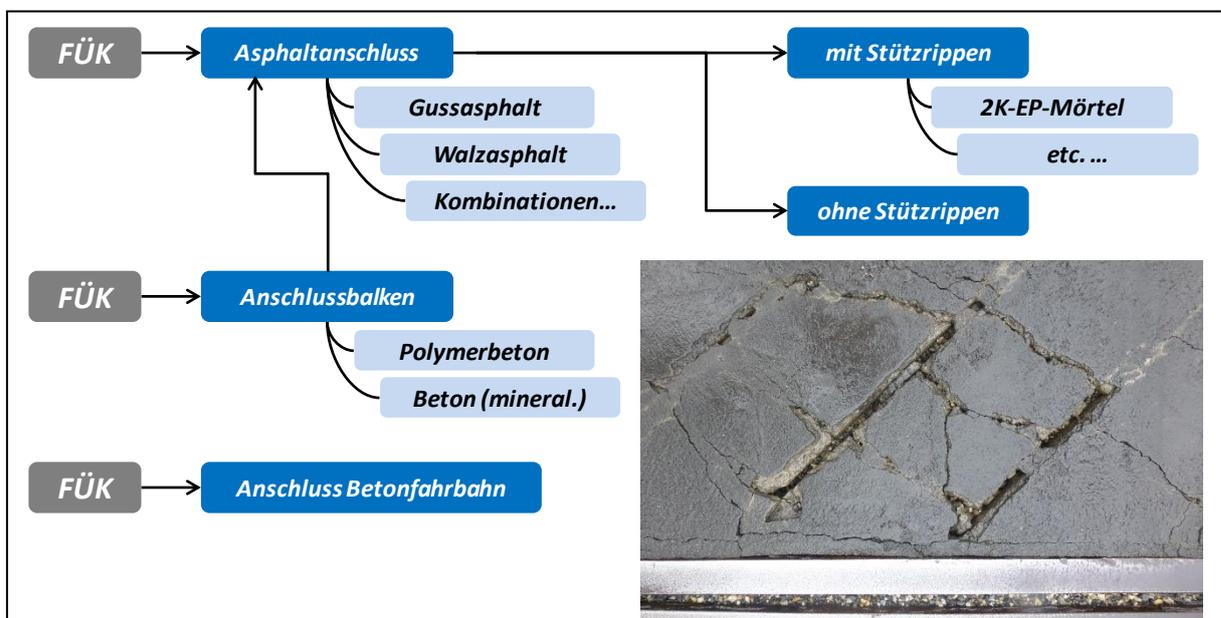


Anschlussbereiche von Fahrbahnübergangskonstruktionen – Bestandsanalyse und Verbesserungspotential ANFÜK

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2017
(VIF 2017)

Dezember 2020



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Klimaschutz
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
1030 Wien

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
1020 Wien



Autobahnen-
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
1010 Wien

und



Für den Inhalt verantwortlich:

AIT – Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4
1210 Wien

 **AIT**
AUSTRIAN INSTITUTE
OF TECHNOLOGY
TOMORROW TODAY

Maurer Söhne GmbH
Donaufelder Straße 101/ Stiege 7/ Top 4
1210 Wien



GESTRATA – Gesellschaft zur Pflege der
Straßenbautechnik mit Asphalt
Karlgasse 5
1040 Wien



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
1090 Wien

 **FFG**
Forschung wirkt.

Anschlussbereiche von Fahrbahnübergangskonstruktionen – Bestandsanalyse und Verbesserungspotential ANFÜK

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2017)

AutorInnen:

DI Dr. Stefan Lachinger

Mag.Ing. Maciej Kwapisz

DI Dr. Saeed Karimi

DI Dr. Leopold Meier

Ing. Maximilian Weixlbaum

DI Florian Boisics

Auftraggeber:

Bundesministerium für Klimaschutz

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

AIT – Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 4

1210 Wien

Maurer Söhne GmbH

Donaufelder Straße 101/ Stiege 7/ Top 4

1210 Wien

GESTRATA – Gesellschaft zur Pflege der
Straßenbautechnik mit Asphalt

Karlsgasse 5

1040 Wien

INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemeines.....	9
2	AP1: Projektmanagement.....	11
3	AP2: Bestandsanalyse	12
3.1	Ausführungsvarianten, Schäden und Schadensursachen.....	12
3.2	Statistische Auswertung der Anschlussbereiche.....	37
3.2.1	Allgemein.....	37
3.2.2	Stützrippen	39
3.2.3	Schiefe	43
3.2.4	Geometrische Indikatoren.....	45
3.2.5	Schäden an Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK)	51
3.2.6	Schäden an Fahrbahnanschlüssen.....	83
3.2.7	Ausbesserungen im Anschlussbereich	95
3.2.8	Datensätze von Infrastrukturbetreibern	98
3.2.9	Random-Forest Analyse	105
3.2.10	Zusammenfassung der statistischen Auswertung	142
4	AP3: Numerische Prognose der Lebensdauer der FÜK.....	144
4.1	Einleitung und Problemstellung.....	144
4.2	Generische FÜK Modelle.....	145
4.2.1	Kragfingerübergang	145
4.2.2	Modulare Dehnfuge	146
4.3	Transiente numerische Überfahrtsberechnungen	148
4.3.1	Schritt 1: Bestimmung der Kontaktkräfte.....	148
4.3.2	Schritt 2: Bestimmung der Spannungen.....	150
4.4	Bewertung der Lebensdauer der Fahrbahnübergangskonstruktionen.....	153
4.4.1	Ermüdungsfestigkeit Oberseite Finger	155
4.4.2	Ermüdungsfestigkeit Schraube 1	158
4.4.3	Ermüdungsfestigkeit Schraube 2	161
4.4.4	Ermüdungsfestigkeit Lamellen	164
4.4.5	Random-Forest Analyse	166
4.4.6	Zuordnung von Ausführungsart zur Lebensdauer	171

4.5	Vergleich der Lebensdauer basierend auf unterschiedlicher Höhenlage der FÜK	172
4.6	Zusammenfassung	176
5	AP4: Materialtechnische Untersuchungen	178
5.1	Allgemeines	178
5.2	Ausführung von Stützrippen.....	179
5.3	Übergebene Materialien.....	181
	Prüfprogramm.....	183
5.3.1	Grundsätzliche Überlegungen und Prüfkonzept.....	183
5.3.2	Kurzbeschreibung der eingesetzten Prüfverfahren	186
5.4	ANGABEN zur PROBEKÖRPERHERSTELLUNG.....	193
5.4.1	Herstellung und Verarbeitung der Mörtel	193
5.4.2	Prismatische Probekörper.....	193
5.4.3	Platten für die Prüfung der Verbundeigenschaften.....	194
5.5	Wiederholbarkeit der Festigkeitseigenschaften.....	196
5.5.1	Allgemeines.....	196
5.5.2	Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit.....	196
5.5.3	Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit	199
5.5.4	Interpretation der Ergebnisse.....	201
5.6	Ergebnisse der Systemprüfungen.....	202
5.6.1	Allgemeines.....	202
5.6.2	Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit.....	202
5.6.3	Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit	205
5.6.4	Temperaturabhängiger statischer E-Modul	208
5.6.5	Bestimmung der Verbundeigenschaften	211
5.6.6	Schwindverhalten der Mörtelsysteme	214
5.6.7	Witterungsbeständigkeit	217
5.7	SCHLUSSFOLGERUNG	218
5.7.1	Zusammenfassung und Interpretation	218
5.7.2	Empfehlung für Prüfverfahren und Anforderungswerte	221
6	AP5: Vorschläge zur verbesserten Ausführung des Anschlussbereiches	225
6.1	Allgemeines.....	225

6.2	Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:.....	227
	<i>Materialtechnologie</i>	227
6.3	Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:.....	229
	<i>Verarbeitungsbedingungen</i>	229
6.4	Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:.....	231
	<i>Konstruktive Ansätze</i>	231
6.5	Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:.....	261
	<i>Organisatorische Ansätze zur Qualitätssicherung</i>	261
6.6	Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:.....	261
	<i>Wartung und Instandhaltung</i>	261
6.7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:	263
7	AP6: Bericht und Dissemination	265
7.1	Allgemeines	265
7.2	Textvorschläge Richtlinien und Ausschreibungen	265
8	Zusammenfassung	269
9	Literaturverzeichnis	271

1 ALLGEMEINES

Der Anschluss zwischen Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK) und Fahrbahn stellt einen sensitiven Bereich im System „Straße“ dar, an welchen hohen Anforderungen gestellt werden. So sind enge Toleranzen an die Ebenheit sowie die Überhöhung des Anschlussbereiches zur FÜK einzuhalten, um Schneepflugschäden zu vermeiden, die Einwirkung auf die FÜK gering zu halten, sowie um einen hohen Fahrkomfort sicherzustellen. Durch Degradation (Spurrinnenbildung) können sich die geometrischen Verhältnisse mit der Zeit jedoch verändern, wodurch die Lebensdauer der FÜK und des Anschlussbereiches verringert werden kann (Schneepflugschäden, Ermüdungsprobleme, Ausbrüche im Anschlussbereich etc.). Um das System Anschlussbereich - FÜK dauerhaft zu gestalten, wurden unterschiedliche Ausführungsvarianten des Anschlussbereiches wie Stützrippen oder Betonschwellen ausgeführt. Diese Varianten sind jedoch oftmals nicht einheitlich geregelt und können sich je nach Ausführungsvariante (FÜK, Stützrippenmaterial uvm.) unterscheiden. Auch die geforderten geometrischen Toleranzen sind baupraktisch oft nicht, oder nur mit hohem Aufwand erreichbar. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die dauerhafte Abdichtung des Anschlussbereiches, welche ein Erfordernis einer dauerhaft wasserdichten Konstruktion darstellt und von entscheidender Bedeutung ist.

Um diese Problematiken im Projekt zu behandeln wird im Projekt ANFÜK eine systematische Herangehensweise gewählt, in welcher zuerst eine genaue Bestandsanalyse erfolgt. Hierzu werden großflächig Daten des Messfahrzeugs „RoadSTAR“ zur Geometrie der Anschlussbereiche für ausgewählte Straßenzüge ausgewertet und mittels statistischer Analyse Schadensursachen und deren Zusammenhänge aufgezeigt. Mittels numerischer Analyse der dynamischen Einwirkungen wird die Auswirkung der Geometrie auf die Lebensdauer an generischen FÜK anhand kritischer Detailpunkte aufgezeigt. Des Weiteren werden gebräuchliche Materialien für die Ausführung von Stützrippen intensiven Materialtechnischen Untersuchungen zugeführt und deren Eignung untersucht sowie eine vergleichbare Vorgehensweise für neue Materialien inkl. Grenzwerten vorgeschlagen. Unter Berücksichtigung der festgestellten Schäden und von Expertenwissen werden verbesserte Ausführungsdetails der Konstruktionen vorgeschlagen um zukünftig die Dauerhaftigkeit der Konstruktionen zu erhöhen. Auch Arbeitsabläufe, erhöhte Qualitätskontrolle auf der Baustelle und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden behandelt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen werden in diesem Ergebnisbericht strukturiert nach den jeweiligen Arbeitspaketen dargestellt. In Abbildung 1 ist die Struktur der Arbeitspakete und deren Zusammenhänge dargestellt.

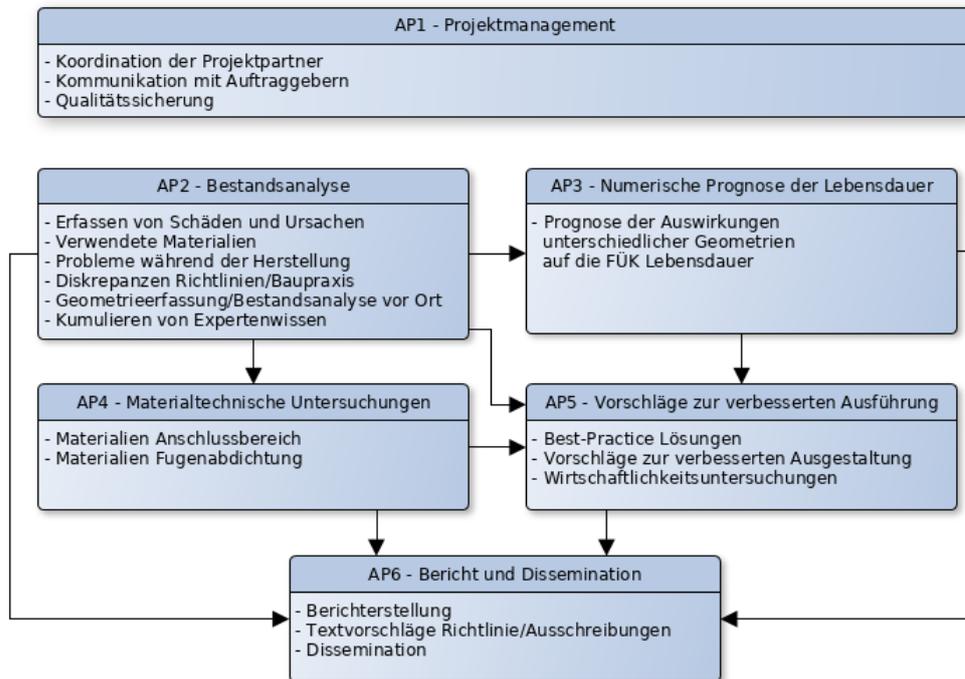


Abbildung 1: Arbeitspakete im Projekt ANFÜK

Die insgesamt sechs Arbeitspakete sind:

- **AP1** – Projektmanagement (Hauptverantwortlich: AIT)
- **AP2** – Bestandsanalyse (Hauptverantwortlich: Maurer)
- **AP3** – Numerische Prognose der Lebensdauer (Hauptverantwortlich: AIT)
- **AP4** – Materialtechnische Untersuchungen (Hauptverantwortlich: GESTRATA)
- **AP5** – Vorschläge zur verbesserten Ausführung (Hauptverantwortlich: Maurer)
- **AP6** – Bericht und Dissemination (Hauptverantwortlich: AIT)

Die Abarbeitung der Arbeitspakete erfolgte zu einem großen Teil in paralleler Bearbeitung durch die einzelnen Projektpartner. Die Ergebnisdarstellung der einzelnen Arbeitspakete erfolgte durch die, das jeweilige Arbeitspaket bearbeitende, Projektpartner.

2 AP1: PROJEKTMANAGEMENT

AP1 umfasst das Projektmanagement. In diesem Arbeitspaket wurde die Koordination zwischen den einzelnen Projektpartnern durchgeführt und die Kommunikation und Abstimmung mit den Auftraggebern bearbeitet. Es wurden mehrere Meetings organisiert (Projektstartmeeting, mehrere Zwischenmeetings), Protokolle verfasst und ausgesendet sowie die formale Abstimmung mit der FFG durchgeführt, z.B. im Rahmen der Projektverlängerung. AP1 ist übergreifend über alle anderen Arbeitspakete angelegt und hat keine direkten inhaltlichen Ergebnisse. Für die formelle Abwicklung wird auf den offiziellen Endbericht verwiesen, welcher parallel zum vorliegenden Ergebnisbericht erstellt wird.

3 AP2: BESTANDSANALYSE

3.1 Ausführungsvarianten, Schäden und Schadensursachen

Die vielfältigen Herausforderungen, die eine dauerhafte Anbindung von Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK) an das Brückenbauwerk und die Fahrbahn mit sich bringen, haben zu einer großen Zahl von Ausführungsvarianten bei den Anschlusszonen von FÜKs (ANFÜK) geführt. Dabei ist die Zahl von grundsätzlichen ANFÜK-Ausführungsvarianten überschaubar, die Vielfalt liegt eher in den abweichenden Details der Ausführungen, z.B. aufgrund des Ausführungsalters, der örtlichen Gegebenheiten oder der Einhaltung bzw. Interpretation der normativen Vorgaben, begründet.

Die grundsätzlichen ANFÜK-Ausführungsvarianten sind in Abbildung 2 dargestellt. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale sind Material und Aufbau der Fahrbahndecke, die Ausführung mit oder ohne Anschlussbalken sowie das Vorhandensein und die Ausführung der Stützrippen.

Weitere Unterscheidungsmerkmale bzw. Varianten der Ausführung sind die geometrischen Gegebenheiten im Bereich der Anschlusszone, die eine große Auswirkung auf die Belastung der FÜKs und der Anschlusszone selbst und somit auf die Dauerhaftigkeit haben können [1].

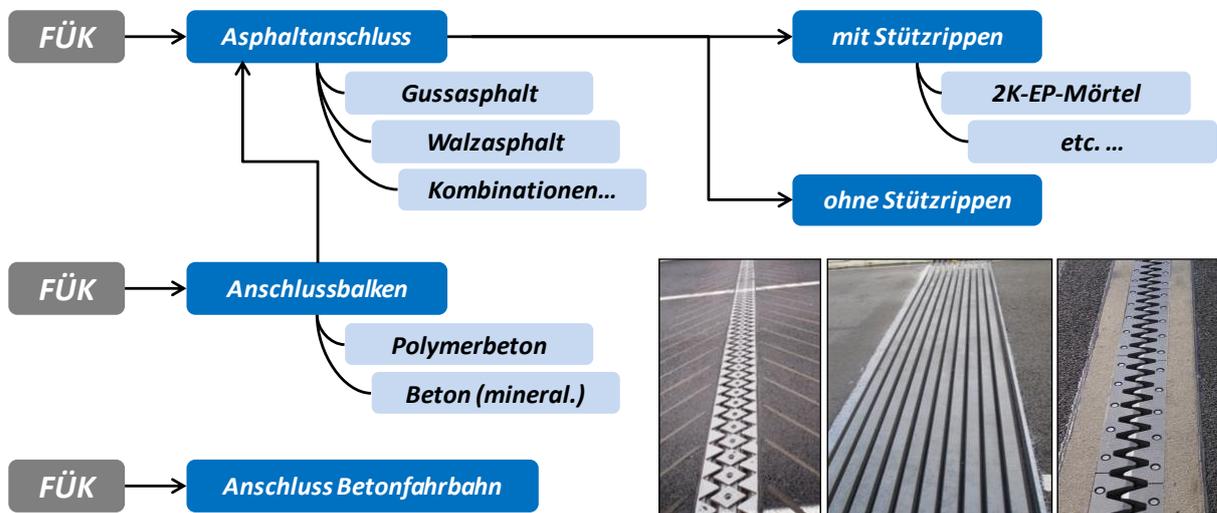


Abbildung 2: Ausführungsvarianten von FÜK-Anschlusszonen

In Abbildung 3 sind die geometrischen Merkmale dargestellt, auf die dabei ein besonderer Fokus gelegt werden muss: Die Ausführung der Fahrbahndeckenüberhöhung, die Ausprägung von Rampen durch herauf- bzw. herabgezogene Anschlüsse sowie das Vorhandensein von Mulden im ANFÜK-Bereich.

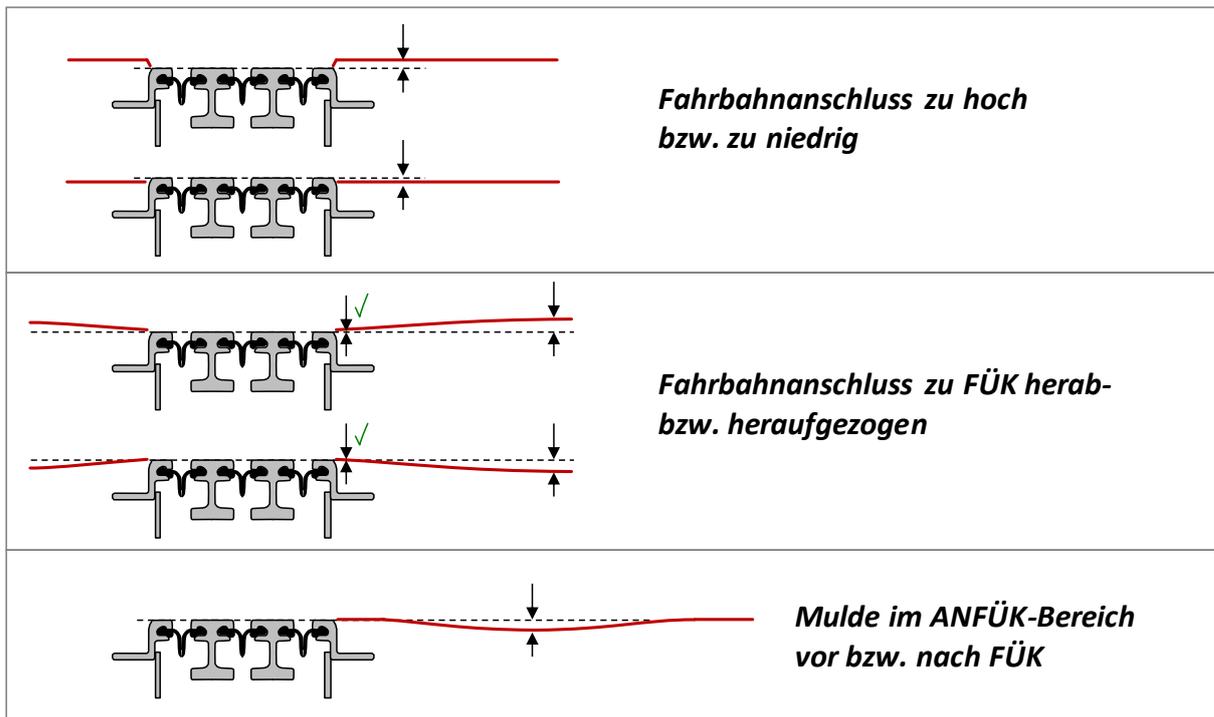


Abbildung 3: Schematische Darstellung der wichtigsten Geometrieabweichungen im ANFÜK-Bereich

Eine Kategorisierung von Schäden an FÜKs und den Anschlusszonen und vor allem eine Identifizierung von Korrelationen zwischen Ausführungsvarianten und Geometrieabweichungen einerseits sowie Schäden andererseits ist nur über eine auswertbare quantitative Bewertung einer großen Anzahl von FÜK/ANFÜK-Stichproben möglich. Im Rahmen von Expertengesprächen wurden von der ARGE und den Auftraggebern vier repräsentative Straßenabschnitte ausgewählt, an denen eine Untersuchung der FÜKs sowie der Anschlusszonen durchgeführt werden soll.

- Autobahn A13, 33 Streckenkilometer, 147 auszuwertende FÜKs in 2 Richtungen
- Autobahn A21, 38 Streckenkilometer, 47 auszuwertende FÜKs in 2 Richtungen
- Autobahn A23, 14 Streckenkilometer, 65 auszuwertende FÜKs in 2 Richtungen
- Straßenzug Wien Nord im Bereich Handelskai, 36 auszuwertende FÜKs

Die ausgewählten Abschnitte decken den Alpenraum und Überlandstrecken mit unterschiedlichem Anteil von Steigungen sowie städtische Schnellstraßen ab und stellen somit einen weitgehend repräsentativen Querschnitt von österreichischen Straßen mit hoher Verkehrsbelastung dar. Des Weiteren sind bei den insgesamt 295 zu untersuchenden FÜKs alle relevanten Konstruktionsarten vertreten.

Zur Auswertung wurden Daten des Messfahrzeugs AIT RoadSTAR (Abbildung 4) herangezogen, die im Sommer 2018 ermittelt worden waren. Der RoadSTAR ist ein

Messfahrzeug, mit dem alle relevanten Oberflächeneigenschaften einer Fahrbahn in einer Messfahrt ohne Behinderung des Fließverkehrs erhoben werden. Zur Schadensbewertung wurden Oberflächenbilder einer Zeilenkamera mit einer Erfassungsbreite von 4,5 m und einer Auflösung am Boden von 1 mm untersucht. Die Analyse der geometrischen Merkmale erfolgte anhand der Daten eines Laserscanners (Breite 4,0 m), der die Topographie von Fahrbahn und FÜKs in Kombination mit einem Positionierungssystem hochaufgelöst in 3D ermittelt.

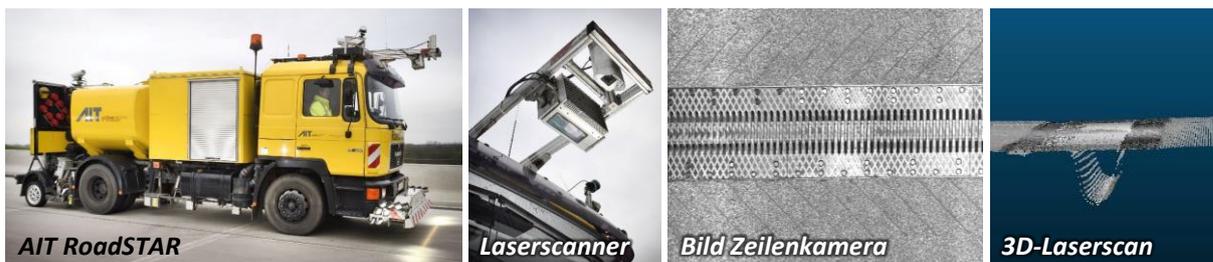


Abbildung 4: Messfahrzeug AIT RoadSTAR

Zusätzlich dazu wurden Informationen der Infrastrukturbetreiber Asfinag und MA29 zu den betrachteten Übergangsbereichen zur Verfügung gestellt. Die wesentlichen Parameter dieser Datensätze sind folgende:

- Schwerverkehrsanteil (SVK)
- Alter der Fahrbahnübergangskonstruktionen in Jahren
- Alter der Deckschichten in Jahren
- Dicke der Deckschichten in cm
- Bewertung der FÜK nach RVS

Zur einheitlichen Schadensbewertung der ausgewählten FÜKs/ANFÜKs anhand der Oberflächenbilder der RoadSTAR-Zeilenkamera wurde in Anlehnung an das Forschungsprojekt EVAF [1] ein Schadenskatalog entwickelt und in Zusammenarbeit der ARGE-Mitglieder durch die Evaluierung von Testauswertungen optimiert. Wichtig bei der Erstellung war die Einhaltung eines geeigneten Kompromisses zwischen ausreichender, aber nicht zu kleinteiliger Detaillierung, um gleichzeitig die individuellen FÜK/ANFÜKs gut zu charakterisieren, die Stichprobenmenge für die statistische Auswertung aber nicht zu gering werden zu lassen.

In Abbildung 5 ist eine Übersicht des Schadenskatalogs hinsichtlich der Bewertung der Zeilenkameraaufnahmen abgebildet. Er enthält Kategorien zur Beschreibung und Einteilung in verschiedene Varianten und Ausführungsformen (grün hinterlegt), bei denen die individuelle Auswahlmöglichkeit zur Bewertung bzw. Einteilung von einer vorhanden / nicht vorhanden – Option bis hin zu einer fein unterteilten Auswahl reicht.

A - Grundbelag	B - Fahrbahnanschluss (2 x für vor/nach FÜK)						C - Stützrippen						
	B.1 - Material			B.2 - Schäden			C.1 - Material			C.2 - Schäden			
[A] Asphalt [B] Beton	[A] Asphalt (Grundbelag) [B] Beton (Grundbelag) [BA] Balken (Beton/PC) [BDF] Belagsdehnfuge	[X] Vergussfuge Randprofil	[1-5] Risse – Grundbelag	[1-5] Risse – Balken	[1-5] Ausbruch – Grundbelag	[1-5] Ausbruch – Balken	[1-5] Belag in FÜK vertragen	[B] Beidseitig [EV] Einseitig vor FÜK [EN] Einseitig nach FÜK [K] KEINE Stützrippen	[X] Ausrichtung fehlerhaft	[m] Stützrippenlänge (Fahrtri.)	[X] Abstand zum Randprofil	[1-5] Beschädigung vor FÜK	[1-5] Beschädigung nach FÜK

D - Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK)																
D.1 - Typ/Ausführungsart						D.2 - Schäden										
[GF] Gleitfingerfuge [KF] Kragfingerfuge [P] Profil-ÜKO [M] Modulare Dehnfuge [BDF] Belagsdehnfuge	[1-10] Anzahl Dichtprofile – MDF	[X] Lärminderung – MDF	[SK] Sonderkonstruktion	Schiefe [-3] > 135° [-2] 135° - 120° [-1] 120° - 105° [0] 105° - 75° [1] 75° - 60° [2] 60° - 45° [3] < 45°	[1-5] Randprofil beschädigt	[1-5] Randprofil gebrochen	[1-5] Finger-/LM-Platte beschädigt	[1/5] Finger-/LM-Platte fehlt	[1/5] Finger gebrochen/fehlt	[1-5] Schraube beschädigt/fehlt	[1-5] BDF - Schäden im Material	[1-5] BDF - Schäden an Grenzfläche	[1-5] MDF - Lamellen beschädigt	[1/5] MDF - Lamellen gebrochen	[1-5] Geometriefehler	[1-5] Verschmutzung Dichtprofile

Abbildung 5: Übersicht Schadenskatalog

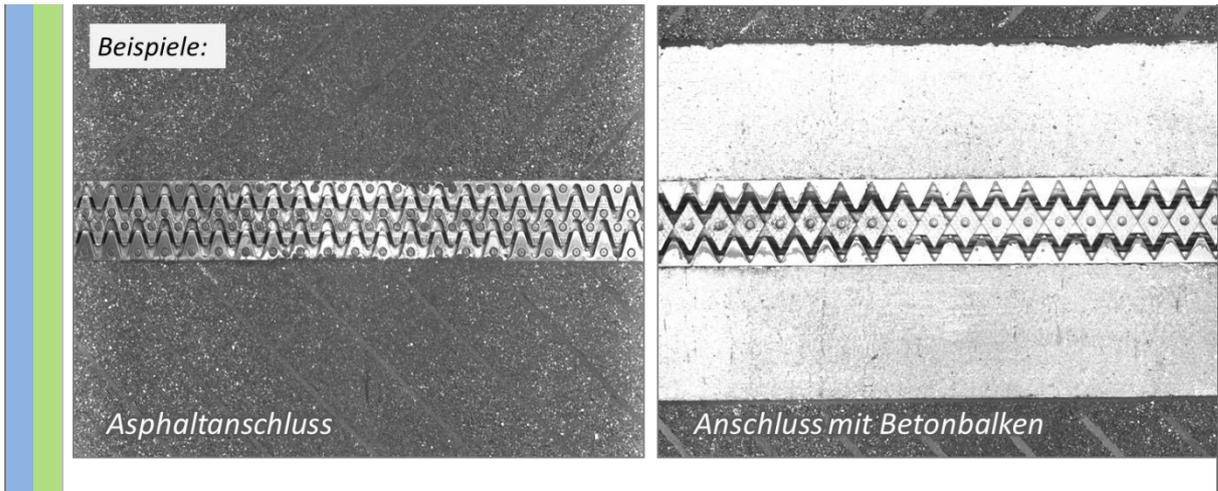
Die Schäden an FÜK, Fahrbahnanschluss und Stützrippen sind einheitlich nach den RVS-Kategorien 1-5 zu bewerten (grau hinterlegte Kategorien in Abbildung 5. Im Einzelfall, wie z.B. dem „Fehlen einer Finger- / Lärminderungsplatte“ reduziert sich die Bewertungsskala von selbst auf eine geringere Zahl an Optionen, da eine Fingerplatte selbstredend entweder vorhanden ist (RVS-Kat. 1) oder fehlt (RVS-Kat. 5).

In Tabelle 1 ist der Schadenskatalog mit Beschreibungen und Beispielen der einzelnen Kategorien aufgelistet.

Im Rahmen des AP2 wurden die ausgewählten 295 FÜKs nach dem entwickelten Schadenskatalog von MAURER und AIT getrennt voneinander bewertet. Beim Auftreten von großen Diskrepanzen zwischen den zwei Bewertungskampagnen wurden die betreffenden einzelnen Bewertungen re-evaluiert und im Konsens neu bewertet. Bei geringfügigen Abweichungen wurden die Ergebnisse durch Mittelwertbildung zusammengeführt, daraus ergeben sich die teilweise nicht ganzzahligen Schadenskategorien in der Statistik welche bewusst beibehalten wurden.

Tabelle 1: Schadenskatalog für die Charakterisierung und Bewertung der ausgewählten FÜKs anhand der Daten des RoadSTAR-Messsystems

A Grundbelag	
<i>Bewertungstyp:</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Beschreibung/Einteilung <input type="checkbox"/> Schadensbewertung
<i>Kategorisierung:</i>	[A] Asphalt [B] Beton
<i>Kommentar:</i>	<i>Ausführung der Fahrbahndecke des Straßenbereichs, in dem die zu bewertende FÜK liegt. Im direkten Anschlussbereich kann ein anderes Material vorliegen, dies wird im Abschnitt B charakterisiert.</i>
B [vF/nF] Fahrbahnanschluss	
<i>Kommentar: Kategorien zur Charakterisierung und Bewertung des direkten Anschlussbereichs zwischen Fahrbahn und FÜK; Die Kategorisierung wird zweifach vorgenommen, getrennt zwischen den Bereichen <u>vor</u> der FÜK [vF] und <u>nach</u> der FÜK [nF]</i>	
B.1 [vF/nF] Material	
B.1.1 [vF/nF] Fahrbahndecke	
<i>Bewertungstyp:</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Beschreibung/Einteilung <input type="checkbox"/> Schadensbewertung
<i>Kategorisierung:</i>	[A] Asphalt [B] Beton [BA] Balken (Beton/PC) [BDF] Belagsdehnfuge
<i>Kommentar:</i>	<i>Material der Fahrbahndecke im direkten Anschlussbereich der FÜK.</i>



B [vF/nF] Fahrbahnanschluss (Fortsetzung der Tabelle)

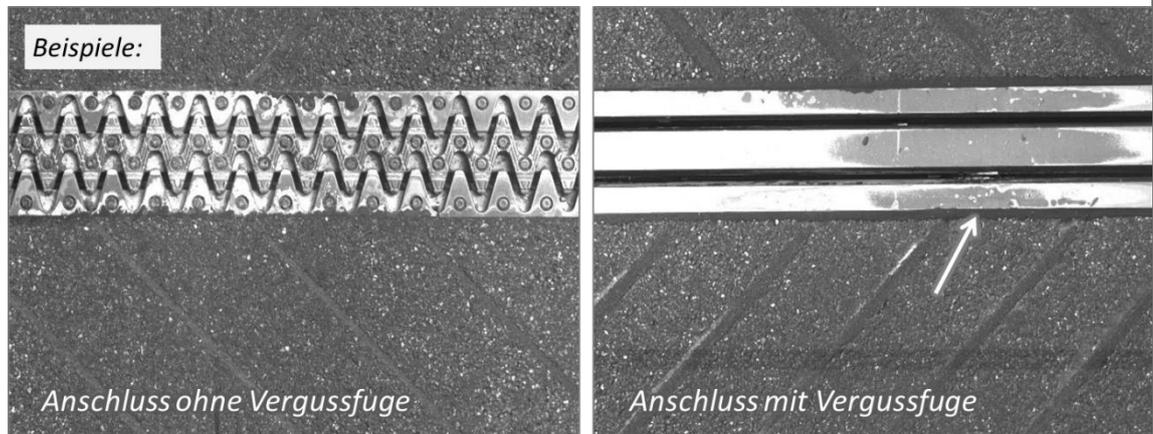
B.1 [vF/nF] Material (Fortsetzung der Tabelle)

B.1.2 [vF/nF] Vergussfuge Randprofil

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [x] / [] (vorhanden / nicht vorhanden)

Kommentar: Prüfung, ob zwischen Randprofil der FÜK und dem Grundbelag (Abschnitt A) eine elastische Vergussfuge eingebracht wurde



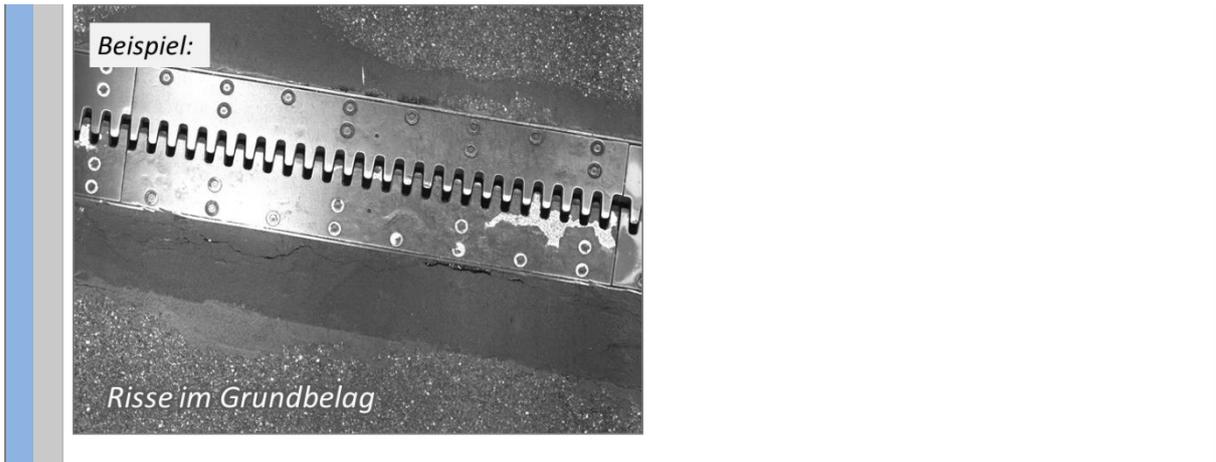
B.2 [vF/nF] Schäden

B.2.1 [vF/nF] Risse – Grundbelag

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Bewertung von Rissen im Grundbelag der Fahrbahndecke



B [vF/nF] Fahrbahnanschluss (Fortsetzung der Tabelle)

B.2 [vF/nF] Schäden (Fortsetzung der Tabelle)

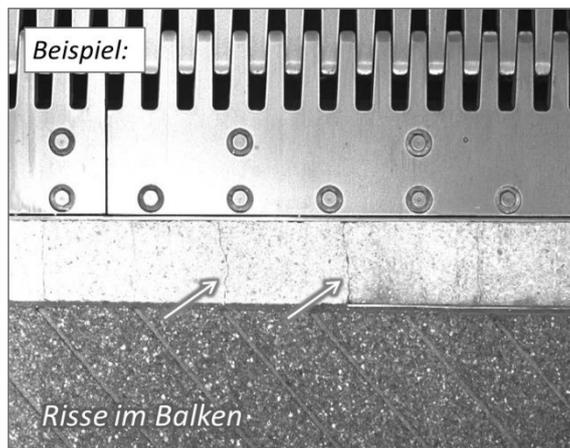
B.2.2 [vF/nF] Risse – Balken

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung

Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Bewertung von Rissen Material des Anschlussbalkens, sofern vorhanden



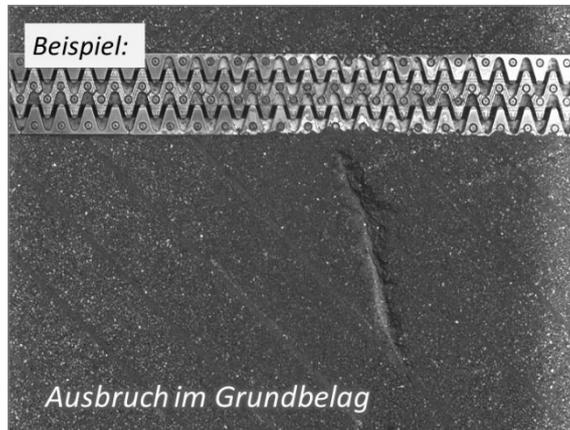
B.2.3 [vF/nF] Ausbruch – Grundbelag

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung

Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Ausbrüche im Grundbelag der Fahrbahndecke; Bereiche, die durch umfassende Risse bereits gelockert sind und Gefahr laufen auszubrechen, können bereits mit diesem Schaden B.2.3 bewertet werden (zusätzlich zu B.2.1)



B [vF/nF] Fahrbahnanschluss (Fortsetzung der Tabelle)

B.2 [vF/nF] Schäden (Fortsetzung der Tabelle)

B.2.4 [vF/nF] Ausbruch – Balken

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Ausbrüche im Anschlussbalken, sofern vorhanden; Bereiche, die durch umfassende Risse bereits gelockert sind und Gefahr laufen auszubrechen, können bereits mit diesem Schaden B.2.4 bewertet werden (zusätzlich zu B.2.2)

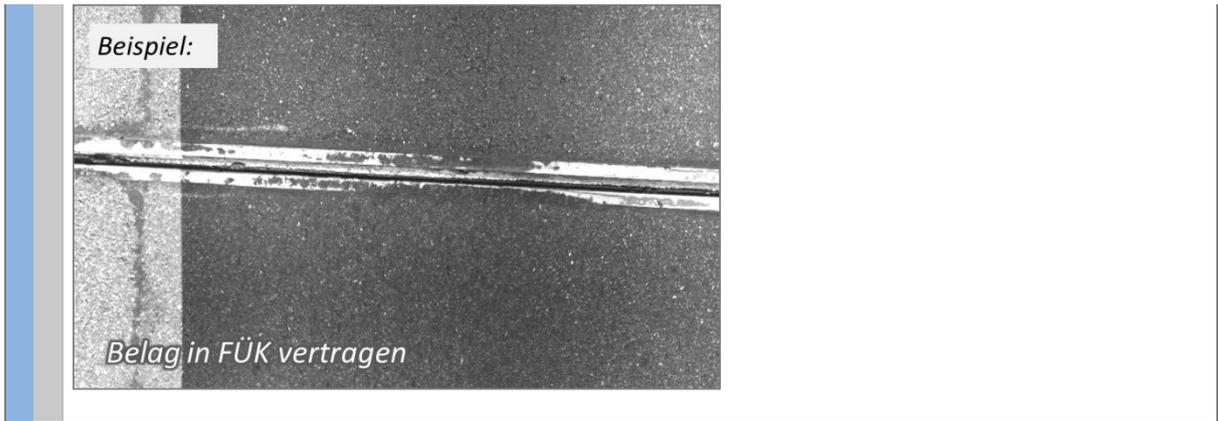


B.2.5 [vF/nF] Belag in FÜK vertragen

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Keine klare Abgrenzung des Grundbelags von der FÜK mit der Gefahr der Verfüllung des Fugenspalts



C Stützrippen

Kommentar: Kategorien zur Charakterisierung und Bewertung der nach Abschnitt 6.3.2 der RVS 15.04.51 vorgeschriebenen Belagsstützrippen vor und nach der FÜK

C.1 Ausführung

C.1.1 Vollständigkeit

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [B] Beidseitig
 [EV] Einseitig vor FÜK
 [EN] Einseitig nach FÜK
 [K] Keine Stützrippen

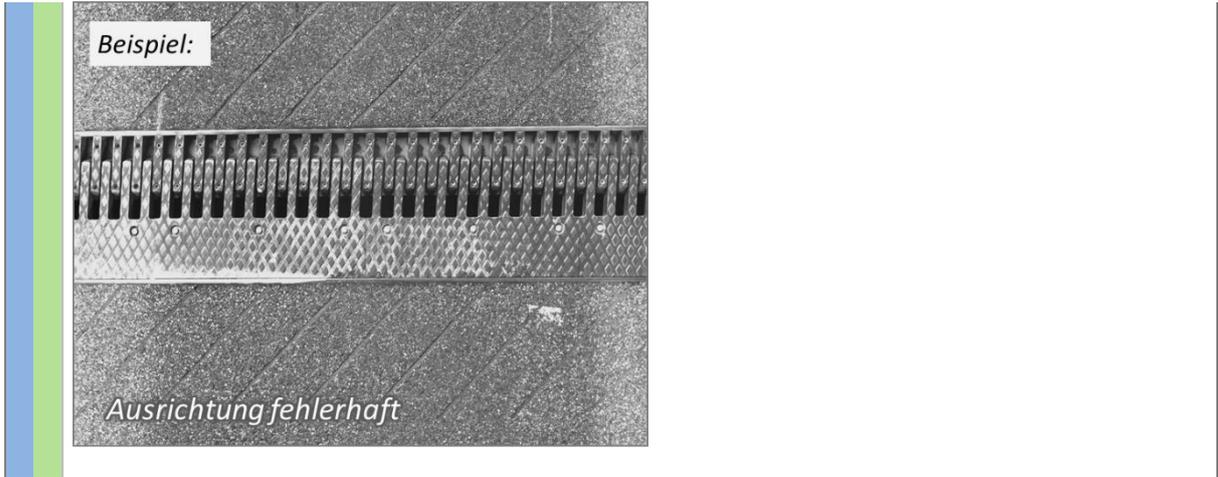
Kommentar: *Fehlende oder vor allem einseitig ausgeführte Stützrippen sind häufig auf einen nachträglichen Belagstausch ohne erneutes Einbringen der Stützrippen zurückzuführen*

C.1.2 Ausrichtung fehlerhaft

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [x] / [] (Ausrichtung fehlerhaft / korrekt)

Kommentar: *Belagsstützrippen sollen so eingebaut werden, dass Regenwasser aufgrund der Querneigung der Fahrbahnoberfläche von der FÜK weggeleitet wird. Eine fehlerhafte Ausrichtung liegt vor, wenn die Stützrippen vor und nach der FÜK parallel zueinander liegen oder die V-Form in Richtung des Quergefälles zeigt. Letzteres ist anhand der vorliegenden Zeilenfotos allerdings nicht zu erkennen.*



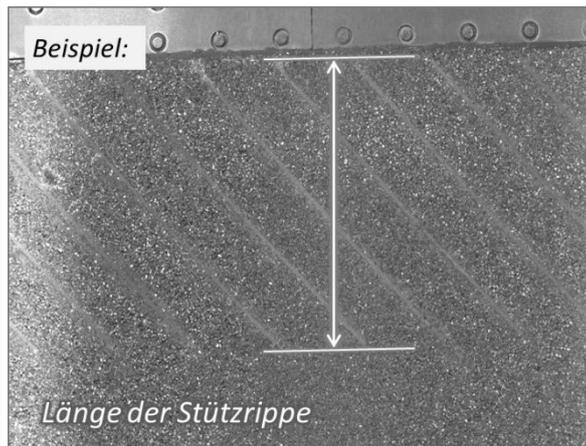
C Stützrippen (Fortsetzung der Tabelle)

C.1 Ausführung (Fortsetzung der Tabelle)

C.1.3 Stützrippenlänge

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: Eingabe der Länge in Metern [m] (in Fahrtrichtung)

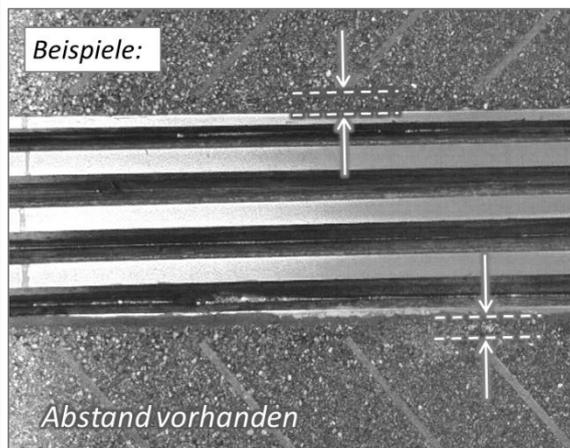


C.1.4 Abstand zum Randprofil

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [x] / [] (Abstand zum Randprofil vorhanden / nicht vorhanden)

Kommentar: Prüfung, ob zwischen Randprofil der FÜK und den Belagsstützrippen ein Abstand von mehr als ca. 3 cm eingehalten wurde.



C Stützrippen (Fortsetzung der Tabelle)

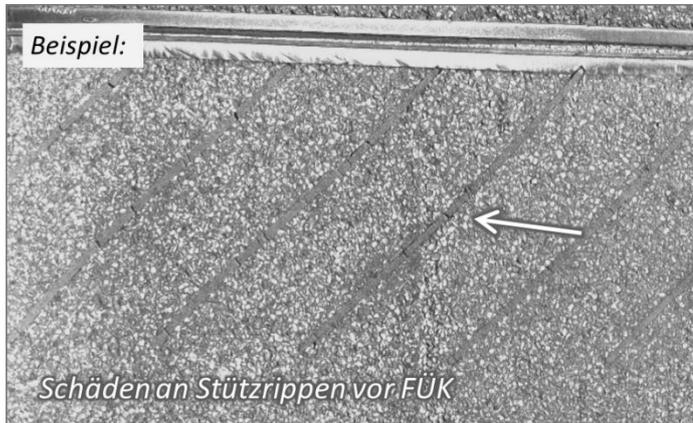
C.2 Schäden

C.2.3 Beschädigung vor FÜK

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Beschädigung der Belagsstützrippen vor der FÜK in Form von Rissen oder Ausbrüchen



C.2.4 Beschädigung nach FÜK

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Beschädigung der Belagsstützrippen nach der FÜK in Form von Rissen oder Ausbrüchen



D Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK)

Kommentar: Mit den Unterpunkten des Abschnitts D werden die Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK) kategorisiert und die Schäden an den Einzelkomponenten bewertet

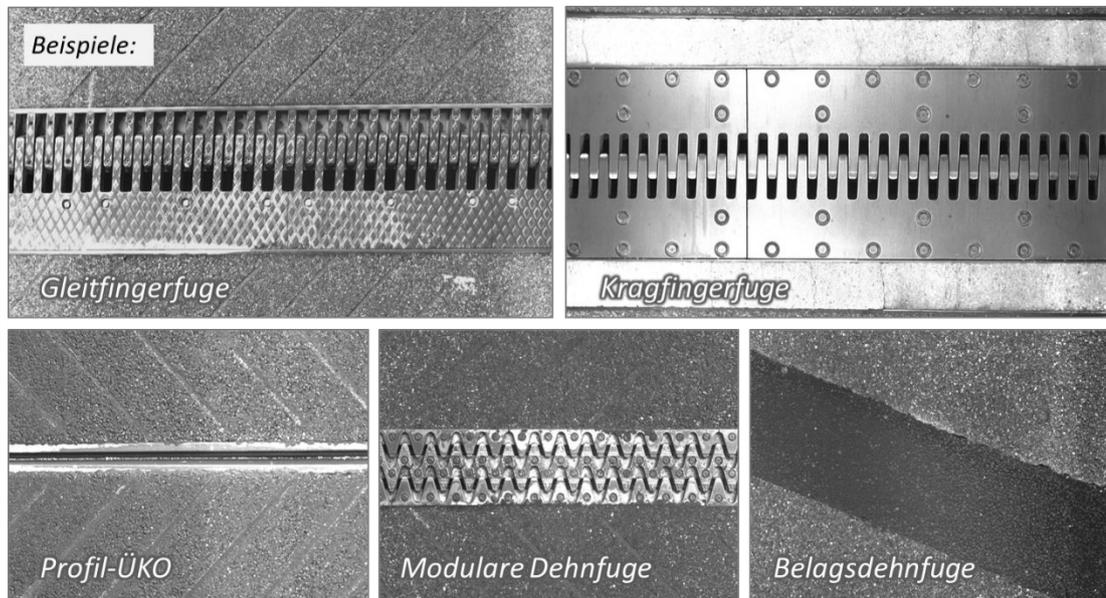
D.1 Typ / Ausführungsart

D.1.1 Grundtyp

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung

Schadensbewertung

Kategorisierung: [GF] Gleitfingerfuge [KF] Kragfingerfuge
[P] Profil-ÜKO [M] Modulare Dehnfuge
[BDF] Belagsdehnfuge



D.1.2 Anzahl Dichtprofile – MDF

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung

Schadensbewertung

Kategorisierung: Eingabe der Anzahl an Elastomer-Dichtprofilen

Kommentar: Einteilung ist nur bei Modulardehnfugen notwendig

D.1.3 Lärminderung – MDF

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung

Schadensbewertung

Kategorisierung: [x] / [] (Lärminderung vorhanden / nicht vorhanden)

Kommentar: Einteilung ist nur bei Modulardehnfugen notwendig. Die Lärminderung umfasst geschweißte oder aufgeschraubte Platten in Rautenform, Sinusform, etc.

D Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) (Fortsetzung der Tabelle)

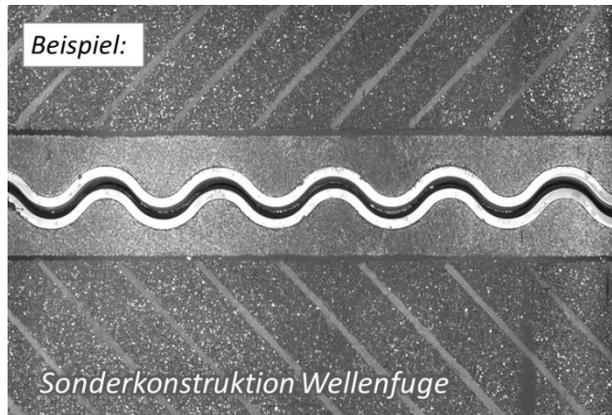
D.1 Typ / Ausführungsart (Fortsetzung der Tabelle)

D.1.4 Sonderkonstruktion

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [SK] / [] (Eingabe von [SK], wenn Sonderkonstruktion vorliegt)

Kommentar: *Gilt für Konstruktionen, die zwar einem Grundtyp zuzuordnen sind, von diesem aber in einem oder mehreren Merkmalen signifikant abweichen*



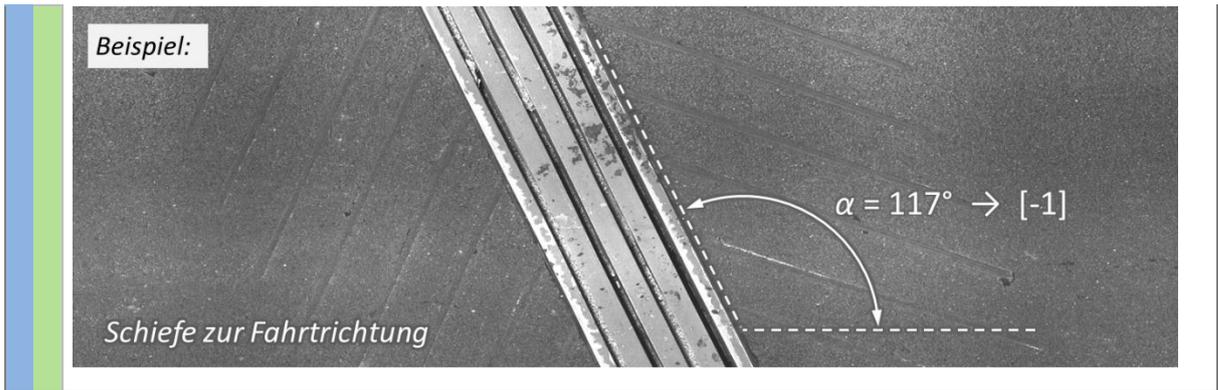
D.1.5 Schiefe

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung:

[-3]	> 135°
[-2]	135° - 120°
[-1]	120° - 105°
[0]	105° - 75°
[1]	75° - 60°
[2]	60° - 45°
[3]	< 45°

Kommentar: *Winkel zwischen FÜK und Fahrtrichtung*



D Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) (Fortsetzung der Tabelle)

D.2 Schäden

D.2.1 Randprofil beschädigt

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Oberflächliche Beschädigung des Randprofils; Mit Abstand am häufigsten sind anfahrseitige schräge Scharfen aufgrund des Aufpralls eines Schneepflug-Räumschilds



D.2.2 Randprofil gebrochen

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [5] (Randprofile nicht gebrochen / Randprofil gebrochen)

Kommentar: Bruch des Randprofils als Extremfall des Schadens D.2.1

D Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) (Fortsetzung der Tabelle)

D.2 Schäden (Fortsetzung der Tabelle)

D.2.3 Finger- bzw. Lärminderungsplatten beschädigt

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Beschädigung einer Finger- oder Lärminderungsplatte durch Anprall, Verbiegen, Verrostung etc.; Analog zu Schaden D.2.1 ist eine typische Beschädigung der Anprall eines Schneepflugs



D.2.4 Finger- bzw. Lärminderungsplatte fehlt

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [5] (Keine Platten fehlen / Platte fehlt)

Kommentar: Vollständige Ablösung einer Finger- oder Lärminderungsplatte als ein Extremfall des Schadens D.2.3

D.2.5 Finger gebrochen / fehlt

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [5] (Finger nicht gebrochen / gebrochen)

Kommentar: Fehlender Finger einer Fingerplatte als ein Extremfall des Schadens D.2.3

D.2.6 Schraube beschädigt / fehlt

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung

Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

D Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) (Fortsetzung der Tabelle)

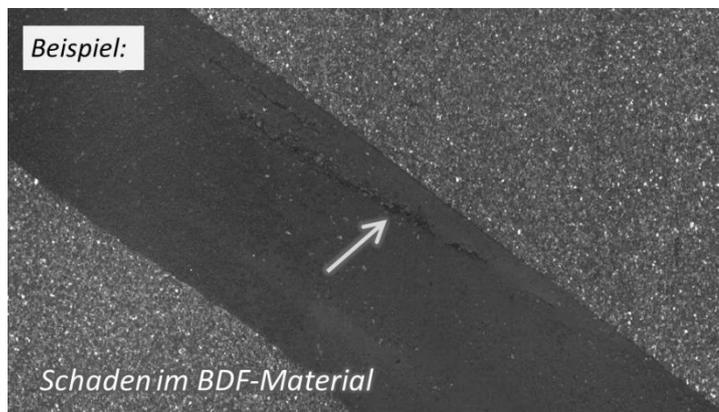
D.2 Schäden (Fortsetzung der Tabelle)

D.2.7 BDF – Schäden im Material

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Schäden wie Inhomogenitäten, Risse, Ausbrüche, etc. innerhalb des Materials der Belagsdehnfuge



D.2.8 BDF – Schäden an Grenzfläche

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [5] (Keine Platten fehlen / Platte fehlt)

Kommentar: Anbindungsfehler, Risse, Ausbrüche etc. im direkten Bereich der Grenzfläche zwischen Belagsdehnfuge und Fahrbahnbelag



D Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) (Fortsetzung der Tabelle)

D.2 Schäden (Fortsetzung der Tabelle)

D.2.9 MDF – Lamellen beschädigt

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Beschädigung von MDF-Lamellen durch Anprall, Verbiegen, Verrostung etc.;

D.2.10 MDF – Lamellen gebrochen

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [5] (Lamelle nicht gebrochen / gebrochen)

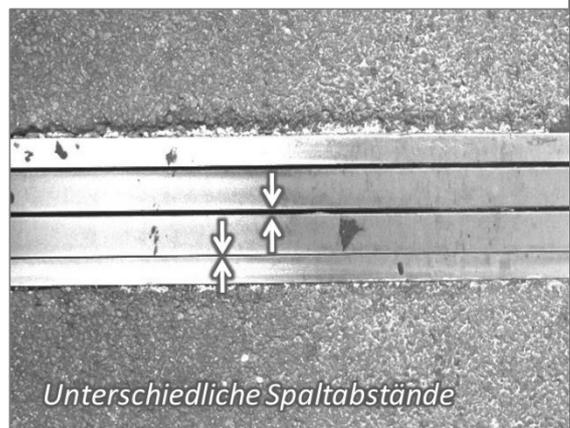
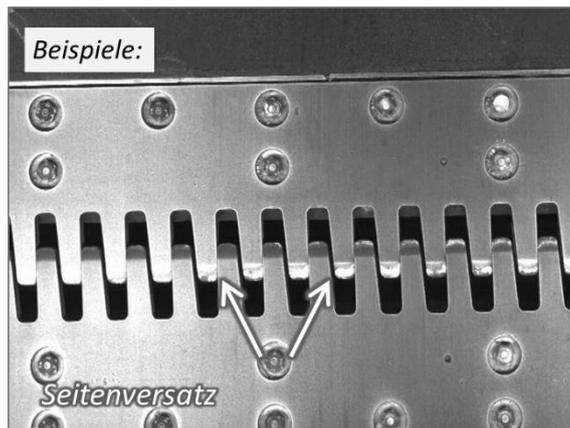
Kommentar: Bruch einer MDF-Lamelle als Extremfall des Schadens D.2.9

D.2.11 Geometriefehler

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Abweichung von der idealen FÜK-Geometrie hinsichtlich Parallelität und Abständen zwischen Fingern, Profilen oder Lamellen



D Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) (Fortsetzung der Tabelle)

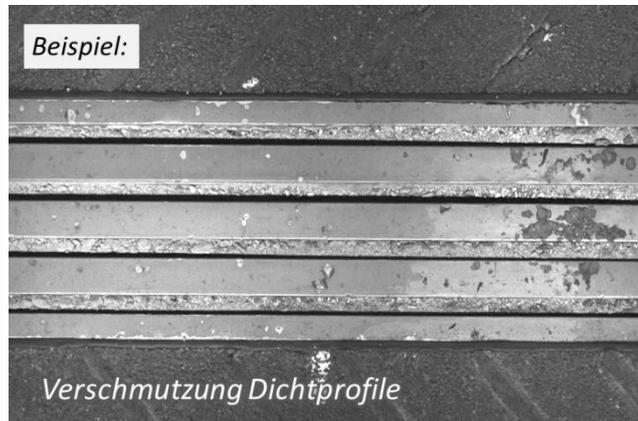
D.2 Schäden (Fortsetzung der Tabelle)

D.2.12 Verschmutzung Dichtprofile

Bewertungstyp: Beschreibung/Einteilung
 Schadensbewertung

Kategorisierung: [1] / [2] / ... / [5] (RVS-Bewertungsschema)

Kommentar: Verschmutzung der Dichtprofile durch Eintrag von z.B. Erde, Sand und Steinen, die die Bewegungsfähigkeit einschränken können und eine Beschädigung der Dichtprofile auslösen können



3.2 Statistische Auswertung der Anschlussbereiche

3.2.1 Allgemein

Insgesamt wurden 295 Fahrbahnübergangskonstruktionen aus vier Straßenzügen in der statistischen Auswertung berücksichtigt. Die folgenden Konstruktionstypen der Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK) werden unterschieden:

- Gleitfingerfuge (GF)
- Kragfingerfuge (KF)
- Profilkonstruktion (P)
- Modulare Dehnfuge (M)
- Belagsdehnfuge (BDF)

Die Anzahl der Konstruktionstypen je betrachtetem Straßenzug wird in Tabelle 2 angeführt und in Abbildung 6 grafisch dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der statistisch ausgewerteten FÜK Typen

	GF	KF	P	M	BDF	Gesamt
A13	12	41	59	29	6	147
A21	0	19	8	8	12	47
A23	12	20	6	27	0	65
Wien	0	0	4	32	0	36
Nord						
Gesamt	24	80	77	96	18	295

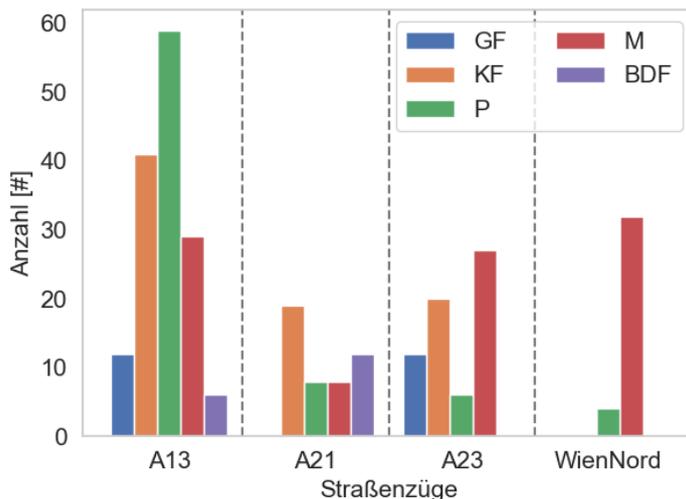


Abbildung 6: Übersicht der statistisch ausgewerteten FÜK Typen

Die Bewertung erfolgte einerseits mittels aus den RoadSTAR Befahrungen der jeweiligen Streckenabschnitte (für die erste Fahrspur) extrahierten Geometrien in der Fahrspur, als auch einer manuell durchgeführten Bewertung von Schäden auf Grundlage der erhobenen Oberflächenbilder der Zeilenkamera des RoadSTARs. Die manuelle Schadensbewertung erfolgte getrennt und unabhängig durch zwei Projektpartner. Schäden wurden nach dem RVS-Schema mit Werten zwischen 1 und 5 bewertet, wobei 1 die beste und 5 die schlechteste Bewertung darstellt.

Die Fahrbahngeometrien wurden jeweils für die linke und rechte Reifenspur getrennt ausgewertet. Aus den RoadSTAR Messungen wurde eine Punktwolke im 10 cm x 10 cm Raster extrahiert. Als Reifenaufstandsfläche (Reifenlatsch) wurde für einen LKW-Reifen eine Fläche von 30 cm x 30 cm angenommen. Für die Ermittlung der geometrischen Parameter wurden die jeweils neun Messwerte pro Reifenaufstandsfläche auf einen Wert komprimiert, welcher dann zur Auswertung herangezogen wurde. Die folgende Vorgehensweise wurde hierfür gewählt:

- Die Höhenkoordinate (z-Koordinate) z_{Latsch} wird immer für den mittleren Punkt im 30 cm x 30 cm Raster ermittelt
- Die neun z-Koordinaten werden der der Größe nach aufsteigend geordnet und entsprechend indexiert, sodass: $z_1 \leq z_2 \leq \dots \leq z_9$
- z_{Latsch} wird dann als Mittelwert aus z_6 , z_7 und z_8 berechnet und in weiterer Folge als geometrischer Wert im Zentrum der betrachteten Reifenaufstandsfläche verwendet

Diese Vorgehensweise wurde gewählt um die Elastizität des Reifens zu berücksichtigen. Einzelne höhere Messwerte fallen so nicht ins Gewicht. Die derart ermittelte geometrische Fahrbahngeometrie in Reifenspur wurde sowohl für die dynamischen Berechnungen in AP3 als auch für die statistische Auswertung in AP2 verwendet.

Die Position der FÜK in Fahrbahnlängsrichtung wurde, soweit aus dem Höhenprofil eindeutig ersichtlich noch für jede einzelne Konstruktion manuell korrigiert, da die automatische Zuordnung der Position der FÜK aus den Messdaten eine gewisse Varianz aufweist.

Zur grafischen Darstellung der durchgeführten Auswertungen, werden verschiedene Arten von Diagrammen herangezogen, um die gewählten Parameter darzustellen:

- Balkendiagramme: in der Regel getrennt für die vier betrachteten Straßenzüge sowie für die Gesamtheit aller Konstruktionen.
- Histogramme: in der Regel getrennt für die vier betrachteten Straßenzüge sowie für die Gesamtheit aller Konstruktionen.
- Matrix-Scatter Plots: Hier werden verschiedene Parameter gegeneinander geplottet. Im oberen Dreieck sind die einzelnen Punkte der jeweiligen Parameter gegeneinander geplottet, im unteren Dreieck ist eine Kerndichteschätzung abgebildet und der lineare

Korrelationskoeffizient r (nach Pearson) dazu geplottet. In der Diagonale ist das Histogramm des jeweiligen Parameters abgebildet.

Ausgewertet wurden in einem ersten Schritt die folgenden Bewertungsparameter und Bauteile:

- Stützrippen
- Schiefe der FÜK
- Geometrische Indikatoren
- Schäden an Fahrbahnübergangskonstruktionen (aufgeteilt auf die unterschiedlichen FÜK-Typen)
- Schäden an Fahrbahnanschlüssen
- Ausbesserungen im Anschlussbereich
- Datensätze von Infrastrukturbetreibern

In einem weiteren Schritt wurden die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Eingangsparametern und Schädigungen mittels einer Random-Forest Analyse untersucht. Dieser Ansatz aus dem Bereich des maschinellen Lernens wurde gewählt um komplexe Zusammenhänge aufzuzeigen, auch wenn aufgrund des geringen Datenstandes von max. 295 Datensätze hier nur eine beschränkte Aussage möglich ist.

3.2.2 Stützrippen

Betrachtet man das Vorkommen von Stützrippen (SR) bei den in der Auswertung betrachteten Straßenzügen, so zeigt sich, dass ein hoher Anteil von FÜK mit Stützrippen ausgestattet sind. Unterschieden wird in der Auswertung nach:

- Keine Stützrippen (K)
- Stützrippen auf beiden Seiten der FÜK (B)
- Stützrippen einseitig in Fahrtrichtung vor der FÜK (EV)
- Stützrippen einseitig in Fahrtrichtung nach der FÜK (EV)

Von den insgesamt 295 betrachteten FÜK sind 138 ohne Stützrippen, während 150 Konstruktionen auf beiden Seiten Stützrippen aufweisen. Jeweils vier Konstruktionen haben nur einseitig Stützrippen vor bzw. nach der FÜK. Dies wird auf durchgeführte Sanierungsarbeiten zurückgeführt. Der größte Anteil an Stützrippen wurde in den Untersuchungen auf der A13 festgestellt, hier ist der überwiegende Anteil an FÜK mit Stützrippen ausgestattet, während im Gegenzug der Straßenzug Wien Nord keine Stützrippen aufweist.

Tabelle 3: Vorkommen von Stützrippen

	K	B	EV	EN
A13	29	112	3	3
A21	30	16	0	1
A23	42	22	1	0
Wien Nord	36	0	0	0
Gesamt	138	150	4	4

Betrachtet man das Vorkommen von Stützrippen in Abhängigkeit der jeweiligen Konstruktionstypen, wie in Abbildung 7 dargestellt, so zeigt sich, dass Stützrippen bei allen Konstruktionstypen mit Ausnahme der Belagsdehnfugen vorkommen.

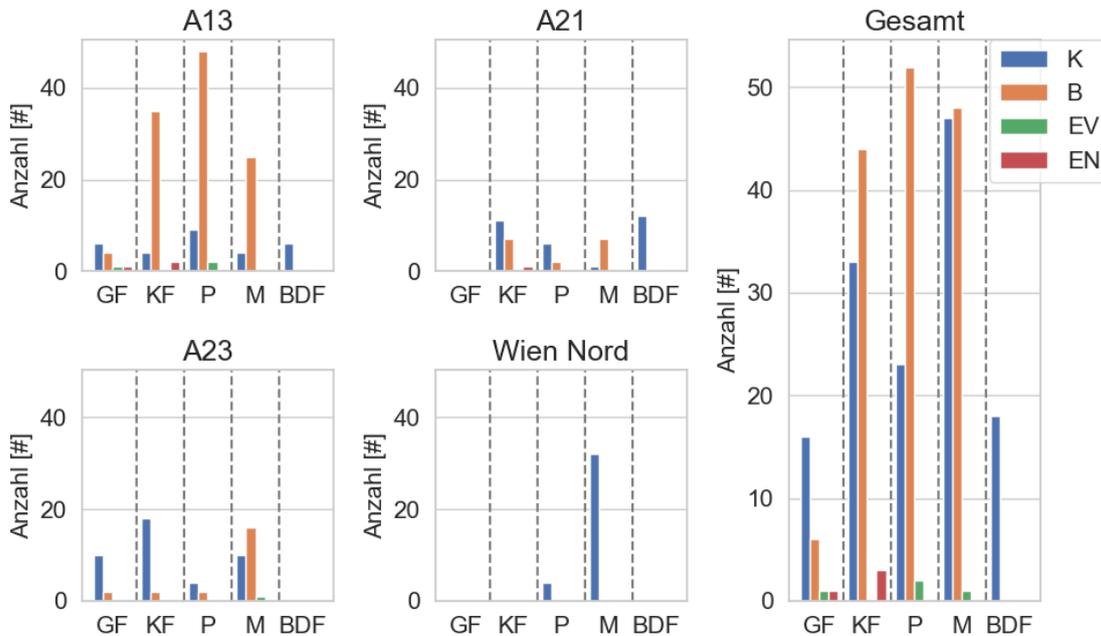


Abbildung 7: Vorkommen von Stützrippen bei den berücksichtigten Straßenzügen. Unterteilt nach den jeweiligen FÜK Konstruktionstypen.

Eine fehlerhafte Ausrichtung der Stützrippen, wo die Stützrippen auf beiden Seiten der FÜK parallel zueinander sind, konnte bei insgesamt 47 Konstruktionen, ausschließlich auf der A13, festgestellt werden. Bei einer Gesamtanzahl von 112 beidseitig ausgeführten Stützrippen ist dies hier ein Anteil von 42,0% welcher fehlerhaft ausgerichtet ist.

In Abbildung 8 ist eine Histogramm Ansicht der gemessenen Stützrippenlängen $l_{\text{Stütz}}$ dargestellt.

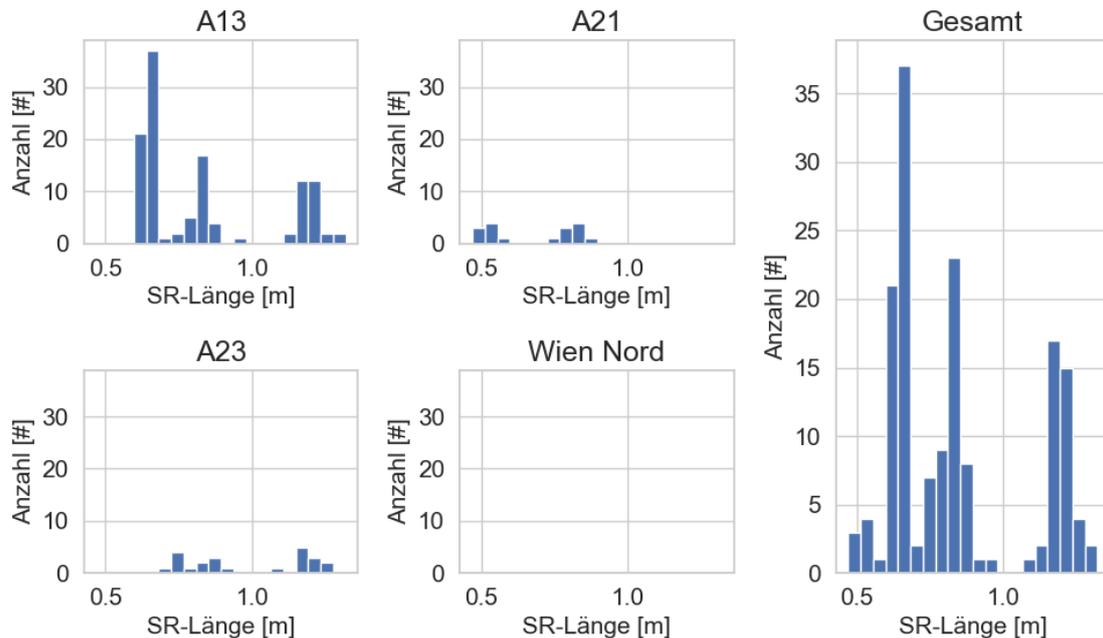


Abbildung 8: Gemessene Länge der ausgeführten Stützrippen in Fahrtrichtung

Betrachtet man die Länge der Stützrippen, welche immer in Fahrtrichtung gemessen wurde, so zeigt sich, dass sich die Stützrippenlängen grob in drei Gruppen einteilen lassen: $l_{\text{Stütz}} < 0,7$ m; $0,7 \text{ m} \leq l_{\text{Stütz}} < 1,0$ m und $l_{\text{Stütz}} \geq 1,0$ m. Tabelle 4 zeigt einen Überblick über Anzahl, Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Stützrippenlänge innerhalb dieser drei Gruppen.

Tabelle 4: Anzahl und Mittelwert μ , Standardabweichung σ und Variationskoeffizient COV der Stützrippenlänge $l_{\text{Stütz}}$, eingeteilt in drei Gruppen.

	Anzahl [#]	μ [m]	σ [m]	COV [%]
$l_{\text{Stütz}} < 0,7$ m	67	0,626	0,047	7,508
$0,7 \text{ m} \leq l_{\text{Stütz}} < 1$ m	50	0,818	0,048	5,868
$l_{\text{Stütz}} \geq 1,0$ m	41	1,202	0,042	3,494

Von den 158 FÜK mit Stützrippen wurden insgesamt 20 Stützrippeneinbauten (A13: 14; A23: 6) mit Abstand zum Randprofil der Konstruktion eingebaut. Bei den restlichen Konstruktionen wurde sehr knapp bis zum Randprofil eingeschnitten, teilweise wurde auch das Randprofil durch die Schnittführung beschädigt. Betrachtet man die Stützrippenlängen mit Abstand zum Randprofil so sind 14 Stützrippen in der Gruppe $l_{\text{Stütz}} \geq 1,0$ m und sechs Stützrippen in der Gruppe $0,7 \text{ m} \leq l_{\text{Stütz}} < 1,0$ m. Siehe auch das Histogramm in Abbildung 9. Von den kurzen

Stützrippen der Gruppe $l_{\text{Stütz}} < 0,7$ m weist keine einen Abstand zum Randprofil auf. Die 14 Stützrippen der Gruppe $l_{\text{Stütz}} \geq 1,0$ m befinden sich alle auf der A13 und die 6 Stützrippen der Gruppe $0,7 \text{ m} \leq l_{\text{Stütz}} < 1,0$ m auf der A23.

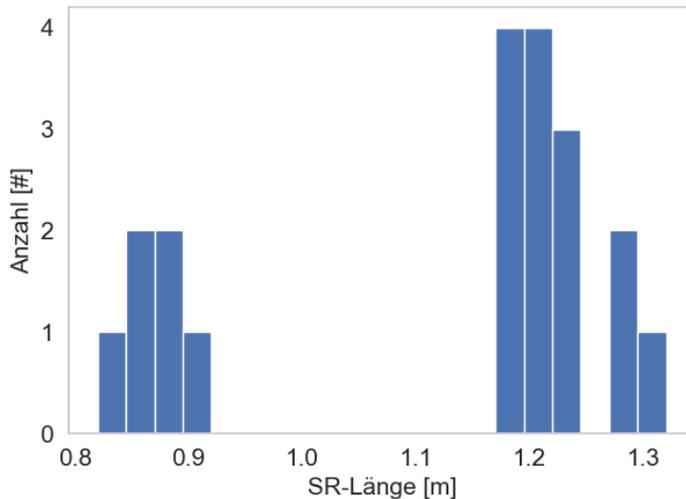


Abbildung 9: Gemessene Länge der Stützrippen mit Abstand zum FÜK-Randprofil in Fahrtrichtung

Betrachtet man den Matrix-Scatter Plot in Abbildung 10, so zeigt sich, dass sich keine statistische Korrelation zwischen Stützrippenlänge $l_{\text{Stütz}}$ und der Zustandsbewertung der Stützrippen vor (Korrelationskoeffizient $r=-0,38$) und nach (Korrelationskoeffizient $r=-0,38$) der FÜK feststellen lässt. Für die Zustandsbewertung der Stützrippen vor und nach der FÜK zeigte sich jedoch erwartungsgemäß eine vergleichsweise hohe Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,71$.

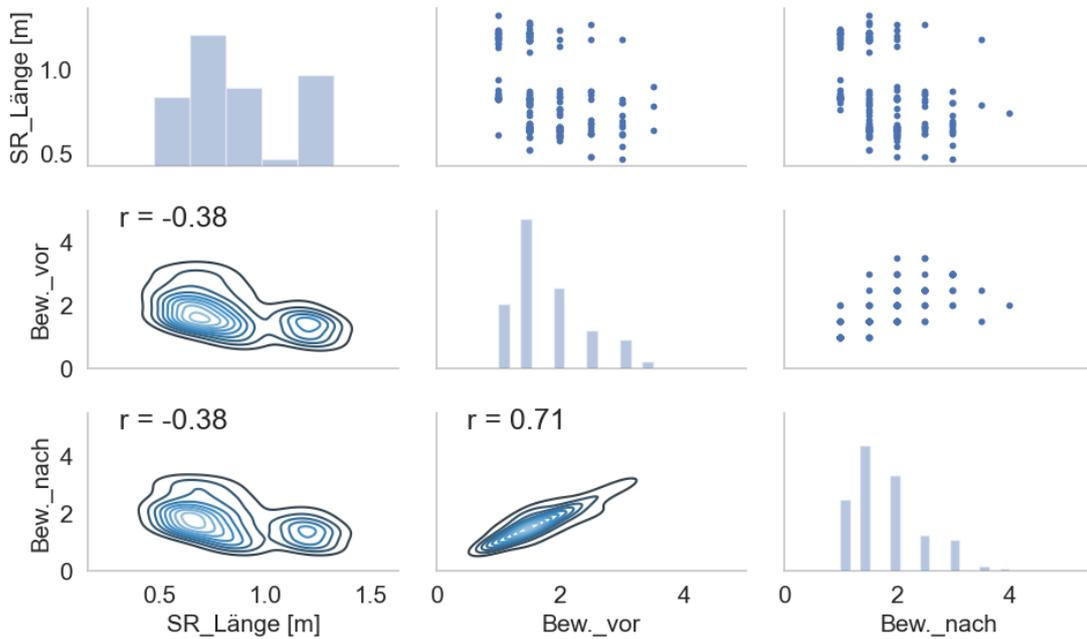


Abbildung 10: Matrix-Scatter-Plot der Stützrippenlänge (SR_Länge) mit der Bewertung der Stützrippen vor (Bew._vor) und nach (Bew._nach) der FÜK

3.2.3 Schiefe

Zur Beurteilung der Schiefe der betrachteten Stützrippen wurden diese in Gruppen in Abhängigkeit vom Winkel α den die FÜK zur Fahrtrichtung einnimmt eingeteilt. Zur Veranschaulichung der Definition des Winkels wird auf Abbildung 11 verwiesen.

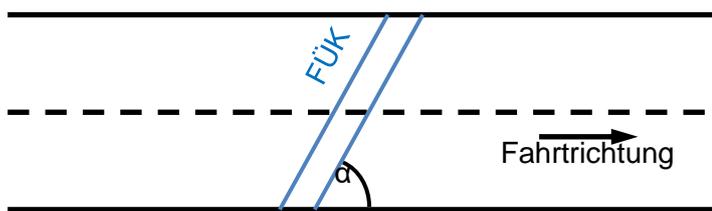


Abbildung 11: Definition Winkel für Bestimmung der Schiefe

Die auftretenden Winkel der FÜK werden wie folgt gruppiert:

- Gruppe -3: $\alpha > 135^\circ$
- Gruppe -2: $135^\circ > \alpha > 120^\circ$
- Gruppe -1: $120^\circ > \alpha > 105^\circ$
- Gruppe 0: $105^\circ > \alpha > 75^\circ$
- Gruppe 1: $75^\circ > \alpha > 60^\circ$

- Gruppe 2: $60^\circ > \alpha > 45^\circ$
- Gruppe 3: $45^\circ > \alpha$

Wie aus Tabelle 5 und Abbildung 12 ersichtlich ist, liegt der überwiegende Großteil der Konstruktionen in der Gruppe 0 mit $105^\circ > \alpha > 75^\circ$, also annähernd rechtwinkelig zur Fahrtrichtung. Bis auf zwei Konstruktionen des Typs modulare Dehnfugen auf der A23, welche in die Gruppe -1 mit $120^\circ > \alpha > 105^\circ$ zeigen nur Belagsdehnfugen hohe Schiefen. In Abbildung 13 sind die einzelnen Gruppen noch auf die jeweiligen Straßenzüge aufgeteilt, hier zeigt sich, dass die Belagsdehnfugen mit hoher Schiefe auf der A21 vorkommen.

Tabelle 5: Schiefe der FÜK mit Bezug auf die einzelnen Konstruktionstypen

	Gruppe -3 $\alpha > 135^\circ$	Gruppe -2 $135^\circ > \alpha > 120^\circ$	Gruppe -1 $120^\circ > \alpha > 105^\circ$	Gruppe 0 $105^\circ > \alpha > 75^\circ$	Gruppe 1 $75^\circ > \alpha > 60^\circ$	Gruppe 2 $60^\circ > \alpha > 45^\circ$	Gruppe 3 $45^\circ > \alpha$
GF	0	0	0	24	0	0	0
KF	0	0	0	80	0	0	0
P	0	0	0	77	0	0	0
M	0	0	2	94	0	0	0
BDF	4	2	0	8	2	2	0

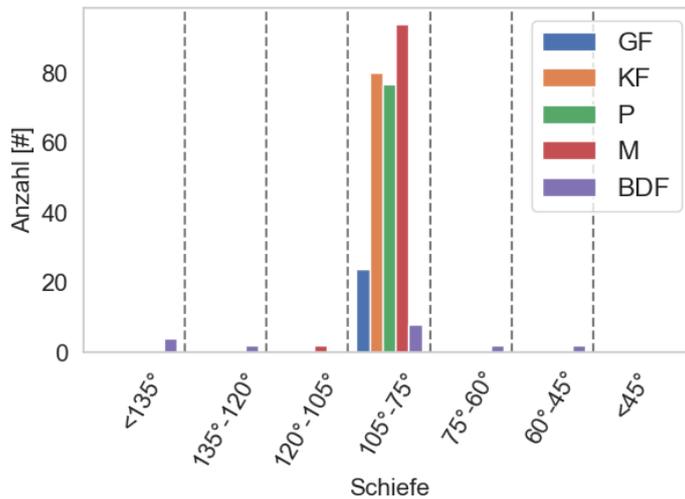


Abbildung 12: Schiefe der FÜK mit Bezug auf die einzelnen Konstruktionstypen

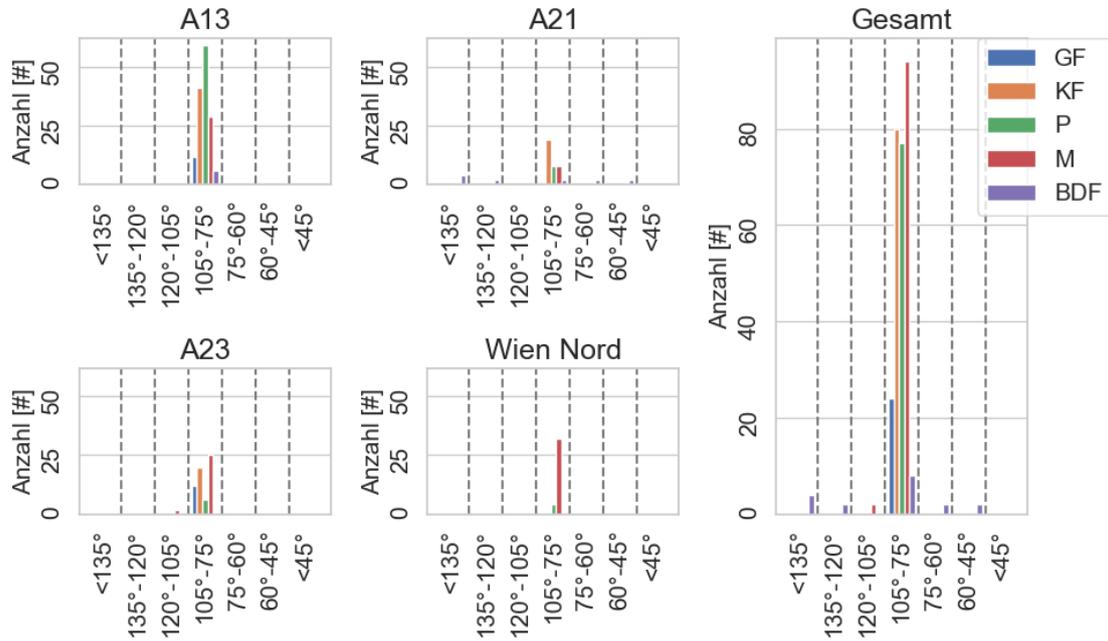


Abbildung 13: Schiefe der FÜK mit Bezug auf die einzelnen Konstruktionstypen und aufgeteilt auf die jeweiligen Straßenzüge

3.2.4 Geometrische Indikatoren

Verschiedene geometrische Indikatoren wurden bestimmt. In diese Auswertung fließen die folgenden Indikatoren mit ein:

- **Geometrie Fahrbahnanschluss (vorne und hinten):** Fahrbahnanschluss zur FÜK herab-, hinaufgezogen, (annähernd) gerade oder unklare Situation. Als Grenzwert wird eine korrigierte Steigung einer Regressionsgeraden von ± 1 mm/m für den Bereich von -2,0 m bis -0,5m vor und 0,5 m bis 2,0 m nach der FÜK festgelegt. Die Steigung der Regressionsgerade im Anschlussbereich wird durch die mittlere Steigung der Fahrbahn über einen Bereich von -40,0 m bis -10,0 m vor und 10,0 m bis 40,0 m nach der FÜK korrigiert.
- **Versatz FÜK:** relative vertikale Position der FÜK im Vergleich zum Anschlussbereich. Mit negativem oder positivem Versatz, geradem Einbau oder unklarer Situation. Als Grenzwert wurde ein Versatz von 0,5 mm festgelegt. Liegen alle vier Versatzwerte (links/rechts/vorne/hinten) über dem Grenzwert, so liegt ein negativer Versatz vor, d.h. die FÜK liegt unterhalb des Fahrbahnanschlusses. Sinngemäß wird ein positiver Versatz ermittelt. Gerade Einbausituation liegt vor, wenn der Absolutwert aller vier Versatzmaße kleiner als der Grenzwert ist. Alle anderen Situationen (gemischte Situationen) werden als unklar klassifiziert.
- **Stichmaß:** bei Auflegen einer 4 m bzw. 2m Latte mittig über der FÜK. Jeweils für die linke und die rechte Reifenspur.

- **Mulden:** Vorhandensein von Mulden im Anschlussbereich. Jeweils links und rechts und vor und nach der FÜK. Eine Mulde wird definiert, wenn im Bereich von -1,5m bis -0,5m vor bzw. 0,5m bis 1,5m nach der FÜK zwischen zwei Maxima ein Abstand von mindestens 0,5m liegt und eine in diesen Bereich gelegte Regressionsparabel ein Stichmaß von mindestens 5mm aufweist.

Betrachtet man die Geometrie des Fahrbahnanschlusses in Fahrtrichtung vor und nach der FÜK in Abbildung 14, so zeigt sich, dass der Großteil der Anschlüsse auf beiden Seiten der FÜK hinaufgezogen wurde. Jedoch gibt es auch ca. 50 Konstruktionen, bei welchen der Fahrbahnanschluss zur FÜK herabgezogen wurde. Der hohe Anteil an unklaren Geometrien beruht auf unterschiedlichen Steigungen auf der linken und rechten Fahrspur.

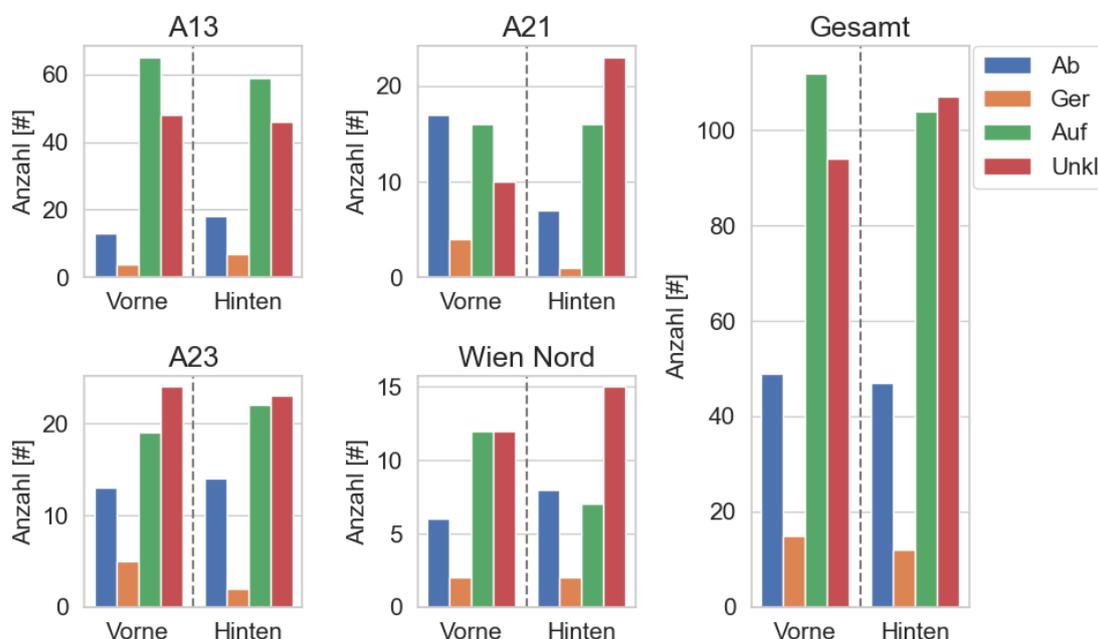


Abbildung 14: Geometrie Fahrbahnanschluss vorne und hinten. Ab - Anschluss herabgezogen; Auf - Anschluss hinaufgezogen; Ger - Anschluss gerade; Unkl. – Unklar

Betrachtet man die ermittelten Versatzmaße für die einzelnen FÜK in Abbildung 15, so zeigt sich, dass der überwiegende Großteil der FÜK unterhalb des Fahrbahnanschlusses liegt. Nur einzelne Konstruktionen bei der A13 und beim Straßenzug Wien Nord stehen aus der Fahrbahn heraus. Viele Konstruktionen wurden jedoch auch als Unklar bewertet, da hier die einzelnen Versatzmaße kein eindeutiges Bild ergaben.

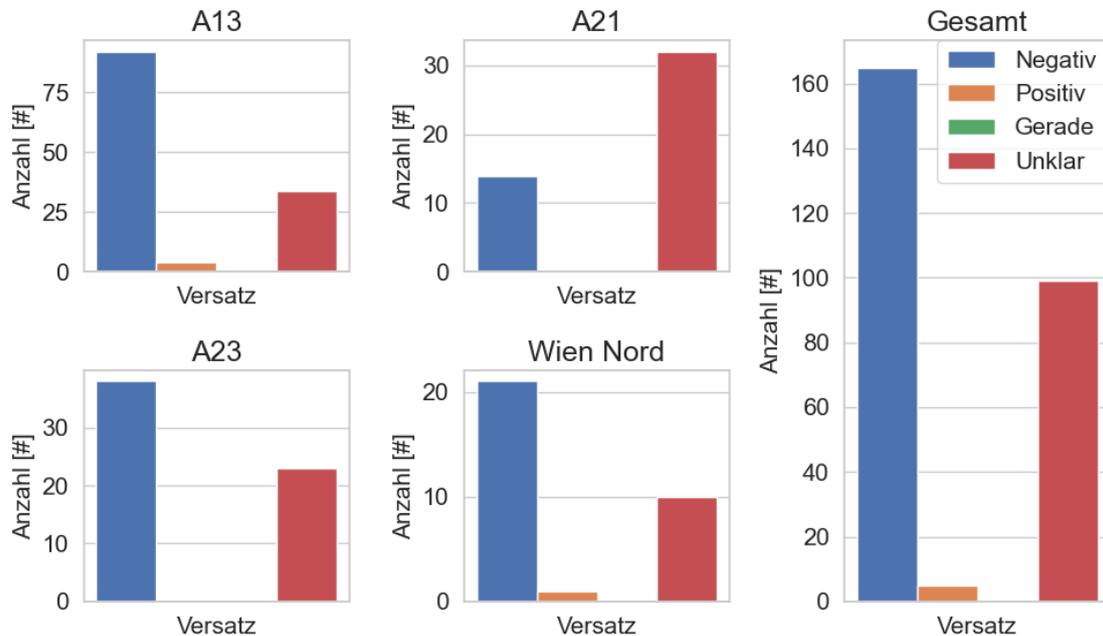


Abbildung 15: Versatz der FÜK im Verhältnis zum Fahrbahnanschluss. Negativ - Fahrbahnanschluss höher als FÜK; Positiv - Fahrbahnanschluss tiefer als FÜK; Gerade - Fahrbahnanschluss eben mit FÜK; Unklar - unklare Situation

Betrachtet man die Stichmaße bei Auflegen einer 4m oder 2m Latte über den Anschlussbereich, jeweils für die linke und rechte Reifenspur, so zeigen sich diese mit Mittelwert μ und Standardabweichung σ wie in Tabelle 6 angeführt. Über alle Anschlussbereiche hinweg sind die Stichmaße im Mittel zwischen 8,3 und 9,2 mm für die 4m Latte und zwischen 7,1 und 8,2 mm für die 2 m Latte. Bei genauerer Betrachtung der zugehörigen Histogramme in den Abbildungen 16 bis 19 so zeigt sich, dass die Stichmaße tendenziell rechtsschief sind. Einzelne Konstruktionen weisen Stichmaße von über 20 mm auf.

Tabelle 6: Vergleich von Mittelwert μ und Standardabweichung σ der 4m und 2m Lattenmaße

		4m links	4m rechts	2m links	2m rechts
A13	μ	7,917	7,532	7,306	6,785
	[mm]				
	σ	4,72	4,034	4,384	3,77
	[mm]				
A21	μ	6,277	6,171	4,99	4,744
	[mm]				
	σ	4,467	4,654	3,927	3,727
	[mm]				
A23	μ	11,405	9,415	10,129	7,945
	[mm]				
	σ	6,694	5,251	6,151	5,021
	[mm]				
Wien Nord	μ	14,422	12,325	13,259	10,426
	[mm]				
	σ	8,112	70,87	7,863	6,144
	[mm]				
Gesamt	μ	9,191	8,289	8,246	7,123
	[mm]				
	σ	6,189	5,17	5,787	4,654
	[mm]				

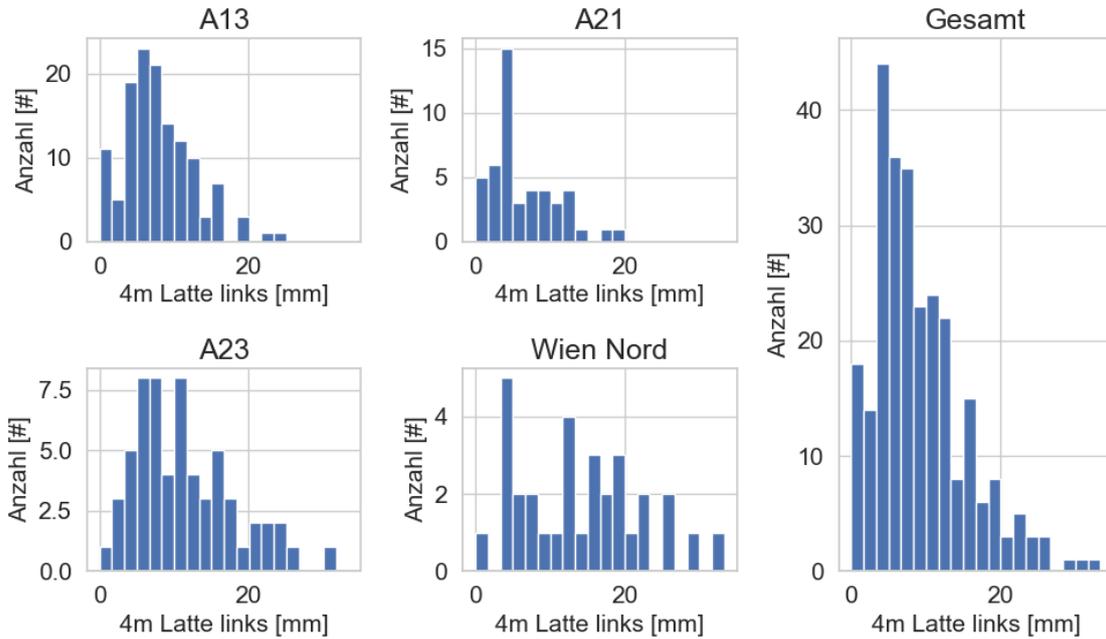


Abbildung 16: Histogramm vom Stichmaß bei Auflegen der 4m Latte auf linker Reifenspur

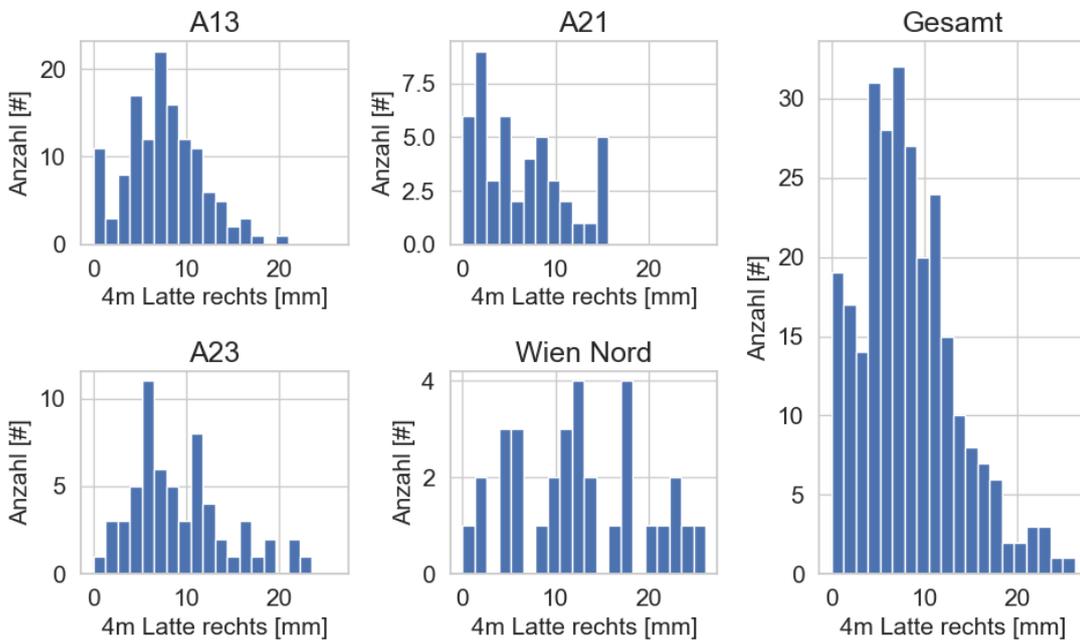


Abbildung 17: Histogramm vom Stichmaß bei Auflegen der 4m Latte auf rechter Reifenspur

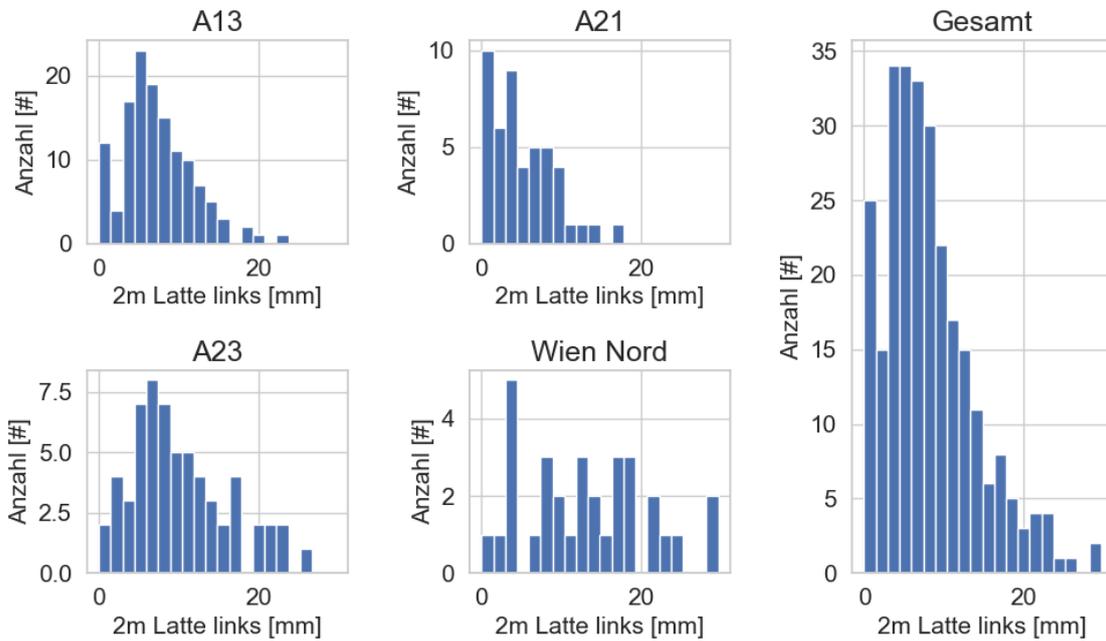


Abbildung 18: Histogramm vom Stichmaß bei Auflegen der 2m Latte auf linker Reifenspur

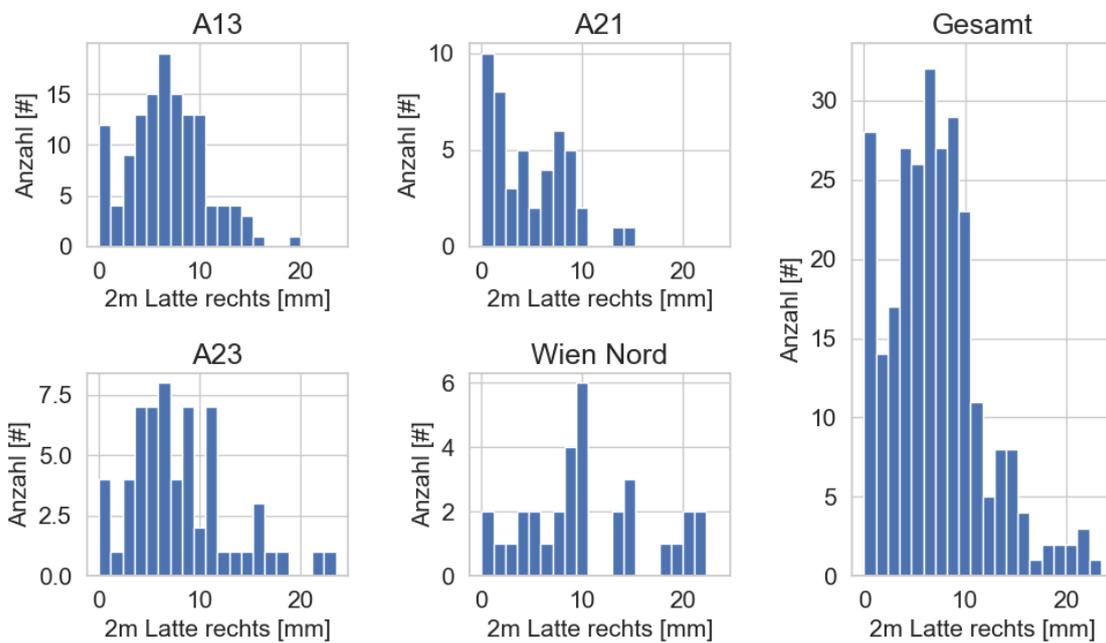


Abbildung 19: Histogramm vom Stichmaß bei Auflegen der 2m Latte auf rechter Reifenspur

Betrachtet man das Vorhandensein von Mulden, so zeigt sich, dass diese nur bei einer geringen Anzahl von Anschlussbereichen, hauptsächlich bei der A23 und beim Straßenzug Wien Nord auftreten. Interessant ist, dass bei der A23 die Mulden tendenziell eher vor der FÜK

und im Straßenzug Wien Nord tendenziell eher nach der FÜK auftreten.

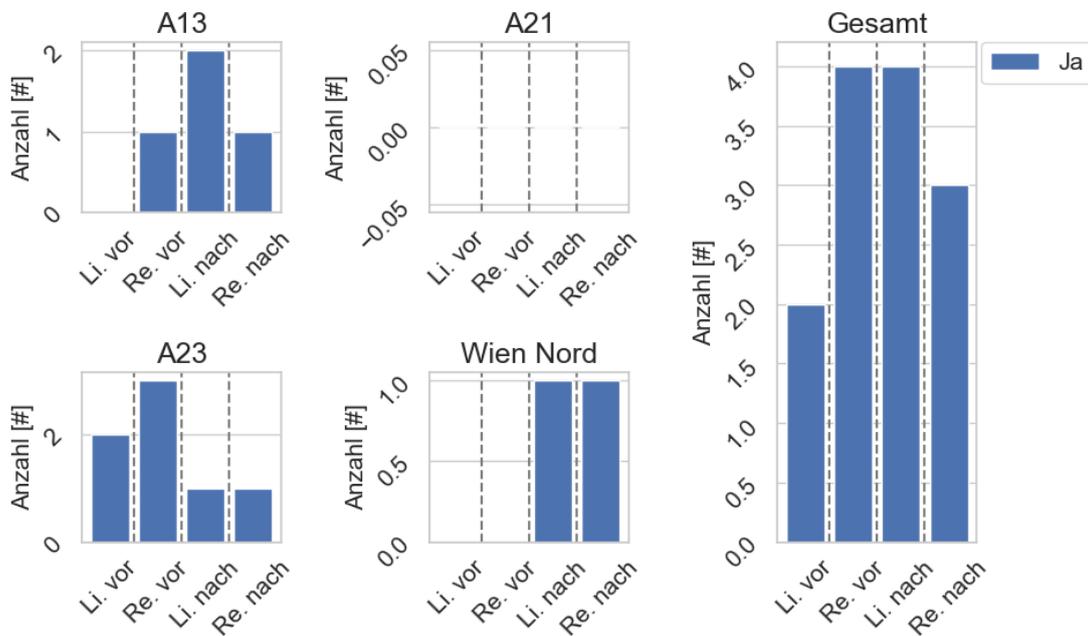


Abbildung 20: Vorhandensein von Mulden

3.2.5 Schäden an Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK)

3.2.5.1 Gleitfingerfugen (GF)

Von den insgesamt 24 Gleitfingerfugen in der Auswertung befinden sich jeweils zwölf auf der A13 und zwölf auf der A23.

Die folgenden Schäden werden in der Auswertung betrachtet:

- Beschädigung Randprofil
- Beschädigung Fingerplatten
- Finger gebrochen
- Beschädigte oder fehlende Schrauben
- Geometriefehler
- Verschmutzung der Dichtprofile

Bei den Schädigungen der Randprofile, siehe Abbildung 21, wurden nur wenige Konstruktionen mit Zustandsnote 3 bewertet. Der Großteil der Randprofile wurde als in gutem Zustand mit Zustandsnoten 1-2 bewertet. Tendenziell zeigten sich auf der A23 mehr Schäden als bei der A13.

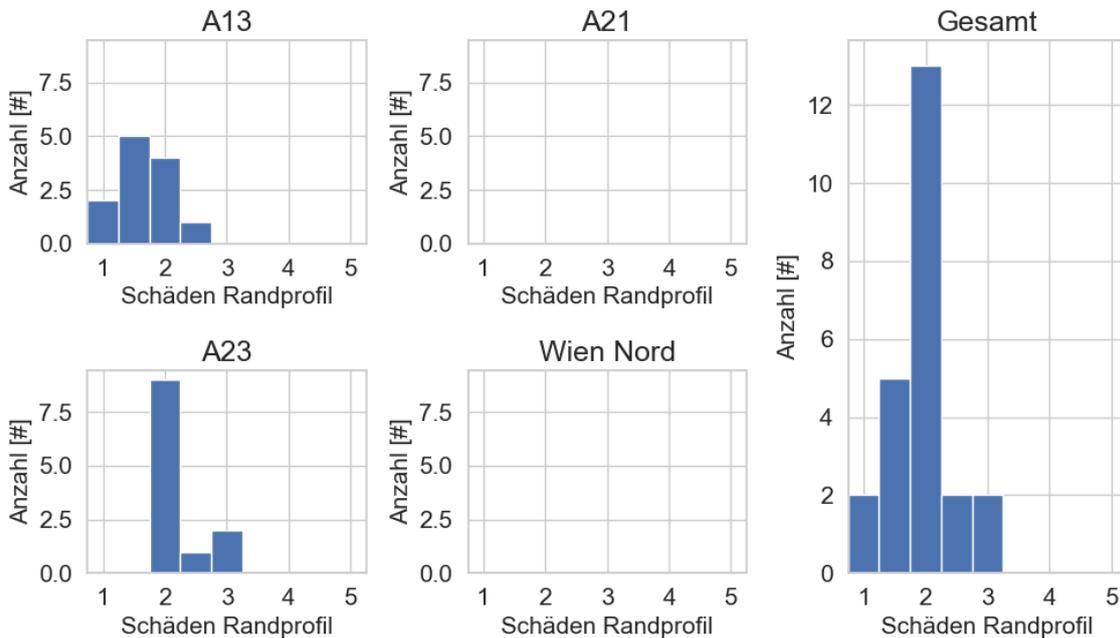


Abbildung 21: Gleitfingerfugen - Bewertete Schäden der Randprofile

Ein vergleichbares Bild wie bei den Randprofilen zeigt sich, wenn man die Schäden an den Fingerplatten betrachtet, siehe Abbildung 22. Auch hier gibt es keine Zustandsnoten größer als 3 und die Tendenz zeigt auf der A23 einen etwas schlechteren Zustand als bei der A13.

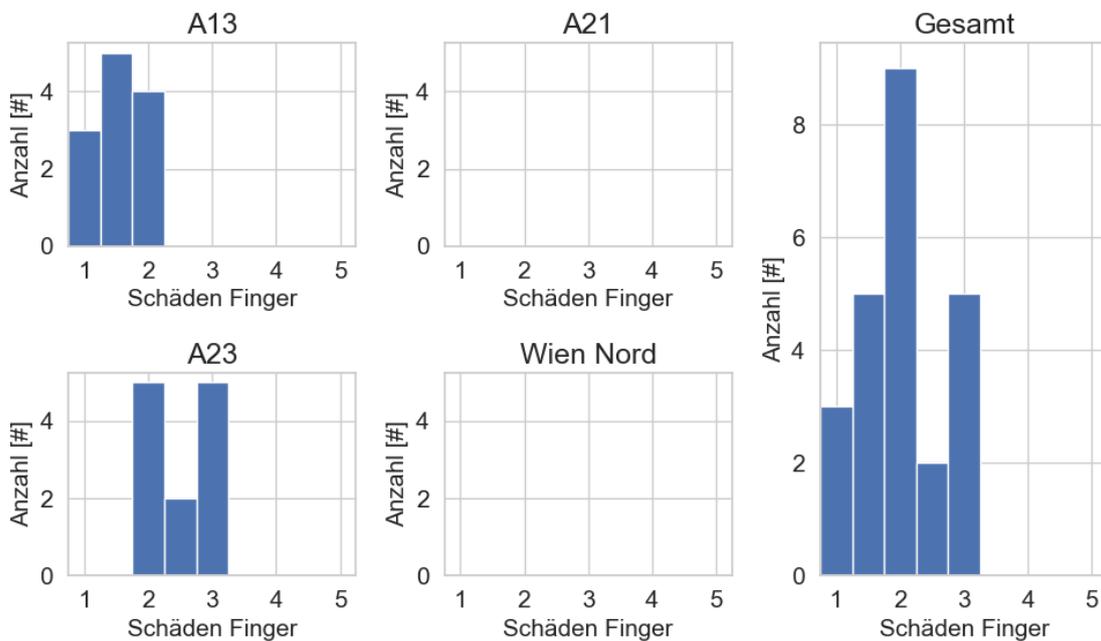


Abbildung 22: Gleitfingerfugen - Bewertete Schäden der Fingerplatten

Gebrochene Finger konnten, wie in Abbildung 23 ersichtlich ist, keine festgestellt werden. Dieser Schadenstyp wird in der weiteren Auswertung nicht mehr berücksichtigt.

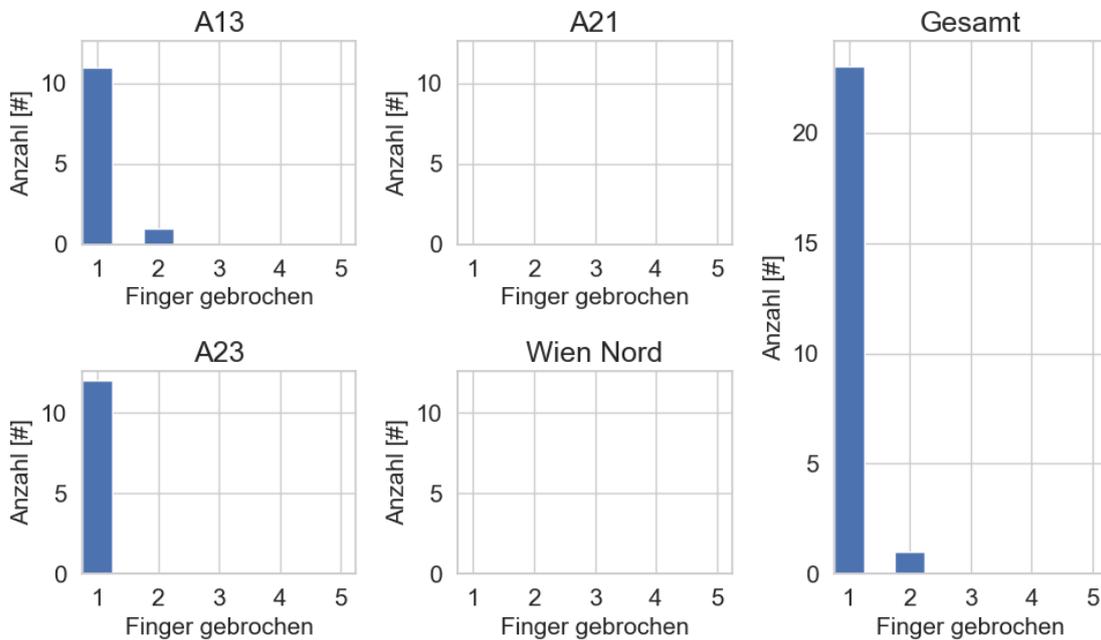


Abbildung 23: Gleitfingerfugen - Bewertete Schäden von gebrochenen Fingern

Auch bei den Schäden an Schrauben, konnten nur geringe Schäden festgestellt werden, siehe Abbildung 24. Es wurden keine fehlenden Schrauben (Zustandsnote 5) festgestellt. Weitere Schädigungen sind aus den Oberflächenbildern nur schwer feststellbar.

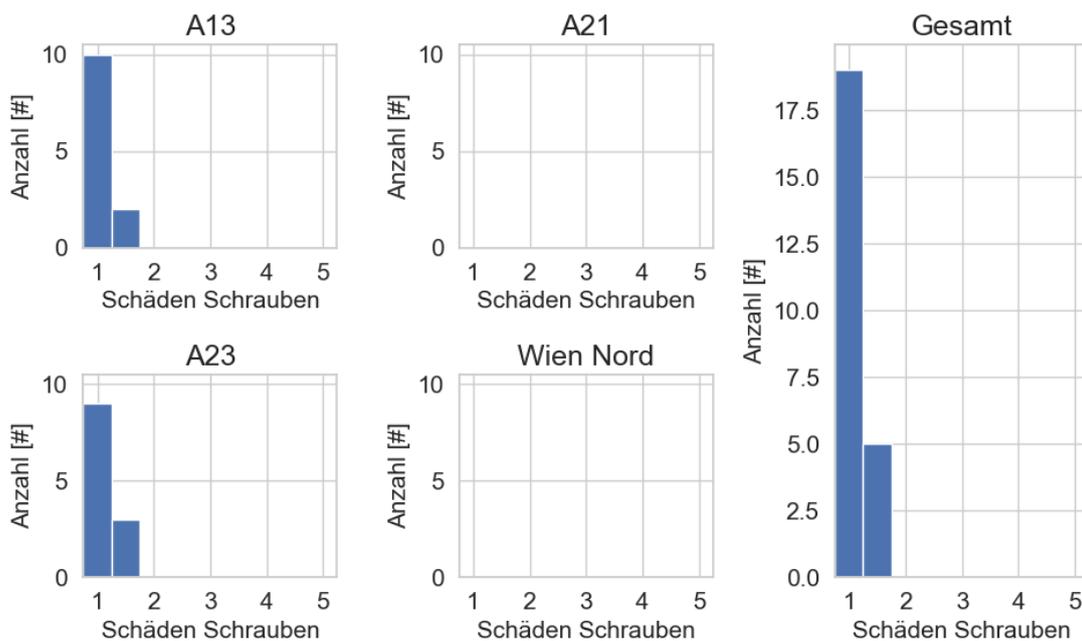


Abbildung 24: Gleitfingerfugen - Bewertete Schäden an Schrauben der Fingerplatten (Zustandsnote 5: Schraube fehlt)

Auch bei der Bewertung der Geometrie, siehe Abbildung 25, wurden nur geringe Schäden bewertet. Der Großteil der Gleitfingerfugen zeigte hier einen gleichmäßigen Abstand der beiden Konstruktionsseiten zueinander.

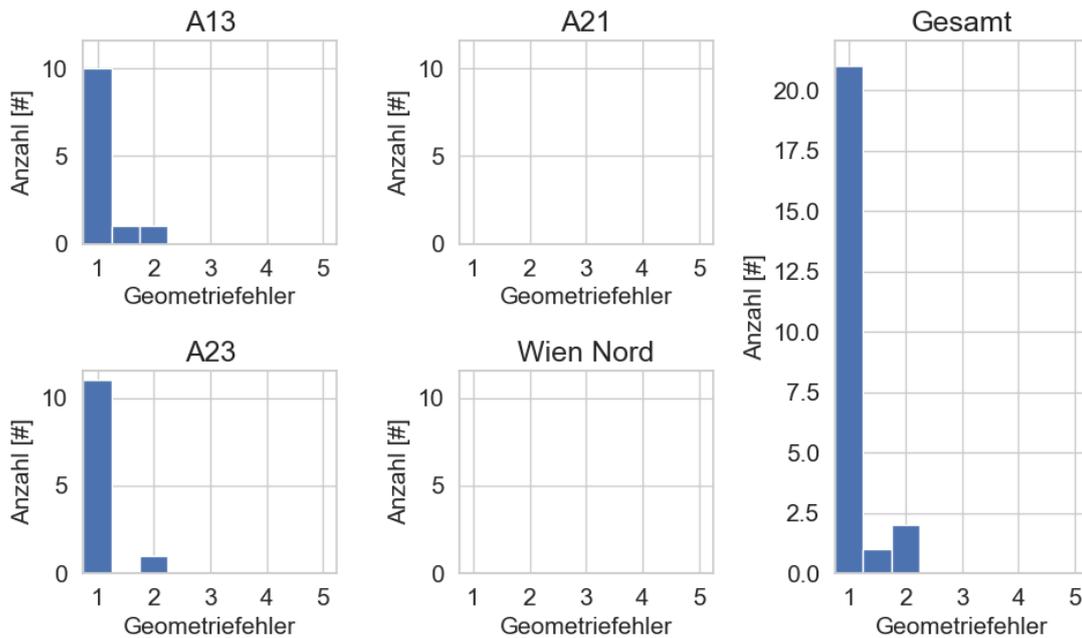


Abbildung 25: Gleitfingerfugen – Geometriefehler

Betrachtet man die Verschmutzung der Gleitfingerfugen, siehe Abbildung 26, so zeigen sich viele Konstruktionen mittelmäßig bis stark verschmutzt (Zustandsnote 3 bis 4).

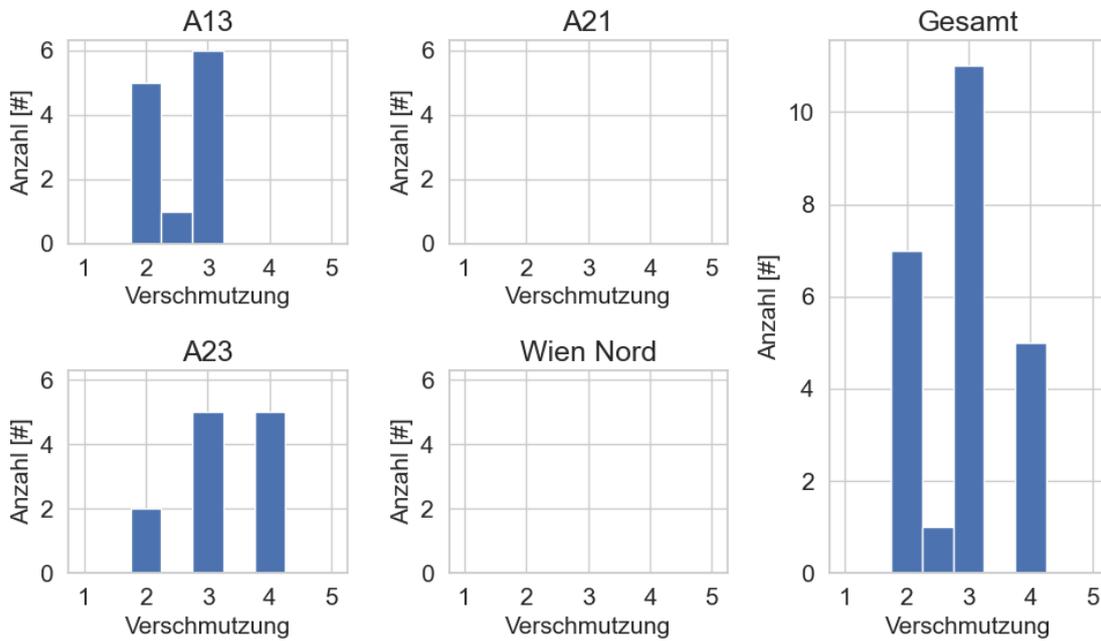


Abbildung 26: Gleitfingerfugen – Verschmutzung

Betrachtet man die Korrelationen zwischen den einzelnen Schäden (mit Ausnahme von gebrochenen Fingern), so zeigen sich für die A13, siehe Abbildung 27, keine auffälligen Korrelationen zwischen den Schäden.

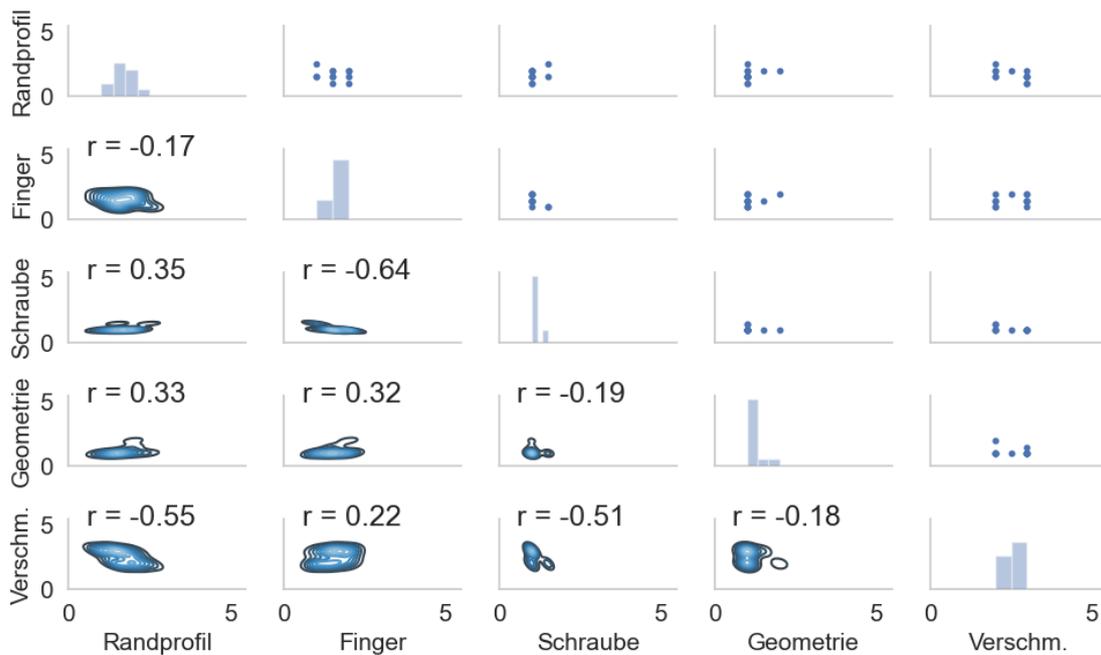


Abbildung 27: Gleitfingergugen A13 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Finger - Beschädigung Fingerplatten; Schraube - Beschädigte oder fehlende Schrauben; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

Bei Betrachtung der A23, siehe Abbildung 28 zeigt sich zwischen Beschädigungen von Fingerplatten und der Verschmutzung der Dichtprofile eine Korrelation mit einem Korrelationskoeffizient von $r = 0,76$. Auch bei Betrachtung aller Gleitfingergugen gemeinsam, siehe Abbildung 29, zeigt sich hier noch ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,70$. Es ist jedoch zu beachten, dass die anderen Schadenskategorien durchwegs nur mit Zustandsnoten 1-2 bewertet wurden, wodurch sich mögliche Korrelationen hier nicht sicher abbilden lassen.

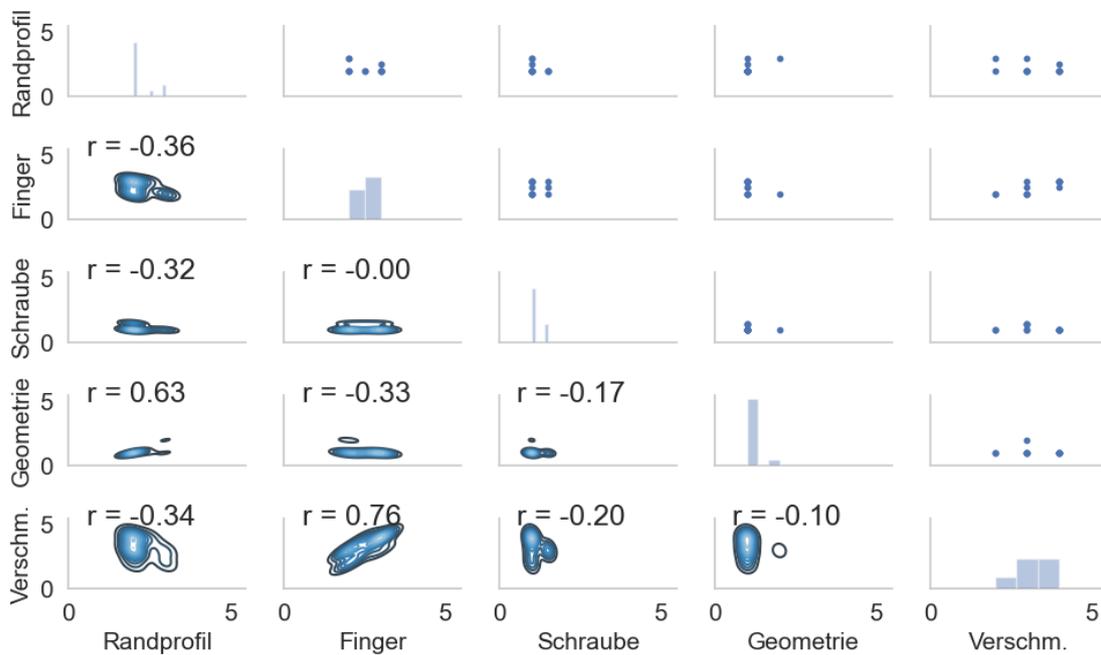


Abbildung 28: Gleitfingergugen A23 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Finger - Beschädigung Fingerplatten; Schraube - Beschädigte oder fehlende Schrauben; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

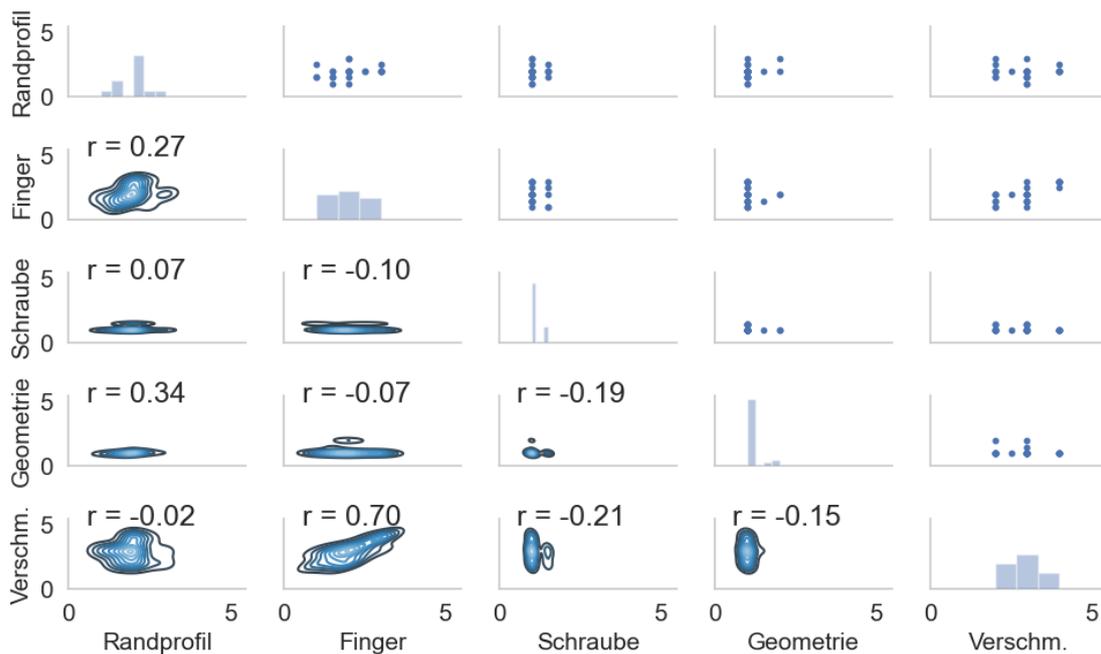


Abbildung 29: Gleitfingernugen Gesamt - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Finger - Beschädigung Fingerplatten; Schraube - Beschädigte oder fehlende Schrauben; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

3.2.5.2 Kragfingerfuge (KF)

Von den insgesamt 80 Gleitfingerfugen in der Auswertung befinden sich 41 Konstruktionen auf der A13, 19 Konstruktionen auf der A21 und 20 Konstruktionen auf der A23. Auf dem Streckenzug Wien Nord befinden sich keine Kragfingerkonstruktionen

Die folgenden Schäden werden in der Auswertung betrachtet:

- Beschädigung Randprofil
- Beschädigung Fingerplatten
- Finger gebrochen
- Beschädigte oder fehlende Schrauben
- Geometriefehler
- Verschmutzung der Dichtprofile

Bei den Schädigungen der Randprofile, siehe Abbildung 30, zeigt sich eine breite Streuung in der Bewertung. Der Großteil der Randprofile weist einen guten Zustand auf und wurde mit den Zustandsnoten 1 - 2 bewertet. Es gibt jedoch auch eine Anzahl an Konstruktionen, bei denen

die Randprofile mit Zustandsnoten von 3 oder höher bewertet wurden Dies ist vor allem auf Schneeflugschäden zurückzuführen.

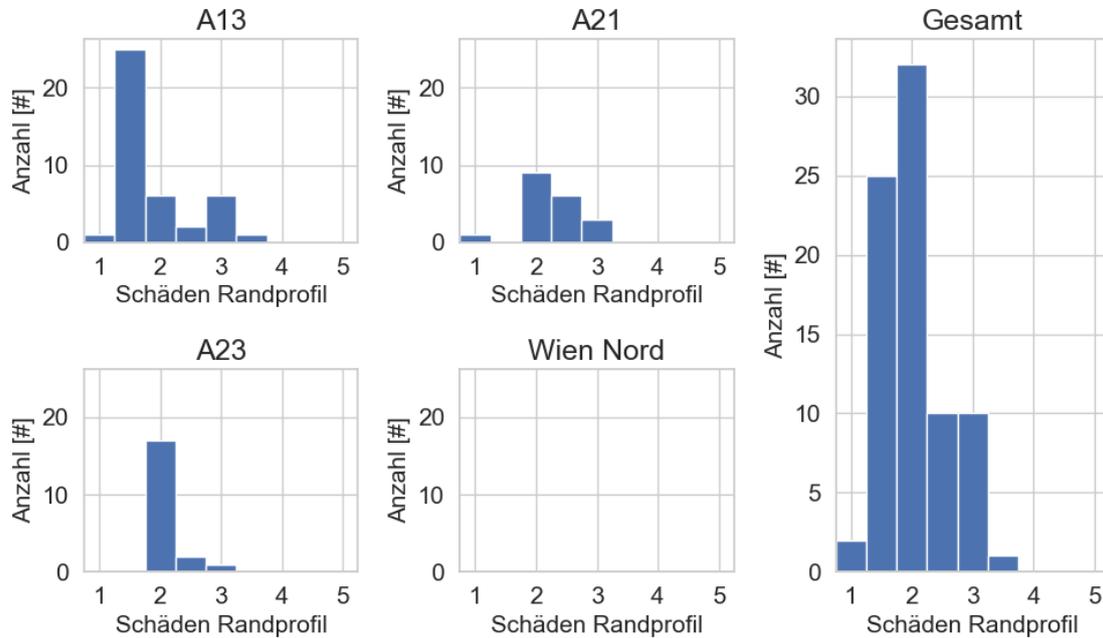


Abbildung 30: Kragfingerfugen - Bewertete Schäden der Randprofile

Ein vergleichbares Bild wie bei den Randprofilen zeigt sich, wenn man die Schäden an den Fingerplatten betrachtet, siehe Abbildung 31. Der Großteil der Konstruktionen wurde mit den Zustandsnoten 1 - 2 bewertet, es gibt jedoch auch 17 Konstruktionen, welche die Zustandsnote 3 erhalten haben.

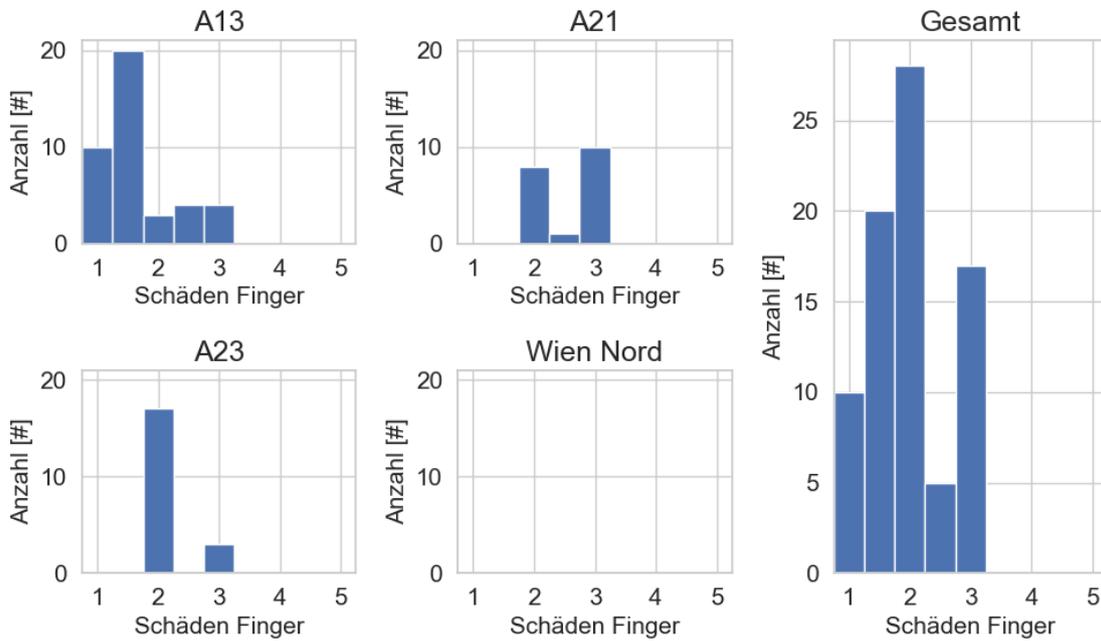


Abbildung 31: Kragfingerfugen - Bewertete Schäden der Fingerplatten

Gebrochene Finger konnten, wie in Abbildung 32 ersichtlich ist, auch bei Kragfingerkonstruktionen nicht festgestellt werden. Dieser Schadenstyp wird in der weiteren Auswertung nicht mehr berücksichtigt.

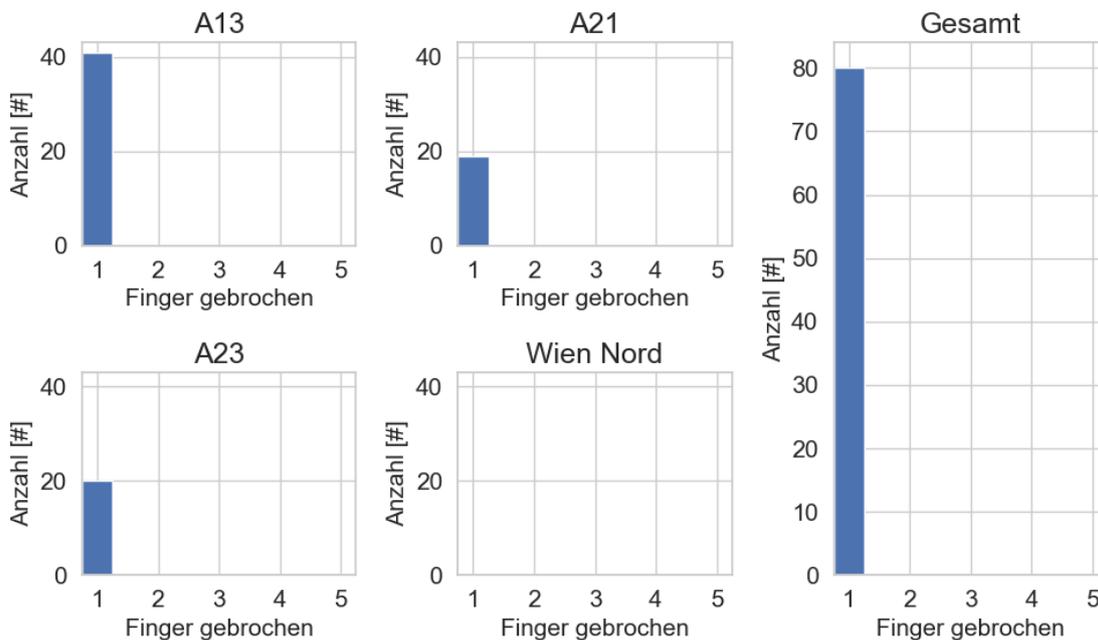


Abbildung 32: Kragfingerfugen - Bewertete Schäden von gebrochenen Fingern

Bei den Schrauben, konnten Großteils nur geringe Schäden festgestellt werden, siehe Abbildung 33, soweit es aus den Oberflächenbildern ersichtlich war. Lediglich auf der A13 wurden an vier Konstruktionen fehlende Schrauben (Zustandsnote 5) festgestellt .

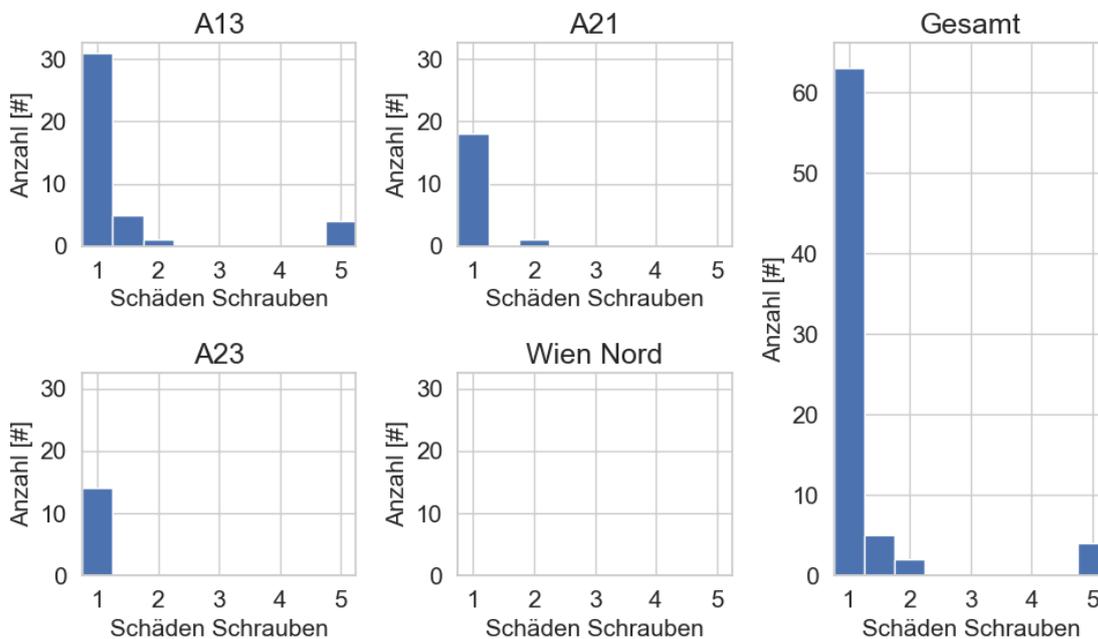


Abbildung 33: Kragfingerfugen - Bewertete Schäden an Schrauben der Fingerplatten (Zustandsnote 5: Schraube fehlt)

Auch bei der Bewertung der Geometrie, siehe Abbildung 34, zeigte der Großteil der Kragfingerfugen einen gleichmäßigen Abstand der beiden Konstruktionsseiten zueinander. Es gab jedoch Konstruktionen mit leichten Abweichungen, welche in Zustandsnoten mit Bewertungen bis maximal 3 resultierten.

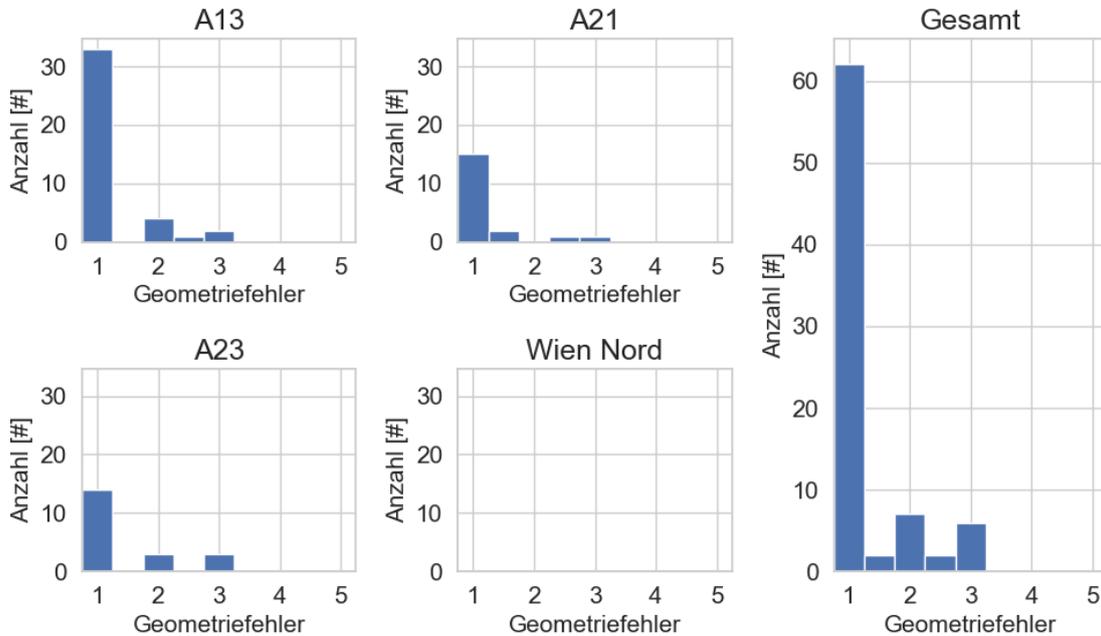


Abbildung 34: Kragfingerfugen – Geometriefehler

Betrachtet man die Verschmutzung der Gleitfingerfugen, siehe Abbildung 35, so zeigen sich viele Konstruktionen leicht bis mittelmäßig verschmutzt (Zustandsnoten zwischen 2 und 3).

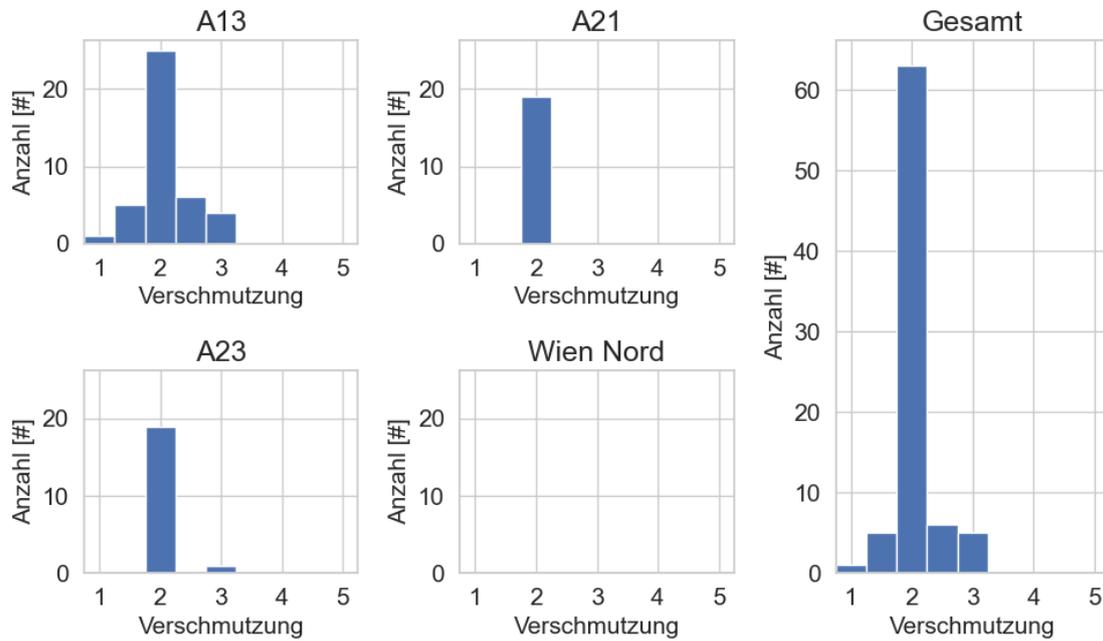


Abbildung 35: Kragfingerfugen – Verschmutzung

Bei der Beurteilung von Korrelationen zwischen den einzelnen Schäden (mit Ausnahme von gebrochenen Fingern), zeigt sich für die A13, siehe Abbildung 36, nur zwischen Schäden am Randprofil und Schäden an den Fingerplatten eine aussagekräftige Korrelation (Korrelationskoeffizient $r = 0,72$).

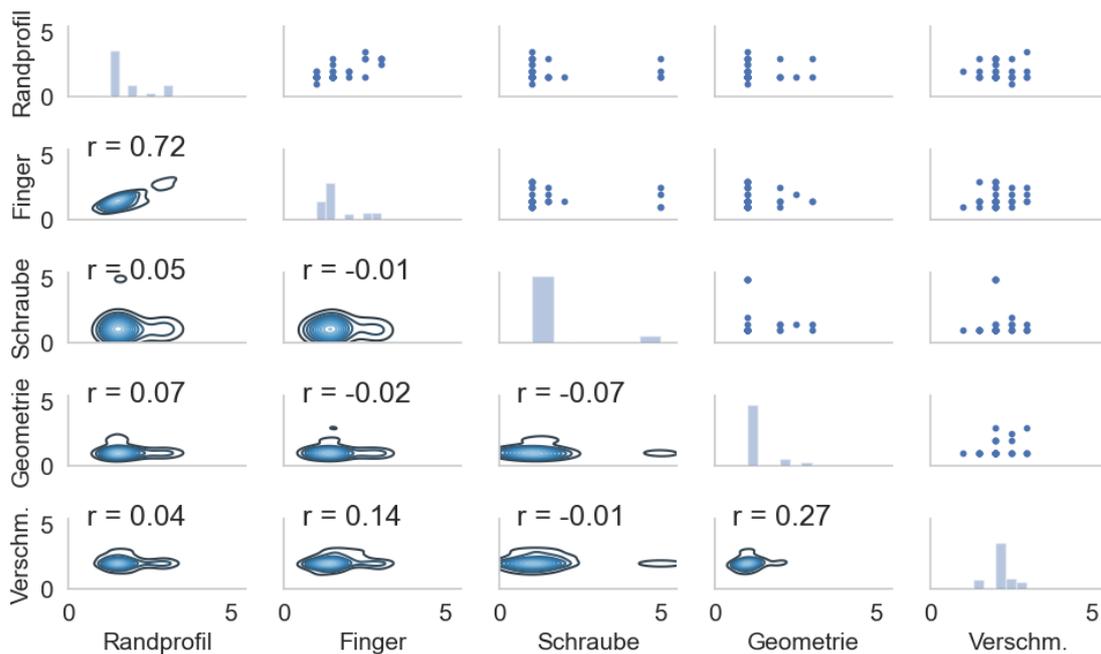


Abbildung 36: Kragfingergugen A13 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Finger - Beschädigung Fingerplatten; Schraube - Beschädigte oder fehlende Schrauben; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

Bei Korrelationen zwischen den betrachteten Schäden der FÜK auf der A21 so zeigt sich auch hier zwischen der Beschädigung der Fingerplatten und der Randprofile keine statistisch relevante Korrelation. Es ist zu beachten, dass für den Verschmutzungsgrad hier keine Korrelationskoeffizienten berechnet werden konnten, da dieser für alle Konstruktionen mit einer einheitlichen Zustandsnote bewertet wurde.

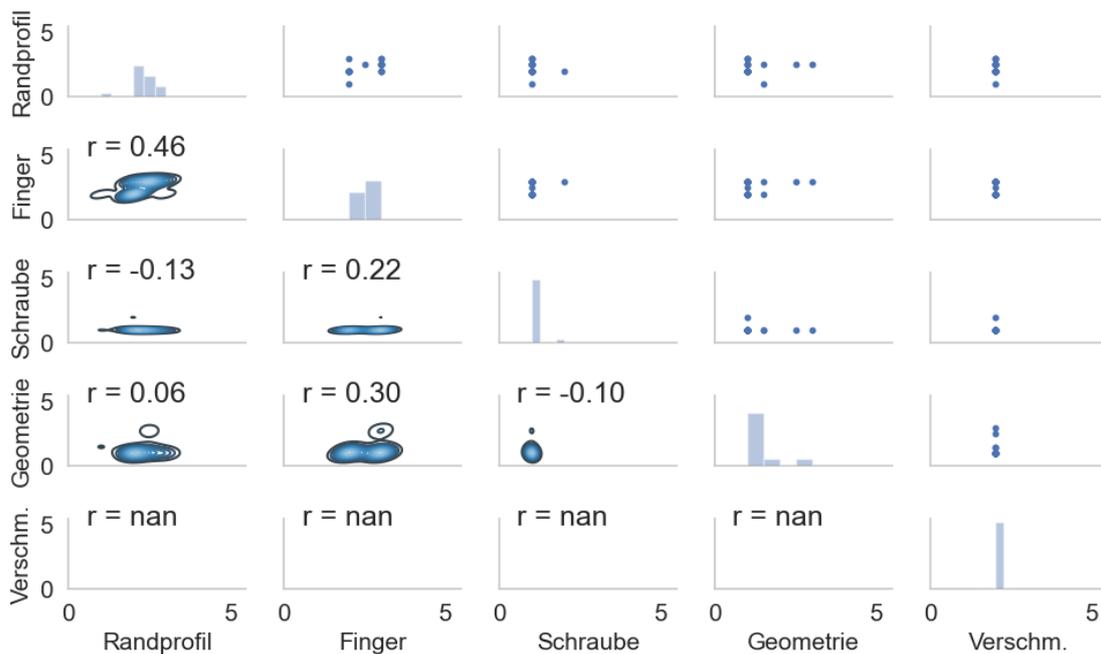


Abbildung 37: Kragfingerfugen A21 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Finger - Beschädigung Fingerplatten; Schraube - Beschädigte oder fehlende Schrauben; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

Auch bei Betrachtung der FÜK auf der A23, siehe Abbildung 38, zeigen sich keine statistisch relevanten Korrelationen zwischen den Schäden. Es ist zu beachten, dass für Schraubenschäden hier keine Korrelationskoeffizienten berechnet werden konnten, da diese für alle Konstruktionen mit einer einheitlichen Zustandsnote bewertet wurden.

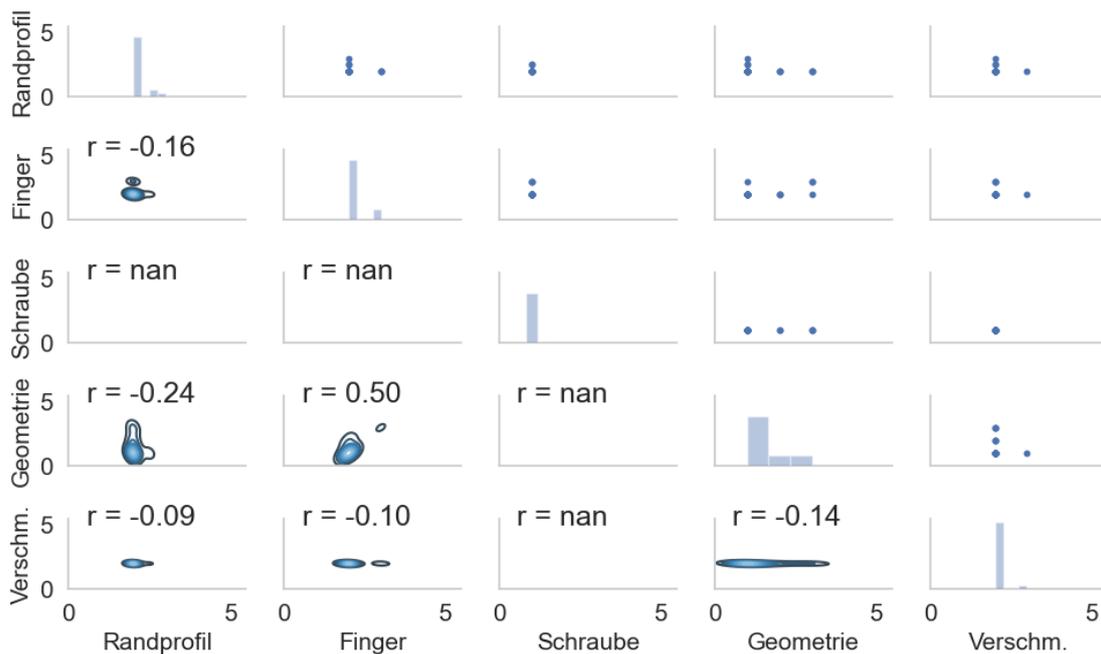


Abbildung 38: Kragfingerfugen A23 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Finger - Beschädigung Fingerplatten; Schraube - Beschädigte oder fehlende Schrauben; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

Bei gemeinsamer Betrachtung der Korrelationen der bewerteten Schäden an Kragfingerfugen aller Straßenzüge, siehe Abbildung 39, kann auch eine Gesamtkorrelation ($r = 0,63$) zwischen Schäden an Fingerplatten und dem Randprofil festgestellt werden. Die restlichen Schäden zeigen keine auffälligen Zusammenhänge.

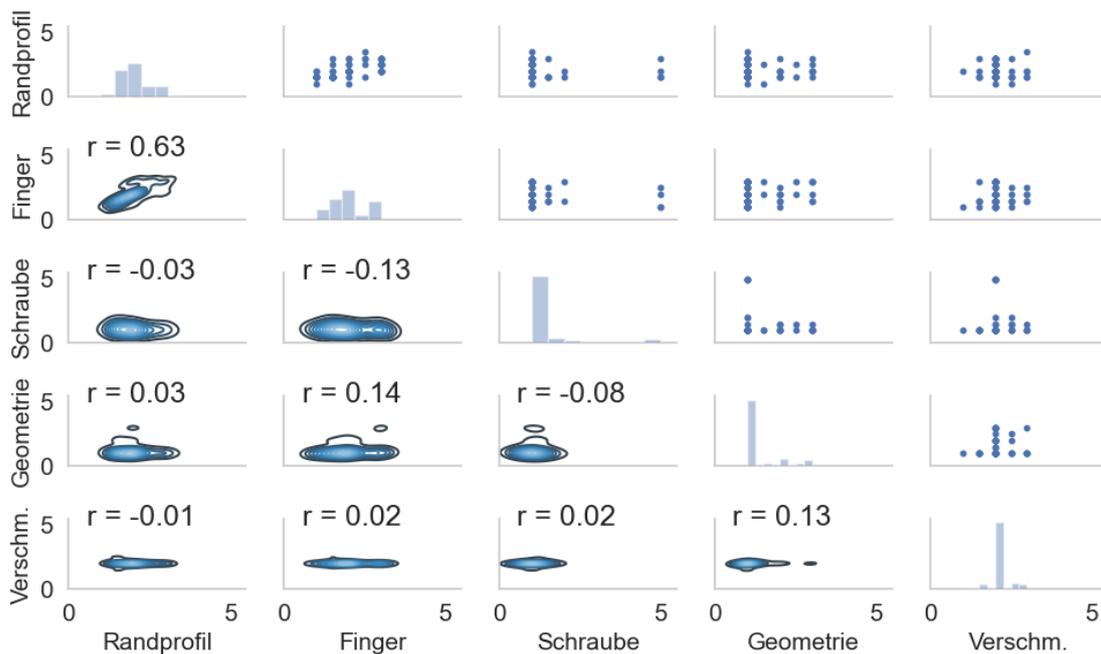


Abbildung 39: Kragfingerfugen Gesamt - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Finger - Beschädigung Fingerplatten; Schraube - Beschädigte oder fehlende Schrauben; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

3.2.5.3 Profilkonstruktion (P)

Von den insgesamt 77 Profilkonstruktionen in der Auswertung befinden sich 59 Konstruktionen auf der A13, acht Konstruktionen auf der A21, sechs Konstruktionen auf der A23 und vier Konstruktionen auf dem Straßenzug Wien Nord.

Aufgrund der einfachen Konstruktion von Profilkonstruktionen reduzieren sich die betrachteten Schäden auf drei unterschiedliche Kategorien:

- Beschädigung Randprofil
- Geometriefehler
- Verschmutzung der Dichtprofile

Die Zustandsbewertung der Randprofile zeigt eine breite Verteilung der Zustandsnoten über alle Profilkonstruktionen, siehe Abbildung 40. Während der Hauptteil der Konstruktionen mit Zustandsnoten zwischen 1 und 2 gut bewertet wurde gibt es eine merkbare Anzahl von Konstruktionen welche eine Zustandsnote ≥ 3 erhalten haben. Eine Konstruktion erhielt hier auch die Zustandsnote 5 aufgrund massiver Verformungen am Randprofil.

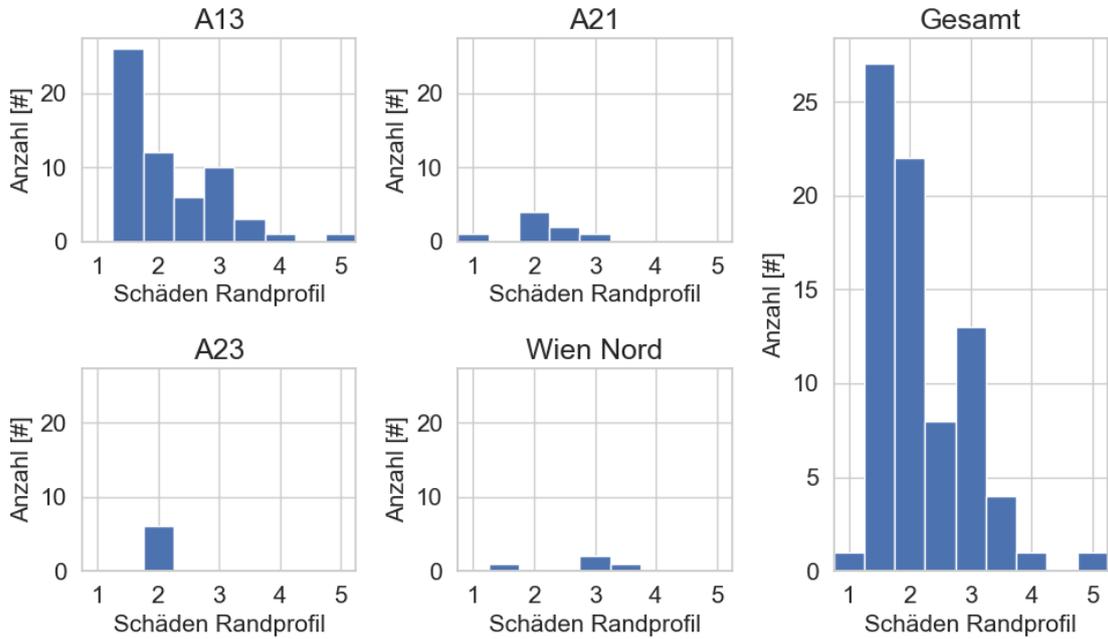


Abbildung 40: Profilkonstruktionen - Bewertete Schäden der Randprofile

Bei Betrachtung der Geometriefehler, siehe Abbildung 41, zeigt sich, dass der Großteil der Konstruktionen hier keine Probleme aufweist. Nur einzelne Konstruktionen wurden hier mit den Zustandsnoten 3 und 4 bewertet.

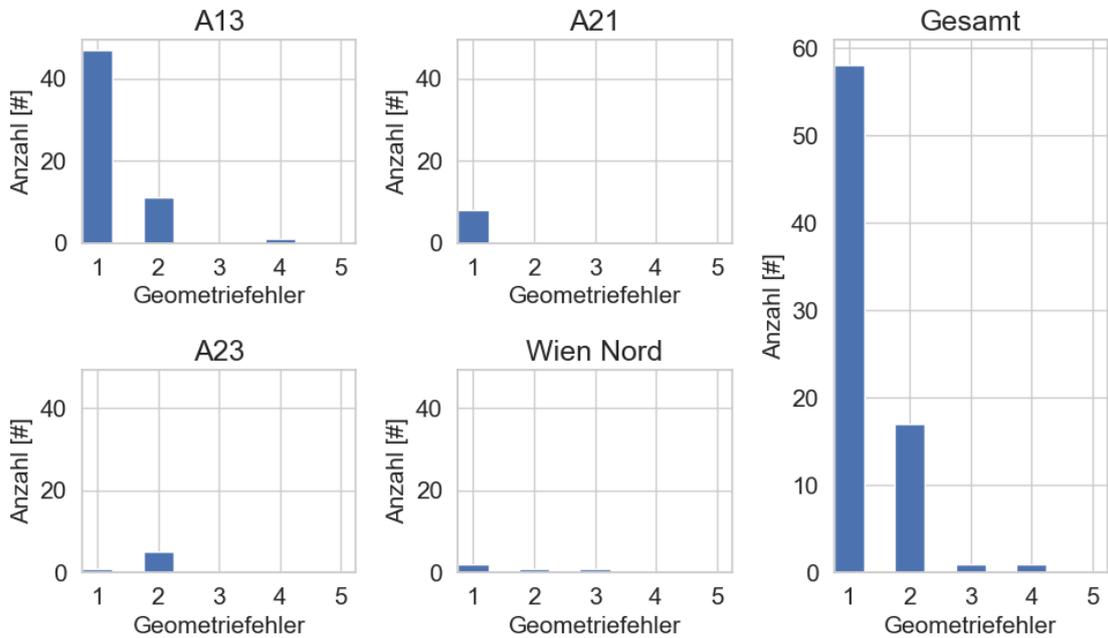


Abbildung 41: Profilkonstruktionen – Geometriefehler

Die Profilkonstruktionen zeigten sich Großteils mäßig verschmutzt und wurden häufig mit der Zustandsnote 2 bewertet. Die Histogramme der Zustandsbewertung hierzu finden sich in Abbildung 42. Einzelne Konstruktionen wurden jedoch auch als stark verschmutzt, mit einer Zustandsnote von 4 bewertet.

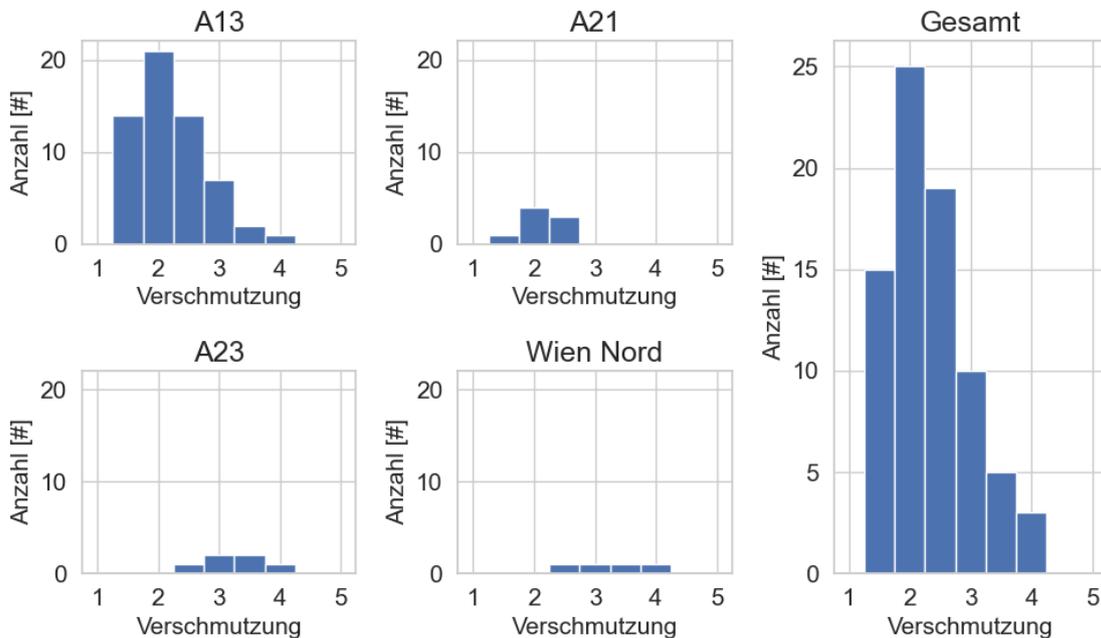


Abbildung 42: Profilkonstruktionen – Verschmutzung

Betrachtet man die Korrelationen zwischen den einzelnen Schäden, für die einzelnen Straßenzüge in den Abbildungen 43 bis 46, sowie für alle bewerteten Profilkonstruktionen Gesamt in Abbildung 47, so zeigen sich keine statistisch auffälligen Korrelationen. Zwischen den Schadenskategorien Verschmutzung der Dichtprofile und Geometriefehler zeigt sich zwar beim Straßenzug A23 (Abbildung 45) mit einem Korrelationsfaktor von $r = -0,70$ und beim Straßenzug Wien Nord (Abbildung 46) mit einem Korrelationsfaktor von $r = 0,67$ eine theoretisch hohe lineare Korrelation, welche aber aufgrund der geringen Stichprobengröße (6 bzw. 4 Konstruktionen) nicht aussagekräftig ist. Dies zeigt sich auch in den unterschiedlichen Vorzeichen der beiden Korrelationsfaktoren.

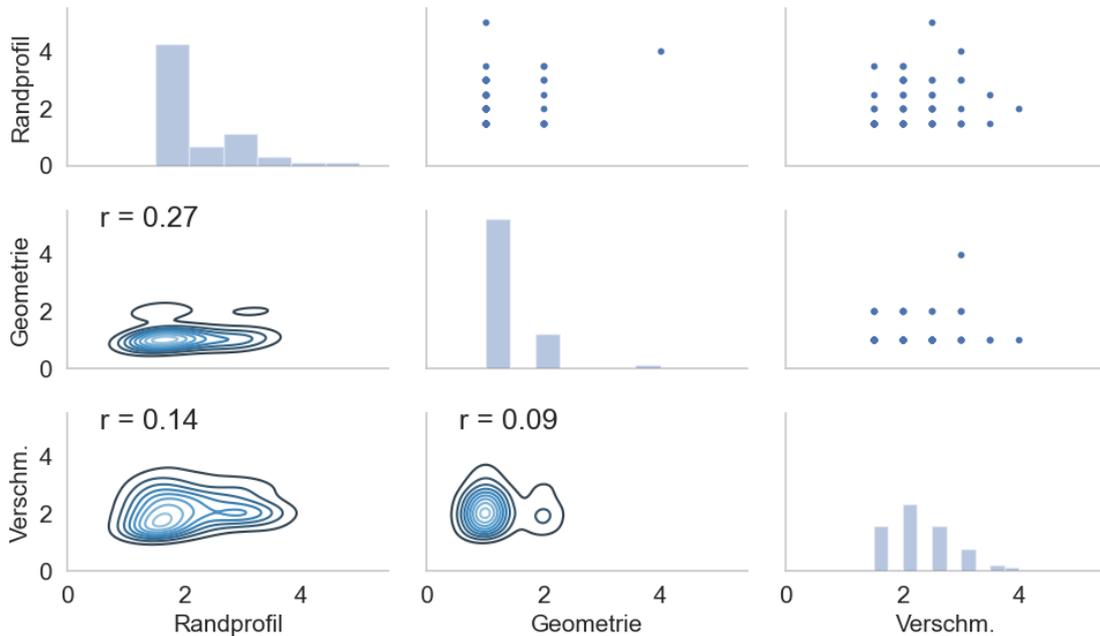


Abbildung 43: Profilkonstruktionen A13 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Geometrie – Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

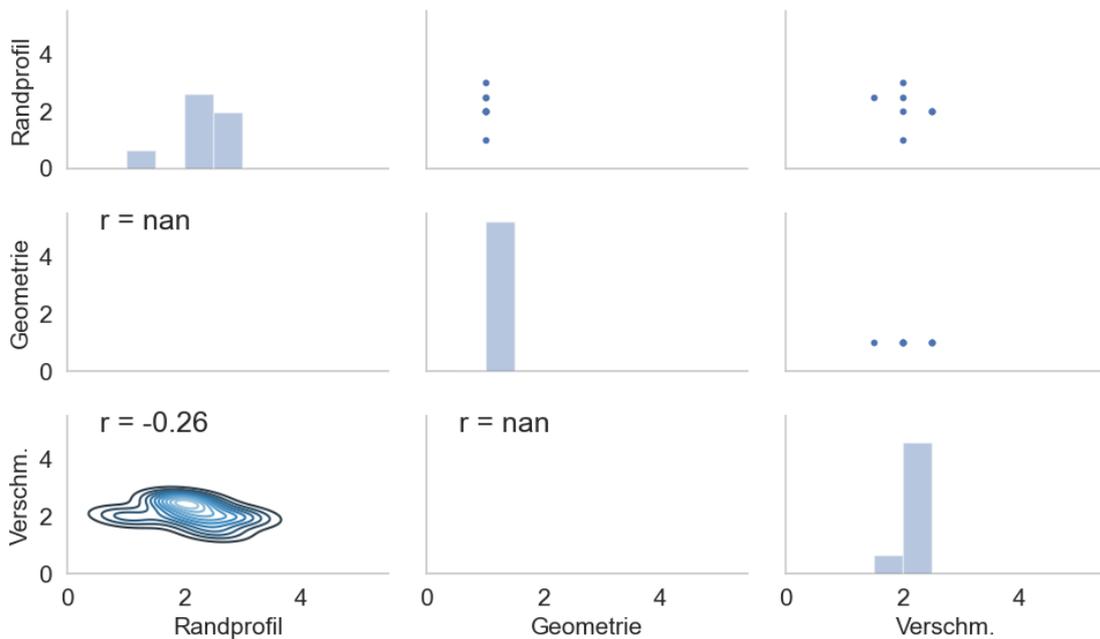


Abbildung 44: Profilkonstruktionen A21 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Geometrie – Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

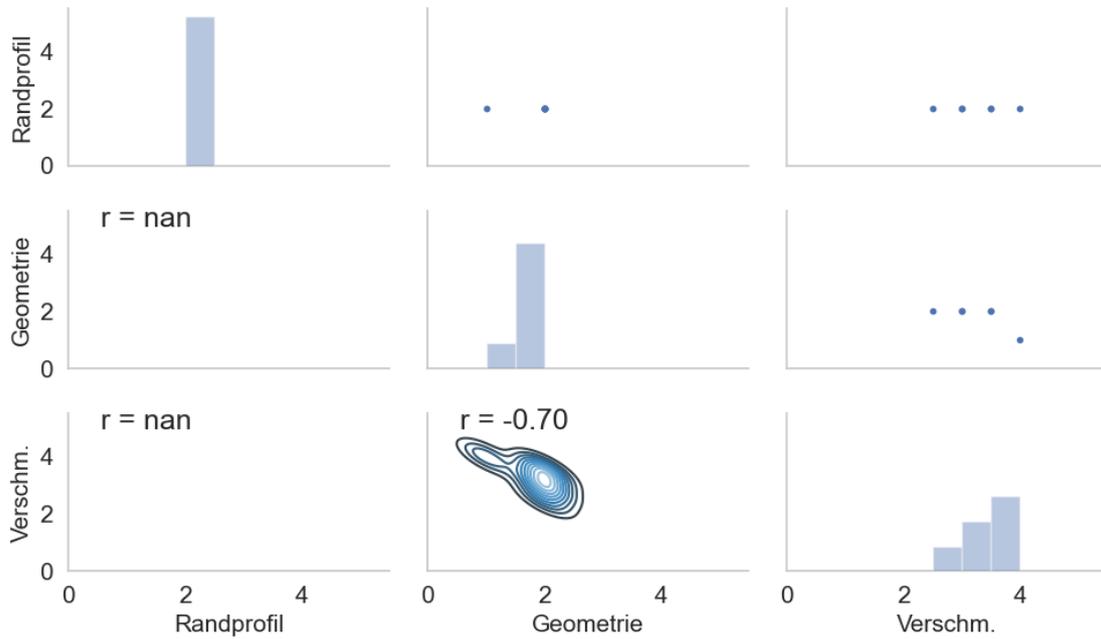


Abbildung 45: Profilkonstruktionen A23 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Geometrie – Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

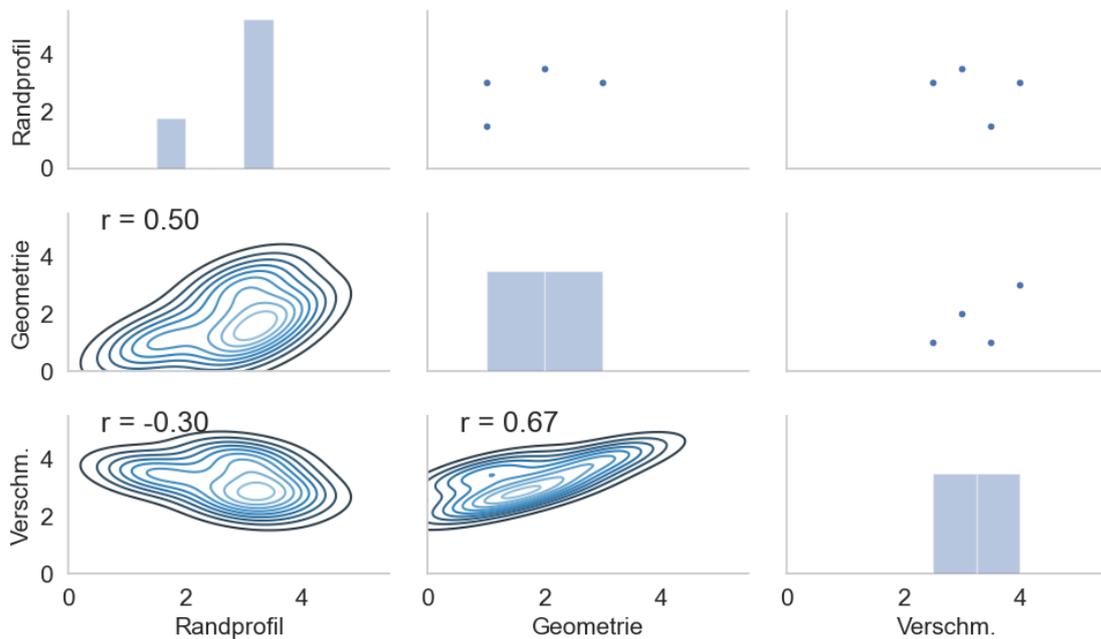


Abbildung 46: Profilkonstruktionen Wien Nord - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Geometrie – Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

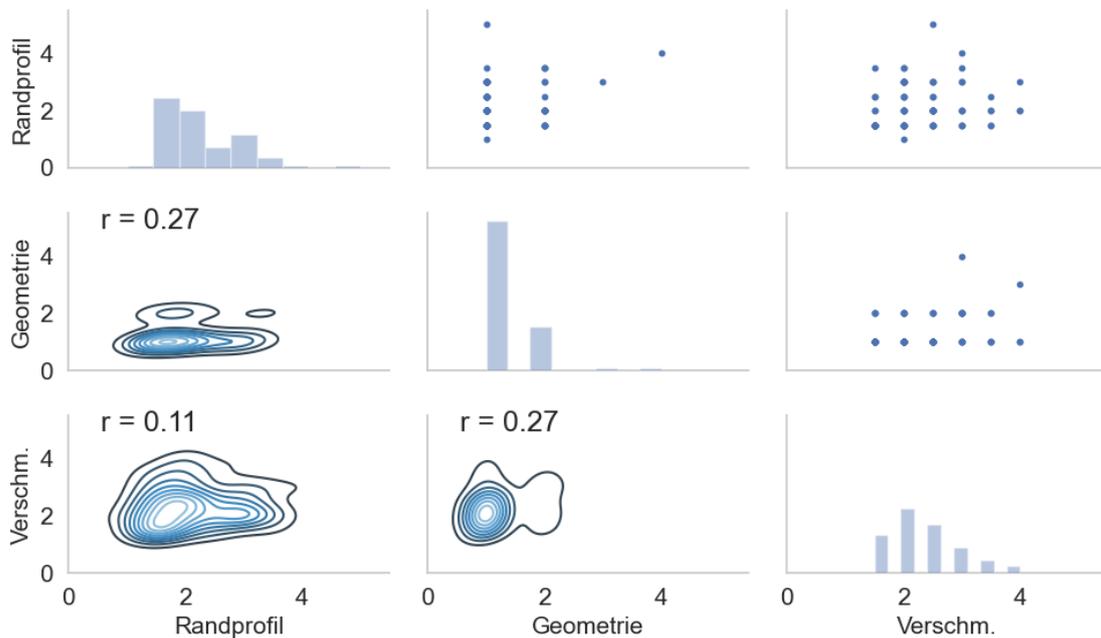


Abbildung 47: Profilkonstruktionen Gesamt - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Geometrie – Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

3.2.5.4 Modulare Dehnfuge (M)

Von den insgesamt 96 Modularen Dehnfugen (M) in der Auswertung befinden sich 29 Konstruktionen auf der A13, acht Konstruktionen auf der A21, 27 Konstruktionen auf der A23 und 32 Konstruktionen auf dem Streckenzug Wien Nord.

Wie aus Tabelle 7 und Abbildung 48 ersichtlich, sind von diesen 96 modularen Dehnfugen insgesamt 28 mit Lärminderungen ausgestattet und 68 modulare Dehnfugen weisen keine Lärminderung auf. Der größte Anteil an lärmgeminderten modularen Dehnfugen befindet sich auf der A13, wo diese mit 20 von 29 Konstruktionen die Mehrheit darstellen.

Tabelle 7: Modulare Dehnfugen - Konstruktionen mit und ohne Lärminderung (LM)

	A13	A21	A23	Wien Nord	Gesamt
Ohne LM	9	4	23	32	68
Mit LM	20	4	4	0	28

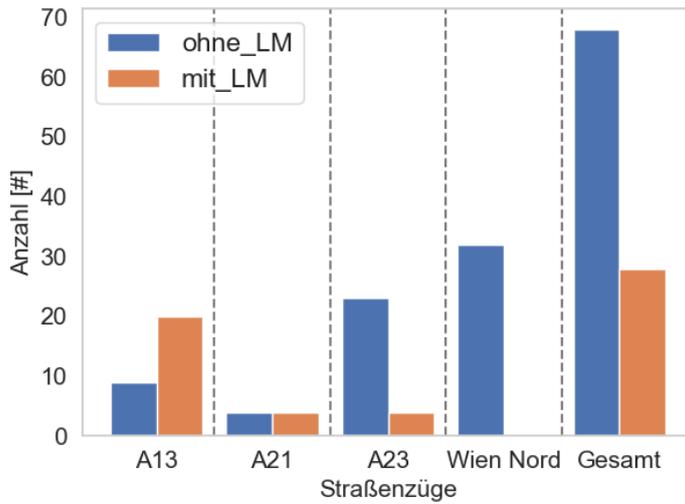


Abbildung 48: Modulare Dehnfugen - Konstruktionen mit und ohne Lärminderung aufgeteilt auf die einzelnen Straßenzüge

In der folgenden Abbildung 49 ist dargestellt, wie sich die lärmgeminderten Konstruktionen auf die jeweilige Anzahl der Dichtprofile der modularen Dehnfugen verteilen. Es zeigt sich, dass - vor allem auf der A13 - mit großer Mehrheit Konstruktionen mit zwei Dichtprofilen lärmgemindert ausgeführt wurden während bei Konstruktionen mit mehreren Dichtprofilen die Konstruktionen ohne Lärminderung überwiegen. Konstruktionen mit mehr als vier Dichtprofilen sind ausschließlich ohne Lärminderung ausgeführt.

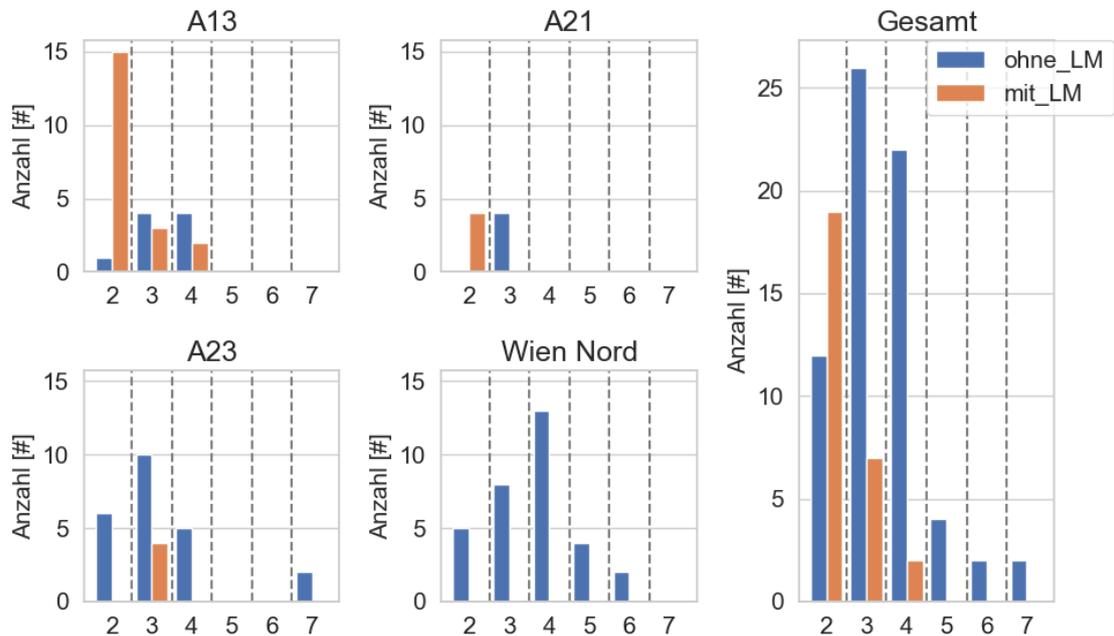


Abbildung 49: Modularer Dehnfugen - Konstruktionen mit und ohne Lärminderung aufgeschlüsselt nach der Anzahl der Dichtprofile

Die folgenden Schäden werden in der Auswertung betrachtet:

- Beschädigung Randprofil
- Beschädigung Lamellen
- Geometriefehler
- Verschmutzung der Dichtprofile

Betrachtet man die bewerteten Schäden der Randprofile in Abbildung 50 so zeigt sich, dass der Großteil der Konstruktionen mit Zustandsnoten zwischen 1,5 und 3 bewertet wurden. Es gibt nur vereinzelte Ausreißer mit sehr schlechten Bewertungen (Zustandsnote 4) bei den Straßenzügen A21 und Wien Nord.

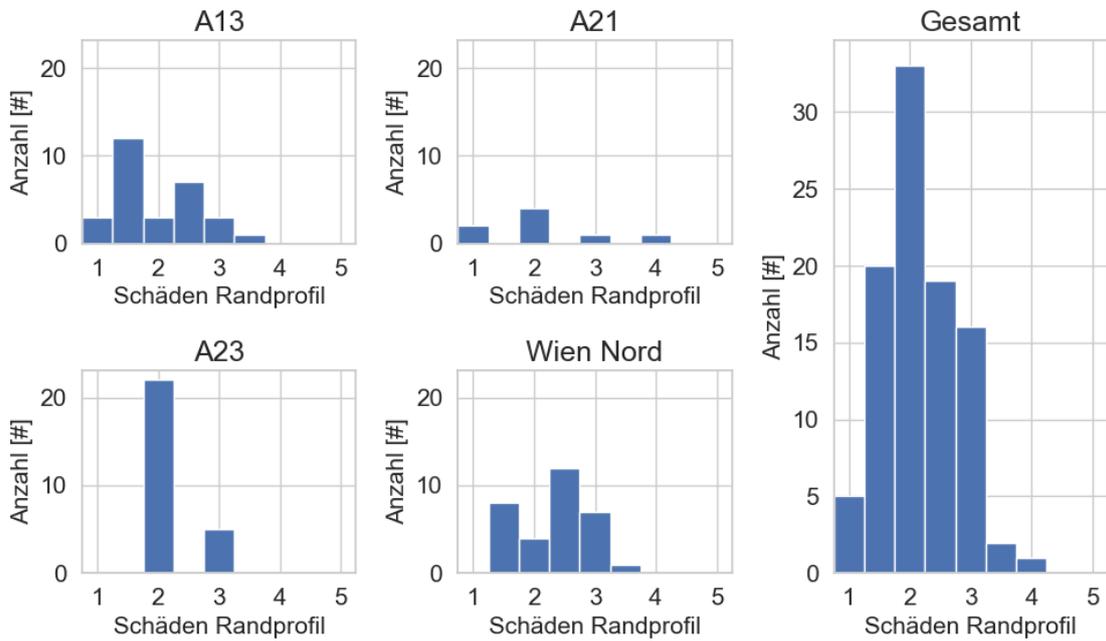


Abbildung 50: Modulare Dehnfugen - Bewertete Schäden der Randprofile

Bei der Bewertung der Schäden der Lamellen von modularen Dehnfugen, welche in Abbildung 51 dargestellt sind, zeigt sich eine Bewertung mit Zustandsnoten zwischen 1 und 3, wobei die Zustandsnote 2 deutlich am Häufigsten vorkommt. Im Vergleich zu den Schäden am Randprofil sind Lamellen tendenziell in etwas besserem Zustand.

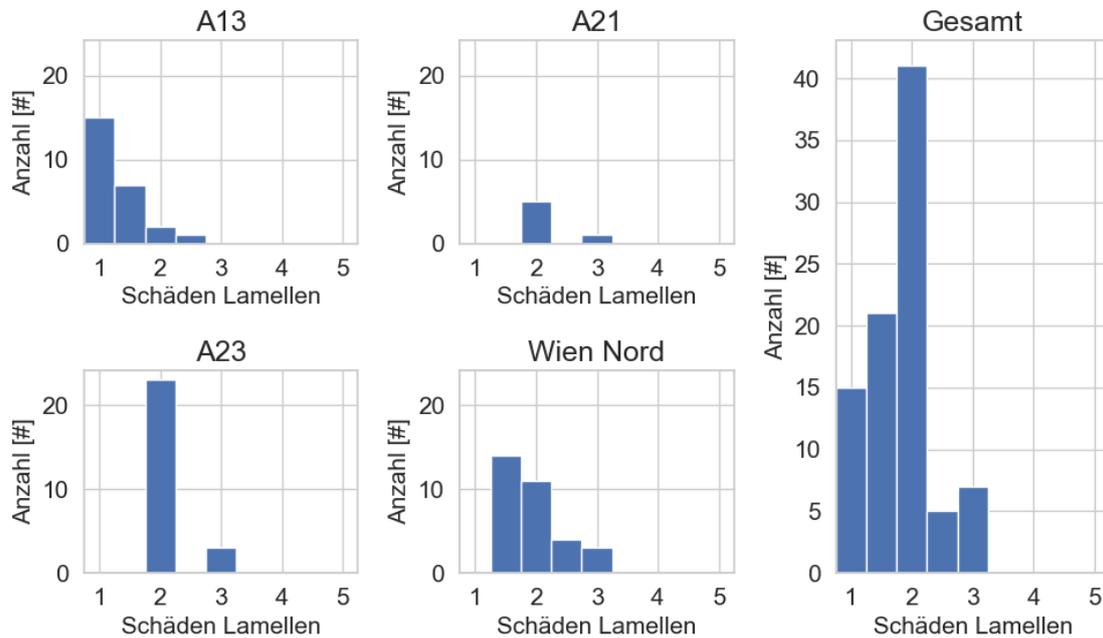


Abbildung 51: Modulare Dehnfugen - Bewertete Schäden der Lamellen

Betrachtet man die Bewertung der Geometrie der modularen Dehnfugen in Abbildung 52, so zeigten sich einige Konstruktionen mit etwas ungleichmäßigem Abstand zwischen den Lamellen und Randprofilen, welche mit Zustandsnoten von 3 und 3,5 bewertet wurden, es finden sich jedoch keine stark ungleichmäßigen Konstruktionen in den bewerteten Straßenzügen.

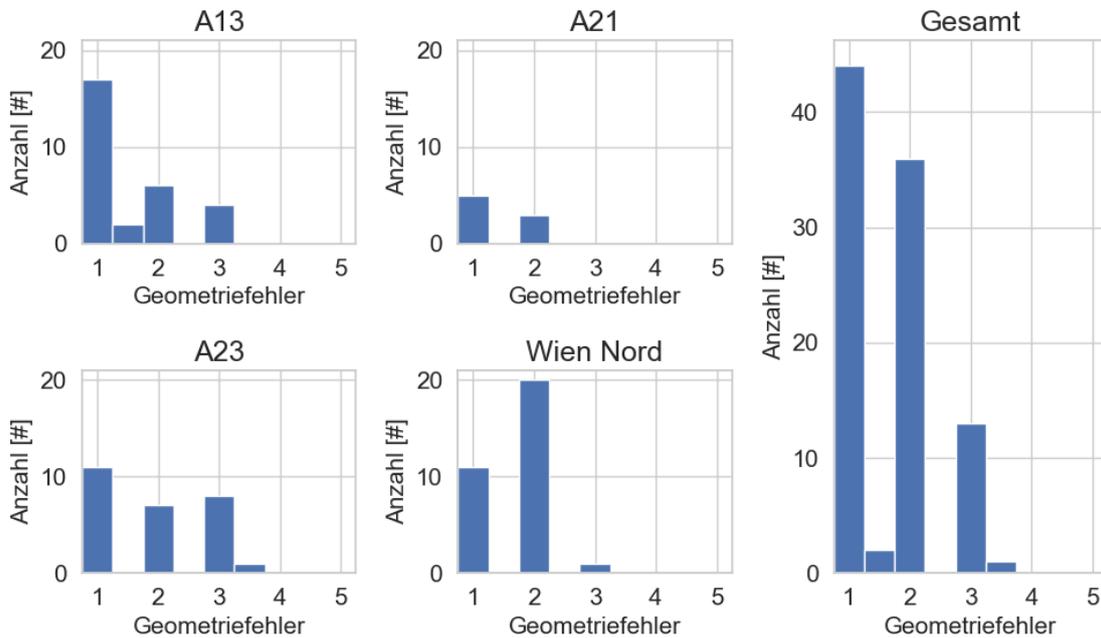


Abbildung 52: Modulare Dehnfugen – Geometriefehler

Bei Betrachtung der Verschmutzung der Konstruktionen in Abbildung 53, zeigt sich eine breite Streuung der Zustandsnoten bis zu stark verschmutzten Konstruktionen mit Zustandsnoten von 4 und 4,5.

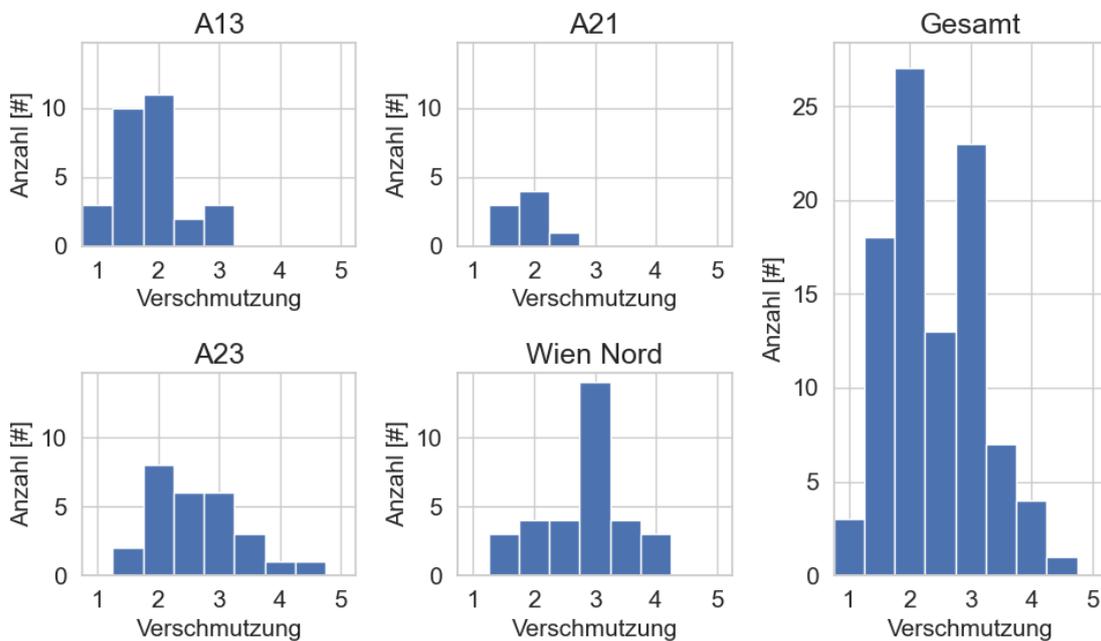


Abbildung 53: Modulare Dehnfugen – Verschmutzung

Betrachtet man die Korrelation der Schäden untereinander, für die einzelnen Straßenzüge in den Abbildungen 54 bis 57 und für alle bewerteten modularen Dehnfugen Gesamt in Abbildung 58, so zeigt sich eine gewisse Korrelation zwischen Schäden am Randprofil und an den Lamellen mit Korrelationsfaktoren zwischen $r = 0,44$ und $r = 0,88$ für die einzelnen Straßenzüge und $r = 0,56$ für alle betrachteten Konstruktionen gesamt. Die starke Korrelation von $r = 0,88$ stammt vom Straßenzug A21 und ist aufgrund der geringen Stichprobengröße nur bedingt aussagekräftig. Die restlichen Schäden zeigen untereinander keine besonders aussagekräftigen Zusammenhänge in dieser Betrachtung.

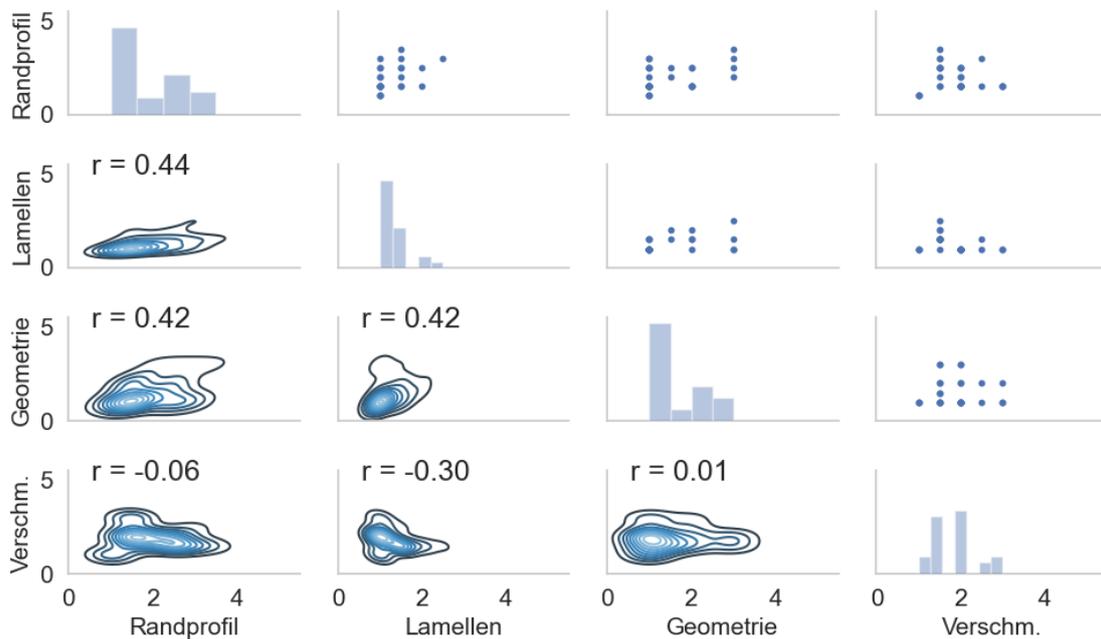


Abbildung 54: Modulare Dehnfugen A13 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Lamellen - Beschädigung Lamellen; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

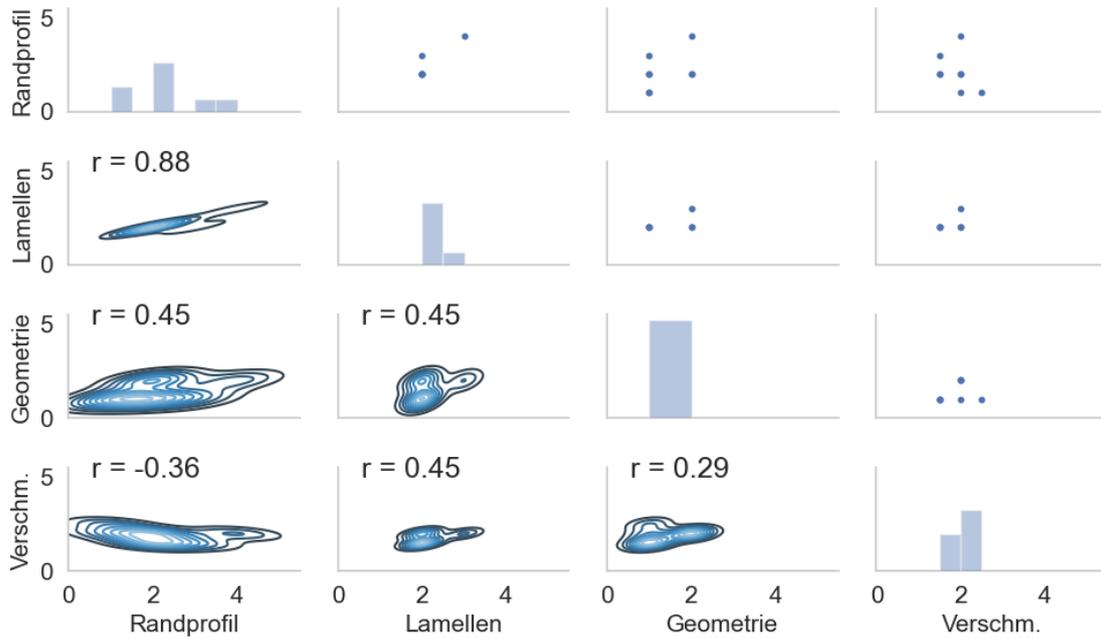


Abbildung 55: Modulare Dehnfugen A21 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Lamellen - Beschädigung Lamellen; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

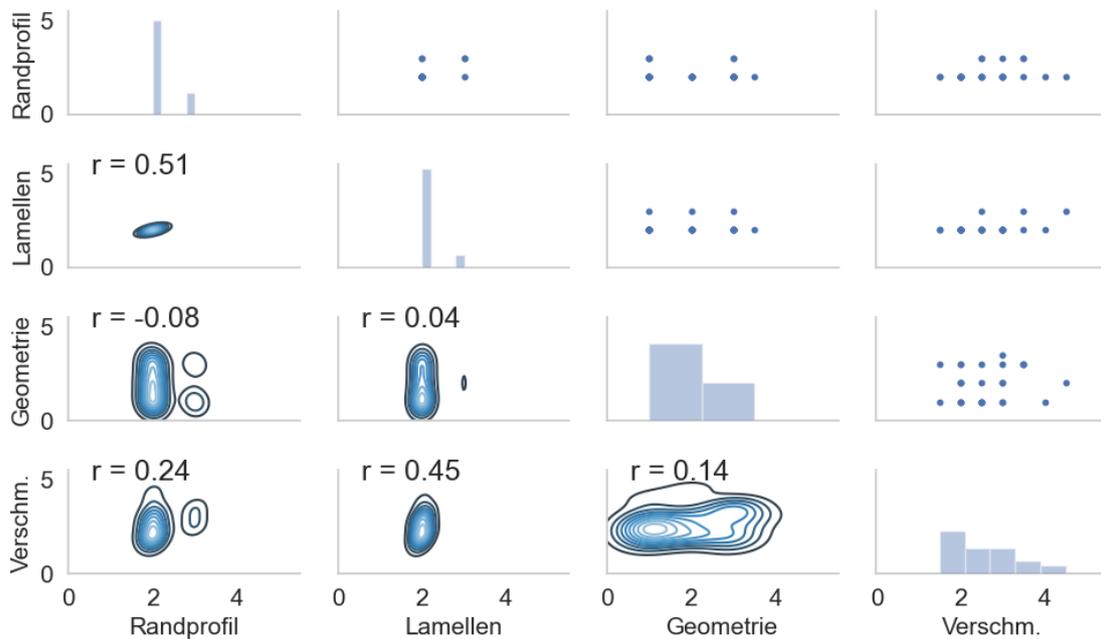


Abbildung 56: Modulare Dehnfugen A23 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Lamellen - Beschädigung Lamellen; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

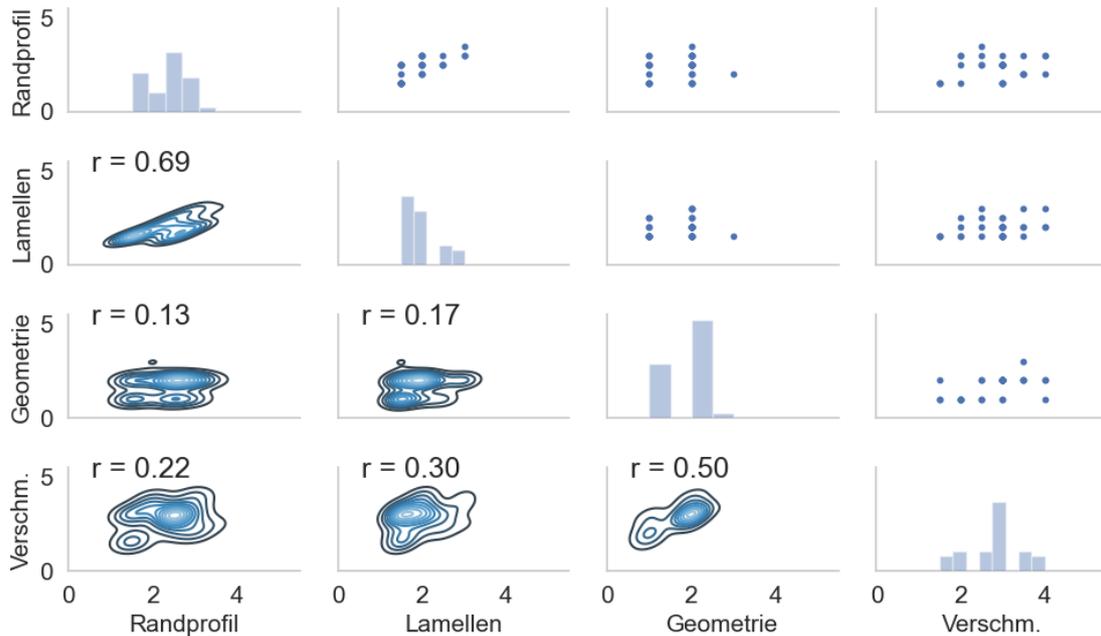


Abbildung 57: Modulare Dehnfugen Wien Nord - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Lamellen - Beschädigung Lamellen; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

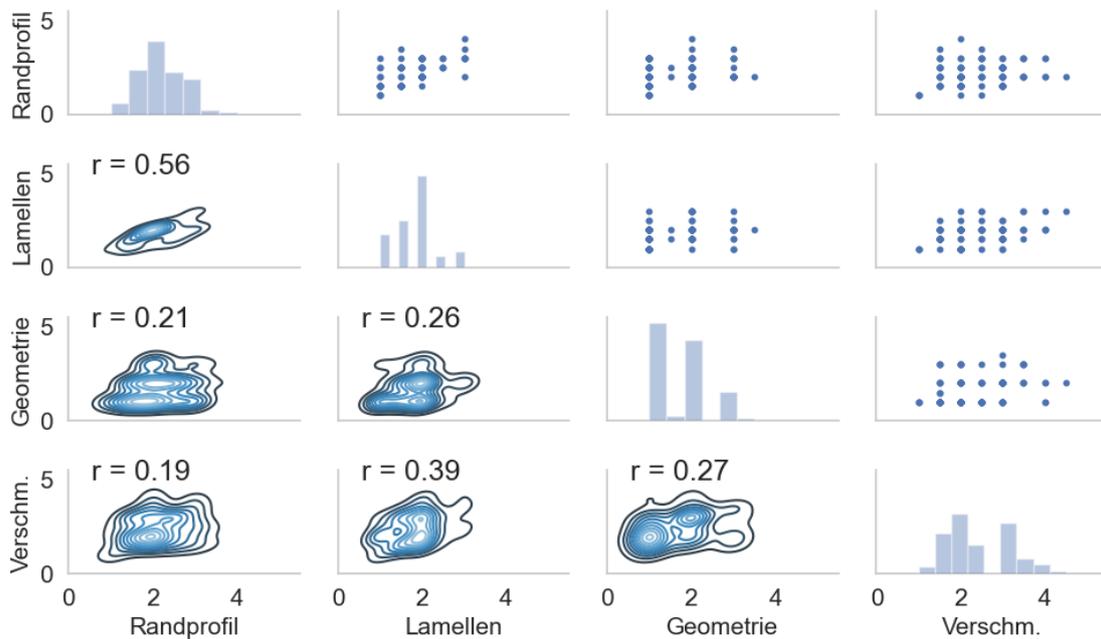


Abbildung 58: Modulare Dehnfugen Gesamt - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Randprofil - Beschädigung Randprofil; Lamellen - Beschädigung Lamellen; Geometrie - Geometriefehler; Verschm. - Verschmutzung der Dichtprofile

3.2.5.5 Belagsdehnfuge (BDF)

Von den insgesamt 18 Belagsdehnfugen in der Auswertung befinden sich sechs auf der A13 und zwölf auf der A21.

Die folgenden Schäden werden in der Auswertung betrachtet:

- Schäden im Material der Belagsdehnfuge
- Schäden an der Grenzfläche der Belagsdehnfuge

Sowohl die Auswertung der Schäden im Material, siehe Abbildung 59, als auch die Auswertung der Schäden in der Grenzfläche, siehe Abbildung 60, zeigen, dass diese Konstruktionen tendenziell mit Zustandsnoten zwischen 2 und 3 bewertet wurden. Eine einzelne Belagsdehnfuge auf der A21 wurde auch mit Zustandsnote 4 bewertet.

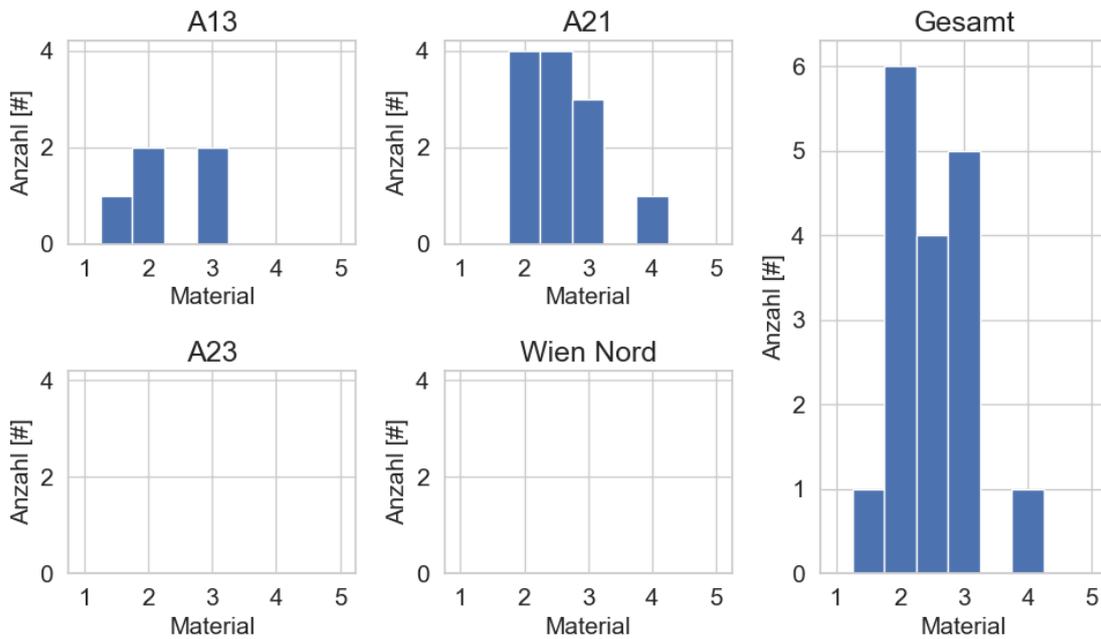


Abbildung 59: Belagsdehnfuge - Bewertete Schäden im Material

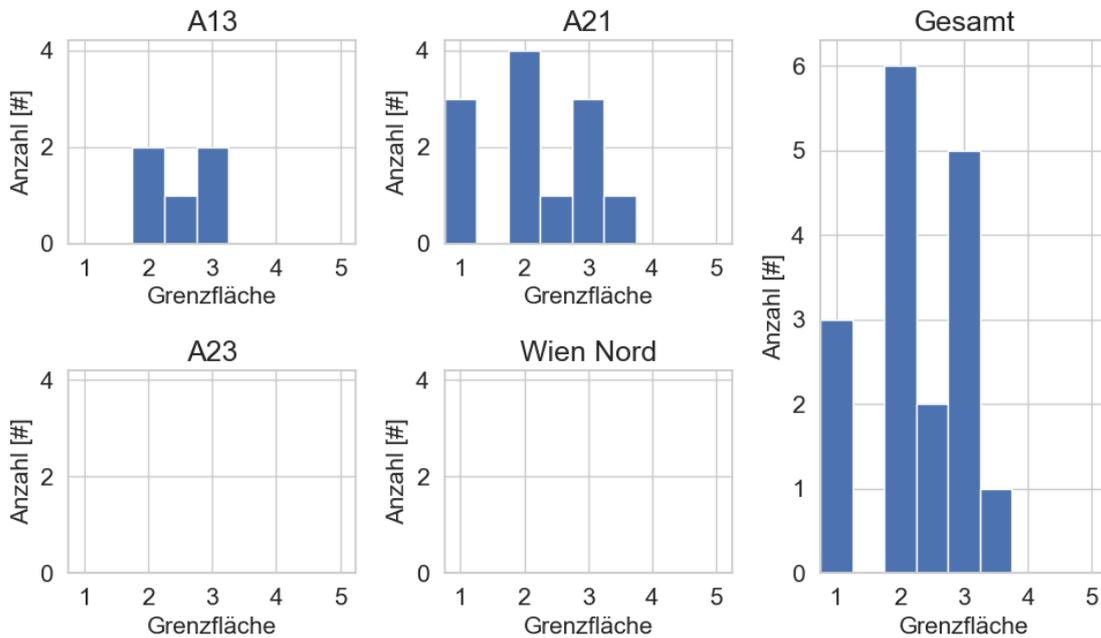


Abbildung 60: Belagsdehnfuge - Bewertete Schäden an der Grenzfläche

Für die Betrachtung der Korrelationen zwischen den Schäden wurde auch noch die Schiefe der einzelnen Konstruktionen mit berücksichtigt. In den Abbildungen 61 bis 63 beziehen sich die Werte der Schiefe auf die jeweilige Gruppennummer, siehe Abschnitt 3.2.3.

Betrachtet man die einzelnen Korrelationen so zeigt sich statistisch nur eine geringe Abhängigkeit von Schäden an den Grenzflächen mit der Schiefe. Dies ist jedoch mit Vorsicht zu genießen, da eine Abhängigkeit hier eigentlich spiegelsymmetrisch um die Schiefe der Gruppe 0 (Konstruktion rechtwinkelig zur Fahrtrichtung) zu erwarten wäre.

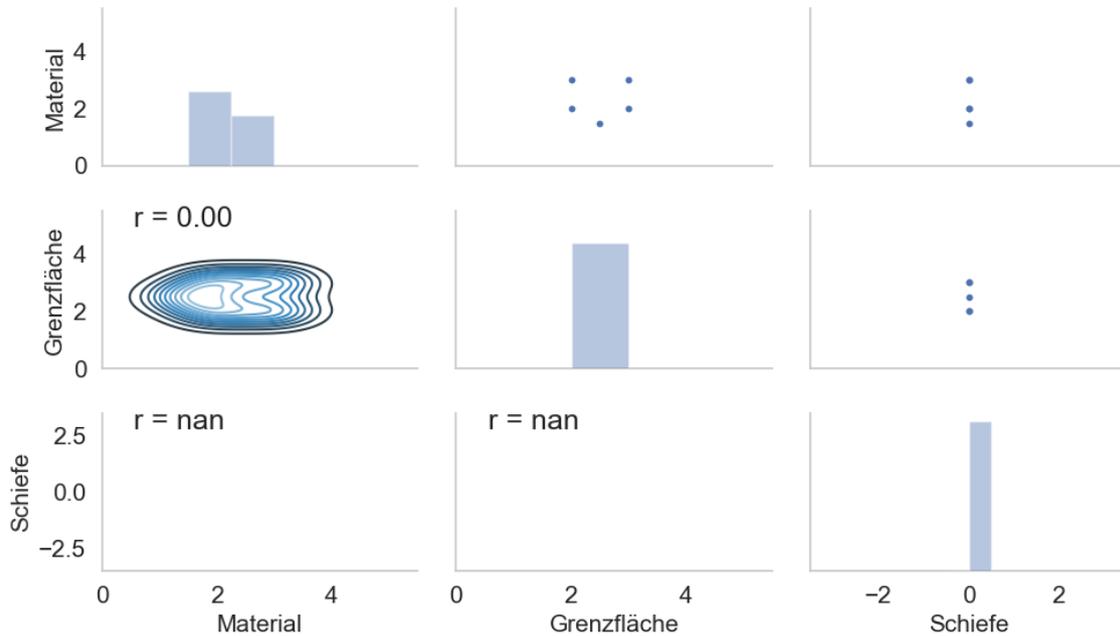


Abbildung 61: Belagsdehnfugen A13 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Material – Schäden am Material der Belagsdehnfugen; Grenzfläche – Schäden in der Grenzfläche der Belagsdehnfugen; Schiefe – Gruppennummer der Schiefe der Konstruktion

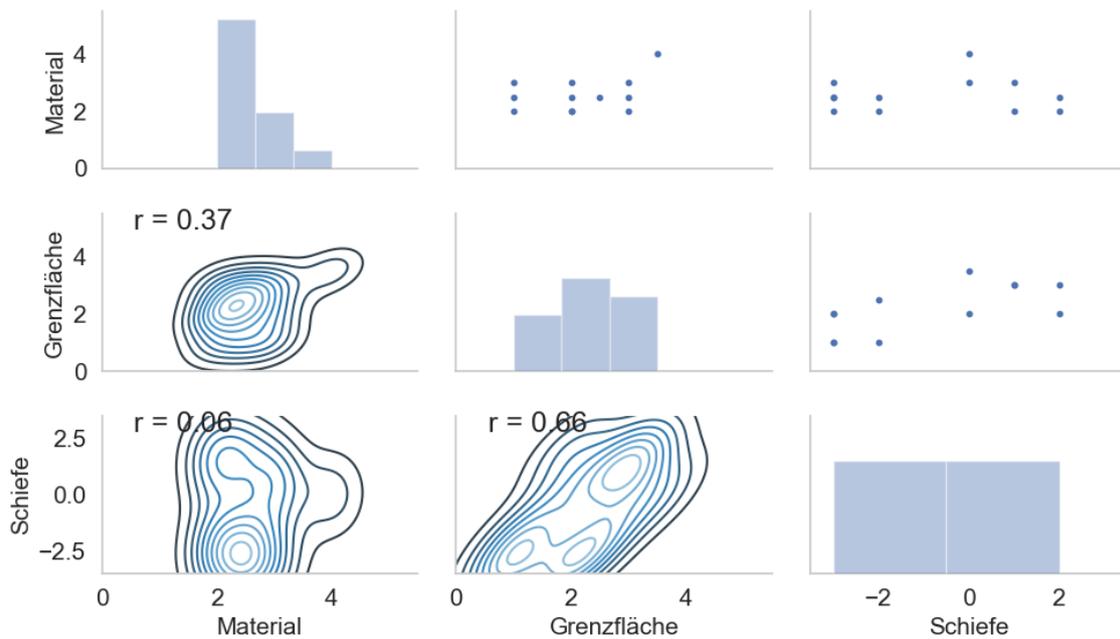


Abbildung 62: Belagsdehnfugen A21 - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Material – Schäden am Material der Belagsdehnfugen; Grenzfläche – Schäden in der Grenzfläche der Belagsdehnfugen; Schiefe – Gruppennummer der Schiefe der Konstruktion

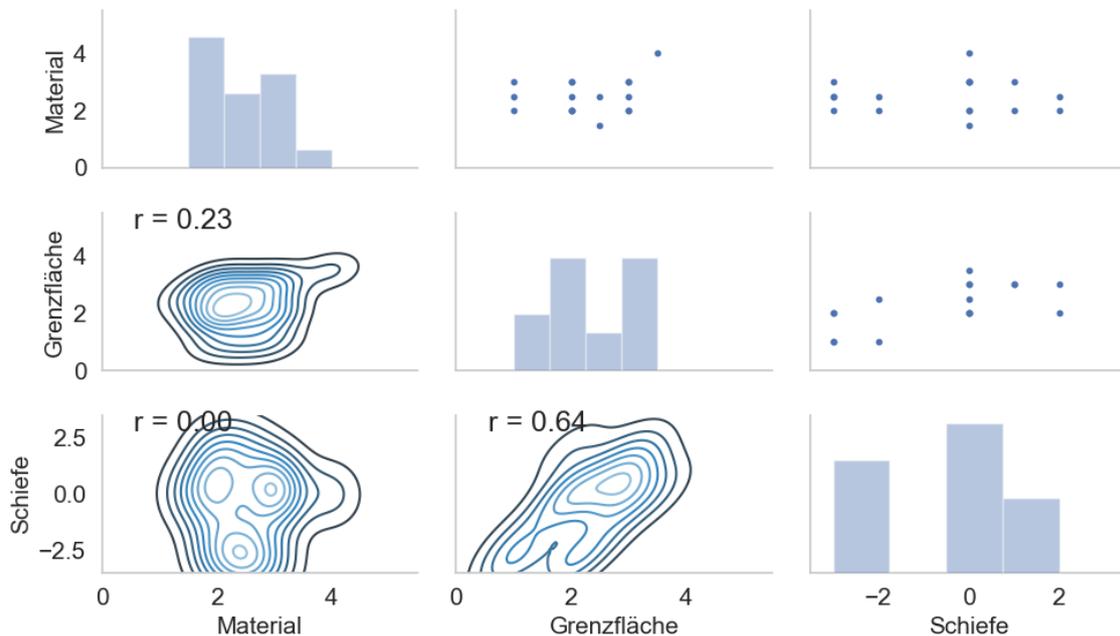


Abbildung 63: Belagsdehnfugen Gesamt - Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden. Material – Schäden am Material der Belagsdehnfugen; Grenzfläche – Schäden in der Grenzfläche der Belagsdehnfugen; Schiefe – Gruppennummer der Schiefe der Konstruktion

3.2.6 Schäden an Fahrbahnanschlüssen

Die Fahrbahnanschlüsse vor und nach den FÜK wurden zum überwiegenden Teil mit Asphalt ausgeführt, bei einem kleineren Teil der Konstruktionen finden sich auch betonierte Balken direkt vor bzw. nach den Konstruktionen. Bei einer Konstruktion wurde auch vor und danach großflächig Beton ausgeführt, vermutlich als Reparaturmaßnahme. Es wird hier jedoch darauf hingewiesen, dass die genaue Materialzusammensetzung aus den Oberflächen oftmals nicht genau bestimmt werden kann, es bleibt eine gewisse Unschärfe in der Materialbestimmung über. In Tabelle 8 befinden sich die einzelnen Ausführungen der Belagsanschlüsse aufgeteilt auf die jeweiligen Straßenzüge und in Abbildung 64 eine grafische Darstellung davon.

Tabelle 8: Material des Belagsanschlusses vor und nach der FÜK

		A13	A21	A23	Wien Nord	Gesamt
Vor	Asphalt	146	27	65	22	260
	Balken	1	19	0	14	34
	Beton	0	1	0	0	1
Nach	Asphalt	145	27	64	19	255
	Balken	2	19	1	17	39
	Beton	0	1	0	0	1

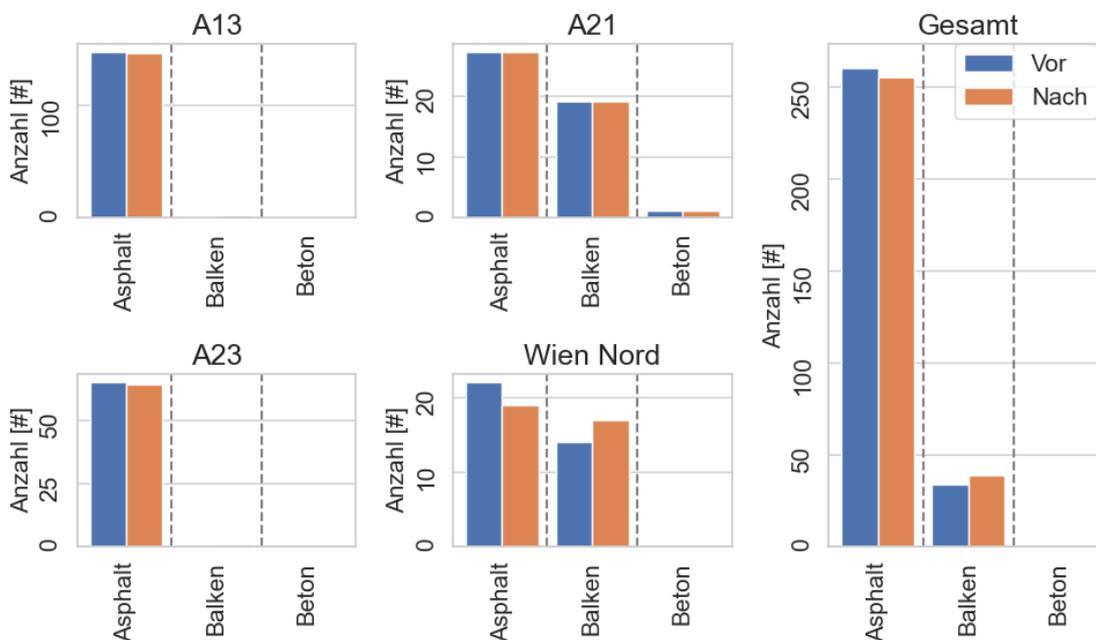


Abbildung 64: Material des Belagsanschlusses vor und nach der FÜK

Bei dem Großteil der Belagsanschlüsse wurde die Fuge zu den FÜK nicht vergossen. In Fahrtrichtung gesehen sind 247 von 295 Anschlüssen ohne Vergussfuge ausgeführt und nach den FÜK sind 272 von 295 Anschlüsse ohne Vergussfuge. In Tabelle 9 und Abbildung 65 ist das Vorkommen von Vergussfugen auf die einzelnen Straßenzüge aufgeteilt dargestellt. Es zeigt sich, dass nur im Straßenzug Wien Nord die Anzahl der vergossenen Fugen überwiegt.

Tabelle 9: Vorhandensein von Vergussfugen vor und nach der FÜK

		A13	A21	A23	Wien Nord	Gesamt
Vor	Ja	0	10	17	21	48
	Nein	147	37	48	15	247
Nach	Ja	1	0	0	22	23
	Nein	146	47	65	14	272

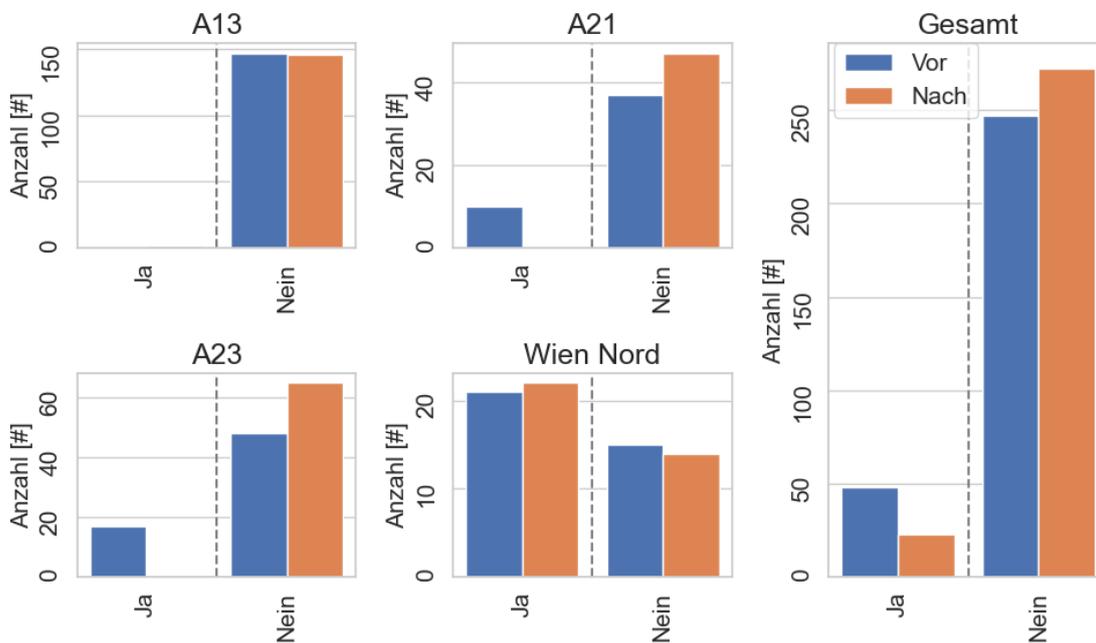


Abbildung 65: Vorhandensein von Vergussfugen vor und nach der FÜK

Die folgenden Schäden werden in der Auswertung der Fahrbahnanschlüsse berücksichtigt und wurden getrennt für vor und nach den FÜK bewertet:

- Risse im Grundbelag
- Ausbruch im Grundbelag
- Belag in FÜK vertragen
- Risse im Balken (falls vorhanden)
- Ausbruch im Balken (falls vorhanden)

Die einzelne Konstruktion mit Betonanschluss vor und nach der FÜK befindet sich auf der A21 Richtungsfahrbahn R1 bei KM 19,423. Diese wird aus den gemeinsamen Auswertungen herausgenommen, da bei einer einzelnen Konstruktion auch keine statistische Auswertung vorgenommen werden kann. Das Zeilenbild der RoadSTAR Befahrung dieser FÜK ist in

Abbildung 66 dargestellt. Die bewerteten Zustandsnoten der Fahrbahnanschlüsse vor und nach dieser FÜK finden sich in Tabelle 10. Der Betonanschluss zeigt hier auch schon starke Risse parallel zur FÜK wodurch sich die hohe Zustandsnote von 3,5 erklärt.

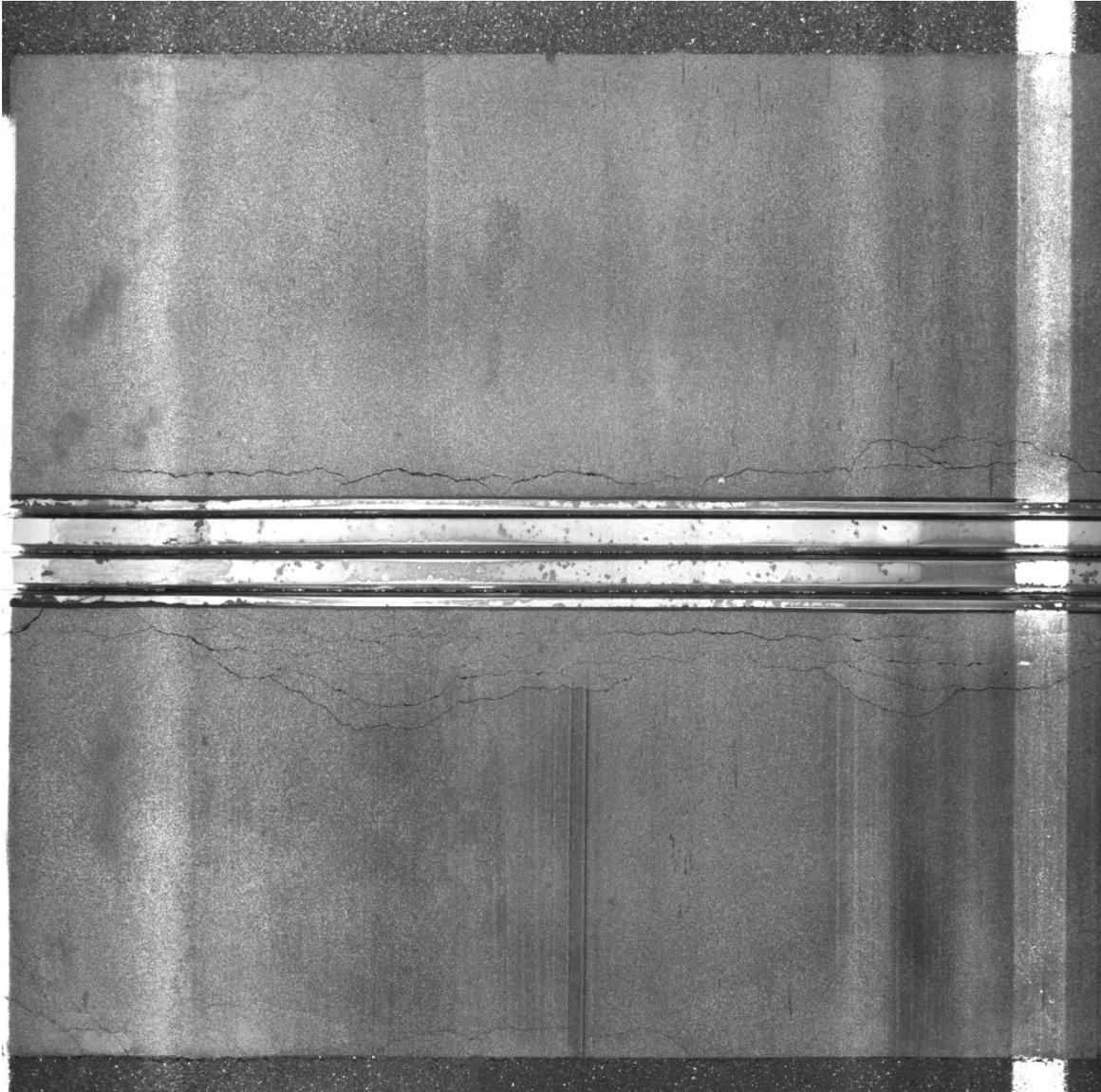


Abbildung 66: Zeilenbild von RoadSTAR Befahrung vom Fahrbahnanschluss FÜK A21, Richtungsfahrbahn R1 bei KM 19,423 mit Betonanschluss

Tabelle 10: Bewertung Fahrbahnanschluss von FÜK A21, Richtungsfahrbahn R1 bei KM 19,423 mit Betonanschluss

Zustandsnote	Vor	Nach
	FÜK	FÜK
Risse Grundbelag	3,5	3,5
Ausbruch Grundbelag	2	2
Belag in FÜK vertragen	1	1

Betrachtet man die bewerteten Schäden durch Risse im Grundbelag vor (Abbildung 67) und nach (Abbildung 68) den FÜK so zeigt sich, dass beim Großteil der Konstruktionen mit Zustandsbewertungen unter 3 ein relativ guter Zustand festgestellt werden konnte. Es gibt jedoch auch vereinzelte Konstruktionen, bei denen der Grundbelag deutliche Risse aufweist, welche mit Zustandsbewertungen bis 4 bewertet wurden.

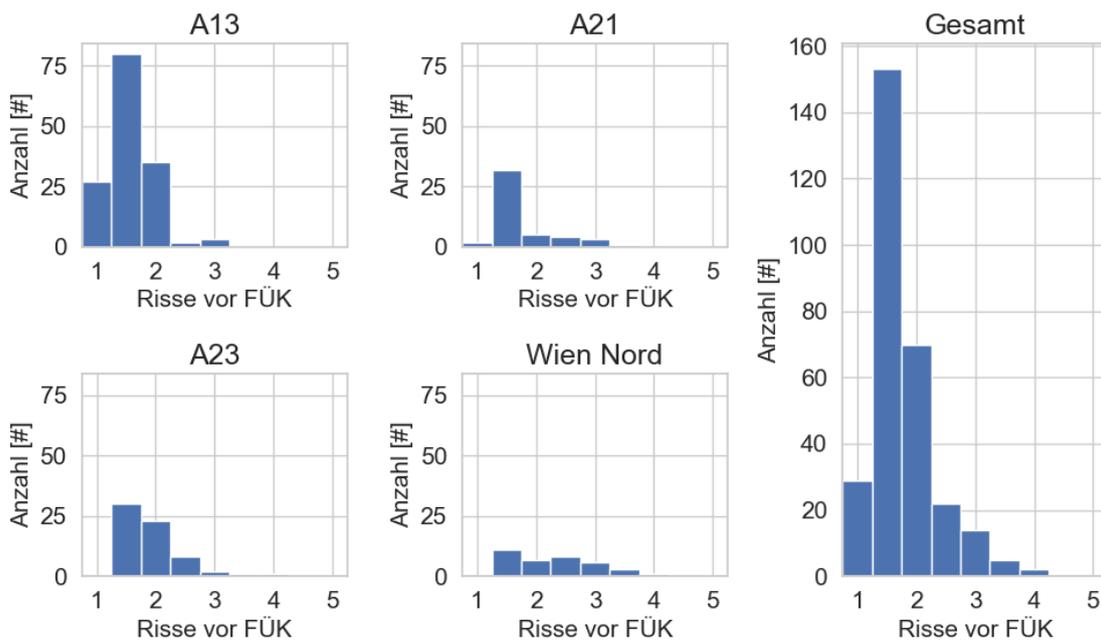


Abbildung 67: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Risse im Grundbelag vor der FÜK

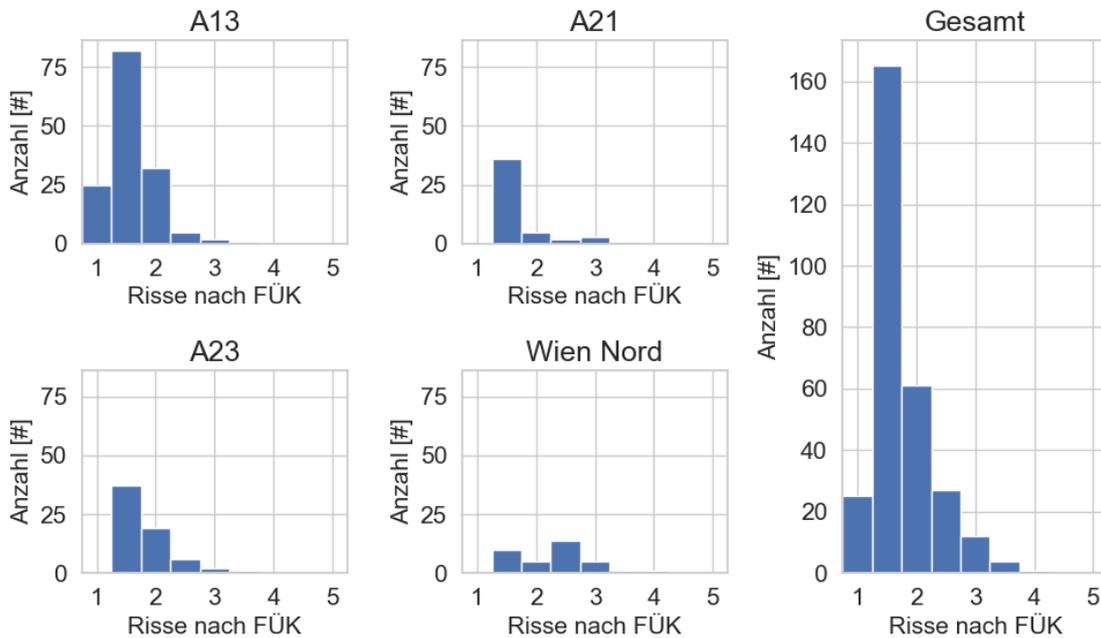


Abbildung 68: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Risse im Grundbelag nach der FÜK

Betrachtet man den bewerteten Schaden des Belagsausbruches vor (Abbildung 69) und nach (Abbildung 70) den FÜK, so zeigt sich, dass im Allgemeinen nur geringe Ausbrüche festgestellt wurden. Der Großteil der Konstruktionen wurde mit Zustandsnoten zwischen 1 und 2 bewertet. Nur sehr wenige Konstruktionen erhielten die Zustandsnote 3.

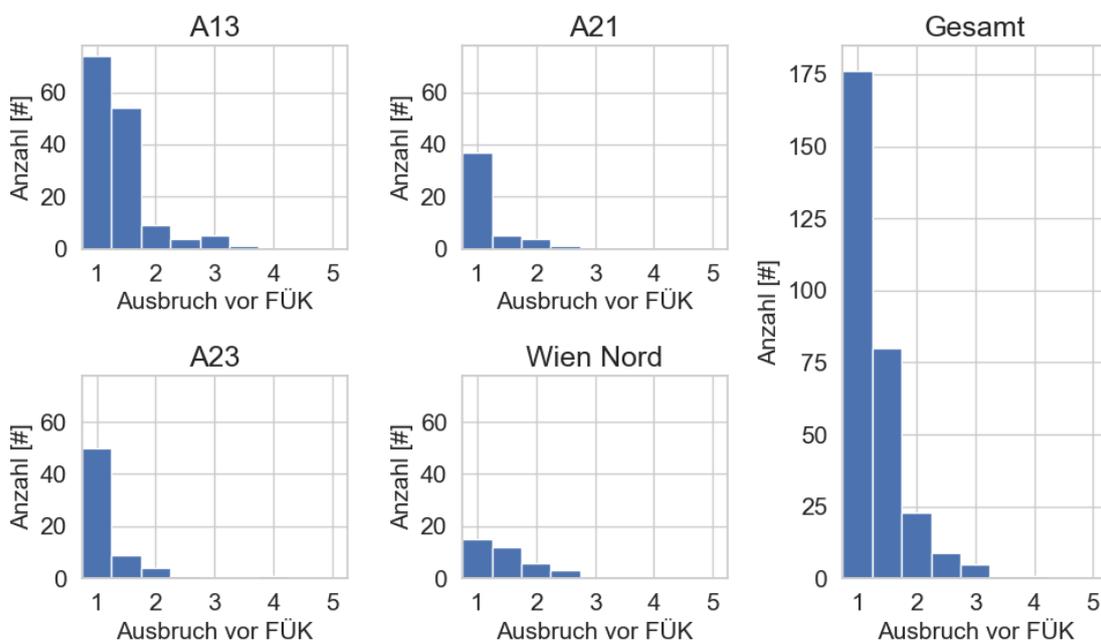


Abbildung 69: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Ausbrüche im Grundbelag vor der FÜK

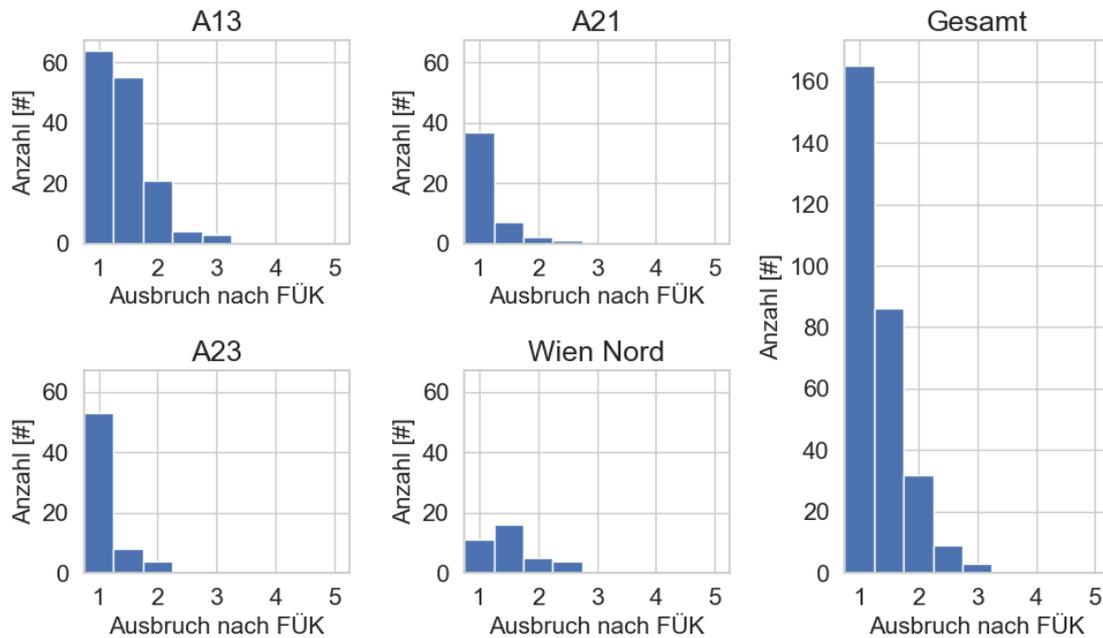


Abbildung 70: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Ausbrüche im Grundbelag nach der FÜK

Betrachtet man die bewerteten Schäden von vertragenem Fahrbahnbelag in die FÜK vor (Abbildung 71) und nach (Abbildung 72) so zeigt sich, dass der überwiegende Anteil an FÜK hier keine Probleme hat und mit Zustandsnote 1 bewertet wurde. Keine Konstruktion wurde mit einer schlechteren Note als 3 bewertet. Im Vergleich zwischen den Zustandsnoten vor und nach den FÜK zeigt sich erwartungsgemäß, dass das Vertragen von Belag in die FÜK fast nur vor der FÜK vorkommt.

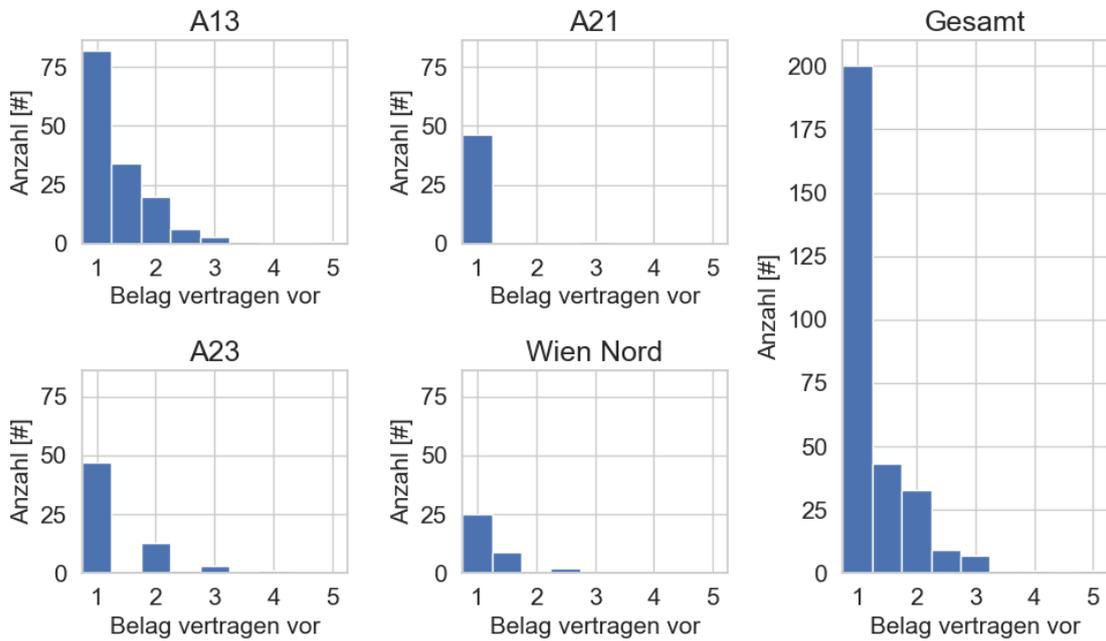


Abbildung 71: Belagsanschluss - Bewertete Schäden von Belag in die FÜK vertragen (vor der FÜK)

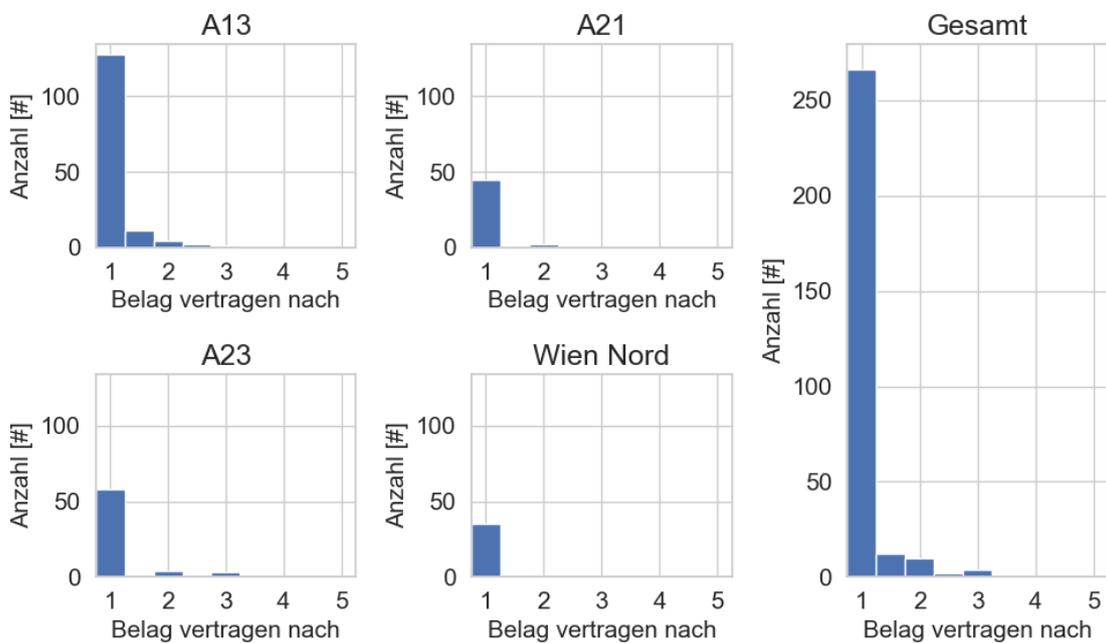


Abbildung 72: Belagsanschluss - Bewertete Schäden von Belag in die FÜK vertragen (nach der FÜK)

Bei Schäden durch Risse an den Balken vor (Abbildung 73) und nach (Abbildung 74) so zeigt sich, dass es sehr wenige Konstruktionen ohne Risse gibt. Die Bewertungen gehen bis zur

Zustandsnote 4 für Balken vor den FÜK, für Balken nach den FÜK ist die schlechteste Zustandsnote 3,5.

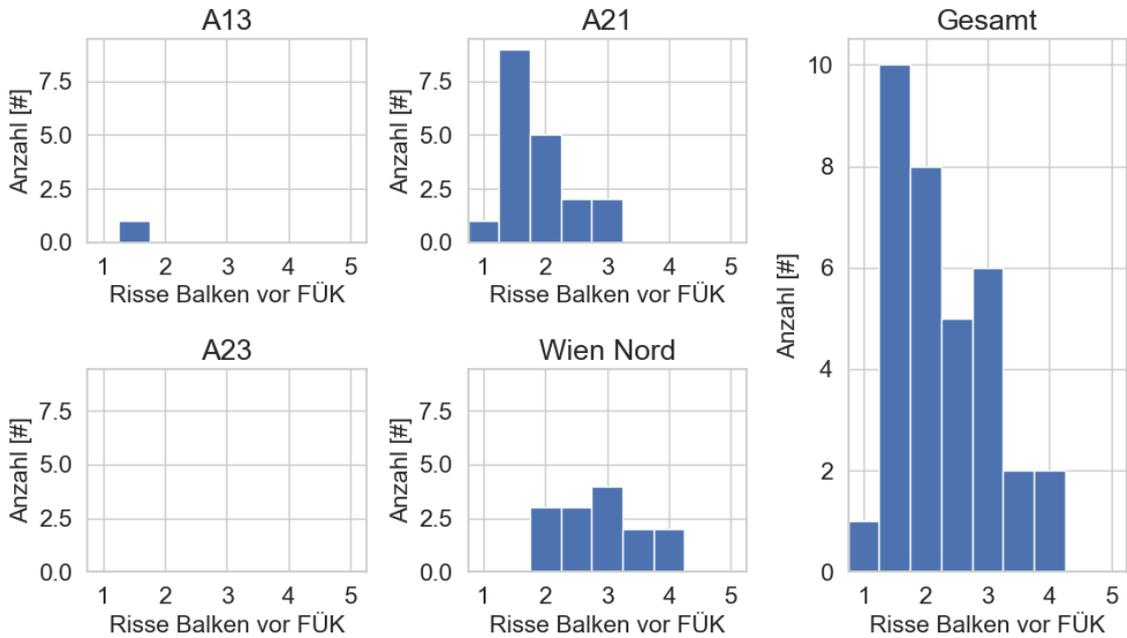


Abbildung 73: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Risse im Balken vor der FÜK

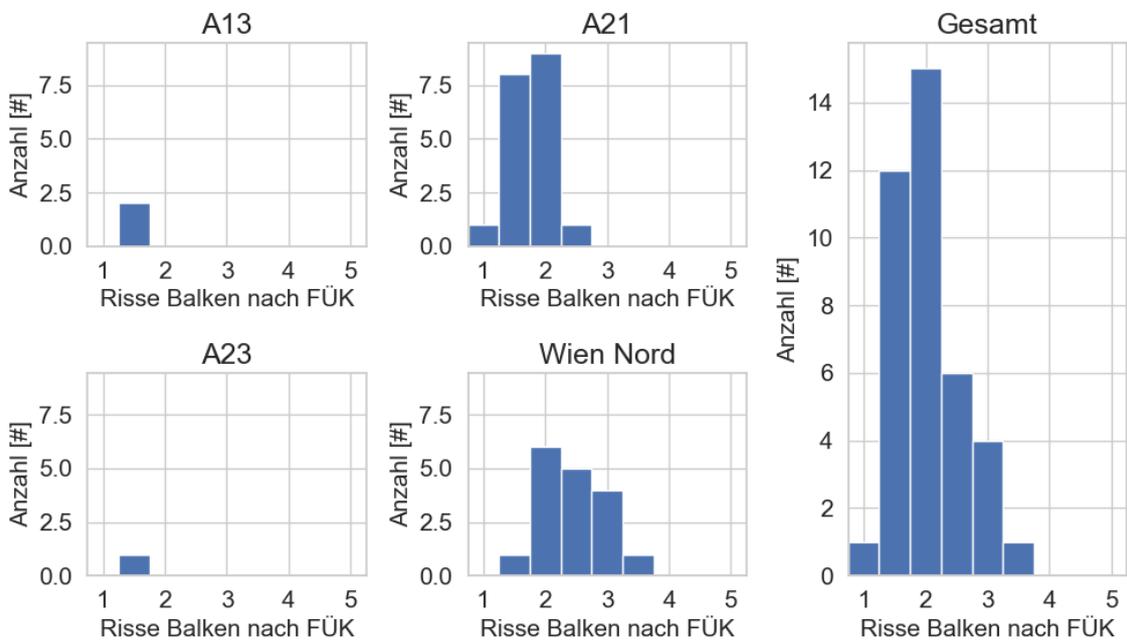


Abbildung 74: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Risse im Balken nach der FÜK

Die bewerteten Zustandsnoten für die Schäden der Ausbrüche in den Balken vor (Abbildung 75) und nach (Abbildung 76) zeigen, dass es hier nur wenige Balken mit Ausbruchsproblemen gibt. Die überwiegende Mehrheit aller Balken wurde sowohl vor als auch nach den FÜK mit Zustandsnote 1 bewertet. Nur vereinzelte Konstruktionen erhielten Zustandsnoten über 2.

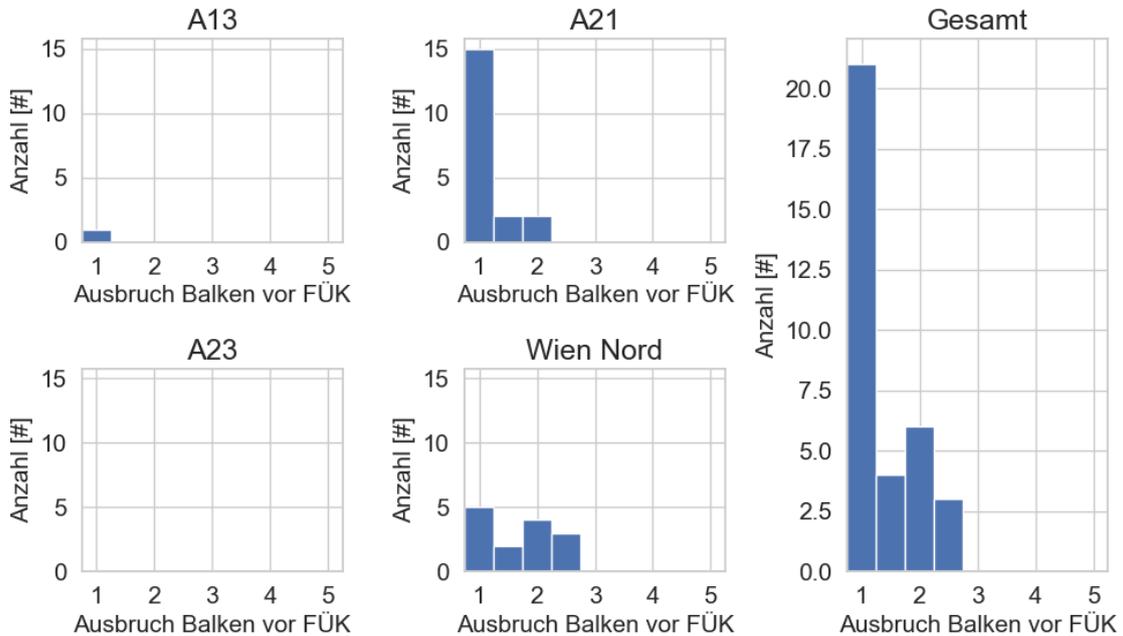


Abbildung 75: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Ausbrüche im Balken vor der FÜK

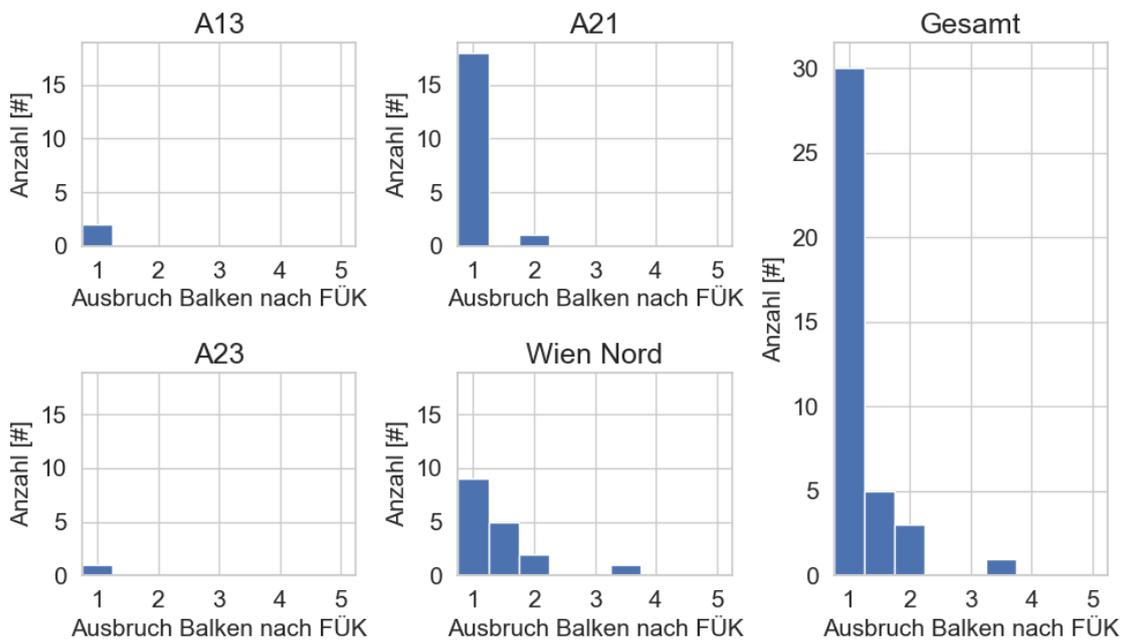
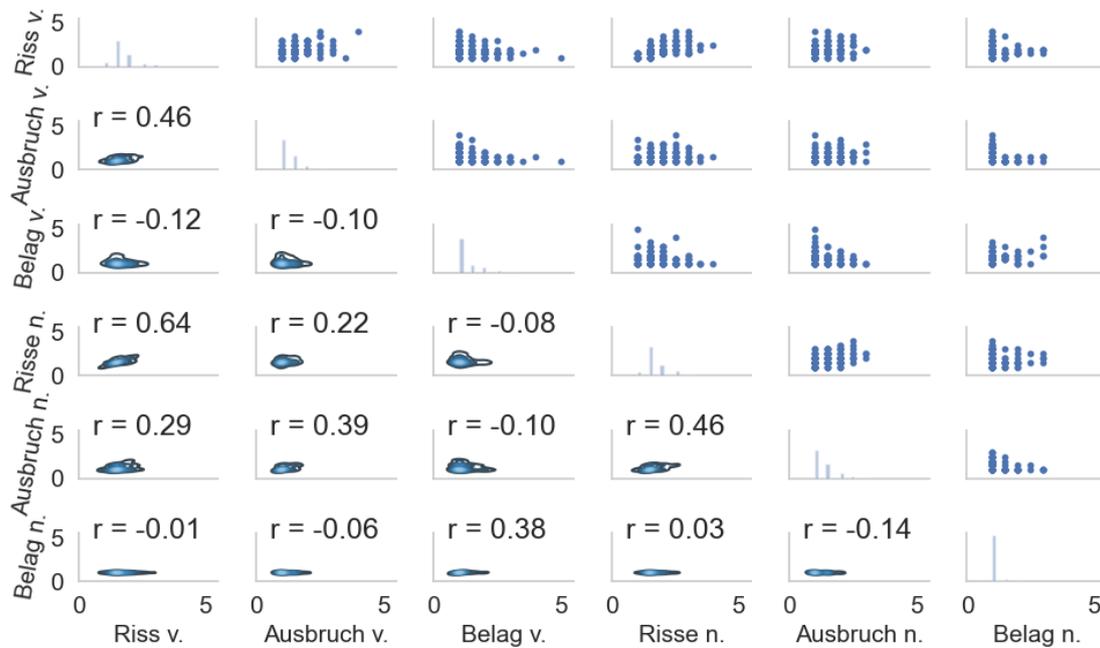


Abbildung 76: Belagsanschluss - Bewertete Schäden der Ausbrüche im Balken nach der FÜK

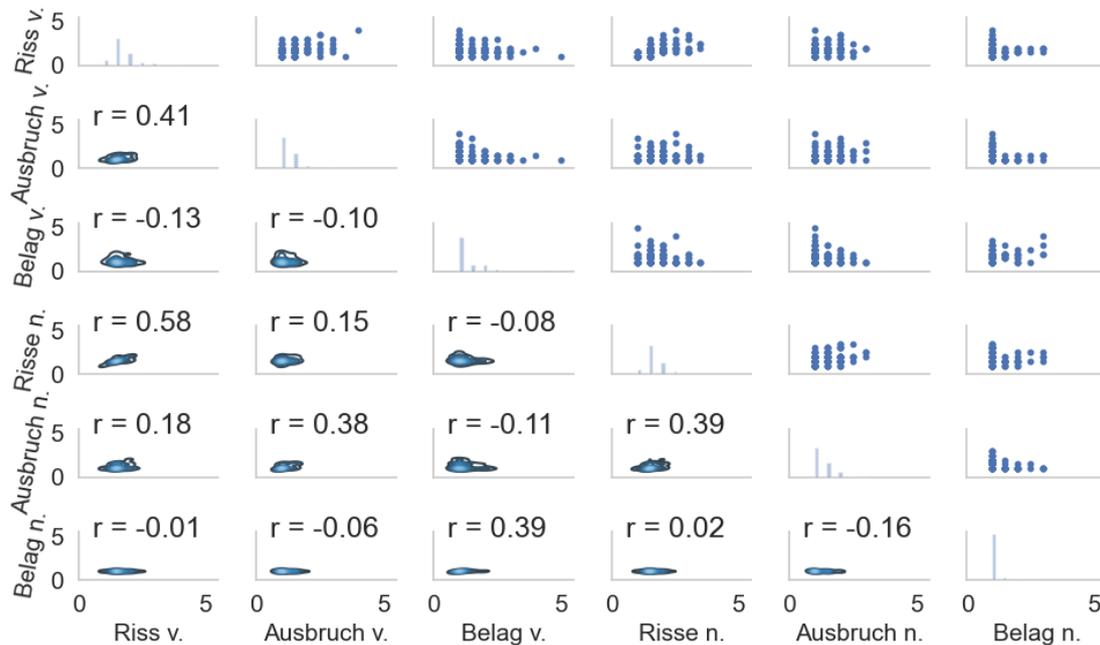
Bei den Korrelationen der Schäden im Fahrbahnanschluss aller FÜK, siehe Abbildung 77 (also ohne die Schäden an den Balken), zeigt sich eine statistisch auffällige Korrelation zwischen Rissen im Grundbelag vor und nach der FÜK mit einem Korrelationsfaktor von $r = 0,64$. Zwischen Ausbrüchen und Rissen lässt sich sowohl vor als auch nach der FÜK mit einem Korrelationsfaktor von $r = 0,46$ noch ein geringfügiger Zusammenhang feststellen.



Riss v. – Risse im Grundbelag vor der FÜK; Ausbruch v. – Ausbruch im Grundbelag vor der FÜK; Belag v. – Belag in FÜK vertragen vor der FÜK; Riss n. – Risse im Grundbelag nach der FÜK; Ausbruch n. – Ausbruch im Grundbelag nach der FÜK; Belag n. – Belag in FÜK vertragen nach der FÜK

Abbildung 77: Matrix-Scatter-Plot der Schäden im Anschlussbereich von allen FÜK.

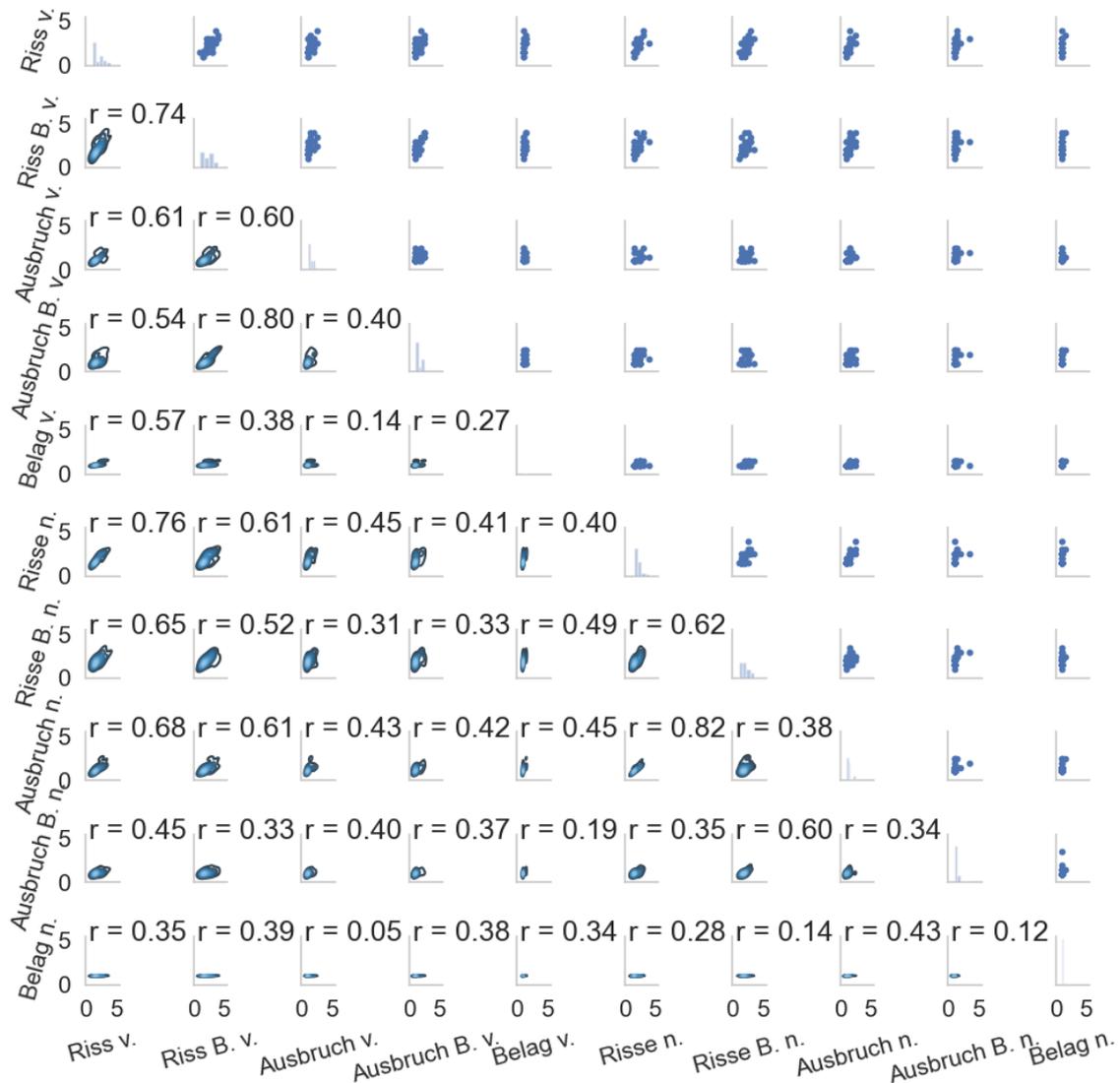
Dies zeigt sich auch, wenn man nur die Konstruktionen mit direktem Asphaltanschluss ohne Balken betrachtet, wie in Abbildung 78 zu sehen ist. Hier ist der Korrelationsfaktor zwischen Rissen vor und nach der FÜK mit $r = 0,58$ geringfügig niedriger. Auch der Zusammenhang zwischen Rissen und Ausbrüchen ist mit Korrelationsfaktoren von $r = 0,41$ (vor der FÜK) bzw. $r = 0,39$ (nach der FÜK) etwas geringer als bei Betrachtung aller Konstruktionen gemeinsam.



Riss v. – Risse im Grundbelag vor der FÜK; Ausbruch v. – Ausbruch im Grundbelag vor der FÜK; Belag v. – Belag in FÜK vertragen vor der FÜK; Riss n. – Risse im Grundbelag nach der FÜK; Ausbruch n. – Ausbruch im Grundbelag nach der FÜK; Belag n. – Belag in FÜK vertragen nach der FÜK

Abbildung 78: Matrix-Scatter-Plot der Schäden im Anschlussbereich der FÜK ohne Balken.

Betrachtet man nur die Konstruktionen mit Balken vor und nach der FÜK, siehe Abbildung 79, so finden sich hier einige sehr deutliche Zusammenhänge. Insgesamt werden hier 32 Konstruktionen in die Auswertung mit aufgenommen. Am stärksten sind die Korrelationen zwischen Ausbrüchen und Rissen nach der FÜK (Korrelationsfaktor $r = 0,82$), Ausbrüchen und Rissen im Balken vor der FÜK (Korrelationsfaktor $r = 0,8$), Rissen vor und nach der FÜK (Korrelationsfaktor $r = 0,76$) sowie von Rissen im Balken mit Rissen im Belag vor der FÜK (Korrelationsfaktor $r = 0,74$). Auch sonst zeigen sich teilweise signifikante Korrelationen zwischen den bewerteten Schäden mit Korrelationsfaktoren mit $r \geq 0,60$



Riss v. – Risse im Grundbelag vor der FÜK; Riss B. v. – Risse im Balken vor der FÜK; Ausbruch v. – Ausbruch im Grundbelag vor der FÜK; Ausbruch B. v. – Ausbruch im Balken vor der FÜK; Belag v. – Belag in FÜK vertragen vor der FÜK; Risse n. – Risse im Grundbelag nach der FÜK; Risse B. n. – Risse im Balken nach der FÜK; Ausbruch n. – Ausbruch im Grundbelag nach der FÜK; Ausbruch B. n. – Ausbruch im Balken nach der FÜK; Belag n. – Belag in FÜK vertragen nach der FÜK

Abbildung 79: Matrix-Scatter-Plot der Schäden im Anschlussbereich der FÜK mit Balken vor und nach der FÜK.

3.2.7 Ausbesserungen im Anschlussbereich

Bei ziemlich genau der Hälfte aller Anschlussbereiche, nämlich bei 148 Anschlussbereiche von insgesamt 295, wurden Ausbesserungen festgestellt. Die Ausbesserungen wurden danach unterschieden ob diese Groß- oder Kleinflächig sind und welches Bauteil ausgebessert wurde. Unterschieden wurde zwischen Belag, Balken, Belagsdehnfuge und Stützrippen.

In Abbildung 80 ist aufgeschlüsselt, wie sich die Ausbesserungen auf die einzelnen Bereiche, getrennt nach den jeweiligen Straßenzügen, aufteilen. Es zeigt sich, dass sich der überwiegende Großteil der Ausbesserungen auf den Belag bezieht und dieser oftmals großflächig ausgeführt wird. Ausbesserungen an Balken, Belagsdehnfugen und Stützrippen kommen in absoluten Zahlen nur vereinzelt vor.

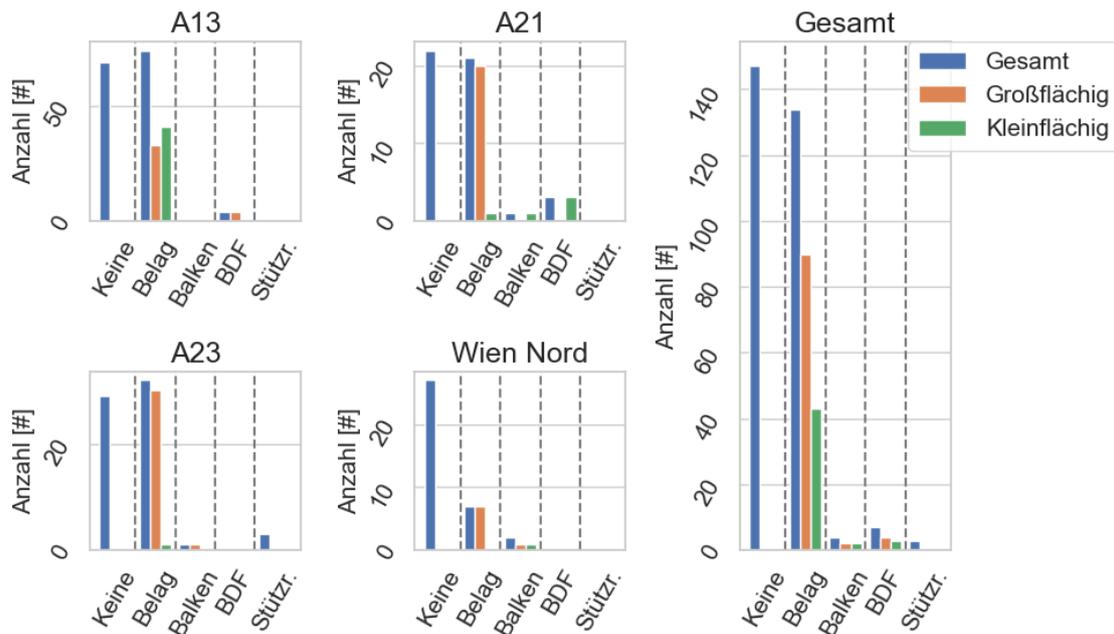


Abbildung 80: Ausgebesserte Anschlussbereiche. Aufgeteilt in Groß- und Kleinflächige Ausbesserungen

In Abbildung 81 sind die großflächigen Ausbesserungen aufgeteilt je nachdem ob die Ausbesserung vor, nach oder beiderseits der FÜK ausgeführt wurde. In Abbildung 82 ist die entsprechende Aufteilung für kleinflächige Ausbesserungen dargestellt. Es zeigt sich bei beiden, dass ausgebesserte Anschlussbereiche in der Regel bereits auf beiden Seiten der FÜK ausgebessert wurden.

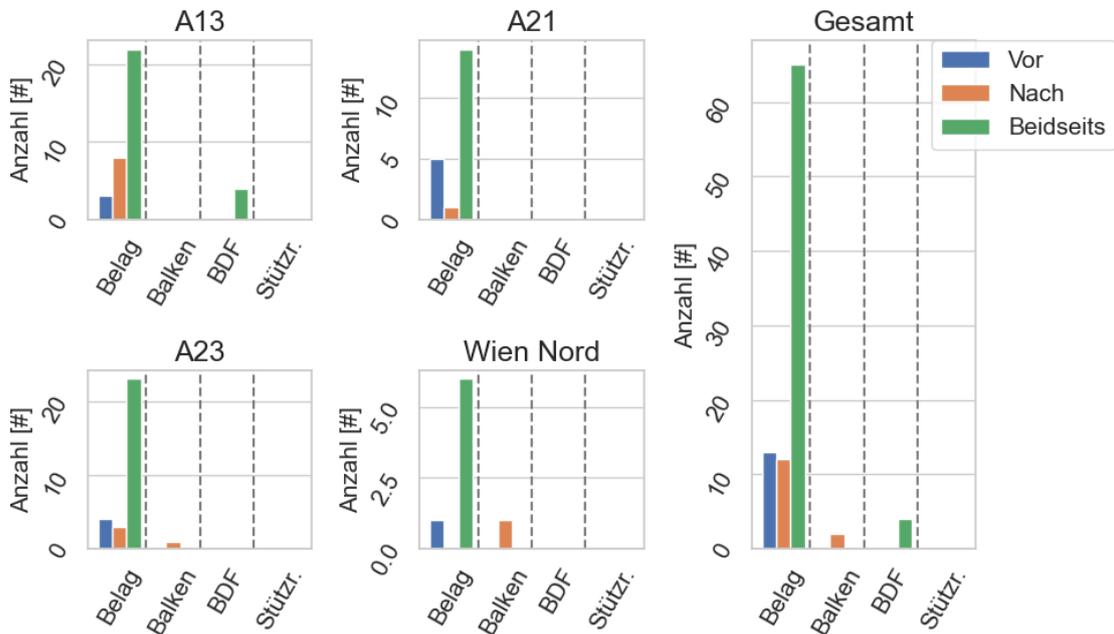


Abbildung 81: Ausgebesserte Anschlussbereiche mit großflächigen Ausbesserungen. Aufgeteilt in Ausbesserungen vor, nach und beiderseits der FÜK.

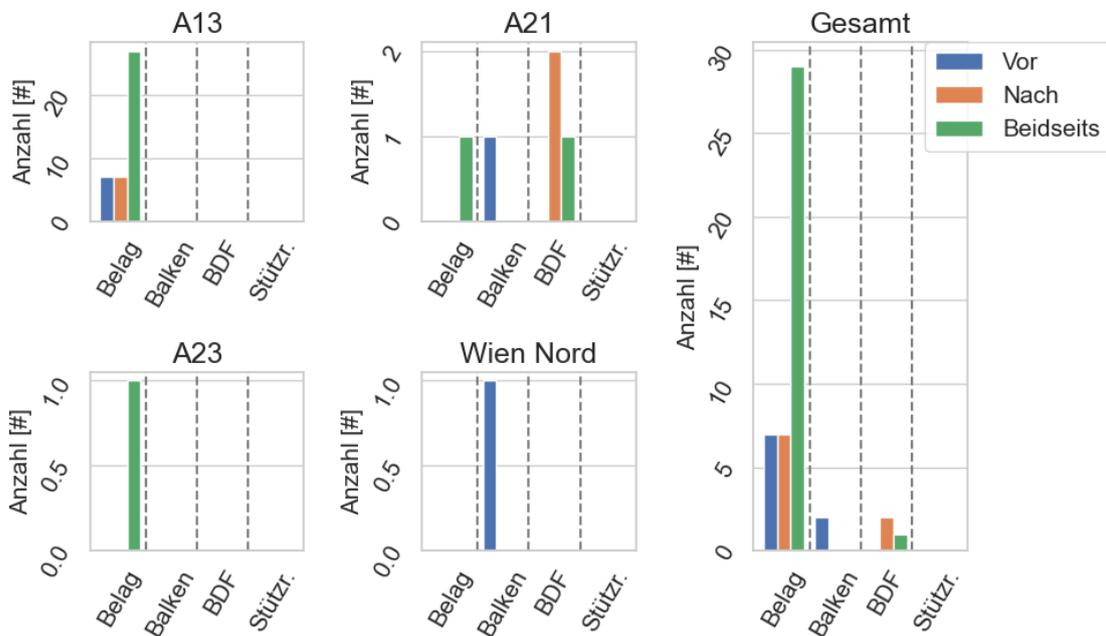


Abbildung 82: Ausgebesserte Anschlussbereiche mit kleinflächigen Ausbesserungen. Aufgeteilt in Ausbesserungen vor, nach und beiderseits der FÜK.

3.2.8 Datensätze von Infrastrukturbetreibern

Zu Projektbeginn wurden von Seiten der Infrastrukturbetreiber Asfinag und MA29 Daten zu den betrachteten Übergangsbereichen zur Verfügung gestellt. Hier werden die wesentlichen Daten gegenübergestellt. Im Detail sind dies:

- Schwerverkehrsanteil (SVK)
- Alter der Fahrbahnübergangskonstruktionen in Jahren
- Alter der Deckschichten in Jahren
- Dicke der Deckschichten in cm
- Bewertung der FÜK nach RVS

In Abbildung 83 ist das Alter der Deckschichte basierend auf den Daten der Asfinag dargestellt. Es zeigt sich, dass auf der A13 der Großteil der Deckschichten jünger als 10 Jahre sind, während z.B. bei der A21 der Großteil der Deckschichten älter als 10 Jahre sind. Insgesamt zeigt sich eine große Streuung. Die ältesten Deckschichten auf der A21 sind 20 Jahre alt.

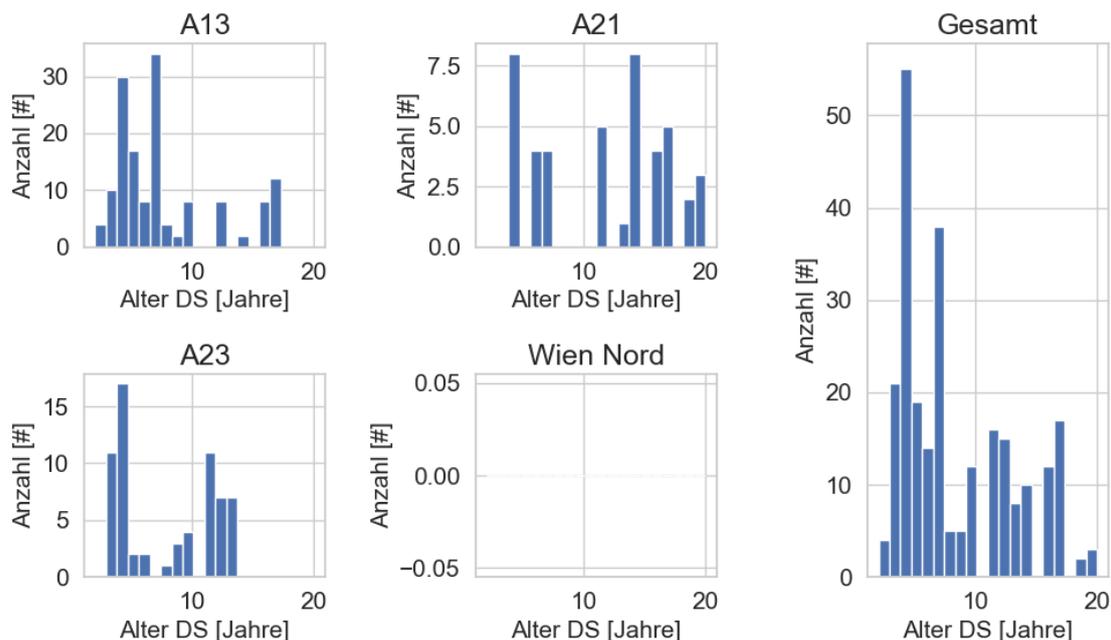


Abbildung 83: Alter der Deckschicht (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

Betrachtet man das Alter der Fahrbahnübergangskonstruktionen in Abbildung 84, so zeigt sich, dass diese oftmals älter sind als die Deckschichten der jeweiligen Streckenzüge (vgl. mit Abbildung 83). Der Großteil der Konstruktionen (Modulare Dehnfugen) im Streckenzug Wien Nord haben ein hohes Alter von 37 Jahren.

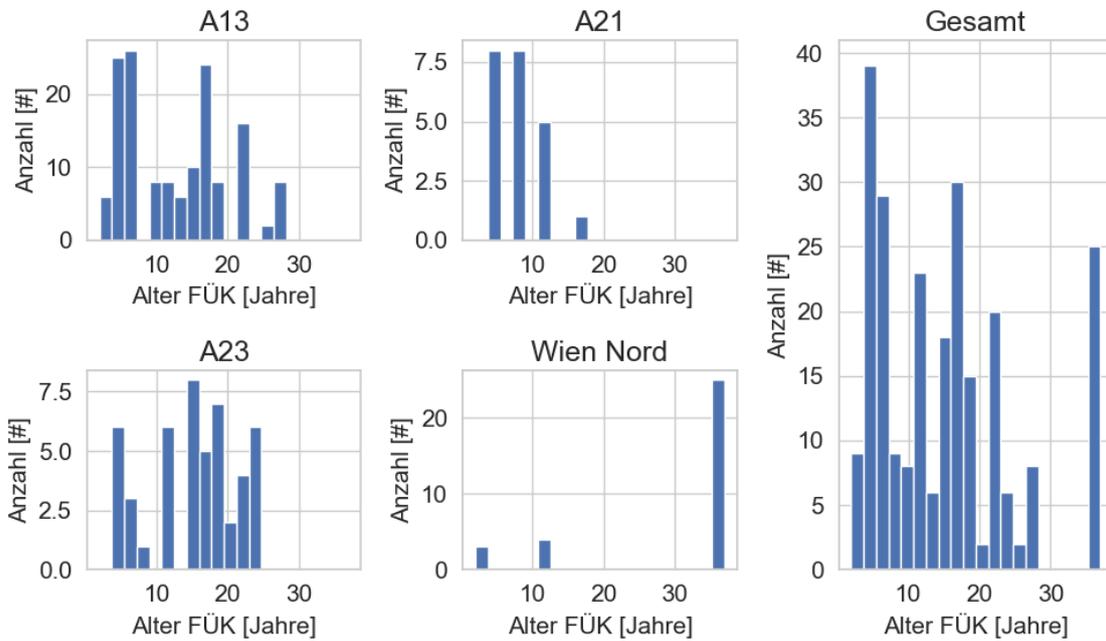


Abbildung 84: Alter der Fahrbahnübergangskonstruktionen (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

Betrachtet man die Bewertungsnoten der Fahrbahnübergangskonstruktionen, welche in den Datenbanken der Infrastrukturbetreiber eingetragen sind so zeigt sich, dass der Großteil der Konstruktionen mit einer 2 bewertet sind. Es gibt jedoch auch einen erheblichen Anteil, gerade im Streckenzug Wien-Nord, von Konstruktionen welche die Zustandsnote 3 haben. Auf der A13 finden sich außerdem 20 Konstruktionen, welche mit Zustandsnote 4 bereits als kritisch zu sehen sind.

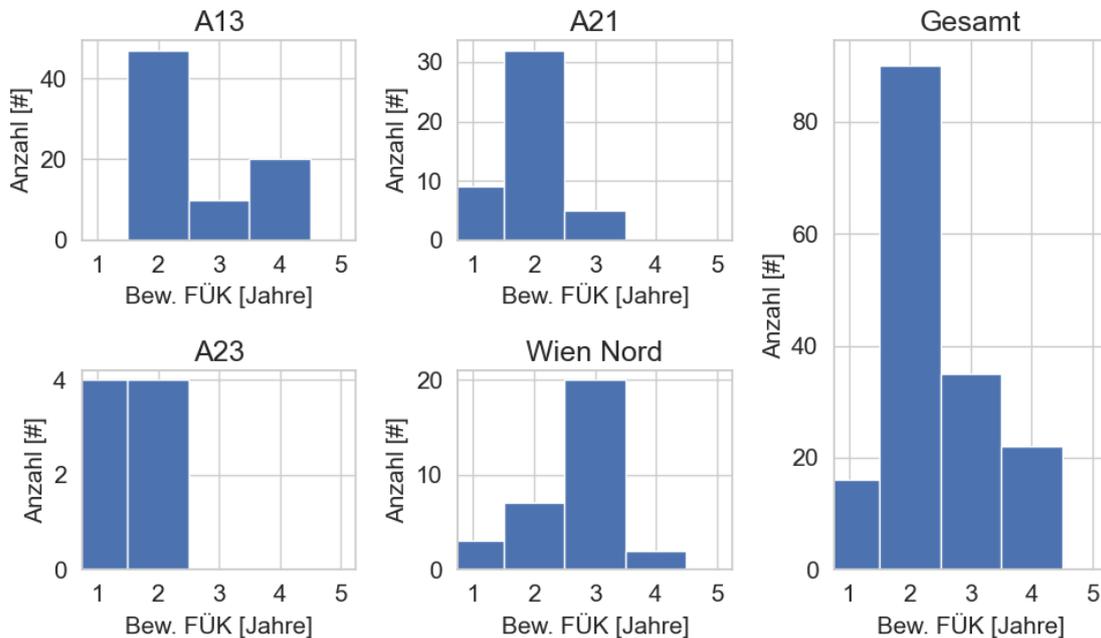


Abbildung 85: RVS Bewertung der Fahrbahnübergangskonstruktionen gesamt in absoluten Zahlen (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

Betrachtet man die Aufteilung der Zustandsnoten auf die einzelnen Konstruktionstypen der Fahrbahnübergangskonstruktionen, wie in Abbildung 86 dargestellt, so zeigt sich, dass Kragfingerkonstruktionen in absoluten Zahlen am häufigsten die Zustandsnote 4 bekommen haben. Setzt man dies jedoch in Relation zur gesamten Häufigkeit eines Konstruktionstypes, so zeigt sich, dass hier Gleitfingerkonstruktionen relativ gesehen am häufigsten mit dieser schlechten Zustandsnote bewertet sind. Hier ist jeder zweite Übergang dementsprechend bewertet, hauptsächlich bei der A13, wo 66,67% der Gleitfingerkonstruktionen mit Zustandsnote 4 bewertet wurden. Aufgrund der Stichprobengröße von 8 Konstruktionen ist diese Aussage aber nicht sehr aussagekräftig. In

Tabelle 11 finden sich die absoluten und relativen Zahlen aller Straßenzüge und in Abbildung 87 sind die relativen Zahlen dargestellt.

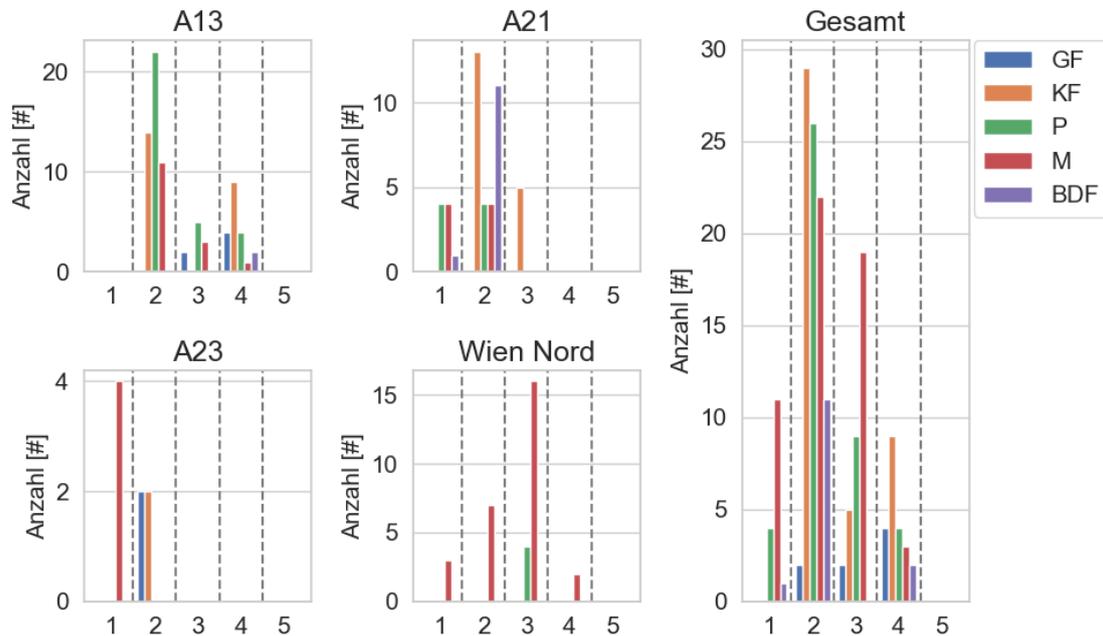


Abbildung 86: RVS Bewertung der Fahrbahnübergangskonstruktionen aufgeteilt auf die einzelnen Konstruktionstypen in absoluten Zahlen (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

Tabelle 11: RVS Bewertung der Fahrbahnübergangskonstruktionen aufgeteilt auf die einzelnen Konstruktionstypen in absoluten und relativen Zahlen (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

RVS-Bewertung		1	2	3	4	5	Summe
P	Absolut [#]	4	26	9	4	0	43
	Relativ [%]	9,30	60,47	20,93	9,30	0,00	
M	Absolut [#]	11	22	19	3	0	55
	Relativ [%]	20,00	40,00	34,55	5,45	0,00	
KF	Absolut [#]	0	29	5	9	0	43
	Relativ [%]	0,00	67,44	11,63	20,93	0,00	
GF	Absolut [#]	0	2	2	4	0	8
	Relativ [%]	0,00	25,00	25,00	50,00	0,00	
BDF	Absolut [#]	1	11	0	2	0	14
	Relativ [%]	7,14	78,57	0,00	14,29	0,00	
Gesamt	Absolut [#]	16	90	35	22	0	163
	Relativ [%]	9,82	55,21	21,47	13,50	0,00	

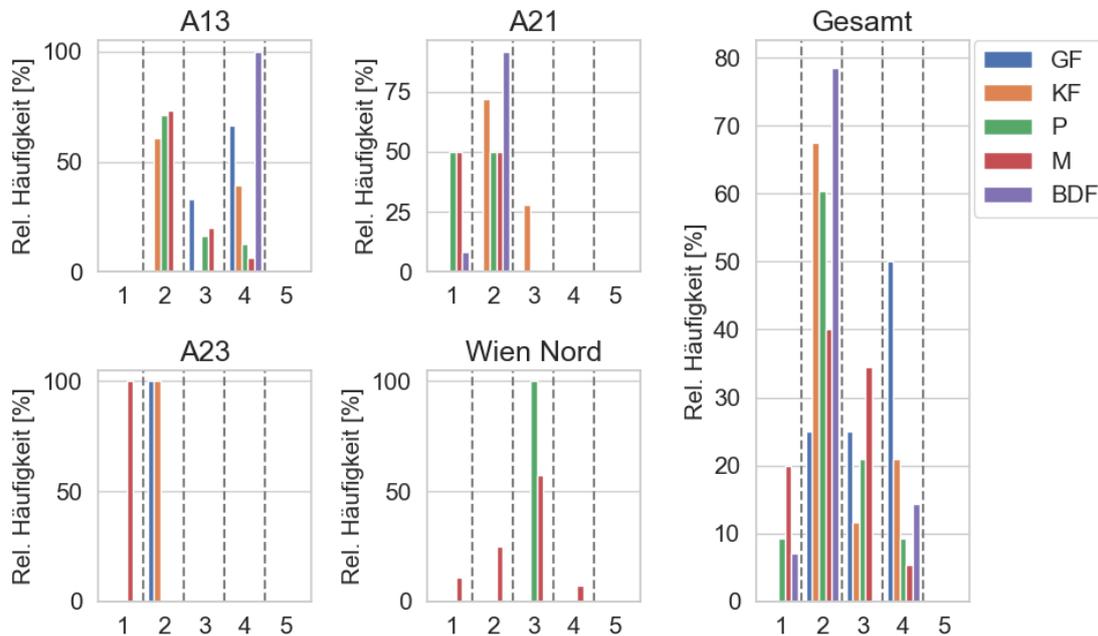


Abbildung 87: RVS Bewertung der Fahrbahnübergangskonstruktionen aufgeteilt auf die einzelnen Konstruktionstypen in relativen Zahlen (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

Beim Schwerverkehrsanteil zeigt sich, wie in Abbildung 88 dargestellt, dass bei der A13 der Schwerverkehrsanteil etwas unter 4000 LKW/24h liegt und bei der A21 etwas darüber für den Großteil der Konstruktionen. Bei der A23 gibt es eine größere Streuung in Abhängigkeit der Position des Fahrbahnüberganges, welche bis über 5500 LKW/24h geht. Der Streckenabschnitt Wien-Nord zeigt erwartungsgemäß ein wesentlich geringeres Schwerverkehrsaufkommen auf.

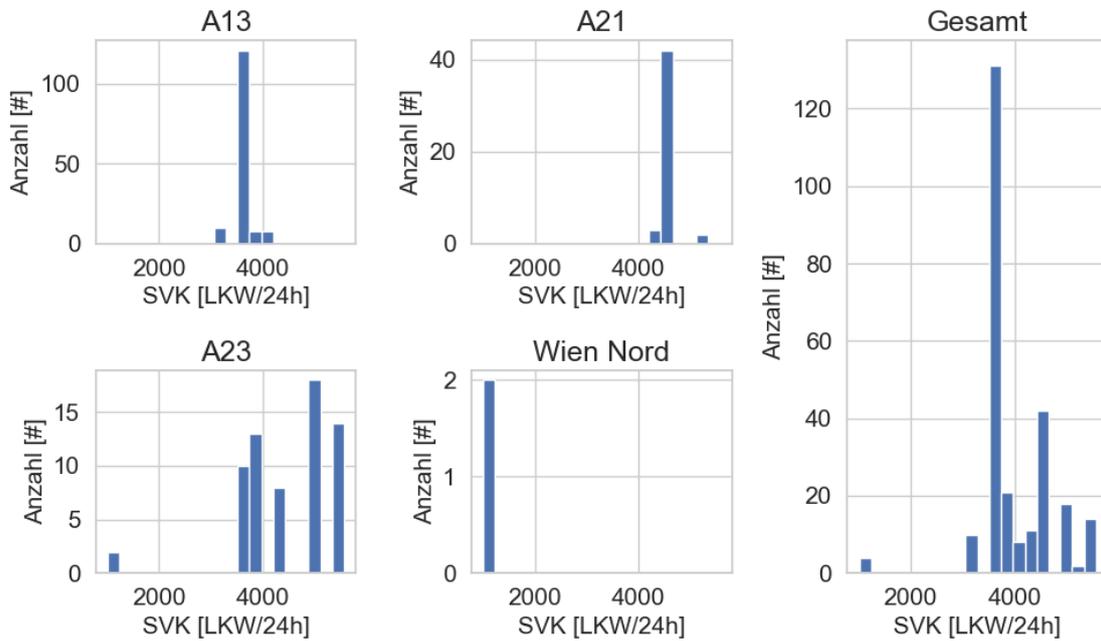


Abbildung 88: Schwerverkehrsanteil LKW/24h (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

Die Dicke der Deckschichten, wie in Abbildung 89 dargestellt, sind in der Regel zwischen 3 und 4 cm dick. Beim Streckenzug Wien-Nord wurde die Deckschichtdicke mit 12 cm angegeben, was jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit den Gesamtaufbau aus Trag- und Deckschicht beschreibt, diese Daten wurden deshalb aus der Auswertung entfernt.

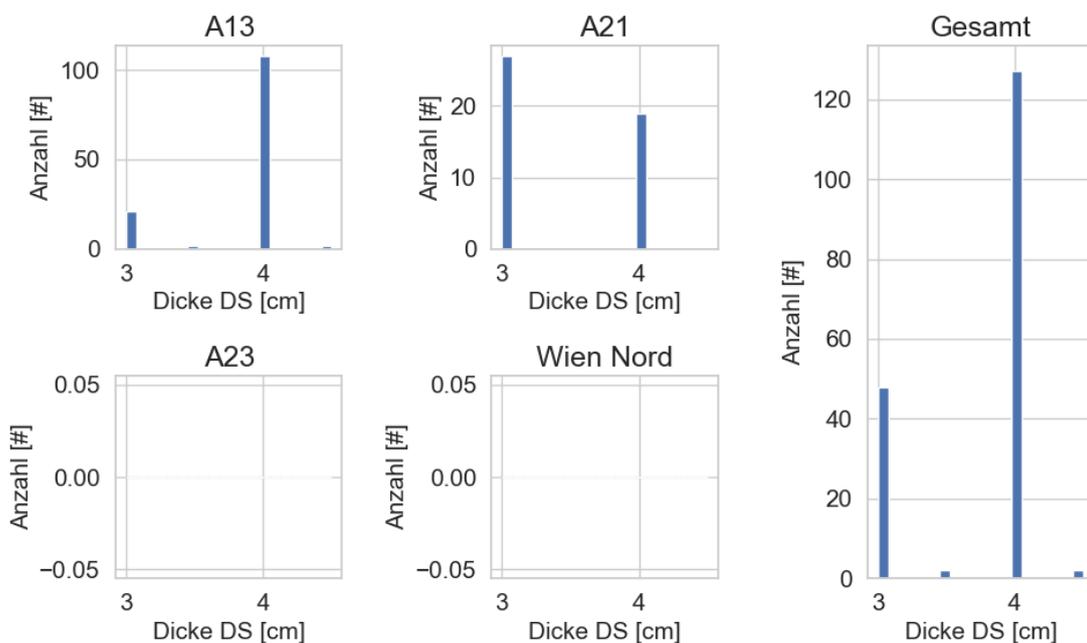


Abbildung 89: Dicke der Deckschichten in cm (basierend auf Daten der Infrastrukturbetreiber)

Betrachtet man die Korrelationen der hier vorgestellten Daten der Auftraggeber im Matrix-Scatter-Plot in Abbildung 90, so zeigen sich keine auffälligen Zusammenhänge. Einzig beim Alter der Deckschicht und dem Alter der FÜK gibt es für einen Teil der Daten einen linearen Zusammenhang bei den Anschlussbereichen, welche noch die originale Deckschicht aufweisen. Da dies nur für einen Teil der Konstruktionen zutrifft ergibt sich jedoch auch hier kein hoher Korrelationskoeffizient berechnet über alle Anschlussbereiche.

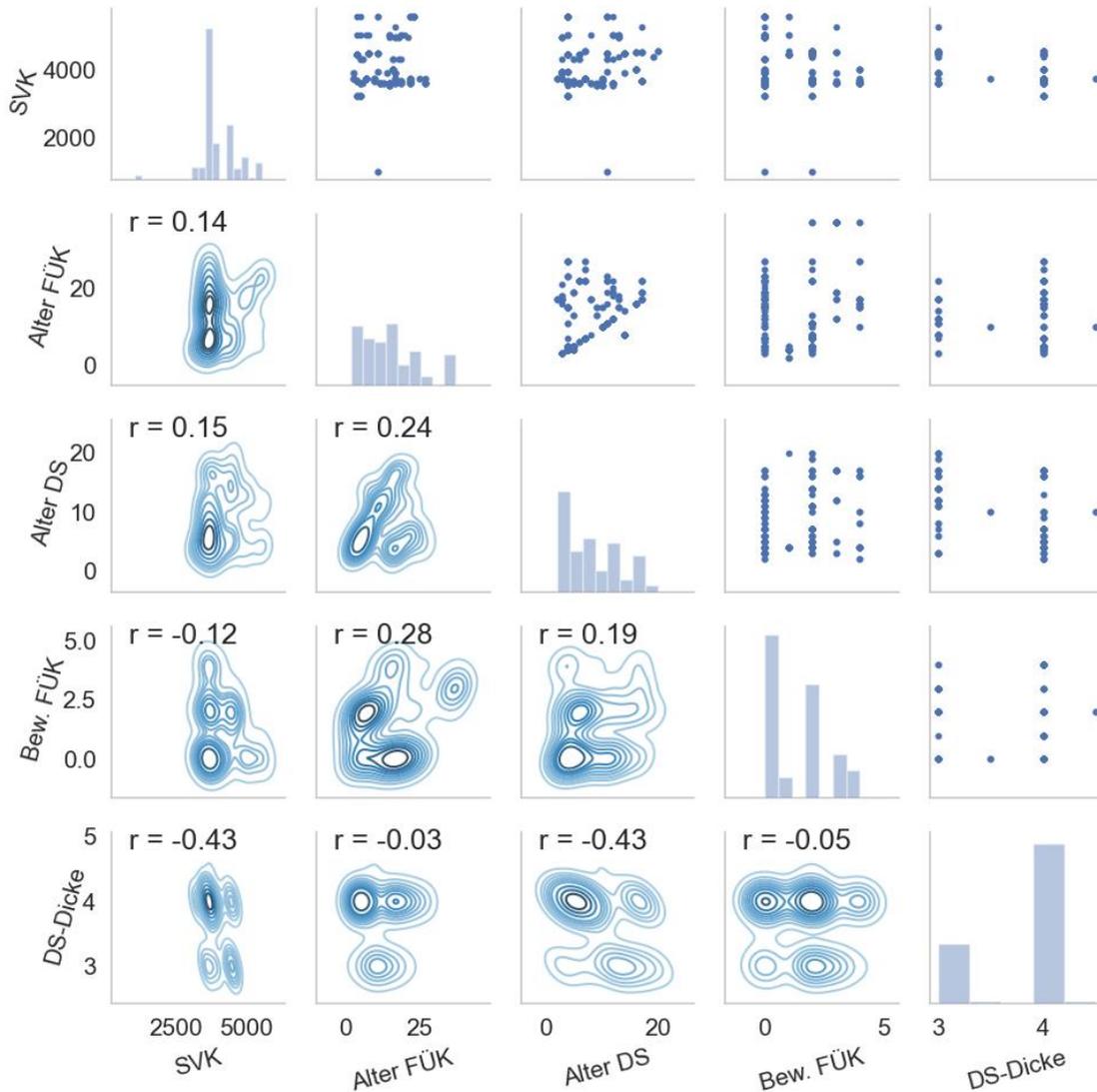


Abbildung 90: Daten der Infrastrukturbetreiber - Korrelationen. SVK – Schwerverkehr; Alter FÜK – Alter der Fahrbahnübergangskonstruktion; Alter DS – Alter der Deckschicht; Bew. FÜK – RVS Bewertung der Fahrbahnübergangskonstruktion; DS-Dicke – Dicke der Deckschicht

3.2.9 Random-Forest Analyse

Um die Zusammenhänge zwischen Eingangsparametern und Schäden aufzuzeigen wurde ein Ansatz von maschinellem Lernen mit einer so genannten Random-Forest Analyse angewendet.

Die Random-Forest Analyse wird häufig zur Regression über umfangreiche Datensätze angewendet und basiert auf Entscheidungsbäumen, welche an Trainingsdatensätzen mit einer Vielzahl an Eingangsdaten („Features“) und bekanntem Ergebnis („Target“) trainiert werden um so eine Vorhersage des Verhaltens bei neuen Eingangsdaten ohne bekanntes Ergebnis zu ermöglichen. Die Random-Forest Analyse erweitert einfache Entscheidungsbäume dadurch, dass eine Vielzahl von Entscheidungsbäumen mit zufällig gewählten Teilen („random subsets“) der Eingangsdaten berechnet werden und aus der Summe dieser einzelnen Entscheidungsbäume eine Gesamtvorhersage durch Mittelung getroffen werden kann. In Abbildung 91 ist so ein einzelner Entscheidungsbaum beispielhaft dargestellt. Wichtig für die im Rahmen dieses Projektes durchgeführte Analyse ist, dass mit dieser Analyse auch die Wichtigkeit (Importanz) einzelner Features auf das Target bewertet werden kann. Somit lassen sich statistische Zusammenhänge z.B. zwischen Geometrischen Randbedingungen und bewerteten Schäden aufzeigen, die durch einfache Betrachtung von linearen Korrelationen nicht erkennbar sind.

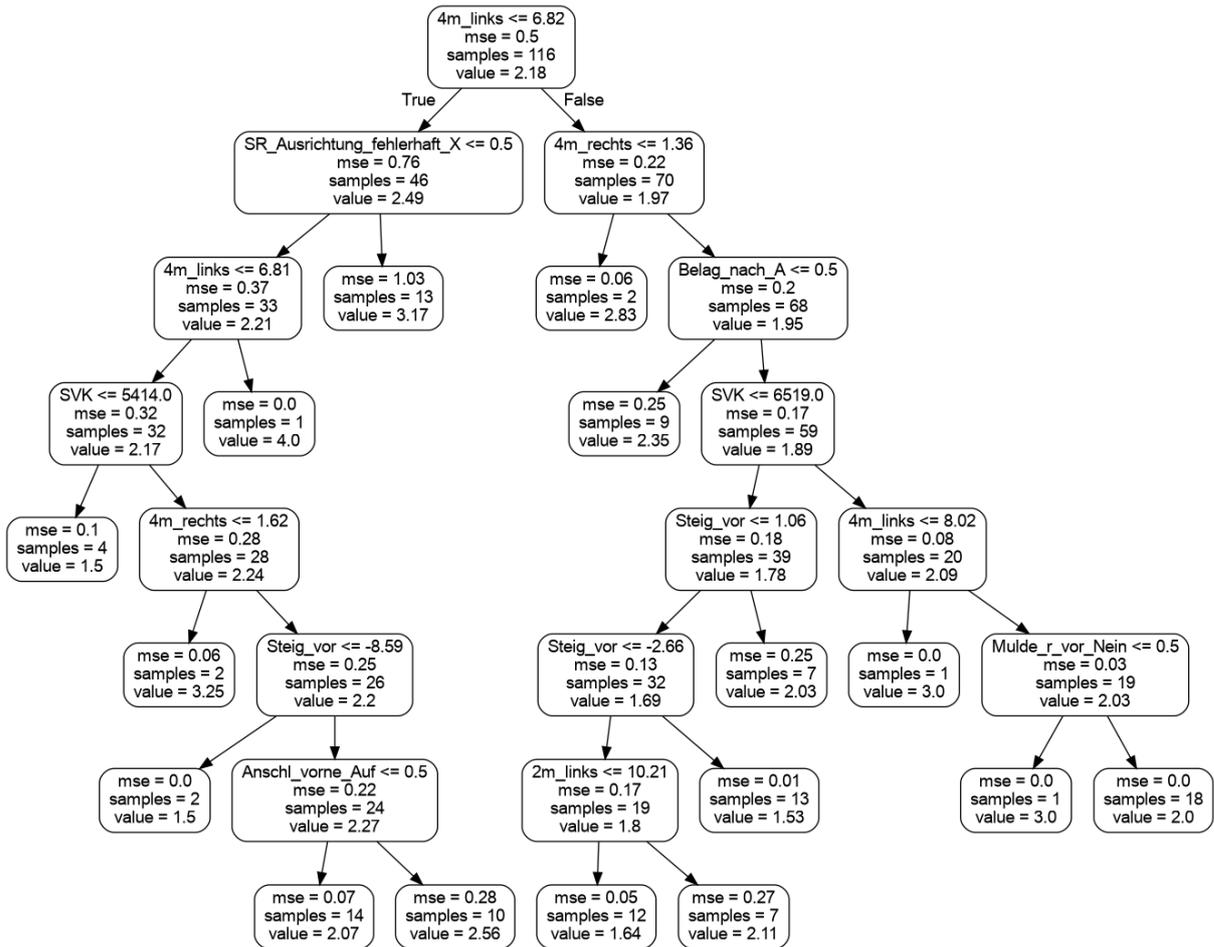


Abbildung 91: Beispiel eines einzelnen Entscheidungsbaumes der Random-Forest Analyse

Für Details zur Random Forest Analyse wird auf Literatur verwiesen (z.B. [2] oder [3]).

Da die einzelnen Entscheidungsbäume in der Random-Forest Analyse nur auf „subsets“ der gesamten Daten basieren, kann ein einzelner Entscheidungsbaum hier auch eine falsche bzw. unpräzise Aussage liefern. Zur Verdeutlichung der wesentlichen Zusammenhänge wurde deshalb der Ansatz gewählt für die vier Features mit der höchsten Importanz jeweils einen einzelnen Entscheidungsbaum über die gesamten Daten zu rechnen und grafisch zur Analyse darzustellen. Dieser Ansatz ist auch mit einer gewissen Streuung behaftet, da auch einzelne Entscheidungsbäume stochastische Elemente beinhalten, jedoch ist die Variabilität zwischen zwei einzelnen Durchläufen gering.

Eigenschaften einzelner nicht-numerischer Features werden durch verschiedene Suffixe beschrieben und somit in der Regression berücksichtigt. Z.B. kann der vordere Fahrbahnanschluss herabgezogen (Suffix: Ab), heraufgezogen (Suffix: Auf), Gerade (Suffix: Ger) oder Unklar (Suffix: Unkl) sein. Jeder Suffix wird dann mit 1 (Feature vorhanden) oder 0 (Feature fehlt) berücksichtigt.

Für die durchgeführten Random Forest Analysen wurden die folgenden Eingangsdaten („Features“) berücksichtigt:

- **FUEK_Typ:** Konstruktionstyp der Fahrbahnübergangskonstruktion. Verwendete Suffixe BDF (Belagsdehnfuge), GF (Gleitfingerfuge), KF (Kragfingerfuge), M (Modulare Dehnfuge), P (Profilkonstruktion)
- **Anschl_vorne:** Geometrie Fahrbahnanschluß in Fahrtrichtung vor der FÜK. Verwendete Suffixe Ab (Herabgezogen), Auf (Hinaufgezogen), Ger (Gerade), Unkl (Unklar)
- **Anschl_hinten:** Geometrie Fahrbahnanschluß in Fahrtrichtung nach der FÜK. Verwendete Suffixe Ab (Herabgezogen), Auf (Hinaufgezogen), Ger (Gerade), Unkl (Unklar)
- **Versatz:** Versatz FÜK im Vergleich zum Anschlussbereich. Verwendete Suffixe Ger (Gerade), Neg (Negativ), Pos (Positiv), Unkl (Unklar)
- **4m_links:** Stichmaß der 4m Latte auf die FÜK auf der linken Reifenspur
- **4m_rechts:** Stichmaß der 4m Latte auf die FÜK auf der rechten Reifenspur
- **Mulde_l_vor:** Mulde in Fahrtrichtung vor der FÜK auf der linken Reifenspur. Verwendete Suffixe Ja, Nein
- **Mulde_r_vor:** Mulde in Fahrtrichtung vor der FÜK auf der rechten Reifenspur. Verwendete Suffixe Ja, Nein
- **Mulde_l_nach:** Mulde in Fahrtrichtung nach der FÜK auf der linken Reifenspur. Verwendete Suffixe Ja, Nein
- **Mulde_r_nach:** Mulde in Fahrtrichtung nach der FÜK auf der rechten Reifenspur. Verwendete Suffixe Ja, Nein
- **Belag_vor:** Material Fahrbahnanschluss in Fahrtrichtung vor der FÜK. Verwendete Suffixe A (Asphalt), B (Beton), BA (Balken)
- **SR_vorkommen:** Vorhandensein von Stützrippen. Verwendete Suffixe B (Beiderseits), EN (Einseitig vor), EV (Einseitig nach), K (Keine)
- **SR_Ausrichtung_fehlerhaft:** Fehlerhafte Ausrichtung der Stützrippen bei beidseitiger Ausführung. Verwendete Suffixe X (Fehlerhaft), Nein (nicht Fehlerhaft)
- **Steig_vor:** mittlere Steigung der Fahrbahn in Fahrtrichtung vor der FÜK
- **Steig_nach:** mittlere Steigung der Fahrbahn in Fahrtrichtung nach der FÜK
- **SVK:** Schwerverkehr im Anschlussbereich (aus Daten der Infrastrukturbetreiber)
- **Alter_FUEK:** Alter der Fahrbahnübergangskonstruktion (aus Daten der Infrastrukturbetreiber)
- **Alter_DS:** Alter der Deckschicht im Anschlussbereich (aus Daten der Infrastrukturbetreiber)

Es wurden Random-Forest Analysen für die folgenden Zielgrößen („Targets“), welche nach RVS-Schema bewerteten Schäden entsprechen, verwendet:

- **Risse_vor:** Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK.
- **Risse_nach:** Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK.

- **Risse_Balken_vor:** Risse im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung vor der FÜK.
- **Risse_Balken_nach:** Risse im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung nach der FÜK.
- **Ausbruch_vor:** Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK.
- **Ausbruch_nach:** Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK.
- **Ausbruch_Balken_vor:** Ausbrüche im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung vor der FÜK.
- **Ausbruch_Balken_nach:** Ausbrüche im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung vor der FÜK.
- **Belag_vertragen_vor:** Belag in FÜK vertragen in Fahrtrichtung vor der FÜK.
- **Randprofil_beschaedigt:** Beschädigung des Randprofils
- **Finger_LM_beschaedigt:** Beschädigung von Fingern oder Lärminderungen
- **Schraube_beschaedigt_fehlt:** Beschädigte oder fehlende Schrauben bei Fingerkonstruktionen
- **MDF_Schaeden_Lamellen:** Schäden an den Lamellen bei modularen Dehnfugen
- **Verschmutzung Dichtprofile:** Verschmutzung der Dichtprofile und Konstruktionen
- **SR_Beschaedigung_vor:** Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung vor der FÜK
- **SR_Beschaedigung_nach:** Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung vor der FÜK
- **Bew_FUEK:** RVS Bewertung der gesamten Fahrbahnübergangskonstruktion (aus Daten der Infrastrukturbetreiber)

Da die Random-Forest Analyse, wie der Name schon sagt, ein zufälliges Element enthält und die Importanz der einzelnen Eingangsparameter aus verschiedenen Gründen als eher gering eingestuft wird, können einzelne Analysen stark voneinander abweichen. Aus diesem Grund wurde der folgende Ansatz für die Analyse gewählt:

- Hohe Anzahl von Entscheidungsbäumen basierend auf Subsets für die einzelne Random-Forest Analyse ($n_{tree} = 10^4$)
- Jede Random-Forest Analyse wird vielfach wiederholt ($n_{rf} = 50$) und dann wird der Mittelwert und die Standardabweichung der einzelnen Importanzen gebildet. So kann auch kontrolliert werden, wie aussagekräftig die einzelnen Importanzen der Analyse sind
- Es müssen mindestens 15 Samples in einem Zweig eines Entscheidungsbaumes vorhanden sein um eine weitere Teilung durchzuführen
- Es müssen gesamt mindestens 20 Datensätze für ein Target vorhanden sein um die Analyse zu starten

Für jeden der Schäden werden die Importanzen berechnet, nach Höhe geordnet und in einem Balkendiagramm inkl. Standardabweichung dargestellt. Bei hohen Importanzen eines Features wird der Zusammenhang mit dem betrachteten Schaden mittels eines Scatterplots noch genauer betrachtet.

Es wurden alle Streckenzüge gemeinsam ausgewertet um eine möglichst große Anzahl an Daten zu berücksichtigen. Nach Bereinigung von fehlenden Datensätzen umfasst der Datensatz 259 Einträge wovon 90% für das Training verwendet werden und 10% als Testdatensätze. Je nach Target reduziert sich die Anzahl der Testdatensätze noch merklich, da jeweils nur die Datensätze verwendet werden können, welche dieses Target auch aufweisen.

3.2.9.1 Schaden: Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 198

Für die Risse im Anschlussbereich vor der FÜK zeigte sich in der Random-Forest Analyse erwartungsgemäß das Alter der Deckschicht als wichtigstes Feature, gefolgt vom Schwerverkehrsanteil und dem Alter der FÜK bevor dann die geometrischen Parameter der Steigungen vor und nach der FÜK sowie der 4m Latte kommen, welche sehr ähnliche Importanzen aufweisen. Das Alter der FÜK dürfte deshalb so eine hohe Wichtigkeit haben, da ein Teil der FÜKs das gleiche Alter wie die Deckschicht haben. In Abbildung 93 ist beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden dargestellt und in Abbildung 94 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

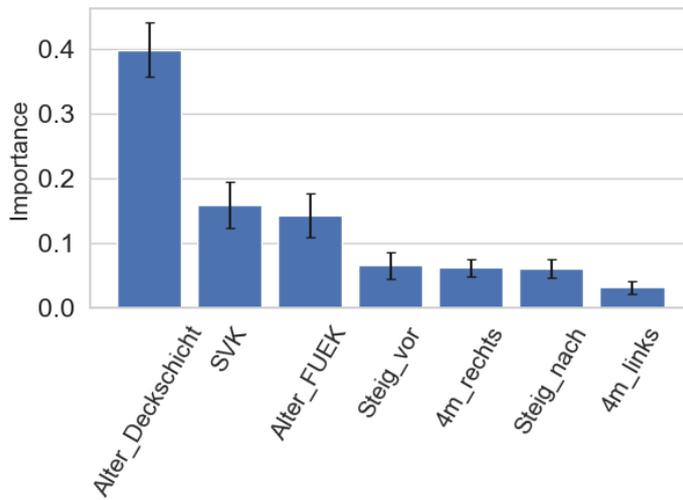


Abbildung 92: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK

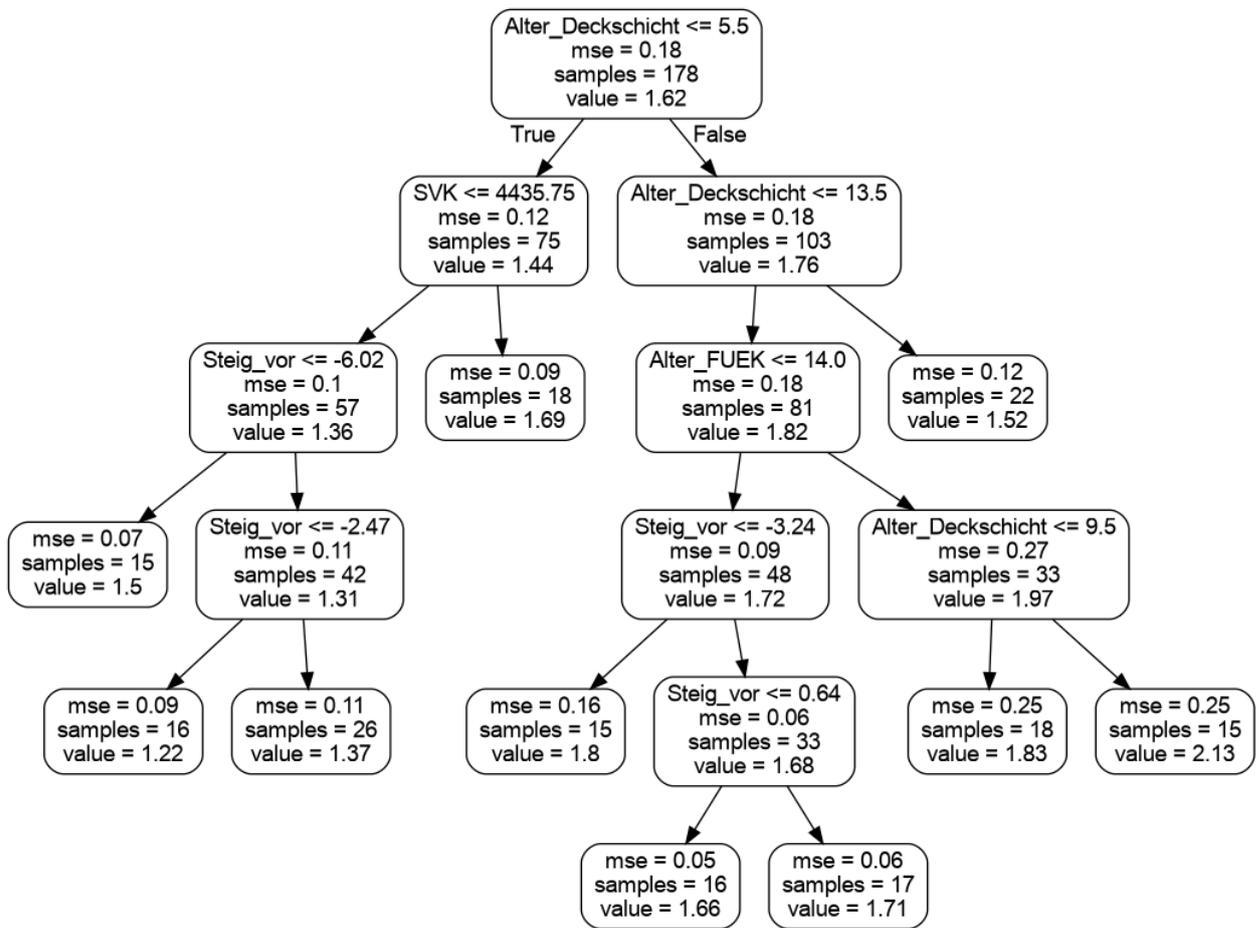


Abbildung 93: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK

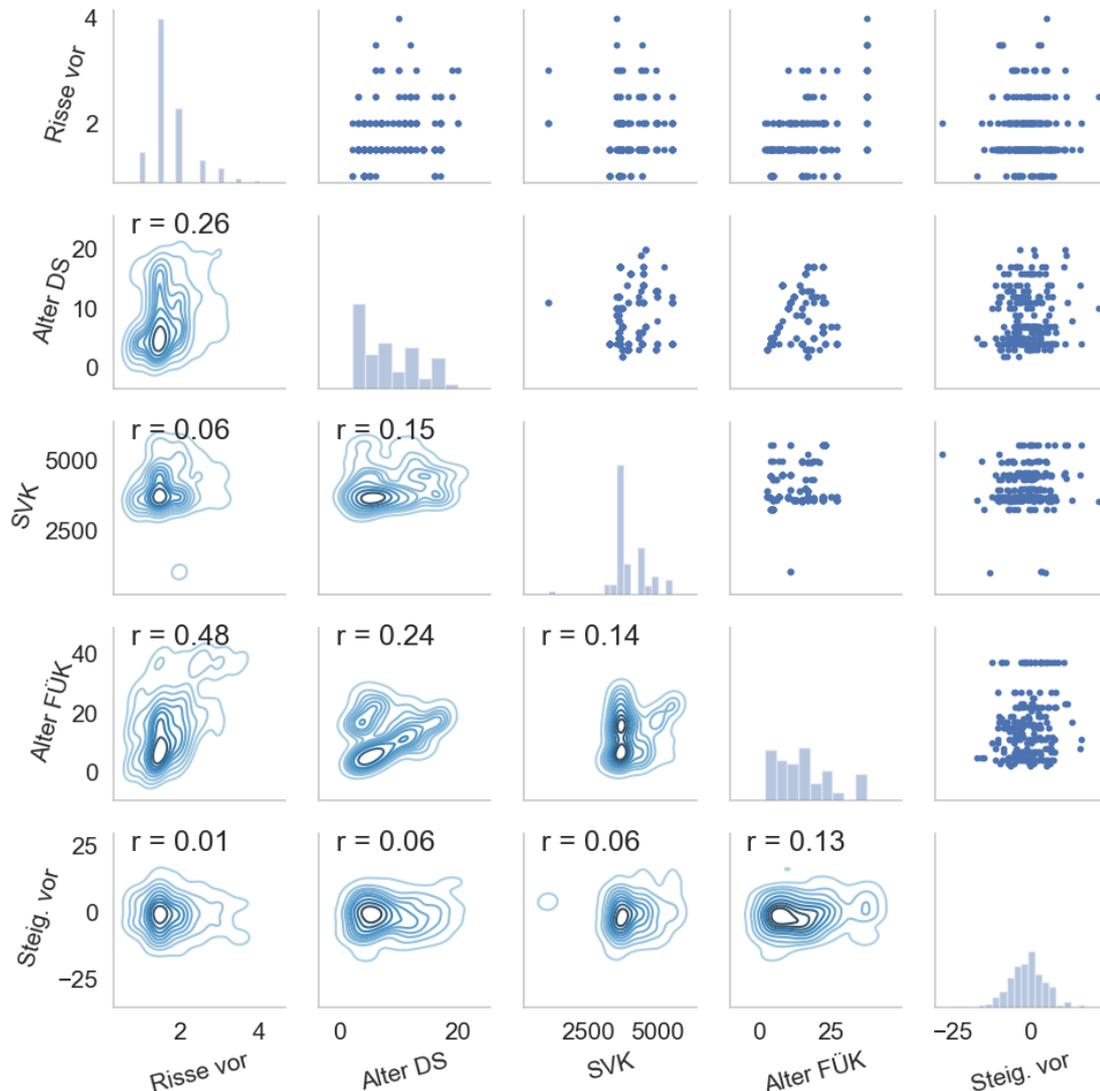


Abbildung 94: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.2 Schaden: Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 198

Für die Risse im Anschlussbereich nach der FÜK zeigte sich in der Random-Forest Analyse erwartungsgemäß auch das Alter der Deckschicht als wichtigstes Feature. Im Gegensatz zu den Rissen vor der FÜK, zeigte sich hier jedoch die Steigung nach der FÜK als zweitwichtigstes Feature, gefolgt vom Alter der FÜK und dem Schwerverkehrsanteil (Abbildung 95).

In Abbildung 96 ist beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden dargestellt und in Abbildung 97 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

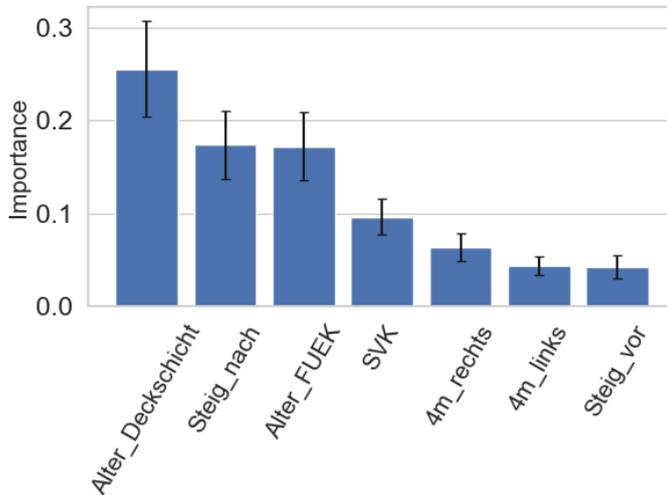


Abbildung 95: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK

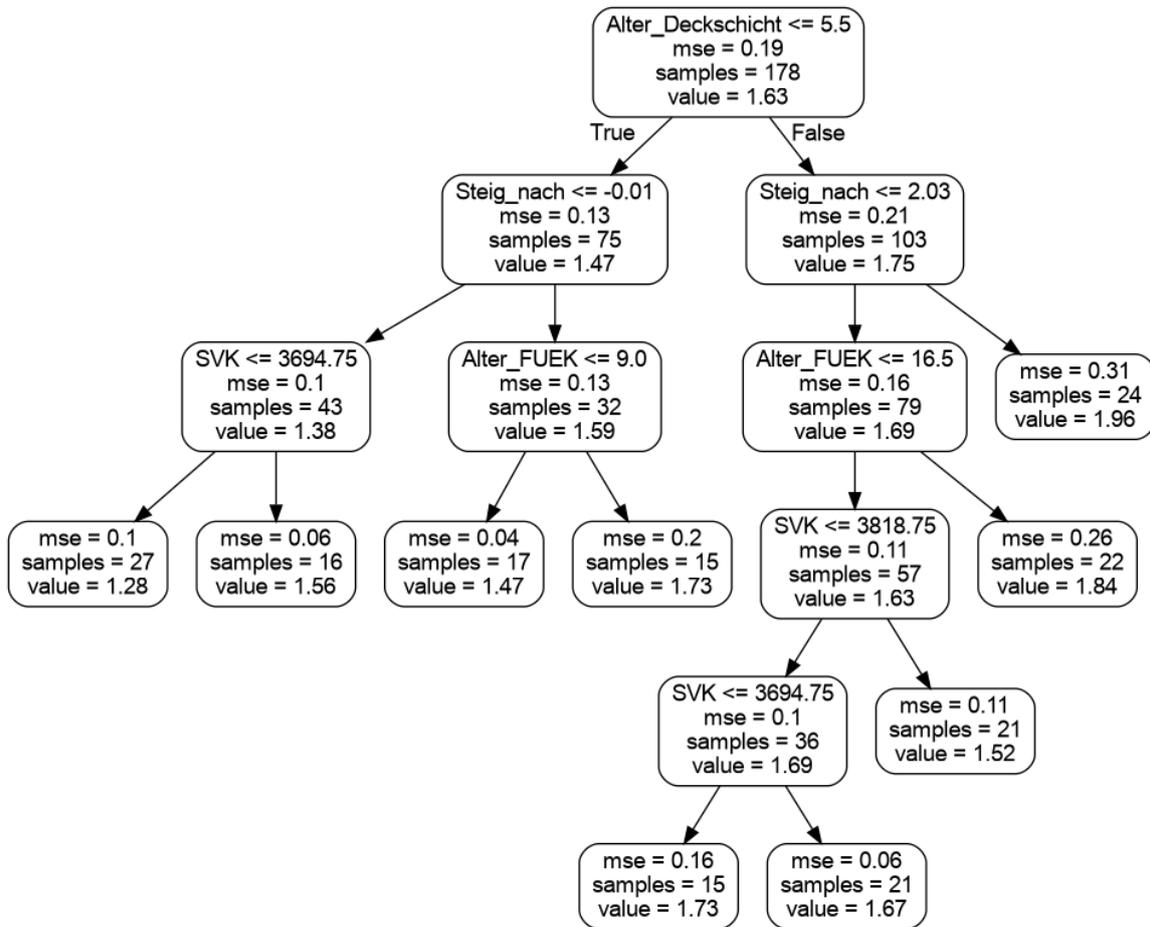


Abbildung 96: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK

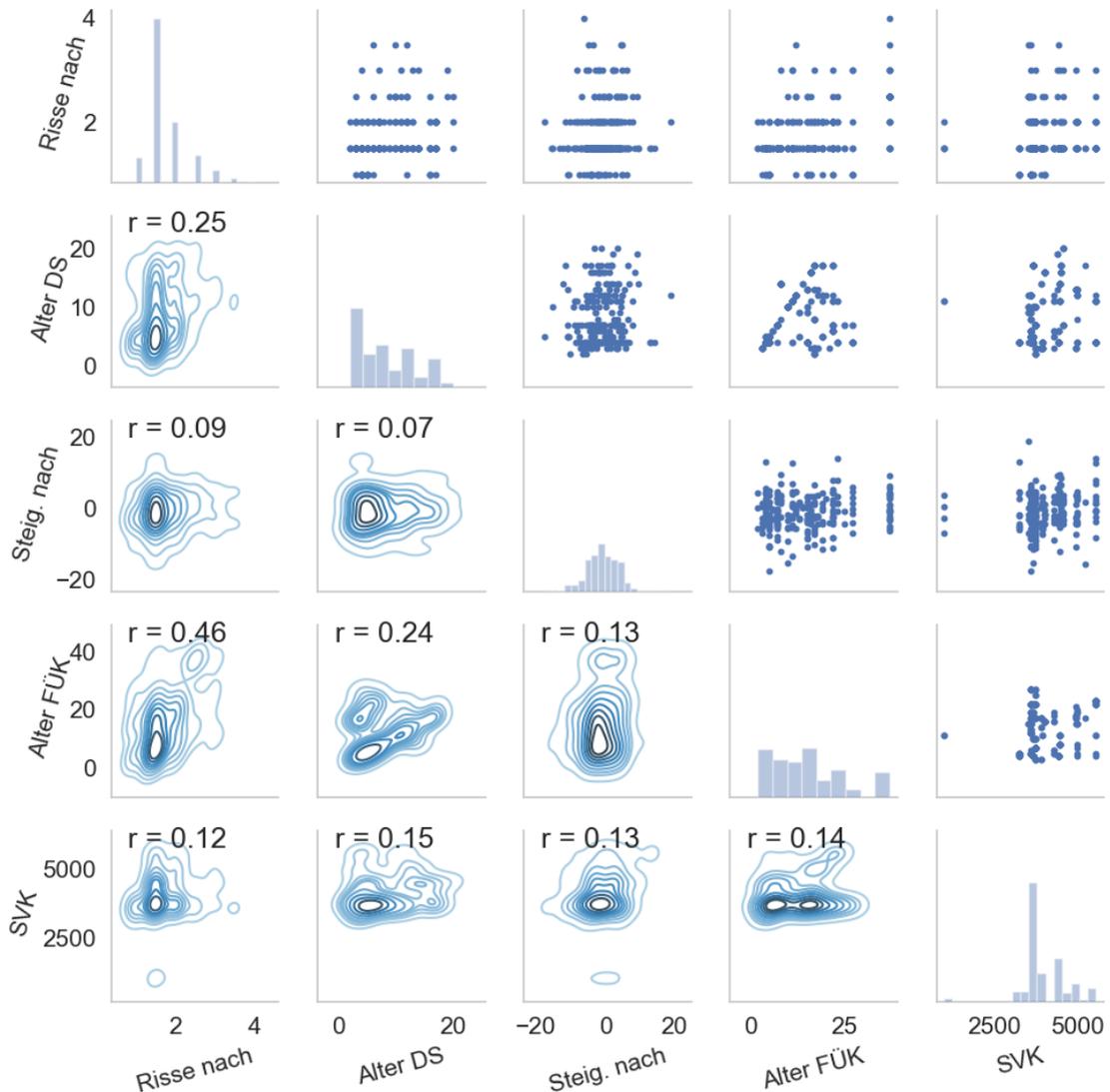


Abbildung 97: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Risse im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.3 Schaden: Risse im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung vor der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 16

Aufgrund der geringen Anzahl an vollständigen Testdatensätzen konnte für diesen Schaden keine Random-Forest Analyse durchgeführt werden.

3.2.9.4 Schaden: Risse im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung nach der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 16

Aufgrund der geringen Anzahl an vollständigen Testdatensätzen konnte für diesen Schaden keine Random-Forest Analyse durchgeführt werden.

3.2.9.5 Schaden: Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 198

Für die Ausbrüche im Anschlussbereich vor der FÜK zeigte sich in der Random-Forest Analyse der Schwerverkehrsanteil als das dominante Feature gefolgt vom Stichmaß der 4m Latte und dem Alter der Fahrbahnübergangskonstruktion. Als viertwichtigstes Feature wurde die Steigung nach der FÜK identifiziert. Dass das Alter der Deckschicht nur eine untergeordnete Rolle spielt, wird damit begründet, dass Ausbrüche in der Regel ausgebessert werden und somit nicht mehr in der Auswertung auftauchen. Vergleiche hierzu Abbildung 98. In Abbildung 99 ist beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden dargestellt und in Abbildung 100 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

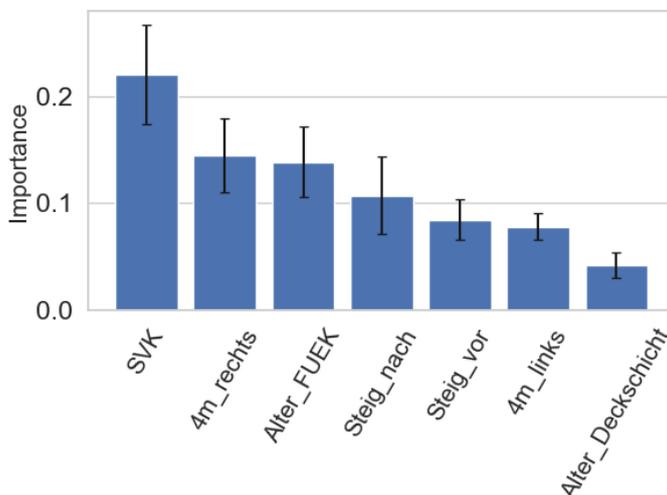


Abbildung 98: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK

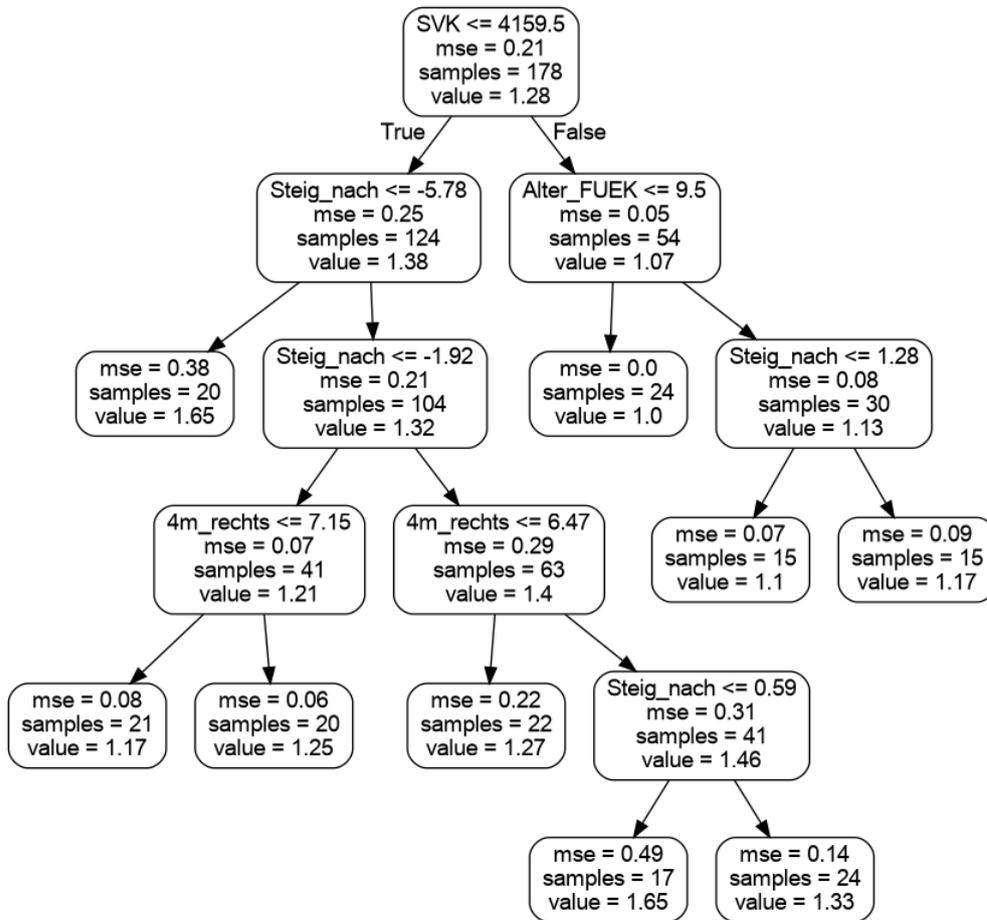


Abbildung 99: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK

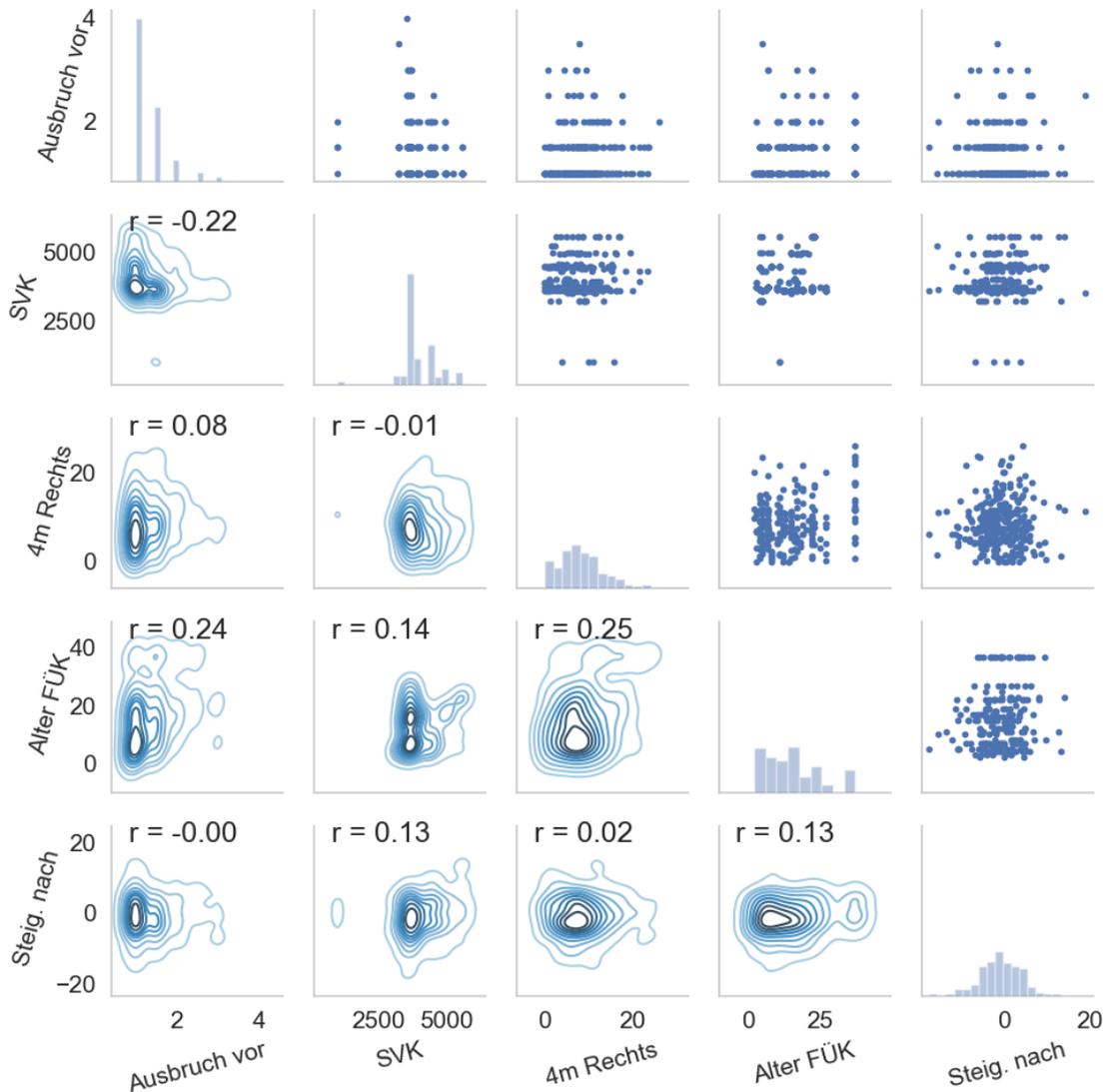


Abbildung 100: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung vor der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.6 Schaden: Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 198

Für die Ausbrüche im Anschlussbereich nach der FÜK zeigten sich in der Random-Forest Analyse der Schwerverkehrsanteil und das Alter der Fahrbahnübergangskonstruktion als die stark dominanten Features gefolgt von den geometrischen Indikatoren der Steigung nach der FÜK und dem Stichmaß der 4m Latte, wobei hier die Wichtigkeit stark zurückgeht. Dass das

Alter der Deckschicht nur eine untergeordnete Rolle spielt, wird damit begründet, dass Ausbrüche in der Regel ausgebessert werden und somit nicht mehr in der Auswertung auftauchen. Vergleiche hierzu Abbildung 101 . In Abbildung 102 ist beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden dargestellt und in Abbildung 103 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

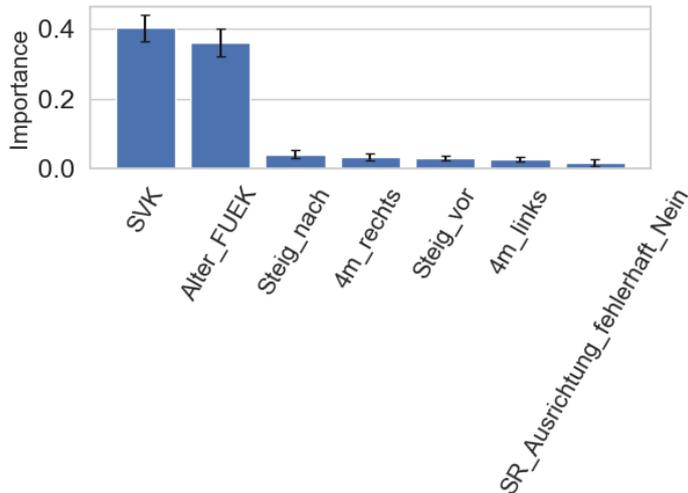


Abbildung 101: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK

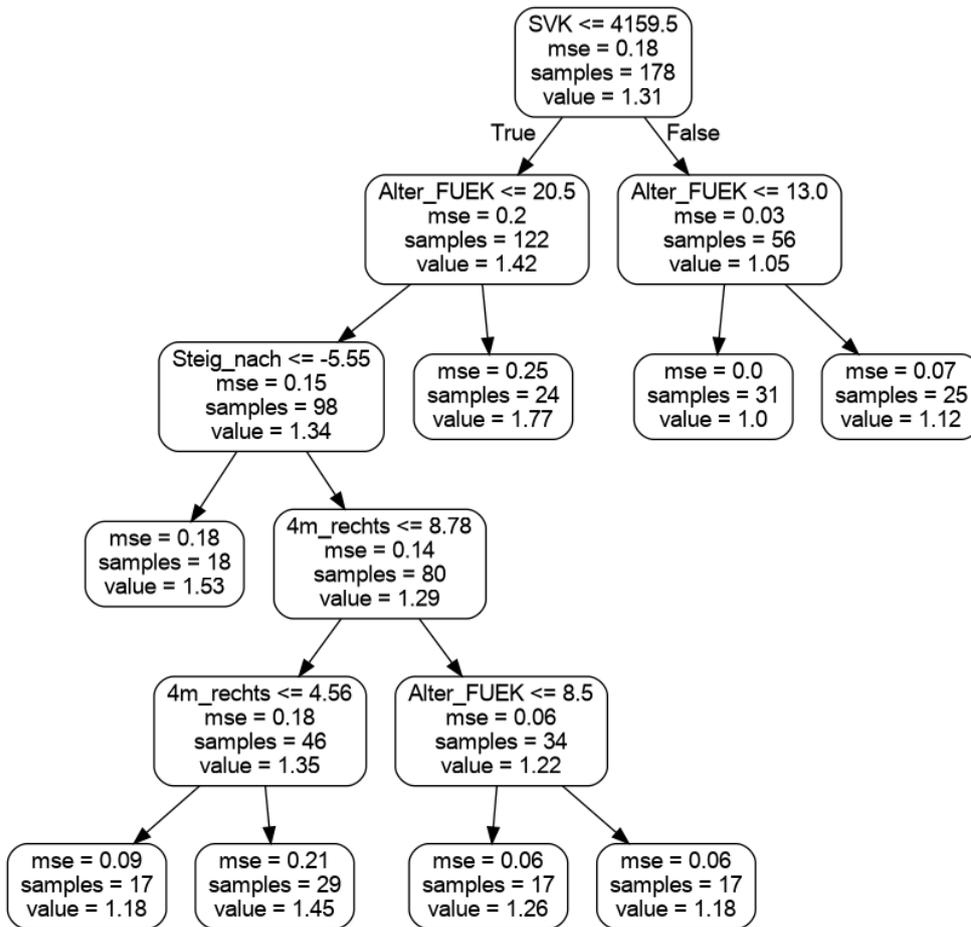


Abbildung 102: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK

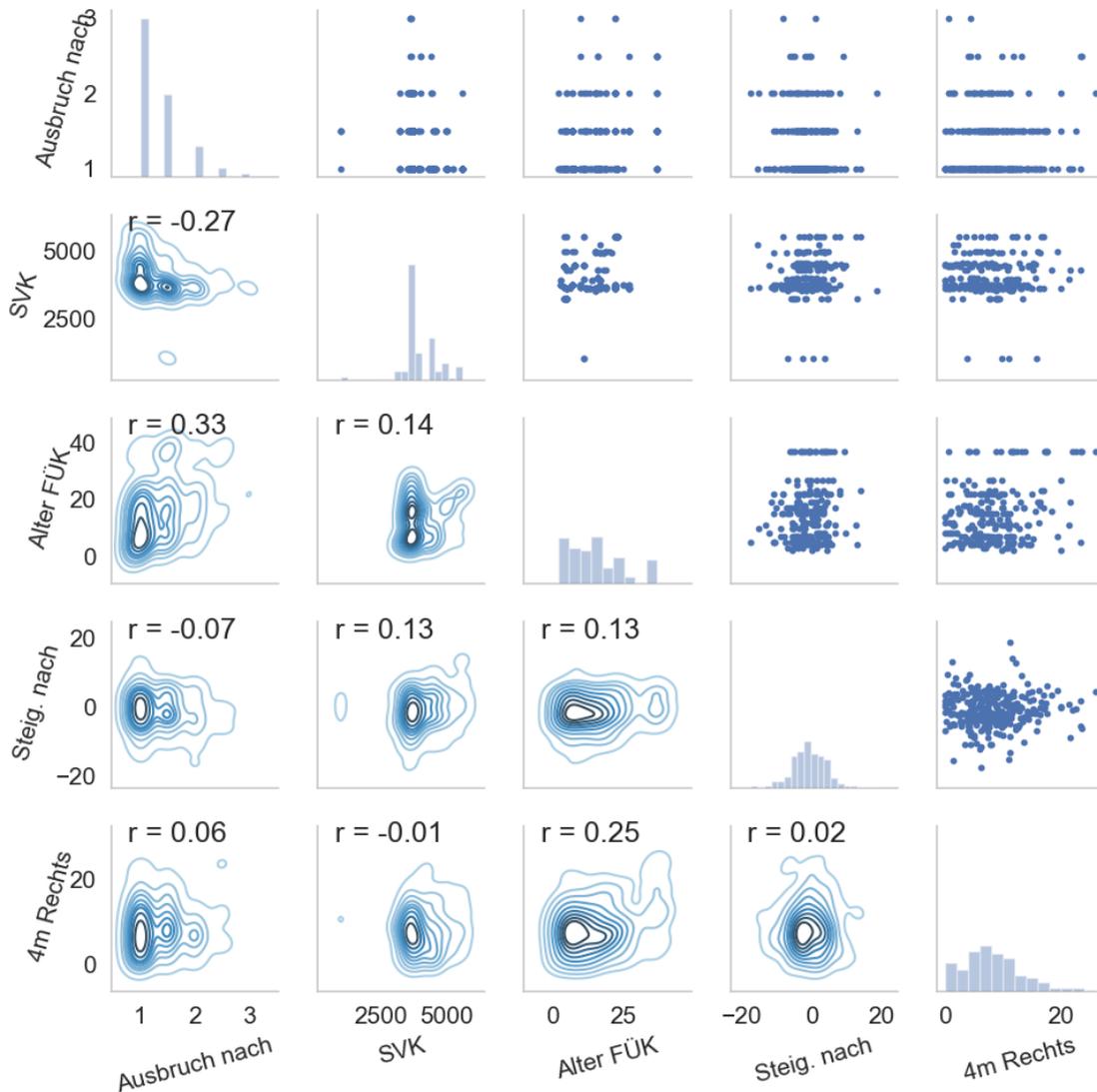


Abbildung 103: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Ausbrüche im Anschlussbereich in Fahrtrichtung nach der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.7 Schaden: Ausbrücke im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung vor der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 16

Aufgrund der geringen Anzahl an vollständigen Testdatensätzen konnte für diesen Schaden keine Random-Forest Analyse durchgeführt werden.

3.2.9.8 Schaden: Ausbrücke im Balken (falls vorhanden) in Fahrtrichtung nach der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 16

Aufgrund der geringen Anzahl an vollständigen Testdatensätzen konnte für diesen Schaden keine Random-Forest Analyse durchgeführt werden.

3.2.9.9 Schaden: Belag in FÜK vertragen in Fahrtrichtung vor der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 198

Für den Schaden von Belagsvertrag in die FÜK zeigten sich in der Random-Forest Analyse die Stichmaße der 4m Latte und das Alter der Deckschicht als die dominierenden Features. Als viertwichtigster Wert zeigte sich das Alter der FÜK, siehe Abbildung 104. In Abbildung 105 ist beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden dargestellt und in Abbildung 106 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

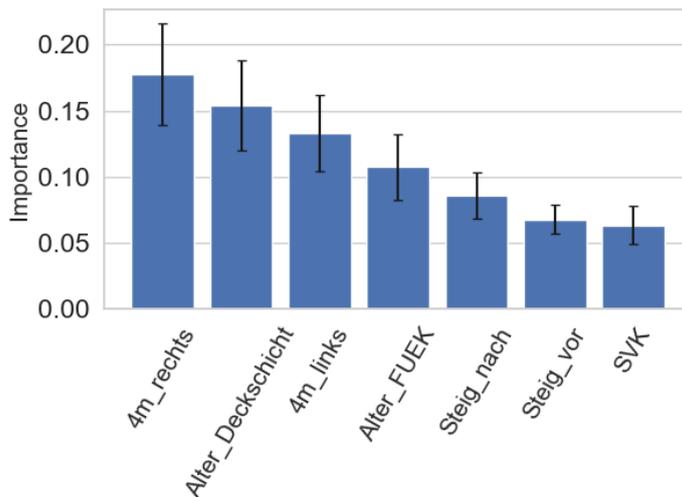


Abbildung 104: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Belag in FÜK vertragen in Fahrtrichtung vor der FÜK

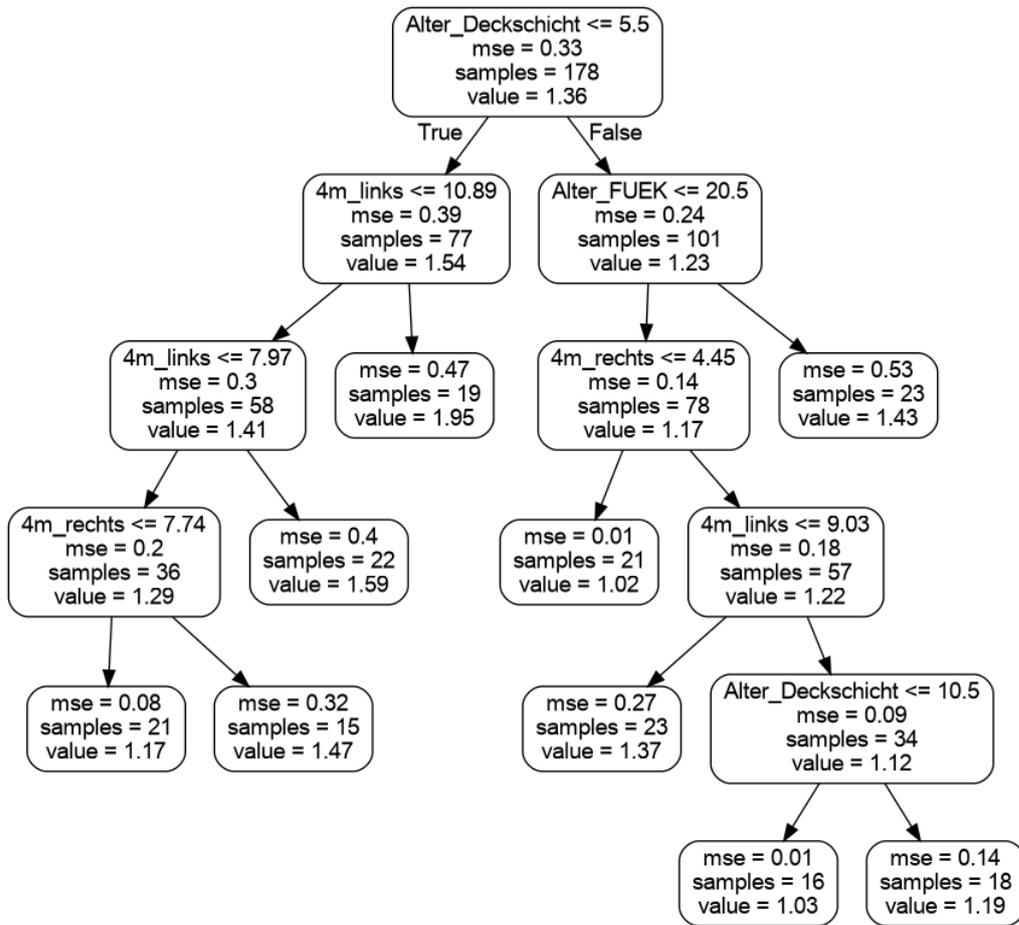


Abbildung 105: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Belag in FÜK verträgen in Fahrtrichtung vor der FÜK

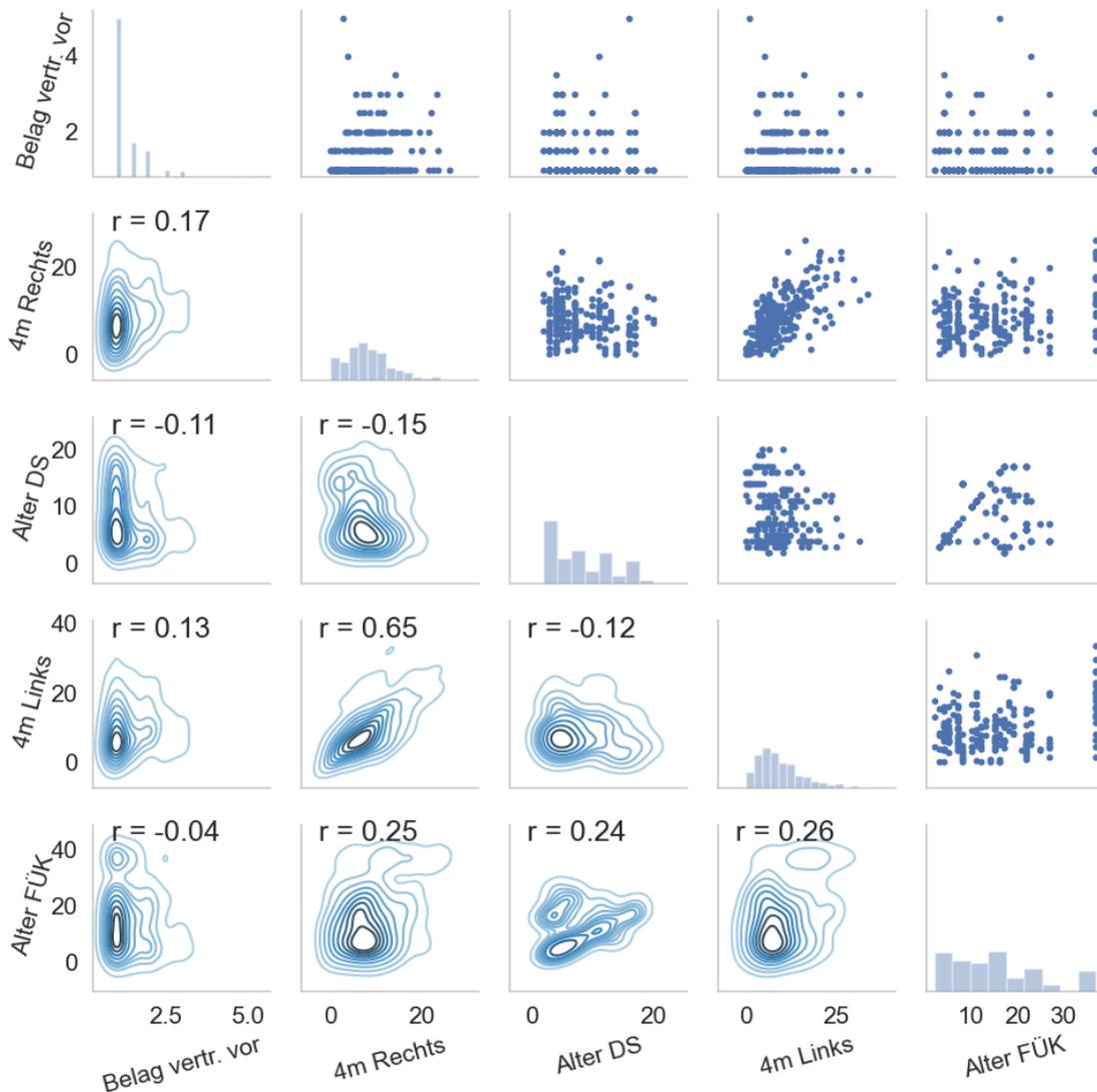


Abbildung 106: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Belag in FÜK verträgen in Fahrtrichtung vor der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.10 Schaden: Beschädigung des Randprofils

Anzahl der Testdatensätze: 184

Für den Schaden der beschädigten Randprofile zeigten sich in der Random-Forest Analyse neben dem Alter von Deckschicht und FÜK auch das Stichmaß der 4m Latte und die Steigung der Fahrbahn in Fahrtrichtung nach der FÜK als wichtigste Features, siehe Abbildung 107. Interessant ist, dass der Schwerverkehrsanteil nicht als wichtige Einflussgröße identifiziert wurde. Dies kann daran liegen, dass Beschädigungen am Randprofil dominant durch Schneepflüge verursacht werden und nicht durch Schwerverkehr an sich. In Abbildung 108 ist

beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden dargestellt und in Abbildung 109 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter. Hier zeigt sich ein schwacher Zusammenhang zwischen dem Alter der FÜK und der Beschädigung am Randprofil mit einem linearen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,37$.

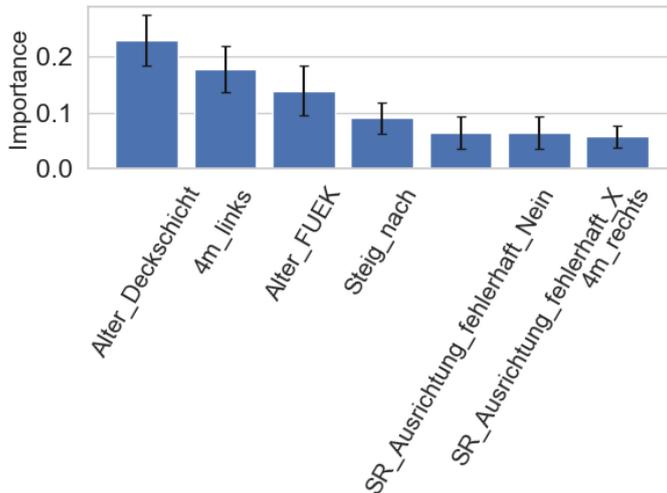


Abbildung 107: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigung des Randprofils

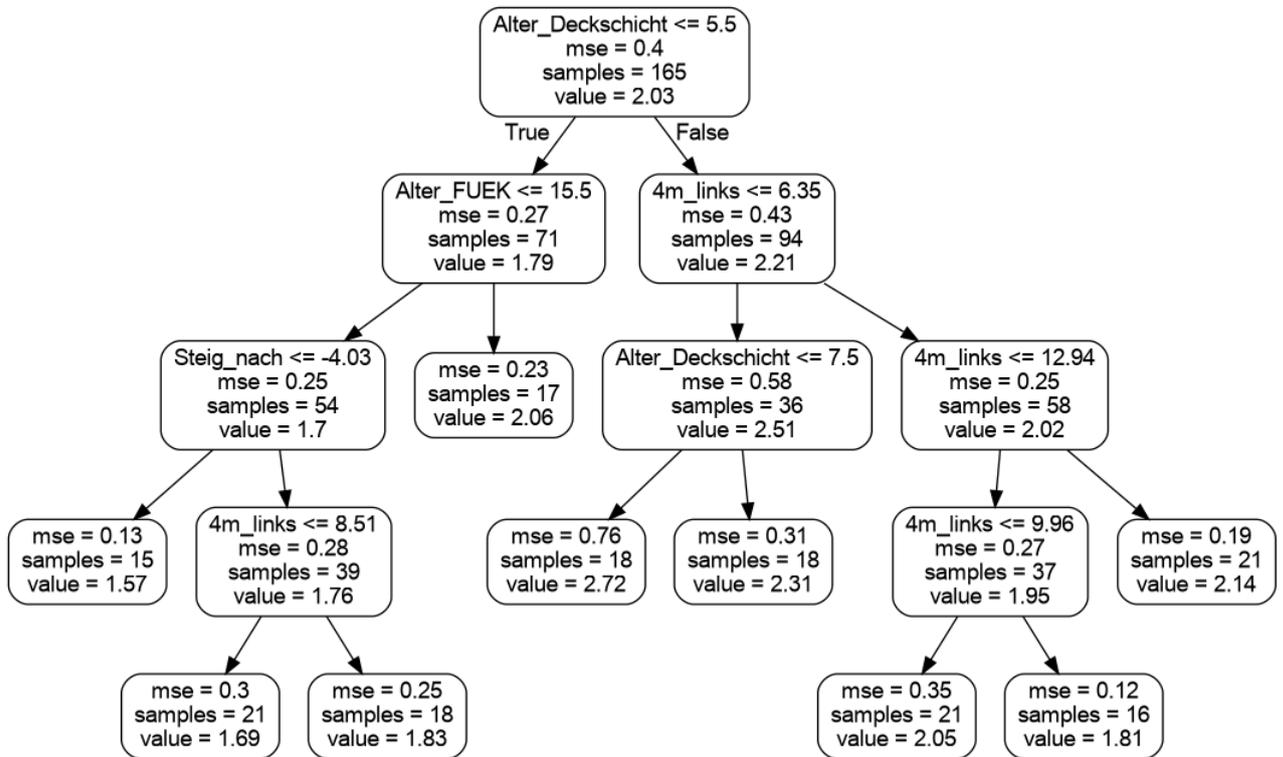


Abbildung 108: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigung des Randprofils

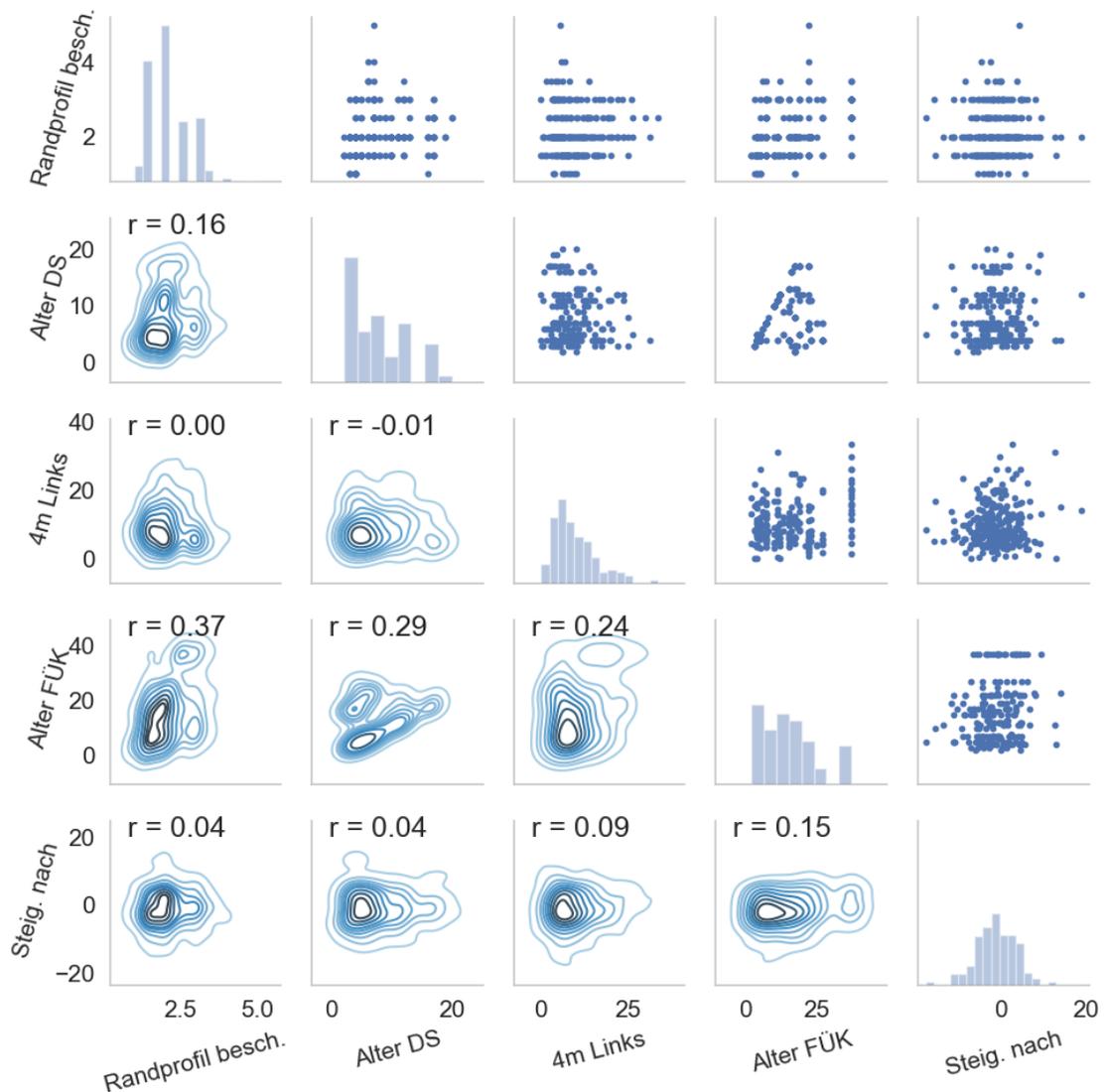


Abbildung 109: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Beschädigung des Randprofils und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.11 Schaden: Beschädigung von Fingern oder Lärminderungen

Anzahl der Testdatensätze: 106

Für den Schaden von beschädigten Fingern oder Lärminderungen zeigte sich in der Random-Forest Analyse eine sehr dominante Wichtigkeit des Schwerverkehrsanteils von ca. 80%. Die drei nächstwichtigen Eingangsparameter zeigen neben dem Alter von Deckschicht, ob es ein Kragfingerübergang ist und der Fahrbahnsteigung vor der FÜK bereits nur noch sehr geringe Wichtigkeiten, siehe hierzu Abbildung 110. In Abbildung 111 ist beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt

wurden dargestellt und in Abbildung 112 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter. Für den Schwerverkehr zeigt sich hier ein linearer Korrelationskoeffizient von $r = 0,50$. Interessanterweise zeigt sich bei der einfachen Korrelationsanalyse hier auch für das Alter der Deckschicht ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,44$.

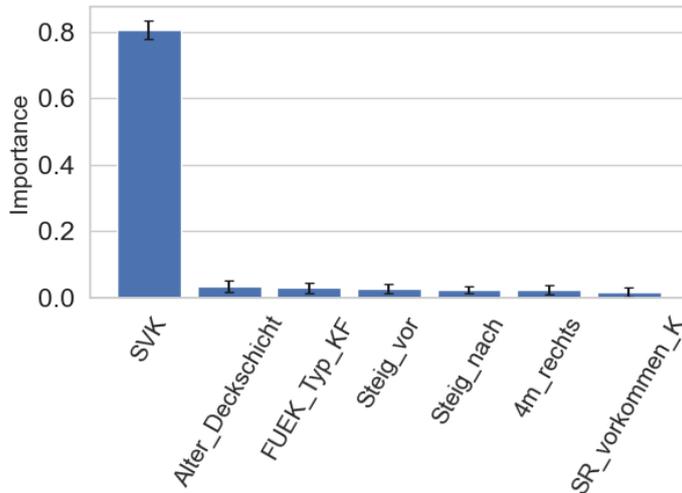


Abbildung 110: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigung von Fingern oder Lärminderungen

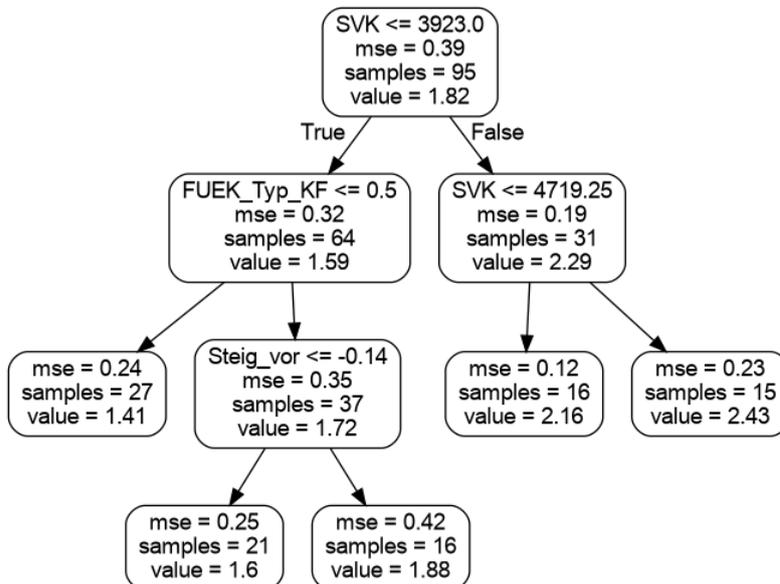


Abbildung 111: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigung von Fingern oder Lärminderungen

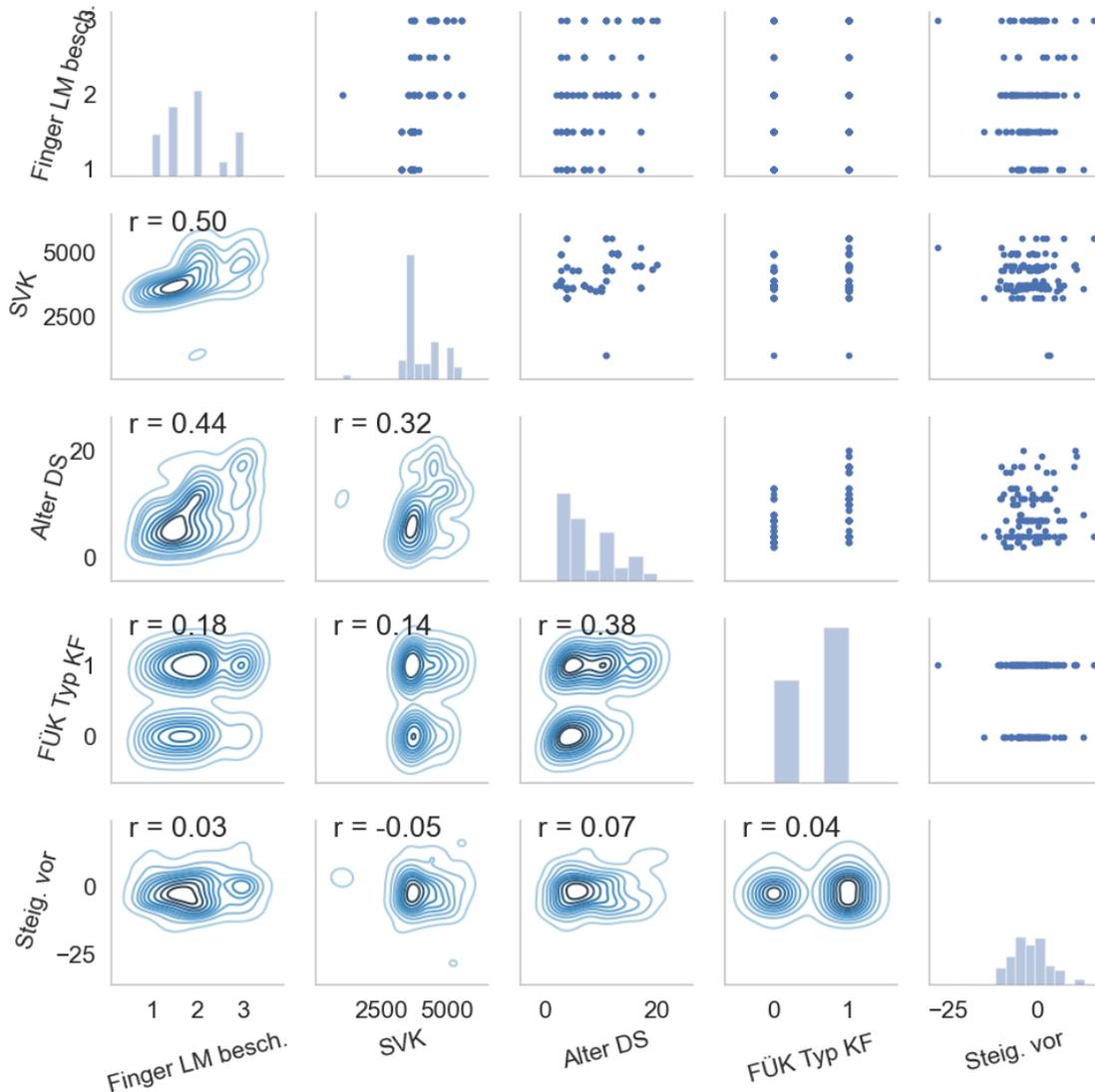


Abbildung 112: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Beschädigung von Fingern oder Lärminderungen und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.12 Schaden: Beschädigte oder fehlende Schrauben bei Fingerkonstruktionen

Anzahl der Testdatensätze: 93

Für den Schaden mit beschädigten oder fehlenden Schrauben wurde grundsätzlich nur mit 1 und 5 bewertet, da auf den Oberflächenbildern nur erkennbar war ob ein Schraubenkopf fehlt oder nicht. Somit war nur bei vereinzelt Konstruktionen eine Bewertung möglich. Konstruktionen, bei denen alle Schrauben vorhanden waren wurden mit 1 bewertet, bei

fehlenden Schrauben wurde mit 5 bewertet. Die Random-Forest Analyse zeigte, dass die Steigung vor der FÜK der wichtigste Eingangsparameter hierfür war. Der nächste Parameter zeigt, ob der Anschluss vorne klar herab oder heraufgezogen ist, oder ob die Situation hier unklar ist. Die nächsten beiden Eingangsparameter sind das Stichmaß der 4m Latte und das Alter der FÜK, siehe auch Abbildung 113. In Abbildung 114 ist beispielhaft ein einzelner Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden dargestellt und in Abbildung 115 der zugehörige Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter. Die sehr hohen Standardabweichungen der einzelnen Wichtigkeiten der Eingangsparameter zeigen, dass diese Auswertung nur bedingt aussagekräftig ist.

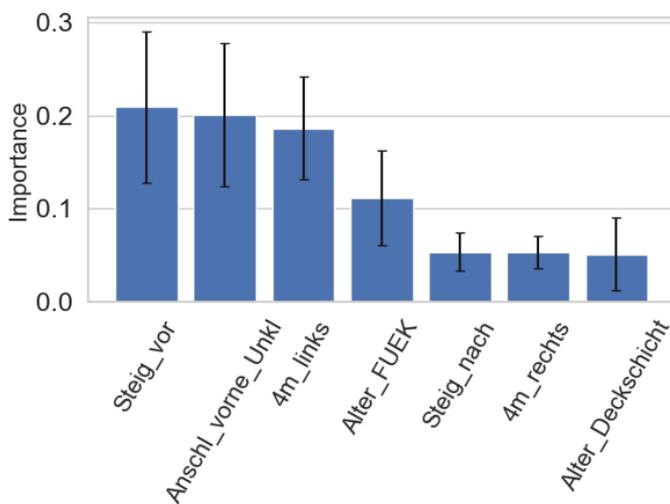


Abbildung 113: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigte oder fehlende Schrauben bei Fingerkonstruktionen

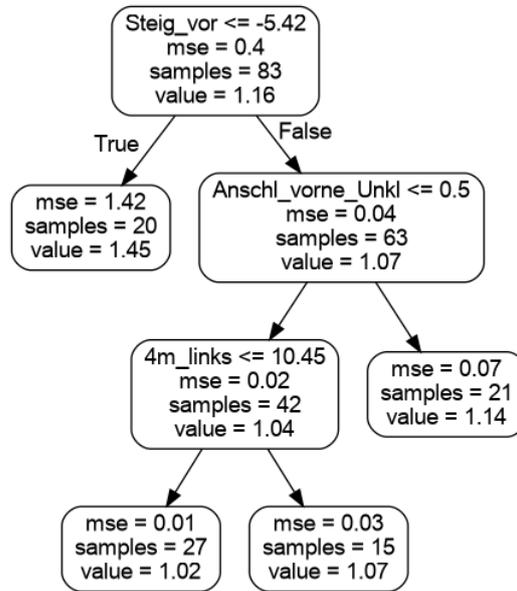


Abbildung 114: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigte oder fehlende Schrauben bei Fingerkonstruktionen

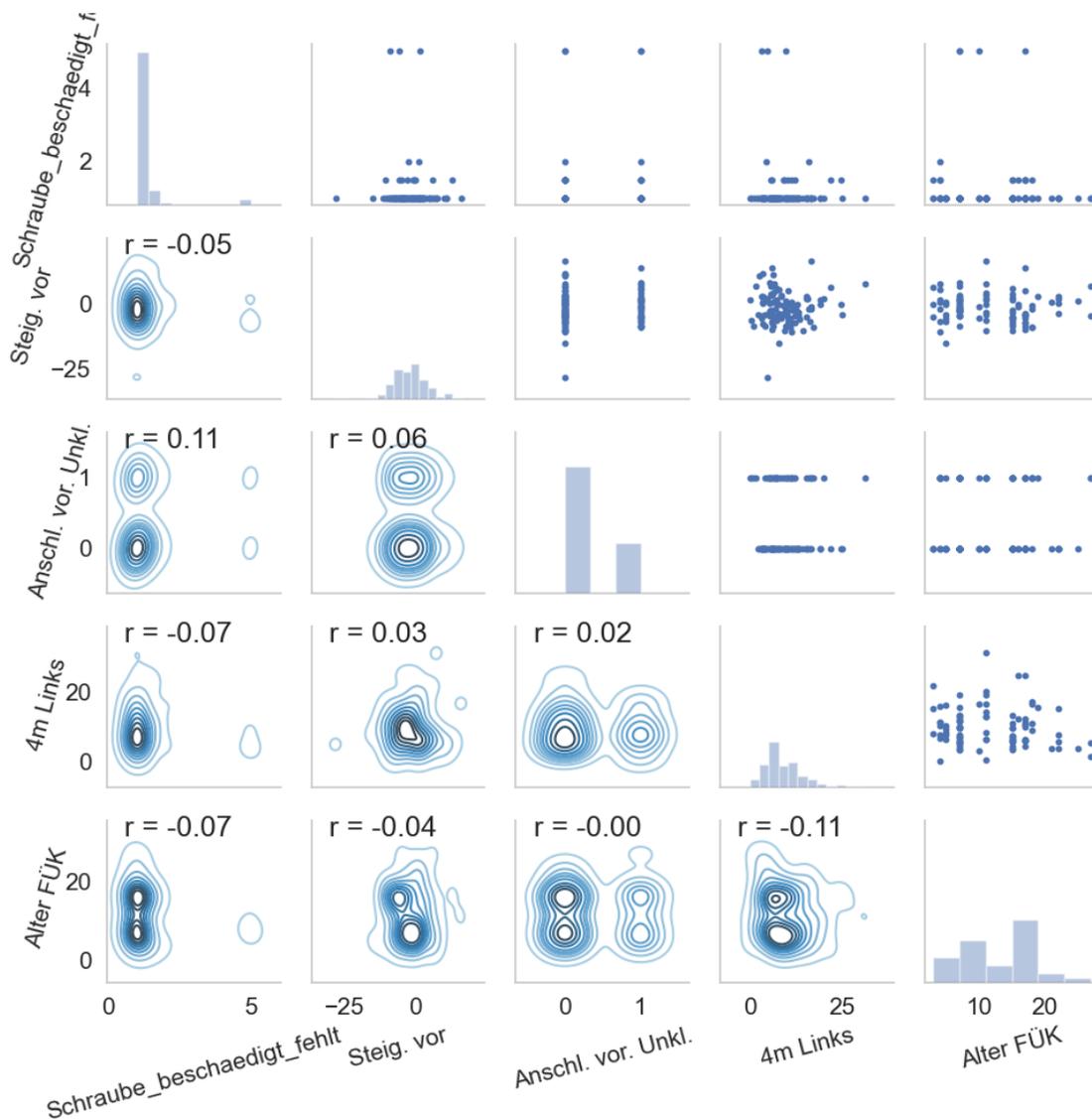


Abbildung 115: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Beschädigte oder fehlende Schrauben bei Fingerkonstruktionen und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.13 Schaden: Schäden an den Lamellen bei modularen Dehnfugen

Anzahl der Testdatensätze: 39

Aufgrund der geringen Anzahl an vollständigen Testdatensätzen konnte für diesen Schaden keine Random-Forest Analyse durchgeführt werden.

3.2.9.14 Schaden: Verschmutzung der Dichtprofile und Konstruktionen

Anzahl der Testdatensätze: 185

Für die Verschmutzung der Dichtprofile und Konstruktionen zeigte sich in der Random-Forest Analyse der Schwerverkehrsanteil erwartungsgemäß als der maßgebende Einfluss. Interessanterweise zeigte sich auch das Vorkommen der Stützrippen als maßgeblicher Einflussparameter auf die Verschmutzung. Die Features „SR_vorkommen_B“ (Stützrippen beiderseits) und „SR_vorkommen_K“ (keine Stützrippen) sind hier, bis auf die wenigen Konstruktionen, welche nur einseitige Stützrippen aufweisen gegengleich. Dies zeigt sich auch durch einen hohen linearen Korrelationskoeffizienten von $r = -0,94$ im Matrix-Scatter Plot (Abbildung 118). Des Weiteren wurde das Alter der FÜK als wichtiger Eingangsparameter identifiziert. Siehe Abbildung 116 für die Gewichtung der einzelnen Importanzen. Abbildung 117 zeigt beispielhaft einen einzelnen Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden und Abbildung 118 den zugehörigen Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

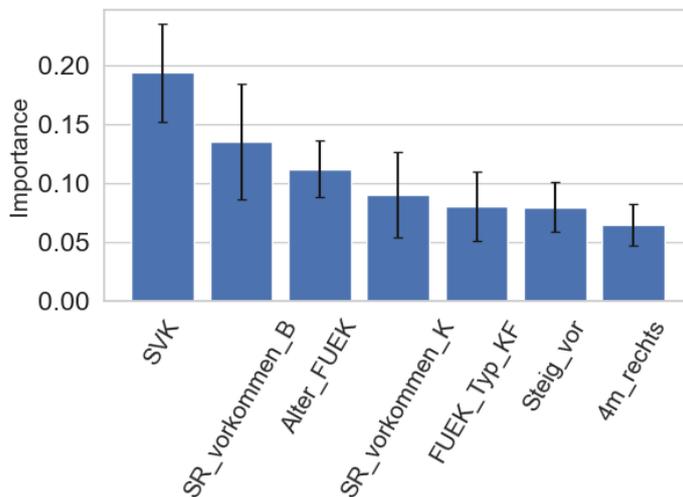


Abbildung 116: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Verschmutzung der Dichtprofile und Konstruktionen

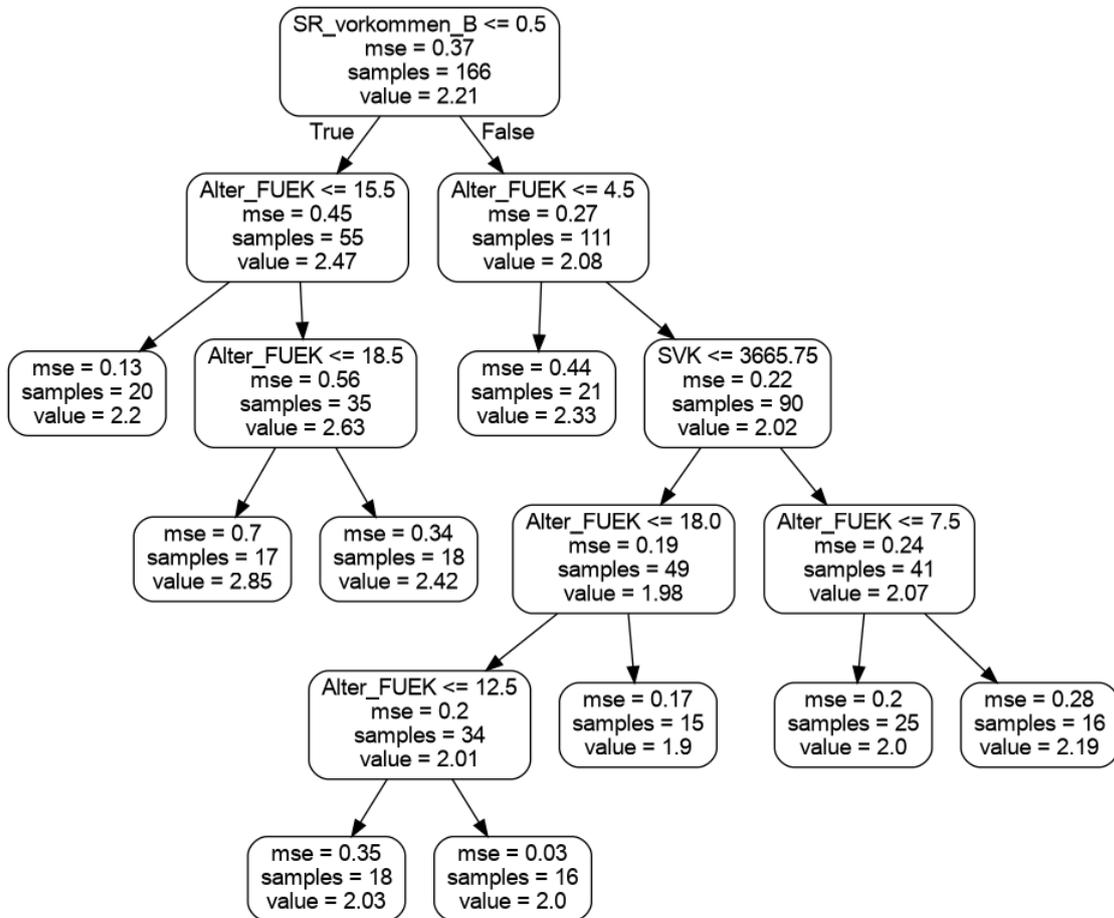


Abbildung 117: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Verschmutzung der Dichtprofile und Konstruktionen

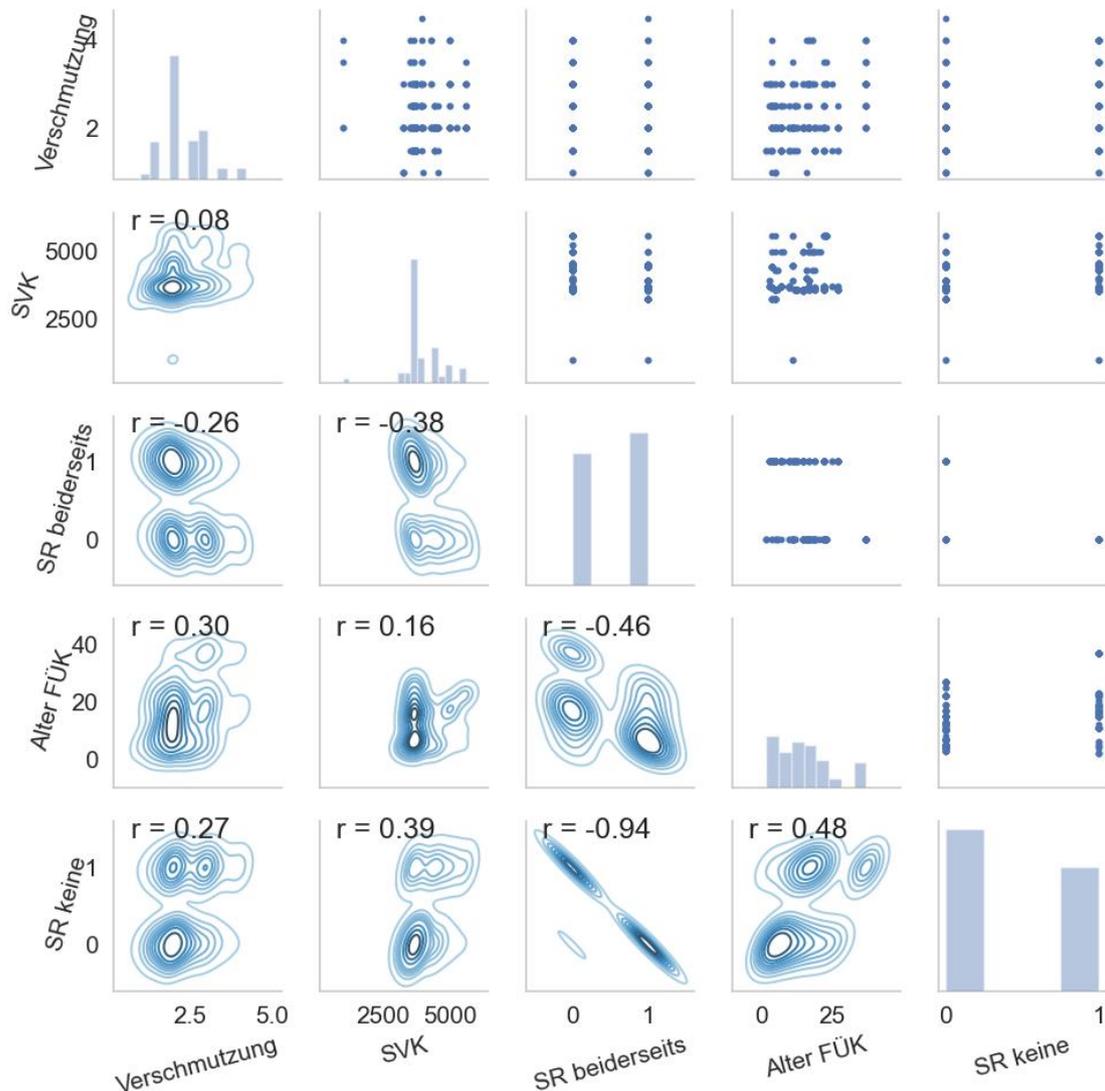


Abbildung 118: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Verschmutzung der Dichtprofile und Konstruktionen und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.15 Schaden: Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung vor der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 126

Für die Beschädigungen an den Stützrippen in Fahrtrichtung vor der FÜK zeigte sich in der Random-Forest Analyse das Alter der Deckschicht als die mit Abstand wichtigste Eingangsgröße mit Abstand gefolgt vom Schwerverkehrsanteil und den geometrischen Parametern der Steigung vor der FÜK und dem Stichmaß der 4m Latte, siehe hierzu Abbildung 119 für die Gewichtung der einzelnen Eingangsparameter. Abbildung 120 zeigt beispielhaft

einen einzelnen Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden und Abbildung 121 den zugehörigen Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

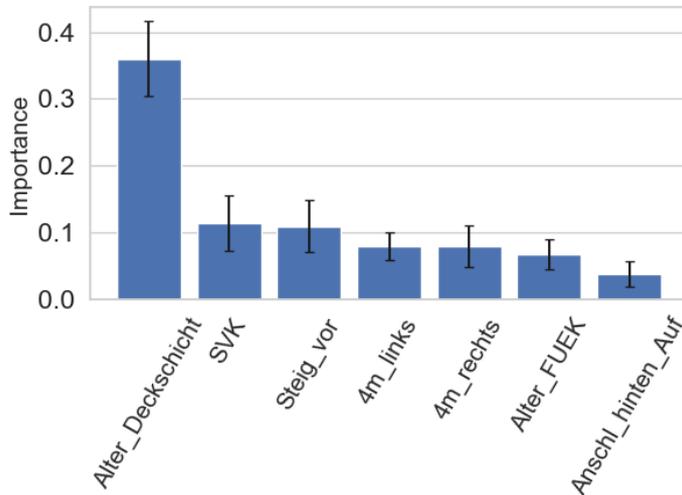


Abbildung 119: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigung an Stützrippen in Fahrtrichtung vor der FÜK

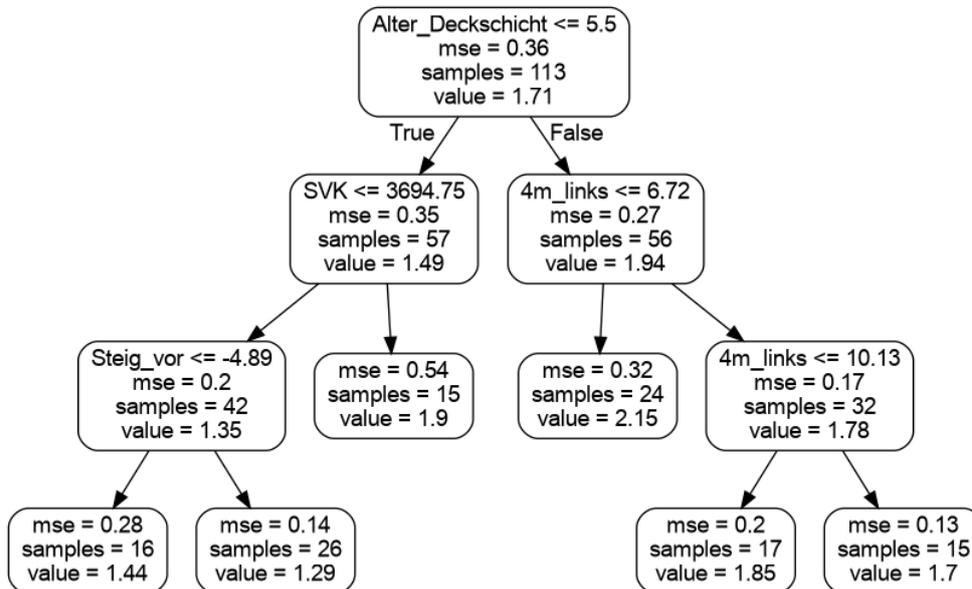


Abbildung 120: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigung an Stützrippen in Fahrtrichtung vor der FÜK

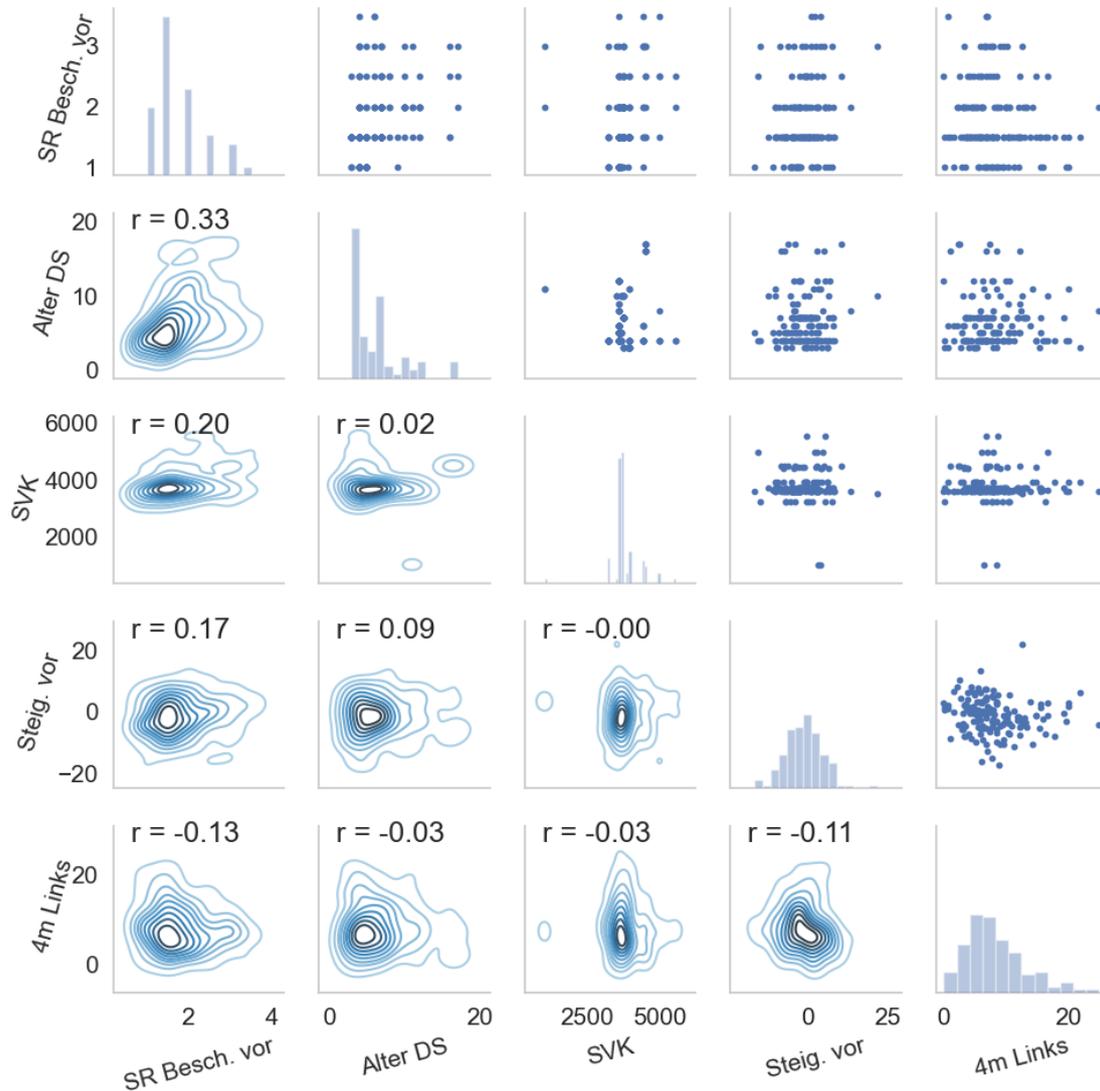


Abbildung 121: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung vor der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.16 Schaden: Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung nach der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 123

Für die Beschädigungen an den Stützrippen in Fahrtrichtung nach der FÜK zeigte sich in der Random-Forest Analyse das Alter der Deckschicht als die mit Abstand wichtigste Eingangsgröße mit Abstand gefolgt von der Steigung vor der FÜK, dem Alter der FÜK und dem Schwerverkehrsanteil, siehe hierzu Abbildung 122 für die Gewichtung der einzelnen Eingangsparameter. Abbildung 123 zeigt beispielhaft einen einzelnen Entscheidungsbaum,

bei welchem nur die vier wichtigsten Features berücksichtigt wurden und Abbildung 124 den zugehörigen Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

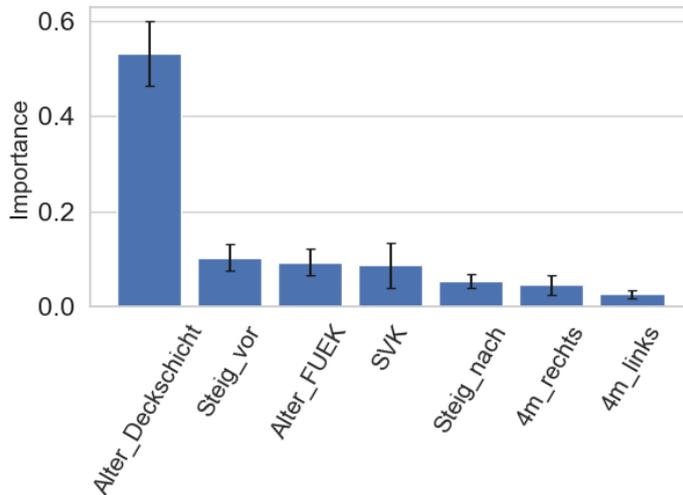


Abbildung 122: Importanzen Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung nach der FÜK

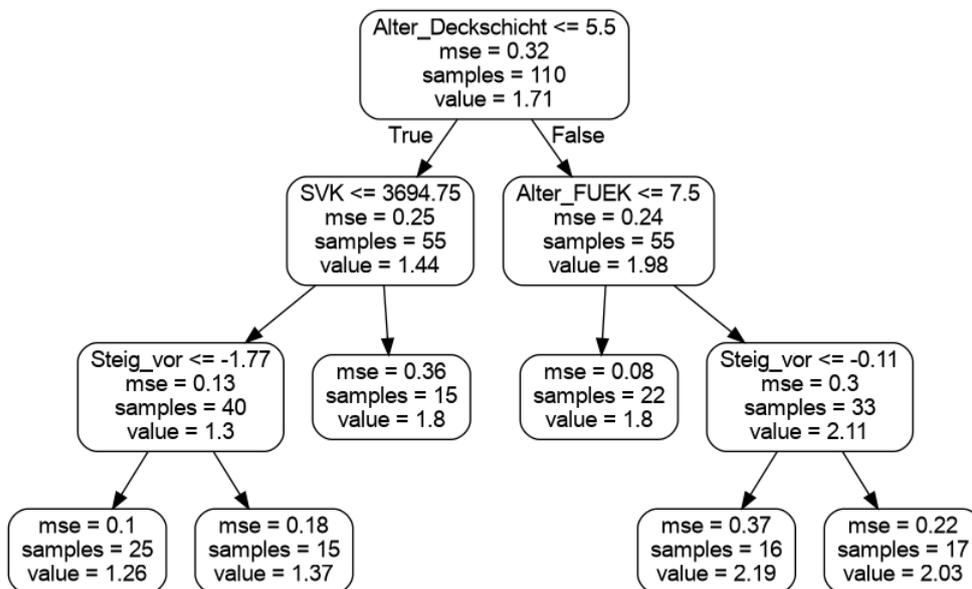


Abbildung 123: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für Schaden Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung nach der FÜK

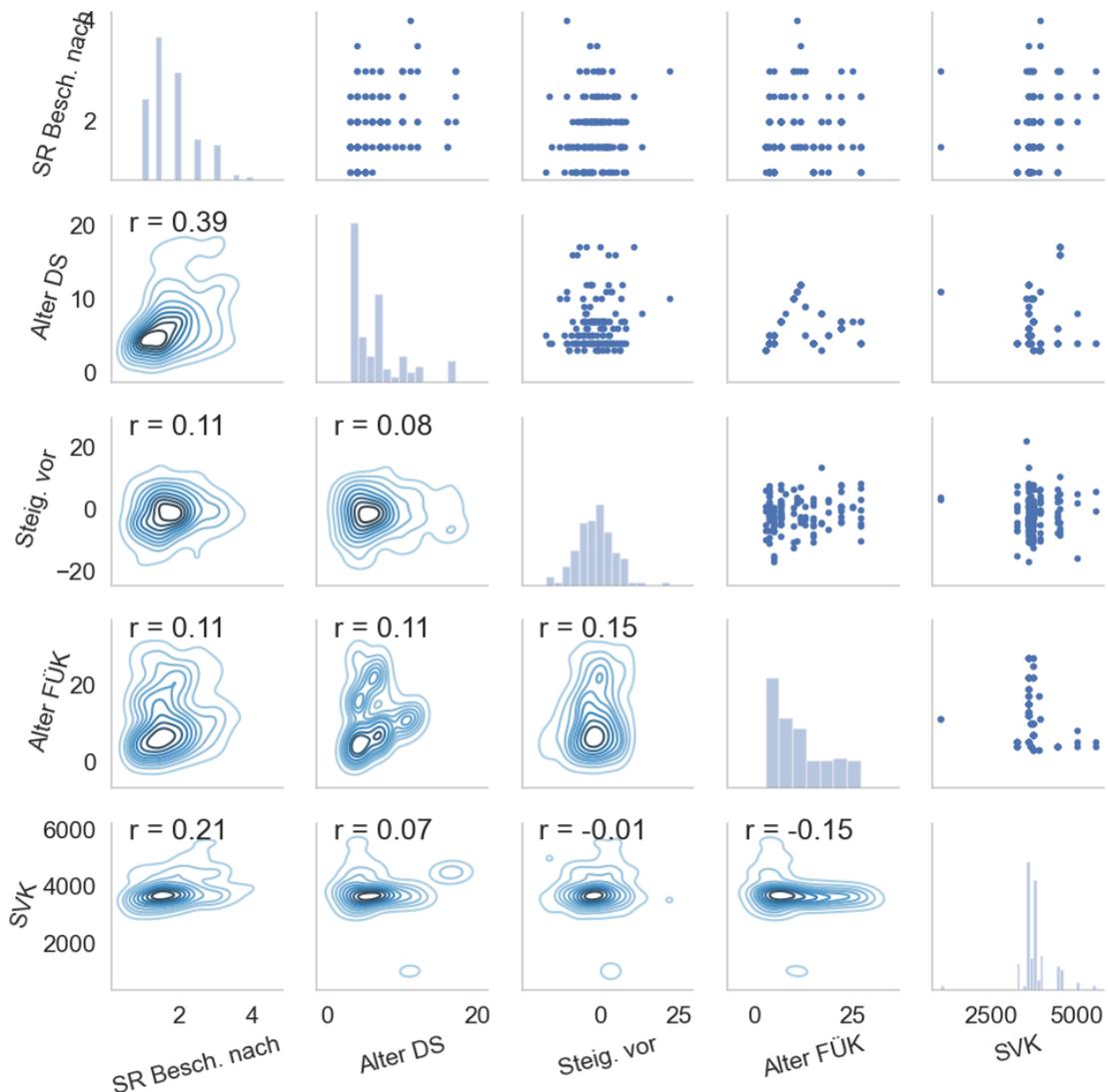


Abbildung 124: Matrix-Scatter-Plot für Schaden Beschädigungen an Stützrippen in Fahrtrichtung nach der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.9.17 RVS-Bewertung der FÜK

Anzahl der Testdatensätze: 123

Für die vergebenen RVS-Bewertungen der FÜK im Zuge der Brückenprüfungen zeigte sich in der Random-Forest Analyse der Schwerverkehrsanteil als der maßgebliche Einflussparameter gefolgt vom geometrischen Kennwert des Stichmaßes der 4m Latte. Mit geringerem Einfluss folgen dann die Einflussparameter des Alters der Deckschicht und dann erst der FÜK selbst. Siehe hierzu Abbildung 125 für die Gewichtung der einzelnen Eingangsparameter. Abbildung 126 zeigt beispielhaft einen einzelnen Entscheidungsbaum, bei welchem nur die vier

wichtigsten Features berücksichtigt wurden und Abbildung 127 den zugehörigen Matrix-Scatter Plot für die vier wichtigsten Parameter.

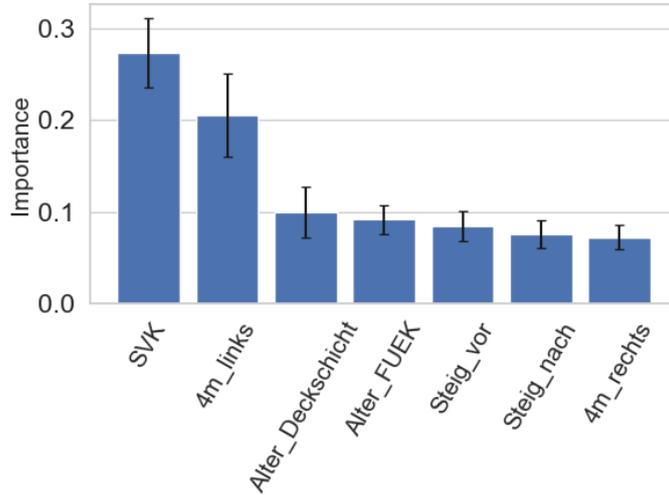


Abbildung 125: Importanzen Random-Forest Analyse für die RVS-Bewertung der FÜK

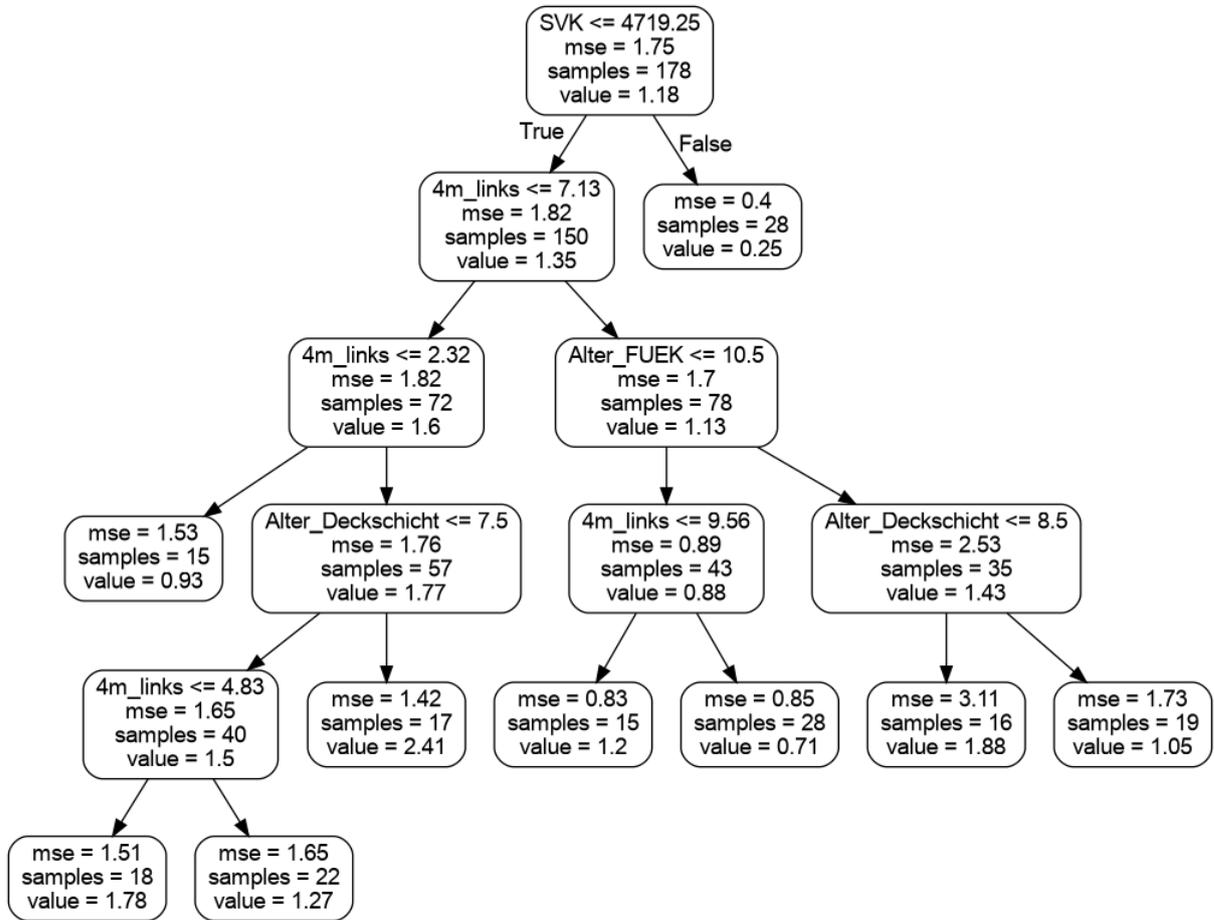


Abbildung 126: Einzelner Entscheidungsbaum berechnet mit den vier wichtigsten Parametern aus der Random-Forest Analyse für die RVS-Bewertung der FÜK

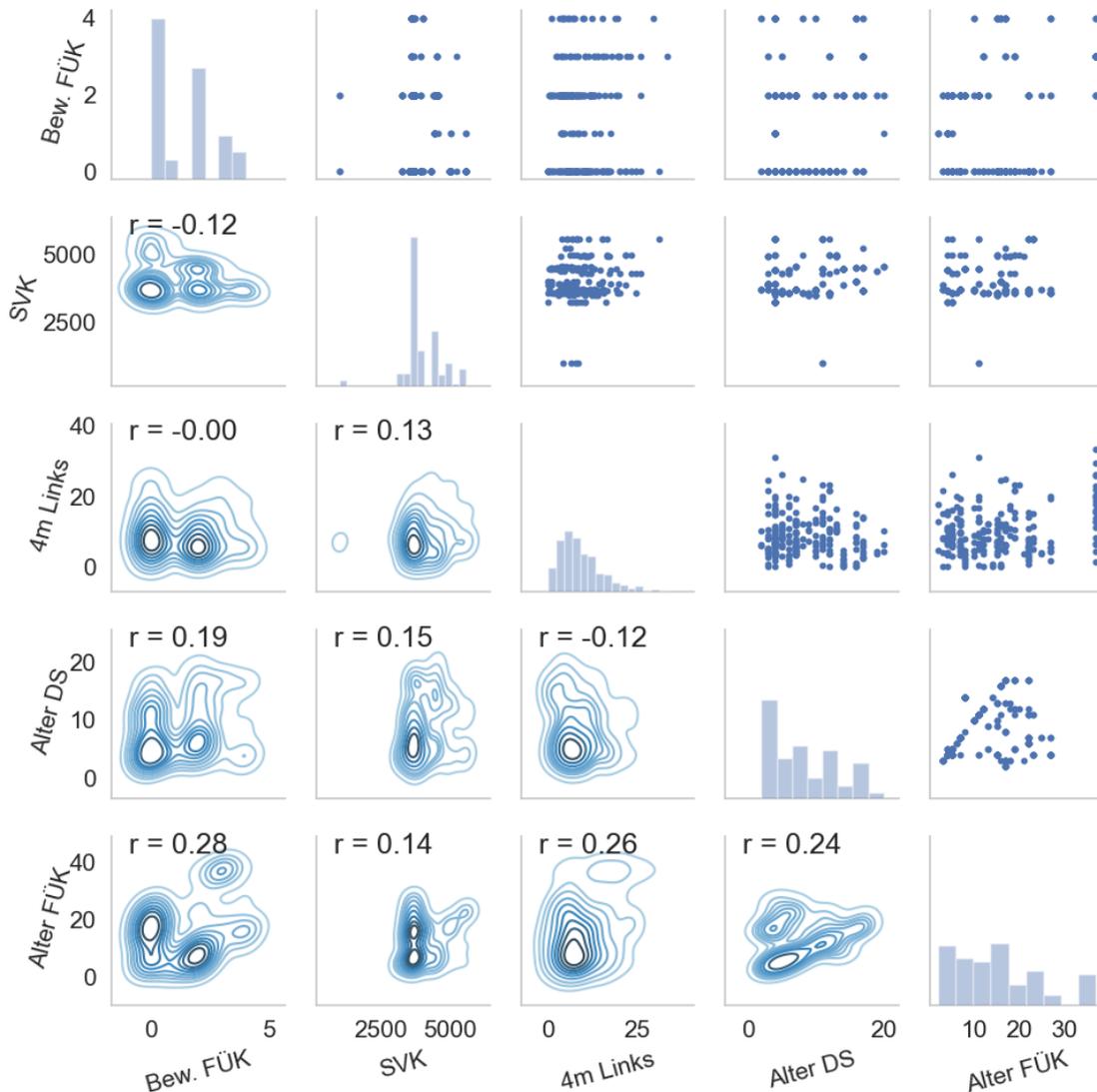


Abbildung 127: Matrix-Scatter-Plot die RVS-Bewertung der FÜK und die vier Features mit der höchsten Importanz der Random-Forest Analyse

3.2.10 Zusammenfassung der statistischen Auswertung

Insgesamt zeigte sich bei den einzelnen Importanzen der Random-Forest Analyse oftmals eine hohe Streuung, was ein Hinweis darauf sein kann, dass zu wenige Datensätze für klare Aussagen vorhanden waren, wesentliche Parameter für die einzelnen Schäden nicht in den Features enthalten waren, die Schadensursachen nicht eindeutig sind und auch, dass die Datenqualität selbst einer hohen Streuung unterliegt. Einzelne Ergebnisse werden im Folgenden angeführt:

- Für Risse im Anschlussbereich zeigte sich vor allem das Alter der Deckschicht als maßgebend, während für Ausbrüche der Schwerverkehrsanteil eine höhere Wichtigkeit in der statistischen Auswertung zeigte.
- Bei Beschädigungen der Randprofile, welche oftmals von Schneepflugschäden stammen, zeigte sich das Alter der Deckschicht als wichtigster Eingangsparameter, dies wird derart interpretiert, dass die Deckschichten mit steigendem Alter Spurrinnen ausbilden bzw. sich absenken wodurch die Anfälligkeit von Schneepflugschäden steigt. Das Stichmaß der 4m Latte lag von der Wichtigkeit hier noch vor dem Alter der FÜK. Die Wichtigkeit des Stichmaßes für diesen Schaden lässt sich auch aus geometrischen Überlegungen begründen. Interessant ist hier vor allem, dass der Schwerverkehrsanteil keinen Einfluss auf die Beschädigungen der Randprofile hat, auch dies ist ein Zeichen dafür, dass die Schäden hauptsächlich von Schneepflugfahrten stammen welche unabhängig vom Schwerverkehrsanteil sind.
- Bei Schäden von Fingern und Lärminderungen zeigte sich der Schwerverkehrsanteil mit ca. 80% relativer Wichtigkeit als der absolut dominierende Einfluss. Weitere Eingangsparameter sind weit abgeschlagen. Bei einer gesamten Samplegröße von 106 Eingangsdatensätzen sind hier auch die Streuungen relativ gering.
- Bei Beschädigungen an Schrauben zeigen sich geometrische Indikatoren als am wichtigsten. Jedoch gibt es hier sehr große Streuungen und da insgesamt nur bei vier Kragfingerkonstruktionen überhaupt Schäden festgestellt wurden wird diese Auswertung als nicht aussagekräftig angesehen.
- Bei Verschmutzungen zeigte sich erwartungsgemäß der Schwerverkehrsanteil als maßgeblich. Interessant ist, dass das vorhanden sein von Stützrippen als zweitwichtigster Eingangsparameter ermittelt wurde. Dies deutet darauf hin, dass Konstruktionen mit Stützrippen tendenziell weniger verschmutzen.
- Bei Beschädigungen von Stützrippen ist das Alter der Deckschicht der absolut dominierende Eingangsparameter. Weitere Parameter wie Schwerverkehrsstärke und geometrische Randbedingungen haben nur einen geringeren Einfluss.
- Für die Gesamtbewertung der Fahrbahnübergangskonstruktionen, welche im Rahmen der Brückenprüfungen nach RVS erhoben wurden zeigte sich der Schwerverkehrsanteil als dominanter Eingangsparameter gefolgt vom Stichmaß der 4m Latte.

Insgesamt zeigte sich erwartungsgemäß, dass die von den Infrastrukturbetreibern zur Verfügung gestellten Daten zum Alter der Konstruktionen und der Deckschichten sowie zum Schwerverkehrsaufkommen auf den einzelnen Strecken oftmals den maßgeblichen Einfluss auf Schädigungen an den Fahrbahnübergangskonstruktionen und den Anschlussbereichen darstellten. Bei den geometrischen Randbedingungen zeigte sich vor allem das Stichmaß der 4m Latte als ein Indikator mit hoher Wichtigkeit für Schäden. Dieses Maß ist auch vor Ort einfach zu messen und sollte somit bei der Abnahme auch genau kontrolliert werden.

4 AP3: NUMERISCHE PROGNOSE DER LEBENSDAUER DER FÜK

4.1 Einleitung und Problemstellung

Ziel von AP3 liegt in der Prognose der relativen Auswirkungen unterschiedlicher Geometrien der Anschlussbereiche auf die Lebensdauer von FÜK.

Hierbei werden zuerst generische Modelle zweier FÜK (Finger- sowie modulare Dehnfuge) erstellt, welche häufige Konstruktionen repräsentieren sollen. Die Modelle werden derart konstruiert, dass häufige Schadensstellen gut abgebildet werden (z.B. Schraubverbindungen Fingerplatte).

Basierend auf den Erkenntnissen zur Geometrieausbildung in der Radspur werden nun numerische Überfahrtsberechnungen mit Hilfe eines bereits in Vorgängerprojekten entwickelten LKW-Modells durchgeführt. Mit den Überfahrtsberechnungen werden für unterschiedliche Geometrien in der Radspur die auftretenden Spannungsschwingbreiten in den während der Modellerstellung definierten Schadensstellen der generischen FÜK berechnet und darauf basierend auf den, dem jeweiligen Detail entsprechenden Kerbfall, eine Abschätzung der relativen Lebensdauer mittels Ermüdungsnachweis getroffen.

Die erhaltenen relativen Lebensdauern der FÜK-Details werden im Anschluss als Ergebnisse einer Random-Forest Analyse mit den schon in AP2 verwendeten geometrischen Eingangsparametern verwendet. Das Ziel dieser Random-Forest Analyse ist es den Zusammenhang zwischen Geometrischer Ausführung des Anschlussbereiches und der prognostizierten (relativen) Lebensdauer der Konstruktion mit Hinblick auf Ermüdung aufzuzeigen und stellt Ergebnis E3.1 des Projektantrages dar.

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes sind relativ in Bezug zueinander zu interpretieren und nicht als Absolutwerte der Lebensdauer zu verstehen.

4.2 Generische FÜK Modelle

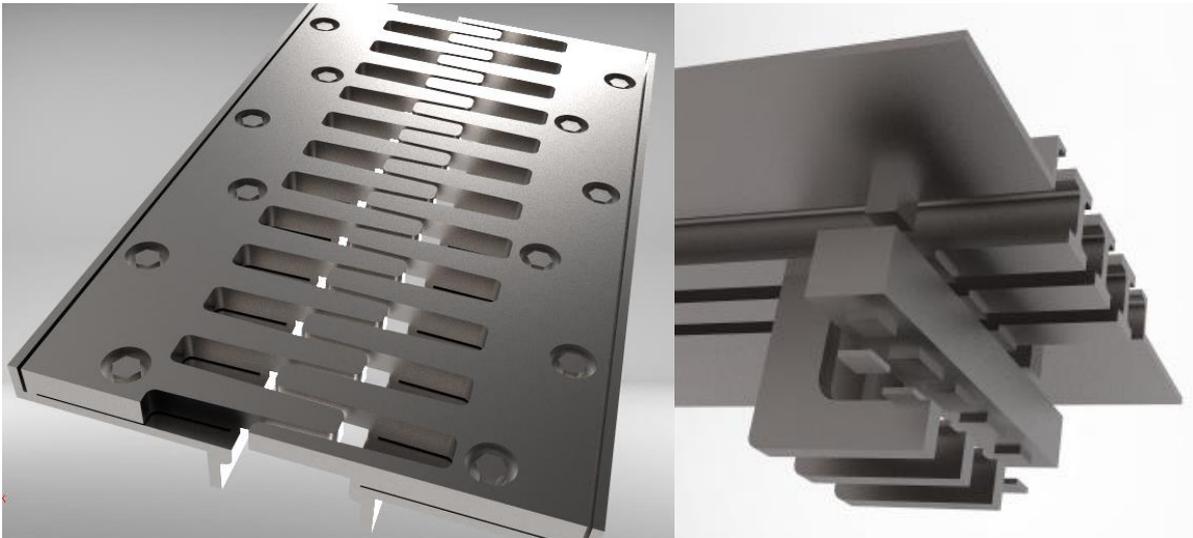


Abbildung 128: Visualisierung der modellierten FÜK; links: Kragfingerübergang, rechts: modulare Dehnfuge

Aufbauend auf gängigen Ausführungen von FÜKs wurden zwei generische FÜK Typen für die Berechnungen gewählt, welche detailliert modelliert wurden. Einerseits ein Kragfingerübergang, andererseits eine modulare Dehnfuge mit drei Lamellen. Die generischen FÜK Modelle sind in Abbildung 128 abgebildet.

In weiterer Folge können die Modelle entsprechend häufig auftretender Schädigungen (z.B. Vorspannkraftverlust in den Schrauben oder Unebenheiten zwischen Fingerplatten und Auflagefläche) verändert werden, um die Auswirkungen auf die prognostizierte Lebensdauer zu untersuchen.

Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Aussagen nur relativ zu sehen sind und keine Aussage über absolute Lebensdauern von FÜK im Netz der Infrastrukturbetreiber darstellen. Einerseits werden die Spannungsschwingbreiten auf Basis eines einzelnen LKW-Modelles ermittelt, welches nicht unbedingt die reale Verkehrsbelastung abbildet, andererseits werden nur generische FÜK Modelle berechnet, welche nicht unbedingt den real eingebauten Konstruktionen entsprechen.

4.2.1 Kragfingerübergang

Es wurde ein 1.08m breiter und 1.61m langer Abschnitt modelliert. Dies ermöglicht eine korrekte Kraftübertragung in Querrichtung und genügend Auslaufläche um das Ausschwingverhalten zu erfassen. Die FÜK wurde auf ca. 60% der Bewegungskapazität in der Längsrichtung gestellt, was für Ermüdungsberechnung übliche Vorgangsweise ist. Die

Überlappung der Finger beträgt 85 mm, die restlichen Abmessungen sind in der Abbildung 129 dargestellt.

Die Schraubenverbindungen der Finger FÜK sind so konstruiert, dass die tatsächlichen Vorspannkkräfte direkt eingebracht werden können. Es wird von einer fixen Verbindung zwischen FÜK und darunter liegendem Beton ausgegangen. Die zwei Teile der FÜK je Seite werden lediglich mit den vorgespannten Schrauben zusammengehalten, die Kontaktverbindung überträgt nur auf Druck. Eine Visualisierung FE Modells ist in der Abbildung 129 zu sehen.

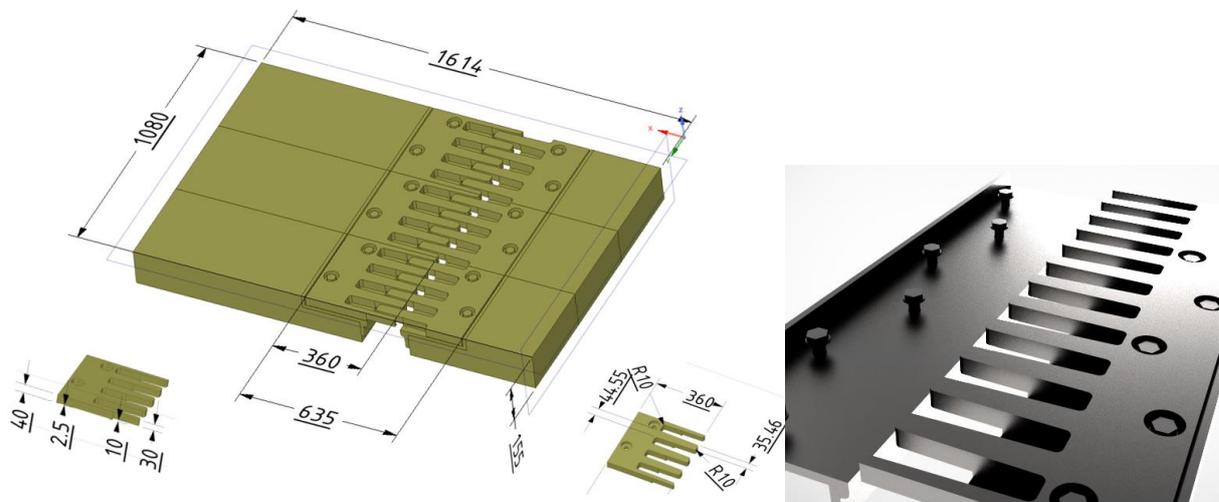


Abbildung 129 links: Abmessungen des Kragfingerübergangs in [mm]; rechts: Visualisierung des Kragfingerübergangs

Es wurde auch eine Modalanalyse des Modells durchgeführt. Die erste Eigenfrequenz wurde mit 1250Hz identifiziert. Dies ist weit oberhalb der aus der Rad-Fahrbahn Interaktion zu erwartenden Anregung. Trotzdem werden dynamische Effekte in der Berechnung berücksichtigt, da das Rad abrupt den ersten Teil der FÜK verlässt und die Konstruktion durch diesen Impuls ins Schwingen gebracht werden kann. Dieses komplexe Verhalten, welches ohne Berücksichtigung des Reifen-Ausrollverhaltens nur ansatzweise nachgebildet werden kann, ohne die Dämpfung und Amplitudenverminderung der Reifen zu berücksichtigen wird auf der sicheren Seite liegend berücksichtigt.

4.2.2 Modulare Dehnfuge

Die Abmessungen der modellierten modularen Dehnfuge inklusive Umliegenden Beton sind in Abbildung 130 dargestellt. Es wurde eine Konstruktion mit drei Lamellen (also vier Dichtprofilen) modelliert. Die modellierte Konstruktion besteht aus 4 Teilen welche jeweils 1.65m breit sind.

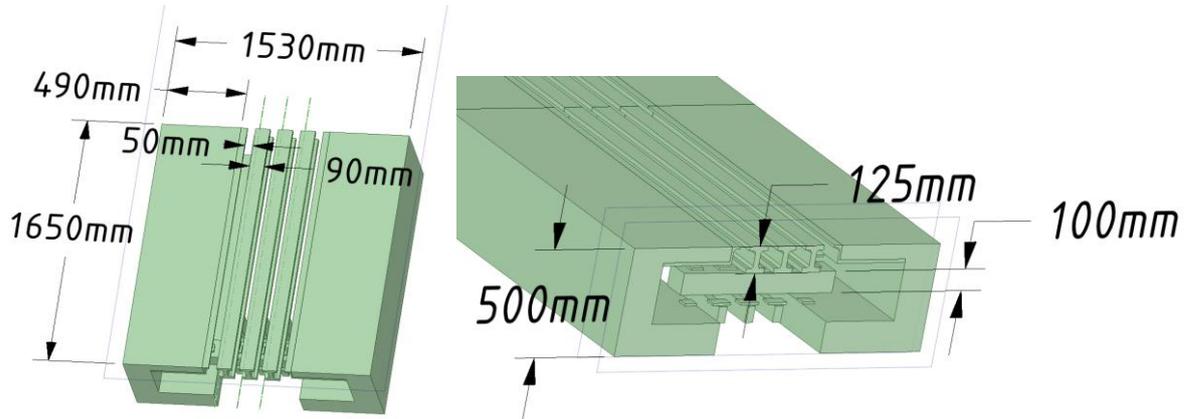


Abbildung 130: Abmessungen der modularen Dehnfuge

Modulare Dehnfugen werden in der Regel zum Ausgleich bei größeren temperaturbedingten Relativbewegungen eingesetzt. Wie in der Abbildung 131 dargestellt, wurde die Dehnfuge mit einer gerade gestellten Traverse modelliert. Die Aufnahme der horizontalen Kräfte wird von verschiedenen Herstellern unterschiedlich ausgeführt und wird in dieser Untersuchung auch nicht behandelt. Es werden keine horizontalen Kraftkomponenten betrachtet die Reibung der Elastomerlager in der Längsrichtung wurde erhöht, um dynamische Einflüsse in dieser Richtung aufgrund fehlender Konstruktiver Ausbildungen (z.B. schräg gestellte Traverse) minimal zu halten.

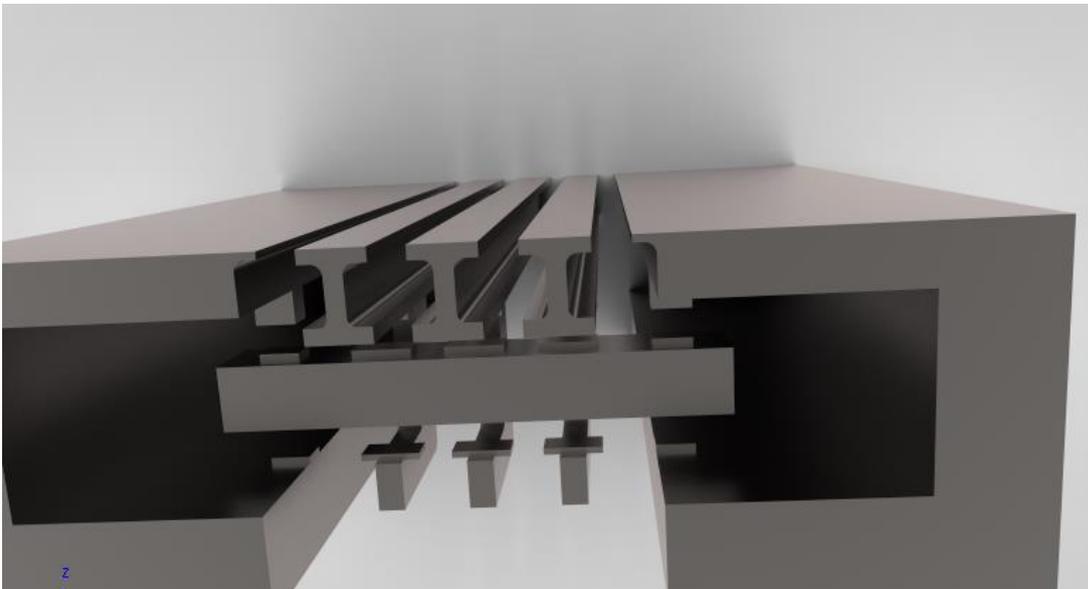


Abbildung 131: Visualisierung der modellierten modularen Dehnfuge

Auch bei dieser Konstruktion wurde eine Modalanalyse des Modells durchgeführt. Die erste Eigenfrequenz wurde mit 115 Hz bei den Lamellen identifiziert. Die im Vergleich zur

Fingerkonstruktion relativ geringe Eigenfrequenz begründet sich durch den großen Abstand zwischen zwei Quertraversen. Wie auch bei der Kragfingerfuge werden dynamische Effekte aus der Konstruktion selbst auf der sicheren Seite liegend berücksichtigt.

4.3 Transiente numerische Überfahrtsberechnungen

Zur Bestimmung der Radlasten wurde eine sehr detaillierte Modellierung mittels Mehrkörpersystemen gewählt, welche die Bestimmung dynamischer Kontaktkräfte der einzelnen Radlasten ermöglicht. Der wesentliche Einflussparameter auf die dynamischen Verkehrslasten liegt in der Unebenheit der Fahrbahn.

Vorgehensweise und Modell werden in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben. Die Berechnung wird in folgende Schritte unterteilt:

- Schritt 1: Analyse der Lasteinwirkung mit dem Mehrkörper Überfahrtsmodell auf starrem Untergrund (Keine Interaktion mit der Straße bzw. FÜK)
- Schritt 2: Aufbringen der in Schritt 1 berechneten Verkehrsbelastung auf die FÜK Modelle mit den detaillierten Volumenmodellen und der Auswertung der Ermüdungsrelevanten Spannungen

Die Längsprofile wurden unter Berücksichtigung des Reifenlatsches, wie in AP2 (siehe Seite 38) eingeführt, durchgeführt. Das Höhenprofil besteht also aus linker und rechter Reifenspur. Es wurden die Profile aller betrachteten FÜK (mit wenigen Ausnahmen aufgrund fehlender Daten) einzeln berechnet.

4.3.1 Schritt 1: Bestimmung der Kontaktkräfte

Zur Modellierung und Berechnung der dynamischen Lasten, welche auf FÜK wirken können, wurden transiente Finite Element Berechnungen durchgeführt, welche sowohl geometrische Effekte wie Fahrbahnrauigkeit, Spurführung, als auch die dynamisch zeitlich veränderlichen Lasten (Überfahrtsgeschwindigkeiten) mit mechanischen Mehrkörpermodellen abbilden können. Alle FEA-Überfahrtsimulationen wurden mit dem Programm ANSYS-Mechanical® ausgeführt.

Das verwendete LKW-Modell besteht aus einem Mehrkörpermodell aus Feder-Dämpferelementen, sowie aus Massenelementen mit entsprechenden Trägheitsmassen, welches insgesamt 17 Freiheitsgrade besitzt. Das LKW-Modell wurde in Vorgängerprojekten entwickelt und getestet. Eine Skizze des mechanischen LKW-Modells und des in der FE-Analyse implementierten Modells sind in Abbildung 132 dargestellt. Die Überfahrtssimulationen wurden mit einer Geschwindigkeit von 80km/h durchgeführt, die virtuelle Abtastrate wurde mit 500 Hz fixiert.

Der Untergrund wurde starr modelliert. Die Höhenprofile wurden linienförmig in der rechten sowie linken Reifenspur des LKW-Modells implementiert, wobei sich linke und rechte Spur voneinander unterscheiden.

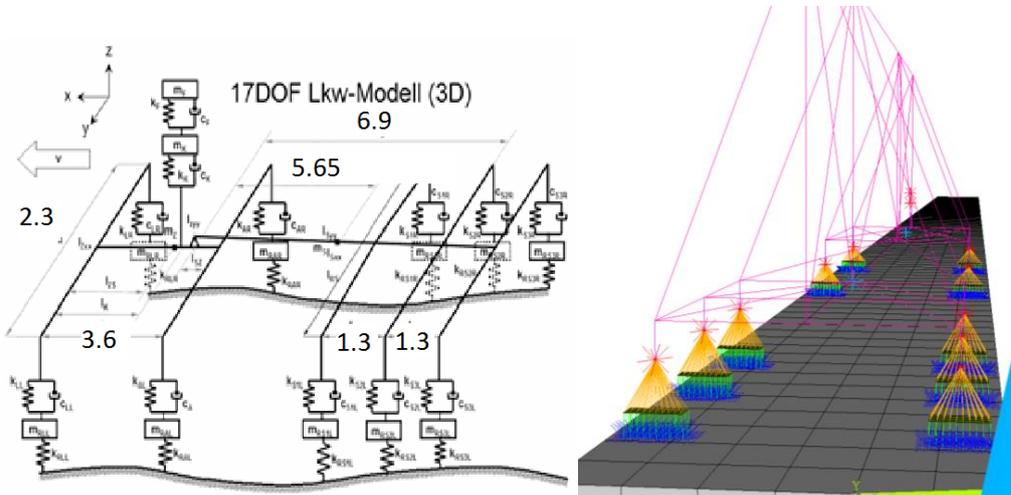


Abbildung 132: Model des LKWs in den Überfahrtsberechnungen. Als idealisiertes mechanisches Feder-Masse-Dämpfer-System (links, Abmessungen in [m]), und im FE - Modell implementiert (rechts).

Die Ergebnisse der sich zeitlich ändernden Kräfte sind exemplarisch für eine Konstruktion in Abbildung 133 dargestellt. Es sind die Kontaktkräfte in Abhängigkeit der Achse und der geometrischen Position als Kraft/Ortdiagramm dargestellt. Diese Darstellung hat sich für die gestellte Aufgabe als praktikabel herausgestellt, da die Kontaktkräfte direkt der Position zugeordnet werden können und der zeitliche Verlauf von sekundärem Interesse ist.

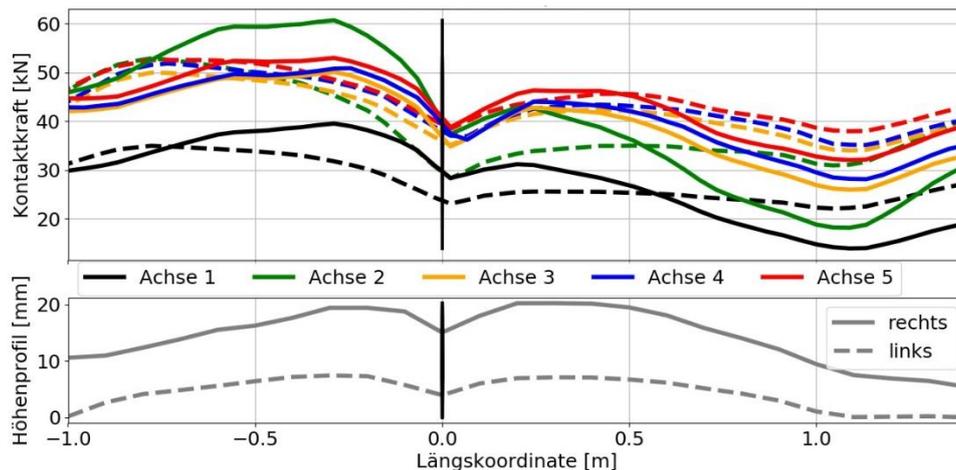


Abbildung 133: Exemplarisches Beispiel der dynamischen Radlasten. (oben) dynamische Radlasten welche in Schritt 1 ermittelt wurden; (unten) verwendete Höhenprofile in Reifenspur links und rechts

4.3.2 Schritt 2: Bestimmung der Spannungen

Die FÜK wurde wie oben beschrieben detailliert nachgebildet und mit den ermittelten transienten Radlasten, welche in Schritt 1 für eine Überfahrt mit dem LKW-Modell ermittelt wurden belastet.

Dass die FÜK umgebende Tragwerk bzw. die Fahrbahn wurden mitmodelliert um die Randbedingungen der FÜK korrekt zu erhalten. Als maximale Elementgröße für die FÜK Fingerplatten wurde eine Seitenlänge von 8 cm, für die umgebenden Elemente von 25 cm gewählt. Unabhängig davon, wurde die Modellierung der Fahrbahn mit mindestens drei horizontalen Schichten übereinander ausgeführt.

Für die dynamischen Zeitverläufe wurden die Radlasten aus den in Schritt 1 durchgeführten Überfahrtsberechnungen mit starrem Untergrund übernommen. Die Voraussetzung dazu ist, dass die dynamische Antwort der FÜK auf die Kontaktkräfte keinen bzw. einen geringen Einfluss hat. Dies wurde im Rahmen von Vorprojekten (SPEED-FT, EVAF) bereits mit einer vollen transienten Rechnung überprüft und konnte für diese Untersuchung bestätigt werden. An den zuvor festgelegten Ermüdungsrelevanten Stellen wurden dann für jede einzelne Überfahrt die berechneten Zeitverläufe der Spannungsschwingbreiten fest.

4.3.2.1 Ermüdungsrelevante Stellen Kragfingerübergang

Beim Kragfingerübergang wurden drei ermüdungsrelevante Stellen für die Bewertung ausgewählt.

Die erste betrachtete ermüdungsrelevante Stelle wurde an der Oberseite der Fingerplatte in Reifenspur festgelegt. An dieser Stelle, bedingt durch einen Höhengsprung an der Unterseite der Platte, treten vergleichsweise hohe Zugspannungen bei der Überfahrt auf. Das Detail wird in Abbildung 134 dargestellt.

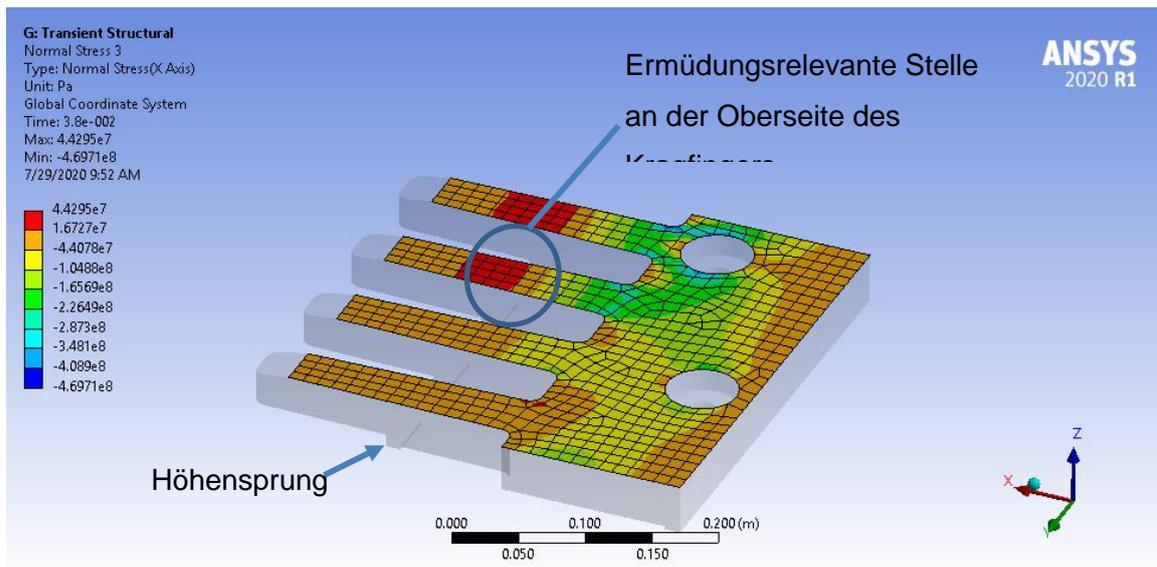


Abbildung 134: Kragfingerübergang - Ermüdungsrelevante Stelle an der Oberseite eines Fingers in Reifenspur

Die beiden weiteren betrachteten ermüdungsrelevanten Stellen betreffen die Schrauben in der ersten und zweiten Reihe. Als vordere Schraube (Schraube 1) wird jene Schraube bezeichnet, welche auf der Seite der Fuge liegt und als hintere Schraube (Schraube 2) jene, welche in Randprofilnähe platziert ist. Abbildung 135 zeigt die Position der betrachteten Schrauben sowie die genaue Modellierung der einzelnen Schrauben im FE-Modell.

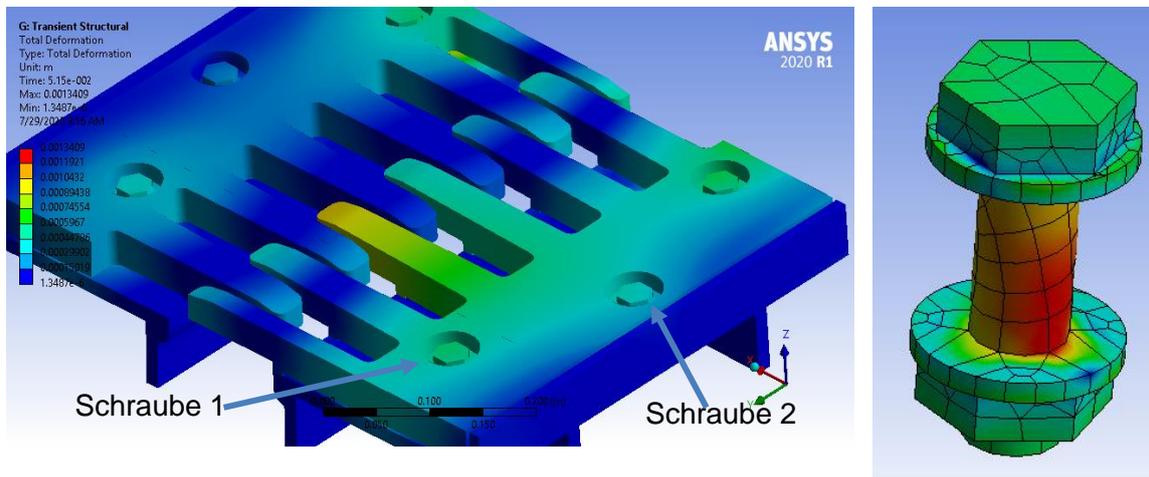


Abbildung 135: Kragfingerübergang. (links) Position der betrachteten Schrauben; (rechts) modellierte Schraube inkl. Normalspannung in vertikaler Richtung

Die Schrauben sind beim unbeschädigten FÜK mit einer Kraft von 150 kN vorgespannt und die Fingerplatten liegen eben auf der Unterkonstruktion auf.

Betrachtete Schäden im Rahmen der Berechnungen

Zusätzlich zu den Berechnungen am unbeschädigten Kragfingerübergang wurden auch Berechnungen durchgeführt, welche künstlich eingebrachte Schäden berücksichtigen. Diese Schäden sind:

- Unebenheit des Randprofils bei Auflagerung unterhalb von Schraube 2 auf der Seite des Randprofils. Die Unebenheit beträgt 1,7 mm und wird teilweise durch die Vorspannung ausgeglichen.
- Unebenheit des Randprofils wie beim ersten Punkt und eine Verringerung der Vorspannkraft bei Schraube 2 von 150 kN auf 50 kN.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sollen vor allem den Einfluss von Unebenheiten der Unterkonstruktion und bei Verlust von Schraubenvorspannung auf die Lebensdauer der Schrauben zeigen.

4.3.2.2 Ermüdungsrelevante Stelle modulare Dehnfuge

Bei der modularen Dehnfuge wurde die Zugspannung an der Lamellenoberseite quer zur Fahrtrichtung als ermüdungsrelevante Stelle ausgewählt. Dies ist bei den verwendeten Profilen im Regelfall keine ermüdungskritische Stelle. Es wird jedoch der Fall eines geschweißten Baustellenstoßes an dieser Stelle angenommen wodurch ein relevanter Kerbfall an dieser Stelle vorliegt.

In Abbildung 136 ist die Verformung der FÜK bei Reifenüberfahrt dargestellt und in Abbildung 137 die Spannung in den Lamellen quer zur Fahrtrichtung. Für die Bewertung wurde der Zugbereich an der Lamellenoberseite gewählt.

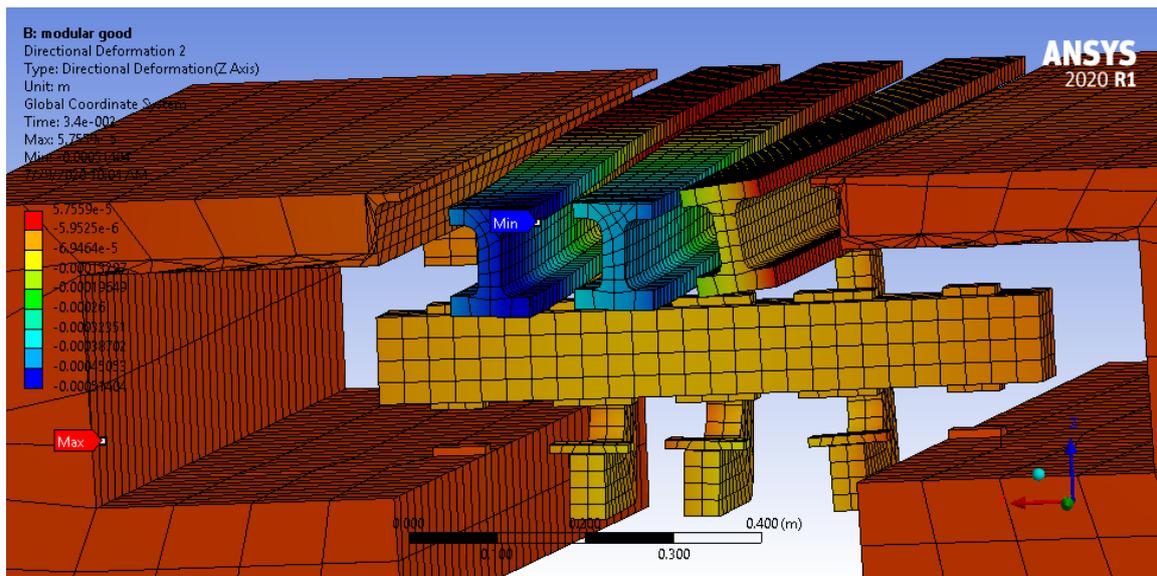


Abbildung 136: Modulare Dehnfuge - Verformung bei Überfahrt im Schnitt durch die Konstruktion

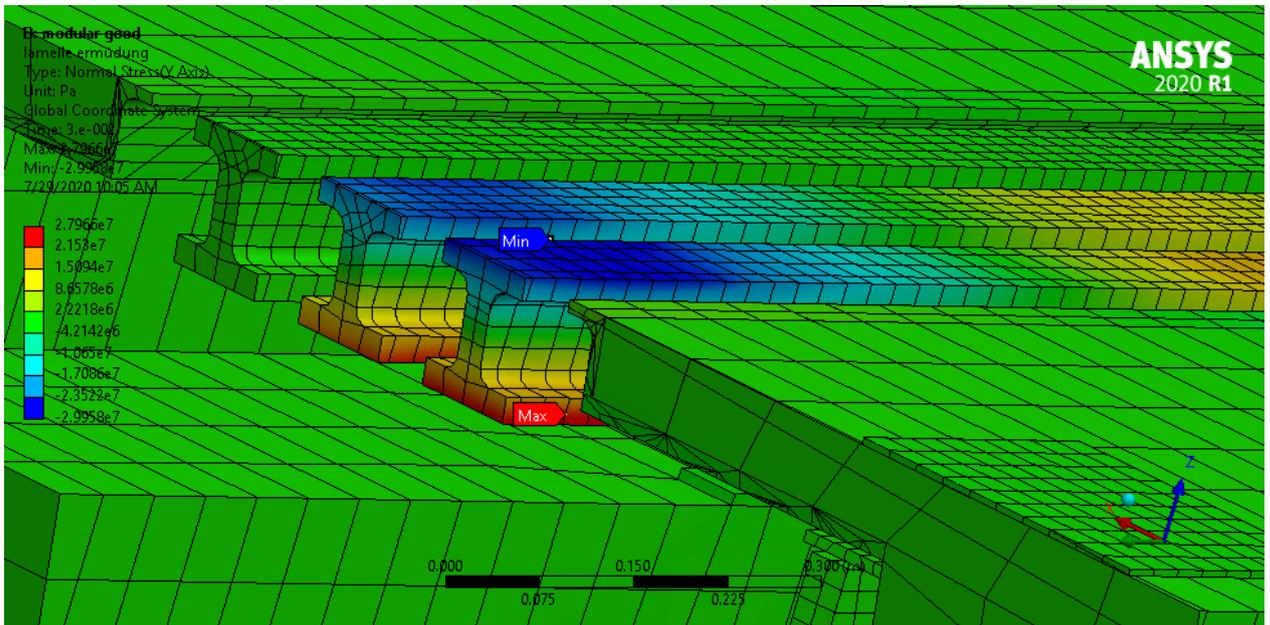


Abbildung 137: Modulare Dehnfuge. Spannung in Lamelle quer zur Fahrtrichtung

4.4 Bewertung der Lebensdauer der Fahrbahnübergangskonstruktionen

Die Fahrbahngeometrie, welche von 259 Konstruktionen (der insgesamt 295) mittels Befahrung durch den AIT RoadSTAR ermittelt wurde, wurde zur Ermüdungsberechnung mit dem LKW-Modell herangezogen. Der Zeitverlauf der daraus resultierenden Kräfte wurde jeweils auf das finite Elemente Modell des Kragfingerüberganges, als auch der modularen Dehnfuge aufgebracht und an relevanten Stellen die Schädigung durch Ermüdung beurteilt. Die relevanten Stellen sind, wie in Abschnitt 4.3.2.1 beschrieben.

- Kragfingerübergang:
 - Oberseite Finger
 - Vordere Schraube (Schraube 1) nahe Finger
 - Hintere Schraube (Schraube 2) nahe Randprofil
- Modulare Dehnfuge
 - Spannung in Randfaser der Lamellen in Querrichtung (Lamelle 1-3)

Jede ermüdungsrelevante Stelle wurde mit dem Zeitverlauf der Kräfte sowohl der linken, als auch der rechten Fahrspur getrennt bewertet.

Es wurden, entsprechend EN1993-1-9 [4], die folgenden Kerbfälle ausgewählt:

- Schrauben: Kerbfall 50

- Finger: Kerbfall 140
- Lamellen: Kerbfall 90

Kerbfall 50 bei Schrauben entspricht vorgespannten Schrauben (Vorspannkraft = 150 kN), es wird die durch die Vorspannung reduzierte Spannungsschwingbreite in der Berechnung berücksichtigt. Für die Finger selbst wurde der Kerbfall 140 gewählt, was einem brenngeschnittenen Blech mit nachträglicher mechanischer Bearbeitung entspricht. Für die Lamellen der modularen Dehnfugen wäre im ungestörten Bereich eigentlich Kerbfall 160 für die verwendeten Walzprofile zu wählen gewesen, da jedoch die Möglichkeit von Baustellenstößen, auch an ungünstigen Stellen besteht, wurde hier Kerbfall 90 für einen Vollstoß mit geringer Nahtüberhöhung gewählt. Dies stellt für den Großteil der Konstruktionen eine konservative Annahme vor. Bei Kerbfall 160 wären die auftretenden Spannungen nicht Ermüdungsrelevant, dies ist bei der Beurteilung der Ergebnisse zu berücksichtigen. Zusätzlich wurden bei den Fingerkonstruktionen auch die folgenden künstlichen Schäden eingeführt um deren Auswirkungen zu bewerten:

- Unebenheit des Randprofiles unterhalb von Schraube 2. Die Unebenheit beträgt 1,7 mm und wird teilweise durch die Vorspannung der Schraube ausgeglichen.
- Unebenheit des Randprofiles wie beim ersten Punkt und eine Verringerung der Vorspannkraft bei Schrauben 2 nahe Randprofil auf 50 kN (von 150 kN).

Die Ermüdungsberechnung wurde entsprechend den Vorgaben aus [4] durchgeführt:

- Die Höhe $\Delta\sigma_{E,i}$ und Anzahl n_i der jeweiligen Spannungsschwingbreiten des Spannungsverlaufes einer LKW-Überfahrt wurden mittels Rainflow-Analyse ermittelt
- Als Teilsicherheitsbeiwert auf Materialseite wurde aufgrund der hohen möglichen Schadensfolge bei losen Fingerplatten mit $\gamma_{Mf} = 1,35$ gewählt.
- Mit der, dem jeweiligen Kerbfall entsprechenden, Wöhlerlinie wurde die Anzahl aufnehmbarer Schwingspiele $N_{E,i}$ für jede vorkommende Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{E,i}$ ermittelt und mittels der Summationsregel von Palmgren-Miner die Schädigungssumme einer einzelnen LKW-Überfahrt berechnet:

$$D_{LKW} = \sum_i \frac{n_i}{N_{E,i}}$$

Es wird angenommen, dass Versagen eintritt, wenn die Schädigungssumme D den Wert 1 erreicht. Somit lässt sich die Anzahl möglicher LKW-Überfahrten bis zum prognostizierten Versagen mit $n_{LKW,max} = \frac{1}{D_{LKW}}$ berechnen.

Im Folgenden werden die Histogramme der errechneten Schädigungssumme von einzelnen LKW-Überfahrten über die betrachteten Fahrbahngeometrien dargestellt. Jeweils für die linke

und die rechte Reifenspur. Zur statistischen Beurteilung wird der Medianwert angegeben, da dieser stabiler gegenüber einzelnen hohen Werten ist als das arithmetische Mittel.

Zur Beurteilung muss der mittlere tägliche Schwerverkehr herangezogen werden. Dieser liegt bei den bewerteten Fahrbahnen der ASFINAG grob im Bereich zwischen 5 und 10.000 LKW/Tag. Als Beispiel: bei 5000 LKW Überfahrten pro Tag entspricht eine Schädigungssumme von $D_{LKW} = 1 \cdot 10^{-7}$ einer prognostizierten charakteristischen Lebensdauer von ca. 5,5 Jahren. Es ist hier jedoch zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse aufgrund der getroffenen Annahmen und Vereinfachungen nur relative Werte liefern und keine absoluten Rückschlüsse auf tatsächliche Lebensdauern vorhandener Konstruktionen zulassen.

4.4.1 Ermüdungsfestigkeit Oberseite Finger

Betrachtet man die berechnete Schädigungssumme je LKW-Überfahrt mit Hinblick auf Ermüdung der Kragfinger, so zeigt sich, wie in den Histogrammen in Abbildung 138 dargestellt, dass an dieser Stelle in der Regel keine Ermüdungsgefahr besteht. Beim überwiegenden Großteil der Konstruktionen liegen alle berücksichtigten Spannungsschwingbreiten unterhalb des Schwellenwertes der Ermüdungsfestigkeit, in diesem Bereich liegt auch der Medianwert der Schädigungssumme welcher sehr nahe bei Null liegt. Nur bei einzelnen Konstruktionen zeigt sich hier ein erhöhter Impact welcher Schädigungssummen bis ca. $1 \cdot 10^{-7}$ hervorruft.

Auch bei den eingeführten Schäden der unebenen Auflage, siehe Abbildung 139, und der unebenen Auflage in Kombination mit Vorspannungsverlusten, siehe Abbildung 140, bleibt diese Aussage aufrecht. Bei einzelnen Konstruktionen treten hier jedoch doch leicht größere Schädigungssummen auf, dies macht sich auch durch einen geringfügigen Anstieg des Medianwertes bemerkbar.

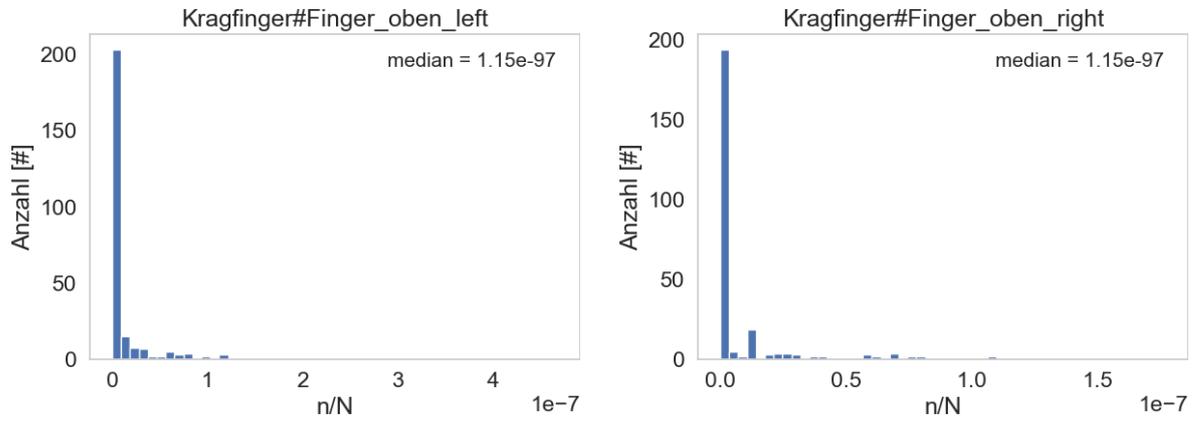


Abbildung 138: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für die Finger von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspur

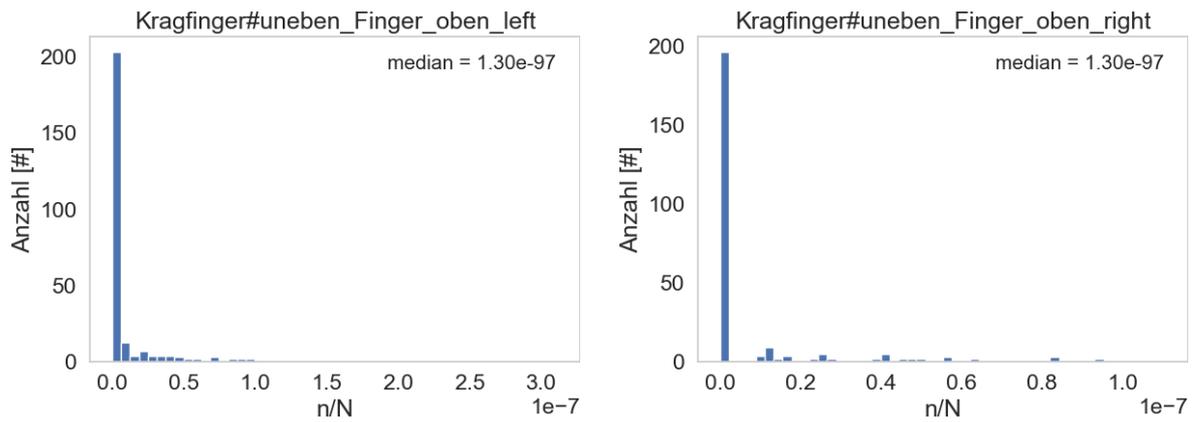


Abbildung 139: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für die Finger von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspur bei unebener Auflage der Fingerplatten

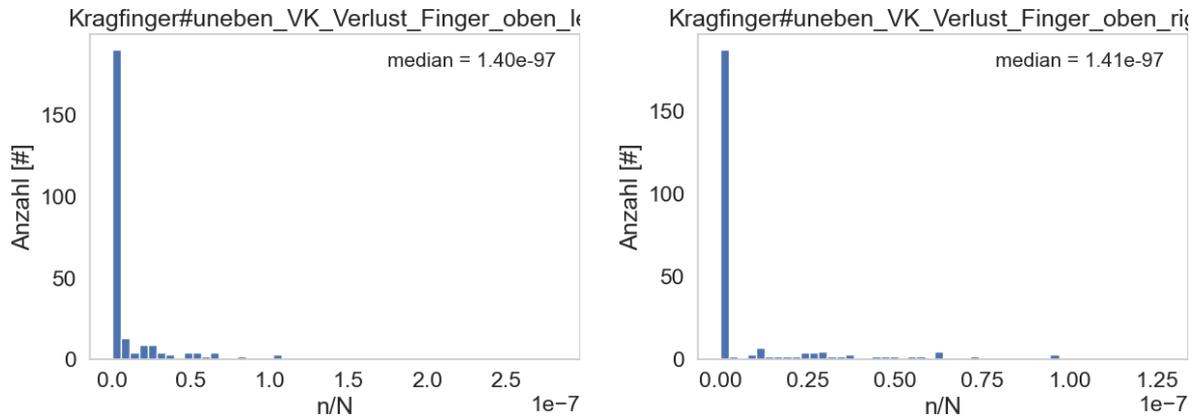


Abbildung 140: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für die Finger von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspur bei unebener Auflage der Fingerplatten und Vorspannungsverlust bei Schraube 2

Betrachtet man die Verhältnisse der prognostizierten Lebensdauer im Verhältnis von beschädigten zu unbeschädigten Konstruktionen (dies entspricht dem Verhältnis von unbeschädigten zu beschädigten Schädigungssummen) so zeigt sich in Abbildung 141, dass eine Unebenheit der Auflage zu einer im Median 12%igen Abnahme der Lebensdauer führt. Bei einer Unebenheit der Auflage in Kombination mit Vorspannungsverlust, siehe Abbildung 142, beträgt diese Abnahme bereits 18%. Die Verhältniswerte, welche sich zu Null ergeben, sind jene, bei denen am unbeschädigten System alle Spannungsschwingbreiten unterhalb des Schwellenwertes der Ermüdungsfestigkeit liegen, beim geschädigten System jedoch nicht mehr.

Es ist jedoch zu beachten, dass diese Verhältniswerte für viele Konstruktionen auf einer nahezu „unendlichen“ Lebensdauer des betrachteten Details basiert, wodurch die Auswertung nur bedingt aussagekräftig ist.

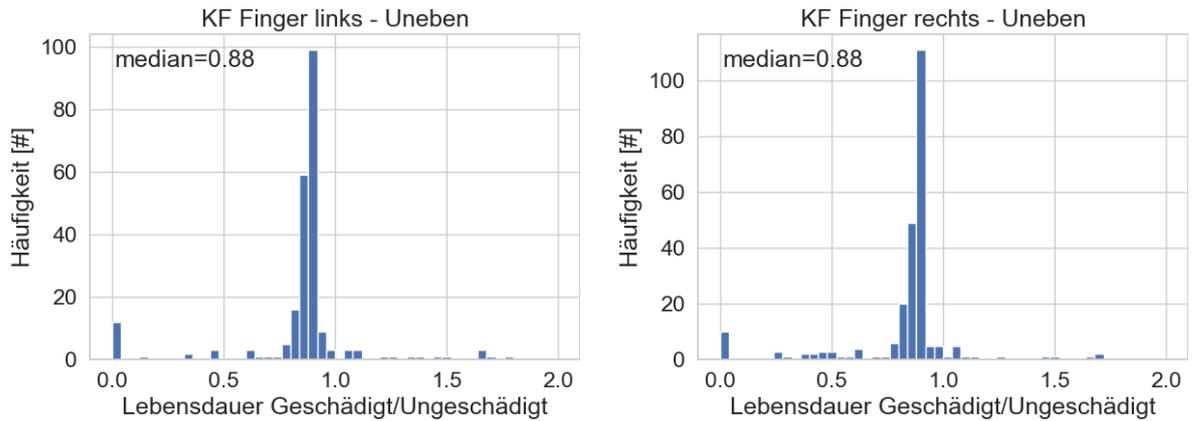


Abbildung 141: Histogramm zur relativen Auswirkung einer unebenen Auflage der Fingerplatten auf die Lebensdauer der Finger der linken und rechten Reifenspur

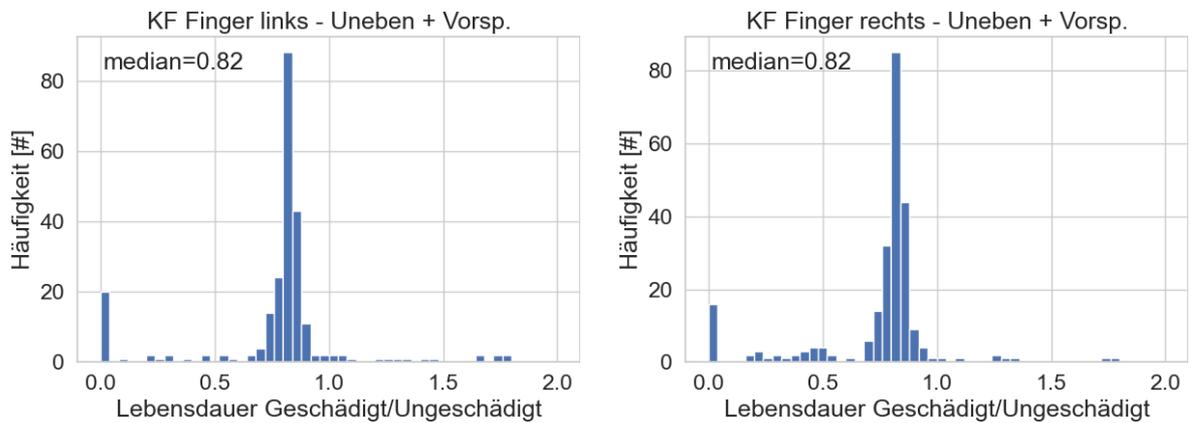


Abbildung 142: Histogramm zur relativen Auswirkung einer unebenen Auflage und Vorspannungsverlust bei Schraube 2 auf die Lebensdauer der Finger der linken und rechten Reifenspur

4.4.2 Ermüdungsfestigkeit Schraube 1

Betrachtet man die berechneten Schädigungssummen je LKW-Überfahrt für die Schraube 1, so zeigt sich bei unbeschädigten Konstruktionen, siehe Abbildung 143, ein Median der Schädigungssummen bei $1,0 \times 10^{-8}$ (links) und $1,2 \times 10^{-8}$ (rechts). Dies zeigt, dass bei mehr als der Hälfte der Konstruktionen Ermüdungsbeanspruchungen über dem Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit auftreten.

Bei dem eingeführten Schaden der unebenen Auflage, siehe die Histogramme in Abbildung 144, erhöhen sich die berechneten Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt deutlich. Hier

liegt der Median zwischen $1,8 \times 10^{-8}$ (links) und $2,7 \times 10^{-8}$ (rechts). Eine noch stärkere Erhöhung der Schädigungssumme kommt bei zusätzlichem Vorspannungsverlust (in Schraube 2!), dies führt zu erhöhten Schädigungssummen im Median von $3,1 \times 10^{-8}$ (links) bzw. $4,4 \times 10^{-8}$ (rechts).

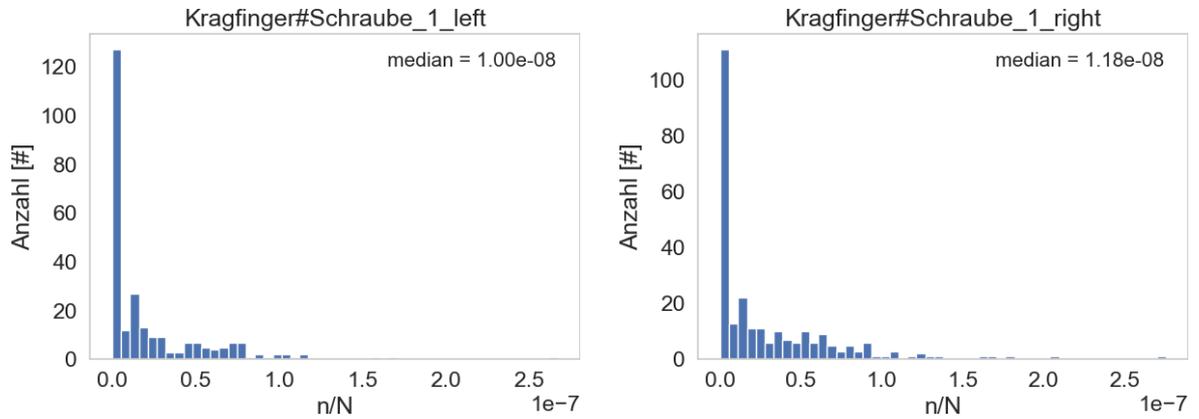


Abbildung 143: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Schraube 1 von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspür

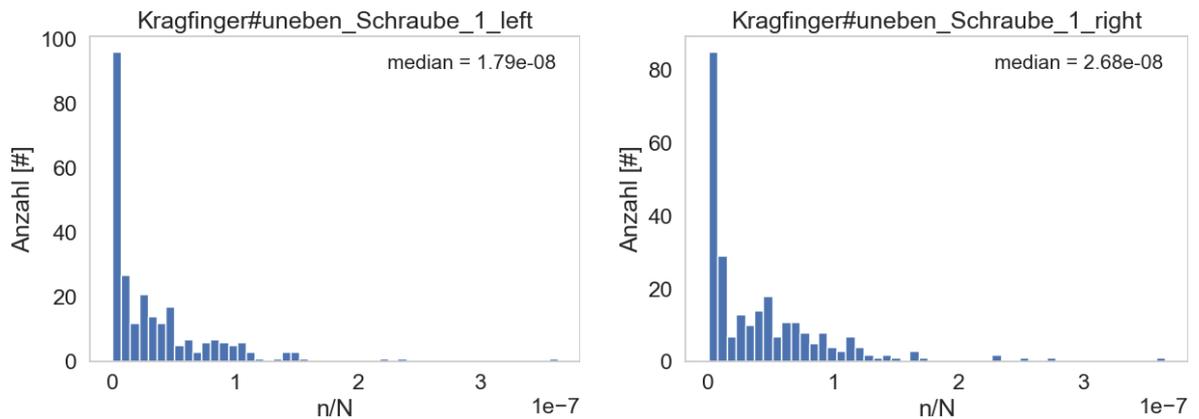


Abbildung 144: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Schraube 1 von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspür bei unebener Auflage der Fingerplatten

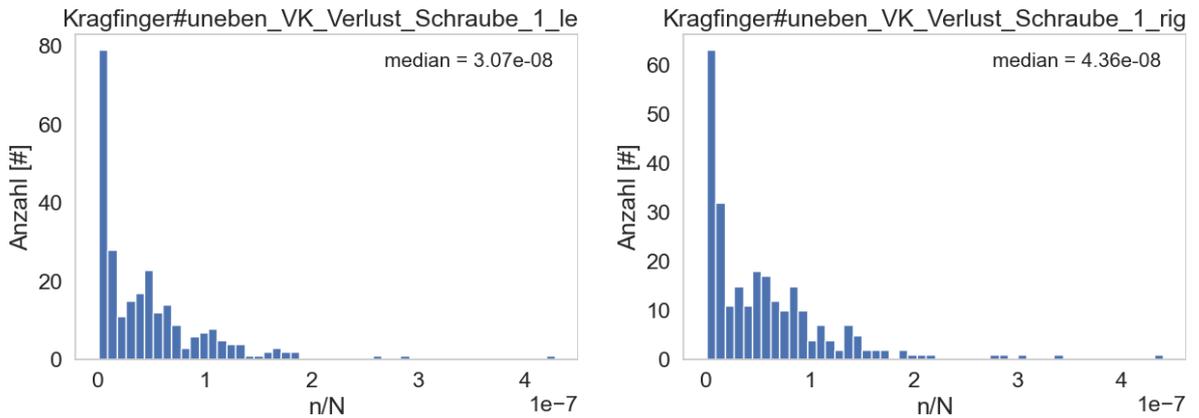


Abbildung 145: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Schraube 1 von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspurr bei unebener Auflage der Fingerplatten und Vorspannungsverlust bei Schraube 2

Betrachtet man die Verhältnisse der prognostizierten Lebensdauer im Verhältnis von beschädigten zu unbeschädigten Konstruktionen (dies entspricht dem Verhältnis von unbeschädigten zu beschädigten Schädigungssummen) so zeigt sich in Abbildung 146, dass eine Unebenheit der Auflage zu einer im Median 26%igen Abnahme der Lebensdauer führt. Bei einer Unebenheit der Auflage in Kombination mit Vorspannungsverlust, siehe Abbildung 147, beträgt diese Abnahme bereits 45%. Die Verhältnismerte, welche sich zu Null ergeben sind jene, bei denen am ungeschädigten System alle Spannungsschwingbreiten unterhalb des Schwellenwertes der Ermüdungsfestigkeit liegen, beim geschädigten System jedoch nicht mehr.

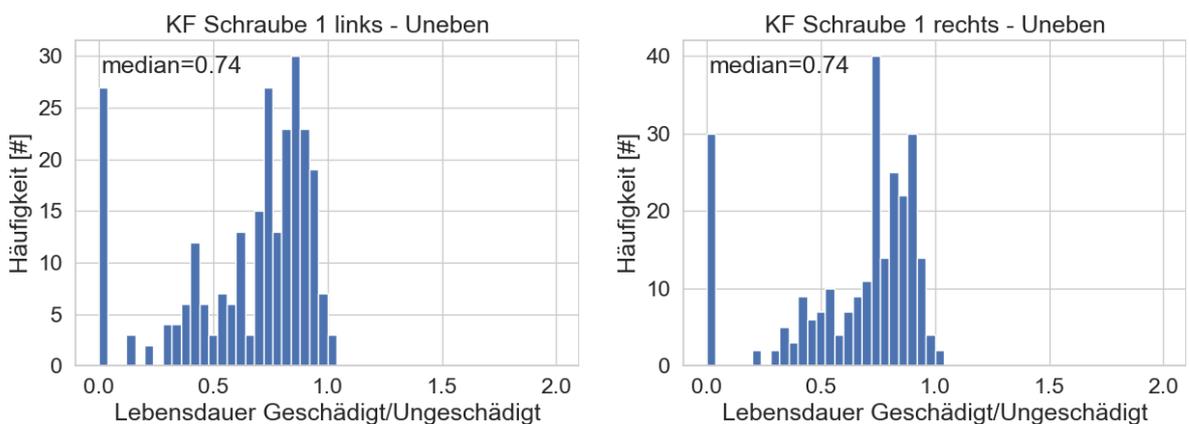


Abbildung 146: Histogramm zur relativen Auswirkung einer unebenen Auflage der Fingerplatten auf die Lebensdauer von Schraube 1 der linken und rechten Reifenspurr

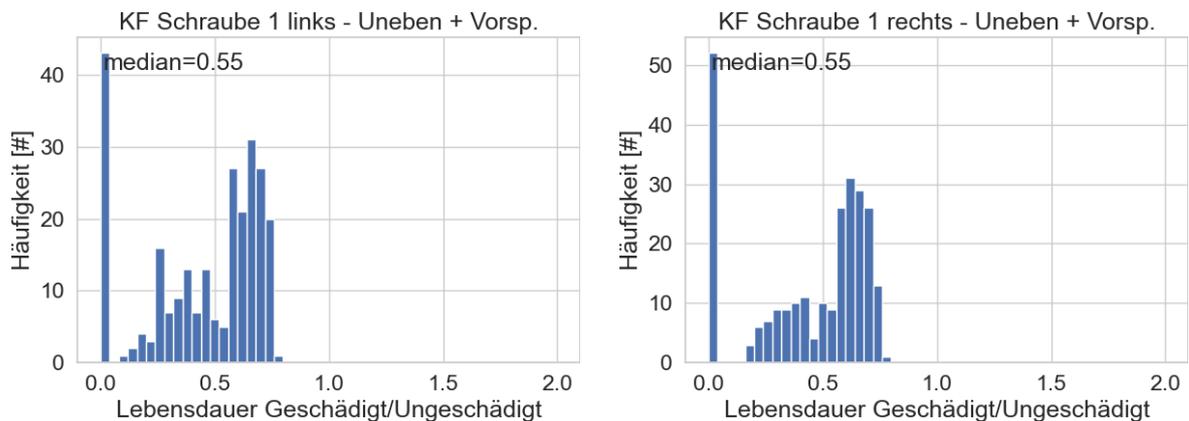


Abbildung 147: Histogramm zur relativen Auswirkung einer unebenen Auflage und Vorspannungsverlust bei Schraube 2 auf die Lebensdauer von Schraube 1 der linken und rechten Reifenspur

4.4.3 Ermüdungsfestigkeit Schraube 2

Betrachtet man die berechneten Schädigungssummen je LKW-Überfahrt für die Schraube 2, so zeigt sich bei ungeschädigten Konstruktionen, siehe Abbildung 148, dass diese Schraube im ungeschädigten und vorgespannten Zustand fast nie eine Schädigung aufweist, da die berücksichtigten Spannungsschwingbreiten unterhalb des Schwellenwertes der Ermüdungsfestigkeit liegen.

Bei dem eingeführten Schaden der unebenen Auflage, welche unterhalb der betrachteten Schraube 2 liegt, erhöhen sich die berechneten Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt deutlich, siehe Abbildung 149. Hier liegt der Median zwischen $2,0 \times 10^{-7}$ (links) und $2,7 \times 10^{-7}$ (rechts). Dies sind um einen Faktor von ca. 10 höhere Schädigungen als bei Schraube 1 auftreten. Eine noch stärkere Erhöhung der Schädigungssumme kommt bei zusätzlichem Vorspannungsverlust von Schraube 2, siehe Abbildung 150, dies führt zu erhöhten Schädigungssummen im Median von $4,0 \times 10^{-7}$ (links) bzw. $5,1 \times 10^{-7}$ (rechts). Auch hier sind die Schädigungssummen um ca. eine Zehnerpotenz höher als bei Schraube 1. Dies zeigt sehr deutlich, dass diese Schraubenreihe sehr empfindlich gegenüber Schädigungen reagiert. Während im ungeschädigten Zustand noch eine hohe Lebensdauer prognostiziert werden kann reduziert sich diese wesentlich nach einführen von Schädigungen.

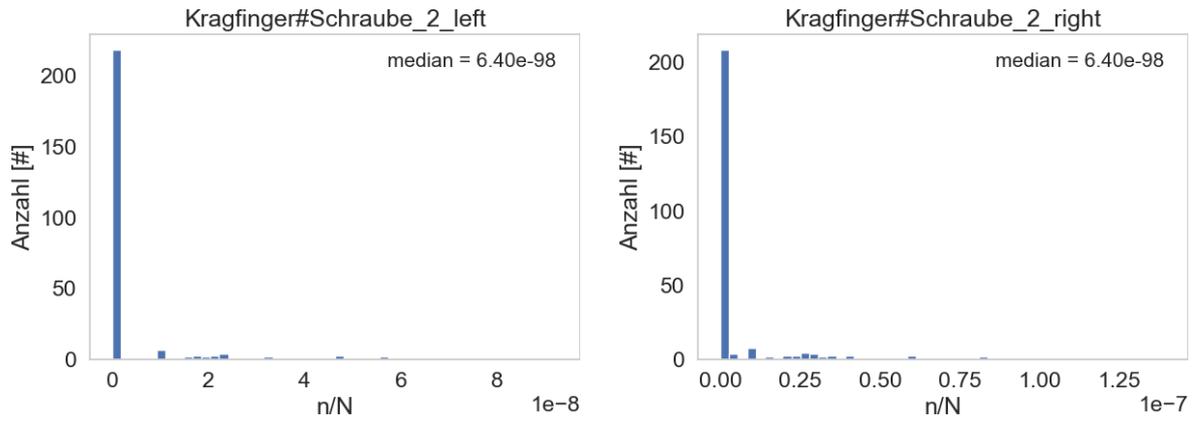


Abbildung 148: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Schraube 2 von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspür

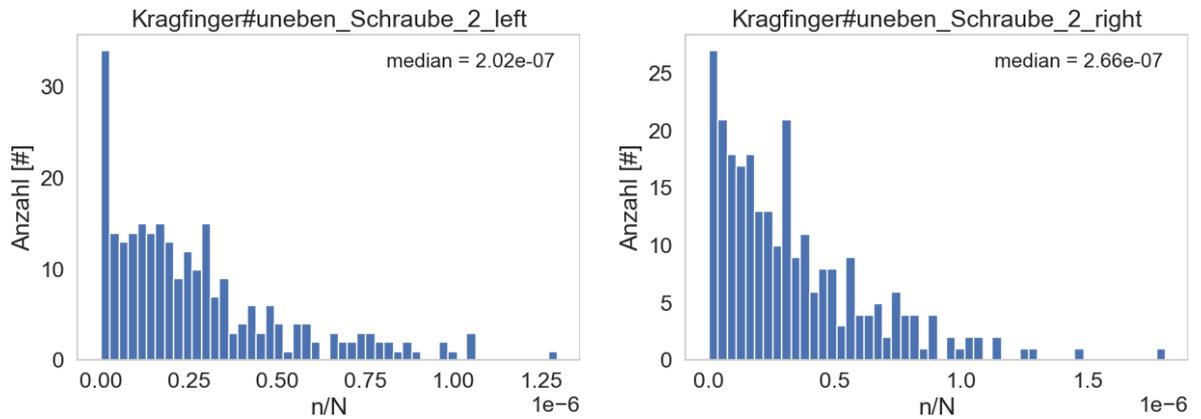


Abbildung 149: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Schraube 2 von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspür bei unebener Auflage der Fingerplatten

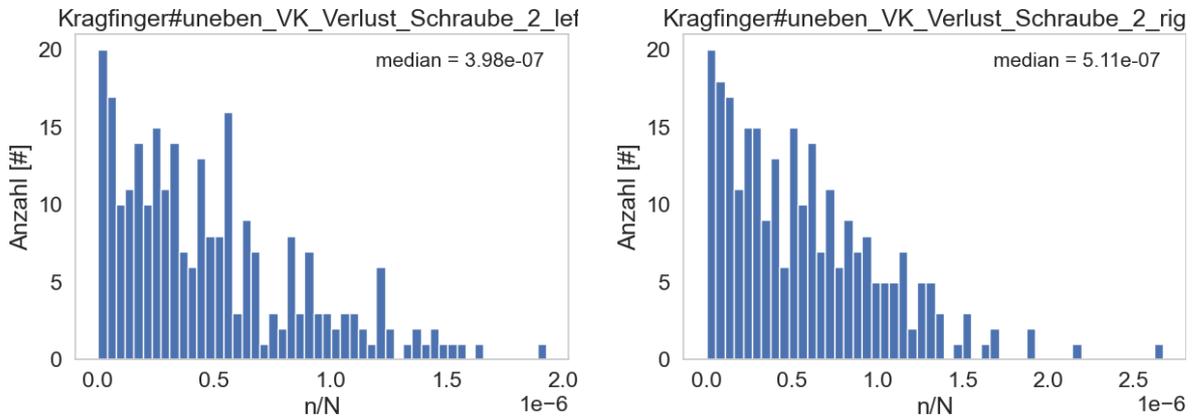


Abbildung 150: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Schraube 2 von Fingerkonstruktionen der linken und rechten Reifenspuren bei unebener Auflage der Fingerplatten und Vorspannungsverlust bei Schraube 2

Betrachtet man die Verhältnisse der prognostizierten Lebensdauer im Verhältnis von beschädigten zu unbeschädigten Konstruktionen (dies entspricht dem Verhältnis von unbeschädigten zu beschädigten Schädigungssummen) in Abbildung 151 und in Abbildung 152 so zeigt sich dieses Verhältnis beim gegebenen Schaden als nicht aussagekräftig, da im unbeschädigten Zustand durchgehend keine Schädigung vorliegt und das Verhältnis bis auf wenige Ausnahmen somit den Wert 0 annimmt.

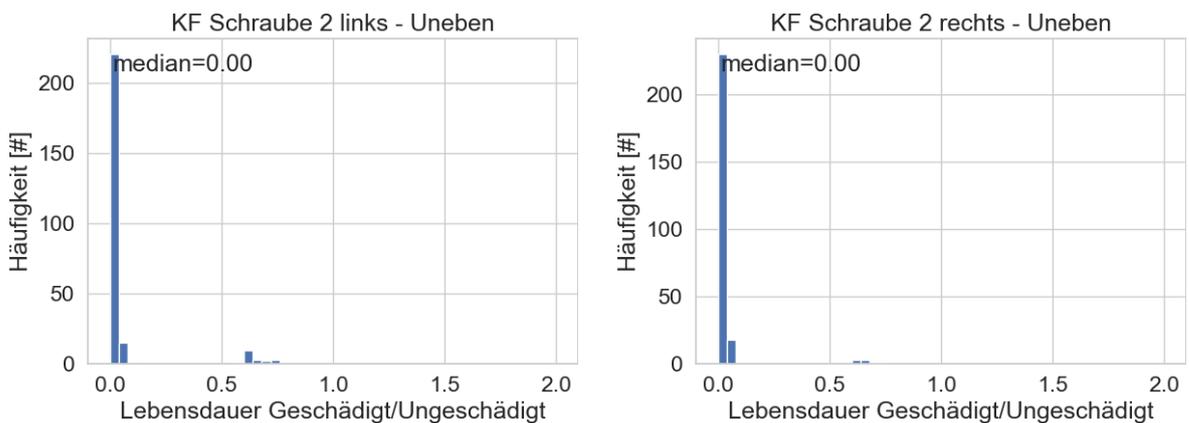


Abbildung 151: Histogramm zur relativen Auswirkung einer unebenen Auflage der Fingerplatten auf die Lebensdauer von Schraube 2 der linken und rechten Reifenspuren

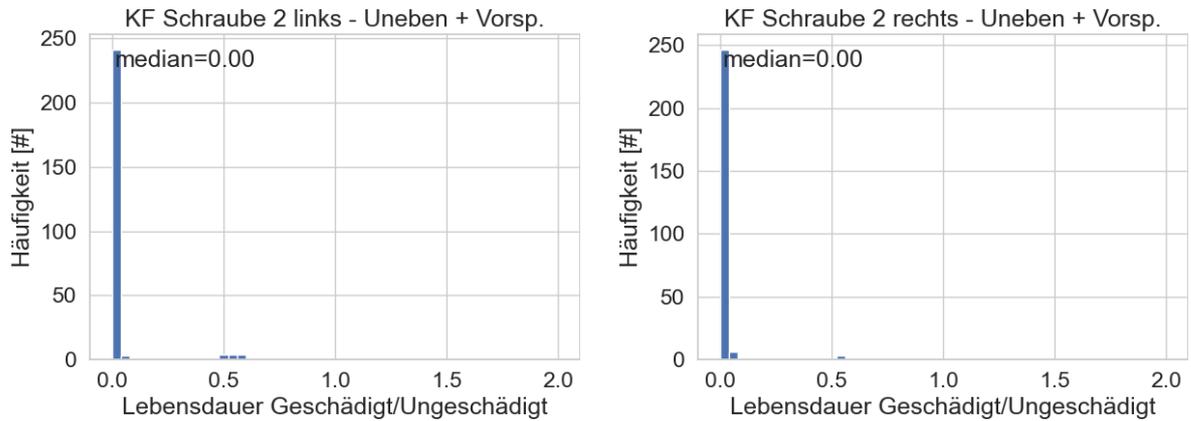


Abbildung 152: Histogramm zur relativen Auswirkung einer unebenen Auflage und Vorspannungsverlust bei Schraube 2 auf die Lebensdauer von Schraube 2 der linken und rechten Reifenspur

4.4.4 Ermüdungsfestigkeit Lamellen

Betrachtet man die errechneten Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für die Lamellen 1 bis 3 in den Histogrammen der Abbildungen 153 bis 155 so zeigt sich die Lamelle 2 in Abbildung 154 als am stärksten belastet. Hier liegen die Schädigungssummen einer einzelnen Überfahrt bei $6,9 \times 10^{-8}$ (links) bzw. bei $7,2 \times 10^{-8}$ (rechts). Diese Schädigungssummen sind durchaus in einer relevanten Höhe. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Schädigungssumme unter Annahme eines Baustellenstoßes mit einem geschweißten Vollstoß der Lamellenprofile an der Stelle der höchsten Spannung berechnet wurde. Beim üblichen Fall von ungestörten Walzprofilen zeigen sich hier keine ermüdungsrelevanten Schädigungen. Der hier betrachtete Fall sollte in der Regel vermieden werden.

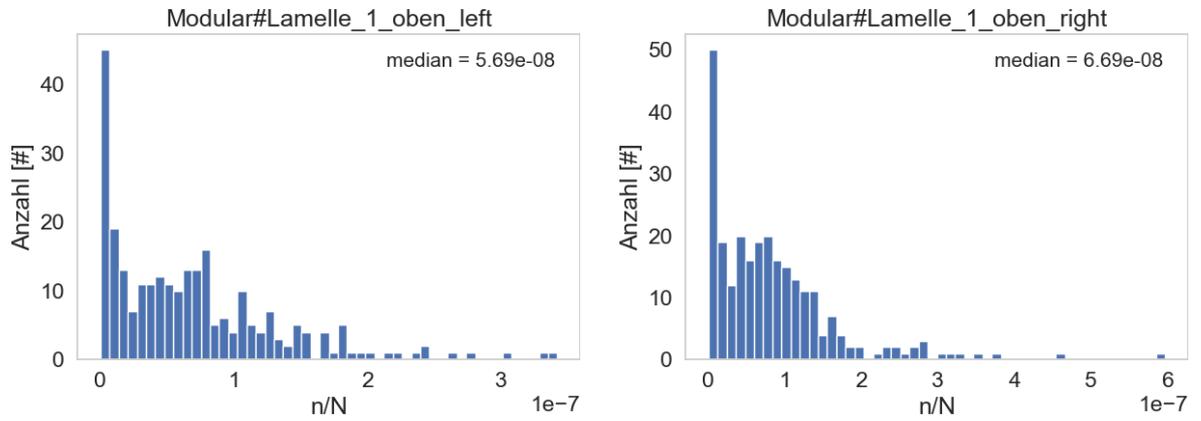


Abbildung 153: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Lamelle 1 von modularen Dehnfugen der linken und rechten Reifenspur

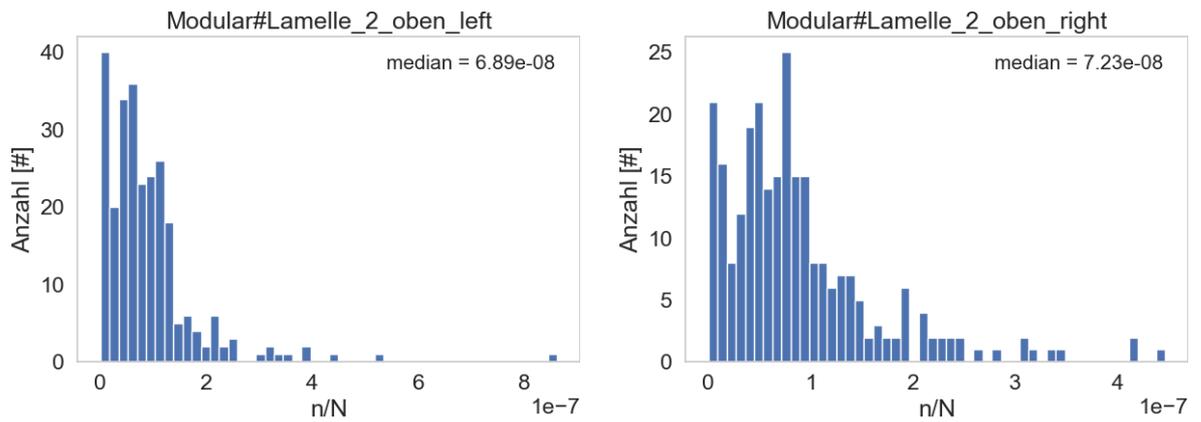


Abbildung 154: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Lamelle 2 von modularen Dehnfugen der linken und rechten Reifenspur

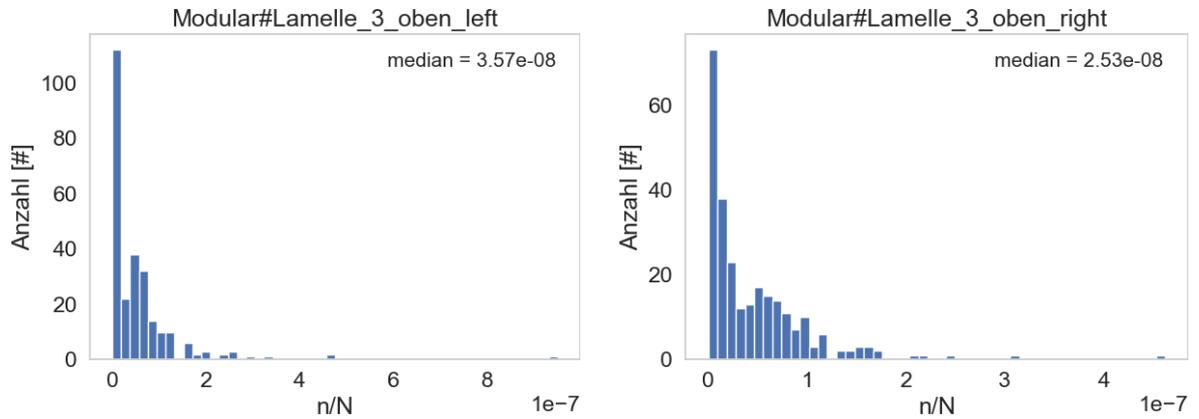


Abbildung 155: Histogramm der Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für Lamelle 3 von modularen Dehnfugen der linken und rechten Reifenspuren

4.4.5 Random-Forest Analyse

Für die Random-Forest Analyse werden bei den Kragfingerfugen nur die Ergebnisse für modellierte Schäden mit Unebenheiten und Vorspannungsverlust gezeigt, da diese am Aussagekräftigsten sind.

Für die durchgeführten Random Forest Analysen wurden die folgenden geometrischen Eingangsdaten („Features“) berücksichtigt (links/rechts je nach betrachteter Reifenspur):

- **Anschl_vorne:** Geometrie Fahrbahnanschluß in Fahrtrichtung vor der FÜK. Verwendete Suffixe Ab (Herabgezogen), Auf (Hinaufgezogen), Ger (Gerade), Unkl (Unklar)
- **Anschl_hinten:** Geometrie Fahrbahnanschluß in Fahrtrichtung nach der FÜK. Verwendete Suffixe Ab (Herabgezogen), Auf (Hinaufgezogen), Ger (Gerade), Unkl (Unklar)
- **Versatz:** Versatz FÜK im Vergleich zum Anschlussbereich. Verwendete Suffixe Ger (Gerade), Neg (Negativ), Pos (Positiv), Unkl (Unklar)
- **4m_links/rechts:** Stichmaß der 4m Latte auf die FÜK auf der linken/rechten Reifenspur
- **Mulde_l/r_vor:** Mulde in Fahrtrichtung vor der FÜK auf der linken/rechten Reifenspur. Verwendete Suffixe Ja, Nein
- **Mulde_l/r_nach:** Mulde in Fahrtrichtung nach der FÜK auf der linken/rechten Reifenspur. Verwendete Suffixe Ja, Nein
- **SR_vorkommen:** Vorhandensein von Stützrippen. Verwendete Suffixe B (Beiderseits), EN (Einseitig vor), EV (Einseitig nach), K (Keine)

- **SR_Ausrichtung_fehlerhaft**: Fehlerhafte Ausrichtung der Stützrippen bei beidseitiger Ausführung. Verwendete Suffixe X (Fehlerhaft), Nein (nicht Fehlerhaft)
- **Steig_vor**: mittlere Steigung der Fahrbahn in Fahrtrichtung vor der FÜK
- **Steig_nach**: mittlere Steigung der Fahrbahn in Fahrtrichtung nach der FÜK

Es wurden Random-Forest Analysen für die folgenden Zielgrößen („Targets“), welche nach RVS-Schema bewerteten Schäden entsprechen, verwendet:

- **Schädigungssumme n/N**: Schädigungssumme bei LKW-Überfahrt für den jeweiligen Schaden

Es zeigte sich fast durchgehend bei allen Auswertungen für die einzelnen Schäden, wie in den Abbildungen 156 und 161 das Stichmaß der 4m Latte als wichtigster Parameter gefolgt vom negativen Versatz der Konstruktion. Bei der Schädigungssumme für Schraube 1 links Abbildung 157 waren diese beiden Parameter auf gleichem Niveau. Dies zeigt wieder die Wichtigkeit des Messwertes der 4m Latte sowie des nach unten versetzten Einbaus der FÜK im Vergleich zu den Anschlussbereichen.

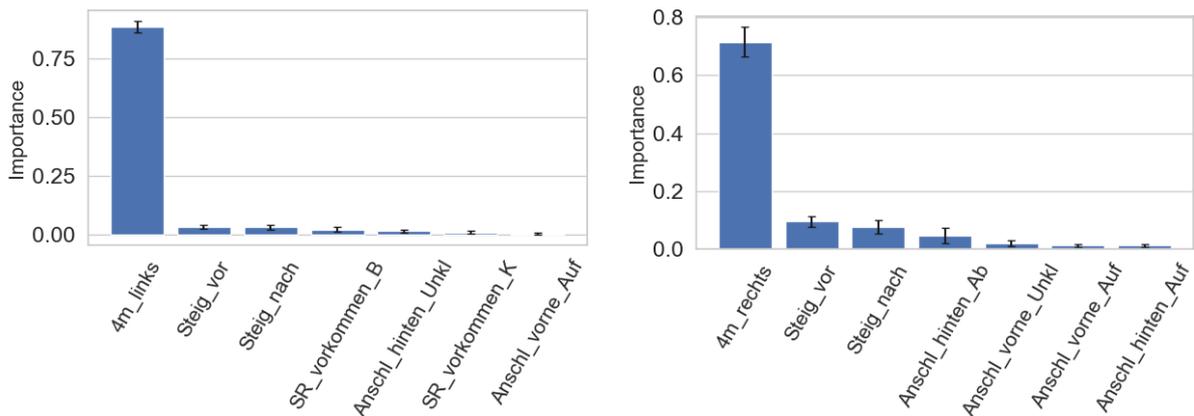


Abbildung 156: Importanzen Random-Forest Analyse für die Schädigungssumme an den Fingern in der (links) linken und (rechts) rechten Reifenspur

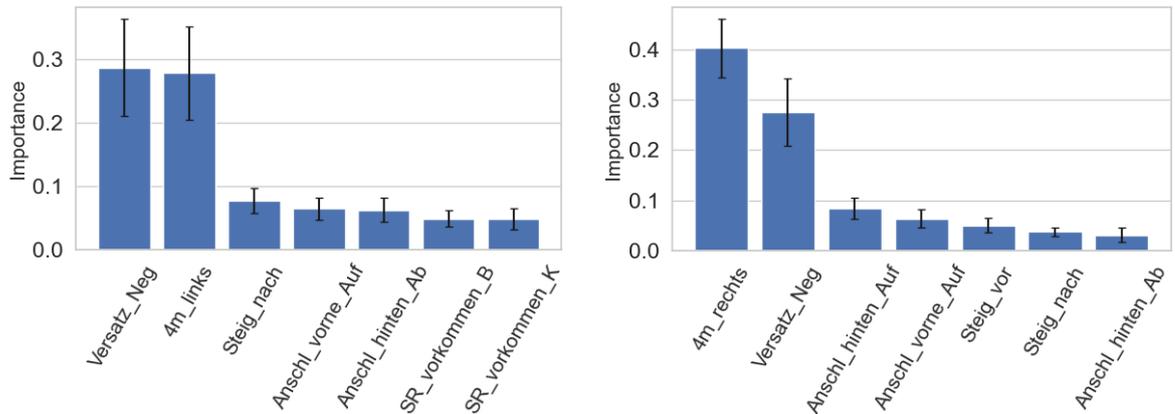


Abbildung 157: Importanzen Random-Forest Analyse für die Schädigungssumme an Schraube 1 in der (links) linken und (rechts) rechten Reifenspur

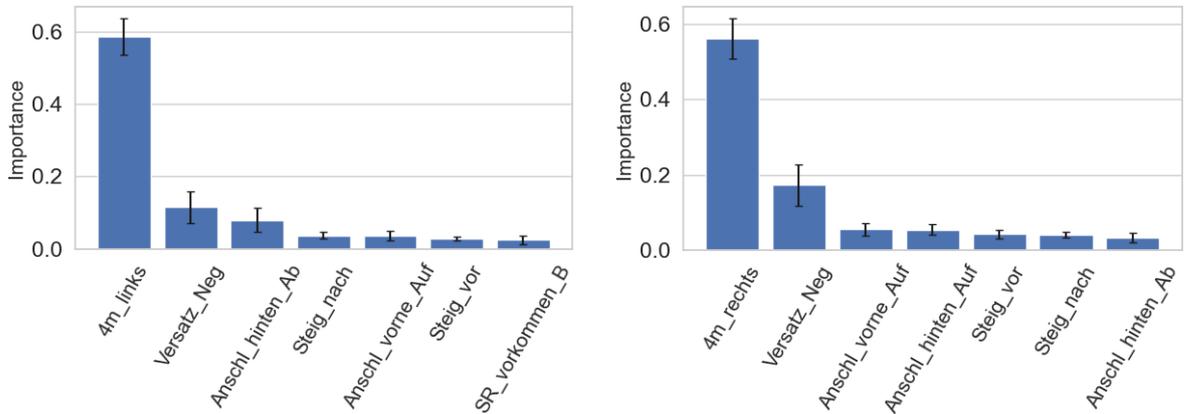


Abbildung 158: Importanzen Random-Forest Analyse für die Schädigungssumme an Schraube 2 in der (links) linken und (rechts) rechten Reifenspur

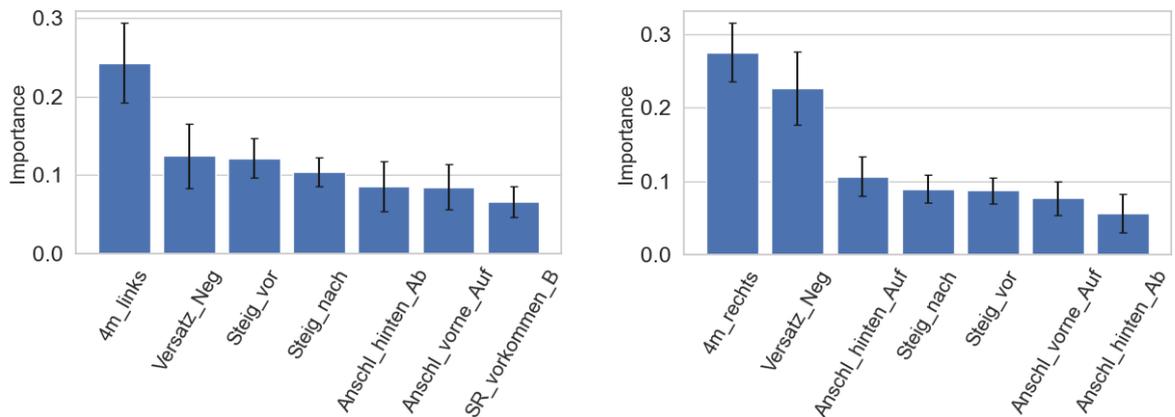


Abbildung 159: Importanzen Random-Forest Analyse für die Schädigungssumme an Lamelle 1 in der (links) linken und (rechts) rechten Reifenspur

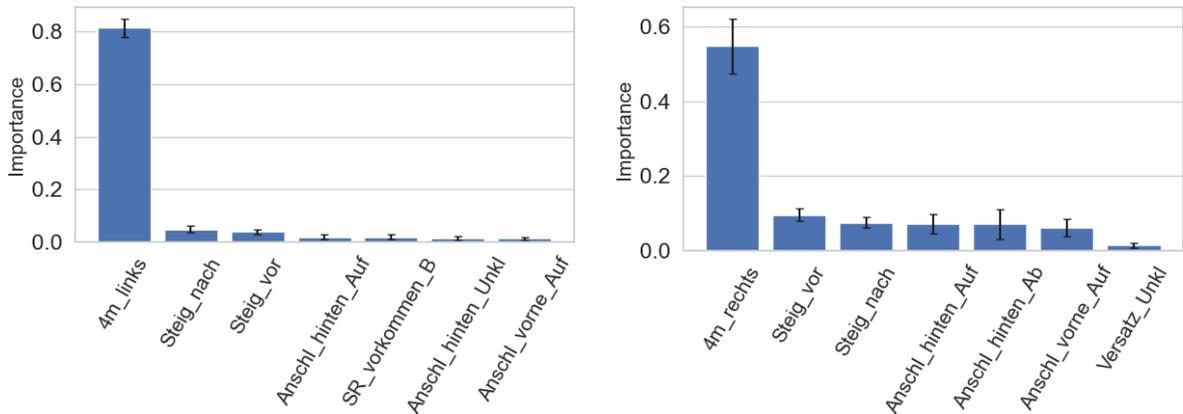


Abbildung 160: Importanzen Random-Forest Analyse für die Schädigungssumme an Lamelle 2 in der (links) linken und (rechts) rechten Reifenspur

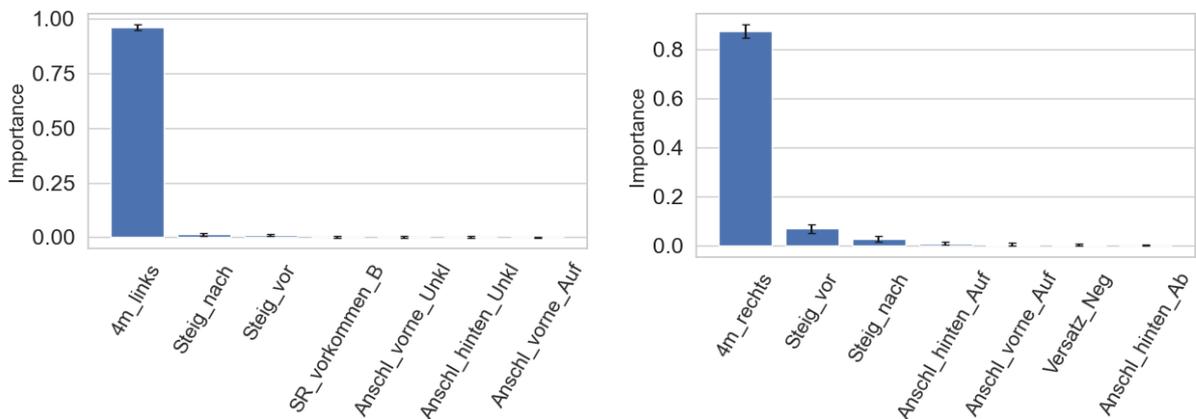


Abbildung 161: Importanzen Random-Forest Analyse für die Schädigungssumme an Lamelle 3 in der (links) linken und (rechts) rechten Reifenspur

In den Abbildungen 162 und 163 sind Scatterplots dargestellt, welche die Schädigungssummen den geometrischen Parametern gegenüberstellen. Der lineare Korrelationskoeffizient nach Pearson ist ebenfalls angeführt.

Wichtig: In diesen beiden Diagrammen werden numerische Werte für den Versatz vor der FÜK verwendet, wobei das Niveau der Fahrbahn das Referenzniveau darstellt. Ein negativer Versatz bedeutet also, dass die Fahrbahn (vor der FÜK) höher liegt.

Interessant ist hier, dass sich sehr gut zeigt, dass die Abhängigkeit der relevanten Parameter auch von der Position des Schadens abhängt. Z.B. hat bei der linken Reifenspur der Versatz einen negativen Korrelationskoeffizient von -0,60 für die Lamelle 1, von -0,08 für Lamelle 2 und 0,17 für Lamelle 3. Dies wird auf das Schwingungsverhalten des LKW-Modells zurückgeführt, welches nach dem Sprung wieder aufschwingt. Vergleiche hierzu auch Abbildung 164 in Abschnitt 4.5. Es zeigt sich allgemein auch, dass eine positive Korrelation

bei Schraubenschäden mit dem Versatz vorherrscht. Dies bedeutet, dass ein negativer Versatz (FÜK unter Fahrbahniveau) besser für die Lebensdauer der Schraubenschäden ist.

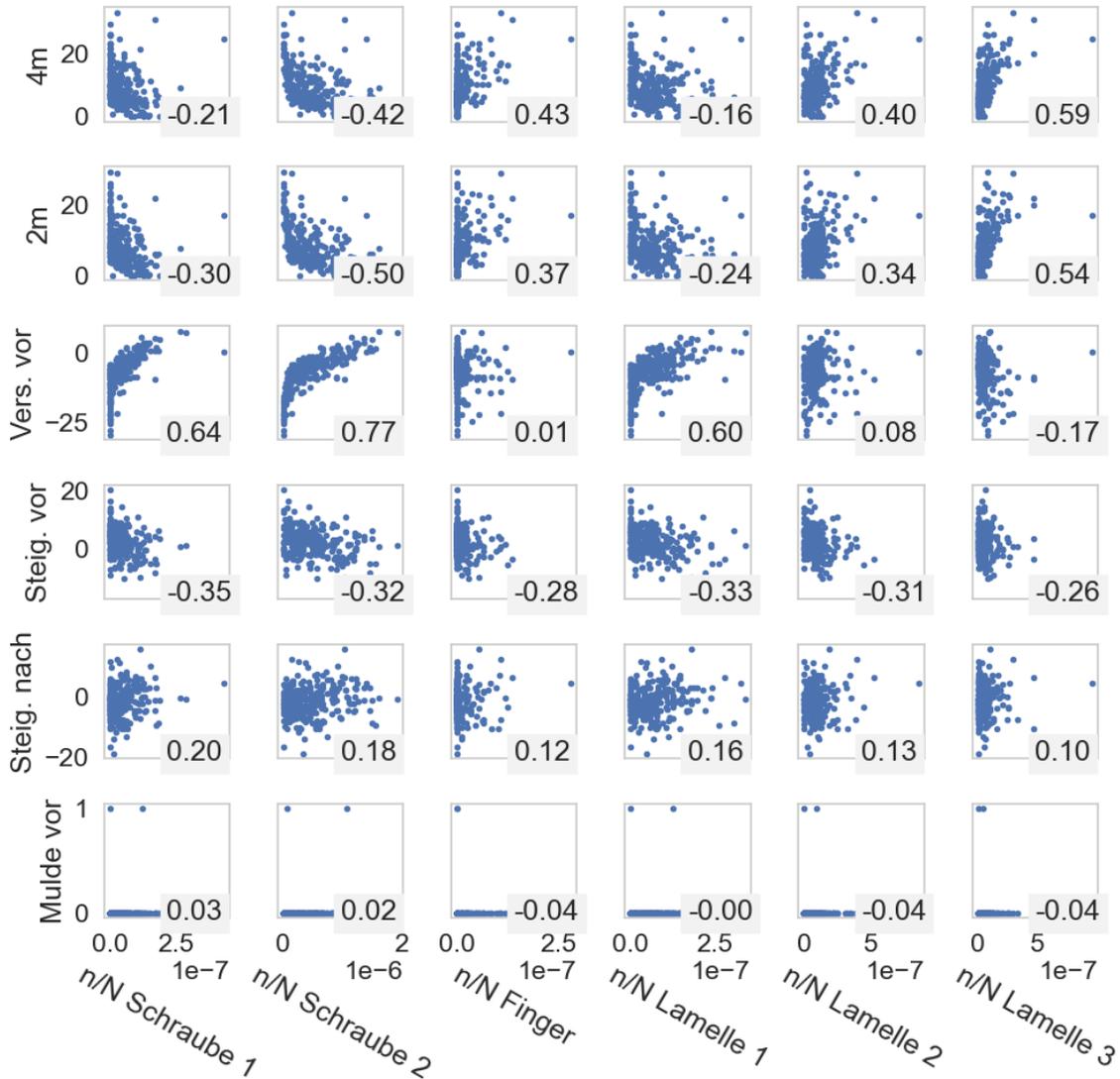


Abbildung 162: Scatterplot der geometrische Parameter vs. Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für die linke Reifenspur

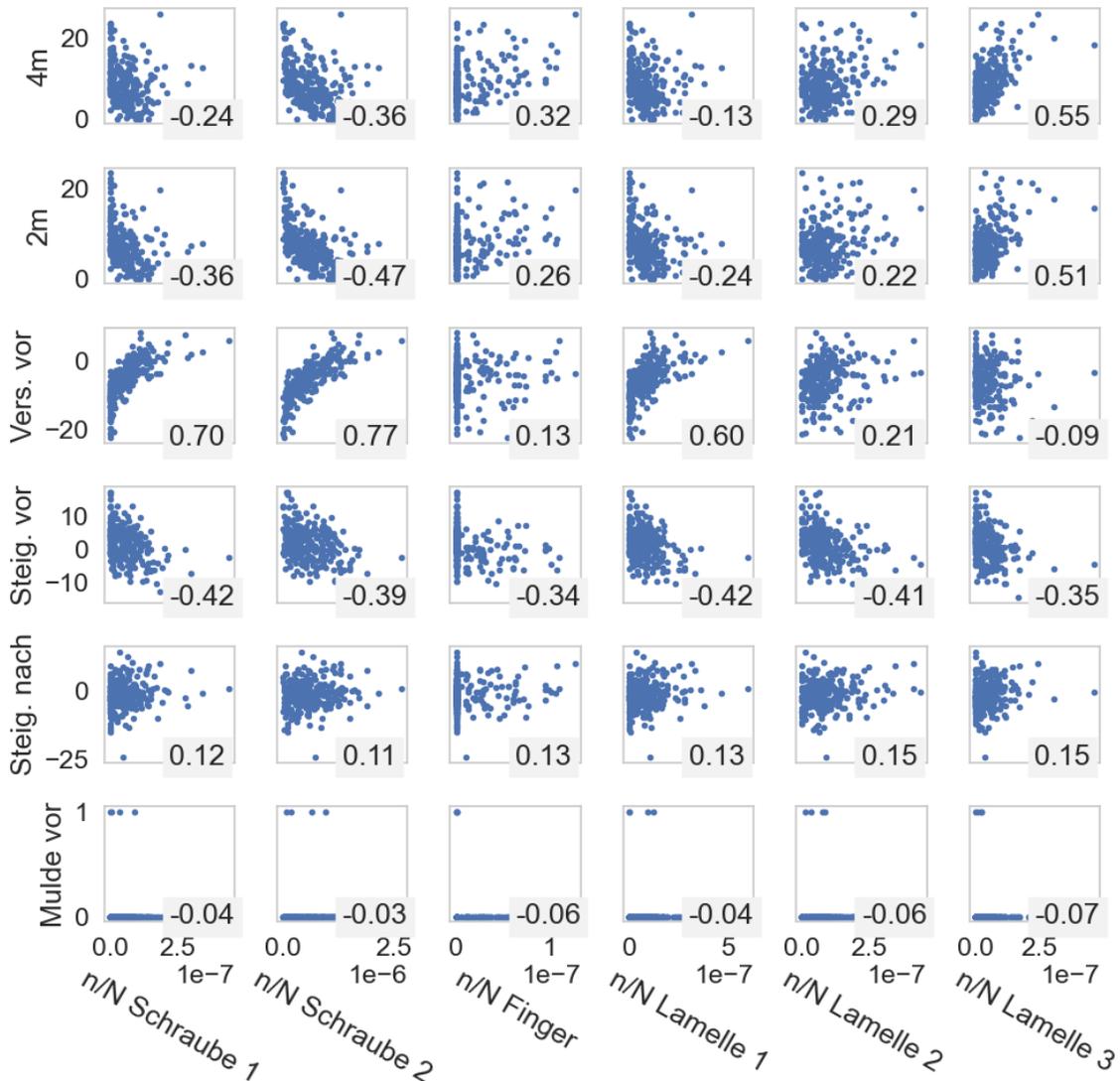


Abbildung 163: Scatterplot der geometrische Parameter vs. Schädigungssummen bei LKW-Überfahrt für die rechte Reifenspur

4.4.6 Zuordnung von Ausführungsart zur Lebensdauer

Um den betrachteten Konstruktionen und deren Schäden eine Lebensdauer zuzuordnen wurde die Annahme einer Verkehrsbelastung von 5000 LKW/Tag getroffen. Dies sind 1 825 000 LKW/Jahr. Es wird hier darauf hingewiesen, dass diese Zahlen willkürlich gewählt wurden und der betrachtete 40 to LKW nicht den typischen Schwerverkehrsmix auf Österreichs Schnellstraßen repräsentiert. Auch stellen betrachteten FÜK-Modelle generische FÜKs dar. Die Aussagen zur Lebensdauer sind also nur relativ zueinander zu interpretieren und nicht als absolute Aussagen auf reale Straßenzüge zu sehen.

Unter diesen Voraussetzungen wurden die Lebensdauern der unterschiedlichen Ausführungsarten berechnet und in Tabelle 12 dargestellt. Die Werte beziehen sich auf die linke Radspur. Es zeigt sich sehr deutlich, dass gerade Schraube 2, unter welcher die Unebenheit platziert wurde sehr sensitiv auf die eingebrachten Schäden reagiert. Unebenheiten der Unterkonstruktion sind auf jeden Fall zu vermeiden.

Tabelle 12: Zuordnung Ausführungsart – Lebensdauer in Jahren

		UG	UE	UE + VK	Stoß
Kragfinger	Finger oben	Inf.	Inf.	Inf.	-
	Schraube 1	54,8	30,6	17,8	-
	Schraube2	Inf.	2,7	1,4	-
Mod. Dehnfuge	Lamelle 2	Inf.	-	-	8,0

UG – Ungeschädigte Konstruktion; UE – Unebene Auflage der Fingerplatte; VK – Vorspannkraftverlust in Schraube 2; Stoß – Baustellenstoß der Lamelle; Annahme zur Berechnung: 5000 LKW/Tag.

4.5 Vergleich der Lebensdauer basierend auf unterschiedlicher Höhenlage der FÜK

Es wurden auf Wunsch von Auftraggeberseite auch noch Berechnungen mit verschiedener Höhenlage der FÜK im Vergleich zum umliegenden Fahrbahnbelag gerechnet. Gerechnet wurden ebene Fahrbahnen mit einer um eine bestimmte Höhe versetzten FÜK. Es wurden die folgenden Versätze gerechnet: -7mm, -5mm, -3mm, 0mm, 2mm und 3mm. Dargestellt werden die Ergebnisse für die modellierte Kragfingerfuge (siehe Abschnitt 4.2.1) und der Auswirkung auf die Ermüdungsbelastung der Schraubenkräfte von Schraube 2 für das unbeschädigte und das beschädigte Modell. Der Kragfingerübergang hat eine Breite von 635mm.

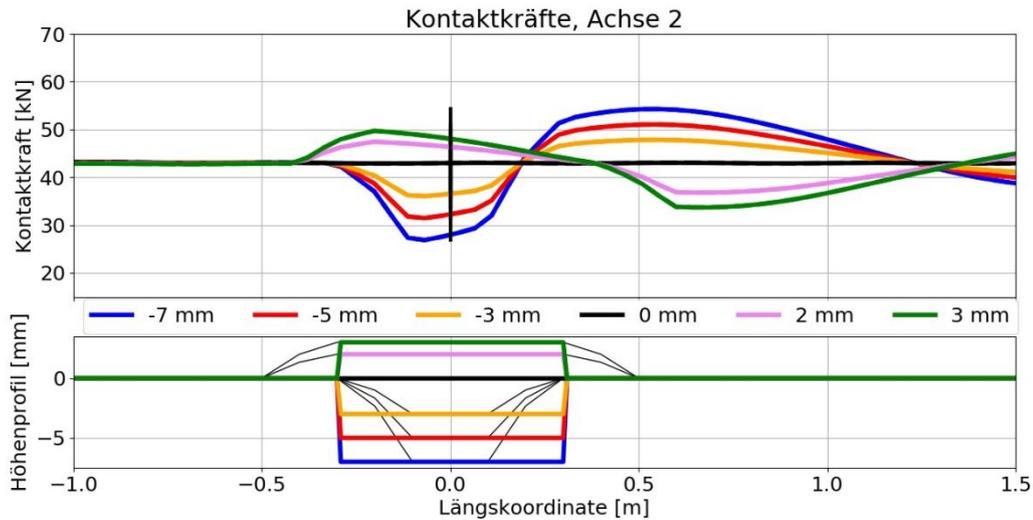


Abbildung 164: Darstellung der dynamischen Lasten von Achse 2 des LKW-Modells bei Überfahrt über die FÜK bei Versatzhöhen.

Abbildung 170 zeigt die Reifenkraft bei Achse 2 (höchste Achslast) des LKW-Modells. Oben ist die Kontaktkraft und unten das Höhenprofil in der jeweiligen Farbe (siehe Legende) eingetragen. Die dünnen schwarzen Linien im Höhenprofil zeigen das "gerechnete" Höhenprofil wobei hier auch der Reifenlatsch entsprechend den Annahmen in Abschnitt 3.2.1 berücksichtigt wurde. Es zeigt sich, dass eine aus der Fahrbahn herausragende FÜK eine höhere initiale Belastung auf die FÜK auslöst, da hier die träge Masse des LKW-Modells der Bewegung entgegensteht. Umgekehrt verhält es sich mit einer nach unten versetzten FÜK. Dies löst auch eine Schwingung des Systems LKW aus, welche um die statische Achslast schwingt. Dadurch werden auch Effekte wie die unterschiedliche Auswirkung in Abhängigkeit von der FÜK Position, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben nachvollziehbar.

Es werden die Ergebnisse für die Schädigungssummen bei Schraube 2 dargestellt, da diese am aussagekräftigsten waren. Die Berechnungen wurden durchgeführt für:

- Das unbeschädigte System
- Schäden der Unebenheit unter Fingerplatte bei Schraube 2
- Schäden der Unebenheit unter Fingerplatte bei Schraube 2 und gleichzeitige Reduktion der Vorspannkraft von 150 auf 50 kN.

Die Ergebnisse sind in Form von Balkendiagrammen in den Abbildungen 165 bis 167 dargestellt. Die Abbildungen zeigen jeweils die errechnete Schädigungssumme n/N nach Rainflow-Zählung und linearer Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner für eine einzelne

LKW-Überfahrt. Die Schädigungssumme ist somit indirekt proportional zur prognostizierten Lebensdauer des Details.

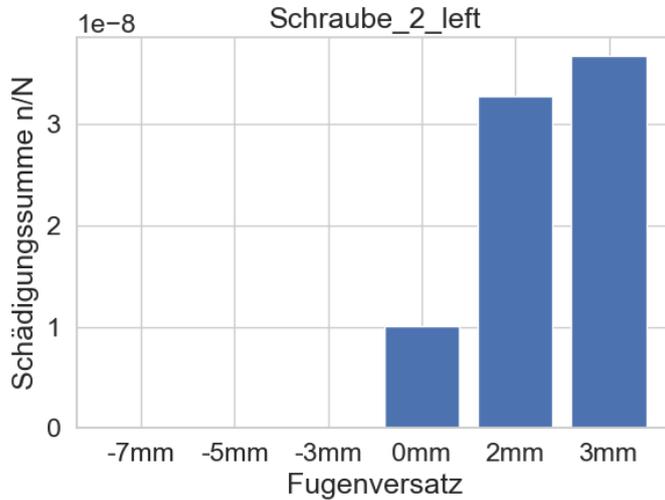


Abbildung 165: Schädigungssumme n/N für unterschiedlichen Höhenversatz der FÜK ausgewertet für Schraube 2 am ungeschädigten System

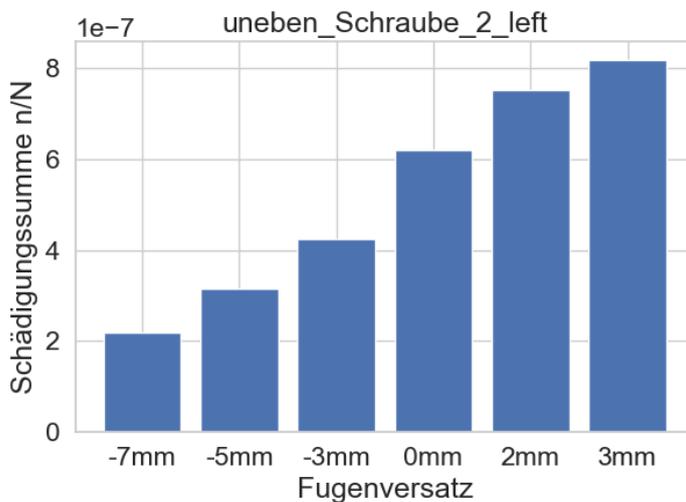


Abbildung 166: Schädigungssumme n/N für unterschiedlichen Höhenversatz der FÜK ausgewertet für Schraube 2 bei Unebenheit unter der Fingerplatte

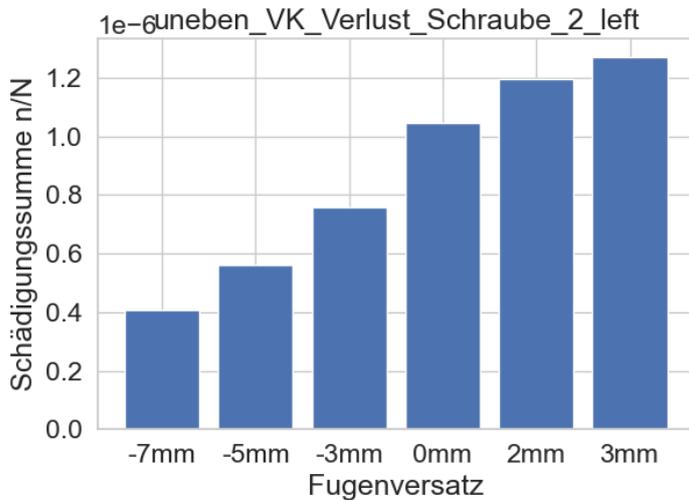


Abbildung 167: Schädigungssumme n/N für unterschiedlichen Höhenversatz der FÜK ausgewertet für Schraube 2 bei Unebenheit unter der Fingerplatte und Vorspannkraftverlust von Schraube 2

Es zeigt sich erwartungsgemäß ein starker Einfluss der Geometrie auf die errechnete Schädigungssumme. Je höher die FÜK im Verhältnis zur Fahrbahn liegt umso höher ist die Schädigung von Schraube 2. Bei der unbeschädigten Konstruktion sind die Spannungsschwingbreiten für Versatzhöhen von -7 bis -3mm so klein, dass sie unter das Cut-Off-Limit der Wöhlerlinie (Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit) fallen und somit keine rechnerische Schädigung aufweisen. Die Ergebnisse der Balkendiagramme finden sich untenstehend in Tabelle 13 noch in tabellarischer Form.

Tabelle 13: Schädigungssumme n/N je LKW-Überfahrt für unterschiedlichen Höhenversatz der FÜK ausgewertet für Schraube 2

Schädigungssumme/LKW	-7mm	-5mm	-3mm	0mm	2mm	3mm
Ungeschädigt	Inf.	Inf.	Inf.	1,00E-08	3,28E-08	3,67E-08
Uneben	2,20E-07	3,15E-07	4,24E-07	6,20E-07	7,53E-07	8,17E-07
Uneben + VK Verlust	4,07E-07	5,61E-07	7,59E-07	1,05E-06	1,20E-06	1,27E-06

Die Ergebnisse belegen klar die grundlegende Annahme zur Ermüdungsarmen Ausgestaltung der Geometrie. Auch hier zeigte sich die starke Auswirkung der angenommenen Schädigungen auf die Lebensdauer des ermüdungsrelevanten Details auf die prognostizierte Lebensdauer. Am Beispiel eines eben eingebauten FÜKs (0mm) und der Verhältnisse der berechneten Schädigungssummen:

- Uneben/Unbeschädigt = 62
- Uneben + VK Verlust / Unbeschädigt = 105

Es zeigt sich, dass sich hier schon ohne jegliche Unebenheit, durch die geänderten Steifigkeitsverhältnisse, höhere Spannungsschwingbreiten auftreten und sich diese aufgrund der logarithmischen Definition der Wöhlerlinie massiv auf die Lebensdauer auswirken.

4.6 Zusammenfassung

Für die numerische Prognose der (relativen) Lebensdauer der FÜK wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Es wurden detaillierte FE Modelle von zwei Fahrbahnübergangskonstruktionen erstellt, einer Kragfingerfuge und einer modularen Dehnfuge. Ausgewertet wurden die Schädigungssummen und somit auch die prognostizierte Lebensdauer für ermüdungsrelevante Details. Bei der Kragfingerfuge waren dies die Spannung an der Oberseite der Fingerplatten sowie die vordere und die hintere Schraubenreihe. Bei der modularen Dehnfuge war dies die Spannung an der Unterseite der Lamelle zwischen zwei Quertraversen. Für die Kragfingerfuge wurden Schäden durch unebene Auflage der Fingerplatte sowie Vorspannungsverlust einer Schraube berücksichtigt. Bei der modularen Dehnfuge wurde ein Baustellenstoß der Lamellen im Bereich der höchsten Spannung angenommen.

Mit einem numerischen Masse-Feder-Dämpfer-Modell eines 40 to LKWs, wurden mit den Geometrien der FÜK, welche in AP2 berücksichtigt wurden Überfahrtsberechnungen durchgeführt. Und die Schädigungssumme je LKW-Überfahrt für die ermüdungskritischen Details sowohl für unbeschädigte als auch geschädigte Konstruktionen bestimmt. Als besonders kritisch zeigten sich, was auch mit Erfahrungen in der Praxis übereinstimmt, die Schrauben der Fingerplatten. Diese sind im unbeschädigten Zustand unkritisch, reagieren jedoch sehr sensitiv auf Schäden mit einem starken Abfall der prognostizierten Lebensdauer. Besonders stark machen sich Unebenheiten der Unterkonstruktion im Bereich der Schrauben bemerkbar, da dies zu wesentlich höheren Spannungsschwingbreiten durch die geänderten Steifigkeitsverhältnisse führt. Ein zusätzlicher Vorspannungsverlust verstärkt die Schädigung noch deutlich. Die Lamellen von modularen Dehnfugen sind im ungestörten Zustand (Walzprofil) absolut ermüdungskritisch. Jedoch sollten Baustellenstöße in Bereichen hohen Momentes vermieden werden, da hier Schweißnähte durchaus ermüdungskritisch sein können.

Eine durchgeführte Analyse der Zusammenhänge mit geometrischen Faktoren zeigt, dass die Messwerte der 4m Latte sowie der vertikale Versatz der Konstruktionen die maßgeblichen

Faktoren für die Ermüdungsbelastung sind. Dies wurde auch durch eine zusätzliche Untersuchung basierend auf einem ebenen Anschlussprofil und unterschiedlichem Höhenversatz der Konstruktion gezeigt.

5 AP4: MATERIALTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN

5.1 Allgemeines

Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden von der Firma Nievelt Labor GmbH als Subauftragnehmer des Projektpartners GESTRATA durchgeführt.

Beauftragt wurde, für 5 unterschiedliche, dem Subauftragnehmer zur Verfügung gestellte Mörteln, eine Systemprüfung zur Bestimmung von spezifischen Materialkennwerten durchzuführen.

Die übergebenen Mörtel werden zur Herstellung von Stützrippen in Asphaltsschichten vor und nach einer Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) verwendet. Aufgrund der Materialzusammensetzungen dieser Produkte wird die Asphaltkonstruktion im Anschlussbereich „entlastet“ und werden dadurch in erster Linie Verformungen im oberen Querschnitt der Asphaltkonstruktion verhindert bzw. stark reduziert.

Die mögliche plastische Verformung der Asphaltsschichten hängt aber nicht nur von den Materialeigenschaften des Asphalts, sondern auch von der Lagerungsdichte des Asphalts ab. Im Nahebereich von Fahrbahnübergangskonstruktionen ist der Einbau von Asphaltsschichten insbesondere dann erschwert, wenn die FÜK-Achse nicht rechtwinkelig zur Fahrbahnachse verläuft.

Der ebene und höhengerechte Anschluss des Asphalts an die FÜK ist von besonderer Bedeutung. Abweichungen in der Ebenheit vor und nach der FÜK sowie eine nicht entsprechende bzw. eine sich im Laufe der Zeit verändernde Überhöhung der Asphaltoberkante zur FÜK-Oberkante, beeinflussen die Lebensdauer der Fahrbahnkonstruktion negativ.

Aktuell sind die Anforderungen an die Stützrippenmörtel in der RVS 15.04.51 [5], Tabelle 3, enthalten. Die nachfolgende Tabelle ist aus der vorgenannten RVS entnommen und zeigt die jeweiligen Anforderungen, insbesondere bei den Festigkeitseigenschaften und den adhäsiven Verbundeigenschaften, welche temperaturabhängig sind. Die RVS 15.04.51 [5] bzw. die angeführten Prüfnormen enthalten nur bedingt auf die eingesetzten Materialien abgestimmte Prüfbedingungen, siehe

Tabelle 14.

Im Rahmen der beauftragten Systemprüfungen sollen die übergebenen, in der Praxis derzeit im Einsatz befindlichen Vergussmaterialien unter vergleichbaren Prüfbedingungen geprüft und die Materialkennwerte gegenübergestellt werden. Das Prüfprogramm und die Prüfbedingungen wurden mit dem Auftraggeber im Vorfeld der Beauftragung abgestimmt.

Tabelle 14: Prüfverfahren und Prüfbedingungen für Vergussmaterialien „Stützrippen“
Quelle: RVS 15.04.51

	+ 18 °C	+ 45 °C	-20 °C
Druckfestigkeit ¹⁾	≥ 20 N/mm ²	≥ 8 N/mm ²	≥ 45 N/mm ²
Elastizitätsmodul bei Raumtemperatur ¹⁾	≤ 6000 N/mm ²		
Abreißfestigkeit gegen Stahl (sandgestrahlt) ²⁾	≥ 5,0 N/mm ²	≥ 2,5 N/mm ²	≥ 5 N/mm ²
Abreißfestigkeit gegen Beton (ausgehärtet) ²⁾	≥ Abreißfestigkeit des Betons (1,5 N/mm ²)		
Abreißfestigkeit gegen Asphaltbeton ²⁾	≥ Abreißfestigkeit des Asphaltbetons		
Bruchdehnung	≥ 8 %		
Wärmedehnung	≥ 60 x 10 ⁻⁶ 1/K		
Frost-Tausalzbeständigkeit gemäß ÖNORM B 3303	keine Beschädigungen		
¹⁾ ... in Anlehnung an ÖNORM B 3303 ²⁾ ... in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 4624			

Die Prüfverfahren und die angewendeten Prüfbedingungen sollen in weiterer Folge evaluiert und präzisiert werden. Darüber hinaus ist es möglich unter Einbeziehung der bei der Anwendung festgestellten Gebrauchstauglichkeit Empfehlungen über die Neuformulierung von Anforderungswerten auszuarbeiten.

Die nachfolgende Abbildung 168 zeigt eine schematische Darstellung der Anordnung von Stützrippen im Bereich von Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK).

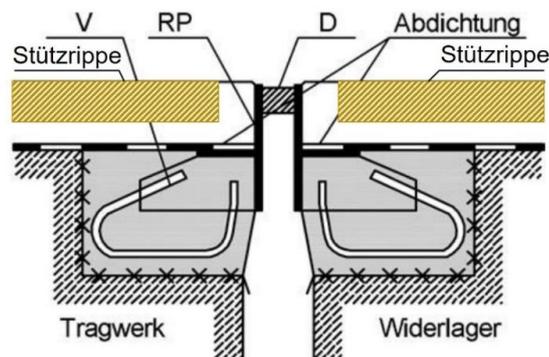


Abbildung 168: Schematischer Querschnitt einer FÜK, Quelle: RVS 15.04.51 [5]; schematische Darstellung der Stützrippen in Asphaltsschichten (Ergänzung Nievelt Labor GmbH)

5.2 Ausführung von Stützrippen

Die grundsätzlichen Abgaben zur Ausführung von Stützrippen sind in der RVS 15.04.51 [5], Pkt. 6.3.2, enthalten.

Auszug aus der vorgenannten RVS: Bei unmittelbar befahrenen FÜK sind in der Regel sowohl tragwerk- als auch dammkörperseitig Stützrippen als Deckenverstärkung auszubilden.

...

Die Stützrippen bestehen aus einem zweikomponentigen lösungsmittelfreien Schwarzdeckenmörtel auf Epoxidharzbasis oder gleichwertigem. Sie sind im Abstand von 25 cm, in einer Breite von 2 cm, einer Tiefe von mindestens 5 cm und einer schiefen Länge von 100 cm unter 45 ° zur Fahrtrichtung auszubilden, wobei der größere Winkel zur FÜK zu wählen ist. Die Decke, die elastische Belagsdehnfuge und die Stützrippen dürfen keinesfalls tiefer liegen als die OK Fahrbahnübergang, die Überhöhung darf bei bituminösen Deckschichten höchstens 3 mm betragen (s. auch Pkt. 6.3 der RVS 15.04.51).

...

In Bezug auf die Anforderungen an die Ebenheit und an die Überhöhung stellen die Festlegungen der RVS 08.16.01 [6] und der ÖNORM B 4032 [7] den aktuellen Stand der Technik dar.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Auszug aus der aktuellen standardisierten Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI), Version 5 [8].

260211	Herstellen von bituminösen Stützrippen zur Belagsstabilisierung in Asphaltsschichten durch Aufpräsen oder Schneiden mit einer Breite/Tiefe von x/x mm, Reinigen und Trocknen der Schnittfuge sowie das Verschließen mit Zweikomponentenmischgut auf Epoxydharzbasis mit abgestuftem Gesteinsgemisch (0-1 mm). Die Leistung beinhaltet auch: <ul style="list-style-type: none"> • das Laden und Wegschaffen des Reinigungsgutes, Verrechnet wird: <ul style="list-style-type: none"> • nach Laufmeter geschnittener und verschlossener Fuge. 	
260211A	Bit. Stützrippe herstellen 20/80 mm Zweikomponentenmischgut	m
260211B	Bit. Stützrippe herstellen 20/50 mm Zweikomponentenmischgut	m

Abbildung 169: Auszug aus der LB-VI, Version 5 (Stützrippen mit 8 cm oder 5 cm Tiefe)

Nach Herstellung des Fugenschnitts muss der Fugenkörper gereinigt und mit einem Voranstrich versehen werden. Darüber hinaus sind die Verarbeitungsrichtlinien der jeweiligen Hersteller zu beachten. Die nachfolgende Abbildung 170 zeigt ein Beispiel für die Anordnung der Stützrippen bei Asphaltflächen vor und nach der Fahrbahnübergangskonstruktion.



Abbildung 170: Ausführung der Stützrippen in einem Winkel von 45 ° zur Fahrtrichtung

5.3 Übergebene Materialien

Es wurden 5 unterschiedliche Mörtelsysteme zur Verfügung gestellt. Die Produkte und die Einzelkomponenten sind der nachfolgenden Tabelle 15 und der Tabelle 16 zu entnehmen. Die Datenblätter der einzelnen Produkte wurden ebenfalls zur Verfügung gestellt.

Tabelle 15: Übergebene und geprüfte Mörtelsysteme

Mörtel	Hersteller	Produktbezeichnung	Materialart
1	Haas	HP-SR	Epoxydharzmörtel „auf Spezialkunststoffbasis“
2	Colas	Mastol	Epoxydharzmörtel
3	SAFT	Betopox AS fein	Epoxydharzmörtel
4	cds Polymere	cds-Mörtel 0-3 L flex spezial	Epoxydharzmörtel
5	WestWood	Wecryl 846	Mörtel aus Basis von Polymethylmethacrylat

Tabelle 16: Eingesetzte Produkte und Einzelkomponenten

Mörtel	Anzahl	Menge	Einheit	Gebinde	Material
1	2	17,5	kg	Kübel	Sand
	2	1,67	kg	Flasche	Komp. A
	2	0,83	kg	Flasche	Komp. B
	2	0,2	kg	Flasche	Haftgrund Komp. A
	2	0,2	kg	Flasche	Haftgrund Komp. B
2	1	20	kg	Kübel	Mastol, Komponente A
	1	1.000	ml	Flasche	Mastol, Komponente B Sommer
	1	1.000	ml	Flasche	Mastol, Komponente A, Primer
	1	500	ml	Flasche	Mastol, Komponente B Sommer, Primer
3	1	38,5	kg	Kübel	Betopox AS Fein, Komp. A
	1	1,5	kg	Flasche	Betopox AS, Komp. B
	1	1,75	kg	Kübel	Betopox Haftgrund AS, Komp. A
	1	0,5	kg	Flasche	Betopox Haftgrund AS, Komp. B
4	2	20	kg	Sack	cds-Mörtel 0-3 L flex spez. Komp A
	2	0,95	kg	Flasche	Härter FH super f. Mörtel; 0-3 L flex spez. Komp. B
	1	3,34	kg	Kübel	cds-Haftvermittler, Komp. A
	1	0,66	kg	Flasche	Härter FH für cds-Haftvermittler, Komp. B
5	3	24	kg	Kübel	Wecryl 846 - aktiviertes Füllstoffgemisch
	3	3	kg	Kübel	Wecryl 846 - Harz
	6	0,3	kg	Beutel	Weplus 900
	1	0,6	kg	Dose	Wecryl 110 Primer, Asphalt (Nachlieferung durch Hersteller)
	1	0,6	kg	Dose	Wecryl 276 Primer, Beton (Nachlieferung durch Hersteller)
	1	0,7	kg	Dose	Wecryl 713 Primer, Stahl (Nachlieferung durch Hersteller)

Die Verarbeitungshinweise aus den Produktdatenblättern der Hersteller wurden bei der Herstellung und Verarbeitung der übergebenen Produkte berücksichtigt.

Die wesentlichsten Punkte sind in der nachfolgenden Tabelle 17 beschrieben.

Tabelle 17: Zusammenfassung der Verarbeitungshinweise gemäß Datenblätter

Mörtel	Kurbezeichnung	Verarbeitungshinweise gemäß übergebenen Datenblättern
1	Haas	<ul style="list-style-type: none"> • Gebinde liegen im richtigen Mischungsverhältnis vor (Anm.: kein Zusammenwägen von Komponenten erforderlich) • Komp. A + Komp. B in den Kübel schütten und mind. 5 Minuten mit elektrischem Rührwerk sorgfältig mischen (Anm. keine Angabe der Umdrehungszahl) • Am Eimerrand klebende Bindemittelanteile sind abzustreifen • Während des Mischvorgangs ist das Material einmal umzutopfen • Mörtel ist mit Zahnspachtel oder Glättkelle zu verdichten und glattziehen • Bei Anwendung einer Grundierung: Verarbeitung „nass in nass“
2	Colas	<ul style="list-style-type: none"> • Gebinde liegen im richtigen Mischungsverhältnis vor (Anm.: kein Zusammenwägen von Komponenten erforderlich) • Komp. A gut aufrühren und Komp. B dazu schütten. Mindestens 2 bis 3 Minuten mischen (Anm. keine Angabe der Art des Rührwerks und der Umdrehungszahl) • Aufbringen eines Voranstriches wird empfohlen • Verdichten durch Anstampfen bzw. mit Handwalze • Bei Anwendung einer Grundierung: Verarbeitung „nass in nass“ • Haftgrund mittels Pinsel oder Aufspritzen aufbringen
3	SAFT	<ul style="list-style-type: none"> • Gebinde liegen im richtigen Mischungsverhältnis vor (Anm.: kein Zusammenwägen von Komponenten erforderlich) • Komp. A + Komp. B zusammenfügen und mind. 2 Minuten mit einem Zwangsmischer intensiv mischen • Mörtel ist mit Kelle zu verarbeiten • Verarbeitung „nass in nass“
4	cds Polymere	<ul style="list-style-type: none"> • Gebinde liegen im richtigen Mischungsverhältnis vor (Anm.: kein Zusammenwägen von Komponenten erforderlich) • Die Härterkomp. B ist vollständig in die Komp. A zu entleeren und mit einem elektrischem Handrührgerät, z.B. langsam laufende Bohrmaschine (300-400 U/Min.) zu mischen (Anm.: keine Angaben der Mischzeit) • Während des Mischvorgangs ist das Material einmal umzutopfen • Zum Streichen sind Schrubber mit Naturborsten oder Flächenbürsten zu verwenden • Verarbeitung „nass in nass“
5	WestWood	<ul style="list-style-type: none"> • Gebinde liegen im richtigen Mischungsverhältnis vor (Anm.: kein Zusammenwägen von Komponenten erforderlich) • Zuerst ist die Harzkomponente gut zu mischen und der Sandkomponente zuzugeben. Beide Komponenten sind 3 Minuten mit einem Zwangsmischer vollständig zu mischen • Während des Mischvorgangs ist das Material einmal umzutopfen • Der Mörtel ist auf der ausgehärteten Grundierung aufzutragen • Primer gründlich aufrühren und dann den Katalysator bei langsam laufendem Rührwerk zugeben, 2 Minuten mischen, bei Temperaturen < 10 °C: 5 Minuten mischen • Die Grundierung ist mit einem Fellroller gleichmäßig und filmbildend aufzurollen

Prüfprogramm

5.3.1 Grundsätzliche Überlegungen und Prüfkonzept

Aktuell sind in der RVS 15.04.51 [5] die Prüfverfahren zur Bestimmung der Materialkennwerte zur Überprüfung der Eignung der Produkte nicht ausreichend beschrieben. Die Festigkeitsparameter (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit und Abreißfestigkeit gegen Stahl) sind bei den Prüftemperaturen von -20 °C, +18 °C und +45 °C zu ermitteln. Der

Elastizitätsmodul ist bei Raumtemperatur zu bestimmen. Weitere Anforderungswerte beziehen sich auf die Bruchdehnung, die Wärmedehnung und die Frostausalzbeständigkeit.

Eines der wesentlichsten Ziele der gegenständlichen Materialprüfungen war die Ermittlung von charakteristischen Materialkennwerten der in Österreich gebräuchlich eingesetzten Produkte unter vergleichbaren Prüfbedingungen.

Die übergebenen Mörtel werden in Österreich schon seit einigen Jahren eingesetzt und sollten die den Typprüfungen zugrunde liegenden Prüfverfahren nicht grundsätzlich geändert werden. Darüber hinaus sollen Prüfverfahren angewendet werden, die in Österreich gebräuchlich zur Anwendung kommen. Dadurch sollen zusätzliche Kosten bei den Herstellern und den Abnahmeprüfern vermieden werden. Aus den vorgenannten Gründen wurden zur Überprüfung und Bewertung der Mörtelsysteme die folgenden Prüfverfahren ausgeführt:

- Temperatur- und zeitabhängige Festigkeitsentwicklung der unterschiedlichen Mörtel, geprüft 24 Stunden und 7 Tage nach der Herstellung bei den Prüftemperaturen von -20 °C, +10 °C und +45 °C an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm (vergleichbar der Prüfung von Zement). Die Temperaturen -20 °C und +45 °C bilden die unteren und oberen Temperaturgrenzen im Gebrauchszustand ab. Höhere Temperaturen an der Oberfläche von Asphaltfahrbahnen sind grundsätzlich möglich, allerdings ist für das Gebrauchsverhalten der Mörtel die Kerntemperatur und nicht die Oberflächentemperatur maßgebend. Bei einer Dicke der Stützrippen zwischen ca. 50 mm und ca. 80 mm ist die obere Temperaturgrenze mit +45 °C sinnvoll gewählt. Im Vergleich zur aktuellen Vorgabe der RVS wurde der mittlere Temperaturbereich von +18 °C auf +10 °C reduziert. Diese Festlegung hat mehr einen prüftechnischen als einen praktischen Hintergrund. Die +18 °C befinden sich nahe an üblichen Raumtemperaturen und kann daher die tatsächliche Prüftemperatur in Abhängigkeit der Jahreszeit, bei der die Prüfung durchgeführt wird, variieren. Mit dieser Festlegung soll sichergestellt werden, dass die Prüfkörper in einem Klimaschrank temperiert werden. Darüber hinaus ist aus der Literatur bekannt, dass Asphalt im Temperaturbereich von ungefähr +10 °C sein Materialverhalten von tendenziell spröd auf duktil ändert.
- Temperaturabhängiger statischer E-Modul der unterschiedlichen Mörtel, bei den Prüftemperaturen von -20 °C, +10 °C und +45 °C an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm (vergleichbar der Prüfung von Zement). Die Ergebnisse dieser Prüfung ist insb. im Vergleich zum E-Modul von Asphalt von Interesse, da die Steifigkeit von Asphalt (Thermoplast) stark von der Temperatur abhängt. Nachdem die Elastizitätsmodule von Baustoffen im Allgemeinen vom Prüfverfahren abhängig sind, wurde auch für die Asphaltmischgutsorte AC 11 deck PmB 45/80-65, A2, G1 der statische E-Modul nach dem gleichen Prüfverfahren ermittelt.
- Schwindverhalten der unterschiedlichen Mörtel. Grundsätzlich wird das Schwindmaß der eingesetzten Mörtel als gering eingeschätzt und dürfte dieses Materialverhalten für

die Anwendung der Mörtel als Stützrippen von geringer Bedeutung sein. Darüber hinaus erfolgt der Erhärtungsvorgang der Mörtel relativ schnell und werden die Ergebnisse daher auch von temperaturbedingten Längenänderungen (Erwärmung und Abkühlung) überlagert. Für die Prüfung des Schwindverhaltens wurden 2 unterschiedliche Prüfverfahren eingesetzt:

- Prüfung an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm (vergleichbar der Prüfung von Zement), dieses Verfahren wurde bei allen 5 Mörtelsystemen angewendet
- Prüfung in der Schwindrinne an Mörtelprismen 20 mm x 80 mm x 1.000 mm, also mit vergleichbaren Abmessungen wie die Stützrippen in Asphaltkonstruktionen hergestellt werden, für die Anwendung dieses Verfahren liegt noch kein ausreichender Erfahrungshintergrund vor. Aus diesem Grund wurde dieses Prüfverfahren nur für die Mörtel Hass und WestWood angewendet. Diese beiden Materialien zeigen bei der Festigkeitsprüfung unterschiedliches Materialverhalten.
- Verbundeigenschaften der unterschiedlichen Mörtel gegen verschiedene Baustoffe, geprüft als Abreißfestigkeit einer ca. 10 mm dicken Mörtelschicht auf speziell vorbereiteten Asphalt-, Beton- und Stahlplatten. Die größte Bedeutung für die gegenständliche Anwendung kommt dem Baustoffe Asphalt zu. Aus diesem Grund wurden für diese Versuche 2 verschiedene Asphaltdeckschichten verwendet. Eine typische Deckschicht für das höher belastete untergeordnete Straßennetz (AC 11 deck PmB 45/80-65, A2, G1) und eine typische Deckschicht für das hochbelastete hochrangige Straßennetz (SMA 11 deck PmB 45/80-65, S2, GS). Asphalttragschichten wurden bei den gegenständlichen Versuchen nicht betrachtet, obwohl ungefähr die Hälfte des Stützrippenquerschnitts in diese Schicht eingebunden ist. Das Haftverhalten der Mörtel an diesen Schichten wird aufgrund der dichteren Lagerung (im Vergleich zum SMA) und des geringeren Bindemittelgehalts grundsätzlich als günstiger eingestuft und könnte dies im Zuge weiterführender Materialprüfungen verifiziert werden. Nachdem die Stützrippen in die fertigen Asphalttschichten eingeschnitten werden, ist zum überwiegenden Teil die Adhäsion der Primer/Mörtel an den Gesteinskörnungen maßgebend. Bei den durchgeführten Versuchen wurden die Asphaltplatten in einem Walzsegmentverdichter hergestellt und die Oberflächen vor Applizierung der Mörtel sandgestrahlt. Dadurch wurde der Bitumenfilm von den Gesteinskörnungen entfernt, um vergleichbare adhäsive Eigenschaften wie im geschnittenen Fugenkörper zu erhalten. Der Unterschied zwischen sandgestrahlten und geschnittenen Asphaltflächen kann bei weiterführenden Prüfungen verifiziert werden. Die Abreißeistigkeit der Mörtel zu Beton und Stahl ist für die Problemstellung von geringerer Bedeutung. Trotzdem wurden diese Prüfungen an speziell vorbereiteten Prüfplatten durchgeführt, um die Eigenschaften dieser Mörtel zu bestimmen. Nachdem diese Mörtel grundsätzlich nicht nur für Stützrippen eingesetzt werden, ist es sinnvoll im Rahmen einer Typprüfung (Erst- bzw. Eignungsprüfung) auch diese Kennwerte zu erfassen.

- Witterungsbeständigkeit der unterschiedlichen Mörtel, geprüft und bewertet über die Frost-Tausalz-Beständigkeit (vergleichbar der Prüfung über die gleichwertige Beständigkeit von Beton für die Expositionsklasse XF4). Die Mörtel wurden auf Asphaltplatten in einer Dicke von ca. 10 mm aufgebracht und mit einer Natriumchloridlösung überschichtet. Nach Abschluss der Befrostung wurde die Abwitterung der Mörtel bestimmt. Zur Bewertung, ob durch die Frost-Tau-Wechselbeanspruchung ein Einfluss auf den Verbund der Mörtel gegen Asphalt gegeben ist, wurde nach der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung noch einmal die Abreißfestigkeit geprüft.

5.3.2 Kurzbeschreibung der eingesetzten Prüfverfahren

5.3.2.1 Bestimmung der Festigkeitseigenschaften

Die Ermittlung der zeit- und temperaturabhängigen Druck- und Biegezugfestigkeit erfolgte nach den Vorgaben der ÖNORM EN 196-1 [9] (Prüfverfahren für Zement Teil 1: Bestimmung der Festigkeit). Die Biegezugfestigkeitsprüfung erfolgte an Prismen mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm (Mittelwert aus 3 Einzelwerten). An den Reststücken wurde die Druckfestigkeit ermittelt (Druckfläche 40 mm x 40 mm, Mittelwert aus 6 Einzelwerten).

Nach Temperierung in einem Klimaschrank über (240 ± 5) Minuten auf die vorgegebene Prüftemperatur wurden die Probekörper innerhalb von 30 Sekunden in die Prüfeinrichtungen eingebaut und die Prüfung unmittelbar danach gestartet. Die Reststücke wurden vor der Druckfestigkeitsprüfung noch einmal über einen Zeitraum von (30 ± 5) Minuten auf die festgelegte Prüftemperatur temperiert. Die nachfolgende Abbildung 171 zeigt die Prüfanordnungen bei der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung. Die Festigkeitskennwerte wurden 24 Stunden und 7 Tage nach der Herstellung bei den Prüftemperaturen von -20 °C , $+10\text{ °C}$ und $+45\text{ °C}$ ermittelt.



Abbildung 171: Prüfvorrichtung zur Bestimmung der Biegezug- und der Druckfestigkeit

5.3.2.2 Bestimmung des statischen E-Moduls

Der statische E-Modul wurde ebenfalls an Prismen mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm in Anlehnung an die Vorgaben der ONR 23303, Punkt 9.7 (Prüfverfahren Beton, Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe) ermittelt.

Für jeden Mörtel wurden 3 Prismen hergestellt und der Prüfung unterzogen. In Vorversuchen wurde der elastische Bereich ermittelt und die Ober- und Unterspannung (Belastungsbereich zwischen 2,3 kN und 23 kN) einheitlich für alle Mörtel festgelegt.

Wie auch bei den anderen Festigkeitsprüfungen wurden die Probekörper in dem Klimaschrank über (240 ± 5) Minuten auf die vorgegebene Prüftemperatur temperiert, die Probekörper innerhalb von 30 Sekunden in die Prüfeinrichtungen eingebaut und unmittelbar im Anschluss die Prüfung gestartet.

Die nachfolgende Abbildung 172 zeigt die Prüfanordnungen. Die statischen E-Module wurden bei den Prüftemperaturen von -20 °C , $+10\text{ °C}$ und $+45\text{ °C}$ ermittelt.

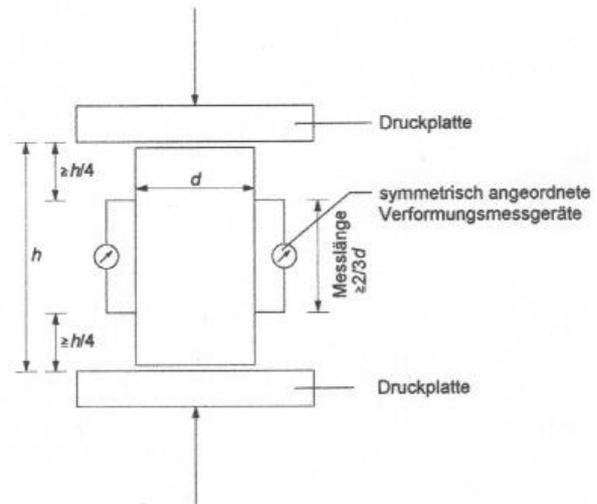


Abbildung 172: Prüfvorrichtung zur Bestimmung des statischen E-Moduls, schematische Darstellung des Messprinzips, Quelle ONR 23303

5.3.2.3 Verbundeigenschaften der Mörtel gegen verschiedene Oberflächen

Zur Bestimmung der Verbundeigenschaften der Mörtel gegen unterschiedliche Baustoffe wurden Abreißversuche in Anlehnung an die RVS 11.06.81 [10] (Qualitätssicherung Bau, Prüfungen, Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen auf Beton) bzw. der ÖNORM EN 1542 [11] (Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch) durchgeführt.

In Abhängigkeit des eingesetzten Mörtels wurde vor Applikation der Mörtel der Primer auf die Platten aufgebracht. Die unterschiedlichen Mörtel wurden auf den folgenden Unterlagen in der Dicke von 10 mm verteilt, verdichtet und glattgezogen:

- Asphalt AC 11, sandgestrahlt (Sorte AC 11 deck PmB 45/80-65, A2, G1)
- Asphalt SMA 11, sandgestrahlt (Sorte SMA 11 deck PmB 45/80-65, S2, GS)
- Beton (Fertigbetonplatte), sandgestrahlt
- Stahl (Stahlplatte), gereinigt und entfettet (Reinheitsgrad SA 2,5)

Vor dem Aufkleben der Prüfstempel wurde eine Ringnut bis ca. 10 mm in die Unterlage gebohrt. Die Abreißfestigkeit der Mörtel wurde 7 Tage nach der Herstellung bei der Prüftemperatur von 10 °C ermittelt. Vor der Prüfung wurden die Platten im Klimaschrank über (240 ± 5) Minuten temperiert und die Prüfungen (4 Einzelwerte) innerhalb von ca. 5 Minuten abgeschlossen. Die nachfolgende Abbildung 173 zeigt das Messprinzip zur Bestimmung der Abreißfestigkeit der unterschiedlichen Mörtel auf den verschiedenen Unterlagen.

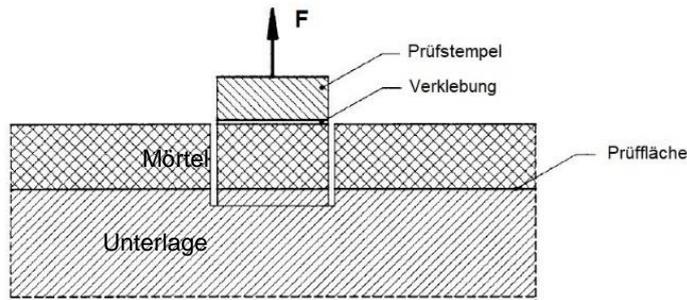


Abbildung 173: Prüfschema Abreißfestigkeit, Quelle: Internet

Die Prüfeinrichtung und die Versuchsanordnung können der nachfolgenden Abbildung 174 entnommen werden.



Abbildung 174: Prüfeinrichtung zur Bestimmung der Abreißfestigkeit

5.3.2.4 Bestimmung des Schwindverhaltens

Approbiertes Prüfverfahren

Die Bestimmung des Schwindverhaltens der Mörtel erfolgte an Prismen mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm gemäß den Vorgaben der ÖNORM EN 12617-4 [12], Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Teil 4: Bestimmung des Schwindens und Quellens.

Bestimmt wurde die Längenänderung zwischen der Nullmessung (24 Stunden nach der Herstellung der Probekörper) und der Endmessung (56 Tage nach der Herstellung der Probekörper). Mit der festgelegten Prüfanordnung wurde das „Langzeitschwinden“ der Produkte ohne Temperatureinfluss vergleichend erfasst.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Erhärtung der Produkte sehr schnell erfolgt. Die Verarbeitungszeit der Produkte ist grundsätzlich temperaturabhängig, liegt aber im Regelfall unter einer Stunde.

Die nachfolgende Abbildung 175 zeigt die Prüfvorrichtung zur Erfassung der Längenänderung der prismatischen Probekörper. Die Lagerung der Probekörper erfolgte in einem Klimaraum über 56 Tage. Die Längenänderung wurde auf 0,001 mm erfasst und als Mittelwert aus 3 Einzelmessungen angegeben.



Abbildung 175: Prüfvorrichtung zur Bestimmung des Schwindverhaltens in Anlehnung an die Zementprüfung

Alternatives Prüfverfahren

Die Stützrippen in Asphaltkonstruktionen werden im Regelfall mit einer Länge von 1.000 mm hergestellt. Der Querschnitt beträgt 20 mm x 80 mm und wird dieses Produkt somit als schmaler Balken in der Asphaltkonstruktion ausgeführt. Um die Längenänderung einer Stützrippe möglichst realitätsnah simulieren zu können, wurde der Fugenkörper mit den gleichen Abmessungen aus einer Holzschalung nachgebildet und zwei Mörtel (Haas und WestWood) in die Schwindrinne eingebaut.

Erfasst wurde bei diesem alternativen Schwindversuch nach ÖNORM B 3329 [13], Vergussmörtel, Anforderungen und Prüfmethode, nicht nur die Längenänderung, sondern auch der Temperaturverlauf über einen Zeitraum von 21 bzw. 42 Tagen. Im Gegensatz zu den Schwindversuchen an den gedruckten prismatischen Probekörpern (siehe Pkt. 0) wurde die Längenänderung bereits unmittelbar nach dem Einbringen der Mörtel aufgezeichnet (ca. 10 Minuten nach dem Vermischen der Komponenten). Die Lagerung der Probekörper erfolgte wieder in einem Klimaraum bei 20 °C.

Im Gegensatz zur tatsächlichen Anwendung der Produkte kann sich der Mörtel in den beiden Schwindversuchen ohne Zwang verkürzen. Nachdem sich der Mörtel mit dem umliegenden Asphalt bei der Erhärtung verbindet ist in der Praxis grundsätzlich von geringeren Verkürzungen auszugehen.

Die nachfolgende Abbildung 176 zeigt die Prüfanordnung zur Erfassung des Schwindverhaltens in der Schwindrinne.



Abbildung 176: Prüfvorrichtung „Schwindrinne“

5.3.2.5 Witterungsbeständigkeit

Nachdem die Mörtel an der Oberfläche von Straßen liegen, müssen diese eine hohe Frost-Tausalz-Beständigkeit aufweisen. Zur Bewertung der Produkte wurde eine Frost-Tausalz-Prüfung in Anlehnung an die Vorgaben der ONR 23303:2010 [14], Punkt 9.11, durchgeführt (Prüfung zur Beurteilung einer gleichwertigen Beständigkeit für die Frostklassen XF2 und XF4).

Bei dieser Prüfung werden die Probekörper wiederholten Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt. Ein Frost-Tau-Wechsel dauert 24 Stunden. Nach Durchführung der festgelegten Anzahl von Frost-Tau-Wechseln wird die Menge des von der Prüfoberfläche abgewitterten Materials bestimmt. Der Wert nach 56 Frost-Tau-Wechseln kann für die Bewertung des Abwitterungswiderstandes, vergleichbar den Prüfverfahren im Betonstraßenbau, verwendet werden.

Nachdem ergänzend zur Abwitterung des Mörtels auch der mögliche Einfluss der Frost-Tausalz-Wechselbeanspruchung auf die Grenzfläche zwischen dem Mörtel und der Asphaltunterlage bewertet werden sollte, wurden Asphaltplatten mit den Abmessungen 260 mm x 300 mm x 40 mm hergestellt und mit dem Mörtel 10 mm dick überbaut. Die Mörtel wurden während der Prüfung mit einer 3%-igen NaCl-Lösung überschichtet. Eine Polyethylenfolie verhindert das Verdunsten der 3 mm dicken Prüfflüssigkeitsschicht von der Oberfläche. In der Abbildung 177 ist das Schema der Versuchsdurchführung dargestellt.

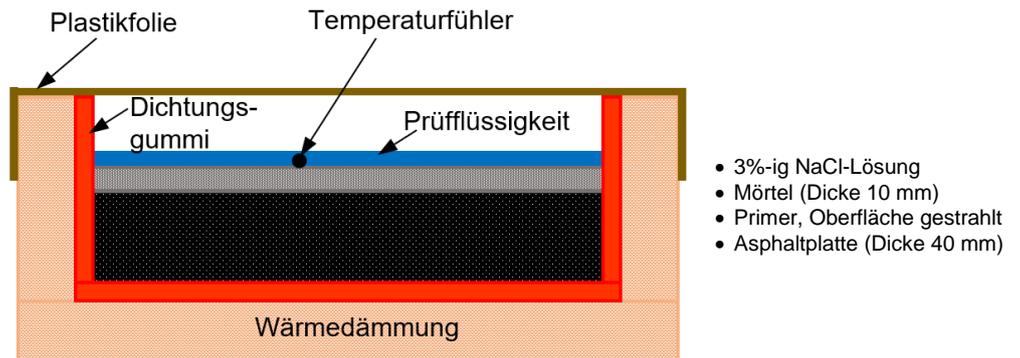


Abbildung 177: Prüfschema Frost-Tau-Wechsel

Die nachfolgende Abbildung 178 zeigt den Temperaturverlauf an der Oberfläche der Mörtel für einen Frost-Tau-Zyklus. Dieser entspricht exakt den Vorgaben der ONR 23303 [14].

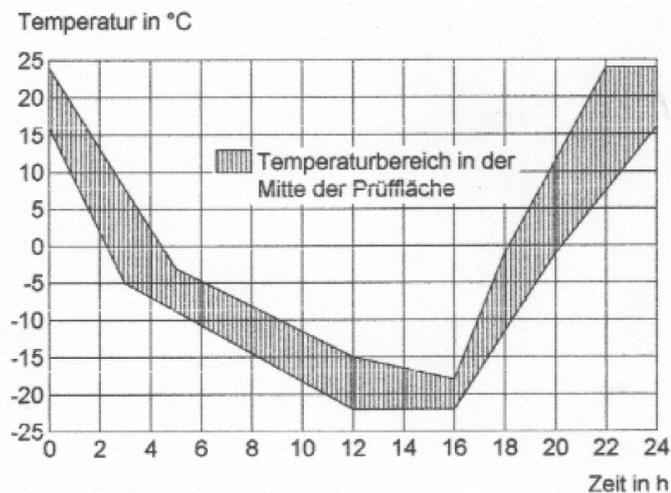


Abbildung 178: Zeit-Temperatur-Zyklus in der Prüfflüssigkeit am Mittelpunkt der Prüfoberfläche, Quelle ONR 23303

Nach Abschluss der Frost-Tausalz-Prüfung wurden die Verbundeigenschaften zwischen den Mörteln und der Asphaltunterlage nach den Vorgaben der RVS 11.06.81 [10] (Qualitätssicherung Bau, Prüfungen, Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen auf Beton) bzw. der ÖNORM EN 1542 [11] (Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch) ermittelt (siehe auch Pkt. 5.3.2.3).

5.4 ANGABEN zur PROBEKÖRPERHERSTELLUNG

5.4.1 Herstellung und Verarbeitung der Mörtel

Die Herstellung und die Verarbeitung der Mörtel erfolgte exakt nach den Verarbeitungsempfehlungen (Produktdatenblätter) der Hersteller.

Nachdem die zu vermischenden Komponenten bei allen Produkten bereits in eigenen Gebinden in der richtigen Menge zur Verfügung gestanden haben sind Dosierfehler in der Praxis ausgeschlossen. Für kleinere Labormischungen wurden die Einzelkomponenten exakt nach den Herstellerangaben verwogen und vermischt.

Alle Gebinde wurden vor der Verarbeitung zumindest über 72 Stunden bei Raumtemperatur (20 ± 2) °C gelagert und wie folgt verarbeitet:

- Vermischung der Komponenten mit einem elektrischen Rührwerk, die Mischzeit wurde einheitlich mit 5 Minuten und die Umdrehungszahl mit ca. 350 U/Min. festgelegt
- Umtopfen des Mörtels, alle am Gebinde klebenden Bindemittelanteile wurden vollständig abgestreift
- Nachmischzeit 2 Minuten mit dem gleichen elektrischen Rührwerk bei gleicher Umdrehungszahl

Unmittelbar nach Abschluss des Mischvorgangs wurde der Mörtel in die entsprechenden Formen gefüllt und durch Stampfen verdichtet. Die Oberfläche wurden mit einem Abstreichlineal unter leichtem Druck abgezogen und geglättet.

5.4.2 Prismatische Probekörper

Für die folgenden Prüfungen wurden prismatische Probekörper mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm hergestellt (bei allen 5 Mörtelsysteme):

- Temperatur- und zeitabhängige Festigkeitsentwicklung: je Mörtelsystem 6 x 3 Prismen, zusätzlich 3 Asphaltprismen (AC 11) mit den gleichen Abmessungen, ausgesägt aus einer Asphaltplatte
- Temperaturabhängiger statischer E-Modul: je Mörtelsystem 3 x 3 Prismen, zusätzlich 3 Asphaltprismen (AC 11) mit den gleichen Abmessungen, ausgesägt aus einer Asphaltplatte
- Schwindverhalten: je Mörtelsystem 3 Prismen mit eingelegten Stahlzäpfchen

Die genormten und aus der Zementprüfung bekannten Formen wurden vor dem Einbringen der Mörtel mit einem Trennmittel versehen. Die nachfolgende Abbildung 179 zeigt die Stahlformen vor und nach dem Einbringen des Mörtels.



Abbildung 179: Herstellung der Probekörper mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm

Für die Prüfung des Schwindverhaltens in der Schwindrinne wurden nur für die Mörtelsysteme Haas und WestWood prismatische Probekörper mit den Abmessungen 20 mm x 80 mm x 1.000 mm hergestellt.

Die nachfolgende Abbildung 180 zeigt den eingebauten Mörtel in die vorgefertigte Holzschalung. Der Temperaturfühler wurden zeitgleich mit dem Einbringen des Mörtels eingebaut und sind in der Mitte des Fugenquerschnitts situiert.



Abbildung 180: Herstellung der Probekörper für die Schwindrinne

5.4.3 Platten für die Prüfung der Verbundeigenschaften

Für die Prüfung der Verbundeigenschaften (Abreißfestigkeit) der Mörtel gegen verschiedene Baustoffe wurden die folgenden Unterlagen verwendet (bei allen 5 Mörtelsystemen):

- Asphaltplatte 260 mm x 300 mm x 40 mm, Asphaltmischgutsorte AC 11 deck PmB 45/80-65, A2, G1, hergestellt im Walzsegmentverdichter nach ÖNORM EN 12697-33, Oberfläche in einer Sandstrahlkabine mit einer definierten Strahlintensität von 120 Sekunden vorbehandelt, je Mörtelsystem 1 Asphaltplatte
- Asphaltplatte 260 mm x 300 mm x 40 mm, Asphaltmischgutsorte SMA 11 deck PmB 45/80-65, S2, GS, hergestellt im Walzsegmentverdichter nach ÖNORM EN 12697-33, Oberfläche in einer Sandstrahlkabine mit einer definierten Strahlintensität von 120 Sekunden vorbehandelt, je Mörtelsystem 1 Asphaltplatte

- Betonplatte 250 mm x 250 mm x 50 mm, handelsübliche Fertigbetonplatte, als Prüffläche wurde die Unterseite der Betonplatte verwendet, Oberfläche in einer Sandstrahlkabine mit einer definierten Strahlintensität von 120 Sekunden vorbehandelt, je Mörtelsystem 1 Betonplatte (in Vorversuchen wurde die Abreißfestigkeit mit $> 2,5 \text{ N/mm}^2$ ermittelt)
- Stahlplatte 250 mm x 400 mm x 8 mm, Oberfläche gereinigt und entfettet (Reinheitsgrad SA 2,5), je Mörtelsystem 1 Stahlplatte

Auf allen Probepplatten wurde eine Holzschalung montiert und nach der Applikation der Primer der Mörtel in der Dicke von 10 mm aufgebracht, verdichtet und abgezogen.

Die Abbildung 181 und die Abbildung 182 zeigen die Probepplatten zu unterschiedlichen Bearbeitungszeitpunkten.



Abbildung 181: Platten in der Schalung vor der Überbauung (AC 11, SMA 11 und Beton)



Abbildung 182: Stahlplatte vor und nach der Überbauung

5.5 Wiederholbarkeit der Festigkeitseigenschaften

5.5.1 Allgemeines

Für 2 der 5 übergebenen Mörtelsysteme wurden die Festigkeitseigenschaften noch einmal zu einem späteren Zeitpunkt ermittelt, um die Wiederholbarkeit der Messergebnisse unter vergleichbaren Laborbedingungen grob abschätzen zu können. Für eine statistisch abgesicherte Aussage wären mehrere Versuche mit allen Mörtelsystemen erforderlich gewesen (nicht Gegenstand dieses Projekts). Die Schwindversuche in der Schwindrinne wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt begonnen und daher die Mörtelsysteme Haas und WestWood für diese Vergleichsprüfung herangezogen.

Bei den Wiederholungsprüfungen wurden die gleiche Anzahl an Probekörper zur Ermittlung der zeit- und temperaturabhängigen Festigkeitsentwicklung hergestellt. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen mit dem Zusatz „1. Mischung“ und „2. Mischung“ versehen. Die Ergebnisse unter Pkt. 5.6 enthalten für die beiden Mörtelsysteme die Ergebnisse der 2. Mischung.

5.5.2 Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit

Tabelle 18: Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit, Vergleich: 1. und 2. Mischung

Mörtelsystem	Druckfestigkeit [N/mm ²]					
	nach 24 Stunden			nach 7 Tagen		
	-20 °C	+10 °C	+45 °C	-20 °C	+10 °C	+45 °C
Haas 1. Mischung	54,4	52,7	53,2	62,8	60,3	60,2
Haas 2. Mischung	58,3	61,7	51,8	64,8	67,8	54,3
WestWood 1. Mischung	70,9	37,8	28,5	79,0	54,8	32,0
WestWood 2. Mischung	67,4	33,5	25,5	77,1	51,3	28,2

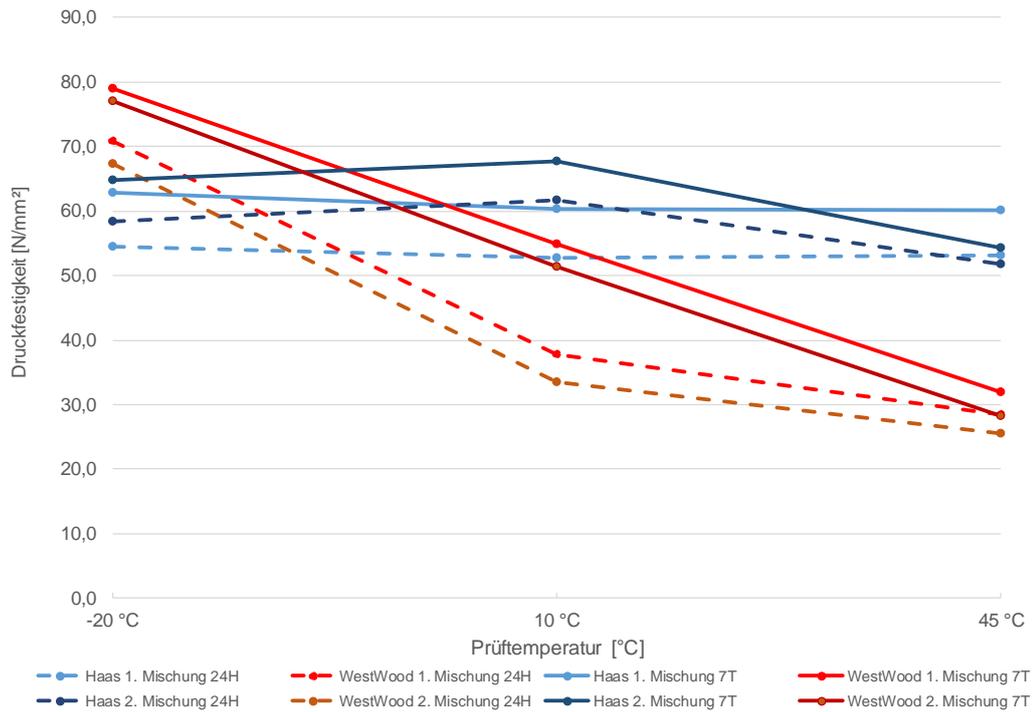


Abbildung 183: Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit, Vergleich: 1. und 2. Mischung

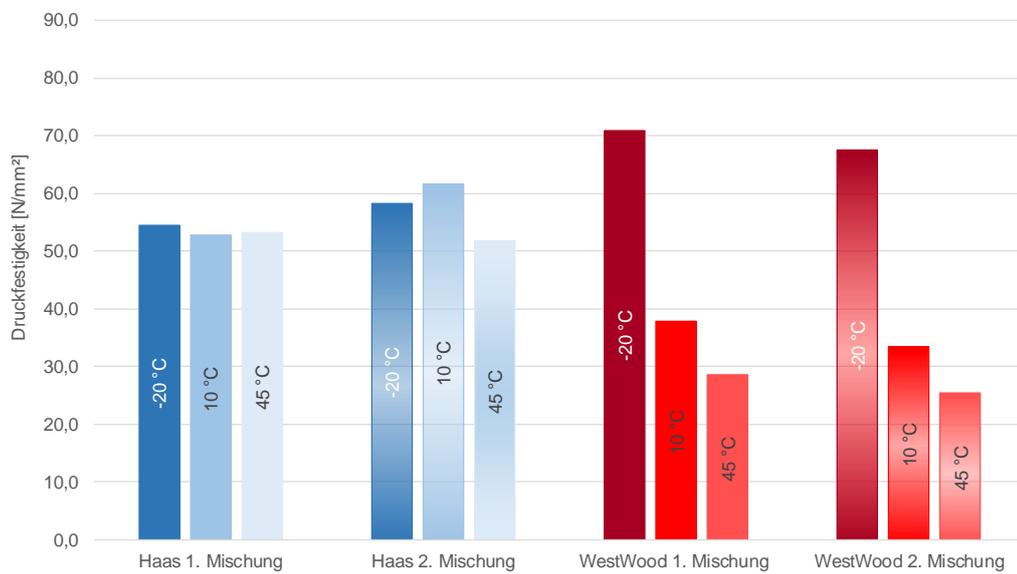


Abbildung 184: Temperaturabhängige Druckfestigkeit 24 Stunden nach der Herstellung

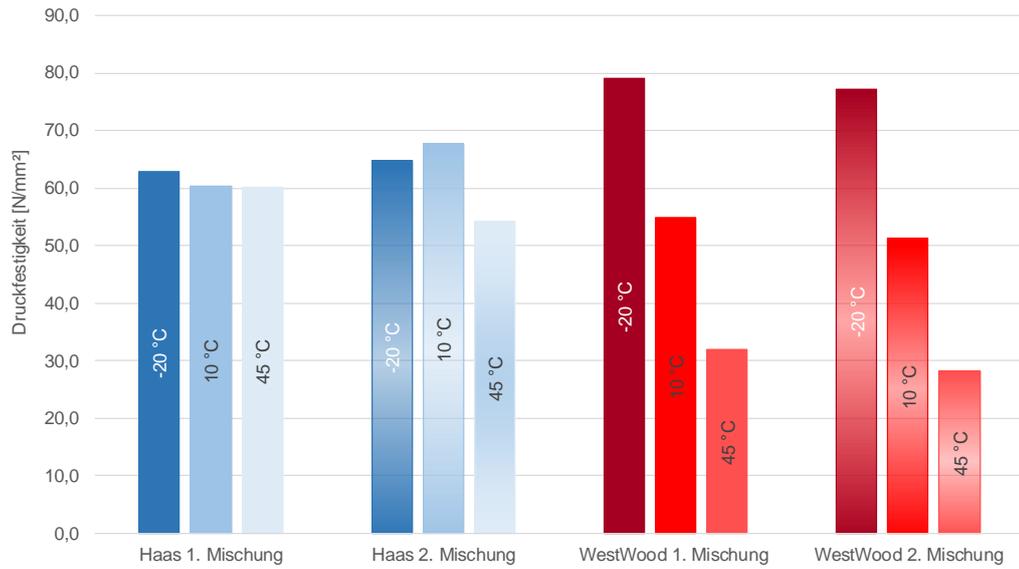


Abbildung 185: Temperaturabhängige Druckfestigkeit 7 Tage nach der Herstellung



Abbildung 186: Veränderung der zeit- und temperaturabhängigen Druckfestigkeit, Vergleich: 1. und 2. Mischung

5.5.3 Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit

Tabelle 19: Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit, Vergleich: 1. und 2. Mischung

Mörtelsystem	Biegezugfestigkeit [N/mm ²]					
	nach 24 Stunden			nach 7 Tagen		
	-20 °C	+10 °C	+45 °C	-20 °C	+10 °C	+45 °C
Haas 1. Mischung	23,5	23,0	23,5	25,3	24,4	24,4
Haas 2. Mischung	26,6	23,6	24,6	28,5	26,7	26,3
WestWood 1. Mischung	28,1	21,7	11,0	29,8	24,0	13,8
WestWood 2. Mischung	24,2	21,1	10,4	27,3	22,4	12,5

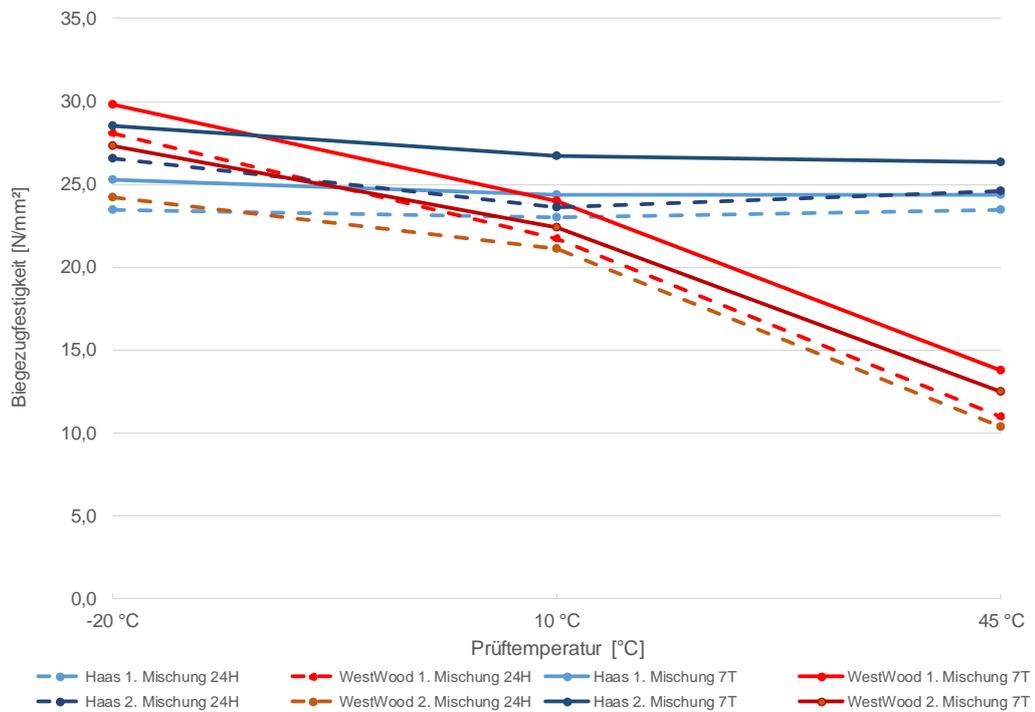


Abbildung 187: Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit, Vergleich: 1. und 2. Mischung

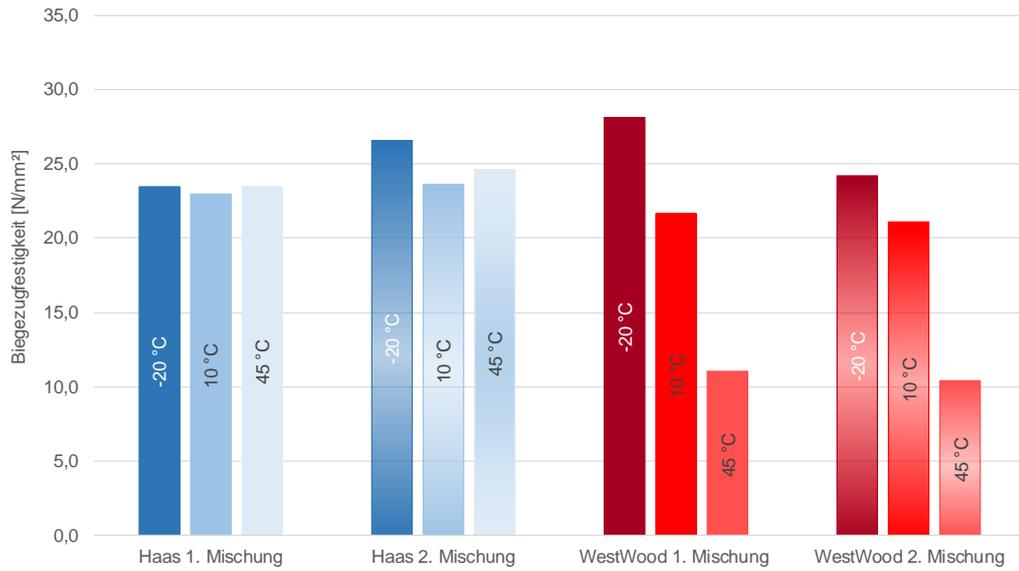


Abbildung 188: Temperaturabhängige Biegezugfestigkeit 24 Stunden nach der Herstellung

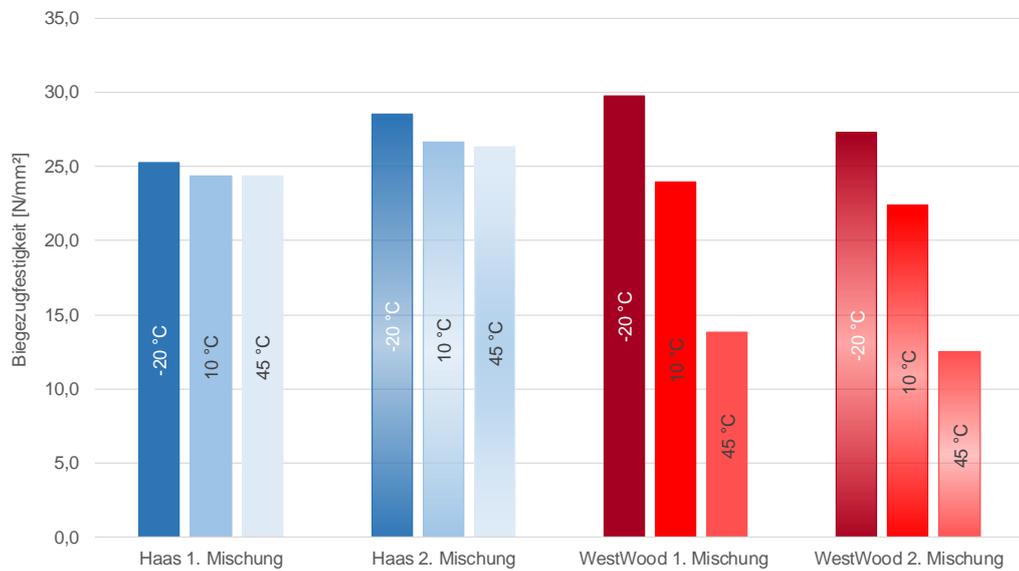


Abbildung 189: Temperaturabhängige Biegezugfestigkeit 7 Tage nach der Herstellung



Abbildung 190: Veränderung der zeit- und temperaturabhängigen Biegezugfestigkeit, Vergleich: 1. und 2. Mischung

5.5.4 Interpretation der Ergebnisse

Die Mörtelsysteme Haas und WestWood wurden für diese Vergleichsversuche ausgewählt, da diese beiden Systeme Unterschiede in der temperaturabhängigen Festigkeitsentwicklung zeigen. Das Mörtelsystem Haas zeigt bei den 3 gewählten Prüftemperaturen im Vergleich zu dem Mörtelsystem WestWood einen wesentlich geringeren Abfall der Druck- und der Biegezugfestigkeit bei steigender Temperatur.

In Bezug auf die Wiederholbarkeit der Prüfergebnisse Druckfestigkeit wurde beim System Haas bei der 2. Mischung generell ein höheres Festigkeitsniveau erreicht (ausgenommen davon ist die Druckfestigkeit ermittelt bei +45 °C). Im Gegensatz dazu wurden bei der 2. Mischung beim System WestWood durchwegs geringere Druckfestigkeiten festgestellt. Bei den Biegezugfestigkeiten wurden bei den 2. Mischungen beim System Haas durchwegs höhere und beim System WestWood durchwegs geringere Festigkeiten festgestellt. Nachdem bei beiden Produkten die Mischungen 1 und 2 jeweils unmittelbar nacheinander hergestellt und verarbeitet wurden, können die Umgebungsbedingungen als mögliche Einflussgröße ausgeschlossen werden.

Zur Bewertung der möglichen Schwankungsbreite der mechanischen Eigenschaften der übergebenen Mörtelsysteme könnten auch noch die Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle der Hersteller herangezogen werden. Diese Ergebnisse liegen der Nievelt Labor GmbH nicht vor.

Die in den Versuchsreihen 1 und 2 erhaltenen zeit- und temperaturabhängigen Ergebnisse zeigen eine gute Wiederholbarkeit. Sowohl bei der Druck- als auch bei der Biegezugfestigkeit wurden vergleichbare Ergebnisse und Zusammenhänge ermittelt. Die mögliche Streuung der Ergebnisse könnte produkt- bzw. verarbeitungsbedingt bis zu 15 % betragen.

Zur Präzisierung der möglichen prüf- und produktionsbedingten Schwankungsbreite aller Mörtelsysteme sollten unter vergleichbaren Prüfbedingungen weitere Ergebnisse gesammelt und statistisch ausgewertet werden (z.B. im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle der Hersteller).

5.6 Ergebnisse der Systemprüfungen

5.6.1 Allgemeines

In den nachfolgenden Punkten sind die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen in Tabellen und Abbildungen dargestellt.

Die Interpretation der Ergebnisse ist ebenfalls bei den jeweiligen Prüfverfahren enthalten. Grundsätzlich wurden für die Darstellung der Ergebnisse die unterschiedlichen Mörtelsysteme immer mit den gleichen Farben verwendet. In den Graphiken mit den zeit- und temperaturabhängigen Festigkeitsverläufen wurden die Ergebnisse nach 24 Stunden mit einer strichlierten und die Ergebnisse nach 7 Tagen mit einer durchgezogenen Linie dargestellt.

5.6.2 Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit

5.6.2.1 Ergebnisse

Tabelle 20: Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit

Mörtelsystem	Druckfestigkeit [N/mm ²]					
	nach 24 Stunden			nach 7 Tagen		
	-20 °C	+10 °C	+45 °C	-20 °C	+10 °C	+45 °C
Haas	58,3	61,7	51,8	64,8	67,8	54,3
Colas	52,2	53,6	42,9	71,9	70,9	54,0
SAFT	37,3	29,0	22,6	41,1	32,0	23,4
cds Polymere	46,3	44,6	18,8	62,2	47,2	36,3
WestWood	67,4	33,5	25,5	77,1	51,3	28,2
Asphalt AC 11 zu Vergleichszwecken	-	-	-	14,2	7,0	2,3

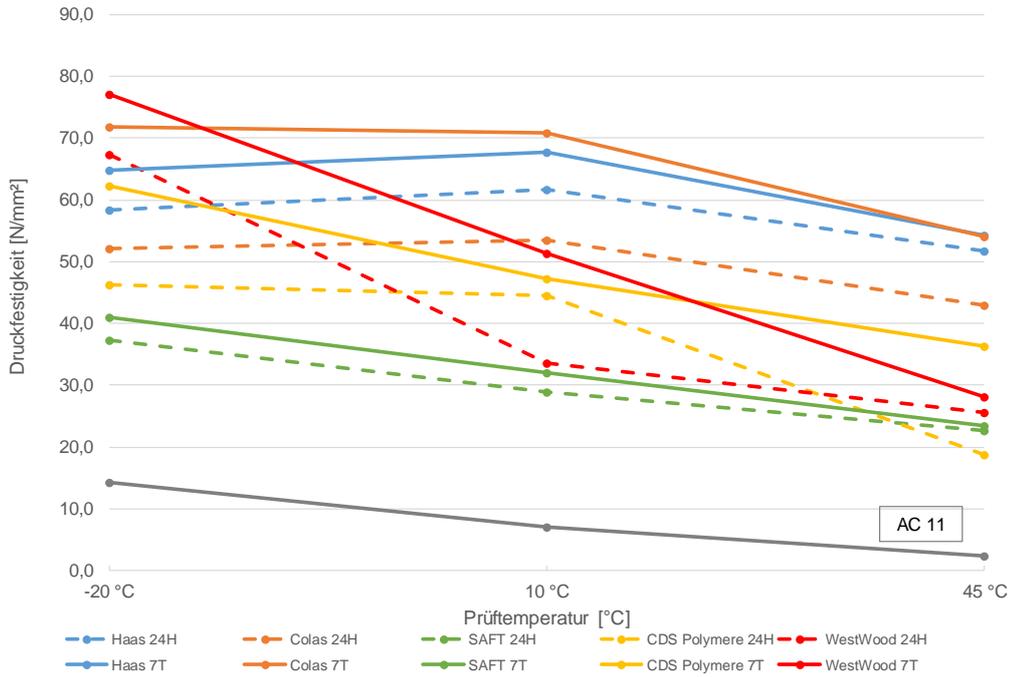


Abbildung 191: Zeit- und temperaturabhängige Druckfestigkeit

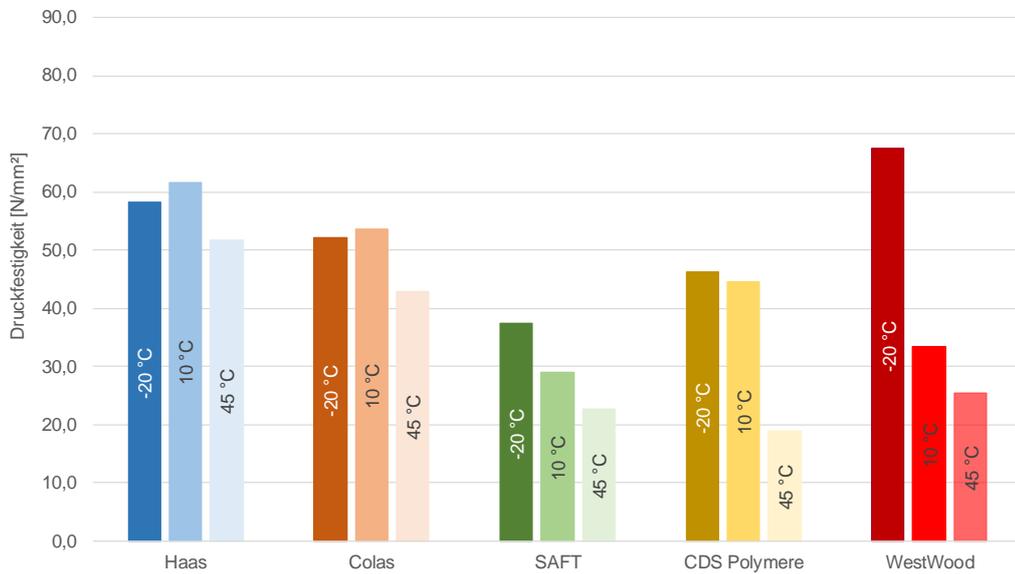


Abbildung 192: Temperaturabhängige Druckfestigkeit 24 Stunden nach Herstellung

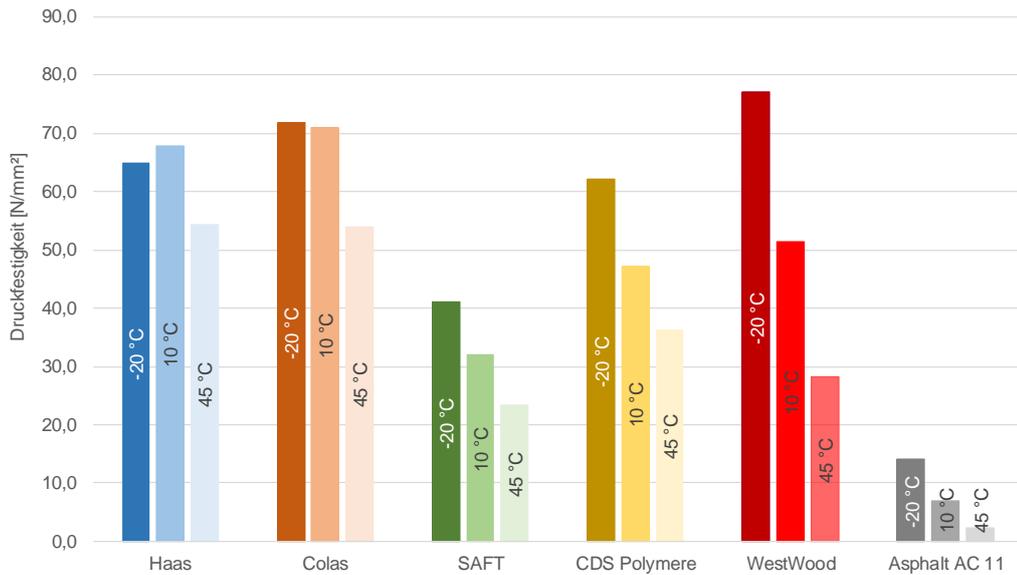


Abbildung 193: Temperaturabhängige Druckfestigkeit 7 Tage nach Herstellung

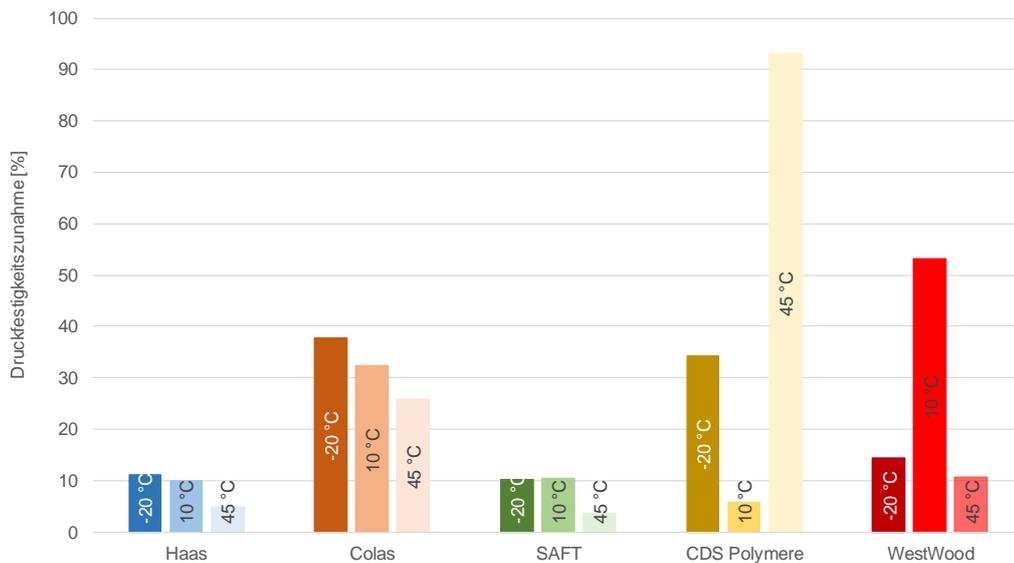


Abbildung 194: Veränderung der Druckfestigkeit zwischen 24 Stunden und 7 Tage nach Herstellung

5.6.2.2 Interpretation Druckfestigkeit

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Prüfungen können die folgenden Interpretationen abgeleitet werden:

- Alle übergebenen Mörtelsysteme zeigen eine temperaturabhängige Festigkeit. Am stärksten ist diese bei dem Produkt WestWood und am schwächsten bei den Produkten Haas und Colas ausgeprägt. Die Produkte SAFT und cds Polymere zeigen vergleichbare Zusammenhänge, allerdings auf unterschiedlichen Niveaus.
- Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse vergleichbare temperaturabhängige Festigkeitsverläufe bei den Probekörpern in einem Alter von 24 Stunden und 7 Tagen.
- Die Druckfestigkeiten der Mörtelsysteme liegen um ein Vielfaches höher als bei der Asphaltmischgutsorte AC 11 deck PmB 45/80-65, A2, G1
- Die geringste Festigkeitszunahme (24 Stunden zu 7 Tage) zeigen die Produkte Haas und SAFT. Die großen Abweichungen (im Vergleich zu den anderen Temperaturbereichen) bei den Produkten cds Polymere (bei +45 °C) und WestWood (bei +10 °C) sollten in nachlaufenden Versuchen noch einmal verifiziert werden.

5.6.3 Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit

5.6.3.1 Ergebnisse

Tabelle 21: Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit

Mörtelsystem	Biegezugfestigkeit [N/mm ²]					
	nach 24 Stunden			nach 7 Tage		
	-20 °C	+10 °C	+45 °C	-20 °C	+10 °C	+45 °C
Haas	26,6	23,6	24,6	28,5	26,7	26,3
Colas	39,4	39,8	7,1	42,9	44,3	9,9
SAFT	27,7	22,3	5,5	29,5	24,2	6,4
CDS Polymere	26,2	22,6	6,2	28,1	26,8	8,9
WestWood	24,2	21,1	10,4	27,3	22,4	12,5
Asphalt AC 11 zu Vergleichszwecken	-	-	-	11,4	6,0	0,9

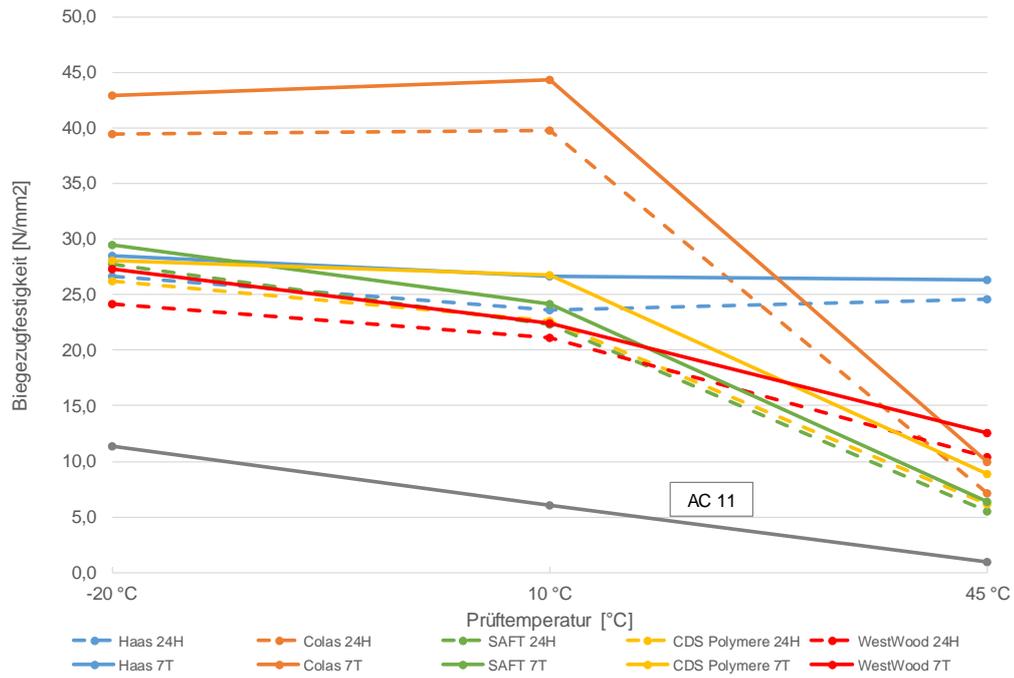


Abbildung 195: Zeit- und temperaturabhängige Biegezugfestigkeit

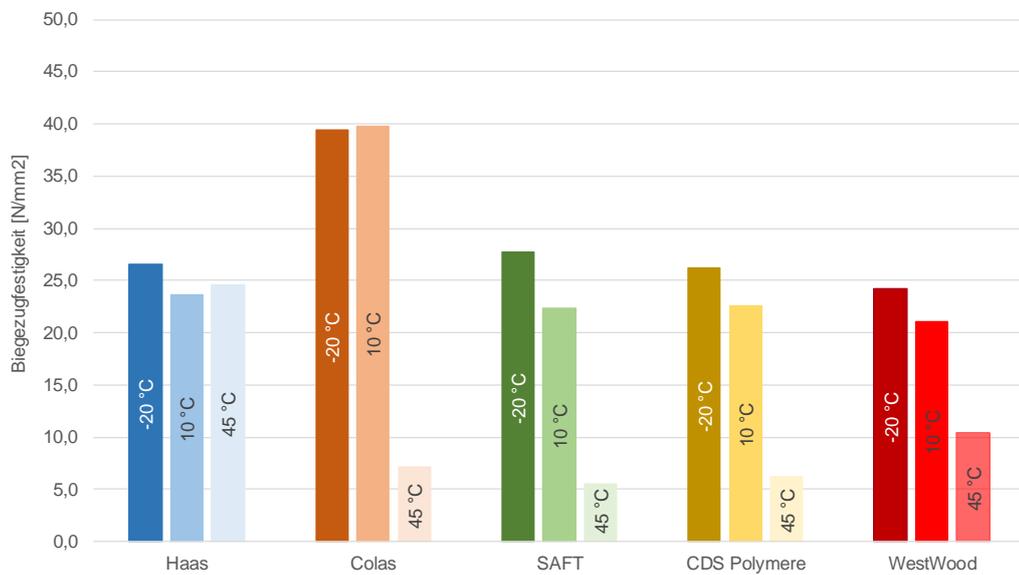


Abbildung 196: Temperaturabhängige Biegezugfestigkeit 24 Stunden nach Herstellung

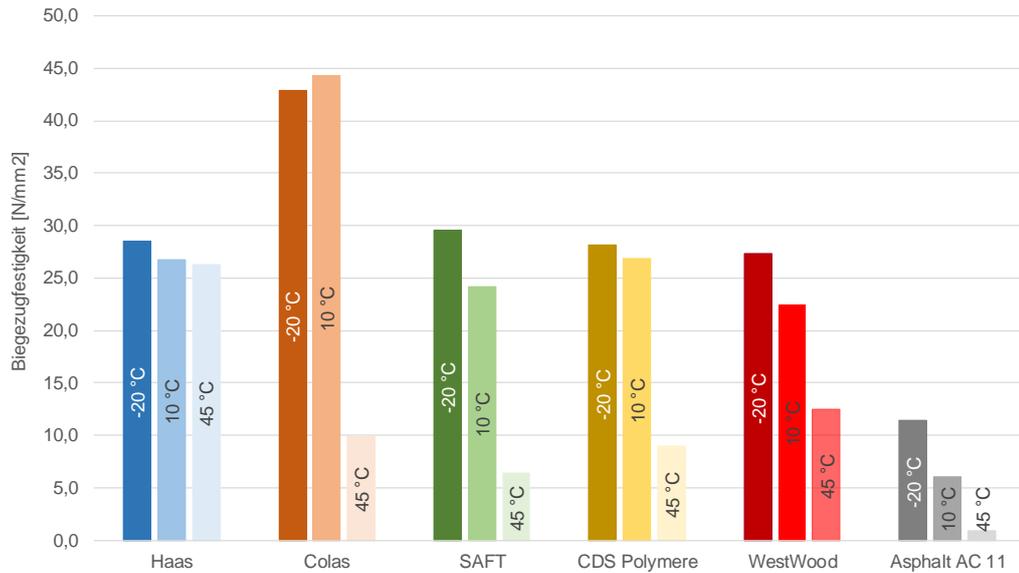


Abbildung 197: Temperaturabhängige Biegezugfestigkeit 7 Tage nach Herstellung

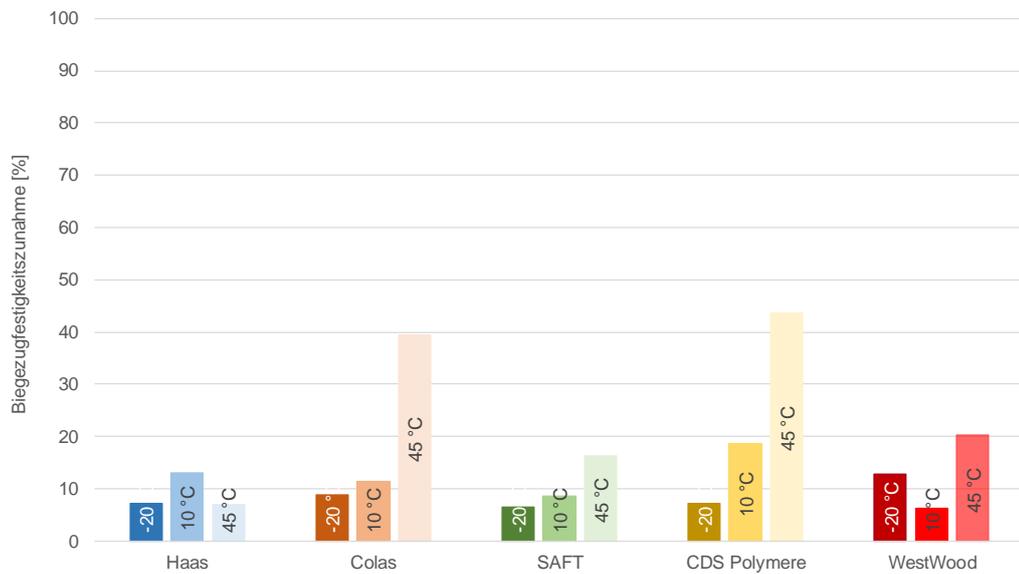


Abbildung 31: Veränderung der Biegezugfestigkeit zwischen 24 Stunden und 7 Tage nach Herstellung

5.6.3.2 Interpretation Biegezugfestigkeit

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Prüfungen können die folgenden Interpretationen abgeleitet werden:

- Im Gegensatz zu den Druckfestigkeiten sind die Streuungen der Einzelwerte und damit auch die Streuung der Mittelwerte bei der Biegezugfestigkeit signifikant niedriger.
- Der Mörtel Colas weist die höchste Biegezugfestigkeit bei den Prüftemperaturen von -20 °C und +10 °C auf. Bei der Prüftemperatur von +45 °C nimmt die Biegezugfestigkeit dieses Mörtels aber stark ab. Eine Abnahme der Festigkeit in der vergleichbaren Größenordnung wurde bei der Druckfestigkeit nicht festgestellt.
- Der Mörtel Haas weist, wie auch schon bei der Druckfestigkeit, das geringste temperaturabhängige Verhalten auf.
- Die Zunahme der Biegezugfestigkeit zwischen den beiden Prüfzeitpunkten beträgt bei den Mörtelsystemen in Abhängigkeit der Prüftemperatur zwischen 6,2 % und 43,5 %
- Die Biegezugfestigkeiten aller Mörtelsysteme nach 7 Tagen liegen bei allen Prüftemperaturen um ein Vielfaches höher als beim Vergleichsasphalt AC 11.

5.6.4 Temperaturabhängiger statischer E-Modul

5.6.4.1 Ergebnisse

Tabelle 22: Temperaturabhängiger statischer E-Modul 7 Tage nach Herstellung

Mörtelsystem	Statischer E-Modul nach 7 Tagen [N/mm ²]		
	-20 °C	+10 °C	+45 °C
Haas	26.800	25.900	7.000
Colas	24.900	24.100	- 1)
SAFT	32.600	13.200	300
cds Polymere	30.200	13.200	600
WestWood	27.900	10.500	700
Asphalt AC 11	28.900	13.000	- 1)

1) Die Prüfung konnte nicht durchgeführt werden, da die Verformung bereits im plastischen Bereich stattfindet.

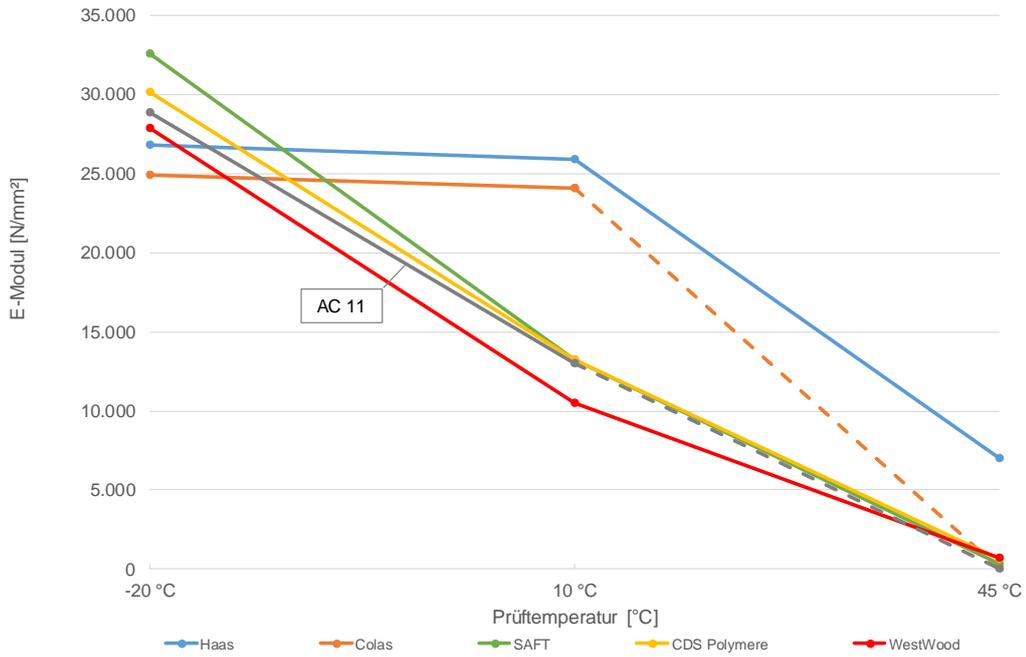


Abbildung 198: Temperaturabhängiger statischer E-Modul 7 Tage nach Herstellung

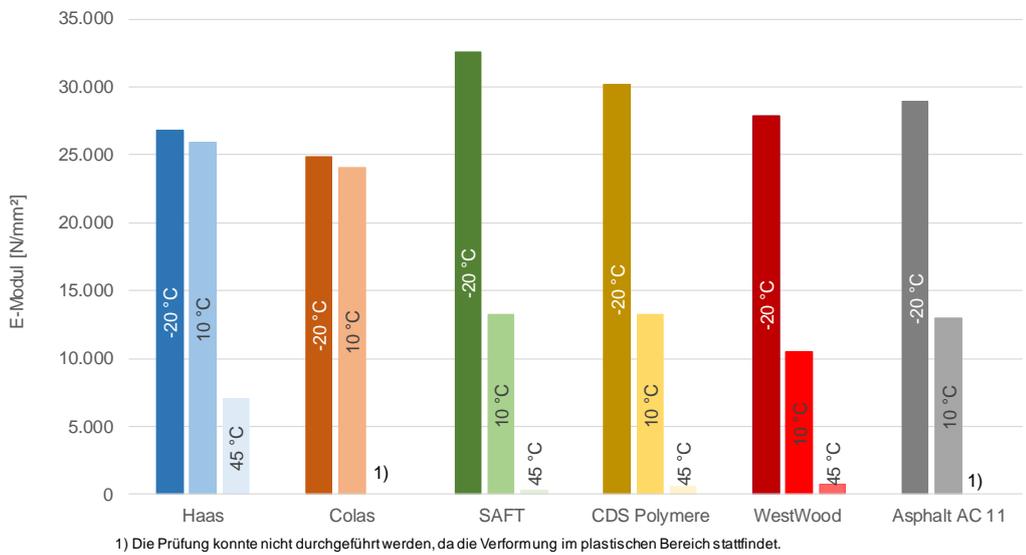


Abbildung 199: Temperaturabhängiger statischer E-Modul 7 Tage nach Herstellung

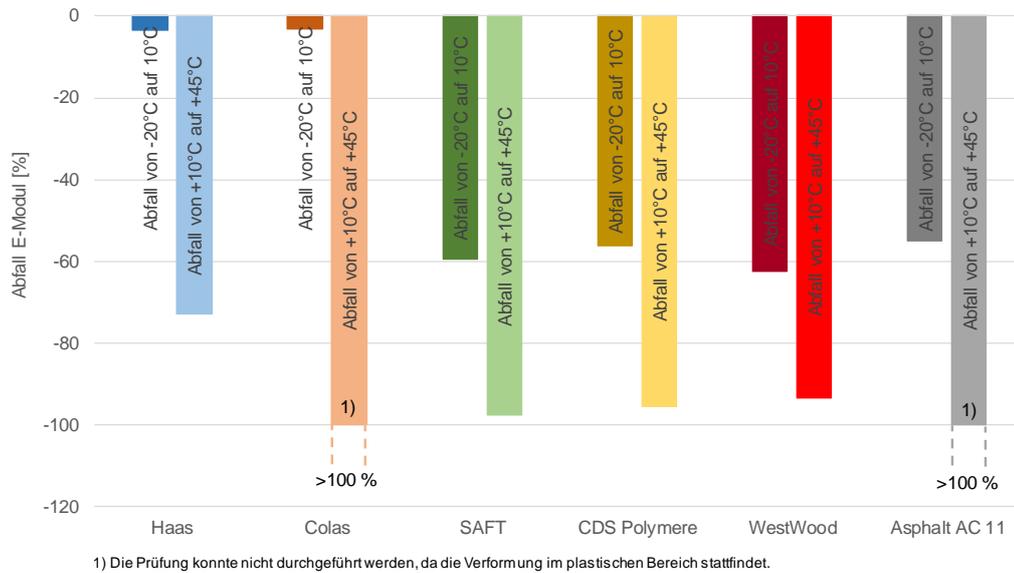


Abbildung 200: Temperaturabhängige Veränderung des statischen E-Moduls

5.6.4.2 Interpretation statischer E-Modul

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Prüfungen können die folgenden Interpretationen abgeleitet werden:

- Die Mörtelsysteme Haas und Colas zeigen im Vergleich zu den anderen Mörtelsystemen und dem Vergleichsasphalt bei den Prüftemperaturen von -20 °C und +10 °C ein anderes Materialverhalten (vgl. Abbildung 198). Der Abfall des statischen E-Moduls von -20 °C auf +10 °C beträgt nur ca. -3 %. Bei den anderen Mörtelsystemen und dem Vergleichsasphalt liegt der Abfall des statischen E-Moduls zwischen ca. 55 % und 62 %.
- Bei der Prüftemperatur von +45 °C konnte für den Mörtel Colas und den Vergleichsasphalt kein statischer E-Modul bestimmt werden. Die Verformung der Probekörper liegt im plastischen Bereich. Die Ober- und Unterspannung wurde bewusst nicht verändert, um die Vergleichbarkeit zu den elastischen Eigenschaften bei den anderen Prüftemperaturen bewerten zu können.
- Die statischen E-Module bei den 3 gewählten Prüftemperaturen sind bei den Mörtelsystemen SAFT, cds Polymere und WestWood vergleichbar. Bei den Prüftemperaturen von -20°C und +10 °C weisen die genannten Systeme vergleichbare Steifigkeiten wie der Vergleichsasphalt auf.
- Das Mörtelsystem Haas hat bei der Prüftemperatur von +45 °C mit Abstand den größten statischen E-Modul. Dieses Ergebnis korreliert auch mit den ermittelten Druck- und Biegezugfestigkeiten bei dieser Prüftemperatur.

- In der Abbildung 200 ist der Abfall des statischen E-Moduls für das System Colas und den Vergleichsasphalt bei den Prüftemperaturen von +10 °C auf +45 °C nur schematisch dargestellt. Nachdem aufgrund des plastischen Verhaltens kein statischer E-Modul berechnet werden ist auch die Angabe des prozentuellen Abfalls nicht möglich.

5.6.5 Bestimmung der Verbundeigenschaften

In der Tabelle 23 und der Abbildung 201 sind die Ergebnisse der Abreißfestigkeiten der unterschiedlichen Mörtelsysteme zu den einzelnen Unterlagen zu entnehmen.

Tabelle 23: Abreißfestigkeit der Mörtel zu verschiedenen Unterlagen

Mörtelsystem	Abreißfestigkeit nach 7 Tagen und 10 °C [N/mm ²]			
	gegen AC 11	gegen SMA 11	gegen Beton	gegen Stahl
Haas	2,6 ¹⁾	3,1 ¹⁾	3,8 ¹⁾	5,4 ²⁾
Colas	2,8 ¹⁾	2,3 ¹⁾	4,3 ¹⁾	7,1 ²⁾
SAFT	2,8 ¹⁾	3,1 ¹⁾	3,6 ¹⁾	5,0 ²⁾
cds Polymere	2,5 ¹⁾	2,8 ¹⁾	3,4 ¹⁾	> 8 ³⁾
WestWood	2,3 ¹⁾	2,4 ¹⁾	3,4 ¹⁾	4,8 ²⁾

- 1) Kohäsionsbruch in der Unterlage (KBU)
- 2) Kohäsionsbruch im Mörtel (KBM)
- 3) Überschreitung des Messbereichs Prüfgerät, kein Bruch

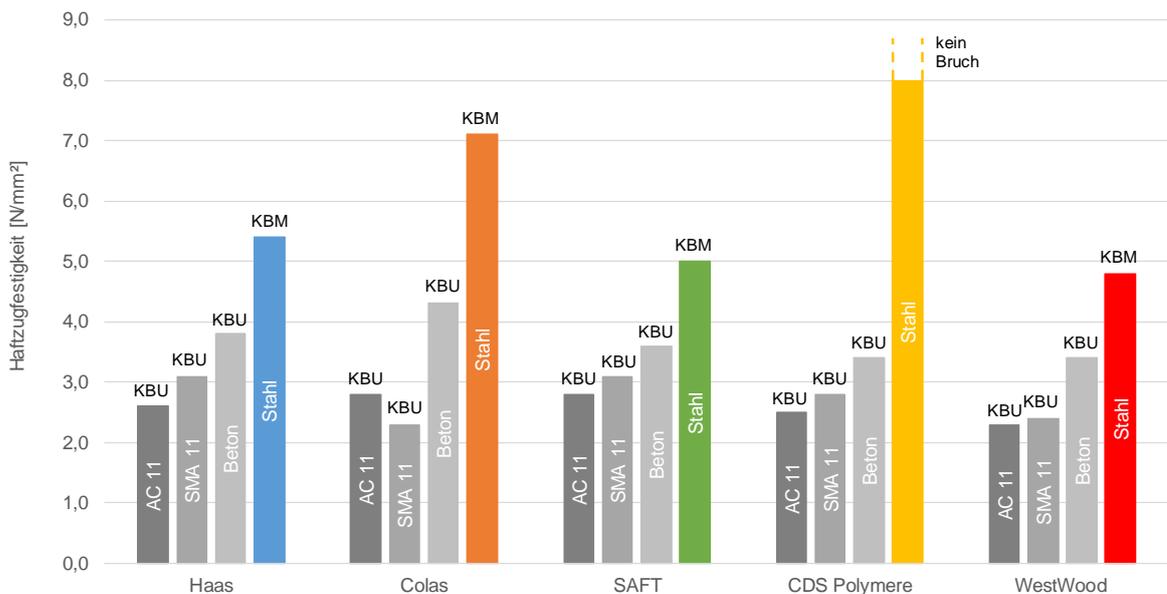


Abbildung 201: Abreißfestigkeit der Mörtel zu verschiedenen Unterlagen

(1)

Bei den Asphaltunterlagen und der Betonunterlage traten bei allen Versuchen Kohäsionsbrüche in der Unterlage auf. Dies bedeutet, dass die adhäsive Festigkeit der Mörtel an der, mit dem Primer versehenen Grenzfläche, größer ist als die Oberflächenfestigkeit der verwendeten Asphalt- und Betonplatten. Alle Mörtelsysteme weisen gute Verbundeigenschaften zu den Asphalt- und Betonplatten auf. Eine Differenzierung zwischen den einzelnen Mörtelsystemen ist aufgrund des festgestellten Bruchbilds nicht möglich (KBU = Kohäsionsbruch in der Unterlage).

Aus den durchgeführten Prüfungen ist abzuleiten, dass die durchschnittliche Oberflächenfestigkeit der gestrahlten Asphaltplatten bei der Prüftemperatur von 10 °C bei ca. 2,7 N/mm² liegt. Die größere Streuung der Oberflächenfestigkeit bei den Platten SMA 11 kann auf die un stetige Korngrößenverteilung dieses Asphaltmischguts zurückgeführt werden. Die Oberflächenfestigkeit der Betonplatten beträgt durchschnittlich 3,7 N/mm² und liegt daher um ca. 37 % über der durchschnittlichen Oberflächenfestigkeit der Asphaltplatten.

(2)

Bei den Abreißversuchen gegen Stahl ist bei allen Mörtelsystemen ein Kohäsionsbruch im Mörtel eingetreten (KBU = Kohäsionsbruch im Mörtel). Dies bedeutet, dass die Adhäsion an der Grenzfläche zumindest gleich gut ist wie die Zugfestigkeit der Mörtel. Alle Mörtelsysteme weisen daher auch sehr gute Verbundeigenschaften zu den vorbehandelten Stahlplatten auf. Die größte Zugfestigkeit wurde beim Mörtelsystem cds Polymere festgestellt. Die Zugfestigkeit des Mörtels überschreitet den Messbereich des Prüfgeräts und wird daher mit > 8 N/mm² angegeben. Die geringste, aber auch noch hohe Mörtel-Zugfestigkeit zeigt das Mörtelsystem WestWood mit ca. 4,8 N/mm².

Die Dauerhaftigkeit des Haftverbunds zwischen den Mörtelsystemen und den Asphaltplatten wurde nach der Befrostung der Asphaltplatten nach 56 Frost-Tau-Zyklen (Prüfverfahren s. Pkt. 5.3.2.5) durch Abreißversuche geprüft. Die nachgereichte Tabelle 11 und die Abbildung 202 zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen bei der Prüftemperatur von +10 °C.

Tabelle 24: Ergebnisse der Abreißfestigkeit nach der Befrostung

Mörtelsystem	Abreißfestigkeit nach 56 Frost-Tau-Zyklen [N/mm ²]	
	gegen AC 11	gegen SMA 11
Haas	2,2 ¹⁾	2,2 ¹⁾
Colas	2,4 ¹⁾	2,5 ¹⁾
SAFT	2,4 ¹⁾	2,3 ¹⁾
cds Polymere	2,2 ¹⁾	2,2 ¹⁾
WestWood	2,6 ¹⁾	2,2 ¹⁾

1) Kohäsionsbruch in der Unterlage (KBU)

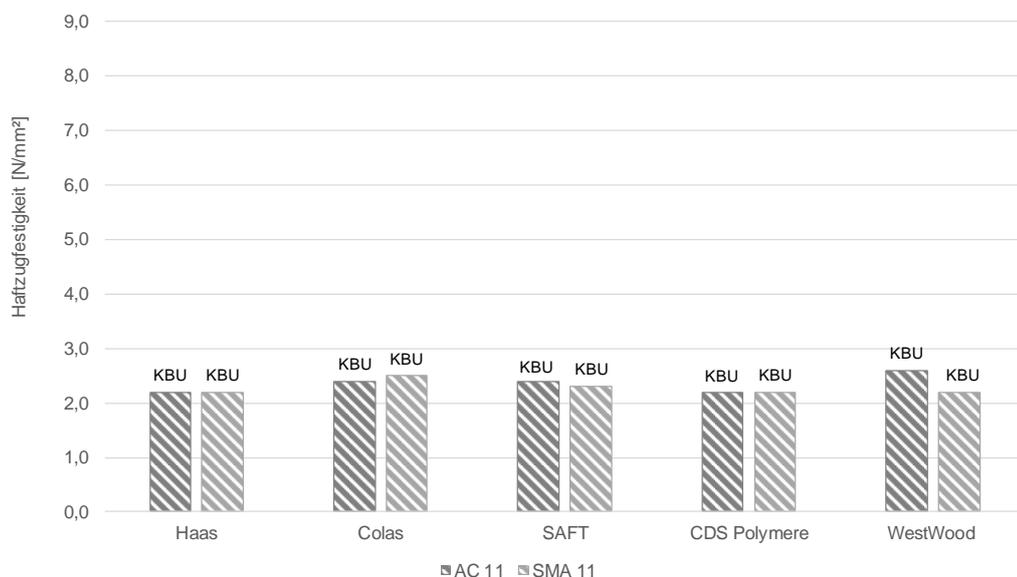


Abbildung 202: Zusammenstellung der Haftzugfestigkeit des Asphalts nach Befrostung

Bei allen durchgeführten Abreißversuchen ist jeweils ein Kohäsionsbruch in der Asphaltsschicht eingetreten. Die mittlere Oberflächenfestigkeit der Asphaltplatten nach der Befrostung betragen 2,4 N/mm² (AC 11) und 2,3 N/mm² (SMA 11). Damit liegt die mittlere Bruchspannung im Asphalt nach der Befrostung ungefähr 13 % unter der mittleren Bruchspannung im Asphalt vor der Befrostung. Aufgrund der geringen Abweichung zwischen den Mittelwerten ist der Abfall der Oberflächenfestigkeit in den Asphaltplatten nicht signifikant. Nachdem die Mörtelsysteme dicht konzipiert sind ist nicht davon auszugehen, dass die Prüflüssigkeit (3 %-

ige NaCl-Lösung) durch den Mörtel an die Grenzfläche und damit in den oberen Querschnitt der Asphalt­schicht eindringen kann.

Die Abreißfestigkeit der Mörtel und die Abreißfestigkeit an den Grenzflächen liegen über der gemessenen Bruchspannung und weisen daher alle Mörtelsysteme eine ausreichende Haftzugfestigkeit zu den Asphaltplatten nach der Befrostung auf. Eine Beeinflussung der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung auf die kohäsive Festigkeit der Mörtel und auf die Abreißfestigkeit an der Grenzfläche konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Abbildung 203 stellt die Ergebnisse der Abreißfestigkeiten der Mörtelsysteme auf den Asphaltplatten vor und nach der Frost-Tau-Wechsel Beanspruchung gegenüber. Bei allen Versuchen ist ein Kohäsionsbruch (KBU = Kohäsionsbruch in der Unterlage) im Asphaltquerschnitt eingetreten.

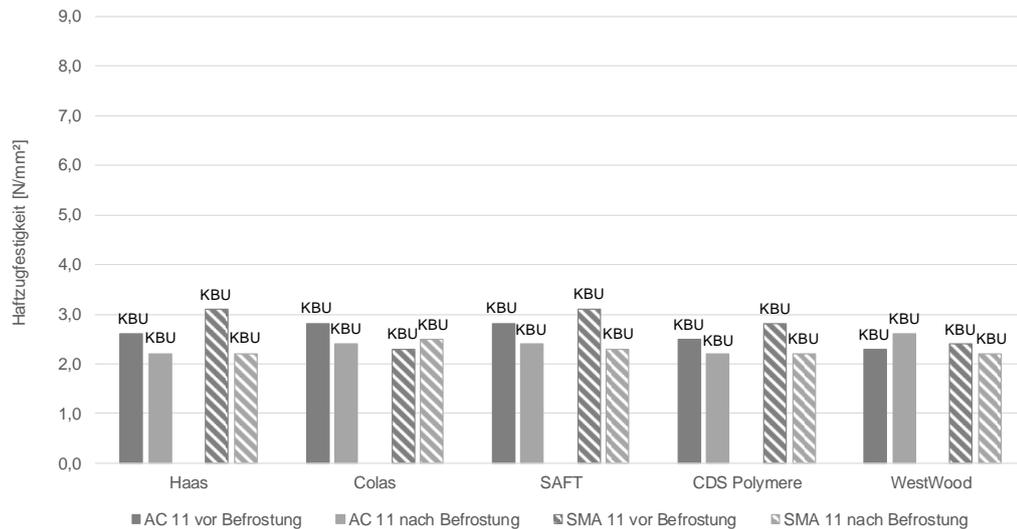


Abbildung 203: Gegenüberstellung der Abreißfestigkeit der Mörtelsysteme auf den Asphaltplatten, Ergebnisse vor und nach der Befrostung für beide Asphaltmischgutsorten

5.6.6 Schwindverhalten der Mörtelsysteme

5.6.6.1 Ergebnisse

In der

Tabelle 25 und in der Abbildung 204 sind die Ergebnisse der Schwindversuche an den prismatischen Probekörpern mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm für die unterschiedlichen Mörtelsysteme enthalten.

Tabelle 25: Ergebnisse der Bestimmung des Schwindverhaltens

Mörtelsystem	Dehnung nach 56 Tagen [‰]
Haas	-0,27
Colas	-0,35
SAFT	-0,12
cds Polymere	-0,21
WestWood	-0,33

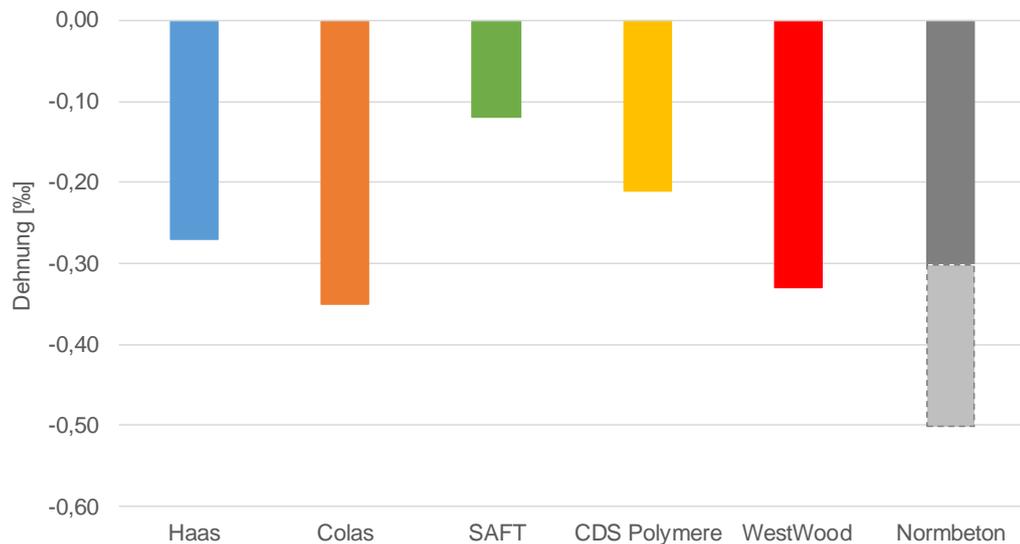


Abbildung 204: Zusammenstellung des Schwindverhaltens

Den Ergebnissen in der Abbildung 204 wurden die Angaben aus der Literatur für das Schwindverhalten von Standardbetonsorten gegenübergestellt. Diese betragen zwischen 0,3 ‰ und 0,5 ‰.

Zusätzlich wurde der Temperaturverlauf und die Längenänderung für die Mörtelsysteme Haas und WestWood in einer 1 m langen Schwindrinne aufgezeichnet.

In der nachfolgende Abbildung 205 ist das unterschiedliche Temperatur- und Schwindverhalten grafisch dargestellt.

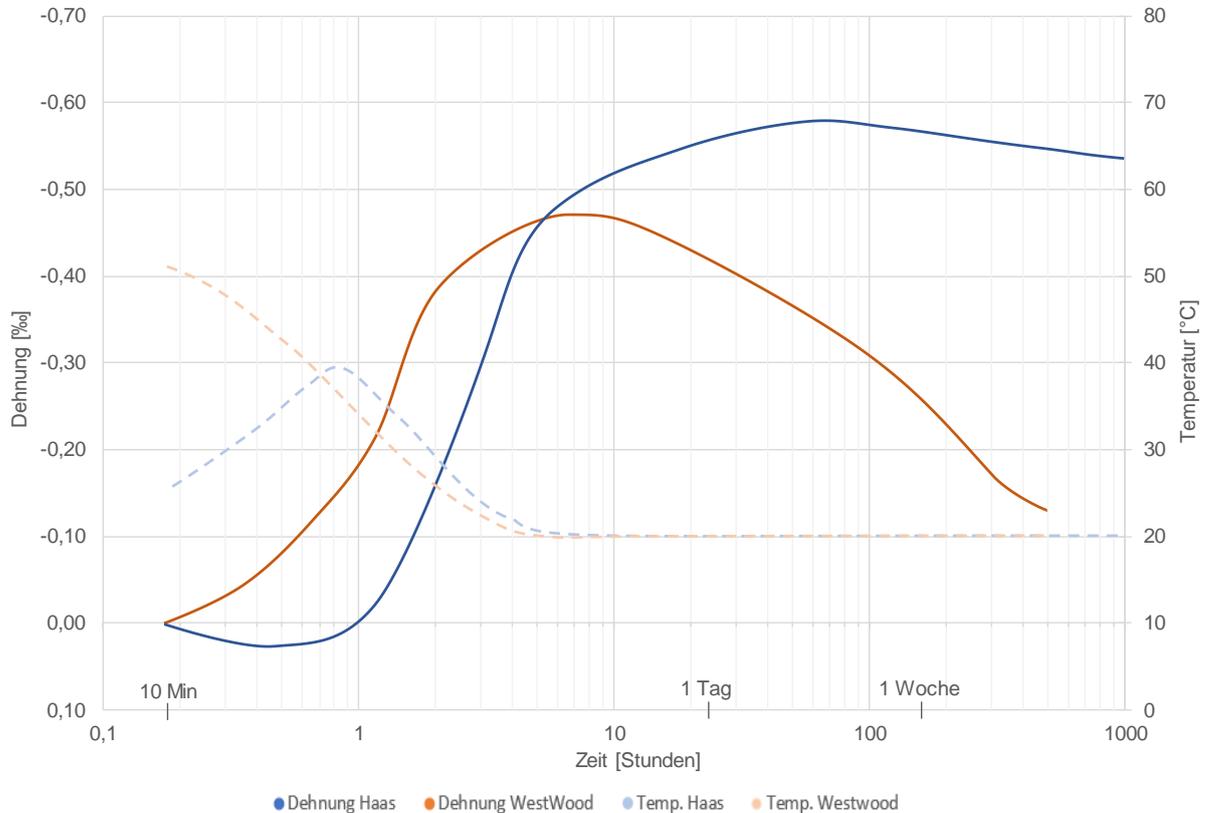


Abbildung 205: Temperaturverlauf und Schwindverhalten in der Schwindrinne, Mörtelsystem Haas und WestWood

5.6.6.2 Interpretation Schwindverhalten

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Prüfungen können die folgenden Interpretationen abgeleitet werden:

- Die Mörtelsysteme weisen an den gedrunghenen prismatischen Probekörper zwischen dem 1. und dem 56. Tag nach der Probekörperherstellung eine Verkürzung der Länge zwischen 0,12 ‰ und 0,35 ‰ auf. Das Schwindmaß kann daher im Vergleich zu Standardbetonsorten als etwas kleiner bzw. vergleichbar angesehen werden.
- Nachdem die Schwindmaße aller Mörtelsysteme auf einem niedrigen Niveau liegen, ist ein relativer Vergleich zwischen den Mörtelsystemen nicht signifikant.
- Die Versuche an den schlanken Probekörpern in der Schwindrinne mit vergleichbaren Probekörperabmessungen, wie Stützrippen in Asphaltkonstruktionen hergestellt werden, zeigen für die beiden Mörtelsysteme erwartungsgemäß höhere „scheinbare“ Schwindmaße.

Beim Mörtelsystem Haas beträgt die Verkürzung max. 0,58 ‰. Am Beginn der Messung ist temperaturbedingt eine geringe Zunahme der Länge ersichtlich. Während

des Abkühlvorgangs kommt es zu einer Verkürzung des Probekörpers und stellt sich nach ca. 3 Tagen ein Wert von ca. 0,53 ‰ ein. Die max. Verkürzung beim System WestWood beträgt ca. 0,47 ‰, wobei bereits 10 Minuten nach dem Vermischen der Komponenten eine Frischmörteltemperatur von mehr als 50 °C erreicht wird. Nach Abkühlung des Mörtels (ca. 8 Stunden nach dem Einbau in die Schwindrinne), könnte sich bei diesem Mörtelsystem eine Form der Relaxation einstellen.

Die Ergebnisse der Versuche in der Schwindrinne decken sich nur bedingt mit den Ergebnissen an den gedruckenen Mörtelprismen und sollten diesbezüglich weitere Versuchsreihen mit beiden Systemen durchgeführt werden.

- Bei beiden Versuchsanordnungen können sich die prismatischen Probekörper frei verkürzen. Nachdem die Stützrippen in der Asphaltkonstruktion verklebt sind, tritt dieser Lastfall in der Praxis nur bedingt auf.

5.6.7 Witterungsbeständigkeit

Der nachgereichten Tabelle 26 ist der Abwitterungswiderstand der Mörtel nach 56 Frost-Tau-Wechseln zu entnehmen. Keines der geprüften Mörtelsysteme weist eine Abwitterung auf. Die Prüfung wurde als Doppelbestimmung durchgeführt. Alle Mörtelsysteme zeigen daher einen hohen Widerstand gegenüber Frost-Tausalz-Einwirkung (Nachweis der gleichwertigen Beständigkeit für die Expositionsklasse XF4).

Tabelle 26: Abwitterung der Mörtelsysteme nach 56 Frost-Tau-Wechseln

Mörtel	Abwitterung nach 56 Frost-Tau-Wechseln [kg/m ²]		
	Grundplatte AC 11	Grundplatte SMA 11	Mittelwert
Haas	0,0 (keine Abwitterung)	0,0	0,0
Colas	0,0	0,0	0,0
SAFT	0,0	0,0	0,0
CDS Polymere	0,0	0,0	0,0
WestWood	0,0	0,0	0,0

Die nachfolgende Abbildung 206 zeigt zwei Probepplatten vor und nach der Befrostung.



Abbildung 206: Mit Mörtel überbaute Asphaltplatten vor (links) und nach (rechts) 56 Frost-Tau-Wechseln

5.7 SCHLUSSFOLGERUNG

5.7.1 Zusammenfassung und Interpretation

Es wurden 5 verschiedene Mörtelsysteme untersucht, die derzeit in Österreich für die Herstellung von Stützrippen in Asphaltkonstruktionen eingesetzt werden.

Durch den Subauftragnehmer Nievelt Labor GmbH wurde in Abstimmung mit dem Projektpartner GESTRATA ein Prüfprogramm in Anlehnung an die Anforderungstabelle der RVS 15.04.51 [5] erstellt. Die Zielsetzung der gegenständlichen Materialprüfung war es, die charakteristischen Eigenschaften der Mörtelsysteme unter vergleichbaren Prüfbedingungen zu bestimmen und die Anforderungswerte, sowie die darin enthaltenen Prüfverfahren zu verifizieren.

Für die verschiedenen Mörtelsysteme liegen in der Praxis unterschiedliche (Langzeit-) Erfahrungen vor und diese sollten unter Einbeziehung der Ergebnisse der durchgeführten Materialprüfungen in Abstimmung mit den Herstellern in Folge diskutiert werden.

Alle gegenständlichen Mörtelsysteme weisen ein zeit- und temperaturabhängiges Materialverhalten auf. In Abhängigkeit der angewendeten Prüfverfahren können sich die Größenordnungen aber auch die Zusammenhänge unterschiedlich darstellen.

Bei der Probekörperherstellung ist die kurze Verarbeitungszeit der Mörtel besonders zu berücksichtigen. Diese betragen bei Raumtemperatur produktabhängig nur ca. 10 Minuten und müssen innerhalb dieses Zeitraums die Mörtel gemischt, in die Formen gefüllt, verdichtet und abgezogen werden. Mangels einheitlicher Angaben in den Datenblättern wurde der Mischvorgang für alle Mörtelsysteme standardisiert.

Die größeren Schwankungsbreiten in den Einzelergebnissen, aber auch die nicht immer vollständig schlüssigen Zusammenhänge zwischen Ergebnissen unterschiedlicher Prüfverfahren stehen auch im Zusammenhang mit der kurzen Verarbeitungszeit und der

möglichen geringeren Lagerungsdichte bei der Probekörperherstellung. Aus diesem Grund müssen durch die Hersteller produktabhängige Schwankungsbreiten der Mörteldichten angegeben werden. Prüfkörper mit geringeren Dichten sollten demnach ausgeschieden und nicht für die Materialprüfungen herangezogen werden. Aufgrund der beschränkt zur Verfügung stehenden Mörtelmenge konnten einige Prüfungen mit einer etwas größeren Streuung der Einzelwerte nicht wiederholt werden. Vor der Mittelwertbildung wurden auffällige Einzelwerte eliminiert.

Aus den durchgeführten Vergleichsprüfungen an zwei ausgewählten Mörteln kann eine Schwankungsbreite der angegebenen Mittelwerte von bis zu 15 % abgeschätzt werden, wobei im Regelfall mit höheren Schwankungsbreiten bei den Prüfungen nach kurzen Lagerzeiten (im gegenständlichen Fall 24 Stunden nach der Herstellung) gerechnet werden muss. Diese Überlegung ist bei der Festlegung von Anforderungswerten zu berücksichtigen.

(1)

Alle Mörtelsysteme weisen hohe Druck- und Biegezugspannungen auf. Im Vergleich zu polymermodifiziertem Asphaltmischgut liegen die Werte bei allen gewählten Prüftemperaturen um ein Vielfaches höher. Hohe Druck- und hohe Biegezugfestigkeiten sind bei den Mörtelsystemen unbedingt erforderlich, um insbesondere bei hohen Asphalttemperaturen die Spannungen aus dem Verkehrslasten schadensfrei aufnehmen zu können.

(2)

Der statische E-Modul aller Mörtelsysteme ist in unterschiedlicher Abstufung ebenfalls temperaturabhängig. Den geringsten Temperatureinfluss zeigen die Mörtelsysteme Haas und Colas, wobei der statische E-Modul des Mörtelsystems Colas bei der gewählten Prüftemperatur von +45° C stark abfällt.

Bei der Prüftemperatur von +20 °C liegen die statischen E-Module aller Mörtelsysteme und des Vergleichsasphalts zwischen ca. 27.000 MPa und ca. 32.000 MPa und kann das Materialverhalten in diesem Temperaturbereich als spröd bezeichnet werden. Die Produkte SAFT, cds-Polymere und WestWood weisen auch bei +10 °C einen vergleichbaren statischen E-Modul wie der Vergleichsasphalt auf. Die Prüfwerte liegen zwischen ca. 10.500 MPa und ca. 13.200 MPa.

Das Mörtelsystem Haas zeigt bei der Prüftemperatur von +45 °C die mit Abstand größte Steifigkeit (statischer E-Modul ca. 7.000 MPa). Die Mörtelsysteme SAFT, cds-Polymere und WestWood weisen statische E-Module < 1.000 MPa auf. Bei dem Mörtelsystem Colas und

dem Vergleichsasphalt konnte bei dieser Temperatur der statische E-Modul nicht mehr gemessen werden, da die Verformungen bei der gewählten Ober- und Unterspannung bereits im plastischen Bereich stattgefunden haben.

Dem E-Modul der Mörtelsysteme im Vergleich zu dem E-Modul des umgebenden Asphalts wird eine große Bedeutung beigemessen. Bei niedrigen Temperaturen kann der Asphalt aufgrund seiner hohen Steifigkeit die Lasten aus dem Schwerverkehr auch ohne Stützrippen aufnehmen. Bei zunehmenden Temperaturen nimmt die Verformungsfestigkeit des Asphalts ab und müssen die Verkehrslasten über die Stützrippen aufgenommen werden.

Bei sehr hohen Temperaturen ist die Stützrippe im Asphalt vergleichsweise weich gebettet und ist davon auszugehen, dass bei hohen Verkehrslastspannungen und größeren Unterschieden in den E-Modulen zusätzliche Spannungen an der Unterseite der Stützrippe auftreten.

Es ist davon auszugehen, dass diese Spannungen im Regelfall durch die Stützrippen aufgenommen werden können, da die Biegezugfestigkeit der Mörtelsysteme hoch ist. Trotzdem sollte in der Praxis beobachtet werden, ob Mörtelsysteme mit einer hohen Steifigkeit bei hohen Temperaturen vermehrt zu Brüchen neigen (Überschreitung der Biegezug- und/oder der Dauerbiegezugfestigkeit).

Aussagen zum Ermüdungsverhalten der übergebenen Mörtelsysteme können aus dem durchgeführten Versuchsprogramm nicht abgeleitet werden.

(3)

Die Verbundeigenschaften der Mörtelsysteme zu den Baustoffen Asphalt, Beton und Stahl sind sehr gut.

Eine differenzierte Aussage über das Haftverhalten der unterschiedlichen Produkte auf Asphalt und Beton ist nicht möglich, da bei den durchgeführten Prüftemperaturen von +10° C durchwegs das Versagen im Asphalt bzw. im Beton eingetreten ist.

Bei den Abreißversuchen gegen Stahl konnte die Last so lange gesteigert werden, bis ein Versagen im Mörtel aufgetreten ist. Die Zugfestigkeiten aller Mörtelsysteme, ermittelt über Abreißversuche an einer ca. 10 mm dicken Mörtelschicht, können unter Berücksichtigung eines bestimmten Vorhaltemaßes mit > 4,0 MPa angegeben werden.

Die mit den jeweiligen Primern vorbehandelten Grenzflächen weisen bei allen Prüfungen eine höhere oder zumindest gleich hohe Abreißfestigkeit wie die zu verbindenden Baustoffe auf und können daher die Verbundeigenschaften der Mörtel zu den Baustoffen Asphalt, Beton und Stahl als sehr hochwertig bewertet werden.

(4)

Nachdem die Adhäsion der Mörtelsysteme zu den Baustoffen Asphalt, Beton und Stahl sehr gut ist, wird der Einfluss des Schwindens auf die Gebrauchstauglichkeit der Mörtelsysteme bei der Anwendung als Stützrippen in Asphaltkonstruktionen als untergeordnet betrachtet.

Unbehindertes Schwinden, wie bei den durchgeführten Materialprüfungen simuliert, tritt in der praktischen Anwendung nicht auf. Die auftretenden Spannungen in Folge der Temperaturentwicklung beim Erhärten der Mörtel müssen gegebenenfalls berücksichtigt werden.

Die Prüfung des Schwindverhaltens ist aufgrund der kurzen Verarbeitungszeit der Mörtel und der produktabhängigen Temperaturentwicklung bei der Erhärtung schwierig. Bei der Prüfung des Schwindverhaltens an den prismatischen Probekörpern mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 160 mm wurden Schwindmaße (zwischen dem 1. Tag und dem 56. Tag nach der Herstellung) vergleichbar einer üblichen Betonsorte nachgewiesen.

Die Vorversuche über das Schwindverhalten in der Schwindrinne mit Probekörpern, welche die gleichen Probekörperabmessungen wie die tatsächlich hergestellten Stützrippen aufweisen, könnten weitere Aussagen über die verschiedenen Mörtelsysteme liefern und sollten grundsätzlich weiterverfolgt werden.

Auch bei diesem Versuch ist der Schwindvorgang über die Länge von 1 m unbehindert.

(5)

Die Witterungsbeständigkeit, geprüft über die Frost-Tausalz-Beständigkeit, vergleichbar mit Betonen der Expositionsklasse XF4, ist bei allen Mörtelsystemen gegeben. Nach der in der Norm vorgesehenen Anzahl an Frost-Tau-Wechseln wurden bei keinem Mörtelsystem Abwitterungen festgestellt.

Zusätzlich zu der Abwitterung an der Oberfläche wurde auch der Verbund der Mörtel an unterschiedlichen Asphaltplatten nach der Befrostung durch Abreißversuche ermittelt. Bei allen Mörtelsystemen lag die Abreißfestigkeit an der Grenzfläche über der kohäsiven Festigkeit der Asphalte und sind daher ausreichende Verbundeigenschaften der Mörtelsysteme zu den Asphalten auch nach der Befrostung gegeben.

5.7.2 Empfehlung für Prüfverfahren und Anforderungswerte

Grundsätzlich müssen alle Komponenten nach den Vorgaben der Hersteller vermischt und verarbeitet werden. Die Datenblätter aller Hersteller müssen diesbezüglich präzisiert werden,

damit in der Werkseigenen Produktionskontrolle und der Abnahmeprüfung vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können.

Vorschlag für die Erstellung und Verarbeitung der Mörtelsysteme, Herstellung der Prüfkörper:

- Alle Ausgangskomponenten sind vor Beginn der Prüfungen über einen Zeitraum von zumindest 72 Stunden bei (20 ± 2) °C vorzulagern.
- Vermischung der Komponenten mit einem elektrischen Rührwerk, Mischzeit (180 ± 10) Sekunden, Umdrehungszahl (350 ± 50) U/Min.
- Im Anschluss Umtopfen des Mörtels, alle am Gebinde klebenden Bindemittelanteile sind vollständig abzustreifen und in das neue Gebinde überzuführen
- Nachmischzeit (120 ± 10) Sekunden
- Der Mörtel ist unmittelbar nach Abschluss des Mischvorgangs innerhalb von (180 ± 30) Sekunden in die Schalung der Probekörper überzuführen, mit einer Kelle zu verteilen, die Randbereiche sind mit der Kelle nachzustochern und abschließend sind die Mörtel mit einem Stampfer zu verdichten (Anm.: im Wesentlichen muss die Herstellung der Probekörper nach der Zementnorm erfolgen). Die Oberflächen der Probekörper sind mit einem Abstreichlineal unter leichtem Druck glatt und eben zu streichen.
- Die maximale Zeitspanne zwischen dem Vermischen der Komponenten und dem Glätten der Probekörper darf 10 Minuten nicht überschreiten. Bereits ansteifende Mörtel dürfen für die Probekörperherstellung nicht mehr verarbeitet werden.
- Die Probekörper sind ca. 6 Stunden nach der Herstellung auszuschalen und die Festmörtelrohddichte durch Wägen und Ausmessen zu ermitteln.
- Die Festmörtelrohddichte jedes Probekörpers muss innerhalb der angegebenen Bandbreite des Herstellers liegen. Probekörper mit abweichenden Festmörtelrohddichten oder mit Verdichtungsporen (keine vollständige Verdichtung) dürfen für weiterführende Materialprüfungen nicht herangezogen werden und sind auszuscheiden.

Konditionierung der Probekörper vor der Prüfung:

- Nach der Bestimmung der Festmörtelrohddichte sind alle Probekörper zu konditionieren, (z.B. in einem klimatisierter Raum), Temperatur (20 ± 2) °C, relative Luftfeuchtigkeit zwischen 50 % und 80 % (Anm.: diese Vorgabe entspricht der Anforderung der ONR 23303 an die Konditionierung von Betonprüfkörpern und ist daher in den meisten Prüfstellen ohne zusätzlichem Aufwand realisierbar)
- Vor der Prüfung sind die Probekörper über einen Zeitraum von $(4,0 \pm 0,5)$ Stunden auf die jeweilige Prüftemperatur zu bringen (z.B. in einer Klimakammer), die Prüftemperatur ist in der Klimakammer auf ± 2 °C konstant zu halten
- Nach Entnahme der Probekörper aus der Klimakammer müssen die Prüfungen innerhalb von (30 ± 5) Sekunden begonnen und schnellst möglich abgeschlossen werden.

Die nachfolgende Tabelle 27 enthält einen Vorschlag für mögliche Anforderungswerte der Mörtel im Rahmen einer Typprüfung (Erst- bzw. Eignungsprüfung) und ist gemeinsam mit Tabelle 28 als Anwendungsmatrix für die Bewertung geeigneter Materialien für die Herstellung von Stützrippen zu sehen. Der Vorschlag ist unter Einbeziehung der Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle der Hersteller zu verifizieren.

Die Tabelle enthält auch die anzuwendenden Prüfverfahren und die erforderlichen Präzisierungen.

Tabelle 27: Vorschlag für die Festlegung von Prüfverfahren und Anforderungswerte im Rahmen der Typprüfung – Anwendungsmatrix Teil 1

Parameter	Prüf-temperatur ¹⁾	Prüfverfahren in Anlehnung an	Anforderung, Alter der Probekörper	
			(24 ± 1) Stunde	(7,0 ± 0,5) Tage
Mörtelsystem	-	-	zweikomponentiger lösungsmittelfreier Mörtel auf Epoxidharzbasis oder gleichwertigem	
Festmörtelrohddichte, durch Wägen und Ausmessen	+20 °C	ÖNORM EN 12390-7	in der angegebenen Bandbreite des Herstellers	
Druckfestigkeit an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ÖNORM EN 196-1	≥ 35 N/mm ²	anzugeben
	+10 °C		≥ 25 N/mm ²	anzugeben
	+45 °C		≥ 15 N/mm ²	anzugeben
Biegezugfestigkeit an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ÖNORM EN 196-1	≥ 20 N/mm ²	anzugeben
	+10 °C		≥ 15 N/mm ²	anzugeben
	+45 °C		≥ 5 N/mm ²	anzugeben
Statischer E-Modul an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ONR 23303, Punkt 9.7	-	≤ 35.000 N/mm ²
	+10 °C		-	anzugeben ²⁾
	+45 °C		-	anzugeben ²⁾
Abreißfestigkeit gegen Asphalt ³⁾	+10 °C	RVS 11.06.81	-	≥ 2,0 N/mm ² ⁴⁾
Abreißfestigkeit gegen Beton ³⁾			-	≥ 2,5 N/mm ² ⁴⁾
Abreißfestigkeit gegen Stahl ⁵⁾			-	≥ 4,0 N/mm ² ⁶⁾
Schwindverhalten an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	- ⁷⁾	ÖNORM EN 12617-4	≤ 0,5 ‰ ⁸⁾	
Frost-Tausalz-Beständigkeit	-	ONR 23303	keine Abwitterung	

1) Alle Prüftemperaturen ± 2 °C

2) Anforderungen können erst nach Einbeziehung von Erfahrungsberichten der Hersteller festgelegt werden

3) Asphalt- oder Betonplatte mit geschnittener oder sandgestrahlter Oberfläche, Mörteldicke (10 ± 1) mm, Platten mit den Abmessungen von ca. 250 mm x ca. 250 mm x ca. 40 mm haben sich als praktikabel erwiesen, in

Vorversuchen ist die Oberflächenfestigkeit der Platten zu bestimmen, Anforderung Asphalt $\geq 2,0 \text{ N/mm}^2$, Anforderung Beton $\geq 2,5 \text{ N/mm}^2$

- 4) Kein Bruch an der Grenzfläche oder im Mörtel
- 5) Stahlplatte, Oberfläche vorbehandelt, Reinheitsgrad SA 2,5, Platten mit den Abmessungen von ca. 250 mm x ca. 250 mm x ca. 8 mm haben sich als praktikabel erwiesen
- 6) Kein Bruch an der Grenzfläche
- 7) Die Konditionierung der Prüfkörper und die Prüfung müssen in einer Klimakammer erfolgen, Temperatur $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, relative Luftfeuchtigkeit zwischen 50 % und 80 %
- 8) Berechnet aus der Längendifferenz zwischen den Messzeitpunkten 8 Stunden und 56 Tage nach der Herstellung, alle 7 Tage sind Zwischenmessungen durchzuführen und die zeitabhängige Längenänderung darzustellen

Die nachfolgende Tabelle 28 enthält einen Vorschlag für den möglichen Prüfumfang und mögliche Anforderungswerte der Mörtel im Rahmen einer Abnahmeprüfung. Auch dieser Vorschlag ist unter Einbeziehung der Ergebnisse der Werkseigenen Produktionskontrolle der Hersteller zu verifizieren.

Tabelle 28: Vorschlag für die Festlegung von Prüfverfahren und Anforderungswerte im Rahmen der Abnahmeprüfung – Anwendungsmatrix Teil 2

Parameter	Prüf-temperatur ¹⁾	Prüfverfahren in Anlehnung an	Anforderung, Alter der Probekörper	
			(24 ± 1) Stunde	(7,0 ± 0,5) Tage
Festmörtelrohddichte, durch Wägen und Ausmessen	+20 °C	ÖNORM EN 12390-7	in der angegebenen Bandbreite des Herstellers	
Druckfestigkeit an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ÖNORM EN 196-1	Bandbreite Hersteller ± 15 %	-
	+10 °C			anzugeben
	+45 °C			-
Biegezugfestigkeit an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ÖNORM EN 196-1	Bandbreite Hersteller ± 15 %	-
	+10 °C			anzugeben
	+45 °C			-
Statischer E-Modul an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	- ²⁾	ONR 23303, Punkt 9.7	-	Bandbreite Hersteller ± 20 % ³⁾

1) Alle Prüftemperaturen $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

2) Die Konditionierung der Prüfkörper und die Prüfung müssen in einer Klimakammer erfolgen, Temperatur $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, relative Luftfeuchtigkeit zwischen 50 % und 80 %

3) Berechnet aus der Längendifferenz zwischen den Messzeitpunkten 8 Stunden und 56 Tage nach der Herstellung, alle 7 Tage sind Zwischenmessungen durchzuführen und die zeitabhängige Längenänderung darzustellen

6 AP5: VORSCHLÄGE ZUR VERBESSERTEN AUSFÜHRUNG DES ANSCHLUSSBEREICHES

6.1 Allgemeines

Fahrbahnübergangskonstruktionen (FÜK) stellen hochbelastete Bauteile im System „Fahrbahn“ dar, welche durch hohe dynamische Lasten beansprucht werden und großen Anforderungen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und Dichtheit gerecht werden müssen.

FÜK als solche müssen einerseits flexibel genug sein, um die Bauwerksbewegungen (Verschiebungen/Verdrehungen) zwängungsarm aufnehmen zu können. Andererseits müssen sie in vertikaler Richtung statisch-konstruktiv derart ausgebildet sein, dass die Verkehrslasten dauerhaft aufgenommen und in die anschließenden Bauteile weitergeleitet werden können.

Die Erfüllung der statischen und dynamischen Erfordernisse nach Maßgabe der geltenden Normen und Vorschriften stellt zwar eine notwendige Bedingung zur Ausgestaltung der FÜK einschließlich der anschließenden Bauteile dar. Basierend auf den erworbenen Erfahrungen und vorliegenden Erkenntnissen kann in diesem Zusammenhang jedoch festgehalten werden, dass die Berücksichtigung organisatorischer, konstruktiver und baupraktischer Erfordernisse als zusätzliche und hinreichende Notwendigkeit unerlässlich ist.

Zur Beurteilung der Systemrelevanz der gesamten Konstruktion ist auf die einzelnen miteinander interagierenden Bauelemente und Komponenten wie FÜK, Brückenabdichtung, Asphaltkonstruktion und Belagsanschluss, Vergussfuge, Stützrippen, Betonschwelle etc. Bezug zu nehmen.

Die Notwendigkeit einer ganzheitlichen und konsequenten Betrachtung des Gesamtsystems geht neben der Beeinträchtigung der Streckenverfügbarkeit und damit einhergehenden (volks-) wirtschaftlichen Einbußen viel mehr aus den Gesichtspunkten der Verkehrssicherheit und Schadensfreiheit für die Verkehrsteilnehmer hervor.

Zum Zweck und Ziel der Bestrebungen in diesem Zusammenhang werden nachfolgend einige gebrauchstauglichkeits- und nutzungsdauererhöhenden Überlegungen vorgestellt.

Die Richtlinien RVS 15.04.51 (Übergangskonstruktionen, Ausführungsbestimmungen) und RVS 15.04.52 (Übergangskonstruktionen, Schaltechnische Beurteilung) bildeten bis 31.05.2018 die Grundlage für die Erarbeitung der Typenblätter und Erteilung der Zulassungen für Fahrbahnübergangskonstruktionen. Diese wurden ab 1.06.2018 durch die ÖNorm B 4031 und ÖNorm B 4032 ersetzt. Diese Normen beinhalten Verwendungs- und Ausführungsbestimmungen für den Einsatz von Fahrbahnübergangskonstruktionen in Anlehnung an die ETAG 032 (Europäische Technische Richtlinie).

In der RVS 15.04.51 und ÖNorm B 4032 werden Ausführungshinweise zur Herstellung der Fahrbahndecken im unmittelbaren Anschlussbereich der FÜK für bituminösen Fahrbahnaufbau respektive für Betonfahrbahndecken angeführt. Darin wird u. a. auch auf die Ebenheitsanforderungen entsprechend den Bestimmungen gemäß RVS 08.16.01 für bituminöse Decken sowie RVS 08.17.02 für Betondecken hingewiesen.

Im Planungshandbuch der ASFINAG werden in Anlehnung an die geltenden Vorschriften und Normen zusätzliche Angaben und ergänzende Festlegungen getroffen.

Die baupraktische Herstellung und der dauerhaft taugliche Zustand des Belagsanschlusses stellen insbesondere bei komplexen Geometrien und Randbedingungen (Schiefwinkeligkeit des Tragwerkes, Quer- und Längsneigungsverhältnisse, abschnittsweise Herstellung entsprechend der Verkehrsführung, Witterungsverhältnisse, Maschinen- und Geräteeinsatzmöglichkeiten...) meist eine Herausforderung hinsichtlich der Einhaltung der Ebenheitsanforderungen und Oberflächeneigenschaften dar. Der Herstellung des Belagsanschlusses an die FÜK kommt demnach eine besondere Bedeutung und Gewichtung zu.

Der Einbau bis zum endgültigen und gebrauchstauglichen Zustand einer FÜK besteht aus einigen sequenziellen und aufeinander abgestimmten Arbeitsschritten unterschiedlicher Gewerke. Nach dem lage- und höhenmäßigen Ausrichten und dem stahlbaumäßigen Anschluss der FÜK an den Bewehrungskorb durch das Fachpersonal des FÜK- Herstellers erfolgt das Verlegen der statisch-konstruktiven Zusatzbewehrung und anschließend das Ausbetonieren der Aussparungen zwecks Herstellung der endgültigen und kraftschlüssigen Verankerung der FÜK mit dem Bauwerk. Nach der Einhaltung der erforderlichen Aushärtezeiten beim Beton wird die Brückenabdichtung entsprechend den normativen Vorgaben eingebaut und der Isolierungsanschluss an die FÜK gemäß Ausschreibungsbestimmungen ausgestaltet (mit/ ohne Abdichtungsanschluss). Im nächsten Schritt wird der Fahrbahnbelag eingebaut und an die FÜK herangeführt. Hierbei ist insbesondere auf die notwendige und hinreichende Verdichtung der Asphaltkonstruktion als Walzasphalt unter Maßgabe erforderlicher Höhentoleranzen zu achten. Im abschließenden Arbeitsgang werden entsprechend den Ausschreibungsbestimmungen die elastischen Vergussfugen sowie die Stützrippen hergestellt.

Bezugnehmend auf die o. a. Regelwerke und auf Basis der vorzufindenden vielfältigen Ausführungsvarianten des Belagsanschlusses im Streckennetz der ASFINAG werden nachstehend die unterschiedlichen Merkmale der Ausführungsvarianten und Lösungsansätze angeführt.

Die Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze sollten generell die wesentlichen technischen und organisatorischen Bedürfnisse gesamthaft umfassen, um einerseits die Dauerhaftigkeit der FÜK- Anschlussbereiche entsprechend zu erhöhen und andererseits die übermäßige Beanspruchung der FÜK zu minimieren.

Die nachstehenden Vorschläge und Empfehlungen sollten in die ausgewählten und repräsentativen Anwendungsfälle bei künftigen Bauvorhaben Eingang finden, um hierzu Aussagen über die Ausführung, Ausführbarkeit und die daraus resultierenden Erkenntnisse sowie Vor- und Nachteile machen zu können.

6.2 Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:

Materialtechnologie

Entsprechend den Festlegungen im Planungshandbuch kommen im Streckennetz der ASFINAG auf Brücken grundsätzlich Asphaltdeckschichten der Mischgutsorten SMA 11 PmB 45/80-65 **S1**, GS bzw. bei hohem Schwerverkehrsanteil SMA 11 PmB 45/80-65 **S2**, GS zum Einsatz. Erforderlichenfalls ist als lärmindernde Deckschicht die Mischgutsorte SMA 11 PmB 45/80-65 **S3**, GS zu wählen, wobei die Entwässerungsmöglichkeit unter der durchlässigen Deckschicht entsprechend auszugestalten ist!

Die unter der Deckschicht liegende Ausgleichschicht ist laut Planungshandbuch in der Regel mit der Mischgutsorte AC 22 binder PmB 45/80-65, H1, G4 herzustellen.

Zur Sicherstellung der Standfestigkeit der bituminösen Fahrbahndecken in FÜK-Anschlussbereichen sind Stützrippen aus Schwarzdeckenmörtel auf Epoxidharzbasis oder aus gleichwertigem Material vorzusehen (ÖNorm B 4032). Die generelle Anordnung und Ausführung der Stützrippen werden im Planungshandbuch der ASFINAG angeführt.

Die sprunghafte Änderung der Belagsanschlusshöhe im FÜK- Anschlussbereich kann die Dauerhaftigkeitseigenschaften der Stützrippen negativ beeinflussen. Abschnitt 6.4 beinhaltet auch in diesem Zusammenhang konstruktive Ansätze zur Vermeidung bzw. Reduzierung etwaiger Schäden aus der abrupten Änderung der Steifigkeitsverhältnisse wie auch in Abbildung 207 dargestellt.

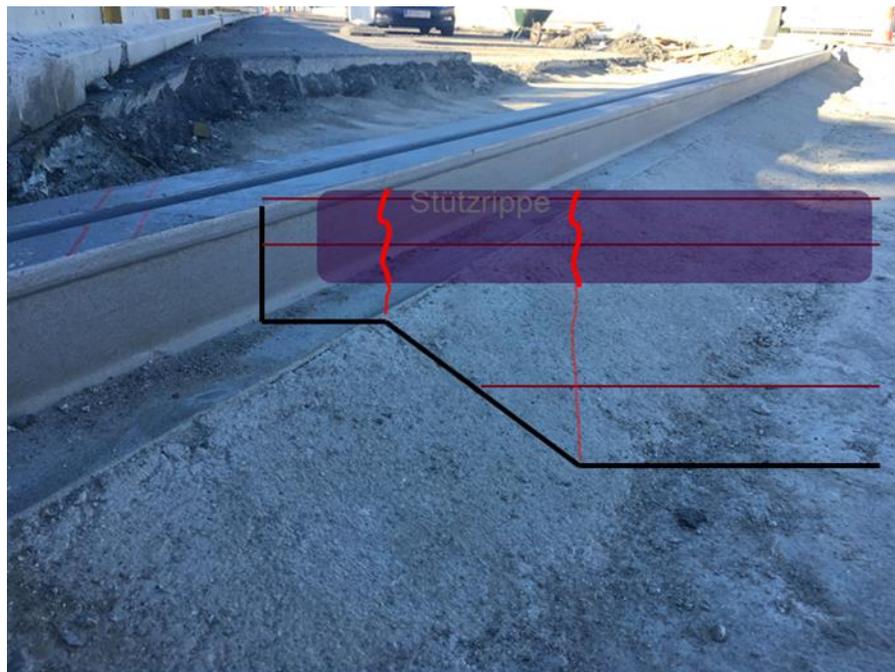


Abbildung 207: Sprunghafte Änderung der Belagsanschlusshöhe, Stützrippenanordnung

Der unmittelbare Anschluss des Fahrbahnbelages an die FÜK- Randprofile hat über die Anordnung von Bitumenfugenbändern zu erfolgen. Bei der Ausstattung der FÜK- Anschlussbereiche mit Betonschwellen sind ebenso Bitumenfugenbänder in der Fuge zwischen Betonschwelle und Fahrbahndecke vorzusehen.

Vom materialtechnologischen Standpunkt her ist hierbei generell von tauglichen und bereits erprobten Konstruktionen auszugehen. Hierzu wird auf die Erläuterungen in Abschnitt 0 verwiesen. Für die Dauerhaftigkeitseigenschaften der FÜK- Anschlussbereiche sind im Wesentlichen die Einbau- und Verarbeitungsbedingungen (Abschnitt 6.3), die konstruktiven Lösungsansätze für den jeweiligen Anwendungsfall (Abschnitt 6.4) sowie die organisatorischen Ansätze zur Qualitätssicherung (Abschnitt 6.5) entscheidend.

Bei der Ausführung der FÜK- Anschlussbereiche mit Betonschwellen ist auf die geeignete Betonrezeptur zu achten. Hierbei sollten aufgrund der besonderen Anforderungen Betone mit hohem Wassereindringwiderstand, geringer Neigung zur Rissbildung, reduziertem Schwindmaß und hoher Abriebfestigkeit verwendet werden. Die chemischen und physikalischen Einwirkungen auf den Beton werden entsprechend den Festlegungen in ÖNorm EN 206 sowie in ÖNorm B 4710-1 eingeordnet. Die Dauerhaftigkeit des verwendeten

Betons wird über die Festigkeitsklassen und Expositionsklassen sowie über die besonderen Eigenschaften festgelegt.

6.3 Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:

Verarbeitungsbedingungen

Die qualitativ hochwertige Herstellung der FÜK- Anschlussbereiche bedarf einer vorausseilenden Planung und Abstimmung der einzelnen Gewerke aufeinander. Es ist naheliegend und evident, dass die Einbau- und Verarbeitungsqualität der einzelnen Konstruktionen und Komponenten die Dauerhaftigkeitseigenschaften und folglich auch die Nutzungsdauer der einzelnen Konstruktionen respektive des gesamten FÜK- Anschlussbereiches maßgebend beeinflussen. Daher sind die technischen und spezifischen Randbedingungen des exponierten FÜK- Anschlussbereiches bei der Detailplanung entsprechend zu bewerten, zu berücksichtigen und planlich darzustellen.



Abbildung 208: Fehlende Abdichtungsentwässerung; Entmischung beim Asphalteinbau und unzureichender Verdichtungsgrad



Abbildung 209: Asphalt einbau; geeigneter Maschineneinsatz

Folgende Inhalte sollten im Zuge der Detailplanung beachtet und entsprechend erläutert werden:

- Angabe der Bezugspunkte zur exakten lage- und höhenmäßigen Ausrichtung der FÜK; planische Darstellung im Längs- und Querschnitt mit Bezug auf die Entwässerungsachse als Referenzpunkt
- Angaben über die Asphaltkonstruktion im FÜK- Anschlussbereich; planische Darstellung der einzelnen Schichten mit Angabe der Mischsorten und deren Stärke
- Spezifische Detailangaben hinsichtlich der Entwässerungsmöglichkeiten im FÜK- Anschlussbereich; Entwässerungsmöglichkeit innerhalb der FÜK
- Angaben über die Ausstattung und Ausgestaltung der FÜK- Anschlussbereiche; planische Darstellung der geeigneten Ausführungsarten des Belagsanschlusses als Asphaltkonstruktion, Polymerbetonbalken oder Betonschwelle samt Stützrippen- und Vergussfugenanordnung
- Angaben über die Dimension der Stützrippen und Vergussfuge; planische Darstellung der Stützrippenanordnung bei verhältnismäßig großem Belagshöhenwechsel

- Art und Umfang der Bewehrung zur kraftschlüssigen und dauerhaften Verankerung der FÜK im Allgemeinen sowie zur konstruktiven Durchbildung und zur kompakten und rissbreitenbeschränkenden Ausbildung der Betonschwellen im Speziellen; Angabe der geeigneten Betonrezeptur



Abbildung 210: Art und Umfang der Bewehrung; Betonschwelle

6.4 Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:

Konstruktive Ansätze

Nachstehend werden Empfehlungen und Vorschläge zur Ausführung der FÜK-Anschlussbereiche unter Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen angeführt und skizzenhaft dargestellt.

Zum einen werden für den jeweiligen Anwendungsfall und unter Berücksichtigung der besonderen Anlageverhältnisse Optimierungsmöglichkeiten und Lösungsansätze bei den Fahrbahnübergangskonstruktionen aufgezeigt. Aufgrund der Vielfalt der Fahrbahnübergangskonstruktionen, geometrischen Randbedingungen der Brücke, Längs- und Querneigungsverhältnisse, Fahrbahnaufbau und Asphaltkonstruktionsarten kann hier keine eindeutige Zuordnung für die Anwendung der einzelnen Optimierungsansätze getroffen werden. Wie in Abschnitt 6.3 erläutert, hat die Auswahl der Optimierungsansätze und deren Kombination im Zuge der Detailplanung und Vorbereitung der jeweiligen Baustelle zu erfolgen.

Hierbei wird für zwei Arten von Fahrbahnübergangskonstruktionen die konstruktionsseitige Entwässerungsmöglichkeit innerhalb der FÜK dargestellt. Durch die konzipierten und hier vorgestellten Ausführungsvarianten erfolgt die Entwässerung der Abdichtungsebene sowie der Binderschichtebene bei Einsatz lärmindernder Asphaltdeckschichten (SMA/ S3) innerhalb der Dichtprofile der Fahrbahnübergangskonstruktion.

Zum anderen handelt es sich hierbei um die Auswahl der im FÜK- Anschlussbereich die Fahrbahn ausbildenden Komponenten sowie um deren Ausgestaltung und Anordnung. Hierzu werden folgende Ausführungsvarianten der Fahrbahn im unmittelbaren Anschlussbereich der FÜK erläutert:

- Regelausführung der Asphaltkonstruktion bestehend aus Tragschicht und Deckschicht entsprechend den Festlegungen im Planungshandbuch; geeignete Einbau- und Verdichtungsmaßnahmen
- Maßnahmen gegen unzureichende Asphaltverdichtung; Ausstattung der FÜK- Anschlussbereiche mit Betonschwelle
- Maßnahmen gegen unzureichende Asphaltverdichtung; Einsatz von Gußasphalt als Trag- und Deckschicht in FÜK- Anschlussbereichen bei besonderen Anlageverhältnissen
- Maßnahmen gegen unzureichende Asphaltverdichtung; dichter Belagsanschluss durch Einsatz von Polymerbeton in FÜK- Anschlussbereichen bei besonderen Anlageverhältnissen
- Maßnahmen gegen unzureichende Asphaltverdichtung; Einsatz von Gußasphalt als Tragschicht und Walzasphalt als Deckschicht in FÜK- Anschlussbereichen; geeignete Einbau- und Verdichtungsmaßnahmen

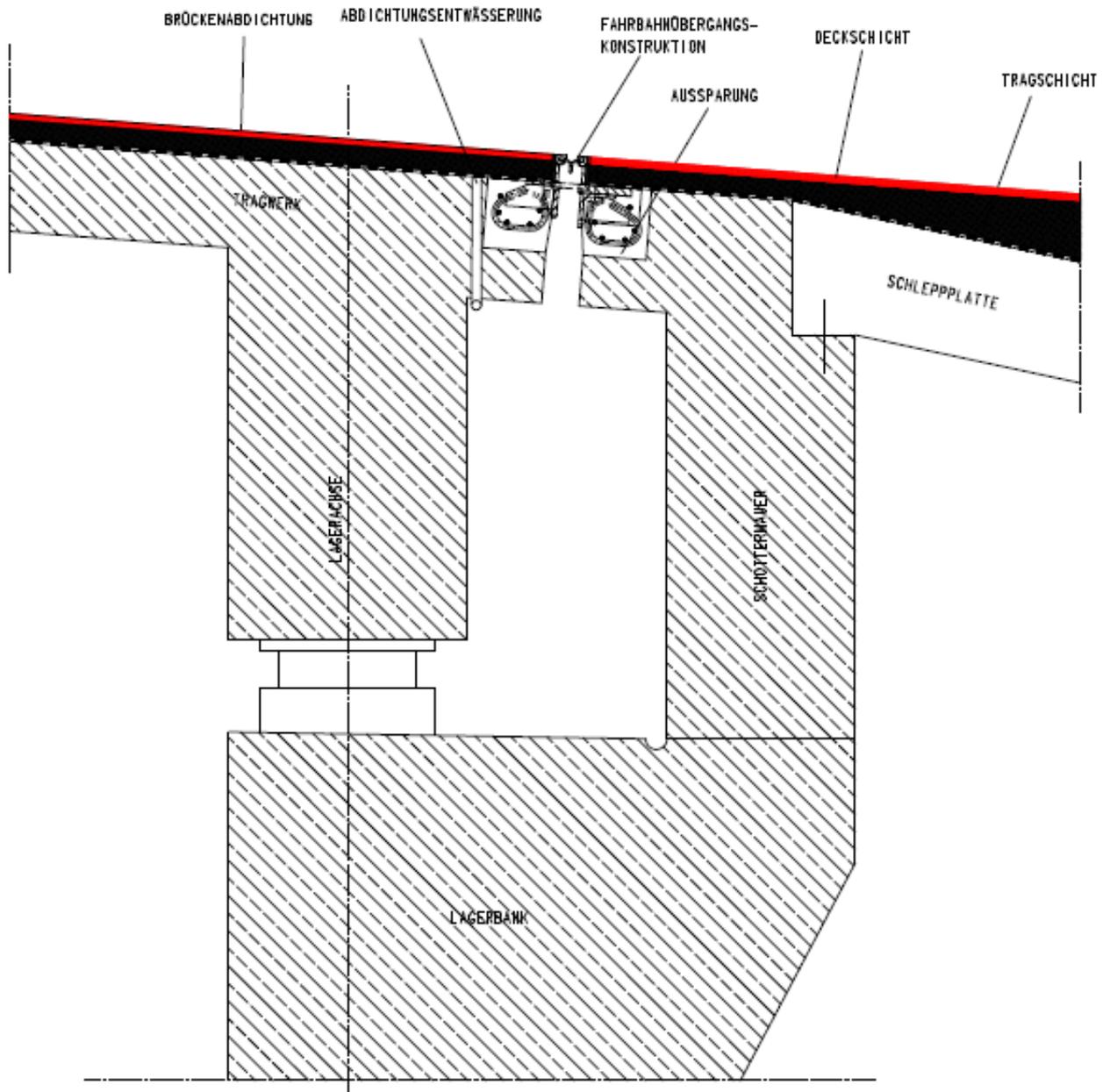


Abbildung 211: Anlageverhältnisse

Im Folgenden werden die konstruktionsseitigen Lösungsansätze vorgestellt und erläutert.

➤ Fingerdehnfuge mit Abdichtungsentwässerung innerhalb der Konstruktion:

Die Entwässerung der Abdichtungsebene erfolgt hierbei in das Dichtprofil der Fahrbahnübergangskonstruktion.

In der FÜK- Randkonstruktion werden in regelmäßigen Abständen und je nach Anlageverhältnissen ausreichend dimensionierte Öffnungen zur unmittelbaren Ableitung des anstehenden Wassers auf der Abdichtungsebene in das Dichtprofil der Fahrbahnübergangskonstruktion vorgesehen.

Insbesondere ist bei einem vorhandenen Längsgefälle des Brückenbauwerkes von anstehendem Wasser hinter dem Randprofil der Fahrbahnübergangskonstruktion auf der Hochpunktseite auszugehen.

Die Abdichtungsentwässerungsöffnungen werden in der Regel mit einem definierten Abstand zu FÜK- Randprofilen angeordnet, sodass eine kontrollierte Ableitung des angestauten Wassers auf der Abdichtungsebene unmittelbar hinter dem Randprofil nicht vollständig ermöglicht werden könnte.

Bei fehlender Entwässerungsmöglichkeit im unmittelbaren FÜK- Anschlussbereich kann das gefrierende Wasser bei wiederholtem Frost-/ Tauwetter die Dauerhaftigkeitseigenschaften der Asphaltkonstruktion und Stützrippen nachteilig beeinflussen.

Die Tendenz zur Eisbildung und Frosthebung auf der Abdichtungsebene in der kalten Jahreszeit führt folglich zu Schäden bei der Asphaltkonstruktion und bei den Stützrippen in Form von Stützrippenversagen und Asphaltausbrüchen.



Abbildung 212: Schäden bei Asphaltkonstruktion und Stützrippen zufolge Eisbildung und Frosthebung

Die hier vorgestellte Ausführungsart bietet ebenso die Möglichkeit zur Entwässerung der Binderschichtebene beim Einsatz lärmindernder Deckschichten.

Die Erarbeitung der technischen und konstruktiven Ausgestaltungsmöglichkeiten der FÜK hinsichtlich der Abdichtungsentwässerung innerhalb der Konstruktion obliegt dem jeweiligen FÜK- Hersteller.

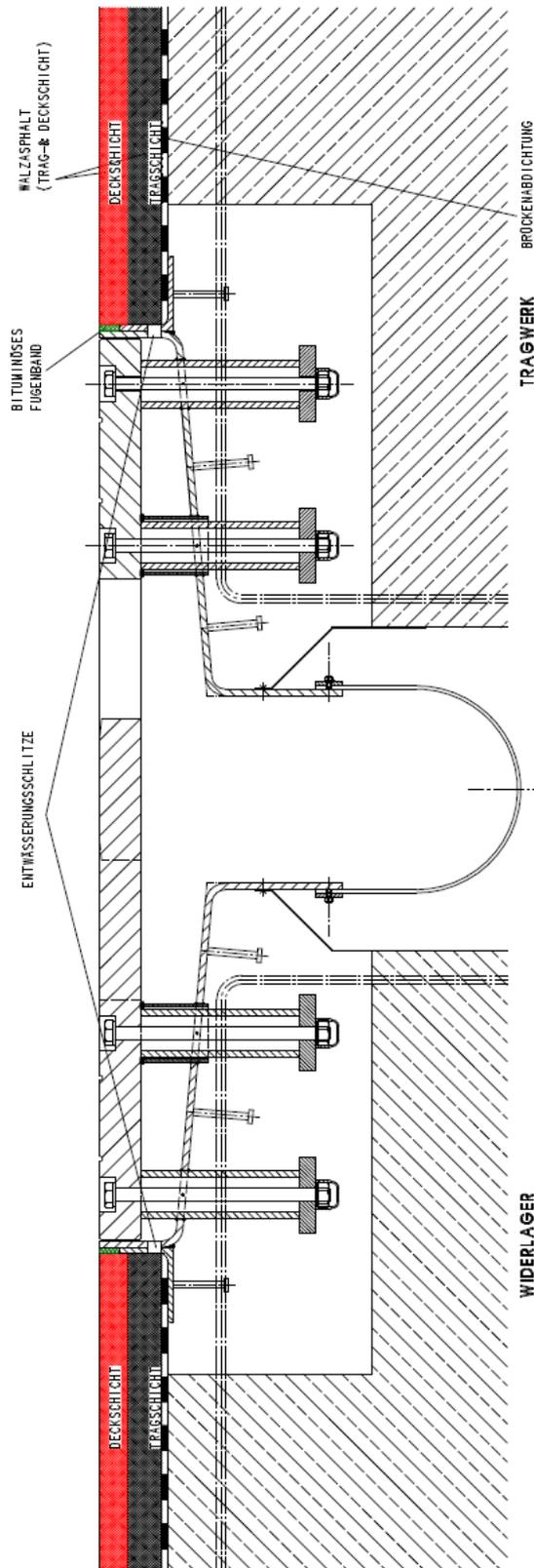


Abbildung 213: Abdichtungsentwässerung innerhalb der FÜK; exemplarisch für eine Fingerdehnfuge

➤ Profilkonstruktion mit Abdichtungsentwässerung innerhalb der Konstruktion:

Die Entwässerung der Abdichtungsebene erfolgt hierbei in das Dichtprofil der Fahrbahnübergangskonstruktion.

In der FÜK- Randkonstruktion werden im Bereich der Entwässerungsachse je nach Anlageverhältnissen ausreichend dimensionierte Öffnungen zur unmittelbaren Ableitung des anstehenden Wassers auf der Abdichtungsebene in das Dichtprofil der Fahrbahnübergangskonstruktion vorgesehen.

Insbesondere ist bei einem vorhandenen Längsgefälle des Brückenbauwerkes von anstehendem Wasser hinter dem Randprofil der Fahrbahnübergangskonstruktion auf der Hochpunktseite auszugehen.

Die Abdichtungsentwässerungsöffnungen werden in der Regel mit einem definierten Abstand zu FÜK- Randprofilen angeordnet, sodass eine kontrollierte Ableitung des angestauten Wassers auf der Abdichtungsebene unmittelbar hinter dem Randprofil nicht vollständig ermöglicht werden könnte.

Im Zusammenhang mit dem vorliegenden Lösungsansatz werden im Bereich der Entwässerungsachse die Randprofile und die Mittelträger der Fahrbahnübergangskonstruktion entsprechend abgesenkt. Zur kontrollierten Ableitung des anstehenden Wassers in das unmittelbare Dichtprofil werden Entwässerungsöffnungen im Randprofil im Bereich der Entwässerungsachse vorgesehen. Die Abdichtungsebene im Kragplattenbereich folgt im Wesentlichen der Geometrie des Tragwerkes.

Bei fehlender Entwässerungsmöglichkeit im unmittelbaren FÜK- Anschlussbereich kann das gefrierende Wasser bei wiederholtem Frost-/ Tauwetter die Dauerhaftigkeitseigenschaften der Asphaltkonstruktion und Stützrippen nachteilig beeinflussen.

Die Tendenz zur Eisbildung und Frosthebung auf der Abdichtungsebene in der kalten Jahreszeit führt folglich zu Schäden bei der Asphaltkonstruktion und bei den Stützrippen in Form von Stützrippenversagen und Asphaltausbrüchen.

Die hier vorgestellte Ausführungsart bietet ebenso die Möglichkeit zur Entwässerung der Binderschichtebene beim Einsatz lärmindernder Deckschichten.

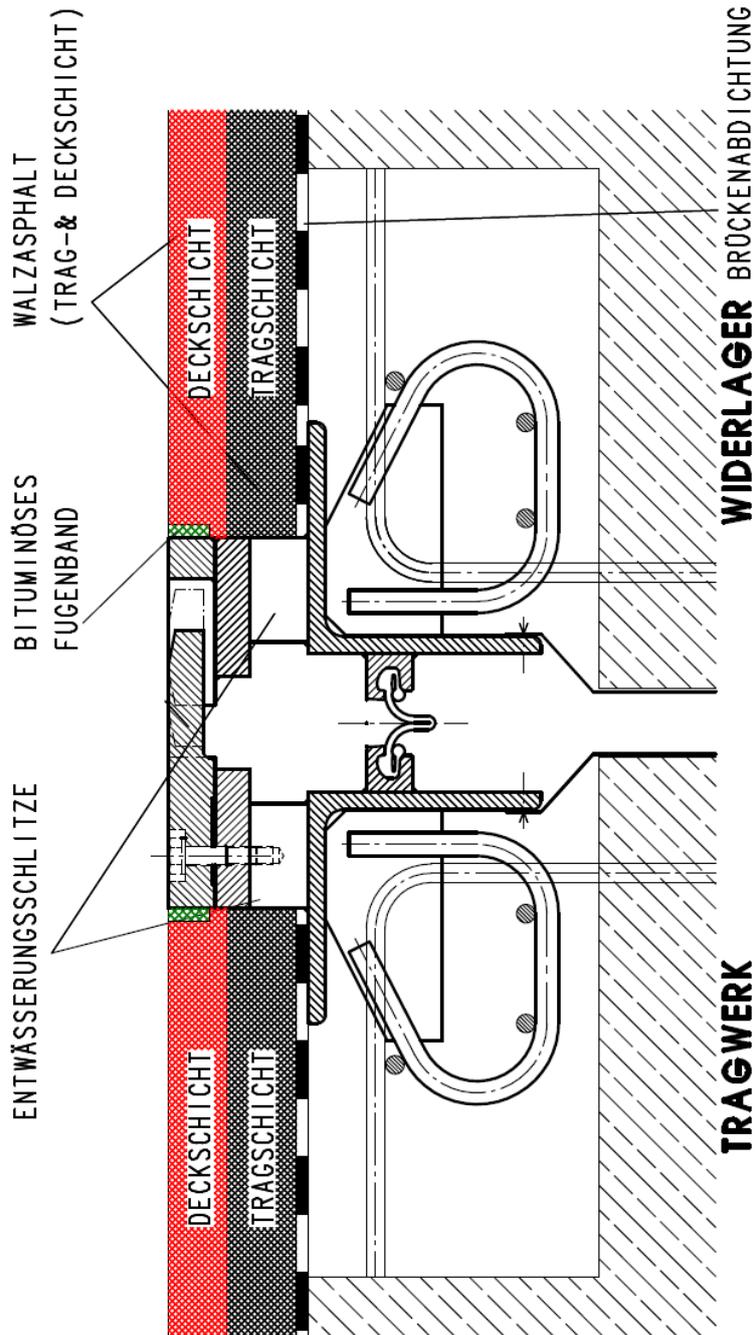


Abbildung 214: Abdichtungsentwässerung innerhalb der FÜK; exemplarisch für eine einprofilige lärmgeminderte Dehnfuge

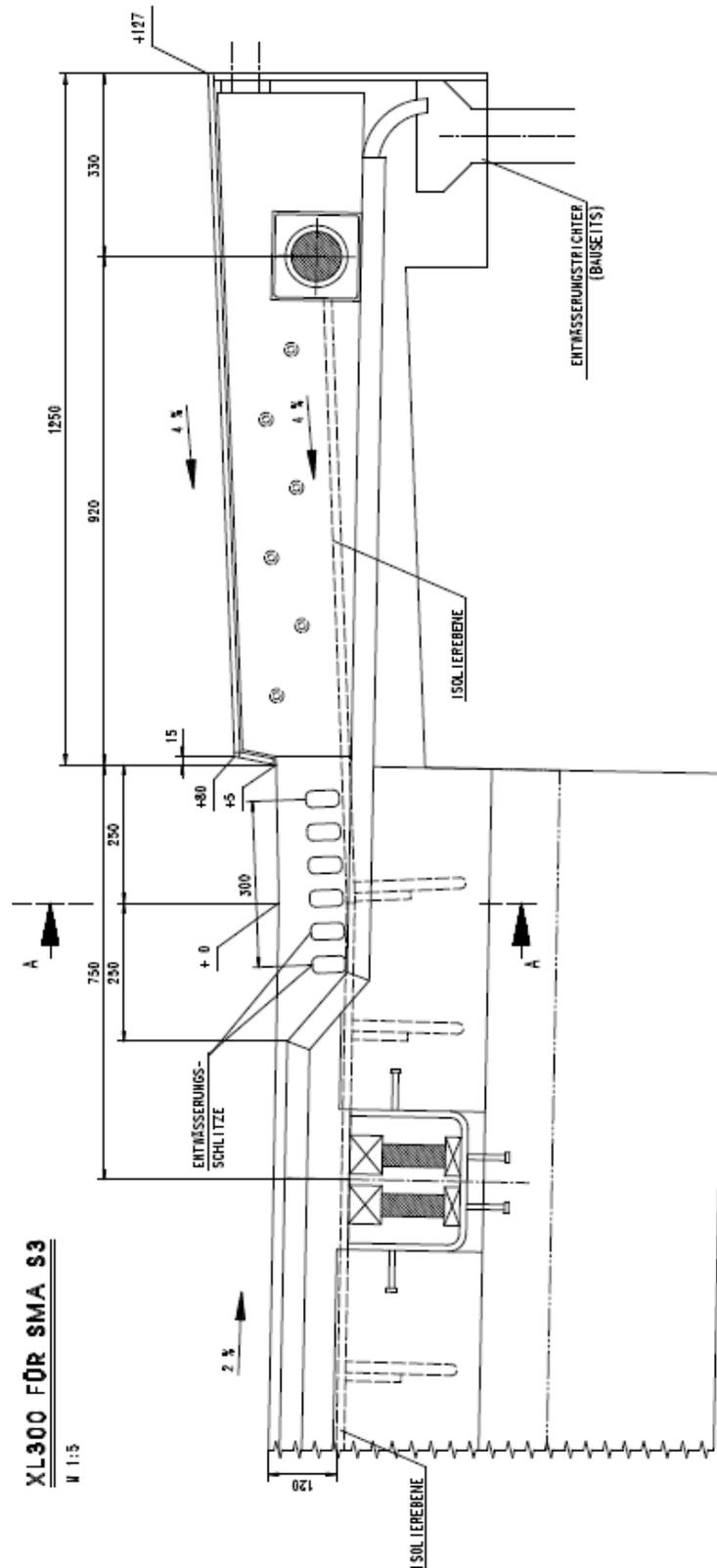


Abbildung 215: Abdichtungsentwässerung bei SMA/ S3 innerhalb der FÜK; exemplarisch für eine Trägerrostdehnfuge, Querschnitt

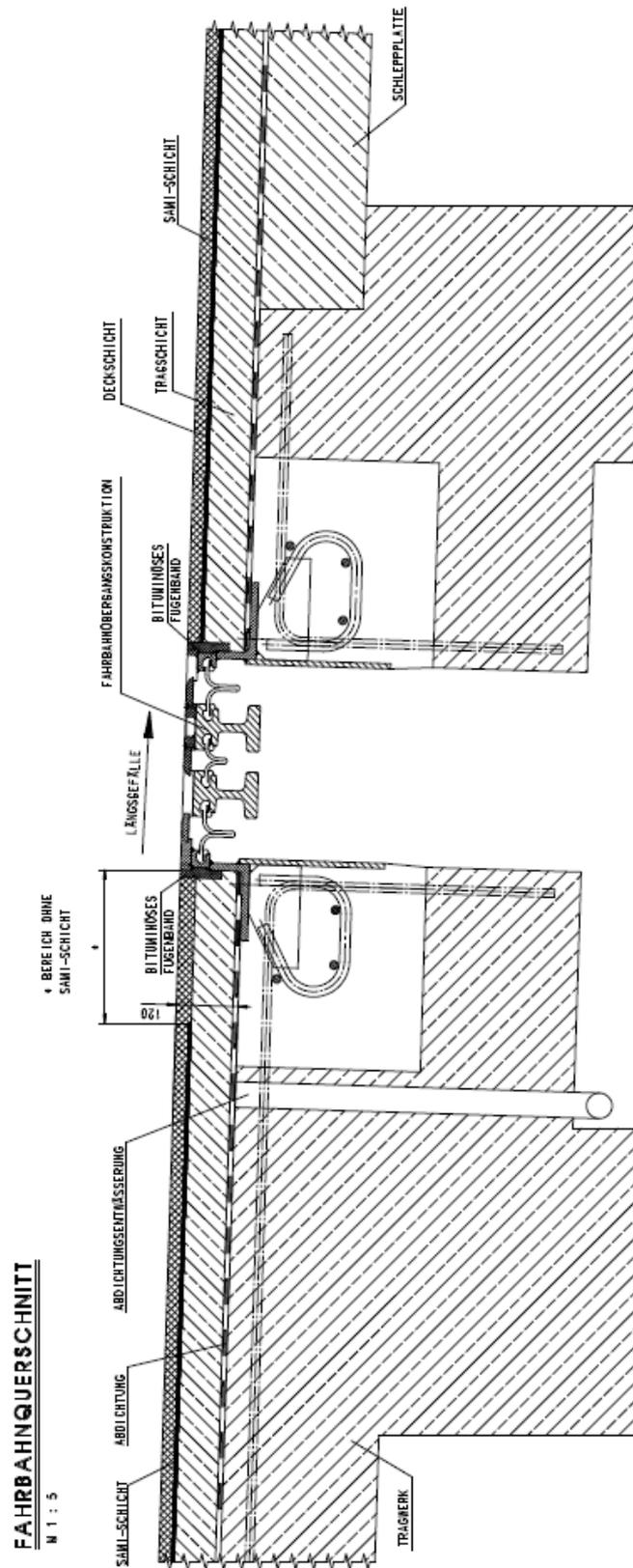


Abbildung 216: Abdichtungsentwässerung bei SMA/ S3 innerhalb der FÜK; exemplarisch für eine Trägerrostdehnfuge, Längsschnitt Fahrbahnbereich

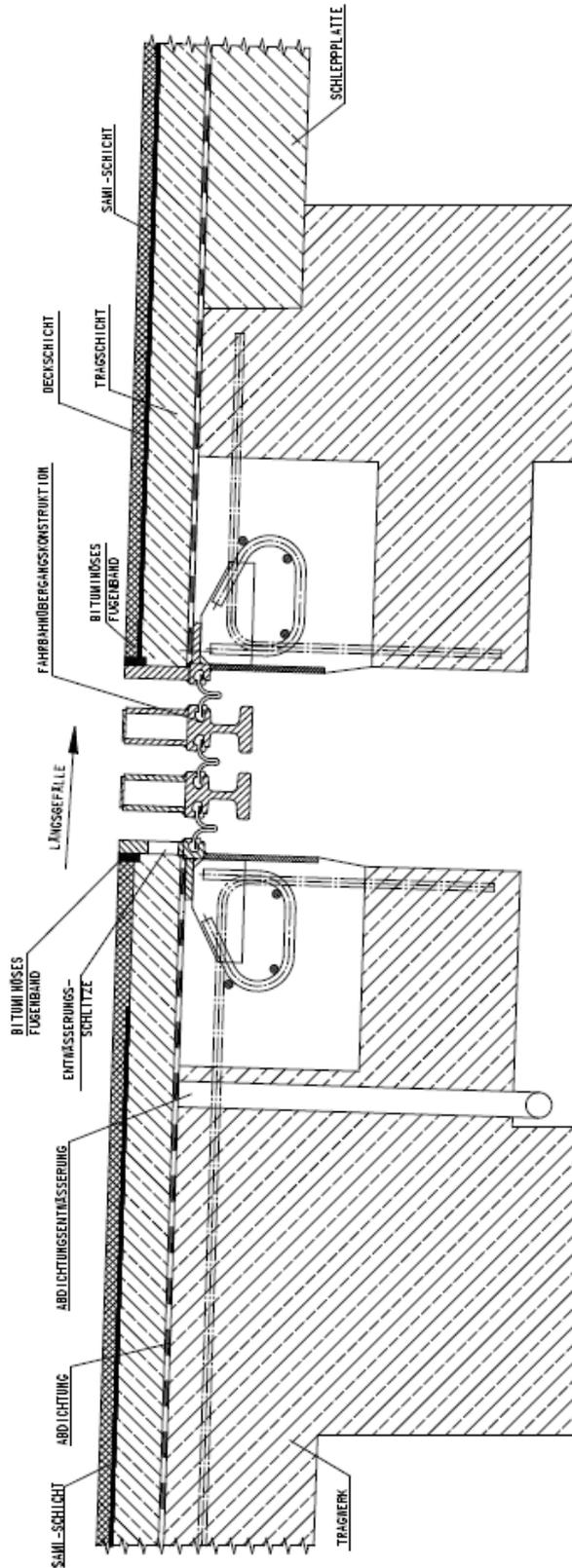


Abbildung 217: Abdichtungsentwässerung bei SMA/ S3 innerhalb der FÜK; exemplarisch für eine Trägerrostdehnfuge, Längsschnitt Entwässerungstiefpunktbereich

Nachstehend werden einige Ansätze und Ausführungsmöglichkeiten zur optimierten Ausgestaltung der FÜK- Anschlussbereiche skizzenhaft dargestellt und erläutert.

❖ Profilkonstruktion mit beidseitiger Betonschwelle:

Um Verdrückungen und Spurrinnenbildung im unmittelbaren FÜK- Anschlussbereich zu begegnen, können beidseits der Fahrbahnübergangskonstruktion Betonschwellen angeordnet werden. Bei dieser Ausführungsvariante wird der Verankerungsbeton der Aussparungen als ein kompakter und monolithischer Betonkörper bis auf die Fahrbahnoberfläche hochgezogen. Die Art und der Umfang der Bewehrung sowie die geeignete Betonrezeptur sind u. a. für die Funktionstauglichkeit dieser Ausführungsart entscheidend.

Zur kraftschlüssigen und dauerhaften Verankerung der Fahrbahnübergangskonstruktion sind hierbei konstruktionsseitige Anpassungen ausgehend von der statisch-konstruktiv erforderlichen Bewehrung und abhängig von der zum Einsatz kommenden Fahrbahnübergangskonstruktion vorzunehmen.

Die Breite der Betonschwelle richtet sich im Wesentlichen nach der Aussparungsbreite der für den konkreten Anwendungsfall gewählten Fahrbahnübergangskonstruktion, wobei eine Mindestbreite von 300mm je Seite eingehalten werden sollte. Bei dieser Ausführungsvariante erstreckt sich die Betonschwelle lediglich über die Aussparungsbreite (Abbildung 218 bis Abbildung 220).

An dieser Stelle ist anzumerken, dass bei dieser Ausführungsart keine durchgehende Abdichtungsebene bis zu den FÜK- Randprofilen vorhanden ist.

Durch die Ausgestaltung der Betonschwelle als ein kompakter Betonkörper mit den oben angeführten Eigenschaften und Ausstattungsmerkmalen sollte die Umläufigkeit der gesamten Konstruktion minimiert bzw. vermieden werden.

Als eine weitere Ausführungsvariante in diesem Zusammenhang kann die Betonschwelle mit einer Breite von mind. 1m außerhalb der FÜK- Aussparungsbreite verbreitert werden (Abbildung 221). Die Art und der Umfang der Bewehrung sowie die Ausgestaltung der Betonschwelle als ein kompakter Betonkörper sind nach statisch- konstruktiven Erfordernissen zu wählen. Bei dieser Ausführungsvariante kann die Brückenabdichtung ohne Unterbrechung an die FÜK- Randprofile geführt werden.

Bei der Festlegung der geeigneten Betonsorte sind die besonderen Anforderungen in Bezug auf den hohen Wassereindringwiderstand, die geringe Neigung zur Rissbildung, das reduzierte Schwindmaß und die hohe Abriebfestigkeit zu beachten.

In diesem Zusammenhang können folgende Betonsorten als Empfehlung angeführt werden:

- C30/37 | XC4/ XW2/ XD3/ XF4/ XA2/ XM2 | RRS | GK16 | W/B 0,45
- C30/37 | B7 | RSS | GK16 | W/B 0,45

Bei der Detailplanung ist auf eine rissbreitenbeschränkende Bewehrungsführung Rücksicht zu nehmen.

Durch die Beigabe von Kunststoff- Mikrofasern könnten u. a. die Kompaktheit des Betonkörpers erhöht und die Schwindrissbildung im jungen Beton reduziert werden.

Nachfolgende Abbildungen stellen die einzelnen Komponenten der hier vorgestellten Ausführungsvarianten sowie die konstruktionsseitige Anpassung der Fahrbahnübergangskonstruktion für eine einprofilige lärmgeminderte Dehnfuge respektive für eine dreiprofilige lärmgeminderte Trägerrostdehnfuge dar.

Wie den nachstehenden Abbildungen zu entnehmen ist, sind in der Fuge zwischen den FÜK-Randprofilen und dem Betonkörper sowie zwischen dem Betonkörper und der anschließenden Asphaltkonstruktion an der Fahrbahnoberfläche jeweils ein bituminöses Fugenband (15/35mm) vorzusehen. Die Fuge zwischen dem Betonkörper und der Asphalt- Tragschicht auf der Abdichtungsebene ist mit Flüssigfolie oder einem Fugenanschlussband zu schließen. Eine eventuell notwendige Hohlkehle wird im Zuge der Grundierungsarbeiten mittels Epoxidharz-/ Quarzsand- Gemisch hergestellt. Der Isolierhochzug am Betonkörper sollte bis Unterkante Deckschicht geführt werden.

Darüber hinaus sind in der Fuge zwischen dem Betonkörper und den FÜK- Randprofilen ein quellfähiges Fugenband und ein Verpreßschlauch zum nachträglichen Fugenverschluss zu berücksichtigen.

Das Anbringen der Fugenbänder und Verpreßschläuche an den FÜK- Randprofilen erfolgt vor dem Betoniervorgang. Die bituminösen Fugenbänder zwischen dem Betonkörper und der Asphaltkonstruktion sind vor den Asphaltierungsarbeiten einzubauen.

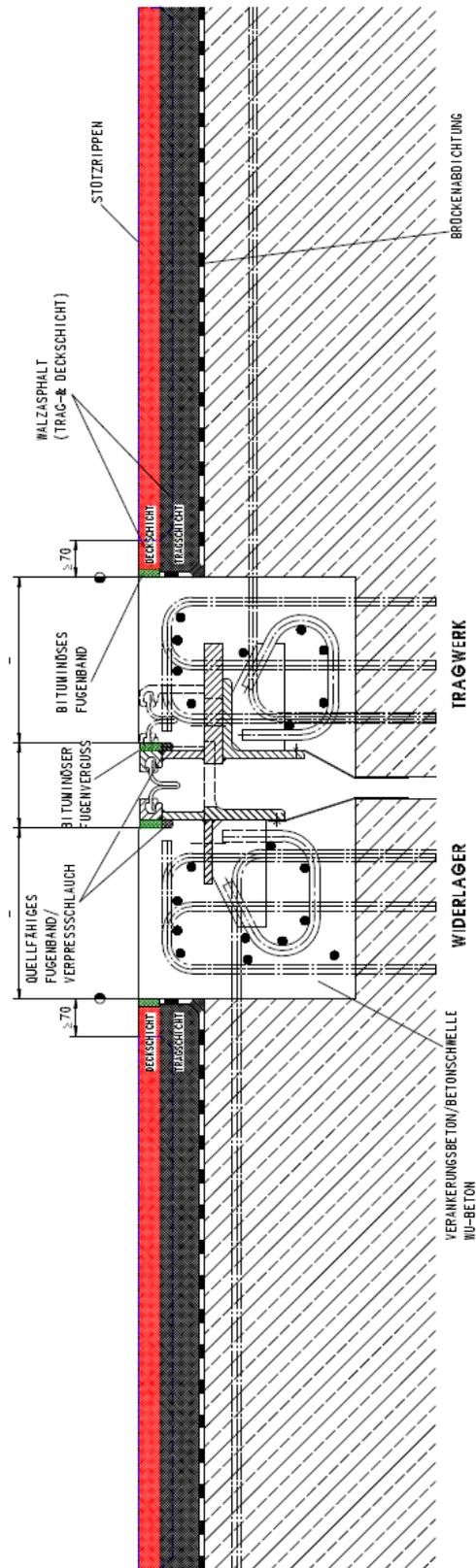


Abbildung 218: Einprofilige lärmgedämmte Dehnfuge mit Betonschwelle entsprechend der FÜK- Aussparungsbreite (Variante 1)

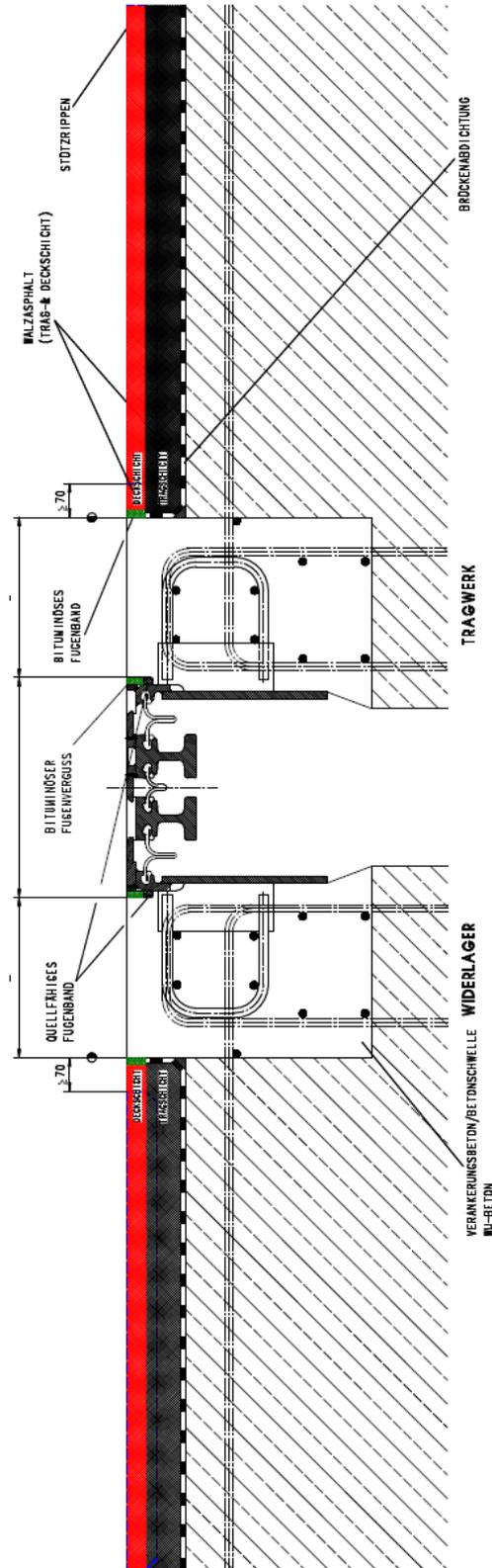


Abbildung 219: Dreiprofilige lärmgedimerte Trägerrostdehnfuge mit Betonschwelle entsprechend der FÜK- Aussparungsbreite, Querschnitt zwischen zwei benachbarten Traversen (Variante 1)

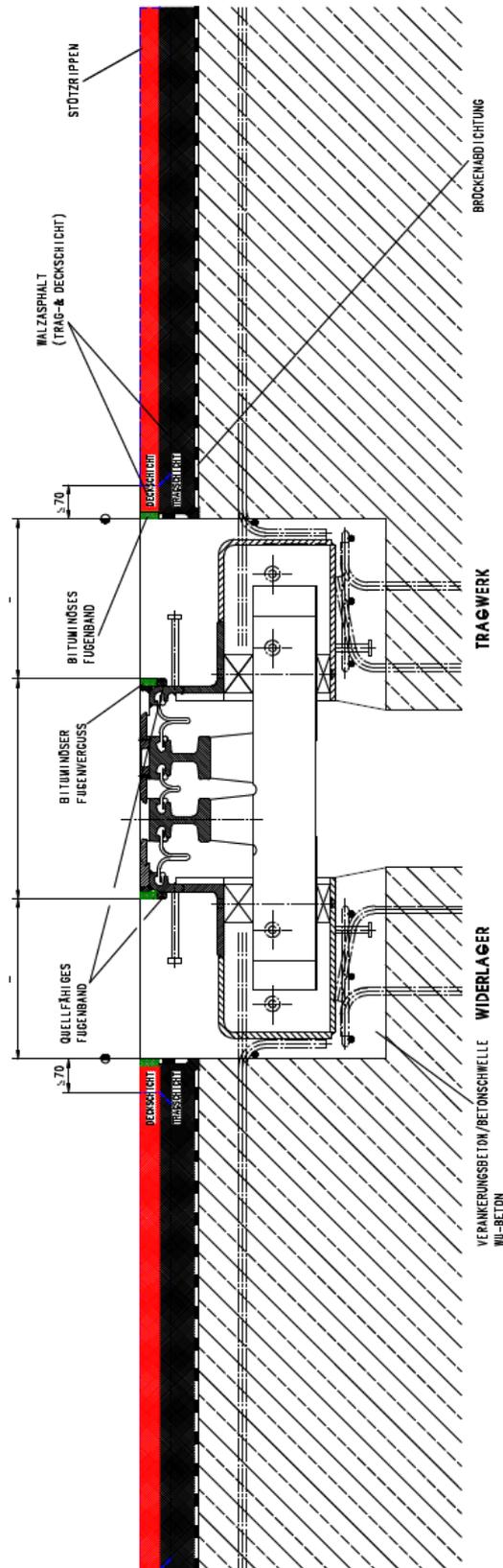


Abbildung 220: Dreiprofilige lärmgeminderte Trägerrostdehnfuge mit Betonschwelle entsprechend der FÜK- Aussparungsbreite, Traversenquerschnitt (Variante 1)

Im Zusammenhang mit der oben angeführten Ausführungsart sollten die Fahrbahnoberfläche und die gesamte Konstruktion im FÜK- Anschlussbereich zusammenfassend folgende Komponenten und Merkmale aufweisen:

- Überhöhung Betonschwelle - FÜK: ~1 - 4mm (lt. ÖNorm B 4032)
- Überhöhung Betonschwelle - Asphaltkonstruktion: ~0mm
- Überhöhung Stützrippen - Asphaltkonstruktion: ~2mm
- Fugenausbildung Betonschwelle - FÜK: Bitumenfugenband & Quellfähiges Fugenband, Verpreßschlauch
- Stützrippen in anschließender Asphaltkonstruktion: Länge und Anordnung gemäß Planungshandbuch der ASFINAG
- Stützrippenabstand zu Betonschwelle: ~70mm
- Stützrippentiefe generell: $70\text{mm} \geq \text{Stützrippentiefe} \geq \text{Deckschicht} + \text{max. } 30\text{mm}$
- Betonschwellenbreite: richtet sich nach der Aussparungsgröße der FÜK (Variante 1) bzw. $\geq 1\text{m}$ (Variante 2)
- Isolierhochzug: bis unterkante Deckschicht
- Isolierentwässerung: Anordnung von Isolierentwässerungsöffnungen und einer reaktionsharzgebundenen Drainageschicht

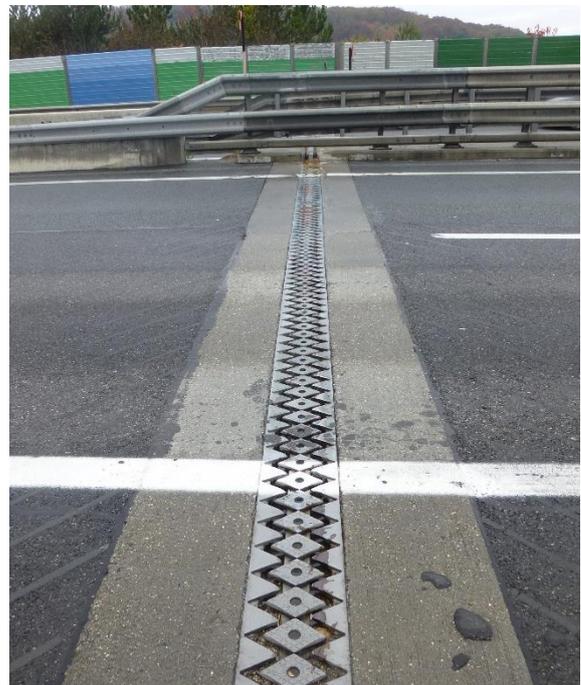


Abbildung 222: Ausführung mit Betonschwelle

❖ Profilkonstruktion mit beidseitigem Polymerbetonbalken:

Bei dieser Ausführungsvariante werden beidseits der FÜK- Randprofile Polymerbetonbalken in der Stärke der Asphaltkonstruktion vorgesehen.

Der anzuwendende Polymerbeton muss ausreichende Verbundeigenschaften zu Stahl-, Beton- und Asphaltflächen aufweisen. Der Polymerbetonbalken als ein kompakter und wasserdichter Körper muss darüber hinaus eine dichte Verbindung an die Anschlussflächen gewährleisten können.

Die Breite des Polymerbetonbalkens richtet sich im Wesentlichen nach der Stärke der Asphaltkonstruktion im FÜK- Anschlussbereich. Die Isolierflansche der Fahrbahnübergangskonstruktion sollten in der Regel mit einer ausreichenden Breite konzipiert werden, sodass die Polymerbetonbalken auf den Isolierflanschen zu liegen kommen und lediglich die Stahloberflächen der Isolierflansche vollständig vom Polymerbeton umfasst werden.

Bei nachträglicher Ausrüstung der FÜK- Anschlussbereiche der bestehenden Fahrbahnübergangskonstruktionen kommt der Polymerbetonbalken bei fehlender Isolierflanschbreite teilweise auf der Betonoberfläche zu liegen. Zum wasserdichten Anschluss und zur Gewährleistung der dauerhaften Verbundeigenschaften sollte die Betonoberfläche eine Haftzugfestigkeit von 1,5 N/mm² aufweisen.

Die Herstellung des Polymerbetonbalkens erfolgt im Nachgang nach erfolgten Abdichtungsarbeiten und vollständigem Asphalteinbau.

Zusammenfassend besteht der Vorgang im Wesentlichen aus folgenden Schritten:

- Festlegung und Anreißen der Breite des Polymerbetonbalkens
- Vorsichtiges Schneiden und Entfernen der Asphaltkonstruktion bis auf die Abdichtungsebene
- Vorsichtiges Entfernen der Abdichtung und Herstellung des Isolieranschlusses
- Oberflächenvorbereitung, Sandstrahlen der Anschlussflächen und vollständiges und rückstandsfreies Säubern der Aussparungen
- Überprüfung der Haftzugfestigkeiten an den Stahl- und Betonoberflächen
- Anbringen des bituminösen Fugenbandes an der Fuge zwischen Polymerbetonbalken und Asphaltkonstruktion
- Schutz der Fahrbahnübergangskonstruktion durch Abdecken und Abkleben
- Herstellen des Polymerbetongemisches mit den festgelegten Mischverhältnissen
- Einbau des Polymerbetons
- Anarbeitung des frisch eingebauten Polymerbetongemisches und erforderlichenfalls Nachbearbeitung der erhärteten Polymerbetonoberfläche
- Entfernen der Schutzabdeckung, Säubern und Räumung der Baustelle

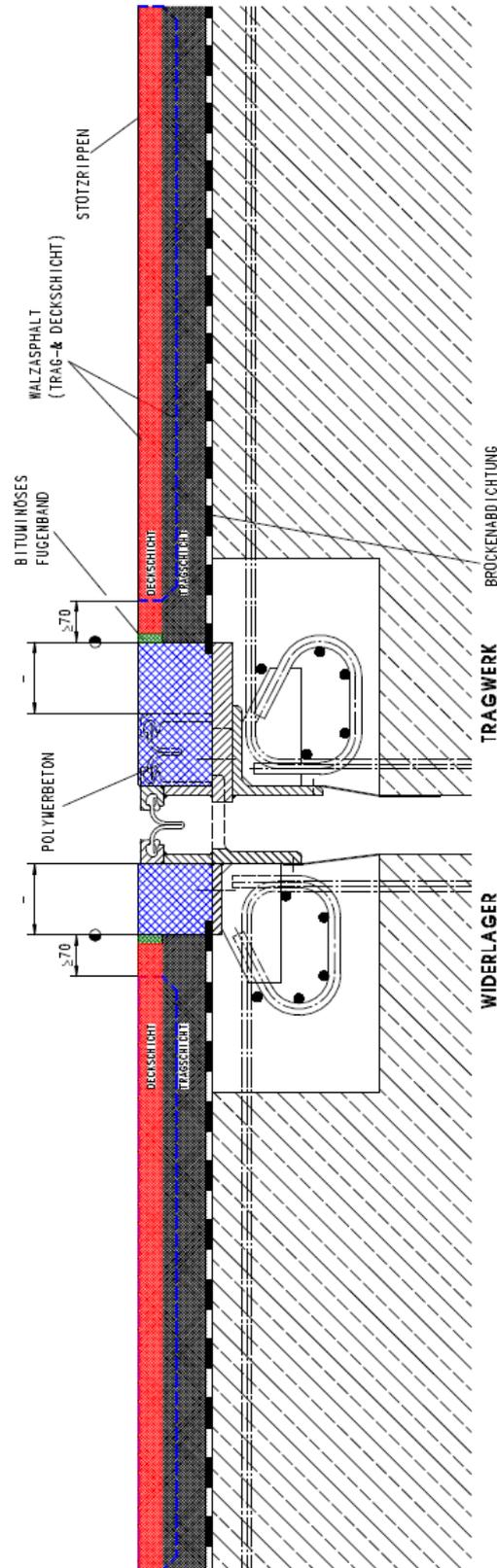


Abbildung 223: Einprofilige lärmgedimmerte Dehnfuge mit Polymerbetonbalken; analoge Ausführungsart bei Trägerrostdehnfugen

Im Zusammenhang mit der oben angeführten Ausführungsart sollten die Fahrbahnoberfläche und die gesamte Konstruktion im FÜK- Anschlussbereich zusammenfassend folgende Komponenten und Merkmale aufweisen:

- Überhöhung Polymerbetonbalken - FÜK: ~0mm
- Überhöhung Polymerbetonbalken - Asphaltkonstruktion: ~0mm
- Überhöhung Stützrippen - Asphaltkonstruktion: ~2mm
- Fugenausbildung Polymerbetonbalken - FÜK: dichter Anschluss
- Fugenausbildung Polymerbetonbalken - Asphaltkonstruktion: Bitumenfugenband
- Stützrippen in anschließender Asphaltkonstruktion: Länge und Anordnung gemäß Planungshandbuch der ASFINAG
- Stützrippenabstand zu Polymerbetonbalken: ~70mm
- Stützrippentiefe generell: $70\text{mm} \geq \text{Stützrippentiefe} \geq \text{Deckschicht} + \text{max. } 30\text{mm}$
- Polymerbetonbalkenbreite: richtet sich nach der Stärke der Asphaltkonstruktion; $220\text{mm} \geq \text{Polymerbetonbalkenbreite} \geq 120\text{mm} + 0,2 \times \text{Belagsstärke}$
- Isolierentwässerung: Anordnung von Isolierentwässerungsöffnungen und einer reaktionsharzgebundenen Drainageschicht unmittelbar hinter dem Polymerbetonbalken



Abbildung 224: Ausführung mit Polymerbetonbalken

❖ Profilkonstruktion mit beidseitigem Gußasphaltstreifen:

Die Ausgestaltung der unmittelbaren FÜK- Anschlussbereiche erfolgt hierbei zur Gänze aus Gußasphalt. Die Gußasphaltschicht umfasst dabei sowohl die Trag- als auch die Deckschicht über die gesamte Belagsstärke. In einheitlicher Form wird hierbei die Mischgutsorte MA 8 M1 GS gemäß RVS 08.97.05 bzw. ÖNorm B 3585-1 vorgeschlagen.

Die besonderen Anforderungen an die Verdichtung der Asphaltkonstruktion in konventioneller Bauweise können durch den Einsatz dieser Ausführungsart bei schwierigen Anlageverhältnissen begegnet werden.

Die Breite des Gußasphaltstreifens orientiert sich im Wesentlichen an der Stützrippenlänge zuzüglich einem Zuschlag von rd. 200mm. Bei der Festlegung der geometrischen Ausbildung des Gußasphaltstreifens ist u. a. etwaige Schiefwinkeligkeit des Tragwerkes ebenso in Betracht zu ziehen. Die Stützrippen sind lediglich im Gußasphaltstreifen anzuordnen.

Als Vorschlag für die Herstellung des Gußasphaltstreifens kann folgende Abfolge der wesentlichen Arbeitsschritte angeführt werden. Der Gußasphaltstreifen beidseits der Fahrbahnübergangskonstruktion wird nach dem vollständigen Abschluss der Abdichtungsarbeiten und vor dem Einbau der Asphaltkonstruktion in konventioneller Bauweise hergestellt.

- Festlegung und Anreißen der Breite des Gußasphaltstreifens
- Festlegung und Absteckung der Höhenlage in Längs- und Querrichtung entsprechend der Detailplanung bzw. gemäß Deckenbuch
- Anbringen der Schalung
- Anbringen des bituminösen Fugenbandes an der Fuge zwischen Gußasphaltstreifen und FÜK- Randprofilen
- Schutz der Fahrbahnübergangskonstruktion durch Abdecken und Abkleben
- Einbau und Bearbeitung von Gußasphalt entsprechend den Verarbeitungsvorgaben
- Entfernen der Schalung nach der Aushärtezeit entsprechend den Verarbeitungsvorgaben
- Anbringen des bituminösen Fugenbandes an der Fuge zwischen Gußasphaltstreifen und Asphaltkonstruktion
- Herstellung der Asphaltkonstruktion in konventioneller Bauweise
- Entfernen der Schutzabdeckung

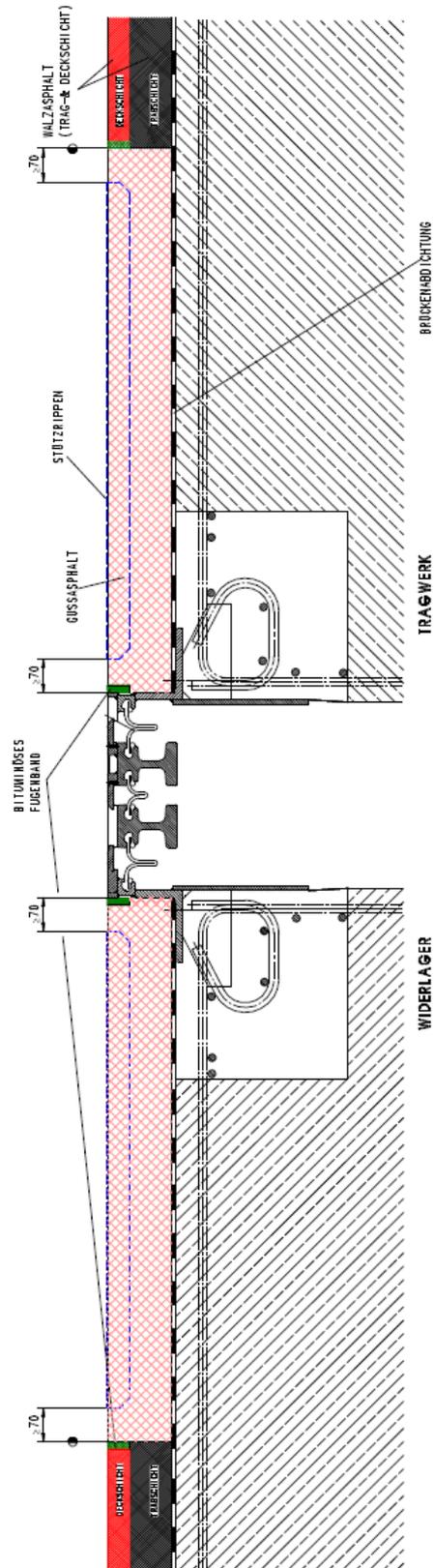


Abbildung 225: Trägerrostdehnfuge mit Gußasphaltstreifen, Querschnitt zwischen zwei benachbarten Traversen; analoge Ausführungsart bei einprofiligen Dehnfugen

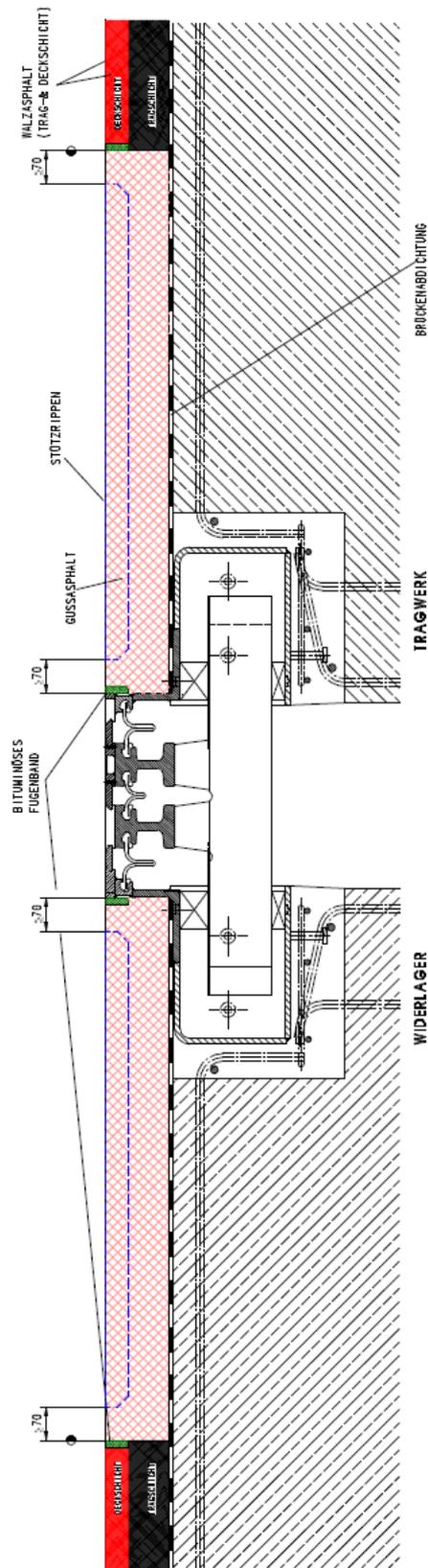


Abbildung 226: Trägerrostdehnfuge mit Gußasphaltstreifen, Traversenquerschnitt; analoge Ausführungsart bei einprofiligen Dehnfugen

Im Zusammenhang mit der oben angeführten Ausführungsart sollten die Fahrbahnoberfläche und die gesamte Konstruktion im FÜK- Anschlussbereich zusammenfassend folgende Komponenten und Merkmale aufweisen:

- Überhöhung Gußasphalt - FÜK: ~0mm
- Überhöhung Gußasphalt - anschließende Asphaltkonstruktion: ~0mm
- Überhöhung Gußasphalt - Stützrippen: ~2mm
- Fugenausbildung Gußasphalt - FÜK: Bitumenfugenband
- Fugenausbildung Gußasphalt - anschließende Asphaltkonstruktion: Bitumenfugenband
- Stützrippen im Gußasphalt: Länge und Anordnung gemäß Planungshandbuch der ASFINAG, lediglich in Gußasphaltstreifen anordnen
- Stützrippenabstand zu FÜK- Randprofilen: ~70mm
- Stützrippenabstand zu anschließender Asphaltkonstruktion: ~70mm
- Stützrippentiefe: richtet sich nach Gußasphaltdeckschicht
- Gußasphaltbreite: richtet sich nach der Stützrippenlänge und Anlageverhältnissen
Gußasphaltbreite \geq Stützrippenlänge + 200mm

❖ Profilkonstruktion mit beidseitigem Gußasphaltstreifen als Tragschicht:

Im Vergleich zur zuvor beschriebenen Ausführungsvariante wird bei der hier vorgestellten Ausführungsart lediglich die Tragschicht aus Gußasphalt hergestellt. Die nahtlose Herstellung der Deckschicht im FÜK- Anschlussbereich und darüber hinaus erfolgt in konventioneller Bauweise aus Walzasphalt.

Durch den Einsatz von Gußasphalt als Tragschicht können insbesondere die Verarbeitungsbedingungen und die unzureichende Verdichtung der Tragschicht im unmittelbaren FÜK- Anschlussbereich besser begegnet werden.

Der Einbau, die Verarbeitung und Verdichtung der Deckschicht in konventioneller Bauweise lassen sich durch entsprechende Vorkehrungen und überschaubare Schutzmaßnahmen an der Fahrbahnübergangskonstruktion angemessen bewältigen.

Analog zur zuvor erläuterten Ausführungsvariante wird hierbei ebenso die Mischgutsorte MA 8 M1 GS gemäß RVS 08.97.05 bzw. ÖNorm B 3585-1 vorgeschlagen.

Als Vorschlag für die Herstellung der Asphaltkonstruktion in oben beschriebener Ausführungsart kann folgende Abfolge der wesentlichen Arbeitsschritte angeführt werden. Der Gußasphaltstreifen als Tragschicht beidseits der Fahrbahnübergangskonstruktion wird nach dem vollständigen Abschluss der Abdichtungsarbeiten und vor dem Einbau der Asphaltkonstruktion in konventioneller Bauweise hergestellt.

- Festlegung und Anreißen der Breite des Gußasphaltstreifens als Tragschicht
- Festlegung und Absteckung der Höhenlage in Längs- und Querrichtung entsprechend der Detailplanung bzw. gemäß Deckenbuch
- Anbringen der Schalung zwecks Einbau der Tragschicht aus Gußasphalt
- Anbringen des bituminösen Fugenbandes an FÜK- Randprofilen
- Einbau und Bearbeitung von Gußasphalt entsprechend den Verarbeitungsvorgaben
- Entfernen der Schalung nach der Aushärtezeit entsprechend den Verarbeitungsvorgaben
- Einbau und Verdichtung der Tragschicht außerhalb der FÜK- Anschlussbereiche in konventioneller Bauweise
- Schutz der Fahrbahnübergangskonstruktion durch formgefertigte Abdeckbleche
- Einbau und Verdichtung der nahtlosen Deckschicht in konventioneller Bauweise
- Entfernen der Schutzabdeckung

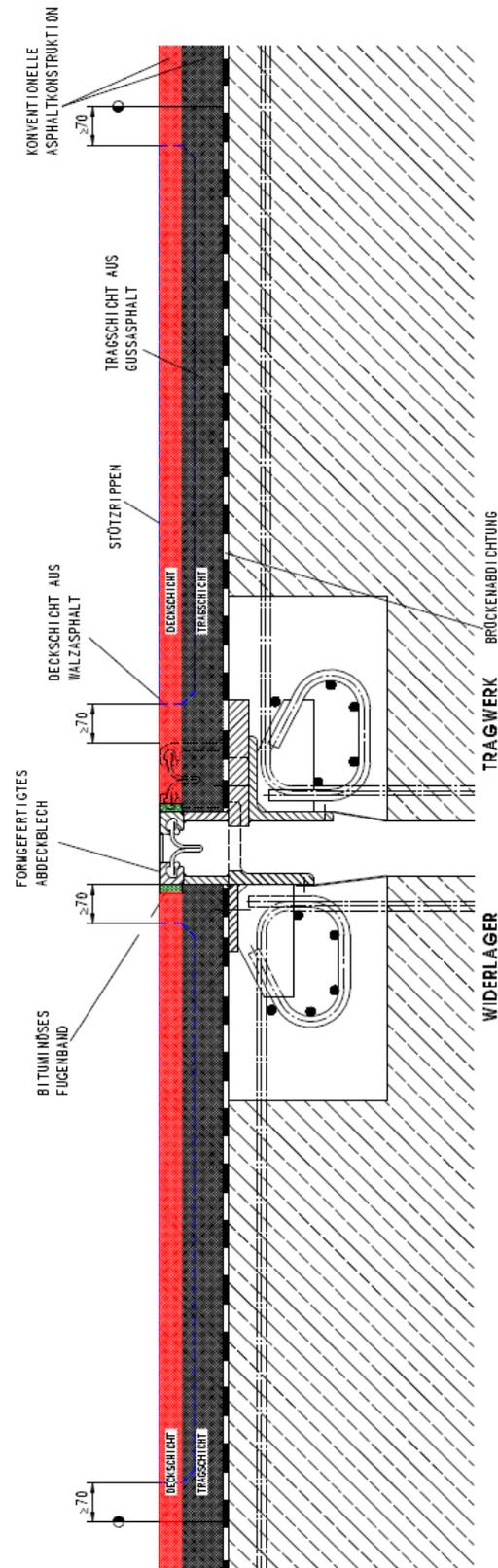


Abbildung 227: Einprofilige lärmgeminderte Dehnfuge mit Gußasphaltstreifen als Tragschicht und Walzasphalt als Deckschicht; analoge Ausführungsart bei Trägerrostdehnfugen

Im Zusammenhang mit der oben angeführten Ausführungsart sollten die Fahrbahnoberfläche und die gesamte Konstruktion im FÜK- Anschlussbereich zusammenfassend folgende Komponenten und Merkmale aufweisen:

- Überhöhung Asphaltkonstruktion - FÜK: ~2 - 5mm (lt. ÖNorm B 4032)
- Überhöhung Asphaltkonstruktion - Stützrippen: ~2mm
- Fugenausbildung Asphaltkonstruktion - FÜK: Bitumenfugenband
- Stützrippen in Asphaltkonstruktion: Länge und Anordnung gemäß Planungshandbuch der ASFINAG
- Stützrippenabstand zu FÜK- Randprofilen: ~70mm
- Stützrippentiefe generell: $70\text{mm} \geq \text{Stützrippentiefe} \geq \text{Deckschicht} + \text{max. } 30\text{mm}$
- Gußasphaltbreite: richtet sich nach der Stützrippenlänge und Anlageverhältnissen
Gußasphaltbreite \geq Stützrippenlänge + 200mm



Abbildung 228: Ausführung Gußasphaltstreifen als Tragschicht



Abbildung 229: Ausführung Gußasphaltstreifen als Tragschicht

❖ Sprunghafte Änderung der Belagsanschlusshöhe:

Aus konstruktiven Gründen sollten die Randprofile der Fahrbahnübergangskonstruktionen für eine maximale Belagsanschlusshöhe von 120mm konzipiert werden.

Die sprunghafte Änderung der Belagsanschlusshöhe im FÜK- Anschlussbereich kann zu verhältnismäßig großen Steifigkeitsänderungen in der Asphaltkonstruktion führen und dadurch die Dauerhaftigkeitseigenschaften der Stützrippen negativ beeinflussen, siehe hierzu auch Abbildung 207.

Wie in nachstehender Abbildung dargestellt, wird in diesem Zusammenhang empfohlen, bei großen Belagshöhenunterschieden die Stützrippen außerhalb des FÜK- Einflussbereiches anzuordnen. Im unmittelbaren FÜK- Anschlussbereich sollte hierbei ein Polymerbetonbalken als dichter und kompakter Anschluss an das FÜK- Randprofil eingebaut werden. Die Einbindung der Abdichtung in den Polymerbetonbalken ist analog zur Darstellung gemäß Abbildung 223 auszuführen.

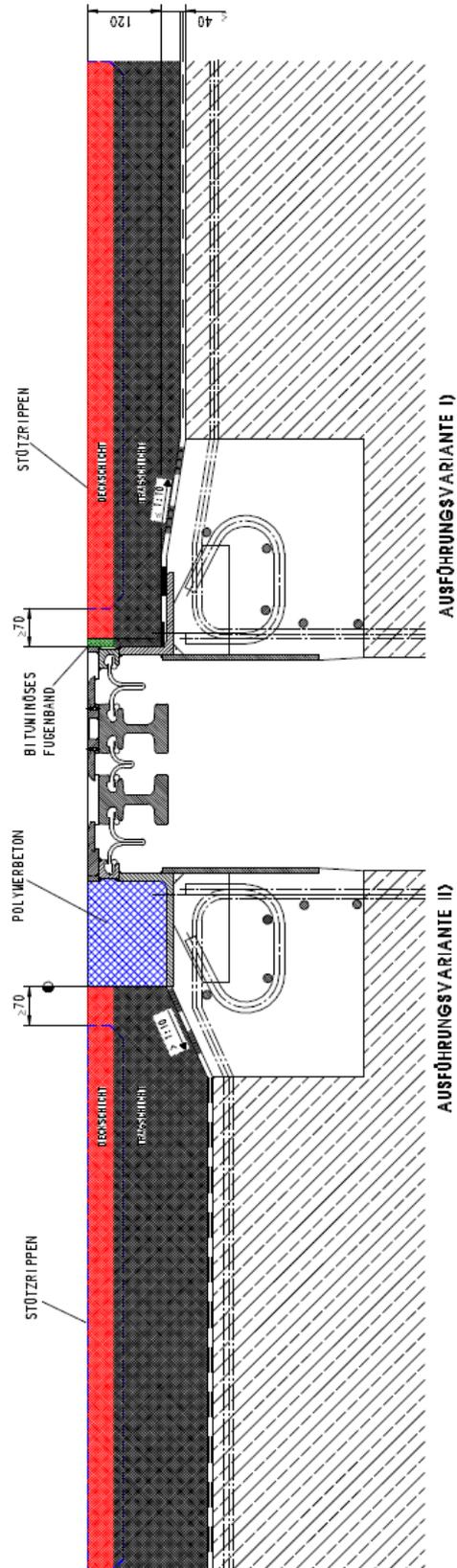


Abbildung 230: Ausführungsvarianten bei Belagshöhenwechsel

6.5 Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:

Organisatorische Ansätze zur Qualitätssicherung

In vorhergehenden Abschnitten, insbesondere im Abschnitt 6.4 wurden einige mögliche Optimierungsansätze und Verbesserungsvorschläge vorgestellt, diskutiert und skizzenhaft dargestellt.

Im Wesentlichen wurden dabei die konstruktionsseitigen Anpassungsmöglichkeiten für den jeweiligen Anwendungsfall sowie die unterschiedlichen Ausführungs- und Ausgestaltungsformen der FÜK- Anschlussbereiche je nach Anlageverhältnissen, FÜK-Bauarten, örtlichen und organisatorischen Randbedingungen erläutert und angeführt.

Die Sicherstellung der geforderten Qualitätsansprüche in der Ausführung kann im hohen Maße durch den Einsatz vom geschulten und erfahrenen Fachpersonal erreicht werden.

Die fachliche Kompetenz und die themenspezifischen Erfahrungen sind von allen an den Arbeitsabläufen beteiligten Personen in entsprechendem Ausmaß zu erbringen.

Die fachübergreifenden Kenntnisse und die mehrjährige Praxiserfahrung des Aufsichtspersonals im Straßen- und Brückenbau sind zur systematischen Erfüllung der geforderten Qualitätsansprüche von wesentlicher Bedeutung.

Die vorhandenen Schulungsmöglichkeiten bieten im Grunde genommen eine gute und solide Basis zum Erwerb der Fachkenntnisse in einzelnen Fachgebieten. Im Zusammenhang mit dem gegenständlichen Forschungsvorhaben ist anzumerken, dass eine fachübergreifende Schulungsmöglichkeit mit Bezug auf die hier diskutierten Themenschwerpunkte insbesondere für das Aufsichtspersonal zielführend und sachdienlich wäre.

6.6 Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsansätze:

Wartung und Instandhaltung

Die Fahrbahnübergangskonstruktionen und die FÜK- Anschlussbereiche sollten durch regelmäßige Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten in einem funktionstüchtigen und gebrauchstauglichen Zustand gehalten werden.

Die regelmäßigen Wartungsarbeiten und die konsequenten Instandhaltungsmaßnahmen haben eine substanzerhaltende und folgerichtig eine Nutzungsdauererhöhende Wirkung.

Neben den Instandsetzungsmethoden wird im Zusammenhang mit dem gegenständlichen Forschungsvorhaben auf die Verwendung von geeigneten Instandsetzungsmaterialien hingewiesen.

Die zum Einsatz kommenden Instandsetzungsmaterialien müssen mit den im FÜK-Anschlussbereich vorkommenden Komponenten in ihren Festigkeitseigenschaften und Verformungskapazitäten kompatibel sein.

Die geometrische Ausbildung der Instandsetzungsbereiche sollte ebenfalls unter Berücksichtigung der Festigkeitsmerkmale der zu verwendenden Materialien sowie Haftungseigenschaften der Unterlage erfolgen. Belagssanierungen mit steifen und dünn-schichtigen Mörteln führen kurz- bzw. mittelfristig zur Rissbildung und zu großflächigen Ausbrüchen.



Abbildung 231: Belagssanierung mit nicht geeigneten Materialien



Abbildung 232: Belagssanierung, Stützrippensanierung mit nicht geeigneten Materialien

6.7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Aufgrund der Vielfalt der Fahrbahnübergangskonstruktionen, Fahrbahnaufbau- und Asphaltkonstruktionsarten sowie ausgehend von unterschiedlichen Anlageverhältnissen, geometrischen Randbedingungen der Brücke und Strecke können im Zusammenhang mit einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Sinne des vorliegenden Forschungsvorhabens keine verallgemeinerten quantitativen Aussagen gemacht werden.

Ein entscheidender Faktor zur quantitativen Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der hier vorgestellten Verbesserungsmöglichkeiten ist die Durchführungsmodalität. Sofern diese Maßnahmen im Zuge einer Generalinstandsetzung zur Ausführung kommen, sind die zuordenbaren Kostenerhöhungen marginal und verschwindend klein.

Für eine reine FÜK- Tauschbaustelle, bei der zwei dreiprofilige Fahrbahnübergangskonstruktionen ersetzt werden sollten, würden sich rein rechnerisch Kostenerhöhungen in der Größenordnung von rd. 2% bei einer „Gußasphaltvariante“ bzw. rd. 11% bei einer „Polymerbetonvariante“ ergeben.

Hierbei ist anzumerken, dass die Kostenerhöhungen sehr stark von der Baufeldbreite und Bauabschnittsteilung, Verkehrsführung und Verkehrssicherungsmaßnahmen sowie von der jeweiligen FÜK- Bauart und FÜK- Größe abhängen.

Im Rahmen der Vorliegenden Arbeit handelt es sich im Wesentlichen um Maßnahmen zur Erhöhung der Liegedauer der einzelnen Konstruktionen im FÜK- Anschlussbereich und damit einhergehend um Kostenreduktion bei künftigen Instandhaltungsmaßnahmen.

7 AP6: BERICHT UND DISSEMINATION

7.1 Allgemeines

Das, dass Projekt abschließende, AP6 befasste sich hauptsächlich mit der Erstellung des vorliegenden Ergebnisberichtes und des Endberichtes durch die einzelnen Projektpartner. Während der Projektlaufzeit wurde auch bereits ein Zwischenbericht angefertigt und den Auftraggebern übermittelt.

Des Weiteren wurden aus den einzelnen Arbeitspaketen Textvorschläge für die weitere Verwendung in künftigen Richtlinien und Ausschreibungen extrahiert, diese sind in Abschnitt 7.2 angeführt.

Die geplante Dissemination wird im Anschluss an das Projekt stattfinden. Hierzu sind Vorträge auf mindestens einer Fachkonferenz sowie ein Artikel in einer Zeitschrift mit wissenschaftlicher Begutachtung geplant. Des weiteren ist eine Projektvorstellung im Rahmen einer Veranstaltung des FSV in Wien im Frühjahr 2021 geplant.

7.2 Textvorschläge Richtlinien und Ausschreibungen

Grundsätzlich sollten entsprechende Änderungen und Ergänzungen in den zugehörigen Richtlinien und nationalen Normen auf Basis der hier vorgestellten Verbesserungsmöglichkeiten erst nach eingehender Beprobung der Ausführungsvarianten und daraus ergebenden Erfahrungen und Erkenntnissen vorgenommen werden.

In diesem Zusammenhang können beispielsweise nachstehende Ergänzungen und Änderungen für die Spezifikation der Stützrippen angeführt werden:

❖ ÖNORM B 4032/ Anhang C:

Die Standfestigkeit der an der FÜK anschließenden bituminösen Fahrbahndecke ist für die Lebensdauer und den Überfahrkomfort sowie die Lärmentwicklung des Fahrbahnübergangs von wesentlicher Bedeutung.

Ist zur Sicherstellung einer entsprechenden Standfestigkeit von bituminösen Fahrbahndecken die Ausführung von Stützrippen beabsichtigt, wird nachfolgende Ausführung beidseits der FÜK empfohlen (Bild C.1: siehe Abbildung 233)

Die Stützrippen sollen aus einem Schwarzdeckenmörtel auf Epoxidharzbasis, auf Basis von Polymethylmethacrylat oder aus gleichwertigem Material bestehen und sollen die Anforderungswerte in Tabelle C1 (siehe

Tabelle 29) aufweisen. Sie sollten im Abstand von 7cm von der FÜK und einem Abstand von 25cm zueinander, in einer Breite von 2cm und einer Tiefe von mindestens 5cm (jedenfalls hat die Stützrippe in die bituminöse Tragschicht einzubinden) hergestellt werden. Die Stützrippen sollten unter 45° zur Fahrtrichtung mit einer schiefen Länge von 1m bis 1,5m ausgebildet werden, wobei der größte Winkel zur FÜK zu wählen ist. Die Stützrippen sollten 2mm überhöht hergestellt werden, da i.d. R. mit einer Nachverdichtung der Asphaltkonstruktion zu rechnen ist. Bei der Tiefe der Stützrippe ist darauf zu achten, dass mindestens 3cm Materialstärke zwischen Unterkante der Stützrippe und Abdichtung vorhanden ist.

Im Bereich der Randleisten sind die Stützrippen so auszuführen, dass die letzte Stützrippe eine Länge von mind. 50cm aufweist.

Bei der Anordnung der Stützrippen ist darauf zu achten, dass das anfallende Oberflächenwasser von der FÜK weg ablaufen kann (Querneigung beachten).

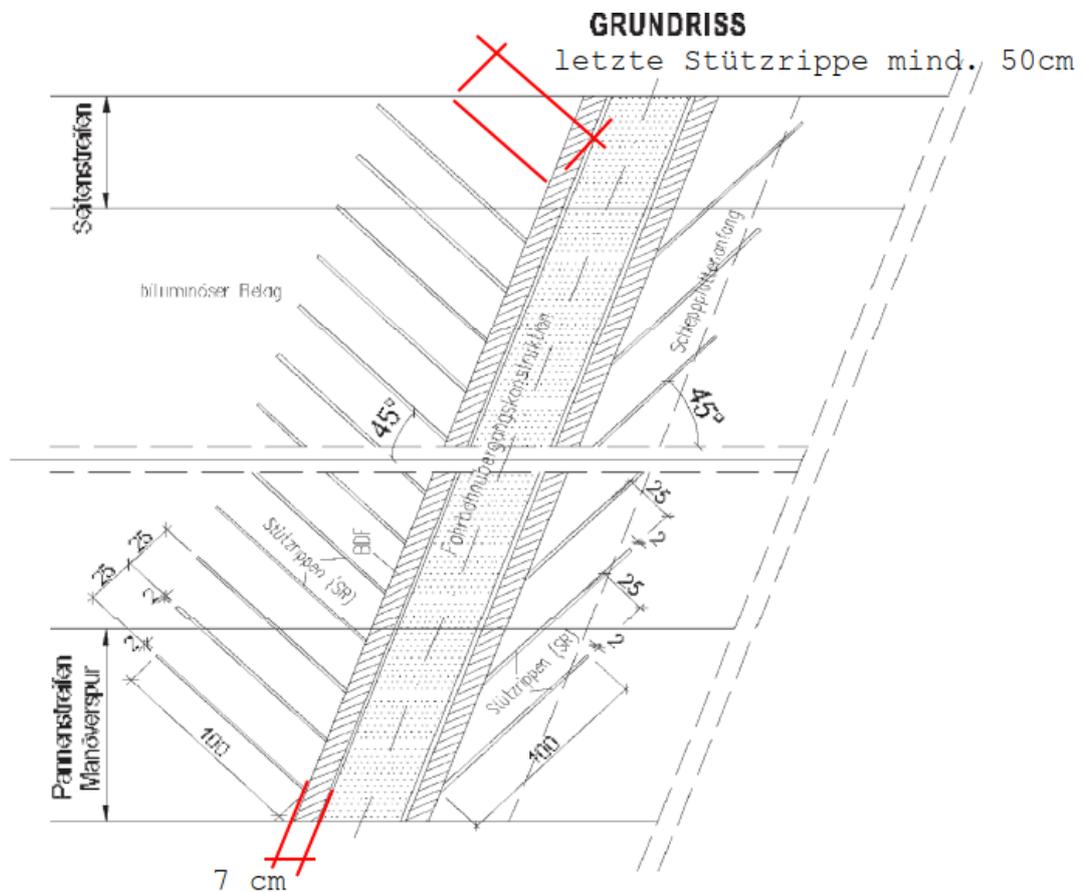


Abbildung 233: Anordnung und Geometrie der Stützrippen

Tabelle 29: Vorschlag für die Festlegung von Prüfverfahren und Anforderungswerte im Rahmen der Typprüfung – Anwendungsmatrix Teil 1

Parameter	Prüf-temperatur ¹⁾	Prüfverfahren in Anlehnung an	Anforderung, Alter der Probekörper	
			(24 ± 1) Stunde	(7,0 ± 0,5) Tage
Mörtelsystem	-	-	zweikomponentiger lösungsmittelfreier Mörtel auf Epoxidharzbasis oder gleichwertigem	
Festmörtelrohddichte, durch Wägen und Ausmessen	+20 °C	ÖNORM EN 12390-7	in der angegebenen Bandbreite des Herstellers	
Druckfestigkeit an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ÖNORM EN 196-1	≥ 35 N/mm ²	anzugeben
	+10 °C		≥ 25 N/mm ²	anzugeben
	+45 °C		≥ 15 N/mm ²	anzugeben
Biegezugfestigkeit an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ÖNORM EN 196-1	≥ 20 N/mm ²	anzugeben
	+10 °C		≥ 15 N/mm ²	anzugeben
	+45 °C		≥ 5 N/mm ²	anzugeben
Statischer E-Modul an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	-20 °C	ONR 23303, Punkt 9.7	-	≤ 35.000 N/mm ²
	+10 °C		-	anzugeben ²⁾
	+45 °C		-	anzugeben ²⁾
Abreißfestigkeit gegen Asphalt ³⁾	+10 °C	RVS 11.06.81	-	≥ 2,0 N/mm ² ⁴⁾
Abreißfestigkeit gegen Beton ³⁾			-	≥ 2,5 N/mm ² ⁴⁾
Abreißfestigkeit gegen Stahl ⁵⁾			-	≥ 4,0 N/mm ² ⁶⁾
Schwindverhalten an Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm	- ⁷⁾	ÖNORM EN 12617-4	≤ 0,5 ‰ ⁸⁾	
Frost-Tausalz-Beständigkeit	-	ONR 23303	keine Abwitterung	

❖ Ausschreibung LB VI:

260211 Herstellen von Stützrippen zur Belagsstabilisierung in Asphalt-schichten durch Schneiden mit einer Breite/Tiefe/Länge von x/x/x mm. Die Leistung beinhaltet das Reinigen und Trocknen der Schnittfuge sowie das Verschließen mit abgestuftem Zweikomponentenmischgut auf Epoxidharzbasis bzw. auf Basis von Polymethylmethacrylat oder gleichwertigem.

Die Leistung beinhaltet auch:

- Das Laden und Wegschaffen des Reinigungsgutes

Verrechnet wird:

- Nach Laufmeter geschnittener und verschlossener Fuge

260211A Belagsstützrippe herstellen 20/70mm Zweikomponentenmischgut **m**

260211B Belagsstützrippe herstellen 20/50mm Zweikomponentenmischgut **m**

8 ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt ANFÜK wurde im Rahmen der VIF 2017 Ausschreibung ausgeschrieben und von einem Konsortium bestehend aus drei Projektpartnern und zwei Subauftraggebern im Rahmen von sechs Arbeitspaketen bearbeitet.

AP1 behandelte das Projektmanagement. Hier wurde die Koordination der einzelnen Auftragnehmer, die Abstimmung mit den Auftraggebern, die Organisation von Projektmeetings und die finanzielle Abwicklung des Projektes bearbeitet.

In AP2 wurde basierend auf einer umfangreichen Datenanalyse, basierend auf Datenmaterial, welches mit dem AIT RoadSTAR Messfahrzeug bei ausgewählten Streckenzügen erhoben wurde eine detaillierte Schadensanalyse durchgeführt und ein Schadenskatalog erstellt. Des Weiteren wurde auf Basis von einer durchgeführten Schadensbewertung und den, aus den RoadSTAR Messungen extrahierten, geometrischen Indikatoren der einzelnen FÜKs und deren Anschlussbereiche eine statistische Analyse durchgeführt um Zusammenhänge und Ursachen auftretender Schäden darzustellen. Hierfür wurde auch auf eine Methode aus dem Bereich des maschinellen Lernens, der so genannten Random Forest Analyse zurückgegriffen um die Zusammenhänge darzustellen. Es zeigt sich, dass neben den erwartbaren Einflussfaktoren auf Schäden wie Alter (Konstruktionen und Deckschichten) und Schwerverkehrsbelastung im jeweiligen Streckenabschnitt auch die Geometrie oft einen wesentlichen Einfluss auf die Schäden darstellt. Das einfach messbare Stichmaß einer 4m Latte über den Fahrbahnübergang zeigte sich hier in den Untersuchungen als adäquates Bewertungsmittel.

AP3 beschäftigte sich mit dem Einfluss der Fahrbahngeometrie auf die Lebensdauer von Konstruktionen mit Hinblick von Ermüdungsschäden. Hier wurden an den gemessenen Geometrien, welche aus den RoadSTAR Daten für alle FÜK der betrachteten Straßenzüge extrahiert wurden, numerische Überfahrten mit einem Masse-Feder-Dämpfer Modell eines 40to LKW gerechnet und die dynamischen Achslasten in weiterer Folge auf die generischen Modelle von zwei generische Fahrbahnübergangskonstruktionen, einer Kragfingerfuge und einer modularen Dehnfuge, aufgebracht und an festgelegten Stellen die prognostizierte Dauer bis zum Ermüdungsversagen des Details untersucht. Des Weiteren wurden künstlich Schäden im Modell des Kragfingerüberganges eingeführt und so wurde gezeigt, dass sich nicht plane Auflage von Fingerplatten sowie Vorspannungsverlust von Schrauben stark auf die Lebensdauer der jeweiligen Details auswirken können. Auch ein Vergleich von unterschiedlichen Höhenlagen der Konstruktionen in Bezug auf das Fahrbahnniveau und

deren Auswirkungen auf die Lebensdauern in den entsprechenden Details wurde untersucht und dargestellt.

In AP4 wurden umfangreiche materialtechnische Untersuchungen an gebräuchlichen Stützrippenmaterialien durchgeführt, um einen Überblick über die Eignung der jeweiligen Materialien zu haben. Hier wurde auch ein Vorschlag für zukünftig notwendige Prüfungen der Hersteller verfasst, welche vergleichbare und objektive Werte liefern um für zukünftige Anwendungen die richtigen Materialien auswählen zu können. Anforderungswerte wurden in zwei Anwendungsmatrizen angeführt, welche einen Vorschlag zur Standardisierung der Anforderungen an künftige Materialien darstellen.

AP5 befasst sich mit der zukünftigen verbesserten Ausgestaltung von Fahrbahnübergängen. Hier wurden verbesserte konstruktive Detailausführungen entwickelt, welche gängige Probleme (Entwässerung, Stützrippenbruch etc.) verbessern und lösen sollen. Auch Vorschläge zur Qualitätssicherung auf der Baustelle wurden erstellt.

In AP6 wurden die Berichte erstellt und es werden im Anschluss an das Projekt Veröffentlichungen und Vorträge folgen.

Das Projektkonsortium möchte sich an dieser Stelle noch bei den Auftraggebern, vor allem auf Seiten der Asfinag AG und der MA29 für die gute und konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen dieses Projektes bedanken.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] „EVAF – Entwicklung verschleißarmer Fahrbahnübergänge: Ergebnisbericht AP1 – AP4,“ 2015.
- [2] T. Hastie, R. Tibshirani und J. Friedman, The Elements of Statistical Learning, Springer, 2008.
- [3] G. James, D. Witten, T. Hastie und R. Tibshirani, An Introduction to Statistical Learning, New York: Springer, 2013.
- [4] CEN, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue, CEN, 2009.
- [5] FSV, RVS 15.04.51 - Brücken - Brückenausrüstung - Übergangskonstruktionen - Ausführungsbestimmungen, Wien: FSV, 2011.
- [6] FSV, RVS 08.16.01 - Technische Vertragsbedingungen - Bituminöse Trag- und Deckschichten - Anforderungen an Asphaltsschichten, Wien: FSV, 2019.
- [7] Austrian Standards - Komitee 014, ÖNORM B 4032 - Fahrbahnübergangskonstruktionen für Brücken - Anforderungen an Planung, Einbau und Instandhaltung, Wien: Austrian Standards, 2018.
- [8] FSV, Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur, Version 5, Wien: FSV, 2018.
- [9] Austrian Standards - Komitee 046, ÖNORM EN 196-1 - Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit, Wien: Austrian Standards, 2016.
- [10] FSV, RVS 11.06.81 - Qualitätssicherung Bau - Prüfungen - Abdichtung und Fahrbahn auf Brücken und anderen Verkehrsflächen aus Beton - Abnahmeprüfungen, Wien: FSV, 2015.
- [11] Austrian Standards Komitee 010, ÖNORM EN 1542 - Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch, Wien: Austrian Standards, 1999.
- [12] Austrian Standards Komitee 010, ÖNORM EN 12617-4 - Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Teil 4: Bestimmung des Schwindens und Quellens, Wien: Austrian Standards, 2002.

- [13] Austrian Standards Komitee 207, ÖNORM B 3329 - Vergussmörtel - Anforderungen und Prüfmethode, Wien: Austrian Standards, 2009.
- [14] Austrian Standards, ONR 23303 - Prüfverfahren Beton (PVB) - Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe, Wien: Austrian Standards, 2010.
- [15] European Commission, „Commission Decision of 26 April 2011 concerning a technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem - 'Locomotives and passenger rolling stock' of the trans-European conventional rail system (C(2011) 2737),“ *Official Journal of the European Union*, Bd. 54, 2011.
- [16] European Commission, „Commission Regulation (EU) No 1302/2014 of 18 November 2014 concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock - locomotives and passenger rolling stock' subsystem of the rail system in the European Union,“ *Official Journal of the European Union*, 2014.
- [17] CEN, ÖNORM EN 14067-4: Bahnanwendungen - Aerodynamik - Teil 4: Anforderungen an Prüfverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke, Wien: Austrian Standards, 2005.
- [18] FSV, RVE 04.01.01 Lärmschutzwände - Berechnung und Konstruktion, Wien: FSV, 2014.