich zur Geradeausfahrt (Winkel 0°) wurde bei einem Überfahrtswinkel von 5° eine etwas größere

Winkel [°]	$a_{\text{ges}} \text{ Lenkrad}$ [m/s ²]	$a_{\text{ges}} \text{ Sitz}$ [m/s ²]	$L_1 - L_0$ [dB(A)]
0	3,1	1,9	13,7
5	3,7	1,4	11,5

Tab. 7: Ergebnisse der Diagonalüberfahrten mit dem Pkw, Rüttelstreifenvariante 12

re Lenkradschwingung (+0,6 m/s²) sowie eine Verringerung der Sitzschwingung (-0,5 m/s²) und des Differenzpegels (-2,2 dB(A)) gemessen. Auffällig ist die unerwartete Erhöhung des Maximalvektors der Differenz von Lenkrad- und Referenzbeschleunigung, deren Ursache nicht eindeutig geklärt werden kann. Ein Messfehler liegt nicht vor, da sämtliche durchgeführten Messungen auf vergleichbar hohem Niveau liegen.

3.5.4 Zusammenfassung

Tabelle 8 zeigt in einer fahrzeugbezogenen Zusammenstellung die Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten für die Fahrversuche mit dem Pkw nach Wirksamkeit für die drei Messgrößen Lenkrad-, Sitzschwingung und Innengeräusch. Die untere Hälfte der Tabelle wird durch die Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8, 10 und 11 repräsentiert. Die Positionen in der oberen Hälfte der Tabelle liegen mit Werten bei der Lenkradschwingung zwischen 1,2 m/s² und 2,0 m/s² und bei der Sitzschwingung im Bereich zwischen 2,5 m/s² und 3,4 m/s² dicht zusammen. Im Gegensatz dazu zeigt die Situation beim Innengeräusch, dass die obere Hälfte des Feldes mit Werten zwischen 12,4 dB(A) und 25,6 dB(A) sich erheblich von der unteren Hälfte unterscheidet, in der übereinstimmend die Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8, 10 und 11 vertreten sind.

a _{ges} Sitz		a _{ges} Lenkrad		L _i -L ₀	
[m/s ²]	Var.	[m/s ²]	Var.	[dB(A)]	Var.
2,0	12	3,4	7	25,6	9
1,9	1	3,1	12	21,4	6
1,8	6	2,8	3	19,5	1
1,4	2	2,5	1	18,1	7
1,4	7	2,5	2	13,7	12
1,2	9	2,5	9	12,4	2
1,0	11	2,4	6	7,6	8
0,9	3	2,3	8	5,6	11
0,9	8	2,0	10	5,1	3
0,8	10	2,0	5	4,6	4
0,5	5	1,7	11	3,7	10
0,4	4	1,3	4	2,4	5

Tab. 8: Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten nach bester Wirksamkeit, Pkw, 80 km/h

a _{ges} Lenkrad		L _i -L ₀	
[m/s ²]	Variante	[dB(A)]	Variante
6,2	1	8,7	1
4,6	7	8,2	9
3,8	12	5,9	7
3,6	6	5,5	6
1,9	2	5,0	12
1,9	3	4,3	2
1,7	4	4,3	11
1,4	8	0,0	3
0,9	9	0,0	4
0,0	5	0,0	5
0,0	10	0,0	8
0,0	11	0,0	10

Tab. 10: Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten nach bester Wirksamkeit, Lkw, 80 km/h

a _{ges} Sitz		a _{ges} Lenkrad		L _i -L ₀	
[m/s ²]	Var.	[m/s ²]	Var.	[dB(A)]	Var.
7,5	1	12,6	2	19,5	1
3,7	6	10,6	12	11,4	6
3,3	7	8,5	8	10,1	9
3,2	9	8,3	3	8,6	12
3,1	2	8,2	1	7,9	2
2,9	12	7,2	6	6,7	7
1,9	3	7,0	7	4,0	11
1,5	11	5,3	5	3,9	3
1,4	8	5,1	10	3,3	8
0,8	4	5,0	4	2,0	10
0,8	5	4,9	9	1,8	4
0,7	10	3,0	11	1,5	5

Tab. 9: Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten nach bester Wirksamkeit, Transporter, 80 km/h

Die Ergebniszusammenstellung der Versuche mit dem Transporter (Tabelle 9) zeigt in der unteren Hälfte der Tabelle die bereits zuvor identifizierten Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8, 10 und 11 als Vertreter mit der geringsten Wirksamkeit, während in der oberen Hälfte die Rüttelstreifenvarianten 1, 2 und 12 zu finden sind.

Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse der Lkw-Versuche. Wie bereits zuvor erwähnt, sind keine auswertbaren Messungen der Sitzschwingungen vertreten. Die geringste Wirksamkeit zeigen auch hier die Rüttel-

streifenvarianten 3, 4, 5, 8, 10 und 11. Die besten Ergebnisse liefert Rüttelstreifenvariante 1, gefolgt von Rüttelstreifenvariante 7 und 12.

Bei allen drei Versuchsfahrzeugen zeigt sich übereinstimmend, dass Rüttelstreifen mit einem Abstand von 600 mm und einer Tiefe von 4 mm bzw. 7 mm nur eine geringe Wirksamkeit aufweisen (Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8, 10 und 11).

In Tabelle 11 ist eine Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse durch Wichtung mit der Rangfolge (12 Punkte für Position 1, 11 Punkte für Position 2 usw.) dargestellt.

Das Gesamtergebnis als Summe der drei gleichrangigen und fahrzeugabhängigen Bewertungen (Lenkrad-, Sitzschwingung und Innengeräusch mit gleicher Wichtung) zeigt, dass die Rüttelstreifenvariante 1 die weitaus beste Wirksamkeit in haptischer und akustischer Hinsicht aufweist. An zweiter Position folgt Rüttelstreifenvariante 12, die jedoch beim Lkw-Versuch deutlich hinter Rüttelstreifenvariante 1 liegt.

Abschließend kann festgehalten werden, dass in einem Zweispurfahrzeug die beste haptische und akustische Wirkung von Rüttelstreifen mit hoher Frästiefe, geringem Abstand und hoher Fräsbreite erzielt wird.

Pkw		Transporter		Lkw		Summe	
Punkte	Variante	Punkte	Variante	Punkte	Variante	Punkte	Variante
31	12	32	1	24	1	86	1
30	1	29	6	21	7	76	12
29	7	28	2	18	6	74	6
27	6	27	12	18	12	73	7
26	9	23	7	15	2	67	2
24	2	21	9	15	9	62	9
19	3	20	3	8	3	47	3
15	8	18	8	7	4	39	8
13	11	12	11	7	11	32	11
9	10	8	4	6	8	20	4
6	5	8	5	2	5	19	10
5	4	8	10	2	10	16	5

Tab. 11: Bewertung der Rangfolge

3.6 Außengeräusche von Zweispurfahrzeugen

3.6.1 Messdurchführung

Die Messungen des Außengeräusches von Zweispurfahrzeugen beim Überfahren von Rüttelstreifen wurden mit einer Messeinheit bestehend aus einem Harmony Sensor A/D Wandler und einem Sinus Frontend Laptop vorgenommen (siehe Bild 19). Die akustischen Messungen wurden in Analogie zur kontrollierten Vorbeifahrtmethode mittig der 20 m langen und 0,2 m bzw. 0,35 m breiten Rüttelstreifen vorgenommen. Abweichend hiervon wurde der ‚A‘- und ‚Fast‘-bewertete Schalldruckpegel an einer Mikrofonposition in 0,80 m Höhe über Fahrbahnniveau und einseitig in 5 m Entfernung zur Mitte des Fahrzeugs (Pkw und Transporter) mit einer Abschirmplatte gemessen. Bei der Messung des Außengeräusches beim Überfahren der Rüttelstreifen durch Lkw betrug die Entfernung aufgrund der größeren Fahrzeugbreite 4,90 m.

Die Messungen wurden am 05., 06. und 07. August 2009 tagsüber bei sonnigem, trockenem Wetter und Temperaturen bis 30°C vorgenommen. Die Windgeschwindigkeiten betragen weniger als 5 m/s.

Wird der Rüttelstreifen bei der Überfahrt vom Reifen nicht mit vollständiger Breite getroffen, so hat dies Auswirkungen auf den Außengeräuschpegel. Die Messwerte für den maximalen Schalldruckpegel LAFmax sind beispielhaft für den Pkw für die Rüttelstreifenvariante 9 in Tabelle 12 aufgelistet. Hierfür



Bild 19: Messeinheit

Überdeckung Reifen Rüttelstreifen [%]	LAFmax [db(A)] bei 60 km/h
0	80,1
25	82,8
50	88,4
75	92,3
100	96,4

Tab. 12: Außengeräuschpegel Rüttelstreifenvariante 9 in Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad bei der Überrollung, Pkw

wurde der Grad der Überdeckung von Reifen und Rüttelstreifen beim Überrollen von zwei Beobachtern übereinstimmend geschätzt. Vor diesem Hintergrund wurde die Überfahrt der Rüttelstreifen bei den anschließend durchgeführten Messungen von zwei Beobachtern beurteilt. Die Messergebnisse wurden nur verwendet, wenn beide Beobachter übereinstimmend die vollständige Überdeckung des Rüttelstreifens bei der Überrollung festgestellt haben.

Alle Rüttelstreifenvarianten wurden mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h sofern möglich unter Verwendung einer Geschwindigkeitsregelanlage überrollt. Es wurden je Fahrzeug und Geschwindigkeit wenigstens drei Messungen durchgeführt und daraus der arithmetische Mittelwert gebildet. Für ausgewählte Rüttelstreifen wurden mit dem Pkw ergänzende Überfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten sowie verschiedenen Überfahrwinkeln durchgeführt.

3.6.2 Messergebnisse

In Tabelle 13 sind die gemessenen maximalen Schalldruckpegel LAFmax in dB(A) für die drei Fahrzeuge und die 12 Rüttelstreifenvarianten aufgelistet. Die reine Vorbeifahrt ohne Rüttelstreifen (0-Messung) ergab bei 80 km/h, dass der Lkw erwartungsgemäß mit 94,7 dB(A) vor dem Transporter mit 88,1 dB(A) und dem Pkw mit 83,9 dB(A) am lautesten war. Die Überfahrt über die Rüttelstreifenvarianten 1, 2, 6, 7, 9 und 12 mit dem Pkw zeigen deutlich über der 0-Messung liegende Geräuschpegel. Die Überfahrt über die Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5, 8, 10 und 11 zeigen Geräuschpegel, die in etwa dem Pegel der 0-Messung entsprechen.

Für die Überfahrt mit dem Transporter ergibt sich ein ähnliches Bild. Lediglich bei Rüttelstreifenvariante 12 fällt die Pegelerhöhung geringer aus als

Variante	Pkw LAFmax [dB(A)]	Transporter LAFmax [dB(A)]	Lkw LAFmax [dB(A)]
0-Mess	83,9	88,1	94,7
1	105,9	106,5	99,6
2	96,9	93,5	99,1
3	84,7	88,1	94,0
4	85,0	88,5	94,1
5	84,5	87,8	94,4
6	106,1	103,8	102,2
7	98,2	94,3	99,2
8	84,5	86,2	93,2
9	101,8	98,2	103,5
10	83,0	85,9	93,2
11	84,5	87,8	94,0
12	96,0	89,8	96,0

Tab. 13: Ergebnisse der Messungen des Außengeräusches bei 80 km/h

bei der Überfahrt mit dem Pkw. Dies kann daran liegen, dass der Rüttelstreifen bei der Überfahrt trotz Beurteilung durch 2 Beobachter nicht vollständig getroffen wurde.

Für die Überfahrt mit dem Lkw zeigen die Ergebnisse bei den Rüttelstreifenvarianten 1, 2, 6, 7, 9 und 12 deutliche Pegelerhöhungen. Dies entspricht in etwa dem Ergebnis für die Überfahrt mit dem Pkw, wenngleich die Pegelerhöhungen gegenüber der 0-Messung insgesamt nicht so deutlich ausfallen wie bei der Überfahrt mit dem Pkw, da der Geräuschbeitrag der Zwilling-Hinterräder des Lkw gegenüber den anderen Fahrzeugen geringer ausfällt. Insgesamt ist der Vorbeifahrts-Geräuschpegel für den Lkw gegenüber den beiden anderen Fahrzeugen aufgrund des höheren Anteils des Motorengeräuschs am Gesamtgeräusch angehoben. Für die anderen Rüttelstreifenvarianten wurde ebenfalls ein Geräuschpegel vergleichbar mit der 0-Messung ermittelt.

Bei einigen wenigen Überfahrten wurden Geräuschpegel gemessen, die unter den Werten der 0-Messung lagen, siehe Rüttelstreifenvariante 10 (Pkw). Es wird vermutet, dass die Fahrzeugreifen bei der Überfahrt sehr dicht an der seitlichen Begrenzung der Einfräsungen der Rüttelstreifen waren und der Schall, der im Wesentlichen von der Aufstandsfläche des Reifens auf der Fahrbahn stammt, von dieser kleinen Kante bereits so reflektiert wurde, dass am Mikrofon dann entsprechend niedrige Geräuschpegel gemessen wurden.

Exemplarisch wurde die Abhängigkeit des Geräuschpegels bei der Überfahrt der Rüttelstreifenvariante 12 mit dem Pkw für verschiedene Geschwindigkeiten und Überfahrwinkel ermittelt. Zwischen Geräuschpegel und Geschwindigkeit wurde ein annähernd linearer Zusammenhang ermittelt. So konnte bei einer Verdoppelung der Geschwindigkeit von 60 km/h auf 120 km/h eine Pegelerhöhung von über 10 dB(A) ermittelt werden.

Wird die Rüttelstreifenvariante 12 mit 60 km/h und einem Winkel von 5° und 10° überfahren, so ist das durch den Rüttelstreifen verursachte Geräusch zwar kürzer und niedriger im Vergleich zur 0° Überfahrt, aber dennoch signifikant höher als die 0-Messung. Der maximale Schalldruckpegel LAFmax beim Überfahren der Rüttelstreifenvariante 12 in einem Winkel von 0° beträgt 98 dB(A) sowie 89 dB(A) bei einem Überfahrwinkel von 5° sowie 10°. Der Geräuschpegel hat danach bei konstanter Fahrgeschwindigkeit und kleinen Überfahrwinkeln

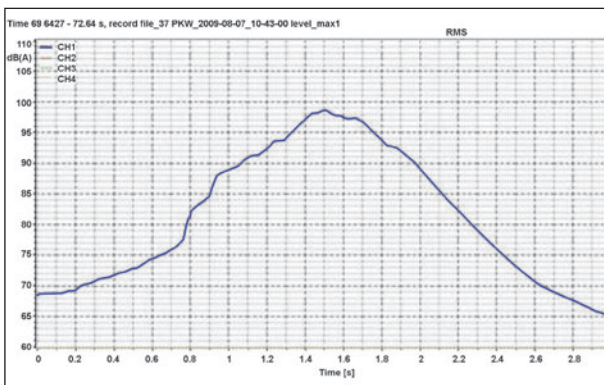


Bild 20: Zeitverlauf des Geräuschpegels Variante 12; Geschwindigkeit 60 km/h; Überfahrwinkel 0°

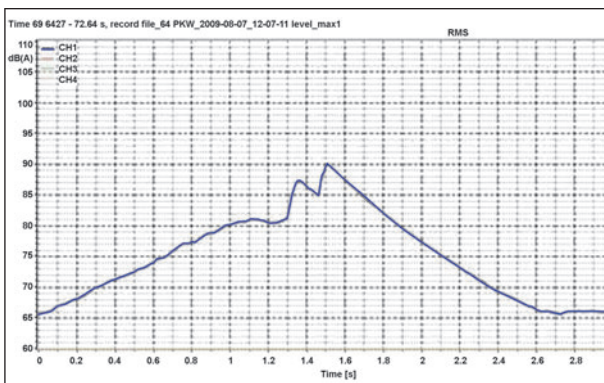


Bild 21: Zeitverlauf des Geräuschpegels Variante 12; Geschwindigkeit 60 km/h; Überfahrwinkel 5°

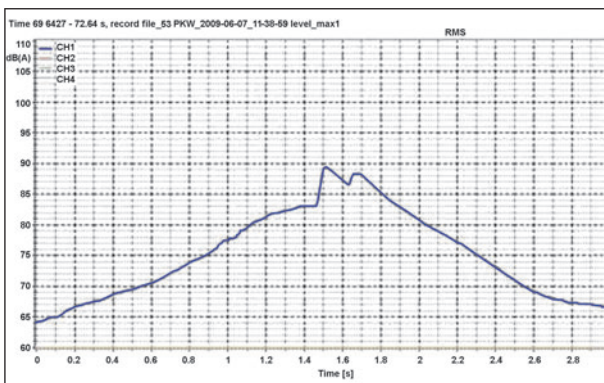


Bild 22: Zeitverlauf des Geräuschpegels Variante 12; Geschwindigkeit 60 km/h; Überfahrwinkel 10°

über den Rüttelstreifen nahezu die gleiche Höhe. Im Vergleich zur Überfahrt in einem Winkel von 0° ist der maximale Schalldruckpegel LAFmax jedoch bei kleinen Überfahrwinkeln um fast 10 dB(A) geringer (vgl. Bild 20, Bild 21 und Bild 22).

3.6.3 Zusammenfassung

Nach den durchgeführten Messungen des Geräuschpegels bei der Überfahrt der untersuch-

ten Rüttelstreifenvarianten mit einem Überfahrwinkel von 0° ist die Pegelerhöhung bei den Rüttelstreifenvarianten 1, 2, 6, 7, 9 und 12 mit teils über 20 dB besonders hoch, während die Pegelerhöhung bei der Überfahrt der anderen Rüttelstreifenvarianten in etwa auf dem Niveau der 0-Messung und somit i. d. R. nur geringfügig höher ausfällt. Sofern eine Erhöhung des Schallpegels bei einem Überfahrwinkel von 0° feststellbar ist, ergeben sich auch bei einem Überfahrwinkel von 5° und 10° über den Rüttelstreifen signifikante Pegelerhöhungen im Vergleich zur 0-Messung.

Die Rüttelstreifen mit einem kleinen Abstand von 300 mm (vor allem die Rüttelstreifenvarianten 1, 6, 9) weisen große Pegelerhöhungen auf. Weiter fällt auf, dass Rüttelstreifen mit großen Pegelerhöhungen auch eine größere Frästiefe aufweisen. Die Fräsbreite, also ob 350 mm oder 200 mm, scheint bei den in diesen Versuchen verwendeten Reifengrößen keinen bedeutenden Einfluss auf die Pegelerhöhungen bei der Überfahrt zu haben.

Die sinusförmigen sowie die Rüttelstreifenkombinationen aus Sinus- und Ellipsenform (Rüttelstreifenvarianten 10, 11 und 12) weisen in der Regel nur geringe Pegelerhöhungen auf. Lediglich die Rüttelstreifenvariante 12 zeigt im Gegensatz zu den Rüttelstreifenvarianten 10 und 11 aufgrund des geringen Abstandes der Rüttelstreifen zueinander und der etwas größeren Frästiefe jedoch deutlichere Pegelerhöhungen.

3.7 Schwingungen und Fahrdynamik bei Einspurfahrzeugen

3.7.1 Messdurchführung und -equipment

Ob das Überfahren der Rüttelstreifen für Einspurfahrzeuge kritisch ist, wurde mittels Schwingungs- und Fahrdynamikmessungen ermittelt. Zur Schwingungsmessung mit den Einspurfahrzeugen wurde das gleiche Messequipment wie bei den Zweispurfahrzeugen verwendet (Bild 23). Hierzu wurde der Schwingungsaufnehmer am Lenker in der Nähe des Handgriffs angebracht (Bild 24). Die Verwendung des Sitzkissens war nicht möglich.

Die Ermittlung der am Motorrad bei hohen Geschwindigkeiten eventuell auftretenden Pendelschwingungen und des Lenkerflatters ist mit dem zuvor genannten Vibrations- und Geräuschmesssystem bestehend aus Schwingungsanalysator und triaxialem Schwingungssensor nur bedingt möglich.



Bild 23: Schwingungsmessgerät SVAN



Bild 25: Kreiselsystem im Motorradkoffer



Bild 24: Triaxialer Schwingungsaufnehmer am Motorrad



Bild 26: Ansicht des Kreiselsystems und des Messkoffers mit GPS-Antenne

Beim Lenkerflattern oder Pendeln des Motorrads treten weniger Schwingungen als vielmehr kurzzeitige und niederfrequente Drehungen um bestimmte Körperachsen auf, die nur mit einem empfindlichen Drehratensensor erfasst werden können. Diese Möglichkeit bietet ein bereits vorhandenes Kreiselsystem, mit dem mit sehr hoher Genauigkeit neben Beschleunigungen auch Drehraten in drei Achsen und im Schwerpunkt eines Körpers mit Transformation auf die Horizontallage gemessen werden können.

Beim Motorrad wurde das Kreiselsystem im zugehörigen Gepäckkoffer untergebracht (Bild 25). Die Messwerte wurden auf den vorher bestimmten Schwerpunkt des Gesamtsystems bestehend aus Fahrer und Motorrad entsprechend transformiert. Die Messdatenerfassung erfolgte mit einem fahrerzeugtauglichen Notebook, das auf dem Soziussitz angebracht war.

Das Kreiselsystem wurde beim Versuchsfahrrad in der Nähe des Schwerpunktes des Gesamtsystems unterhalb des Längsrohres befestigt. Die Messdatenerfassung und Stromversorgung waren in

einem Koffer auf dem Gepäckträger untergebracht (Bild 26).

Die am 29. Oktober 2009 absolvierten Fahrversuche zur Fahrdynamik von Einspurfahrzeugen gliederten sich in Schwingungsmessungen am Lenker der Zweiräder bei Geradeausfahrt über die Rüttelstreifenvarianten 1 bis 12 und auf dem S-Kurvenabschnitt (Rüttelstreifenvariante 6 und 9) auf. Die Rüttelstreifen wurden bei der Geradeausfahrt mit dem Fahrrad mit einer Geschwindigkeit von 20 km/h und mit dem Motorrad mit Geschwindigkeiten von 30 km/h, 50 km/h, 70 km/h, 90 km/h und 120 km/h überfahren. Die S-Kurve wurde mit dem Fahrrad mit einer Geschwindigkeit von 15, 20 und 25 km/h und mit dem Motorrad mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h überfahren.

3.7.2 Ergebnisse – Fahrrad

Schwingung

Die bei den Fahrversuchen mit dem Fahrrad ermittelten Lenkerbeschleunigungen sind in Bild 27 dargestellt. Die Werte zeigen eine unerwartet große

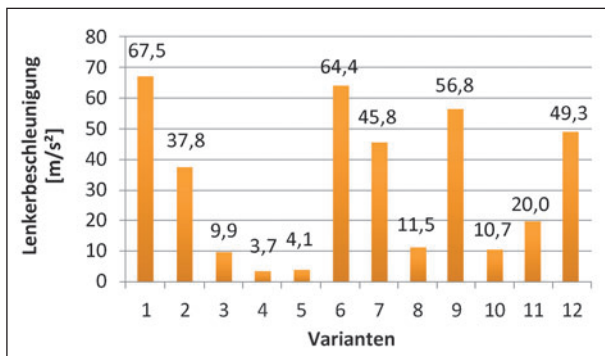


Bild 27: Maximalvektor der Differenz von Lenker- und Referenzbeschleunigung, Fahrrad, 20 km/h

Spannweite beginnend bei ca. 4 m/s^2 bei Rüttelstreifenvariante 4 und 5 bis über 60 m/s^2 bei Rüttelstreifenvariante 1 und 6. Wie sich bereits bei den Versuchen mit Zweispurfahrzeugen gezeigt hat, erzeugen auch bei den Versuchen mit dem Fahrrad diejenigen Rüttelstreifen die größten Schwingungen, die mit großer Frästiefe und geringem Abstand gefertigt sind (Rüttelstreifenvarianten 1, 6, 9 und 12).

Die Ergebnisse der Überfahrten über die S-Kurve, die mit 15 km/h , 20 km/h und 25 km/h durchgeführt wurden, können wie folgt zusammengefasst werden. Für den Mittelwert des resultierenden Schwingungsvektors ergibt sich eine fast lineare Zunahme mit wachsender Geschwindigkeit im Bereich zwischen 15 km/h und 25 km/h . Eine Ursache für diesen unerwarteten Verlauf ist möglicherweise darin zu sehen, dass die Räder des Fahrrades im Gegensatz zu Motorrädern weder gefedert noch gedämpft sind. Die Fahrbahnunebenheiten werden aufgrund der starren mechanischen Verbindung am Vorderad mit linearem Frequenzgang auf den Rahmen und den Lenker übertragen. Weiterhin ist anzumerken, dass die Streuung der Mittelwerte sehr hohe Werte annehmen kann.

Die Amplituden mit Werten im Bereich von 30 m/s^2 bis 50 m/s^2 liegen weit über den Ergebnissen der anderen Fahrversuche und machen deutlich, dass der Fahrer beim Überfahren des Rüttelstreifens hohen Belastungen ausgesetzt ist. Auf die daraus resultierende Beeinträchtigung der Fahrstabilität wird später noch eingegangen. Vorab ist anzumerken, dass der Fahrer bei den Versuchen mit zunehmender Geschwindigkeit erhebliche Probleme hatte, der vorgegebenen Spur des Rüttelstreifens zu folgen.

Fahrdynamik

Die Beschleunigungswerte sind auf den Fahrzeugschwerpunkt transformiert und unterscheiden sich kaum von den Messungen mit den Zweispurfahrzeugen. Die maximale Schwingungskomponente tritt auch hier bei der z-Achse auf. Bei den Drehraten sind nur auf der y-Achse deutliche Anteile vorhanden; bei den beiden übrigen Achsen überwiegen niederfrequente Anteile, die durch Taumelbewegungen hervorgerufen werden. Bei den Rüttelstreifenvarianten 6 und 9 wird an Hand einer Nullstelle im Schwingungsschrieb deutlich, dass der Fahrer möglicherweise aufgrund der hohen Lenkerschwingungen Probleme bei der Geradeausfahrt hatte und den Rüttelstreifen kurzzeitig verlässt.

Als Zusammenfassung der Fahrversuche mit dem Kreiselsystem ist festzuhalten, dass bei keiner der geprüften Geschwindigkeiten und Rüttelstreifenvarianten Anzeichen für eine Situation abzuleiten sind, bei der die Fahrsicherheit gefährdet war.

3.7.3 Ergebnisse – Motorrad

Schwingung

Die Ergebnisse der Versuche mit dem Motorrad sind in Bild 28 dargestellt, die einige interessante Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Schwingungsamplitude aufzeigen.

Insgesamt ergibt sich ein wenig homogenes Bild, bei dem jedoch vier Gruppen von Rüttelstreifen deutlich hervortreten. Die eine Gruppe, bestehend aus Rüttelstreifenvariante 4, 5, 8, 10 und 11 zeigt auf geringem Niveau einen weitgehend konstanten Verlauf der Lenkerschwingungen bei wachsender Geschwindigkeit. Bei zwei Rüttelstreifenvarianten (1 und 6) sind bei 30 km/h und 120 km/h Maximalwerte mit einem dazwischen liegenden ausgeprägten Minimalwert zu verzeichnen. Eine weitere Gruppe mit Rüttelstreifenvariante 2, 3 und 10 zeigt eine Zunahme mit wachsender Geschwindigkeit.

Schließlich nehmen die Lenkerschwingungen in der vierten Gruppe mit Rüttelstreifenvariante 7, 9 und 12 mit zunehmender Geschwindigkeit ab.

Eine Möglichkeit einer Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten der einzelnen Rüttelstreifenvarianten könnte darin liegen, dass bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten Überhöhungen (Resonanzen im Fahrwerk bzw. Lenker) in Abhängigkeit von der Frästextur (Profil und Abstand) an den

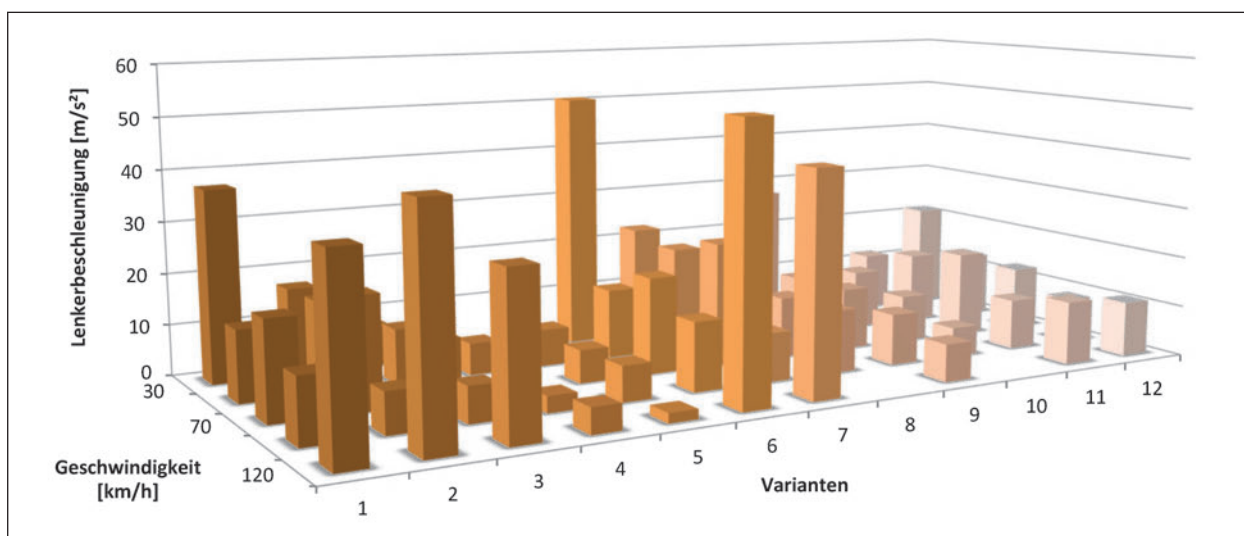


Bild 28: Maximalvektor der Differenz von Lenker- und Referenzbeschl. in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Motorrad

Federdämpfungssystemen des Vorder- und Hinterrades des Versuchsmotorrades auftreten. Da diese sich bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten gegenseitig überlagern und auch teilweise auslöschen können, entstehen möglicherweise am gewählten Messpunkt in der Nähe des Lenkergriffes Schwingungsbäuche oder Schwingungsknoten, die je nach Anregung variieren können.

Zu den Rüttelstreifenvarianten 1 und 6 mit Werten im Bereich von 40 m/s^2 bis 50 m/s^2 ist anzumerken, dass die auftretenden Amplituden zwar hohe Werte annehmen, aber dennoch weit unterhalb der Grenze der nicht mehr beherrschbaren Schwingungen am Lenker liegen.

Einen großen Einfluss auf die Höhe der Lenkerschwingung haben die Auslegung der Lenkergeometrie (Nachlauf) sowie die Abstimmung des Feder-Dämpfersystems am Vorder- und Hinterrad und Art der Bereifung und der Reifenfülldruck. Die mit diesem Fahrzeugtyp erzielten Werte können daher nicht 1:1 auf andere Motorräder übertragen werden. Dennoch kann festgehalten werden, dass während der Durchführung der Fahrversuche bis zu einer Geschwindigkeit von 120 km/h keine Situation auftrat, die auch nur in geringem Maße die Fahr-sicherheit beeinträchtigte.

Fahrdynamik

Im Vergleich zu den Messungen mit dem Fahrrad fällt auf, dass neben den drei Beschleunigungen auch bei den drei Drehraten deutliche Schwingungsvorgänge zu sehen sind, von denen die

y-Komponente (Nicken um die Querachse) die höchsten Amplituden zeigen.

Mit zunehmender Geschwindigkeit wird der Einfluss der Rüttelstreifen auf die Messsignale immer weiter reduziert, sodass eine Zuordnung der einzelnen Rüttelstreifenvarianten zu den aufgezeichneten Signalen nicht mehr möglich ist. Selbst die aufwändige nachträgliche Behandlung mit Filtern unterschiedlicher Charakteristik brachte keine weiteren Erkenntnisse. Bei dem eingesetzten Motorradtyp dürfte hierfür die aus Gründen des Fahrkomforts vorhandene gute Fahrwerksabstimmung verantwortlich sein, sodass Fahr-unebenheiten entsprechend gedämpft werden und der Geradeauslauf nur gering gestört wird. Allgemein kann daher festgehalten werden, dass in den Messergebnissen der Fahrversuche mit dem Motorrad auch bei hohen Geschwindigkeiten keine Hinweise auf kritische Situationen wie z. B. Pendeln gefunden werden konnte. Eine Reduzierung der Fahrstabilität beim Geradeauslauf ist beim Überfahren der Rüttelstreifen daher nicht zu erwarten.

Dies gilt in gleicher Weise auch für die Fahrversuche, die auf den mit dem Profil der Rüttelstreifenvariante 6 bzw. 9 gefrästen S-Kurven mit Geschwindigkeiten im Bereich um 50 km/h durchgeführt wurden. Die Seitenführung bei Schräglage war in allen Fällen gewährleistet. Ebenso war die Spurführung nicht beeinträchtigt. Einzig das subjektiv empfundene Vibrieren des Lenkers während der Überfahrt in Schräglage wurde als unangenehm beschrieben.

3.7.4 Zusammenfassung

Schwingung

Eine Rangfolge der mit zwei typischen Vertretern der jeweiligen Einspurfahrzeuggruppe durchgeführten Fahrversuche zeigt Tabelle 14. Es bildet sich eine Gruppe in der oberen Hälfte der Tabelle heraus, bei der relativ hohe Lenkerschwingungen festgestellt wurden. Zu dieser Gruppe gehören die Rüttelstreifenvarianten 1, 6, 7, 8, 9 und 12. Die höchsten Werte der Fahrradversuche erzielen die Rüttelstreifenvarianten 1 und 6 im Bereich um 65 m/s^2 ; bei den Motorradversuchen weisen die Rüttelstreifenvarianten 1, 6 und 8 die höchsten Ergebnisse mit Werten im Bereich um 13 m/s^2 auf.

In der unteren Hälfte von Tabelle 14 sind die Rüttelstreifenvarianten 3, 4, 5 und 10 aufgelistet, die z. T. deutlich geringere Lenkerschwingungen aufweisen.

Als wesentliches Ergebnis der Fahrversuche mit Einspurfahrzeugen zur Bewertung der Wirksamkeit bei den Rüttelstreifen ist festzuhalten, dass die höchsten Lenkerschwingungen bei den Rüttelstreifenvarianten auftreten, die mit einem Abstand von 300 mm und einer Tiefe von 10 mm bis 13 mm gefräst sind (Rüttelstreifenvarianten 1, 6, 9). Besonders beim Fahrrad sollte aus Gründen des Fahrkomforts angestrebt werden, große Lenkerschwingungen zu vermeiden. Folglich sollten Rüttelstreifen, die beim Überfahren mit dem Fahrrad große

Lenkerschwingungen verursachen (vor allem die Rüttelstreifenvarianten 1, 6, 9), nach Möglichkeit an Landstraßen mit Radverkehr nicht zum Einsatz kommen.

Ein Einfluss der Breite der Fräsungen konnte nicht festgestellt werden, da Einspurfahrzeuge mit ihren relativ schmalen Reifen die Rüttelstreifen selbst bei nicht optimaler Spurführung weitgehend gleich gut überfahren. Einzig bei den Fahrradversuchen war die Tendenz zu beobachten, dass unabhängig von der Geschwindigkeit der beabsichtigte Geradeauslauf teilweise erheblich gestört wurde. Der Fahrer war in diesen Fällen gezwungen, durch entsprechende Pendelbewegungen die Stabilität des Geradeauslaufes wieder herzustellen (Komfortproblematik s. o.).

Fahrdynamik

Die in den Fahrversuchen mit Einspurfahrzeugen durchgeführten Schwingungsmessungen bestätigen in guter Übereinstimmung die mit den Zweispurfahrzeugen gewonnene Rangfolge hinsichtlich der Wirksamkeit der untersuchten zwölf Rüttelstreifen.

In Bezug auf die Fahrsicherheit lässt sich aus den Messergebnissen ableiten, dass weder beim Fahrrad noch beim Motorrad kritische Situationen auftreten. Aus den Ergebnissen der Fahrradversuche ist jedoch anzumerken, dass insbesondere bei geringen Geschwindigkeiten im Bereich von 10 km/h bis 15 km/h in einigen Fällen die Testfahrer aufgrund der sehr hohen am Lenker auftretenden Schwingungen zu einer kontrollierten Geradeausfahrt nicht mehr in der Lage waren und somit praktisch vom Rüttelstreifen weggeführt wurden. Aus Komfortgründen sollten deshalb, wie bereits zuvor erwähnt, auf Landstraßenabschnitten mit Radverkehr die Rüttelstreifenvarianten, die bei Überfahrt mit dem Fahrrad große Lenkerschwingungen verursachen (vor allem die Rüttelstreifenvarianten 1, 6, 9) nach Möglichkeit nicht zum Einsatz kommen.

3.8 Bewertung

In einer umfangreichen Versuchsreihe mit Fahrversuchen von Zwei- und Einspurfahrzeugen wurde untersucht, wie unterschiedliche Rüttelstreifenvarianten von Rüttelstreifen wirken und welche Auswirkungen sie auf die Fahrstabilität von Einspurfahrzeugen haben.

a _{ges} Lenker			
Fahrrad 20 km/h		Motorrad 90 km/h	
[m/s ²]	Variante	[m/s ²]	Variante
67,5	1	13,4	6
64,4	6	12,4	1
56,8	9	12,3	8
49,3	12	10,0	9
45,8	7	9,9	11
37,8	2	9,5	7
20,0	11	8,7	12
11,5	8	7,8	2
10,7	10	6,9	3
9,9	3	6,9	5
4,1	5	5,7	10
3,7	4	3,2	4

Tab. 14: Lenkerschwingungen im Fahrradversuch bei 20 km/h und im Motorradversuch bei 90 km/h

Dazu wurden auf einer nicht öffentlich zugänglichen Versuchsstrecke unterschiedliche Rüttelstreifenvarianten von Rüttelstreifen gefräst und Schwingungs- und Lärmmessungen durchgeführt. Gleichzeitig stand das Fahrverhalten von Fahrrädern und Motorrädern aus Sicht der Verkehrssicherheit im besonderen Interesse, da derzeit kaum Daten zum Verhalten bei der Kurvenfahrt (Schräglage) und zur allgemeinen Fahrstabilität bei längerer Geradeausfahrt (Spurführung und Anregungen von Eigenschwingungen) vorliegen.

Es wurden Fahrversuche mit drei unterschiedlichen Zweispurfahrzeugen (Pkw, Transporter und Lkw) mit Messungen im Innenraum der Fahrzeuge durchgeführt, bei denen die Sitz- und Lenkradschwingungen sowie das Innengeräusch ermittelt wurden. Bei den mit Pkw, Transporter und Lkw durchgeführten Fahrversuchen zur Quantifizierung der Wirksamkeit (Sitz- und Lenkradschwingung und Innengeräusch) von 12 Rüttelstreifenvarianten mit unterschiedlichen Fräsungen zeigt sich übereinstimmend, dass Rüttelstreifen mit einem großen Fräsabstand (600 mm) und einer geringen Frästiefe (≤ 7 mm) nur eine geringe Wirksamkeit aufweisen. Hingegen zeigen die Rüttelstreifenvarianten mit einem Fräsabstand von 300 mm und einer Frästiefe von ≥ 10 mm in haptischer und akustischer Hinsicht die beste Wirksamkeit. Die abschließend durchgeführte gleichrangige und fahrzeugabhängige Bewertung der Messergebnisse der Lenkrad-, Sitzschwingung und des Innengeräusches zeigte, dass die Rüttelstreifenvarianten 1, 2, 6, 7, 9 und 12 eine

hohe Wirksamkeit in haptischer und akustischer Hinsicht haben.

Die Messungen des Außengeräusches spiegeln die Ergebnisse der Messungen im Fahrzeuginnenen wider. Rüttelstreifen, die im Fahrzeuginnenen deutlich spür- und hörbar sind, erzeugen auch ein entsprechend lautes Außengeräusch. Bild 29 zeigt exemplarisch sowohl die Sitzbeschleunigung als auch den Schallpegel (Außengeräusch) bei Überfahrt der 12 Rüttelstreifenvarianten mit einem Pkw (80 km/h). Hinsichtlich der Festlegung einer Vorzugsvariante gilt, dass die Vorzugsvariante eine ausreichend hohe haptische und akustische Rückmeldung im Fahrzeug erzeugen sollte, bei gleichzeitig möglichst niedrigem Außengeräusch. Die Rüttelstreifenvarianten mit der höchsten haptischen und akustischen Wirkung sind nach Tabelle 11 sowie Tabelle 13 die Rüttelstreifenvarianten 1, 2, 6, 7, 9 und 12. Von diesen Rüttelstreifenvarianten weist Rüttelstreifenvariante 12 den geringsten Schallpegel (Außengeräusch) auf und stellt somit die Vorzugsvariante dar (vgl. Tabelle 13), gefolgt von Rüttelstreifenvariante 2, die ein etwas höheres Außengeräuschniveau aufweist und dem Fahrer vergleichsweise eine geringfügig schlechtere haptische und akustische Rückmeldung im Fahrzeug gibt (vgl. Tabelle 11).

Zusätzlich wurden Fahrversuche mit Einspurfahrzeugen durchgeführt, bei denen Schwingungsmessungen am Fahrzeug und am Lenker messtechnisch erfasst wurden.

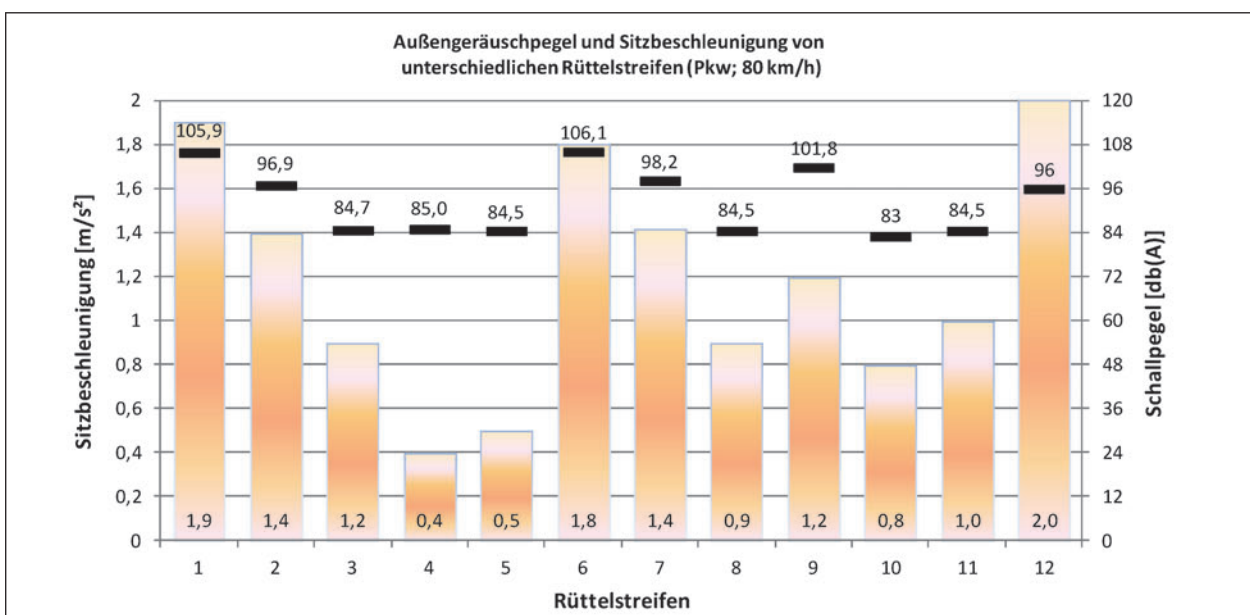


Bild 29: Außengeräuschpegel und Sitzbeschleunigung von unterschiedlichen Rüttelstreifenvarianten

In Bezug auf die Fahrstabilität von Einspurfahrzeugen traten während der Versuchsfahrten weder beim Fahrrad noch beim Motorrad kritische Situationen auf. Die zur Ermittlung der Fahrsicherheit von Einspurfahrzeugen durchgeführten Fahrversuche haben gezeigt, dass beim Überfahren der Rüttelstreifen keine negativen Einflüsse auf das Fahrverhalten auftreten. Hingegen kann eine Verschlechterung des Fahrkomforts objektiv und subjektiv für alle Einspurfahrzeuge festgestellt werden, sofern Rüttelstreifen überfahren werden.

Auf Landstraßenabschnitten mit Radverkehr sollten jedoch aus Komfortgründen die Rüttelstreifenvarianten, die bei Überfahrt mit dem Fahrrad große Lenkerschwingungen verursachen (vor allem die Rüttelstreifenvarianten 1, 6, 9) nach Möglichkeit nicht zum Einsatz kommen.

4 Sicherheitswirkung

4.1 Erforderlicher Untersuchungsumfang

Die Maßnahmenwirksamkeit von Straßeninfrastrukturmaßnahmen auf die Verkehrssicherheit kann in Form eines Vorher-Nachher-Vergleichs durchgeführt werden.

Um bereits im Vorfeld einer Untersuchung sicherstellen zu können, dass statistisch belastbare Ergebnisse erlangt werden, muss das angesetzte Untersuchungskollektiv einen Mindeststichprobenumfang von Unfällen im Vorherzeitraum aufweisen.

In Tabelle 15 ist dieser Mindeststichprobenumfang nach HAUER (2002) beispielhaft für verschiedene Maßnahmenfaktoren für eine Vorher-Nachher-Untersuchung ohne Kontrollgruppe angegeben.

Geschätzter Maßnahmenfaktor (geschätzte Maßnahmenwirkung)	Mindeststichprobenumfang im Vorherzeitraum [U] bei einem angestrebten Konfidenzintervall von	
	95 %	99 %
0,90 (-10 % U)	657	1.139
0,80 (-20 % U)	139	240
0,70 (-30 % U)	51	88
0,60 (-40 % U)	23	40

Tab. 15: Mindeststichprobenumfang von Unfällen im Vorherzeitraum bei V/N-Untersuchung ohne Kontrollgruppe

Kommt bei der Vorher-Nachher Untersuchung eine Kontrollgruppe zum Ansatz, so ist der erforderliche Mindeststichprobenumfang von Unfällen im Vorherzeitraum größer als der in Tabelle 15 dargestellte.

Wird in Anlehnung an ELVIK et al. (2009, siehe Tabelle 1) ein Maßnahmenfaktor für SRS (Shoulder Rumble Strips/Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens) auf Abkommensunfälle von der Fahrbahn (U-Art 8+9) von 0,84 und für CRS (Centre Rumble Strips/Rüttelstreifen im Mittelstreifen) auf Unfälle mit Zusammenstoß entgegenkommender Fahrzeuge (U-Art 4) von 0,76 angenommen, so sollte im Vorherzeitraum ein Mindeststichprobenumfang bei der Untersuchung von SRS von 232 Unfällen (95 %) bzw. 402 Unfällen (99 %) und bei der Untersuchung von CRS ein Mindeststichprobenumfang von 90 Unfällen (95 %) bzw. 155 Unfällen (99 %) im Vorherzeitraum vorliegen.

Diese Mindeststichprobenumfänge in Anlehnung an Tabelle 15 sind erforderlich, um auf Grundlage der Untersuchung eine positive Maßnahmenwirkung von SRS bzw. CRS unter Berücksichtigung der angenommenen Maßnahmenwirkung und eines zugrunde gelegten Konfidenzintervalls von 95 % oder 99 % ermitteln zu können.

4.2 Entwicklung Verkehrsunfälle

Das Unfallgeschehen unterliegt maßnahmenunabhängig einer allgemeinen Trendentwicklung, die bei Vorher-Nachher-Untersuchungen durch Ansatz einer Kontrollgruppe berücksichtigt werden kann.

In Bild 30 und Bild 31 sind für die Bundesländer NW und BW die Trendentwicklungen des Unfallgeschehens ausgewählter Unfallarten für Außerorts-Bundesstraßen dargestellt.

Hier zeigt sich, dass das Unfallgeschehen von 2007 bis 2013 auf Außerorts-Bundesstraßen sowohl in NW als auch in BW einem deutlichen Abwärtstrend unterliegt.

In Tabelle 16 und Tabelle 17 ist das Unfallgeschehen auf Außerorts-Bundesstraßen in NW und BW (entspricht der Kontrollgruppe) für die Zeiträume 2007-2009 (Vorherzeitraum, V) und 2011-2013 (Nachherzeitraum, N) und das daraus abgeleitete N/V-Verhältnis ($V_{N/V}$) für ausgewählte Unfallarten dargestellt.

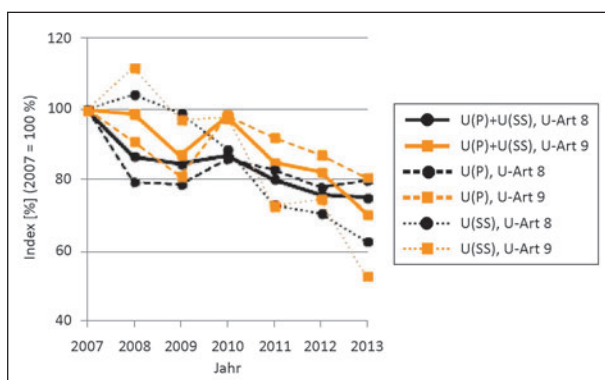


Bild 30: Unfallentwicklung auf Bundesstraßen (außerorts) in NW

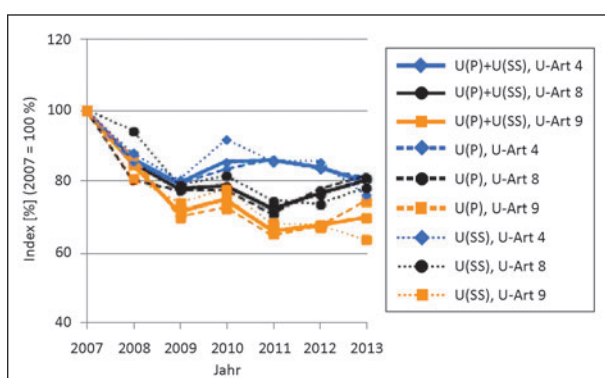


Bild 31: Unfallentwicklung auf Bundesstraßen (außerorts) in BW

U-Art	U-Schwere	Anzahl der Unfälle		Verhältnis $V_{N/V} = U_N/U_V$ [1]
		Vorher U_V 2007-09 [U]	Nachher U_N 2011-13 [U]	
8	U(P)	1.348	1.260	0,935
	U(P)+U(SS)	2.003	1.707	0,852
9	U(P)	808	773	0,957
	U(P)+U(SS)	1.355	1.128	0,832

Tab. 16: Unfallgeschehen im Vorher- und Nachherzeitraum auf Außerorts-Bundesstraßen in NW

U-Art	U-Schwere	Anzahl der Unfälle		Verhältnis $V_{N/V} = U_N/U_V$ [1]
		Vorher U_V 2007-09 [U]	Nachher U_N 2011-13 [U]	
4	U(P)	1.668	1.578	0,946
	U(P)+U(SS)	2.186	2.055	0,940
8	U(P)	1.697	1.513	0,892
	U(P)+U(SS)	2.595	2.257	0,870
9	U(P)	1.067	856	0,802
	U(P)+U(SS)	1.788	1.421	0,795

Tab. 17: Unfallgeschehen im Vorher- und Nachherzeitraum auf Außerorts-Bundesstraßen in BW

4.3 Auswahl Untersuchungskollektiv

4.3.1 Ursprüngliche Auswahlkriterien

Im Rahmen der Bund/Länder-Dienstbesprechung über verkehrstechnische Angelegenheiten (vkt) am 15./16. April 2008 in Kiel wurden die Ergebnisse der Analyse zur Sicherheitswirkung von eingefrästen Rüttelstreifen entlang der BAB A 24 vorgestellt. Gleichzeitig wurden die Ländervertreter gebeten, die Untersuchung zur Sicherheitswirkung von Rüttelstreifen an Landstraßen zu unterstützen. Hierauf Bezug nehmend wurden die Ländervertreter im August 2008 gebeten, potenziell geeignete Landstraßenabschnitte für Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (Shoulder Rumble Strips, SRS) zu benennen. Als Grundvoraussetzungen für die Aufnahme einer Strecke in das Untersuchungskollektiv wurden folgende Anforderungen definiert:

- minimale Streckenlänge von 4 km,
- minimale Randstreifenbreite von 0,50 m,
- minimaler Anteil an Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach rechts von 25 %.

4.3.2 Auswahl der Untersuchungsstrecken

Im Auswahlprozess stellte sich heraus, dass die zuvor genannten Auswahlkriterien bei der Auswahl der Untersuchungsstrecken zum Teil nicht aufrecht erhalten werden konnten.

Die Suche nach geeigneten Untersuchungsstrecken war aufgrund des Kriteriums nach einem mindestens 0,50 m breiten Randstreifen bereits sehr eingeschränkt. Zudem hatten einige Länder Bedenken, Rüttelstreifen an Strecken ohne separaten Geh- und Radweg zu fräsen.

Von insgesamt drei Bundesländern wurden potenzielle Strecken benannt, welche im Nachgang nochmals auf Basis des Unfallgeschehens sowie der örtlichen Randbedingungen beurteilt wurden. Dabei zeigte sich, dass eine Vielzahl der genannten Strecken nicht geeignet waren, da sich die Mehrzahl der Abkommensunfälle bei ungünstigen Witterungsbedingungen (Nässe bzw. Glätte) ereignet hatten und so die Ursache primär in einer nicht angepassten Geschwindigkeit zu sehen war. Des Weiteren gab es Strecken, bei denen sich die Abkommensunfälle auf eine spezielle Kurve konzentrierten und somit die Rüttelstreifen nicht als geeignete Maßnahme betrachtet wurden.

Letztendlich wurden drei Strecken, zwei davon in BW und eine in NW, ausgewählt.

Entgegen der ursprünglichen Planung wurde an einer der ausgewählten Untersuchungsstrecken die Rüttelstreifen im Mittelstreifen (Centre Rumble Strips, CRS) auf einem 2+1 Querschnitt entlang der Mittelmarkierung eingefräst.

Während auf zwei Untersuchungsstrecken, wie geplant, die Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (Shoulder Rumble Strips, SRS) eingefräst wurden. Dies erfolgte an einer der beiden Untersuchungsstrecken nur in einer Fahrtrichtung.

4.3.3 Einschränkung der Untersuchung

Das Untersuchungskollektiv umfasst, wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, zwei Streckenabschnitte, auf denen SRS, und einen Streckenabschnitt, auf dem CRS eingefräst wurden. Die Länge der betrachteten Streckenabschnitte mit SRS und CRS liegt zwischen 2,75 und 4,15 km.

Aufgrund des sehr kleinen Untersuchungskollektivs war bereits bei Planung der Untersuchung klar, dass keine statistisch belastbaren Ergebnisse zur Maßnahmenwirksamkeit von SRS und CRS an Landstraßen aus dieser Untersuchung abgeleitet werden können, da die erforderlichen Mindeststichprobenumfänge von Unfällen im Vorherzeitraum (vgl. Ausführungen in Kapitel 4.1) deutlich unterschritten wurden.

Die Untersuchung zur Maßnahmenwirksamkeit von SRS und CRS kann aus diesem Grund hier nur als Pilotstudie durchgeführt werden, bei der die Maßnahmenwirksamkeit von Rüttelstreifen auf Landstraßen nur beispielhaft für die drei Pilotstrecken ermittelt werden kann.

4.4 Maßnahmenwirkung

Die Maßnahmenwirkung eingefräster Rüttelstreifen auf die Verkehrssicherheit an den drei ausgewählten Pilotstrecken wird auf Grundlage eines Vorher-Nachher-Vergleichs mit Kontrollgruppe untersucht.

Im Rahmen des Vorher-Nachher-Vergleichs mit Kontrollgruppe werden die absoluten Unfallzahlen sowie die Unfalldichte 3 Jahre vor und 3 Jahre nach Umsetzung der Maßnahme unter Berücksichtigung

eines Korrekturfaktors, der sich aus der Kontrollgruppe ergibt, gegenübergestellt.

Dabei berechnet sich die Unfalldichte – als das Maß für die (längenbezogene) Häufigkeit, mit der sich Unfälle während eines bestimmten Zeitraumes auf einem bestimmten Straßenabschnitt ereignen – nach folgender Formel (FGSV, 2003):

$$UD = \frac{U}{L \cdot t} [U/(km \cdot a)] \quad (1)$$

Auf die Berechnung weiterer Unfallkenngrößen, wie bspw. die Unfallrate, wurde aufgrund der geringen Unfallzahlen sowie der Tatsache, dass die Abschnitte der drei ausgewählten Pilotstrecken über keine automatische Zählstelle verfügen, verzichtet.

Als Kontrollgruppe wird das Unfallgeschehen auf Bundesstraßen in den Bundesländern NW und BW für ausgewählte Unfallarten herangezogen (vgl. Bild 30 und Bild 31). So können allgemeine Trends und Entwicklungen im Unfallgeschehen bei der Ermittlung der Maßnahmenwirkung von eingefrästen Rüttelstreifen (SRS und CRS) an den drei Pilotstrecken mit in die Betrachtungen einbezogen werden.

Die Auswahl der drei Pilotstrecken wurde auf Grundlage des auffälligen Unfallgeschehens im Auswahlzeitraum von 3 Jahren vorgenommen. Allgemein unterliegt das Unfallgeschehen zufälligen Schwankungen um einen Mittelwert. Werden Untersuchungsstrecken aufgrund des auffälligen Unfallgeschehens ausgewählt und der Auswahlzeitraum bei der Unfallanalyse als Vorherzeitraum angesetzt, so kann die Auswahl einem Auswahlfehler unterliegen, der zu einer Überbewertung der Maßnahmenwirkung führen kann (vgl. SPAHN, 2012). Durch den Auswahlfehler wird die Maßnahmenwirkung oftmals überschätzt. Vor diesem Hintergrund sollte der Auswahlzeitraum nach Möglichkeit nicht dem Vorherzeitraum entsprechen.

Um den Auswahlfehler so gering wie möglich zu halten, wurde im Rahmen dieser Untersuchung angestrebt, die Überschneidung von Auswahl- und Vorherzeitraum der Unfallanalyse zu minimieren (maximaler Überschneidungszeitraum von 2 Jahren bei einem Betrachtungszeitraum von 3 Jahren).

Weiter ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen der durchgeführten Unfalluntersuchungen nur ausgewählte Unfallarten zum Ansatz kommen sollen. Dies hat zur Folge dass im Vorher- und Nachherzeitraum nur relativ kleine Unfallkollektive (Stichpro-

ben) für die betrachteten Untersuchungsstrecken vorliegen.

Auf den zwei Untersuchungsstrecken in BW wurde direkt vor dem Fräsen der Rüttelstreifen eine Deckenerneuerung durchgeführt. Neben der Maßnahme ‚Rüttelstreifen‘ hat somit auch die Maßnahme ‚Deckenerneuerung‘ einen Einfluss auf das Unfallgeschehen. Welchen Einfluss eine Deckenerneuerung auf die Verkehrssicherheit hat, wurde im Rahmen einer Untersuchung von SCHNÜLL et al. (1997) untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, dass vor allem Baumaßnahmen der Deckenerneuerung (ohne begleitende entwurfstechnische Verbesserungen) problematisch sind, da das Unfallgeschehen aufgrund höherer Fahrgeschwindigkeiten anstieg. Eine Metaanalyse von ELVIK et al. (2009) kommt zu dem Ergebnis, dass eine Deckenerneuerung keine signifikante Änderung im Unfallgeschehen bewirkt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass eine Fahrbahndeckenerneuerung keine positiven Auswirkungen auf das Unfallgeschehen hat. Vor diesem Hintergrund wird die Wirkung der Rüttelstreifen diesbezüglich etwas unterschätzt.

4.5 Pilotuntersuchungen

4.5.1 SRS-Pilotstrecke B 55 (NW)

Der Abschnitt 129 (VNK: 4615019; NNK: 4516025) der B 55 zwischen Warstein und Meschede (siehe Bild 32) wurde auf Basis des Unfallgeschehens der Jahre 2006 bis 2008 und aufgrund des Fahrbahnquerschnitts als Pilotstrecke ausgewählt. Der Abschnitt 129 der B 55 hat eine Länge von 8,2 km, jedoch eignete sich zum Fräsen von Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (Shoulder Rumble Strips, SRS) nur der Teil zwischen Station 1.250 und 5.400 (4,15 km), da nur hier ein ausreichend breiter Rand- und Mehrzweckstreifen zur Verfügung steht (Randstreifenbreite: 0,50 m; Breite

Mehrzweckstreifen: 1,75 m; vgl. Bild 33). Geometrisch gekennzeichnet ist dieser Teilabschnitt durch eine relativ hohe Kurvigkeit sowie ein stetiges Gefälle in Richtung Warstein (Fahrtrichtung 1).

Innerhalb des Auswahlzeitraumes (2006-2008) ereigneten sich zwischen den Stationen 1.250 und 5.400 insgesamt 15 Verkehrsunfälle der Unfallkategorie 1-4, 10 davon mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts. Vor dem Hintergrund, dass sich 7 dieser Abkommensunfälle nach rechts (4 davon mit Personenschaden; 5 davon bei Dunkelheit; 4 davon bei ungünstigen Witterungsverhältnissen) in Fahrtrichtung Warstein (Fahrtrichtung 1) ereigneten, wurde beschlossen, die Rüttelstreifen auch nur einseitig in Fahrtrichtung Warstein einzufräsen.

Am 6. und 7. Juli 2010 wurden die Rüttelstreifen in Fahrtrichtung Warstein zwischen den Stationen 1.250 und 5.400 direkt neben der Fahrstreifenbegrenzungslinie in den Randstreifen gefräst (vgl. Bild 34). Die Kosten für das Fräsen von Rüttelstreifen der Variante 12 (vgl. Tabelle 2) lagen bei den untersuchten drei Pilotstrecken zwischen ca. 3.000 €/km bis 10.000 €/km. Aufgrund örtlicher Randbedingungen der hier betrachteten Pilotstrecke lagen die Fräskosten mit insgesamt 42.000 € (~10.000 €/km) am oberen Ende der genannten Preisspanne.

Im Rahmen der Vorher-Nachher-Untersuchung mit Kontrollgruppe wurden die Jahre 2007 bis 2009 als

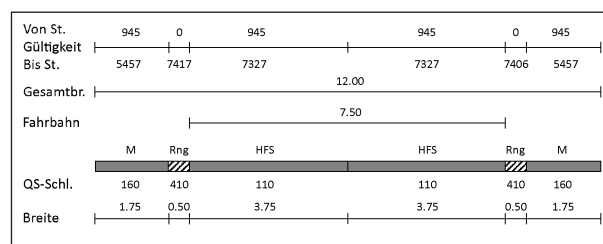


Bild 33: B 55 Profil (Quelle: NWSIB, 2010)



Bild 32: B 55, Abs. 129, St. 1.600, Vorher (ZEB, 2007; Quelle: IT-ZEB Server)



Bild 34: B 55, Abs. 129, St. 1.600, Nachher (ZEB, 2011; Quelle: IT-ZEB Server)

Vorherzeitraum und die Jahre 2011 bis 2013 als Nachherzeitraum festgelegt.

Tabelle 18 (Unfalldatensatzbeschreibung siehe Anhang) zeigt das Unfallgeschehen der Untersuchungsstrecke in beide Fahrrichtungen. Der Rüttelstreifen wurde jedoch nur einseitig in Fahrtrichtung 1 (in Richtung Warstein) eingefräst. Aus diesem Grund beziehen sich die in Tabelle 19 dargestellten Unfälle im Vorher- und Nachherzeitraum der Untersuchungsstrecke nur auf diese Fahrtrichtung.

Wie in Tabelle 19 dargestellt, konnte nach Umsetzung der Maßnahme (Nachherzeitraum) auf der betrachteten Pilotstrecke ein deutlicher Rückgang der Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts festgestellt werden. So ereignete sich im Nachherzeitraum in der betrachteten Fahrtrichtung nur ein Abkommensunfall von der Fahrbahn nach rechts mit leichtem Personenschaden.

Auf Grundlage des durchgeführten Vorher-Nachher-Vergleichs mit Kontrollgruppe konnte, wie in Tabelle 20 dargestellt, für die betrachtete Pilotstrecke ein Maßnahmenfaktor für die Rüttelstreifen im Seiten-/Randbereich (SRS) auf Unfälle der Unfallart 8 von 0,39 (U-Kategorie 1-3) bzw. 0,24 (U-Kategorie 1-4) ermittelt werden. Dies entspricht

	Vorher (07-09)	Nachher (11-13)
Betrachtungszeitraum [Monate]	36	36
Anzahl der Unfälle der Unfallart 8 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4 (1+2/3/4); [U]	5 (2/1/2)	1 (0/1/0)
Mittlere Anzahl der Unfälle der Unfallart 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,67 (1,0)	0,33 (0,33)
Unfalldichte der Unfälle der Unfallart 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	0,40 (0,24)	0,08 (0,08)

Tab. 19: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 55 (Fahrtrichtung 1)

Datum	ST	RI	KAT	GT	SV	LV	TYP	ART	CHA	LI	ZU	AUH	VB1/2/3	UUR1
02.2006	4.500	2	4				151	9	4	0	2	3	21	13
02.2006	2.200	1	4				151	8	5	2	2		51	13
04.2006	1.850	1	4				151	9	5	2	1	4	51	13
05.2006	3.425	1	2		1		153	0	5	0	0	5	11	12
07.2006	3.423	1	2		2		153	8	5	2	0	3	1	49
01.2007	1.500	1	4				152	8	5	2	1	3	21	13
05.2007	5.200	1	3			2	153	8	5	0	1		21	49
09.2007	1.530	1	3			2	201	2	5	0	0	5	21/21	49
12.2007	4.785	2	3			1	141	8		1	0	4	21	49
01.2008	2.165	1	2		1		151	8	5	2	2		21	13
03.2008	3.600	2	2		1		153	8	4	0	0		21	49
05.2008	3.100	2	4				152	8	4	1	1	4	21	1
06.2008	1.600	1	4				141	8	5	2	0	4	21	3
08.2008	5.200	1	2		1		151	8	5	0	0		21	4
09.2008	2.000	1	2		1	1	151	2	5	0	0	5	21/41	13
06.07.2010 – 07.07.2010: Rüttelstreifen in Fahrtrichtung 1 (Warstein) gefräst														
07.2010	3.425	1	2		1	1	732	9	5	2	0	4	21	49
07.2011	2.600	1	4				652	2	5	0	1	5	21/21/21	18
11.2011	4.170	1	3			1	153	9	5	0	2	4	21	49
02.2012	2.000	1	3			1	151	8	5	0	2		21	
06.2013	4.950	2	3			1	153	8	4	0	1	0	21	49

Tab. 18: Unfalldaten B 55 der Unfallkategorie 1-4 im Abschnitt 129 zwischen Station 1.250 und 5.400 von 2006 bis 2013 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)

einer Reduktion der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts von -61 % (U-Kategorie 1-3) bzw. -76 % (U-Kategorie 1-4).

Die ermittelte Maßnahmenwirksamkeit bezieht sich aufgrund der in Kapitel 4.3.3 dargestellten generellen Einschränkungen, denen die Pilotuntersuchung unterliegt, nur auf die betrachtete Pilotstrecke.

Nach dem Fräsen der Rüttelstreifen (siehe Bild 35) ereigneten sich im Nachherzeitraum zwei Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach links (Typ 153 und 732). Bei den beiden Unfällen kann davon ausgegangen werden, dass diese nicht durch eine mögliche Überreaktion beim Überfahren der Rüttelstreifen (ursprünglich Abkommen nach rechts) hervorgerufen wurden, da sich der eine aufgrund eines sonstigen Hindernisses auf der Fahrbahn (Typ 732) und der andere bei Winterglätte ereignet hat.

	Anzahl der Unfälle im Nachherzeitraum mit/ohne Maßnahme		Maßnahmenfaktor
	$U_{N,ohne} = V_{NV} * U_{V,ohne}$ [U]	$U_{N,mit}$ [U]	$M_{Pstr} = U_{N,mit} / U_{N,ohne}$ [1]
Unfälle der U-Art 8 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4; [U]	4,26	1	0,24
Unfälle der U-Art 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,42 (0,85)	0,33 (0,33)	0,24 (0,39)
Unfälle der U-Art 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	0,34 (0,20)	0,08 (0,08)	0,24 (0,39)

Tab. 20: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe



Bild 35: Rüttelstreifen neben der Fahrbahnbegrenzung

4.5.2 SRS-Pilotstrecke B 313 (BW)

Auf Basis des Unfallgeschehens der Jahre 2005 bis 2007 wurde der Abschnitt VNK 7621002 bis NNK 7621015 (zwischen Trochtelfingen und Haid) der B 313 als Pilotstrecke ausgewählt (siehe Bild 36). Insgesamt beträgt die Länge dieses Abschnittes 6,6 km. Da sich die Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts jedoch primär im vorderen Teilabschnitt ereigneten und für diesen aufgrund der Überschreitung des Schwellenwertes für Flickstellen eine Fahrbahndeckenerneuerung vorgesehen war, wurde der Teilabschnitt zwischen Station 600 und 3.400 (2,8 km) für das Fräsen der Rüttelstreifen ausgewählt.

Im Auswahlzeitraum (2005-2007) ereigneten sich entlang des 2,8 km langen Abschnittes 9 Verkehrsunfälle der Unfallkategorie 1-4, 4 davon waren Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts (vgl. Tabelle 23). Alle 4 Abkommensunfälle waren Unfälle mit Personenschaden und 3 der 4 ereigneten sich bei Tageslicht und bei guten Witterungsbedingungen (Trockenheit). Obwohl der Teilabschnitt höhenplantechnisch relativ unbewegt ist (keine Steigung/kein Gefälle), ereigneten sich die 4 Abkommensunfälle in Fahrtrichtung 1 (Haid). Am 09./10. November 2010 wurden beidseitig die Rüttelstreifen in den Randstreifen direkt neben die Fahrstreifenbegrenzungslinie gefräst – eine Woche zuvor erfolgte die Deckenerneuerung (siehe Bild 37).

Die Kosten für das Fräsen von Rüttelstreifen der Variante 12 (vgl. Tabelle 2) lagen bei den untersuchten drei Pilotstrecken zwischen ca. 3.000 €/km



Bild 36: B 313, St. 2.900, Vorher (ZEB, 2007; Quelle: IT-ZEB Server)



Bild 37: B 313, St. 2.900, Nachher (ZEB, 2011; Quelle: IT-ZEB Server)

	Vorher (07-09)	Nachher (11-13)
Betrachtungszeitraum [Monate]	36	36
Anzahl der Unfälle der Unfallart 8 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4 (1+2/3/4); [U]	5 (3/2/0)	2 (0/1/1)
Mittlere Anzahl der Unfälle der Unfallart 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,67 (1,67)	0,67 (0,33)
Unfalldichte der Unfälle der Unfallart 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	0,60 (0,60)	0,24 (0,12)

Tab. 21: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 313

bis 10.000 €/km. Aufgrund örtlicher Randbedingungen der hier betrachteten Pilotstrecke lagen die Fräskosten mit insgesamt 19.500 € (~3.500 €/km) eher am unteren Ende der genannten Preisspanne.

Im Rahmen der Vorher-Nachher-Untersuchung mit Kontrollgruppe wurden die Jahre 2007 bis 2009 als Vorherzeitraum festgelegt. In diesem Zeitraum ereigneten sich 5 Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts, alle mit Personenschaden (davon 3 mit schwerem Personenschaden). Als Nachherzeitraum wurde der Zeitraum 2011 bis 2013 ausgewählt. Wie Tabelle 21 und Tabelle 22 zu entnehmen ist, ereigneten sich im Nachherzeitraum zwei Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts. Dabei handelte es sich bei einem der beiden Unfälle im Nachherzeitraum um einen Unfall im Längsverkehr (Unfalltyp 6), der sich beim Überholvorgang ereignete (Unfallursache 17 ‚Überholen trotz Gegenverkehr‘). Ein Zusammenhang zwischen diesem Unfall und den eingefrästen Rüttelstreifen kann nicht hergestellt werden.

	Anzahl der Unfälle im Nachherzeitraum mit/ohne Maßnahme		Maßnahmenfaktor
	$\frac{U_{N,ohne}}{V_{NV} \cdot U_{V,ohne}}$ [U]	$U_{N,mit}$ [U]	$\frac{M_{Pstr}}{U_{N,mit}/U_{N,ohne}}$ [1]
Unfälle der U-Art 8 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4 [U]	4,35	2	0,46
Unfälle der U-Art 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,45 (1,45)	0,67 (0,33)	0,46 (0,23)
Unfälle der U-Art 8 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	0,52 (0,52)	0,24 (0,12)	0,46 (0,23)

Tab. 22: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe

Wie in Tabelle 21 dargestellt, konnte nach Umsetzung der Maßnahme (Nachherzeitraum) ein deutlicher Rückgang der Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts festgestellt werden. So ereigneten sich in diesem nur zwei Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts.

Auf Grundlage des durchgeführten Vorher-Nachher-Vergleichs mit Kontrollgruppe konnte für den betrachteten Streckenabschnitt, wie in Tabelle 22 dargestellt, ein Maßnahmenfaktor für die betrachtete Pilotstrecke mit eingefrästen Rüttelstreifen im Seiten-/Randbereich (SRS) auf Unfälle der Unfallart 8 von 0,23 (U-Kategorie 1-3) bzw. 0,46 (U-Kategorie 1-4) ermittelt werden. Dies entspricht einer Reduktion der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts von -77 % (U-Kategorie 1-3) bzw. -54 % (U-Kategorie 1-4).

Die ermittelte Maßnahmenwirksamkeit bezieht sich aufgrund der in Kapitel 4.3.3 dargestellten generellen Einschränkungen, denen die Pilotuntersuchung unterliegt, nur auf die betrachtete Pilotstrecke.

Inwieweit die positive Maßnahmenwirkung auf der Pilotstrecke nach dem Fräsen der Rüttelstreifen alleine auf die Maßnahme SRS zurückgeführt werden kann, kann aufgrund der durchgeführten Fahrbahndeckenerneuerung nur schwer abgeschätzt werden. In Anlehnung an die Ausführungen in Kapitel 4.4 kann jedoch tendenziell unterstellt werden, dass die Maßnahme Deckenerneuerung keinen positiven Effekt auf das Unfallgeschehen gehabt hat und somit die Maßnahmenwirkung der Rüttelstreifen hier eher unterschätzt wird.

Datum	ST	RI	KAT	GT	SV	LV	TYP	ART	CHA	LI	ZU	AUH	BET	VB1	UUR1
03.2005	950	2	2		1	4	3	5	2	2	0		2		28
02.2006	2.520	2	4				1	4	6	0	2	3	2		13
02.2006	1.900	1	3			1	1	8	6	2	2		1		13
04.2007	1.300	1	2		1	1	1	8	6	0	0		1		13
07.2007	780	1	2		1		1	8	6	0	0	4	1		01
09.2007	1.350	1	2		1	1	1	8	6	0	0	4	1		49
10.2007	650	1	1	1		1	1	4	6	2	0		2		13
12.2007	950	2	3			2	3	5	2	0	1		2		28
12.2007	720	1	3			3	6	4	5	0	2		3		13
04.2008	921	2	2		2	1	3	5	2	0	0	5	2	21	28
10.2008	2.389	1	2		1	4	6	2	6	0	0	5	2	21	13
02.2009	1.201	2	3			1	6	4	6	0	2	5	2	45	13
06.2009	989	2	3			2	1	8	6	2	0	5	Destatis	21	12
11.2009	2.087	1	3			2	1	8	6	1	2	4	1	21	13
01.2010	1.017	1	2		1		7	8	6	2	2	4	1	21	13
02.2010	3.292	1	4				7	0	6	0	0	4	1	21	01
03.2010	651	1	3			1	1	8	6	0	2	4	1	21	13
09.11.2010 – 10.11.2010: Rüttelstreifen am Fahrbahnrand gefräst (kurz davor Deckenerneuerung)															
12.2011	2.490	2	4				1	4	0	0	2	5	4	21	13
01.2013	1.100	2	4				1	9	0	2	1	5	1	21	13
03.2013	800	1	3			2	1	8	6	0	0	3	1	21	13
07.2013	1.300	1	4				2	5	2	0	0	5	2	21	18
08.2013	2.000	2	4				6	8	6	0	0	5	2	92	17

Tab. 23: Unfalldaten B 313 (VNK: 7621002; NNK: 7621015) zwischen Station 600 und 3.400 von 2005 bis 2011 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)

Bei der Betrachtung der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links zeigt sich, dass sich im Nachherzeitraum nur ein Abkommensunfall nach links auf diesem Abschnitt ereignet hat (siehe Tabelle 23). Inwieweit dieser Unfall durch eine mögliche Überreaktion des Kraftfahrers beim Überfahren der Rüttelstreifen (ursprünglich Abkommen von der Fahrbahn nach rechts) hervorgerufen wurde und somit im Zusammenhang mit der Maßnahme steht, kann nicht zweifelsfrei beurteilt werden.

4.5.3 CRS-Pilotstrecke B 33 (BW)

Der 9,5 km lange Abschnitt der B 33 zwischen Triberg und St. Georgen (VNK: 7815004; NNK: 7816038) wurde zunächst auf Basis der Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts im Zeitraum von 2005 bis 2007 als potenziell geeignete Pilotstrecke eingestuft. Bei der näheren Betrachtung an Ort und Stelle zeigte sich jedoch, dass zwar

ein Randstreifen von 0,50 m zur Verfügung stand, jedoch aufgrund der stark angepassten Trassierung an das Gelände auf überwiegender Länge direkt an den Randstreifen Stützwände bzw. Schutzeinrichtungen angrenzen. Da im Abschnitt zwischen km 3.150 und 5.900 (Länge: 2,75 km) die Strecke jedoch als 2+1 Straße betrieben wird und für diesen Abschnitt zudem eine Fahrbahndeckenerneuerung aufgrund der Überschreitung des Schwellenwertes hinsichtlich allgemeiner Unebenheiten sowie Rissen vorgesehen war, wurde in einem zweiten Schritt auf Basis des Unfallgeschehens (primär Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr) geprüft, inwieweit dieser Abschnitt für Rüttelstreifen im Mittelstreifen (Centre Rumble Strips, CRS) geeignet ist (siehe Bild 38).

Im Zeitraum von 2005 bis 2007 ereigneten sich im Abschnitt von km 3,15 bis 5,9 insgesamt 7 Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr (5 davon mit Personenschaden).

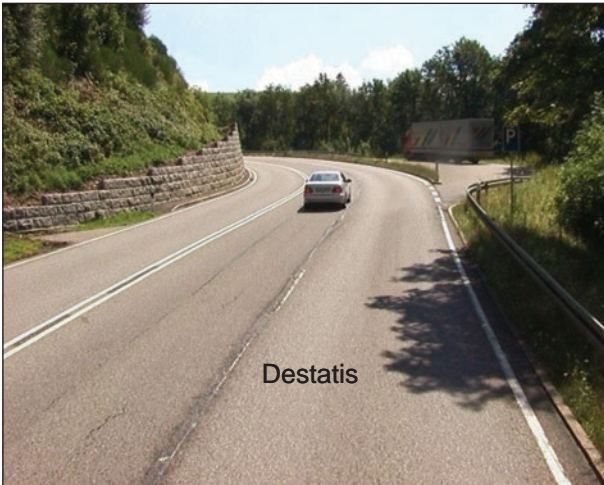


Bild 38: B 33, Station 4.950, Vorher (ZEB, 2007; Quelle: IT-ZEB Server)



Bild 39: B 33, Station 4.950, Nachher (ZEB, 2011; Quelle: IT-ZEB Server)

Vor diesem Hintergrund wurde dieser Abschnitt als Untersuchungsstrecke für CRS festgelegt.

Da sich durch in den Mittelstreifen eingefräste Rüttelstreifen auch Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach links vermeiden lassen, wurden diese ebenfalls betrachtet. Im Auswahlzeitraum ereigneten sich insgesamt 4 Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach links (3 davon mit Personenschaden), jeweils 2 davon bei guten Witterungs- und Sichtverhältnissen (Trocken, Tag).

Am 11./12. November 2010 wurde die Rüttelstreifen in den Mittelstreifen gefräst – eine Woche zuvor erfolgte die Deckenerneuerung (siehe Bild 39 und Bild 40). Die Kosten für das Fräsen von Rüttelstreifen der Variante 12 (vgl. Tabelle 2) lagen bei den untersuchten drei Pilotstrecken zwischen ca. 3.000 €/km bis 10.000 €/km. Aufgrund örtlicher Randbedingungen der hier betrachteten Pilotstrecke lagen die Fräskosten mit insgesamt 8.500 € (~3.000 €/km) am unteren Ende der genannten Preisspanne.

Die Oberfläche der Rüttelstreifen war nach dem Fräsen relativ grob und es zeigten sich vereinzelt Kornausbrüche. Vermutlich hängt dies mit der Körnung der Asphaltdeckschicht zusammen (AC 11 DS mit Bindemittel 25/55-55 A für Bauklasse II). Zum Schutz der Deckschicht wurde deshalb vor Herstellung der Endmarkierung noch eine dünne Bitumenschlämme auf dem Rüttelstreifen aufgetragen.

Als Vorherzeitraum wurden die Jahre 2007 bis 2009 festgelegt. In diesem Zeitraum ereigneten sich 5



Bild 40: Rüttelstreifen im Mittelstreifen der B 33

Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr (4 davon mit Personenschaden) und 5 Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach links (2 davon mit Personenschaden).

Als Nachherzeitraum wurde der Zeitraum von 2011 bis 2013 festgelegt. In diesem Zeitraum ereigneten sich 4 Zusammenstöße mit dem Gegenverkehr (alle mit Personenschaden) und 3 Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach links (2 davon mit Personenschaden).

In Tabelle 24 und Tabelle 25 ist das Unfallgeschehen der Pilotstrecke im Vorher- und Nachherzeitraum für die Unfallarten 4 und 9 gegenübergestellt worden. Ein Vergleich der absoluten Unfallzahlen macht deutlich, dass die Anzahl der Unfälle mit Per-

	Vorher (07-09)	Nachher (11-13)
Betrachtungszeitraum [Monate]	36	36
Anzahl der Unfälle der Unfallart 4 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4 (1+2/3/4); [U]	5 (0/4/1)	4 (2/2/0)
Mittlere Anzahl der Unfälle der Unfallart 4 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,67 (1,33)	1,33 (1,33)
Unfalldichte der Unfälle der Unfallart 4 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	1,82 (1,45)	1,45 (1,45)

Tab. 24: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 33 (U-Art 4)

	Vorher (07-09)	Nachher (11-13)
Betrachtungszeitraum [Monate]	36	36
Anzahl der Unfälle der Unfallart 9 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4 (1+2/3/4); [U]	5 (0/2/3)	3 (1/1/1)
Mittlere Anzahl der Unfälle der Unfallart 9 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,67 (0,67)	1,00 (0,67)
Unfalldichte der Unfälle der Unfallart 9 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	0,61 (0,24)	0,36 (0,24)

Tab. 25: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 33 (U-Art 9)

sonenschaden (U-Kategorie 1-3) im Vorher- und Nachherzeitraum sowohl bei U-Art 4 als auch bei U-Art 9 gleich groß ist. Werden die Unfälle der U-Kategorie 4 mit einbezogen, so ist die absolute Anzahl der Unfälle im Vorherzeitraum geringfügig höher.

Das Ergebnis des durchgeführten Vorher-Nachher-Vergleichs mit Kontrollgruppe (siehe Tabelle 26 und Tabelle 27) macht jedoch deutlich, dass der auf der Pilotstrecke B 33 in den Mittelstreifen eingefräste Rüttelstreifen (CRS) auf Unfälle mit Personenschaden (Kategorie 1-3) eine negative Maßnahmenwirkung hatte. Der Maßnahmenfaktor für Unfälle mit Personenschaden der U-Art 4 (Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug) liegt bei 1,06 (Zunahme U(P) um 6 %) und der Maßnahmenfaktor für Unfälle mit Personenschaden der U-Art 9 (Abkommen von der Fahrbahn nach links) liegt mit einem Wert von 1,25 (Zunahme U(P) um 25 %) noch höher. Bei Betrachtung der Unfälle der Kate-

	Anzahl der Unfälle im Nachherzeitraum mit/ohne Maßnahme		Maßnahmenfaktor $M_{Pstr} = \frac{U_{N,mit}}{U_{N,ohne}}$ [1]
	$U_{N,ohne} = V_{N/V} * U_{V,ohne}$ [U]	$U_{N,mit}$ [U]	
Unfälle der U-Art 4 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4; [U]	4,70	4	0,85
Unfälle der U-Art 4 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,57 (1,26)	1,33 (1,33)	0,85 (1,06)
Unfälle der U-Art 4 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	0,57 (0,46)	0,48 (0,48)	0,85 (1,06)

Tab. 26: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe (U-Art 4)

	Anzahl der Unfälle im Nachherzeitraum mit/ohne Maßnahme		Maßnahmenfaktor $M_{Pstr} = \frac{U_{N,mit}}{U_{N,ohne}}$ [1]
	$U_{N,ohne} = V_{N/V} * U_{V,ohne}$ [U]	$U_{N,mit}$ [U]	
Unfälle der U-Art 9 im Betrachtungszeitraum Kategorie 1-4; [U]	3,98	3	0,75
Unfälle der U-Art 9 Kategorie 1-4 (1-3); [U/a]	1,33 (0,53)	1 (0,66)	0,75 (1,25)
Unfälle der U-Art 9 Kategorie 1-4 (1-3); [U/(km·a)]	0,48 (0,19)	0,36 (0,24)	0,75 (1,25)

Tab. 27: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe (U-Art 9)

gorie 1-4 konnte im Gegensatz dazu mit 0,85 (U-Art 4) und 0,75 (U-Art 9) eine positive Maßnahmenwirkung festgestellt werden. Die ermittelten Maßnahmenwirksamkeiten beziehen sich aufgrund der in Kapitel 4.3.3 dargestellten generellen Einschränkungen, denen die Pilotuntersuchung unterliegt, nur auf die betrachtete Pilotstrecke.

Eine Übersicht der Unfalldaten ist der Tabelle 28 sowie Tabelle 29 zu entnehmen.

Datum	ST	RI	KAT	GT	SV	LV	TYP	ART	CHA	LI	ZU	AUH	BET	VB1	UUR1
02.2005	3.600	2	2		1	1	1	4	5	0	2		2		13
04.2005	3.580	1	2		1		1	9	4	0	0	4	1		12
05.2005	4.000	2	3			1	1	9	5	0	0	4	1		13
05.2005	5.350	2	3			1	1	4	5	0	1		2		13
05.2005	3.200	2	4				1	4	5	0	1		2		11
05.2005	5.500	1	3			1	1	8	4	2	1	3	1		13
05.2005	5.420	1	2		1		1	8	4	0	0	3	1		13
07.2005	3.200	1	3			1	1	8	4	0	0	3	1		13
07.2005	4.850	1	2		1		1	8	4	0	0		1		11
01.2006	4.300	2	3			1	6	8	5	0	1	4	1		13
03.2006	4.000	2	3			2	1	4	5	2	2		2		13
05.2006	5.400	2	4				1	8	5	0	1		1		13
11.2006	5.030	2	2		2	1	1	4	5	2	1	5	2		11
01.2007	4.300	2	4				1	9	5	2	2	3	1		13
01.2007	3.400	1	4				1	4	4	0	2		2		13
03.2007	5.000	2	3			1	1	9	5	2	1	3	1		13
04.2007	4.800	1	2		2		1	8	4	0	0	3	1		13
05.2007	4.600	1	4				1	0	4	0	1	4	1		13
06.2007	5.556	2	3			1	1	8	5	0	0	2	1		49
09.2007	5.450	1	2		1		1	0	4	0	0	5	1		49
10.2007	4.450	2	3			1	1	8	5	0	0	3	1		01
10.2007	3.500	1	3			1	1	4	6	0	1		2		13
06.2008	5.427		4				1	8	5	0	0	4	1	21	13
07.2008	3.557	1	3			1	1	0	4	0	0	5	1	11	13
07.2008	4.115		3			1	1	8	5	0	1		1	21	13
10.2008	5.476	1	3			3	6	4	4	0	1		3	21	13
10.2008	5.458		4				1	8	5	0	1	4	1	21	13
11.2008	3.953		4				1	9	5	1	1	3	1	21	13
12.2008	4.759	1	3			2	1	4	4	2	0		2	21	13
01.2009	3.205	1	3			1	1	4	4	0	2		2	21	13
01.2009	4.295		3			1	1	9	6	2	0	3	1	21	13
01.2009	4.228		4				1	8	6	0	1	4	1	21	13
05.2009	4.850	1	4				1	9	4	2	0	4	1	21	01
09.2009	3.186	2	3			1	1	1	5	0	0	5	2	21	14
11.2009	3.502	2	4				3	5	2	0	0	5	2	21	28
01.2010	4.916	1	4				1	8	6	0	2	3	1	21	13
02.2010	4.136	2	4				6	3		0	1	4	2	21	20
03.2010	4.543	1	3			1	1	2	5	0	2	5	3	21	13
05.2010	5.381	1	4				1	8	6	0	0	3	1	21	49
05.2010	3.198	1	2		1		1	8	6	0	0	3	1	52	12
09.2010	3.929	2	3			1	1	8	5	0	0	4	1	21	13
11.11.2010 – 12.11.2010: Rüttelstreifen im Mittelstreifen gefräst (kurz davor Deckenerneuerung)															

Tab. 28: Unfalldaten B 33 (VNK: 7815004; NNK: 7816038) zwischen Station 3.150 und 5.900 von 2005 bis 11.11.2010 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)

Datum	ST	RI	KAT	GT	SV	LV	TYP	ART	CHA	LI	ZU	AUH	BET	VB1	UUR1
11.11.2010 – 12.11.2010: Rüttelstreifen im Mittelstreifen gefräst (kurz davor Deckenerneuerung)															
01.2011	3.969	1	2		1		1	8	6	0	1	3	1	21	04
01.2011	3.954	2	4				1	9	5	0	0	3	1	21	13
05.2011	4.655	1	4				1	8	4	2	0	3	1	21	13
06.2011	4.502	2	3			2	3	5	5	0	0	5	2	21	37
09.2011	3.970	1	2		1		1	8	6	0	0	3	1	11	13
10.2011	3.933	2	2		1		6	4	5	0	1	3	2	21	21
11.2011	4.398	2	4				1	8	5	1	2	4	1	21	13
11.2011	3.933	2	3			1	1	4	5	2	2	4	2	21	13
11.2011	4.185	2	3			1	1	0		2	0	5	2	21	13
02.2012	3.200	2	3			3	1	4	5	0	2	3	2	48	13
04.2012	5.900	2	2		1		2	4	4	0	0	5	2	21	35
06.2012	4.850	1	3			1	1	8	4	0	0	3	1	11	13
08.2012	3.700	2	4				1	8	6	0	0	4	1	21	13
11.2012	4.250	2	4				1	3	5	0	2	3	2	21	13
05.2013	4.620	2	2		1		1	9	5	0	1	3	1	21	01
05.2013	4.190	2	4				1	8	4	2	1	3	1	21	01
06.2013	3.620	1	3			1	1	9	6	0	0	4	1	11	13
10.2013	5.400	2	3			1	1	8	5	0	1	5	1	21	13

Tab. 29: Unfalldaten B 33 (VNK: 7815004; NNK: 7816038) zwischen Station 3.150 und 5.900 von 13.11.2010 bis 2011 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)

4.6 Fazit

4.6.1 Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS)

Die durchgeführten Pilotuntersuchungen auf der B 55 und der B 313 weisen darauf hin, dass durch das Einfräsen von Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS) auf Landstraßen Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts vermieden werden können.

Die Effizienz und die Effektivität der Maßnahme scheinen jedoch maßgeblich von der örtlichen Unfallsituation sowie den jeweiligen Randbedingungen abzuhängen.

Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS) können als Gegenmaßnahme ihre positive Wirkung auf das Unfallgeschehen nur dann entfalten, wenn vor Maßnahmenumsetzung ein auffälliges Unfallgeschehen der U-Art 8 (Abkommen von der Fahrbahn nach rechts) vorliegt, dass maßgeblich auf die Unfallursache Unaufmerksamkeit bzw. Ermüdung von Kraftfahrern zurückgeführt werden kann.

Sind andere Gründe für das Auftreten von Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach rechts maßgeblich, wie z. B. Griffigkeitsprobleme, Glatteis oder gefährliche Kurvenbereiche (u. a. bei nicht eingehaltener Relationstrassierung), so können Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens als Gegenmaßnahme nicht oder nur zum Teil ihre positive Wirkung auf das Unfallgeschehen entfalten.

In der durchgeführten Untersuchung wurden diese Aspekte bereits bei der Auswahl der Untersuchungsstrecken berücksichtigt.

Bei den durchgeführten Pilotuntersuchungen auf der B 55 und der B 313 konnte nach dem Einfräsen der Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens kein vermehrtes Auftreten von Unfällen von der Fahrbahn nach links (U-Art 9) festgestellt werden, dass auf eine mögliche Überreaktion beim Überfahren der Rüttelstreifen (ursprünglich Abkommen nach rechts) zurückgeführt werden könnte. Eine Teilkompensation der positiven Maßnahmenwirkung auf Unfälle der U-Art 8 durch eine mögliche negative Maßnahmenwirkung auf Unfälle der U-Art 9 konnte somit auf den beiden Pilotstrecken nicht festgestellt werden.

4.6.2 Rüttelstreifen im Mittelstreifen (CRS)

Eine positive Maßnahmenwirksamkeit von Rüttelstreifen im Mittelstreifen (CRS) zur Vermeidung von Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr sowie Abkommensunfällen nach links konnte im Rahmen der durchgeführten Pilotuntersuchung auf der B 33 nicht bestätigt werden.

Alternativ zum Einsatz von Rüttelstreifen im verkehrstechnischen Mittelstreifen bietet sich generell auch der Einsatz einer Markierung an, deren Überfahrgang für den Kraftfahrer deutlich spürbar ist (vgl. auch Kapitel 7.2 in den RAL 2012).

4.7 Empfehlungen

4.7.1 Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS)

Um für deutsche Verhältnisse statistisch belastbare und somit allgemein gültige Ergebnisse zur Wirkung von Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS) bzgl. der Vermeidung von Abkommensunfällen auf Landstraßen von der Fahrbahn nach rechts zu erlangen, reichen die durchgeführten Pilotstudien für sich betrachtet nicht aus. Die auf Basis der beiden durchgeführten Pilotuntersuchungen ermittelten positiven Effekte liefern jedoch gemeinsam mit den positiven internationalen Berichten zur Wirksamkeit der SRS einen eindeutigen Hinweis darauf, dass SRS unter bestimmten Randbedingungen einen positiven Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen erzielen können. Der Einsatz von SRS wird daher als geeignete Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen im Bestand angesehen. Dies gilt jedoch nur unter ganz bestimmten Randbedingungen:

Für den Einsatz von SRS potenziell geeignete Abschnitte sind zunächst Strecken mit einer überdurchschnittlich hohen Unfalldichte von Abkommensunfällen nach rechts. Auf außerörtlichen Bundesstraßen ereigneten sich in den Jahren 2013 bis 2015 insgesamt 11.344 U(P) der Unfallart 8 (Abkommen von der Fahrbahn nach rechts). Dies entspricht einer durchschnittlichen Dichte von 0,12 U(P; U-Art 8) je km.

Ist auf einem Abschnitt die Unfalldichte der Abkommensunfälle nach rechts überdurchschnittlich hoch, müssen im zweiten Schritt folgende Fragen beantwortet werden:

- Sind die Abkommensunfälle nach rechts gleichmäßig über den gesamten Abschnitt verteilt?
- Ereigneten sich die Abkommensunfälle nach rechts primär bei trockenen Fahrbahnverhältnissen (nicht bei Nässe und Glätte)?
- Sind an den Abkommensunfällen nach rechts maßgeblich keine motorisierten Zweiradfahrer beteiligt?

Können diese Fragen mit ja beantwortet werden, dann ist der Abschnitt tendenziell geeignet. Des Weiteren ist die Fahrtrichtung, in der sich die Abkommensunfälle nach rechts ereignen, zu berücksichtigen. Ereignen sich die Unfälle primär in einer Fahrtrichtung ist es i. d. R. ausreichend den Rüttelstreifen nur in diese Fahrtrichtung zu fräsen.

Infrastrukturseitig ist vor allem ein ausreichend breiter Randstreifen notwendig. Dieser sollte mindestens 0,50 m betragen. Zudem sollte das Bankett mindestens 1,50 m breit sowie frei von jeglichen Hindernissen sein (bspw. Schutzeinrichtungen). Ist kein fahrbahnbegleitender Fuß- und Radweg vorhanden, der Abschnitt jedoch insbesondere von Radfahrern stark frequentiert, sollte auf die Anlage eines Rüttelstreifens verzichtet werden.

Da in der Praxis an Landstraßen tendenziell selten ein ausreichend breiter Randstreifen von mind. 0,50 m zur Verfügung steht, sollte in diesen Fällen geprüft werden, ob die profilierte Randmarkierung als eine geeignete Alternativmaßnahme zur Vermeidung von Abkommensunfällen mit der Unfallursache Unaufmerksamkeit bzw. Übermüdung an auffälligen Landstraßenabschnitten zum Einsatz kommen sollte.

4.7.2 Rüttelstreifen im Mittelstreifen (CRS)

Im Rahmen der durchgeführten Pilotuntersuchung konnte keine positive Maßnahmenwirkung von Rüttelstreifen im Mittelstreifen (CRS) für den einen betrachteten 2+1 Querschnitt ermittelt werden. Positive Erfahrungen im internationalen Bereich konnten im Rahmen dieser Pilotuntersuchung somit nicht bestätigt werden. Um die Übertragbarkeit der positiven internationalen Erfahrungen auch auf deutsche Verhältnisse zu überprüfen, sind daher weitere Untersuchungen erforderlich.

5 Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit von eingefrästen Rüttelstreifen wird in der Praxis oft infrage gestellt. Nicht selten wird befürchtet, dass es bei in Betrieb befindlichen Rüttelstreifen aufgrund von mechanischen Beanspruchungen und durch Witterungsbeanspruchungen (u. a. Frost) zu Kantenausbrüchen kommt und somit die Lebensdauer/Wirksamkeit von eingefrästen Rüttelstreifen nur von kurzer Dauer ist.

In Deutschland wurden im September 2003 auf einer Pilotstrecke entlang der BAB A 24 Rüttelstreifen im Seitenraum (SRS) eingefräst (gefräst wurde Rüttelstreifenvariante 1 nach Tabelle 2, jedoch mit einer Breite von 40 cm; vgl. LERNER et al., 2009). Im Dezember 2008 wurde die Dauerhaftigkeit dieser Rüttelstreifen nach fünfjähriger Liegezeit mit einem Profilmessgerät an 9 verschiedenen Stationen untersucht. An jeder der 9 Stationen wurden über eine Messlänge von 4 m drei Profilmessungen in den Viertelpunkten, bezogen auf die Rüttelstreifenbreite von 40 cm, durchgeführt (siehe Bild 41 und Bild 42). Diese drei Messungen wurden in einer Grafik überlagert (schwarze, grüne und rote Linie; siehe Bild 43). Aus der grafischen Darstellung lassen sich die Tiefe der Rüttelstreifen und der Abstand zwischen den Fräsungsmitten abgreifen.

Der harmonische Verlauf der Profile zeigt, dass die Fräskanten, die quer zur Fahrtrichtung liegen, in den gemessenen Profilen keine Kantenausbrüche aufwiesen. Die in der Darstellung der drei überlagerten Profilmessungen erkennbaren Differenzen sind im Bereich der Rüttelstreifen auf die Rauheit der Fräsfläche und im Bereich zwischen den Rüttelstreifen auf die Rauheit der Straßenoberfläche zurückzuführen.

Nicht messtechnisch erfasst wurden die Fräskanten, die längs zur Fahrtrichtung liegen. Hier zeigte jedoch eine rein optisch durchgeführte Betrachtung an allen 9 Stationen keine Auffälligkeiten (Kantenausbrüche).

Somit kann bzgl. der Befürchtungen zur Dauerhaftigkeit von Rüttelstreifen auf BAB gesagt werden, dass sich diese in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt haben. Vielmehr konnten nach fünfjähriger Liegezeit keine Kantenausbrüche festgestellt werden.



Bild 41: 3 Messquerschnitte



Bild 42: Profilmessgerät

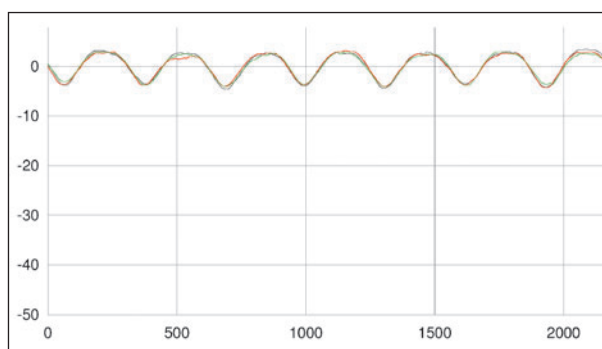


Bild 43: Ergebnis Messquerschnitt bei km 182,5 (Darstellung auf der y-Achse verzerrt; Angaben in mm)

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die erlangten Ergebnisse zur Dauerhaftigkeit von eingefrästen Rüttelstreifen im Seitenraum (SRS) auf Autobahnen auch auf den Landstraßenbereich übertragbar sind.

6 Zusammenfassung

Zur Prävention von Unfällen infolge Übermüdung und Unaufmerksamkeit kommen als infrastrukturelle Maßnahme parallel zur Fahrtrichtung eingefräste sogenannte Rüttelstreifen infrage. Vom Fahrstreifen abkommende Fahrzeugführer erhalten durch den Rüttelstreifen ein haptisches und akustisches Signal, wodurch ein Unfall möglicherweise noch vermieden bzw. zumindest die Unfallschwere vermindert werden kann.

Im Ausland werden oftmals zur Vermeidung von Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach rechts dort, wo auf Landstraßen ein ausreichend breiter Seitenstreifen vorhanden ist, sogenannte Shoulder Rumble Strips (SRS), d. h. Rüttelstreifen im Seiten- bzw. Randstreifen eingesetzt. Insbesondere im amerikanischen und skandinavischen Raum kommen zudem Rüttelstreifen auf Landstraßen in der Fahrbahnmitte – sogenannte Centre Rumble Strips (CRS) – sowohl zur Vermeidung von Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr als auch von Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn nach links schon seit einigen Jahren erfolgreich zur Anwendung.

Während der Einsatz von Rüttelstreifen auf Autobahnen in Deutschland bereits im Rahmen einer Pilotstudie untersucht worden war, liegen über die Wirkung von Rüttelstreifen auf die Verkehrssicherheit auf Landstraßen bislang keine Erkenntnisse vor. Ob Rüttelstreifen auch auf Landstraßen einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten können, sollte daher im Rahmen dieser Untersuchung analysiert werden.

Im Vergleich zu Autobahnen – mit ausreichend breiten Seitenstreifen – existiert auf Landstraßen i. d. R. nur ein schmaler Randstreifen. Insbesondere vor diesem Hintergrund war es notwendig, die Form des auf der Autobahn eingefrästen Rüttelstreifens zu modifizieren und insbesondere dessen Breite zu reduzieren. Die Abmessungen sowie die Form der für die Autobahn bisher eingesetzten rechteckigen Rüttelstreifenvariante mit einer Breite von 40 cm (vgl. Tabelle 2; Rüttelstreifenvariante 1 mit 35 cm Breite) wurden variiert. Insgesamt wurden 12 verschiedene Varianten von Rüttelstreifen messtechnisch (Schwingung, Lärm, Befahrbarkeit) untersucht. Als Vorzugsvariante wurde Rüttelstreifenvariante 12 (siehe Tabelle 2) ermittelt. Die Besonderheit dieser Rüttelstreifenvariante ist die Sinusform, die sowohl in Längs- als auch in Querrichtung verläuft.

Durch die Kombination aus Sinus- und Ellipsenform pendelt die Breite des Rüttelstreifens zwischen 10 und 30 cm. Wie die im Rahmen der Untersuchung durchgeführten Messungen (vgl. Kapitel 3) gezeigt haben, zeichnet sich diese Rüttelstreifenvariante durch ein geringeres Außengeräusch im Vergleich zu den klassischen rechteckigen Rüttelstreifen sowie durch akzeptable Schwingungen beim Überfahren mit zweirädrigen Fahrzeugen aus. Gleichzeitig sind das gewünschte Innengeräusch sowie die Vibration im Fahrzeug auf einem ausreichend hohen Niveau.

Umgesetzt wurde diese Rüttelstreifenvariante pilothaft auf 3 Untersuchungsstrecken, welche auf Basis des Unfallgeschehens sowie der örtlichen Randbedingungen festgelegt wurden. Die drei Untersuchungsstrecken unterschieden sich sehr deutlich. Auf zwei Untersuchungsstrecken (B 55 und B 313) wurden Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens (SRS) gefräst, wobei im Fall der B 55 neben den Randstreifen noch ein Mehrzweckstreifen vorhanden war. Auf der dritten Untersuchungsstrecke, der B 33 mit einem 2+1-Querschnitt, wurden die Rüttelstreifen in den Mittelstreifen (CRS) zur Prävention von Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr sowie Abkommensunfällen von der Fahrbahn nach links gefräst. Im Rahmen der durchgeführten Vorher-Nachher-Unfalluntersuchung mit Kontrollgruppe konnten auf den beiden Untersuchungsstrecken mit eingefrästen Rüttelstreifen entlang des Seiten-/Randstreifens eine positive Maßnahmenwirkung auf Abkommensunfälle von der Fahrbahn nach rechts (U-Art 8) ermittelt werden. Hier konnte bei beiden Untersuchungsstrecken ein nachweisbarer Rückgang der Abkommensunfälle verzeichnet werden.

Die im Rahmen der durchgeführten Pilotstudien an Landstraßen ermittelten Maßnahmenwirksamkeiten von in den Fahrbahnrand gefrästen Rüttelstreifen konnten aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs, der den Untersuchungen zugrunde lag, zwar kein allgemeingültiges Ergebnis darstellen. Die Ergebnisse der beiden Pilotstudien decken sich jedoch mit den positiven internationalen Erfahrungen zum Einsatz von SRS, sodass an spezifischen Problemstellen im Bestand SRS unter den im Rahmen dieses Projekts definierten Randbedingungen als eine mögliche Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Betracht gezogen werden sollten.

Ein flächendeckender Einsatz von SRS erscheint vor dem Hintergrund der fortschreitenden Verbrei-

tung von Spurhalteassistenten hingegen nicht angezeigt. Nach der Verordnung Nr. 661/2009 des europäischen Parlaments und des Rates müssen ab November 2015 alle neuen schweren Nutzfahrzeuge mit einem Spurhalteassistenten ausgestattet sein. Bei einem mittleren Fahrzeugalter von ungefähr 5 Jahren wird bis zum Jahr 2020 fast jedes schwere Nutzfahrzeug mit einem Spurhalteassistenten ausgestattet sein. Für Pkw gibt es bisher zwar noch keine verpflichtende EU-Verordnung zum Einsatz von Spurhalteassistenten. Deren Verbreitung im Pkw nimmt jedoch seit Jahren kontinuierlich zu, sodass auch hier zukünftig von einem gewissen Verbreitungsgrad auszugehen sein müsste.

Im Gegensatz zur Wirkung der SRS konnte im Rahmen der durchgeführten Untersuchung für Rüttelstreifen im Mittelstreifen (CRS) für den betrachteten 2+1-Querschnitt keine positive Maßnahmenwirkung ermittelt werden. Internationale Erfahrungen über eine positive Maßnahmenwirkung von CRS auf die Verkehrssicherheit konnten im Rahmen der durchgeführten Pilotuntersuchung somit nicht bestätigt werden. Bevor jedoch diese Maßnahme endgültig verworfen wird, sollten vor dem Hintergrund, dass es sich nur um eine einzige Pilotstrecke handelt, weitere Untersuchungen erfolgen, um die Übertragbarkeit der positiven internationalen Erfahrungen auch auf deutsche Verhältnisse zu überprüfen.

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der für die Landstraßen eingesetzten Rüttelstreifenvariante 12 ist davon auszugehen, dass sich ebenso wie für die Rüttelstreifenvariante 1 auf BAB gezeigt, auch nach mehreren Jahren keine Schäden an der Asphaltdeckschicht zeigen werden. Insofern können die bestehenden Vorbehalte nicht bestätigt werden. Da bei Rüttelstreifenvariante 12 durch die Sinusform keine Kanten vorhanden sind, ist hier zudem mit einer längeren Haltbarkeit zu rechnen – im Vergleich zu Rüttelstreifenvariante 1. Zur Steigerung der Haltbarkeit empfiehlt sich bei einer relativ groben Körnung der Asphaltdeckschicht eine dünne Bitumenschlämme zum Schutz der Deckschicht auf den Rüttelstreifen aufzutragen.

Um die auf Basis lediglich der BAB A 24 gewonnenen Erkenntnisse zur Dauerhaftigkeit weiter abzusichern, sollten dementsprechende Untersuchungen auch an den im Rahmen dieses Projekts betrachteten Pilotstrecken durchgeführt werden.

Literatur

- ALATYPPÖ, V. & VALTONEN, J. (2008): Usability evaluation and theoretical examination of different types of rumble strips in Finland, Proceedings Transport Research Arena Europe 2008, Ljubljana
- ANNINO, J. M. (2003): Rumble Strips In Connecticut: A Before/After Analysis of Safety Benefits, Connecticut Department of Transportation
- BREYER, G. (2009): Shoulder and median rumble strips – Practices in CEDR member states and relevant literature, CEDR – Conference of European Directors of Roads, report 2009/10.3, TG Road Safety, Paris
- CARRASCO, O.; McFADDEN, J.; CHANDHOK, P.; PATEL, R. (2004): Evaluation of the Effectiveness of Shoulder Rumble Strips on Rural Multilane Divided Highways in Minnesota, Presented at the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington
- CHAUDOIN, J. H. & NELSON, G. (1985): Interstate Routes 15 and 40 Shoulder Rumble Strips, Report Caltrans-08-85-1. California Department of Transportation
- CHEN, C.; DARKO, E. O.; RICHARDSON, T. N. (2003): Optimal Continuous Shoulder Rumble Strips and the Effects on Highway Safety and the Economy, ITE Journal, Vol. 73, No. 5
- CHENG, E. Y. C.; GONZALEZ, E.; CHRISTENSEN, M. O. (1994): Application and Evaluation of Rumble Strips on Highways, Utah Department of Transportation, Compendium of Technical Papers, 64th ITE Annual Meeting, Dallas, Texas
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2012): Verkehrsunfallstatistik 2011. Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden
- ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T.; SORENSEN, M. (2009): The handbook of road safety measures. Second Edition. Emerald Group Publishing Limited, Bingley, UK
- FAGERLIND, H.; MARTINSSON, J.; NITSCHKE, P.; SALEH, P.; GOYAT, Y.; La TORRE, F.; GROSSI, A. (2011): DRAFT Guide for the Assessment of treatment Effectiveness, ERA NET ROAD, Call ENR SRO1, IRDES, Deliverable 2

- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1991): Hinweise zur Methodik der Untersuchung von Straßenverkehrsunfällen. FGSV-Verlag, Köln
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2003): Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. FGSV-Verlag, Köln
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012): Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen. FGSV-Verlag, Köln
- GÅRDER, P. & ALEXANDER, J. (1995): Continued Research on Continuous Rumble Strips. Final Report, Technical Report 94-4. Maine Department of Transportation
- GARDNER, L.; RYS, M.; RUSSELL, E. (2007): Comparison of Football Shaped Rumble Strips versus Rectangular Rumble Strips. Kansas Department of Transportation. Topeka, Kansas
- GIÆVER, T.; SAKSHAUG, K.; JENSSEN, G.; BERGE, T. (1999): Effekter av profilert vegmerking. SINTEF rapport STF22 A99553. Norway
- GRIFFITH, M. S. (1999): Safety Evaluation of Rolled-in Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways, In Transportation Research Record, No. 1665, TRB, National Research Council, Washington
- HAUER, E. (2002): Observational Before – After Studies in Road Safety, Pergamon, Oxford
- HARWOOD, D. W. (1993): NCHRP Synthesis of Highway Practice 191: Use of Rumble Strips to Enhance Safety, TRB, National Research Council, Washington
- HEGEWALD, A.; WEBER, R.; LÖHE, U. (2007): Unfälle auf schmalen Landstraßenquerschnitten. Unveröffentlichter Schlussbericht zu AP 06612
- IRDES – Improving Roadside Design to Forgive Human Errors (2011): Guide for the Assessment of Treatment Effectiveness, Deliverable 2, EU-Projekt im ERA-NET ROAD Programm
- KRAGH, J.; ANDERSEN, B.; THOMSEN, S. (2007): Traffic noise at rumble strips – Internoise paper 2007. Road Directorate, Danish Road Institute. Hedehusene, Denmark
- LERNER, M.; HEGEWALD, A.; LÖHE, U.; VELLING, H. (2009): Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A 24. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 177
- LIGON, C. M.; CARTER, E. C.; JOOST, D. B.; WOLMAN, W. F. (1985): Effects of Shoulder Textured Treatments on Safety, Report No. FHWA/RD-85/027, FHWA, U.S. Department of Transportation
- MARVIN, R. R. & CLARK, D. J. (2003): An Evaluation of Shoulder Rumble Strips In Montana, Montana Department of Transportation
- MILES, J. & FINLEY, M. (2007): Factors That Influence the Effectiveness of Rumble Strip Design Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2030, Transportation Research Board of the National Academies, Washington
- MORENA, D. A. (2003): The Nature and Severity of Drift-Off Road Crashes on Michigan Freeways, and the Effectiveness of Various Shoulder Rumble Strip Designs. Presented at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington
- PATEL, R. B.; COUNCIL, F. M.; GRIFFITH M. S. (2007): Estimating the Safety Benefits of Shoulder Rumble Strips on Two Lane Rural Highways in Minnesota: An Empirical Bayes Observational Before-After Study, Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington
- PERRILLO, K. (1998): The Effectiveness and Use of Continuous Shoulder Rumble Strips, Federal Highway Administration, Albany, NY
- RAJAMÄKI, R. (2010): Täristövien tiemerkitöjen turvallisuusvaikutus [Impact of rumble strips on road accidents] Finnish Transport Agency, Road Department. Research reports of the Finnish Transport Agency 41/2010. Helsinki

SCHNÜLL, R.; HANDKE, N.; SEITZ, K. (1997): Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 16, Wirtschaftsverl. NW, Verl. für neue Wissenschaft, Bremerhaven

SPAHN, V. (2012): Standardisierte Wirksamkeitsanalyse von sicherheitsverbessernden Maßnahmen an Unfallhäufungen auf Außerortsstraßen, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen und Raumplanung, Universität der Bundeswehr München, Heft 56

STUTTS, J. C. (2000): NCHRP Synthesis of Highway Practice 287: Sleep Deprivation Countermeasures for Motorists Safety, TRB, National Research Council, Washington

TORBIC, D. J.; HUTTON, J. M.; BOKENKROGER, C. D.; BAUER, K. M.; HARWOOD, D. W.; GILMORE, D. K.; DUNN, J. M.; RONCHETTO, J. J.; DONNELL, E. T.; SOMMER III, H. J.; GARVEY, P.; PERSAUD, B.; LYON, C. (2009): NCHRP Report 641: Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips, TRB, National Research Council, Washington

Bilder

Bild 1: Longus LTD XT black

Bild 2: BMW R 1150 GS

Bild 3: Triaxialer Lenkradsensor

Bild 4: Sitzkissen mit Triaxialsensor

Bild 5: Messmikrofon

Bild 6: Konstante Amplituden einer idealen Überfahrt

Bild 7: Rüttelstreifen zu Beginn und am Ende überfahren

Bild 8: Maximalvektor der Differenz von Lenkrad- und Referenzbeschleunigung, Pkw, 80 km/h

Bild 9: Maximalvektor der Differenz von Lenkrad- und Referenzbeschleunigung, Transporter, 80 km/h

Bild 10: Maximalvektor der Differenz von Lenkrad- und Referenzbeschleunigung, Lkw, 80 km/h

Bild 11: Lenkradbeschleunigung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Pkw

Bild 12: Maximalvektor der Differenz von Sitz- und Referenzbeschleunigung, Pkw, 80 km/h

Bild 13: Maximalvektor der Differenz von Sitz- und Referenzbeschleunigung, Transporter, 80 km/h

Bild 14: Sitzbeschleunigung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Pkw

Bild 15: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch, Pkw, 80 km/h

Bild 16: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch, Transporter, 80 km/h

Bild 17: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch, Lkw, 80 km/h

Bild 18: Maximalpegel der Differenz von Innen- und Referenzgeräusch in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Pkw

Bild 19: Messeinheit

Bild 20: Zeitverlauf des Geräuschpegels
Variante 12; Geschwindigkeit 60 km/h;
Überfahrwinkel 0°

Bild 21: Zeitverlauf des Geräuschpegels
Variante 12; Geschwindigkeit 60 km/h;
Überfahrwinkel 5°

Bild 22: Zeitverlauf des Geräuschpegels
Variante 12; Geschwindigkeit 60 km/h;
Überfahrwinkel 10°

Bild 23: Schwingungsmessgerät SVAN

Bild 24: Triaxialer Schwingungsaufnehmer am
Motorrad

Bild 25: Kreiselsystem im Motorradkoffer

Bild 26: Ansicht des Kreiselsystems und des
Messkoffers mit GPS-Antenne

Bild 27: Maximalvektor der Differenz von Lenker-
und Referenzbeschleunigung, Fahrrad,
20 km/h

Bild 28: Maximalvektor der Differenz von Lenker-
und Referenzbeschl. in Abhängigkeit von
der Geschwindigkeit, Motorrad

Bild 29: Außengeräuschpegel und Sitzbeschleuni-
gung von unterschiedlichen Rüttelstreifen-
varianten

Bild 30: Unfallentwicklung auf Bundesstraßen in
NW

Bild 31: Unfallentwicklung auf Bundesstraßen in
BW

Bild 32: B 55, Abs. 129, St. 1.600, Vorher
(ZEB, 2007; Quelle: IT-ZEB Server)

Bild 33: B 55 Profil (Quelle: NWSIB, 2010)

Bild 34: B 55, Abs. 129, St. 1.600, Nachher
(ZEB, 2011; Quelle: IT-ZEB Server)

Bild 35: Rüttelstreifen neben der Fahrbahnbegren-
zung

Bild 36: B 313, St. 2.900, Vorher (ZEB, 2007;
Quelle: IT-ZEB Server)

Bild 37: B 313, St. 2.900, Nachher
(ZEB, 2011; Quelle: IT-ZEB Server)

Bild 38: B 33, Station 4.950, Vorher
(ZEB, 2007; Quelle: IT-ZEB Server)

Bild 39: B 33, Station 4.950, Nachher
(ZEB, 2011; Quelle: IT-ZEB Server)

Bild 40: Rüttelstreifen im Mittelstreifen der B 33

Bild 41: 3 Messquerschnitte

Bild 42: Profilmessgerät

Bild 43: Ergebnis Messquerschnitt bei km 182,5
(Darstellung auf der y-Achse verzerrt;
Angaben in mm)

Tabellen

Tab. 1: Wirkung von SRS und CRS an Autobah-
nen und Landstraßen (ELVIK et al., 2009)

Tab. 2: Rüttelstreifenvarianten

Tab. 3: Versuchsfahrzeuge und deren Bereifung

Tab. 4: Rangfolge der Rüttelstreifen nach bester
haptischer Wirksamkeit am Lenkrad bei
80 km/h

Tab. 5: Reihung der Rüttelstreifenvarianten nach
besten Wirksamkeit der Sitzschwingungen
bei 80 km/h

Tab. 6: Reihung der Rüttelstreifenvarianten nach
besten Wirksamkeit des Innengeräusches
bei 80 km/h

Tab. 7: Ergebnisse der Diagonalüberfahrten mit
dem Pkw, Rüttelstreifenvariante 12

Tab. 8: Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten
nach bester Wirksamkeit, Pkw, 80 km/h

Tab. 9: Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten
nach bester Wirksamkeit, Transporter,
80 km/h

Tab. 10: Rangfolge der Rüttelstreifenvarianten
nach bester Wirksamkeit, Lkw, 80 km/h

-
- Tab. 11: Bewertung der Rangfolge
- Tab. 12: Außengeräuschpegel Rüttelstreifenvariante 9 in Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad bei der Überrollung, Pkw
- Tab. 13: Ergebnisse der Messungen des Außengeräusches bei 80 km/h
- Tab. 14: Lenkerschwingungen im Fahrradversuch bei 20 km/h und im Motorradversuch bei 90 km/h
- Tab. 15: Mindeststichprobenumfang von Unfällen im Vorherzeitraum bei V/N-Untersuchung ohne Kontrollgruppe
- Tab. 16: Unfallgeschehen im Vorher- und Nachherzeitraum auf Außerorts-Bundesstraßen in NW
- Tab. 17: Unfallgeschehen im Vorher- und Nachherzeitraum auf Außerorts-Bundesstraßen in BW
- Tab. 18: Unfalldaten B 55 der Unfallkategorie 1-4 im Abschnitt 129 zwischen Station 1.250 und 5.400 von 2006 bis 2013 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)
- Tab. 19: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 55 (Fahrtrichtung 1)
- Tab. 20: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe
- Tab. 21: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 313
- Tab. 22: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe
- Tab. 23: Unfalldaten B 313 (VNK: 7621002; NNK: 7621015) zwischen Station 600 und 3.400 von 2005 bis 2011 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)
- Tab. 24: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 33 (U-Art 4)
- Tab. 25: Gegenüberstellung des Unfallgeschehens im Vorher- und Nachherzeitraum, B 33 (U-Art 9)
- Tab. 26: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe (U-Art 4)
- Tab. 27: Maßnahmenfaktor der Pilotstrecke (M_{Pstr}) als Ergebnis des V/N-Vergleichs mit Kontrollgruppe (U-Art 9)
- Tab. 28: Unfalldaten B 33 (VNK: 7815004; NNK: 7816038) zwischen Station 3.150 und 5.900 von 2005 bis 11.11.2010 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)
- Tab. 29: Unfalldaten B 33 (VNK: 7815004; NNK: 7816038) zwischen Station 3.150 und 5.900 von 13.11.2010 bis 2011 (Datensatzbeschreibung siehe Anhang)

Anhang – Unfalldatensatzbeschreibung

Abkürzung	Inhalt/Bemerkungen
ST	Station
RI	Fahrtrichtung 1 aufsteigend 2 absteigend
KAT	Unfallkategorie 1 Unfall mit Getöteten 2 Unfall mit Schwerverletzten 3 Unfall mit Leichtverletzten 4 schwerwiegender Unfall mit Sachschaden (mindestens ein Kfz nicht fahrbereit)
GT	Anzahl der Getöteten
SV	Anzahl der Schwerverletzten
LV	Anzahl der Leichtverletzten
TYP	Unfalltyp 1 Fahr Unfall 2 Abbiegeunfall 3 Einbiegen/Kreuzen-Unfall 4 Überschreitenunfall 5 Unfall durch ruhenden Verkehr 6 Unfall im Längsverkehr 7 sonstiger Unfall
ART	Unfallart 1 Zusammenstoß mit anfahrendem/anhaltendem/ruhendem Fahrzeug 2 Zusammenstoß mit vorausfahrendem/wartendem Fahrzeug 3 Zusammenstoß mit seitlich in gleicher Richtung fahrendem Fahrzeug 4 Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug 5 Zusammenstoß mit einbiegendem/kreuzendem Fahrzeug 6 Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger 7 Aufprall auf Fahrbahnhindernis 8 Abkommen von Fahrbahn nach rechts 9 Abkommen von Fahrbahn nach links 0 Unfall anderer Art
CHA	Charakteristik der Unfallstelle 1 Kreuzung 2 Einmündung 3 Grundstücksein-/ausfahrt 4 Steigung 5 Gefälle 6 Kurve
LI	Lichtverhältnisse 0 Tageslicht 1 Dämmerung 2 Dunkelheit
ZU	Straßenzustand 0 trocken 1 nass/feucht 2 winterglatt
AUH	Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn 0 Baum 1 Mast 2 Widerlager 3 Schutzplanke 4 sonstiges Hindernis 5 kein Aufprall
BET	Anzahl der Beteiligten
VB	Art der Verkehrsbeteiligung 01 Kleinkraftrad 02 Mofa 25 11 Kraftrad 12 Leichtkraftrad

Abkürzung	Inhalt/Bemerkungen
VB	<p>Art der Verkehrsbeteiligung</p> <p>15 Kraftroller 21 Personenkraftwagen 31 Kraftomnibus 32 Reisebus 33 Linienbus 34 Schulbus 35 Oberleitungsomnibus 41, 43, 45, 48 Liefer- und Lastkraftwagen mit Normalaufbau 57, 58 Lastkraftwagen mit Spezialaufbau 51, 52 Sattelschlepper mit und ohne Auflieger 53 Landwirtschaftliche Zugmaschine 54, 55 Andere Zugmaschine 59 Übriges Kraftfahrzeug 61 Straßenbahn 62 Eisenbahn 71 Fahrrad 91 Fuhrwerk, Tiergespann 92 Sonstiges und unbekanntes Fahrzeug 81 Fußgänger 82 Handwagen, Handkarren 83 Tierführer, Tiertreiber 93 Andere Person</p>
UUR	<p>Unfallursache</p> <p>01 Alkoholeinfluss 02 Einfluss anderer berauschender Mittel (z.B. Drogen, Rauschgift) 03 Übermüdung 04 Sonstige körperliche oder geistige Mängel 10 Benutzung der falschen Fahrbahn oder verbotswidrige Benutzung anderer Straßenteile 11 Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot 12 Nicht angepasste Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zul. Höchstgeschwindigkeit 13 Nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen 14 Ungenügender Sicherheitsabstand 15 Starkes Bremsen des Vorausfahrenden ohne zwingenden Grund 16 Unzulässiges Rechtsüberholen 17 Überholen trotz Gegenverkehrs 18 Überholen trotz unklarer Verkehrslage 19 Überholen trotz unzureichender Sichtverhältnisse 20 Überholen ohne Beachtung des nachfolgenden Verkehrs 21 Fehler beim Wiedereinordnen nach rechts 22 Sonstige Fehler beim Überholen 23 Fehler beim Überholtwerden 24 Nichtbeachten des Vorranges entgegenkommender Fahrzeuge 25 Nichtbeachten des nachfolgenden Verkehrs 26 Fehlerhaftes Wechseln des Fahrstreifens beim Nebeneinanderfahren 27 Nichtbeachten der Regel "rechts vor links" 28 Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen 29 Nichtbeachten der Vorfahrt des durchgehenden Verkehrs 30 Nichtbeachten der Vorfahrt durch Fahrzeuge, die aus Feld- und Waldwegen kommen 31 Nichtbeachten der Verkehrsregelung durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen 32 Nichtbeachten des Vorranges entgegenkommender Fahrzeuge 33 Nichtbeachten des Vorranges von Schienenfahrzeugen an Bahnübergängen 35 Fehler beim Abbiegen 36 Fehler beim Wenden oder Rückwärtsfahren 37 Fehler beim Einfahren in den fließenden Verkehr 38 An Fußgängerüberwegen 39 An Fußgängerfurten 40 Beim Abbiegen 41 An Haltestellen (auch haltenden Schulbussen mit eingeschaltetem Warnblinklicht) 42 An anderen Stellen 43 Unzulässiges Halten oder Parken 44 Mangelnde Sicherung haltender oder liegengebliebener Fahrzeuge und von Unfallstellen 45 Verkehrswidriges Verhalten beim Ein- oder Aussteigen, Be- oder Entladen 46 Nichtbeachten der Beleuchtungsvorschriften 47 Überladung, Überbesetzung 48 Unzureichend gesicherte Ladung oder Fahrzeugzubehörteile 49 Andere Fehler beim Fahrzeugführer 50 Beleuchtung 51 Bereifung 52 Bremsen</p>

Abkürzung	Inhalt/Bemerkungen
UUR	<p>Unfallursache</p> <p>53 Lenkung</p> <p>54 Zugvorrichtung</p> <p>55 Andere Mängel</p> <p>Falsches Verhalten beim Überschreiten der Fahrbahn:</p> <p>60 An Stellen, an denen der Fußgängerverkehr durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen geregelt war</p> <p>61 auf Fußgängerüberwegen ohne Verkehrsregelung durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen</p> <p>62 In der Nähe von Kreuzungen oder Einmündungen, Lichtzeichenanlagen oder Fußgängerüberwegen</p> <p>63 Durch plötzliches Hervortreten hinter Sichthindernissen</p> <p>64 Ohne auf den Fahrzeugverkehr zu achten</p> <p>65 Durch sonstiges falsches Verhalten</p> <p>66 Nichtbenutzen des Gehweges</p> <p>67 Nichtbenutzen der vorgeschriebenen Straßenseite</p> <p>68 Spielen auf oder neben der Fahrbahn</p> <p>69 Andere Fehler der Fußgänger</p> <p>70 Verunreinigung durch ausgeflossenes Öl</p> <p>71 Andere Verunreinigungen durch Straßenbenutzer</p> <p>72 Schnee, Eis</p> <p>73 Regen</p> <p>74 Andere Einflüsse (u.a. Laub, angeschwemmter Lehm)</p> <p>75 Spurrillen, im Zusammenhang mit Regen, Schnee oder Eis</p> <p>76 Anderer Zustand der Straße</p> <p>77 Nicht ordnungsgemäßer Zustand der Verkehrszeichen oder -einrichtungen</p> <p>78 Mangelhafte Beleuchtung der Straße</p> <p>79 Mangelhafte Sicherung von Bahnübergängen</p> <p>80 Nebel</p> <p>81 Starke Regen, Hagel, Schneegestöber usw.</p> <p>82 Blendende Sonne</p> <p>83 Seitenwind</p> <p>84 Unwetter oder sonstige Witterungseinflüsse</p> <p>85 Nicht oder unzureichend gesicherte Arbeitsstelle auf der Fahrbahn</p> <p>86 Wild auf der Fahrbahn</p> <p>87 Anderes Tier auf der Fahrbahn</p> <p>88 Sonstiges Hindernis auf der Fahrbahn</p> <p>89 Sonstige Ursachen</p>

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2015

V 261: Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung – Sicherheitsverbesserungen

Alrutz, Bohle, Busek € 16,50

V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50

V 264: Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00

V 265: Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken

Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckließ
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

V 266: Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität von Hauptverkehrsstraßen

Baier, Hartkopf € 14,50

V 267: Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen

Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 268: Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur

Hegewald, Fürneisen, Tautz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

V 269: Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften

Pohle, Maier € 16,50

V 270: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)

Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50

V 271: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur

Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen

Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00

V 273: Autobahnverzeichnis 2016

Kühnen € 25,50

V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen

Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00

V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen

Grahl, Skottke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer

Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50

V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

Kathmann, Roggendorf, Scotti
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014

Fitschen, Nordmann € 30,50

V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen

Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug, Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00

2017

V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren

Maier, Berger, Kollmus € 17,50

V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen

Lippold, Veters, Steinert € 19,50

V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten

Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz

Kamptner, Thümmeler, Ohmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung

Kleine, Lehmann € 16,50

V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle

Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

V 288: Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf

Roos, Zimmermann, Köhler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 289: Verkehrsqualität an verkehrsunabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen

Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

- V 291: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50
- V 292: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw**
Burg, Schrempp, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 293: **Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen**
Geistefeldt, Hohmann, Estel
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50
- V 294: **Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB**
Maibach, Tacke, Kießig € 15,50
- V 295: **Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss**
Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50
- V 296: **Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergroße**
Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 297: **Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen**
Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 298: **Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysensysteme**
Balck, Schüller, Balmberger, Rossol
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 299: **Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen**
Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**
Hartmann, Londong € 16,00
- V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**
Lippold, Wittig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50
- V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50**
- V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**
Wang, Oeser, Steinauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 312: **Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**
Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

- V 300: **Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten**
Werkenthin, Kluge, Wessolek
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 301: **Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**
Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 302: **Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**
Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 303: **Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**
Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50
- V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**
Fitschen, Nordmann € 31,00
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:
- Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG**
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63
- Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.
- www.schuenemann-verlag.de