

Präzisierung der Zustandsbewertung als Beitrag zur
Verbesserung der Erhaltungsstrategie
für Bundesautobahnen

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von
Dipl.-Geogr. Tanja Wacker

eingereicht bei der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
der Universität Siegen
Siegen 2021

Betreuer und erster Gutachter
Prof. Dr.-Ing. Ulf Zander
Universität Siegen

Zweiter Gutachter
Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg
Ruhr-Universität Bochum

Tag der mündlichen Prüfung
14.03.2022

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Menschen bedanken, mit deren Unterstützung die vorliegende Arbeit erst möglich geworden ist.

Besonders herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulf Zander für die jahrelange Betreuung und Begleitung dieser Arbeit. Vielen Dank auch für das unerschütterliche Vertrauen in mich und mein Können.

Mein herzlicher Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg für die direkte Zusage zur Zweitbetreuung dieser Arbeit. Ich freue mich sehr.

Ein großer Dank gebührt auch meinem ehemaligen Arbeitgeber, der Bundesanstalt für Straßenwesen, der mir Daten und Zeit zur Verfügung gestellt hat. Besonders bedanken möchte ich mich bei meiner ehemaligen Chefin Frau Prof. Dr.-Ing. Ulrike Stöckert sowie meinen Kolleg*innen aus dem Referat GS4 für die tatkräftige Unterstützung und Ermutigung. Vielen Dank insbesondere an Daniel, Maria, Frieder und Mascha für die Hilfe bei der Aufbereitung der ZEB-Daten. Vielen Dank auch den Kolleg*innen aus den anderen Referaten, die mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Vielen herzlichen Dank auch an die Mitarbeiter*innen des Instituts für Straßenwesen der Universität Siegen, die mich insbesondere während meiner zu absolvierenden Studienleistungen sehr unterstützt haben.

Aus vollem Herzen möchte ich mich bei meinem Mann Bastian bedanken, der mir nicht nur in schweren Zeiten besonders eng zur Seite gestanden hat, sondern auch für die jahrelange Unterstützung bei der Geheimhaltung. ☺

Ein großes Dankeschön gebührt auch meinen Eltern Petra und Michael, meinem Bruder Maik, meiner Oma Maria, meinen Schwiegereltern Mechthild und Peter, meiner Schwägerin Michaela und meinem Schwager Philipp, die mir, ohne es zu wissen, viel Rückhalt gegeben haben. Danke auch an unsere Freunde, die für die nötige Ablenkung gesorgt haben.

Die vorliegende Arbeit widme ich meinen Eltern.

Mein Vater sagte während meiner Schulzeit einmal zu mir:
„Zum Erfolg gibt es keinen Lift, man muss die Treppe benutzen“.

Und hier bin ich: oben angekommen.

Kurzfassung

Um das Bundesautobahn-Netz dauerhaft leistungsstark und verfügbar zu halten, bedarf es einer Optimierung der Erhaltungsstrategien. Hierzu liefert die vorliegende Arbeit mit der Definition, Charakterisierung und Kategorisierung von Merkmalskombinationen der im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) erfassten Substanzmerkmale (Oberfläche) (TP3) sowie der Bestimmung der optimalen Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt einen wichtigen Beitrag.

Vorstudien im Rahmen dieser Arbeit lieferten wichtige Erkenntnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche), hierzu zählen die Schadenshäufigkeit und -verteilung im BAB-Netz sowie die räumliche Schadensausdehnung der einzelnen TP3-Merkmale.

Die aus den durchgeführten statistischen Analysen gewonnenen Erkenntnisse zur Charakteristik der Merkmalskombinationen dienten der Auswahl gezielter Bewertungsmaßstäbe für das eigens entwickelte Schema zur Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen. Anhand dieses Schemas ist es möglich die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen gezielt auf die Behebung des vorhandenen Schadens im Straßenaufbau abzustimmen und so zu einer Optimierung der Erhaltungsstrategien beizutragen.

Die statistischen Auswertungen zu den Einzelmerkmalen sowie den Merkmalskombinationen zeigten schon frühzeitig eine Schadenskonzentration in Positionierungsbereichen der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt an. So wurde ein weiterer Schwerpunkt auf die Analyse des Schadensvorkommens und der Schadensentwicklung von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt gelegt. Die Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt konnte als signifikante Schwächezone in der Asphaltbefestigung identifiziert und statistisch nachgewiesen werden - zeigt dieser Bereich doch besonders häufig kumulierte Ermüdungsschäden, wie eine offene Arbeitsnaht oder Risse.

Basierend auf den Untersuchungen zu nachgewiesenen Arbeitsnähten und deren Nahtschäden im BAB-Netz sowie auf BISAR-Berechnungen zu den Spannungs- und Dehnungsverläufen für den Lastfall LKW und PKW auf 3-streifigen Bundesautobahnen wurde die optimale Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt bestimmt. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Ausbildung von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen sowie einer verbesserten Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt beim Neubau und bei der Erhaltung von Bundesautobahnabschnitten. Mit den Ergebnissen dieser Arbeiten können Schwächezonen beim Straßenbau vermieden und die Lebensdauer der eingebauten Asphaltsschichten optimiert sowie verlängert werden.

Abstract

In order to keep the federal highway network permanently efficient and available, it is necessary to optimize the maintenance strategies. To this end, the present thesis makes an important contribution with the definition, characterization and categorization of the combinations of substance characteristics (surface) (TP3) as well as the determination of the optimal positioning of the construction joint between the paved lanes in the roadway cross-section.

Preliminary studies within this work provided important insights into the single substance characteristics of the surface; these include the damage frequency and distribution in the federal highway network as well as the spatial damage extent of the individual TP3-characteristics.

The knowledge gained from the statistical analyses on the characteristics of the combinations of substance characteristics (surface) was used to select specific evaluation criteria for the specially developed scheme for categorizing the most probable causes of damage to the crack-based combinations. Based on this scheme, it is possible to specifically adjust the necessary maintenance measures to the repair of the existing damage in the road structure and thus to contribute to an optimization of the maintenance strategies.

The statistical analyses of the individual characteristics and their combinations indicated at an early stage a concentration of damage in positioning areas of the construction joints between paved lanes in the roadway cross-section. Thus, a further focus was placed on the analysis of damage occurrence and damage development of construction joints between paved lanes in the roadway cross-section. The construction joint in the roadway cross-section was identified and statistically proven to be a significant zone of weakness in the asphalt pavement - this area shows cumulative fatigue damage, such as an open construction joint or cracks, particularly frequently.

Based on the analyses of proven construction joints and their joint damage in the federal highway network as well as on BISAR calculations of the stress and strain curves for the load case "truck and car" on 3-lane federal highways, the optimum positioning of the construction joint between paved lanes in the roadway cross-section was determined. The findings obtained serve as a basis for decisions on the future design of construction joints between paved lanes and on improved positioning of the construction joint in the roadway cross-section for new construction and maintenance of federal highway sections. The results of this work can be used to avoid weak zones in road construction and to optimize and extend the service life of the paved asphalt layers.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis.....	XIV
Abkürzungsverzeichnis.....	XV
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	2
2 Thematische Grundlagen	3
2.1 Erfassung und Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	3
2.2 Rechenprogramm zur Simulation der räumlichen Beanspruchungsverteilung im Straßenoberbau unter Belastung	5
2.3 Naht-, Anschluss- und Fugenausbildung bei Asphaltdeckschichten.....	6
3 Stand von Wissenschaft und Technik	8
3.1 Schadensmerkmale der Straßenoberfläche aus Asphalt.....	8
3.1.1 Risse	8
3.1.2 Offene Arbeitsnähte	10
3.1.3 Flickstellen	10
3.1.4 Ausbrüche.....	11
3.1.5 Bindemittelanreicherungen.....	11
3.1.6 Spurrinnen	11
3.2 Schadenskataloge, Indexbildung und Klassifizierung von Oberflächenschäden	12
3.3 Naht- und Fugenschäden zwischen Einbaubahnen aus Asphalt.....	14
4 Datengrundlage und -umfang für die statistischen Analysen und Untersuchungen	17
5 Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche)	19
5.1 Methodik des Vorgehens	19
5.2 Ergebnisse zum Vorkommen von Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) im BAB-Netz	20
5.2.1 Netzweite Schadenshäufigkeiten der Einzelmerkmale des TP3	20
5.2.2 Fahrstreifenbezogene Schadenshäufigkeiten der Einzelmerkmale des TP3 und ihre Lokalisierung im Fahrstreifen	24
5.2.3 Statistische Zusammenhangsanalyse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	44
5.2.4 Räumliches Schadensausmaß der Einzelmerkmale des TP3 im Fahrstreifen.....	47
5.2.5 Schadensvorkommen der Einzelmerkmale des TP3 unter geographischen Gesichtspunkten	49

5.2.5.1	Bindemittelanreicherungen.....	54
5.2.5.2	Offene Arbeitsnähte	56
5.2.5.3	Ausbrüche.....	58
5.2.5.4	Flickstellen	60
5.2.5.5	Risse.....	62
5.2.6	Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	63
5.3	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche)	64
5.3.1	Charakteristika des netzweiten Schadensvorkommens der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	64
5.3.2	Merkmalspezifische Besonderheiten der TP3-Merkmale zum Vorkommen im Fahrbahnquerschnitt.....	64
5.3.3	Regionalgeographische Aspekte des Schadensauftretens der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	69
6	Kombiniertes Auftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche)	71
6.1	Methodik des Vorgehens	71
6.2	Ergebnisse der Untersuchungen zum kombinierten Auftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche)	72
6.2.1	Analysen zum kombinierten Auftreten von Schadensmerkmalen des TP3	72
6.2.2	Deskriptive Statistik zum Schadensauftreten ausgewählter Merkmalskombinationen des TP3	77
6.2.2.1	Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“	78
6.2.2.2	Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“	81
6.2.2.3	Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“	83
6.2.3	Geographische Raumanalyse zum kombinierten Schadensvorkommen der TP3-Merkmale	86
6.2.3.1	Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“	87
6.2.3.2	Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“	89
6.2.3.3	Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“	91
6.2.4	Variationsanalyse zur Beurteilung des direkten räumlichen Zusammenhangs zwischen den Einzelmerkmalen einer Merkmalskombination	92
6.2.4.1	Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“	92
6.2.4.2	Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“	93
6.2.4.3	Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“	94
6.2.5	Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Merkmalskombinationen	95
6.3	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu den Merkmalskombinationen.....	96
6.3.1	Bestimmung und Definition von Merkmalskombinationen.....	96

6.3.2	Charakterisierung der Merkmalskombinationen.....	97
6.3.3	Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen	99
7	Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt	101
7.1	Methodik des Vorgehens	101
7.2	Ergebnisse der Untersuchungen zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen	102
7.2.1	Aufbaudatenanalyse zur Bestimmung der Lage der Folgenaht	102
7.2.1.1	2-streifige Bundesautobahnen.....	103
7.2.1.2	3-streifige Bundesautobahnen.....	104
7.2.2	Rasterfeldgenaue Lokalisierung von Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt	106
7.2.2.1	2-streifige Bundesautobahnen.....	107
7.2.2.2	3-streifige Bundesautobahnen.....	108
7.2.3	Analysen zu Nahtschäden an projizierten Arbeitsnähten.....	109
7.2.3.1	2-streifige Bundesautobahnen.....	112
7.2.3.2	3-streifige Bundesautobahnen.....	114
7.2.4	Positionierung der Arbeitsnaht bei Neubau oder grundhafter Erneuerung	117
7.2.5	BISAR-Berechnungen zur ungünstigsten Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt.....	119
7.2.5.1	Ergebnisse zum Lastfall LKW und PKW bei einer Oberflächentemperatur von +20°C.....	120
7.2.5.2	Ergebnisse zum Lastfall LKW und PKW bei einer Oberflächentemperatur von ±0°C.....	123
7.2.6	Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt	126
7.3	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt	131
8	Empfehlungen	135
8.1	Bewertungsrelevanz in der ZEB.....	135
8.2	Optimierung von Erhaltungsstrategien	137
8.3	Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur	138
9	Zusammenfassung / Summary	140
9.1	Zusammenfassung	140
9.2	Summary	143
10	Ausblick	146
	Literaturverzeichnis	147
	Anhang	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Methodische Vorgehensweise	2
Abbildung 2-1: Messkampagnen der Zustandserfassung und -bewertung (Quelle: BAST)	3
Abbildung 2-2: Multifunktionales Erfassungssystem zur Fahrbahnoberflächenanalyse - MEFA (Quelle: BAST)	3
Abbildung 2-3: Auswerteschema zur Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) von Asphalt	4
Abbildung 2-4: Modell des Zweischichtensystems nach BURMISTER 1943	5
Abbildung 2-5: Modell zur Ausbildung der Kontaktfläche bei einem Einbau heiß an kalt (Quelle: DAV 2001)	7
Abbildung 3-1: Hierarchieebenen der Mängelklassenbildung nach KRAUSE (2000)	12
Abbildung 3-2: Mängelklassenbildung auf Basis der Zustandswerte (Quelle: BAST nach KRAUSE 2000)	13
Abbildung 5-1: Verteilung der 1m-Auswerteabschnitte aller Fahrstreifen der Arbeits-Datenbank auf mehrstreifige BAB	21
Abbildung 5-2: Schadenshäufigkeit der Substanzmerkmale (Oberfläche) und ihre Verteilung auf mehrstreifige BAB	21
Abbildung 5-3: Relative Schadenshäufigkeiten der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf 2-streifigen BAB	22
Abbildung 5-4: Relative Schadenshäufigkeiten der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf 3-streifigen BAB	23
Abbildung 5-5: Relative Schadenshäufigkeiten der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf 4-streifigen BAB	24
Abbildung 5-6: Prozentuale Verteilung der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die einzelnen Fahrstreifen	25
Abbildung 5-7: Relative Häufigkeiten der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	26
Abbildung 5-8: Prozentuale Verteilung der Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die Fahrstreifen 3-streifiger BAB	26
Abbildung 5-9: Häufigkeiten der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	27
Abbildung 5-10: Prozentuale Verteilung der Schadensmerkmale auf die Fahrstreifen 3-streifiger BAB	28
Abbildung 5-11: Prozentuale Verteilung der Einbaujahre der obersten Asphaltsschichten aller 1m-Auswerteabschnitte 3-streifiger BAB	29
Abbildung 5-12: Prozentuale Verteilung der Einbaujahre der obersten Asphaltsschicht aller 1m-Auswerteabschnitte 3-streifiger BAB mit TP3-Schäden	29
Abbildung 5-13: Schema zu den obersten Asphaltsschichten 3-streifiger BAB	30

Abbildung 5-14: Altersstruktur der netzweit vorkommenden obersten Schichten aus Splittmastixasphalt	31
Abbildung 5-15: Prozentualer Anteil der geschädigten 1m-Auswerteabschnitte an allen Abschnitten aus Splittmastixasphalt	32
Abbildung 5-16: Altersstruktur der netzweit vorkommenden obersten Schichten aus Gussasphalt	33
Abbildung 5-17: Prozentualer Anteil der geschädigten 1m-Auswerteabschnitte an allen Abschnitten aus Gussasphalt	34
Abbildung 5-18: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ (BIN) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	35
Abbildung 5-19: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ (BIN) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	36
Abbildung 5-20: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ (ONA) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	37
Abbildung 5-21: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ (ONA) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	38
Abbildung 5-22: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ (AUS) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	39
Abbildung 5-23: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ (AUS) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	40
Abbildung 5-24: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ (FLI) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	41
Abbildung 5-25: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ (FLI) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	42
Abbildung 5-26: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ (RISS) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	43
Abbildung 5-27: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ (RISS) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	44
Abbildung 5-28: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen aller Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf allen Fahrstreifen	51
Abbildung 5-29: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ auf allen Fahrstreifen	54
Abbildung 5-30: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ auf allen Fahrstreifen	56
Abbildung 5-31: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ auf allen Fahrstreifen	58
Abbildung 5-32: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Flickstellen“ auf allen Fahrstreifen	60
Abbildung 5-33: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Risse“ auf allen Fahrstreifen	62

Abbildung 5-34: Summenhäufigkeit der anteilmäßigen TP3-Schäden von Deckschichten aus Gussasphalt über eine Nutzungsdauer von 30 Jahren	66
Abbildung 5-35: Summenhäufigkeit der anteilmäßigen TP3-Schäden von Deckschichten aus Splittmastixasphalt über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren	66
Abbildung 6-1: Schematische Darstellung zur Definition von Merkmalskombinationen.....	71
Abbildung 6-2: TP3-Schadensmerkmale differenziert nach ihrer Art des Vorkommens	73
Abbildung 6-3: Einzelmerkmale und Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	74
Abbildung 6-4: Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	75
Abbildung 6-5: Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) mit Spurrinntiefen ≥ 2 mm.....	76
Abbildung 6-6: Relative Häufigkeitsverteilung des Alters der Deckschichten (4,0 cm) bei Auftreten von „ONA_RISS“, „ONA“ oder „RISS“	79
Abbildung 6-7: Relative Häufigkeitsverteilung des Alters der Deckschichten (4,0 cm) bei Auftreten von FLI_RISS, FLI oder RISS	81
Abbildung 6-8: Relative Häufigkeitsverteilung des Alters der Deckschichten (4,0 cm) bei Auftreten von „AUS_RISS“, „AUS“ oder „RISS“	84
Abbildung 6-9: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) auf allen Fahrstreifen.....	87
Abbildung 6-10: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS) auf allen Fahrstreifen	89
Abbildung 6-11: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS) auf allen Fahrstreifen.....	91
Abbildung 6-12: Kategorisierung der wahrscheinlichen Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen (erstmaliges Auftreten bei genannter Verkehrsbelastung).....	100
Abbildung 7-1: Lokalisierung der Einzelmerkmale „ONA“, „AUS“ und „RISS“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB.....	104
Abbildung 7-2: Lokalisierung der Einzelmerkmale „ONA“, „AUS“ und „RISS“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB.....	105
Abbildung 7-3: Schema zur Illustration der Nahtprojektion zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt	107
Abbildung 7-4: Lage der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – alle Bundesländer	108
Abbildung 7-5: Lage der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – alle Bundesländer	109
Abbildung 7-6: Schematische Darstellung zu den Definitionen von Nahtschäden, anderen Nahtschäden und potenziellen Nahtschäden	110
Abbildung 7-7: Maßstabgetreue Darstellung der Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB je nach Verkehrsführung.....	118

Abbildung 7-8: Spannungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von +20°C.....	121
Abbildung 7-9: Dehnungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von +20°C	122
Abbildung 7-10: Spannungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von ±0°C.....	124
Abbildung 7-11: Dehnungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von ±0°C.....	125
Abbildung 7-12: Positionierungsbereiche der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB für Verkehrsführungen mit Überleitung auf die Gegenfahrbahn – Betrachtungsfall 1.....	128
Abbildung 7-13: Positionierungsbereiche der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB für Verkehrsführungen ohne Überleitung auf die Gegenfahrbahn – Betrachtungsfall 2.....	130

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Mögliche Schadensursachen an heiß an heiß Längsnähten (Quelle: nach DAV (2007)).....	15
Tabelle 3-2: Mögliche Schadensursachen an heiß-an-kalt-Längsnähten (Quelle: nach DAV (2007)).....	15
Tabelle 4-1: Erfasser des Teilprojektes 3 auf Bundesautobahnen nach Jahren.....	18
Tabelle 5-1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Rangkorrelationen je Lokalisierungskombination der TP3-Einzelmerkmale auf 2-streifigen BAB.....	45
Tabelle 5-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Rangkorrelationen je Lokalisierungskombination der TP3-Einzelmerkmale auf 3-streifigen BAB.....	47
Tabelle 6-1: Aufgliederung der Substanzmerkmale (Oberfläche) nach ihrem Vorkommen	73
Tabelle 6-2: Ergebnisse der Mittelwertanalysen zur Merkmalskombination „ONA_RISS“ bezogen auf 100m-Auswerteabschnitte	78
Tabelle 6-3: Häufigkeitsanalysen zur Lage von „ONA_RISS“, „ONA“ und „RISS“ nahe einer Folgenahrt im Fahrbahnquerschnitt bezogen auf 1m-Auswerteabschnitte	79
Tabelle 6-4: Ergebnisse der Mittelwertanalysen zur Merkmalskombination „FLI_RISS“ – Fahrstreifen eins (AB = Asphaltbeton, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt)	82
Tabelle 6-5: Ergebnisse der Mittelwertanalysen zur Merkmalskombination „AUS_RISS“	84
Tabelle 6-6: Häufigkeitsanalysen zur Lage von „AUS_RISS“, „AUS“ und „RISS“ nahe einer Folgenahrt im Fahrbahnquerschnitt	85
Tabelle 7-1: Tabelle zur Bestimmung der Lage der Folgenahrt im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB.....	103
Tabelle 7-2: Tabelle zur Bestimmung der Lage der Folgenahrt im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB.....	105
Tabelle 7-3: Anteil projizierter Arbeitsnähte und ihrer prozentualen Schädigung für ausgewählte Bundesländer – 2-streifige BAB	113
Tabelle 7-4: Anteil projizierter Arbeitsnähte und ihrer prozentualen Schädigung für ausgewählte Bundesländer – 3-streifige BAB	114

Abkürzungsverzeichnis

α	Irrtumswahrscheinlichkeit
A	Annahmehbereich
\bar{A}	Ablehnungsbereich
e	Fehlermarge der Schätzung
H_0	Nullhypothese
H_1	Alternativhypothese
k	Anzahl der Regressoren
k	kritischer Wert (Variationsanalyse)
π^*	geschätzter Anteilswert π in der Grundgesamtheit
π	Anteilswert in der Grundgesamtheit
N	Grundgesamtheit
n'_e	notwendiger Stichprobenumfang
r	Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient
r_{SP}	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
t_1	obere Konfidenzgrenze
t_2	untere Konfidenzgrenze
X	Testgröße der Stichprobe
AB	Asphaltbeton
AFLI	aufgelegte Flickstellen
AUS	Ausbrüche
AUS_RISS	Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“
BAB	Bundesautobahnen
BB	Brandenburg
BE	Berlin
BFS	Behelfsfahrstreifen
BIN	Bindemittelanreicherungen
BISAR	Bitumen Structure Analysis in Roads
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
B-Zahl	Summe der gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum
DS	Deckschicht (4 cm)
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DTV ^(SV)	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (KFZ/24h)
EFLI	eingelegte Flickstellen
FLI	Flickstellen

FLI_RISS	Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“
FS 1	Fahrstreifen eins
FS 2	Fahrstreifen zwei
FS 3	Fahrstreifen drei
GA	Gussasphalt
GG	Grundgesamtheit
HB	Hansestadt Bremen
HE	Hessen
HFS	Hauptverkehrsstreifen
HH	Hansestadt Hamburg
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NI	Niedersachsen
NW	Nordrhein-Westfalen
ONA	Offene Arbeitsnähte
ONA_RISS	Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“
PMS	Pavement Management System
RISS	Risse
RP	Rheinland-Pfalz
RQ	Regelquerschnitt
SH	Schleswig-Holstein
SKM	Seitenkraft-Messfahrzeug
SL	Saarland
SMA	Splittmastixasphalt
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen
TP 1a	Teilprojekt 1a „Längsebenheit“
TP 1b	Teilprojekt 1b „Querebenheit“
TP 2	Teilprojekt 2 „Griffigkeit“
TP 3	Teilprojekt 3 „Substanzmerkmale (Oberfläche)“
ÜFS	Überholfahrstreifen
ZEB	Zustandserfassung und -bewertung

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Durch die geographische Lage Deutschlands in der Mitte Europas, stellt es Zentrum und zugleich Transitland des europäischen Handels dar. Bedeutende Hauptverkehrsrouten verbinden die globalen Märkte über Land und See miteinander. Eine hohe Mobilität und ökonomische Leistungsfähigkeit, aber auch die Verkehrssicherheit und der Fahrkomfort stellen hohe Ansprüche an die vorhandene Infrastruktur. Das Statistische Bundesamt weist mit Stand 2017 aus, dass rund 78,5 % der Güterbeförderung über den Verkehrsträger Straße abgewickelt werden. Dies stellt einen hohen Anspruch an die Qualität und insbesondere die Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur. Um den Zustand des Netzes der Bundesfernstraßen auf einem hohen Niveau zu gewährleisten sowie notwendige Erhaltungsmaßnahmen und die damit einhergehende Beschränkung des Verkehrsflusses auf ein Minimum zu reduzieren, bedarf es einer optimierten Erhaltungsstrategie.

Das stetig zunehmende Verkehrsaufkommen, insbesondere des Schwerverkehrs, bringt das Bundesautobahnnetz in bestimmten Regionen Deutschlands bereits heute an seine Kapazitätsgrenzen. Gleichzeitig führt die hohe Verkehrsbelastung zu einer schnelleren und vermehrten Schädigung des Straßenaufbaus. Die zusätzliche Einrichtung von Arbeitsstellen von längerer Dauer im Rahmen der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen infolge auftretender Oberflächenschäden führt, insbesondere zu den Stoßzeiten, zu deutlichen Beeinträchtigungen der Verkehrsqualitäten. Die Konsequenz sind lange Stauzeiten, die wiederum erhebliche Gesamtkosten verursachen. Die momentan dezentrale Struktur der Verantwortlichkeiten für die Straßenerhaltung führt zu einer Vielzahl von unterschiedlichen Erhaltungsstrategien, die häufig nicht länderübergreifend aufeinander abgestimmt sind. Die Folge ist eine nicht optimal koordinierte Baubetriebsplanung, die wiederum eine erhebliche Einschränkung des Verkehrsflusses sowie hohe wirtschaftliche Gesamtkosten zur Folge hat. Mit der Gründung der Autobahn GmbH des Bundes soll diese dezentrale Struktur aufgelöst werden. Trotz aller Bemühungen in den Bundesländern ist über die letzten Jahre eine Verschlechterung der Verfügbarkeit im BAB-Netz zu verzeichnen (ADAC 2017, 2018, BMVI 2016a, 2018).

Für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen können die Bundesländer auf Informationen zur Ebenheit, Griffigkeit und zum Zustand der Substanz (Oberfläche) zurückgreifen, die auf den Bundesautobahnen in einem regelmäßigen Turnus von vier Jahren messtechnisch erfasst werden. Die Daten liegen in Form von Zustandsgrößen und Zustandswerten für jeden 100m-Abschnitt eines Fahrstreifens in und gegen die Stationierungsrichtung vor und geben Aufschluss über den Handlungsbedarf zur Behebung von Oberflächenschäden. Allerdings fehlt hier eine detailliertere Datenanalyse zur Schadenshäufigkeit, Schadensursache oder -entwicklung sowie zu einem möglichen kombinierten Auftreten von Schadensmerkmalen. Solche Informationen sind für eine Erhaltungsplanung zwar nicht erforderlich, insbesondere die detektierten Merkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) bieten jedoch ein hohes Potenzial zur Früherkennung von Substanzschäden und damit zur Optimierung von Erhaltungsstrategien im Generellen. Mit der Bestimmung, Definition und Charakterisierung von Merkmalskombinationen sowie der Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen nimmt sich die vorliegende Arbeit dieser Aufgabe an.

Das vorrangige Ziel, die Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur jederzeit sicherzustellen, führte auch im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zu einer intensiven Auseinandersetzung mit dem Thema der Verkehrsführung in Arbeitsstellen von längerer

Dauer, um langfristig Stauzeiten zu reduzieren und die damit verbundenen gesamtwirtschaftlichen Kosten zu minimieren. Im Fokus der Gespräche steht insbesondere der Meinungsaustausch über die zukünftige Ausbildung einer Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt. Hierzu liefert die vorliegende Arbeit mit der Bestimmung der optimalen Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt einen Beitrag.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Bestimmung, Definition und Charakterisierung von bewertungsrelevanten Merkmalskombinationen der Straßenoberfläche sowie die Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen als Grundlage für die Optimierung von Erhaltungsstrategien. Anhand der ermittelten Merkmalskombinationen soll es ermöglicht werden, die wahrscheinlichste Schadensursache besser abschätzen und die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen gezielter darauf abstimmen zu können. Diese Optimierung führt langfristig zu einer Reduzierung der Arbeitsstellen von längerer Dauer und damit einhergehend zu einer Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist die Analyse von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen hinsichtlich Schadensauftreten und -entwicklung sowie die Bestimmung straßenbautechnisch schädlicher Positionierungsbereiche im Fahrbahnquerschnitt als Beitrag zur Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienen als Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Ausbildung von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen sowie einer verbesserten Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt beim Neubau und bei der Erhaltung von Bundesautobahnabschnitten, um Schwächezonen beim Straßenbau zu vermeiden und die Lebensdauer der eingebauten Asphaltsschichten zu optimieren.

Die methodische Vorgehensweise ist im nachfolgenden Schema und in den Kapiteln 5.1, 6.1 und 7.1 detailliert dargelegt.

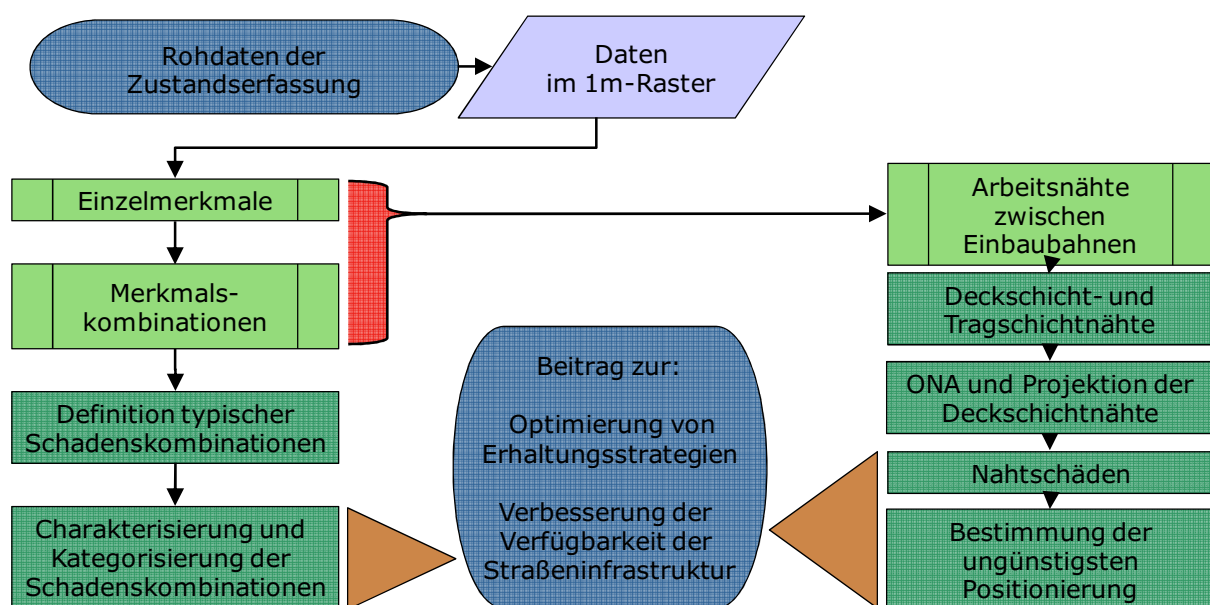


Abbildung 1-1: Methodische Vorgehensweise

2 Thematische Grundlagen

2.1 Erfassung und Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) werden neben der Ebenheit im Längs- und Querprofil (Teilprojekt 1a und 1b) auch die Griffigkeit (Teilprojekt 2) und die Substanzmerkmale (Oberfläche) (Teilprojekt 3) messtechnisch erfasst. Zum Einsatz kommen spezielle Messfahrzeuge, die mit hochpräziser Messtechnik ausgestattet sind und im Verkehr „mitschwimmen“, um den Verkehrsfluss nicht zu stören (ALTEMEIER & STÖCKERT 2016). Nach einer Ersterfassung, die von 1991 bis 1995 durchgeführt wurde, schließt seit 1997 die Folgeerfassung des Bundesfernstraßennetzes, welches neben 12.993 km Bundesautobahnen auch 38.300 km Bundesstraßen umfasst (BMVI 2016a), in einem regelmäßigen Turnus von vier Jahren an (siehe Abbildung 2-1).

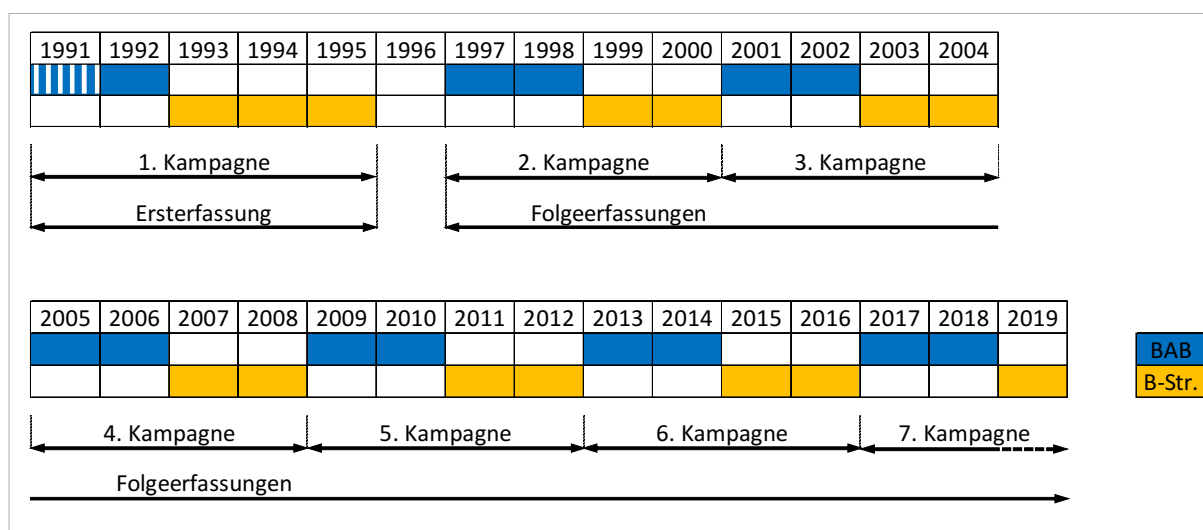


Abbildung 2-1: Messkampagnen der Zustandserfassung und -bewertung (Quelle: BAST)

Die Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche) erfolgt zusammen mit der Ebenheit im Längs- und Querprofil durch ein kombiniertes Messfahrzeug (siehe Abbildung 2-2). Die optische Erfassung der Fahrbahnoberfläche wird mittels bildgebender Verfahren bei einer Messgeschwindigkeit von bis zu 80 km/h auf Bundesautobahnen und bis zu 60 km/h auf Bundesstraßen durchgeführt (STOECKERT ET AL. 2014).



Abbildung 2-2: Multifunktionales Erfassungssystem zur Fahrbahnoberflächenanalyse - MEFA (Quelle: BAST)

Die Genauigkeit der eingesetzten Flächenkameras zur Aufnahme der Oberflächenbilder hat dabei so hoch zu sein, dass die in der ZTV ZEB-StB (FGSV 2006) geforderte Rissbreite von 1,0 mm sicher festgestellt werden kann. Parallel zu den Oberflächenbildern werden sogenannte Frontbilder von dem sich unmittelbar vor dem Messfahrzeug befindlichen Umfeld der Straße aufgenommen. Diese dienen neben der besseren Einschätzung der Situation vor Ort auch als Unterstützung bei der Auswertung von auf den Oberflächenbildern schwer zu detektierenden Schäden (OERTELT 2013). Die Auswertung der Oberflächenbilder hinsichtlich der Substanzmerkmale (Oberfläche) wird durch speziell dafür geschultes Personal an technisch modernen Arbeitsplätzen durchgeführt. Die vorher auf 4,5 m x 10 m gestitchten Oberflächenbilder werden als Videostream aneinandergereiht und dienen der Vereinfachung der Auswertung. Die Bilder laufen dabei von oben nach unten über den Bildschirm, was das Befahren der Strecke in Fahrtrichtung suggeriert (SCHNIERING INGENIEURGESELLSCHAFT GMBH 2000). Die Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) hat nach den Auswerteregeln des Anhangs 7 der ZTV ZEB-StB (FGSV 2006) zu erfolgen.

Bei Asphaltoberflächen wird die Detektion der Schadensmerkmale auf dem Hauptfahrstreifen und dem linken Überholfahrstreifen zwischen der Innenseite der Randmarkierung und der halben Breite der Blockmarkierung vorgenommen (siehe Abbildung 2-3). Die Schäden auf den mittleren Fahrstreifen werden ab der Hälfte der Blockmarkierung auf der linken Seite bis zur Hälfte der rechten Blockmarkierung detektiert. Zur besseren Einhaltung dieser Vorgaben wird während der Auswertung ein künstliches Raster über die 10m-Oberflächenbilder gelegt, welches den Fahrstreifen in Querrichtung drittelt und einen Meter in Längsrichtung abdeckt (OERTELT 2015). Enthält ein Rasterfeld einen oder mehrere Schäden, wird dieses markiert und die entsprechende Art des Schadens oder der Schäden in die dazugehörige Georohdatendatei übernommen. Die Häufigkeit des Vorkommens eines Schadens im Rasterfeld wird dabei nicht erfasst. Seit 2007 werden die Erfassungsabschnitte in den Georohdaten für jeweils 10 m Wegstrecke gebildet und dem jeweiligen Oberflächenbild zugeordnet (OERTELT 2015).

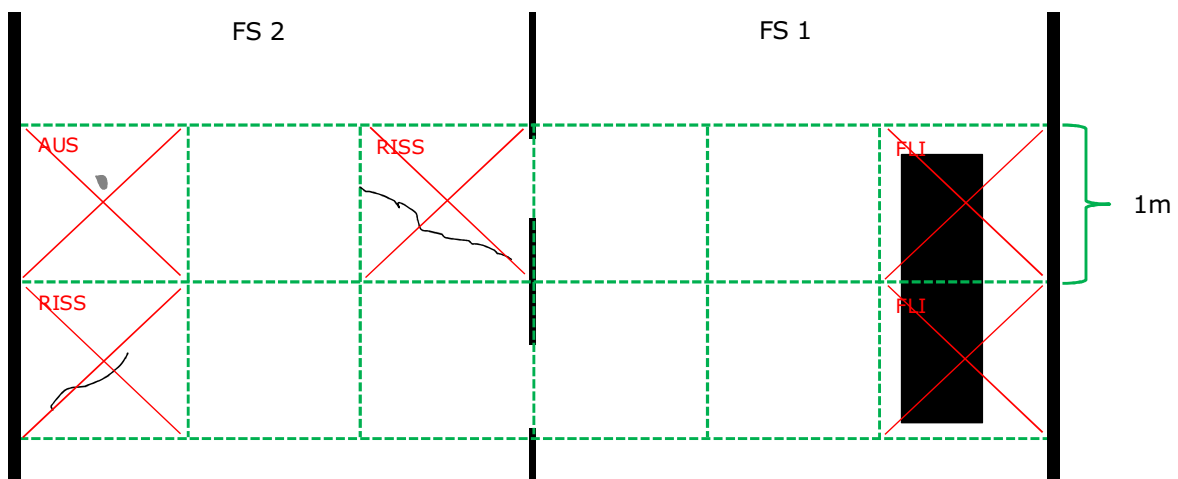


Abbildung 2-3: Auswerteschema zur Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) von Asphalt

Bei der Asphaltbauweise werden die TP3-Merkmale „Bindemittelanreicherungen“ (BIN), „Offene Arbeitsnähte“ (ONA), „Ausbrüche“ (AUS), „Flickstellen“ (FLI), „Eingelegte Flickstellen“ (EFLI), „Aufgelegte Flickstellen“ (AFLI) und „Risse“ (RISS) detektiert und ausgewertet. Seit der neuen Wertesynthese, die 2015 eingeführt wurde, werden die Einzelmerkmale „AUS“ und „FLI“ zu der „Restschadensfläche Asphalt“ (RSFA) zusammengefasst.

Die Substanzmerkmale (Oberfläche) von Asphaltfahrbahnen, die in den Georohdaten für jeden Meter in Längsrichtung angegeben sind, werden nach der Auswertung zu Zustandsgrößen für 20m- bzw. 100m-Auswerteabschnitte zusammengefasst. Dazu werden die von dem jeweiligen Schadensmerkmal betroffenen Rasterfelder aufsummiert und durch die Gesamtzahl der Rasterfelder im Auswerteabschnitt geteilt (FGSV 2006). Der Quotient wird in Prozent (%) angegeben. Lediglich beim Zustandsmerkmal „Offene Arbeitsnähte“ wird die Summe der Längen für den jeweiligen Auswerteabschnitt in Metern (m) angegeben.

2.2 Rechenprogramm zur Simulation der räumlichen Beanspruchungsverteilung im Straßenoberbau unter Belastung

Das Programm BISAR (Bitumen Structure Analysis in Roads) der Shell AG ist ein computer-gestütztes Modellsystem, das auf der ursprünglichen Theorie von BURMISTER (1945) zu Spannungen und Dehnungen in einem Zweischichtensystem unter Berücksichtigung der Elastizitätstheorie beruht (siehe Abbildung 2-4). 1961 gelang es BUFLER (1961a, 1961b), das Zweischichtensystem in eine geschlossene Lösung für beliebig viele Schichten zu überführen, die heute die Grundlage für viele Mehrschichtenprogramme, unter anderem BISAR, bildet. Dabei geht die Mehrschichtentheorie davon aus, dass alle Schichten einer Straßenbefestigung homogen, isotrop, linearelastisch, masselos und seitlich unendlich ausgedehnt sind (KARCHER & JANSEN 2016).

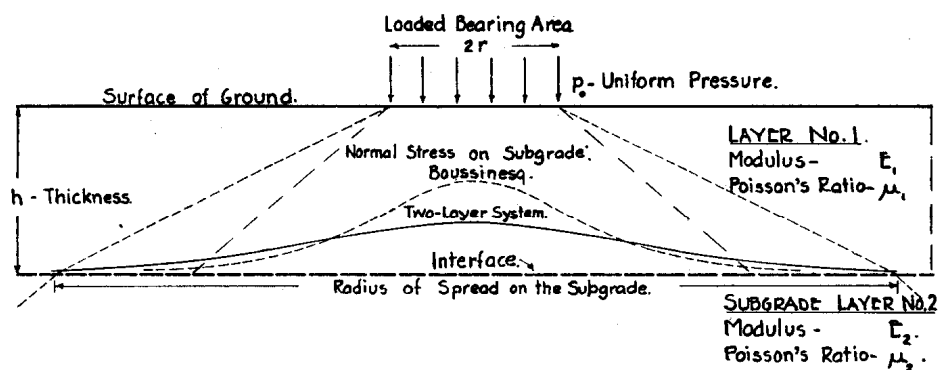


FIG. 1. The two-layer system.

Abbildung 2-4: Modell des Zweischichtensystems nach BURMISTER 1943

Das BISAR-Programm bestimmt die Spannungen und Dehnungen für jeden beliebigen Punkt in der Fahrbahnbefestigung, die in bis zu zehn Schichten unterteilt werden kann. Zur Ermittlung der mechanischen Beanspruchungen in der Befestigung durch den Verkehr müssen den einzelnen Schichten mechanische Eigenschaften zugewiesen werden, die durch das Elastizitätsmodul (Modulus of Elasticity) und die Querkontraktionszahl (Poisson's Ratio) angegeben werden (HUTSCHENREITER & WÖRNER 2010). Des Weiteren sind die Anzahl der Schichten, der Radius der Reifenaufstandsfläche sowie die Vertikallast festzulegen. Die Lasten, die in das System eingebracht werden können, sind statisch. Es ist jedoch möglich, unter der Verwendung versuchstechnisch ermittelter frequenz- und temperaturabhängiger Elastizitätsmodule von Modellasphalten, eine dynamische Lasteintragung zu simulieren. Ausgegangen wird in dem Modell von einer einheitlichen Topflast mit homogener Lastverteilung über den gesamten belasteten Bereich. Darüber hinaus kann für konkrete Fragestellungen der Schichtenverbund zwischen den einzelnen Asphaltsschichten variiert werden.

2.3 Naht-, Anschluss- und Fugenausbildung bei Asphaltdeckschichten

Während des Asphalteinbaus sollte nach Möglichkeit auf die Ausbildung von Arbeitsnähten zwischen den einzelnen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt verzichtet und über die volle Fahrbahnbreite eingebaut werden (DAV 2016). Sollte aus Gründen des Verkehrsflusses oder der Art der Erhaltungsmaßnahme ein halbseitiger Einbau nicht zu vermeiden sein, sind je nach Begebenheit die Kontaktflächen zwischen den Fertigerbahnen als Naht, Anschluss oder Fuge auszubilden. Bei einem mehrschichtigen Einbau ist auf eine übereinander angeordnete Versetzung der Längsnähte der einzelnen Schichten um mindestens 15 cm zu achten, um eine mögliche Querschnittschwächung im Nahtbereich zu vermeiden (DAV 2001, FGSV 2007/2013 (Anmerkung: diese Regelung wird aktuell überdacht)). Darüber hinaus sind nach der ZTV Asphalt-StB (FGSV 2007/2013) Nähte, Anschlüsse und Fugen in Längsrichtung nicht in Rollspuren oder im Bereich von Fahrbahnmarkierungen anzuordnen. Auch sind geeignete Maßnahmen anzuwenden, um einen gleichmäßigen und dichten Abschluss sicherzustellen (FGSV 2007/2013).

Nach der ZTV Asphalt-StB (FGSV 2007/2013) und dem DAV (2007) sind Nähte als Kontaktflächen definiert, die im Zuge eines bahnenweisen Einbaus von Asphaltmischgut mit vergleichbaren Eigenschaften nebeneinander entstehen. Dabei kann beim Walzasphalt zwischen einem Einbau heiß an heiß und einem Einbau heiß an kalt unterschieden werden. Während eines Einbaus heiß an heiß fahren zwei oder mehr Fertiger gestaffelt und leicht zueinander versetzt, so dass mehrere Asphaltbahnen gleichzeitig eingebaut werden. Dadurch entsteht eine besonders gute Verzahnung und zuverlässige Verklebung zwischen den Einbaubahnen, was nach STEINAUER & WANG (2012) und DAV (2001) die besten Voraussetzungen für die Ausbildung qualitativ guter Nähte liefert. Während des Einbaus ist jedoch sicherzustellen, dass die Fertiger in einem möglichst geringen Abstand zueinander fahren, damit der Einbau heiß an heiß sichergestellt ist (DAV 2001). Bei einem halbseitigen Einbau der Asphaltsschichten im Fahrbahnquerschnitt stellt sich die Nahtausbildung schwieriger dar. Sie muss besonders sorgfältig ausgeführt werden, um einen dauerhaften und dichten Anschluss zu erzielen. Die spätere Nahtfläche ist zunächst konstruktiv mithilfe eines Kantenschrägformers am Fertiger oder einer Kantenrolle an der Walze auszubilden, so dass die Kontaktfläche eine Neigung von etwa 70 bis 80 Grad aufweist (siehe Abbildung 2-5) (DAV 2001, 2016). Dies bedingt eine Vergrößerung der Kontaktfläche und ermöglicht durch eine gleichzeitig raue Oberfläche eine bessere Verzahnung mit der später angebauten heißen Asphaltsschicht. Vor dem Einbau der nächsten Asphaltbahn ist die Kontaktfläche gründlich zu reinigen und mit ausreichend viel Bindemittel anzuspritzen bzw. anzustreichen (DAV 2001, 2007, 2016). Da der Einbau von offenporigem Asphalt (OPA) besondere Ansprüche an die Nahtausbildung bei gleichzeitigem Erhalt der akustischen und wasserdurchlässigen Eigenschaften stellt, haben STEINAUER & WANG (2012) und WANG ET AL. (2012) verschiedene Verfahren zur Ausbildung einer heiß-an-kalt-Naht für den streifenweisen Neubau und die streifenweise Erneuerung untersucht. Dabei zeigte die Variante „heiß an heiß“ die beste Zugfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit, die sich je nach Nahtausführung in unterschiedlichem Maße verringerten. Gute Eigenschaften wies auch die Variante mit der Herstellung der Nahtflanke durch Andrücken nach vorheriger Erwärmung mit einem Infrarotstrahler auf 150°C bis 160°C auf.

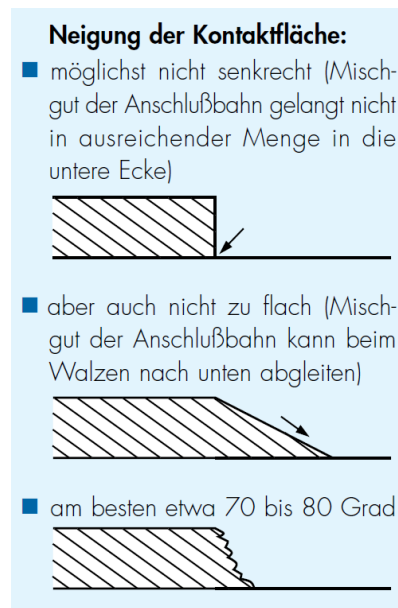


Abbildung 2-5: Modell zur Ausbildung der Kontaktfläche bei einem Einbau heiß an kalt (Quelle: DAV 2001)

Anschlüsse stellen nach der ZTV Asphalt-StB (FGSV 2007/2013) und dem DAV (2001, 2007) Kontaktflächen zwischen Mischgutarten mit unterschiedlichen Eigenschaften dar und werden in Asphaltdeckschichten grundsätzlich als Fugen ausgebildet. Demnach werden Anschlüsse aus Walzasphalt an Gussasphalt und Gussasphalt an Walzasphalt sowie Anschlüsse zwischen Gussasphaltdeckschichten ausschließlich als Fugen ausgebildet (FGSV 2007/2013).

Fugen sind vorgesehene oder arbeitsbedingte Zwischenräume in oder zwischen Flächen aus Asphalt oder zwischen Asphalt und Bauwerken (DAV 2007, FGSV 2007/2013). Je nach Bauausführung werden Fugen während des Einbaus der zweiten Asphaltbahn ausgebildet und anschließend vergossen oder durch schmelzbare Fugenbänder hergestellt oder nachträglich in den Asphalt geschnitten und dann vergossen (DAV 2001, JOSEPH VÖGELE AG 2009). Im Gegensatz zum Einbau heiß an kalt, bei dem die Kontaktflächen schräg angeordnet sind, werden Fugen senkrecht ausgebildet bzw. hergestellt (DAV 2016, JOSEPH VÖGELE AG 2009). Auch bei den Fugen ist unabhängig von der Art der Herstellung auf eine dauerhafte Dichtigkeit zu achten (DAV 2016).

3 Stand von Wissenschaft und Technik

3.1 Schadensmerkmale der Straßenoberfläche aus Asphalt

Schädigungen an der Straßenoberfläche sind vielfältig und häufig ein Indiz für die Schwächung oder Überbeanspruchung des verbauten Materials, die durch interne oder externe Faktoren hervorgerufen werden (KRAUSE 2000). Interne Faktoren, die eine Schädigung begünstigen oder beschleunigen können, sind unter anderem die Qualität des verbauten Materials, die Mischgutzusammensetzung, die Temperatur des Baustoffs während der Herstellung und des Einbaus sowie die Schichtdicke. JACOT (2009) fand bei der Untersuchung zu potenziellen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Oberflächenschäden und der Tragfähigkeit heraus, dass eine Unterdimensionierung des Straßenoberbaus bereits kurz nach der Verkehrsfreigabe zu Schäden führen kann, die infolge hoher Zugspannungen zuerst durch ein Versagen der untersten Schichten auftreten und von dort an die Fahrbahnoberfläche dringen können. Externe Faktoren, wie die Einbauqualität, die Wetterbedingungen während des Einbaus und der Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe bestimmen entscheidend die Lebensdauer der Schichten und deren Widerstandsfähigkeit gegenüber klimatischen Randbedingungen und Verkehrsbelastungen. Dabei ist häufig nicht nur ein Einflussfaktor für die Entstehung eines bestimmten Schadens verantwortlich. So bestimmt letztlich das komplexe Zusammenwirken mehrerer Einflüsse die Entstehung von Schäden und Schadensbildern.

Die Entwicklung eines Schadens an der Straßenoberfläche kann langsam oder schnell erfolgen und hängt im hohen Maße von der Schadensart, der Schadensursache, den lokalen klimatischen Bedingungen und der Verkehrsbelastung, insbesondere durch den Schwerverkehr, ab. Ohne die Durchführung einer geeigneten Erhaltungsmaßnahme nehmen das Ausmaß und die Schwere eines Oberflächenschadens zu und er kann sich zu einem anderen, eventuell schwerwiegenderen Schaden weiterentwickeln.

3.1.1 Risse

Als Risse werden einzelne, gehäufte oder netzartig verbundene Brüche in den bindemittelhaltigen Schichten des Straßenaufbaus bezeichnet, die in ihrer Ausprägung von feinen Strukturen bis hin zu klaffenden Spalten reichen können (FGSV 2006, KRAUSE 2000, SCAZZIGA 2008). Risse sind im Allgemeinen ein Hinweis auf eine Schädigung der Struktur der Schichten und können sich im weiteren Schädigungsverlauf ohne Behandlung in jeder Dimension deutlich stärker ausprägen oder zu Ausbrüchen und Schlaglöchern an der Straßenoberfläche führen (CENTRAL MASSACHUSETTS REGIONAL PLANNING COMMISSION 2006, KRAUSE 2000). So vielfältig wie das Erscheinungsbild der Risse sind auch ihre Ursachen. Sie lassen sich insbesondere als Folge von Tragfähigkeitsmängeln, Materialalterung und thermischen Beanspruchungen identifizieren und klassifizieren (KRAUSE 2000). Nach HESS ET AL. (2018) führen Primärschäden, wie beispielsweise der Verlust an Tragfähigkeit tieferliegender Schichten, früher oder später zu oberflächlich erkennbaren Schäden. So kann insbesondere die Rissbildung im Bereich der Rollspuren, wo die Beanspruchung durch den Verkehr am größten ist, auf strukturelle Schäden hindeuten, insbesondere wenn sie in Kombination mit Spurrinnen auftreten (DEPARTMENT FOR TRANSPORT 2017). Das Vorkommen von feinen Rissen an der Fahrbahnoberfläche kann ein Indiz für eine Setzung im Untergrund sein (VSS 2003). Risse in jeder Art und Ausprägung können jedoch auch oberflächlichen Schadensmechanismen, wie dem Verlust an Haftverhalten oder einem mangelhaften Tieftemperaturverhalten des Asphalts, zugewiesen werden (HESS ET AL. 2018).

Längsrisse sind meist langgezogene Risse, die parallel zur Straßenachse häufig im Übergang zwischen zwei Fahrstreifen oder in der Fahrstreifenmitte auftreten (ADLINGE & GUPTA 2013, VSS 2003). Durch eine Kanalisierung der Lasteintragung und aufgrund hoher Reifendrücke können Längsrisse auch innerhalb der Rollspuren auftreten (HALL ET AL. 2001). Einbaufehler, eine falsche Dimensionierung des Oberbaus, eine unzureichende Tragfähigkeit, Entwässerungsmängel, Frosthebungen sowie eine unzureichende Abstimmung der Schichteigenschaften können ebenfalls als mögliche Schadensursachen für das Auftreten von Längsrissen betrachtet werden (ADLINGE & GUPTA 2013, FSV 2009, JACOT 2009). Nach HALL ET AL. (2001) können Längsrisse auch von einer schlechten Verdichtung an den Rändern von Arbeitsnähten herrühren. Einzelrisse können während ihres weiteren Schadensverlaufs von parallel dazu ausgebildeten Sekundärrissen oder mehrfachen Rissen begleitet werden (ADLINGE & GUPTA 2013, VSS 2003). HESS ET AL. (2018) führen die Entstehung von Längsrissen auch auf eine Ermüdung der Deckschicht infolge der Überlagerung kryogener und mechanischer Beanspruchungen zurück.

Querrisse sind quer zur Fahrtrichtung ausgeprägt und treten häufig vereinzelt und unregelmäßig auf (VSS 2003). Als mögliche Schadensursachen kommen Einbaufehler, wie ungeeignetes Material oder eine ungenügende Verdichtung, thermische Überbeanspruchungen sowie eine unzureichende Abstimmung der Schichteigenschaften in Betracht (FSV 2009). Bei regelmäßig hintereinander auftretenden Querrissen liegt die Schadensursache in der Regel in dem Durchschlagen von Kerben einer darunterliegenden hydraulisch gebundenen Tragschicht oder von Rissen in überbauten alten Schichten (ADLINGE & GUPTA 2013, FGSV 2001a, VSS 2003). Sie werden auch als Reflexionsrisse bezeichnet. Einzelrisse quer über die Fahrbahn können nach HESS ET AL. (2018) auch infolge von Zugspannungen aus Abkühlung auftreten, wenn mit fortschreitender Alterung des Bitumens dessen Relaxationsfähigkeit abnimmt und der Asphalt bei stärkerer Versprödung an Zugfestigkeit verliert. Auftretende kryogene Spannungen infolge einer starken Abkühlung des Asphalts führen dann unter Einwirkung von Verkehrslasten zu einer Entstehung solcher Risse.

Als Netzrisse werden unregelmäßig verlaufende einzelne Risse oder Risshäufungen mit zu meist ähnlicher Rissweite bezeichnet, die netzartig miteinander verbunden sind (FGSV 2006, SCHMIDT ET AL. 2009, VSS 2003). Sie können insbesondere in Verbindung mit Unebenheiten in Längsrichtung ein Indiz für die mangelhafte Tragfähigkeit der Straßenkonstruktion sein, die wiederum auf eine Unterdimensionierung der gebundenen und/oder ungebundenen Schichten zurückzuführen ist (JACOT 2009, KRAUSE 2000). Nach ADLINGE & GUPTA (2013) ist eine netzartige Rissbildung häufig mit einem Untergrund- oder Drainageproblem verbunden. Für HESS ET AL. (2018) sind Netzrisse ein Zeichen für die Ermüdung der Asphaltbefestigung oder weisen auf einen mangelnden Schichtenverbund hin. Unregelmäßige Risse bilden bei voranschreitender Schadensentwicklung grobmaschige Netzrisse, die später zu kleinteiligen Asphaltchollen führen, die durch den überfahrenden Verkehr herausgezogen werden können (FSV 2009, VSS 2003).

Ermüdungsrisse treten zunächst als parallele Längsrisse in den Rollspuren auf und entwickeln sich im weiteren Schadensverlauf zu einem Netzwerk miteinander verbundener Risse (HALL ET AL. 2001). Sie können durch das Versagen der Deckschicht oder des Untergrundes als Folge wiederholter Verkehrsbelastung verursacht werden (ADLINGE & GUPTA 2013, MCGHEE 2004). Nach SCAZZIGA (2008) treten Ermüdungsrisse auch an der Unterseite der gebundenen Schichten auf, wo die Zugspannungen am größten sind, und wandern mit der Zeit an die Oberfläche.

Als Nahtrisse werden geradlinig verlaufende Risse bezeichnet, die zwischen zwei Fertigerbahnen auftreten und sich in der Regel parallel zur Arbeitsnaht ausbilden. Ursachen für die Entwicklung solcher Risse sind unter anderem eine fehlende oder unzureichende Vorbehandlung der Nahtflanken bzw. der Schnittflächen bei Reparaturstellen und die Lage der Naht in der Radspur (FSV 2009). Auch Fehler bei der Bauausführung, wie eine zu starke Abkühlung des Randes der vorherigen Fertigerbahn, eine schlechte Verdichtung der Nahtverbindung oder eine Grobkornanreicherung im Nahtbereich, können eine solche Rissbildung hervorrufen (FSV 2009).

Thermische Risse sind nach KRAUSE (2000) häufig auf ein Bindemittelproblem zurückzuführen, welches eine geringe Temperaturspanne infolge einer zu hohen Viskosität und einem hohen Erweichungspunkt Ring und Kugel aufweist. Der Einsatz härterer Bitumensorten führt bei Niedrigtemperaturen zu einer verminderten Relaxationsfähigkeit des Bindemittels mit der Folge, dass bei einer Überlagerung von kryogenen Zugspannungen aus einem großen Temperaturabfall mit Zugspannungen aus überrollenden Achslasten die Zugfestigkeit des Asphalts erreicht wird (ADLINGE & GUPTA 2013, ARAND & LORENZL 1995). Nach ARAND & LORENZL (1995) werden so vorzeitige Ermüdungsschäden hervorgerufen, die sich in Form von Rissen an der Straßenoberfläche zeigen.

3.1.2 Offene Arbeitsnähte

Offene Arbeitsnähte stellen eine Sonderform von Rissen dar und sind im Allgemeinen Baumängel, die auf eine falsche Materialwahl oder eine fehlerhafte Bauausführung zurückzuführen sind (KRAUSE 2000, OERTELT 2015, SCHMIDT ET AL. 2009). Beim Einbau von Asphalt-schichten entstehen Arbeitsnähte in Längsrichtung im Kontaktbereich zwischen zwei Fertigerbahnen. Dabei kann der Anschlussbereich zwischen zwei heißen Einbaubahnen oder einer kalten und einer heißen Einbaubahn liegen. Bedingt durch die Breite des Fertigers, treten Nahtstellen häufig in der Fahrbahnmitte auf (SCHNIERING INGENIEURGESELLSCHAFT GMBH 2000, STOECKERT ET AL. 2014). In Querrichtung entstehen Arbeitsnähte in Bereichen, wo es zu Unterbrechungen während des Einbaus kommt oder ein Wechsel in der Deckschichtart vorliegt (SCHNIERING INGENIEURGESELLSCHAFT GMBH 2000, STOECKERT ET AL. 2014). Offene Arbeitsnähte entstehen in diesen Anschlussbereichen häufig durch ungünstige Temperaturbedingungen, Verschmutzung oder fehlende bzw. unzureichende Vorbehandlung der Anschlussflanke (FSV 2009, KRAUSE 2000, OERTELT 2015).

3.1.3 Flickstellen

Flickstellen stellen eine Sonderform der Oberflächenschäden dar. Im Allgemeinen sind sie eine Folge von Erhaltungsmaßnahmen und werden zur Behebung eines anderen Schadens an der Straßenoberfläche angelegt, so dass sie im ursprünglichen Sinne keinen direkten Schaden darstellen (ADLINGE & GUPTA 2013, FGSV 2001a, KRAUSE 2000). Nach SCHMIDT ET AL. (2009) weisen sie jedoch auf einen geringeren Substanzwert (Oberfläche) der Straße hin. Flickstellen entstehen durch örtlich begrenzte Instandsetzungsmaßnahmen oder sind das Ergebnis von Unterhaltungsmaßnahmen und stellen in den meisten Fällen kurzfristige Maßnahmen dar, um die Ausbreitung eines Schadens zu verhindern (FSV 2009, SCHMIDT ET AL. 2009, WENINGER-VYCUDIL ET AL. 2009). Sie können die primäre Schadensursache im Regelfall nicht beheben, so dass mit einem erneuten Durchschlagen des Schadens an die Fahrbahnoberfläche zu rechnen ist (ADLINGE & GUPTA 2013, KRAUSE 2000, WENINGER-VYCUDIL ET

AL. 2009). Daher sind Flickstellen nach KRAUSE (2000) besonders in Kombination mit Rissen zu betrachten.

3.1.4 Ausbrüche

Ausbrüche sind Straßenoberflächenschäden, die durch Materialverlust in der obersten Schicht einer Straßenkonstruktion entstehen und häufig eine Folge von mechanischer Überbeanspruchung, Abnutzung oder Frosteinwirkung sind (ADLINGE & GUPTA 2013, MASSACHUSETTS REGIONAL PLANNING COMMISSION 2006). Nach SCHMIDT ET AL. (2009) und HALL ET AL. (2001) entstehen Kornausbrüche durch Ausmagerungen und sind eine Folge des Verlusts der Haftung zwischen Mineralkörnern und bitumenhaltigem Bindemittel. Bei Vorschreiten des Schadens können ganze Gesteinskörner aus der Oberfläche herausbrechen, die sich im Laufe der Zeit großflächig ausbreiten (FSV 2009, VSS 2003). Werden keine entsprechenden Maßnahmen zur Behebung des Schadens durchgeführt, bilden sich entlang der geschwächten Gefügestrukturen feine Haarrisse aus, die zu einer weiteren Destabilisierung führen. Weitere Schadensursachen für das Auftreten von Ausbrüchen können eine unzureichende Gesteinsfestigkeit, eine zu hohlraumreiche Schicht sowie der Einbau bei ungünstiger Witterung sein (ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE-SCHIENE-VERKEHR 2009).

3.1.5 Bindemittelanreicherungen

Bindemittelanreicherungen sind das Austreten von bitumenhaltigem Bindemittel an der Fahrbahnoberfläche, die als dunkle, fleckige Stellen sichtbar sind und eine Verminderung der Griffigkeit zur Folge haben können (FGSV 2001a, HALL ET AL. 2001, KRAUSE 2000, MASSACHUSETTS REGIONAL PLANNING COMMISSION 2006, VSS 2003). Als primäre Schadensursachen gelten eine falsche Bindemitteldosierung bei Oberflächenbehandlungen, grundsätzlich zu hohe Bindemittelgehalte des Mischgutes, eine Separierung der Gesteinskomponenten vom haftenden Bitumen innerhalb der Asphaltmischung, eine unzureichende Durchmischung des Mischgutes, eine ungleichmäßige Walzarbeit während des Einbauprozesses sowie das zu frühe Befahren heißer Schichten (FSV 2009, HALL ET AL. 2001, KRAUSE 2000, MASSACHUSETTS REGIONAL PLANNING COMMISSION 2006, SCHMIDT ET AL. 2009). Sekundäre Ursachen für Bindemittelanreicherungen sind das Drücken des Bindemittels an die Oberfläche bei extrem hohen Temperaturen durch Verformungsvorgänge unter Verkehr, das „Hochpumpen“ des Bindemittels in der Rollspur (Überfettung), hohe Schwerverkehrsbelastungen sowie allgemeine Überbeanspruchungen der Deckschicht (KRAUSE 2000, SCHMIDT ET AL. 2009).

3.1.6 Spurrinnen

Spurrinnen sind rinnenförmige Verformungen innerhalb der Rollspuren, die häufig beidseitig von Wülsten flankiert sind und die Ebenheit in Querrichtung beeinflussen (FSV 2009, KRAUSE 2000). Sie sind auf verschiedene Schadensursachen zurückzuführen, die entweder die Mischgutzusammensetzung, die Stabilität der Straßenkonstruktion oder die Beanspruchung durch den Schwerverkehr betreffen (FGSV 2001a, FSV 2009, KRAUSE 2000, VSS 2003).

Eine ungenügende Verdichtungsarbeit der Unterlage beim Einbau der Straße führt nach der Verkehrsfreigabe zu Nachverdichtungen und anschließender Deformation sowohl der gebundenen als auch der ungebundenen Schichten des Straßenaufbaus (DEPARTMENT FOR

TRANSPORT 2017, FSV 2009, JACOT 2009, KRAUSE 2000, SCAZZIGA 2008). Auch eine zunehmende Kanalisierung des Schwerverkehrs in den Rollspuren über eine große Belastungsdauer bei hohen Temperaturen kann einen Beitrag zur Bildung von Spurrinnen liefern (KRAUSE 2000, MASSACHUSETTS REGIONAL PLANNING COMMISSION 2006). Sind die Zugspannungen des Asphaltmischgutes überschritten oder kommt es zu einer Ermüdungsreaktion des Materials aufgrund der wiederkehrenden hohen Druckbelastungen, bilden sich Risse entlang der Spurränder aus (VSS 2003). Nach ADLINGE & GUPTA (2013) gibt die Breite einer Spurrinne Aufschluss darüber, welche Schicht der Straßenkonstruktion versagt hat. So weist eine sehr schmale Spurrinne normalerweise auf ein Oberflächenversagen hin, während eine breite Spurrinne auf ein Versagen tiefer liegender Schichten hindeutet.

3.2 Schadenskataloge, Indexbildung und Klassifizierung von Oberflächenschäden

Für die Ermittlung geeigneter Erhaltungsmaßnahmen zur Behebung von Oberflächenschäden im Straßennetz bedienen sich viele Länder verschiedener Methoden und Verfahren. Häufig ist dabei die Vorgehensweise an die individuellen Randbedingungen und Erhaltungsstrategien angepasst. Die Erkenntnis über die Schadensursache vieler Oberflächenschäden sowie über die Entwicklung eines Schadens bildet jedoch bei allen Herangehensweisen die Grundlage für eine erfolgreiche Erhaltungsplanung.

KRAUSE (2000) hat für die Nutzung eines Pavement Management Systems (PMS) für das Erhaltungsmanagement in Deutschland eine Mängelklassenbildung auf Basis von Zustandswerten der ZEB, Querschnittsdaten, Aufbaudaten, Verkehrsdaten und Erhaltungsdaten vorgenommen, um anhand dieser Mängelklassen geeignete Maßnahmen für die Behebung der jeweiligen Oberflächenschädigungen ableiten zu können. Die Verfügbarkeit dieser Eingangsdaten und der Umfang der Detailinformationen bestimmen dabei letztendlich die Anzahl an Datenquellen, auf derer die Mängelklassenbildung erfolgt. Daraus ergeben sich drei Aggregationsstufen, in die die Konstituierung der Mängelklassen zu gliedern ist (KRAUSE 2000):

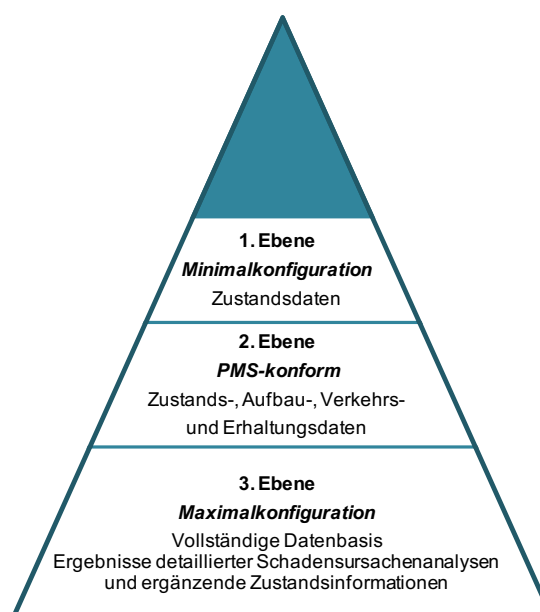


Abbildung 3-1: Hierarchieebenen der Mängelklassenbildung nach KRAUSE (2000)

Mit Hilfe dieser Ebenen ist es möglich, auch für Streckenabschnitte, zu denen nur minimale Informationen vorliegen, Mängelklassen zu bilden und im Weiteren Erhaltungsmaßnahmen vorzuschlagen. In der Konsequenz nehmen neben dem Informationsbedarf jedoch auch die Genauigkeit der Klassenbildung und damit die Korrektheit der später vorgeschlagenen Maßnahmen ab. Im Allgemeinen wird bei der Mängelklassenbildung versucht, über die Ausprägung einzelner Eigenschaften oder durch Merkmalskombinationen Indikatoren auszumachen, die auf eine wahrscheinliche Schadensursache und/oder die geschädigte Schicht hindeuten (siehe Abbildung 3-2). Aufgrund des Umstandes, dass nur alle vier Jahre aktuelle Zustandsdaten für das jeweilige Bundesfernstraßennetz vorliegen, werden die Zustandswerte prognostiziert und anschließend für die Mängelklassenzuordnung verwendet. Bei der Abgrenzung von Mängelklassen wird ein Zustandsmerkmal als Hauptbedingung festgelegt und logisch mit anderen Merkmalen verknüpft (KRAUSE 2000).

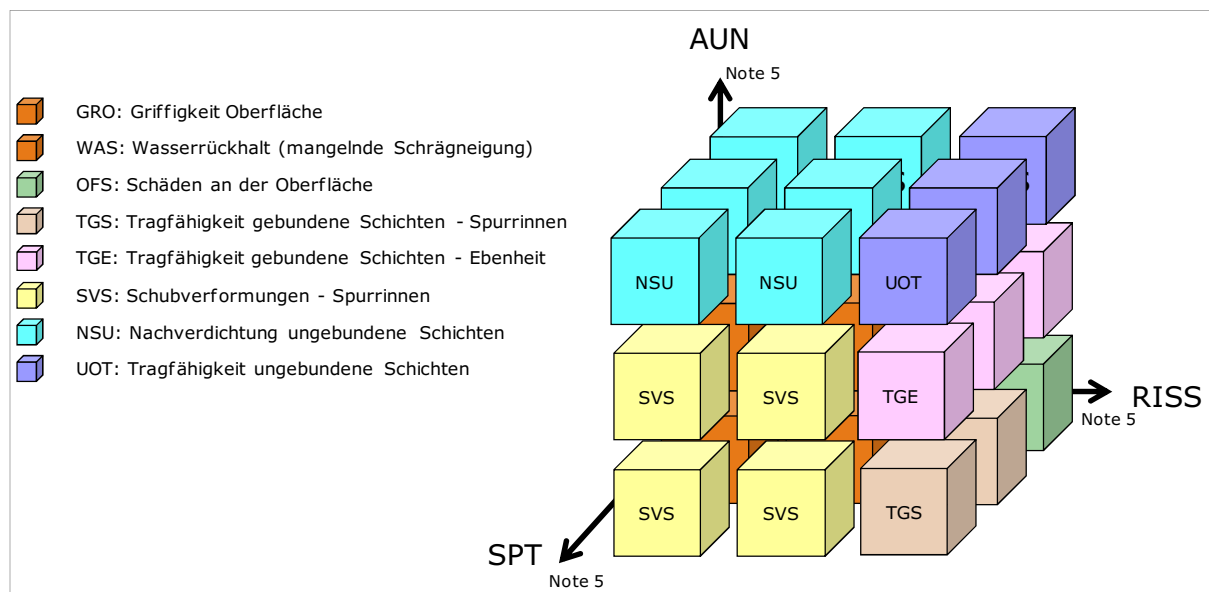


Abbildung 3-2: Mängelklassenbildung auf Basis der Zustandswerte (Quelle: BASt nach KRAUSE 2000)

Für eine konkrete Erhaltungsplanung kommt das PMS, das nur Abschätzungen auf Netzebene erlaubt, nicht zum Einsatz. Zur Ermittlung streckenbezogener Erhaltungserfordernisse, werden die Maßnahmen anhand der RPE-Stra 01 (FGSV 2001a) und ZTV BEA-StB (FGSV 2009/2013) geplant und festgelegt. Die zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen dienen der Auswahl von Erhaltungsverfahren, der Aufstellung der Leistungsbeschreibung sowie der Ausführung von Maßnahmen für die Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. Nach der FGSV (2009/2013) ist für die Auswahl von Erhaltungsverfahren die Erfassung des Zustandes der jeweiligen Verkehrsfläche und die Ermittlung der Schadensursache Voraussetzung. Es erfolgt eine Zuordnung der Merkmalsgruppen, die in Zustandsmerkmale unterteilt sind, anhand des Erscheinungsbildes bzw. der Schadensursache zu geeigneten Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen (FGSV 2009/2013).

Der bisher in der Schweiz angewendete Schadenskatalog dient insbesondere der Sicherstellung einer einheitlichen Indexbewertung und damit der Vereinheitlichung der Bewertung. Er beinhaltet Schadenbeschreibungsblätter mit Angaben zur Hauptgruppe, zum Schadensmerkmal, zur Beschreibung des Schadensbildes, zur Schadensschwere und Entwicklung des Schadens (VSS 2003). Nach BÄR ET AL. (2014) soll die Bewertung künftig je Schadensbild mit neu definierten Einzelindizes erfolgen. Dabei beschreibt ein Schadensbild nicht einen Einzelschaden, wie Risse oder offene Arbeitsnähte, sondern fasst diese beispielweise zu

„Belagsschäden“ zusammen, auch wenn nur ein Schadensmerkmal vorliegt. Diese Schadensbilder werden dann als das Produkt aus Schadensausmaß und -schwere indexiert. Eine Gewichtung der Indizes erfolgt anschließend über die Kosten, also die finanzielle Tragweite des Schadens zum jetzigen Zeitpunkt. Die Einzelindizes werden in einem weiteren Schritt einer Gruppe zugeordnet, die verschiedene Schadensbilder zeigt, zu denen wiederum Erhaltungsmaßnahmen empfohlen werden.

In Österreich wird die Planung und Koordinierung geeigneter Erhaltungsmaßnahmen ebenfalls vornehmlich mittels eines PMS vorgenommen. Hier wird jedoch bereits bei der Berechnung von Zustandsgrößen und Teilwerten eine Bewertung des Schadensausmaßes und der Schadensschwere vorgenommen (FSV 2012, WENINGER-VYCUDIL ET AL. 2009 und 2016). So werden beispielsweise bei der Zusammenfassung der Einzelmerkmale für Asphaltdecken zum Zustandsmerkmal „Oberflächenschäden“ manche Merkmale mit einer höheren Schwere bewertet als andere und bei der Berechnung des Substanzwertes Decke neben den Zustandswerten auch das Alter der Asphaltdecken mit einbezogen. In Anlehnung an die Mängelklassen in Deutschland wurden für das PMS sogenannte Anwendungsbereiche definiert, die jedem Abschnitt einen entsprechenden Anwendungsbereich zuteilen, sofern ein zuvor festgelegter Zustand erreicht ist (WENINGER-VYCUDIL ET AL. 2009). Diese Anwendungsbereiche, denen Erhaltungsmaßnahmen an der Straßenoberfläche, im Bereich der Decke und zur Verbesserung der Tragfähigkeit zugeordnet sind, werden durch Zustandswerte und Teilwerte über dem Warnwert begrenzt.

In den Niederlanden werden die im Zuge einer Zustandserfassung ermittelten Schadensmerkmale in drei Kategorien eingeteilt, die die Schäden nach ihrem Einfluss auf die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort und damit nach der Dringlichkeit ihrer Behebung beurteilen (RIJKSWATERSTAAT 2002). Dabei bestimmt vornehmlich die Schadensschwere und das Schadensausmaß das Eingreifniveau. Entscheidend sind auch Umfang und Kosten der Erhaltungsmaßnahme, die zur Schadensbehebung nötig sind.

3.3 Naht- und Fugenschäden zwischen Einbaubahnen aus Asphalt

Dass insbesondere die Randbereiche zwischen Einbaubahnen aus Asphalt im Fahrbahnquerschnitt eine große Bedeutung für die Langlebigkeit der Asphaltbefestigungen haben, wird in der Literatur bestätigt, wie unter anderem die Ausführungen von (HUANG & SHU 2010, JOSEPH VÖGELE AG 2009, SCHRÖDER 2012) zeigen. Mögliche Ursachen für das Schadensauftreten im Naht- und Fugenbereich sind hinreichend bekannt; sind sie doch vornehmlich auf die Einbauqualität bzw. die fachgerechte Ausbildung und Herstellung von Nähten und Fugen zurückzuführen. Weitreichende Forschungen beschäftigen sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung neuer verbesserter Einbautechniken und Materialien zur Minimierung der Schwächezone im Kontaktbereich zwischen Einbaubahnen (ANDROTEC GMBH ET AL. 2019, BAST ET AL. 2013, DEUTSCHE VIALIT 2018, TH KÖLN ET AL. (LAUFEND)) Der wissenschaftlichen Untersuchung der Charakteristik des Auftretens von Naht- und Fugenschäden sowie deren Schadensentwicklung wurde jedoch bisher in der Literatur nur marginal Beachtung geschenkt.

Der DAV (2007) führt eine Reihe von Schadensbildern an Nähten und Fugen zwischen Einbaubahnen auf und liefert gleichzeitig die möglichen Schadensursachen (Tabelle 3-1, Tabelle 3-2).

Längsnähte heiß an heiß	
<i>Erscheinungsbild</i>	<i>mögliche Ursachen</i>
raue Randnahtzonen	zu großer Abstand der gestaffelt einbauenden Fertiger
	Entmischungen
	kein geordneter oder falscher Walzeinsatz
offene Naht	zu großer Abstand der gestaffelt einbauenden Fertiger
	unbeheizte Bohlenbereiche
	entmischtes und/oder zu kaltes Mischgut
	kein geordneter oder falscher Walzeinsatz

Tabelle 3-1: Mögliche Schadensursachen an heiß an heiß Längsnähten (Quelle: nach DAV (2007))

Längsnähte heiß an kalt	
<i>Erscheinungsbild</i>	<i>mögliche Ursachen</i>
Wasser steht an der Mittelnaht	unterschiedliche Höhen der Einbaubahnen
	bei einseitigem Gefälle zuerst die höher liegende Einbaubahn verlegt
offene Naht	kein Nahtverbund durch unzureichende und/oder fehlerhafte Vorbereitung der Kontaktfläche
	mangelhafte Verdichtung der Nahtränder
	kein geordneter oder falscher Walzeinsatz

Tabelle 3-2: Mögliche Schadensursachen an heiß-an-kalt-Längsnähten (Quelle: nach DAV (2007))

Demnach entstehen raue Randnahtzonen an heiß-an-heiß-Längsnähten durch lokale Entmischungen, einem zu großen Abstand zwischen den Fertigern während des Einbauprozesses oder einem falschen Walzeinsatz. Eine offene Naht an heiß-an-heiß-Längsnähten kann ihre Ursachen ebenfalls in lokalen Entmischungen, einem zu großen Abstand zwischen den Fertigern während des Einbauprozesses oder einem falschen Einsatz der Walzen haben. Eine offene Naht an heiß-an-kalt-Längsnähten hingegen ist vornehmlich auf einen fehlenden Nahtverbund, eine mangelhafte Verdichtung der Nahtränder und auf einen falschen Walzeinsatz zurückzuführen. Bei beiden Einbauverfahren können offene Nähte einen streifenweisen Ersatz der Deckschicht im geschädigten Nahtbereich zur Folge haben (DAV 2007). Der DAV (2001), KANDHAL & MALLICK (1997) und STEINAUER & WANG (2012) fanden bei ihren Untersuchungen heraus, dass im Nahtbereich häufig eine geringe Dichte infolge mangelnder Verdichtung vorhanden ist, die wiederum ein vermehrtes Auftreten von Rissen und Ausbrüchen bedingt. Nach HUANG & SHU (2010) und KANDHAL & MALLICK (1997) stellen diese Schadensmerkmale die am häufigsten an Längsnähten in Heiasphalten auftretenden Schäden dar. Der DAV (2001) führt die mangelnde Verdichtung auf ein Mischgutdefizit im Nahtbereich zurück, welches von einer unzureichenden oder fehlenden Überlappung der Einbaubahnen herrührt. Insbesondere beim Einbau heiß an kalt gestaltet sich das Erreichen der gewünschten Dichte im Nahtbereich mit herkömmlichen Verdichtungstechniken schwierig (HUANG & SHU 2010). HUANG & SHU (2010) konnten darüber hinaus im Rahmen ihrer Untersuchungen feststellen, dass an der Nahtstelle zwischen der bereits eingebauten und erkalteten und der

angebauten heißen Asphaltsschicht ohne eine Nahtbehandlung nicht die Zugfestigkeit einer Heißasphaltsschicht ohne Naht oder Fuge erreicht werden kann.

Nach SCHRÖDER (2012) werden in der Praxis häufig Produkte für die Vorbehandlung von Nähten auch für die Ausbildung von Fugen und Anschlüssen verwendet, die jedoch nicht die Anforderungen an das Dehnungs- und Haftungsvermögen erfüllen. Eine daraus resultierende fehlerhafte Abdichtung führt zur Schädigung des Asphaltes (DAV 2016). Nach dem DAV (2007) können sich Fugen mit Fugenband aufgrund mangelnder Haftung durch unsaubere oder nasse Fugenflanken bei der Herstellung später öffnen, und es kann zu Materialverlust in der Fuge selbst kommen. Folgeschäden können ein mangelnder Schichtenverbund zwischen den darunterliegenden Schichten infolge des Eindringens von Wasser sein. Bei Fugen, die geschnitten oder gefräst und anschließend heiß vergossen werden, können durch Fehler bei der Ausführung Schädigungen der Nahtrandbereiche und der darunterliegenden Schichten auftreten. Bei beiden Verfahren der Fugenherstellung können die auftretenden Schäden zu einem streifenweisen Ersatz des geschädigten Fugenbereiches führen. Nach DEUTSCHE VIALIT (2018) kommt es bei der Herstellung von Fugen durch Schneiden und Vergießen häufig nicht zur Deckung des tatsächlichen Nahtbereiches mit der Folge, dass neben der ausgebildeten Fuge nach kurzer Zeit bereits die Naht durchschlägt.

4 Datengrundlage und -umfang für die statistischen Analysen und Untersuchungen

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen und statistischen Analysen basieren auf den Ergebnissen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) 2013/2014 auf Bundesautobahnen. Die Ergebnisse dieser Erfassungen liegen in einem 100m-Raster für alle Fahrstreifen in und gegen die Stationierungsrichtung vor. Aufgrund des Erfassungsrasters der Substanzmerkmale (Oberfläche) ist es jedoch möglich, auf die Rohdaten (Rasterrohdaten) zurückzugreifen, die in einem 1m-Raster in Längsrichtung und einer Fahrstreifendrittung in Querrichtung abgelegt werden. Sie bilden die Datengrundlage für die weiteren Untersuchungen. Die Analysen konzentrieren sich auf die Asphaltbauweise, da für die Betonbauweise entsprechende Daten zum einen nur plattenweise verfügbar sind und diese zum anderen gänzlich unterschiedlich zu interpretierende Aussagen liefern.

Die Rasterrohdaten beinhalten neben den erfassten TP3-Merkmalen und deren Lokalisierung im Fahrstreifen auch Informationen über die genaue Lage im Bundesautobahnnetz, wie den Netzknotenabschnitt, die Stationierung und die Lage (in oder gegen die Stationierungsrichtung). Um eine spätere Verortung der Einzelmerkmale und Schadenskombinationen im Netz sicherzustellen, wurden diese Informationen neben den TP3-Daten in eine neue Arbeits-Datenbank übernommen.

Für die weiteren statistischen Analysen zu den Merkmalskombinationen wurden auch die Daten zur Querebenheit der Kampagne 2013/2014 in einem entsprechenden 1m-Raster herangezogen. Anhand der Rohdateninformationen ist es möglich, Zustandsgrößen für jeden Meter in Längsrichtung jeweils für die rechte und die linke Spurrinne zu berechnen. Für die Beantwortung der vorliegenden Fragestellungen wird ein Schwerpunkt auf das Querebenheitsmerkmal „Spurrinntiefe“ gelegt.

Die durch die Ebenheitsmesssysteme ebenfalls aufgezeichneten Querneigungen der Fahrbahnen werden für die Interpretation der Schadenshäufigkeit und Lokalisierung der Oberflächenschäden im Fahrstreifen herangezogen. Da alle ZEB-Daten einer strengen Qualitätssicherung unterliegen und enge Toleranzbereiche einhalten müssen, konnte von einer hohen Datenqualität und -plausibilität ausgegangen werden. Eine Ausnahme hiervon stellt das Merkmal „Offene Arbeitsnähte“ (ONA) der Substanzmerkmale (Oberfläche) dar, welches momentan nicht als bewertungsrelevant gilt und somit nicht in den Qualitätssicherungsprozess der ZEB mit eingebunden ist. Eine Überprüfung dieses Merkmals hinsichtlich seiner richtigen Auswertung wird im Rahmen der Variationsanalyse zu den Merkmalskombinationen (siehe Kapitel 6.2.4) vorgenommen.

Für die Durchführung von Zeitreihenanalysen hinsichtlich der zeitlichen Schadensentwicklung an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen werden die ZEB-Ergebnisse zurückliegender Messkampagnen auf Bundesautobahnen verwendet. Dazu wurde zusätzlich auf die TP3-Daten der Erfassungen 2005/2006 und 2009/2010 zurückgegriffen, die zuvor in die gleiche Datenstruktur wie die Arbeits-Datenbank gebracht und den jeweiligen Abschnitten der Kampagne 2013/2014 zugeordnet wurden.

Die Substanzmerkmale (Oberfläche) sind in den unterschiedlichen Jahren der jeweiligen ZEB-Kampagnen von verschiedenen Firmen erfasst und ausgewertet worden. Eine Aufstellung nach Erfassungsjahren und Bundesländern ist der nachfolgenden Tabelle 4-1 zu entnehmen.

Jahr	Bundesländer	Erfasser
2005	NI, HB, HE, RP, BW, BY, SL	Schniering Ingenieurgesellschaft mbH
2006	SH, HH, NW, BE, BB, MV, SN, ST, TH	Schniering Ingenieurgesellschaft mbH
2009	NI, HB, HE, RP, BW, BY, SL	TÜV Rheinland Schniering GmbH
2010	NW, TH	TÜV Rheinland Schniering GmbH
	SH, HH, BE, BB, MV, SN, ST	LEHMANN + PARTNER GmbH
2013	NI, HB, HE, RP, BW, BY, SL	LEHMANN + PARTNER GmbH, Ramboll RST (NI und große Teile HE)
2014	SH, HH, NW, BE, BB, MV, SN, ST, TH	TÜV Rheinland Schniering GmbH

Tabelle 4-1: Erfasser des Teilprojektes 3 auf Bundesautobahnen nach Jahren

In Ergänzung zu den ZEB-Ergebnissen wurden für die Bearbeitung der Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit die Aufbaudaten mit Stand von 2015 herangezogen. Von besonderem Interesse waren hierbei die Art, das Alter und die Dicke der einzelnen Schichten des Asphaltpaketes. Da die Datengrundlage der ZEB die Jahre 2013 und 2014 umfasst, wurden alle Aufbaudaten zu den jeweiligen Asphaltsschichten, die jünger als 2012 waren, von den Analysen ausgeschlossen. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Aufbaudaten wurden bereits durch die Firma SEP Maerschalk GmbH plausibilisiert und für die letzte Erhaltungsbedarfsprognose verwendet. Die Aufbaudaten wurden ebenfalls den einzelnen 1m-Abschnitten der ZEB-Daten 2013/2014 zugeordnet und der Arbeits-Datenbank hinzugefügt.

Des Weiteren wurden Verkehrsdaten zur durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des gesamten Kraftfahrzeugverkehrs (DTV) sowie der jeweilige Schwerverkehrsanteil (DTV^(SV)) für die in der vorliegenden Arbeit durchzuführenden Analysen herangezogen. Die Datengrundlage umfasst neben den Verkehrszahlen der manuellen Verkehrszählungen der Jahre 2005, 2010 und 2015 auch die der Dauerzählstellen im Bundesautobahnnetz und wurde durch das Referat V2 der Bundesanstalt für Straßenwesen plausibilisiert. Die Daten liegen für die jeweiligen Netzknotenabschnitte vor und wurden für den gesamten Straßenquerschnitt ermittelt. Auch die Verkehrsdaten wurden den 1m-Auswerteabschnitten in der Arbeits-Datenbank zugeordnet.

Die Arbeits-Datenbank umfasst insgesamt 41.820.556 Zeilen, was einer Erfassungslänge von rund 41.821 km entspricht. Somit stellt jede Zeile einen 1m-Auswerteabschnitt dar.

5 Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Bis zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit lagen keine veröffentlichten Forschungsarbeiten zu den Substanzmerkmalen (Oberfläche) der ZEB auf Basis des 1m-Auswerterasters in Längsrichtung und der Fahrstreifendrittung vor. Eine entsprechende Analyse liefert jedoch wichtige Erkenntnisse für die Bearbeitung der Zielsetzungen dieser Arbeit, weshalb die nachstehend beschriebenen Untersuchungen und statistischen Analysen zu den Einzelmerkmalen des TP3 durchgeführt wurden.

5.1 Methodik des Vorgehens

Grundlegend werden netzweite Untersuchungen zum Vorkommen der einzelnen Schadensmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) und ihrer Häufigkeit im Bundesautobahn-Netz (BAB-Netz) anhand von Häufigkeitsanalysen durchgeführt. Untersucht werden soll, welche der im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung zu detektierenden Schadensmerkmale des TP3 im gesamten BAB-Netz auftreten und welche prozentuale Relevanz sie am gesamten Schadensvorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) aufweisen. Etwaige Unterschiede zwischen 2-, 3- und 4-streifigen Bundesautobahnen können dabei einen ersten Hinweis auf mögliche Schadensursachen, wie beispielweise die Verteilung auf die Verkehrsstärken, geben.

Unter Anwendung von Häufigkeitsanalysen wird eine Überprüfung und Neubewertung der aktuell in der ZEB zu erfassenden Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) vorgenommen. Untersucht wird, ob diese zukünftig sowohl aufgrund ihres Vorkommens im Bundesautobahnnetz als auch ihrer Signifikanz für die Beschreibung des Zustandes der Substanz der Straßenoberfläche als bewertungsrelevant einzustufen sind. Beispielsweise soll überprüft werden, inwieweit Ausbrüche auf Bundesautobahnen als Oberflächenschaden vorkommen und welchen Anteil sie an allen oberflächlichen Substanzschäden einnehmen.

Weiterhin wird statistisch untersucht, inwieweit Differenzen hinsichtlich der Art und der Schadenshäufigkeit der Substanzmerkmale (Oberfläche) zwischen den einzelnen Fahrstreifen mehrstreifiger Bundesautobahnen festzustellen sind. Diese fahrstreifenweisen Analysen bieten die Möglichkeit einen eventuellen Einfluss der Verteilung der Verkehrsstärken, insbesondere des Schwerverkehrsanteils, sowie der Altersstruktur der Deckschichten auf das Schadensauftreten zu untersuchen.

Neben den fahrstreifenweisen Auswertungen wird auch die genaue Positionierung der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) im Fahrstreifen anhand der Fahrstreifendrittung analysiert. Dies soll neben dem Erkenntnisgewinn zur Charakteristik des räumlichen Schadensvorkommens der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) auch der Identifizierung potenzieller Schadensursachen dienen. Zur detaillierteren Untersuchung der räumlichen Schadensausdehnung der Einzelmerkmale wird die Existenz eines statistischen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Lokalisierungen eines Schadensmerkmals im Fahrstreifen anhand des Korrelationskoeffizienten ausgewertet. Dieser Test soll statistisch nachweisen, ob es Schadensmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) gibt, die bei ihrem Auftreten ein immer gleiches räumliches Muster aufweisen – also beispielweise, ob Risse häufig im linken und rechten Fahrstreifendritt, folglich im Bereich der Rollspuren, gleichzeitig auftreten. Die Auswahl eines geeigneten Korrelationskoeffizienten, die Formeln zur Berechnung sowie der Wertebereich zur Interpretation der Ergebnisse sind dem Anhang A1-1 zu entnehmen. Die räumliche Schadensausdehnung jedes Einzelmerkmals der Substanzmerkmale

(Oberfläche) wird detaillierter untersucht, um eventuelle merkmalspezifische räumliche Muster des Auftretens zu identifizieren, die erste Rückschlüsse auf unterschiedliche Schadensursachen zulassen. Dazu werden neue Variablen zur Schadensausdehnung in Längs- und Querrichtung berechnet. Für die Identifikation als zusammenhängende Ausdehnung gilt das Vorhandensein desselben Merkmals in unmittelbar angrenzenden Rasterfeldern. Anschließend werden die neu berechneten Variablen statistisch ausgewertet.

Zur Analyse eventueller regionalgeographischer Besonderheiten in Bezug auf das Schadensauftreten der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) sowie möglicher schadensbegünstigender Faktoren wird das Vorkommen der TP3-Merkmale im BAB-Netz mithilfe eines GIS-Programms visualisiert. Die Kartendarstellungen werden durch statistische Häufigkeits- und Mittelwertanalysen ergänzt. Es soll untersucht werden, ob geographische Konzentrationen bestimmter Arten von Substanzmerkmalen (Oberfläche) zu identifizieren sind, die unmittelbar beispielsweise auf regionale klimatische Unterschiede oder verkehrlich hoch belastete Bundesautobahnabschnitte zurückzuführen sind.

Die Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) sind in Kapitel 5.2 und dem Anhang A1-2 dargelegt.

5.2 Ergebnisse zum Vorkommen von Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) im BAB-Netz

In den nachfolgenden Unterkapiteln sind die Ergebnisse zu den statistischen Auswertungen und Analysen der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) dargestellt. Diese Ergebnisse können als Vorstudien für die weiteren Untersuchungen angesehen werden und liefern wichtige Erkenntnisse über die Schadenshäufigkeit und -verteilung sowie über die räumliche Schadensausdehnung der einzelnen Merkmale.

5.2.1 Netzweite Schadenshäufigkeiten der Einzelmerkmale des TP3

In der nachfolgenden Abbildung 5-1 ist die Anzahl aller in der Arbeits-Datenbank enthaltenen Fahrstreifenmeter der messtechnischen Erfassung der Jahre 2013 und 2014 auf Bundesautobahnen den jeweiligen mehrstreifigen Bundesautobahnen zugeordnet dargestellt. Bundesautobahnen mit 2-streifigen Richtungsfahrbahnen stellen dabei mit einer Erfassungslänge von rund 27.191 km die dominierende Kategorie in Deutschland dar.

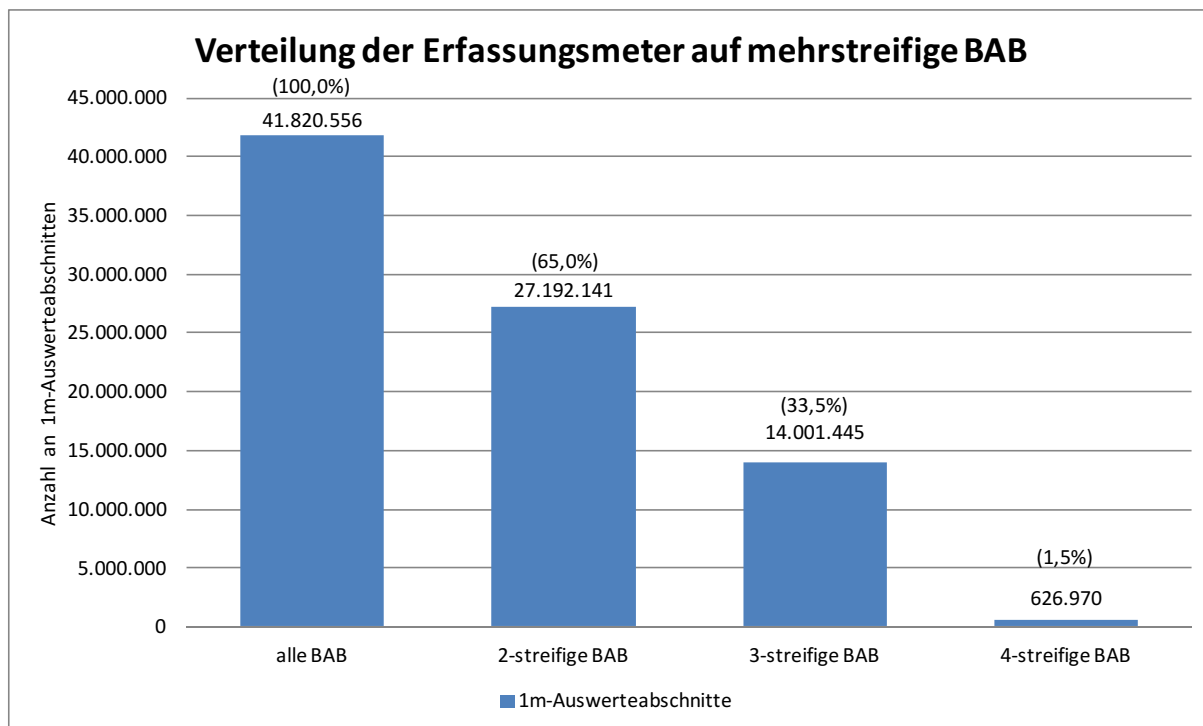


Abbildung 5-1: Verteilung der 1m-Auswerteabschnitte aller Fahrstreifen der Arbeits-Datenbank auf mehrstreifige BAB

Bei gleichzeitiger Betrachtung der Häufigkeitsverteilungen zu den Substanzmerkmalen (Oberfläche) in Abbildung 5-2 wird die gleichbleibende Relation zwischen den einzelnen Autobahnkategorien erkennbar. So entfallen 65,0 % aller Erfassungskilometer auf 2-streifige Bundesautobahnen und auch ihr Anteil an allen auftretenden Schadensmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) im BAB-Netz ist mit 67,5 % nahezu gleich hoch.

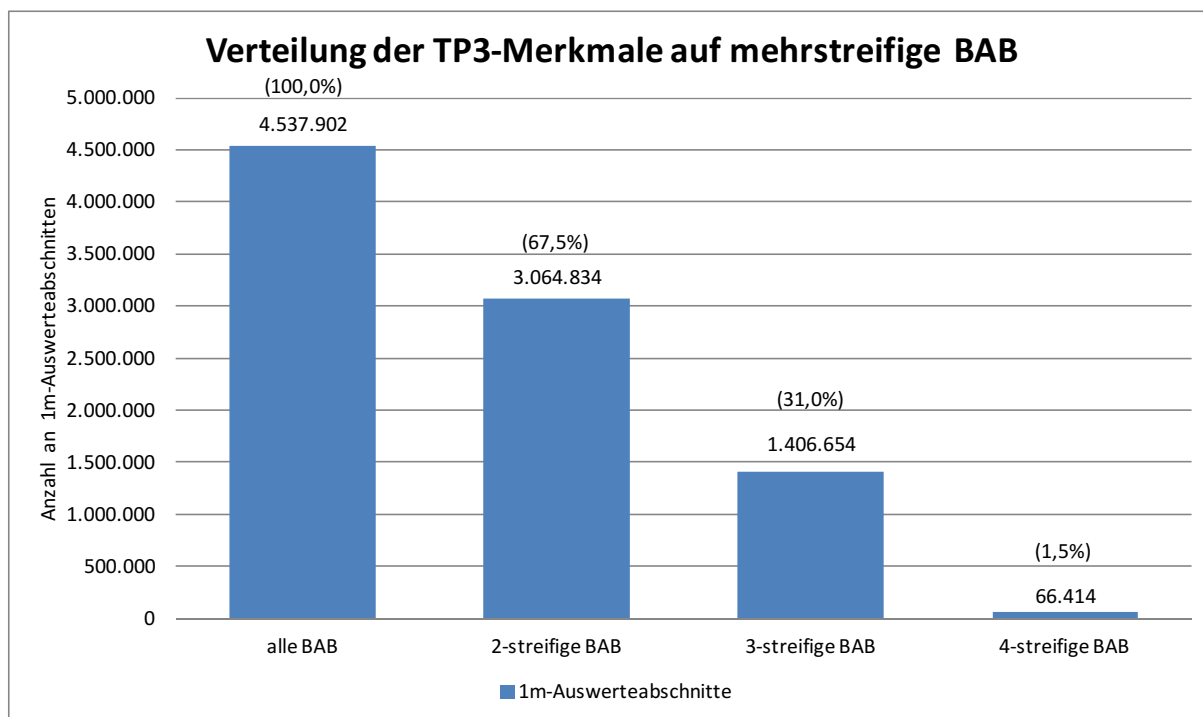


Abbildung 5-2: Schadenshäufigkeit der Substanzmerkmale (Oberfläche) und ihre Verteilung auf mehrstreifige BAB

In den folgenden Abbildungen sind die Schadenshäufigkeiten der einzelnen mehrstreifigen Bundesautobahnen in Relation zur jeweiligen Anzahl der Auswerteabschnitte gesetzt und in die einzelnen Schadensmerkmale des TP3 (Substanzmerkmale (Oberfläche)) aufgliedert worden. Die Summe der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) übersteigt den prozentualen Anteil der Kategorie „TP3-Schäden gesamt“, da gleichzeitig mehrere Schadensmerkmale in einem 1m-Auswerteabschnitt vorkommen können.

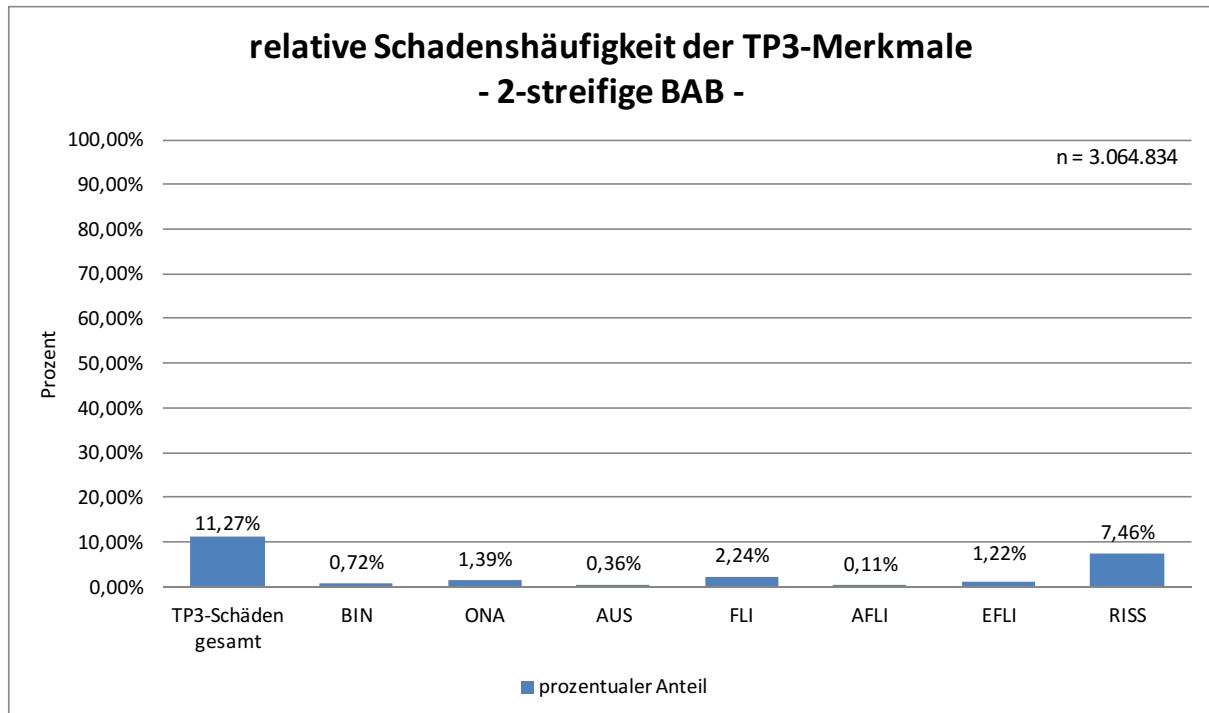


Abbildung 5-3: Relative Schadenshäufigkeiten der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf 2-streifigen BAB

Die relative Schadenshäufigkeit 2-streifiger BAB beläuft sich insgesamt auf 11,27 %. Als häufigstes Schadensmerkmal treten Risse (RISS) mit 7,46 %, gefolgt von Flickstellen (FLI) mit 2,24 % und offenen Arbeitsnähten (ONA) mit 1,39 % auf (Abbildung 5-3). Die Dominanz der Risse am Gesamtanteil aller 1m-Auswerteabschnitte, die in mindestens einem der drei Rasterfelder in Querrichtung einen beliebigen TP3-Schaden aufweisen, wird durch die Darstellung der relativen Häufigkeiten der Einzelmerkmale in Relation zur Schadenssumme deutlich (siehe Abbildung A1-1, Anhang A1-2-1). Demnach machen Risse 66,19 % aller Oberflächenschäden aus. Flickstellen haben einen Anteil von 19,90 % und offene Arbeitsnähte einen Anteil von 12,32 % am Schadensvorkommen. Bindemittelanreicherungen (BIN) und Ausbrüchen (AUS) kommt bei der Schadensbilanz mit 6,37 % und 3,19 % eine untergeordnete Rolle zu.

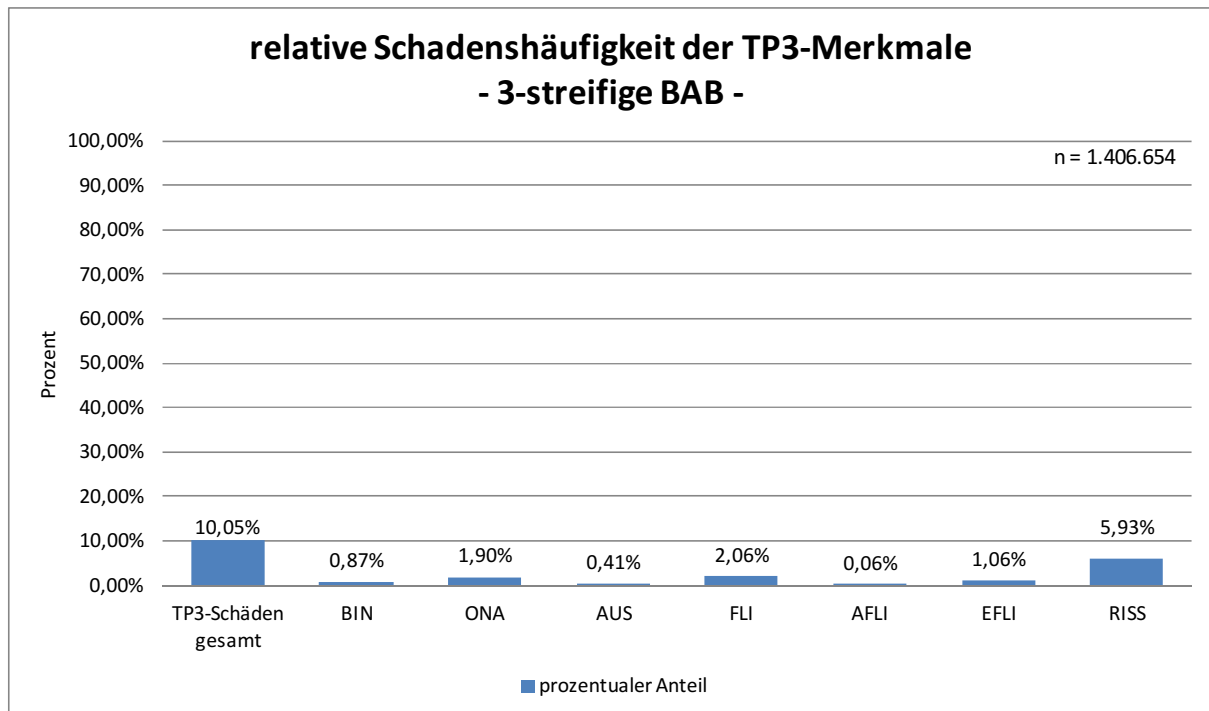


Abbildung 5-4: Relative Schadenshäufigkeiten der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf 3-streifigen BAB

Bei 3-streifigen BAB weisen 10,05 % aller 1m-Auswerteabschnitte in Asphaltbauweise Schadensmerkmale des TP3 auf (Abbildung 5-4). Auch hier treten Risse mit 5,93 % als häufigstes Schadensmerkmal in Erscheinung, gefolgt von Flickstellen mit 2,06 % und offenen Arbeitsnähten mit 1,90 %. Die Betrachtung der relativen Schadenshäufigkeiten der Einzelmerkmale in Relation zur Gesamtsumme aller 1m-Auswerteabschnitte, die in mindestens einem der drei Rasterfelder in Querrichtung einen beliebigen TP3-Schaden aufweisen, stellt klar heraus, dass Risse das vorherrschende Schadensmerkmal darstellen (siehe Abbildung A1-2, Anhang A1-2-1). Ihr Anteil an der Schadenssumme beläuft sich auf 58,99 %. 20,47 % aller 1m-Auswerteabschnitte weisen Flickstellen auf, wohingegen 18,95 % aller geschädigten Abschnitte über eine offene Arbeitsnaht verfügen.

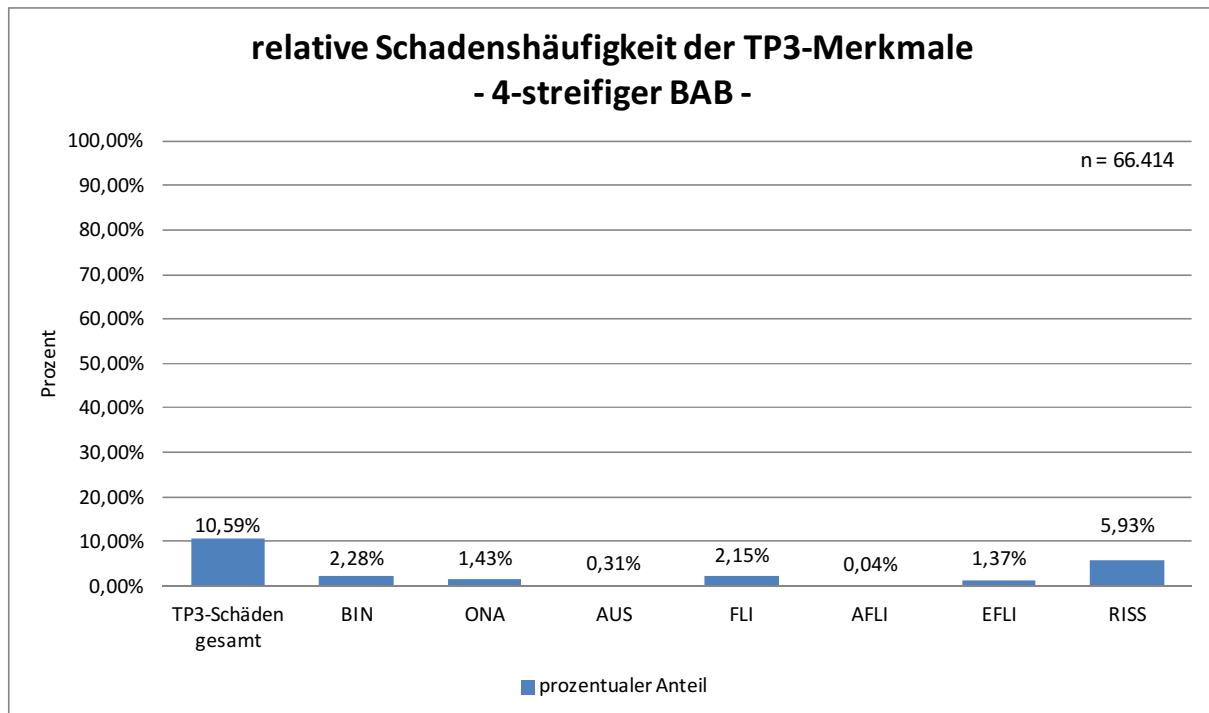


Abbildung 5-5: Relative Schadenshäufigkeiten der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf 4-streifigen BAB

10,59 % aller 1m-Auswerteabschnitte 4-streifiger BAB zeigen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche), was 66.414 1m-Abschnitten entspricht (Abbildung 5-5). Während Risse mit einem Anteil von 5,93 % an allen 1m-Auswerteabschnitten deutlich die häufigste Schadensart darstellen, folgen Bindemittelanreicherungen mit 2,28 % und Flickstellen mit 2,15 %. Unter Betrachtung der relativen Schadenshäufigkeiten der Einzelmerkmale in Relation zur Gesamtsumme aller 1m-Auswerteabschnitte, die in mindestens einem der drei Rasterfelder in Querrichtung einen beliebigen TP3-Schaden aufweisen, machen Risse einen Anteil von 56,01 % aus (siehe Abbildung A1-3, Anhang A1-2-1). Bindemittelanreicherungen stellen das zweithäufigste Einzelmerkmal der Substanzmerkmale (Oberfläche) mit 21,48 % dar.

Aufgrund der zu geringen Grundgesamtheit zu 4-streifigen BAB mit einem Anteil von 1,50 % an allen Erfassungsmetern des BAB-Netzes werden diese von den weiterführenden statistischen Analysen zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) ausgeschlossen. Da der Anteil des Schadensmerkmals „FLI“ bereits die prozentualen Anteile der Einzelmerkmale „Aufgelegte Flickstellen“ (AFLI) und „Eingelegte Flickstellen“ (EFLI) umfasst und eine Unterteilung für die nachfolgenden Analysen nicht relevant ist, wird auf eine weitere Differenzierung verzichtet.

5.2.2 Fahrstreifenbezogene Schadenshäufigkeiten der Einzelmerkmale des TP3 und ihre Lokalisierung im Fahrstreifen

Zur Berücksichtigung der Verteilung der Verkehrsbelastung auf mehrstreifigen Bundesautobahnen, die sich durch verkehrsrechtliche Vorgaben zur Nutzung nur bestimmter Fahrstreifen durch den Schwerverkehr ergibt, und die dadurch bedingten Unterschiede in der verkehrlichen Beanspruchung des Straßenaufbaus je Fahrstreifen, werden die Untersuchungen zum fahrstreifenweisen Vorkommen sowie zu den Lokalisierungen im Fahrstreifen getrennt für 2- und 3-streifige Bundesautobahnen durchgeführt.

Die Verteilung der Schadenshäufigkeiten der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die einzelnen Fahrstreifen und die Lokalisierungen im Fahrstreifen mehrstreifiger Bundesautobahnen dient insbesondere der Eingrenzung und Identifizierung möglicher Schadensursachen.

Der folgenden Abbildung 5-6 zu 2-streifigen BAB ist zu entnehmen, dass 56,95 % aller Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf dem ersten Fahrstreifen lokalisiert sind und 43,05 % auf dem zweiten Fahrstreifen vorkommen.

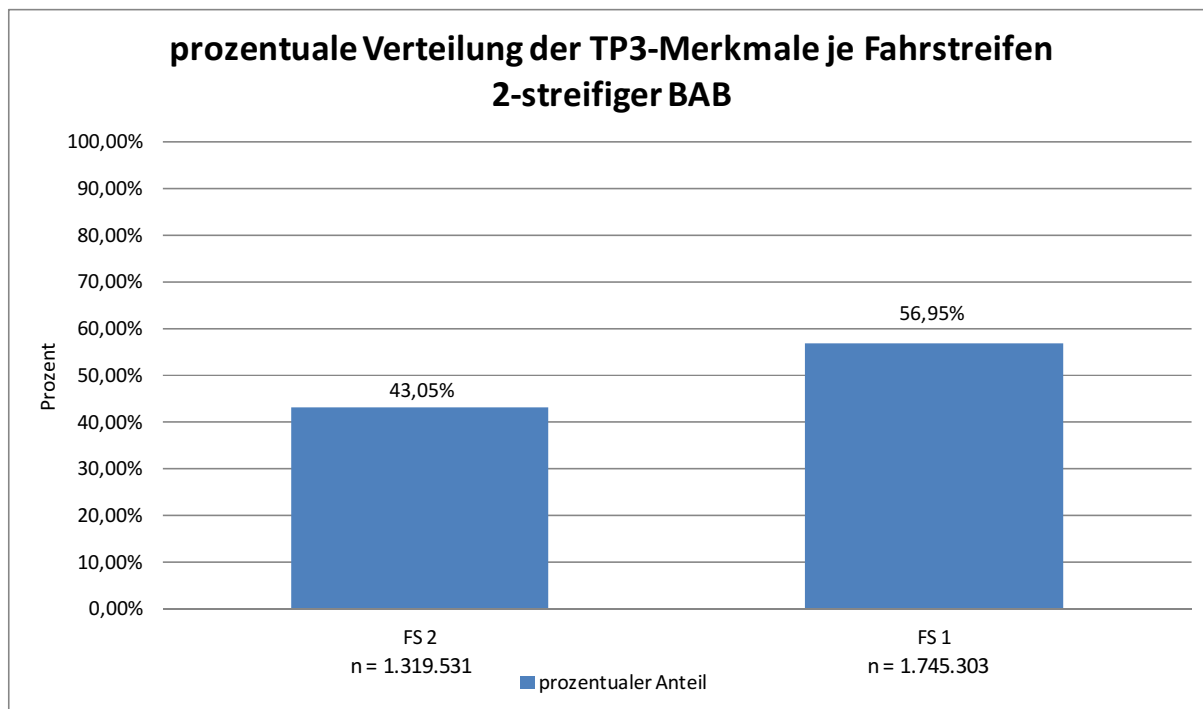


Abbildung 5-6: Prozentuale Verteilung der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die einzelnen Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Analyse der relativen Häufigkeiten der Einzelmerkmale des TP3 getrennt nach den Fahrstreifen 2-streifiger BAB ergab, dass das Einzelmerkmal „Risse“ auf beiden Fahrstreifen das dominierende Schadensmerkmal darstellt (siehe Abbildung 5-7). Während sich auf dem ersten Fahrstreifen die Flickstellen als zweithäufigstes Schadensmerkmal anteilmäßig deutlich von den anderen Einzelmerkmalen des TP3 abheben, treten sie auf dem zweiten Fahrstreifen nahezu genauso häufig auf wie die offenen Arbeitsnähte. Den Flickstellen auf dem ersten Fahrstreifen folgen in unterschiedlichen Häufigkeiten die offenen Arbeitsnähte, die Bindemittelanreicherungen und die Ausbrüche. Auf dem zweiten Fahrstreifen sind die Bindemittelanreicherungen anteilmäßig wenig vertreten, gefolgt von den Ausbrüchen.

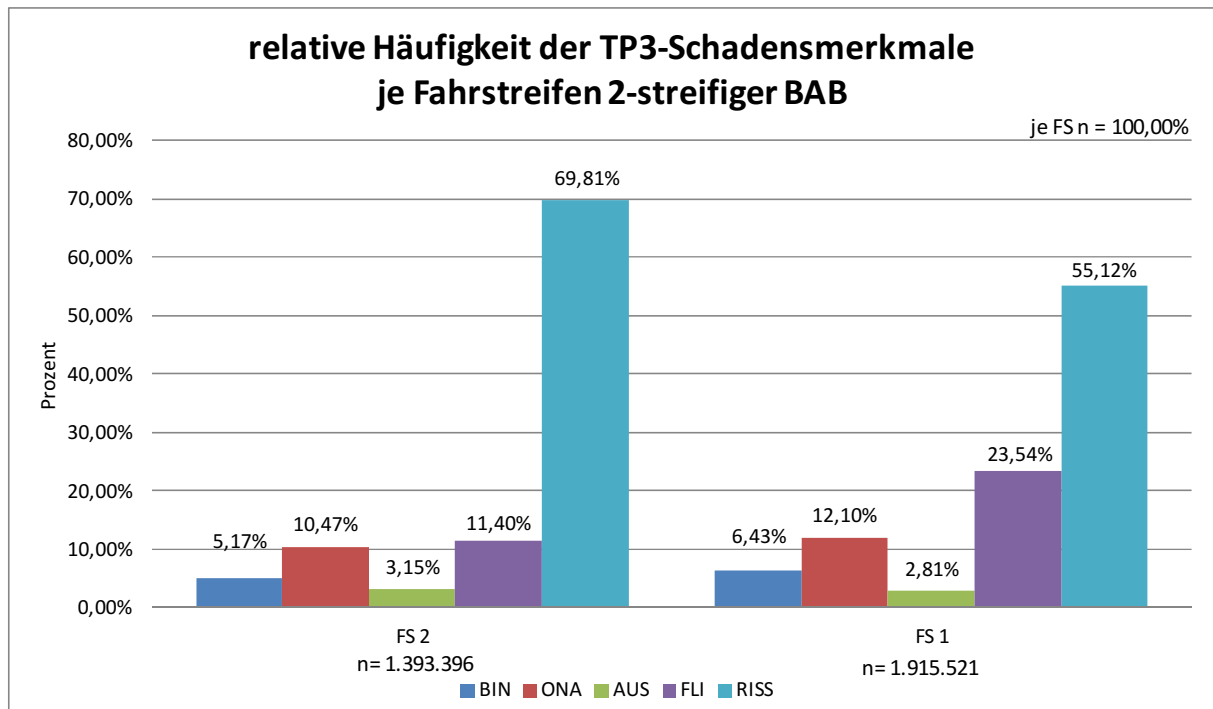


Abbildung 5-7: Relative Häufigkeiten der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Schadensverteilung der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die Fahrstreifen 3-streifiger BAB beläuft sich zu 35,03 % auf den ersten, zu 38,11 % auf den zweiten und zu 26,86 % auf den dritten Fahrstreifen (Abbildung 5-8). Auffällig ist der prozentual höchste Anteil des zweiten Fahrstreifens an der Gesamtsumme aller Substanzschäden der Oberfläche.

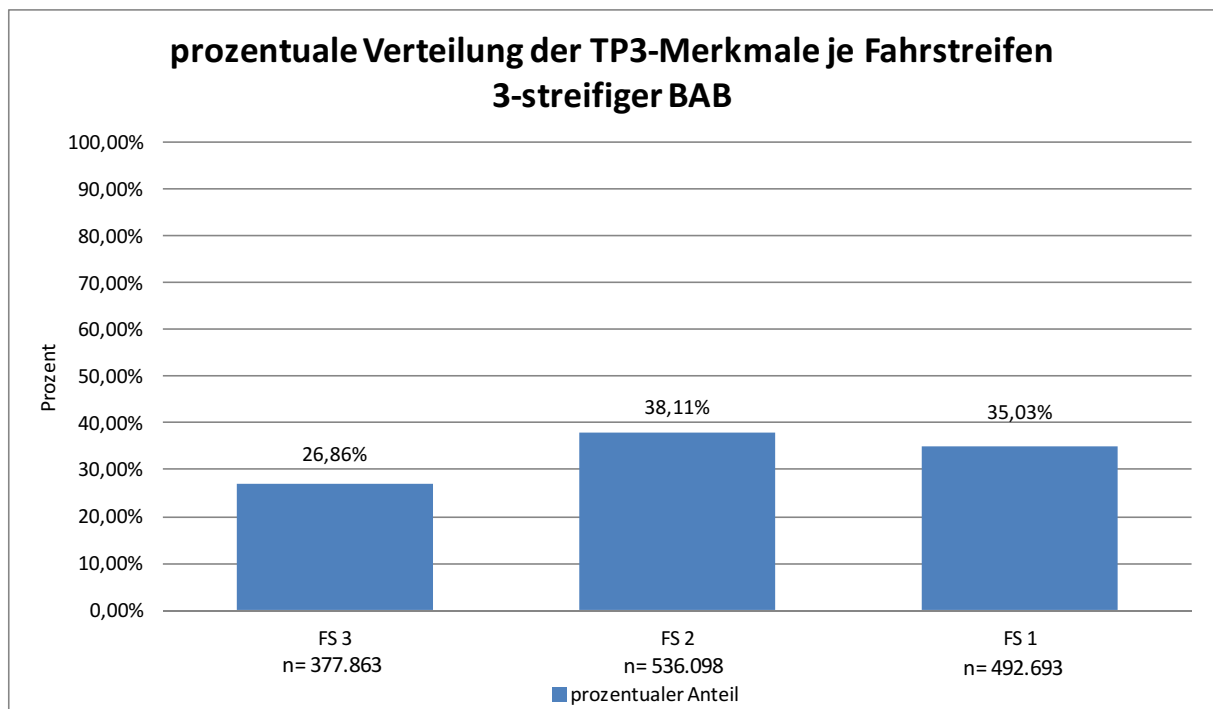


Abbildung 5-8: Prozentuale Verteilung der Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Die Darstellung der relativen Häufigkeiten der Einzelmerkmale des TP3 getrennt nach den Fahrstreifen 3-streifiger BAB (Abbildung 5-9) zeigt die deutliche Dominanz des Einzelmerk-

mals „Risse“ auf allen drei Fahrstreifen. Während die Flickstellen auf dem ersten Fahrstreifen anteilmäßig am zweitstärksten vertreten sind, dicht gefolgt von den offenen Arbeitsnähten, folgen den Rissen auf dem zweiten Fahrstreifen die offenen Arbeitsnähte. Auf dem dritten Fahrstreifen weisen die offenen Arbeitsnähte nur eine geringfügig höhere Häufigkeit auf als die Flickstellen. Das Einzelmerkmal „Bindemittelanreicherungen“ tritt auf allen drei Fahrstreifen als vierthäufigstes TP3-Merkmal auf. Die Ausbrüche treten als Schadensmerkmal auf allen drei Fahrstreifen anteilmäßig kaum in Erscheinung. Der direkte Vergleich der Fahrstreifen untereinander verdeutlicht die Schadensdominanz der Risse. Auch das Einzelmerkmal „Offene Arbeitsnähte“ ist auf allen drei Fahrstreifen deutlich präsent.

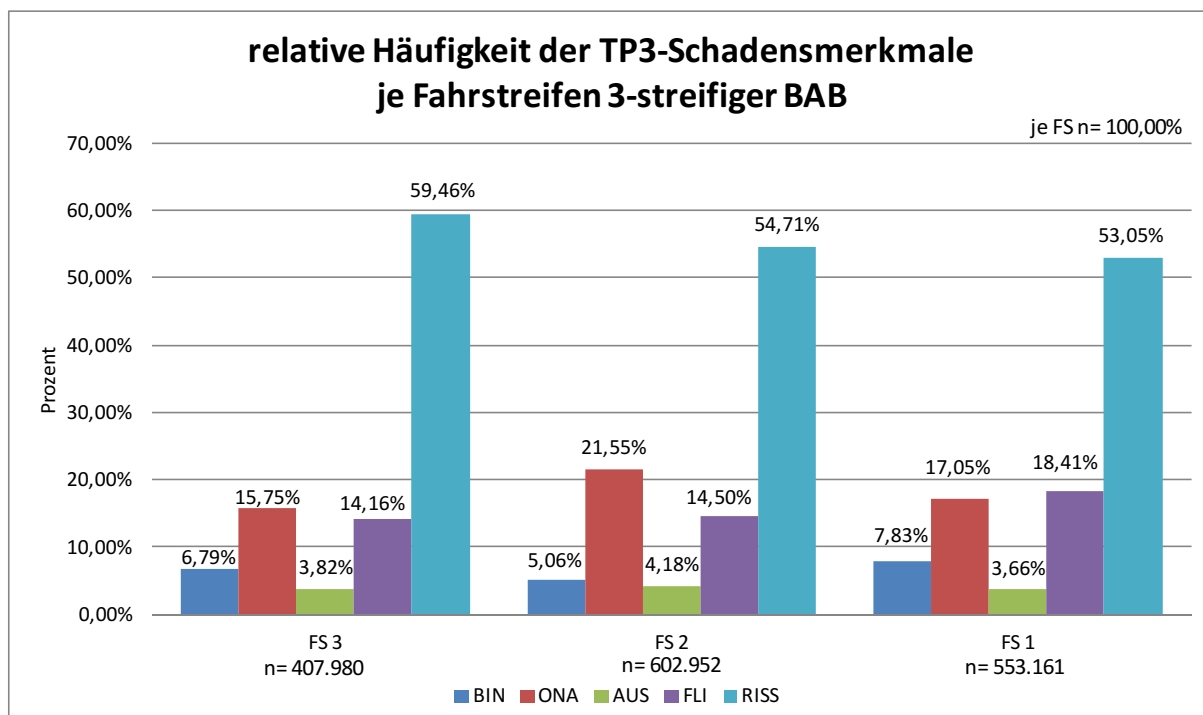


Abbildung 5-9: Häufigkeiten der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Auch eine Aufgliederung der Schadensmerkmale (Oberfläche) nach ihrer prozentualen Verteilung auf die Fahrstreifen illustriert die Schadensdominanz von ONA, AUS und RISS auf dem zweiten Fahrstreifen (Abbildung 5-10).

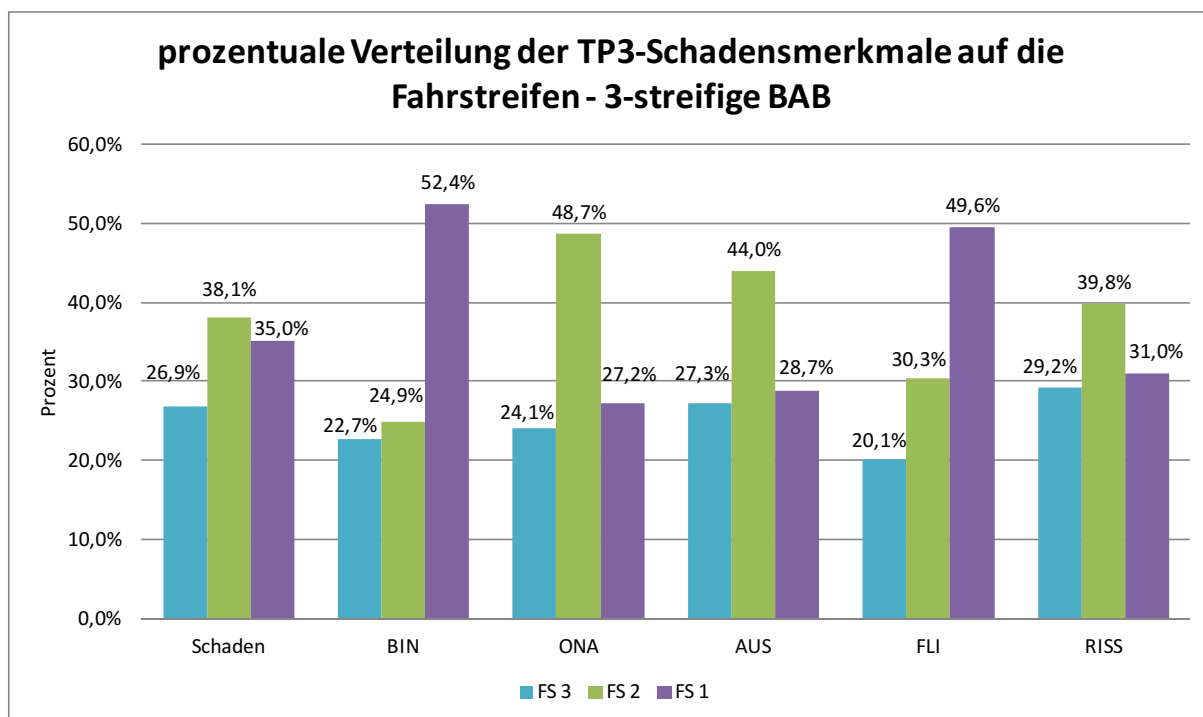


Abbildung 5-10: Prozentuale Verteilung der Schadensmerkmale auf die Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Für eine detailliertere statistische Untersuchung der höchsten Schadenshäufigkeit auf dem zweiten Fahrstreifen wurden die Aufbaudaten analysiert, die Aufschluss über die Altersstruktur der obersten Asphaltsschicht geben sollen. Ausgenommen von der Analyse wurden jene 1m-Auswerteabschnitte, die überbaute Betonbefestigungen aufwiesen, sowie alle Abschnitte auf Brückenbauwerken. Es wurde eine Altersbegrenzung von 30 Jahren (1983 bis 2012) für die Analysen festgelegt, da nach den RStO 12 davon ausgegangen wird, dass die Bauweisen für Straßen in Deutschland die Verkehrsbelastungen über 30 Jahre hinweg ertragen können. Eine Häufigkeitsverteilung ergab, dass 78,7 % aller obersten Asphaltsschichten auf 3-streifigen BAB dieses Alter besitzen oder jünger sind.

Bezogen auf die Grundgesamtheit des jeweiligen Fahrstreifens verfügen 78,6 % aller 1m-Auswerteabschnitte des ersten Fahrstreifens über eine oberste Asphaltsschicht, die 30 Jahre oder jünger ist. Auf dem zweiten Fahrstreifen beträgt dieser Anteil 71,6 %. Hingegen beträgt der Anteil aller 1m-Auswerteabschnitte des dritten Fahrstreifens, die eine Altersstruktur der obersten Asphaltsschicht von 30 Jahren oder jünger aufweisen, 70,9 %. Damit weist der erste Fahrstreifen einen höheren Anteil an auf diese Weise detektierten obersten Asphaltsschichten auf. Gleichzeitig fällt deren Nutzungsdauer etwas geringer aus als die auf den beiden Überholfahrstreifen. Das Durchschnittsalter der obersten Asphaltsschichten beträgt auf dem ersten Fahrstreifen 14 Jahre, auf dem zweiten Fahrstreifen 17 Jahre und auf dem dritten Fahrstreifen 18 Jahre.

Der Anteil der 1m-Auswerteabschnitte an der Grundgesamtheit des jeweiligen Fahrstreifens, die ≤ 30 Jahre alt sind und Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) aufweisen, liegt auf dem ersten Fahrstreifen bei 71,5 %, auf dem zweiten Fahrstreifen bei 62,5 % und auf dem dritten Fahrstreifen bei 60,1 %.

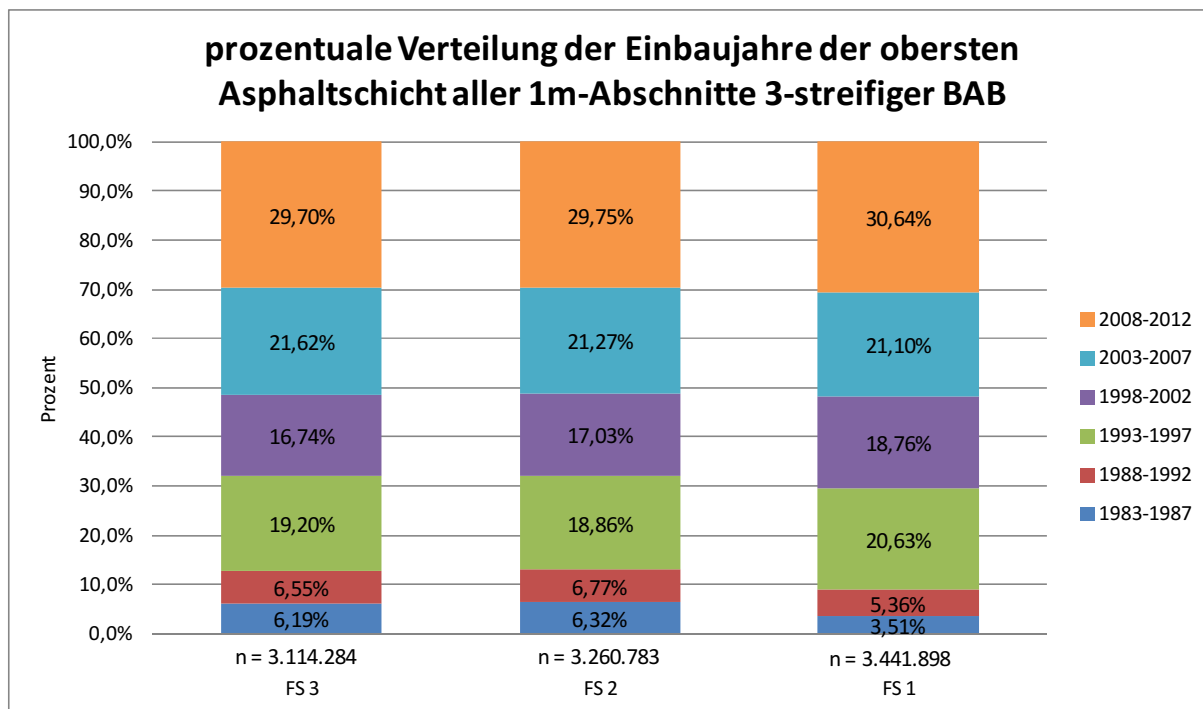


Abbildung 5-11: Prozentuale Verteilung der Einbaujahre der obersten Asphalt-schichten aller 1m-Auswerteabschnitte 3-streifiger BAB

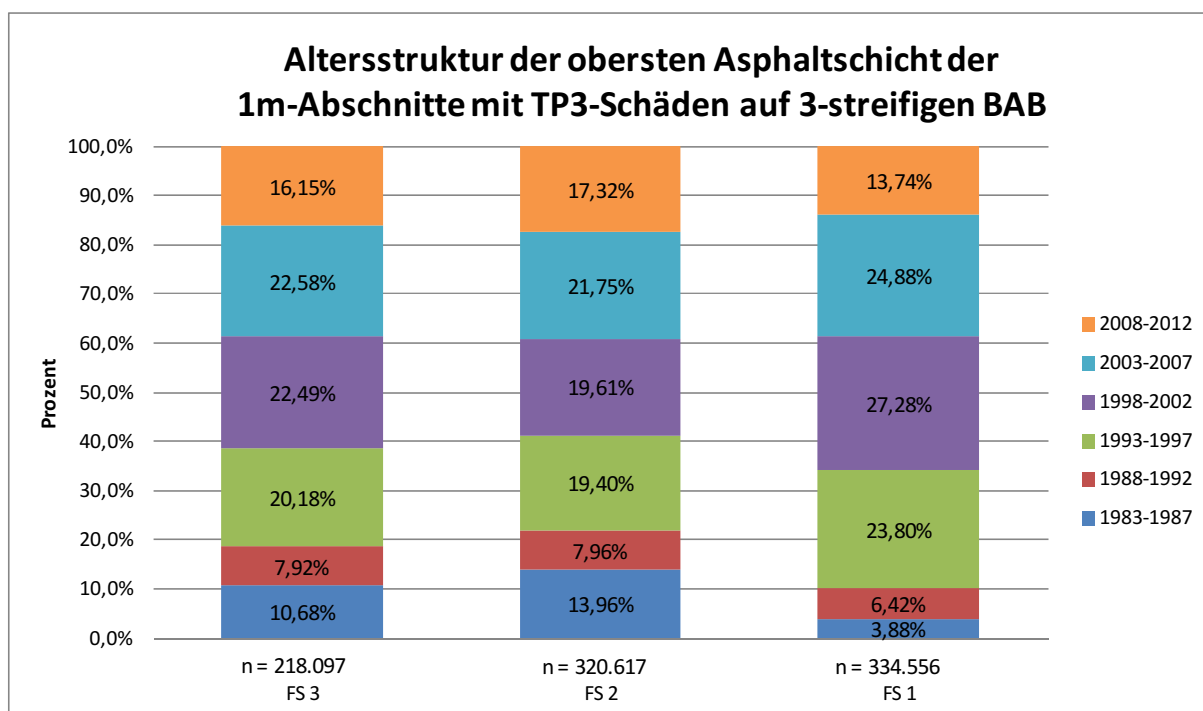


Abbildung 5-12: Prozentuale Verteilung der Einbaujahre der obersten Asphalt-schicht aller 1m-Auswerteabschnitte 3-streifiger BAB mit TP3-Schäden

Der Abbildung 5-11 ist zu entnehmen, dass die obersten Asphalt-schichten des ersten Fahrstreifens tendenziell jünger sind als die der anderen Fahrstreifen (Jahre 2003 bis 2012). Insbesondere der Anteil an 1m-Abschnitten, die fünf Jahre oder jünger sind (Bezugsjahr 2012), ist hier leicht höher. Unter Betrachtung der in Abbildung 5-12 dargestellten prozentualen Verteilung der Einbaujahre derjenigen obersten Asphalt-schichten, die Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) aufweisen, zeigt der zweite Fahrstreifen mit 41,32 % im Vergleich zu

34,10 % des ersten und 38,78 % des dritten Fahrstreifens einen deutlich höheren Anteil an 1m-Abschnitten mit einem Alter von 15 bis 30 Jahren (1983 bis 1997).

Für die detailliertere Analyse eines möglichen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Fahrstreifen 3-streifiger BAB, ihrer Schadenshäufigkeit und dem Alter der obersten Asphalt-schicht wurde zwischen Asphaltbeton (AB), Gussasphalt (GA) und Splittmastixasphalt (SMA) differenziert. Ausgenommen von der Analyse wurden jene 1m-Auswerteabschnitte, die überbaute Betonbefestigungen aufwiesen, sowie alle Abschnitte auf Brückenbauwerken.

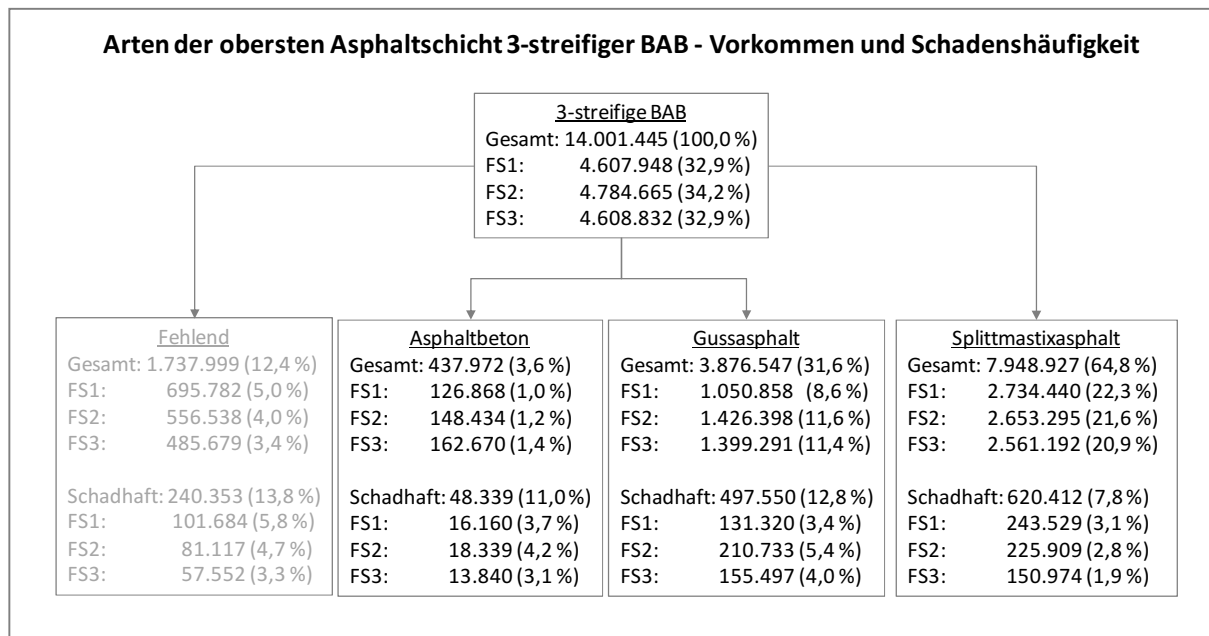


Abbildung 5-13: Schema zu den obersten Asphaltschichten 3-streifiger BAB

Dem Schema in Abbildung 5-13 sind die unterschiedlichen Arten an obersten Asphalt-schichten, deren Häufigkeit im BAB-Netz sowie die Schadenshäufigkeit, aufgegliedert nach den einzelnen Fahrstreifen, zu entnehmen. Demnach stellt der Splittmastixasphalt mit 64,8 % bezogen auf alle 1m-Auswerteabschnitte mit vollständigen Angaben zum Aufbau die dominierende oberste Asphalt-schicht dar. 7,8 % aller Abschnitte aus Splittmastixasphalt weisen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf, wovon 3,1 % dem ersten Fahrstreifen zuzuordnen sind. Der Gussasphalt ist mit 31,6 %, bezogen auf alle 1m-Abschnitte mit vollständigen Angaben zum Aufbau, im BAB-Netz vertreten. 12,8 % aller Abschnitte aus Gussasphalt sind, bezogen auf die TP3-Merkmale, schadhaft, wobei der zweite Fahrstreifen mit 5,4 % die meisten Schädigungen aufweist. Ein Anteil von 3,6 % an allen 1m-Abschnitten mit vollständigen Angaben zum Aufbau kommt dem Asphaltbeton zu. Dabei sind 11,0 % aller 1m-Auswerteabschnitte aus Asphaltbeton schadhaft, wobei 4,2 % auf den zweiten Fahrstreifen entfallen.

Aufgrund des sehr geringen Anteils an 1m-Auswerteabschnitten mit einer obersten Schicht aus Asphaltbeton wird diese Asphaltart aus den weiteren Analysen ausgenommen.

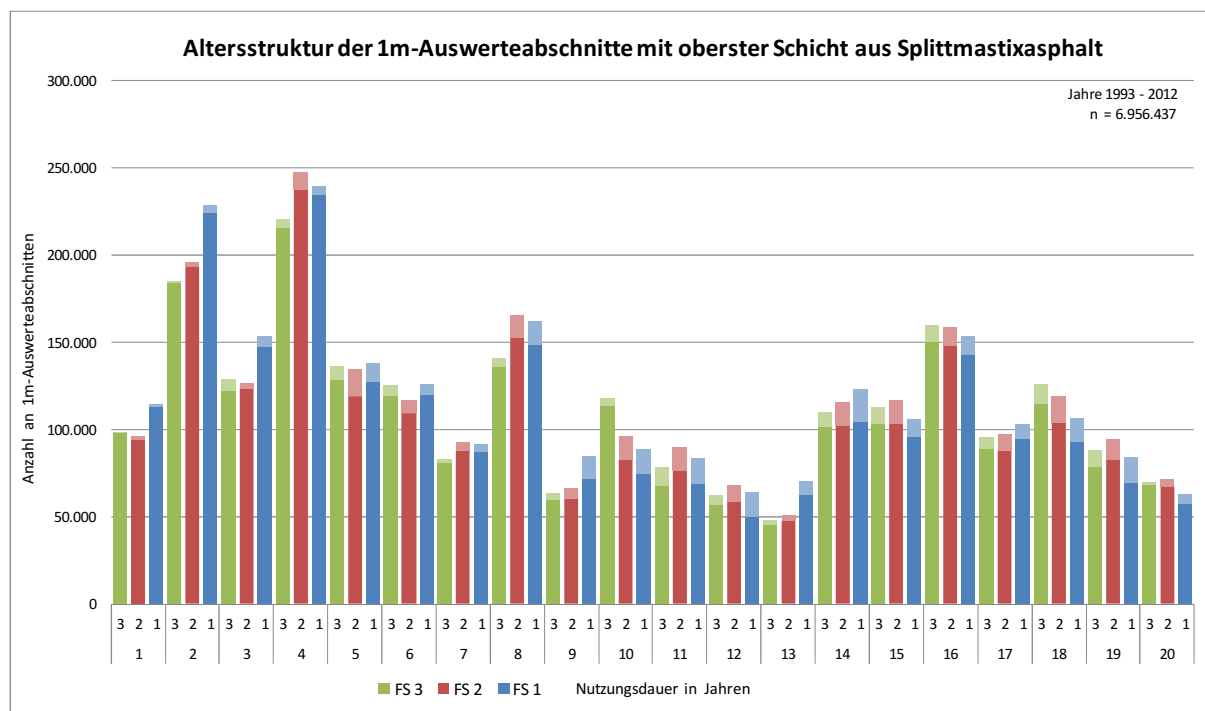


Abbildung 5-14: Altersstruktur der netzweit vorkommenden obersten Schichten aus Splittmastixasphalt

Die Abbildung 5-14 zeigt die Verteilung der 1m-Auswerteabschnitte mit oberster Schicht aus Splittmastixasphalt, aufgegliedert nach den einzelnen Fahrstreifen, der Nutzungsdauer bis 20 Jahre und dem Anteil geschädigter (helle Säulenbereiche) und nicht geschädigter Abschnitte (dunkle Säulenbereiche). Die einzelnen Säulen des Diagramms repräsentieren dabei alle in dem jeweiligen Jahr gebauten 1m-Abschnitte mit einer obersten Schicht aus Splittmastixasphalt, die 2012 noch im BAB-Netz vorhanden waren. Der helle obere Bereich der Säulen stellt denjenigen Anteil an 1m-Abschnitten dar, die eine beliebige Art von Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) aufweisen. Der dunkle Bereich der Säulen repräsentiert den Anteil an 1m-Abschnitten, die keine Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) aufweisen. Die Nummerierung von eins bis zwanzig entspricht der Nutzungsdauer, die die Abschnitte bis zur Zustandserfassung 2013/2014 aufwiesen. 1m-Auswerteabschnitte mit einer Nutzungsdauer von fünf Jahren (Bezugsjahr 2012) weisen dementsprechend eine oberste Schicht aus Splittmastixasphalt auf, die 2008 neu eingebaut wurde.

Festzustellen ist die deutlich niedrigere Häufigkeit an Abschnitten mit einer Nutzungsdauer von 7 und 9 Jahren (gebaut im Jahr 2004 und 2006), von 12 bzw. 13 Jahren (Einbau in 2000 und 2001) sowie von 19 bzw. 20 Jahren (gebaut 1993 und 1994). Es lassen sich tendenzielle Unterschiede hinsichtlich der Altersverteilung zwischen den einzelnen Fahrstreifen feststellen. So weist insbesondere der erste Fahrstreifen jüngere Nutzungsdauern auf als die Überholfahrstreifen.

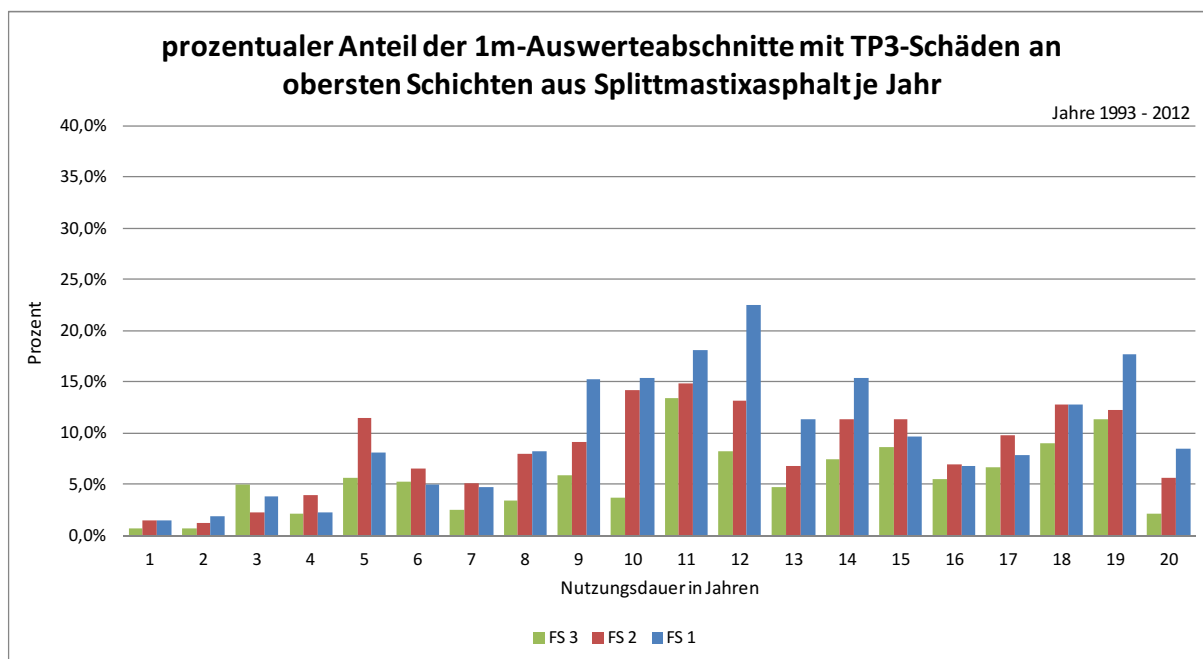


Abbildung 5-15: Prozentualer Anteil der geschädigten 1m-Auswerteabschnitte an allen Abschnitten aus Splittmastixasphalt

Bei einer detaillierteren Betrachtung der in Abbildung 5-15 dargestellten prozentualen Schadensanteile der Substanzmerkmale (Oberfläche) an der obersten Schicht aus Splittmastixasphalt je Nutzungsdauer treten Unterschiede zwischen den Schadensanteilen der einzelnen Fahrstreifen hervor. Insbesondere der erste Fahrstreifen zeigt höhere Anteile an Strecken mit TP3-Schäden je Nutzungsjahr. Besonders klar erkennbar werden diese Unterschiede bei Streckenabschnitten ab einer Nutzungsdauer von 8 Jahren, was verdeutlicht, dass die Verkehrsbelastung einen maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung eines TP3-Schadens hat. Tiefergehende Analysen haben ergeben, dass insbesondere Risse, aber auch Flickstellen und offene Arbeitsnähte für die hohen Schadensanteile vornehmlich bei den kurzen Nutzungsdauern verantwortlich sind (Tabelle A1-2, Anhang A1-2-1).

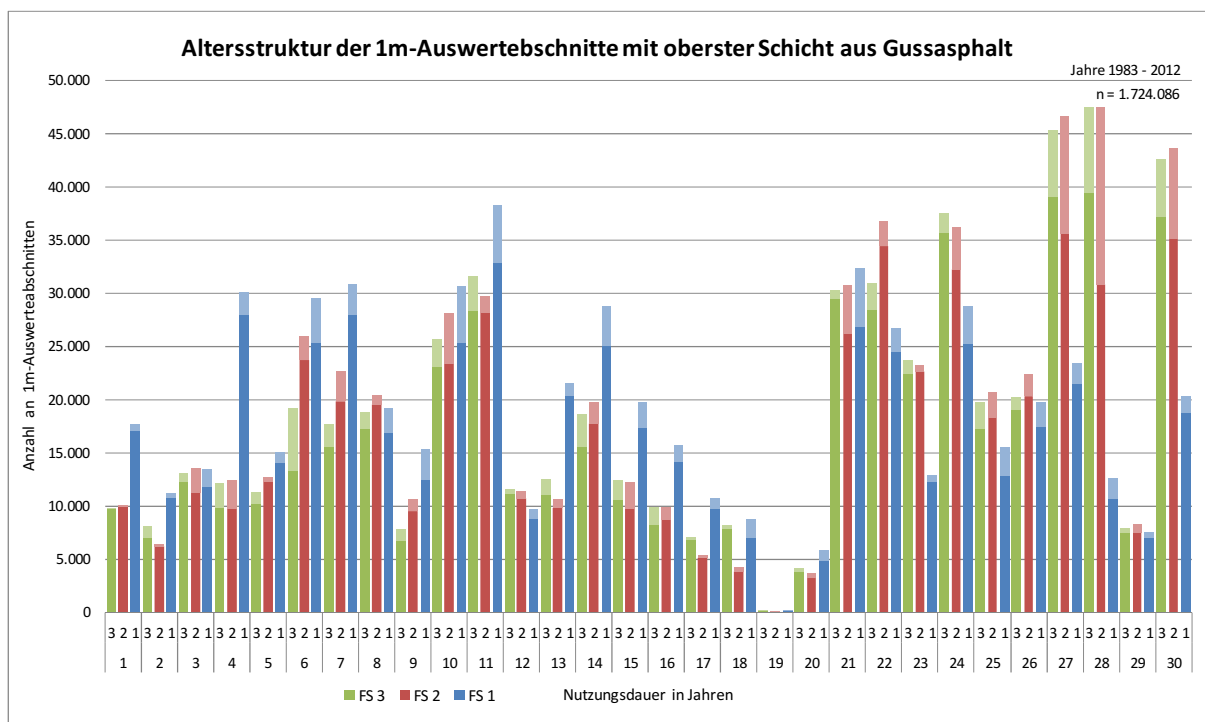


Abbildung 5-16: Altersstruktur der netzweit vorkommenden obersten Schichten aus Gussasphalt

Die einzelnen Säulen in Abbildung 5-16 repräsentieren alle in dem jeweiligen Jahr gebauten 1m-Abschnitte mit einer obersten Schicht aus Gussasphalt, die 2012 noch im Netz vorhanden waren. Der helle obere Bereich der Säulen stellt denjenigen Anteil an 1m-Abschnitten dar, die eine beliebige Art von Schaden der Substanzmerkmale (Oberfläche) aufweisen. Der dunkle Bereich der Säulen repräsentiert den Anteil an 1m-Abschnitten, die keine Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) zeigen. Die Nummerierung von eins bis dreißig entspricht der Nutzungsdauer, die die Abschnitte bis zur Zustandserfassung 2013/2014 aufwiesen. 1m-Auswertebchnitte mit einer Nutzungsdauer von fünf Jahren weisen dementsprechend eine oberste Schicht aus Gussasphalt auf, die 2008 neu eingebaut wurde.

Die Häufigkeitsverteilungen der obersten Schichten aus Gussasphalt nach ihrer Nutzungsdauer bis 30 Jahre und dem Anteil geschädigter und nicht geschädigter Abschnitte in Abbildung 5-16 zeigen deutliche Häufigkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Fahrstreifen. Während bei den Streckenabschnitten mit geringeren Nutzungsdauern der erste Fahrstreifen deutlich höhere Häufigkeiten aufweist, dominieren bei den Fahrstreifen zwei und drei die Kategorien längerer Nutzungsdauern. Markante Einbrüche beim Vorkommen sind nach einer Nutzungsdauer von 9 Jahren, nach 12 und 13 Jahren und nach 15 bis 20 Jahren zu verzeichnen.

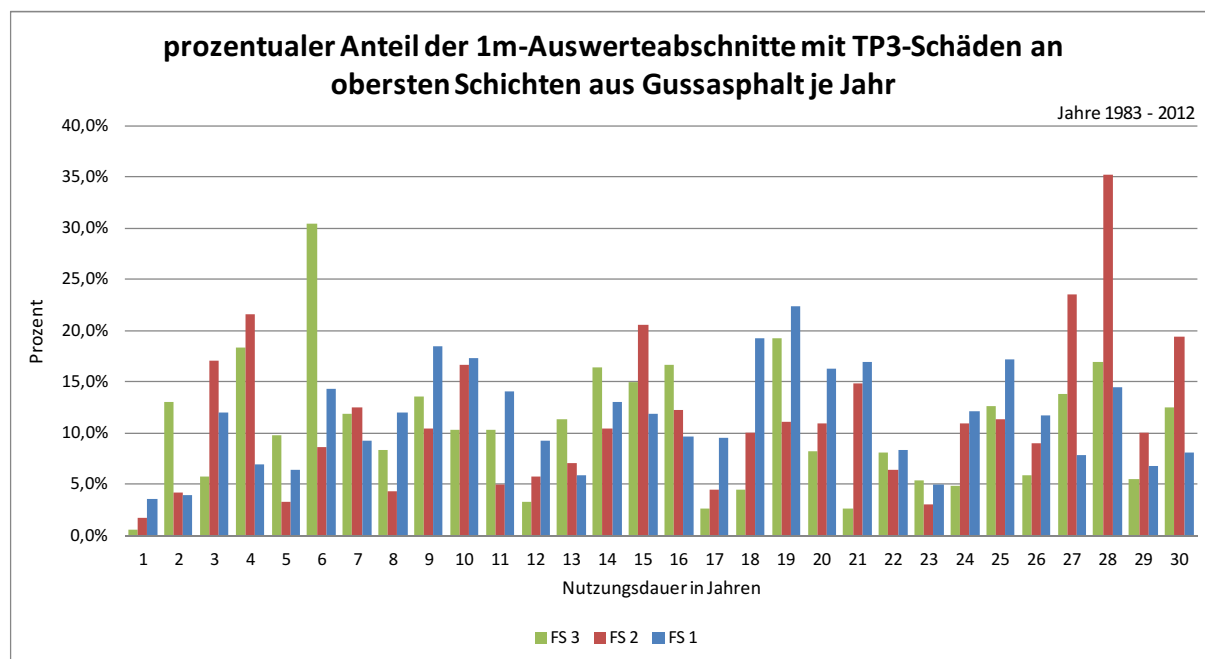


Abbildung 5-17: Prozentualer Anteil der geschädigten 1m-Auswerteabschnitte an allen Abschnitten aus Gussasphalt

Die detaillierte Betrachtung der Schadenshäufigkeiten am gesamten Streckenkontingent je Nutzungsdauer in Abbildung 5-17 zeigt neben einem sinusförmigen Verlauf der Schadensanteile auch Differenzen zwischen den einzelnen Fahrstreifen. Insbesondere bei den Überholfahrstreifen ist eine deutliche Schadenszunahme gerade in den ersten Jahren der Nutzungszeit zu identifizieren. Tiefergehende Analysen haben ergeben, dass speziell Bindemittelanreicherungen und Risse, aber auch offene Arbeitsnähte für diesen rapiden Anstieg verantwortlich sind (Tabelle A1-3, Anhang A1-2-1).

Die oben beschriebenen Graphiken visualisieren lediglich den noch 2012 vorhandenen Netzbestand. Unbekannt ist die tatsächliche Anzahl an Fahrstreifenkilometern, die im jeweiligen Jahr gebaut wurden. Bauphasenschwache Jahre lassen sich ebenso wie Jahre mit schlechter Einbauqualität nicht mehr identifizieren.

Die Analysen zu den fahrstreifenbezogenen Schadenshäufigkeiten der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) weisen bereits auf einen Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastung und Schadenshäufigkeit hin. Die prozentuale Verteilung der TP3-Schäden auf 2-streifigen BAB zeigt eine deutliche Schadenshäufigkeit auf dem Hauptfahrstreifen an. Die Verteilung auf 3-streifigen BAB verdeutlicht eine Dominanz der TP3-Schäden auf dem zweiten Fahrstreifen. Weitergehende Untersuchungen zur Art und zum Alter der obersten Asphaltsschichten auf 3-streifigen BAB haben gezeigt, dass auf dem Hauptfahrstreifen Decksschichten vorhanden sind, deren Nutzungsdauer etwas geringer ausfällt als auf den beiden Überholfahrstreifen. Im Durchschnitt sind hier die obersten Asphaltsschichten 3 bis 4 Jahre jünger als auf den beiden Überholfahrstreifen. Bei einer Differenzierung der obersten Schichten nach Splittmastixasphalt und Gussasphalt wird insbesondere anhand der Darstellung der prozentualen Anteile der 1m-Auswerteabschnitte mit TP3-Schäden deutlich, dass mit voranschreitender Nutzungsdauer die Verkehrsbelastung maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des TP3-Schadens nimmt. Dominierendes Schadensmerkmal der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf allen Fahrstreifen mehrstreifiger Bundesautobahnen stellen die Risse dar, gefolgt von Flickstellen oder offenen Arbeitsnähten je nach Fahrstreifen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Lokalisierung der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) im jeweiligen Fahrstreifen mehrstreifiger Bundesautobahnen sind den nachfolgenden Abbildungen sowie dem Anhang A1-2-1 zu entnehmen. Dargestellt sind für jeden Fahrstreifen getrennt die Lokalisierungen links (L), Mitte (M) und rechts (R) sowie die Aufsummierung der singulären und kombinierten Vorkommen des jeweiligen Einzelmerkmals je Lokalisierung. In den Diagrammen des Anhangs A1-2-1 (Abbildung A1-4 und folgende) zur relativen Darstellung der Häufigkeiten ergibt die Summe der Lokalisierungen im Fahrstreifen je 100,0 %.

In den Diagrammen sind die Fahrstreifen entsprechend ihrer tatsächlichen Anordnung im Fahrbahnquerschnitt abgebildet. Die folgenden Untersuchungen haben insbesondere die Identifizierung möglicher merkmalspezifischer Schadensbilder in Bezug auf das Vorkommen im Fahrstreifen zum Ziel. Darüber hinaus kann anhand der kombinierten Vorkommen, die sich über direkt benachbarte Fahrstreifendrittel erstrecken, die Querausdehnung der Einzelmerkmale untersucht werden.

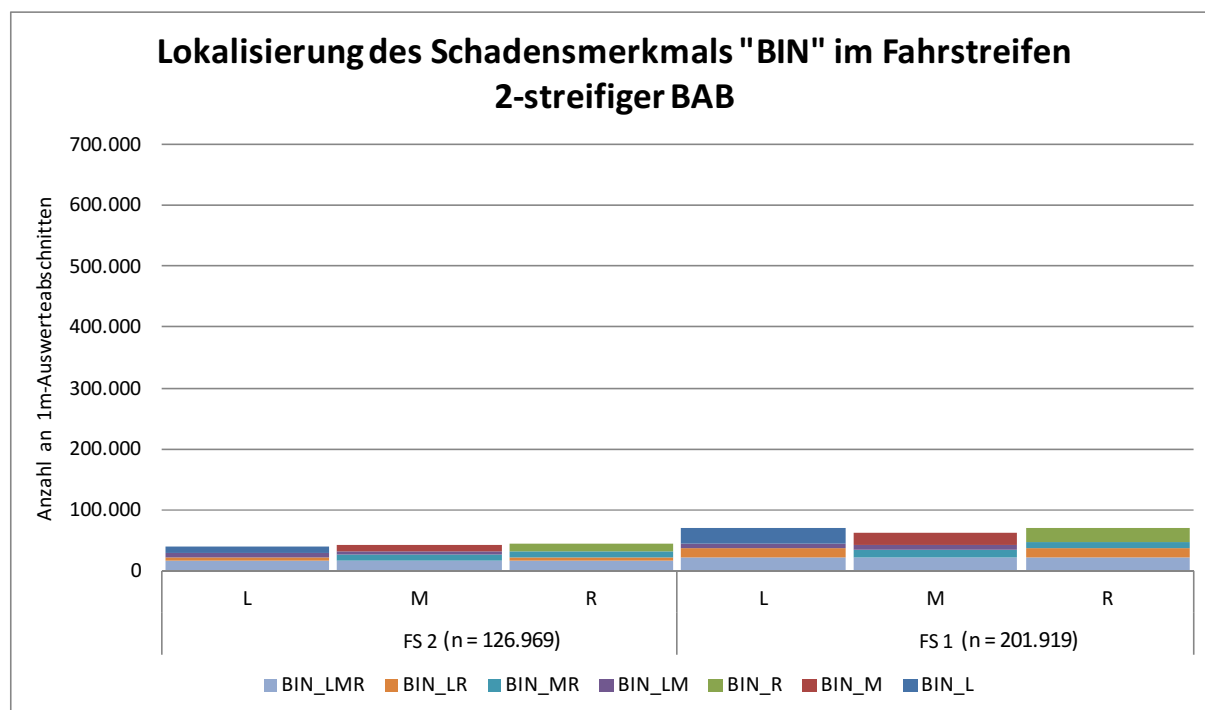


Abbildung 5-18: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ (BIN) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Der Abbildung 5-18 und Abbildung A1-4 (Anhang A1-2-1) ist zu entnehmen, dass die Häufigkeit des Auftretens von Bindemittelanreicherungen über die einzelnen Lokalisierungen im Fahrstreifen 2-streifiger BAB nahezu gleich verteilt ist. Tendenzen hinsichtlich eines vermehrten Vorkommens in den Rollspuren lassen sich im ersten Fahrstreifen anhand der relativen Verteilungen erkennen. Unterschiede bezüglich der Häufigkeit sind zwischen Fahrstreifen eins und zwei festzustellen. Nach einer getrennten Betrachtung der einzelnen Lokalisierungskombinationen kommen Bindemittelanreicherungen mit 12,5 % am häufigsten singulär im linken Fahrstreifendrittel des ersten Fahrstreifens vor (BIN_L) (Tabelle A1-4, Anhang A1-2-1). Im zweiten Fahrstreifen treten sie mit 13,7 % am häufigsten über die gesamte Fahrstreifenbreite auf (BIN_LMR). Der Tabelle A1-4 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Bindemittelanreicherungen mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 20,6 % auf dem ersten Fahrstreifen und 25,8 % auf dem zweiten Fahrstreifen eine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen.

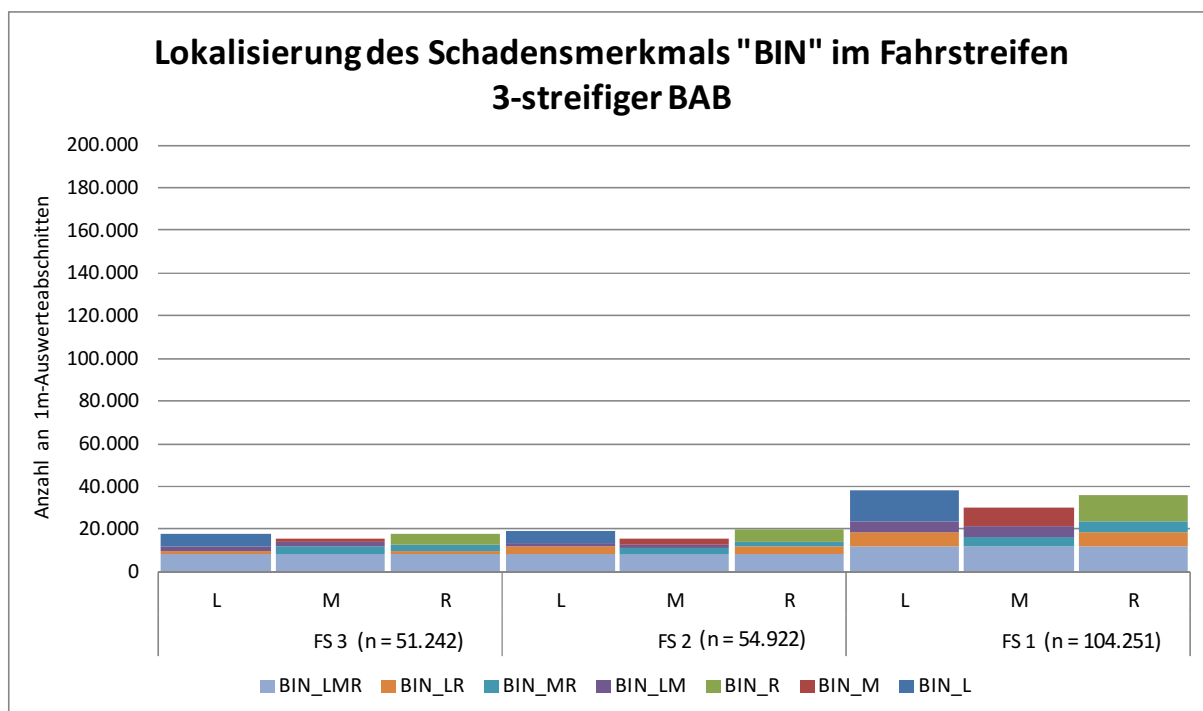


Abbildung 5-19: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ (BIN) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Nach Abbildung 5-19 und Abbildung A1-5 (Anhang A1-2-1) treten Bindemittelanreicherungen tendenziell häufiger in den linken und rechten Fahrstreifendritteln 3-streifiger BAB auf. Unter Betrachtung der einzelnen Lokalisierungskombinationen kommen Bindemittelanreicherungen im ersten Fahrstreifen am häufigsten singularär im linken Fahrstreifendrittel mit 14,1 % vor (Tabelle A1-5, Anhang A1-2-1). Auf dem zweiten und dritten Fahrstreifen tritt das Einzelmerkmal über die gesamte Fahrstreifenbreite mit 14,8 % und 16,7 % auf. Der Tabelle A1-5 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Bindemittelanreicherungen mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 20,5 % auf dem ersten Fahrstreifen, von 23,3 % auf dem zweiten Fahrstreifen und 27,2 % auf dem dritten Fahrstreifen eine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendritteln aufweisen.

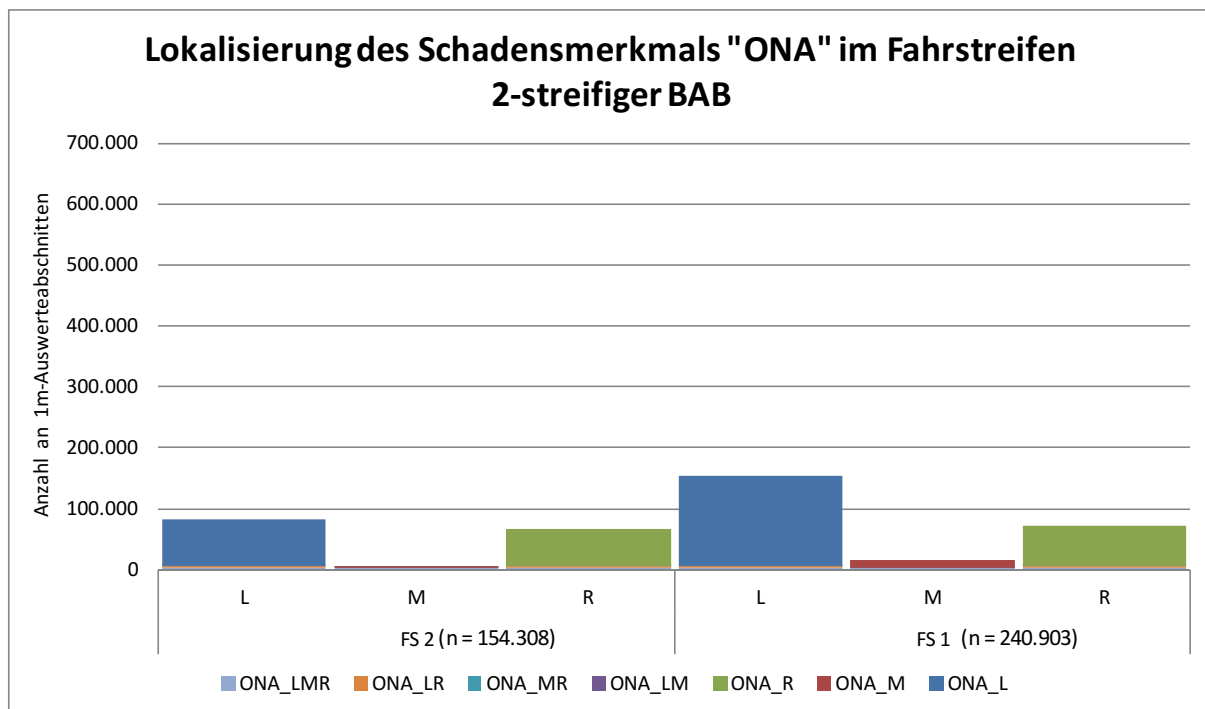


Abbildung 5-20: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ (ONA) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Abbildung 5-20 und Abbildung A1-6 (Anhang A1-2-1) zeigen deutlich, dass offene Arbeitsnähte auf 2-streifigen BAB entweder im linken oder rechten Fahrstreifendrittel auftreten. Bei der Betrachtung der einzelnen Lokalisierungskombinationen treten offene Arbeitsnähte nach Tabelle A1-6 (Anhang A1-2-1) im ersten Fahrstreifen am häufigsten singulär im linken Fahrstreifendrittel mit 60,8 % auf. Auch auf dem zweiten Fahrstreifen dominieren sie den linken Bereich des Fahrstreifens mit 49,7 %. Anhand der Tabelle A1-6 wird ebenfalls deutlich, dass offene Arbeitsnähte keine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen. Ein gleichzeitiges Vorkommen offener Arbeitsnähte in benachbarten Fahrstreifendritteln ist entweder auf eine nachträgliche Arbeitsnaht infolge einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme oder auf eine offene Arbeitsnaht einer Flickstelle zurückzuführen.

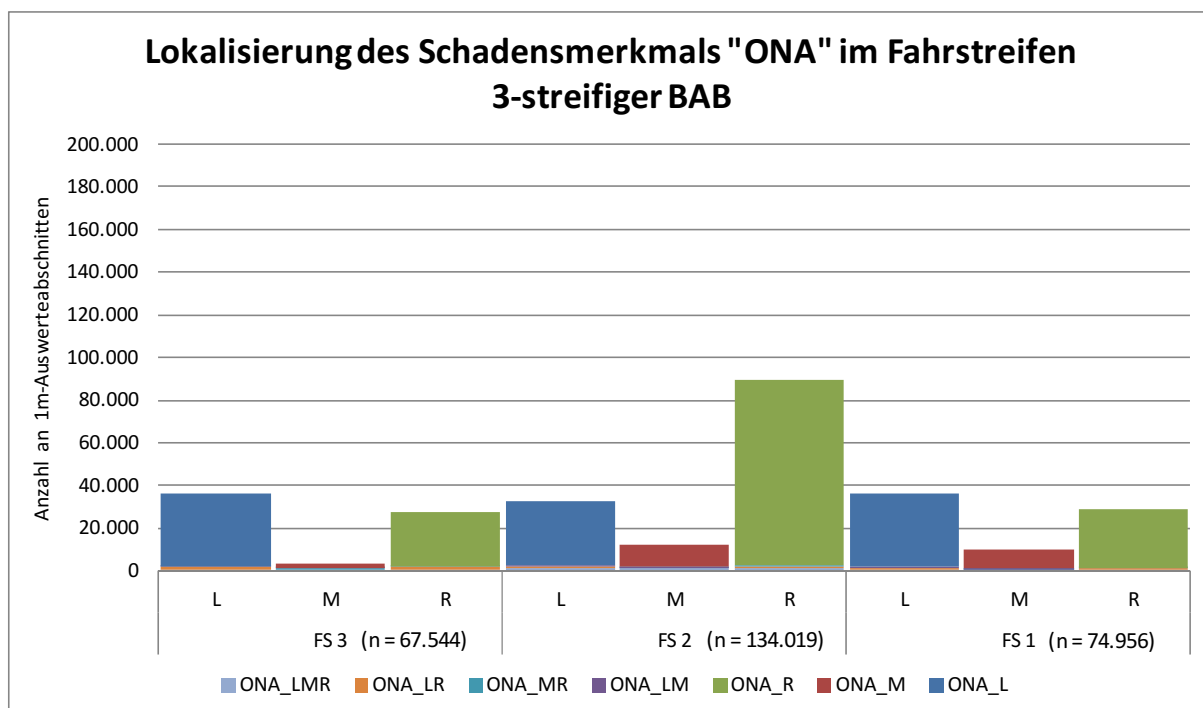


Abbildung 5-21: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ (ONA) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Nach der Darstellung des Vorkommens offener Arbeitsnähte im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB in Abbildung 5-21 und Abbildung A1-7 (Anhang A1-2-1) tritt das Schadensmerkmal fast ausschließlich singulär entweder im linken oder rechten Bereich der Fahrstreifen auf. Nach Tabelle A1-7 (Anhang A1-2-1) dominiert das singuläre Auftreten sowohl auf dem ersten als auch auf dem dritten Fahrstreifen im linken Fahrstreifendrittel mit 46,4 % und 50,1 %. Auf dem zweiten Fahrstreifen kommen offene Arbeitsnähte am häufigsten mit 64,6 % singulär im rechten Bereich vor. Anhand der Tabelle A1-7 wird ebenfalls deutlich, dass offene Arbeitsnähte keine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen. Ein gleichzeitiges Vorkommen offener Arbeitsnähte in benachbarten Fahrstreifendritteln ist entweder auf eine nachträgliche Arbeitsnaht infolge einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme oder auf eine offene Arbeitsnaht einer Flickstelle zurückzuführen.

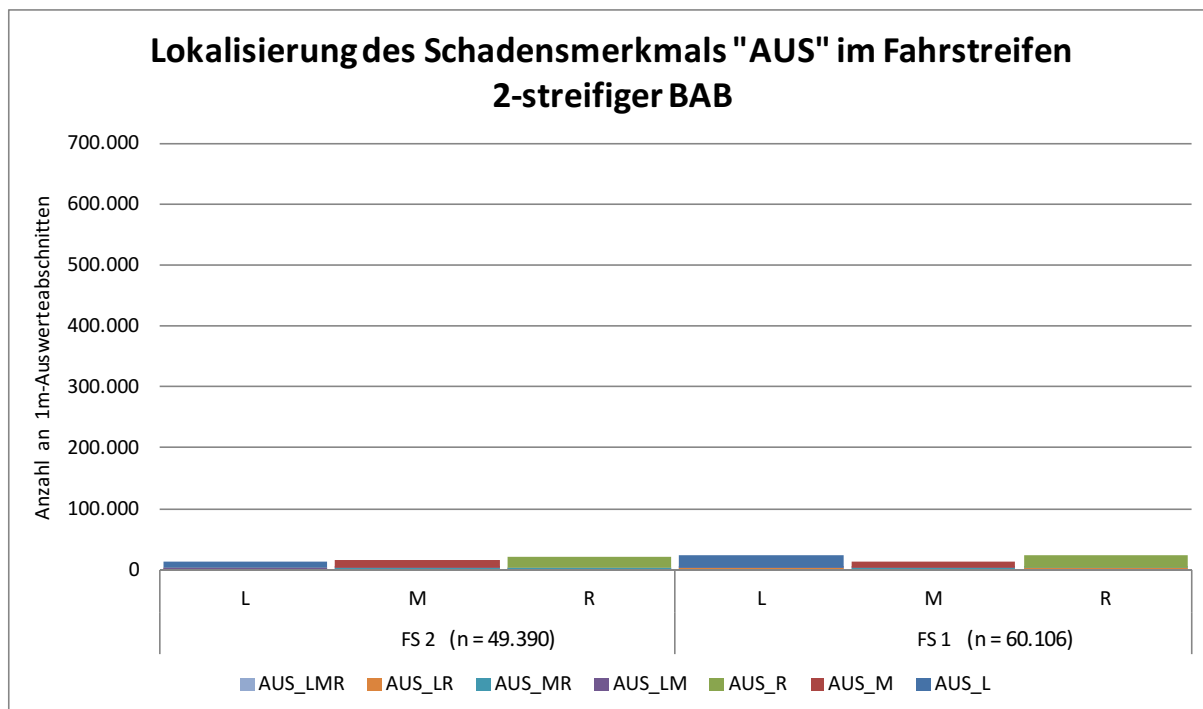


Abbildung 5-22: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ (AUS) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Das Schadensmerkmal „Ausbrüche“ kommt nach Abbildung 5-22 und Abbildung A1-8 (Anhang A1-2-1) auf dem ersten Fahrstreifen 2-streifiger BAB am häufigsten in der Summe rechts mit 40,7 % gefolgt von links mit 37,8 % vor. Im zweiten Fahrstreifen dominieren Ausbrüche in der Summe mit 41,2 % ebenfalls den rechten Bereich des Fahrstreifens. Unter Betrachtung der einzelnen Lokalisierungskombinationen tritt das Schadensmerkmal auf dem ersten und zweiten Fahrstreifen am häufigsten singularär mit 33,5 % und 33,9 % im rechten Fahrstreifendrittel auf (Tabelle A1-8, Anhang A1-2-1). Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit zwischen den einzelnen Fahrstreifen 2-streifiger BAB sind nur marginal vorhanden. Der Tabelle A1-8 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Ausbrüche mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 5,6 % auf dem ersten Fahrstreifen und 8,3 % auf dem zweiten Fahrstreifen eine grundsätzlich sehr geringe Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen.

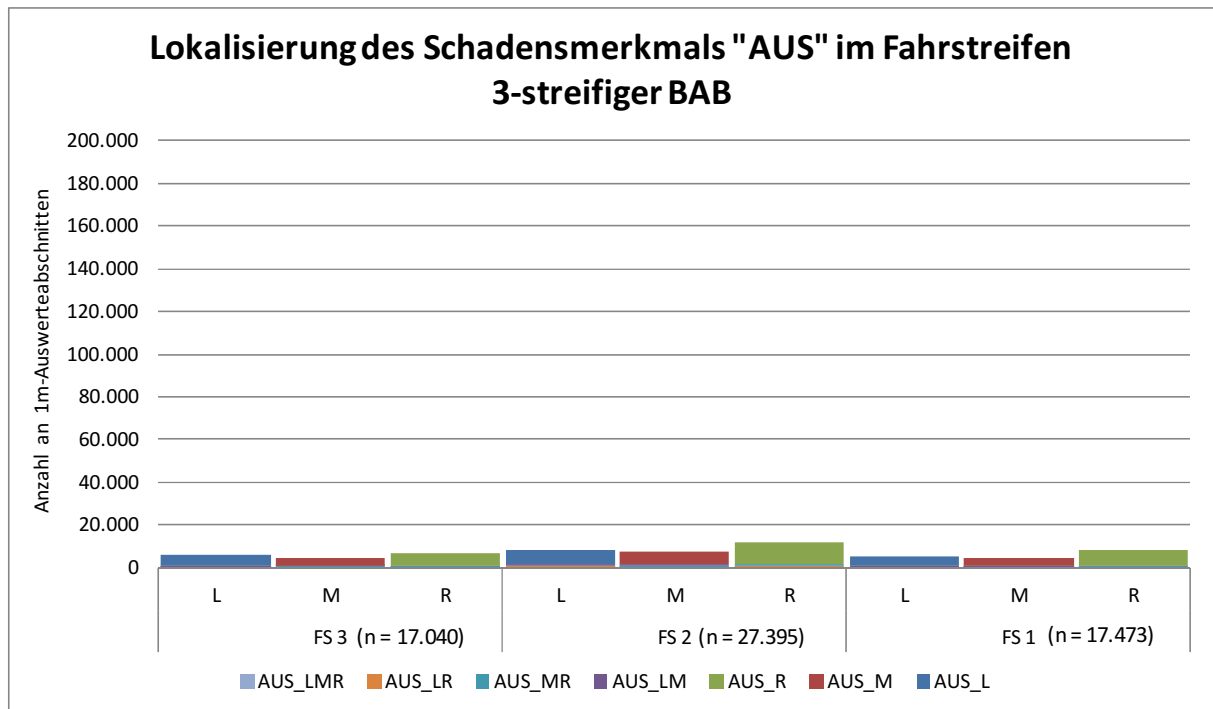


Abbildung 5-23: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ (AUS) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Der Abbildung 5-23 und Abbildung A1-9 (Anhang A1-2-1) ist zu entnehmen, dass das Schadensmerkmal „Ausbrüche“ in allen Fahrstreifen 3-streifiger BAB am häufigsten im rechten Fahrstreifenbereich auftritt. In der Summe liegt hier ihr Anteil auf dem ersten Fahrstreifen bei 45,9 %, auf dem zweiten Fahrstreifen bei 42,9 % und auf dem dritten Fahrstreifen bei 39,2 %. Differenziert nach den einzelnen Lokalisierungskombinationen lässt sich auch die Dominanz des singulären Auftretens des Schadensmerkmals im rechten Fahrstreifendrittel mit 42,1 % auf dem ersten, mit 38,0 % auf dem zweiten und mit 33,9 % auf dem dritten Fahrstreifen feststellen (Tabelle A1-9, Anhang A1-2-1). Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Häufigkeiten zwischen den einzelnen Fahrstreifen ist auffällig, dass AUS am häufigsten im zweiten Fahrstreifen vorkommen. Der Tabelle A1-9 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Ausbrüche mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 4,0 % auf dem ersten Fahrstreifen, von 5,7 % auf dem zweiten Fahrstreifen und 6,1 % auf dem dritten Fahrstreifen eine grundsätzlich sehr geringe Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen.

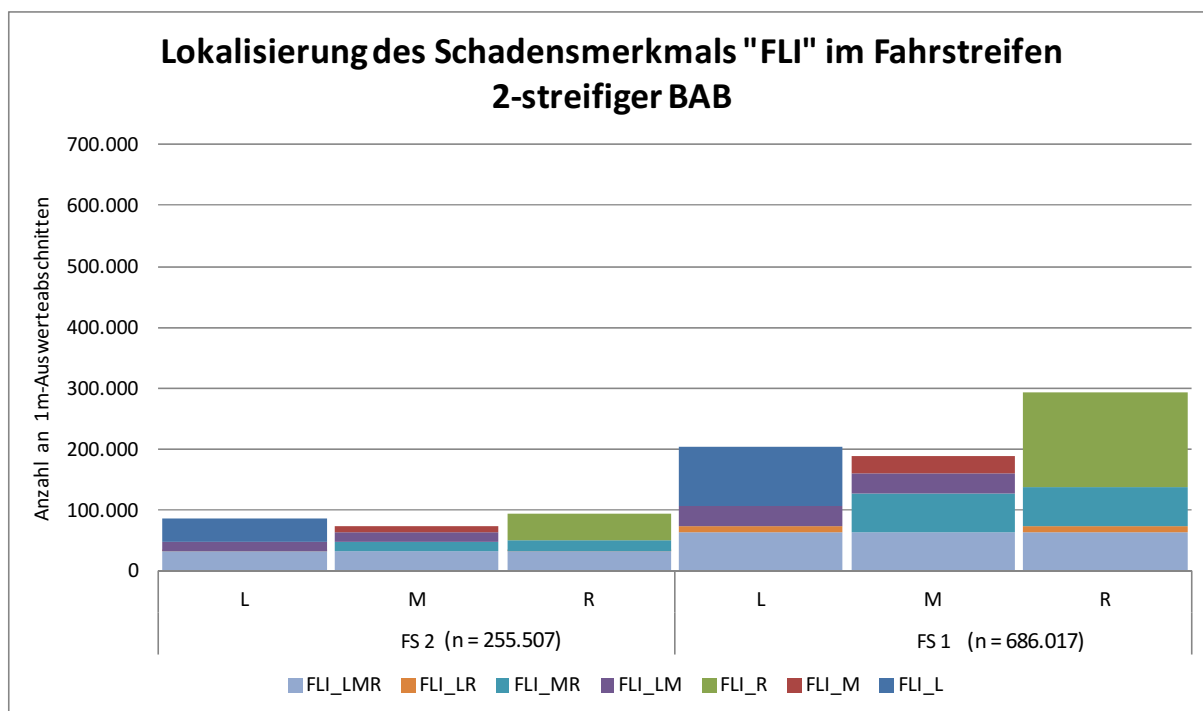


Abbildung 5-24: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ (FLI) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Schadenshäufigkeit des Einzelmerkmals „Flickstellen“ auf 2-streifigen BAB zeigt hinsichtlich des Vorkommens in den einzelnen Fahrstreifen deutliche Tendenzen zum rechten Bereich (Abbildung 5-24). So kommen Flickstellen sowohl im ersten als auch im zweiten Fahrstreifen in der Summe am häufigsten im rechten Fahrstreifendrittel mit 42,7 % und 36,8 % vor (Abbildung A1-10, Anhang A1-2-1). Nach Auswertung der einzelnen Lokalisierungskombinationen tritt das Schadensmerkmal am häufigsten singular jeweils im rechten Fahrstreifendrittel mit 22,8 % auf dem ersten und mit 17,0 % auf dem zweiten Fahrstreifen auf (Tabelle A1-10, Anhang A1-2-1). Insbesondere auf dem zweiten Fahrstreifen ist ein evidenter Anteil an Flickstellen, die sich über die gesamte Fahrstreifenbreite erstrecken, von 12,5 % zu verzeichnen. Der Tabelle A1-10 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Flickstellen mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 23,6 % auf dem ersten Fahrstreifen und 25,0 % auf dem zweiten Fahrstreifen eine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen.

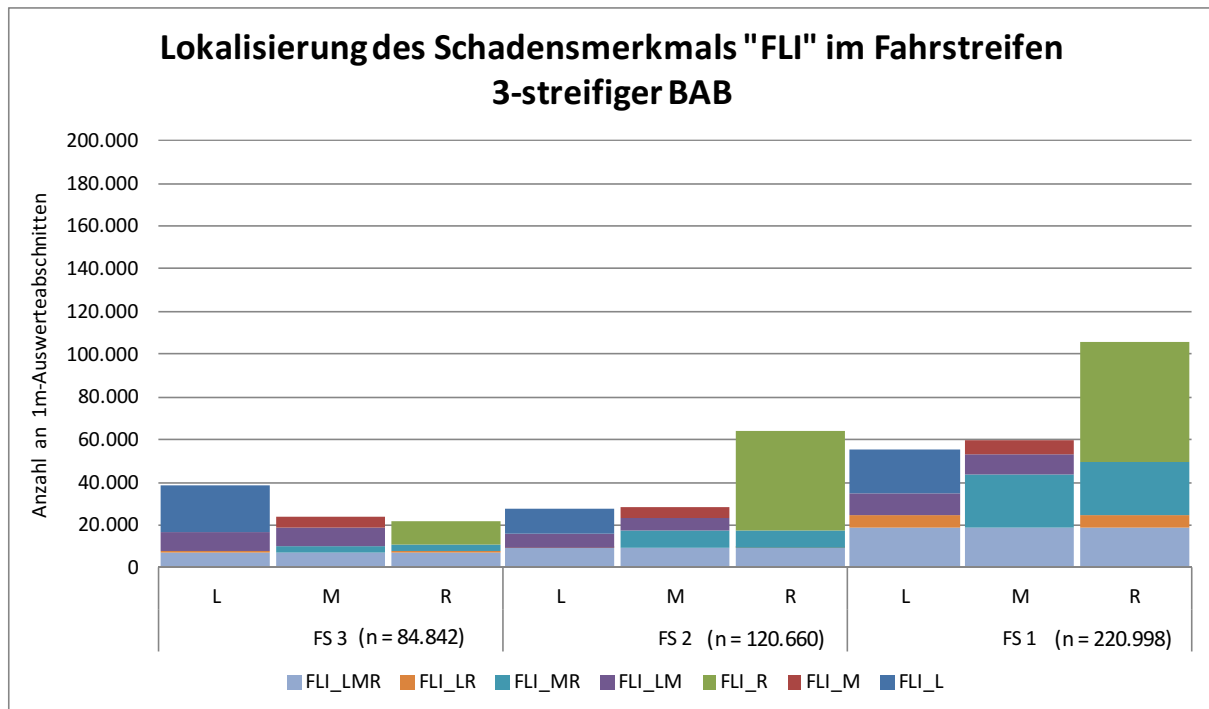


Abbildung 5-25: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ (FLI) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Während nach Abbildung 5-25 und Abbildung A1-11 (Anhang A1-2-1) auf dem ersten und zweiten Fahrstreifen 3-streifiger BAB das Schadensmerkmal „Flickstellen“ in der Summe jeweils deutlich den rechten Fahrstreifenbereich mit 47,8 % und 53,4 % dominiert, kommt es auf dem dritten Fahrstreifen im linken Bereich mit 45,8 % am häufigsten vor. Differenziert nach den einzelnen Lokalisierungskombinationen wird deutlich, dass Flickstellen ausnahmslos am häufigsten singular in den jeweiligen Fahrstreifen auftreten (Tabelle A1-11, Anhang A1-2-1). So nehmen sie auf dem ersten und zweiten Fahrstreifen mit 25,2 % und 38,7 % den rechten Bereich ein. Auf dem dritten Fahrstreifen kommen Flickstellen im linken Fahrstreifendrittel mit 25,8 % am häufigsten vor. Der Tabelle A1-11 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Flickstellen mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 24,1 % auf dem ersten Fahrstreifen, von 19,5 % auf dem zweiten Fahrstreifen und 22,5 % auf dem dritten Fahrstreifen eine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen.

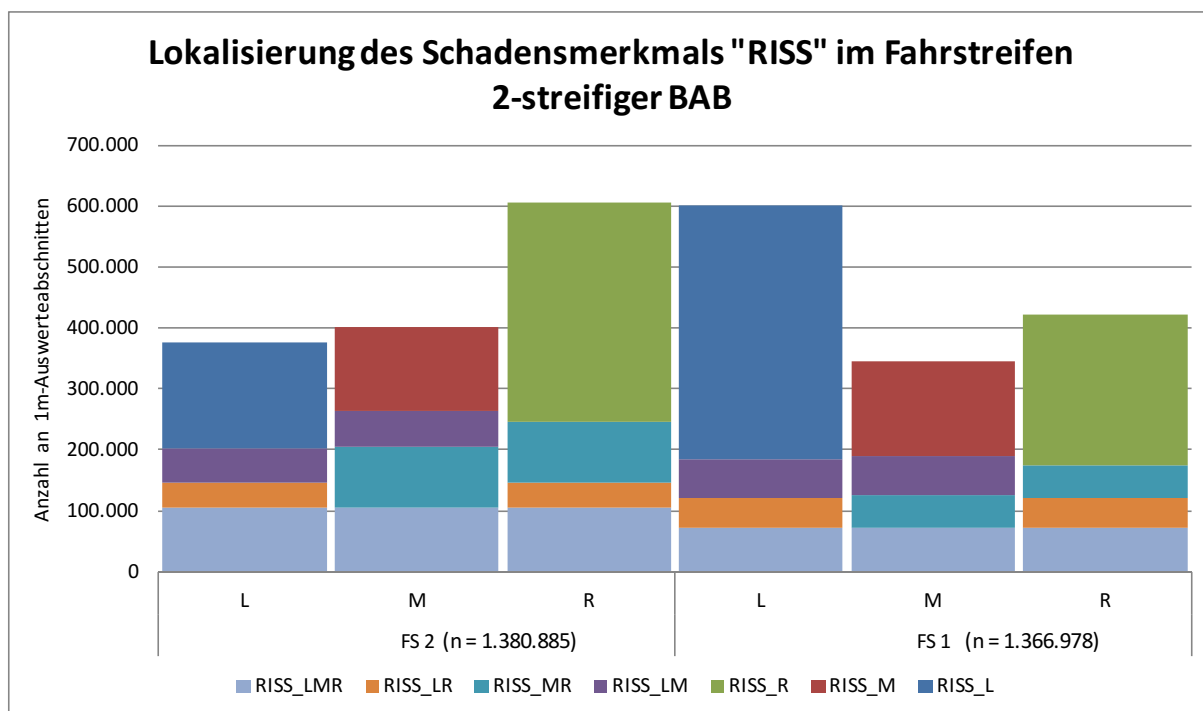


Abbildung 5-26: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ (RISS) je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Der Abbildung 5-26 und Abbildung A1-12 (Anhang A1-2-1) ist zu entnehmen, dass das Schadensmerkmal „Risse“ deutlich vermehrt im angrenzenden Bereich zwischen den beiden Fahrstreifen 2-streifiger BAB vorkommt. So treten Risse im ersten Fahrstreifen in der Summe am häufigsten links mit 43,9 % und im zweiten Fahrstreifen rechts mit 43,8 % auf. Unter Betrachtung der einzelnen Lokalisierungskombinationen ist festzustellen, dass das Einzelmerkmal im ersten Fahrstreifen am häufigsten singulär mit einem Anteil von 30,3% im linken Fahrstreifendrittel vorkommt (Tabelle A1-12, Anhang A1-2-1). Im zweiten Fahrstreifen dominieren die Risse im Einzelvorkommen den rechten Fahrstreifenbereich mit 26,0 %. Der Tabelle A1-12 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Risse mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 14,0 % auf dem ersten Fahrstreifen und 19,1 % auf dem zweiten Fahrstreifen eine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen.

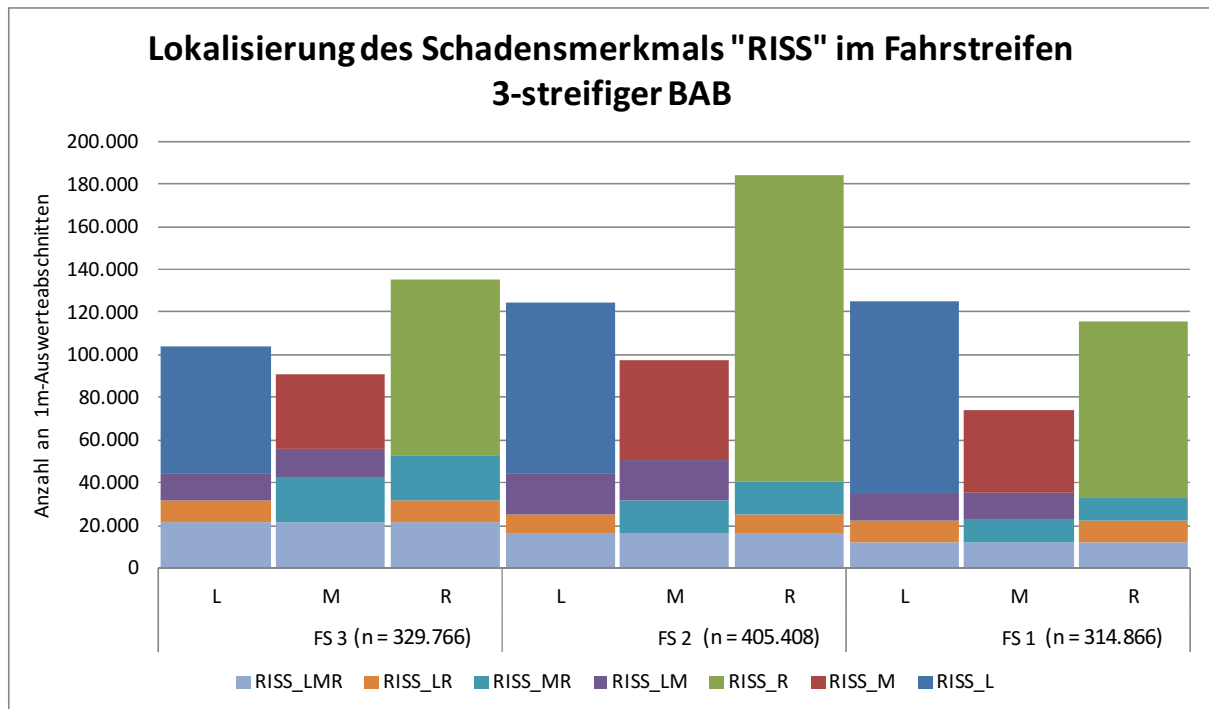


Abbildung 5-27: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ (RISS) je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Während auf 3-streifigen BAB Risse in der Summe tendenziell häufiger im linken Fahrstreifenbereich des ersten Fahrstreifens mit 39,7 % vorkommen, dominieren sie auf dem zweiten und dritten Fahrstreifen den rechten Fahrstreifenbereich mit insgesamt 45,4 % und 41,1 % (Abbildung 5-27 und Abbildung A1-13, Anhang A1-2-1). Differenziert nach den einzelnen Lokalisierungskombinationen treten Risse auf allen drei Fahrstreifen am häufigsten singulär auf (Tabelle A1-13, Anhang A1-2-1). So dominieren sie auf dem ersten Fahrstreifen das linke Fahrstreifendrittel mit 28,7 %. Auf dem zweiten und dritten Fahrstreifen kommen Risse im rechten Fahrstreifenbereich mit 35,3 % und 24,9 % am häufigsten vor. Der Tabelle A1-13 ist ebenfalls zu entnehmen, dass Risse mit prozentualen Anteilen an ihrem Gesamtvorkommen je Fahrstreifen von 11,2 % auf dem ersten Fahrstreifen, von 12,5 % auf dem zweiten Fahrstreifen und 16,9 % auf dem dritten Fahrstreifen eine Querausdehnung über mindestens zwei Fahrstreifendrittel aufweisen.

Für eine spätere Interpretation der Ergebnisse zu den Lokalisierungen der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) im Fahrstreifen wurden die Querneigungen der Fahrbahnen getrennt nach den einzelnen Fahrstreifen und für die unterschiedlichen Stationierungsrichtungen 2- und 3-streifiger BAB ausgewertet. Diese Auswertungen ergaben, dass mit Ausnahme von Linkskurven alle Fahrstreifen zur Berücksichtigung der Entwässerung nach den Vorgaben zur Straßenflächengestaltung (RAA 2008, FGSV 2008) eine überwiegende Neigung von 2,0 % bis 3,5 % zum rechtsseitigen Fahrbahnrand in Fahrtrichtung aufweisen. Die Ergebnisse sind der Abbildung A1-14 bis Abbildung A1-17 (Anhang A1-2-1) zu entnehmen.

5.2.3 Statistische Zusammenhangsanalyse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Zur detaillierteren Untersuchung der räumlichen Schadensausdehnung der Einzelmerkmale wird nachfolgend die Existenz eines statistischen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Lokalisierungen eines Schadensmerkmals im Fahrstreifen anhand des Korrelationskoeffi-

zienten ausgewertet. Dieser Test soll statistisch nachweisen, ob es Schadensmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) gibt, die bei ihrem Auftreten ein immer gleiches räumliches Muster aufweisen – also beispielweise, ob Risse häufig gleichzeitig im linken und rechten Fahrstreifendrittel, folglich im Bereich der Rollspuren, auftreten. Für die statistische Analyse wurde die Rangkorrelation nach Spearman ausgewählt, da die zu untersuchenden Variablen dichotom vorliegen, also nur über zwei Ausprägungen, nämlich Schaden vorhanden oder nicht vorhanden, verfügen. Je höher die Werte des Korrelationskoeffizienten ausfallen, desto höher ist der statistische Zusammenhang. In Bezug auf die Lokalisierungen der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) im Fahrstreifen bedeuten hohe Werte des Korrelationskoeffizienten, dass das Einzelmerkmal besonders häufig in den entsprechenden Fahrstreifendritteln gleichzeitig auftritt.

Die detaillierten Ergebnisse zu den Rangkorrelationen nach Spearman sind in Tabelle A1-14 und Tabelle A1-15 (Anhang A1-2-2) getrennt für 2- und 3-streifige BAB dargestellt. Alle berechneten Rangkorrelationen liegen im gültigen Wertebereich für den Korrelationskoeffizienten mit $-1 \leq r_{SP} \leq 1$.

In der nachfolgenden Tabelle 5-1 sind die Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) 2-streifiger BAB differenziert nach ihren jeweiligen Lokalisierungen im Fahrstreifen den entsprechenden r_{SP} -Werten gemäß den Wertebereichen des Korrelationskoeffizienten (siehe Tabelle A1-1, Anhang A1-1) zugeordnet.

Fahrstreifen 1	
<i>Werte des Korrelationskoeffizienten r_{SP}</i>	<i>Lokalisierungskombinationen</i>
$0,0 < r_{SP} \leq 0,2$	ONA_L+M, ONA_M+R, ONA_L+R, AUS_L+M, AUS_M+R, AUS_L+R, RISS_L+M, RISS_M+R, RISS_L+R
$0,2 < r_{SP} \leq 0,5$	BIN_L+M, BIN_M+R, FLI_L+M, FLI_M+R
$0,5 < r_{SP} \leq 0,7$	BIN_L+R, FLI_L+R
$0,7 < r_{SP} \leq 0,9$	
$0,9 < r_{SP} \leq 1,0$	
Fahrstreifen 2	
<i>Werte des Korrelationskoeffizienten r_{SP}</i>	<i>Lokalisierungskombinationen</i>
$0,0 < r_{SP} \leq 0,2$	ONA_L+M, ONA_M+R, ONA_L+R, AUS_L+M, AUS_M+R, AUS_L+R, RISS_L+M, RISS_M+R, RISS_L+R
$0,2 < r_{SP} \leq 0,5$	FLI_L+R
$0,5 < r_{SP} \leq 0,7$	BIN_L+M, BIN_M+R, BIN_L+R, FLI_L+M, FLI_M+R
$0,7 < r_{SP} \leq 0,9$	
$0,9 < r_{SP} \leq 1,0$	

Tabelle 5-1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Rangkorrelationen je Lokalisierungskombination der TP3-Einzelmerkmale auf 2-streifigen BAB

Der obigen Tabelle 5-1 ist zu entnehmen, dass alle Kombinationen der Lokalisierungen im Fahrstreifen der TP3-Merkmale „ONA“, „AUS“ und „RISS“ des ersten Fahrstreifens 2-streifiger BAB sehr geringe Korrelationskoeffizienten aufweisen, die auf keinen statistischen Zusammenhang hindeuten. Ein schwacher Zusammenhang kann aufgrund einer geringen Korrelation zwischen dem linken und mittleren sowie dem mittleren und rechten Fahrstreifendrittel sowohl für das Schadensmerkmal „BIN“ als auch für das Merkmal „FLI“ aufgezeigt werden. Die Werte des Korrelationskoeffizienten für die Kombination aus linkem und rechtem Fahrstreifendrittel der TP3-Merkmale „BIN“ und „FLI“ weisen eine mittlere Korrelation aus und deuten damit auf einen Zusammenhang hin. Zwischen den einzelnen Lokalisierungen der Schadensmerkmale „ONA“, „AUS“ und „RISS“ auf dem zweiten Fahrstreifen besteht kein statistischer Zusammenhang, da lediglich eine sehr geringe Korrelation vorliegt. Zwischen dem Vorkommen von „FLI“ im linken und rechten Fahrstreifendrittel ist eine geringe Korrelation und damit ein schwacher Zusammenhang nachzuweisen. Ein gewisser Zusammenhang zwischen den einzelnen Lokalisierungen des Einzelmerkmals „BIN“ sowie dem mittleren und linken und mittleren und rechten Fahrstreifendrittel des Merkmals „FLI“ kann aus der vorliegenden mittleren Korrelation abgeleitet werden.

In der nachfolgenden Tabelle 5-2 sind für 3-streifige BAB die einzelnen Lokalisierungskombinationen der jeweiligen TP3-Schadensmerkmale ihren r_{SP} -Werten entsprechend den Wertebereichen des Korrelationskoeffizienten (siehe Tabelle A1-1, Anhang A1-1) zugeordnet.

Fahrstreifen 1	
<i>Werte des Korrelationskoeffizienten r_{SP}</i>	<i>Lokalisierungskombinationen</i>
$0,0 < r_{SP} \leq 0,2$	ONA_L+M, ONA_M+R, ONA_L+R, AUS_L+M, AUS_M+R, AUS_L+R, FLI_L+R, RISS_L+M, RISS_M+R, RISS_L+R
$0,2 < r_{SP} \leq 0,5$	BIN_L+M, BIN_M+R, BIN_L+R, FLI_L+M, FLI_M+R
$0,5 < r_{SP} \leq 0,7$	
$0,7 < r_{SP} \leq 0,9$	
$0,9 < r_{SP} \leq 1,0$	
Fahrstreifen 2	
<i>Werte des Korrelationskoeffizienten r_{SP}</i>	<i>Lokalisierungskombinationen</i>
$0,0 < r_{SP} \leq 0,2$	ONA_L+M, ONA_M+R, ONA_L+R, AUS_L+M, AUS_M+R, AUS_L+R, FLI_L+R, RISS_L+M, RISS_M+R, RISS_L+R
$0,2 < r_{SP} \leq 0,5$	FLI_M+R
$0,5 < r_{SP} \leq 0,7$	BIN_L+M, BIN_M+R, BIN_L+R, FLI_L+M
$0,7 < r_{SP} \leq 0,9$	
$0,9 < r_{SP} \leq 1,0$	

Fahrstreifen 3	
<i>Werte des Korrelationskoeffizienten r_{SP}</i>	<i>Lokalisierungskombinationen</i>
$0,0 < r_{SP} \leq 0,2$	ONA_L+M, ONA_M+R, ONA_L+R, AUS_L+M, AUS_M+R, AUS_L+R, RISS_L+M, RISS_M+R, RISS_L+R
$0,2 < r_{SP} \leq 0,5$	FLI_L+M, FLI_M+R, FLI_L+R
$0,5 < r_{SP} \leq 0,7$	BIN_L+M, BIN_M+R, BIN_L+R
$0,7 < r_{SP} \leq 0,9$	
$0,9 < r_{SP} \leq 1,0$	

Tabelle 5-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Rangkorrelationen je Lokalisierungskombination der TP3-Einzelmerkmale auf 3-streifigen BAB

Der voranstehenden Tabelle 5-2 ist zu entnehmen, dass alle Lokalisierungskombinationen der TP3-Merkmale „ONA“, „AUS“ und „RISS“ über alle drei Fahrstreifen der 3-streifigen BAB hinweg sehr geringe Korrelationen aufweisen, die keinen statistischen Zusammenhang erkennen lassen. Die Kombination zwischen linkem und rechtem Fahrstreifendrittel des Schadensmerkmals „FLI“ zeigt auf dem ersten Fahrstreifen ebenfalls einen sehr geringen Korrelationskoeffizienten und somit keinen statistisch nachweisbaren Zusammenhang. Die einzelnen Kombinationen zwischen den Lokalisierungen des Schadensmerkmals „BIN“ sowie die Kombinationen zwischen linkem und mittlerem und mittlerem und rechtem Fahrstreifendrittel des Merkmals „FLI“ weisen geringe Korrelationen auf, die einen schwachen Zusammenhang anzeigen. Auch auf dem zweiten Fahrstreifen besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen dem linken und rechten Fahrstreifendrittel des Schadensmerkmals „FLI“, was die sehr niedrigen Werte des Korrelationskoeffizienten zeigen. Die Kombination zwischen dem mittleren und rechten Fahrstreifendrittel des Einzelmerkmals „FLI“ weist hier eine geringe Korrelation auf, was auf einen schwachen Zusammenhang hindeutet. Ein Zusammenhang zwischen den einzelnen Lokalisierungskombinationen des Schadensmerkmals „BIN“ sowie zwischen dem mittleren und linken Fahrstreifendrittel des TP3-Merkmals „FLI“ kann anhand einer mittleren Korrelation nachgewiesen werden. Alle Lokalisierungskombinationen des Einzelmerkmals „FLI“ zeigen auf dem dritten Fahrstreifen geringe Korrelationen, die auf einen schwachen Zusammenhang schließen lassen. Das Schadensmerkmal „BIN“ weist hier zwischen den einzelnen Lokalisierungen mittlere Korrelationen auf, die einen statistischen Zusammenhang belegen.

5.2.4 Räumliches Schadensausmaß der Einzelmerkmale des TP3 im Fahrstreifen

Zur ganzheitlichen Beurteilung des räumlichen Schadensausmaßes der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) und zur Untersuchung etwaiger merkmalspezifischer Unterschiede zwischen den einzelnen Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen werden die Einzelmerkmale getrennt nach den Fahrstreifen 2- und 3-streifiger BAB auf ihre Schadensausdehnung in Längs- und Querrichtung hin analysiert. Für die Identifikation als zusammenhängende Ausdehnung gilt das Vorhandensein desselben Merkmals in unmittelbar angrenzenden Rasterfeldern. Für die Berechnung der Längsausdehnung wurden alle direkt benachbarten 1m-Auswerteabschnitte in Längsrichtung zusammengezählt, die dasselbe Einzelmerkmal beinhalten. Die Querausdehnung der Einzelmerkmale wurde bereits mit der Be-

stimmung der Lokalisierungen bzw. Lokalisierungskombinationen des Einzelmerkmals im Fahrstreifen (siehe Kapitel 5.2.2) bestimmt.

Die Ergebnisse sind den Abbildungen und Tabellen des Anhangs A1-2-3 zu entnehmen. In den Diagrammen sind die jeweiligen Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen nach ihren relativen Häufigkeiten des Vorkommens den entsprechenden Summen der von der Schadensausdehnung betroffenen 1m-Auswerteabschnitte in Längsrichtung zugeordnet abgebildet. Die Prozentangaben in den Tabellen geben den Anteil an allen Längsausdehnungen der jeweiligen Lokalisierung im Fahrstreifen wieder, die eine Ausdehnung von 10 m nicht überschreiten.

Die Auswertungen zum Einzelmerkmal „Bindemittelanreicherungen“ zeigen, dass rund 80,0 % aller Vorkommen im Fahrstreifen eine maximale Längsausdehnung von zehn 1m-Abschnitten aufweisen (Tabelle A1-16 und Tabelle A1-17, Anhang A1-2-3). Zwischen den jeweiligen Einzelvorkommen und Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen sind keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Schadensausdehnung festzustellen (Abbildung A1-18 und Abbildung A1-19, Anhang A1-2-3). Tendenziell weisen die Lokalisierungskombinationen gegenüber den Einzelvorkommen im Fahrstreifen einen höheren Anteil am jeweiligen Gesamtvorkommen bei den kürzeren Längsausdehnungen (1 m bis 2 m) auf. Einen Ausreißer stellt das Vorkommen von Bindemittelanreicherungen im mittleren Fahrstreifendrittel des ersten Fahrstreifens 3-streifiger BAB dar, wo der prozentuale Anteil der Längsausdehnung über einen 1m-Abschnitt deutlich höher liegt. Auf 2-streifigen BAB zeigt der zweite Fahrstreifen höhere Anteile bei den kurzen Längsausdehnungen über wenige Meter. Ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Verteilung zwischen 2- und 3-streifigen BAB ist nicht festzustellen.

Beim Schadensmerkmal „Offene Arbeitsnähte“ nehmen die prozentualen Anteile an den jeweiligen Gesamtvorkommen der Einzelvorkommen und Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen, die eine maximale Längsausdehnung von zehn 1m-Abschnitten umfassen, zwischen 81,8 % und 100,0 % ein (Tabelle A1-18 und Tabelle A1-19, Anhang A1-2-3). Ein signifikanter Unterschied ist zwischen den Einzelvorkommen und Lokalisierungskombinationen in Bezug auf die Schadensausdehnung festzustellen (Abbildung A1-20 und Abbildung A1-21, Anhang A1-2-3). Die Verteilung der prozentualen Anteile der einzelnen Lokalisierungskombinationen am jeweiligen Gesamtvorkommen auf die Längsausdehnung zeigt, dass mit Ausnahme der Kombination L+R über 90,0 % lediglich einen 1m-Abschnitt in Längsrichtung einnehmen. Eine Unterscheidung zwischen den Einzelvorkommen im Fahrstreifen verdeutlicht, dass offene Arbeitsnähte, die im mittleren Fahrstreifendrittel auftreten, signifikant kürzere Längsausdehnungen aufweisen. Weder zwischen den einzelnen Fahrstreifen noch zwischen 2- und 3-streifigen BAB ist ein deutlicher Unterschied hinsichtlich der prozentualen Verteilung auf die Anzahl an 1m-Abschnitten in Längsrichtung erkennbar.

Die Ergebnisse zur Längs- und Querausdehnung des Schadensmerkmals „Ausbrüche“ weisen auf eine maximale Längsausdehnung aller Vorkommen je Fahrstreifen 2- und 3-streifiger BAB von 10 m hin (Tabelle A1-20 und Tabelle A1-21, Anhang A1-2-3). Über 90,0 % aller Vorkommen erstrecken sich über höchstens zwei 1m-Abschnitte in Längsrichtung. Zwischen den jeweiligen Einzelvorkommen und Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen hinsichtlich der Schadensausdehnung ist kein signifikanter Unterschied festzustellen (Abbildung A1-22 und Abbildung A1-23, Anhang A1-2-3). Sowohl die Einzelvorkommen als auch die Lokalisierungskombinationen zeigen auf allen Fahrstreifen 2- und 3-streifiger BAB eine sehr ähnliche prozentuale Verteilung.

Der prozentuale Anteil an Flickstellen, der in Summe eine maximale Längsausdehnung von zehn 1m-Abschnitten aufweist, macht zwischen 85,9 % und 98,2 % des jeweiligen Gesamtvorkommens aus (Tabelle A1-22 und Tabelle A1-23, Anhang A1-2-3). Bei der Betrachtung der Einzelvorkommen und Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen 2- und 3-streifiger BAB zeigt das Vorkommen über die gesamte Fahrstreifenbreite tendenziell höhere prozentuale Anteile an den längeren Ausdehnungen (Abbildung A1-24 und Abbildung A1-25, Anhang A1-2-3). Signifikante Unterschiede zwischen den Einzelvorkommen und den Lokalisierungskombinationen in Bezug auf die Schadensausdehnung sind sowohl im jeweiligen Fahrstreifen als auch zwischen den Fahrstreifen nicht erkennbar. Differenzen hinsichtlich der Verteilung sind darüber hinaus ebenfalls nicht zwischen 2- und 3-streifigen BAB festzustellen.

Die Ergebnisse zum Einzelmerkmal „Risse“ zeigen, dass die prozentualen Anteile an den jeweiligen Gesamtvorkommen im Fahrstreifendrittel, die eine maximale Längsausdehnung von zehn 1m-Abschnitten umfassen, bei rund 90,0 % bis 100,0 % liegen (Tabelle A1-24 und Tabelle A1-26, Anhang A1-2-3). Zwischen den einzelnen Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen 2- und 3-streifiger BAB bestehen erkennbare Unterschiede in Bezug auf die Schadensausdehnung in Längsrichtung (Abbildung A1-26 und Abbildung A1-27, Anhang A1-2-3). Tendenziell weisen Risse, die über die gesamte Fahrstreifenbreite vorkommen, eine kürzere Längsausdehnung auf. Die Kombination L+R hingegen tendiert zu längeren Schadensausdehnungen im Vergleich zu den anderen Lokalisierungskombinationen. Tendenziell zeigen die Lokalisierungskombinationen gegenüber den Einzelvorkommen im Fahrstreifen einen höheren Anteil am jeweiligen Gesamtvorkommen bei den Längsausdehnungen über einen 1m-Abschnitt. Sowohl zwischen den einzelnen Fahrstreifen als auch zwischen 2- und 3-streifigen BAB ist kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der prozentualen Verteilung auf die Ausdehnung in Längsrichtung erkennbar.

Eine Analyse zu den prozentualen Anteilen von Längs- und Querrissen am Gesamtvorkommen aller Risse auf 2- und 3-streifigen BAB zeigt, dass sowohl auf 2-streifigen BAB als auch auf 3-streifigen BAB mit Anteilen von 22,4 % und 17,0 % deutlich mehr Querrisse als Längsrisse vorkommen. (Tabelle A1-25 und Tabelle A1-27, Anhang A1-2-3). Der überwiegende Teil von Rissen zeigt jedoch keine größere räumliche Ausdehnung und kommt lediglich in einem Rasterfeld vor.

5.2.5 Schadensvorkommen der Einzelmerkmale des TP3 unter geographischen Gesichtspunkten

Das Schadensvorkommen der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) im BAB-Netz wurde anhand der Lokalisierungsangaben in der Arbeits-Datenbank mithilfe eines GIS-Programms (QGIS) visualisiert und anschließend analysiert. Die Darstellungen erfolgen für jedes Einzelmerkmal der Substanzmerkmale (Oberfläche) getrennt auf einer Deutschlandkarte für das gesamte BAB-Netz. Visualisiert wurden die Daten zusammengefasst für alle Fahrstreifen sowie getrennt nach Fahrstreifen eins und Fahrstreifen zwei. Auf eine Unterteilung in mehrstreifige Bundesautobahnen wurde verzichtet, da bei dieser Untersuchung die Analyse raumgeographischer und nicht straßenbautechnischer Besonderheiten in Bezug auf das Schadensauftreten im Vordergrund steht.

Zum einen wurde die Anzahl des Vorkommens größer Null im jeweiligen 100m-Abschnitt dargestellt. Eine detailliertere Visualisierung je 1m-Auswerteabschnitt war aufgrund der Kleinmaßstäblichkeit nicht umzusetzen. Des Weiteren wurde eine Unterteilung hinsichtlich

der relativen Häufigkeit des Vorkommens im 100m-Abschnitt in vier Klassen (1 % - 9 %, 10 % - 19 %, 20 % - 49 %, 50 % - 100 %) vorgenommen und diese in Form einer farblichen Abstufung visualisiert. Für die Unterteilung wurde der Anteil an betroffenen Rasterfeldern in relativen Bezug zur Gesamtzahl aller Rasterfelder im jeweiligen 100m-Abschnitt gesetzt. Da ein 100m-Abschnitt aufgrund der Fahrstreifendrittung in Querrichtung aus insgesamt 300 Rasterfeldern besteht, ergeben 15 Rasterfelder, in denen ein Einzelmerkmal der Substanzmerkmale (Oberfläche) detektiert wurde, für diesen 100m-Abschnitt einen relativen Schadensanteil von 5 %.

Für eine detailliertere Analyse eventueller regionalgeographischer Schadenskonzentrationen wurde auch die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (DTV^(SV) (Kfz/24h)) visualisiert. Die Daten liegen querschnittsbezogen, also bezogen auf beide Richtungsfahrbahnen, für jeden 100m-Abschnitt vor und wurden über die Jahre 2005, 2010 und 2015 gemittelt. Zur besseren Unterscheidung zwischen einer geringen und hohen Schwerverkehrsstärke wurde eine Unterteilung in zwei Klassen (10.000 - 15.000 (Fz/24h), >15.000 (Fz/24h)) vorgenommen.

Zur weitergehenden Untersuchung eventueller regionalgeographischer Besonderheiten in Bezug auf das Schadensauftreten der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) sowie möglicher schadensbegünstigender Faktoren wurden in Ergänzung zu der Kartendarstellung statistische Häufigkeits- und Mittelwertanalysen durchgeführt. Die Analysen beruhen sowohl auf den 1m-Auswerteabschnitten als auch auf aggregierten 100m-Abschnitten.

Die Untersuchung regionalgeographischer Unterschiede hinsichtlich des Schadensauftretens der verschiedenen Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) dient der Identifizierung regionaler Schadensschwerpunkte sowie der Aufdeckung möglicher regionalspezifischer Schadensursachen.

Bundesautobahnnetz
Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

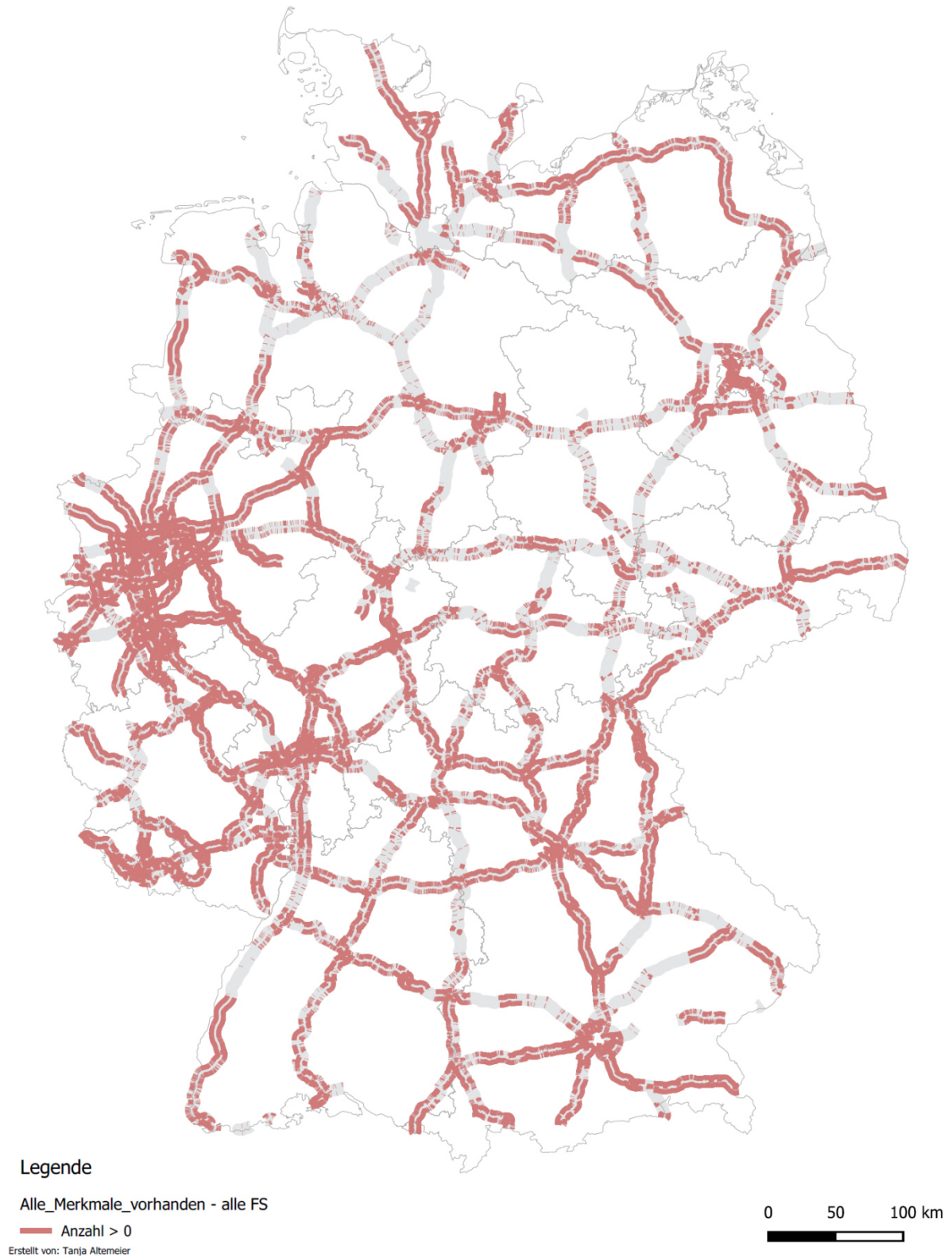


Abbildung 5-28: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen aller Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf allen Fahrstreifen

Die gesamtheitliche Betrachtung des Vorkommens aller Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) im BAB-Netz in Abbildung 5-28 zeigt bereits regionale Unterschiede in Bezug auf die Schadensverteilung auf. Die höchsten Agglomerationen, gemessen am Anteil schadhafter 100m-Abschnitte an allen 100m-Abschnitten im jeweiligen Bundesland, finden sich in Hamburg (HH) gefolgt von Berlin (BE), Sachsen-Anhalt (ST) und Nordrhein-Westfalen (NW) (Tabelle A1-28, Anhang A1-2-4). Die Bundesländer Niedersachsen (NI), Hessen (HE), Baden-Württemberg (BW), Saarland (SL) und Thüringen (TH) weisen hingegen die geringsten Schadensanteile bezogen auf die Fläche auf. Die kartographische Verschneidung der Einzelmerkmale des TP3 mit dem täglichen Schwerverkehrsaufkommen ($DTV^{(SV)}$) für den ersten Fahrstreifen zeigt keinen unmittelbaren Zusammenhang. Festzustellen ist jedoch, dass das TP3-Merkmal „Offene Arbeitsnähte“ auf dem ersten Fahrstreifen häufig auf durch den Schwerverkehr hochbelasteten BAB-Abschnitten detektiert wurde (Abbildung A1-30, Anhang A1-2-4).

Die statistischen Mittelwertanalysen zum $DTV^{(SV)}$ zeigen, dass Hamburg im Mittel mit Abstand über das höchste Schwerverkehrsaufkommen verfügt, gefolgt von Hessen, Baden-Württemberg, Bayern (BY) und Nordrhein-Westfalen (Tabelle A1-29, Anhang A1-2-4). Geringe $DTV^{(SV)}$ -Werte mit ≤ 4.000 Kfz/24h sind in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern (MV), Bremen (HB), Saarland und Schleswig-Holstein (SH) zu verzeichnen. Die maximalen Werte in Bezug auf den Schwerverkehrsanteil weisen Nordrhein-Westfalen (20.053 Kfz/24h), Sachsen-Anhalt (19.664 Kfz/24h), Baden-Württemberg (19.607 Kfz/24h), Hessen (19.205 Kfz/24h) und Brandenburg (BB) (18.455 Kfz/24h) auf. Die mit Abstand höchsten Mittelwerte der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke aller Fahrzeugklassen (DTV) wurden für Hamburg (91.255 Kfz/24h) und Berlin (90.417 Kfz/24h), gefolgt von Hessen (62.673 Kfz/24h) ermittelt. Neben der täglichen Verkehrsstärke wurde die dimensionierungsrelevante Beanspruchung (B-Zahl; Summe der gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergänge) für den zugrunde gelegten Nutzungszeitraum von 8 Jahren (2005 bis 2012) jeweils für die Abschnitte des ersten Fahrstreifens ermittelt. Die Berechnungen ergaben, dass Hessen, Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen die höchsten durchschnittlichen B-Zahlen aufweisen (Tabelle A1-29, Anhang A1-2-4).

Die Analyse der Arten der obersten Asphaltsschichten für alle Fahrstreifen im BAB-Netz zeigt, dass in neun von sechzehn Bundesländern der Splittmastixasphalt (SMA) anteilig an allen obersten Asphaltsschichten im jeweiligen Bundesland deutlich überwiegt (Tabelle A1-30, Anhang A1-2-4). In Niedersachsen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen (SN), Sachsen-Anhalt und Thüringen macht er sogar über 90,0 % aller obersten Asphaltsschichten aus. In den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz und Berlin dominiert als oberste Asphaltsschicht der Gussasphalt (GA) über alle Fahrstreifen. In den Bundesländern Hamburg und Schleswig-Holstein ist kein signifikanter prozentualer Unterschied zwischen den Anteilen von SMA und GA auszumachen. Im Saarland folgt dem SMA der Asphaltbeton (AB). Die prozentuale Schadensverteilung auf die jeweiligen Arten der obersten Asphaltsschicht in den einzelnen Bundesländern folgt der Häufigkeitsverteilung des Vorkommens (Tabelle A1-31, Anhang A1-2-4). Eine Ausnahme stellt Schleswig-Holstein dar, wo eine nahezu Gleichverteilung der Schadenshäufigkeiten auf alle drei Arten der obersten Asphaltsschicht festzustellen ist.

Die bundeslandspezifischen Analysen zur Schadensverteilung im BAB-Netz haben ergeben, dass 24,8 % aller Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche), ausgewertet für alle 1m-Auswerteabschnitte über alle Fahrstreifen, auf Nordrhein-Westfalen und 23,6 % aller Schäden auf Bayern entfallen (Tabelle A1-32, Anhang A1-2-4). Diese Analysen berücksichti-

gen jedoch nicht die Tatsache, dass insbesondere Nordrhein-Westfalen das mit Abstand dichteste BAB-Netz aufweist. Über dem Bundesdurchschnitt von 10,9 % (Anteil schadhafter 1m-Auswerteabschnitte an allen 1m-Abschnitten des BAB-Netzes) liegen, absteigend nach ihrem entsprechenden Schadensanteil, die Bundesländer Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Hamburg, Baden-Württemberg, Saarland und Berlin. In den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Sachsen, Saarland, Bayern und Baden-Württemberg dominiert das Einzelmerkmal „RISS“ mit einem Anteil von über 77,0 % deutlich als Schadensart (Tabelle A1-33, Anhang A1-2-4). In Hamburg und Berlin dominieren Risse und Flickstellen als Einzelmerkmale mit Anteilen von 74,0 % bzw. 79,1 % deutlich vor den anderen Schadensmerkmalen. In Nordrhein-Westfalen prägen die Einzelmerkmale „ONA“ und „RISS“ mit 70,3 % das Schadensauftreten. In Rheinland-Pfalz dominieren die Einzelmerkmale „RISS“ und „BIN“ mit 77,9 % das Schadensvorkommen.

5.2.5.1 Bindemittelanreicherungen

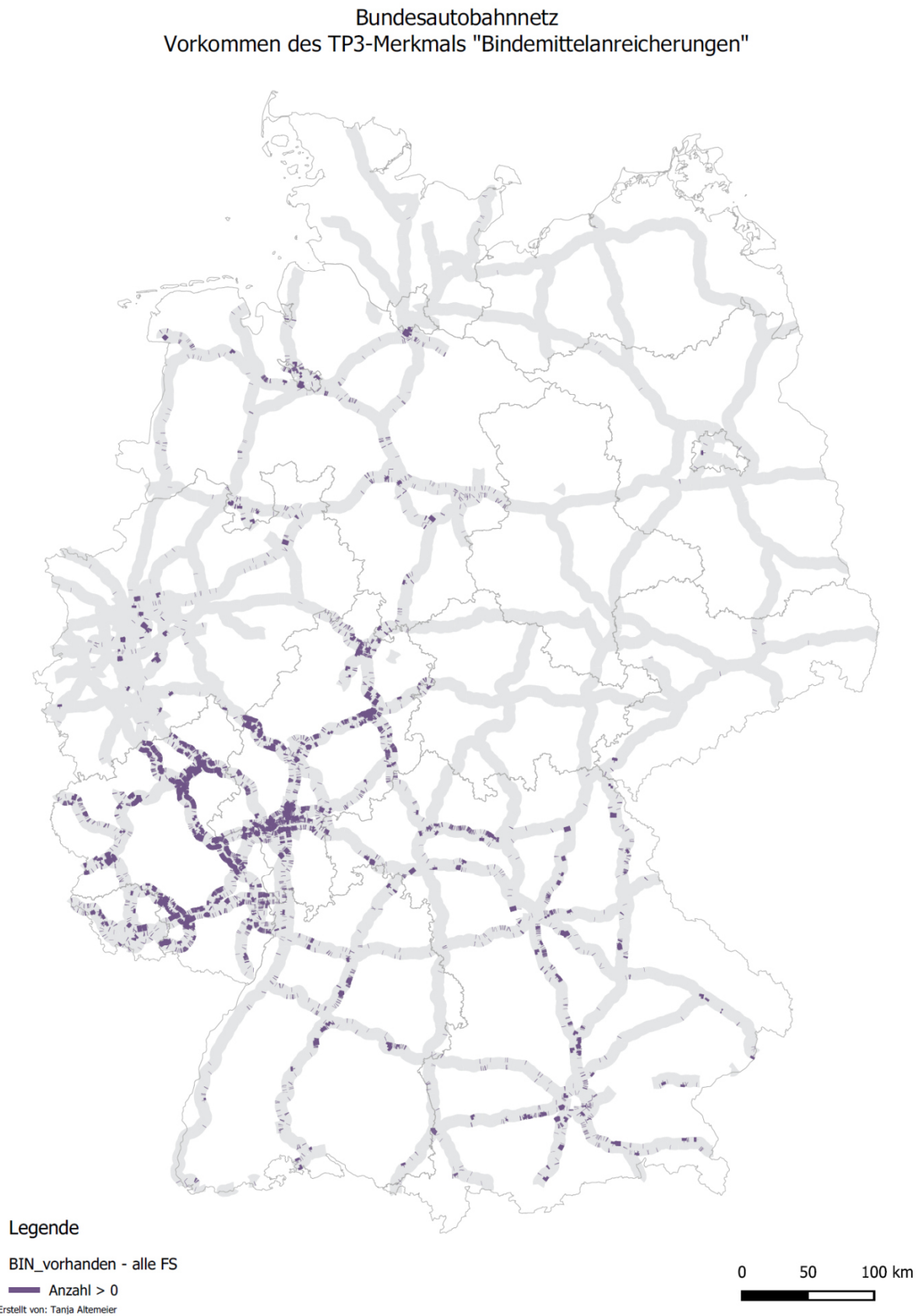


Abbildung 5-29: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ auf allen Fahrstreifen

Die Untersuchung zum Schadensauftreten des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ unter regionalgeographischen Aspekten zeigt, dass sich die höchste räumliche Agglomeration auf die Bundesländer Rheinland-Pfalz, Hessen und Saarland konzentriert (Abbildung 5-29). Zu geringen Anteilen treten Bindemittelanreicherungen auch in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen auf. Nicht präsent sind „BIN“ in Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Visuell erkennbare Unterschiede in Bezug auf die Häufigkeit zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen sind in Nordrhein-Westfalen und Bayern auszumachen. Hier beträgt die Schadensreduktion vom ersten auf den zweiten Fahrstreifen etwa 50,0 %. In den Bundesländern Niedersachsen und Saarland weist der zweite Fahrstreifen eine höhere Schadenshäufigkeit als der erste Fahrstreifen auf. Die Analyse der prozentualen Schadensanteile an den jeweiligen 100m-Abschnitten zeigt, dass die Bundesländer Rheinland-Pfalz und Hessen die höchsten Anteile von 50,0 % bis 100,0 % aufweisen (Abbildung A1-28 und Abbildung A1-29, Anhang A1-2-4).

Die statistischen Untersuchungen zur regionalgeographischen Verteilung des Einzelmerkmals ergaben, dass 15,6 % aller 100m-Abschnitte in Rheinland-Pfalz, 10,1 % in Bremen und 8,0 % in Hessen Bindemittelanreicherungen aufweisen (Tabelle A1-34, Anhang A1-2-4). Dabei liegt der Anteil auf dem ersten Fahrstreifen ausschließlich höher als auf dem zweiten Fahrstreifen. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens im BAB-Netz zeigt, dass 55,5 % aller Bindemittelanreicherungen in Rheinland-Pfalz vorkommen, gefolgt von 27,2 % in Hessen (Tabelle A1-35, Anhang A1-2-4). Diese beiden Bundesländer weisen gleichzeitig mit 46,4 % in Rheinland-Pfalz und 63,7 % in Hessen hohe Anteile an Gussasphalt als oberste Asphaltsschicht auf (Tabelle A1-30, Anhang A1-2-4).

5.2.5.2 Offene Arbeitsnähte

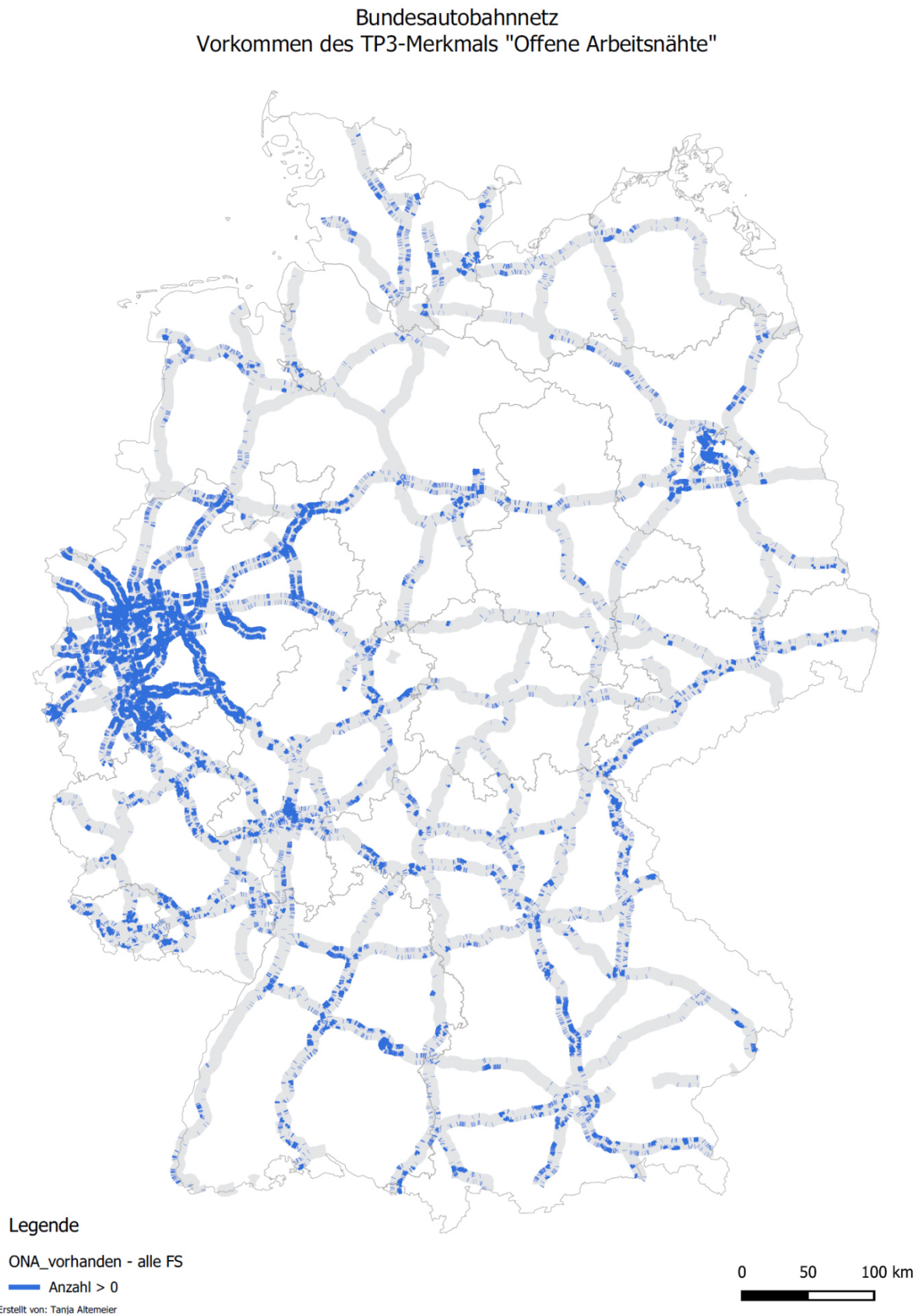


Abbildung 5-30: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ auf allen Fahrstreifen

Die Analyse zum Vorkommen des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ unter regionalgeographischen Aspekten zeigt bei der kartographischen Darstellung ein bundesweites Vorkommen (Abbildung 5-30). Eine deutliche räumliche Konzentration des Schadensmerkmals weisen Nordrhein-Westfalen und Berlin auf. Es sind keine wesentlichen geographischen Verschiebungen hinsichtlich des Schadensauftretens zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen erkennbar. Die Analyse der relativen Anteile schadhafter 100m-Abschnitte an allen 100m-Abschnitten des jeweiligen Bundeslandes zeigt die Werte der höchsten Kategorie ausschließlich in Nordrhein-Westfalen (Abbildung A1-30 und Abbildung A1-31, Anhang A1-2-4).

Die statistischen Auswertungen ergaben, dass ONA in Nordrhein-Westfalen mit 24,9 %, in Berlin mit 15,2 % und in Hamburg mit 14,6 % an allen 100m-Abschnitten je Bundesland vorkommen (Tabelle A1-34, Anhang A1-2-4). Dabei liegen die prozentualen Schadensanteile an allen 100m-Abschnitten des ersten Fahrstreifens in Nordrhein-Westfalen höher als auf dem zweiten Fahrstreifen. Genau umgekehrt verhält es sich hingegen in Berlin und Hamburg. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens im BAB-Netz ergab, dass 71,6 % aller offenen Arbeitsnähte in Nordrhein-Westfalen vorkommen, gefolgt von 6,4 % in Bayern (Tabelle A1-35, Anhang A1-2-4).

5.2.5.3 Ausbrüche

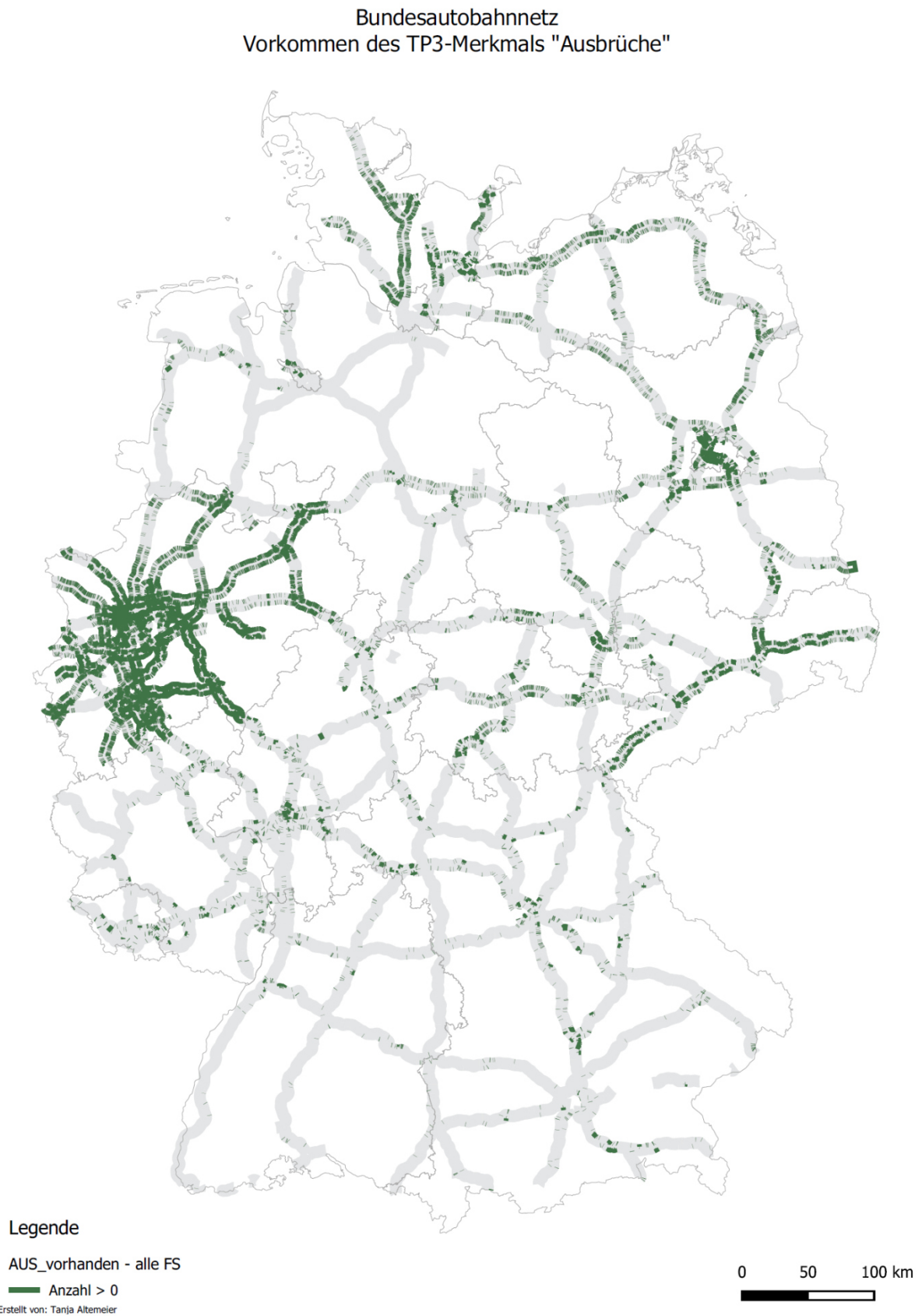


Abbildung 5-31: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ auf allen Fahrstreifen

Die Untersuchung zur regionalgeographischen Verteilung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ im BAB-Netz zeigt räumliche Agglomerationen insbesondere in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Berlin, gefolgt von Schleswig-Holstein, Brandenburg und Sachsen auf (Abbildung 5-31). Geographische Unterschiede hinsichtlich der Schadensverteilung sind zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen visuell nicht festzustellen. Die Analyse der prozentualen Schadensanteile an den jeweiligen 100m-Abschnitten zeigt allgemein geringe Anteile in allen Bundesländern (Abbildung A1-32 und Abbildung A1-33, Anhang A1-2-4). Höhere Flächenanteile über 10,0 % sind ausschließlich in Nordrhein-Westfalen vorzufinden.

Die statistischen Analysen zur regionalgeographischen Verteilung des Einzelmerkmals ergaben, dass 36,4 % aller 100m-Abschnitte in Hamburg, 30,1 % in Nordrhein-Westfalen und 27,3 % in Berlin Ausbrüche aufweisen (Tabelle A1-34, Anhang A1-2-4). Dabei liegt der Anteil auf dem zweiten Fahrstreifen ausschließlich höher als auf dem ersten Fahrstreifen. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens im BAB-Netz zeigt, dass das Einzelmerkmal zu 72,4 % in Nordrhein-Westfalen, gefolgt von 7,0 % in Schleswig-Holstein vorkommt (Tabelle A1-35, Anhang A1-2-4).

5.2.5.4 Flickstellen

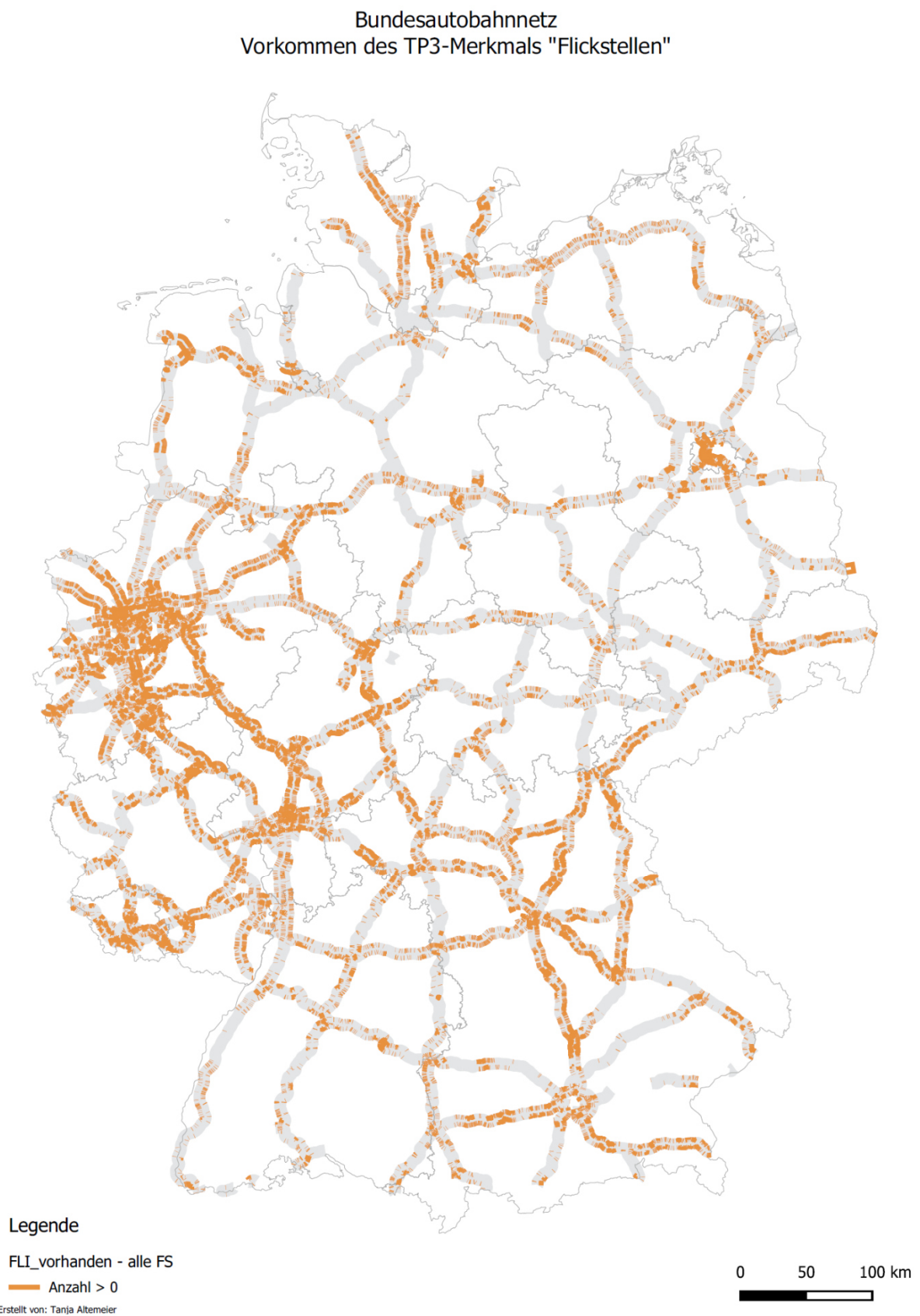


Abbildung 5-32: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Flickstellen“ auf allen Fahrstreifen

Die Analyse zum Vorkommen des Einzelmerkmals „Flickstellen“ unter regionalgeographischen Aspekten zeigt bei der kartographischen Darstellung ein Vorkommen in jedem Bundesland. Visuell sind hohe Agglomerationen des Schadensmerkmals in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen, Saarland, Bayern, Berlin und Schleswig-Holstein festzustellen (Abbildung 5-32). Eine geringe räumliche Verbreitung von Flickstellen zeigt sich hingegen in Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Thüringen. Zwischen dem Schadensvorkommen auf dem ersten und zweiten Fahrstreifen sind deutliche regionalgeographische Verschiebungen insbesondere in Bayern und Rheinland-Pfalz festzustellen (Abbildung A1-34 und Abbildung A1-35, Anhang A1-2-4). Die Analyse der prozentualen Schadensanteile an den jeweiligen 100m-Abschnitten zeigt signifikant höhere Klassenbesetzungen auf dem ersten Fahrstreifen.

Die statistischen Untersuchungen zur regionalgeographischen Verteilung des Einzelmerkmals ergaben, dass 30,0 % aller 100m-Abschnitte in Berlin, 27,0 % in Hamburg und 19,9 % in Schleswig-Holstein Flickstellen aufweisen (Tabelle A1-34, Anhang A1-2-4). Dabei liegt der Anteil auf dem ersten Fahrstreifen ausschließlich höher als auf dem zweiten Fahrstreifen. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens im BAB-Netz ergab, dass Flickstellen zu 28,1 % in Nordrhein-Westfalen und zu 21,1 % in Bayern vorkommen (Tabelle A1-35, Anhang A1-2-4).

5.2.5.5 Risse

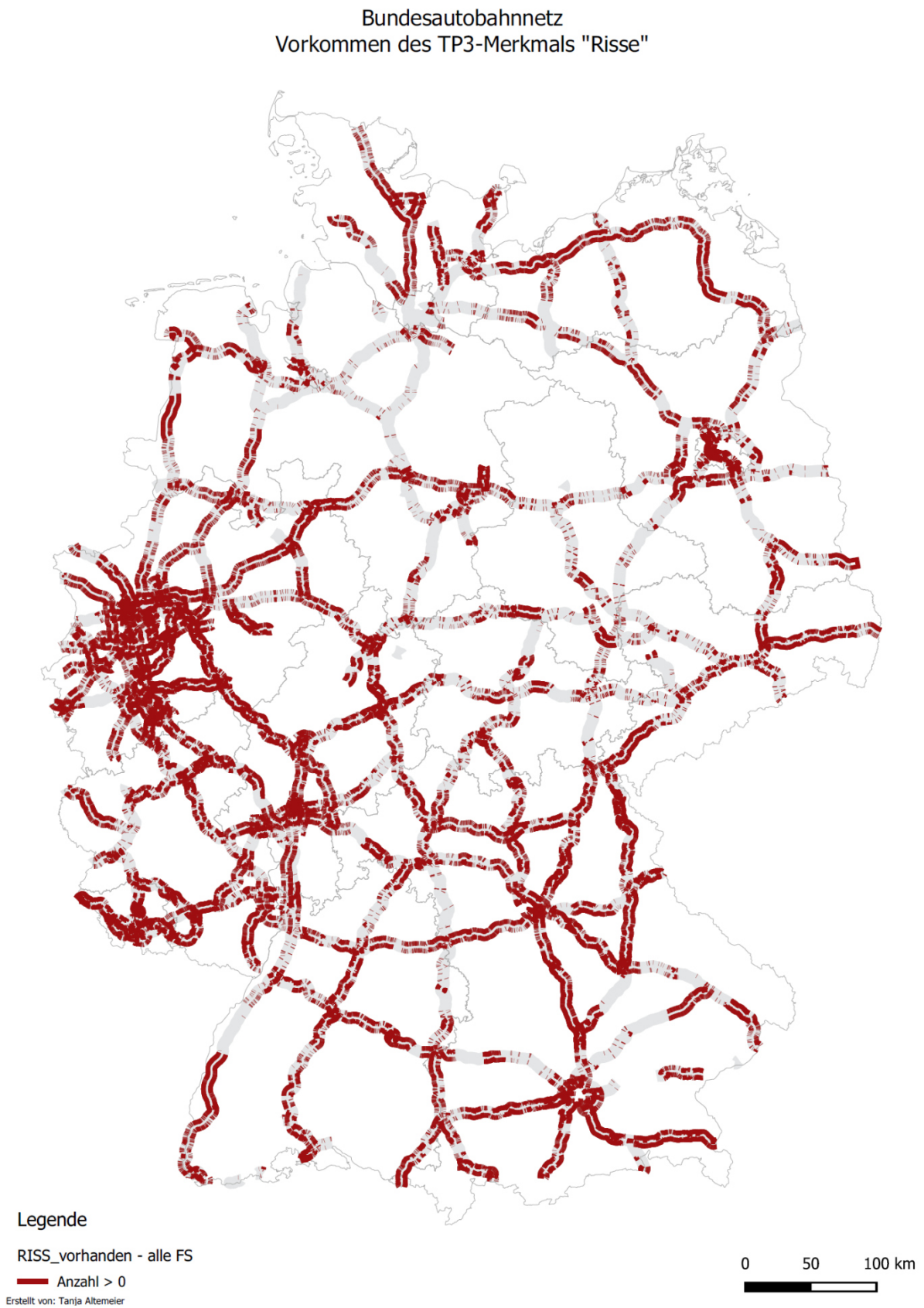


Abbildung 5-33: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Risse“ auf allen Fahrstreifen

Die Untersuchung zum Schadensauftreten des Einzelmerkmals „Risse“ unter regionalgeographischen Aspekten zeigt eine deutliche Präsenz im gesamten BAB-Netz. Hohe räumliche Konzentrationen treten insbesondere in Nordrhein-Westfalen, Saarland, Rheinland-Pfalz, Hessen und Bayern auf (Abbildung 5-33). Bundesländer mit erkennbar geringeren Rissvorkommen sind Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Hamburg. Signifikante geographische Verschiebungen in Bezug auf das Schadensauftreten zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen sind nicht erkennbar. Die Analyse der prozentualen Schadensanteile an den jeweiligen 100m-Abschnitten zeigt tendenziell höhere Klassenbesetzungen auf dem zweiten Fahrstreifen in Bayern und Sachsen (Abbildung A1-36 und Abbildung A1-37, Anhang A1-2-4).

Die statistischen Auswertungen ergaben, dass Risse in Sachsen-Anhalt mit 55,9 %, in Mecklenburg-Vorpommern mit 52,1 % und in Berlin mit 50,1 % an allen 100m-Abschnitten je Bundesland vorkommen (Tabelle A1-34, Anhang A1-2-4). Dabei liegen die prozentualen Schadensanteile an allen 100m-Abschnitten auf dem ersten Fahrstreifen, mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern, höher als auf dem zweiten Fahrstreifen. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens im BAB-Netz ergab, dass 30,8 % aller Risse in Bayern vorkommen, gefolgt von 14,4 % in Nordrhein-Westfalen (Tabelle A1-35, Anhang A1-2-4).

5.2.6 Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Die statistischen Untersuchungen zu den Einzelmerkmalen haben gezeigt, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen 2- und 3-streifigen BAB in Bezug auf die relativen Schadensanteile bestehen. Die prozentualen Verteilungen der TP3-Oberflächenschäden auf die einzelnen Fahrstreifen ergaben jedoch bei 3-streifigen BAB eine höhere Schadenshäufigkeit des zweiten Fahrstreifens. Die dazu durchgeführten Analysen zum Alter der obersten Asphaltsschichten zeigen, dass die obersten Schichten des ersten Fahrstreifens tendenziell jünger als die der Überholfahrstreifen sind. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Arten der obersten Asphaltsschicht, der eine erhöhte Schadenshäufigkeit des zweiten Fahrstreifens hätte erklären können, ist statistisch nicht nachweisbar. Bei den Analysen zur Lokalisierung der Substanzmerkmale (Oberfläche) im jeweiligen Fahrstreifen sind Unterschiede sowohl zwischen den Einzelmerkmalen als auch zwischen den Fahrstreifen 2- und 3-streifiger BAB festzustellen. Die statistischen Zusammenhangsanalysen mithilfe der Rangkorrelation nach Spearman weisen den stärksten Zusammenhang bei den Bindemittelanreicherungen und Flickstellen aus. Die Untersuchungen zur räumlichen Schadensausdehnung im Fahrstreifen ergaben für das Einzelmerkmal „BIN“ die größte und für „AUS“ die kleinste Ausdehnung in Längsrichtung. Die Analysen zeigen ebenfalls, dass kein Schadensmerkmal des TP3 einen signifikanten Anteil an Längsausdehnungen größer zehn 1m-Auswerteabschnitte aufweist. Die Untersuchungen zum Schadensvorkommen hinsichtlich regionalgeographischer Besonderheiten zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Einzelmerkmalen und Bundesländern. Während die Einzelmerkmale „BIN“ und „AUS“ einen starken regionalen Bezug aufweisen, zeigen die TP3-Merkmale „ONA“, „FLI“ und „RISS“ eine netzweite Ausbreitung. Hohe Schadensvorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) in Relation zur Fläche sind in den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Nordrhein-Westfalen festzustellen. Ein direkter Zusammenhang mit hohem Verkehrsaufkommen kann anhand der kartographischen Darstellung des Schwerverkehrsanteils für den ersten Fahrstreifen im BAB-Netz vornehmlich für Nordrhein-Westfalen aufgezeigt werden. Ein Zusammenhang zwischen

einem vermehrten Schadensauftreten und der Art der obersten Asphaltsschicht kann statistisch nur für die Einzelmerkmale „BIN“ und „RISS“ nachgewiesen werden.

5.3 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Die in diesem Kapitel ausgewerteten und interpretierten Ergebnisse sind dem Kapitel 5.2 sowie dem Anhang A1-2 zu entnehmen.

5.3.1 Charakteristika des netzweiten Schadensvorkommens der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Die Ergebnisse zur Untersuchung des netzweiten Schadensvorkommens der Substanzmerkmale (Oberfläche) weisen den 2-streifigen BAB den höchsten prozentualen Schadensanteil zu. Gründe hierfür liegen zum einen darin, dass 2-streifige BAB 65,0 % des gesamten BAB-Netzes ausmachen. Hohe Verkehrsaufkommen sind hier auf zwei Fahrstreifen konzentriert und der Schwerverkehrsanteil auf dem ersten Fahrstreifen ist besonders hoch. So belegen die Untersuchungen von KATHMANN & SCHROEDER (2017) zur realistischen Verkehrsverteilung auf mehrstreifigen Bundesfernstraßen, dass bei zwei Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn 96,0 % des Schwerverkehrs auf den ersten Fahrstreifen entfallen.

Die Ergebnisse in Kapitel 5.2 weisen weiterhin eine klare Dominanz der Risse am gesamten Schadensvorkommen im BAB-Netz aus. Sie stellen das Schadensmerkmal mit den vielfältigsten Schadensbildern und den meisten Schadensursachen dar, was die Ausführungen im Kapitel 3.1 belegen. Demnach können Risse an der Straßenoberfläche unter anderem durch eine erhöhte Verkehrsbelastung, eine Alterung des Bitumens im Asphalt, eine ungenügende Verdichtung oder Fehler während des Walzeinsatzes und die Reflexion anderer Schäden in den tieferliegenden Schichten des Straßenaufbaus entstehen. Niedrige Temperaturen um den Gefrierpunkt führen zu der Entstehung von kryogenen Spannungen, die zusammen mit einer erhöhten Steifigkeit des Asphalts und dessen verminderter Relaxationsfähigkeit zu einem vermehrten Auftreten von Ermüdungsrissen an der Straßenoberfläche führen können.

5.3.2 Merkmalspezifische Besonderheiten der TP3-Merkmale zum Vorkommen im Fahrbahnquerschnitt

Die erhöhte Schadenshäufigkeit im ersten Fahrstreifen 2-streifiger BAB ist insbesondere auf das Vorkommen von Rissen und Flickstellen zurückzuführen, was die Häufigkeitsverteilungen zum Schadensvorkommen im Fahrstreifen belegen. Der Einfluss des Schwerverkehrs auf die Entstehung von Oberflächenschäden wird hieran deutlich. Aufgrund des Umstandes, dass Flickstellen Reparaturstellen anderer an der Straßenoberfläche auftretender Schäden darstellen, weist deren signifikant höherer Anteil auf dem ersten Fahrstreifen auf eine erhöhte Erhaltungsaktivität hin. Der hohe Anteil an Flickstellen könnte auch den geringen Unterschied in der Rissfrequenz zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen erklären. Die allgemein hohe Anzahl an Rissen könnte indessen sowohl auf einen kausalen Zusammenhang mit dem Schwerverkehrsaufkommen als auch auf einen eventuellen Zusammenhang mit der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen hindeuten. Diese Thesen werden von den Analysen zur Lokalisierung der Schadensmerkmale im Fahrstreifen gestützt. Dort zeigt das Vorkommen der Risse eine deutliche Tendenz zu dem Bereich zwischen den Fahrstreifen. Die detaillierten Untersuchungen zur Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen und zu den Nahtschä-

den in Kapitel 7.2 können hier Aufschluss darüber geben. Der Einfluss des Schwerverkehrs lässt sich tendenziell auf dem ersten Fahrstreifen durch die höheren Schadenshäufigkeiten im linken und rechten Rasterfeld ausmachen. Deutliche Unterschiede zwischen den beiden Fahrstreifen sind jedoch nicht festzustellen.

Die Ergebnisse zur prozentualen Verteilung der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die einzelnen Fahrstreifen 3-streifiger BAB weisen die höchste Schadenshäufigkeit auf dem zweiten Fahrstreifen aus. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zum einen weist der zweite Fahrstreifen eine höhere Grundgesamtheit an 1m-Auswerteabschnitten auf, was zu einem erhöhten prozentualen Schadensanteil führen kann. Ein direkter Bezug der schadhaften 1m-Auswerteabschnitte auf die Gesamtzahl an Abschnitten je Fahrstreifen weist jedoch weiterhin den höchsten Schadensanteil für den zweiten Fahrstreifen aus. Zum anderen erfährt der erste Fahrstreifen, insbesondere aufgrund der hohen Verkehrsbelastung durch den Schwerverkehr, gegenüber dem zweiten und dritten Fahrstreifen ein kürzeres Erhaltungsintervall, was die Analysen zur Altersstruktur der obersten Asphaltsschichten und zu den fahrstreifenbezogenen Schadenshäufigkeiten belegen. Dies könnte für einen geringeren Schadensanteil des ersten Fahrstreifens sprechen. Der dritte Fahrstreifen ist weder einer direkten noch einer indirekten Belastung durch den Schwerverkehr ausgesetzt. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Interpretation der höchsten Schadenshäufigkeit auf dem zweiten Fahrstreifen ist die Tatsache, dass der zweite Fahrstreifen auf den BAB-Abschnitten, die 3-streifig ausgebaut wurden, zuvor den ersten Fahrstreifen darstellte. Obwohl bei solchen Maßnahmen häufig die Deckschicht oder die gesamte Asphaltdecke des ursprünglich ersten Fahrstreifens mit erneuert wird, bleibt die bereits vorhandene Tragschicht in der Regel erhalten. So hat der aktuell zweite Fahrstreifen bereits eine höhere Verkehrsbelastung erfahren, wird nach der Erweiterungsmaßnahme tendenziell seltener erneuert und weist demzufolge durchschnittlich längere Nutzungsdauern auf. Des Weiteren zeigen die Häufigkeiten der einzelnen Substanzmerkmale (Oberfläche) je Fahrstreifen die mit Abstand höchsten Vorkommen von „ONA“ und „RISS“ auf dem zweiten Fahrstreifen. Dieses Ergebnis deutet auf einen starken Zusammenhang dieser Schadensmerkmale mit der Lage der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt hin. Auch die Ergebnisse der Analysen zur Schadensverteilung auf die einzelnen Lokalisierungen im Fahrstreifen machen insbesondere bei den Einzelmerkmalen „ONA“ und „RISS“ einen starken Bezug zu den Bereichen der potenziellen Positionierung von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen deutlich. Die Untersuchungen zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt (Kapitel 7.2) können Aufschluss hierüber geben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von KATHMANN & SCHROEDER (2017) zur realistischen Verkehrsverteilung auf mehrstreifigen Bundesfernstraßen bekräftigen die Erkenntnisse zum Einfluss des Schwerverkehrs auf die Schadenshäufigkeit. Demnach beträgt der Schwerverkehrsanteil auf 2-streifigen BAB auf dem zweiten Fahrstreifen noch 4,0 %. Bei 3-streifigen BAB schwankt der Schwerverkehrsanteil auf dem zweiten Fahrstreifen, je nach Berücksichtigung der Steigung, zwischen 9,0 % und 12,0 %. Somit können die Unterschiede hinsichtlich der Schadensverteilung auf die einzelnen Fahrstreifen je mehrstreifiger BAB unter anderem auf den Einfluss des Schwerverkehrs zurückgeführt werden.

Deutlich wird der Einfluss des Schwerverkehrs auf die Schadenshäufigkeit auch an den nachfolgenden Summenhäufigkeiten zu den anteilmäßigen Substanzschäden (Oberfläche) in einem direkten Vergleich des ersten Fahrstreifens mit dem dritten Fahrstreifen (Abbildung 5-34 und Abbildung 5-35). Während in den ersten Jahren nach dem Einbau sich die Schadensanteile noch gleichmäßig entwickeln, beginnen sie ab einer Nutzungsdauer von neun

Jahren bei den obersten Schichten aus Gussasphalt und ab einer Nutzungsdauer von sieben Jahren bei den obersten Schichten aus Splittmastixasphalt deutlich auseinander zu driften. Nach einer Nutzungsdauer von 15 Jahren liegt der Anteil an geschädigten Abschnitten aus Gussasphalt auf dem ersten Fahrstreifen um 1,4 % höher als auf dem dritten Fahrstreifen. Der Anteil an geschädigten Abschnitten aus Splittmastixasphalt liegt nach einer Nutzungsdauer von 15 Jahren auf dem ersten Fahrstreifen sogar um 2,7 % höher als auf dem dritten Fahrstreifen.

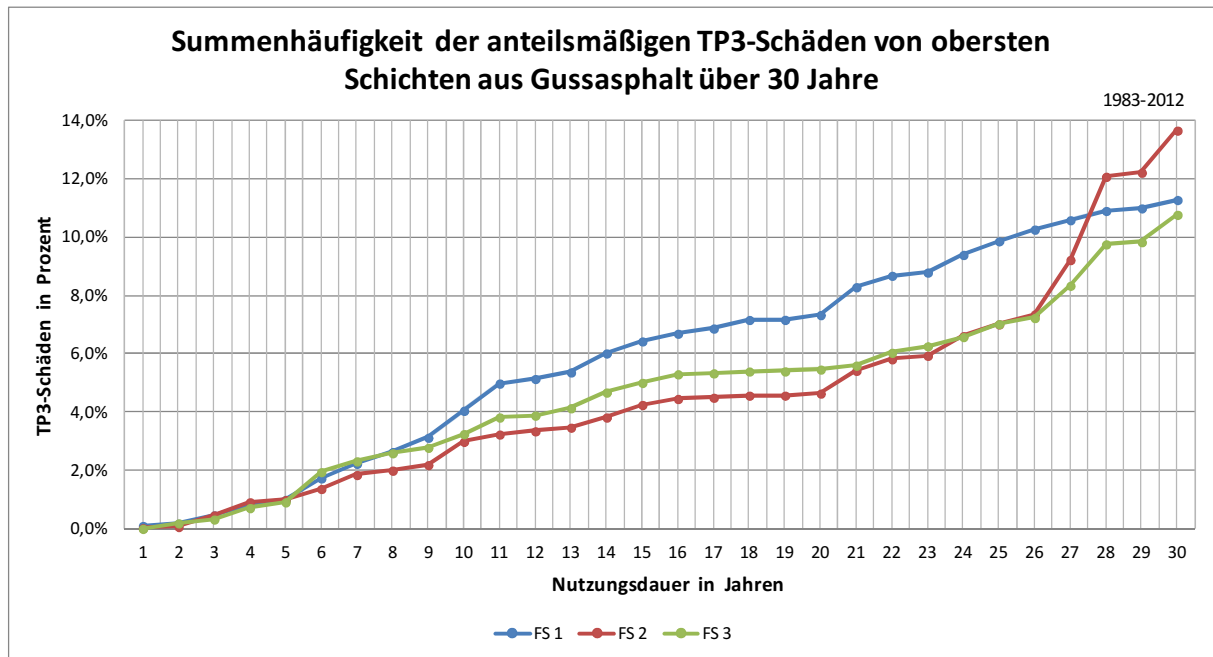


Abbildung 5-34: Summenhäufigkeit der anteilmäßigen TP3-Schäden von Deckschichten aus Gussasphalt über eine Nutzungsdauer von 30 Jahren

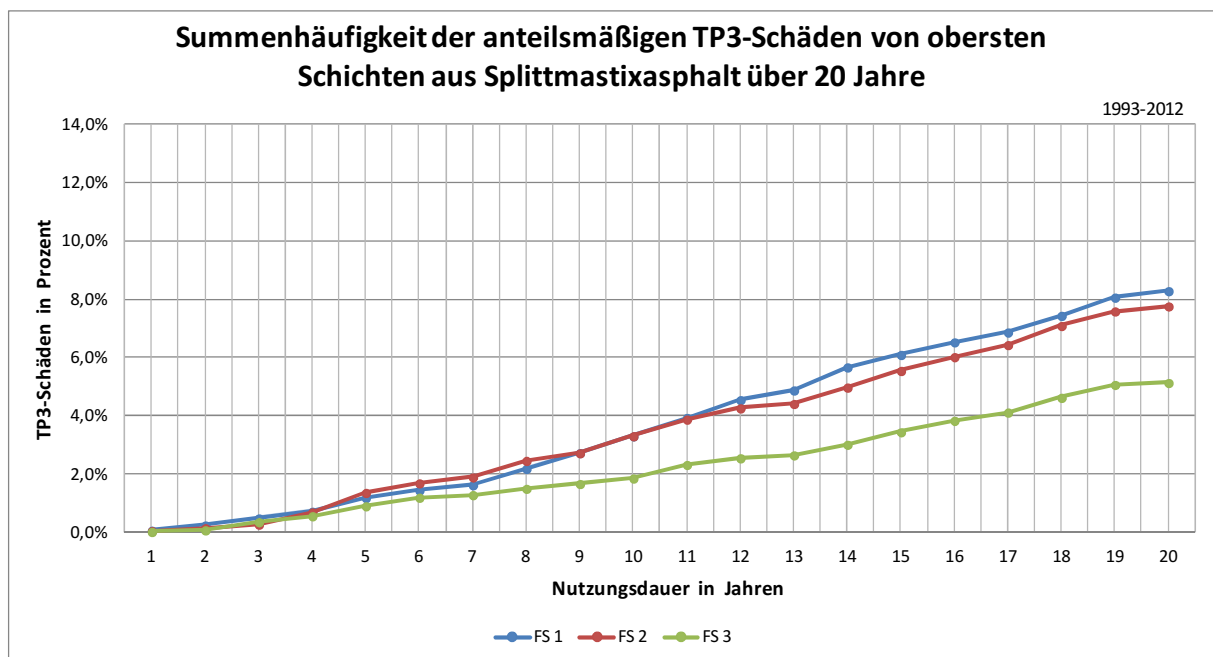


Abbildung 5-35: Summenhäufigkeit der anteilmäßigen TP3-Schäden von Deckschichten aus Splittmastixasphalt über eine Nutzungsdauer von 20 Jahren

Die Ergebnisse zur Lokalisierung von Bindemittelanreicherungen im Fahrstreifen bestätigen mit den höchsten Anteilen zum Vorkommen über den gesamten Fahrstreifen insbesondere auf 3-streifigen BAB, dass das Auftreten von „BIN“ vornehmlich auf einen zu hohen Bitumengehalt im Asphaltmischgut oder auf einen Fehler bei der Verdichtung zurückgeführt werden kann. Da jedoch Bindemittelanreicherungen vornehmlich auf Streckenabschnitten mit Gussasphalt auftreten, ist ein noch vorhandener Bitumenfilm auf der Fahrbahnoberfläche nach Einbau des Gussasphaltes zum Zeitpunkt der ZEB oder eine falsche Bindemittelhärte als Schadensursache wahrscheinlicher. Auch die Ergebnisse zu den statistischen Zusammenhangsanalysen zwischen den einzelnen Lokalisierungen im Fahrstreifen belegen das häufige Vorkommen über die gesamte Fahrstreifenbreite. Die Beobachtung, dass insbesondere der Schwerverkehr begünstigend zum Schadensauftreten beiträgt, zeigt sich ebenfalls bei den Untersuchungen zur Lokalisierung im Fahrstreifen durch die Häufigkeiten in den linken und rechten Rasterfeldern bestätigt. Die Analysen zur Längsausdehnung von Bindemittelanreicherungen deuten zwar die Tendenz zum Vorkommen über längere Abschnitte hinweg an, jedoch überwiegen deutlich maximale Längsausdehnungen unter 10 m. Als Grund hierfür sind neben Unterbrechungen durch die Auswertung, wenn schwache Ausprägungen von den Operatoren nicht deutlich zu erkennen sind, auch kleinräumige Vorkommen infolge lokaler Entmischungen während des Einbaus zu nennen. Darüber hinaus kann auf manchen Streckenabschnitten bereits der Bitumenfilm abgefahren worden sein, so dass eine solche Segmentierung entsteht.

Das überwiegende Auftreten von „ONA“ an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt wird bei der Variationsanalyse zu den Merkmalskombinationen eingehender untersucht. Die Lage der offenen Arbeitsnähte im Fahrstreifen könnte also maßgeblich von der Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt abhängen. Die genaue Positionierung wird im Wesentlichen durch die Vorgaben der ZTV Asphalt-StB und RSA (FGSV 2007/2013, 1995) sowie durch die Erhaltungsstrategien der einzelnen Bundesländer bestimmt. Die Analysen zur Lokalisierung im Fahrstreifen stellen klar die Dominanz von „ONA“ zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen heraus. Dies ist ebenfalls auf die Vorgaben in der RSA (FGSV 1995) zur Einrichtung von Arbeitsstellen von längerer Dauer, aber auch auf die höher frequentierte Erhaltung des ersten Fahrstreifens zurückzuführen, wodurch eine Folgenaht zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen ausgebildet wird. Eine mögliche Erklärung für das Vorkommen von „ONA“ mittig der Fahrstreifen liefert entweder die Positionierung einer Arbeitsnaht bzw. Fuge zwischen Einbaubahnen oder das Vorhandensein einer Anschlussnaht zwischen zwei Deckschichten quer zur Fahrtrichtung bzw. zu einem Brückenbauwerk. Auch das gleichzeitige Vorhandensein von Flickstellen kann das mittige Auftreten von ONA erklären. Beides könnte durch die Neuauswertung der Oberflächenbilder im Rahmen der Variationsanalyse (Kapitel 6.2.4) belegt werden. Die Ergebnisse zur Untersuchung der Längsausdehnungen der Schäden haben ergeben, dass offene Arbeitsnähte nur selten eine längere Ausdehnung als 10 m zeigen. Grund hierfür liegt in der Charakteristik des Schadensmerkmals selbst, da eine Arbeitsnaht selten komplett aufgeht, sondern eher in Segmenten kürzerer Ausdehnung. Die Durchsicht der Arbeits-Datenbank bestätigt durch das beständige Unterbrechen von aufeinanderfolgenden Abschnitten mit „ONA“ durch schadensfreie 1m-Auswerteabschnitte diese Beobachtung.

Das Schadensvorkommen der Ausbrüche tritt im BAB-Netz nur marginal auf und dann häufig in Kombination mit anderen Substanzmerkmalen (Oberfläche), vornehmlich mit „RISS“ und „ONA“. Dies legt die Vermutung nahe, dass Ausbrüche vorwiegend die Weiterentwicklung eines bereits an der Straßenoberfläche vorhandenen Schadensbildes darstellen. Die Unter-

suchungen zu den Merkmalskombinationen könnten ein vorwiegendes Vorkommen von Ausbrüchen in Kombination mit anderen Substanzmerkmalen der Oberfläche belegen.

Die Ergebnisse zur Lokalisierung von Flickstellen im Fahrstreifen zeigen insbesondere im ersten Fahrstreifen eine deutliche Tendenz in der Häufigkeit zum rechten Rasterfeld. Diese Dominanz kann durch mehrere Gründe hervorgerufen werden. Zum einen kann sie auf eine Schwächezone im Bereich der Randnaht hindeuten. Hohe Zugspannungen und -dehnungen an der Asphaltoberfläche, die durch den Lasteintrag der LKWs hervorgerufen werden, begünstigen das Auftreten von Schäden in diesem Bereich, insbesondere an der Arbeitsnaht. Die BISAR-Berechnungen zu den Spannungs- und Dehnungsverläufen im Fahrbahnquerschnitt könnten diese These stützen (Kapitel 7.2.5). Darüber hinaus können frequentierte Überfahrungen des Anschlussbereiches zwischen Deckschicht und Randbefestigung ebenfalls das Schadensauftreten begünstigen. Die auftretenden Oberflächenschäden werden dann durch Flickstellen repariert. Ein weiterer Grund könnten ungleiche Lastverteilungen über den gesamten Fahrstreifen infolge einer vorhandenen Querneigung zur Entwässerung der Fahrbahn sein, was wiederum zu einem höheren Lasteintrag im rechten Bereich des Fahrstreifens führen würde. Die Auswertungen zur vorhandenen Querneigung im BAB-Netz zeigen deutlich die überwiegende Neigung der Fahrbahn in Fahrtrichtung nach rechts an. Höhere Schädigungen in diesem Bereich stehen in direkter Relation zur Häufigkeit der Flickstellen. Die Ergebnisse zu den statistischen Zusammenhangsanalysen zwischen den einzelnen Lokalisierungen im Fahrstreifen belegen, dass „FLI“ häufig über zwei Rasterfelder in Querrichtung vorkommt. Dies liegt vor allem in der Art der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen begründet. So werden insbesondere bei der Ausbesserung von Oberflächenschäden im Bereich der Rollspur großflächigere Flickstellen angelegt, die vornehmlich über zwei Rasterfelder reichen. Da Flickstellen häufig Ausbesserungen anderer Schäden darstellen, ist ihre Längsausdehnung auf die Länge des ursprünglichen Schadens begrenzt. Ausbesserungen größerer Schadensbereiche, die über die gesamte Fahrbahnbreite reichen, werden häufig nicht per Hand, sondern mit dem Fertiger eingebaut, der eine gewisse Länge der Maßnahme in Längsrichtung benötigt. Flickstellen über eine Ausdehnung in Längsrichtung von 20 m hinaus sind nach der ZTV ZEB-StB (FGSV 2006) keine Flickstellen mehr, sondern gelten als Deckensanierungen.

Das Einzelmerkmal „RISS“ ist in Bezug auf seine Erscheinungsform und Schadensursache sehr vielfältig. Die Schadensursache kann unmittelbar auf die Asphaltoberfläche einwirken und dort zur Rissbildung führen. Sie kann jedoch auch in den tieferliegenden Schichten des Straßenaufbaus begründet sein und bis zur Oberfläche durchschlagen. Risse stellen nicht nur das am häufigsten vorkommende TP3-Merkmal im BAB-Netz dar, sie treten auch häufig als erstes Schadensmerkmal auf. So zeigen die Ergebnisse zur Altersstruktur der 1m-Auswerteabschnitte nach den unterschiedlichen Arten der obersten Asphaltsschicht, dass vornehmlich bei den Abschnitten kürzerer Nutzungsdauer Risse das überwiegende Schadensmerkmal darstellen. Die Ergebnisse zur Lokalisierung im Fahrstreifen weisen deutliche Konzentrationen der Risse für die Bereiche einer möglichen Positionierung von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen aus. Die Analysen zur Bestimmung der Lage der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt könnten diese These belegen (Kapitel 7.2). Ein darüber hinaus vermehrtes Auftreten von Rissen im Bereich der Rollspuren kann auf sehr hohe Druckspannungen und -dehnungen durch die unmittelbare Lasteintragung der Fahrzeuge zurückgeführt werden. Häufige Spannungs- und Dehnungswechsel infolge einer dynamischen Lasteintragung führen mit voranschreitender Nutzungsdauer zu einer Ermüdung des Materials, was insbesondere bei Temperaturen um den Gefrierpunkt und einer einhergehenden verminderten Relaxationsfähigkeit des Asphalts zu einer vermehrten Rissbildung führt. Die Ergebnisse

zur Untersuchung der Schadensausdehnung in Längs- und Querrichtung zeigen, dass Rissvorkommen in den Rollspuren zu höheren Längsausdehnungen tendieren. Dies bestärkt die These, dass hier vornehmlich die Einwirkung des Schwerverkehrs als Schadensursache zugrunde liegt.

5.3.3 Regionalgeographische Aspekte des Schadensauftretens der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Die Ergebnisse zur regionalgeographischen Analyse des Schadensauftretens der Einzelmerkmale des TP3 im BAB-Netz zeigen, dass Hamburg sowohl den höchsten Anteil an schadhaften 100m-Abschnitten als auch im Mittel das höchste Schwerverkehrsaufkommen aufweist. Hamburg verfügt über wenige BAB-Kilometer, so dass schadhafte Abschnitte in Relation zur Gesamtnetzlänge stärker ins Gewicht fallen. Darüber hinaus verfügt das Bundesland über den drittgrößten Seehafen Europas, was das sehr hohe Schwerverkehrsaufkommen erklärt. Anhand der Ergebnisse in Kapitel 5.2 konnte bereits ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Schadensvorkommen und der Verkehrsbelastung belegt werden. Die Ergebnisse weisen darüber hinaus für Nordrhein-Westfalen die deutlich höchste Schadenshäufigkeit aus. Als ein Grund hierfür kann die Tatsache angeführt werden, dass Nordrhein-Westfalen das Bundesland mit dem höchsten Verkehrsaufkommen in Deutschland darstellt. Die Analysen zur Verkehrsstärke belegen, dass Nordrhein-Westfalen das höchste Maximum an Schwerverkehrsaufkommen und einen hohen $DTV^{(SV)}$ -Mittelwert aufweist. Die kartographischen Darstellungen der Substanzmerkmale (Oberfläche) weisen eine hohe Schadenskonzentration von „ONA“ und „AUS“ insbesondere in Nordrhein-Westfalen aus. Diese Ergebnisse lassen neben dem Schwerverkehr als Schadensursache auch auf eine mögliche Problematik mit den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt schließen. Auch die Ergebnisse der Analysen zu den Nahtschäden an projizierten Arbeitsnähten könnten hier Aufschluss darüber geben (Kapitel 7.2.3).

Regionalgeographische Unterschiede des Schadensauftretens aufgrund klimatischer Begebenheiten sind, basierend auf den kartographischen Darstellungen, nicht auszumachen. Es kann jedoch von einem klimatischen Einfluss auf das Schadensauftreten ausgegangen werden. So begünstigen beispielsweise hohe Oberflächentemperaturen des Asphaltens im Sommer in Kombination mit einem hohen Schwerverkehrsaufkommen die Entstehung von Schäden.

Die Ergebnisse der kartographischen Darstellungen von Bindemittelanreicherungen im BAB-Netz zeigen eine regionale Konzentration in den Bundesländern Hessen und Rheinland-Pfalz. Auch die Ergebnisse der statistischen Analysen zur Schadensverteilung auf die Bundesländer stützen diese Feststellung. Die Erkenntnisse können auf Schwierigkeiten mit einer falschen Bindemittelhärte hindeuten. Die Auswertungen zur Häufigkeitsverteilung der Arten der obersten Asphaltenschicht je Bundesland ergaben für Hessen und Rheinland-Pfalz eine klare Dominanz des Gussasphaltes mit Anteilen von 63,7 % und 46,4 %, was die Annahme bekräftigt, dass das Auftreten von Bindemittelanreicherungen in einem direkten Zusammenhang mit dem Vorhandensein von Gussasphalt steht.

Die kartographische Darstellung des Einzelmerkmals „ONA“ zeigt eine überwiegende regionale Konzentration auf Nordrhein-Westfalen. Bei einer Verschneidung mit dem Schwerverkehrsanteil wird ein starker Bezug zwischen hoch belasteten Streckenabschnitten und dem Auftreten des Schadensmerkmals deutlich. Zugspannungen und -dehnungen infolge des Lasteintrags durch einen LKW können je nach Positionierung der Arbeitsnaht eine erhebliche

Wirkung auf diese ausüben. Die Häufigkeitsunterschiede von „ONA“ zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen könnten im Wesentlichen auf die Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt zurückzuführen sein.

Auch die regionalgeographische Analyse zu den Ausbrüchen zeigt eine klare Dominanz des Vorkommens in Nordrhein-Westfalen. Da Nordrhein-Westfalen das Bundesland mit dem höchsten Schadensvorkommen darstellt und insbesondere die offenen Arbeitsnähte und Risse hier eine hohe räumliche Konzentration aufweisen, kann ein direkter Zusammenhang zwischen AUS und diesen TP3-Merkmalen angenommen werden. Die Analysen zu den Merkmalskombinationen könnten hier Klarheit bringen (Kapitel 6.2).

Das Schadensvorkommen der Flickstellen zeigt Tendenzen zur räumlichen Konzentration in Nordrhein-Westfalen, wo neben den höchsten Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) auch die höchsten Schwerverkehrsanteile im BAB-Netz zu verzeichnen sind. Der starke Bezug von „FLI“ zum Schwerverkehrsaufkommen wird vornehmlich durch die Ergebnisse zum geographischen Vorkommen auf dem ersten Fahrstreifen deutlich, wo Flickstellen insbesondere auf Streckenabschnitten mit sehr hohen Schwerverkehrsanteilen auftreten. Wie bereits die Ergebnisse zu den Häufigkeitsverteilungen im Fahrbahnquerschnitt und zu den Längs- und Querausdehnungen des Schadensmerkmals belegen, stellen Flickstellen Reparaturen anderer Oberflächenschäden dar, so dass sich ihr Vorkommen nahezu ausschließlich nach dem Auftreten der vorherigen Schäden richtet.

Die bundeslandspezifischen Untersuchungen zum Einzelmerkmal „RISS“ zeigen ein höheres Rissvorkommen auf dem zweiten Fahrstreifen gegenüber dem ersten Fahrstreifen in Hessen, Bayern, Sachsen und Saarland. Gründe hierfür können in einer erhöhten Erhaltungsaktivität auf dem ersten Fahrstreifen liegen, wo bereits ein Teil der Risse durch Flickstellen oder Deckensanierungen behoben wurde. Dies kann anhand der Häufigkeitsanalysen je Fahrstreifen mehrstreifiger BAB (Abbildung 5-7 und Abbildung 5-9, Kapitel 5.2.2) belegt werden. Auch die Aufgliederung der relativen Schadensvorkommen auf die Bundesländer lassen solche Tendenzen erkennen. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Risse und einem erhöhten Schwerverkehrsanteil ist anhand der kartographischen Darstellung nicht festzustellen. Das lässt den Schluss zu, dass der Verkehr nicht als alleinige Schadensursache für das Schadensauftreten verantwortlich ist. Die Analysen zum Schadensvorkommen nach den unterschiedlichen Arten der obersten Asphaltsschicht zeigen Tendenzen, dass in den Bundesländern mit hohen räumlichen Konzentrationen an Rissen der Gussasphalt dominiert (siehe Anhang A1-2-4). In Bundesländern mit auffällig geringen Agglomerationen an Rissen überwiegt hingegen der Splittmastixasphalt als oberste Schicht. Dieser Umstand liegt darin begründet, dass oberste Schichten aus Splittmastixasphalt im Mittel deutlich kürzere Nutzungsdauern aufweisen als der Gussasphalt und in der Konsequenz aufgrund einer erhöhten Erhaltungsfrequenz weniger Oberflächenschäden aufweisen. Eine weitere Erklärung liegt in dem Umstand begründet, dass der Gussasphalt überwiegend auf verkehrlich hochbelasteten Strecken eingebaut wird und damit eine deutlich höhere Lasteintragung erfährt als Streckenabschnitte aus Splittmastixasphalt.

6 Kombiniertes Auftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche)

In diesem Kapitel wird das potenzielle gemeinsame Schadensauftreten von Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) miteinander untersucht, also ob verschiedene TP3-Merkmale, wie beispielweise Risse und offene Arbeitsnähte, häufig gemeinsam an der gleichen Stelle detektiert werden. Dies soll unter anderem Aufschluss darüber geben, ob sich bestimmte Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) gegenseitig bedingen und ob sich Merkmalskombinationen, die auf dieselbe mögliche Schadensursache zurückzuführen sind, identifizieren lassen. Als Kriterium gilt die unmittelbare räumliche Nähe der Einzelmerkmale zueinander, definiert als das Vorkommen im selben Rasterfeld (siehe Abbildung 6-1). Von einer Merkmalskombination belegte Rasterfelder enthalten ausschließlich die jeweilige Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche). Beispielsweise kommen bei der Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) nur die Einzelmerkmale „Risse“ (RISS) und „Offene Arbeitsnähte“ (ONA) im selben Rasterfeld vor.

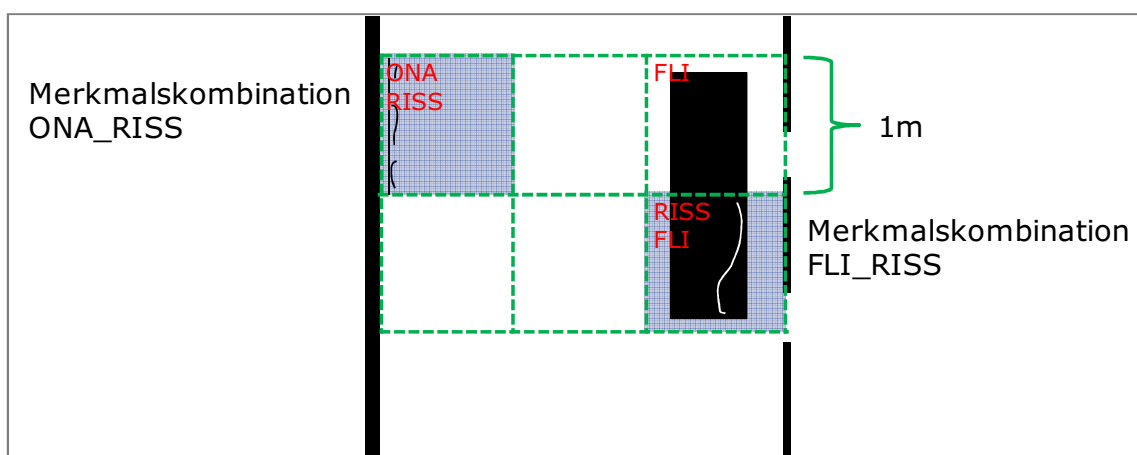


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung zur Definition von Merkmalskombinationen

6.1 Methodik des Vorgehens

In Vorbereitung zur Durchführung von Häufigkeitsanalysen zu den einzelnen Merkmalskombinationen werden zunächst die unterschiedlichen Merkmalskombinationen anhand der Informationen zu den Einzelmerkmalen und ihrer präzisen Lokalisierung im Fahrstreifen bestimmt. Dies dient vornehmlich der Übersicht, welche Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) überhaupt in Kombination auftreten und wie viele Merkmalskombinationen vorkommen. Alle Merkmalskombinationen werden anschließend statistisch analysiert und auf ihre Relevanz im BAB-Netz hin untersucht.

Im Weiteren wird anhand von Kreuztabellen zu den einzelnen Lokalisierungen im Fahrstreifen die Charakteristik des Vorkommens der jeweiligen Merkmalskombinationen untersucht, also ob beispielweise die Merkmalskombination „Risse und Flickstellen“ (FLI_RISS) vornehmlich in den Rollspuren auftritt oder sich grundsätzlich über zwei Fahrstreifendrittel erstreckt. Diese Analysen dienen auch der Identifizierung potenzieller merkmalspezifischer Charakteristika, wie der bevorzugten Lage in einem oder der Konzentration auf einen bestimmten Fahrstreifen und können damit erste Aufschlüsse über mögliche Schadensursachen liefern. So kann das überwiegende Auftreten einer Merkmalskombination in den Rollspuren auf die Verkehrsbelastung als wahrscheinliche Schadensursache hindeuten.

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen zum kombinierten Auftreten von Schadensmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) wird auch ein möglicher Einfluss der Querebenheit in Form der Spurrinnentiefe auf das Schadensauftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche) betrachtet (siehe Kapitel 6.2.1). Diese Analyse soll Aufschluss darüber geben, ob sich erste Hinweise auf eventuelle Schadensursachen oder eine mögliche Schadensentwicklung ergeben, da ein nachweislicher Einfluss der Querebenheit Tendenzen einer schwerwiegenderen Schädigung des Straßenaufbaus anzeigen kann.

Anhand ausgewählter statistischer Methoden wie vergleichende Mittelwertanalysen, die Erstellung von Streudiagrammen und die Analyse von Korrelationskoeffizienten, soll weitgehender eruiert werden, unter welchen Bedingungen Merkmale in Kombination auftreten. Untersucht werden dazu verschiedene Einflussfaktoren, wie beispielsweise das Alter oder die Dicke der einzelnen Asphaltsschichten bzw. des Asphaltpaketes sowie die Verkehrsbelastung, die Aufschluss über das Auftreten der Merkmalskombinationen geben und mögliche Schadensursachen identifizieren können. Im Anhang A2-1 sind neben der Auswahl des Korrelationskoeffizienten sowie der Regressionsanalyse auch die Berechnungsschritte weiter ausgeführt.

Auch die Merkmalskombinationen werden einer raumgeographischen Analyse unterzogen, um etwaige regionalgeographische Besonderheiten zu identifizieren, die das Auftreten der Merkmalskombinationen erklären könnten.

Da aufgrund des in der ZEB vorgegebenen Auswerterrasters zur Detektion der Substanzmerkmale (Oberfläche) lediglich das gemeinsame Vorkommen im Rasterfeld bestimmt werden kann, jedoch keine Aussagen zum direkten räumlichen Zusammenhang der Einzelmerkmale zueinander getroffen werden können, wurde zur Klärung dieser Fragestellung eine Variationsanalyse durchgeführt, die im Anhang A2-1 ausführlicher beschrieben ist.

Auf die Ergebnisse zum kombinierten Auftreten von Schadensmerkmalen wird im Kapitel 6.2 und im Anhang A2-2 eingegangen.

6.2 Ergebnisse der Untersuchungen zum kombinierten Auftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Nachfolgend werden die Ergebnisse der statistischen Auswertungen und Analysen zum kombinierten Auftreten verschiedener Schadensmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) sowie eines möglichen Einflusses der Spurrinnentiefe als Querebenheitsparameter auf das Schadensauftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche) dargelegt. Die Ergebnisse dienen im Weiteren der Definition und Charakterisierung bewertungsrelevanter Schadenskombinationen.

6.2.1 Analysen zum kombinierten Auftreten von Schadensmerkmalen des TP3

Neben dem Vorkommen unterschiedlicher Merkmalskombinationen im BAB-Netz wurde auch der Anteil an Schadensmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) analysiert, die entweder alleine oder nebeneinander in unterschiedlichen Rasterfeldern im gesamten 1m-Auswerteabschnitt auftreten.

Das einzelne oder kombinierte Auftreten von Schadensmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) ist essenziell für die Beurteilung des merkmalspezifischen Vorkommens im

BAB-Netz und dient der Festlegung jener Merkmalskombinationen, die aufgrund ihrer Charakteristik einen Mehrwert für die Optimierung von Erhaltungsstrategien darstellen.

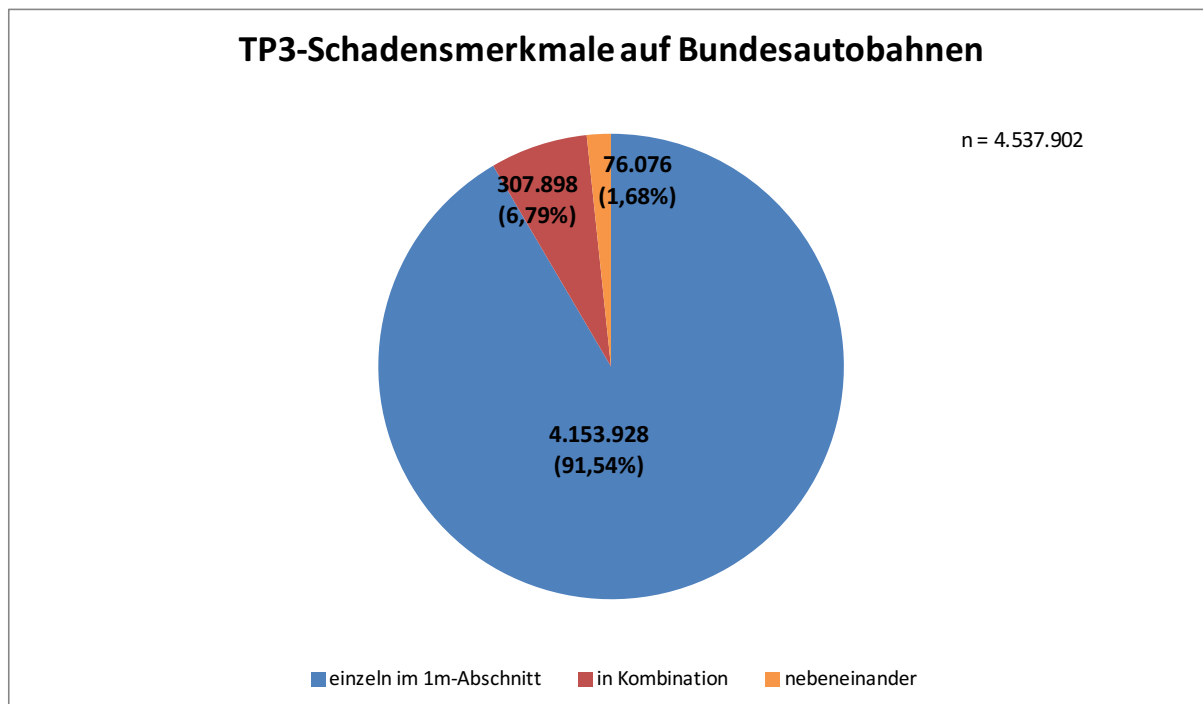


Abbildung 6-2: TP3-Schadensmerkmale differenziert nach ihrer Art des Vorkommens

Die in Abbildung 6-2 dargestellte Häufigkeitsanalyse zu den Schadensmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) hat ergeben, dass die Merkmale zu 91,54 % als Einzelmerkmale im BAB-Netz vorkommen. Dabei treten sie nicht nur alleine im jeweiligen Rasterfeld, sondern im gesamten 1m-Auswerteabschnitt auf. In 6,79 % der Fälle kommen mehrere TP3-Schadensmerkmale in einem oder mehreren Rasterfeldern gemeinsam vor. Einzelmerkmale, die jeweils einzeln im Rasterfeld vorkommen, jedoch nebeneinander mit anderen Einzelmerkmalen im selben 1m-Auswerteabschnitt auftreten, nehmen 1,68 % aller schadhafte 1m-Abschnitte ein.

	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
einzeln im 1m-Abschnitt	305.607	440.956	97.294	748.982	2.561.089
	92,1%	67,5%	62,0%	82,2%	88,4%
in Kombination	18.248	188.994	50.175	106.703	272.014
	5,5%	28,9%	32,0%	11,7%	9,4%
nebeneinander	7.995	23.346	9.465	55.500	62.470
	2,4%	3,6%	6,0%	6,1%	2,2%
Gesamt	331.850	653.296	156.934	911.185	2.895.573

Tabelle 6-1: Aufgliederung der Substanzmerkmale (Oberfläche) nach ihrem Vorkommen

Detailliertere Analysen zu den Einzelmerkmalen des TP3 und ihrer Häufigkeit des kombinierten Auftretens ergaben, dass Bindemittelanreicherungen zu 92,1 % ihres Auftretens alleine sowohl im Rasterfeld als auch im gesamten 1m-Auswerteabschnitt vorkommen (Tabelle 6-1). Lediglich zu 5,5 % treten sie gemeinsam mit anderen TP3-Merkmalen im Rasterfeld und zu 2,4 % nebeneinander im 1m-Auswerteabschnitt auf. Offene Arbeitsnähte hingegen weisen

mit 28,9 % einen erheblich höheren Anteil des gemeinsamen Auftretens mit anderen Schadensmerkmalen des TP3 an ihrem Gesamtvorkommen auf. Sowohl im Rasterfeld als auch im gesamten 1m-Auswerteabschnitt kommen sie zu 67,5 % alleine vor. Zu 3,6 % treten sie nebeneinander mit anderen Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf. Das alleinige Vorkommen von Ausbrüchen im gesamten 1m-Auswerteabschnitt nimmt mit 62,0 % am Gesamtvorkommen ebenfalls einen vergleichsweise niedrigen Anteil ein. Zu 32,0 % treten sie in Kombination mit anderen Schadensmerkmalen des TP3 im Rasterfeld auf. Sowohl Flickstellen als auch Risse dominieren deutlich mit Anteilen von 82,2 % und 88,4 % als Einzelmerkmale im gesamten 1m-Auswerteabschnitt. Ihr Anteil am kombinierten Vorkommen mit anderen TP3-Merkmalen im selben Rasterfeld liegt bei 11,7 % für Flickstellen und 9,4 % für Risse.

Bei der getrennten Betrachtung der Einzelmerkmale und Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche) in Abbildung 6-3 wird deutlich, dass Risse, die als Einzelmerkmal im gesamten 1m-Auswerteabschnitt vorkommen, einen Anteil von 56,4 % am gesamtgesellschaftlichen Schadensvorkommen im BAB-Netz einnehmen. Bei den Merkmalskombinationen kommen Risse und offene Arbeitsnähte in den gleichen Rasterfeldern am häufigsten vor und haben einen Anteil an allen Schäden von 3,3 %.

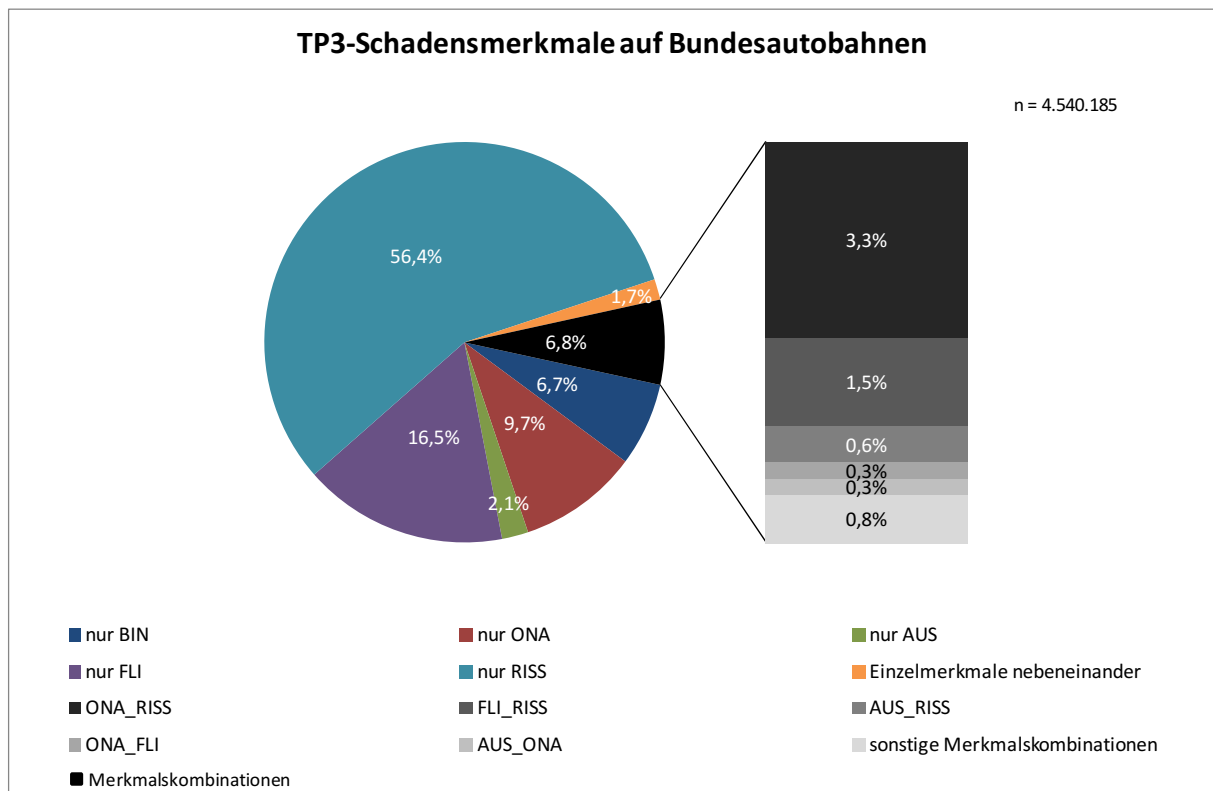


Abbildung 6-3: Einzelmerkmale und Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

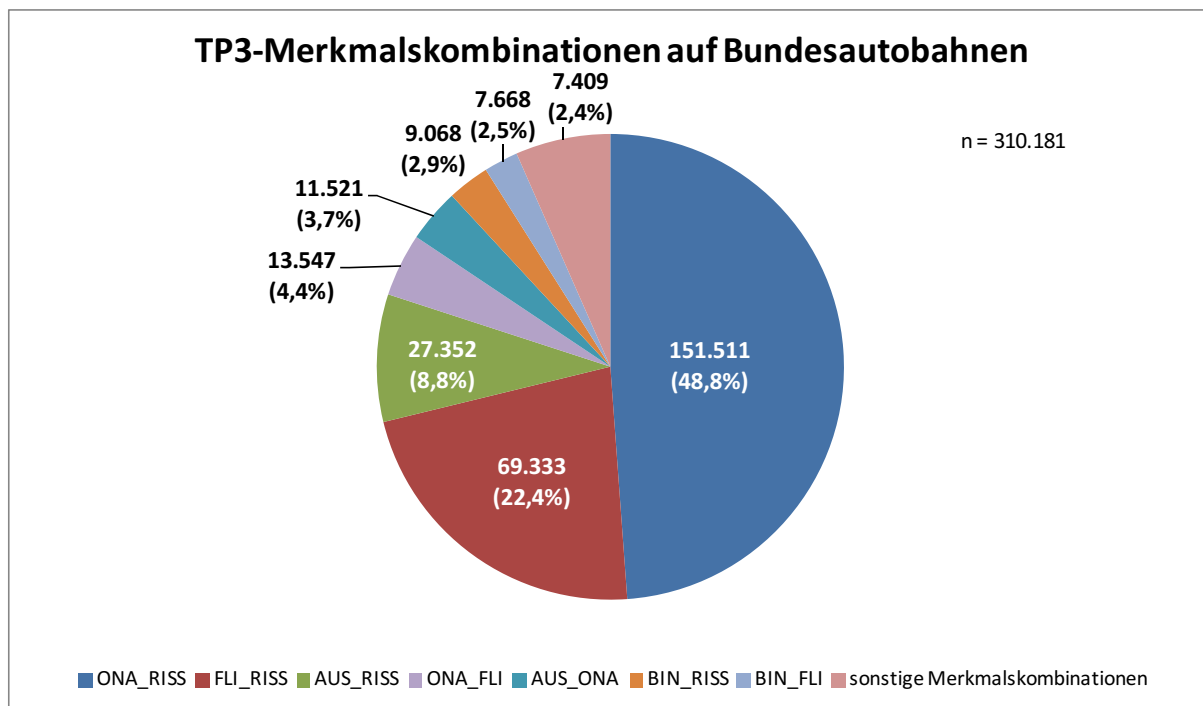


Abbildung 6-4: Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Bei der Untersuchung der einzelnen Merkmalskombinationen wird die Dominanz des Schadensmerkmals „RISS“ beim gemeinsamen Auftreten mit anderen TP3-Merkmalen deutlich (siehe Abbildung 6-4). Die Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) nimmt mit 48,8 % den mit Abstand größten Anteil an den Merkmalskombinationen ein. Gefolgt wird diese Kombination vom gemeinsamen Auftreten der Risse und Flickstellen (FLI_RISS) mit einem Anteil von 22,4 %. Risse treten auch mit Ausbrüchen (AUS_RISS) auf und kommen auf 8,8 % aller 1m-Auswerteabschnitte, die kombinierte Schadensmerkmale aufweisen, vor. Offene Arbeitsnähte und Flickstellen stellen die am viert häufigsten vorkommende Merkmalskombination dar mit einem Anteil von 4,4 % an allen Kombinationen. Aufgrund der Häufigkeit des Vorkommens wird sich bei den weiteren Analysen auf die Merkmalskombinationen „ONA_RISS“, „FLI_RISS“ und „AUS_RISS“ konzentriert.

Statistische Auswertungen anhand von Kreuztabellen zum alleinigen Vorkommen zweier Merkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) im Rasterfeld haben gezeigt, dass 53,4 % aller Merkmalskombinationen auf dem ersten Fahrstreifen und 37,6 % auf dem zweiten Fahrstreifen auftreten (Tabelle A2-1 bis Tabelle A2-3, Anhang A2-2-1). Bei getrennter Betrachtung der Merkmalskombinationen ist festzustellen, dass die Kombination „ONA_RISS“ zu 50,2 % auf dem ersten und zu 38,8 % auf dem zweiten Fahrstreifen vorkommt. Die Merkmalskombination „FLI_RISS“ hingegen zeigt mit 63,5 % eine deutliche Dominanz auf dem ersten Fahrstreifen gegenüber 31,6 % auf dem zweiten Fahrstreifen. Auffällig bei der Kombination „AUS_RISS“ ist das vorrangige Vorkommen auf dem zweiten Fahrstreifen mit 48,4 % gegenüber dem ersten Fahrstreifen mit 43,9 %.

Die Untersuchung des Vorkommens der Merkmalskombinationen in Bezug auf die Lokalisierung im Fahrstreifen anhand von Kreuztabellen hat ergeben, dass „ONA_RISS“ in Relation zum Gesamtvorkommen je Fahrstreifen zu 60,3 % im linken Rasterfeld des ersten Fahrstreifens und zu 61,6 % im rechten Fahrstreifendrittel des zweiten Fahrstreifens vorkommt (Tabelle A2-4 bis Tabelle A2-6, Anhang A2-2-1). Anteilig am jeweiligen Fahrstreifen treten „FLI_RISS“ zu 45,7 % auf dem ersten und zu 49,3 % auf dem zweiten Fahrstreifen jeweils im rechten Rasterfeld auf. Auch die Kombination „AUS_RISS“ dominiert auf beiden Fahrstreifen

jeweils das rechte Fahrstreifendrittel mit 43,6 % auf dem ersten und mit 46,6 % auf dem zweiten Fahrstreifen. Bei einer detaillierteren Analyse der Merkmalskombinationen in Bezug auf die einzelnen Lokalisierungskombinationen im Fahrstreifen konnte festgestellt werden, dass alle Kombinationen vorwiegend entweder im rechten oder linken Fahrstreifendrittel auftreten (Tabelle A2-7, Anhang A2-2-1). Eine Ausbreitung der Merkmalskombinationen über ein Rasterfeld in Querrichtung hinaus kommt nur marginal vor. Die Merkmalskombination „ONA_RISS“ tritt überwiegend entweder im rechten oder linken Fahrstreifendrittel auf. Das Vorkommen der Merkmalskombinationen „FLI_RISS“ und „AUS_RISS“ hingegen konzentriert sich im Wesentlichen auf das rechte Fahrstreifendrittel.

Um einen möglichen Einfluss von Querunebenheiten der Fahrbahn auf das kombinierte Auftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche) zu analysieren, wurden sowohl die Einzelmerkmale als auch die auf Basis der Häufigkeitsanalysen ausgewählten Merkmalskombinationen mit der Spurrinntiefe links und rechts überlagert und Häufigkeitsstatistiken erstellt. Dazu wurden die Zustandsgrößen der Spurrinntiefen in Anlehnung an die ZEB in fünf Kategorien eingeteilt:

0 = ungültig	3 = ≥ 6 mm - < 10 mm
1 = 0 mm - < 2 mm	4 = ≥ 10 mm - < 20 mm
2 = ≥ 2 mm - < 6 mm	5 = ≥ 20 mm

Ein etwaiger Einfluss des Alters der obersten Asphaltsschicht wurde in diesem Zusammenhang ebenfalls untersucht.

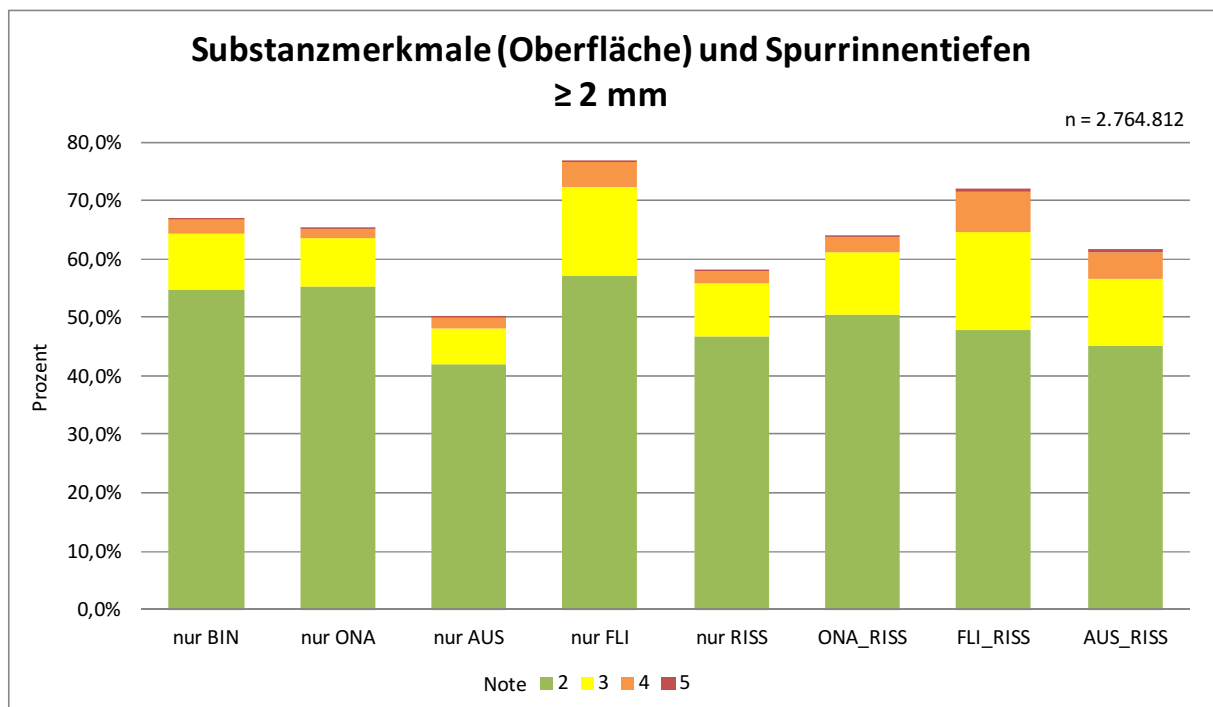


Abbildung 6-5: Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) mit Spurrinntiefen ≥ 2 mm

Die statistischen Untersuchungen hinsichtlich eines potenziellen Zusammenhangs zwischen den Merkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) und der Spurrinntiefe als Querebenenparameter haben ergeben, dass weder die Einzelvorkommen der TP3-Merkmale im Rasterfeld und gesamten 1m-Auswerteabschnitt, noch die einzelnen Merkmalskombinationen mit signifikanten Spurrinntiefen einhergehen (Abbildung 6-5). Tendenzen lassen sich dahingehend erkennen, dass Flickstellen sowohl als Einzelvorkommen als auch in Kombina-

tion mit Rissen die höchsten Anteile an Spurrinntiefen ≥ 6 mm (entspricht der Note 3) zeigen.

Unter additiver Betrachtung des durchschnittlichen Alters der obersten Asphaltsschicht bei Auftreten der entsprechenden Spurrinntiefen ist festzustellen, dass das durchschnittliche Alter bei einem gleichzeitigen Auftreten von Merkmalskombination und Spurrinntiefe ≥ 2 mm von der Merkmalskombination „ONA_RISS“ über „FLI_RISS“ nach „AUS_RISS“ zunimmt (Abbildung A2-1, Anhang A2-2-1). Auch zwischen den verschiedenen Kategorien der Spurrinntiefen lässt sich hinsichtlich der durchschnittlichen Altersverteilung ein Trend erkennen. So sind die obersten Asphaltsschichten mit höheren Spurrinntiefen im Mittel zu meist älter als diejenigen mit geringeren Werten. Eine Ausnahme bildet die durchschnittliche Altersstruktur bei Auftreten der Merkmalskombination „AUS_RISS“. Hier stellen sich die obersten Asphaltsschichten mit höheren Spurrinntiefen im Mittel jünger dar.

6.2.2 Deskriptive Statistik zum Schadensauftreten ausgewählter Merkmalskombinationen des TP3

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen der jeweiligen Merkmalskombination und ihr Auftreten potenziell erklärender Parameter zu untersuchen, wurden unterschiedliche Analysen der deskriptiven Statistik angewendet.

Für die Durchführung vergleichender Mittelwertanalysen zwischen einer Merkmalskombination und der sie bildenden Einzelmerkmale hinsichtlich verschiedener Einflussfaktoren, wie beispielsweise dem Alter bzw. der Dicke der einzelnen Asphaltsschichten bzw. des Asphaltpaketes oder der Verkehrsbelastung, die das kombinierte Auftreten erklären könnten, wurden die einzelnen 1m-Auswerteabschnitte zu zusammengehörigen 100m-Abschnitten aggregiert. Zu jedem dieser 100m-Abschnitte wurde die Anzahl der in ihnen auftretenden Einzelmerkmale und Merkmalskombinationen als jeweilige Summe aller betroffenen 1m-Auswerteabschnitte wiedergegeben. Andere Parameter, wie das Alter der Asphaltsschichten oder die Verkehrsstärke, lagen bereits vor der Übernahme in die Arbeits-Datenbank für den gesamten 100m-Abschnitt vor. Die Grundgesamtheit bildeten alle 100m-Abschnitte, die eines oder beide der die jeweilige Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale aufweisen.

Ausgewählte Merkmalskombinationen, die sich unter anderem aus dem TP3-Merkmal „Offene Arbeitsnähte“ zusammensetzen, wurden anhand ihrer Lokalisierung im Fahrstreifen auf ihr unmittelbares Vorkommen nahe einer Folgenaht zwischen Einbaubahnen hin untersucht. Die Bestimmung der Lage der Folgenähte im Fahrbahnquerschnitt erfolgte auf Basis der Aufbaudaten. Anhand der Art und des Alters der obersten Asphaltsschicht der einzelnen Fahrstreifen im Fahrbahnquerschnitt konnte die Lage der Folgenaht zwischen den jeweiligen Fahrstreifen ermittelt werden. Zur Bestimmung der Lage der Folgenaht zwischen den Tragschichten wurden die Informationen zur Tragschicht 2, also der obersten Tragschicht, verwendet. Eine detailliertere Beschreibung der Bestimmung der Lage der Folgenähte im Fahrstreifen findet sich in Kapitel 7.2.1. Die Grundgesamtheit für die Analyse zu Lage nahe einer Folgenaht umfasste alle 1m-Auswerteabschnitte, die eines oder beide der die jeweilige Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale aufweisen.

Zur detaillierteren Analyse möglicher Einflussfaktoren auf das Auftreten von Merkmalskombinationen wurden im Weiteren Streudiagramme erstellt, anhand derer eine visuelle Einschätzung eines möglichen (linearen) Zusammenhangs zwischen den Variablen vorgenommen wurde. Auf Basis dieser Streudiagramme wurden Variablen ausgewählt, die einen mög-

lichen statistischen Zusammenhang erkennen lassen und daher für anschließende Korrelations- und Regressionsanalysen herangezogen wurden.

Die Art eines statistischen linearen Zusammenhangs und die Stärke dieser Beziehung wurde sowohl zwischen den einzelnen Schadensmerkmalen einer Merkmalskombination als auch zwischen der Merkmalskombination und der möglicherweise ihr Auftreten erklärenden Einflussfaktoren unter Bestimmung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) untersucht.

6.2.2.1 Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“

Die Mittelwertanalysen in Tabelle 6-2 bezogen auf 100m-Auswerteabschnitte zeigen, dass die Dünnschichtbeläge (2,5 cm) bei Auftreten der Merkmalskombination im Mittel um ein bis zwei Jahre jünger sind als beim Auftreten der Einzelmerkmale „ONA“ oder „RISS“.

	ONA_RISS	ONA	RISS
Anteil Merkmal(skombination) mit Lage nahe Folgenaht	50,15%	56,71%	45,76%
Anteil Merkmal(skombination) bei Vorhandensein eines Dünnschichtbelages (2,5 cm)	11,94%	6,46%	7,71%
durchschnittliches Alter des Dünnschichtbelages (2,5 cm) beim Auftreten der Merkmal(skombination)	14,6 Jahre	17,0 Jahre	15,0 Jahre
durchschnittliches Alter der Deckschicht (4,0 cm) beim Auftreten der Merkmal(skombination)	24,3 Jahre	23,6 Jahre	20,2 Jahre
durchschnittliche Dicke der Asphaltdecke	12,06 cm	12,53 cm	11,90 cm
durchschnittliche Dicke des Asphaltpaketes	29,70 cm	30,47 cm	28,89 cm

Tabelle 6-2: Ergebnisse der Mittelwertanalysen zur Merkmalskombination „ONA_RISS“ bezogen auf 100m-Auswerteabschnitte

Das durchschnittliche Alter der Deckschichten (4,0 cm) hingegen liegt bei Vorhandensein von „ONA_RISS“ um ein bis vier Jahre höher, als wenn nur offene Arbeitsnähte oder Risse auftreten. Auch der prozentuale Anteil des Auftretens der Merkmalskombination bei Vorhandensein eines Dünnschichtbelages von 2,5 cm ist mit ca. 4,0 % deutlich höher als bei den Einzelvorkommen. Die Mittelwertanalysen ergaben weiterhin keine signifikanten Unterschiede zwischen der Merkmalskombination „ONA_RISS“ und ihren Einzelmerkmalen in Bezug auf die Dicke der Asphaltdecke oder die Dicke des Asphaltpaketes.

Die relative Häufigkeitsverteilung zum Deckschichtalter in Abbildung 6-6 bestätigt die Ergebnisse der Mittelwertanalysen, dass die Einzelvorkommen höhere Anteile an jüngeren Deckschichten (4,0 cm) besitzen als die Merkmalskombination.

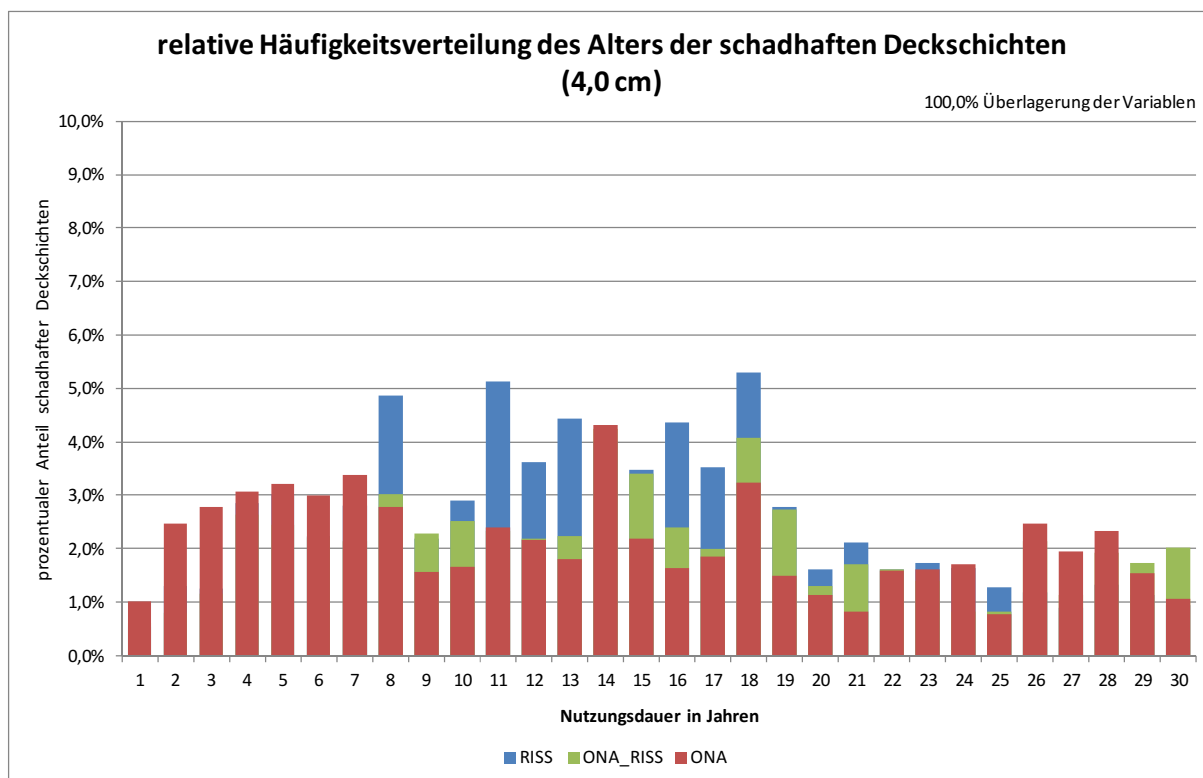


Abbildung 6-6: Relative Häufigkeitsverteilung des Alters der Deckschichten (4,0 cm) bei Auftreten von „ONA_RISS“, „ONA“ oder „RISS“

	ONA_RISS		ONA		RISS	
Lage nahe beliebiger Folgenaht	64.268	42,42%	293.444	44,92%	1.213.818	41,92%
Lage nahe Folgenaht zur Randbefestigung	37.029	24,44%	183.817	28,14%	984.512	34,00%
Lage nahe Folgenaht der Deckschicht	27.915	18,42%	112.904	17,28%	267.746	9,25%
Lage über Folgenaht der Tragschicht	17.157	11,32%	52.639	8,06%	153.849	5,31%
Merkmal(skombination) ohne Lage nahe Folgenaht	5.142	3,39%	10.492	1,61%	275.648	9,52%
1m-Auswerteabschnitte	151.511	100,00%	653.296	100,00%	2.895.573	100,00%

Tabelle 6-3: Häufigkeitsanalysen zur Lage von „ONA_RISS“, „ONA“ und „RISS“ nahe einer Folgenaht im Fahr-
bahnquerschnitt bezogen auf 1m-Auswerteabschnitte

Die in Tabelle 6-3 dargestellten Häufigkeitsanalysen zur Untersuchung der Lage der Merkmalskombination anhand der 1m-Auswerteabschnitte ergaben, dass in 42,4 % aller Fälle des Auftretens von „ONA_RISS“ diese nahe Folgennähten zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung lokalisiert sind. Im Vergleich der prozentualen Anteile der Merkmalskombination mit den Einzelvorkommen kommen „ONA_RISS“ am wenigsten nahe Nähten zur Randbefestigung, dafür am häufigsten nahe Folgennähten zwischen den Einbaubahnen der obersten Asphaltsschicht und deutlich häufiger über Nähten der Tragschicht vor. Bei der Häufigkeitsanalyse zum Vorkommen der Merkmalskombination sowie ihrer Einzelmerkmale im jeweiligen 100m-Abschnitt ist festzustellen, dass im Mittel 50,15 % aller im selben 100m-Abschnitt auftretenden Merkmalskombinationen, 56,71 % aller „ONA“ und 45,76 % aller vor-

kommenden Risse nahe einer Folgenaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung liegen (Tabelle 6-2).

Basierend auf den Ergebnissen der statistischen Mittelwertanalysen wird ein möglicher Zusammenhang der Merkmalskombination „ONA_RISS“ mit dem Alter der Deckschicht (4,0 cm) und der Dicke der Asphaltdecke bzw. des Asphaltpaketes untersucht.

Anhand der im Anhang A2-2-1-1 aufgeführten Streudiagramme (Abbildung A2-2 und folgende) lässt sich ein erster Eindruck gewinnen, ob und wie stark das Auftreten der Merkmalskombination „ONA_RISS“ mit ausgewählten Regressoren, wie beispielsweise dem Alter der Deckschichten (4,0 cm), zusammenhängt. Alle Streudiagramme zeigen erwartungsgemäß eine relativ klare lineare Struktur, die auf die Verwendung von jeweils zwei diskreten Variablen zurückzuführen ist. Aus der Darstellung zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ im 100m-Abschnitt in Abhängigkeit vom Alter der Deckschichten (4,0 cm) wird deutlich, wie variabel die Anzahl des Vorkommens von „ONA_RISS“ für jeweils feste Alter der Deckschichten ist. Auch das Streudiagramm zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke zeigt eine hohe Variabilität des Vorkommens von „ONA_RISS“ bei festen Dicken der Asphaltdecke. Das Streudiagramm zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes zeigt ebenfalls wie variabel die Anzahl des Vorkommens von ONA_RISS für feste Dicken des Asphaltpaketes ist.

Die durchgeführten Analysen zur Korrelation nach Pearson ergaben zur Merkmalskombination „ONA_RISS“ mittlere Korrelationskoeffizienten mit der Lage nahe einer Folgenaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung, geringe Korrelationen mit der Lage über einer Tragschichtnaht und sehr geringe Korrelationen mit der Dicke des Asphaltpaketes (Tabelle A2-8, Anhang A2-2-1-1). Negative Korrelationen und einen sehr geringen Zusammenhang konnte zwischen der Merkmalskombination und dem Alter der Dünnschicht (2,5 cm), der Dicke der Asphaltdecke und dem Alter der Deckschicht (4,0 cm) festgestellt werden.

Die multiple lineare Regression zwischen der Merkmalskombination und den Regressoren „Lage nahe Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung“, „Alter der Deckschicht“, „Lage über Tragschichtnaht“ und „Dicke der Asphaltdecke“ ergab ein adjustiertes Bestimmtheitsmaß von $R_a^2 = 0,763$ (Abbildung A2-5, Anhang A2-2-1-1). Demnach konnte zu 76,3 % das Auftreten der Merkmalskombination „ONA_RISS“ anhand der oben genannten Regressoren erklärt werden. Alleine durch die Aufnahme des Regressors „Lage nahe Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung“ in das Modell kann das Auftreten der Merkmalskombination zu 75,6 % erklärt werden. Die weitere Zunahme des Regressors „Alter der Deckschicht“ erhöht den Erklärungsanteil um 0,5 % lediglich geringfügig. Die Regressoren „Lage über Tragschichtnaht“ und „Dicke der Asphaltdecke“ führen nur noch marginal zu einer Modellverbesserung. Die Überprüfung der Residuen ergab eine rechtsschiefe Verteilung der standardisierten Residuen (Abbildung A2-6 und Abbildung A2-7, Anhang A2-2-1-1). Nach NORUŠIS (2005) haben bei Abwesenheit von Ausreißern Abweichungen von der Residual-Normalverteilung oft keine gravierenden Auswirkungen auf die Ergebnisse einer Regressionsanalyse. Hier greift ebenfalls der zentrale Grenzwertsatz, nach dem mit wachsender Stichprobengröße eine Störung der Inferenzstatistik durch Abweichung von der Normalverteilung der Residuen neutralisiert wird (FAHRMEIR ET AL. 2004). Demnach zeigt nach BACKHAUS ET AL. (2008) eine Regressionsanalyse schon ab einem Stichprobenumfang von $N = 40$ eine Robustheit gegenüber Verletzungen der Fehlernormalverteilung, der hier bei $N = 199.484$ liegt.

Die Analysen der deskriptiven Statistik zur Merkmalskombination „ONA_RISS“ konnten einen statistischen Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Merkmalskombination und der Lage nahe einer Arbeitsnaht zwischen Fahrbahnen oder zur Randbefestigung nachweisen. Belegt werden konnte ebenfalls, dass „ONA_RISS“ im Vergleich zu den Einzelmerkmalen „ONA“ und „RISS“ sowohl in älteren Deckschichten (4,0 cm) vorkommt als auch deutlich häufiger vorkommt, wenn ein Dünnschichtbelag (2,5 cm) vorhanden ist.

6.2.2.2 Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“

Voruntersuchungen zur Merkmalskombination zeigten eine hohe Präsenz auf dem ersten Fahrstreifen von 63,5 % am Gesamtvorkommen im BAB-Netz. Zur Einbeziehung des Schwerlastverkehrs in die Analysen konzentrieren sich die nachfolgenden Ergebnisse der deskriptiven Statistik ausschließlich auf den ersten Fahrstreifen.

Die in Tabelle 6-4 dargestellten statistischen Mittelwertanalysen ergaben, dass die Merkmalskombination in im Mittel zwei bis vier Jahre älteren Deckschichten (4,0 cm) auftritt als die Einzelmerkmale „FLI“ und „RISS“. Auch die Häufigkeitsverteilung zum Alter der Deckschichten (4,0 cm) in Abbildung 6-7 veranschaulicht diesen Trend.

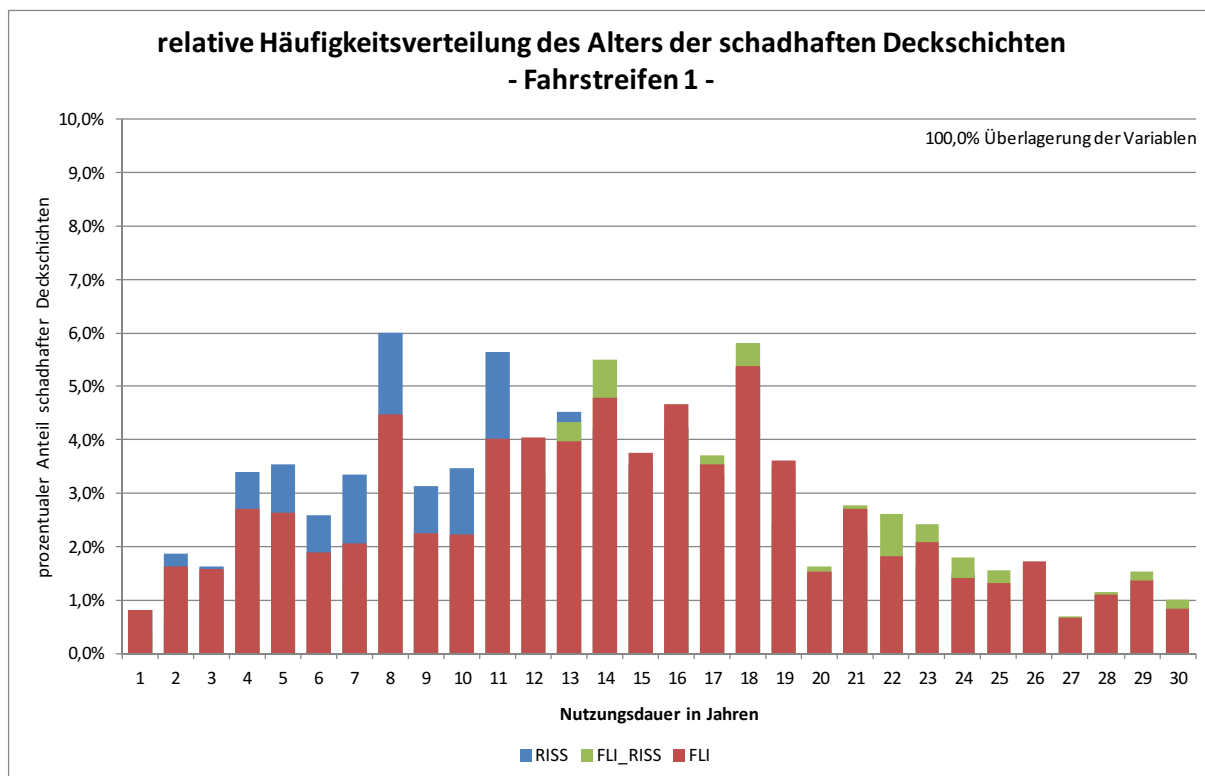


Abbildung 6-7: Relative Häufigkeitsverteilung des Alters der Deckschichten (4,0 cm) bei Auftreten von FLI_RISS, FLI oder RISS

	FLI_RISS	FLI	RISS
durchschnittliches Alter der Deckschicht (4,0 cm) beim Auftreten der Merkmal(s)kombination)	22,9 Jahre	20,2 Jahre	18,1 Jahre
ertragene Verkehrsbelastung (B-Zahl)	15,1 Mio. äquiv. 10t	15,1 Mio. äquiv. 10t	13,3 Mio. äquiv. 10t
durchschnittliche Dicke der Asphaltdecke	11,92 cm	12,02 cm	11,93 cm

		FLI_RISS	FLI	RISS
durchschnittliche Dicke des Asphaltpaketes		28,64 cm	29,27 cm	28,85 cm
Spurrinntiefe links		4,98 mm	4,46 mm	4,04 mm
Spurrinntiefe rechts		4,37 mm	3,92 mm	3,33 mm
Anteil der Merkmal(skombination) bei Vorhandensein eines Dünnschichtbelages (2,5 cm)		10,82%	8,45%	8,80%
Art der Deckschicht	AB	12,7%	9,6%	9,6%
	GA	41,9%	40,3%	28,0%
	SMA	46,0%	51,1%	62,5%
	andere	1,0%	0,8%	0,9%

Tabelle 6-4: Ergebnisse der Mittelwertanalysen zur Merkmalskombination „FLI_RISS“ – Fahrstreifen eins (AB = Asphaltbeton, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt)

In Bezug auf die ertragene Verkehrsbelastung ist zwischen „FLI_RISS“ und dem Einzelvorkommen „FLI“ kein Unterschied festzustellen und auch der Unterschied zum Einzelvorkommen „RISS“ ist nur marginal. Kein Unterschied hingegen zeigt sich bei der mittleren Dicke der Asphaltdecke und des Asphaltpaketes. Leicht höhere mittlere Spurrinntiefen, insbesondere der rechten Rollspur, sind bei der Merkmalskombination gegenüber den Einzelvorkommen festzustellen. Auch der prozentuale Anteil des Auftretens der Merkmalskombination bei Vorhandensein eines Dünnschichtbelages (2,5 cm) ist hier um ca. 2,0 % höher als bei den Einzelmerkmalen. Die Untersuchung hinsichtlich der prozentualen Verteilung auf die Deckschichtarten zeigte im Vergleich zum Einzelvorkommen der Flickstellen signifikant höhere Anteile des Auftretens der Merkmalskombination in Asphaltbeton und Gussasphalt.

Bei den weiteren statistischen Analysen wurde aufgrund der Ergebnisse zu den Mittelwertanalysen ein möglicher Zusammenhang der Merkmalskombination „FLI_RISS“ insbesondere mit dem Alter der Deckschicht (4,0 cm) und der Spurrinntiefe links und rechts detaillierter untersucht.

Die im Anhang A2-2-1-2 dargestellten Streudiagramme (Abbildung A2-8 und Folgende) ermöglichen einen ersten Eindruck, ob und wie stark das Auftreten der Merkmalskombination „FLI_RISS“ mit ausgewählten Prädiktoren, wie beispielsweise dem Alter der Deckschicht (4,0 cm), zusammenhängt. Die Streudiagramme zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit vom Alter der Deckschicht (4,0 cm), von der Dicke der Asphaltdecke und der Dicke des Asphaltpaketes zeigen erwartungsgemäß eine relativ klare lineare Struktur, die auf die Verwendung von jeweils zwei diskreten Variablen zurückzuführen ist. Aus der Darstellung zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ im 100m-Abschnitt in Abhängigkeit vom Alter der Deckschichten (4,0 cm) wird deutlich, wie variabel die Anzahl des Vorkommens von „FLI_RISS“ für jeweils feste Alter der Deckschichten ist. Auch das Streudiagramm zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke zeigt eine hohe Variabilität des Vorkommens von „FLI_RISS“ bei festen Dicken der Asphaltdecke. Das Streudiagramm zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes zeigt ebenfalls wie variabel die Anzahl des Vorkommens von „FLI_RISS“ für feste Dicken des Asphaltpaketes ist. Die Darstellung zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ im 100m-Abschnitt in Abhängigkeit von der

ertragenen Verkehrsbelastung (B-Zahl) zeigt eine Konzentration der Punktwolke an der Abszisse, was auf ein generell niedriges prozentuales Vorkommen der Merkmalskombination im gesamten 100m-Abschnitt hindeutet. Darüber hinaus weist das Streudiagramm keine erkennbaren Zusammenhänge zwischen der Anzahl des Vorkommens von „FLI_RISS“ und der ertragenen Verkehrsbelastung aus.

Die Korrelationsanalysen nach Pearson ergaben zur Merkmalskombination „FLI_RISS“ durchgängig sehr geringe Korrelationen mit dem Alter der Dünnschicht (2,5 cm), dem Alter der Deckschicht (4,0 cm), der Spurrinntiefe links und rechts sowie mit dem Vorhandensein eines Dünnschichtbelages (Tabelle A2-9, Anhang A2-2-1-2). Sehr geringe Korrelationen mit gegenläufiger Tendenz weist die Merkmalskombination mit der Dicke der Asphaltdecke und der B-Zahl auf.

Die multiple lineare Regression zwischen der Merkmalskombination und den Regressoren „Dicke des Asphaltpaketes“, „Alter der Deckschicht“, „Spurrinntiefe rechts“ und „DTV“ ergab ein adjustiertes Bestimmtheitsmaß von $R_a^2 = 0,047$ (Abbildung A2-12, Anhang A2-2-1-2). Demnach konnte lediglich zu 4,7 % das Auftreten der Merkmalskombination „FLI_RISS“ anhand der oben genannten Regressoren erklärt werden. Der Anteil der Varianz, der mit der Regressionsanalyse nicht erklärt werden kann, liegt demnach bei 95,3 %. Obwohl der erklärende Beitrag allgemein gering ist, trägt alleine die Zunahme der Variable „Alter der Deckschicht“ zur Zielvariablen und zur Variable „Dicke des Asphaltpaketes“ zu einer Verdopplung der erklärbaren Varianz bei. Die Überprüfung der Residuen ergab eine rechtsschiefe Verteilung der standardisierten Residuen (Abbildung A2-13 und Abbildung A2-14, Anhang A2-2-1-2). Nach NORUŠIS (2005) haben bei Abwesenheit von Ausreißern Abweichungen von der Residual-Normalverteilung oft keine gravierenden Auswirkungen auf die Ergebnisse einer Regressionsanalyse. Hier greift ebenfalls der zentrale Grenzwertsatz, nach dem mit wachsender Stichprobengröße eine Störung der Inferenzstatistik durch Abweichung von der Normalverteilung der Residuen neutralisiert wird (FAHRMEIR ET AL. 2004). Demnach zeigt nach BACKHAUS ET AL. (2008) eine Regressionsanalyse schon ab einem Stichprobenumfang von $N = 40$ eine Robustheit gegenüber Verletzungen der Fehlernormalverteilung, der hier bei $N = 100.539$ liegt.

Die Analysen der deskriptiven Statistik zur Merkmalskombination „FLI_RISS“ konnten keinen statistischen Zusammenhang zwischen der Merkmalskombination und ihr Auftreten potenziell erklärender Parameter nachweisen.

6.2.2.3 Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“

Die in Tabelle 6-5 aufgeführten statistischen Mittelwertanalysen zeigen ein Auftreten der Merkmalskombination in im Mittel um zwei bis fünf Jahre älteren Deckschichten (4,0 cm) als die Einzelvorkommen „AUS“ und „RISS“. Ein Vergleich der Mittelwerte zum Alter der Dünnschichtbeläge (2,5 cm) ergab einen deutlichen Unterschied zwischen „AUS_RISS“ und dem Einzelmerkmal „RISS“ von im Mittel drei Jahren. Die in Abbildung 6-8 aufgetragene Häufigkeitsverteilung zum Alter der Deckschichten (4,0 cm) verdeutlicht die Tendenz der Merkmalskombination hin zu einem höheren Alter der obersten Asphaltsschichten.

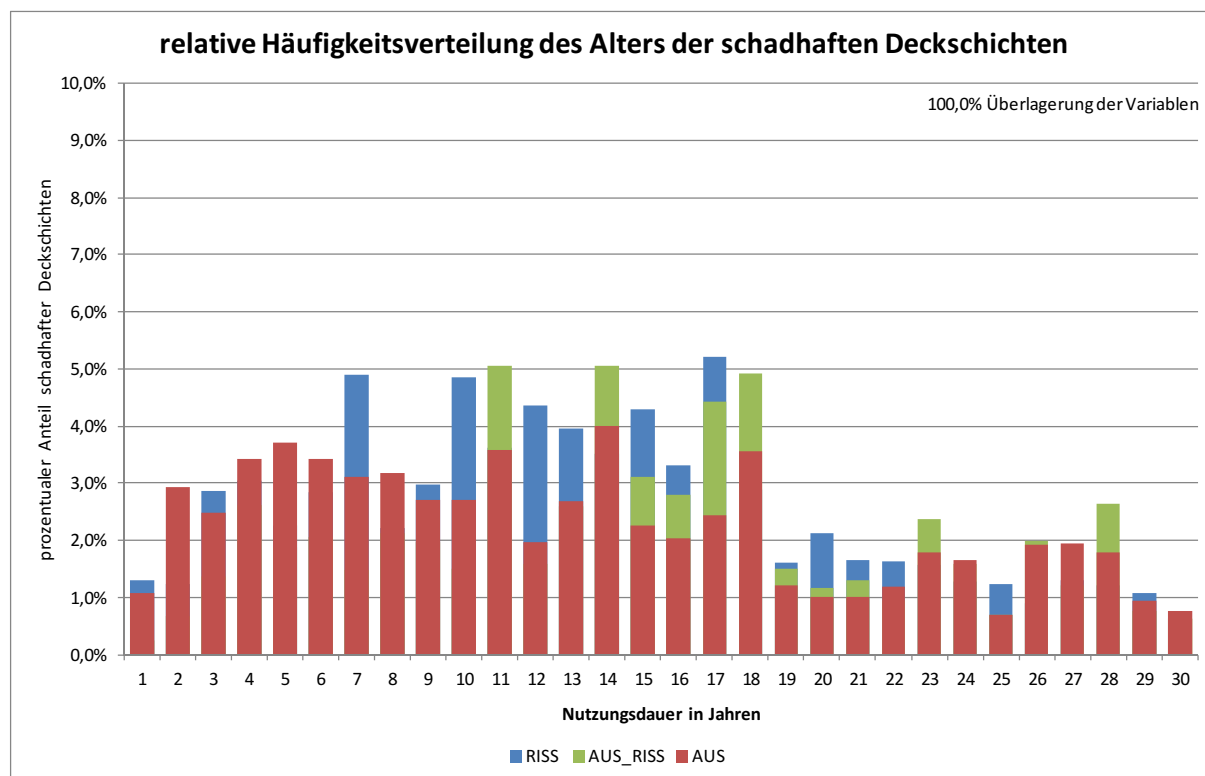


Abbildung 6-8: Relative Häufigkeitsverteilung des Alters der Deckschichten (4,0 cm) bei Auftreten von „AUS_RISS“, „AUS“ oder „RISS“

	AUS_RISS	AUS	RISS
Anteil Merkmal(skombination) mit Lage nahe Folgenaht	41,40%	41,47%	45,88%
durchschnittliches Alter des Dünnschichtbelages (2,5 cm) beim Auftreten der Merkmal(skombination)	16,4 Jahre	16,3 Jahre	13,0 Jahre
durchschnittliches Alter der Deckschicht (4,0 cm) beim Auftreten der Merkmal(skombination)	23,3 Jahre	21,1 Jahre	18,4 Jahre
durchschnittliche Dicke der Asphaltdecke	12,40 cm	12,42 cm	11,88 cm
durchschnittliche Dicke des Asphaltpaketes	29,80 cm	30,50 cm	28,91 cm
ertragene Verkehrsbelastung (B-Zahl)	5,3 Mio. äquiv. 10t	5,8 Mio. äquiv. 10t	6,0 Mio. äquiv. 10t

Tabelle 6-5: Ergebnisse der Mittelwertanalysen zur Merkmalskombination „AUS_RISS“

Unterschiedliche Dicken der Asphaltdecke oder des Asphaltpaketes konnten anhand der Mittelwertanalysen nicht festgestellt werden (Tabelle 6-5). Vergleiche in Bezug auf die B-Zahl ergaben im Mittel niedrigere Werte für die Merkmalskombination, insbesondere im Gegensatz zum Einzelvorkommen der Risse. Bedeutend höhere mittlere Spurrinntiefen in der rechten Rollspur von bis zu 1 mm zeigten sich beim Auftreten von „AUS_RISS“ im Gegensatz zu den Einzelmerkmalen.

	AUS_RISS		AUS		RISS	
Lage nahe beliebiger Folgenaht	11.288	41,27%	58.391	45,06%	1.267.502	44,19%
Lage nahe Folgenaht zur Randbefestigung	8.627	31,54%	43.558	33,61%	1.014.407	35,37%

	AUS_RISS		AUS		RISS	
Lage nahe Folgenahat der Deckschicht	2.798	10,23%	15.838	12,22%	292.860	10,21%

Tabelle 6-6: Häufigkeitsanalysen zur Lage von „AUS_RISS“, „AUS“ und „RISS“ nahe einer Folgenahat im Fahrbahnquerschnitt

Die Häufigkeitsanalysen zur Untersuchung der Lage der Merkmalskombination nahe einer Folgenahat zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung anhand der 1m-Auswerteabschnitte ergaben, dass in 41,3 % aller Fälle des Auftretens von „AUS_RISS“ diese nahe solcher Arbeitsnähten lokalisiert sind (Tabelle 6-6). Die Einzelmerkmale „AUS“ und „RISS“ kommen im Vergleich zur Merkmalskombination um 3,0 % bis 4,0 % häufiger nahe Folgenahaten vor. Eine Differenzierung in die unterschiedlichen Arbeitsnähte zeigt einen deutlicheren Unterschied zwischen „AUS_RISS“ und den Einzelmerkmalen bei den Arbeitsnähten zur Randbefestigung als zwischen den Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt. Bei der Häufigkeitsanalyse zum Vorkommen der Merkmalskombination sowie ihrer Einzelmerkmale im jeweiligen 100m-Abschnitt ist festzustellen, dass im Mittel 41,4 % aller im selben Abschnitt auftretenden Merkmalskombinationen, 41,5 % aller „AUS“ und 45,9 % aller vorkommenden Risse nahe einer Folgenahat zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung liegen (Tabelle 6-5).

Die vorangegangenen Analysen deuten auf einen möglichen Zusammenhang der Merkmalskombination mit der Position nahe einer Folgenahat, zur Spurrinnentiefe und zum Alter der Deckschicht (4,0 cm) hin.

Anhand der im Anhang A2-2-1-3 aufgeführten Streudiagramme (Abbildung A2-15 und Folgende) lässt sich ein erster Eindruck gewinnen, ob und wie stark das Auftreten der Merkmalskombination „AUS_RISS“ mit ausgewählten Regressoren, wie beispielsweise dem Alter der Deckschichten (4,0 cm), zusammenhängt. Die Streudiagramme zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht (4,0 cm), der Dicke der Asphaltdecke und der Dicke des Asphaltpaketes zeigen erwartungsgemäß eine relativ klare lineare Struktur, die auf die Verwendung von jeweils zwei diskreten Variablen zurückzuführen ist. Aus der Darstellung zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ im 100m-Abschnitt in Abhängigkeit vom Alter der Deckschichten wird deutlich, wie variabel die Anzahl des Vorkommens von „AUS_RISS“ für jeweils feste Alter der Deckschichten ist. Auch das Streudiagramm zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke zeigt eine hohe Variabilität des Vorkommens von „AUS_RISS“ bei festen Dicken der Asphaltdecke. Das Streudiagramm zur Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes zeigt ebenfalls wie variabel die Anzahl des Vorkommens von „AUS_RISS“ für feste Dicken des Asphaltpaketes ist. Die Diagramme zur Häufigkeit des Auftretens von „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Spurrinnentiefe links und rechts weisen eine Rechtsschiefe der Wertepaare auf, was auf ein höheres Auftreten der Merkmalskombination mit niedrigeren Spurrinnentiefen hindeutet. Das Streudiagramm zur Anzahl des Vorkommens der Merkmalskombination in Abhängigkeit zu der ertragenen Verkehrsbelastung (B-Zahl) zeigt keine erkennbaren Zusammenhänge.

Die durchgeführten Korrelationsanalysen nach Pearson haben eine mittlere Korrelation zwischen der Merkmalskombination „AUS_RISS“ und der Lage nahe einer Folgenahat zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung nachgewiesen (Tabelle A2-10, Anhang A2-2-1-3). Sehr geringe Korrelationen zeigen sich mit den Spurrinnentiefen links und rechts und der Dicke der Asphaltdecke bzw. des Asphaltpaketes.

Die multiple lineare Regression zwischen der Merkmalskombination und den Regressoren „Lage nahe Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung“, „B-Zahl“, „Alter der Deckschicht“, und „Spurrinntiefe links“ ergab ein adjustiertes Bestimmtheitsmaß von $R_a^2 = 0,422$ (Abbildung A2-21, Anhang A2-2-1-3). Demnach konnte zu 42,2 % das Auftreten der Merkmalskombination „AUS_RISS“ anhand der oben genannten Regressoren erklärt werden. Alleine durch die Aufnahme des Regressors „Lage nahe Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung“ in das Modell kann das Auftreten der Merkmalskombination zu 41,6 % erklärt werden. Die weitere Zunahme des Regressors „B-Zahl“ erhöht den Erklärungsanteil um 0,5 % lediglich geringfügig. Die Regressoren „Alter der Deckschicht“ und „Spurrinntiefe links“ führen nur noch marginal zu einer Modellverbesserung. Die Überprüfung der Residuen ergab eine rechtsschiefe Verteilung der standardisierten Residuen (Abbildung A2-22 und Abbildung A2-23, Anhang A2-2-1-3). Nach NORUŠIS (2005) haben bei Abwesenheit von Ausreißern Abweichungen von der Residual-Normalverteilung oft keine gravierenden Auswirkungen auf die Ergebnisse einer Regressionsanalyse. Hier greift ebenfalls der zentrale Grenzwertsatz, nach dem mit wachsender Stichprobengröße eine Störung der Inferenzstatistik durch Abweichung von der Normalverteilung der Residuen neutralisiert wird (FAHRMEIR ET AL. 2004). Demnach zeigt nach BACKHAUS ET AL. (2008) eine Regressionsanalyse schon ab einem Stichprobenumfang von $N = 40$ eine Robustheit gegenüber Verletzungen der Fehlernormalverteilung, der hier bei $N = 207.732$ liegt.

Die Analysen der deskriptiven Statistik zur Merkmalskombination „AUS_RISS“ konnten einen statistischen Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Merkmalskombination und der Lage nahe einer Folgenaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung nachweisen. Belegt werden konnte ebenfalls, dass „AUS_RISS“ im Vergleich zu den Einzelmerkmalen „AUS“ und „RISS“ in älteren Deckschichten (4,0 cm) vorkommt.

6.2.3 Geographische Raumanalyse zum kombinierten Schadensvorkommen der TP3-Merkmale

Das Schadensvorkommen der Merkmalskombinationen im BAB-Netz wurde anhand der Lokalisierungsangaben in der Arbeits-Datenbank mithilfe eines GIS-Programms (QGIS) visualisiert und anschließend analysiert. Die Darstellungen erfolgten für alle ausgewählten Merkmalskombinationen getrennt auf einer Deutschlandkarte für das gesamte BAB-Netz. Visualisiert wurden die Daten zusammengefasst für alle Fahrstreifen sowie getrennt nach Fahrstreifen eins und Fahrstreifen zwei. Die Anzahl des Vorkommens größer Null im jeweiligen 100m-Abschnitt wurde dargestellt. Eine detailliertere Visualisierung je 1m-Auswerteabschnitt war aufgrund der Kleinmaßstäbigkeit nicht umzusetzen.

Zur detaillierteren Untersuchung eventueller regionalgeographischer Besonderheiten in Bezug auf das Schadensauftreten bestimmter Merkmalskombinationen sowie möglicher schadensbegünstigender Faktoren wurden neben der Kartendarstellung statistische Häufigkeits- und Mittelwertanalysen durchgeführt. Die Analysen beruhen sowohl auf den 1m-Auswerteabschnitten als auch auf den aggregierten 100m-Abschnitten.

Die Ergebnisse zur Betrachtung des DTV^(SV), des DTV und der B-Zahl unter geographischen Gesichtspunkten sind dem Kapitel 5.2.5 zu den Einzelmerkmalen zu entnehmen.

6.2.3.1 Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“

Bundesautobahnnetz
Vorkommen der Merkmalskombination "ONA_RISS"

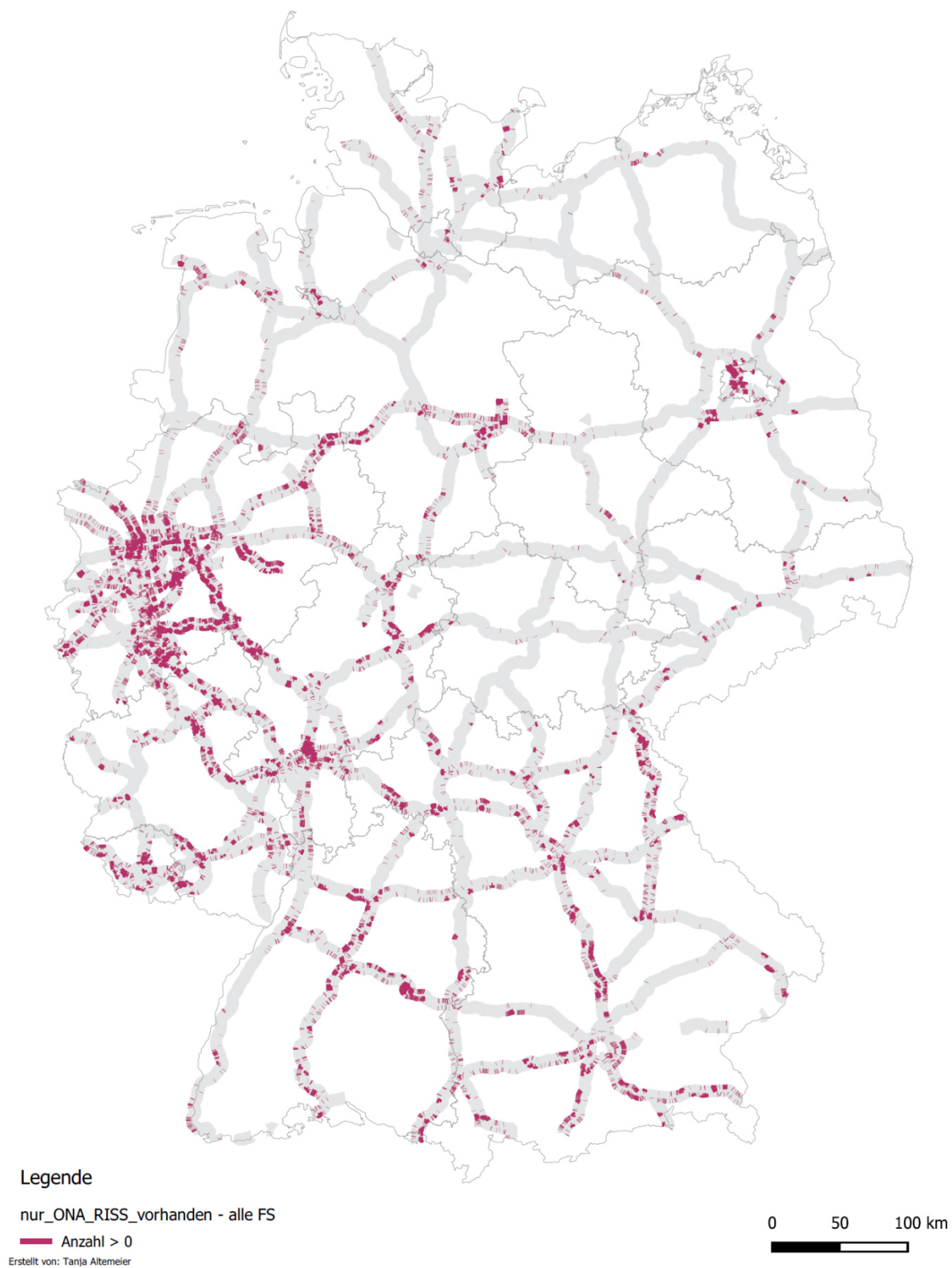


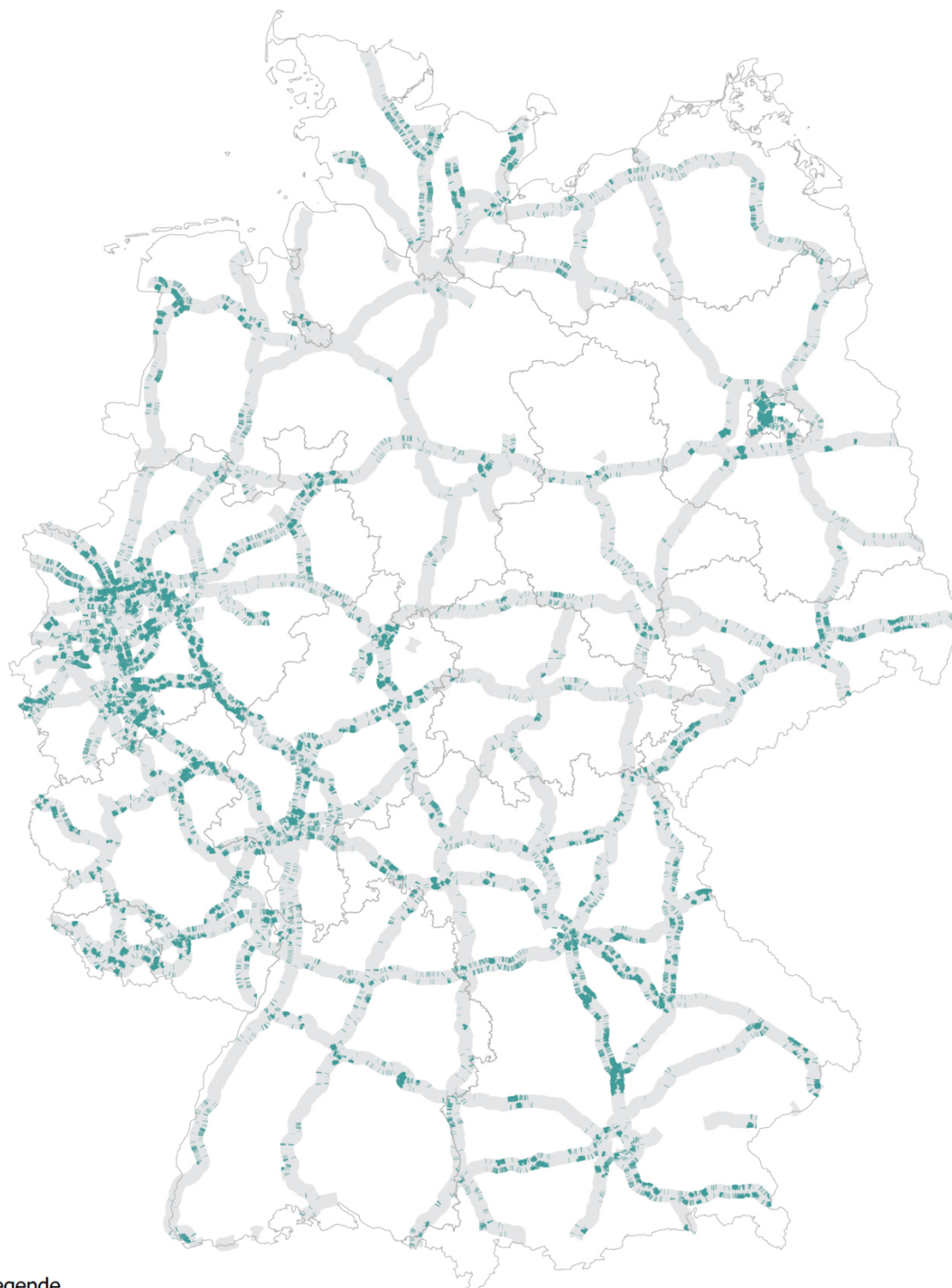
Abbildung 6-9: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) auf allen Fahrstreifen

Die Analyse zum Vorkommen der Merkmalskombination „ONA_RISS“ unter regionalgeographischen Aspekten zeigt bei der kartographischen Darstellung eine räumliche Konzentration insbesondere auf die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Bayern, gefolgt von Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Niedersachsen (Abbildung 6-9). In Bezug auf das Schadensvorkommen sind deutliche regionalgeographische Verschiebungen zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen insbesondere in Bayern und Rheinland-Pfalz festzustellen. Während die Merkmalskombination auf dem zweiten Fahrstreifen im Vergleich zum ersten Fahrstreifen deutlich häufiger in Hessen und Niedersachsen vertreten ist, kommt sie hier in Bayern, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz signifikant weniger vor (Abbildung A2-24 und Abbildung A2-25, Anhang A2-2-2). Die Analyse der relativen Anteile schadhafter 100m-Abschnitte an allen 100m-Abschnitten des jeweiligen Bundeslandes zeigt die Werte der höchsten Kategorie ausschließlich in den nördlichen und östlichen Bundesländern.

Die statistischen Auswertungen zeigen, dass die Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Nordrhein-Westfalen mit 6,2 % und in Baden-Württemberg mit 4,9 % an allen 100m-Abschnitten je Bundesland vorkommt (Tabelle A2-11, Anhang A2-2-2). Dabei liegen die prozentualen Schadensanteile an allen 100m-Abschnitten des ersten Fahrstreifens höher als die des zweiten Fahrstreifens. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens der Merkmalskombination im BAB-Netz ergab, dass 25,6 % aller ONA_RISS in Bayern vorkommen, gefolgt von 19,3 % in Nordrhein-Westfalen (Tabelle A2-12, Anhang A2-2-2).

6.2.3.2 Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“

Bundesautobahnnetz
Vorkommen der Merkmalskombination "FLI_RISS"



Legende

nur_FLI_RISS_vorhanden - alle FS

— Anzahl > 0

Erstellt von: Tanja Altemeier

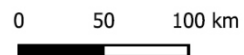


Abbildung 6-10: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS) auf allen Fahrstreifen

Die Untersuchung zum Schadensauftreten der Merkmalskombination „FLI_RISS“ unter regionalgeographischen Aspekten zeigt, dass sich die höchste räumliche Agglomeration auf die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Bayern, gefolgt von Hessen und Rheinland-Pfalz konzentriert (Abbildung 6-10). Visuell erkennbare Unterschiede in Bezug auf die Häufigkeit zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen sind insbesondere in Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz auszumachen. Die Analyse der prozentualen Schadensanteile an den jeweiligen 100m-Abschnitten zeigt eine durchgehend höhere Klassenbesetzung auf dem ersten Fahrstreifen (Abbildung A2-25 und Abbildung A2-26, Anhang A2-2-2).

Die statistischen Untersuchungen zur regionalgeographischen Verteilung der Merkmalskombination ergaben, dass 12,0 % aller 100m-Abschnitte in Berlin, 8,4 % in Hamburg und 7,6 % in Schleswig-Holstein „FLI_RISS“ aufweisen (Tabelle A2-11, Anhang A2-2-2). Dabei liegt der Anteil auf dem ersten Fahrstreifen ausnahmslos höher als auf dem zweiten Fahrstreifen. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens der Kombination im BAB-Netz zeigt, dass 26,3 % aller „FLI_RISS“ in Bayern vorkommen, gefolgt von 26,2 % in Nordrhein-Westfalen (Tabelle A2-12, Anhang A2-2-2).

6.2.3.3 Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“

Bundesautobahnnetz
Vorkommen der Merkmalskombination "AUS_RISS"

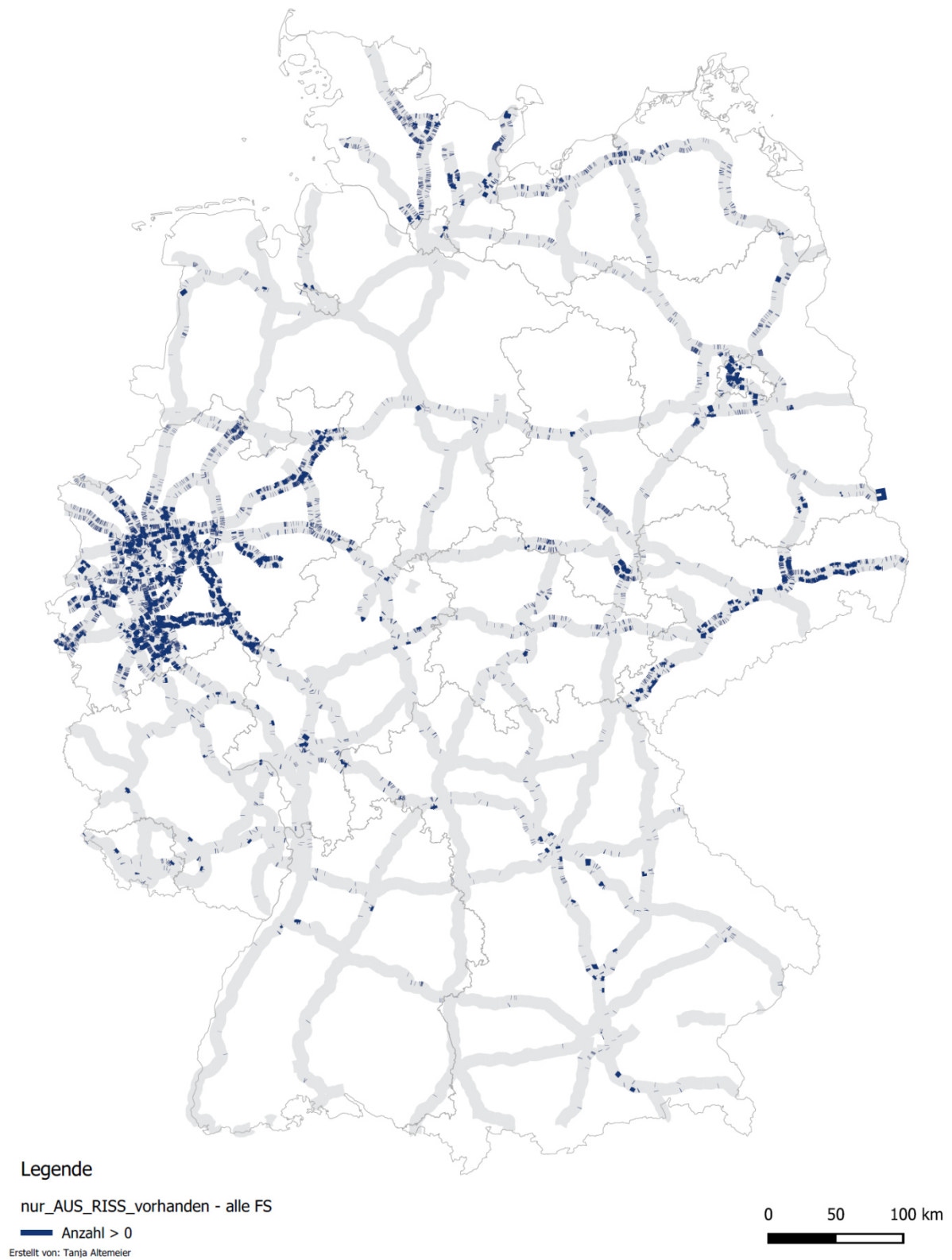


Abbildung 6-11: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS) auf allen Fahrstreifen

Die Untersuchung zur regionalgeographischen Verteilung der Merkmalskombination „AUS_RISS“ im BAB-Netz zeigt eine klare räumliche Konzentration auf die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, gefolgt von Sachsen und Schleswig-Holstein (Abbildung 6-11). Geographische Unterschiede hinsichtlich der Schadensverteilung sind zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen visuell nicht festzustellen. Die Analyse der prozentualen Schadensanteile an den jeweiligen 100m-Abschnitten zeigt allgemein geringe Anteile in allen Bundesländern (Abbildung A2-28 und Abbildung A2-29, Anhang A2-2-2).

Die statistischen Analysen zur regionalgeographischen Verteilung der Merkmalskombination ergaben, dass 9,0 % aller 100m-Abschnitte in Hamburg, 7,8 % in Nordrhein-Westfalen, 7,4 % in Sachsen und 7,2 % in Sachsen-Anhalt die Kombination „AUS_RISS“ aufweisen (Tabelle A2-11, Anhang A2-2-2). Dabei liegt der Anteil auf dem zweiten Fahrstreifen, mit Ausnahme von Hamburg und Sachsen-Anhalt, höher als auf dem ersten Fahrstreifen. Die Analyse hinsichtlich des Gesamtvorkommens der Merkmalskombination im BAB-Netz zeigt, dass „AUS_RISS“ zu 63,0 % in Nordrhein-Westfalen, gefolgt von 7,8 % in Schleswig-Holstein vorkommt (Tabelle A2-12, Anhang A2-2-2).

6.2.4 Variationsanalyse zur Beurteilung des direkten räumlichen Zusammenhangs zwischen den Einzelmerkmalen einer Merkmalskombination

Aufgrund der vorliegenden Datenstruktur und der in der ZEB vorgegebenen Auswertung der Oberflächenbilder hinsichtlich der Substanzmerkmale (Oberfläche) ist die Beurteilung der räumlichen Lage der eine Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale zueinander innerhalb eines Rasterfeldes ohne Neuauswertung der Oberflächenbilder nicht möglich.

Um die statistisch untersuchten Zusammenhänge zu den Merkmalskombinationen zu verifizieren, wurde eine visuell vorgenommene Variationsanalyse anhand von zuvor ermittelten Zufallsstichproben je Merkmalskombination durchgeführt. Dabei war zu beurteilen, ob die Einzelmerkmale unmittelbar, das heißt in einem maximalen Abstand von 10 cm, zueinander liegen oder keinen räumlichen Zusammenhang aufweisen.

Nachfolgend sind die Ergebnisse zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs, der durchgeführten Variationsanalyse sowie des Hypothesentests je Merkmalskombination dargelegt.

6.2.4.1 Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“

Die Grundgesamtheit zur Bestimmung des Stichprobenumfangs für die Merkmalskombination „ONA_RISS“ beträgt $N = 158.743$. Doppelzählungen von 1m-Auswerteabschnitten sind aufgrund von Mehrfachvorkommen der Merkmalskombination im selben 1m-Abschnitt enthalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit α wurde auf 5,0 % festgelegt. Demnach beträgt das Konfidenzniveau $1 - \alpha = 0,95$. Die Differenz zwischen unterer und oberer Konfidenzgrenze ($t_2 - t_1$) soll 10,0 % betragen. Die vorhandene Fehlermarge der Schätzung beträgt somit $e = 0,05$. Der Anteilswert π in der Grundgesamtheit, dass die Einzelmerkmale der Merkmalskombination unmittelbar räumlich, also ≤ 10 cm, zusammenliegen, wurde auf 30,0 % geschätzt. Demnach gilt $\pi^* = 0,3$. Unter Berücksichtigung der voranstehenden Parameter ergab die Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs für eine einfache Stichprobe ohne Zurücklegen $n'_e = 322$.

Die 322 1m-Auswerteabschnitte wurden als Zufallsstichprobe aus der Grundgesamtheit gezogen und mithilfe der dazugehörigen Oberflächenbilder des TP3 visuell neu ausgewertet.

Das Ergebnis der Variationsanalyse ergab eine Testgröße von $X = 161$. Demnach weisen in 161 der 322 Fälle die Einzelmerkmale der Merkmalskombination einen unmittelbar räumlichen Zusammenhang von ≤ 10 cm auf. Der Stichprobenanteilswert liegt somit bei $\hat{\pi} = 0,50$.

Die vorgenommene Abschätzung des Anteilswertes π in der Grundgesamtheit wird mit dem rechtsseitigen Hypothesentest auf ihre Annahme oder Ablehnung hin überprüft, da die Ergebnisse der Variationsanalyse auf einen größeren Anteilswert als bisher angenommen hindeuten. Folgende Hypothesen werden zur Überprüfung aufgestellt:

$$H_0 = \pi_0 \leq 0,3$$

$$H_1 = \pi_1 > 0,3$$

Der kritische Wert k , ab dem die Nullhypothese abzulehnen ist, beträgt 110. Für den Annahme- und Ablehnungsbereich der H_0 -Hypothese gilt somit:

$$A = [0;109]$$

$$\bar{A} = [110;322]$$

Da die Testgröße der Stichprobe mit $X = 161$ über dem kritischen Wert k von 110 liegt, ist die Nullhypothese abzulehnen. Mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95,0 % liegt der Anteilswert π in der Grundgesamtheit über 30,0 %.

Aufgrund der großen Differenz zwischen der Testgröße X und dem kritischen Wert k kann die Sicherheitswahrscheinlichkeit auf 99,0 % erhöht werden. Demnach beträgt der kritische Wert $k = 116$. Für den Annahme- und Ablehnungsbereich der H_0 -Hypothese gilt dann:

$$A = [0;115]$$

$$\bar{A} = [116;322]$$

Die Testgröße der Stichprobe liegt mit $X = 161$ im Ablehnungsbereich der Nullhypothese, so dass diese mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99,0 % abzulehnen ist. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1,0 % liegt der Anteilswert π in der Grundgesamtheit über 30,0 %.

Im Zusammenhang mit der Variationsanalyse wurde ebenfalls die Qualität der Auswertung des Einzelmerkmals „ONA“ untersucht. Da es sich bei dem TP3-Merkmal zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht um ein bewertungsrelevantes Zustandsmerkmal in der ZEB handelt, unterliegt es ebenfalls noch nicht den Regularien des Qualitätssicherungsprozesses. Anhand der Stichprobe für die Variationsanalyse konnte festgestellt werden, dass in 33,5 % der Fälle das Schadensmerkmal nicht gemäß den aktuell geltenden Vorschriften ausgewertet wurde. Eine Aussage über den tatsächlichen Anteil in der Grundgesamtheit kann auf Grundlage dieser Erkenntnis jedoch nicht getroffen werden.

Die Auswertungen der Variationsanalyse ergaben weiterhin, dass die Merkmalskombination einen starken Bezug zu Arbeitsnähten aufweist (Tabelle A2-13, Anhang A2-2-3). Darüber hinaus wurden, bezogen auf den Stichprobenumfang, in 8,7 % der Fälle Reflexionsrisse bzw. Schattennähte als „ONA“ ausgewertet.

6.2.4.2 Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“

Die Grundgesamtheit zur Bestimmung des Stichprobenumfangs für die Merkmalskombination „FLI_RISS“ beträgt $N = 79.128$. Doppelzählungen von 1m-Auswerteabschnitten sind aufgrund eines mehrfachen Auftretens der Merkmalskombination im selben 1m-Abschnitt ent-

halten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf $\alpha = 0,5$ festgelegt. Demnach beträgt das Konfidenzniveau $1 - \alpha = 0,95$. Die Differenz zwischen unterer und oberer Konfidenzgrenze ($t_2 - t_1$) soll 10,0 % betragen. Die vorhandene Fehlermarge der Schätzung beträgt somit $e = 0,05$. Der Anteilswert π in der Grundgesamtheit, dass die Einzelmerkmale der Merkmalskombination unmittelbar räumlich, also ≤ 10 cm, zusammenliegen, wurde auf 30,0 % geschätzt. Demnach gilt $\pi^* = 0,3$. Unter Berücksichtigung der voranstehenden Parameter ergab die Berechnung des notwendigen Strichprobenumfangs für eine einfache Stichprobe ohne Zurücklegen $n'_e = 321$.

Aus der Grundgesamtheit wurden 321 1m-Auswerteabschnitte als Zufallsstichprobe gezogen und mithilfe der dazugehörigen Oberflächenbilder des TP3 visuell neu ausgewertet. Das Ergebnis der Variationsanalyse ergab eine Testgröße von $X = 240$. Demnach weisen in 240 der 321 Fälle die Einzelmerkmale der Merkmalskombination einen unmittelbar räumlichen Zusammenhang von ≤ 10 cm auf. Der Stichprobenanteilswert beträgt somit $\hat{\pi} = 0,75$.

Da die Ergebnisse der Variationsanalyse auf einen deutlich höheren Anteilswert π in der Grundgesamtheit als ursprünglich angenommen hindeuten, wird die zuvor getroffene Abschätzung mit dem rechtsseitigen Hypothesentest auf ihre Annahme oder Ablehnung hin überprüft. Folgende Hypothesen werden aufgestellt:

$$H_0 = \pi_0 \leq 0,3$$

$$H_1 = \pi_1 > 0,3$$

Der kritische Wert k , ab dem die Nullhypothese abzulehnen ist, beträgt 110. Für den Annahme- und Ablehnungsbereich der H_0 -Hypothese gilt somit:

$$A = [0;109]$$

$$\bar{A} = [110;321]$$

Da die Testgröße der Stichprobe mit $X = 240$ über dem kritischen Wert k von 110 liegt, ist die Nullhypothese abzulehnen. Mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95,0 % liegt der Anteilswert π in der Grundgesamtheit über 30,0 %.

Aufgrund der großen Differenz zwischen der Testgröße X und dem kritischen Wert k kann die Sicherheitswahrscheinlichkeit auf 99,0 % gesetzt werden. Demnach beträgt der kritische Wert $k = 116$. Für den Annahme- und Ablehnungsbereich der H_0 -Hypothese gilt dann:

$$A = [0;115]$$

$$\bar{A} = [116;321]$$

Die Testgröße der Stichprobe liegt mit $X = 240$ im Ablehnungsbereich der Nullhypothese, so dass diese mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99,0 % abzulehnen ist. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1,0 % liegt der Anteilswert π in der Grundgesamtheit über 30,0 %.

Die Auswertungen der Variationsanalyse ergaben darüber hinaus, dass die Merkmalskombination einen deutlichen Bezug zu Arbeitsnähten aufweist (Tabelle A2-14, Anhang A2-2-3). Darüber hinaus ist eine Häufung des Auftretens im Randnahtbereich zu verzeichnen.

6.2.4.3 Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“

Die Grundgesamtheit zur Bestimmung des Stichprobenumfangs für die Merkmalskombination „AUS_RISS“ beträgt $N = 29.830$ und beinhaltet Doppelzählungen von 1m-Auswerteab-

schnitten, in denen die Merkmalskombination mehrfach auftritt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf $\alpha = 0,5$ festgelegt. Das Konfidenzniveau beträgt demnach $1 - \alpha = 0,95$. Die Differenz zwischen unterer und oberer Konfidenzgrenze ($t_2 - t_1$) soll 10,0 % betragen. Die vorhandene Fehlermarge der Schätzung beträgt somit $e = 0,05$. Der Anteilswert π in der Grundgesamtheit, dass die Einzelmerkmale der Merkmalskombination unmittelbar räumlich, also ≤ 10 cm, zusammenliegen, wurde auf 30,0 % geschätzt. Demnach gilt $\pi^* = 0,3$. Unter Berücksichtigung der voranstehenden Parameter ergab die Berechnung des notwendigen Strichprobenumfangs für eine einfache Stichprobe ohne Zurücklegen $n'_e = 319$.

Aus der Grundgesamtheit wurden 319 1m-Auswerteabschnitte als Zufallsstichprobe gezogen und mithilfe der dazugehörigen Oberflächenbilder des TP3 visuell neu ausgewertet. Das Ergebnis der Variationsanalyse ergab eine Testgröße von $X = 252$. Demnach besteht in 252 der 319 Fälle ein unmittelbar räumlicher Zusammenhang von ≤ 10 cm zwischen den Einzelmerkmalen der Merkmalskombination. Der Stichprobenanteilswert liegt somit bei $\hat{\pi} = 0,79$.

Da die Ergebnisse der Variationsanalyse auf einen deutlich höheren Anteilswert π in der Grundgesamtheit schließen lassen, wird die vorherige Abschätzung mit dem rechtsseitigen Hypothesentest auf ihre Annahme oder Ablehnung hin überprüft. Dazu werden folgende Hypothesen aufgestellt:

$$H_0 = \pi_0 \leq 0,3$$

$$H_1 = \pi_1 > 0,3$$

Der kritische Wert k , ab dem die Nullhypothese abzulehnen ist, beträgt 109. Für den Annahme- und Ablehnungsbereich der H_0 -Hypothese gilt somit:

$$A = [0;108]$$

$$\bar{A} = [109;319]$$

Die Nullhypothese H_0 ist abzulehnen, da $X = 252 > k = 109$. Mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95,0 % liegt der Anteilswert π in der Grundgesamtheit über 30,0 %.

Basierend auf der großen Differenz zwischen der Testgröße X und dem kritischen Wert k kann die Sicherheitswahrscheinlichkeit auf 99,0 % gesetzt werden. Demnach beträgt der kritische Wert $k = 115$. Für den Annahme- und Ablehnungsbereich der H_0 -Hypothese gilt dann:

$$A = [0;114]$$

$$\bar{A} = [115;319]$$

Die Testgröße der Stichprobe liegt mit $X = 252$ im Ablehnungsbereich der Nullhypothese, so dass diese mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99,0 % abzulehnen ist. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1,0 % liegt der Anteilswert π in der Grundgesamtheit über 30,0 %.

Die Auswertungen der Variationsanalyse ergaben weiterhin, dass die Einzelmerkmale der Merkmalskombination überwiegend ineinander vorkommen (Tabelle A2-15, Anhang A2-2-3).

6.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Merkmalskombinationen

Die Häufigkeitsanalysen zum kombinierten Auftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche) ergaben, dass die TP3-Merkmale zu 91,54 % einzeln im gesamten 1m-Auswerteabschnitt vorkommen. Zu 6,79 % treten sie in Kombination miteinander auf. Offene Arbeitsnähte und

Ausbrüche zeigen dabei die höchsten Anteile des kombinierten Auftretens in Relation zum jeweiligen Gesamtvorkommen. „ONA_RISS“ ist die am häufigsten auftretende Merkmalskombination mit einem Anteil von 3,3 % an allen Substanzschäden der Oberfläche im BAB-Netz und 48,8 % an allen Merkmalskombinationen. Während die Merkmalskombinationen „ONA_RISS“ und „FLI_RISS“ auf dem ersten Fahrstreifen dominieren, kommt „AUS_RISS“ deutlich häufiger auf dem zweiten Fahrstreifen vor. Die Verschneidung der Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche) mit der Spurrinntentiefe als Querebenenparameter ergab keine signifikanten Zusammenhänge. Die Mittelwertanalysen zum Schadensauftreten der einzelnen Merkmalskombinationen zeigten durchgehend ältere Deckschichten (4,0 cm) bei Vorhandensein einer Kombination im Vergleich zu den Einzelmerkmalen. Mittlere Korrelationen weisen sowohl „ONA_RISS“ als auch „AUS_RISS“ mit der Lage zu einer Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung auf. Die multiplen linearen Regressionsanalysen ergaben, dass alleine durch die Lage zur Arbeitsnaht zu 75,6 % das Auftreten von „ONA_RISS“ und zu 41,6 % das Auftreten von „AUS_RISS“ erklärt werden kann. Die Merkmalskombination „FLI_RISS“ zeigte weder durch den Korrelationskoeffizienten nachzuweisende statistische Zusammenhänge zu ausgewählten Regressoren, noch konnte ihr Auftreten durch diese signifikant erklärt werden. Die Untersuchungen zur geographischen Raumanalyse ergaben regionalgeographische Verschiebungen in Bezug auf das Vorkommen und die Häufigkeit zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen bei „ONA_RISS“ und „FLI_RISS“. Alle Merkmalskombinationen weisen ein hohes Vorkommen in Nordrhein-Westfalen auf. Während ONA_RISS insbesondere in den westlichen Bundesländern, gefolgt von Bayern und Baden-Württemberg vorkommt, zeigt „AUS_RISS“ eine regionale Dominanz in Nordrhein-Westfalen, gefolgt von Sachsen, Schleswig-Holstein und Berlin. Die Merkmalskombination „FLI_RISS“ tritt hingegen bundesweit auf. Die Variationsanalyse zur Untersuchung des räumlichen Zusammenhangs zweier eine Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale ergab bei allen drei Merkmalskombinationen deutlich höhere Anteilswerte in der Stichprobe als für die jeweilige Grundgesamtheit geschätzt wurde.

6.3 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu den Merkmalskombinationen

Die in diesem Kapitel ausgewerteten und interpretierten Ergebnisse sind dem Kapitel 6.2 sowie dem Anhang A2-2 zu entnehmen.

6.3.1 Bestimmung und Definition von Merkmalskombinationen

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistiken zur Analyse des kombinierten Schadensauftretens zeigen, dass 6,79 % aller im BAB-Netz vorkommenden Substanzmerkmale (Oberfläche) in Kombination auftreten. Ausgehend von der Annahme, dass Merkmalskombinationen auf die Weiterentwicklung eines Oberflächenschadens hindeuten, weist dieser relativ geringe Anteil auf die zeitnahe Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen nach dem ersten Auftreten von Substanzschäden an der Oberfläche im BAB-Netz hin. Die Auswertung der Variationsanalysen ergab durchgehend gute Ergebnisse hinsichtlich des räumlichen Zusammenhangs der eine Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale. Daraus kann auf einen direkten kausalen Zusammenhang zwischen den kombinierten Merkmalen geschlossen werden, was die Annahme einer Schadensentwicklung bekräftigt.

Basierend auf den Ergebnissen der deskriptiven Statistiken und den Erkenntnissen aus den Variationsanalysen in Kapitel 6.2 werden folgende Schadenskombinationen als typische Merkmalskombinationen definiert:

- Offene Arbeitsnähte und Risse (ONA_RISS)
- Flickstellen und Risse (FLI_RISS)
- Ausbrüche und Risse (AUS_RISS)

Im folgenden Unterkapitel wird die Charakteristik dieser ausgewählten Merkmalskombinationen herausgestellt.

6.3.2 Charakterisierung der Merkmalskombinationen

Die Ergebnisse der Häufigkeitsanalysen zu den Merkmalskombinationen im Fahrbahnquerschnitt zeigen eine deutliche Konzentration des Vorkommens von „ONA_RISS“ auf die linken und rechten Rasterfelder im Fahrstreifen. Begründet liegt dies in den durch die Regelwerke vorgegebenen Positionierungsbereichen der Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt und der Einbaubreite der Fertiger. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen und multiplen linearen Regression bestätigen einen signifikanten Zusammenhang mit den Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt. Die Auswertung der Kreuztabellen weist „ONA_RISS“ zu 50,2 % auf dem ersten und zu 38,8 % auf dem zweiten Fahrstreifen aus. Der höhere Anteil auf dem ersten Fahrstreifen kann auf die vornehmliche Positionierung der Arbeitsnaht im linken Fahrstreifendrittel des ersten Fahrstreifens, insbesondere auf 2-streifigen BAB, zurückgeführt werden. Ein tendenzieller Einfluss des Schwerverkehrs auf das höhere Vorkommen im ersten Fahrstreifen ist durch die kartographischen Darstellungen der Merkmalskombination sowie der sie bildenden Einzelmerkmale mit dem Schwerverkehrsanteil auf dem ersten Fahrstreifen zu belegen. Die Ergebnisse der Mittelwertanalysen zeigen das Auftreten der Merkmalskombination in älteren Deckschichten (4,0 cm) und vermehrt in Dünnschichtbelägen (2,5 cm) im Vergleich zu den Einzelmerkmalen auf. Dies bekräftigt die Annahme, dass die Merkmalskombination eine Weiterentwicklung des Schadensbildes „ONA“ darstellt.

Die Ergebnisse der Häufigkeitsverteilungen im Fahrbahnquerschnitt sowie die Auswertungen zu den Kreuztabellen zeigen eine deutliche Dominanz von „FLI_RISS“ auf dem ersten Fahrstreifen, was einen erhöhten Einfluss des Schwerverkehrs auf das Schadensauftreten annehmen lässt. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Überlagerung der Merkmalskombinationen mit den Spurrinntiefen zeigen deutliche Tendenzen des Auftretens von „FLI_RISS“ mit höheren Werten der Spurrinntiefen, was wiederum ein Indiz für den Einfluss des Schwerverkehrs darstellt. Da jedoch Flickstellen überwiegend Reparaturstellen anderer Oberflächenschäden darstellen, orientiert sich ihr Vorkommen vornehmlich an der Lage der ursprünglichen Schäden im Fahrbahnquerschnitt. Dies kann anhand der durchgehend sehr geringen Korrelationen und den schwachen Ergebnissen der multiplen linearen Regression belegt werden, wonach das Auftreten nicht durch die ausgewählten Regressoren erklärt werden konnte. Die Ergebnisse zur Analyse der Lokalisierung der Merkmalskombination im Fahrstreifen zeigen sowohl im ersten als auch im zweiten Fahrstreifen deutliche Tendenzen hin zum rechten Rasterfeld. Gründe hierfür können ein möglicher Zusammenhang mit vorherigen Schäden an der Arbeitsnaht oder in der Rollspur sein. Wie die Ergebnisse zur Querneigung zeigen, ist ein höherer Lasteintrag und damit eine höhere Beanspruchung im rechten Bereich der Fahrstreifen anzunehmen. Die Ergebnisse der Mittelwertanalysen zu

„FLI_RISS“ auf dem ersten Fahrstreifen weisen auf ein Vorkommen in älteren Deckschichten (4,0 cm), bei leicht höheren Spurrinntiefen und einer tendenziell geringeren B-Zahl im Vergleich zu den sie bildenden Einzelmerkmalen hin. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse einen starken Bezug zu den Arbeitsnähten. Demnach ist anzunehmen, dass das Vorkommen der Merkmalskombination sowohl verkehrsabhängig als auch nahtbezogen ist.

Die Merkmalskombination „AUS_RISS“ zeigt ein nahezu gleich verteiltes Vorkommen auf dem ersten und zweiten Fahrstreifen, was die Auswertungen der Kreuztabellen ergaben. Dies könnte ein Indiz für einen geringeren Einfluss des Schwerverkehrs auf das Schadensvorkommen sein. Eine deutliche Tendenz hin zum rechten Fahrstreifendrittel kann jedoch festgestellt werden, was auf die Auswirkungen der Querneigung auf die Lastenverteilung im Fahrstreifen hindeutet. Die Ergebnisse der Mittelwertanalysen weisen ein Auftreten von „AUS_RISS“ in älteren Deckschichten (4,0 cm), auf Abschnitten mit geringerer B-Zahl, jedoch höheren Spurrinntiefen gegenüber ihren Einzelmerkmalen aus. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse zur Untersuchung der Lage nahe einer Arbeitsnaht, dass die Merkmalskombination in 41,3 % der Fälle ihres Auftretens nahe einer solchen vorkommt. Auch die mittleren Korrelationen mit der Arbeitsnaht bestärken die Annahme, dass neben dem Verkehrsaufkommen auch das Vorhandensein von Arbeitsnähten das Schadensauftreten von „AUS_RISS“ begünstigt. Die guten Ergebnisse der multiplen linearen Regression bestärken den Zusammenhang zwischen Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt und dem Schadensauftreten, weisen jedoch auch auf eine andere, nicht identifizierte Schadensursache hin.

Sowohl das vermehrte Schadensauftreten aller Merkmalskombinationen im rechten Fahrstreifendrittel als auch die Ergebnisse der Analysen zum Zusammenhang hoher Spurrinntiefen mit dem Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) im BAB-Netz bestärken die Annahme eines Einflusses der Querneigung und der damit einhergehenden Unterschiede in der Lasteintragung auf die Schadenshäufigkeit. Alle ausgewählten Merkmalskombinationen treten in durchschnittlich älteren Deckschichten (4,0 cm) auf, was ein Beleg dafür ist, dass Merkmalskombinationen die Weiterentwicklung eines bereits an der Straßenoberfläche vorhandenen Schadensbildes darstellen. Die Ergebnisse zur zeitlichen Entwicklung der Nahtschäden könnten hier Belege für diese These liefern (Kapitel 7.2.3). Wie die Ergebnisse der deskriptiven Statistik und der Variationsanalysen auch zeigen, besteht ein nachweislich starker Bezug zwischen den Merkmalskombinationen und den Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt. Die Ergebnisse der geographischen Raumanalysen zum kombinierten Schadensvorkommen zeigen ebenfalls sehr deutlich den Einfluss des Schwerverkehrsaufkommens sowie des Vorhandenseins einer Arbeitsnaht an.

Basierend auf der Charakterisierung der Merkmalskombinationen wurden gezielt Bewertungsmaßstäbe für die in Kapitel 6.3.3 vorgenommene Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen ausgewählt.

Ausgenommen von den nachfolgenden Betrachtungen ist die Merkmalskombination „ONA_RISS“, da hier das Schadensauftreten vorwiegend auf die fehlerhafte Ausführung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt zurückzuführen ist. Eine hohe Verkehrsbelastung durch den Schwerverkehr führt vornehmlich zu einer Beschleunigung der Schadensentwicklung bzw. zu einer Zunahme des Schadensausmaßes.

6.3.3 Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen

Bei der Untersuchung der einzelnen Merkmalskombinationen wurde die Dominanz des Schadensmerkmals „RISS“ beim gemeinsamen Auftreten mit anderen TP3-Merkmalen deutlich. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde die nachfolgende Kategorisierung anhand des Vorkommens der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen im Fahrstreifen vorgenommen.

Als Bewertungsmaßstab für die Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen galt neben dem Auftreten der Merkmalskombination im Fahrstreifen auch die Summe der ertragenen äquivalenten 10t-Achsübergänge der Schichten des Oberbaus seit deren Einbau. Die zugrunde gelegte Verkehrsbelastung basiert auf der Rückrechnung von der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung (B-Zahl) auf die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs ($DTV^{(SV)}$) im Nutzungsjahr i-1 nach der RStO 12 (FGSV 2012). Die Berechnung wurde mit einem Achszahlfaktor (f_A) von 4,5, einem Lastkollektivquotienten (q_{BM}) von 0,33, einem Fahrstreifenfaktor (f_1) von 1,00, einem Fahrstreifenbreitenfaktor (f_2) von 1,00, einem Steigungsfaktor (f_3) von 1,00 und einem mittleren jährlichen Zuwachsfaktor des Schwerverkehrs (f_z) von 1,586 durchgeführt.

Für einen Nutzungszeitraum von 30 Jahren wurde von einer dimensionierungsrelevanten Beanspruchung von 90,3 Mio. gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergängen für eine hohe Verkehrsbelastung ausgegangen, was eine durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs von rund 3.500 Kfz/24h im Nutzungsjahr i-1 für eine Fahrtrichtung ergab. Bei einer hohen Verkehrsbelastung (3.500 Kfz/24h) entsprechen die in Abbildung 6-12 angegebenen ertragenen Lastwechsel von 15 Mio. gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergängen einem Nutzungszeitraum von ca. 5 Jahren und die 30 Mio. gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergänge einem Nutzungszeitraum von 10 Jahren nach Einbau. Die ertragenen Lastwechsel von 75 Mio. gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergängen seit dem Neubau entsprechen einem Nutzungszeitraum von ca. 25 Jahren.

Die Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen basiert auf folgenden Hypothesen:

- Entmischungen des Mischguts treten lokal im Fahrstreifen auf,
- mangelnder Schichtverbund tritt eher flächig im Fahrstreifen auf,
- mangelnde Verdichtung tritt eher flächig im Fahrstreifen auf,
- der horizontale Schichtenverbund ist zwischen zwei neu eingebauten Asphaltsschichten geringer als beim Einbau einer neuen Asphaltsschicht auf eine bereits ältere Schicht.

Zu der Verkehrsbelastung im BAB-Netz sowie zum Alter der einzelnen Schichten des Straßenoberbaus für die Berechnung der ertragenen Lastwechsel liegen nach heutigem Stand ausreichend Informationen vor, um eine entsprechende Kategorisierung rein auf der Basis verfügbarer Daten vornehmen zu können.

Die im nachfolgenden Schema (Abbildung 6-12) aufgeführten wahrscheinlichsten Schadensursachen dienen der besseren Einschätzung des vorliegenden Schadensbildes für eine optimierte Planung und Festlegung von Erhaltungsmaßnahmen. Für die objektbezogene Beurteilung der im Detail für das Schadensauftreten verantwortlichen Schadensursache sind weiterhin in-situ Untersuchungen durchzuführen.

Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen*
- erstmaliges Auftreten des Schadens bei der genannten Verkehrsbelastung -

Auftreten nur links oder nur rechts im Fahrstreifen					
ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache	ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache
15 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht	E_{Ent} E_{Ver}	30 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 10 Jahren)	nur Deckschicht	EV_O
15 Mio. Decke (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht		30 Mio. Decke (ca. 10 Jahre)	nur Deckschicht	
75 Mio. restlicher Oberbau (nach ca. 25 Jahre)	gesamter Oberbau	EV_U	75 Mio. restlicher Oberbau (ca. 25 Jahre)	gesamter Oberbau	EV_U
Auftreten links und rechts im Fahrstreifen					
ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache	ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache
15 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht	E_{Ver} E_{Sv}	30 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 10 Jahren)	nur Deckschicht	EV_O
15 Mio. Decke (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht		30 Mio. Decke (nach ca. 10 Jahren)	nur Deckschicht	
75 Mio. restlicher Oberbau (nach ca. 25 Jahren)	gesamter Oberbau	EV_U	75 Mio. restlicher Oberbau (nach ca. 25 Jahren)	gesamter Oberbau	EV_O EV_U
Auftreten über die gesamte Fahrstreifenbreite					
ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache	ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache
15 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht	E_{Ver} E_{Sv}	30 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 10 Jahren)	nur Deckschicht	E_{Ver} E_{Sv} TTV
15 Mio. Decke (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht		30 Mio. Decke (nach ca. 10 Jahren)	nur Deckschicht	
75 Mio. restlicher Oberbau (nach ca. 25 Jahren)	gesamter Oberbau	EV_U	75 Mio. restlicher Oberbau (nach ca. 25 Jahren)	gesamter Oberbau	EV_O EV_U
Auftreten mittig im Fahrstreifen					
ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache	ertragene Lastwechsel (äquiv. 10t-AÜ)	geschädigte Schicht(en)	wahrscheinlichste Schadensursache
15 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht	E_{Ent}	30 Mio. gesamter Oberbau (nach ca. 10 Jahren)	nur Deckschicht	E_{Ent}
15 Mio. Decke (nach ca. 5 Jahren)	nur Deckschicht		30 Mio. Decke (nach ca. 10 Jahren)	nur Deckschicht	
75 Mio. restlicher Oberbau (nach ca. 25 Jahren)	gesamter Oberbau	EV_U	75 Mio. restlicher Oberbau (nach ca. 25 Jahren)	gesamter Oberbau	EV_U

E_{Ent} = Einbauqualität (Entmischung)

E_{Ver} = Einbauqualität (Verdichtung)

E_{Sv} = Einbauqualität (Schichtenverbund)

EV_O = Ermüdungsverhalten oben

EV_U = Ermüdungsverhalten unten

TTV = Tieftemperaturverhalten (Einzelriss quer über die Fahrbahn)

* Ausgenommen ist die Merkmalskombination „ONA_RISS“, da hier das Schadensauftreten vorwiegend auf die fehlerhafte Ausführung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt zurückzuführen ist. Eine hohe Verkehrsbelastung durch den Schwerverkehr führt vornehmlich zu einer Beschleunigung der Schadensentwicklung bzw. zu einer Zunahme des Schadensausmaßes.

Abbildung 6-12: Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen (erstmaliges Auftreten bei genannter Verkehrsbelastung)

7 Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt

Ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit wird auf die Untersuchung des Schadensvorkommens und der Schadensentwicklung an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen sowie die Bestimmung straßenbautechnisch schädlicher Positionierungsbereiche der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt gelegt.

In der vorliegenden Arbeit werden jegliche Herstellungs- und Ausbildungsformen des Kontaktbereiches zwischen den Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt als Arbeitsnaht bezeichnet. Als Erstnähte werden Nähte, Anschlüsse und Fugen bezeichnet, die heiß an heiß oder heiß an kalt ausgebildet wurden, jedoch während derselben Baumaßnahme im selben Jahr. Folgenähte sind Nähte, Anschlüsse und Fugen, die zwischen Deckschichten unterschiedlichen Alters ausgebildet wurden. Eine Differenzierung zwischen den drei Herstellungs- bzw. Ausbildungsformen wird bei den Analysen nicht vorgenommen, da in der ZEB beim TP3-Merkmal „Offene Arbeitsnähte“ (ONA) ebenfalls nicht zwischen den einzelnen Arten der Naht- und Fugenausbildung unterschieden wird. Gemäß den Definitionen in Kapitel 2.3 können jedoch die Ergebnisse in Kapitel 7.2 und Anhang A3-2 dahingehend differenziert werden.

7.1 Methodik des Vorgehens

Da die genaue Lage der Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt aktuell nicht systematisch erfasst wird, ist sie unter Anwendung verschiedener Methoden und auf Grundlage unterschiedlicher Informationen, wie beispielsweise dem Alter und der Art der Deckschicht, neu zu bestimmen beziehungsweise zu rekonstruieren. In einem ersten Schritt soll die genaue Position der Folgenaht im Fahrbahnquerschnitt anhand der Aufbaudaten ermittelt werden, die Informationen zur Art, zur Dicke und zum Alter der jeweiligen Schichten des Straßenaufbaus enthalten. Für die weitergehende Analyse von in Relation zur Arbeitsnaht stehenden Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) wird eine präzisere Bestimmung der Lage sowohl von Erstnähten als auch von Folgenähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt vorgenommen. Diese präzisere Bestimmung basiert auf den detaillierten Informationen zur rasterfeldgenauen Lage der im jeweiligen Fahrstreifen detektierten offenen Arbeitsnähte. So kann die Lage der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt rekonstruiert werden. Auf Basis dieser projizierten Arbeitsnähte wird im Weiteren untersucht, ob Schadensmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) in einem direkten Zusammenhang mit einer vorhandenen Arbeitsnaht stehen und wie hoch deren Anteil am Gesamtvorkommen der Substanzschäden der Oberfläche ist.

Auch das Auftreten und die Entwicklung offener Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen soll detaillierter analysiert werden. In dem Zusammenhang sollen insbesondere Einflussfaktoren untersucht werden, die ihre Entstehung begünstigen könnten, wie beispielsweise die Art der Naht- und Fugenausbildung.

Weitergehende Analysen werden sich mit der Bestimmung der konstruktionsbedingten Lage von Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt auf Basis der aktuellen Verkehrsführung in Arbeitsstellen von längerer Dauer beschäftigen. Diese Untersuchungen sollen Aufschluss darüber geben, wo genau im Fahrbahnquerschnitt aktuell bei Neubau- sowie Erhaltungsmaßnahmen die Arbeitsnähte ausgebildet werden. Anhand von BISAR-Berechnungen, die Spannungs- und Dehnungsverläufe in einer Fahrbahnbefestigung wiedergeben, soll die ungünstigste Lage der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt bestimmt

werden. Die Berechnungen werden für eine Oberflächentemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$ sowie von $\pm 0^{\circ}\text{C}$ durchgeführt, um unterschiedliche Spannungszustände in der Fahrbahnbefestigung bei gleichbleibender Belastung des Straßenaufbaus abbilden und berücksichtigen zu können. Auf Basis dieser Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der BISAR-Ergebnisse sollen straßenbautechnisch schädliche Positionierungsbereiche der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt bestimmt werden. Dies dient insbesondere einer späteren Formulierung von Empfehlungen zur optimalen Positionierung zukünftiger Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt.

Die Modellannahmen für die BISAR-Berechnungen sind dem Anhang A3-1 zu entnehmen. Die Ergebnisse zu den Analysen der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen sind in Kapitel 7.2 und dem Anhang A3-2 dargelegt.

7.2 Ergebnisse der Untersuchungen zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen

Basierend auf den Erkenntnissen aus den Analysen zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) und den Merkmalskombinationen wurde ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf die Untersuchung des Schadensvorkommens und der Schadensentwicklung an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen sowie die Bestimmung straßenbautechnisch schädlicher Positionierungsbereiche der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt gelegt. Die Untersuchungen wurden für 2- und 3-streifige Bundesautobahnen durchgeführt.

In den folgenden Unterkapiteln sind die Ergebnisse zur Bestimmung der Lage der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen anhand der Aufbaudaten, deren rasterfeldgenaue Lokalisierung im Fahrbahnquerschnitt und zu den Analysen von Nahtschäden aufgeführt. Darüber hinaus finden sich die Ergebnisse zur Untersuchung der aktuellen Positionierung von Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt bei Neubau oder grundhafter Erneuerung auf 3-streifigen BAB sowie der BISAR-Berechnungen hinsichtlich der Spannungs- und Dehnungsverläufe im Straßenaufbau. Anschließend wird auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse die optimale Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt für zwei Betrachtungsfälle bestimmt.

7.2.1 Aufbaudatenanalyse zur Bestimmung der Lage der Folgenaht

Für die Untersuchung nahtbedingter Oberflächenschäden musste zunächst die genaue Position der Folgenaht im Fahrbahnquerschnitt bestimmt werden. Dies erfolgte anhand der Aufbaudaten, die Informationen zur Art, zur Dicke und zum Alter der jeweiligen Schichten des Straßenaufbaus enthalten.

Die Arbeits-Datenbank wurde dahingehend aufbereitet, dass zu jedem 1m-Auswerteabschnitt alle Informationen zum Aufbau des entsprechenden Fahrbahnquerschnitts vorliegen. Liegt beispielsweise ein Auswerteabschnitt auf einer 3-streifigen Bundesautobahn gegen die Stationierungsrichtung (Lage L) im Fahrstreifen eins, enthält er nach den durchgeführten Berechnungen auch Informationen zum Aufbau der parallel liegenden 1m-Auswerteabschnitte des Fahrstreifens zwei und drei. Basierend auf den vollständigen Informationen zum Aufbau des Fahrbahnquerschnitts konnte anhand der Art und des Alters der obersten Asphalt-schicht die Lage der Folgenaht zwischen den jeweiligen Fahrstreifen ermittelt werden. Zur Bestimmung der Lage der Folgenaht zwischen den Tragschichten wurden die Informationen zur Tragschicht 2, also der obersten Tragschichtlage, verwendet. Ein Grund dafür liegt in der

Datenstruktur der Aufbaudaten. Die Eintragungen zum Aufbau wurden so vorgenommen, dass beim Vorhandensein von nur einer Tragschicht die Felder zur Tragschicht 2 ausgefüllt wurden, nicht aber die zur Tragschicht 1. Demnach liegen für die Tragschicht 2 deutlich mehr Eintragungen in der Datenbank vor. Nach den Ausführungen zur Ausbildung von Arbeitsnähten in der ZTV Asphalt-StB 07/13 (FGSV 2007/2013) sind bei Einbau der Tragschicht in mehreren Lagen diese um mindestens 15 cm gegeneinander zu versetzen, so dass näherungsweise von einem gleichen Positionierungsbereich der Arbeitsnähte der Tragschichten zwischen den Fahrstreifen ausgegangen werden kann.

Einzig basierend auf den Informationen zu den Aufbaudaten war es nicht möglich die genaue Lage der Folgenähte zwischen zwei Fahrstreifen zu bestimmen, also ob die Naht unmittelbar rechts oder links der Markierung oder gar mittig in einem der beiden Fahrstreifen gelegen ist. Basierend auf den Schadenshäufigkeiten zu den einzelnen Lokalisierungen im Fahrstreifen (siehe Kapitel 5.2.2), insbesondere zum Schadensmerkmal „Offene Arbeitsnähte“, konnte jedoch die genaue Position der Folgenaht im Fahrstreifen für die oberste Asphalttschicht abgeschätzt werden.

Die Ergebnisse zur Bestimmung der Lage der Folgenaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt anhand der Analyse der Aufbaudaten sind im Weiteren für 2- und 3-streifige BAB unterteilt.

7.2.1.1 2-streifige Bundesautobahnen

Zu 93,8 % aller 1m-Auswerteabschnitte liegen ausreichend vollständige Informationen zu den Aufbaudaten der obersten Asphalttschicht vor, um das Vorhandensein und die Lage der Folgenaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt untersuchen zu können.

	2-streifige BAB			
	Deckschicht		Tragschicht	
1m-Abschnitte	27.192.141	100,0%	27.192.141	100,0%
keine Folgenaht	21.852.248	80,4%	24.300.215	89,4%
Folgenaht zwischen FS1 / FS2	3.642.016	13,4%	1.615.536	5,9%
unvollständige Daten	1.697.877	6,2%	1.276.390	4,7%

Tabelle 7-1: Tabelle zur Bestimmung der Lage der Folgenaht im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB

Die in der Tabelle 7-1 dargestellten Auswertungen ergeben, dass bei 80,4 % aller 1m-Auswerteabschnitte die oberste Asphalttschicht entweder über die gesamte Fahrbahnbreite eingebaut oder eine Erstnaht ausgebildet wurde. Erstnähte werden während ein und derselben Maßnahme ausgeführt und sind somit in den Aufbaudaten nicht über das Kriterium unterschiedlicher Alter detektierbar. Für 13,4 % aller Abschnitte auf 2-streifigen BAB konnte eine Folgenaht zwischen den obersten Asphalttschichten des ersten und zweiten Fahrstreifens nachgewiesen werden.

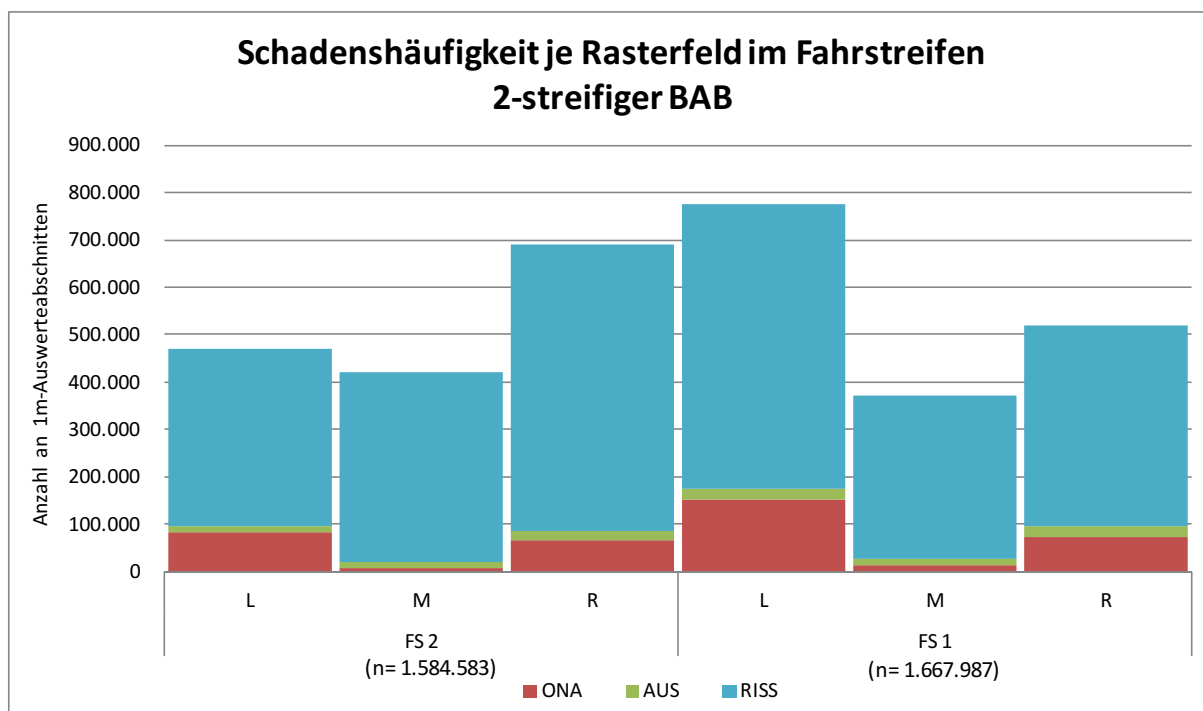


Abbildung 7-1: Lokalisierung der Einzelmerkmale „ONA“, „AUS“ und „RISS“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Anhand der in Kapitel 5.2.2 dargelegten und in Abbildung 7-1 zusammengefassten Ergebnisse zur Lokalisierung der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) im Fahrstreifen kann insbesondere durch das Vorkommen der offenen Arbeitsnähte die Lage der Folgenähte im Wesentlichen auf das linke Rasterfeld des ersten und das rechte Rasterfeld des zweiten Fahrstreifens eingegrenzt werden. Eine für alle 2-streifigen BAB gültige Aussage über die Häufigkeitsverteilung der Folgenaht auf diese beiden Lokalisierungen ist anhand dieser Informationen und der Aufbaudaten nicht möglich.

Zu 95,3 % aller 1m-Auswerteabschnitte lagen ausreichend Informationen zu den Aufbaudaten der Tragschicht vor, um das Vorhandensein einer Folgenaht zwischen den Einbaubahnen des Fertigers im Fahrbahnquerschnitt und deren Lage bestimmen zu können. Die Analysen ergaben, dass bei 89,4 % aller Abschnitte auf 2-streifigen BAB über die gesamte Fahrbahnbreite eingebaut bzw. eine Erstnaht zwischen den Einbaubahnen der Tragschicht ausgebildet wurde (Tabelle 7-1). Lediglich bei 5,9 % aller Abschnitte konnte eine Folgenaht zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen nachgewiesen werden.

7.2.1.2 3-streifige Bundesautobahnen

Die Aufbaudaten zu den 3-streifigen BAB liegen in einem Maß vollständig vor, dass für 91,8 % aller 1m-Auswerteabschnitte eine Aussage über das Vorhandensein einer Folgenaht in der obersten Asphaltsschicht und deren Position im Fahrbahnquerschnitt getroffen werden kann.

	3-streifige BAB			
	Deckschicht		Tragschicht	
1m-Abschnitte	14.001.445	100,0%	14.001.445	100,0%
keine Folgenaht	9.565.101	68,3%	10.637.279	76,0%
Folgsnaht zwischen FS1 / FS2	2.344.918	16,7%	1.895.389	13,5%
Folgsnaht zwischen FS2 / FS3	569.551	4,1%	468.424	3,3%
Folgsnaht zwischen allen FS	377.540	2,7%	185.771	1,3%
unvollständige Daten	1.144.335	8,2%	814.582	5,8%

Tabelle 7-2: Tabelle zur Bestimmung der Lage der Folgenaht im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB

Die in Tabelle 7-2 aufgeführte Auswertung der Datengrundlage ergab, dass 68,3 % aller 1m-Auswerteabschnitte auf 3-streifigen BAB keine Folgenaht zwischen Einbaubahnen aufweisen. In diesen Fällen wurde die oberste Asphalttschicht entweder über die gesamte Fahrbahnbreite oder durch die Ausbildung von Erstrnähten zwischen den Fertigerbahnen eingebaut. 16,7 % aller Abschnitte verfügen über eine Folgenaht zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen. Eine Folgenaht zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen liegt bei 4,1 % aller 1m-Abschnitte vor. 2,7 % aller Abschnitte auf 3-streifigen BAB weisen zwischen allen Fahrstreifen eine Folgenaht in der obersten Asphalttschicht auf. Insgesamt liegt so zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen bei 19,4 % und zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen bei 6,8 % aller Abschnitte eine Folgenaht vor.

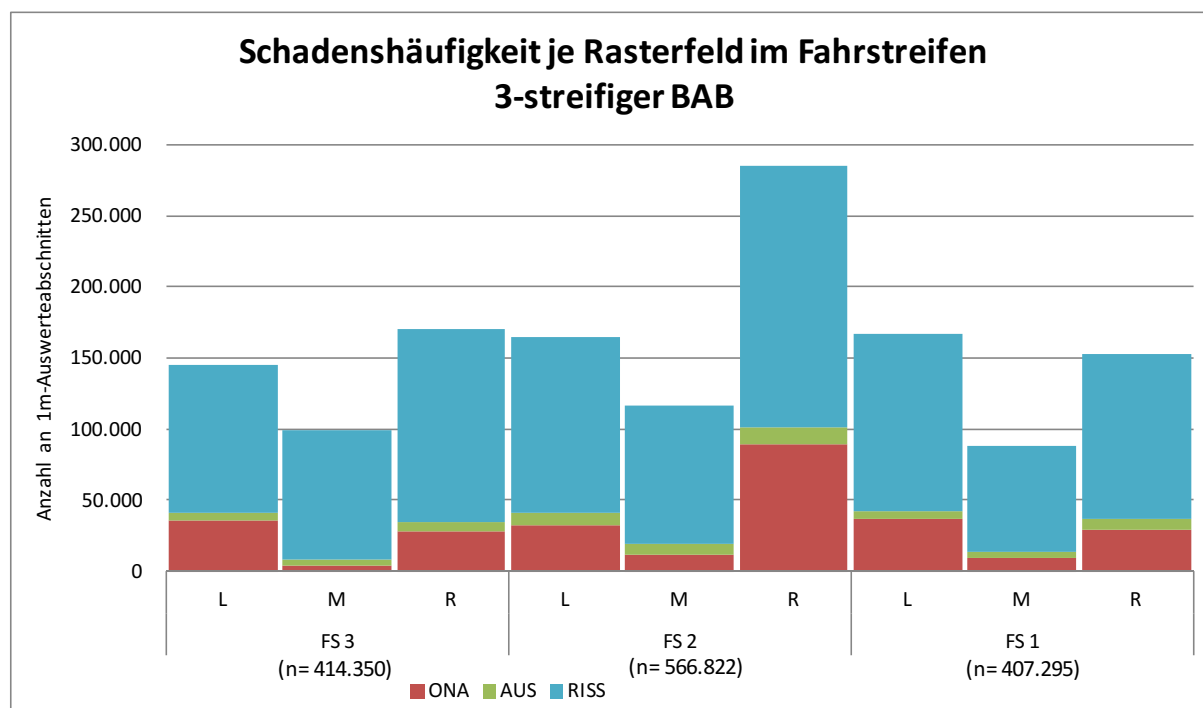


Abbildung 7-2: Lokalisierung der Einzelmerkmale „ONA“, „AUS“ und „RISS“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Anhand der in Kapitel 5.2.2 beschriebenen und in Abbildung 7-2 zusammengefasst dargestellten Ergebnisse insbesondere zum Vorkommen der offenen Arbeitsnähte im Fahrstreifen kann die Lage der Folgenaht zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen im Wesentlichen auf das rechte Rasterfeld des zweiten Fahrstreifens gefolgt vom linken Rasterfeld des

ersten Fahrstreifens begrenzt werden. Die auf 3-streifigen BAB weniger präsenste Folgenaht zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen dominiert das linke Rasterfeld des Fahrstreifens zwei und das rechte Rasterfeld des dritten Fahrstreifens.

Zu 94,2 % der 1m-Auswerteabschnitte lagen hinreichend viele Informationen zum Alter und zur Art der Tragschicht vor, so dass Aussagen zum Vorhandensein einer Folgenaht und deren Position im Fahrbahnquerschnitt getroffen werden können. Bei 76,0 % aller Abschnitte 3-streifiger BAB wurden die Bahnen der Tragschicht zeitgleich eingebaut und gegebenenfalls eine Erstnaht ausgebildet. Zu 13,5 % aller Abschnitte war die Bestimmung einer Folgenaht zwischen den Tragschichten des ersten und zweiten Fahrstreifens möglich. Zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen konnte eine Folgenaht bei 3,3 % der 1m-Abschnitte nachgewiesen werden. Bei 1,3 % aller Abschnitte liegt eine Folgenaht zwischen allen Fahrstreifen im Fahrbahnquerschnitt vor. Insgesamt ist somit zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen bei 14,8 % aller 1m-Auswerteabschnitte eine Folgenaht positioniert. Zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen konnte eine Folgenaht zwischen den Tragschichten bei insgesamt 4,7 % der 1m-Abschnitte ermittelt werden.

7.2.2 Rasterfeldgenaue Lokalisierung von Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt

Da anhand der Aufbaudaten lediglich die Bestimmung von Folgenähten im Fahrbahnquerschnitt möglich ist und für die fundierte Analyse von in Relation zur Arbeitsnaht stehender Substanzschäden der Straßenoberfläche eine präzisere Bestimmung der Lage sowohl von Erstnähten als auch von Folgenähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt notwendig ist, sind im Weiteren die Ergebnisse zur Nahtprojektion auf Basis der im Fahrstreifen lokalisierten offenen Arbeitsnähte aufgeführt.

Die präzisere Bestimmung basiert auf den detaillierten Informationen zur rasterfeldgenauen Lage der im jeweiligen Fahrstreifen detektierten offenen Arbeitsnähte. Um offene Arbeitsnähte auszuschließen, die an den Rändern von Flickstellen auftreten und demnach keine Schädigungen der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen darstellen, wurden nur diejenigen offenen Arbeitsnähte für die Analyse verwendet, die nicht im selben Rasterfeld wie Flickstellen vorkommen. Auch offene Arbeitsnähte zur Randbefestigung, die im linken Rasterfeld des in Fahrtrichtung linken Fahrstreifens zur Mittelstreifenbefestigung oder im rechten Rasterfeld des ersten Fahrstreifens auftreten, wurden für die Bestimmung ausgeschlossen. Diese Arbeitsnähte sind im Straßenbau nicht zu vermeiden und aufgrund ihrer Position im Fahrbahnquerschnitt für die vorliegende Fragestellung von untergeordneter Bedeutung.

Da Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen selten über mehrere Meter hinweg durchgehend offen sind, wurde das Schadensmerkmal „ONA“ häufig nur für einzelne 1m-Auswerteabschnitte eines 100m-Abschnitts detektiert. Zur präzisen Bestimmung der Lage der Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt wird angenommen, dass kein Wechsel hinsichtlich der Lage der Arbeitsnaht innerhalb eines 100m-Abschnitts erfolgt, da Bauabschnitte auf Bundesautobahnen in der Regel eine Länge von 500 m nicht unterschreiten. Demnach wurden alle detektierten „ONA“, die nicht mit Flickstellen vorkommen oder zur Randbefestigung liegen, für die entsprechende Lokalisierung im Fahrstreifen auf den gesamten 100m-Abschnitt projiziert (siehe schematische Darstellung in Abbildung 7-3). Je nach Alter und Struktur des Fahrbahnquerschnitts können auch mehrere Arbeitsnähte parallel vorkommen.

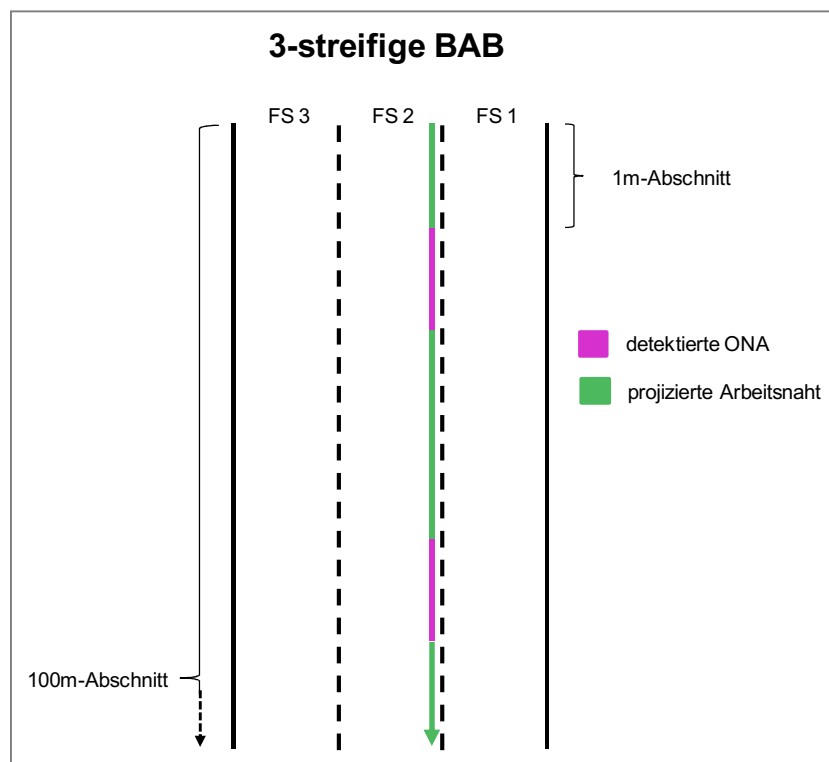


Abbildung 7-3: Schema zur Illustration der Nahtprojektion zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt

Da eine Projektion der über „ONA“ identifizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt lediglich für den jeweiligen 100m-Abschnitt vorgenommen wird, ist insbesondere für die 3-streifigen Bundesautobahnen von einem insgesamt höheren Prozentsatz an Abschnitten mit Arbeitsnähten auszugehen. Eine präzisere Aussage kann aufgrund der aktuell verfügbaren Datengrundlage jedoch nicht getroffen werden.

7.2.2.1 2-streifige Bundesautobahnen

Anhand des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ konnten für 11,5 % aller Fahrbahnkilometer 2-streifiger BAB die Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt rasterfeldgenau bestimmt werden (Tabelle A3-1, Anhang A3-2-1-1). 73,0 % der auf diese Weise nachgewiesenen Arbeitsnähte konnten exakt zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen lokalisiert werden (Tabelle A3-2, Anhang A3-2-1-1). Demnach sind sie entweder im linken Rasterfeld des ersten Fahrstreifens oder im rechten Rasterfeld des zweiten Fahrstreifens positioniert (Abbildung 7-4). Mittig im ersten Fahrstreifen befinden sich 14,4 % aller nachgewiesenen Arbeitsnähte. In der Mitte des zweiten Fahrstreifens sind 12,5 % aller nachgewiesenen Arbeitsnähte lokalisiert (Tabelle A3-2, Anhang A3-2-1-1).

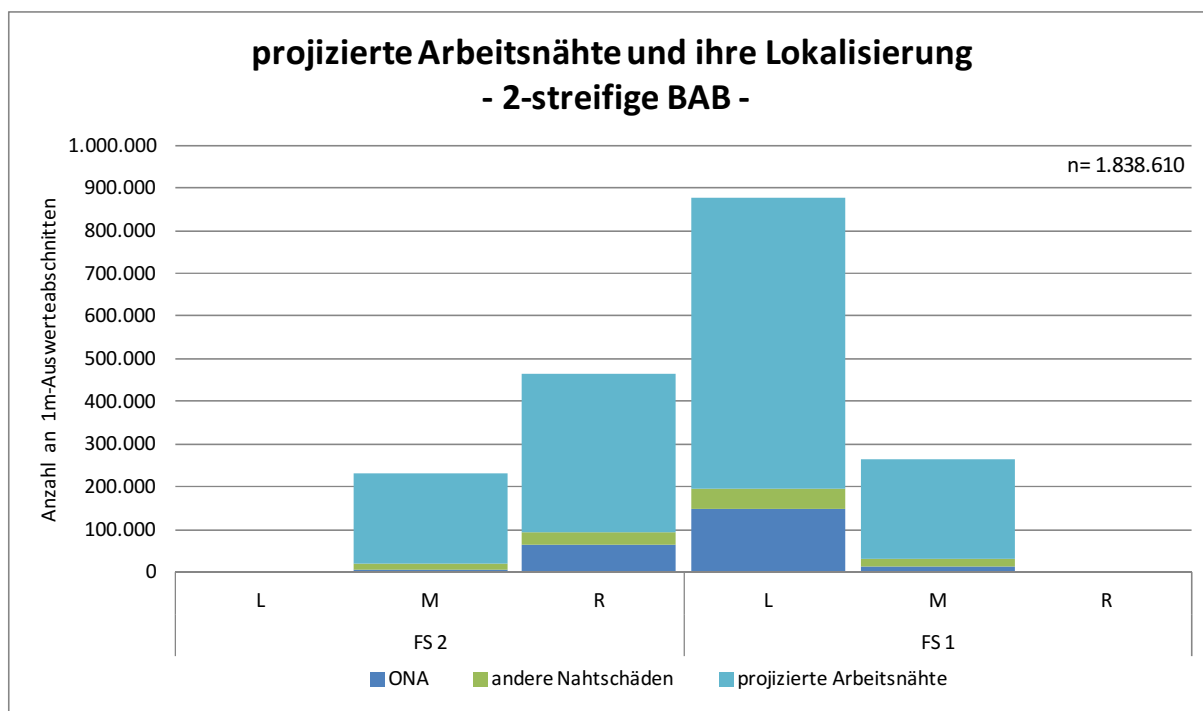


Abbildung 7-4: Lage der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – alle Bundesländer

Bundeslandspezifische Analysen der auf Basis der offenen Arbeitsnähte projizierten Arbeitsnähte zeigen in allen Bundesländern eine deutliche Dominanz der nachgewiesenen Arbeitsnähte zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen (Anhang A3-2-1-1). Ein vergleichsweise niedriger Anteil von < 60,0 % an allen nachgewiesenen Arbeitsnähten fällt auf den Bereich zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen in den Bundesländern Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern. Mit Ausnahme von Baden-Württemberg liegt in diesen Bundesländern der Anteil an nachgewiesenen Arbeitsnähten mittig des ersten Fahrstreifens mit rund 28,0 % deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 14,4 % (Tabelle A3-3, Anhang A3-2-1-1). Zu den Bundesländern Hamburg, Bremen, Saarland, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen kann aufgrund zu geringer Fallzahlen keine fundierte und hinreichend belegbare Aussage in Bezug auf die genaue Positionierung der Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt getroffen werden.

7.2.2.2 3-streifige Bundesautobahnen

Anhand des Substanzmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ konnten für 24,8 % aller Fahrbahnkilometer 3-streifiger BAB die genaue Positionierung der Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt ermittelt werden (Tabelle A3-12, Anhang A3-2-1-2). Dabei sind 48,3 % aller nachgewiesenen Arbeitsnähte zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen, also entweder im linken Rasterfeld des ersten Fahrstreifens oder im rechten Rasterfeld des zweiten Fahrstreifens, lokalisiert (Abbildung 7-5 und Tabelle A3-13, Anhang A3-2-1-2). 28,3 % der nachgewiesenen Arbeitsnähte hingegen befinden sich im linken Rasterfeld des zweiten Fahrstreifens oder rechten Rasterfeld des dritten Fahrstreifens. In der Mitte des ersten und dritten Fahrstreifens sind jeweils 7,0 % aller nachgewiesenen Arbeitsnähte lokalisiert.

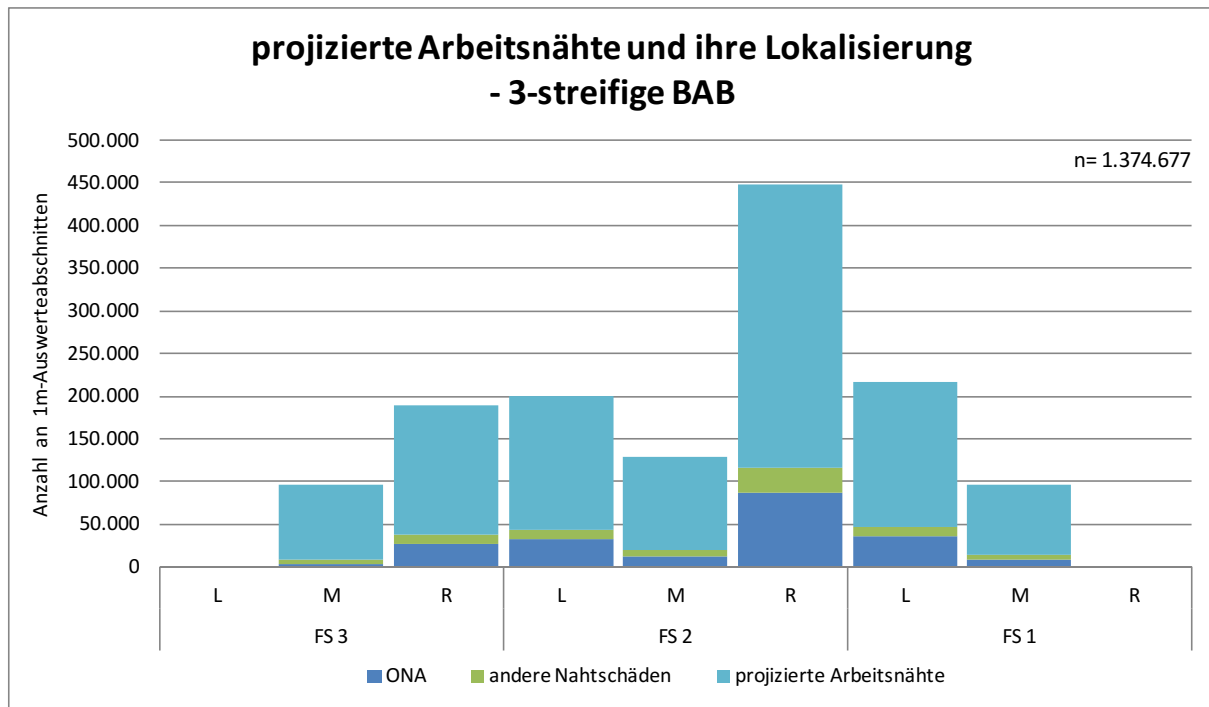


Abbildung 7-5: Lage der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – alle Bundesländer

Die bundeslandspezifischen Auswertungen hinsichtlich nachgewiesener Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt zeigen, dass diese überwiegend unmittelbar zwischen den Fahrstreifen positioniert werden (Anhang A3-2-1-2). In den Bundesländern Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Bayern und Brandenburg dominiert die Lage der durch die Projektion nachgewiesenen Arbeitsnaht zwischen dem ersten Fahrstreifen (linkes Rasterfeld) und dem zweiten Fahrstreifen (rechtes Rasterfeld) deutlich. Eine etwa gleiche Häufigkeitsverteilung in Bezug auf die Position der nachgewiesenen Arbeitsnaht unmittelbar zwischen den Fahrstreifen zeigen die Bundesländer Niedersachsen und Baden-Württemberg. In Berlin überwiegt der Anteil an nachgewiesenen Arbeitsnähten zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen gegenüber der Position zwischen Fahrstreifen eins und zwei um etwa 10,0 % (Tabelle A3-14, Anhang A3-2-1-2). Zu den Bundesländern Schleswig-Holstein, Bremen, Saarland, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen kann aufgrund zu geringer Fallzahlen keine fundierte und hinreichend belegbare Aussage in Bezug auf die genaue Positionierung der Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt getroffen werden.

7.2.3 Analysen zu Nahtschäden an projizierten Arbeitsnähten

Basierend auf den Erkenntnissen zur genauen Lage der Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt werden im Folgenden die Ergebnisse zur Analyse nahtbezogener Substanzschäden der Oberfläche dargestellt. Die Entwicklung der Nahtschäden wurde ausschließlich auf den 3-streifigen BAB untersucht, da diese im Fokus der weiteren Analysen zur Bearbeitung der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit stehen. Die Ergebnisse der 2-streifigen BAB dienen insbesondere der Untermauerung der zu 3-streifigen BAB erlangten Erkenntnisse.

Auf Basis der Grundgesamtheit an 1m-Auswerteabschnitten mit projizierter Arbeitsnaht wurde untersucht, ob Schadensmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) in einem direkten Zusammenhang mit einer vorhandenen Arbeitsnaht stehen und wie hoch deren Anteil am Gesamtvorkommen der Substanzschäden der Oberfläche ist.

Um auftretende Schadensmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) einer Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen zuordnen zu können, wurden nur diejenigen Oberflächenschäden betrachtet, die entweder mit einer offenen Arbeitsnaht (ONA) (ohne FLI) im selben Rasterfeld oder unter bestimmten Voraussetzungen an einer projizierten Arbeitsnaht, die nicht offen ist, vorkommen. Für die Bestimmung und Unterteilung von Nahtschäden wurden folgende Definitionen festgelegt:

- als Nahtschäden werden offene Arbeitsnähte (ohne FLI) bezeichnet,
- andere Nahtschäden sind Ausbrüche und Risse (ohne ONA), die im gesamten 1m-Auswerteabschnitt ausschließlich im selben Rasterfeld mit einer nicht offenen projizierten Arbeitsnaht vorkommen,
- potenzielle Nahtschäden stellen Ausbrüche und/oder Risse (ohne ONA) in den Rollspuren dar, die parallel im selben 1m-Auswerteabschnitt im linken Rasterfeld mit projizierter Arbeitsnaht und im rechten Rasterfeld mit offener Naht zur Randbefestigung vorkommen.

Die Definitionen sind schematisch in folgender Abbildung 7-6 dargestellt.

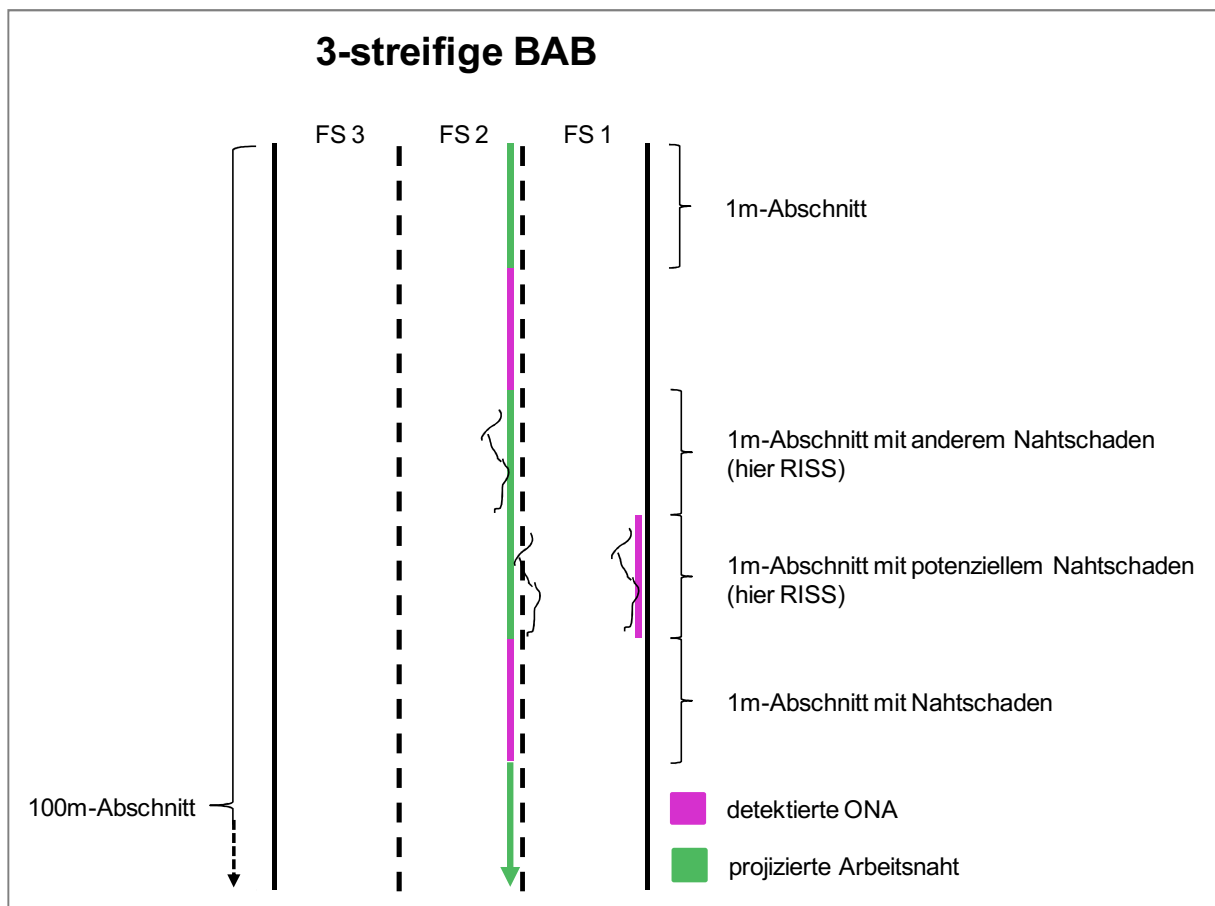


Abbildung 7-6: Schematische Darstellung zu den Definitionen von Nahtschäden, anderen Nahtschäden und potenziellen Nahtschäden

Die Daten wurden entsprechend der obigen Definitionen unter Anwendung statistischer Häufigkeitsanalysen ausgewertet.

Da Bindemittelanreicherungen kein in Relation zur Arbeitsnaht stehendes Schadensmerkmal darstellen und es sich bei Flickstellen um eine Reparaturstelle handelt, die zuvor vorhandene

Oberflächenschäden behebt, wurden diese beiden Schadensmerkmale von den Analysen ausgeschlossen.

Um das Auftreten und die Entwicklung offener Arbeitsnähte detaillierter analysieren sowie potenziell ihre Entstehung begünstigende Faktoren bestimmen zu können, wurden neben verschiedenen Dünnschicht- (2,5 cm) und Deckschichtbelägen (4,0 cm) auch unterschiedliche Nähte auf das Schadensvorkommen hin untersucht. Erstnähte treten dabei – wie bereits zuvor definiert – zwischen obersten Asphaltsschichten gleicher Art und gleichen Alters auf. Folgenähte hingegen liegen sowohl zwischen obersten Asphaltsschichten gleicher Art, aber unterschiedlichen Alters, als auch zwischen obersten Asphaltsschichten unterschiedlicher Art und unterschiedlichen Alters vor. Eine differenzierte Analyse zur unterschiedlichen Nahtausbildung zwischen einem Einbau heiß an heiß und heiß an kalt konnte aufgrund fehlender Informationen nicht durchgeführt werden. Bei der Analyse zu den verschiedenen Dünn- und Deckschichten wurde sowohl die Art als auch das Alter bei Schadensauftritt berücksichtigt. Dabei wurden alle obersten Asphaltsschichten, die vor 2013 und damit vor Beginn der ZEB-Kampagne 2013/2014 eingebaut waren, in die Analysen mit einbezogen. Nicht nur die verschiedenen Dünn- und Deckschichtarten waren für die Untersuchungen relevant, sondern auch welcher Belag bei Folgenähten an welche bereits liegende Asphaltart angebaut wurde.

Des Weiteren wurde die Schadensentwicklung an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen untersucht. Dies geschah in Form von Zeitreihen, zu denen neben der Messkampagne von 2013/2014 auch die Kampagnen von 2009/2010 und 2005/2006 auf Bundesautobahnen analysiert wurden. Von wissenschaftlichem Interesse war neben der Analyse des erstmaligen Schadensauftretens auch die zeitliche Entwicklung des Schadensbildes an Arbeitsnähten. Ausgewertet wurden alle Merkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche), die entweder der Kategorie „Nahtschäden“ oder der Kategorie „andere Nahtschäden“ zugeordnet werden konnten. Für die Untersuchung des erstmaligen Schadensauftretens wurde analysiert, in welchem Jahr der betrachteten Messkampagnen das jeweilige Schadensmerkmal erstmals an einer Arbeitsnaht aufgetreten ist und wie alt diese Naht zu diesem Zeitpunkt war. Bei der Bewertung der Ergebnisse zur Untersuchung der Altersverteilung ist zu beachten, dass nur Auswertungsabschnitte betrachtet wurden, die bereits einen Nahtschaden aufweisen und noch im Netz vorhanden sind. Der Anteil sowie das Alter jener Abschnitte, die zwischen zwei Messkampagnen einen Nahtschaden aufwiesen und vor der nächsten Messkampagne erneuert wurden, ist unbekannt. Die Analyse der zeitlichen Entwicklung eines Schadensbildes erfolgte unter der Betrachtung des Auftretens von Nahtschäden im selben Rasterfeld über die jeweiligen Jahre hinweg. Von besonderem Interesse dabei war zu bestimmen, welcher Nahtschaden als erstes auftritt und zu welchem Nahtschaden er sich über die Zeit weiterentwickelt bzw. welche Nahtschäden dazu kommen. Für die Zeitreihenanalysen wurde eine neue Codierung der Arbeits-Datenbank vorgenommen. Je Kampagne setzte sich die Codierung aus drei Ziffern zusammen, wobei die erste Ziffer das Auftreten einer offenen Arbeitsnaht, die zweite Ziffer das Auftreten eines Ausbruchs und die dritte Ziffer das Vorkommen von Rissen angibt. Die jeweilige Ziffer gibt gleichzeitig auch die genaue Lokalisierung der Schadensart im Fahrstreifen wieder, die wie folgt codiert ist:

0 = Schaden nicht vorhanden

1 = Vorkommen im linken Rasterfeld

2 = Vorkommen im mittleren Rasterfeld

3 = Vorkommen im rechten Rasterfeld

4 = Vorkommen im linken und mittleren Rasterfeld

5 = Vorkommen im mittleren und rechten Rasterfeld

6 = Vorkommen im linken und rechten Rasterfeld

7 = Vorkommen in allen drei Rasterfeldern

So bedeutet beispielsweise die Codierung „302“, dass im rechten Rasterfeld des Fahrstreifens eine offene Arbeitsnaht, kein Ausbruch im gesamten 1m-Auswerteabschnitt, jedoch im mittleren Rasterfeld Risse vorhanden sind.

Unterschieden wurde bei den zeitlichen Auswertungen unter anderem zwischen gleichbleibenden, d.h. sich auch nicht in der räumlichen Ausdehnung verändernden, und sich nach Art und Ausdehnung verändernden Schadensbildern.

7.2.3.1 2-streifige Bundesautobahnen

Der Anteil offener Arbeitsnähte an allen nachgewiesenen Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt liegt bei 14,5 % (Tabelle A3-19, Anhang A3-2-2-1). Weitere 5,6 % weisen andere Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche), wie Risse und Ausbrüche, auf, die eindeutig der Arbeitsnaht zuzuordnen sind. Nachgewiesene Arbeitsnähte zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen sind zu 15,8 % offen und zeigen zu weiteren 5,7 % andere Nahtschäden (Abbildung A3-1, Anhang A3-2-1-1).

Bundeslandspezifische Auswertungen hinsichtlich nahtbezogener Substanzschäden konnten aufgrund einer ausreichenden Grundgesamtheit für die Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern und Brandenburg durchgeführt werden (Tabellen und Abbildungen, Anhang A3-2-1-1). Mindestens 9,2 % aller Fahrbahnkilometer in Schleswig-Holstein weisen eine Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt auf. Insgesamt sind 24,2 % der zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen lokalisierten Arbeitsnähte schadhaft, wobei alleine 17,3 % offen sind. In Niedersachsen beträgt der minimale Anteil an Abschnitten, die Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen aufweisen, 5,5 % aller Fahrbahnkilometer. Der Anteil der schadhaften projizierten Arbeitsnähte zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen beläuft sich auf 12,1 % – alleine 5,5 % sind offen. Mindestens 32,3 % aller Fahrbahnkilometer in Nordrhein-Westfalen konnte eine Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt nachgewiesen werden. 24,1 % der nachgewiesenen Arbeitsnähte zwischen Fahrstreifen eins und zwei zeigen nahtbezogene Substanzschäden der Oberfläche, wobei alleine 19,7 % offen sind. In Hessen beträgt das Minimum an Fahrbahnkilometern, dem eine Arbeitsnaht nachgewiesen werden konnte, 5,0 %. Die zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen positionierten Arbeitsnähte sind zu 14,3 % schadhaft, wobei alleine 10,8 % offen sind. Für mindestens 7,6 % aller Fahrbahnkilometer in Rheinland-Pfalz konnte eine Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt nachgewiesen werden. Insgesamt sind 17,1 % dieser Arbeitsnähte zwischen Fahrstreifen eins und zwei als schadhaft zu betrachten – alleine 11,1 % weisen „ONA“ auf. Mindestens 9,3 % aller Fahrbahnkilometer in Baden-Württemberg verfügen über eine Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen. 18,6 % aller zwischen Fahrstreifen eins und zwei positionierten Arbeitsnähte sind schadhaft, wobei alleine 10,8 % offen sind. Ein Minimum von 5,9 % aller in Bayern vorhandenen Fahrbahnkilometer weist Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt auf. Der Schadensanteil aller zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen lokalisierten Arbeitsnähte liegt bei 18,8 % – alleine 10,2 % weisen „ONA“ auf. Mindestens 13,9 % aller Fahrbahnkilometer in Brandenburg verfügen über eine Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen. Der Schadensanteil aller zwischen Fahrstreifen eins und zwei positionierten Arbeitsnähte beläuft sich auf 18,9 %, wobei alleine 12,7 % offen sind.

Bundesland	Anteil 1m-Abschnitte mit projizierter Arbeitsnaht	davon schadhafte Arbeitsnähte	davon offene Arbeitsnähte (ONA)
Schleswig-Holstein	9,2%	24,2%	17,3%
Niedersachsen	5,5%	12,1%	5,5%
Nordrhein-Westfalen	32,3%	24,1%	19,7%
Hessen	5,0%	14,3%	10,8%
Rheinland-Pfalz	7,6%	17,1%	11,1%
Baden-Württemberg	9,3%	18,6%	10,8%
Bayern	5,9%	18,8%	10,2%
Brandenburg	13,9%	18,9%	12,7%

Tabelle 7-3: Anteil projizierter Arbeitsnähte und ihrer prozentualen Schädigung für ausgewählte Bundesländer – 2-streifige BAB

Vertiefte Analysen zu den projizierten Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt ergaben, dass 72,3 % Erstnähte und 27,7 % Folgenähte darstellen (Tabelle A3-20, Anhang A3-2-2-1). Während 10,9 % aller nachgewiesenen Erstnähte offen sind, beläuft sich dieser Anteil bei den Folgenähten auf 16,8 %.

Detaillierte Untersuchungen zum Auftreten von offenen Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt in Bezug auf die Art der obersten Asphaltsschicht zeigen, dass 33,7 % aller „ONA“ auf 2-streifigen BAB Erstnähte zwischen Splittmastixasphalt darstellen und 19,0 % Erstnähte zwischen Gussasphalt (Tabelle A3-21, Anhang A3-2-2-1). 37,1 % aller offenen Arbeitsnähte treten an Folgenähten auf.

Die Altersstruktur der offenen Erstnähte zeigt, dass die meisten Nähte vergleichbar häufig nach 7, 10 und 14 Jahren bzw. 20 und 23 Jahren aufgegangen sind (Abbildung A3-15, Anhang A3-2-2-1). Hohe Häufigkeiten sind auch nach 30, 32 und 38 Jahren vorhanden. Bei der Aufgliederung der Altersverteilung der offenen Erstnähte nach den Arten der obersten Asphaltsschicht ist festzustellen, dass die frühen Ausfälle (1 bis 10 Jahre) auf den Splittmastixasphalt zurückzuführen sind (Abbildung A3-16, Anhang A3-2-2-1). 42,3 % aller „ONA“ treten beim Splittmastixasphalt bereits innerhalb der ersten 10 Jahre auf. Beim Asphaltbeton gehen die ersten Erstnähte nach einer Nutzungsdauer von 18 bis 19 Jahren auf (Abbildung A3-18, Anhang A3-2-2-1). Auch der Gussasphalt zeigt eine längere Lebensdauer bevor die Arbeitsnähte aufgehen (Abbildung A3-17, Anhang A3-2-2-1). 68,1 % aller offenen Erstnähte zwischen Gussasphalt gehen nach 29 Jahren und älter auf. Die Altersstruktur der offenen Folgenähte zeigt, dass die meisten Nähte nach 30, 38 und 49 Jahren aufgegangen sind (Abbildung A3-19, Anhang A3-2-2-1). Bei 70,3 % aller offenen Folgenähte wurde Gussasphalt an eine andere oberste Asphaltsschicht angebaut. Hinsichtlich der Altersstruktur zwischen offenen Erstnähten und offenen Folgenähten ist ein sehr deutlicher Unterschied festzustellen. So gehen die Erstnähte im Mittel 16 Jahre früher auf als die Folgenähte (Tabelle A3-22, Anhang A3-2-2-1). Ein Mittelwertvergleich zwischen den offenen Erstnähten und offenen Folgenähten, getrennt nach den unterschiedlichen Arten der obersten Asphaltsschicht, stützt diese Feststellung.

7.2.3.2 3-streifige Bundesautobahnen

Der Anteil offener Arbeitsnähte an allen nachgewiesenen Arbeitsnähten zwischen Einbau- bahnen im Fahrbahnquerschnitt liegt bei 17,5 % (Tabelle A3-23, Anhang A3-2-2-2). Darüber hinaus weisen weitere 5,5 % der Arbeitsnähte andere Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche), wie Risse und Ausbrüche, auf, die eindeutig als Nahtschaden zu identifizieren sind. Die zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen nachgewiesenen Arbeitsnähte sind zu 18,5 % offen und zeigen zu weiteren 6,1 % andere Nahtschäden (Abbildung A3-10, Anhang A3-2-1-2). Alle zwischen Fahrstreifen zwei und drei nachgewiesenen Arbeitsnähte hingegen sind zu 15,1 % offen und zusätzliche 5,5 % weisen andere Nahtschäden auf.

Ausreichende Grundgesamtheiten und damit verlässliche Aussagen liefern die Bundesländer Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Berlin und Brandenburg für eine bundeslandspezifische Auswertung hinsichtlich nahtbezogener Substanzschäden (Tabellen und Abbildungen, Anhang A3-2-1-2). Mindestens 43,7 % aller Fahrbahnkilometer in Hamburg weisen eine Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt auf. 23,6 % aller zwischen Fahrstreifen eins und zwei nachgewiesenen Arbeitsnähte sind schadhaft, 15,9 % von ihnen weisen „ONA“ auf. Die zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen nachgewiesenen Arbeitsnähte zeigen mit 23,7 % den nahezu gleichen Schadensanteil, wobei hier 16,1 % der Nähte offen sind. Mindestens 58,2 % aller Fahrbahnkilometer in Nordrhein-Westfalen konnte eine Arbeitsnaht im Fahr- bahnquerschnitt nachgewiesen werden. Hier liegt der prozentuale Anteil der zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen schadhaften Arbeitsnähte bei 25,9 %, wobei alleine 20,4 % „ONA“ aufweisen. 22,4 % aller zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen nachgewiese- nen Arbeitsnähte sind schadhaft, alleine 17,4 % sind offen. In Berlin beträgt der minimale Anteil an Abschnitten, die Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen aufweisen, 39,4 % aller Fahrbahnkilometer. Anteilig an allen zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen nachge- wiesenen Arbeitsnähten sind 7,5 % offen und insgesamt 12,6 % schadhaft. Die zwischen Fahrstreifen zwei und drei nachgewiesenen Arbeitsnähte sind zu 12,7 % schadhaft, alleine 7,9 % weisen „ONA“ auf. Für mindestens 31,1 % aller Fahrbahnkilometer in Brandenburg konnte eine Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt nachgewiesen werden. 20,2 % aller zwisch- en Fahrstreifen eins und zwei nachgewiesenen Arbeitsnähte sind schadhaft, 13,2 % von ihnen sind offen. Die zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen nachgewiesenen Ar- beitsnähte weisen einen Schadensanteil von 13,8 % auf, wobei hier 7,0 % der Nähte offen sind.

Bundesland	Anteil 1m- Abschnitte mit projizierter Arbeitsnaht	davon schadhafte Arbeitsnähte zwischen FS 1 und FS 2	davon offene Arbeitsnähte (ONA)	davon schadhafte Arbeitsnähte zwischen FS 2 und FS 3	davon offene Arbeitsnähte (ONA)
Hamburg	46,7%	23,6%	15,9%	23,7%	16,1%
Nordrhein-Westfalen	58,2%	25,9%	20,4%	22,4%	17,4%
Berlin	39,4%	12,6%	7,5%	12,7%	7,9%
Brandenburg	31,1%	20,2%	13,2%	13,8%	7,0%

Tabelle 7-4: Anteil projizierter Arbeitsnähte und ihrer prozentualen Schädigung für ausgewählte Bundesländer – 3-streifige BAB

Detailliertere Analysen zu den projizierten Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt zeigen eine deutliche Dominanz der Erstnähte auf 3-streifigen BAB mit 71,5 % gegenüber den Folgenähten mit 28,5 % (Tabelle A3-24, Anhang A3-2-2-2). Während 14,3 % aller nachgewiesenen Erstnähte offen sind, beläuft sich dieser Anteil bei den Folgenähten auf 17,8 %.

Eingehendere Untersuchungen zum Auftreten offener Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt hinsichtlich der Art der obersten Asphaltsschicht zeigen, dass 36,5 % aller „ONA“ auf 3-streifigen BAB Erstnähte zwischen Splittmastixasphalt darstellen und 23,3 % Erstnähte zwischen Gussasphalt (Tabelle A3-25, Anhang A3-2-2-2). 33,2 % aller offenen Arbeitsnähte treten an Folgenähten auf.

Die Altersstruktur der offenen Erstnähte zeigt, dass die meisten Arbeitsnähte nach 4 bis 6, 11, 14 und 18 Jahren aufgegangen sind (Abbildung A3-20, Anhang A3-2-2-2). Ein deutlicher Unterschied hinsichtlich der Altersverteilung offener Erstnähte ist bezüglich der Positionierung zwischen Fahrstreifen eins und zwei und Fahrstreifen zwei und drei festzustellen. Die Häufigkeitsverteilungen scheinen visuell gegeneinander um rund 10 Jahre verschoben. Während die Erstnähte zwischen Fahrstreifen eins und zwei bereits vermehrt nach 5 bis 7 Jahren aufgehen, halten die Erstnähte zwischen Fahrstreifen zwei und drei 15 bis 19 Jahre. Ein Vergleich der Mittelwerte zeigt jedoch einen insgesamt etwas geringeren Unterschied. Während die Erstnaht zwischen Fahrstreifen eins und zwei im Mittel nach 18,9 Jahren aufgeht, dauert es zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen im Mittel 21,8 Jahre ehe „ONA“ auftreten (Tabelle A3-26, Anhang A3-2-2-2). Bei der Differenzierung der Altersverteilung der offenen Erstnähte nach den Arten der obersten Asphaltsschicht ist festzustellen, dass die frühen Ausfälle während bzw. unmittelbar nach der Gewährleistungsfrist auf den Splittmastixasphalt zurückzuführen sind (Abbildung A3-21, Anhang A3-2-2-2). 38,1 % aller „ONA“ beim Splittmastixasphalt treten bereits innerhalb der ersten 10 Jahre auf. Zum Asphaltbeton können aufgrund zu geringer Fallzahlen keine verlässlichen Aussagen getroffen werden (Abbildung A3-23, Anhang A3-2-2-2). Mit Ausnahme von sehr frühen Ausfällen nach einer kurzen Nutzungsdauer, die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf ein Materialversagen oder eine schlechte Einbauqualität zurückzuführen sind, zeigt der Gussasphalt eine deutlich längere Lebensdauer bevor die ersten Arbeitsnähte aufgehen (Abbildung A3-22, Anhang A3-2-2-2). 71,3 % aller offenen Erstnähte zwischen Gussasphalt gehen nach 29 Jahren und älter auf. Die Altersstruktur der offenen Folgenähte zeigt, dass die meisten Nähte nach 19, 30 und 38 Jahren aufgehen (Abbildung A3-24, Anhang A3-2-2-2). Es kann, auch aufgrund der niedrigen Fallzahlen, kein eindeutiger Trend in Bezug auf das frühere oder spätere Aufgehen der Folgenähte zwischen den Fahrstreifen im Fahrbahnquerschnitt festgestellt werden. Auch eine Altersverschiebung zwischen den offenen Arbeitsnähten des ersten und zweiten und zweiten und dritten Fahrstreifens ist nicht eindeutig erkennbar. Bei 61,3 % aller offenen Folgenähte wurde Gussasphalt an eine andere oberste Asphaltsschicht angebaut. Hinsichtlich der Altersstruktur zwischen offenen Erstnähten und offenen Folgenähten ist ein deutlicher Unterschied festzustellen (Tabelle A3-26, Anhang A3-2-2-2). So gehen die Erstnähte zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen im Mittel 10 Jahre früher auf als die Folgenähte. Bei den offenen Arbeitsnähten zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen beträgt dieser Unterschied im Mittel 5 Jahre.

Die Zeitreihenanalysen zum Auftreten von Nahtschäden und deren Entwicklung ergaben, dass 82,6 % aller Nahtschäden, die in der Messkampagne 2013/2014 detektiert wurden, in den vorherigen Kampagnen nicht vorhanden waren (Tabelle A3-27, Anhang A3-2-2-2). Diese Nahtschäden sind demnach erst nach 2010 aufgetreten. Bei 53,4 % aller nur in der Kam-

pagne 2013/2014 festgestellten Nahtschäden handelt es sich um das alleinige Auftreten von „ONA“, bei 22,1 % um das Einzelmerkmal „RISS“ und bei weiteren 20,4 % um die Merkmalskombination „ONA_RISS“. Die Altersverteilung aller erst seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschäden zeigt bereits ein erhöhtes Vorkommen in obersten Asphaltsschichten mit einer Nutzungsdauer von 4 bis 6 Jahren, was dem Zeitraum der Gewährleistungsfrist entspricht (Abbildung A3-25, Anhang A3-2-2-2). Weitere Häufigkeiten hinsichtlich der Altersstruktur zeigen sich nach einer Nutzungsdauer von 14 Jahren, 18 bis 19 Jahren, 30 Jahren und 38 Jahren. Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Altersverteilungen der einzelnen Positionen schadhafter Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt wird deutlich, dass die Arbeitsnaht zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen einen deutlich höheren Anteil an Abschnitten aufweist, die bereits innerhalb oder unmittelbar nach der Gewährleistungsfrist (4 bis 6 Jahre) Nahtschäden zeigen (Abbildung A3-26, Anhang A3-2-2-2). Die Arbeitsnähte zwischen Fahrstreifen zwei und drei hingegen zeigen ein geringeres Auftreten von Nahtschäden während der Gewährleistungsfrist. Erste signifikante Ausfälle sind nach einer Nutzungsdauer von 14 Jahren und 17 bis 19 Jahren festzustellen. Die Analyse der Altersverteilung nach einer Unterscheidung der Art der Nahtschäden (Abbildung A3-27 bis Abbildung A3-29, Anhang A3-2-2-2), die erst in der Kampagne 2013/2014 detektiert wurden, ergab, dass das Schadensmerkmal „ONA“ insbesondere an den Arbeitsnähten zwischen Fahrstreifen eins und zwei bereits nach 4 bis 6 Jahren auftritt, was der Gewährleistungsfrist entspricht. Auch das Einzelmerkmal „RISS“ zeigt als Nahtschaden ein erstmaliges Auftreten bereits innerhalb bzw. unmittelbar nach der Gewährleistungsfrist. Aufgrund der zu geringen Fallzahlen kann über das TP3-Merkmal „AUS“ als Nahtschaden keine Aussage in Bezug auf die Altersverteilung getroffen werden (Abbildung A3-29, Anhang A3-2-2-2). Es ist festzustellen, dass die Altersstrukturen der unterschiedlichen Nahtschäden, abgesehen von der Häufigkeit, eine ähnliche Verteilung aufweisen.

Die Untersuchungen ergaben weiter, dass 16,1 % aller Nahtschäden, die in der Messkampagne 2013/2014 detektiert wurden, bereits bei der Messkampagne 2009/2010 vorhanden waren (Tabelle A3-27, Anhang A3-2-2-2). Die Analyse der zeitlichen Entwicklung dieser Nahtschäden ergab, dass sich 60,7 % zwischen den beiden Messkampagnen höchstens in ihrer räumlichen Ausdehnung, jedoch nicht hinsichtlich der Art des Schadens verändert haben. Bei 42,1 % der in beiden Messkampagnen vorhandenen Nahtschäden handelt es sich um das alleinige Auftreten von „ONA“, bei 18,2 % um das alleinige Vorkommen von „RISS“. Bei 39,3 % aller bereits seit der Messkampagne 2009/2010 vorhandenen Nahtschäden hat sich das Schadensbild innerhalb von vier Jahren weiterentwickelt bzw. verändert. Aufgrund der sehr geringen Fallzahlen lassen sich bei der Weiterentwicklung der Schäden nur Tendenzen ausmachen. Festzustellen ist, dass sich die Einzelvorkommen der Nahtschäden „ONA“ und „RISS“ hin zur Merkmalskombination „ONA_RISS“ weiterentwickeln (Tabelle A3-28, Anhang A3-2-2-2). Lediglich 1,3 % aller Nahtschäden, die in der Messkampagne 2013/2014 detektiert wurden, treten bereits seit der Kampagne 2005/2006 auf (Tabelle A3-27, Anhang A3-2-2-2). Die Analyse der zeitlichen Entwicklung dieser Nahtschäden ergab, dass sich 65,9 % zwischen den drei Messkampagnen höchstens in ihrer räumlichen Ausdehnung, jedoch nicht hinsichtlich der Art des Schadens verändert haben. Bei 65,8 % der seit drei Messkampagnen vorhandenen Nahtschäden handelt es sich um das alleinige Auftreten von „RISS“. Bei 34,1 % aller bereits seit der Messkampagne 2005/2006 vorhandenen Nahtschäden hat sich das Schadensbild innerhalb von acht Jahren weiterentwickelt bzw. verändert.

7.2.4 Positionierung der Arbeitsnaht bei Neubau oder grundhafter Erneuerung

Aufgrund der in Regelwerken vorgegebenen Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer auf Bundesautobahnen, die nicht von einer vollständigen Überleitung des Verkehrs auf die Gegenfahrbahn ausgehen, stehen nur begrenzte Möglichkeiten zur Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt zur Verfügung. Die graphische Darstellung der verschiedenen Varianten soll maßstabsgetreu die größten Überlappungsbereiche zur Lage der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt aufzeigen und der Vorbereitung zur Bestimmung der straßenbautechnisch günstigsten Positionierungsbereiche im Fahrbahnquerschnitt dienen. Grundlage für die Bestimmung der konstruktionsbedingten Lage der Arbeitsnaht waren die Angaben in den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) (FGSV 2008) zum Regelquerschnitt von 3-streifigen Bundesautobahnen. Anhand der für das erste Quartal 2018 erstellten Tabelle zur Baubetriebsplanung (BMVI 2018) wurden die aktuell am häufigsten angewandten Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer analysiert und anschließend die verschiedenen Varianten gemäß den Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Teil D – Autobahnen (RSA) (FGSV 1995) mit dem entsprechenden Regelquerschnitt maßstabsgetreu übereinandergelegt (Abbildung 7-7).

Basierend auf den Angaben in der RAA (FGSV 2008) wurde für die Bestimmung der aktuellen Positionierungsbereiche von heiß-an-kalt-Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB der Regelquerschnitt RQ 36 mit einer Fahrbahnbreite von insgesamt 14,5 m ausgewählt. Die Breite des ersten Fahrstreifens beträgt dabei 3,75 m, die des zweiten und dritten Fahrstreifens jeweils 3,50 m. Die Breite des Seitenstreifens liegt bei 2,5 m. Anhand der Angaben in der RSA (FGSV 1995) zu den unterschiedlichen Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer mit Überleitung auf die Gegenfahrbahn und der Auswertung der Tabelle zur Baubetriebsplanung für das erste Quartal 2018 (BMVI 2018) (Abbildung A3-30, Anhang A3-2-3) wurden die Verkehrsführungen 4+2, 5s+1, 5s+1s, 3+3 und 3n+3s ausgewählt und mit dem Regelquerschnitt übereinander gelegt (Abbildung 7-7). Für die Bestimmung der Positionierungsbereiche der heiß-an-kalt-Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt ist die Verkehrsführung auf der Richtungsfahrbahn von Bedeutung, auf der die Neubau- oder Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden sollen. Grundsätzlich kann eine Arbeitsnaht im Zuge einer Erhaltungsmaßnahme an der Grenze zwischen zwei Fahrstreifen angeordnet werden. Aus der maßstabsgetreuen Darstellung in Abbildung 7-7 wird ersichtlich, dass bei der Verkehrsführung 4+2 die heiß-an-kalt-Arbeitsnaht auch mittig im Fahrstreifen zwei positioniert sein kann. Bei der Verkehrsführung 5s+1 kann die Arbeitsnaht auch links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen liegen. Bei der Verkehrsführung 5s+1s wird der Verkehr über den Seitenstreifen geleitet, so dass die heiß-an-kalt-Arbeitsnaht auch im Bereich der rechten Rollspur des ersten Fahrstreifens ausgebildet werden kann. Im Bereich der linken Rollspur des ersten Fahrstreifens kann die heiß-an-kalt-Arbeitsnaht bei einer 3+3-Verkehrsführung ausgebildet werden. Bei der Verkehrsführung 3n+3s kann die heiß-an-kalt-Arbeitsnaht auch mittig im zweiten Fahrstreifen positioniert werden.

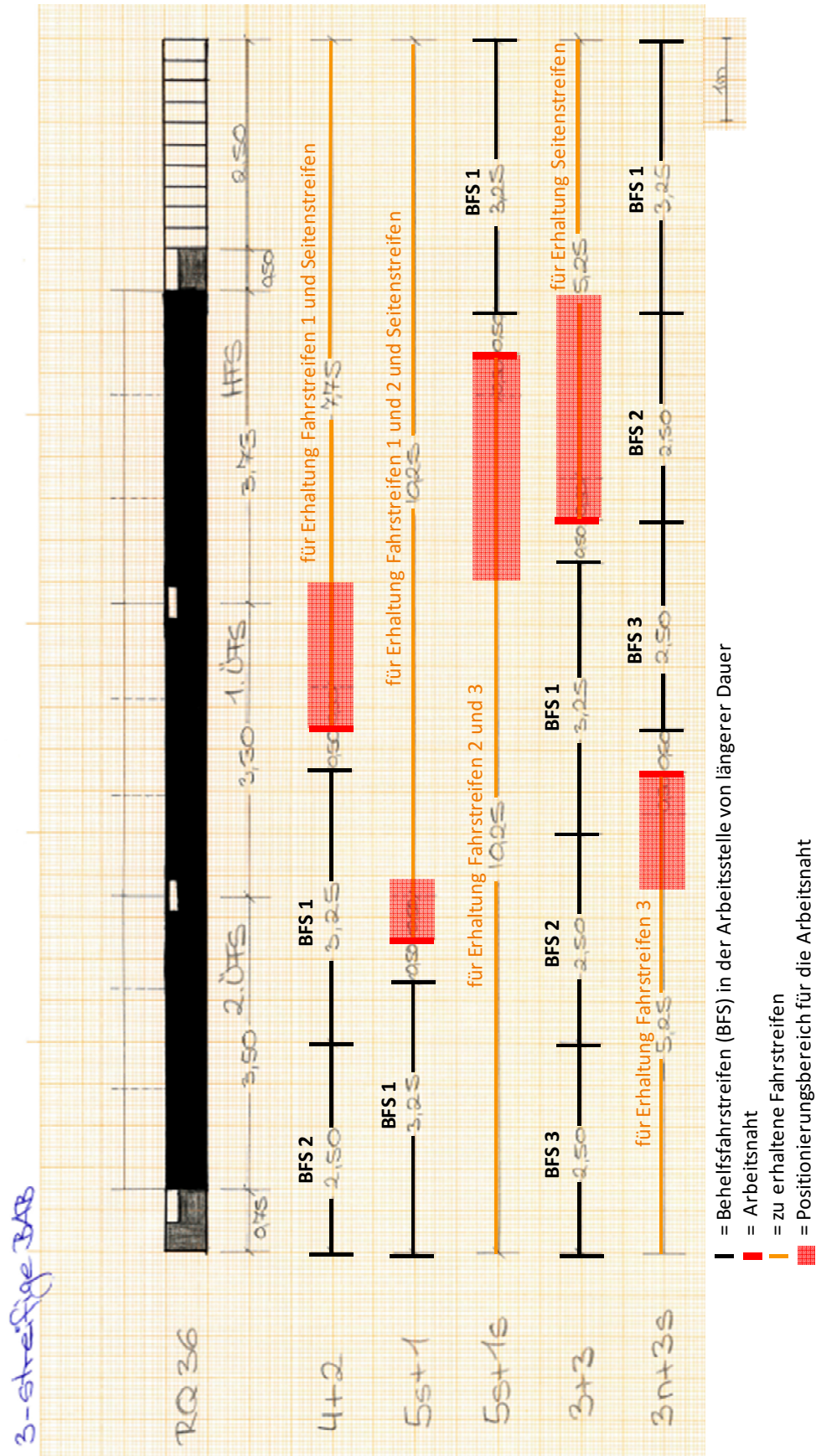


Abbildung 7-7: Maßstabgetreue Darstellung der Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB je nach Verkehrsführung

Welche der oben genannten Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer auf 3-streifigen Bundesautobahnen zum Einsatz kommt, richtet sich nach der Art der durchzuführenden Erhaltungsmaßnahme. Ist nur der erste Fahrstreifen und der Seitenstreifen zu erneuern, wird oft eine 4+2-Verkehrsführung eingerichtet, bei der zwei Fahrstreifen mit reduzierter Fahrstreifenbreite auf der zu erneuernden Richtungsfahrbahn verbleiben. Werden der erste und zweite Fahrstreifen und optional auch der Seitenstreifen erneuert, wird häufig eine 5s+1-Verkehrsführung eingerichtet, bei der ein Fahrstreifen auf der Richtungsfahrbahn mit eingerichteter Arbeitsstelle verbleibt, über den der Schwerverkehr geleitet wird. Sind der zweite und dritte Fahrstreifen zu erneuern, kommt oft eine 5s+1s-Verkehrsführung zum Einsatz, bei der der Seitenstreifen für den Schwerverkehr freigegeben wird und die übrigen zwei Fahrstreifen auf die Gegenfahrbahn übergeleitet werden. Die Verkehrsführung 5s+1s wird jedoch sehr selten angewandt, da Erhaltungsmaßnahmen nur auf den Fahrstreifen zwei und drei nahezu nie durchgeführt werden. Die Auswertung der Abbildung A3-30 (Anhang A3-2-3) bestätigt die seltene Erfordernis. Für Erhaltungsmaßnahmen auf dem Seitenstreifen wird häufig eine 3+3-Verkehrsführung eingerichtet, bei der alle Fahrstreifen in reduzierter Fahrstreifenbreite auf der Richtungsfahrbahn verbleiben. Die Variante 3+3 stellte im ersten Quartal 2018 die am häufigsten eingerichtete Verkehrsführung auf Bundesautobahnen dar (Abbildung A3-30, Anhang A3-2-3). Da nach der ZTV Asphalt-StB 07/13 (FGSV 2007/2013) Arbeitsnähte in Längsrichtung weder in der Rollspur, noch im Bereich der Fahrbahnmarkierungen anzuordnen sind, werden sie bei der Verkehrsführung 3+3 unter Reduzierung der Fahrstreifenbreiten oder Verzicht auf den Sicherheitsabstand zwischen Absperrgeräten und einem Baugrubenrand von 0,5 m unmittelbar rechts neben der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen positioniert. Dieses Vorgehen ermöglicht auch den Einsatz dieser Verkehrsführung für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen, die neben dem Seitenstreifen auch den ersten Fahrstreifen umfassen. Sind Erhaltungsmaßnahmen auf dem dritten Fahrstreifen durchzuführen, wird oft eine 3n+3s-Verkehrsführung eingerichtet, die den Verbleib aller Fahrstreifen in reduzierter Fahrstreifenbreite auf der Richtungsfahrbahn ermöglicht.

7.2.5 BISAR-Berechnungen zur ungünstigsten Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt

Um Bereiche im Fahrbahnquerschnitt identifizieren zu können, die in Bezug auf die Beanspruchung des Straßenaufbaus insbesondere durch den Schwerverkehr sehr ungünstig für die Positionierung einer Arbeitsnaht sind, wurden Spannungs- und Dehnungsverläufe in einer Fahrbahnbefestigung mit Hilfe des Programms BISAR für den Lastfall LKW auf dem ersten Fahrstreifen und PKW auf dem zweiten Fahrstreifen einer 3-streifigen Bundesautobahn berechnet (Abbildung A3-31, Anhang A3-2-4).

Die nachfolgenden BISAR-Berechnungen wurden an einer Asphaltbefestigung nach Tafel 1, Zeile 1 RStO 12 für acht verschiedene Tiefen im Straßenoberbau durchgeführt. Von vorrangigem Interesse für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit sind insbesondere die Spannungs- und Dehnungsverläufe an der Oberseite der Deckschicht (0 cm) sowie an der Unterseite der Asphalttragschicht (-34 cm). Die Ergebnisse sind getrennt für eine Oberflächentemperatur von +20°C und ±0°C dargestellt.

Da davon ausgegangen werden kann, dass bei 2-streifigen Bundesautobahnen überwiegend eine +0-Verkehrsführung zur Anwendung kommt und über die volle Fahrbahnbreite eingebaut wird, bleiben diese Bundesautobahnen bei den BISAR-Berechnungen unberücksichtigt. Es ist darüber hinaus davon auszugehen, dass sich die Berechnungsergebnisse nicht deut-

lich voneinander unterscheiden. Es erfolgt eine Konzentration auf 3-streifige Bundesautobahnen, da insbesondere hier die Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen aufgrund der durch das Regelwerk vorgegebenen Breite des Fahrbahnquerschnitts sowie der Einbaubreite des Fertigers häufig im Einflussbereich des Schwerlastverkehrs, also zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen positioniert sein kann.

7.2.5.1 Ergebnisse zum Lastfall LKW und PKW bei einer Oberflächentemperatur von +20°C

An der Oberseite der Deckschicht sind die Druckspannungen unmittelbar unter den Reifen sowohl des LKWs als auch des PKWs am größten. Unter den LKW-Reifen liegt die Druckspannung bei -0,64 MPa (Abbildung 7-8). Unter den PKW-Reifen beträgt die Druckspannung -0,09 MPa bzw. -0,11 MPa. An der Unterseite der Asphalttragschicht sind nur noch geringe Druckspannungen von -0,02 MPa zu verzeichnen. Diese sind im Fahrbahnquerschnitt im rechten Fahrstreifendrittel des zweiten Fahrstreifens unmittelbar links neben der Fahrbahnmarkierung lokalisiert. Die größten Zugspannungen an der Oberseite der Deckschicht von 0,03 MPa treten im Bereich zwischen LKW und PKW auf. Die Position befindet sich im Fahrbahnquerschnitt, basierend auf dem Regelquerschnitt 36 (RQ 36) für 3-streifige BAB, im rechten Fahrstreifendrittel des zweiten Fahrstreifens unmittelbar an der Fahrbahnmarkierung. Die größten Zugspannungen an der Unterseite der Asphalttragschicht betragen 0,32 MPa und treten in den Bereichen unter den LKW-Reifen, also unter den Rollspuren des ersten Fahrstreifens auf.

An der Oberseite der obersten Asphalttschicht treten die größten Druckdehnungen im Bereich der Aufstandsfläche der LKW-Reifen auf (Abbildung 7-9). Dort betragen sie -31,3 μ strain (μ m/m) für die linke und -31,7 μ strain (μ m/m) für die rechte Zwillingsbereifung. Die größten Druckdehnungen an der Unterseite der Asphalttragschicht von -7,70 μ strain (μ m/m) liegen, laut den Berechnungen im Fahrbahnquerschnitt, zwischen der Position des LKW und der Position des PKW im rechten Fahrstreifendrittel des zweiten Fahrstreifens unmittelbar links neben der Fahrbahnmarkierung. Die größten Zugdehnungen an der Oberseite der Deckschicht von 7,81 μ strain (μ m/m) treten zwischen LKW und PKW dort auf, wo gleichzeitig auch die Zugspannungen am größten sind. Die Position befindet sich im Fahrbahnquerschnitt unmittelbar links neben der Fahrbahnmarkierung zwischen Fahrstreifen eins und zwei. Die größten Zugdehnungen an der Unterseite der Asphalttragschicht befinden sich im unmittelbaren Bereich der Lasteintragung durch die LKW-Reifen mit Werten von 24,9 μ strain (μ m/m) für die linke und 25,3 μ strain (μ m/m) für die rechte Zwillingsbereifung.

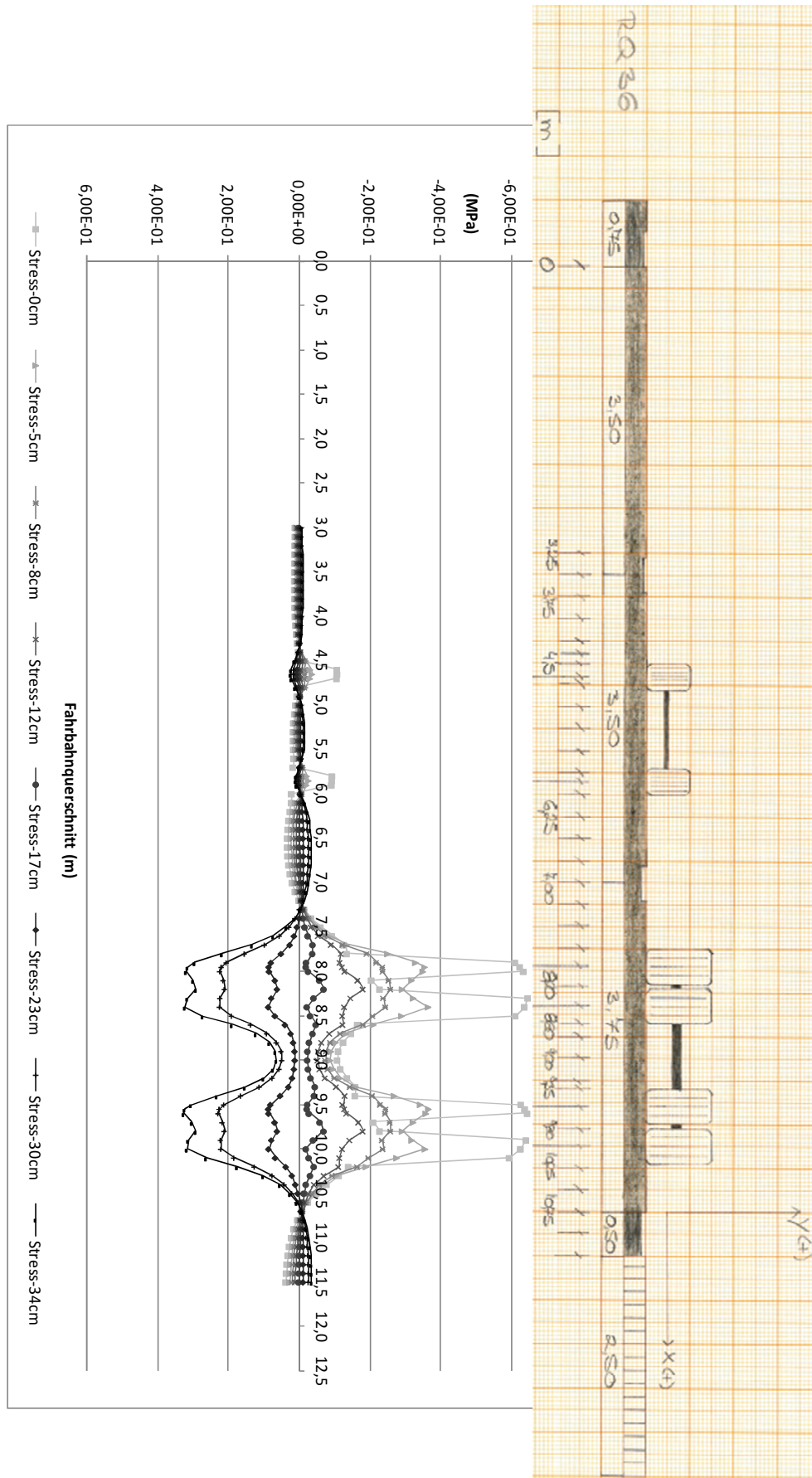


Abbildung 7-8: Spannungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von +20°C

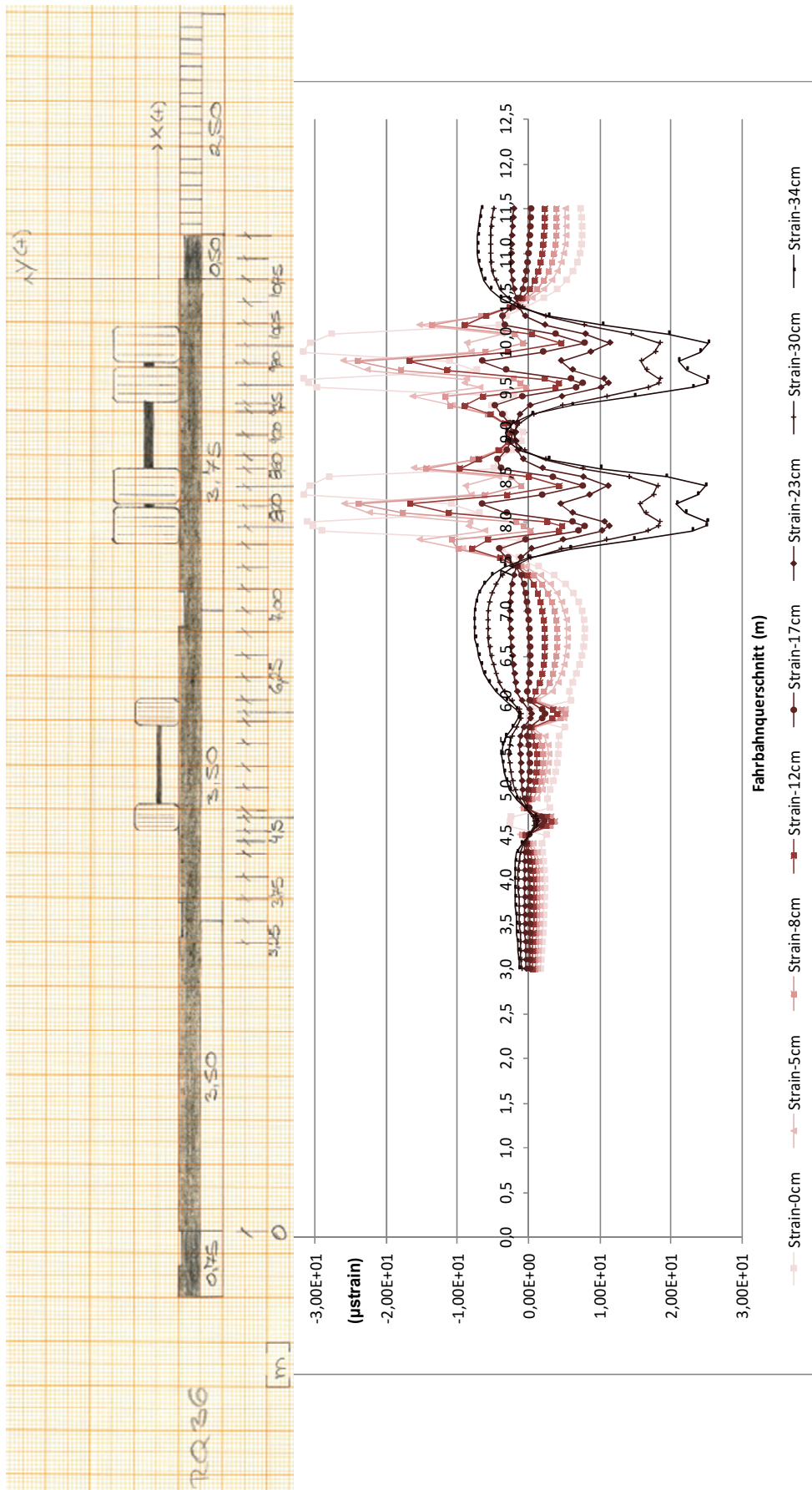


Abbildung 7-9: Dehnungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von +20°C

7.2.5.2 Ergebnisse zum Lastfall LKW und PKW bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^\circ\text{C}$

Die Spannungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^\circ\text{C}$ sind nahezu identisch zu denen bei $+20^\circ\text{C}$, jedoch ist das Skalenniveau ein anderes. Auch hier sind an der Oberseite der Deckschicht die Druckspannungen unmittelbar unter den Reifen sowohl des LKWs als auch des PKWs am größten. Unter den LKW-Reifen beträgt die Druckspannung $-0,74\text{ MPa}$ (Abbildung 7-10). Unter den PKW-Reifen liegt sie bei $-0,09\text{ MPa}$ bzw. $-0,10\text{ MPa}$. An der Unterseite der Asphalttragschicht sind nur noch schwache Druckspannungen von $-0,03\text{ MPa}$ zu verzeichnen, die im Fahrbahnquerschnitt im rechten Fahrstreifendrittel des zweiten Fahrstreifens unmittelbar links neben der Fahrbahnmarkierung auftreten. Die größten Zugspannungen an der Oberseite der Deckschicht von $0,03\text{ MPa}$ treten auch bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^\circ\text{C}$ zwischen LKW und PKW in Fahrtrichtung links neben der Fahrbahnmarkierung zwischen Fahrstreifen eins und zwei auf. Die größten Zugspannungen von $0,43\text{ MPa}$ an der Unterseite der Asphalttragschicht treten im Bereich unter den LKW-Reifen, also unmittelbar unter den Rollspuren auf. Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Spannungsverläufe der beiden Oberflächentemperaturen im Fahrbahnquerschnitt ist festzustellen, dass im Wirkungsbereich des LKW ein Offset zwischen den Verläufen bei $\pm 0^\circ\text{C}$ und bei $+20^\circ\text{C}$ von $0,1\text{ MPa}$ vorhanden ist.

An der Oberseite der Deckschicht treten die größten Druckdehnungen im Bereich der Lasteintragung der LKW-Reifen, also unmittelbar in den Rollspuren des ersten Fahrstreifens, auf. Die Werte erreichen bis zu $-19,6\text{ }\mu\text{strain}$ ($\mu\text{m/m}$) (Abbildung 7-11). Die größten Druckdehnungen von $-4,50\text{ }\mu\text{strain}$ ($\mu\text{m/m}$) an der Unterseite der Asphalttragschicht sind im rechten Fahrstreifendrittel des zweiten Fahrstreifens unmittelbar links (in Fahrtrichtung) neben der Fahrbahnmarkierung zu verzeichnen. Die größten Zugdehnungen an der Oberseite der Deckschicht von $4,49\text{ }\mu\text{strain}$ ($\mu\text{m/m}$) treten im Fahrbahnquerschnitt zwischen dem PKW und dem LKW in Fahrtrichtung links neben der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen auf. An der Unterseite der Asphalttragschicht befinden sich die größten Zugdehnungen im Bereich der LKW-Reifen. Die Werte erreichen hier bis zu $16,7\text{ }\mu\text{strain}$ ($\mu\text{m/m}$).

Im Vergleich zu den Spannungsverläufen weisen die Dehnungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt zwischen den beiden Oberflächentemperaturen deutliche Unterschiede in der Ausprägung auf. So zeigen die Dehnungsverläufe bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^\circ\text{C}$ neben deutlich niedrigeren Werten auch eine geringere Spannweite zwischen den einzelnen Schichten des Asphaltpaketes.

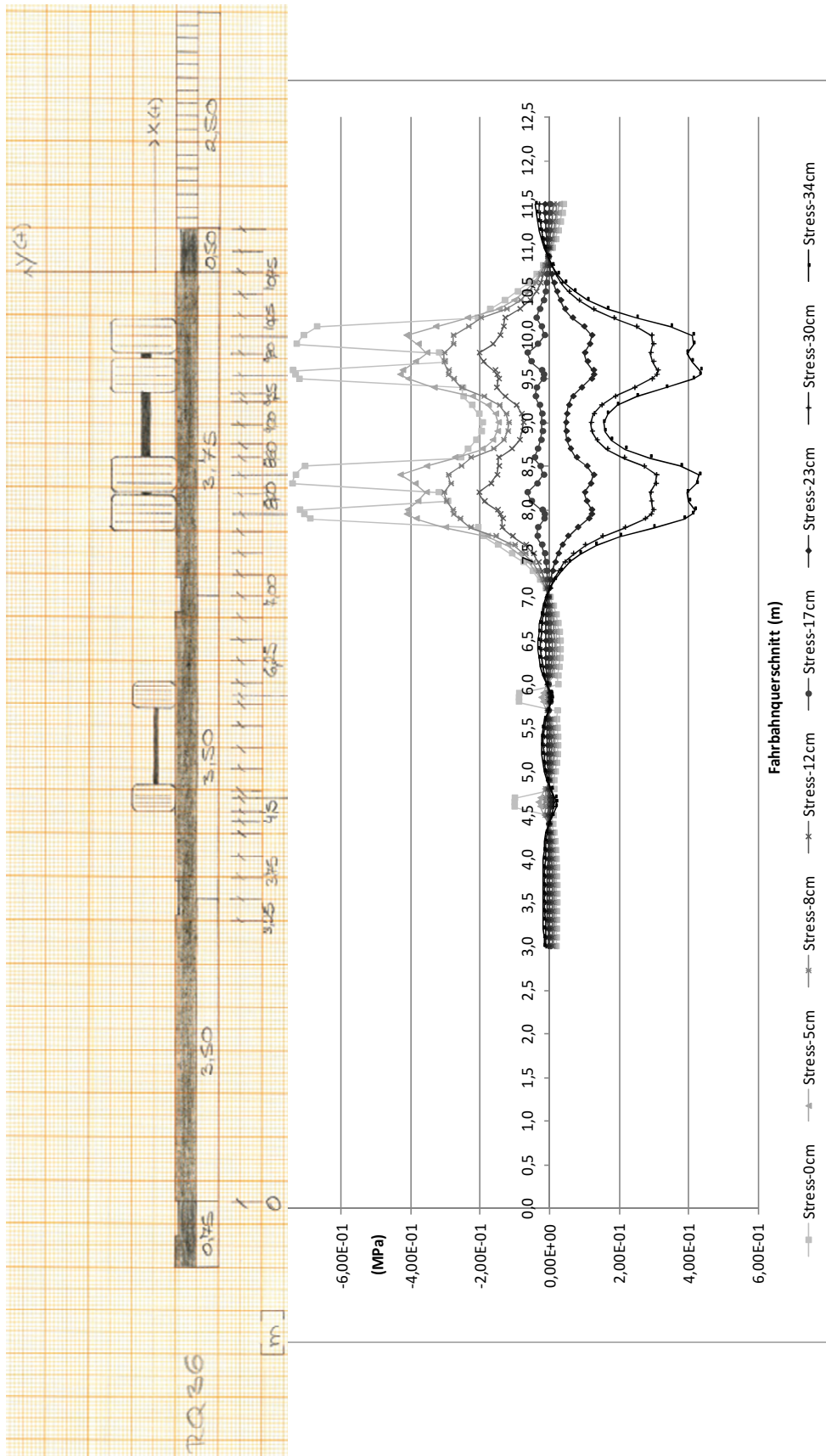


Abbildung 7-10: Spannungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^{\circ}\text{C}$

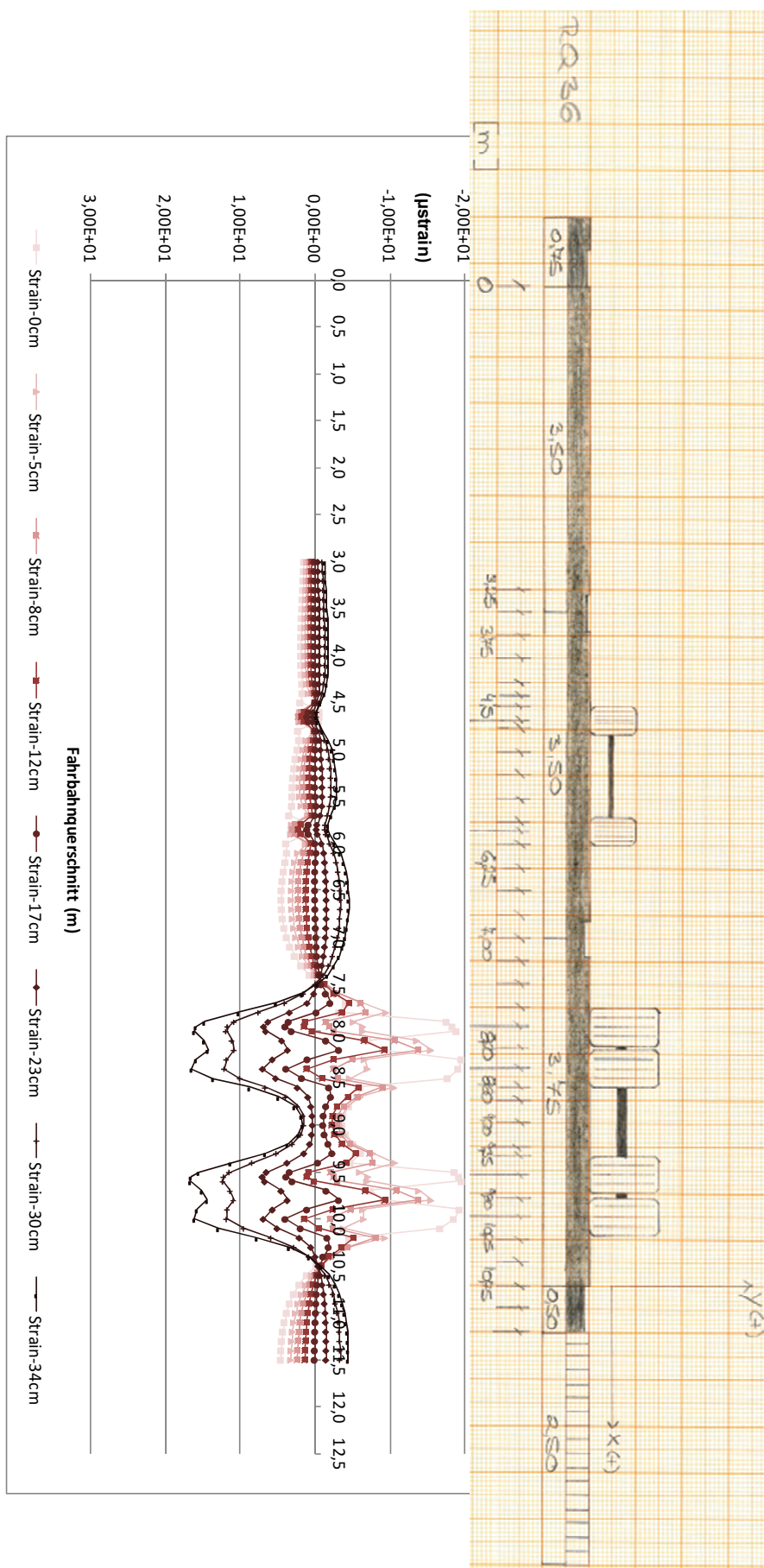


Abbildung 7-11: Dehnungsverläufe im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^{\circ}\text{C}$

Unterschiedliche Oberflächentemperaturen können einen signifikanten Einfluss auf die Spannungs- und Dehnungsverläufe sowie deren Höhe haben, wie die BISAR-Berechnungen verdeutlichen. So zeigen die einzelnen Schichten des Asphaltpakets bei einer Oberflächentemperatur um den Gefrierpunkt gegenüber höheren Temperaturen eine erhöhte Steifigkeit, die wiederum eine erhöhte Zugfestigkeit bewirkt, auf. Jedoch sind die Bruchdehnungen bei dieser Temperatur erheblich herabgesetzt. Insbesondere entstehen bei niedrigen Temperaturen häufig kryogene Zugspannungen, die zusätzlich zu den verkehrslastbedingten Beanspruchungen wirken. Zusammen mit der verminderten Relaxationsfähigkeit des Asphalts führt dies bei Lasteintragungen in den Straßenaufbau zu einem vermehrten Auftreten von Bruchrissen an der Fahrbahnoberfläche außerhalb der Lastachse (ARAND & LORENZL 1995). Hohe Zugspannungen und -dehnungen infolge einer dynamischen Beanspruchung durch wechselnde Lasteintragungen in den Straßenaufbau führen sowohl an der Oberseite der Deckschicht als auch an der Unterseite der Asphalttragschicht zu einer Materialermüdung und damit zu einem vermehrten Auftreten von Rissen. Hohe Zugspannungen und -dehnungen im Bereich von Arbeitsnähten können einen signifikanten Einfluss auf deren Zusammenhalt und zu einem frühen Auftreten von Nahtschäden, vornehmlich ONA und RISS, führen.

7.2.6 Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt

Im Folgenden wird die optimale Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt für den Betrachtungsfall „Verkehrsführung mit teilweiser Überleitung auf die Gegenfahrbahn“ und den Betrachtungsfall „Verkehrsführung ohne Überleitung auf die Gegenfahrbahn“ bestimmt. Dafür wird weiterhin von einem Regelquerschnitt RQ 36 für 3-streifige BAB ausgegangen. Bei den Betrachtungen gilt es, den Positionierungsbereich zu bestimmen, der ein Optimum zwischen einer möglichst geringen Beanspruchung der Oberseite der Deckschicht und der Unterseite der Asphalttragschicht durch Zugspannungen und -dehnungen infolge des (Schwerlast-)Verkehrs und einer verminderten Beeinträchtigung des Verkehrsflusses während der Baumaßnahme darstellt. Grundvoraussetzung dafür stellt die Beibehaltung der ursprünglichen Fahrstreifenanzahl im gesamten Querschnitt dar.

Der erste Betrachtungsfall geht von einer Verkehrsführung mit einer teilweisen Überleitung der Richtungsfahrbahn auf die Gegenfahrbahn aus. Nach den Vorgaben in den RSA Teil D (FGSV 1995) zur Verkehrsführung in Arbeitsstellen von längerer Dauer wird für den Neubau bzw. die Erneuerung oder Instandsetzung des ersten Fahrstreifens und des Seitenstreifens eine 4+2-Verkehrsführung eingerichtet. Da bei dieser Verkehrsführung lediglich der zweite Überholfahrstreifen auf die Gegenfahrbahn umgeleitet wird, kommt es zu einer insgesamt geringen Beeinträchtigung des Verkehrsflusses im gesamten Querschnitt. Für die Positionierung der Arbeitsnaht kommt bei der 4+2-Verkehrsführung je nach Berücksichtigung von Sicherheitsabständen zwischen dem fließenden Verkehr und dem Arbeitsbereich der Arbeitsstelle ein Bereich von der Fahrstreifenmitte des zweiten Fahrstreifens bis unmittelbar rechts von der Fahrstreifenmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen in Betracht (Abbildung 7-12). Unter Beachtung der Ergebnisse der BISAR-Berechnungen (Kapitel 7.2.5) liegen in diesem Bereich mit Ausnahme von erhöhten Zugdehnungen an der Oberseite der Deckschicht grundsätzlich nur geringe verkehrliche Beanspruchungen des Straßenaufbaus vor.

Sind der erste und zweite Fahrstreifen sowie optional auch der Seitenstreifen der Richtungsfahrbahn zu erneuern bzw. instandzusetzen, wird eine 5s+1-Verkehrsführung eingerichtet. Hierbei kommt es zu einer Überleitung des zweiten und dritten Fahrstreifens der Richtungs-

fahrbahn auf die Gegenfahrbahn, was eine Beeinflussung des Verkehrsflusses aufgrund einer hohen Anzahl an Behelfsfahrstreifen auf der Gegenfahrbahn zur Folge haben kann. Unter Betrachtung der berechneten Zugspannungs- und -dehnungsverläufe ist der Positionierungsbereich der Arbeitsnaht bei dieser Verkehrsführung unmittelbar links und rechts der Fahrbahnmarkierung zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen sehr geringen verkehrlichen Beanspruchungen ausgesetzt. Für den Neubau bzw. die Erneuerung oder Instandsetzung des zweiten und dritten Fahrstreifens wird eine 5s+1s-Verkehrsführung eingerichtet. Auch bei dieser Verkehrsführung werden zwei Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn auf die Gegenfahrbahn umgeleitet, was zu einer Beeinträchtigung des Verkehrsflusses infolge der hohen Anzahl an Behelfsfahrstreifen unter Einbeziehung des Seitenstreifens auf der Gegenfahrbahn führen kann. Je nach Berücksichtigung von Sicherheitsabständen zwischen dem fließenden Verkehr und dem Arbeitsbereich der Arbeitsstelle kann sich der Positionierungsbereich der Arbeitsnaht von links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten Fahrstreifen und dem Seitenstreifen bis zur Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen erstrecken (Abbildung 7-12). Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der BISAR-Berechnungen ist lediglich der Bereich unmittelbar der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen für die Positionierung der Arbeitsnaht optimal.

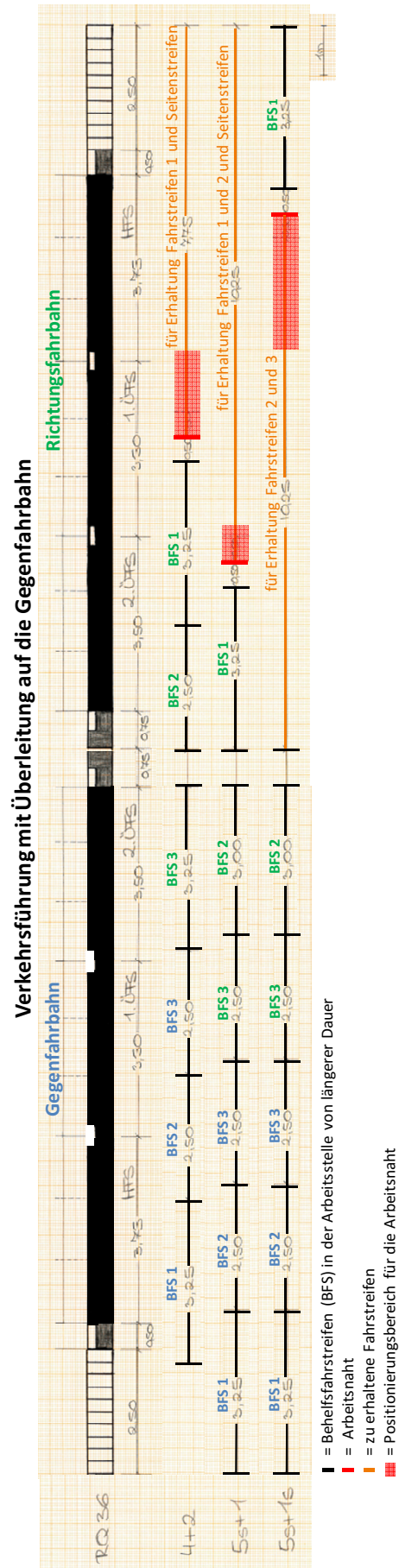


Abbildung 7-12: Positionierungsbereiche der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB für Verkehrsführungen mit Überleitung auf die Gegenfahrbahn – Betrachtungsfall 1

Der zweite Betrachtungsfall sieht eine Verkehrsführung ohne Überleitung des Richtungsverkehrs auf die Gegenfahrbahn vor. Nach den Vorgaben in den RSA Teil D (FGSV 1995) zur Verkehrsführung in Arbeitsstellen von längerer Dauer stehen dafür unter Beibehaltung der Fahrstreifenanzahl im gesamten Querschnitt lediglich die 3+3-Verkehrsführung sowie die 3n+3s-Verkehrsführung zu Verfügung. Grundsätzlicher Vorteil dieser Verkehrsführungen ist, dass sie nicht den Verkehrsfluss der Gegenfahrbahn beeinflussen. Eine 3+3-Verkehrsführung wird eingerichtet, wenn der Seitenstreifen zu erneuern bzw. instandzusetzen ist. Je nach Berücksichtigung von Sicherheitsabständen zwischen dem fließenden Verkehr und dem Arbeitsbereich der Arbeitsstelle kann sich der Positionierungsbereich der Arbeitsnaht von der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten Fahrstreifen und dem Seitenstreifen und dem linken Bereich des ersten Fahrstreifens erstrecken (Abbildung 7-13). Unter Beachtung der BISAR-Berechnungen ist lediglich die Position unmittelbar links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten Fahrstreifen und dem Seitenstreifen für die Ausbildung einer Arbeitsnaht geeignet. Eine 3n+3s-Verkehrsführung wird für den Neubau bzw. die Erneuerung oder Instandsetzung des dritten Fahrstreifens eingerichtet. Der Positionierungsbereich für die Arbeitsnaht, der sich von der Mitte des zweiten Fahrstreifens bis zur Fahrbahnmarkierung zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen erstreckt (Abbildung 7-13), ist unter Berücksichtigung der berechneten verkehrslastbedingten Spannungs- und Dehnungsverläufe als unkritisch zu betrachten.

Verkehrsführung ohne Überleitung auf die Gegenfahrbahn

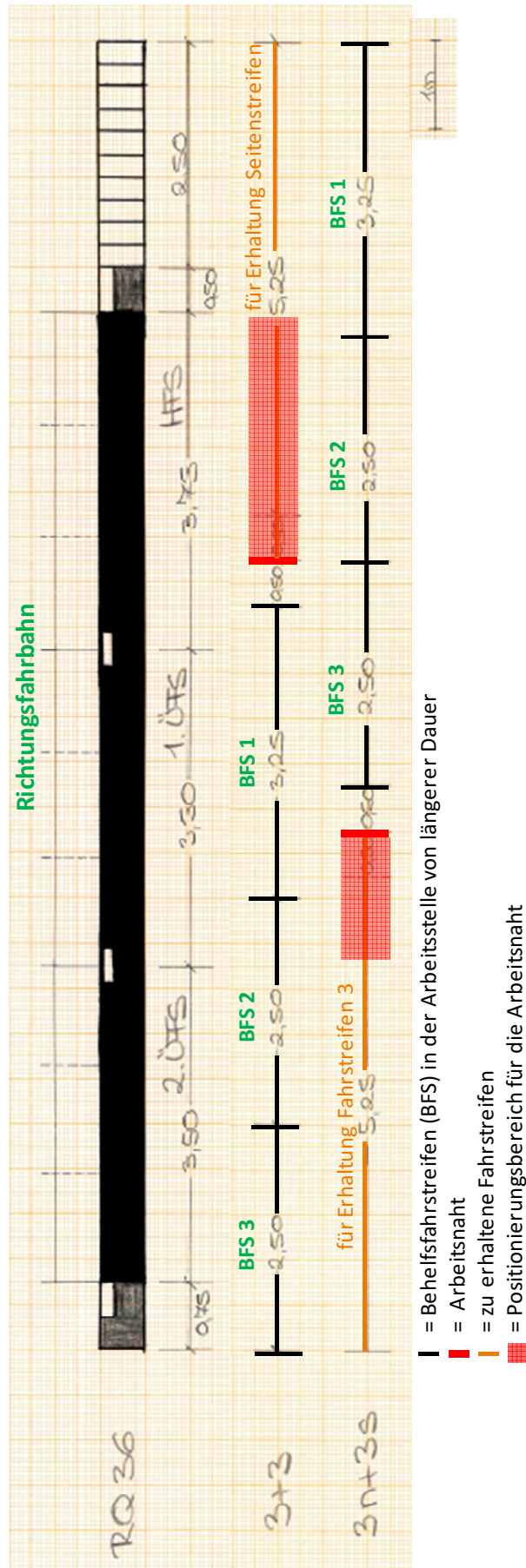


Abbildung 7-13: Positionierungsbereiche der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB für Verkehrsführungen ohne Überleitung auf die Gegenfahrbahn – Betrachtungsfall 2

Unter Abwägung aller Randbedingungen stellt die Positionierung der Arbeitsnaht unmittelbar links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen das Optimum dar. Ist ein Neubau des gesamten Fahrbahnquerschnitts durchzuführen, kann dies entweder durch den Einbau über die gesamte Fahrbahnbreite oder unter Ausbildung einer Arbeitsnaht an der oben genannten Position durch die Einrichtung einer 4+2-Verkehrsführung mit anschließender Einrichtung einer 5s+1s-Verkehrsführung erfolgen. Für die Erneuerung oder Instandsetzung einzelner Fahrstreifen kann die Wahl geeigneter Verkehrsführungen die dauerhafte Ausbildung von nur einer Arbeitsnaht im gesamten Fahrbahnquerschnitt ermöglichen. Wird für die Erneuerung bzw. Instandsetzung des ersten Fahrstreifens (optional mit Seitenstreifen), der aufgrund einer hohen verkehrslastbedingten Beanspruchung durch den Schwerverkehr eine erhöhte Erhaltungsfrequenz erfährt, die 4+2-Verkehrsführung gewählt, kann die bereits bestehende Arbeitsnaht in regelmäßigen Abständen erneuert und so der Entstehung einer offenen Arbeitsnaht oder anderer Nahtschäden entgegengewirkt werden. Auch für die Erneuerung bzw. Instandsetzung des zweiten und dritten Fahrstreifens kann dieselbe Position der Arbeitsnaht durch die Einrichtung einer 5s+1s-Verkehrsführung verwendet werden. Die für die Position links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen berechneten höheren Zugdehnungen an der Oberseite der Deckschicht können zwar zu einer erhöhten Beanspruchung der Arbeitsnaht führen, da diese jedoch einer frequentierten Erneuerung unterliegt, ist keine Schädigung des Nahtbereiches zu erwarten. Zu einer eventuellen Beeinträchtigung des Verkehrsflusses während der Baumaßnahmen kann es nur bei der 5s+1s-Verkehrsführung kommen. Diese Verkehrsführung wird jedoch sehr selten angewandt, da Erhaltungsmaßnahmen nur auf den Fahrstreifen zwei und drei nahezu nie durchgeführt werden.

7.3 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt

Die Bedeutung der Arbeitsnähte für das Schadensauftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche) im BAB-Netz wird besonders an den Ergebnissen zur Nahtprojektion deutlich. Die für 11,5 % aller Fahrbahnkilometer 2-streifiger BAB nachgewiesenen Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt zeigen Nahtschäden, die 10,2 % aller auftretenden Substanzschäden der Oberfläche auf 2-streifigen BAB ausmachen. Auf 3-streifigen BAB konnten für 24,8 % aller Fahrbahnkilometer Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt nachgewiesen werden, deren Nahtschäden 18,7 % aller auf 3-streifigen BAB vorkommenden Substanzmerkmale (Oberfläche) darstellen.

Die im Folgenden ausgewerteten und interpretierten Ergebnisse sind dem Kapitel 7.2 und dem Anhang A3-2 zu entnehmen.

Die Lokalisierung von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt ist überwiegend durch die Vorgaben in den entsprechenden Regelwerken festgeschrieben, wie die Darstellungen für 3-streifige BAB in Kapitel 7.2.4 verdeutlichen. Auf 2-streifigen BAB werden Maßnahmen der baulichen Erhaltung vornehmlich über die gesamte Fahrbahnbreite durchgeführt, so dass es zu keiner Ausbildung von Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt kommt. Erhaltungsmaßnahmen, die nur die Instandsetzung oder Erneuerung des ersten Fahrstreifens umfassen, führen zur Ausbildung einer Folgenaht, die überwiegend zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen positioniert wird. In seltenen Fällen entsteht durch mehrbahnigen Einbau eine Erstnaht in diesem Bereich des Fahrbahnquerschnitts. Die Er-

gebnisse zur Lokalisierung der Folgenaht auf Basis der Aufbaudaten sowie zur Projektion der Arbeitsnähte anhand von „ONA“ belegen dies. Deutliche Unterschiede in Bezug auf die Häufigkeitsverteilung der vorhandenen Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt je Lokalisierung zwischen den Fahrstreifen 3-streifiger BAB, wie es die Ergebnisse der Untersuchungen zur Lokalisierung der Arbeitsnaht zeigen, sind auf unterschiedliche Erhaltungsstrategien der Bundesländer und die differenzierten Erhaltungsintervalle der einzelnen Fahrstreifen zurückzuführen. Die bundeslandspezifischen Auswertungen zur Projektion von Arbeitsnähten bestätigen genau dies (Anhang A3-2-1). Ist lediglich der erste Fahrstreifen instandzusetzen oder zu erneuern, wird die Folgenaht vornehmlich links oder rechts neben der Fahrbahnmarkierung zwischen Fahrstreifen eins und zwei angelegt. Die Positionierung richtet sich nach der Entscheidung, ob die Fahrbahnmarkierung mit erneuert wird oder ob die Arbeitsnaht möglichst außerhalb des direkten Wirkungsbereiches des Schwerverkehrs liegen soll. Die Positionierung von Folgenähten mittig im Fahrstreifen ist ein Beleg für ebendiese Entscheidung. Das Vorkommen mehrerer Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt ist ein Hinweis darauf, dass hier bereits mehrere bauliche Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt wurden und die Arbeitsnähte vergangener Maßnahmen noch vorhanden sind.

Die Ergebnisse zur Nahtprojektion zeigen, dass für 11,5 % aller Fahrbahnkilometer 2-streifiger BAB Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen nachgewiesen werden konnten, von denen 20,1 % schadhaft sind. Auf 3-streifigen BAB liegt der Anteil nachgewiesener Arbeitsnähte bei 24,8 %, von denen 23,0 % Nahtschäden aufweisen. Ein Großteil dieser Nahtschäden sind offene Arbeitsnähte, was auf den Umstand zurückzuführen ist, dass die Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt basierend auf dem Vorkommen von „ONA“ projiziert wurden.

Der in Relation zu betrachtende hohe Anteil an geschädigten Arbeitsnähten im BAB-Netz kann nicht ausschließlich durch die Verkehrsbelastung, insbesondere durch den Schwerverkehr, erklärt werden. Wie die Ergebnisse zu den BISAR-Berechnungen verdeutlichen, treten gerade im Bereich zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen 3-streifiger BAB, in dem vorrangig die Arbeitsnähte positioniert sind, an der Oberfläche der Asphaltbefestigung nur geringe verkehrslastbedingte Spannungen und Dehnungen auf, die alleinig nicht zu einem Ermüdungsschaden an der Asphaltoberfläche führen. Obwohl die BISAR-Berechnungen einen statischen Fall abbilden und die tatsächlichen Verkehrsbelastungen durch einen dynamischen Lasteintrag erfolgen, der wiederum zu einer zyklischen Ermüdung der Asphalt-schichten des Straßenaufbaus führt, erscheinen die Zugspannungen und -dehnungen zu gering um die hohe Schadenshäufigkeit im Bereich der Arbeitsnaht zu erklären.

Temperaturschwankungen im Jahresverlauf führen zu einer thermischen Ausdehnung und einem Zusammenziehen des Asphalttes, wodurch insbesondere während der Sommer- und Wintermonate neben hohen Dehnungsbeanspruchungen infolge der Temperaturwechsel thermisch induzierte Spannungen entstehen. Eine Überlagerung dieser Temperaturspannungen mit den verkehrsbedingten Spannungen können die Zugfestigkeit der Asphalt-schichten überschreiten und zu Schädigungen in der Asphaltbefestigung führen, welche sich zu-meist ausgehend von der schwächsten Stelle der Befestigung ausdehnen, wie auch SCHACHT ET AL. (2020) bei ihren Untersuchungen zu Nähten und Anschlüssen in Asphaltflä-chen festgestellt haben. Da die Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt eine Schwächezone in der Asphaltbefestigung darstellt und hier eine verminderte Zugfestigkeit aufgrund des gestör-ten horizontalen Verbundes zwischen den Einbaubahnen zu erwarten ist, zeigt dieser Be-reich besonders häufig kumulierte Ermüdungsschäden, wie eine offene Arbeitsnaht oder Risse. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stützen diese These. Auch die Untersuchun-

gen von ARAND & LORENZL (1995) zu kryogenen Zugspannungen zeigen, dass nach einer bestimmten Anzahl an Achslastübergängen ein erster kumulativer Ermüdungsschaden auftritt, wenn bereits kryogene Zugspannungen in der Asphaltbefestigung vorhanden sind und wiederholt verkehrslastbedingte Zugspannungen an der Oberfläche der Asphaltbefestigung auftreten. Diese Kumulation von thermischen und verkehrslastbedingten Zugspannungen kann im Bereich zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen 3-streifiger BAB bereits ausreichen, um eine Arbeitsnaht zu schädigen.

Neben den kumulierten Zugspannungen kann auch die Nahtherstellung verantwortlich für den hohen Schadensanteil an Arbeitsnähten sein. Eine gut ausgebildete Arbeitsnaht muss nach SCHACHT ET AL. (2020) die dauerhafte Aufnahme und Übertragung verkehrs- und thermisch bedingter Spannungen und Beanspruchungszustände durch die Fahrbahnbefestigung gewährleisten. Dabei ist die Abdichtung der Arbeitsnaht gegen den Eintritt von Feuchtigkeit essenziell für die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit der gesamten Straßenkonstruktion. Ist eine Arbeitsnaht nicht richtig verdichtet oder ausgebildet, kann Wasser auch in die unteren Schichten des Straßenaufbaus eindringen und dort Schädigungen hervorrufen. Ein schlecht hergestellter Nahtbereich führt darüber hinaus zu einer Herabsetzung der Zugfestigkeit des Materials und parallel zu einer Schwächung der dort positionierten Arbeitsnaht gegenüber thermisch und verkehrlich induzierten Zugspannungen. Liegt die Arbeitsnaht direkt im Lastzentrum eines Rades, bewirkt dies einen Wassereintritt in die Hohlräume des Asphaltes, was aufgrund der entstehenden hohen Druckspannungen zu Schäden führen kann. Auch die Zugkräfte, die im Bereich des Lastzentrums wirken, können eine Schädigung der Arbeitsnaht (z.B. eine offene Arbeitsnaht) bewirken. Fehler beim Einbauprozess, wie ein zu großer Abstand zwischen den Einbaufertigern bei einem Einbau heiß an heiß oder eine bereits zu geringe Mischguttemperatur, können nach DAV (2007) und SCHACHT ET AL. (2020) zu schlechter Verzahnung und horizontalem Verbund im Nahtbereich führen. Dann reichen schon vergleichsweise geringe Zugspannungen, wie sie im Bereich zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen 3-streifiger BAB durch die BISAR-Berechnungen nachgewiesen wurden, aus, um eine Schädigung der Arbeitsnaht (z.B. eine offene Arbeitsnaht) zu bewirken. Bei einem Einbau heiß an kalt stellt die Aufnahme von Kräften, welche durch die verschiedenen Materialien und deren unterschiedliches Verhalten in den Kontaktbereich eingeleitet werden, eine besondere Herausforderung dar. Insbesondere unterschiedliches Materialverhalten bei hohen und niedrigen Temperaturen kann zu heterogenen thermischen Zugspannungen führen, die unterschiedlich die Zugfestigkeit der Arbeitsnaht beanspruchen. Die Vielzahl an Mängeln, die bereits bei der Nahtherstellung zu einer Schwächung der Arbeitsnaht und des Nahtbereichs führen, verdeutlichen die Bedeutung einer fachgerechten Nahtausführung und untermauern die in dieser Arbeit nachgewiesenen hohen Schadensanteile an Arbeitsnähten trotz relativ geringer verkehrslastbedingter Zugspannungen.

Sowohl auf den 2-streifigen als auch auf den 3-streifigen BAB dominieren bei den projizierten Arbeitsnähten deutlich die Erstnähte gegenüber den Folgenähten. Dies deutet auf eine Erhaltungsstrategie hin, die eine Instandsetzung oder Erneuerung mehrerer Fahrstreifen gleichzeitig vorsieht. Belegt werden kann diese Annahme insbesondere durch die Ergebnisse der bundeslandspezifischen Untersuchungen zur Lokalisierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt, die zum Teil deutliche Unterschiede in Bezug auf die Positionierung der Arbeitsnaht zeigen. Die Ergebnisse der bundeslandspezifischen Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass eine Positionierung der Arbeitsnähte mittig in den Fahrstreifen zu signifikant niedrigeren Schadensanteilen führt. Die Analysen zu den Altersverteilungen der Arbeitsnähte weisen ein deutlich früheres Aufgehen der Erstnähte gegenüber den Folgenähten aus. Grund hierfür können Schwierigkeiten während des Einbauprozesses, wie ein zu großer

Abstand zwischen den Fertignern oder ein falscher Walzeinsatz sein. Aber auch Entmischungen an den Außenbereichen einer Einbaubahn oder ein zu kaltes Mischgut können Gründe dafür sein, dass Erstrnähte häufig deutlich früher offen sind. Anteilig am jeweiligen Gesamtvorkommen weisen die Folgenähte einen höheren Schadensanteil auf, was durch den hohen Anteil an Abschnitten am Ende ihrer dimensionierten Nutzungsdauer zu erklären ist. Die Analysen zur Auswertung der Deckschichtarten deuten darauf hin, dass überwiegend die Erstrnähte zwischen den Einbaubahnen des Splittmastixasphalts bereits nach einer kurzen Nutzungsdauer offen sind. Insbesondere die Ausfälle innerhalb der Gewährleistungsfrist sprechen für eine verminderte Einbauqualität in Bezug auf den Kontaktbereich zweier Fertigerbahnen. Auch eine besonders hohe Belastung durch den Schwerverkehr kann zu einem zeitnahen Aufgehen der Erstrnähte nach dem Einbau führen, da Splittmastixasphalt überwiegend auf hoch beanspruchten Streckenabschnitten eingebaut wird. Eine zu frühe Verkehrsfreigabe kann ebenfalls zu einer vorzeitigen Schwächung des Nahtbereichs führen, da Splittmastixasphalt vornehmlich auf Verkehrsflächen eingesetzt wird, die nur kurzfristig dem Verkehr entzogen werden können. Die höheren Anteile schadhafter Arbeitsnähte zwischen dem zweiten und dritten Fahrstreifen 3-streifiger BAB sind überwiegend auf das höhere Alter der Deckschichten zurückzuführen, in denen die Schädigungen auftreten, was die Ergebnisse zur Altersverteilung belegen.

Die Analysen zu den Deckschichtarten deuten darüber hinaus an, dass sowohl Erstrnähte als auch Folgenähte zwischen Gussasphalt deutlich höhere Lebensdauern aufweisen und erst nach Erreichen oder Überschreiten der dimensionierten Nutzungsdauer Nahtschäden zeigen. Gründe hierfür können in einer hohen Fließfähigkeit des Asphaltmischgutes aufgrund eines erhöhten Bindemittelgehaltes und einer hohen Einbautemperatur, was zu einer besseren Verzahnung im Anschlussbereich führt, dem Verzicht auf die Verdichtung oder der Nahtausbildung nach dem Einbau liegen. Auch die gute Verformungsbeständigkeit des Gussasphaltes kann ein Grund für die lange Haltbarkeit sein. Die Ergebnisse zu den projizierten Arbeitsnähten zeigen weiterhin eine normale Lebensdauer aller Folgenähte an, was für eine gute Naht- und Fugenbehandlung während des Einbaus spricht. Allgemein zeigen die Ergebnisse zu den Untersuchungen der Nahtschäden an projizierten Arbeitsnähten, dass Schädigungen entweder bereits während der Gewährleistungsfrist oder erst nach Erreichen der dimensionierten Nutzungsdauer auftreten. Dies bekräftigt die These, dass das Auftreten von Nahtschäden vornehmlich auf die Einbauqualität zurückzuführen ist.

Erste Oberflächenschäden, die an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt auftreten, sind offene Arbeitsnähte und Risse. Während „ONA“ insbesondere auf einen mangelnden Zusammenhalt im Anschlussbereich zwischen den Deckschichten schließen lassen, weist das Schadensmerkmal „RISS“ auf eine Schwächezone im Nahtbereich hin, die eine verminderte Zugfestigkeit oder schnellere Ermüdung gegenüber Lastübergängen zeigt. Treten Nahtschäden auf 3-streifigen BAB auf, werden sie überwiegend zeitnah behoben, was die Ergebnisse zur Untersuchung der zeitlichen Entwicklung bestätigen. Die Ergebnisse zur zeitlichen Schadensentwicklung deuten darüber hinaus an, dass sich bei Nahtschäden, die über mehrere Messkampagnen bestehen, vornehmlich das Schadensbild nicht weiterentwickelt. Lediglich in ihrer räumlichen Ausdehnung können sie Veränderungen aufweisen. Demzufolge weisen Nahtschäden, die sich zwischen den Messkampagnen zu einer Merkmalskombination weiterentwickelt haben, auf eine schnelle Verschlechterung des Schadensbildes hin, was wiederum ein Indiz für eine schwerwiegendere Schädigung im Straßenaufbau sein kann.

8 Empfehlungen

Die nachfolgenden Empfehlungen basieren auf den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit und sollen der Praxis dienen.

8.1 Bewertungsrelevanz in der ZEB

Anhand der vorliegenden Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) soll die Bewertungsrelevanz der einzelnen Merkmale erneut beurteilt und die Notwendigkeit der Aufnahme anderer TP3-Merkmale in die ZEB-Bewertung erörtert werden.

Die Analysen zum Schadensmerkmal „Bindemittelanreicherungen“ weisen darauf hin, dass ihr Auftreten insbesondere auf eine falsche Bindemittelhärte und Fehler bei der Verdichtung unmittelbar nach dem Asphalteinbau zurückzuführen ist. Hohe Verkehrsbelastungen, insbesondere des Schwerverkehrs, begünstigen das Auftreten im Bereich des Reifen-Fahrbahn-Kontaktes. Zurückzuführen ist dieses Phänomen auf die Sogwirkung des Reifens selbst. Bindemittelanreicherungen stellen jedoch insbesondere aufgrund der Schadensursachen im engeren Sinne keinen Schaden an der Substanz der Oberfläche selbst dar, sondern können vielmehr andere Oberflächeneigenschaften, wie die Griffigkeit, beeinflussen. Niedrige Griffigkeitsniveaus, die auf das Auftreten von Bindemittelanreicherungen an der Straßenoberfläche zurückgeführt werden können, werden bereits durch die Messungen der Seitenkraftmesssysteme (SKM) erfasst und so in der ZEB-Bewertung berücksichtigt. Die Häufigkeitsanalysen zum netzweiten Vorkommen belegen darüber hinaus die marginale Bedeutung des Schadensmerkmals im gesamten BAB-Netz. Aufgrund der vorangegangenen Argumentation wird empfohlen, das Einzelmerkmal „Bindemittelanreicherungen“ im Teilprojekt 3 der ZEB zukünftig nicht mehr visuell erfassen zu lassen.

Die Untersuchungen zum netzweiten Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) zeigen die marginale Bedeutung des bewertungsrelevanten Einzelmerkmals „Ausbrüche“. Mit einem Anteil von 4,07 % sind sie am häufigsten auf 3-streifigen BAB vertreten. Detailliertere Analysen, insbesondere zur Charakteristik des Schadensauftretens, stellen jedoch die Bedeutung von „AUS“ in Kombination mit anderen Substanzmerkmalen der Oberfläche heraus. So weisen insbesondere die Analysen zum Einzelvorkommen im 1m-Auswerteabschnitt sowie zu den Merkmalskombinationen auf die Bedeutung von Ausbrüchen als Folgeschaden anderer Oberflächenschäden hin. Ausbrüche könnten so in Zukunft als Indikator für einen voranschreitenden Oberflächenschaden eingesetzt werden.

Die aktuell vorgenommene Aufteilung des Oberflächenschadens „Flickstellen“ in eingelegte (EFLI) und aufgelegte Flickstellen (AFLI) erweist sich für Bundesautobahnen als nicht zielführend. Diese Differenzierung wurde insbesondere für Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen eingeführt, um eine Unterscheidung zwischen Flickstellen zur Behebung von Oberflächenschäden und Flickstellen infolge von Aufgrabungen an der Versorgungsinfrastruktur vornehmen zu können. Solche Maßnahmen werden auf Bundesautobahnen nahezu nie durchgeführt, was die Analysen zum netzweiten Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) belegen. Darüber hinaus sind bereits im Einzelmerkmal „FLI“ die Anteile von „AFLI“ und „EFLI“ inkludiert. Für die Auswertung des Teilprojektes 3 auf BAB wird daher empfohlen, auf diese Differenzierung zu verzichten.

Die durchgeführten Untersuchungen zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) stellen deutlich die Bedeutung der Risse als Schadensmerkmal heraus. Dabei zeigen insbesondere die Analysen zur Lokalisierung im Fahrstreifen, zu den Merkmalskombinatio-

nen und zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen, dass Risse eine Vielzahl von Schadensbildern und Schadensursachen aufweisen. Speziell die Neuauswertung der Oberflächenbilder im Rahmen der Variationsanalyse macht deutlich, dass eine detailliertere Auswertung von Rissen nach ihren Schadensbildern in Kombination mit der Kenntnis zur Lokalisierung im Fahrstreifen einen erheblichen Zugewinn für die Erhaltungsplanung darstellen würde. So sind Risse in Rollspuren, entlang von Arbeitsnähten oder in Flickstellen als schwerwiegenderes Schadensbild zu interpretieren als vereinzelt vorkommende Risse. Der Zusatz an Informationen zu den Begleitumständen liefert wichtige Hinweise auf eine mögliche Schadensursache bzw. auf den Grad der Schädigung des Straßenaufbaus. Für die Auswertung im Rahmen der ZEB wird empfohlen, die Risse in Unterkategorien entweder nach ihrer Art, wie z.B. Längs- oder Querrisse, oder nach den Begleitumständen, wie z.B. Risse an Arbeitsnaht (RA), Risse in Flickstelle (RF) oder Risse in Rollspur (RR), zu erfassen. Für die heutige Vorgehensweise im Erhaltungsmanagement erscheint dies noch wenig praktikabel, jedoch wird dies für die zukünftige Einführung von Key Performance Indicators (KPI) in das Straßenerhaltungsmanagement ein wichtiger Zugewinn sein.

Das Einzelmerkmal „ONA“ wird in der ZEB im Rahmen des Teilprojektes 3 mit ausgewertet – ihm kommt jedoch aktuell keine Bewertungsrelevanz zu. Die Häufigkeitsanalysen zum netzweiten Vorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) machen bereits die Bedeutung der offenen Arbeitsnähte als Schadensmerkmal im BAB-Netz deutlich. Als dritthäufigstes Schadensmerkmal des TP3 auf Bundesautobahnen zeigen sie bei der detaillierteren Untersuchung zu den Lokalisierungen im Fahrstreifen einen starken Bezug zu den Bereichen zwischen den Fahrstreifen. Die weiteren Ergebnisse der statistischen Analysen zu den offenen Arbeitsnähten bekräftigen die Annahme einer Prägnanz der Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt als Bereiche erhöhter Anfälligkeit gegenüber einem Schadensauftreten, was zu deren detaillierteren Betrachtung in der vorliegenden Arbeit führte. Signifikant ist dabei die Erkenntnis, dass, unter Beachtung der geringen Fallzahlen, Erstnähte deutlich früher aufzugehen scheinen als Folgenähte, nämlich im Mittel um 10 bis 16 Jahre. Erstmals in der Forschung des Straßenwesens wurde somit eine eventuelle Nahtproblematik hinsichtlich des Schadensauftretens anhand der ZEB-Daten und möglicher Schadensursachen untersucht. Sowohl die Ergebnisse der Variationsanalyse als auch die Analysen zu den Nahtschäden belegen die These, dass „ONA“ überwiegend offene Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen darstellen. Die Untersuchungen zu den Merkmalskombinationen zeigen weiter, dass „ONA“ häufig in Kombination mit Rissen auftreten und so eine Erweiterung des Schadensbildes an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen sind. Im Zusammenhang mit der Variationsanalyse wurde auch die Qualität der Auswertung von „ONA“ untersucht, da aufgrund der fehlenden Bewertungsrelevanz das Schadensmerkmal nicht in den Qualitätssicherungsprozess der ZEB eingebunden ist. Die Ergebnisse deuten einen erhöhten Anteil an Fehlinterpretationen bei „ONA“ von rund 20,0 % gegenüber den anderen Merkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) an, jedoch ist dies vielfach auf die ungenaue Beschreibung zur Auswertung des Merkmals in der ZTV ZEB-StB zurückzuführen. Dort sind offene Arbeitsnähte als *„Arbeitsnähte, die fein bis klaffend aufgebrochen bzw. nicht vergossen sind“* definiert (FGSV 2006). Vielfach wurden Arbeitsnähte als „ONA“ markiert, die nach den aktuellen Vorgaben nicht als „ONA“ gelten, jedoch aus straßenbautechnischer Sicht durchaus „ONA“ darstellen, da es sich um eine offene heiß-an-heiß-Naht, eine offene Fuge zum Gussasphalt oder eine Schattennaht handelt. Die Ergebnisse der Analysen zu Nahtschäden an projizierten Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen belegen die Notwendigkeit der Detektion dieser Variationen an offenen Arbeitsnähten. Darüber hinaus beruhen die Beobachtungen zur Fehlinterpretation von „ONA“ auf sehr geringen Stichprobenumfängen, die für die Untersuchung

des räumlichen Zusammenhangs zwischen den Einzelmerkmalen einer Merkmalskombination herangezogen wurden. Auch die Analysen zur zeitlichen Entwicklung von Nahtschäden haben eine Inkonsistenz hinsichtlich der Auswertung von „ONA“ aufgedeckt. So wurde ein Oberflächenschaden im selben 1m-Auswerteabschnitt in der Messkampagne 2013/2014 als „ONA“ und vier Jahre zuvor als „RISS“ ausgewertet oder umgekehrt. Diese Beobachtungen beruhen jedoch ebenfalls auf sehr geringen Stichprobenumfängen, was die Aussagekraft relativiert. Für die zukünftige Auswertung wird die Überarbeitung der Regularien zur Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) empfohlen. Darüber hinaus sollten offene Arbeitsnähte als weiteres bewertungsrelevantes TP3-Merkmal in die ZEB mit aufgenommen werden.

8.2 Optimierung von Erhaltungsstrategien

Basierend auf den Feststellungen zu den Substanzmerkmalen (Oberfläche) wird im Weiteren eine Reihe von Maßnahmen vorgeschlagen, die zu einer Optimierung von Erhaltungsstrategien beitragen können.

Um eine bessere Kenntnis über den aktuellen Netzbestand der Bundesautobahnen, insbesondere im Hinblick auf den Straßenaufbau und das Alter der einzelnen Schichten zu erhalten, sollte neben einer besseren Dokumentation der durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen auch eine Historisierung der in den Straßeninformations-Datenbanken (SIB) der Bundesländer enthaltenen Informationen zu den Maßnahmen erfolgen. Eine lückenlose Dokumentation ist für die Analyse der zeitlichen Entwicklung des BAB-Netzes sowie für die Identifizierung und Ursachenforschung von erhaltungsintensiven Streckenabschnitten unerlässlich, was vornehmlich die Analysen zur zeitlichen Entwicklung von Nahtschäden andeuten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse liefern einen erheblichen Informationsgewinn für eine gezielte Planung und Ausrichtung von Erhaltungsstrategien.

Da insbesondere die Positionierungsbereiche für die Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt Schwächezonen mit einem vermehrten Auftreten von Oberflächenschäden darstellen, wie aus den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit deutlich hervorgeht, wird die Identifizierung der genauen Positionierung der aktuellen Arbeitsnähte für das gesamte BAB-Netz empfohlen. Dazu kann auf die Ergebnisse in Kapitel 7.2 aufgebaut werden. Eine Methode zur vollständigen Bestimmung der genauen Lokalisierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt wäre die Ergänzung der TP3-Auswertungen um die Detektion der Arbeitsnaht für eine Messkampagne auf Bundesautobahnen. Während der Auswertung der Oberflächenbilder nach den Substanzmerkmalen (Oberfläche), soll der Operator darüber hinaus das Rasterfeld im Querschnitt markieren, das eine Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen enthält. Dabei sollte nach Möglichkeit zwischen einer Naht und Fuge differenziert werden. Die Pflege dieser Informationen kann im Weiteren über die Aufbaudaten erfolgen. Die Erkenntnisse zur genauen Lokalisierung der Arbeitsnaht können in Kombination mit den ZEB-Daten zum TP3 für die Optimierung von Erhaltungsmaßnahmen genutzt werden, indem solche Bereiche vermehrt beobachtet und die Maßnahmen konkret auf die Problematik mit Arbeitsnähten abgestimmt werden. Das kann in Zukunft zu einem reduzierten Schadensauftreten an Arbeitsnähten und einem geringeren Erhaltungsaufwand führen, der wiederum in einer Reduzierung von Arbeitsstellen von längerer Dauer und einer Senkung der Gesamtkosten mündet.

Für eine Optimierung der Erhaltungsstrategien speziell zur zeitlichen und monetären Planung und Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen wird empfohlen, auf die in Kapitel 6.3 defi-

nierten Merkmalskombinationen sowie das Schema zur Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen (Abbildung 6-12) zurückzugreifen. Bereits die Identifizierung der Merkmalskombinationen im BAB-Netz gibt Aufschluss darüber, dass diese Substanzschäden der Oberfläche schon eine Weiterentwicklung des ursprünglich vorhandenen Schadens darstellen und hier ein erhöhter Handlungsbedarf besteht. Unter Zuhilfenahme des Schemas und der Informationen zu den Begleitparametern, wie beispielsweise dem Schwerverkehrsanteil und dem Alter der Deckschicht, können die wahrscheinlichsten Schadensursachen bestimmt und entsprechende Erhaltungsmaßnahmen gezielt geplant und umgesetzt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern dabei genaue Anhaltspunkte für die wahrscheinlichsten Schadensursachen der Merkmalskombinationen. Darüber hinaus ist anhand der Kategorisierung in dem Schema eine bessere Beurteilung der Schadensschwere bzw. des Schadensumfangs möglich.

Bisher wurden Merkmalskombinationen im Rahmen der ZEB weder ausgewertet noch berücksichtigt. Anhand der vorliegenden Erkenntnisse dieser Arbeit wird empfohlen, bereits während der Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) gezielt ein kombiniertes Schadensauftreten zu markieren und einen zusätzlichen Hinweis zu vermerken, sobald sich die Merkmalskombination an einer Arbeitsnaht befindet. Als Arbeitsnähte gelten dabei Nähte, Fugen, und Anschlüsse zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt, die heiß an heiß oder heiß an kalt eingebaut wurden und nicht zwingend offen sein müssen. Sollten Arbeitsnähte auf den Oberflächenbildern oder Frontbildern nicht erkennbar sein, kann diese Information nachträglich anhand der Aufbaudaten erfasst werden.

Basierend auf den durchgeführten Analysen zu den Substanzmerkmalen (Oberfläche) sollte momentan auf eine zeitliche Betrachtung der Schadensentwicklung auf Objektebene anhand der Durchführung eines direkten Kampagnenvergleiches verzichtet werden. Der Umstand, dass verschiedene Betreiber mit unterschiedlichen Auswertern die ZEB-Erfassungen durchführen und ein zu großer Ermessungsspielraum bei der Bewertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) aufgrund zu unpräziser Vorgaben in der ZTV ZEB-StB (FGSV 2006) besteht, liefert keine Basis für belastbare Untersuchungen. Eine Objektivierung und Konsistenz der Auswertungen kann in Zukunft eventuell durch den Einsatz neuronaler Netze im Rahmen einer automatisierten Merkmalerkennung erzielt werden, die wiederum die Analyse einer zeitlichen Schadensentwicklung legitimieren würde.

Mit einem detaillierteren Wissen um die Schwachstellen im BAB-Netz können Oberflächenschäden zukünftig schneller behoben oder ganz vermieden und somit die Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur langfristig verbessert werden.

8.3 Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur

Basierend auf den Erkenntnissen zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt wird im Folgenden eine Reihe von Empfehlungen aufgeführt, die zu einer Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur beitragen können.

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen, stellen Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt eine Schwächezone dar, der ein bedeutender Anteil aller im BAB-Netz vorkommenden Substanzmerkmale (Oberfläche) zugewiesen werden kann. Basierend auf dieser Feststellung wird empfohlen, auf die Ausbildung von Arbeitsnähten im Fahrbahnquerschnitt nach Möglichkeit vollständig zu verzichten oder diese auf ein Minimum zu reduzieren. Da insbesondere die Erstnähte eine verkürzte Lebensdauer zeigen, ist ein möglichst breiter

Einbau der Asphaltsschichten über den Fahrbahnquerschnitt zu empfehlen. Auch die Wiederverwendung bereits vorhandener Kontaktbereiche zwischen Einbaubahnen im Zuge der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen ist anzuraten. Ein weiterer Vorteil neben der Dezimierung der Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt liegt hier in der gleichzeitigen Erneuerung der alten Arbeitsnaht, was wiederum dem Auftreten von Nahtschäden entgegenwirkt. Eine Reduzierung der Nahtschäden wirkt sich unmittelbar auf die Erhaltungsintervalle aus und trägt so zu einer Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur bei.

Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 7.2.6 wird für die optimale Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB unter Berücksichtigung straßenbautechnischer und ökonomischer Gesichtspunkte der Bereich unmittelbar links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen empfohlen. Diese Position ermöglicht die Ausbildung von nur einer Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt. Für die Erneuerung oder Instandsetzung des ersten Fahrstreifens, der vornehmlich durch den Schwerverkehr erheblicher verkehrslastbedingter Beanspruchungen unterliegt, kann eine 4+2-Verkehrsführung angewandt werden, die einen zweistreifigen Verkehrsabfluss auf der Richtungsfahrbahn während der Erhaltungsmaßnahme ermöglicht und so das Risiko einer Staubildung minimiert. Im Zuge einer 4+2-Verkehrsführung ist aufgrund der Einbaubreite der Fertiger ein einbahniger Einbau der Asphaltdecke von Hauptfahrstreifen und Seitenstreifen möglich, was sich wiederum unmittelbar positiv auf die Dauer der Maßnahme auswirkt. Diese Vorteile der Positionierung der Arbeitsnaht unmittelbar links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen tragen sowohl kurz- als auch langfristig zu einer signifikanten Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur bei.

Neben der Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt ist auch die Ausführungsqualität während des Einbaus entscheidend für eine lange Lebensdauer. Die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit, insbesondere zur Altersverteilung offener Erst- und Folgenähte, machen den Bedarf einer Qualitätskontrolle für die Ausbildung von Arbeitsnähten deutlich. Nur so kann langfristig das Auftreten schadhafter Arbeitsnähte bereits während der Gewährleistungsfrist signifikant vermindert werden.

9 Zusammenfassung / Summary

9.1 Zusammenfassung

Das stetig zunehmende Verkehrsaufkommen bringt das Bundesautobahnnetz in bestimmten Regionen Deutschlands bereits heute an seine Kapazitätsgrenzen. Die zusätzliche Einrichtung von Arbeitsstellen von längerer Dauer im Rahmen der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen infolge auftretender Oberflächenschäden führt insbesondere zu den Stoßzeiten zu einem Verkehrsinfarkt. Die Konsequenz sind lange Stauzeiten, die wiederum erhebliche Gesamtkosten verursachen. Um das BAB-Netz dauerhaft leistungsstark und verfügbar zu halten, bedarf es einer Optimierung der Erhaltungsstrategien. Hierzu liefert die vorliegende Arbeit mit der Definition, Charakterisierung und Kategorisierung von Merkmalskombinationen sowie der Bestimmung der optimalen Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt einen wichtigen Beitrag.

Für die Bestimmung und Festlegung von Merkmalskombinationen wurden zunächst die Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf ihr Vorkommen, ihre Charakteristik und merkmalspezifische Besonderheiten mithilfe verschiedener Analyseverfahren der deskriptiven Statistik und kartographischen Darstellung hin untersucht. Die Ergebnisse dienen als Vorstudien für die weiteren Untersuchungen und liefern wichtige Erkenntnisse über die Schadenshäufigkeit und -verteilung im BAB-Netz sowie über die räumliche Schadensausdehnung der einzelnen TP3-Merkmale.

Die statistischen Untersuchungen ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen 2-, 3- und 4-streifigen BAB in Bezug auf die relativen Schadensanteile je mehrstreifiger BAB. Den 2-streifigen BAB sind jedoch die höchsten prozentualen Schadensanteile zuzuweisen. Das Einzelmerkmal „Risse“ zeigt eine klare Dominanz am gesamten Schadensvorkommen im BAB-Netz. Risse stellen das Schadensmerkmal mit den vielfältigsten Schadensbildern und den meisten Schadensursachen dar. Unterschiede hinsichtlich der Schadensverteilung aller Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die einzelnen Fahrstreifen deuten einen signifikanten Einfluss des Schwerverkehrs und der Lage der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt auf das Schadensauftreten an. Insbesondere bei den Einzelmerkmalen „Offene Arbeitsnähte“ und „Risse“ machen die Analysen zur Schadensverteilung auf die einzelnen Lokalisierungen im Fahrstreifen einen starken Bezug zu den Bereichen der potenziellen Positionierung von Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt deutlich. Das Auftreten des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ zeigt einen starken Bezug zum Auftreten von offenen Arbeitsnähten oder Rissen im BAB-Netz. Regionalgeographische Besonderheiten in Bezug auf das bundesweite Schadensvorkommen verdeutlichen sich zwischen den Einzelmerkmalen und den Bundesländern. Während die Einzelmerkmale „Bindemittelanreicherungen“ und „Ausbrüche“ einen starken regionalen Bezug aufweisen, zeigen die TP3-Merkmale „Offene Arbeitsnähte“, „Flickstellen“ und „Risse“ eine netzweite Ausbreitung. Die regionale Konzentration der Bindemittelanreicherungen weist einen direkten Zusammenhang mit dem überwiegenden Vorkommen von Gussasphalt als oberste Asphaltsschicht in diesen Regionen auf. Für die offenen Arbeitsnähte kann ein starker Bezug zwischen deren Auftreten und hoch belasteten Streckenabschnitten im BAB-Netz nachgewiesen werden. In Bundesländern mit hohen räumlichen Konzentrationen an Rissen dominiert der Gussasphalt als oberste Asphaltsschicht. Hohe Schadensvorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) in Relation zur Fläche sind in den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Nordrhein-Westfalen festzustellen. Ein direkter Zusammenhang mit hohen Verkehrsaufkom-

men konnte anhand der kartographischen Darstellung des Schwerverkehrsanteils für den ersten Fahrstreifen im BAB-Netz vornehmlich für Nordrhein-Westfalen aufgezeigt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde auch das potenzielle gemeinsame Schadensauftreten von Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) miteinander untersucht, also ob verschiedene TP3-Merkmale, wie beispielweise Risse und offene Arbeitsnähte, häufig gemeinsam an der gleichen Stelle detektiert werden. Dies soll unter anderem Aufschluss darüber geben, ob sich bestimmte Einzelmerkmale des TP3 gegenseitig bedingen und ob sich Merkmalskombinationen, die auf dieselbe mögliche Schadensursache zurückzuführen sind, identifizieren lassen. Die Definition, Charakterisierung und Kategorisierung von Merkmalskombinationen erfolgte auf Basis ausgewählter statistischer Analysen sowie den Ergebnissen einer durchgeführten Variationsanalyse zur Bestimmung des räumlichen Zusammenhangs zwischen den eine Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmalen.

Die statistischen Analysen zum kombinierten Auftreten der Substanzmerkmale (Oberfläche) ergaben, dass die TP3-Merkmale zu 6,8 % in Kombination auftreten. Offene Arbeitsnähte und Ausbrüche zeigen dabei die höchsten Anteile des kombinierten Auftretens in Relation zum jeweiligen Gesamtvorkommen. Die Auswertung der Variationsanalysen ergab durchgehend gute Ergebnisse hinsichtlich des räumlichen Zusammenhangs der eine Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale. Dies bekräftigt die Annahme, dass in Kombination auftretende Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) eine Weiterentwicklung eines Schadensbildes an der Straßenoberfläche darstellen. Basierend auf den Ergebnissen der deskriptiven Statistiken und den Erkenntnissen aus den Variationsanalysen wurden die Kombinationen „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS), „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS) und „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS) als typische Merkmalskombinationen definiert.

Die Untersuchungen zum Schadensauftreten der einzelnen Merkmalskombinationen zeigten, dass alle ausgewählten Merkmalskombinationen in durchschnittlich älteren Deckschichten (4 cm) als die sie bildenden Einzelmerkmale auftreten. Sowohl „ONA_RISS“ als auch „AUS_RISS“ weisen einen direkten Zusammenhang mit der Lage zu einer Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung auf. Allein durch die Lokalisierung an einer Arbeitsnaht kann das Auftreten von „ONA_RISS“ zu 75,6 % und das Auftreten von „AUS_RISS“ zu 41,6 % erklärt werden. Die Merkmalskombination „FLI_RISS“ zeigte weder nachzuweisende statistische Zusammenhänge zu ausgewählten Regressoren, noch konnte ihr Auftreten durch diese signifikant erklärt werden. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass Flickstellen überwiegend Reparaturstellen anderer Oberflächenschäden darstellen und somit sich ihr Vorkommen vornehmlich an der Lage der ursprünglichen Schäden im Fahrbahnquerschnitt orientiert.

Die aus den durchgeführten Analysen gewonnenen Erkenntnisse zur Charakteristik der Merkmalskombinationen dienten der Auswahl gezielter Bewertungsmaßstäbe für die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene Kategorisierung der wahrscheinlichsten Schadensursachen der auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen.

Basierend auf den Erkenntnissen aus den Analysen zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche) und den Merkmalskombinationen wurde ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf die Untersuchung des Schadensvorkommens und der Schadensentwicklung an Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt gelegt. Die Bestimmung der optimalen Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt basiert vornehmlich auf den Untersuchungen zu nachgewiesenen Ar-

beitsnähten und deren Nahtschäden im BAB-Netz sowie auf BISAR-Berechnungen zu den Spannungs- und Dehnungsverläufen für den Lastfall LKW und PKW auf 3-streifigen BAB.

Die rasterfeldgenaue Lokalisierung von Arbeitsnähten in der obersten Asphaltsschicht konnte für 11,5 % aller Fahrbahnkilometer 2-streifiger BAB nachgewiesen werden. Die Auswertungen ergaben eine klare Dominanz der nachgewiesenen Arbeitsnähte im linken Rasterfeld des ersten Fahrstreifens und im rechten Rasterfeld des zweiten Fahrstreifens. Nur geringe Anteile werden jeweils mittig der Fahrstreifen positioniert. Die für 2-streifige BAB nachgewiesenen Arbeitsnähte weisen 10,2 % aller auf 2-streifigen BAB auftretenden Substanzschäden der Oberfläche auf. Für 24,8 % aller Fahrbahnkilometer 3-streifiger BAB konnte die genaue Positionierung der Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt ermittelt werden. Auch hier konzentriert sich die Lage dieser Arbeitsnähte auf das linke Rasterfeld des ersten und das rechte Rasterfeld des zweiten Fahrstreifens. An den für 3-streifige BAB nachgewiesenen Arbeitsnähten konzentrieren sich 18,7 % aller auf diesen BABs auftretenden Substanzmerkmale (Oberfläche).

Sowohl auf den 2-streifigen als auch auf den 3-streifigen BAB dominieren bei den projizierten Arbeitsnähten deutlich die Erstnähte gegenüber den Folgenähten. Als Erstnähte werden in der vorliegenden Arbeit Nähte, Anschlüsse und Fugen bezeichnet, die heiß an heiß oder heiß an kalt ausgebildet wurden, jedoch während derselben Baumaßnahme im selben Jahr. Folgenähte sind Nähte, Anschlüsse und Fugen, die zwischen Deckschichten unterschiedlichen Alters ausgebildet wurden. Die Analysen zu den Altersverteilungen der Arbeitsnähte weisen eine deutlich frühere Schädigung der Erstnähte gegenüber den Folgenähten aus. Im Mittel zeigen die Erstnähte zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen 2-streifiger BAB 16 Jahre früher Schädigungen als die Folgenähte. Auf 3-streifigen BAB sind die Erstnähte zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen im Mittel 10 Jahre früher geschädigt als die Folgenähte. Weitergehende Untersuchungen deuten darauf hin, dass überwiegend die Erstnähte zwischen den Einbaubahnen des Splittmastixasphalts bereits nach einer kurzen Nutzungsdauer innerhalb der Gewährleistungsfrist durch offene Arbeitsnähte geschädigt sind. Dagegen weisen sowohl die Erstnähte als auch die Folgenähte zwischen Einbaubahnen aus Gussasphalt deutlich höhere Lebensdauern auf. Erst nach Erreichen oder Überschreiten der dimensionierten Nutzungsdauer zeigen sich hier Nahtschäden. Anteilig am jeweiligen Gesamtvorkommen verfügen die Folgenähte über einen höheren Schadensanteil als die Erstnähte, was durch den hohen Anteil an Abschnitten am Ende ihrer dimensionierten Nutzungsdauer zu erklären ist. Anhand von bundeslandspezifischen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass eine Positionierung der Arbeitsnähte mittig in den Fahrstreifen zu signifikant niedrigeren Schadensanteilen führt. Zusammenfassend ergeben die Untersuchungen der Nahtschäden an projizierten Arbeitsnähten, dass Schädigungen entweder bereits während der Gewährleistungsfrist oder erst nach Erreichen der dimensionierten Nutzungsdauer auftreten.

Basierend auf den Erkenntnissen zu den Arbeitsnähten und Nahtschäden sowie anhand der Vorgaben in den Regelwerken RAA (2008) und RSA (1995) zu den Regelquerschnitten und den Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer wurden zwei Betrachtungsfälle für die optimale Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt aufgestellt. Unter Berücksichtigung und Abwägung aller Einflussfaktoren, auch der möglichen Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer für eine spätere Erneuerung oder Instandsetzung der einzelnen Fahrstreifen, stellt als Ergebnis der Bereich unmittelbar links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen das Optimum für die Positionierung der Arbeitsnaht dar.

Auf Grundlage der in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erkenntnisse werden abschließend Empfehlungen zur Bewertungsrelevanz von Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) in der ZEB, zur Optimierung von Erhaltungsstrategien und zur Verbesserung der Verfügbarkeit der Straßeninfrastruktur gegeben.

9.2 Summary

The constant increase in traffic volumes is already pushing the federal highway network to its capacity limits in certain regions of Germany. The additional establishment of long-term construction sites as part of the implementation of maintenance measures as a result of surface damage occurring leads to gridlock, particularly at peak times. The consequence is long traffic jams, which in turn cause considerable overall costs. In order to keep the federal highway network permanently efficient and available, it is necessary to optimize the maintenance strategies. To this end, the present thesis makes an important contribution with the definition, characterization and categorization of the combination of substance characteristics (surface) as well as the determination of the optimal positioning of the construction joint between the paved lanes in the roadway cross-section.

For the identification and determination of combinations of substance characteristics (surface), the single substance characteristics of the surface were first analyzed with respect to their occurrence, their characteristics and feature-specific peculiarities by means of different analytical methods of descriptive statistics and cartographic illustration. The results serve as preliminary studies for the further analysis and provide important insights into the damage frequency and distribution in the federal highway network as well as into the spatial damage extent of the individual TP3-characteristics.

The statistical analyses did not reveal any significant differences between 2-, 3- and 4-lane highways with regard to the relative damage rates per multi-lane highway. However, the 2-lane highways have the highest percentage of damage. The single characteristic "cracks" shows a clear dominance in the total damage occurrence in the federal highway network. Cracks represent the damage character with the most diverse damage patterns and the most causes of damage. Differences with regard to the damage distribution of all substance characteristics of the surface on the individual lanes indicate a significant influence of heavy traffic and the position of the construction joint between paved lanes in the roadway cross-section on the damage occurrence. In particular, for the individual characteristics "open construction joints" and "cracks", the analyses of the damage distribution to the individual localizations in the lane reveal a strong relationship to the areas of potential positioning of construction joints between paved lanes in the roadway cross-section. The occurrence of the individual character "raveling" shows a strong relation to the occurrence of open construction joints or cracks in the federal highway network. Regional-geographical peculiarities with regard to the nationwide occurrence of damage become clear between the individual characteristics of the substance characteristics (surface) and the federal states. While the individual characteristics "binder accumulations" and "reveling" show a strong regional reference, the TP3-characteristics "open construction joints", "patches" and "cracks" show a network-wide spread. The regional concentration of binder accumulations shows a direct correlation with the predominant occurrence of mastic asphalt as the top asphalt layer in these regions. For the open construction joints, a strong relationship between their occurrence and highly loaded road sections in the federal highway network can be demonstrated. In federal states with high spatial concentrations of cracks, mastic asphalt dominates as the top asphalt layer. High occurrences of substance characteristics (surface) in relation to the area of federal highways

are found in the federal states of Saxony-Anhalt, Rhineland-Palatinate, Saxony and North Rhine-Westphalia. A direct correlation with high traffic volumes could be shown on the basis of the cartographic illustration of the proportion of heavy traffic for the first lane in the federal highway network, primarily for North Rhine-Westphalia.

In this present thesis, the potential common damage occurrence of individual characteristics of the substance characteristics (surface) was also analyzed between them, i.e. whether different TP3-characteristics, such as cracks and open construction joints, are frequently detected together at the same location. Among other things, this should provide information on whether certain individual TP3-characteristics are mutually dependent and whether combinations of substance characteristics (surface) that can be attributed to the same possible cause of damage can be identified. The definition, characterization and categorization of combinations of substance characteristics (surface) was based on selected statistical analyses and the results of a variation analysis to determine the spatial relationship between the individual characteristics forming a combination of substance characteristics (surface).

The statistical analyses on the combined occurrence of the substance characteristics (surface) showed that 6.8 % of the TP3-characteristics occur in combination. Open construction joints and raveling show the highest percentages of combined occurrence in relation to the respective total occurrence. The evaluation of the variation analyses showed consistently good results with regard to the spatial correlation of the individual characteristics forming a combination of substance characteristics (surface). This confirms the assumption that individual characteristics of the substance characteristics (surface) occurring in combination represent a further development of a damage pattern on the road surface. Based on the results of the descriptive statistics and the results gained from the variation analyses, the combinations "open construction joints and cracks" (ONA_RISS), "patches and cracks" (FLI_RISS) and "raveling and cracks" (AUS_RISS) were defined as typical combinations of substance characteristics (surface).

The analyses of the damage occurrence of the individual combinations of substance characteristics (surface) showed that all selected combinations occur on average in older asphalt top layers (4 cm) than the individual characteristics of which they are composed. Both combinations "ONA_RISS" and "AUS_RISS" are directly related to the location of a construction joint between paved lanes or to boundary fixation. The localization at a construction joint alone can explain 75.6 % of the occurrence of "ONA_RISS" and 41.6 % of the occurrence of "AUS_RISS" in the federal highway network. The combination "FLI_RISS" did not show any statistical correlations with selected regressors, nor could its occurrence be significantly explained by them. This can be traced back to the fact that patches are predominantly repaired areas of other surface damages and thus their occurrence is primarily oriented to the location of the original damages in the roadway cross-section.

The knowledge gained from the analyses on the characteristics of the combinations of substance characteristics (surface) was used to select specific evaluation criteria for the categorization of the most probable causes of damage to the crack-based combinations of substance characteristics (surface) carried out in the present thesis.

Based on the results gained from the analyses of the individual characteristics of the substance characteristics (surface) and their combinations, a further focus of the present thesis was placed on the analysis of damage occurrence and damage development of construction joints between paved lanes in the roadway cross-section. The determination of the optimum positioning of the construction joint between paved lanes in the roadway cross-section is based primarily on the examination of proven construction joints and their joint damage in the

federal highway network as well as on BISAR calculations of the stress and strain curves for the load case “truck and car” on 3-lane highways.

The exact localization of construction joints in the top asphalt layer with grid-field accuracy was verified for 11.5 % of all lane kilometers of 2-lane highways. The evaluations showed a clear dominance of the detected construction joints in the left grid field of the first lane and in the right grid field of the second lane. Only small amounts are positioned in the center of each lane. The construction joints detected for 2-lane highways account for 10.2 % of all substance characteristics (surface) damages occurring on 2-lane highways. For 24.8 % of all lane kilometers of 3-lane highways, the exact positioning of construction joints between paved lanes in the roadway cross-section could be determined. Here, too, the location of these construction joints is concentrated on the left grid field of the first lane and the right grid field of the second lane. At the construction joints detected for 3-lane highways, 18.7 % of all substance characteristics (surface) occurring on these federal highways are concentrated.

On both the 2-lane and 3-lane highways, the projected construction joints are clearly dominated by initial joints compared to subsequent joints. In the present thesis, initial joints are joints and connections that were built “hot to hot” or “hot to cold”, but during the same construction project in the same year. Subsequent joints are joints and connections that have been built between top layers of different ages. The analyses of the age distributions of the construction joints show a clearly earlier damage of the initial joints compared to the subsequent joints. On average, the initial joints between the first and second lane of 2-lane highways show damages 16 years earlier than the subsequent joints. On 3-lane highways, the initial joints between the first and second lane are damaged on average 10 years earlier than the subsequent joints. Further analyses indicate that mainly the initial joints between the Stone Mastic Asphalt pavements are damaged by open construction joints after only a short life cycle within the warranty period. In contrast, both the initial joints and the subsequent joints between mastic asphalt pavements have significantly longer life cycles. Here joint damages appear only after reaching or exceeding the dimensioned life cycle. With regard of the total number of joints, the subsequent joints have a higher percentage of damage than the initial joints, which can be explained by the high number of road sections at the end of their dimensioned life cycle. On the basis of federal state-specific analyses, it was possible to prove that positioning the construction joints in the center of the lanes leads to significantly lower damage percentages. In summary, the analyses of joint damages on projected construction joints show that damages occur either already during the warranty period or only after the dimensioned life cycle has been reached.

Based on the results of the exploration on construction joints and joint damages as well as on the specifications in the RAA (2008) and RSA (1995) regulations on standard roadway cross-sections and traffic management in long-term construction sites, two scenarios were developed for the optimum positioning of the construction joint in the roadway cross-section. Taking into account and weighing up all influencing factors, including the possible traffic routing in long-term construction sites for subsequent renewal or repair of the individual lanes, the result is that the area immediately to the left of the lane marking between the first and second lane is the optimum for positioning the construction joint.

10 Ausblick

Die Bewertungsrelevanz des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ wurde in dieser Arbeit nachgewiesen. Im Weiteren gilt es nun dieses Merkmal in den Qualitätssicherungsprozess der ZEB einzubinden. Dabei sollte auch eine Überarbeitung der Auswerteregeln in der ZTV ZEB-StB (FGSV 2006) vorgenommen werden. Die sinnvolle Integration des Schadensmerkmals in die Wertesynthese der ZEB sollte im Rahmen eines Forschungsvorhabens erfolgen.

Die Bedeutung des kombinierten Auftretens der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) wurde in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt und typische Merkmalskombinationen definiert. Anhand der Entwicklung des Schemas zur Kategorisierung von im BAB-Netz auftretenden und auf Rissen basierenden Merkmalskombinationen mithilfe vorgegebener Parameter zur Verkehrsbelastung und den ertragenen Lastwechseln ist es nun möglich die wahrscheinlichste Schadensursache zu ermitteln. Da das Schema vornehmlich auf statistisch nachgewiesenen Zusammenhängen basieren, wird eine in-situ Überprüfung der angegebenen Schadensursachen empfohlen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können anschließend zur Weiterentwicklung des Schemas verwendet werden.

Der Nachweis, dass Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt eine Schwächezone darstellen und einen bedeutenden Anteil an Substanzschäden der Oberfläche aufweisen, wurde in dieser Arbeit erbracht. Weiterführende Forschungsvorhaben sollten diesen Zusammenhang in der Praxis insbesondere im Hinblick auf die Art und Ausbildung der Arbeitsnaht und deren Einfluss auf die Entstehung von Nahtschäden gezielter untersuchen. Darüber hinaus ist es sinnvoll die Auswirkungen einer offenen Arbeitsnaht in der Deckschicht auf die Schädigung der darunter liegenden Schichten zu untersuchen. Auch die Etablierung einer Qualitätskontrolle in Bezug auf die Nahtausbildung während des Asphalt-einbaus wird angeregt.

Dass die optimale Positionierung der Arbeitsnaht unmittelbar links der Fahrbahnmarkierung zwischen dem ersten und zweiten Fahrstreifen liegt, konnte in der vorliegenden Arbeit nachgewiesen werden. Nun gilt es dies in der Praxis umzusetzen und die Lebensdauer der Arbeitsnaht zu dokumentieren, um in einem Zeitraum von 10 bis 15 Jahren, beispielsweise anhand einer Life-Cycle-Cost-Analyse, die ganzheitlichen Vorteile dieser Positionierung zu bewerten.

Literaturverzeichnis

ADAC (2018): Staubilanz 2018. Abrufbar unter: <https://www.adac.de/der-adac/verein/aktuelles/staubilanz/> (letztmalig abgerufen im August 2019).

ADAC (2017): Staubilanz 2017. Abrufbar unter: https://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_staubilanz_231552.pdf (letztmalig abgerufen im August 2019).

ADLINGE, S. S. & PROF. A K. GUPTA (2013): Pavement Deterioration and its Causes. IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering, ISSN: 2278-1684, PP: 09-15, India.

ALTEMEIER, T. & U. STOECKERT (2016): Measurement of Road Surface Characteristics in Germany and its Potential. Eighth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements, Singapore.

ANDROTEC GMBH, FAYAT BOMAG GMBH & Co. UNTERNEHMENSFÜHRUNGS KG, MOBA AG, TH KÖLN & TPA GMBH. AUFTRAGGEBER: BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN (BAST) (2019): Neue Ansätze bei der Qualitätsüberwachung im Straßenbau (QUASt). Unveröffentlicht.

ARAND, W. & H. LORENZL (1995): Einfluss der Bitumenhärte auf das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen unterschiedlicher Dicke in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit der Unterlage, der Verkehrsbelastung und der Temperatur, Teil 2. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 696. Bonn.

BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & R. WEBER (2008): Multivariate Analysemethoden. 12. Auflage. Springer Verlag, Berlin.

BÄR, H., LINDEMANN H.P. & E. KÄLIN (2014): Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustandes. Schweizerische Eidgenossenschaft, Zürich.

BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN (BAST), CARNEHL FAHRZEUGBAU PATTENSEN GMBH & Co. KG, DEUTSCHE ASPHALT GMBH, DYNAPAC GMBH, FH KÖLN, HERMANN KIRCHNER BAU-UNTERNEHMUNG GMBH, MOBA AG, TU DARMSTADT. AUFTRAGGEBER: BMWi (2013): Prozesssicherer automatisierter Straßenbau. Gemeinsamer Abschlussbericht - Beseitigung von qualitätsbeeinflussenden Schwachstellen beim Einbau von Asphalt. Technische Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek, Bad Hersfeld.

BUFLER, H. (1961a): Der Spannungszustand in einer geschichteten Scheibe. Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM) 41, Heft 4, Seite 158-180.

BUFLER, H. (1961b): Der Spannungszustand in einem geschichteten Körper bei axialsymmetrischer Belastung. Ingenieur-Archiv, Volume 30, Issue 6, pp. 417-430.

BÜHL, A. (2012): SPSS 20 – Einführung in die moderne Datenanalyse. 13., aktualisierte Auflage. Pearson-Verlag, München.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI), REFERAT STB27: ERHALTUNG DER BUNDES FernSTRABEN (2018): Excel-Tabelle zur Baubetriebsplanung. Erstes Quartal 2018. Bonn. (unveröffentlicht).

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (2018): Verkehr in Zahlen 2018/2019. Hamburg.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (2016a): Verkehr in Zahlen 2016/2017. Hamburg.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (2016b): Verkehrsinfrastrukturbericht 2016 – Teil C: Straße. Unveröffentlicht.

BURMISTER, D. M. (1945): The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems. Journal of Applied Physics, Volume 16, pp. 89, February 1945. New York.

BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN (BAST) (2019): Achslasterfassung - Gesamtgewichtsverteilung 2017. Abrufbar unter: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrserhebungen.html?nn=1817946 (letztmalig abgerufen am 07.02.2019).

CENTRAL MASSACHUSETTS REGIONAL PLANNING COMMISSION (2006): Pavement Management Field Guide to Road Surface Distresses. Worcester.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT, NETWORK CONDITION & GEOGRAPHY STATISTICS BRANCH (2017): Technical Note: Road Condition and Maintenance data, London. Abrufbar unter: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/602096/road-conditions-technote.pdf (letztmalig abgerufen im April 2019).

DEUTSCHER ASPHALTVERBAND E.V. (DAV) (Hrsg.) (2016): Leitfaden: Ratschläge für den Einbau von Walzasphalt. Bonn.

DEUTSCHER ASPHALTVERBAND E.V. (DAV) (Hrsg.) (2007): Leitfaden – Qualität von Anfang an. Bonn.

DEUTSCHER ASPHALTVERBAND E.V. (Hrsg.) (2001): Leitfaden: Schichtenverbund, Nähte, Anschlüsse und Randausbildung. Bonn.

DEUTSCHE VIALIT (2018): Auf die Naht kommt es an. In: Asphalt. Ausgabe 1/2018, Seite 75.

FAHRMEIR, L., KÜNSTLER, R., PIGEOT, I. & G. TUTZ (2004): Statistik – Weg zur Datenanalyse. 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE INFRASTRUKTURMANAGEMENT (2014): Arbeitspapier – Tragfähigkeit für Verkehrsflächenbefestigungen – Teil C 2.1: Falling Weight Deflectometer (FWD): Auswertung und Bewertung – Asphaltbauweise (AP Trag Teil C 2.1). Ausgabe 2014. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, ARBEITSGRUPPE ASPHALT-STRAßEN (FGSV) (2009/2013): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen. ZTV BEA-StB 09/13. Ausgabe 2009 / Fassung 2013. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE ASPHALTBAUWEISEN (2007/2013): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07/13). Ausgabe 2007, Fassung 2013. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE INFRASTRUKTURMANAGEMENT (2012): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus (RStO 12). Ausgabe 2012. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE INFRASTRUKTURMANAGEMENT (2009): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt). Ausgabe 2009. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE STRAßENENTWURF (2008): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA). Ausgabe 2008. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE SONDERAUFGABEN (2006): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen (ZTV ZEB-StB 2006). Ausgabe 2006. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE INFRASTRUKTURMANAGEMENT (2001a): FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/K2.3 zur Systematik der Straßenerhaltung. Reihe K: Kommunale Belange – Abschnitt K 2: Zustandserfassung – Unterabschnitt K 2.3: Schadenskatalog für die messtechnische und visuelle Zustandserfassung. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), ARBEITSGRUPPE SONDERAUFGABEN (2001b): Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-Stra 01). Ausgabe 2001. FGSV-Verlag, Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV) (1995): Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA). Teil D – Autobahnen. Ausgabe 1995. FGSV-Verlag, Köln.

HALL, K. T., CORREA, C. E., CARPENTER, S. H. & R. P. ELLIOT (2001): Rehabilitation Strategies for Highway Pavements – Appendix A: Pavement Distress Types and Causes. NCHRP Web Document 35 (Project C1-38), USA.

HESS, R., SCHWEIBENZ, B., STÖCKNER, M. & U. ZANDER (2018): Infrastrukturmanagement Straße: Erhaltung, Maßnahmenkoordination, Wirtschaftlichkeit, Vermögensbewertung. 1. Auflage. Kirschbaum-Verlag, Bonn.

HUANG, B. & X. SHU (2010): Evaluation of longitudinal joints of HMA in Tennessee. Tennessee department of Transportation.
Abrufbar unter: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/34301> (letztmalig im März 2019)

HUTSCHENREUTHER, J. & T. WÖRNER (2010): Asphalt im Straßenbau. 2. Auflage. Kirschbaum-Verlag, Bonn.

JACOT, A. (2009): Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen – Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert. Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement, Forschungsauftrag VSS 2004/713 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Zürich.

JOSEPH VÖGELE AG (2009): Road News - Tipps & Tricks aus der Anwendungstechnik 12 - Nähte und Fugen richtig herstellen.
Abrufbar unter: http://www.roadnews.info/DE_RN18_tt12.pdf (letztmalig im März 2019)

KANDHAL, P. S. & R. B. MALLICK (1997): Longitudinal joint construction techniques for asphalt pavements. NCAT Report No. 97-4.

KARCHER, C. & D. JANSEN (2016): Straßenbau und Straßenerhaltung – Ein Handbuch für Studium und Praxis. 10. Neu bearbeitete und wesentlich erweiterte Auflage. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

KATHMANN, T. & S. SCHROEDER (2017): Ermittlung der realistischen Verkehrsverteilung auf mehrstreifigen Bundesfernstraßen als Eingangsgröße für die rechnerische Dimensionierung und Bewertung der strukturellen Substanz. Aachen. Forschungsprojekt FE 83.0028/2013 der Bundesanstalt für Straßenwesen. (in der Veröffentlichung, Stand: März 2019).

KRAUSE, G. (2000): Abgrenzung von Mängelklassen zur Kennzeichnung von wahrscheinlichen Schadensursachen mit Hilfe meßtechnisch erfaßter Bestands- und Zustandsmerkmale. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 790. Bonn.

McGhee, K. H. (2004): Automated Pavement Distress Collection Techniques. NCHRP Synthesis of Highway Practice 334. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.

Norušis, M. J. (2005). SPSS 14.0 – Statistical Procedures Companion. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

OERTEL, S. (2015): Ergänzung und Präzisierung des Aufnahme- und Auswerteverfahrens zur Erfassung der Oberflächenschäden von Fahrbahnen. Forschungsprojekt FE 29.0237/2009/BASt der Bundesanstalt für Straßenwesen. (Unveröffentlicht, Stand: März 2019).

OERTELT, S. (2013): Aktualisierung der Zustandserfassung und -bewertung. Teil 1 und 2. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Forschungsprojekt FE 04.0212/2007/MRB der Bundesanstalt für Straßenwesen. (in der Veröffentlichung, Stand: März 2019).

ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRAÙE – SCHIENE – VERKEHR (FSV) (2009): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 13.01.11: Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und BetonstraÙen. Wien.

ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT STRASSE – SCHIENE – VERKEHR (FSV) (2012): Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 13.01.16: Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken. Wien.

RABE, R. (2007): Messtechnische Erfassung der Beanspruchungen im StraÙenaufbau infolge LKW-Überfahrten über eine ModellstraÙe in Asphaltbauweise – Temperaturabhängige mechanische Eigenschaften. Interner Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unveröffentlicht.

RIJKSWATERSTAAT – DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE (2002): Schadebeoordeling en interventieniveaus voor het verhardingsonderhoud. Delft.

SCAZZIGA, I. (2008): Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen – Schadensprozesse und Zustandsverläufe. Forschungspaket Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement, Forschungsauftrag VSS 2004/712 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Zürich.

SCHACHT, A., BUCH, M. & J. KUHLMANN (2020): Nähte und Anschlüsse in Asphaltflächen – Bedeutung, Ausführung, Instandsetzung und prüftechnische Ansprache im Labor. In: StraÙe und Autobahn, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Heft 1/2020. Köln.

SCHMIDT, J.; HITZMANN, B.; VILLARET, S. (2009): Entwicklung der Grundlagen für die Schaffung einer Technischen Prüfvorschrift für Erfassung und Bewertung der Substanzmerkmale (Zustand, Oberflächenschäden) von Fahrbahnoberflächen. Forschungsprojekt FE 04.201/2004/ARB der Bundesanstalt für Straßenwesen. (Unveröffentlicht, Stand: März 2019).

SCHNIERING INGENIEURGESELLSCHAFT GMBH (2000): Anleitung für die Videoauswertung von StraÙenschäden. (Unveröffentlicht).

SCHRÖDER, L. (2012): Fugen und Nähte im AsphaltstraÙenbau. In: StraÙen und Tiefbau. Heft 06/2012, Seite 6-9. Giesel Verlag, Hannover.

SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (VSS) (2003): Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF); Anleitung zur visuellen Zustandserhebung und Indexbewertung mit dem Schadenkatalog. SN 640925b, Zürich.

SHELL INTERNATIONAL OIL PRODUCTS BV (1998): Bitumen Stress Analysis in Roads (BISAR 3.0).

STEINAUER, B. & D. WANG (2012): Untersuchungen zur Nahtausbildung in Offenporigen Asphaltdeckschichten. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 1071.

STOECKERT, U., GLATTKI, W. & B. WASSER (2014): Zustandserfassung von Oberflächen. In: StraÙe und Autobahn, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Heft 9/2014. Köln.

TH KÖLN, TU DARMSTADT, MOBA AG, 3D MAPPING SOLUTIONS GMBH. AUFTRAGGEBER: BMWi (LAUFEND BIS 2020): Autonom arbeitende Maschinen im Straßenbau 4.0 - ROBOT-StraÙenbau 4.0. Unveröffentlicht.

WANG, D., OESER, M., SCHMIDT, S. & B. STEINAUER (2012): Nahtausbildung bei Asphaltdeckschichten aus offenporigem Asphalt. In: Asphalt. Ausgabe 1/2012, Seite 22-26.

WENINGER-VYCUDIL, A., BROZEK, B. & P. SIMANEK (2016): ASFiNAG – Handbuch Pavement Management in Österreich. Version 2016. Wien.

WENINGER-VYCUDIL, A.; SIMANEK, P.; ROHRINGER, T.; HABERL, J. (2009): Handbuch Pavement Management in Österreich. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.

WOLF, A. (2010): Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Straßenbau Heft S 61. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven.

ZENTRUM FÜR INFORMATIONS-, MEDIEN- UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT TRIER (ZIMK) (Hrsg.): Balthes-Götz, B. (2018): Lineare Regressionsanalyse mit SPSS. Trier.

Anhang

Verzeichnis des Anhangs

Abbildungsverzeichnis des Anhangs	ii
Tabellenverzeichnis des Anhangs	viii
A1 Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche)	- 1 -
A1-1 Methodik des Vorgehens	- 1 -
A1-2 Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche).....	- 2 -
A1-2-1 Ergebnisse zum netzweiten Vorkommen der TP3-Merkmale und zur Lokalisierung im Fahrstreifen	- 2 -
A1-2-2 Ergebnisse der statistischen Zusammenhangsanalyse	- 17 -
A1-2-3 Ergebnisse zum räumlichen Schadensausmaß der TP3-Merkmale.....	- 20 -
A1-2-4 Ergebnisse zur geographischen Raumanalyse der Einzelmerkmale des TP3.....	- 30 -
A2 Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche)	- 45 -
A2-1 Methodik des Vorgehens	- 45 -
A2-2 Ergebnisse zu den Merkmalskombinationen.....	- 49 -
A2-2-1 Ergebnisse zu den statistischen Analysen.....	- 49 -
A2-2-1-1 Ergebnisse zur Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS)	- 52 -
A2-2-1-2 Ergebnisse zur Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS).....	- 56 -
A2-2-1-3 Ergebnisse zur Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS).....	- 60 -
A2-2-2 Ergebnisse zur regionalgeographischen Analyse der Merkmalskombinationen des TP3	- 65 -
A2-2-3 Ergebnisse zur Variationsanalyse	- 73 -
A3 Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt	- 74 -
A3-1 Methodik des Vorgehens	- 74 -
A3-2 Ergebnisse zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt.....	- 76 -
A3-2-1 Ergebnisse zur Projektion von Arbeitsnähten	- 76 -
A3-2-1-1 Ergebnisse zu 2-streifigen Bundesautobahnen	- 76 -
A3-2-1-2 Ergebnisse zu 3-streifigen Bundesautobahnen	- 89 -
A3-2-2 Ergebnisse zu den nahtbezogenen Substanzschäden der Oberfläche.....	- 99 -
A3-2-2-1 Ergebnisse zu 2-streifigen Bundesautobahnen	- 99 -
A3-2-2-2 Ergebnisse zu 3-streifigen Bundesautobahnen	- 103 -
A3-2-3 Ergebnisse zur Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt bei Neubau.....	- 110 -
A3-2-4 Ergebnisse zu den BISAR-Berechnungen.....	- 111 -

Abbildungsverzeichnis des Anhangs

Abbildung A1-1: Prozentualer Anteil der einzelnen TP3-Schadensmerkmale an allen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) von 2-streifigen BAB	- 2 -
Abbildung A1-2: Prozentualer Anteil der einzelnen TP3-Schadensmerkmale an allen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) von 3-streifigen BAB	- 3 -
Abbildung A1-3: Prozentualer Anteil der einzelnen TP3-Schadensmerkmale an allen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) von 4-streifigen BAB	- 3 -
Abbildung A1-4: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 5 -
Abbildung A1-5: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 6 -
Abbildung A1-6: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 7 -
Abbildung A1-7: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 8 -
Abbildung A1-8: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 9 -
Abbildung A1-9: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 10 -
Abbildung A1-10: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 11 -
Abbildung A1-11: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 12 -
Abbildung A1-12: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 13 -
Abbildung A1-13: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 14 -
Abbildung A1-14: Querneigungen der Fahrstreifen 2-streifiger BAB in Stationierungsrichtung (Lage R)	- 15 -
Abbildung A1-15: Querneigungen der Fahrstreifen 2-streifiger BAB gegen Stationierungsrichtung (Lage L)	- 15 -
Abbildung A1-16: Querneigungen der Fahrstreifen 3-streifiger BAB in Stationierungsrichtung (Lage R)	- 16 -
Abbildung A1-17: Querneigungen der Fahrstreifen 3-streifiger BAB gegen Stationierungsrichtung (Lage L)	- 16 -
Abbildung A1-18: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 20 -

Abbildung A1-19: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB.....	- 21 -
Abbildung A1-20: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 22 -
Abbildung A1-21: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 23 -
Abbildung A1-22: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB.....	- 24 -
Abbildung A1-23: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB.....	- 25 -
Abbildung A1-24: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB.....	- 26 -
Abbildung A1-25: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB.....	- 27 -
Abbildung A1-26: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Risse“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 28 -
Abbildung A1-27: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Risse“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 29 -
Abbildung A1-28: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)	- 35 -
Abbildung A1-29: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)	- 36 -
Abbildung A1-30: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)	- 37 -
Abbildung A1-31: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)	- 38 -
Abbildung A1-32: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt).....	- 39 -
Abbildung A1-33: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt).....	- 40 -
Abbildung A1-34: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Flickstellen“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt).....	- 41 -

Abbildung A1-35: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Flickstellen“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt).....	- 42 -
Abbildung A1-36: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Risse“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt).....	- 43 -
Abbildung A1-37: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Risse“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt).....	- 44 -
Abbildung A2-1: Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche) mit Spurrinntiefen ≥ 2 mm (Balken) und dem durchschnittlichen Alter der obersten Asphalttschicht im Notenbereich (Punkte) (Alter_oA_mean = durchschnittliches Alter der obersten Asphalttschicht)	- 51 -
Abbildung A2-2: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht	- 52 -
Abbildung A2-3: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke	- 52 -
Abbildung A2-4: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes.....	- 53 -
Abbildung A2-5: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Merkmalskombination „ONA_RISS“	- 54 -
Abbildung A2-6: Histogramm zur Überprüfung der Häufigkeitsverteilung der Residuen... -	55 -
Abbildung A2-7: P-P-Diagramm zu den standardisierten Residuen.....	- 55 -
Abbildung A2-8: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht	- 56 -
Abbildung A2-9: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke	- 56 -
Abbildung A2-10: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes.....	- 57 -
Abbildung A2-11: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit von der Summe der gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergänge (B-Zahl).....	- 57 -
Abbildung A2-12: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Merkmalskombination „FLI_RISS“	- 58 -
Abbildung A2-13: Histogramm zur Überprüfung der Häufigkeitsverteilung der Residuen	- 59 -
Abbildung A2-14: P-P-Diagramm zu den standardisierten Residuen.....	- 59 -
Abbildung A2-15: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht.....	- 60 -

Abbildung A2-16: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke.....	- 60 -
Abbildung A2-17: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes	- 61 -
Abbildung A2-18: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der rechten Spurrinnentiefe	- 61 -
Abbildung A2-19: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der linken Spurrinnentiefe	- 62 -
Abbildung A2-20: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Summe der gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergänge (B-Zahl).....	- 62 -
Abbildung A2-21: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Merkmalskombination „AUS_RISS“	- 63 -
Abbildung A2-22: Histogramm zur Überprüfung der Häufigkeitsverteilung der Residuen	- 64 -
Abbildung A2-23: P-P-Diagramm zu den standardisierten Residuen.....	- 64 -
Abbildung A2-24: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) auf dem ersten Fahrstreifen.....	- 67 -
Abbildung A2-25: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) auf dem zweiten Fahrstreifen.....	- 68 -
Abbildung A2-26: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS) auf dem ersten Fahrstreifen	- 69 -
Abbildung A2-27: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS) auf dem zweiten Fahrstreifen	- 70 -
Abbildung A2-28: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS) auf dem ersten Fahrstreifen	- 71 -
Abbildung A2-29: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS) auf dem zweiten Fahrstreifen	- 72 -
Abbildung A3-1: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – alle Bundesländer.....	- 77 -
Abbildung A3-2: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Schleswig-Holstein (SH).....	- 82 -
Abbildung A3-3: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Niedersachsen (NI)	- 83 -
Abbildung A3-4: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Nordrhein-Westfalen (NW)	- 84 -

Abbildung A3-5: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Hessen (HE).....	- 85 -
Abbildung A3-6: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Rheinland-Pfalz (RP).....	- 86 -
Abbildung A3-7: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Baden-Württemberg (BW).....	- 87 -
Abbildung A3-8: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Bayern (BY).....	- 88 -
Abbildung A3-9: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Brandenburg (BB).....	- 89 -
Abbildung A3-10: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – alle Bundesländer.....	- 90 -
Abbildung A3-11: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Hamburg (HH).....	- 95 -
Abbildung A3-12: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Nordrhein-Westfalen (NW).....	- 96 -
Abbildung A3-13: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Berlin (BE).....	- 97 -
Abbildung A3-14: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Brandenburg (BB).....	- 98 -
Abbildung A3-15: Altersverteilung offener Erstnähte – 2-streifige BAB.....	- 100 -
Abbildung A3-16: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Splittmastixasphalt – 2-streifige BAB.....	- 101 -
Abbildung A3-17: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Gussasphalt – 2-streifige BAB.....	- 101 -
Abbildung A3-18: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Asphaltbeton – 2-streifige BAB.....	- 102 -
Abbildung A3-19: Altersverteilung offener Folgenähte – 2-streifige BAB.....	- 102 -
Abbildung A3-20: Altersverteilung offener Erstnähte – 3-streifige BAB.....	- 104 -
Abbildung A3-21: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Splittmastixasphalt – 3-streifige BAB.....	- 105 -
Abbildung A3-22: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Gussasphalt – 3-streifige BAB.....	- 105 -
Abbildung A3-23: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Asphaltbeton – 3-streifige BAB.....	- 106 -
Abbildung A3-24: Altersverteilung offener Folgenähte – 3-streifige BAB.....	- 106 -
Abbildung A3-25: Altersverteilung der seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschäden an den Arbeitsnähten.....	- 108 -
Abbildung A3-26: Altersverteilung der seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschäden an den Arbeitsnähten.....	- 108 -

Abbildung A3-27: Altersverteilung des seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschadens „ONA“	- 109 -
Abbildung A3-28: Altersverteilung des seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschadens „RISS“	- 109 -
Abbildung A3-29: Altersverteilung des seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschadens „AUS“	- 110 -
Abbildung A3-30: Häufigkeitsverteilung der Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer für das 1. Quartal 2018	- 110 -
Abbildung A3-31: Einmessungen und Berechnungspunkte für die BISAR-Berechnungen.....	- 111 -

Tabellenverzeichnis des Anhangs

Tabelle A1-1: Werte des Korrelationskoeffizienten und ihre Interpretation.....	- 2 -
Tabelle A1-2: Schadensdominanz je Nutzungsdauer und Fahrstreifen - Splittmastixasphalt	- 4 -
Tabelle A1-3: Schadensdominanz je Nutzungsdauer und Fahrstreifen - Gussasphalt	- 4 -
Tabelle A1-4: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „BIN“ 2-streifiger BAB	- 5 -
Tabelle A1-5: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „BIN“ 3-streifiger BAB	- 6 -
Tabelle A1-6: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „ONA“ 2-streifiger BAB.....	- 7 -
Tabelle A1-7: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „ONA“ 3-streifiger BAB.....	- 8 -
Tabelle A1-8: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „AUS“ 2-streifiger BAB.....	- 9 -
Tabelle A1-9: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „AUS“ 3-streifiger BAB.....	- 10 -
Tabelle A1-10: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „FLI“ 2-streifiger BAB	- 11 -
Tabelle A1-11: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „FLI“ 3-streifiger BAB	- 12 -
Tabelle A1-12: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „RISS“ 2-streifiger BAB	- 13 -
Tabelle A1-13: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „RISS“ 3-streifiger BAB	- 14 -
Tabelle A1-14: Ergebnisse der Rangkorrelationen nach Spearman für die einzelnen Lokalisierungskombinationen je TP3-Merkmal getrennt für die Fahrstreifen 2-streifiger BAB.....	- 18 -
Tabelle A1-15: Ergebnisse der Rangkorrelationen nach Spearman für die einzelnen Lokalisierungskombinationen je TP3-Merkmal getrennt für die Fahrstreifen 3-streifiger BAB.....	- 19 -
Tabelle A1-16: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Bindemittelanreicherungen“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB.....	- 20 -
Tabelle A1-17: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Bindemittelanreicherungen“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB.....	- 21 -

Tabelle A1-18: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Offene Arbeitsnähte“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB.....	- 22 -
Tabelle A1-19: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Offene Arbeitsnähte“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB.....	- 23 -
Tabelle A1-20: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Ausbrüche“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 24 -
Tabelle A1-21: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Ausbrüche“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 25 -
Tabelle A1-22: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Flickstellen“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 26 -
Tabelle A1-23: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Flickstellen“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 27 -
Tabelle A1-24: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Risse“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB	- 28 -
Tabelle A1-25: Prozentuale Anteile von Längs- und Querrissen am Gesamtrissvorkommen auf 2-streifigen BAB.....	- 28 -
Tabelle A1-26: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Risse“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB	- 29 -
Tabelle A1-27: Prozentuale Anteile von Längs- und Querrissen am Gesamtrissvorkommen auf 3-streifigen BAB.....	- 29 -
Tabelle A1-28: Prozentualer Anteil der 100m-Abschnitte mit TP3-Schäden an allen 100m-Abschnitten je Bundesland für alle Fahrstreifen	- 30 -
Tabelle A1-29: Verkehrsstärken des ersten Fahrstreifens je Bundesland (* von 2005 bis 2012).....	- 31 -
Tabelle A1-30: Prozentuale Anteile der jeweiligen Art der obersten Asphaltsschicht je Bundesland.....	- 31 -
Tabelle A1-31: Prozentuale Schadensverteilung der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die jeweilige Art der obersten Asphaltsschicht je Bundesland	- 32 -
Tabelle A1-32: Schadensverteilung auf die einzelnen Bundesländer (1m-Auswerteabschnitte) und relativer Schadensanteil je Bundesland ...	- 33 -
Tabelle A1-33: Relative Anteile der Einzelmerkmale am gesamten Schadensvorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) je Bundesland	- 33 -
Tabelle A1-34: Relative Anteile der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) an allen 100m-Abschnitten je Bundesland für alle Fahrstreifen.....	- 34 -

Tabelle A1-35: Relative Schadensverteilung des Gesamtvorkommens der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die Bundesländer (1m-Auswerteabschnitte, alle Fahrstreifen)	- 34 -
Tabelle A2-1: Kreuztabelle zu den einzelnen Merkmalskombinationen des TP3 auf allen Fahrstreifen	- 49 -
Tabelle A2-2: Kreuztabelle zu den einzelnen Merkmalskombinationen des TP3 auf dem ersten Fahrstreifen.....	- 49 -
Tabelle A2-3: Kreuztabelle zu den einzelnen Merkmalskombinationen des TP3 auf dem zweiten Fahrstreifen.....	- 49 -
Tabelle A2-4: Kreuztabelle zu den Lokalisierungen der Merkmalskombinationen des TP3 auf allen Fahrstreifen.....	- 50 -
Tabelle A2-5: Kreuztabelle zu den Lokalisierungen der Merkmalskombinationen des TP3 auf dem ersten Fahrstreifen	- 50 -
Tabelle A2-6: Kreuztabelle zu den Lokalisierungen der Merkmalskombinationen des TP3 auf dem zweiten Fahrstreifen	- 50 -
Tabelle A2-7: Vorkommen der TP3-Merkmalskombinationen nach den Lokalisierungen im Fahrstreifen.....	- 51 -
Tabelle A2-8: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zur Merkmalskombination „ONA_RISS“ (DS = Deckschicht, Rand = Naht/Fuge zur Randbefestigung, TS = Tragschicht)	- 53 -
Tabelle A2-9: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zur Merkmalskombination „FLI_RISS“ – Fahrstreifen eins (B-Zahl = ertragene Verkehrsbelastung) ..	- 58 -
Tabelle A2-10: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zur Merkmalskombination „AUS_RISS“ (DS = Deckschicht, Rand = Naht/Fuge zur Randbefestigung, TS = Tragschicht)	- 63 -
Tabelle A2-11: Relative Anteile der Merkmalskombinationen des TP3 an allen 100m-Abschnitten je Bundesland für alle Fahrstreifen	- 65 -
Tabelle A2-12: Relative Schadensverteilung des Gesamtvorkommens der Merkmalskombinationen des TP3 auf die Bundesländer (1m-Auswerteabschnitte, alle Fahrstreifen).....	- 66 -
Tabelle A2-13: Ergebnisse der Variationsanalyse zur Merkmalskombination „ONA_RISS“	- 73 -
Tabelle A2-14: Ergebnisse der Variationsanalyse zur Merkmalskombination „FLI_RISS“	- 73 -
Tabelle A2-15: Ergebnisse der Variationsanalyse zur Merkmalskombination „AUS_RISS“	- 73 -
Tabelle A3-1: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB	- 76 -
Tabelle A3-2: Anzahl projizierter Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB	- 76 -
Tabelle A3-3: Projizierte Arbeitsnähte und Nahtschäden im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB je Bundesland	- 81 -

Tabelle A3-4: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - SH	- 82 -
Tabelle A3-5: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - NI	- 83 -
Tabelle A3-6: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - NW	- 84 -
Tabelle A3-7: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - HE	- 85 -
Tabelle A3-8: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - RP	- 86 -
Tabelle A3-9: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - BW	- 87 -
Tabelle A3-10: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - BY	- 88 -
Tabelle A3-11: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - BB	- 89 -
Tabelle A3-12: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB	- 89 -
Tabelle A3-13: Anzahl projizierter Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB	- 90 -
Tabelle A3-14: Anzahl projizierter Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB je Bundesland	- 94 -
Tabelle A3-15: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - HH	- 95 -
Tabelle A3-16: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - NW	- 96 -
Tabelle A3-17: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - BE	- 97 -
Tabelle A3-18: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - BB	- 98 -
Tabelle A3-19: Anteil nahtbezogener Substanzschäden der Oberfläche - 2-streifige BAB	- 99 -
Tabelle A3-20: Unterteilung der projizierten Arbeitsnähte nach Erstnähte und Folgenähte – 2-streifige BAB (AB = Asphaltbeton, DB = Dünnenschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt, OB = Oberflächenbehandlung)	- 99 -
Tabelle A3-21: Auftreten von „ONA“ an projizierten Arbeitsnähten je Art der obersten Asphaltsschicht – 2-streifige BAB (AB = Asphaltbeton, DB = Dünnschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt, OB = Oberflächenbehandlung)	- 100 -
Tabelle A3-22: Mittelwerte der Altersverteilungen offener Arbeitsnähte nach Art der obersten Asphaltsschichten– 2-streifige BAB	- 102 -

Tabelle A3-23: Anteil nahtbezogener Substanzschäden der Oberfläche - 3-streifige BAB.....	- 103 -
Tabelle A3-24: Unterteilung der projizierten Arbeitsnähte nach Erstnähte und Folgenähte – 3-streifige BAB (AB = Asphaltbeton, DB = Dünnschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt)	- 103 -
Tabelle A3-25: Auftreten von „ONA“ an projizierten Arbeitsnähten je Art der obersten Asphaltschicht – 3-streifige BAB (AB = Asphaltbeton, DB = Dünnschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt)	- 104 -
Tabelle A3-26: Mittelwerte der Altersverteilungen offener Arbeitsnähte nach Art der obersten Asphaltschichten – 3-streifige BAB.....	- 106 -
Tabelle A3-27: Vorhandensein von Nahtschäden über die Messkampagnen	- 107 -
Tabelle A3-28: Schadensentwicklung zwischen Messkampagne 2009/2010 und 2013/2014.....	- 107 -

A1 Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche)

A1-1 Methodik des Vorgehens

Untersuchung des statistischen Zusammenhangs je Einzelmerkmal des TP3

Da die zu untersuchenden Variablen dichotom nominalskaliert vorliegen, ist nach BÜHL (2012) die Rangkorrelation nach Spearman als geeignetes Verfahren zur Berechnung der Korrelationskoeffizienten zu wählen. Bei diesem Verfahren werden den ursprünglichen x-Werten x_1, \dots, x_n Rangplätze zugeordnet, die die Werte bei größenmäßiger Sortierung aller x-Werte erhalten (FAHRMEIR ET AL. 2004). Dieselbe Vergabe der Rangplätze wird unabhängig von den x-Werten auch bei den y-Werten y_1, \dots, y_n vorgenommen.

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman (r_{SP}) wird wie folgt berechnet:

$$r_{SP} = \frac{\sum (rg(x_i) - \overline{rg}_X)(rg(y_i) - \overline{rg}_Y)}{\sqrt{\sum (rg(x_i) - \overline{rg}_X)^2 \sum (rg(y_i) - \overline{rg}_Y)^2}}$$

mit:

$rg(x_i)$ Rang des x-Wertes

$rg(y_i)$ Rang des y-Wertes

\overline{rg}_X Mittelwert der Ränge der Variable X

\overline{rg}_Y Mittelwert der Ränge der Variable Y

wobei die Mittelwerte der Ränge definiert sind durch:

$$\overline{rg}_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n rg(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i = (n+1)/2$$

$$\overline{rg}_Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n rg(y_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i = (n+1)/2$$

Der Wertebereich für den Korrelationskoeffizienten liegt bei $-1 \leq r_{SP} \leq 1$. Bei $r_{SP} > 0$ liegt ein gleichsinniger monotoner Zusammenhang vor, während bei $r_{SP} < 0$ ein gegensinniger monotoner Zusammenhang besteht. Kein monotoner Zusammenhang liegt dagegen vor, wenn $r_{SP} \approx 0$ ist.

Die Werte des Korrelationskoeffizienten können wie folgt interpretiert werden:

Werte des Korrelationskoeffizienten r_{SP}	Interpretation
$0,0 < r_{SP} \leq 0,2$	sehr geringe Korrelation
$0,2 < r_{SP} \leq 0,5$	geringe Korrelation
$0,5 < r_{SP} \leq 0,7$	mittlere Korrelation
$0,7 < r_{SP} \leq 0,9$	hohe Korrelation
$0,9 < r_{SP} \leq 1,0$	sehr hohe Korrelation

Tabelle A1-1: Werte des Korrelationskoeffizienten und ihre Interpretation

A1-2 Ergebnisse zu den Einzelmerkmalen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

A1-2-1 Ergebnisse zum netzweiten Vorkommen der TP3-Merkmale und zur Lokalisierung im Fahrstreifen

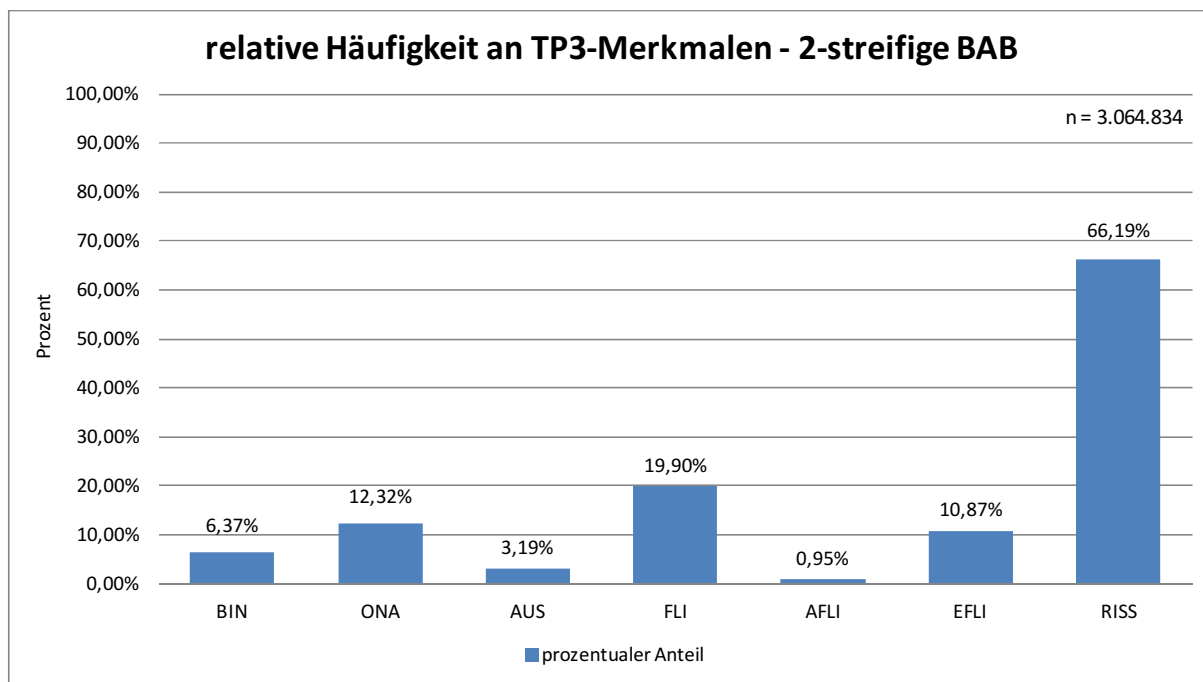


Abbildung A1-1: Prozentualer Anteil der einzelnen TP3-Schadensmerkmale an allen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) von 2-streifigen BAB

Die Summe der prozentualen Anteile jedes Schadensmerkmals übersteigt die Summe der TP3-Schäden gesamt, da mehrere Merkmale zusammen in einem 1m-Auswerteabschnitt vorkommen können.

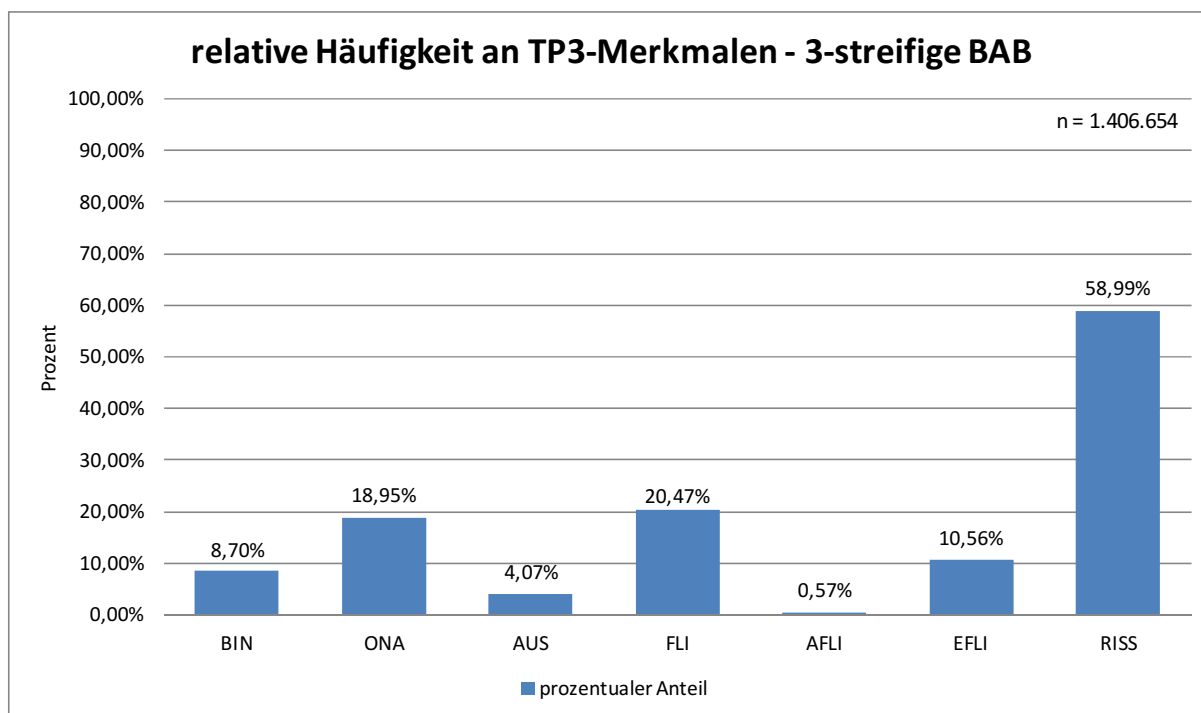


Abbildung A1-2: Prozentualer Anteil der einzelnen TP3-Schadensmerkmale an allen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) von 3-streifigen BAB

Die Summe der prozentualen Anteile jedes Schadensmerkmals übersteigt die Summe der TP3-Schäden gesamt, da mehrere Merkmale zusammen in einem 1m-Auswerteabschnitt vorkommen können.

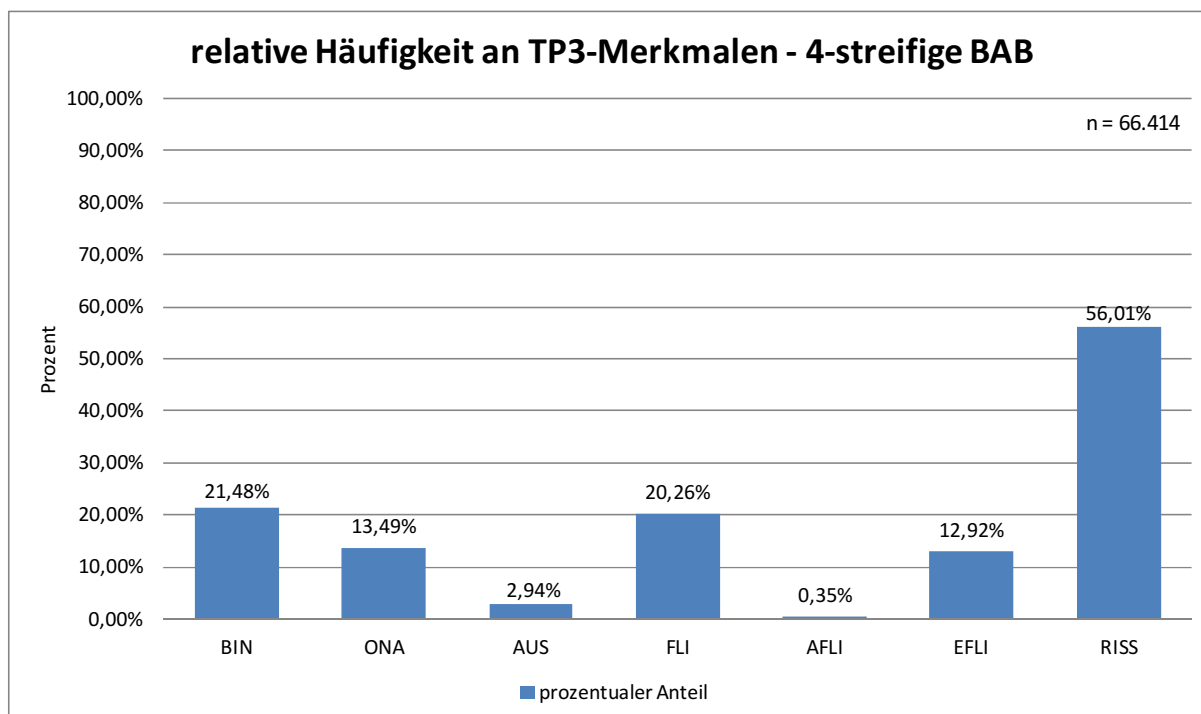


Abbildung A1-3: Prozentualer Anteil der einzelnen TP3-Schadensmerkmale an allen Schäden der Substanzmerkmale (Oberfläche) von 4-streifigen BAB

Die Summe der prozentualen Anteile jedes Schadensmerkmals übersteigt die Summe der TP3-Schäden gesamt, da mehrere Merkmale zusammen in einem 1m-Auswerteabschnitt vorkommen können.

Fahrstreifen	Nutzungsdauer	dominante Schäden
2	5	59,6% RISS, 41,6% ONA
1	9	51,7% RISS, 39,0% ONA
1	10	61,1% RISS, 42,0% FLI
1	11	73,9% RISS, 19,5% ONA
1	12	74,5% RISS, 23,1% FLI
1	19	61,6% RISS, 45,6% FLI

Tabelle A1-2: Schadensdominanz je Nutzungsdauer und Fahrstreifen - Splittmastixasphalt

Fahrstreifen	Nutzungsdauer	dominante Schäden
3	2	79,1% ONA, 15,6% RISS
1	3	65,8% RISS, 45,0% ONA
2	3	69,3% RISS, 26,2% BIN
2	4	93,7% BIN, 4,7% RISS
3	4	93,0% BIN, 8,3% FLI
1	6	56,9% BIN, 23,5% FLI
3	6	44,6% FLI, 26,2% RISS
1	9	57,7% BIN, 20,5% RISS

Tabelle A1-3: Schadensdominanz je Nutzungsdauer und Fahrstreifen - Gussasphalt

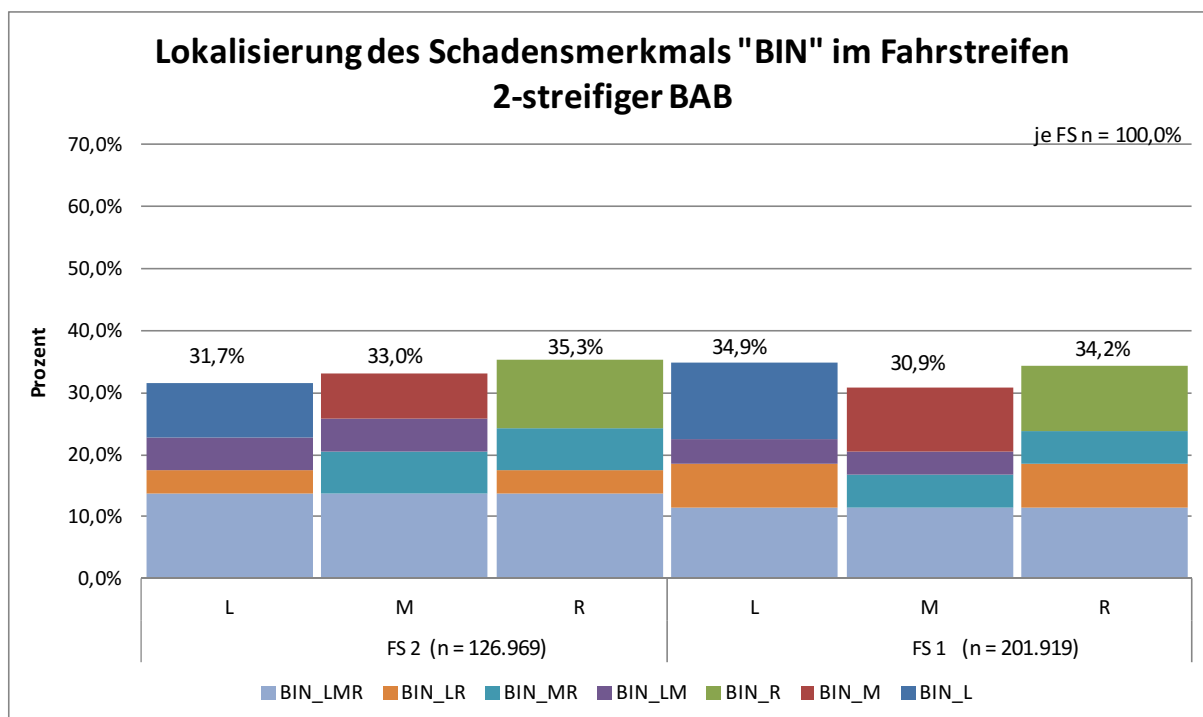


Abbildung A1-4: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 2			FS 1		
	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>R</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>R</i>
BIN_L	8,9%	7,3%	11,0%	12,5%	10,3%	10,5%
BIN_M	5,3%	5,3%	3,9%	3,9%	3,9%	5,3%
BIN_R	3,9%	6,8%	6,8%	7,1%	5,3%	5,3%
BIN_LM	13,7%	13,7%	13,7%	11,4%	11,4%	11,4%
BIN_LR	3,9%	3,9%	3,9%	7,1%	7,1%	7,1%
BIN_MR	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%	5,3%
Summe	31,7%	33,0%	35,3%	34,9%	30,9%	34,2%

Tabelle A1-4: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „BIN“ 2-streifiger BAB

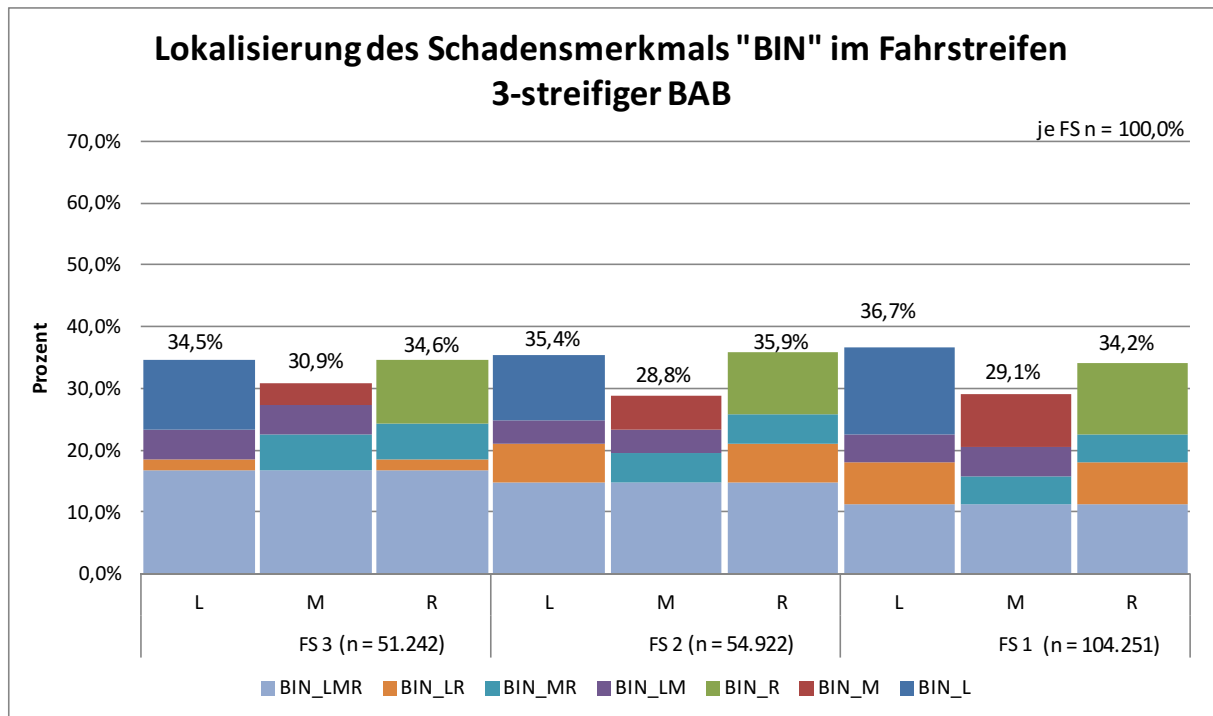


Abbildung A1-5: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 3			FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R
BIN_L	11,2%			10,6%			14,1%		
BIN_M		3,6%			5,4%			8,5%	
BIN_R			10,1%			10,0%			11,6%
BIN_LM	4,7%	4,7%		3,7%	3,7%		4,7%	4,7%	
BIN_MR		5,8%	5,8%		4,8%	4,8%		4,7%	4,7%
BIN_LR	1,9%		1,9%	6,3%		6,3%	6,8%		6,8%
BIN_LMR	16,7%	16,7%	16,7%	14,8%	14,8%	14,8%	11,1%	11,1%	11,1%
Summe	34,5%	30,9%	34,6%	35,4%	28,8%	35,9%	36,7%	29,1%	34,2%

Tabelle A1-5: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „BIN“ 3-streifiger BAB

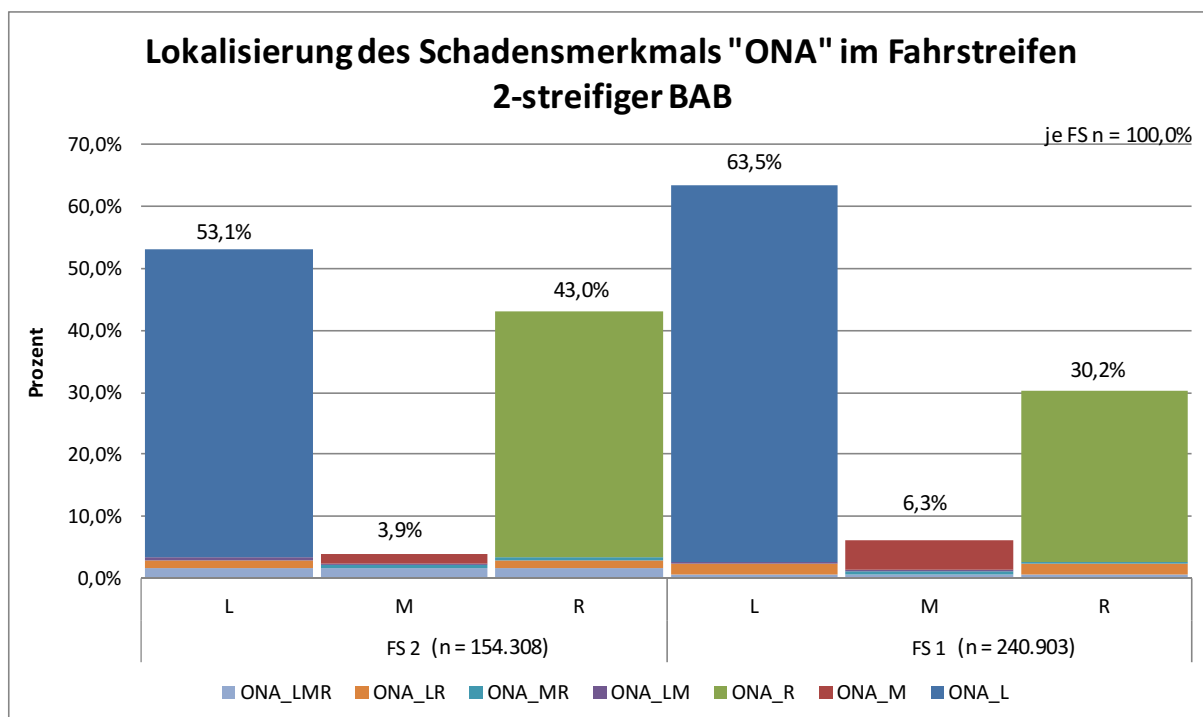


Abbildung A1-6: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R
ONA_L	49,7%			60,8%		
ONA_M		1,4%			4,8%	
ONA_R			39,6%			27,6%
ONA_LM	0,5%	0,5%		0,4%	0,4%	
ONA_MR		0,5%	0,5%		0,3%	0,3%
ONA_LR	1,4%		1,4%	1,6%		1,6%
ONA_LMR	1,5%	1,5%	1,5%	0,7%	0,7%	0,7%
Summe	53,1%	3,9%	43,0%	63,5%	6,3%	30,2%

Tabelle A1-6: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „ONA“ 2-streifiger BAB

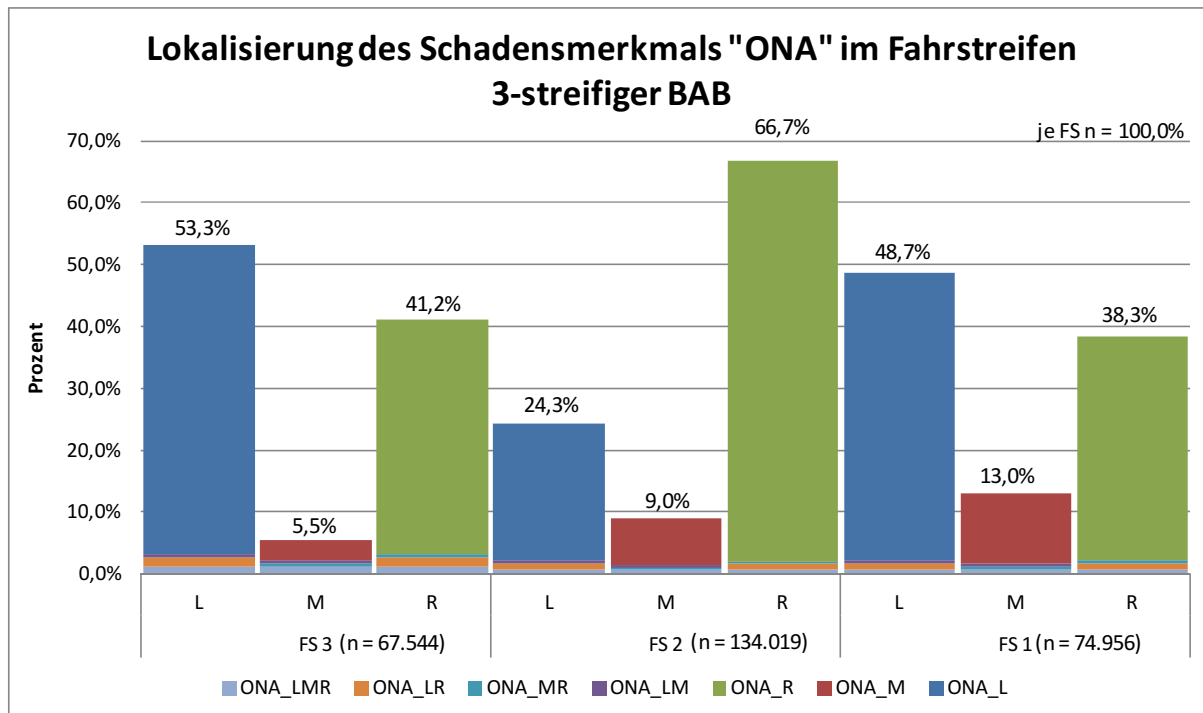


Abbildung A1-7: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 3			FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R
ONA_L	50,1%			22,3%			46,4%		
ONA_M		3,5%			7,7%			11,3%	
ONA_R			38,0%			64,6%			36,3%
ONA_LM	0,4%	0,4%		0,4%	0,4%		0,6%	0,6%	
ONA_MR		0,4%	0,4%		0,3%	0,3%		0,4%	0,4%
ONA_LR	1,5%		1,5%	1,1%		1,1%	0,9%		0,9%
ONA_LMR	1,3%	1,3%	1,3%	0,7%	0,7%	0,7%	0,8%	0,8%	0,8%
Summe	53,3%	5,5%	41,2%	24,3%	9,0%	66,7%	48,7%	13,0%	38,3%

Tabelle A1-7: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „ONA“ 3-streifiger BAB

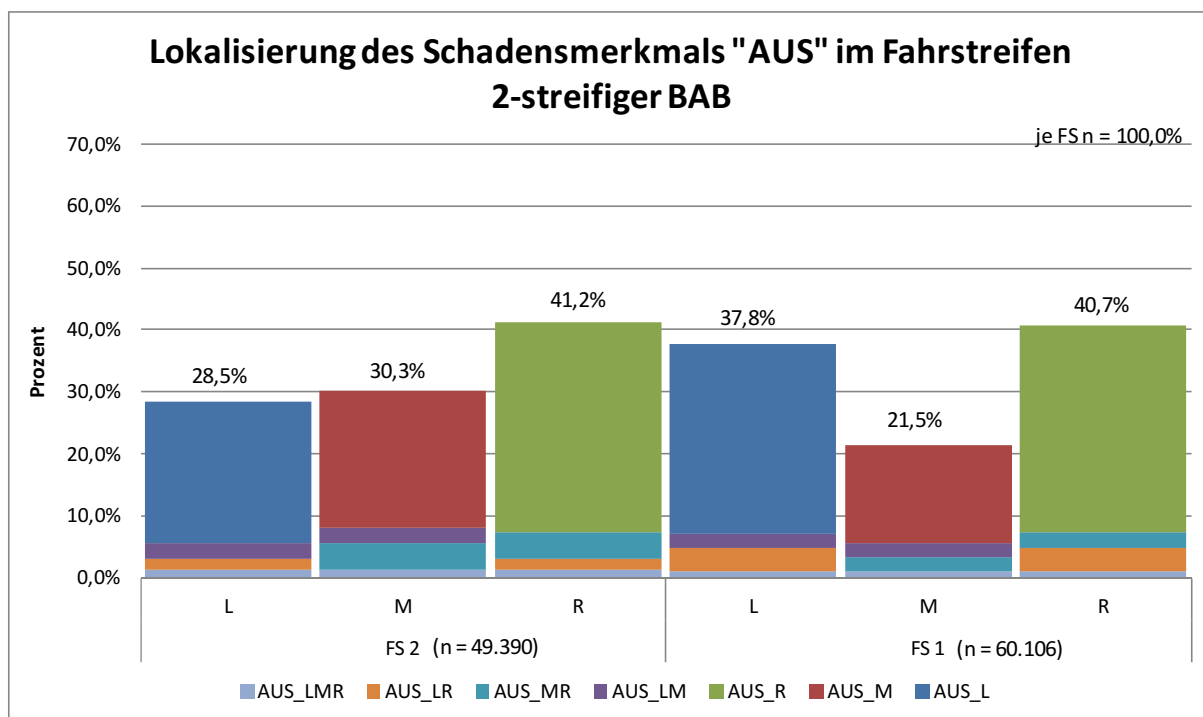


Abbildung A1-8: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R
AUS_L	23,0%			30,8%		
AUS_M		22,1%			16,0%	
AUS_R			33,9%			33,5%
AUS_LM	2,6%	2,6%		2,2%	2,2%	
AUS_MR		4,3%	4,3%		2,4%	2,4%
AUS_LR	1,6%		1,6%	3,9%		3,9%
AUS_LMR	1,4%	1,4%	1,4%	1,0%	1,0%	1,0%
Summe	28,5%	30,3%	41,2%	37,8%	21,5%	40,7%

Tabelle A1-8: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „AUS“ 2-streifiger BAB

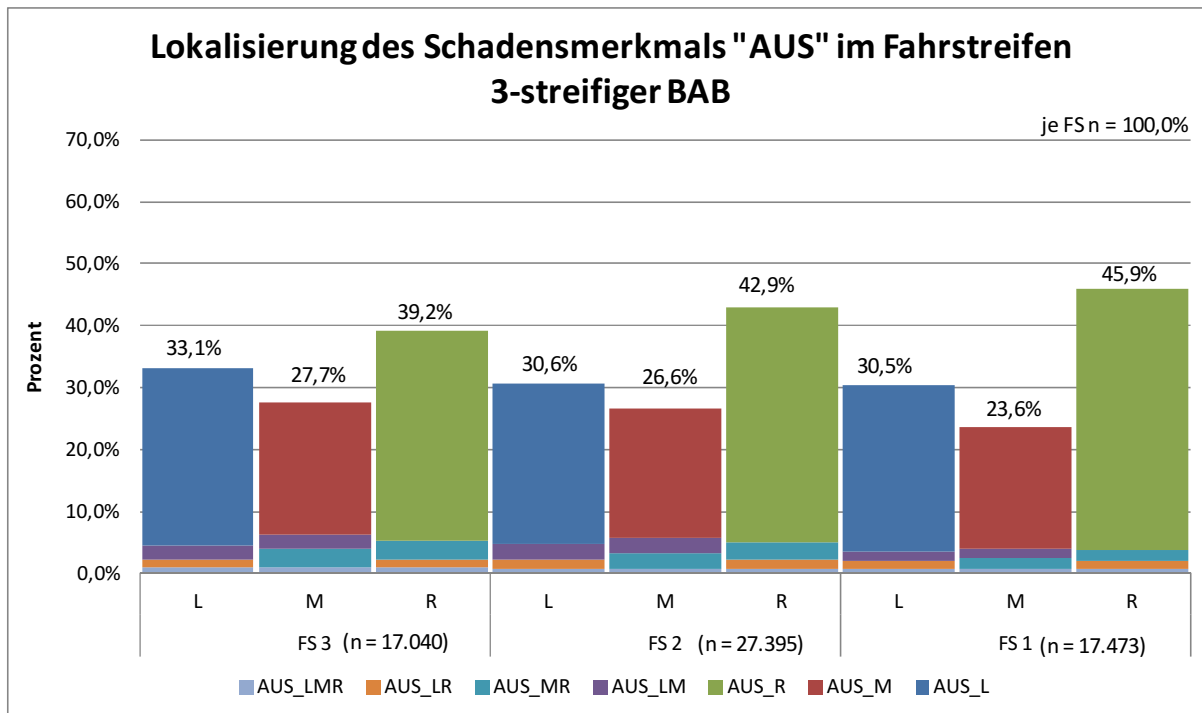


Abbildung A1-9: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 3			FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R
AUS_L	28,7%			25,9%			27,1%		
AUS_M		21,5%			20,9%			19,7%	
AUS_R			33,9%			38,0%			42,1%
AUS_LM	2,1%	2,1%		2,4%	2,4%		1,5%	1,5%	
AUS_MR		3,0%	3,0%		2,5%	2,5%		1,9%	1,9%
AUS_LR	1,3%		1,3%	1,6%		1,6%	1,3%		1,3%
AUS_LMR	1,0%	1,0%	1,0%	0,8%	0,8%	0,8%	0,6%	0,6%	0,6%
Summe	33,1%	27,7%	39,2%	30,6%	26,6%	42,9%	30,5%	23,6%	45,9%

Tabelle A1-9: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „AUS“ 3-streifiger BAB

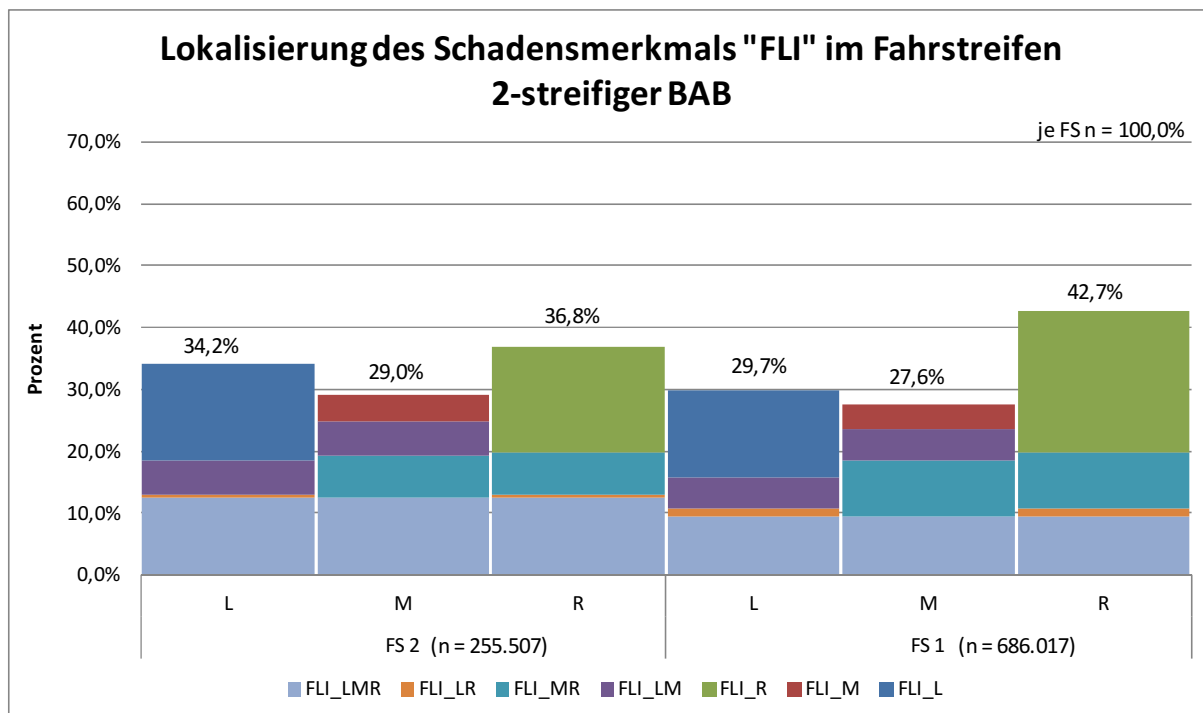


Abbildung A1-10: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R
FLI_L	15,7%			14,1%		
FLI_M		4,1%			4,0%	
FLI_R			17,0%			22,8%
FLI_LM	5,6%	5,6%		5,0%	5,0%	
FLI_MR		6,9%	6,9%		9,2%	9,2%
FLI_LR	0,4%		0,4%	1,3%		1,3%
FLI_LMR	12,5%	12,5%	12,5%	9,4%	9,4%	9,4%
Summe	34,2%	29,0%	36,8%	29,7%	27,6%	42,7%

Tabelle A1-10: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „FLI“ 2-streifiger BAB

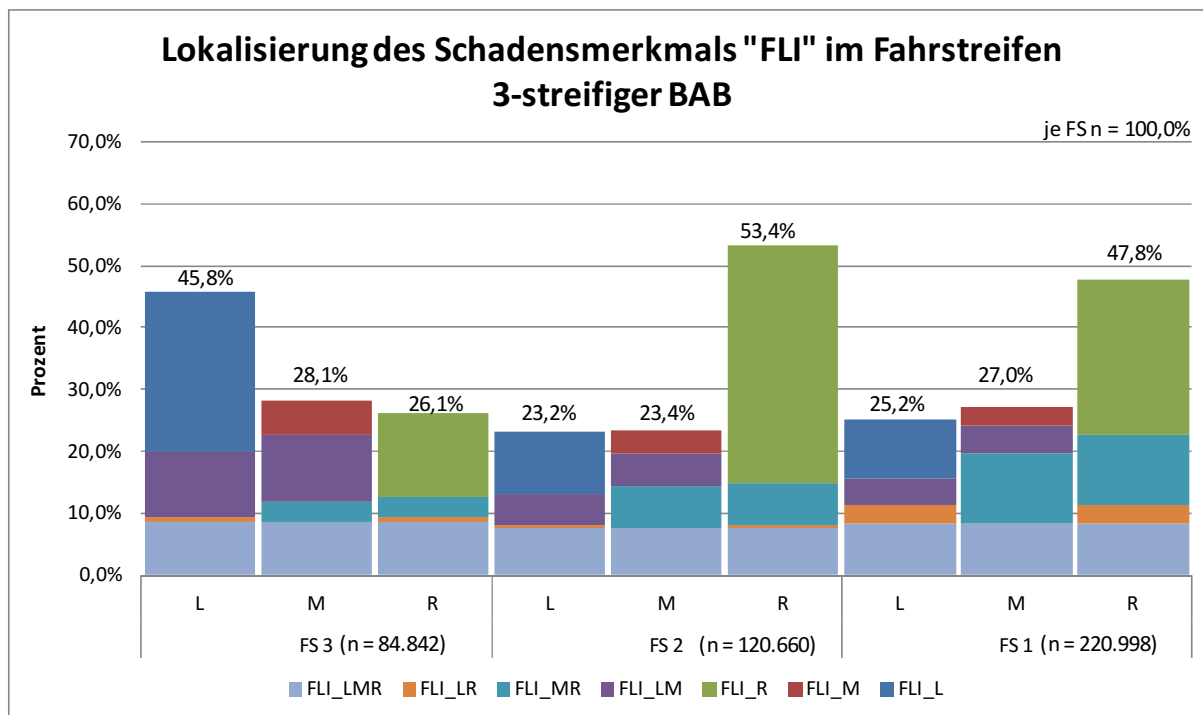


Abbildung A1-11: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 3			FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R
FLI_L	25,8%			10,0%			9,5%		
FLI_M		5,5%			3,9%			2,9%	
FLI_R			13,4%			38,7%			25,2%
FLI_LM	10,6%	10,6%		5,1%	5,1%		4,4%	4,4%	
FLI_MR		3,3%	3,3%		6,7%	6,7%		11,3%	11,3%
FLI_LR	0,7%		0,7%	0,4%		0,4%	2,9%		2,9%
FLI_LMR	8,6%	8,6%	8,6%	7,7%	7,7%	7,7%	8,4%	8,4%	8,4%
Summe	45,8%	28,1%	26,1%	23,2%	23,4%	53,4%	25,2%	27,0%	47,8%

Tabelle A1-11: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „FLI“ 3-streifigen BAB

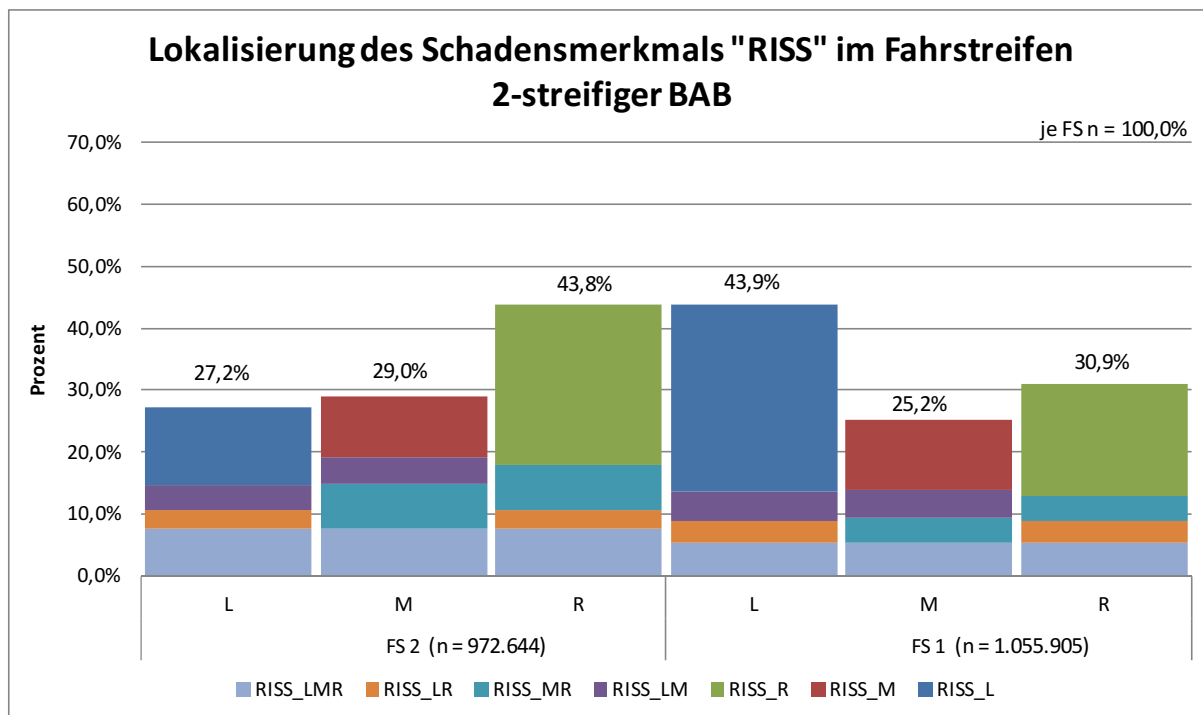


Abbildung A1-12: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ je Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R
RISS_L	12,5%			30,3%		
RISS_M		9,9%			11,3%	
RISS_R			26,0%			18,1%
RISS_LM	4,2%	4,2%		4,7%	4,7%	
RISS_MR		7,3%	7,3%		4,0%	4,0%
RISS_LR	3,0%		3,0%	3,6%		3,6%
RISS_LMR	7,6%	7,6%	7,6%	5,3%	5,3%	5,3%
Summe	27,2%	29,0%	43,8%	43,9%	25,2%	30,9%

Tabelle A1-12: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „RISS“ 2-streifiger BAB

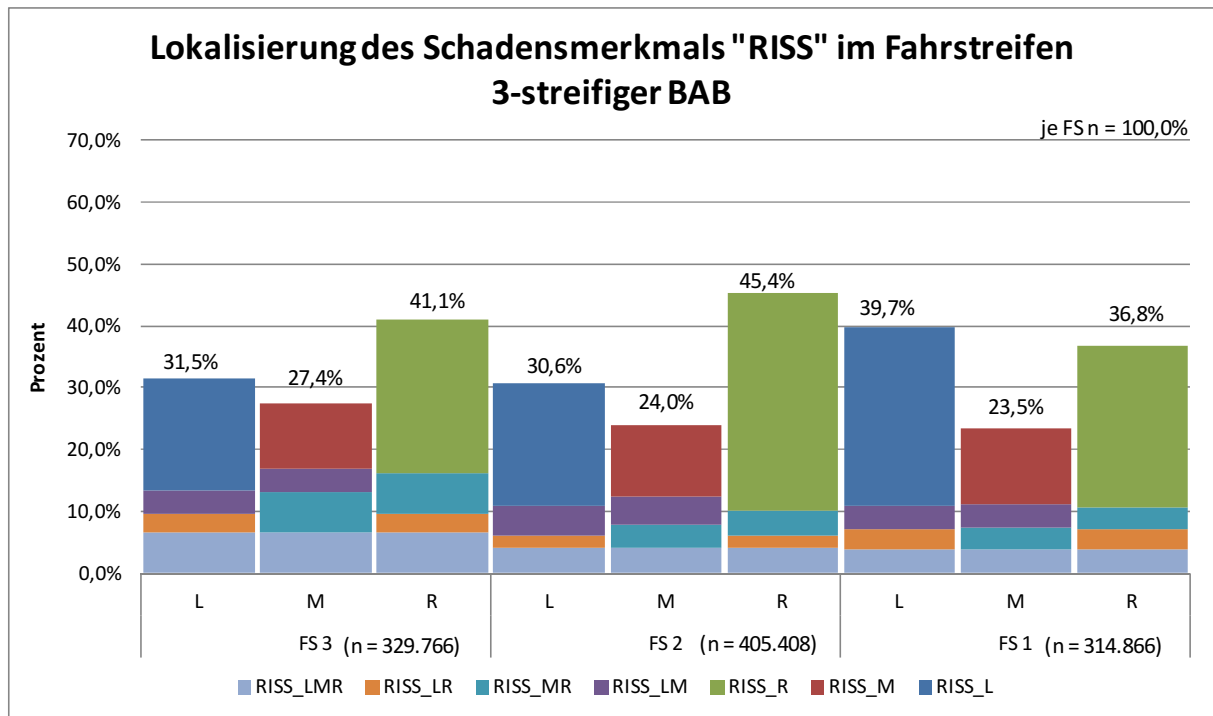


Abbildung A1-13: Lokalisierung des Einzelmerkmals „Risse“ je Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Die Prozentzahlen über den Säulen geben die relative Summe des Vorkommens je Lokalisierung im Fahrstreifen wieder und ergeben je Fahrstreifen 100,0%.

Lokalisierung Einzelmerkmal	FS 3			FS 2			FS 1		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R
RISS_L	18,1%			19,8%			28,7%		
RISS_M		10,6%			11,5%			12,3%	
RISS_R			24,9%			35,3%			26,2%
RISS_LM	3,8%	3,8%		4,6%	4,6%		3,9%	3,9%	
RISS_MR		6,6%	6,6%		3,9%	3,9%		3,6%	3,6%
RISS_LR	3,1%		3,1%	2,2%		2,2%	3,3%		3,3%
RISS_LMR	6,5%	6,5%	6,5%	4,0%	4,0%	4,0%	3,7%	3,7%	3,7%
Summe	31,5%	27,4%	41,1%	30,6%	24,0%	45,4%	39,7%	23,5%	36,8%

Tabelle A1-13: Prozentuales Vorkommen der Lokalisierungen im Fahrstreifen für das Einzelmerkmal „RISS“ 3-streifigen BAB

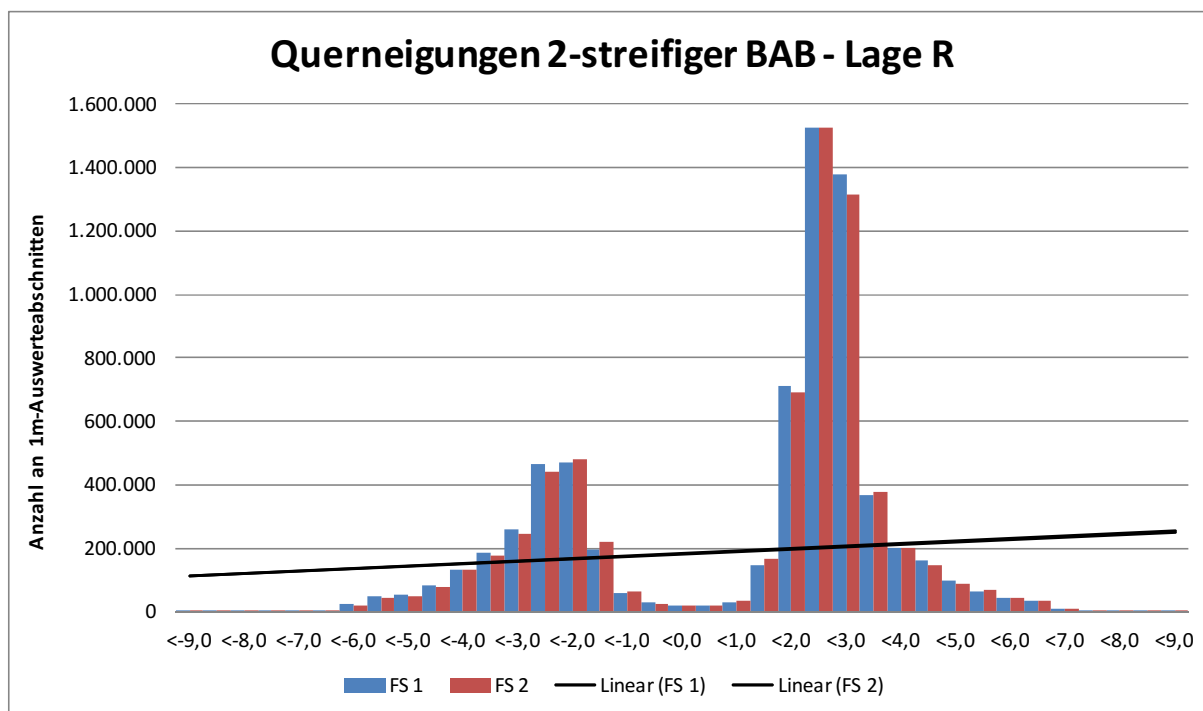


Abbildung A1-14: Querneigungen der Fahrstreifen 2-streifiger BAB in Stationierungsrichtung (Lage R)

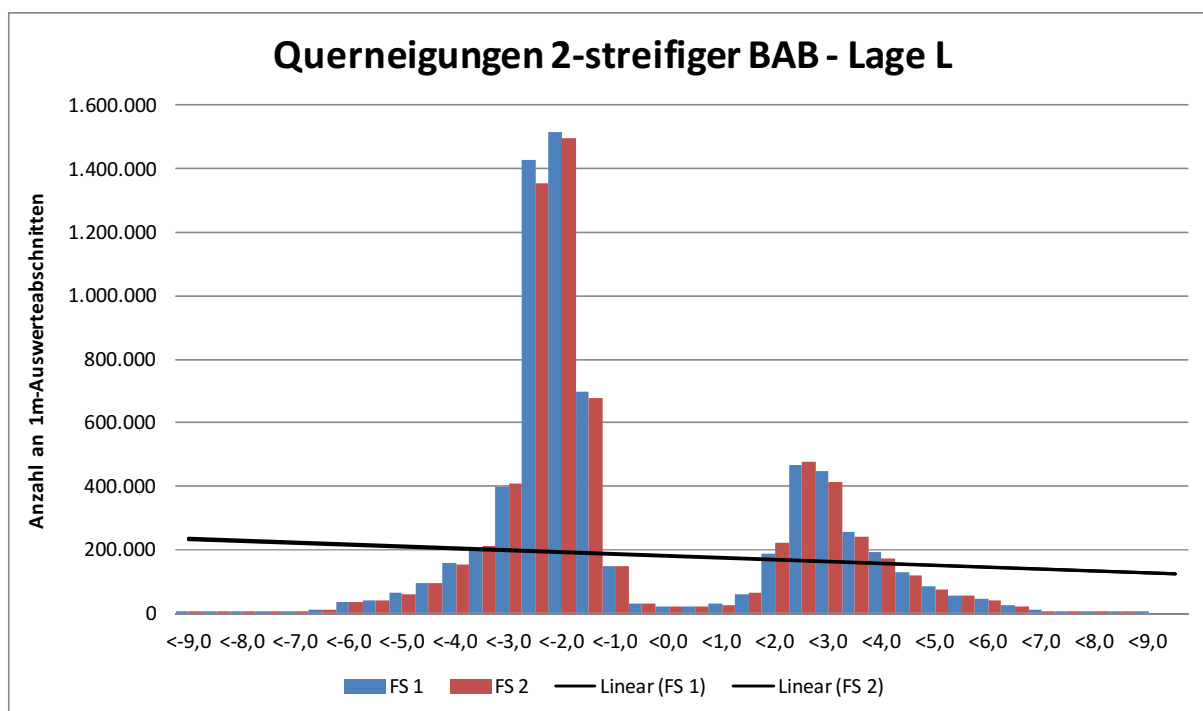


Abbildung A1-15: Querneigungen der Fahrstreifen 2-streifiger BAB gegen Stationierungsrichtung (Lage L)

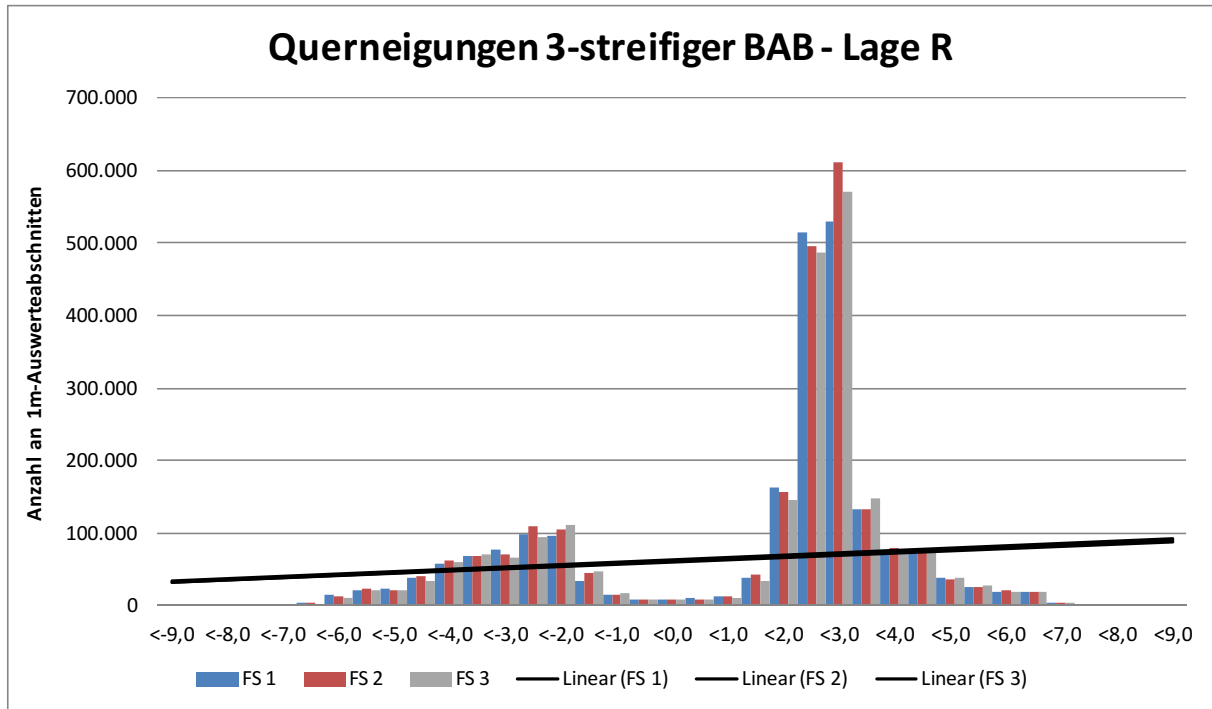


Abbildung A1-16: Querneigungen der Fahrstreifen 3-streifiger BAB in Stationierungsrichtung (Lage R)

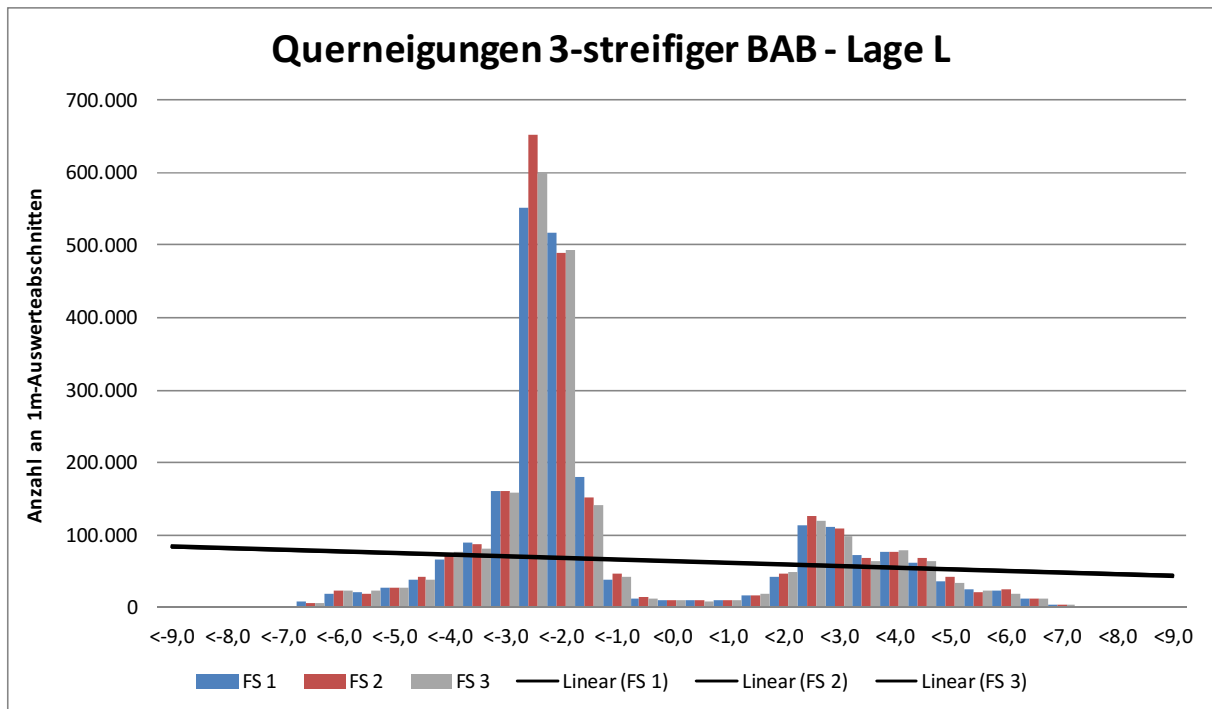


Abbildung A1-17: Querneigungen der Fahrstreifen 3-streifiger BAB gegen Stationierungsrichtung (Lage L)

A1-2-2 Ergebnisse der statistischen Zusammenhangsanalyse

In der nachfolgenden Tabelle A1-14 und Tabelle A1-15 sind die Ergebnisse der Rangkorrelationen nach Spearman für die jeweiligen Lokalisierungskombinationen der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) dargestellt.

FS	Merkmal	r_{SP}	Zusammenfassung
1	BIN_L+M	0,446	geringe Korrelation
	BIN_M+R	0,493	geringe Korrelation
	BIN_L+R	0,514	mittlere Korrelation
1	ONA_L+M	0,032	sehr geringe Korrelation
	ONA_M+R	0,061	sehr geringe Korrelation
	ONA_L+R	-0,009	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
1	AUS_L+M	0,102	sehr geringe Korrelation
	AUS_M+R	0,103	sehr geringe Korrelation
	AUS_L+R	0,112	sehr geringe Korrelation
1	FLI_L+M	0,439	geringe Korrelation
	FLI_M+R	0,473	geringe Korrelation
	FLI_L+R	0,187	sehr geringe Korrelation
1	RISS_L+M	0,054	sehr geringe Korrelation
	RISS_M+R	0,143	sehr geringe Korrelation
	RISS_L+R	-0,069	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
2	BIN_L+M	0,571	mittlere Korrelation
	BIN_M+R	0,585	mittlere Korrelation
	BIN_L+R	0,508	mittlere Korrelation
2	ONA_L+M	0,128	sehr geringe Korrelation
	ONA_M+R	0,146	sehr geringe Korrelation
	ONA_L+R	0,006	sehr geringe Korrelation
2	AUS_L+M	0,124	sehr geringe Korrelation
	AUS_M+R	0,148	sehr geringe Korrelation
	AUS_L+R	0,076	sehr geringe Korrelation
2	FLI_L+M	0,547	mittlere Korrelation
	FLI_M+R	0,565	mittlere Korrelation

FS	Merkmal	r_{SP}	Zusammenfassung
	FLI_L+R	0,316	geringe Korrelation
2	RISS_L+M	0,175	sehr geringe Korrelation
	RISS_M+R	0,072	sehr geringe Korrelation
	RISS_L+R	-0,091	sehr geringe Korrelation, gegenläufig

Tabelle A1-14: Ergebnisse der Rangkorrelationen nach Spearman für die einzelnen Lokalisierungskombinationen je TP3-Merkmal getrennt für die Fahrstreifen 2-streifiger BAB

FS	Merkmal	r_{SP}	Zusammenfassung
1	BIN_L+M	0,466	geringe Korrelation
	BIN_M+R	0,467	geringe Korrelation
	BIN_L+R	0,465	geringe Korrelation
1	ONA_L+M	0,015	sehr geringe Korrelation
	ONA_M+R	0,017	sehr geringe Korrelation
	ONA_L+R	-0,029	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
1	AUS_L+M	0,069	sehr geringe Korrelation
	AUS_M+R	0,065	sehr geringe Korrelation
	AUS_L+R	0,038	sehr geringe Korrelation
1	FLI_L+M	0,424	geringe Korrelation
	FLI_M+R	0,466	geringe Korrelation
	FLI_L+R	0,202	sehr geringe Korrelation
1	RISS_L+M	0,069	sehr geringe Korrelation
	RISS_M+R	0,075	sehr geringe Korrelation
	RISS_L+R	-0,079	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
2	BIN_L+M	0,567	mittlere Korrelation
	BIN_M+R	0,598	mittlere Korrelation
	BIN_L+R	0,576	mittlere Korrelation
2	ONA_L+M	0,034	sehr geringe Korrelation
	ONA_M+R	-0,024	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
	ONA_L+R	-0,066	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
2	AUS_L+M	0,097	sehr geringe Korrelation

FS	Merkmal	r_{SP}	Zusammenfassung
	AUS_M+R	0,082	sehr geringe Korrelation
	AUS_L+R	0,047	sehr geringe Korrelation
2	FLI_L+M	0,524	mittlere Korrelation
	FLI_M+R	0,357	geringe Korrelation
	FLI_L+R	0,164	sehr geringe Korrelation
2	RISS_L+M	0,141	sehr geringe Korrelation
	RISS_M+R	-0,017	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
	RISS_L+R	-0,163	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
3	BIN_L+M	0,641	mittlere Korrelation
	BIN_M+R	0,675	mittlere Korrelation
	BIN_L+R	0,516	mittlere Korrelation
3	ONA_L+M	0,067	sehr geringe Korrelation
	ONA_M+R	0,089	sehr geringe Korrelation
	ONA_L+R	-0,027	sehr geringe Korrelation, gegenläufig
3	AUS_L+M	0,091	sehr geringe Korrelation
	AUS_M+R	0,108	sehr geringe Korrelation
	AUS_L+R	0,049	sehr geringe Korrelation
3	FLI_L+M	0,497	geringe Korrelation
	FLI_M+R	0,405	geringe Korrelation
	FLI_L+R	0,209	geringe Korrelation
3	RISS_L+M	0,127	sehr geringe Korrelation
	RISS_M+R	0,137	sehr geringe Korrelation
	RISS_L+R	-0,070	sehr geringe Korrelation, gegenläufig

Tabelle A1-15: Ergebnisse der Rangkorrelationen nach Spearman für die einzelnen Lokalisierungskombinationen je TP3-Merkmal getrennt für die Fahrstreifen 3-streifiger BAB

A1-2-3 Ergebnisse zum räumlichen Schadensausmaß der TP3-Merkmale

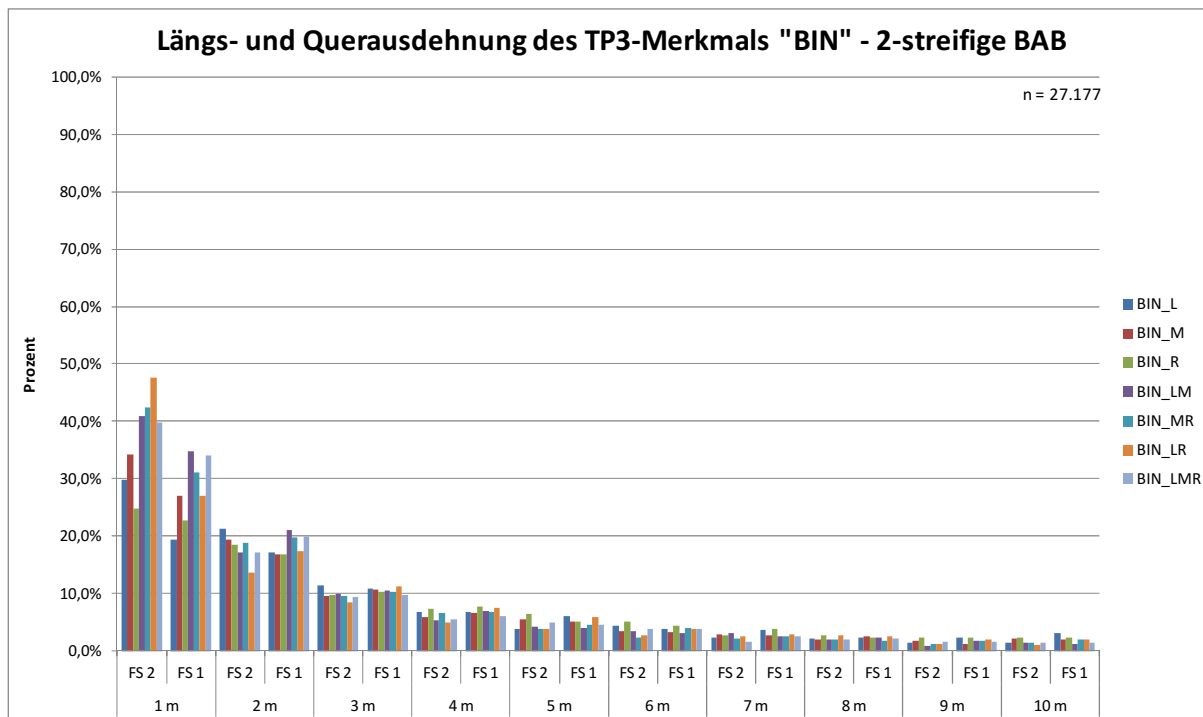


Abbildung A1-18: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen	
	FS 1	FS 2
BIN_L	75,6%	84,7%
BIN_M	78,2%	87,0%
BIN_R	77,9%	82,5%
BIN_LM	88,6%	88,3%
BIN_MR	84,5%	90,5%
BIN_LR	82,3%	88,9%
BIN_LMR	86,4%	87,3%

Tabelle A1-16: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmal „Bindemittelanreicherungen“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB

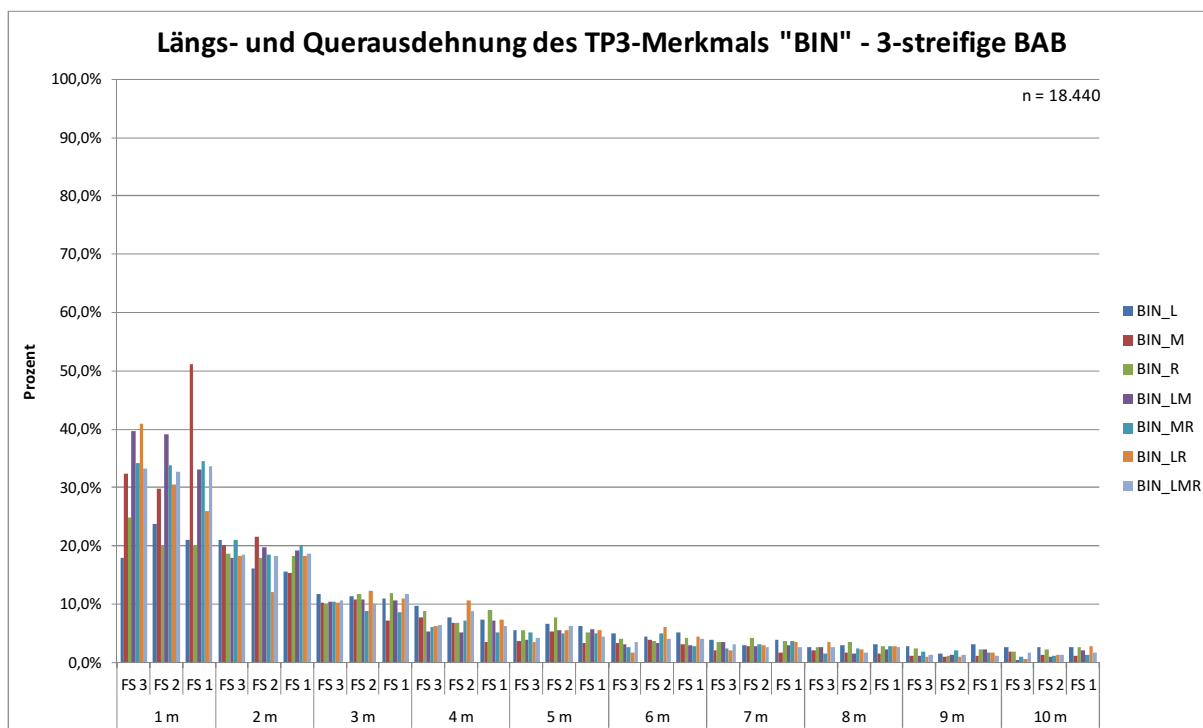


Abbildung A1-19: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen		
	FS 1	FS 2	FS 3
BIN_L	78,8%	80,1%	82,6%
BIN_M	89,1%	85,2%	84,8%
BIN_R	80,1%	79,2%	82,6%
BIN_LM	88,3%	89,9%	88,3%
BIN_MR	85,9%	87,1%	86,4%
BIN_LR	83,3%	84,7%	88,0%
BIN_LMR	86,9%	87,1%	85,3%

Tabelle A1-17: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Bindemittelanreicherungen“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB

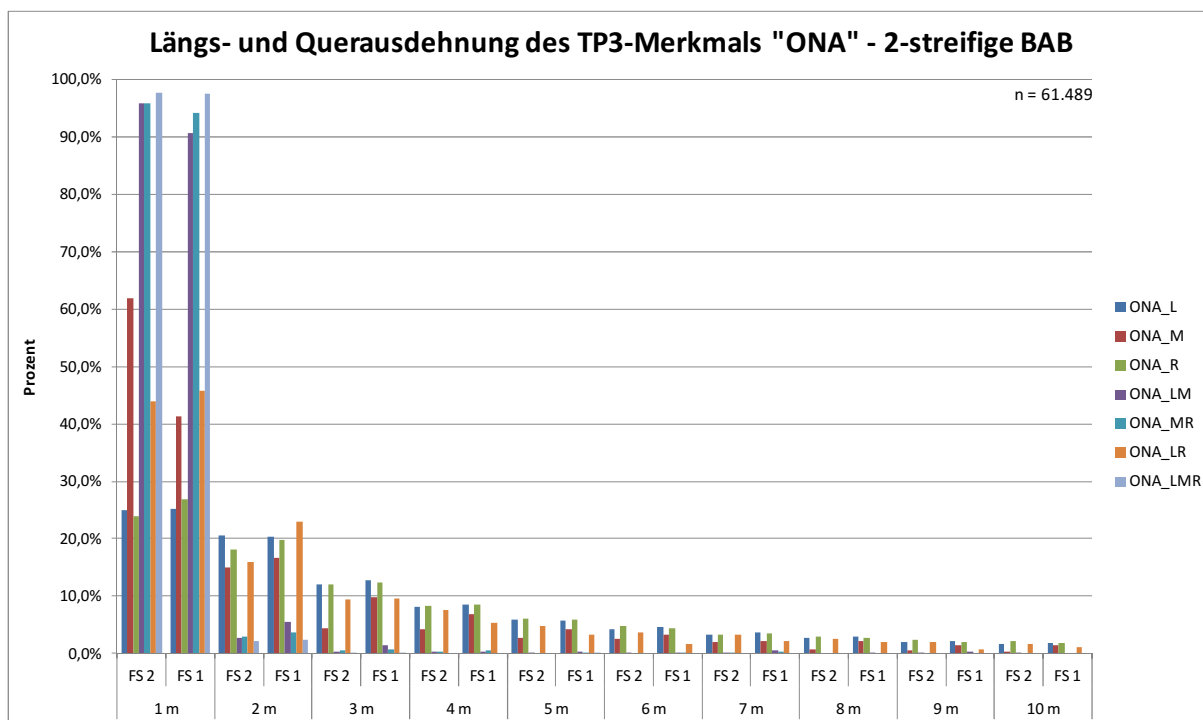


Abbildung A1-20: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen	
	FS 1	FS 2
ONA_L	87,7%	85,7%
ONA_M	89,7%	94,4%
ONA_R	88,1%	84,3%
ONA_LM	99,8%	99,8%
ONA_MR	99,9%	100,0%
ONA_LR	94,5%	95,0%
ONA_LMR	100,0%	100,0%

Tabelle A1-18: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Offene Arbeitsnähte“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB

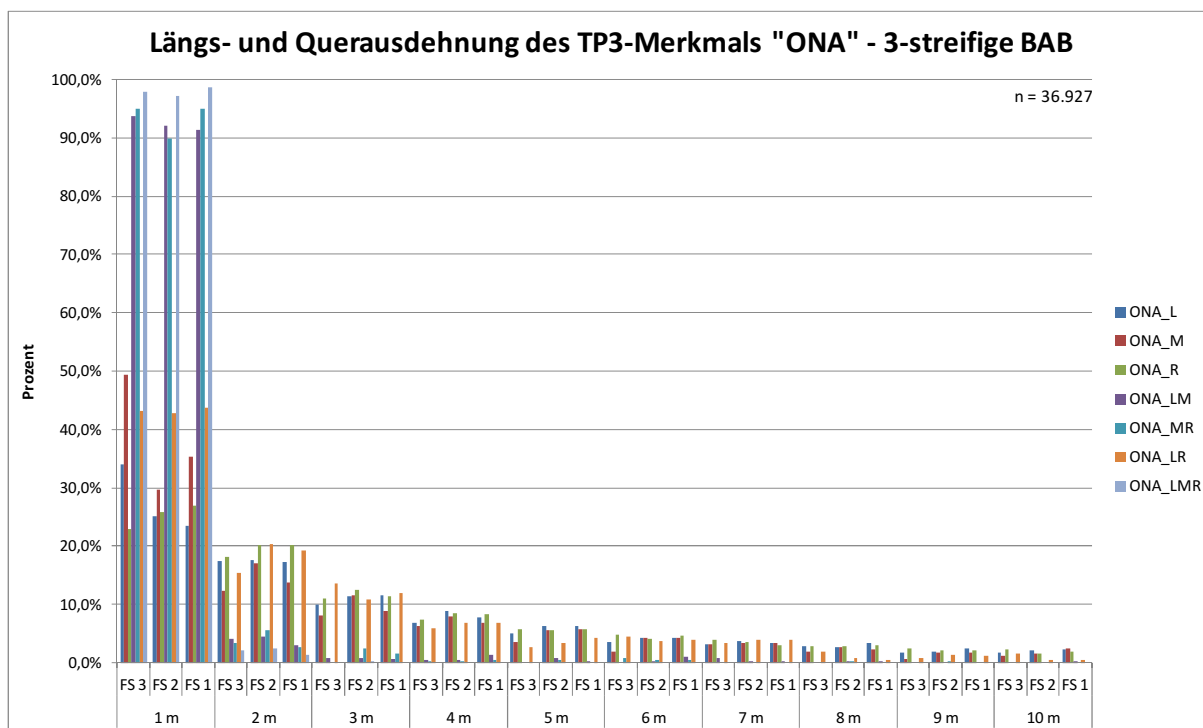


Abbildung A1-21: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen		
	FS 1	FS 2	FS 3
ONA_L	82,3%	83,9%	86,5%
ONA_M	84,8%	85,3%	88,6%
ONA_R	87,3%	86,9%	81,8%
ONA_LM	99,0%	99,7%	100,0%
ONA_MR	100,0%	100,0%	99,6%
ONA_LR	96,1%	94,5%	92,9%
ONA_LMR	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle A1-19: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Offene Arbeitsnähte“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB

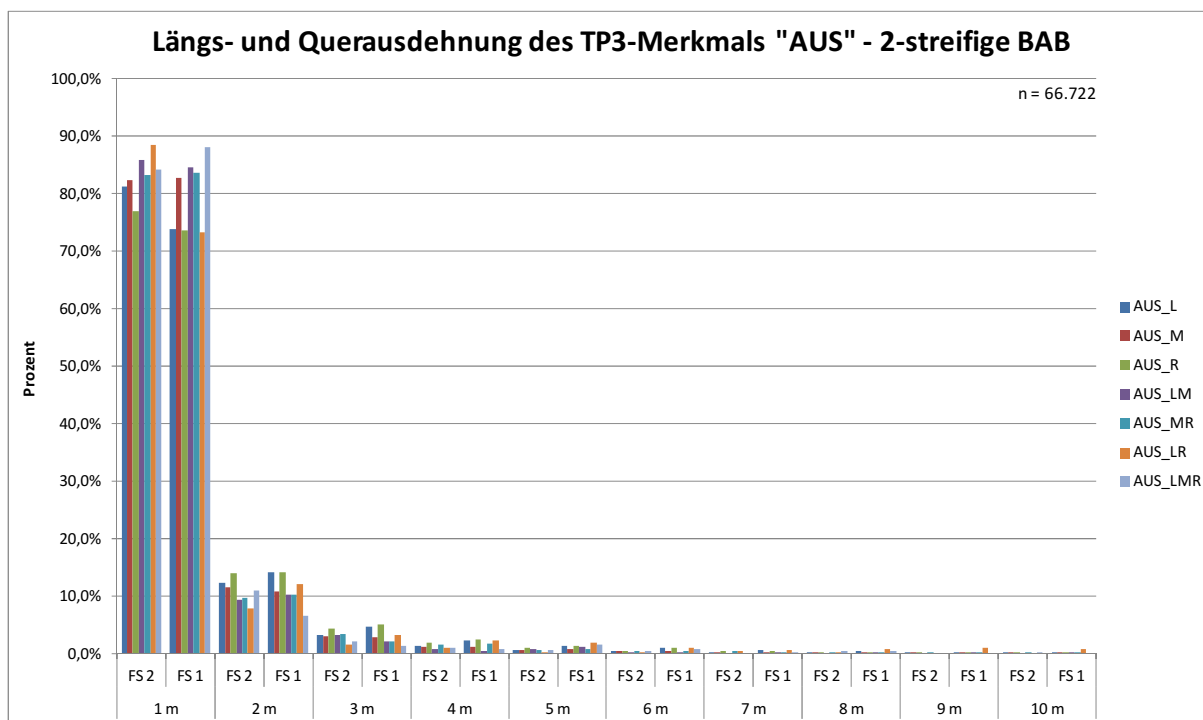


Abbildung A1-22: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen	
	FS 1	FS 2
AUS_L	98,7%	99,7%
AUS_M	99,4%	99,8%
AUS_R	98,9%	99,5%
AUS_LM	99,6%	100,0%
AUS_MR	99,7%	99,6%
AUS_LR	96,9%	99,9%
AUS_LMR	100,0%	99,8%

Tabelle A1-20: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Ausbrüche“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB

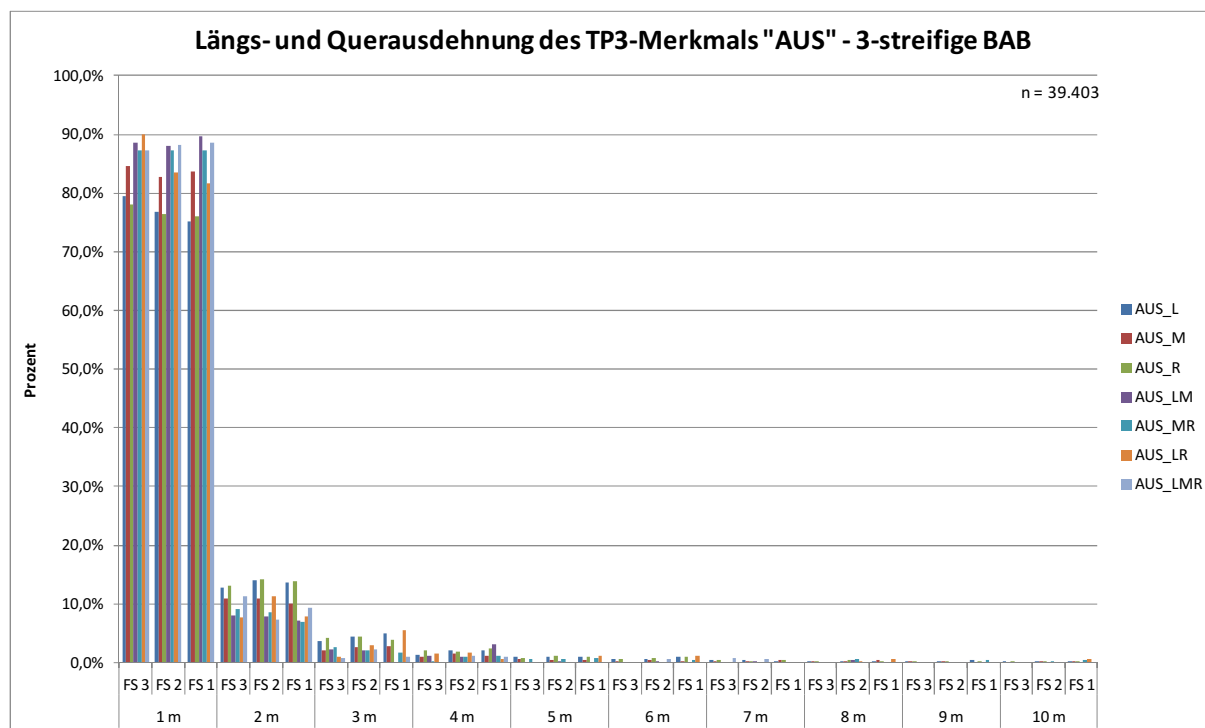


Abbildung A1-23: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen		
	FS 1	FS 2	FS 3
AUS_L	98,9%	99,6%	99,7%
AUS_M	99,1%	99,3%	99,7%
AUS_R	98,9%	99,6%	99,5%
AUS_LM	100,0%	99,8%	100,0%
AUS_MR	99,2%	100,0%	99,8%
AUS_LR	99,4%	99,7%	100,0%
AUS_LMR	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle A1-21: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Ausbrüche“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB

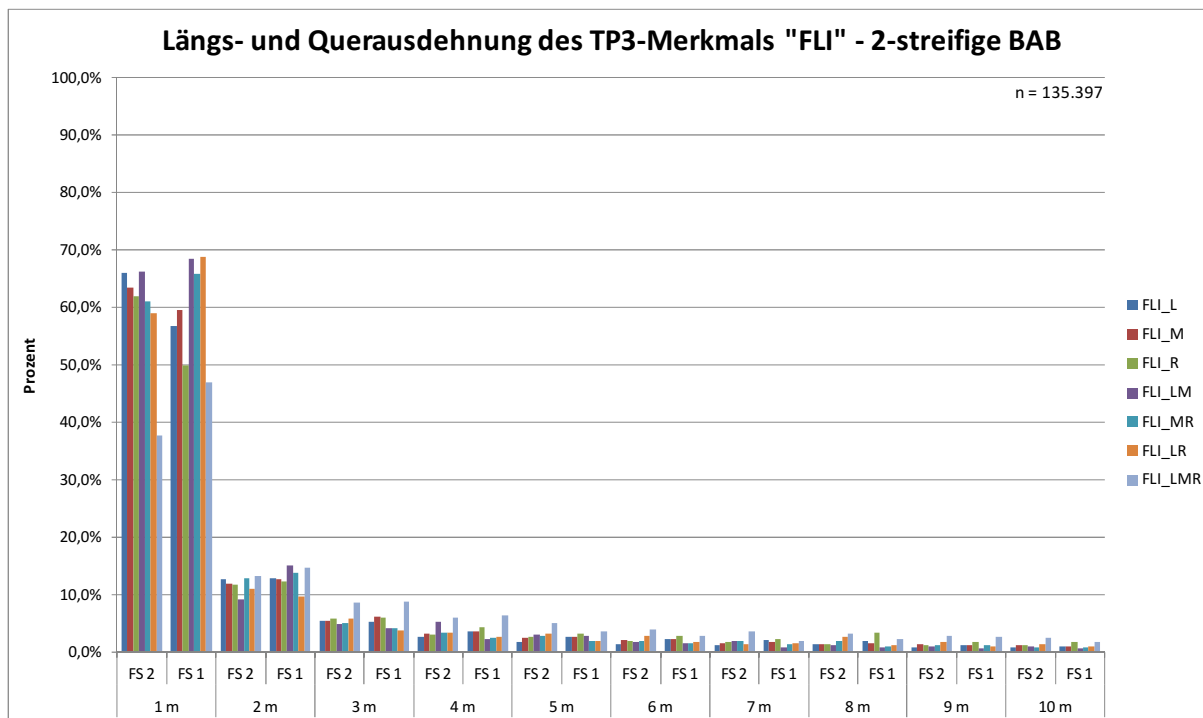


Abbildung A1-24: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen	
	FS 1	FS 2
FLI_L	89,3%	93,6%
FLI_M	91,7%	93,3%
FLI_R	87,4%	92,0%
FLI_LM	96,7%	94,8%
FLI_MR	93,6%	92,2%
FLI_LR	93,0%	91,9%
FLI_LMR	91,2%	85,9%

Tabelle A1-22: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Flickstellen“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB

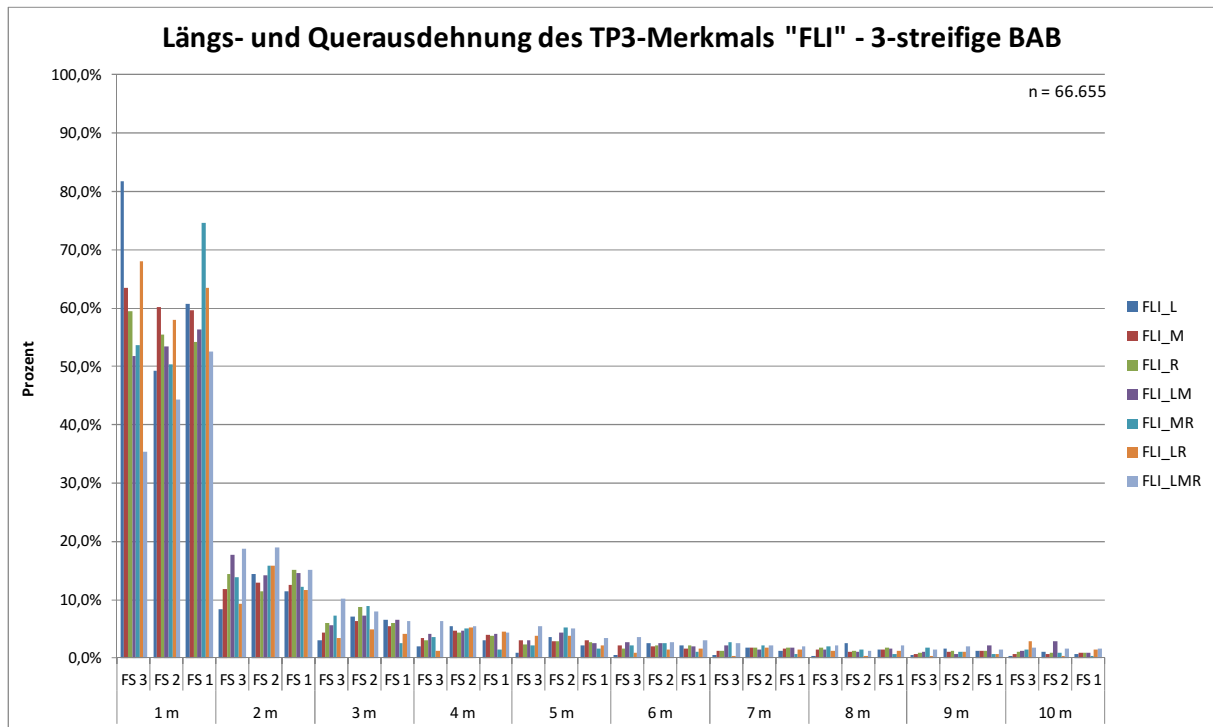


Abbildung A1-25: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Flickstellen“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen		
	FS 1	FS 2	FS 3
FLI_L	90,9%	89,6%	98,2%
FLI_M	91,7%	93,9%	92,2%
FLI_R	89,9%	90,5%	92,1%
FLI_LM	92,6%	92,8%	90,9%
FLI_MR	96,3%	93,8%	90,9%
FLI_LR	92,7%	93,2%	91,9%
FLI_LMR	92,1%	91,8%	87,9%

Tabelle A1-23: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Flickstellen“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB

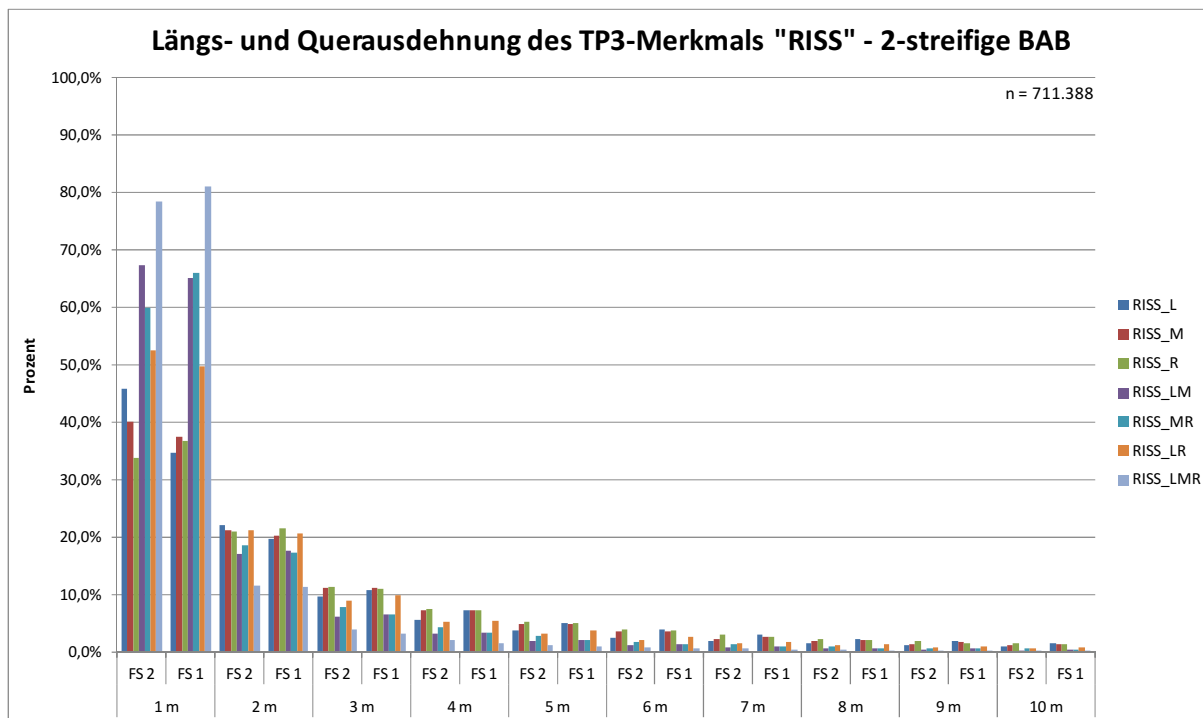


Abbildung A1-26: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Risse“ im jeweiligen Fahrstreifen 2-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen	
	FS 1	FS 2
RISS_L	89,8%	94,4%
RISS_M	92,0%	94,4%
RISS_R	92,6%	91,2%
RISS_LM	98,5%	98,8%
RISS_MR	98,6%	98,1%
RISS_LR	96,4%	97,0%
RISS_LMR	99,4%	99,2%

Tabelle A1-24: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Risse“ im Fahrstreifen 2-streifiger BAB

2-streifige BAB		
	absolut	relativ
Risse gesamt	2.028.549	100,0%
Längsrisse	268.616	13,2%
Querrisse	453.634	22,4%
Rest	1.306.299	64,4%

Längsrisse = Rissausbreitung über mindestens 2 Rasterfelder in Längsrichtung (links, Mitte, rechts)

Querrisse = Rissausbreitung über mindestens 2 Rasterfelder in Querrichtung (LM, MR, LMR)

Rest = Rissvorkommen in nur einem Rasterfeld

Tabelle A1-25: Prozentuale Anteile von Längs- und Querrissen am Gesamtrissvorkommen auf 2-streifigen BAB

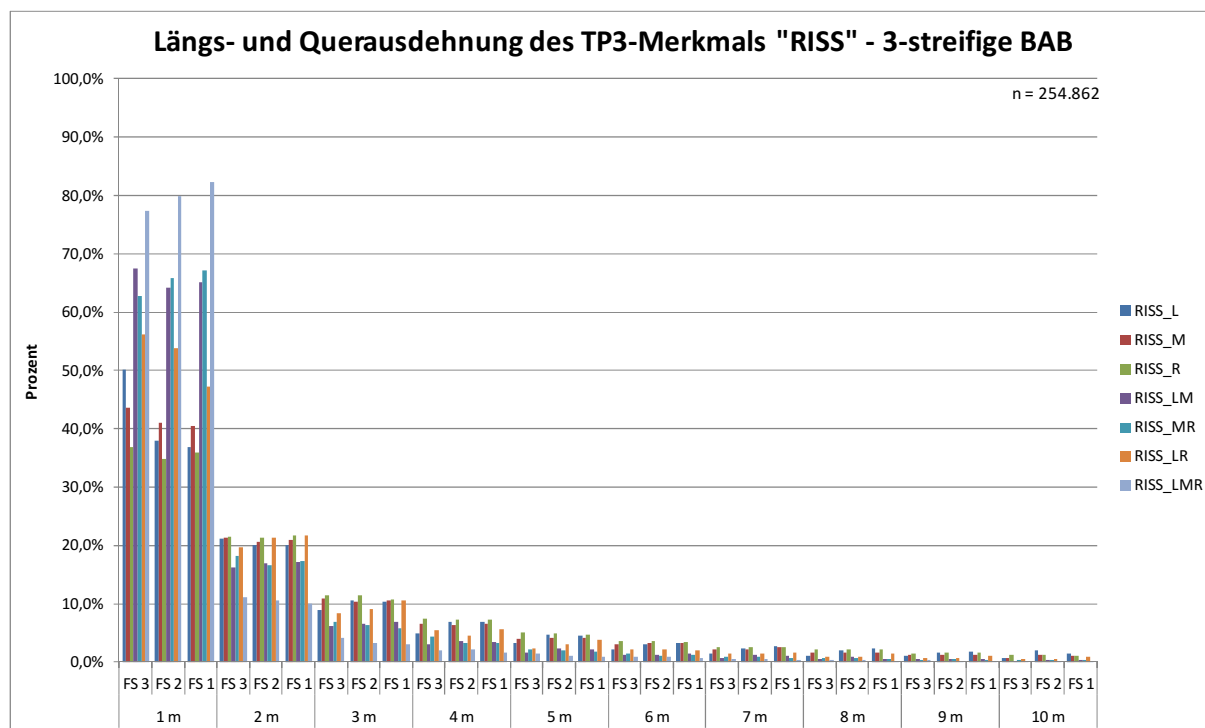


Abbildung A1-27: Längs- und Querausdehnung des Einzelmerkmals „Risse“ im jeweiligen Fahrstreifen 3-streifiger BAB

Lokalisierung Einzelmerkmal	Fahrstreifen		
	FS 1	FS 2	FS 3
RISS_L	90,3%	91,4%	94,9%
RISS_M	92,9%	92,3%	95,2%
RISS_R	91,2%	91,2%	93,3%
RISS_LM	98,7%	98,3%	98,1%
RISS_MR	98,7%	97,9%	98,4%
RISS_LR	96,1%	97,8%	97,6%
RISS_LMR	99,5%	99,3%	98,8%

Tabelle A1-26: Prozentualer Anteil der Ausdehnungen in Längsrichtung ≤ 10 m an allen Längsausdehnungen je Lokalisierungskombination des TP3-Merkmals „Risse“ im Fahrstreifen 3-streifiger BAB

3-streifige BAB		
	absolut	relativ
Risse gesamt	829.826	100,0%
Längsrisse	105.927	12,8%
Querrisse	141.353	17,0%
Rest	582.546	70,2%

Längsrisse = Rissausbreitung über mindestens 2 Rasterfelder in Längsrichtung (links, Mitte, rechts)

Querrisse = Rissausbreitung über mindestens 2 Rasterfelder in Querrichtung (LM, MR, LMR)

Rest = Rissvorkommen in nur einem Rasterfeld

Tabelle A1-27: Prozentuale Anteile von Längs- und Querrissen am Gesamtrissvorkommen auf 3-streifigen BAB

A1-2-4 Ergebnisse zur geographischen Raumanalyse der Einzelmerkmale des TP3

Die in diesem Anhang enthaltenen Kartendarstellungen können visuell den Eindruck eines höheren Schadensvorkommens im BAB-Netz vermitteln als tatsächlich vorliegt. Die kleinmaßstäbige Darstellung führt zwangsläufig zu einer Überlagerung von in der Karte visualisierten Informationen. So erscheinen eingefärbte 100m-Abschnitte, die ein Vorkommen des jeweiligen Einzelmerkmals anzeigen, als häufig zusammenhängend. Eine Überrepräsentation der Bereiche mit Merkmalen ist die Folge.

Bundesland	100m-Abschnitte gesamt	Schadensverteilung	
		absolut	relativ
SH	16.016	8.886	55,5%
HH	3.450	2.313	67,0%
NI	41.556	12.486	30,0%
HB	868	398	45,9%
NW	92.511	57.332	62,0%
HE	42.530	17.573	41,3%
RP	30.969	16.534	53,4%
BW	34.508	14.674	42,5%
BY	91.641	46.540	50,8%
SL	9.358	4.125	44,1%
BE	2.652	1.746	65,8%
BB	18.965	10.161	53,6%
MV	17.147	9.909	57,8%
SN	11.589	6.353	54,8%
ST	5.547	3.489	62,9%
TH	10.498	4.728	45,0%

Tabelle A1-28: Prozentualer Anteil der 100m-Abschnitte mit TP3-Schäden an allen 100m-Abschnitten je Bundesland für alle Fahrstreifen

Bundesland	Mittelwert DTV ^(SV)	Maximum DTV ^(SV)	Summe B-Zahl*	Mittelwert DTV
SH	3.678	9.294	8.460.791	34.460
HH	11.110	16.325	-	91.255
NI	4.963	21.117	8.995.664	34.667
HB	2.927	17.852	4.717.788	38.979
NW	7.134	20.053	14.706.487	56.938
HE	8.535	19.205	19.353.788	62.673

Bundesland	Mittelwert DTV ^(SV)	Maximum DTV ^(SV)	Summe B-Zahl*	Mittelwert DTV
RP	6.732	14.984	13.561.621	42.430
BW	8.382	19.607	18.847.106	59.894
BY	7.578	17.840	16.726.235	54.477
SL	3.464	6.257	7.681.786	30.411
BE	4.419	7.644	8.197.952	90.417
BB	5.128	18.455	8.952.579	34.846
MV	2.113	5.097	4.327.758	19.685
SN	6.585	14.663	12.692.375	40.310
ST	6.433	19.664	12.004.109	29.235
TH	4.764	13.417	8.915.855	28.748

Tabelle A1-29: Verkehrsstärken des ersten Fahrstreifens je Bundesland (* von 2005 bis 2012)

Die Mittelwerte (DTV^(SV), DTV) wurden über alle 1m-Auswerteabschnitte des ersten Fahrstreifens je Bundesland gebildet. Das Maximum des DTV^(SV) bezieht sich auf einen Netzknotenabschnitt. Die Summe der B-Zahl wurde aus den B-Zahlen für die Jahre 2005-2012 und nur für 100m-Abschnitte mit vollständigen Angaben zu allen Jahren gebildet.

Bundesland	Art der obersten Asphaltschicht		
	AB	GA	SMA
SH	17,0%	38,3%	44,7%
HH	2,7%	43,1%	54,3%
NI	5,2%	3,2%	91,6%
HB	0,0%	21,1%	78,9%
NW	6,5%	50,8%	42,8%
HE	10,6%	63,7%	25,7%
RP	20,2%	46,4%	33,4%
BW	11,5%	4,9%	83,6%
BY	5,7%	13,0%	81,4%
SL	39,6%	2,9%	57,6%
BE	1,3%	74,0%	24,7%
BB	1,8%	3,7%	94,5%
MV	0,8%	1,7%	97,6%
SN	0,2%	0,6%	99,2%
ST	0,7%	9,0%	90,3%
TH	5,3%	2,3%	92,4%

Tabelle A1-30: Prozentuale Anteile der jeweiligen Art der obersten Asphaltschicht je Bundesland

Die in der obigen Tabelle A1-30 aufgelisteten prozentualen Anteile beziehen sich auf die Summe der 1m-Auswerteabschnitte aller Fahrstreifen des jeweiligen Bundeslandes.

Bundesland	Art der obersten Asphaltsschicht		
	AB	GA	SMA
SH	32,2%	33,7%	33,7%
HH	4,0%	43,7%	52,2%
NI	16,6%	1,2%	82,2%
HB	0,0%	29,9%	70,1%
NW	8,0%	61,4%	30,6%
HE	9,5%	67,9%	22,6%
RP	19,3%	61,0%	19,7%
BW	10,4%	2,5%	87,0%
BY	6,2%	20,8%	73,0%
SL	27,6%	1,9%	70,5%
BE	2,1%	77,9%	20,0%
BB	1,7%	1,9%	96,4%
MV	0,1%	1,1%	98,8%
SN	0,1%	0,7%	99,1%
ST	0,1%	3,4%	96,5%
TH	1,8%	1,5%	96,7%

Tabelle A1-31: Prozentuale Schadensverteilung der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die jeweilige Art der obersten Asphaltsschicht je Bundesland

Bundesland	Schadensverteilung		relativer Schadensanteil
	absolut	relativ	
SH	127.112	2,8%	8,1%
HH	39.558	0,9%	11,8%
NI	237.572	5,2%	5,9%
HB	6.123	0,1%	8,5%
NW	1.124.797	24,8%	12,4%
HE	341.998	7,5%	8,2%
RP	444.730	9,8%	14,7%
BW	385.393	8,5%	11,5%
BY	1.071.399	23,6%	11,9%
SL	100.231	2,2%	11,0%

Bundesland	Schadensverteilung		relativer Schadensanteil
	absolut	relativ	
BE	27.314	0,6%	10,9%
BB	154.920	3,4%	8,6%
MV	171.229	3,8%	10,1%
SN	135.183	3,0%	12,7%
ST	101.896	2,3%	21,8%
TH	65.447	1,4%	6,6%
Gesamt	4.537.902	100,0%	10,9%

Tabelle A1-32: Schadensverteilung auf die einzelnen Bundesländer (1m-Auswerteabschnitte) und relativer Schadensanteil je Bundesland

Bundesland	Schäden	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
SH	140.312	0,0%	11,3%	7,9%	29,7%	51,1%
HH	45.076	0,0%	14,9%	11,1%	35,0%	39,0%
NI	256.098	3,6%	3,8%	0,3%	37,8%	54,4%
HB	6.713	37,0%	6,3%	3,7%	17,9%	35,1%
NW	1.260.159	0,3%	37,1%	9,0%	20,3%	33,2%
HE	381.013	23,7%	6,2%	0,3%	25,6%	44,1%
RP	491.752	37,4%	4,0%	0,3%	17,7%	40,5%
BW	418.593	2,1%	6,4%	0,1%	7,7%	83,8%
BY	1.157.723	2,5%	3,6%	0,2%	16,6%	77,1%
SL	104.904	3,1%	2,3%	0,1%	15,1%	79,4%
BE	30.128	0,0%	12,1%	8,8%	39,4%	39,7%
BB	162.544	0,0%	12,0%	3,9%	11,4%	72,7%
MV	174.688	0,0%	2,3%	1,7%	7,2%	88,8%
SN	143.007	0,2%	3,7%	3,5%	12,2%	80,3%
ST	108.938	0,0%	3,2%	1,5%	7,6%	87,7%
TH	67.190	0,0%	3,3%	3,1%	8,7%	85,0%

Tabelle A1-33: Relative Anteile der Einzelmerkmale am gesamten Schadensvorkommen der Substanzmerkmale (Oberfläche) je Bundesland

Bundesland	100m-Abschnitte	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
SH	16.016	0,0%	6,7%	18,0%	19,9%	45,5%
HH	3.450	0,1%	14,6%	36,4%	27,0%	49,7%

Bundesland	100m-Abschnitte	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
NI	41.556	1,5%	3,1%	1,1%	9,3%	25,2%
HB	868	10,1%	4,7%	3,6%	15,4%	30,9%
NW	92.511	0,2%	24,9%	30,1%	16,6%	43,1%
HE	42.530	8,0%	3,9%	1,2%	15,4%	31,0%
RP	30.969	15,6%	4,6%	1,1%	14,8%	40,4%
BW	34.508	1,4%	5,1%	0,5%	6,8%	39,7%
BY	91.641	1,3%	3,8%	0,8%	12,3%	47,2%
SL	9.358	1,7%	2,9%	1,0%	9,8%	39,8%
BE	2.652	0,1%	15,2%	27,3%	30,0%	50,1%
BB	18.965	0,0%	8,4%	10,4%	8,9%	45,2%
MV	17.147	0,0%	2,5%	9,3%	10,9%	52,1%
SN	11.589	0,1%	4,2%	15,1%	12,6%	49,1%
ST	5.547	0,0%	5,5%	12,9%	16,2%	55,9%
TH	10.498	0,0%	2,2%	9,3%	9,7%	38,1%

Tabelle A1-34: Relative Anteile der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) an allen 100m-Abschnitten je Bundesland für alle Fahrstreifen

Bundesland	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
SH	0,0%	2,4%	7,0%	4,6%	2,5%
HH	0,0%	1,0%	3,2%	1,7%	0,6%
NI	2,8%	1,5%	0,5%	10,6%	4,8%
HB	0,7%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%
NW	1,3%	71,6%	72,4%	28,1%	14,4%
HE	27,2%	3,6%	0,8%	10,7%	5,8%
RP	55,5%	3,0%	1,0%	9,6%	6,9%
BW	2,6%	4,1%	0,2%	3,5%	12,1%
BY	8,7%	6,4%	1,6%	21,1%	30,8%
SL	1,0%	0,4%	0,1%	1,7%	2,9%
BE	0,0%	0,6%	1,7%	1,3%	0,4%
BB	0,0%	3,0%	4,1%	2,0%	4,1%
MV	0,0%	0,6%	1,8%	1,4%	5,4%
SN	0,1%	0,8%	3,2%	1,9%	4,0%
ST	0,0%	0,5%	1,1%	0,9%	3,3%
TH	0,0%	0,3%	1,3%	0,6%	2,0%

Tabelle A1-35: Relative Schadensverteilung des Gesamtvorkommens der Einzelmerkmale der Substanzmerkmale (Oberfläche) auf die Bundesländer (1m-Auswerteabschnitte, alle Fahrstreifen)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmals "Bindemittelanreicherungen"

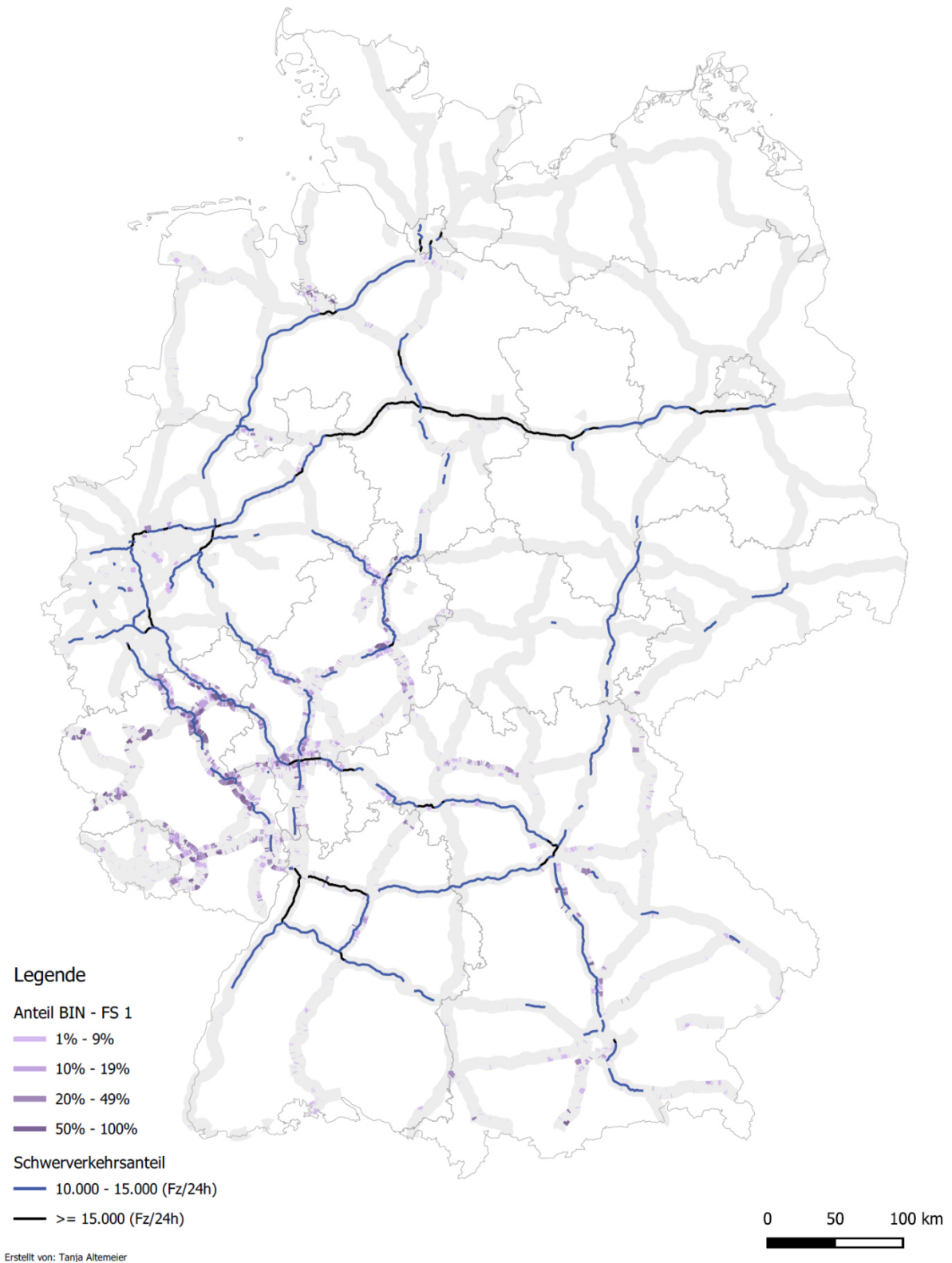


Abbildung A1-28: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmals "Bindemittelanreicherungen"

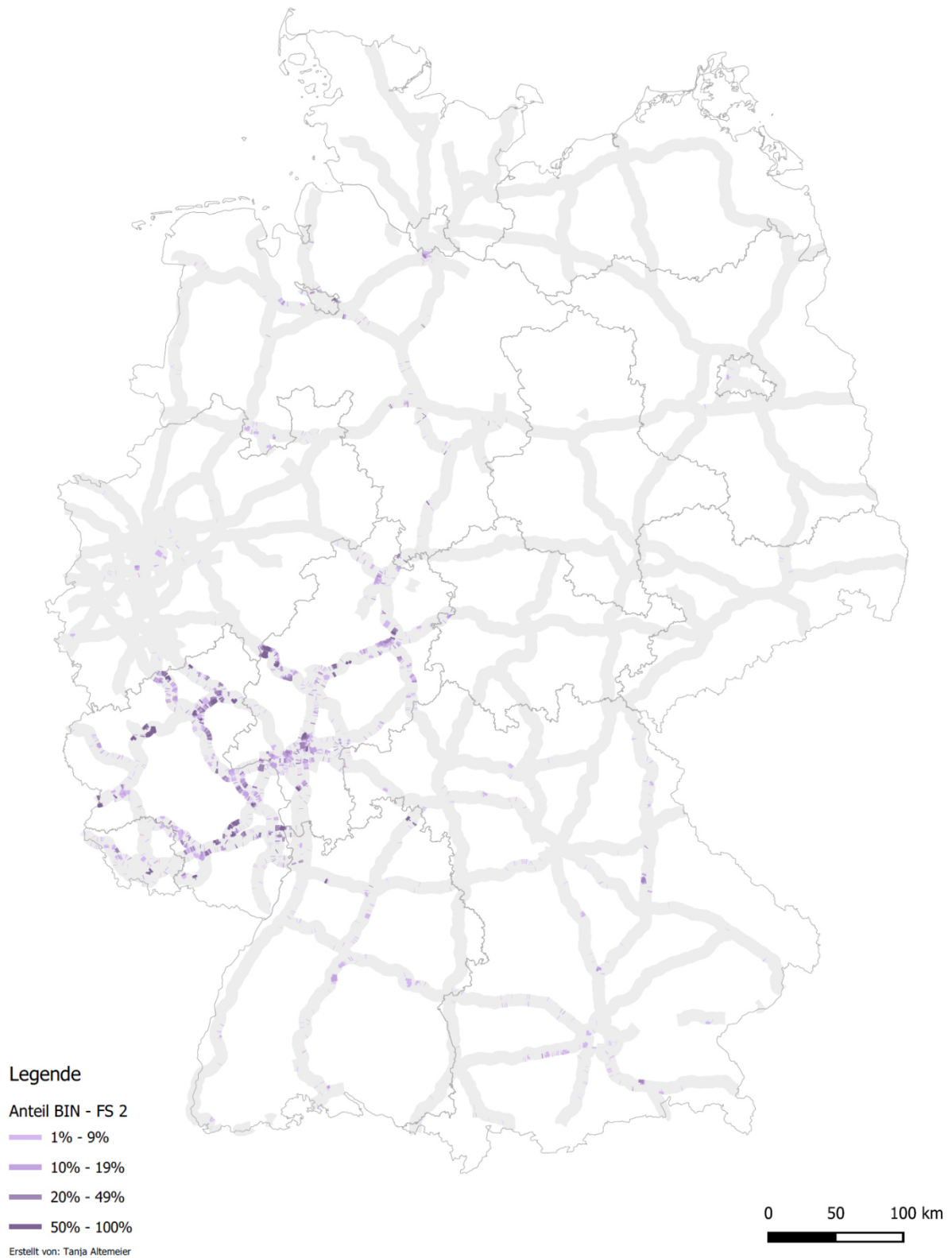


Abbildung A1-29: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Bindemittelanreicherungen“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmals "Offene Arbeitsnähte"

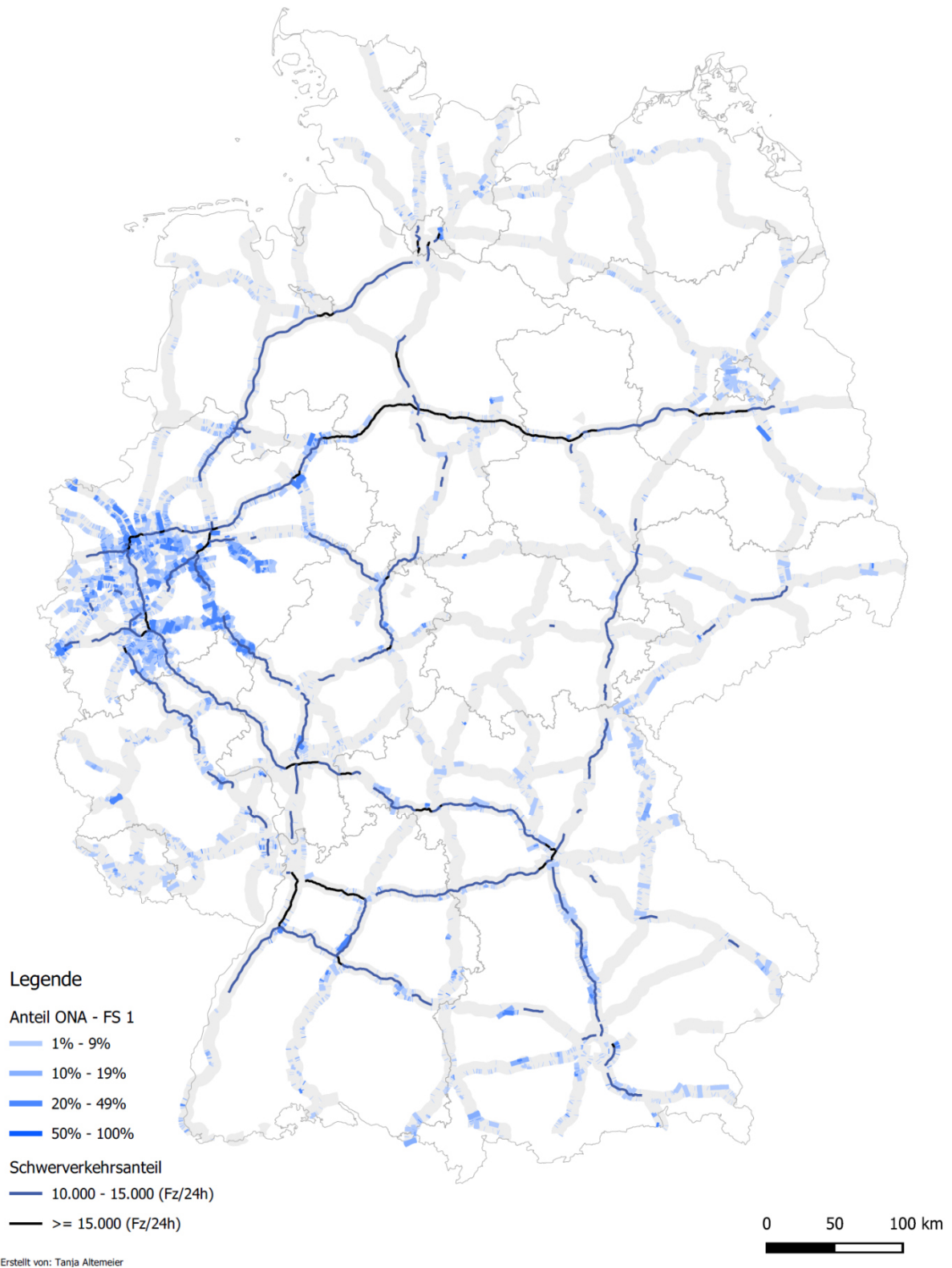


Abbildung A1-30: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

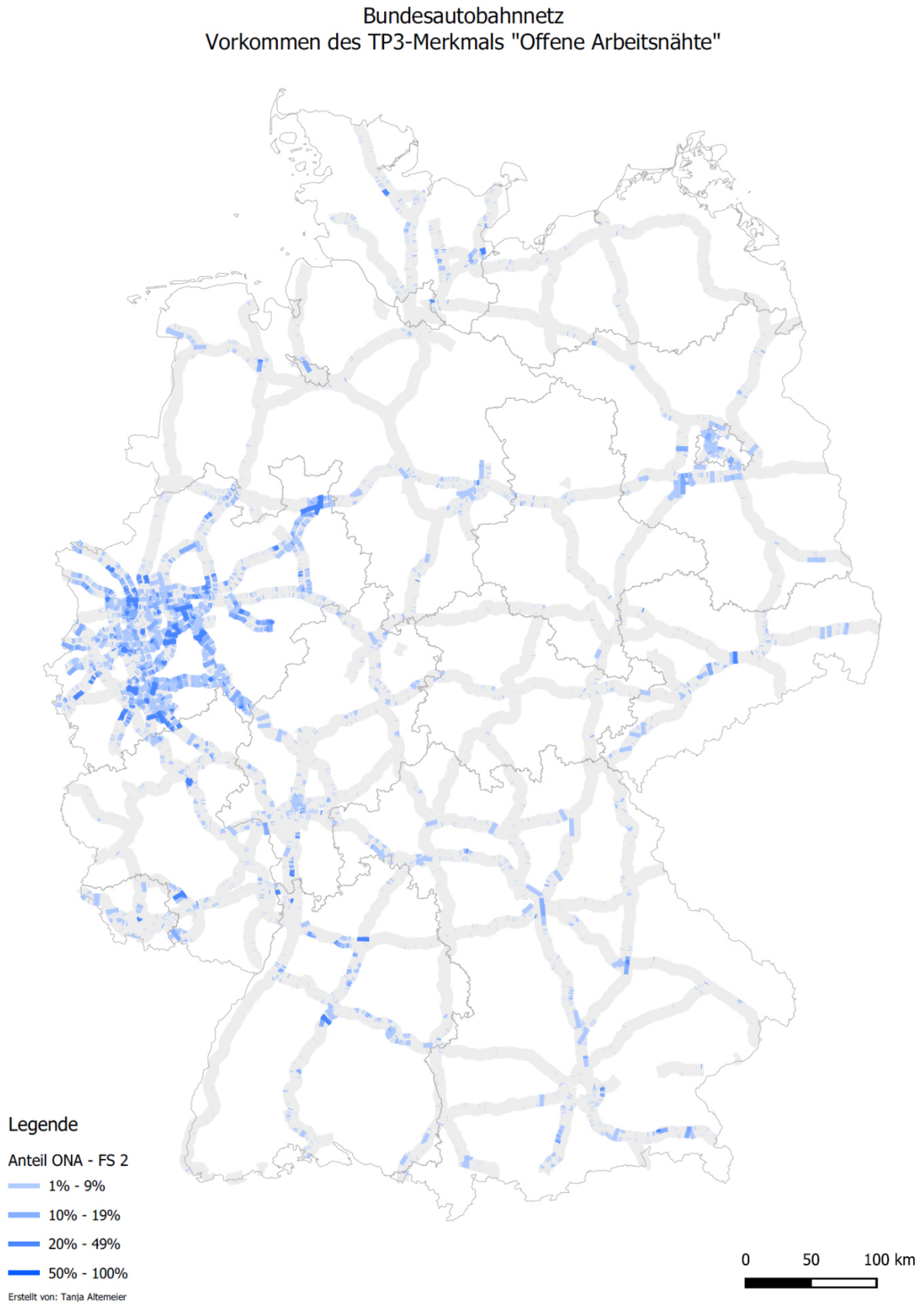


Abbildung A1-31: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Offene Arbeitsnähte“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmal "Ausbrüche"

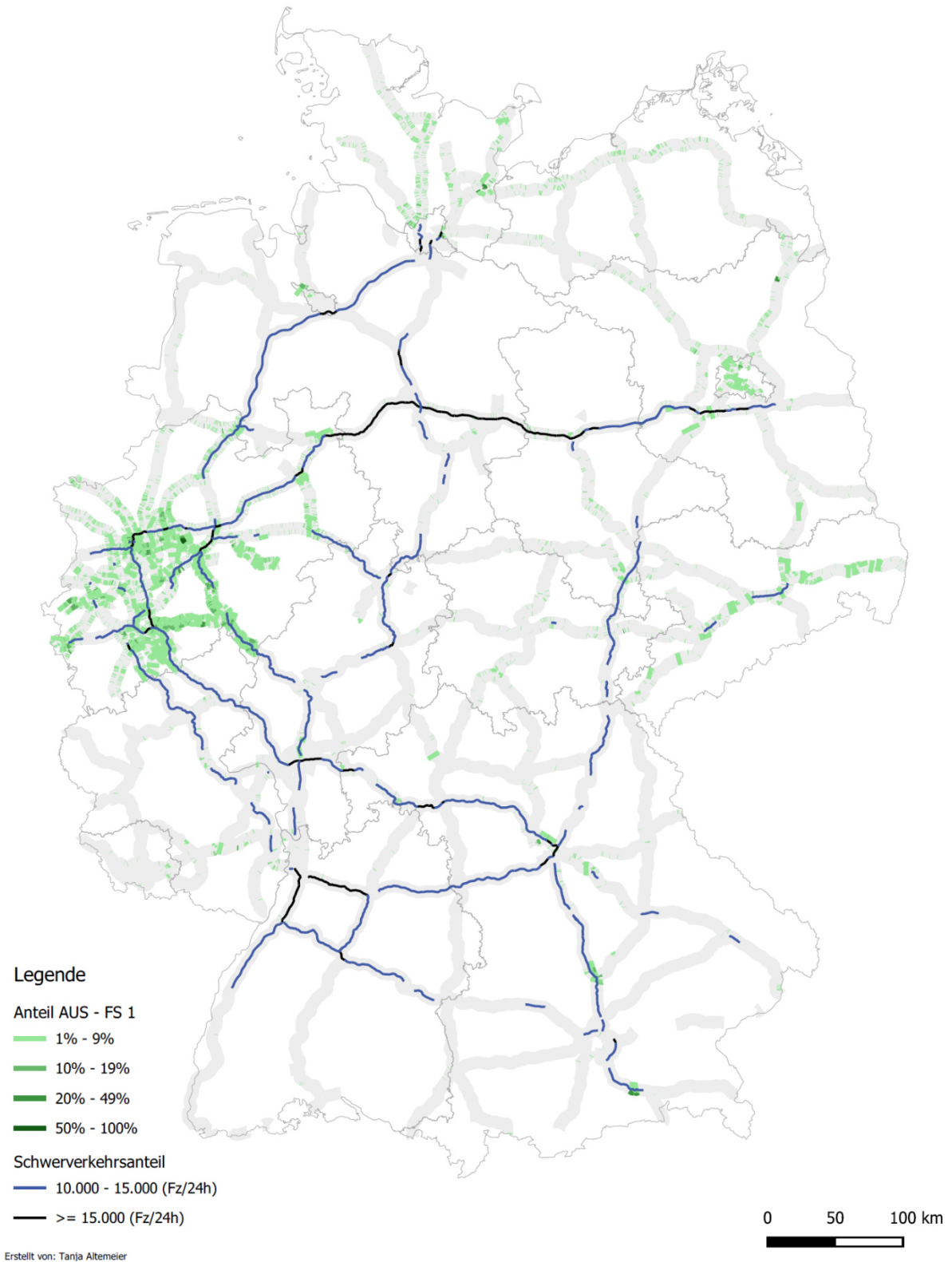


Abbildung A1-32: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmals "Ausbrüche"

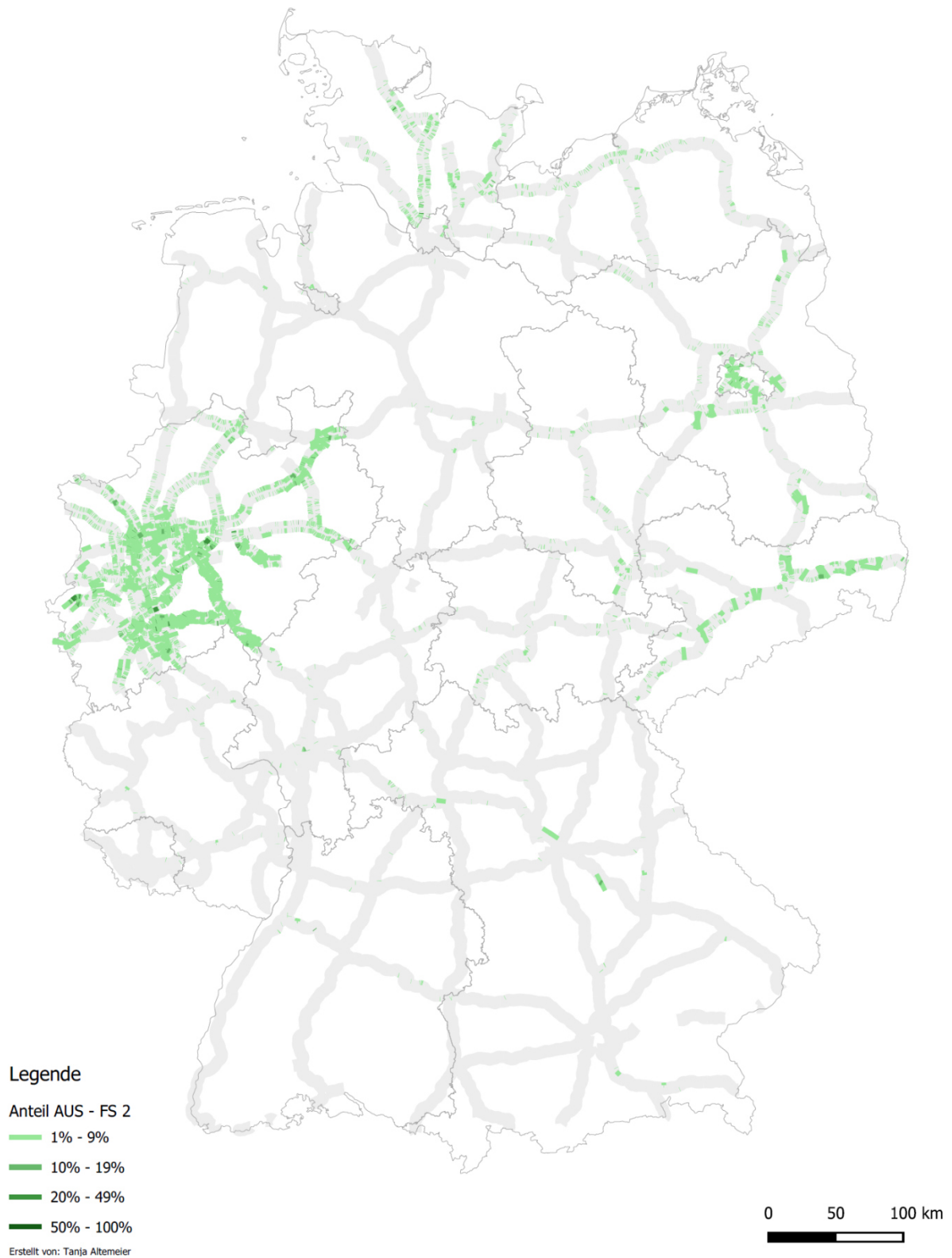


Abbildung A1-33: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Ausbrüche“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmals "Flickstellen"

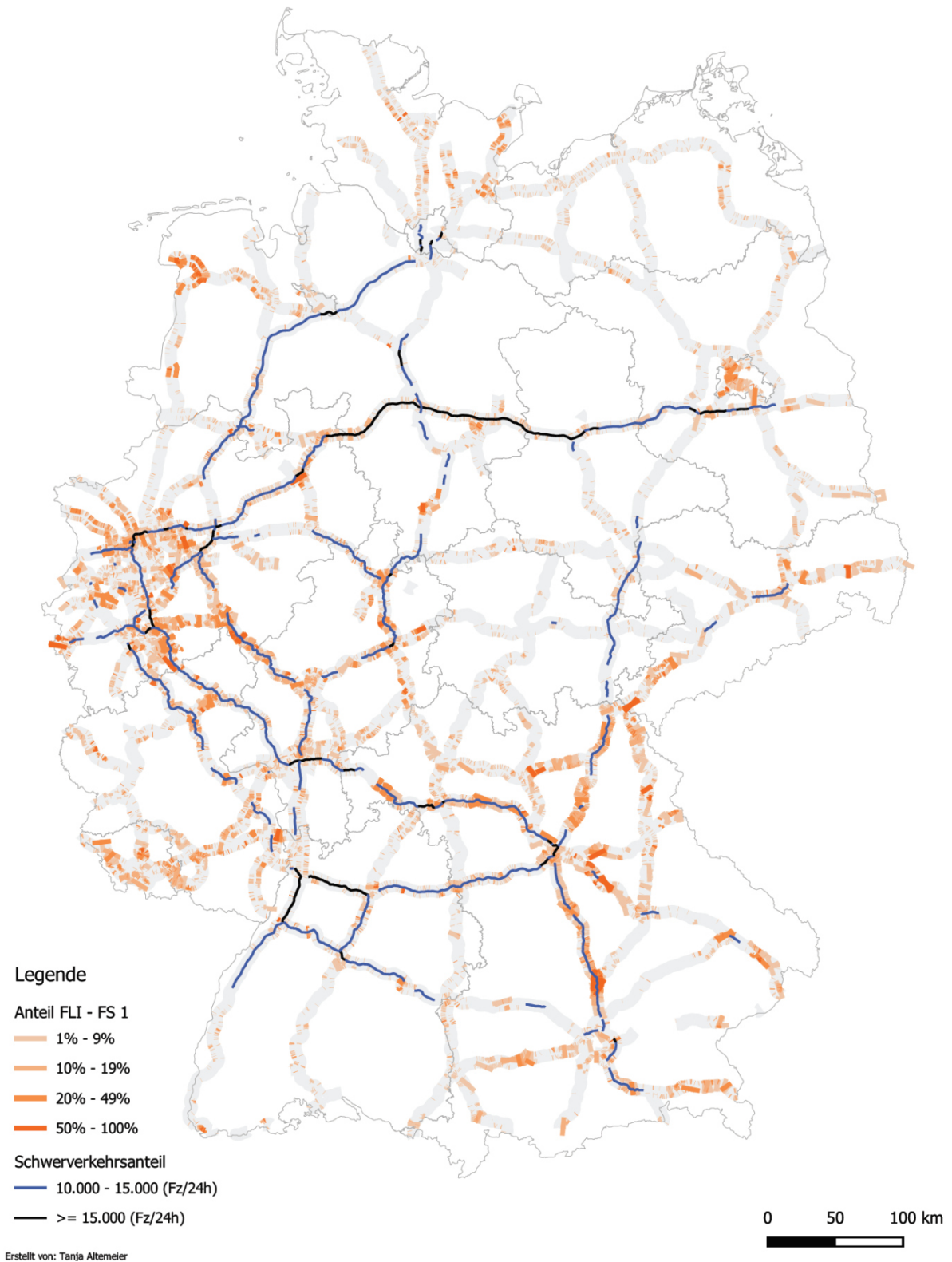


Abbildung A1-34: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Flickstellen“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmals "Flickstellen"

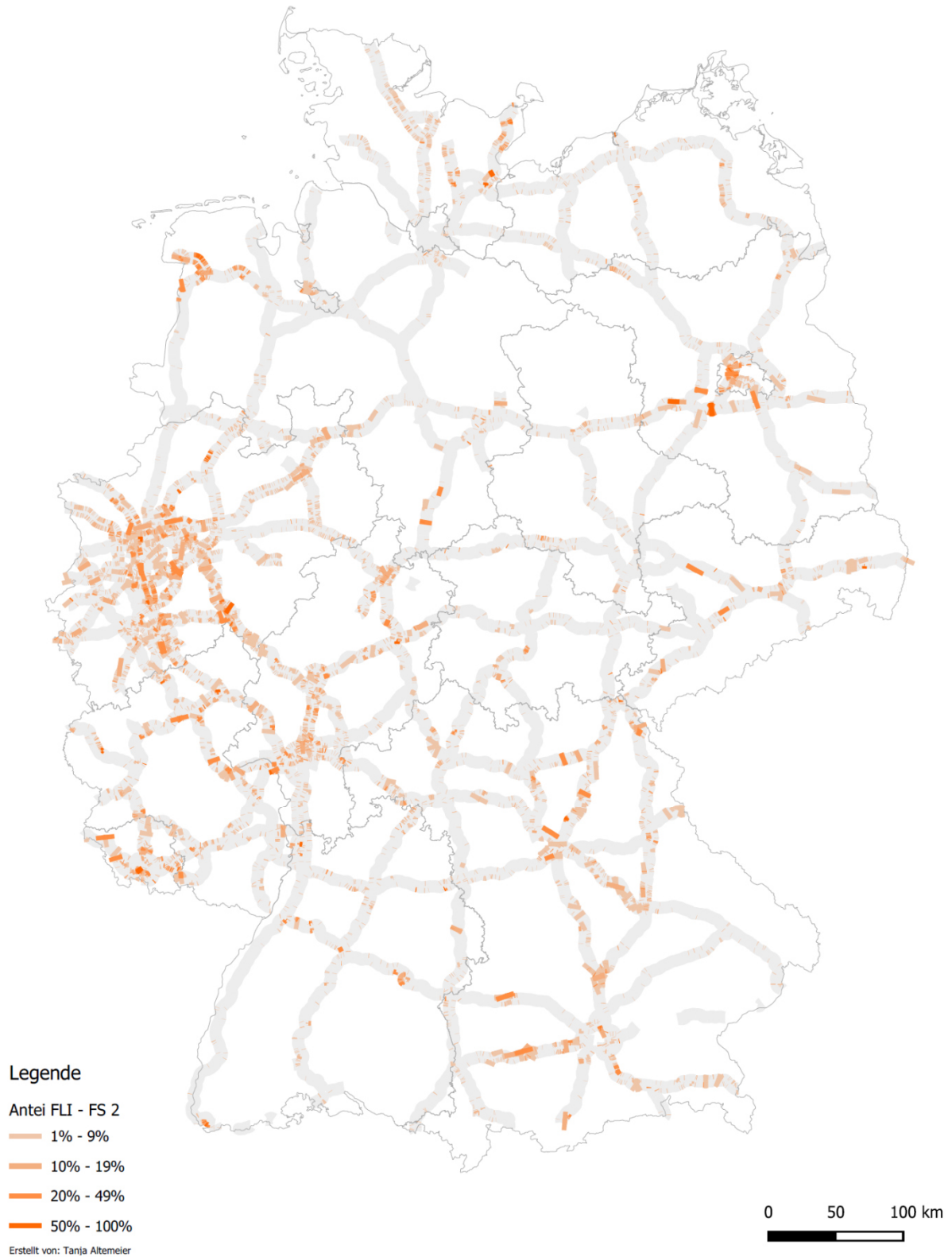


Abbildung A1-35: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Flickstellen“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen des TP3-Merkmals "Risse"

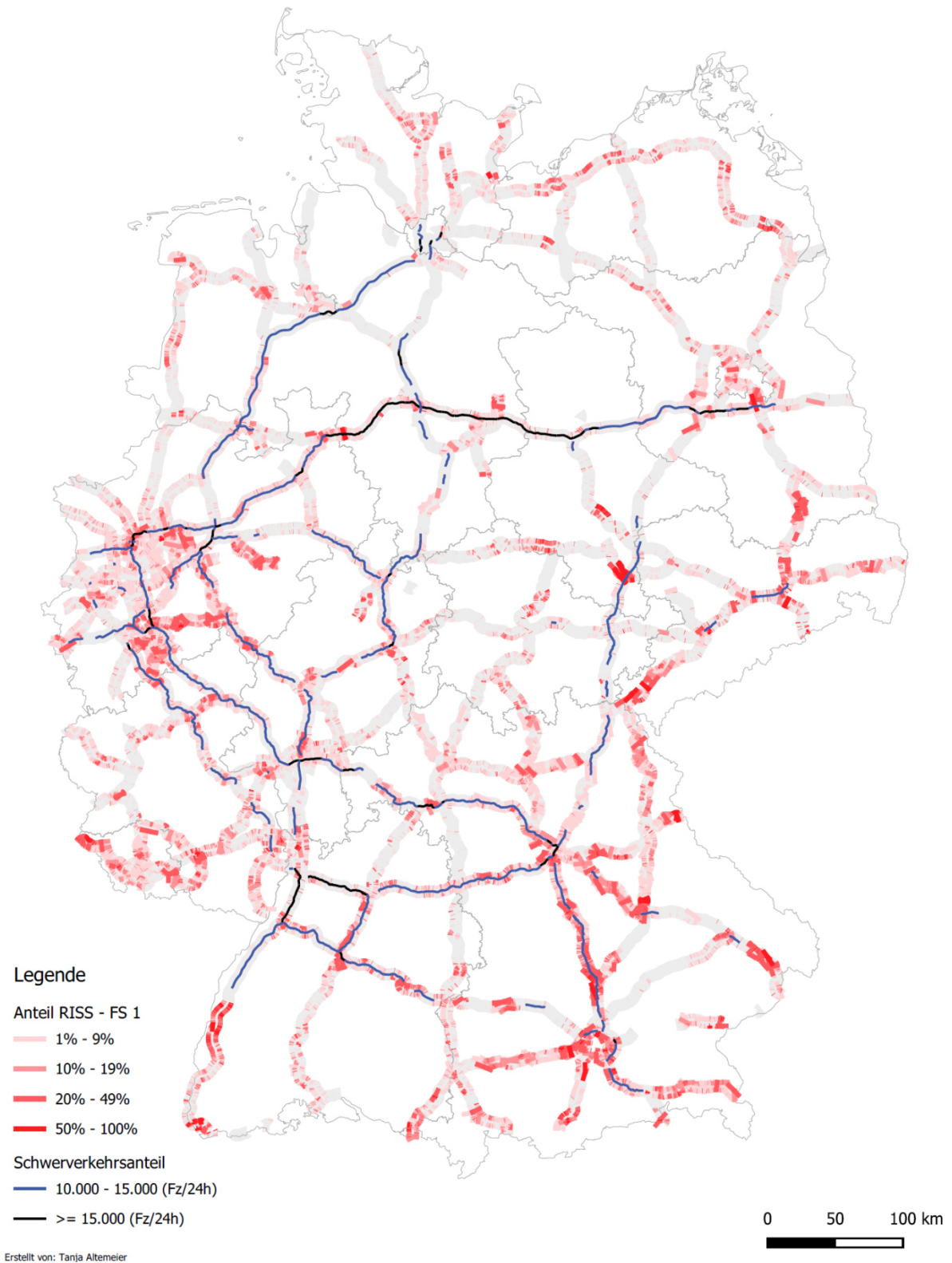


Abbildung A1-36: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Risse“ auf dem ersten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

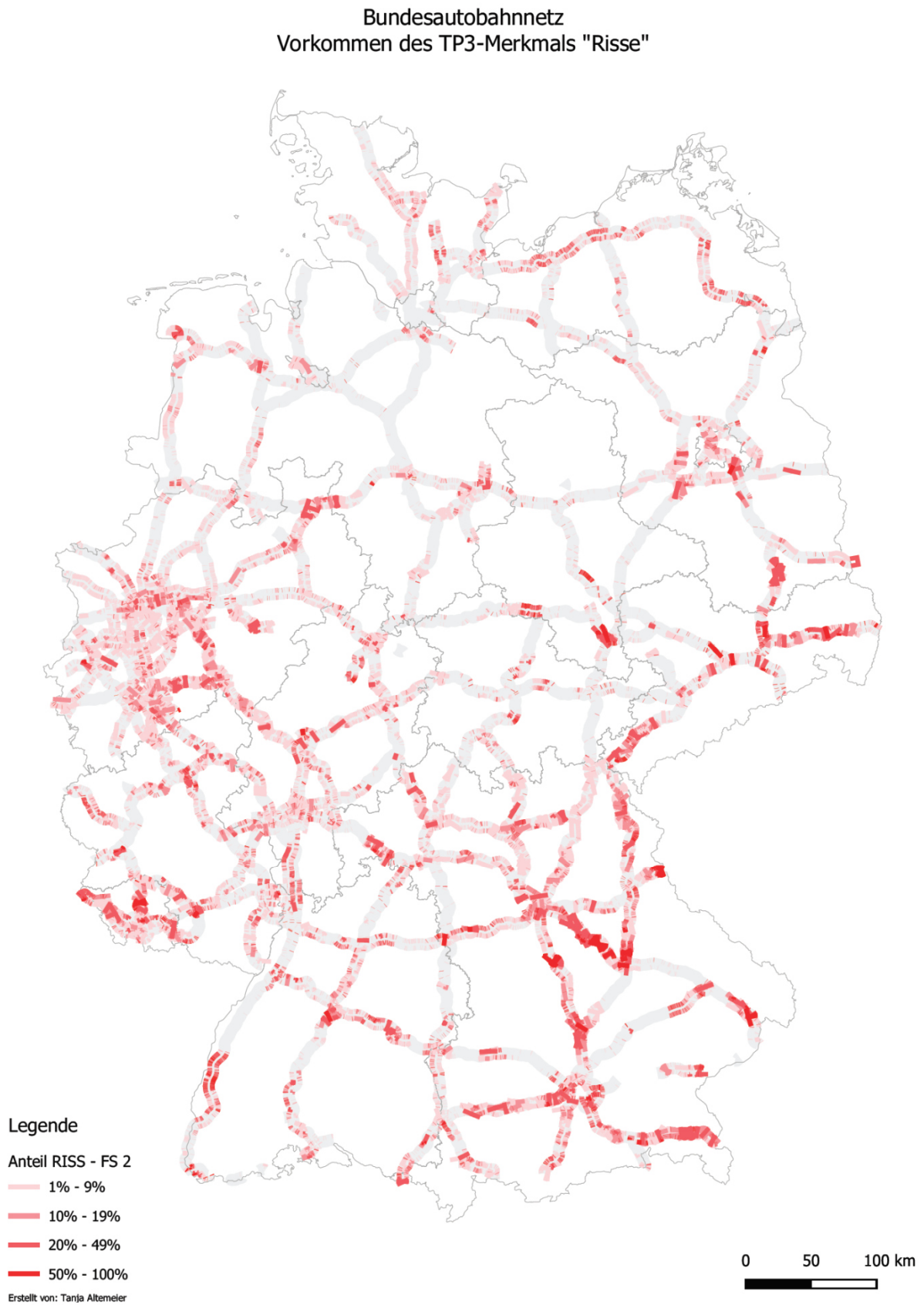


Abbildung A1-37: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen des Einzelmerkmals „Risse“ auf dem zweiten Fahrstreifen (relativer Anteil im 100m-Abschnitt)

A2 Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche)

A2-1 Methodik des Vorgehens

Auswahl und Bestimmung des Korrelationskoeffizienten

Die Art eines statistischen linearen Zusammenhangs und die Stärke dieser Beziehung wurde sowohl zwischen den einzelnen Schadensmerkmalen einer Merkmalskombination als auch zwischen der Merkmalskombination und der möglicherweise ihr Auftreten erklärenden Einflussfaktoren unter Bestimmung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten untersucht. Die Grundgesamtheit zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten umfasste alle 1m-Auswerteabschnitte, die eines oder beide der die jeweilige Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale aufweisen.

Nach FAHRMEIR ET AL. (2004) ist der Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient (r) bestimmt durch:

$$r = r_{XY} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\tilde{s}_{XY}}{\tilde{s}_X \tilde{s}_Y}$$

wobei

$$\tilde{s}_X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad \tilde{s}_Y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

für die Standardabweichungen der Merkmale X und Y stehen und

$$\tilde{s}_{XY} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

die empirische Kovarianz bezeichnet.

Der Wertebereich liegt bei $-1 \leq r \leq 1$. Wenn $r > 0$, besteht eine positive Korrelation zwischen den Variablen und es liegt ein gleichsinniger linearer Zusammenhang vor. Wenn $r < 0$, liegt eine negative Korrelation und ein gegensinniger linearer Zusammenhang vor. Keine Korrelation und damit kein linearer Zusammenhang zwischen den Variablen besteht, wenn $r \approx 0$ ist.

Auswahl und Berechnungsschritte der Regressionsanalyse

Da anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten nur ungerichtete Zusammenhänge zwischen zwei Variablen analysiert werden können, wird mithilfe der multiplen linearen Regression der Einfluss mehrerer Regressoren (erklärender Variablen) auf eine Zielvariable, in diesem Fall die Merkmalskombination, untersucht.

Die multiple lineare Regression stellt eine Erweiterung der linearen Einfachregression dar und betrachtet neben der Zielvariablen Y mehrere Regressoren X_1, \dots, X_p . Zu diesen Variablen werden jeweils n -Werte

$$y_i, x_{i1}, \dots, x_{ip}, \quad i = 1, \dots, n,$$

gemessen oder beobachtet.

Nach FAHRMEIR ET AL. (2004) gilt:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} + \epsilon_i \quad i = 1, \dots, n,$$

dabei sind

- Y_1, \dots, Y_n beobachtbare metrische Zufallsvariablen,
- x_{1j}, \dots, x_{nj} deterministische Werte der Variablen X_j oder Realisierungen von Zufallsvariablen X_j ,
- $\epsilon_1, \dots, \epsilon_n$ unbeobachtbare Zufallsvariablen, die unabhängig und identisch verteilt sind mit $E(\epsilon_i) = 0$ und $Var(\epsilon_i) = \sigma^2$.

Für die multiple lineare Regressionsanalyse wurde die schrittweise Methode gewählt, bei der nacheinander die Regressoren mit dem höchsten partiellen Korrelationskoeffizienten mit der Zielvariablen in die Gleichung aufgenommen werden. Das Einschlusskriterium der jeweiligen Regressoren liegt bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,1$. Die Grundgesamtheit umfasste alle 1m-Auswerteabschnitte, die eines oder beide der die jeweilige Merkmalskombination bildenden Einzelmerkmale aufweisen.

Betrachtet wurde das adjustierte Bestimmtheitsmaß R_a^2 anstelle des einfachen R^2 , da nach ZIMK (2018) die Stichprobenstatistik den determinierten Varianzanteil überschätzt und die in den Quadratsummen enthaltenen Freiheitsgrade nicht berücksichtigt werden. Zur Vermeidung der artifiziellen Inflationierung werden im adjustierten R^2 alle Quadratsummen durch die Anzahl der enthaltenen Freiheitsgrade dividiert.

Es gilt:

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) * \frac{N - 1}{N - k - 1}$$

mit

- N Grundgesamtheit,
- k Anzahl der Regressoren.

Nach Durchführung der multiplen linearen Regression erfolgte eine Überprüfung der Residuen. Diese sollen zufällig und nicht systematisch auftreten und normalverteilt sein (BÜHL 2012). Die Überprüfung erfolgt anhand eines Histogramms sowie eines P-P-Diagramms zu den standardisierten Residuen.

Unter der Annahme der Hypothese, dass bestimmte Merkmalskombinationen im Bundesautobahnnetz nicht unabhängig von der Verkehrsbelastung, den Schichten des Oberbaus und klimatischen Einflüssen auftreten, jedoch das Schadensbild einer jeweiligen Merkmalskombination unabhängig ihrer Lage im Fahrbahnquerschnitt immer sehr ähnlich und Ausdruck der gleichen Schadensursache ist, wird bei den Analysen keine Unterscheidung hinsichtlich 2-, 3- und 4-streifiger BAB vorgenommen.

Variationsanalyse zu ausgewählten Merkmalskombinationen

Da die zu untersuchenden Variablen dichotom vorliegen, ist eine Normalverteilung der Ausprägungen nicht gegeben. Unter Anwendung des zentralen Grenzwertsatzes kann jedoch angenommen werden, dass der Stichprobenanteilswert $\hat{\pi}$ bei einer Stichprobe $n > 30$ approximativ normalverteilt ist (FAHRMEIR ET AL. 2004). Die Grundgesamtheit je Merkmalskombination bilden dabei alle 1m-Auswerteabschnitte des BAB-Netzes, die in mindestens einem der drei Rasterfelder die entsprechende Merkmalskombination aufweisen. Zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs bei vorgegebener Fehlermarge und vorgegebenem Konfidenzniveau ist für die Variationsanalyse eine uneingeschränkte Zufallsstichprobe ohne Zurücklegen zu ziehen. Dabei ist wie folgt vorzugehen:

- I. Festlegung der Irrtumswahrscheinlichkeit α und des Konfidenzniveaus $(1 - \alpha)$.
- II. Festlegung der Differenz zwischen unterer und oberer Konfidenzgrenze $(t_2 - t_1)$.
- III. Berechnung der vorhandenen Fehlermarge der Schätzung mit:

$$e = \frac{(t_2 - t_1)}{2}$$

- IV. Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs für eine einfache Zufallsstichprobe mit Zurücklegen:

Vorherige Prüfung folgender Voraussetzungen:

- der Stichprobenanteilswert $\hat{\pi}$ ist wenigstens approximativ normalverteilt,
- π^* = Abschätzung des Anteilswertes π in der Grundgesamtheit aufgrund von Vorinformationen.

Der notwendige Stichprobenumfang n'_e wird ermittelt durch:

$$n_e > \frac{(u_{1-\alpha/2})^2 * \pi^* * (1 - \pi^*)}{e^2}$$

mit

- | | |
|------------------|---|
| π^* | geschätzter Anteilswert π in der Grundgesamtheit |
| $u_{1-\alpha/2}$ | zentrale Aussagewahrscheinlichkeit der Standardnormalverteilung |
| e | Fehlermarge der Schätzung |

- V. Berechnung des notwendigen Strichprobenumfangs für eine einfache Stichprobe ohne Zurücklegen:

Vorherige Prüfung folgender Voraussetzungen:

- endliche Gesamtheit,
- der Stichprobenanteilswert $\hat{\pi}$ ist wenigstens approximativ normalverteilt.

Der notwendige Stichprobenumfang wird ermittelt durch:

$$n'_e = \frac{n_e}{1 + \frac{n_e}{N}}$$

mit

n_e einfache Zufallsstichprobe
 N Grundgesamtheit

Nach der Bestimmung und Ziehung des notwendigen Stichprobenumfangs je Merkmalskombination werden die Oberflächenbilder entsprechend der Vorgabe des räumlichen Zusammenhangs neu visuell ausgewertet. Nach Auswertung der Ergebnisse der jeweiligen Stichproben hinsichtlich der Testgröße X werden die zuvor getroffenen Annahmen zur Abschätzung des Anteilswertes π in der Grundgesamtheit mit Hilfe eines rechtsseitigen Hypothesentests auf ihre Annahme oder Ablehnung hin überprüft. Es wurde sich für einen rechtsseitigen Test entschieden, da ein höherer Anteilswert π in der Grundgesamtheit vermutet wird als für die Variationsanalyse angenommen wurde.

Die Hypothesen sind wie folgt zu formulieren:

$$H_0 = \pi_0 \leq \pi^*$$

$$H_1 = \pi_1 > \pi^*$$

Für den Annahme- und Ablehnungsbereich der H_0 -Hypothese gilt:

$$A = [0; \dots; k - 1]$$

$$\bar{A} = [k, \dots, n]$$

Der kritische Wert k , ab dem die Nullhypothese abzulehnen ist, wird mithilfe des festgelegten Konfidenzniveaus $1 - \alpha$, des geschätzten Anteilswertes in der Grundgesamtheit π^* und des Stichprobenumfangs n bestimmt, wobei α den Fehler 1.-Art darstellt.

Es gilt:

$$F(n; \pi^*; k)$$

Nach der Berechnung des kritischen Wertes k wird der Annahme- und Ablehnungsbereich bestimmt. Liegt die Testgröße X über dem kritischen Wert k , ist die Nullhypothese abzulehnen.

A2-2 Ergebnisse zu den Merkmalskombinationen

A2-2-1 Ergebnisse zu den statistischen Analysen

Etwaige Differenzen zwischen den Summen der jeweiligen Tabellen ergeben sich durch die unterschiedliche Zählweise der 1m-Auswerteabschnitte, je nachdem ob Mehrfachvorkommen im selben 1m-Abschnitt Berücksichtigung finden oder nicht.

alle BAB, alle FS, alle Rasterfelder

	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
BIN		53	242	7.409	9.068
ONA	53		11.521	13.547	151.511
AUS	242	11.521		4.838	27.352
FLI	7.409	13.547	4.838		69.333
RISS	9.068	151.511	27.352	69.333	
keine a. Schäden	305.607	440.956	97.294	748.982	2.561.089
Gesamt	322.379	617.588	141.247	844.109	2.818.353

alle BAB, alle FS, alle Rasterfelder

	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
BIN		0,0%	0,2%	0,9%	0,3%
ONA	0,0%		8,2%	1,6%	5,4%
AUS	0,1%	1,9%		0,6%	1,0%
FLI	2,3%	2,2%	3,4%		2,5%
RISS	2,8%	24,5%	19,4%	8,2%	
keine a. Schäden	94,8%	71,4%	68,9%	88,7%	90,9%
Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle A2-1: Kreuztabelle zu den einzelnen Merkmalskombinationen des TP3 auf allen Fahrstreifen

alle BAB, FS 1, alle Rasterfelder

	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
BIN		43	228	4.045	5.651
ONA	43		6.770	5.970	76.133
AUS	228	6.770		2.600	12.016
FLI	4.045	5.970	2.600		44.041
RISS	5.651	76.133	12.016	44.041	
keine a. Schäden	175.694	195.889	40.866	494.382	1.132.391
Gesamt	185.661	284.805	62.480	551.038	1.270.232

alle BAB, FS 1, alle Rasterfelder

	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
BIN		0,0%	0,4%	0,7%	0,4%
ONA	0,0%		10,8%	1,1%	6,0%
AUS	0,1%	2,4%		0,5%	0,9%
FLI	2,2%	2,1%	4,2%		3,5%
RISS	3,0%	26,7%	19,2%	8,0%	
keine a. Schäden	94,6%	68,8%	65,4%	89,7%	89,1%
Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle A2-2: Kreuztabelle zu den einzelnen Merkmalskombinationen des TP3 auf dem ersten Fahrstreifen

alle BAB, FS 2, alle Rasterfelder

	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
BIN		7	10	2.549	2.821
ONA	7		3.749	6.038	58.859
AUS	10	3.749		1.711	13.250
FLI	2.549	6.038	1.711		21.908
RISS	2.821	58.859	13.250	21.908	
keine a. Schäden	100.447	198.292	44.884	201.683	1.194.684
Gesamt	105.834	266.945	63.604	233.889	1.291.522

alle BAB, FS 2, alle Rasterfelder

	BIN	ONA	AUS	FLI	RISS
BIN		0,0%	0,0%	1,1%	0,2%
ONA	0,0%		5,9%	2,6%	4,6%
AUS	0,0%	1,4%		0,7%	1,0%
FLI	2,4%	2,3%	2,7%		1,7%
RISS	2,7%	22,0%	20,8%	9,4%	
keine a. Schäden	94,9%	74,3%	70,6%	86,2%	92,5%
Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle A2-3: Kreuztabelle zu den einzelnen Merkmalskombinationen des TP3 auf dem zweiten Fahrstreifen

alle BAB, alle FS

	BIN			ONA			AUS			FLI			RISS		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R
BIN				64,8%	16,7%	18,5%	32,7%	50,4%	16,9%	33,7%	22,8%	43,5%	31,3%	38,0%	30,7%
ONA	64,8%	16,7%	18,5%				44,5%	5,3%	50,2%	36,9%	16,6%	46,5%	45,8%	13,6%	40,6%
AUS	32,7%	50,4%	16,9%	44,5%	5,3%	50,2%				28,2%	22,7%	49,1%	32,6%	21,9%	45,5%
FLI	33,7%	22,8%	43,5%	36,9%	16,6%	46,5%	28,2%	22,7%	49,1%				33,0%	20,7%	46,3%
RISS	31,3%	38,0%	30,7%	45,8%	13,6%	40,6%	32,6%	21,9%	45,5%	33,0%	20,7%	46,3%			
keine a. Schäden	35,0%	30,2%	34,8%	52,5%	3,9%	43,6%	31,9%	28,6%	39,5%	30,6%	27,8%	41,6%	34,5%	27,0%	38,5%

Tabelle A2-4: Kreuztabelle zu den Lokalisierungen der Merkmalskombinationen des TP3 auf allen Fahrstreifen

alle BAB, FS 1

	BIN			ONA			AUS			FLI			RISS		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R
BIN				61,4%	18,2%	20,4%	31,8%	50,6%	17,6%	24,2%	24,8%	51,0%	31,6%	40,9%	27,5%
ONA	61,4%	18,2%	20,4%				52,5%	3,6%	43,9%	49,4%	14,2%	36,4%	60,3%	15,2%	24,5%
AUS	31,8%	50,6%	17,6%	52,5%	3,6%	43,9%				23,5%	20,6%	55,9%	38,9%	17,5%	43,6%
FLI	24,2%	24,8%	51,0%	49,4%	14,2%	36,4%	23,5%	20,6%	55,9%				34,2%	20,1%	45,7%
RISS	31,6%	40,9%	27,5%	60,3%	15,2%	24,5%	38,9%	17,5%	43,6%	34,2%	20,1%	45,7%			
keine a. Schäden	35,9%	29,5%	34,6%	60,2%	4,3%	35,5%	33,9%	25,9%	40,2%	28,9%	27,9%	43,2%	42,9%	25,1%	32,0%

Tabelle A2-5: Kreuztabelle zu den Lokalisierungen der Merkmalskombinationen des TP3 auf dem ersten Fahrstreifen

alle BAB, FS 2

	BIN			ONA			AUS			FLI			RISS		
	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R	L	M	R
BIN				71,4%	14,3%	14,3%	27,3%	63,6%	9,1%	38,5%	22,7%	38,8%	29,7%	34,9%	35,4%
ONA	71,4%	14,3%	14,3%				33,1%	7,8%	59,1%	24,8%	19,7%	55,5%	24,5%	14,0%	61,5%
AUS	27,3%	63,6%	9,1%	33,1%	7,8%	59,1%				27,9%	25,5%	46,6%	28,3%	25,1%	46,6%
FLI	38,5%	22,7%	38,8%	24,8%	19,7%	55,5%	27,9%	25,5%	46,6%				28,9%	21,8%	49,3%
RISS	29,7%	34,9%	35,4%	24,5%	14,0%	61,5%	28,3%	25,1%	46,6%	28,9%	21,8%	49,3%			
keine a. Schäden	33,9%	31,0%	35,1%	44,4%	3,2%	52,4%	29,7%	31,0%	39,3%	31,1%	27,4%	41,5%	27,8%	28,4%	43,8%

Tabelle A2-6: Kreuztabelle zu den Lokalisierungen der Merkmalskombinationen des TP3 auf dem zweiten Fahrstreifen

Lage im FS	ONA_RISS		FLI_RISS		AUS_RISS	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
L	68.771	45,4%	21.191	30,5%	8.411	30,8%
M	17.368	11,5%	9.357	13,5%	4.761	17,4%
R	60.632	40,0%	30.989	44,7%	12.038	44,0%
LM	934	0,6%	2.172	3,1%	610	2,2%
MR	788	0,5%	2.825	4,1%	829	3,0%
LR	526	0,3%	800	1,2%	367	1,4%
LMR	2.492	1,7%	1.999	2,9%	336	1,2%
Gesamt	151.511	100,0%	69.333	100,0%	27.352	100,0%

Tabelle A2-7: Vorkommen der TP3-Merkmalkombinationen nach den Lokalisierungen im Fahrstreifen

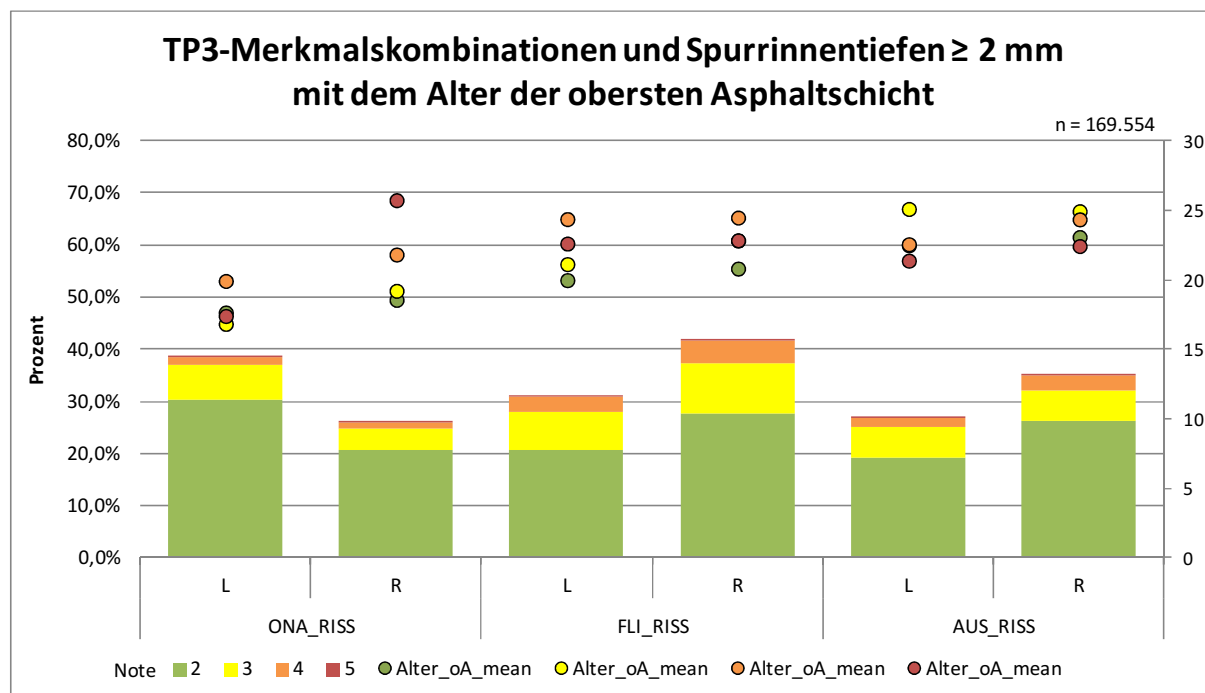


Abbildung A2-1: Merkmalskombinationen der Substanzmerkmale (Oberfläche) mit Spurrinntiefen ≥ 2 mm (Balken) und dem durchschnittlichen Alter der obersten Asphaltsschicht im Notenbereich (Punkte) (Alter_oA_mean = durchschnittliches Alter der obersten Asphaltsschicht)

In Abbildung A2-1 ist neben der den entsprechenden Kategorien zugeordneten linken und rechten Spurrinntiefe je Merkmalskombination (Balken) auch das durchschnittliche Alter der obersten Asphaltsschicht für die jeweiligen Kategorien der Spurrinntiefen (Punkte) dargestellt.

A2-2-1-1 Ergebnisse zur Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS)

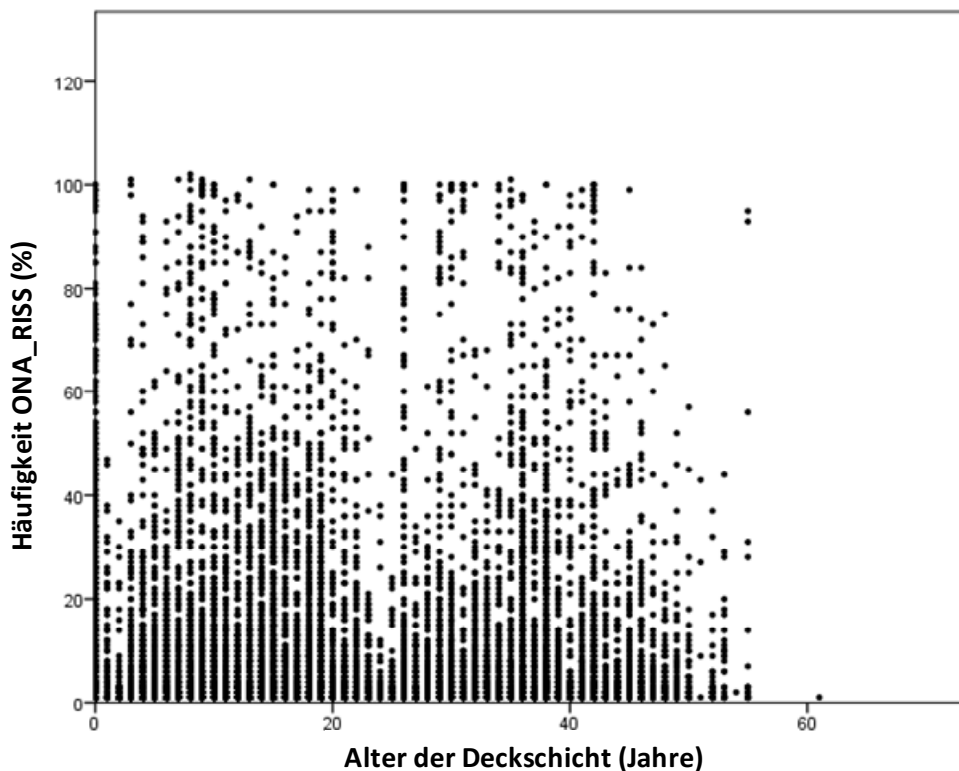


Abbildung A2-2: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht

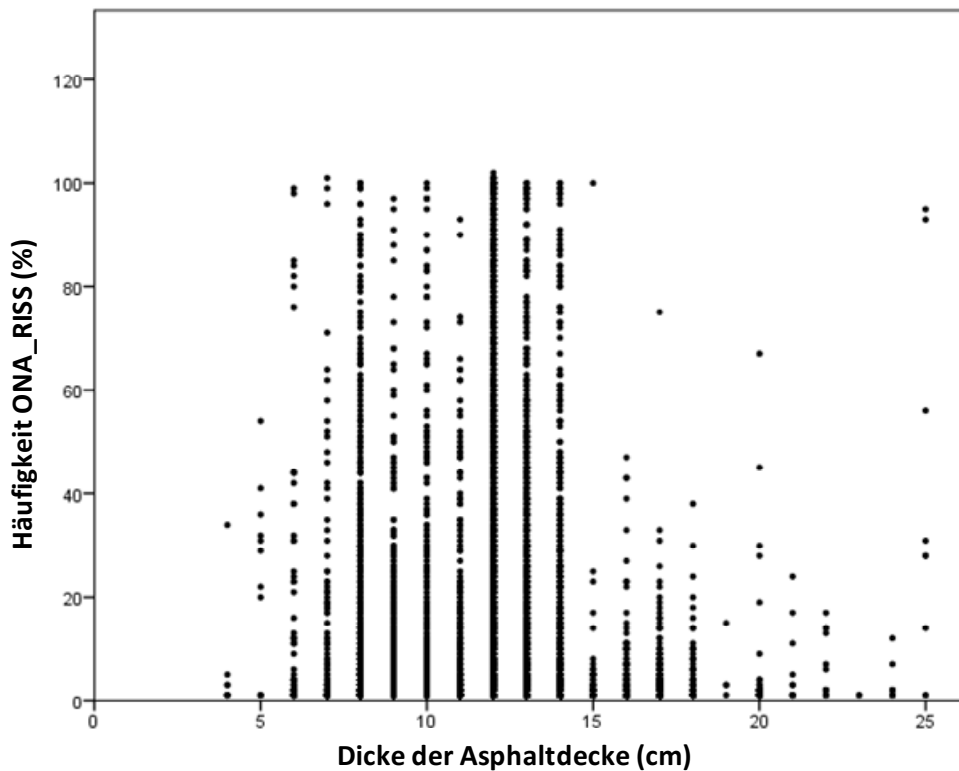


Abbildung A2-3: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke

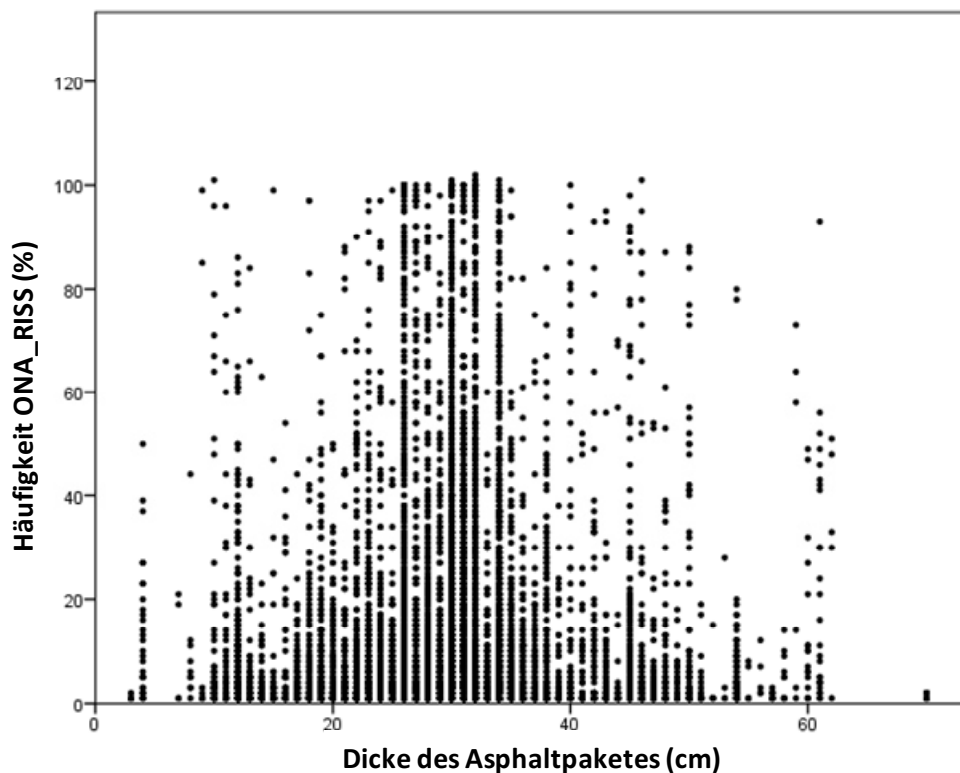


Abbildung A2-4: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „ONA_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes

	ONA_RISS	
	<i>r</i>	Korrelation
Arbeitsnaht DS/Rand	0,601	mittel
Arbeitsnaht TS	0,304	gering
Dicke Asphaltpaket	0,026	sehr gering
Alter Dünnschichtbelag (2,5 cm)	-0,121	sehr gering
Dicke Asphaltdecke	-0,077	sehr gering
Alter Deckschicht (4,0 cm)	-0,055	sehr gering

Tabelle A2-8: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zur Merkmalskombination „ONA_RISS“ (DS = Deckschicht, Rand = Naht/Fuge zur Randbefestigung, TS = Tragschicht)

Modellzusammenfassung^e				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,869 ^a	,756	,756	10,297
2	,873 ^b	,761	,761	10,181
3	,873 ^c	,762	,762	10,161
4	,874 ^d	,763	,763	10,143

a. Einflußvariablen : (Konstante), nO_R_NAHT_sum
 b. Einflußvariablen : (Konstante), nO_R_NAHT_sum, DS_ALTER_A
 c. Einflußvariablen : (Konstante), nO_R_NAHT_sum, DS_ALTER_A, nO_R_FSNAHT_TS_sum
 d. Einflußvariablen : (Konstante), nO_R_NAHT_sum, DS_ALTER_A, nO_R_FSNAHT_TS_sum, DECKE_DICKE
 e. Abhängige Variable: nO_R_sum

Abbildung A2-5: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Merkmalskombination „ONA_RISS“

Erläuterungen zur Abbildung A2-5:

nO_R_sum	Anzahl „ONA_RISS“ im 100m-Abschnitt
nO_R_NAHT_sum	Lage „ONA_RISS“ nahe Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung
DS_ALTER_A	Alter der Deckschicht
nO_R_FSNAHT_TS_sum	Lage „ONA_RISS“ über Arbeitsnaht zwischen Tragschichten
DECKE_DICKE	Dicke der Asphaltdecke (Deckschicht + Binderschicht)

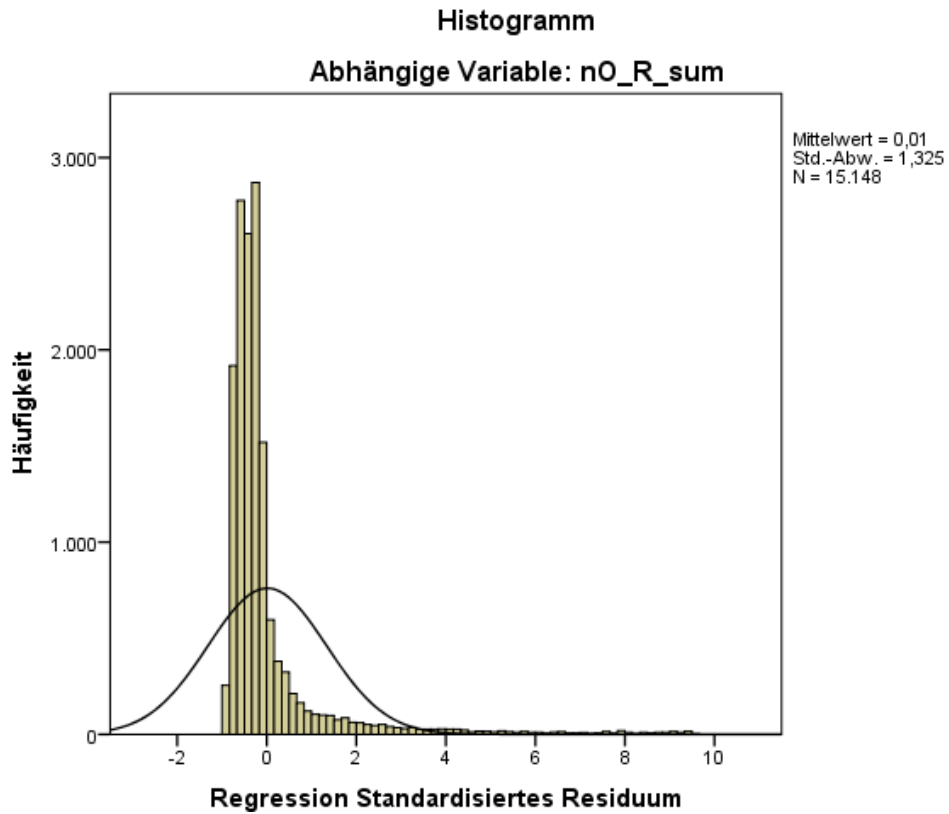


Abbildung A2-6: Histogramm zur Überprüfung der Häufigkeitsverteilung der Residuen

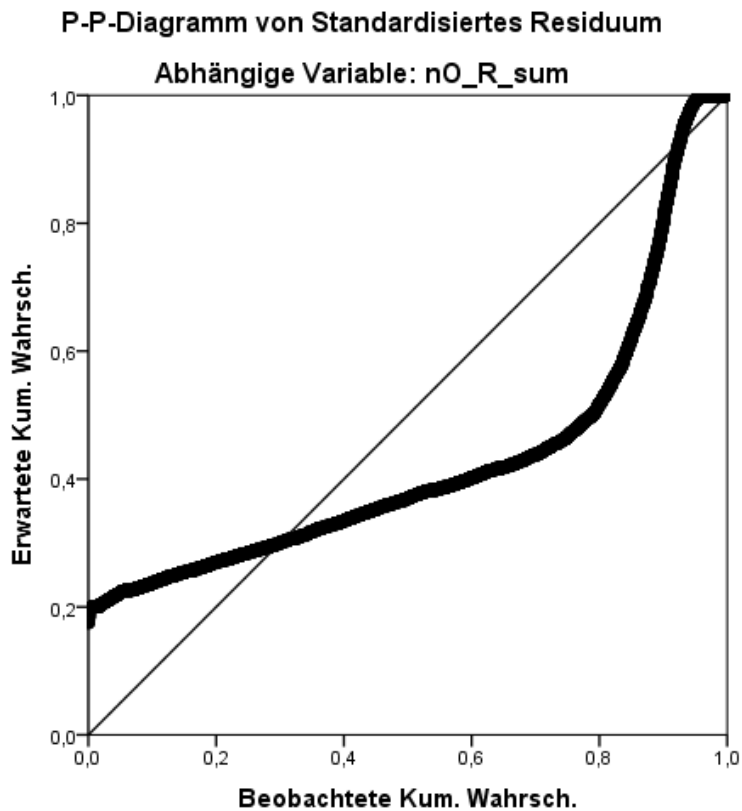


Abbildung A2-7: P-P-Diagramm zu den standardisierten Residuen

A2-2-1-2 Ergebnisse zur Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS)

Alle nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den ersten Fahrstreifen im BAB-Netz.

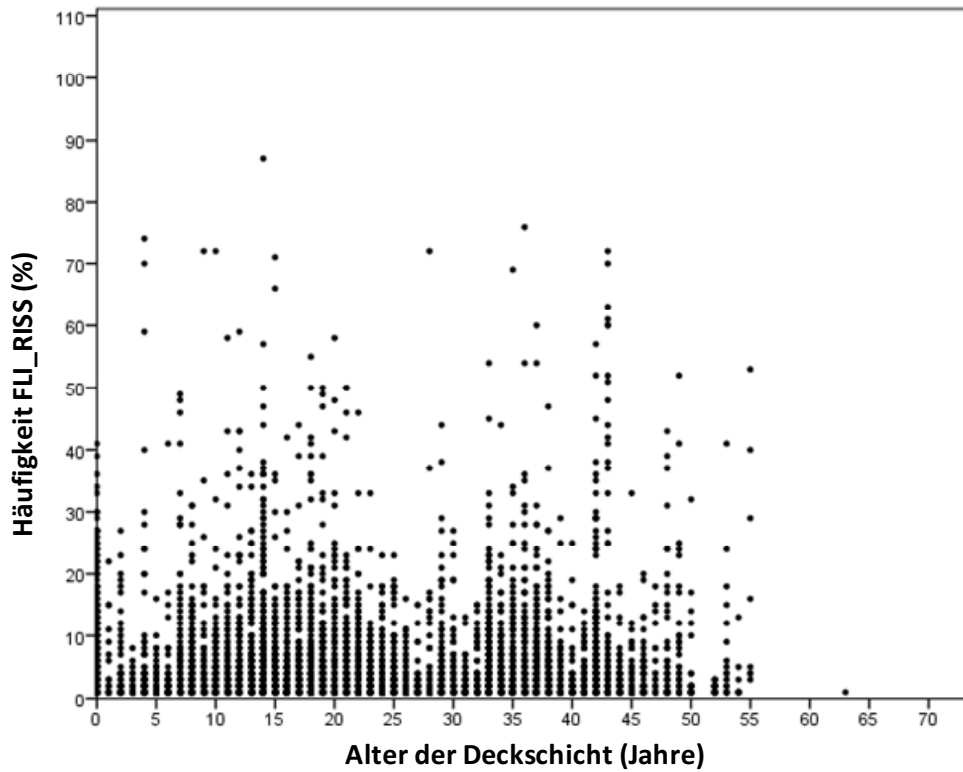


Abbildung A2-8: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht

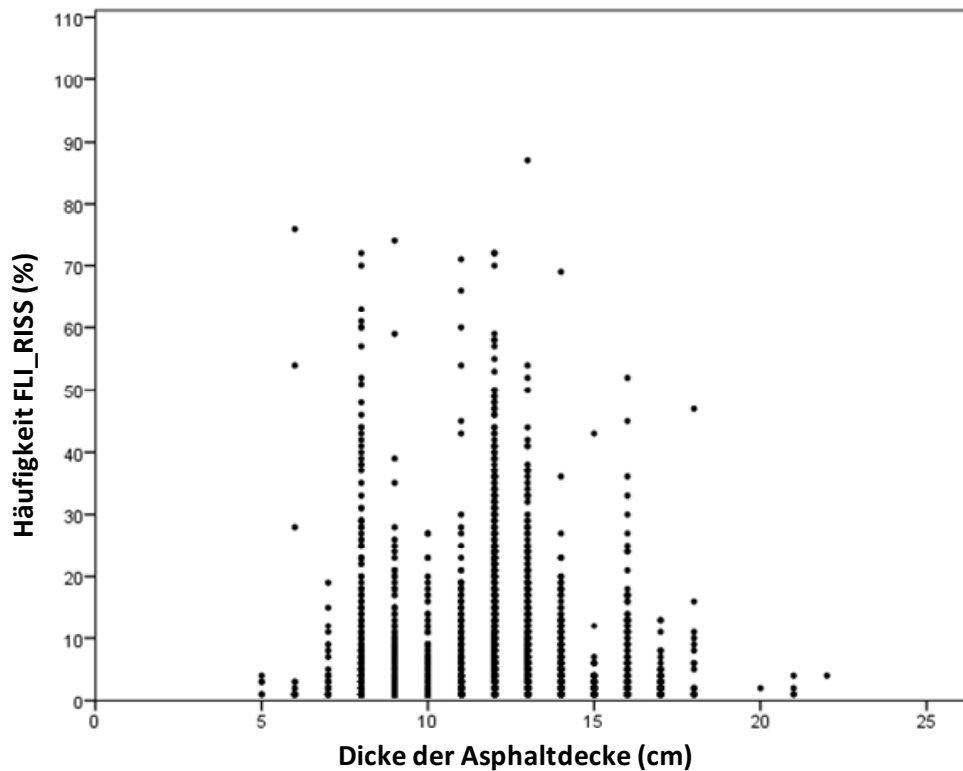


Abbildung A2-9: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke

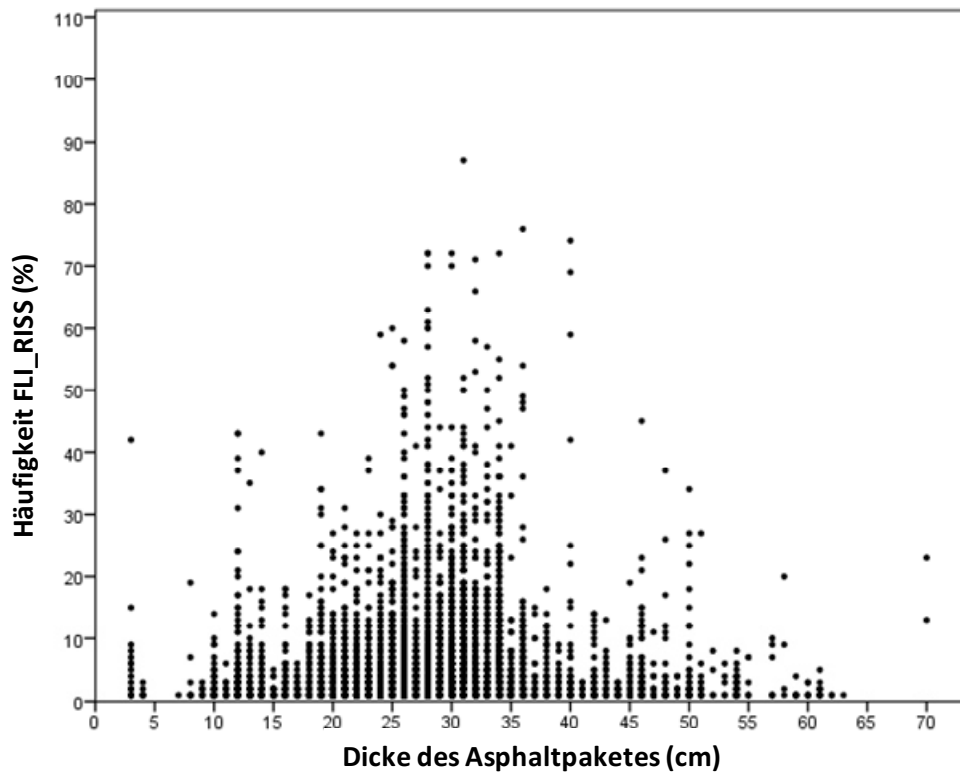


Abbildung A2-10: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes

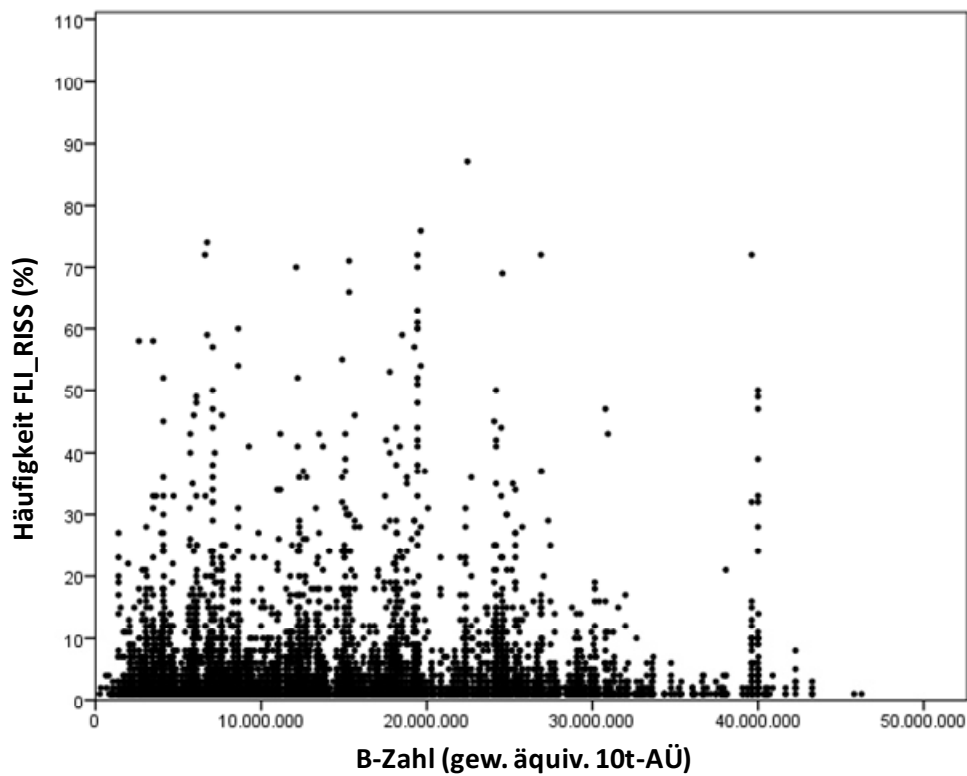


Abbildung A2-11: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „FLI_RISS“ in Abhängigkeit von der Summe der gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergänge (B-Zahl)

	FLI_RISS	
	<i>r</i>	Korrelation
Alter Dünnschichtbelag (2,5 cm)	0,007	sehr gering
Alter Deckschicht (4,0 cm)	0,003	sehr gering
Spurrinnentiefe links	0,002	sehr gering
Spurrinnentiefe rechts	0,002	sehr gering
Dicke Asphaltdecke	0,001	sehr gering
B-Zahl	0,000	sehr gering

Tabelle A2-9: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zur Merkmalskombination „FLI_RISS“ – Fahrstreifen eins (B-Zahl = ertragene Verkehrsbelastung)

Modellzusammenfassung ^e				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,135 ^a	,018	,017	6,644
2	,188 ^b	,035	,034	6,588
3	,209 ^c	,044	,041	6,564
4	,225 ^d	,051	,047	6,542

a. Einflußvariablen : (Konstante), ASPHALT_DICKE
 b. Einflußvariablen : (Konstante), ASPHALT_DICKE, DS_ALTER_A
 c. Einflußvariablen : (Konstante), ASPHALT_DICKE, DS_ALTER_A, SPTR
 d. Einflußvariablen : (Konstante), ASPHALT_DICKE, DS_ALTER_A, SPTR, DTVog_mean_FR
 e. Abhängige Variable: nF_R_sum

Abbildung A2-12: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Merkmalskombination „FLI_RISS“

Erläuterungen zur Abbildung A2-12:

nF_R_sum	Anzahl „FLI_RISS“ im 100m-Abschnitt
ASPHALT_DICKE	Dicke des Asphaltpaketes (Deckschicht + Binderschicht + Asphalttragschicht)
DS_ALTER_A	Alter der Deckschicht
SPTR	Spurrinnentiefe rechts
DTVog_mean_FR	Mittelwert der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke aller Fahrzeugklassen für eine Fahrtrichtung

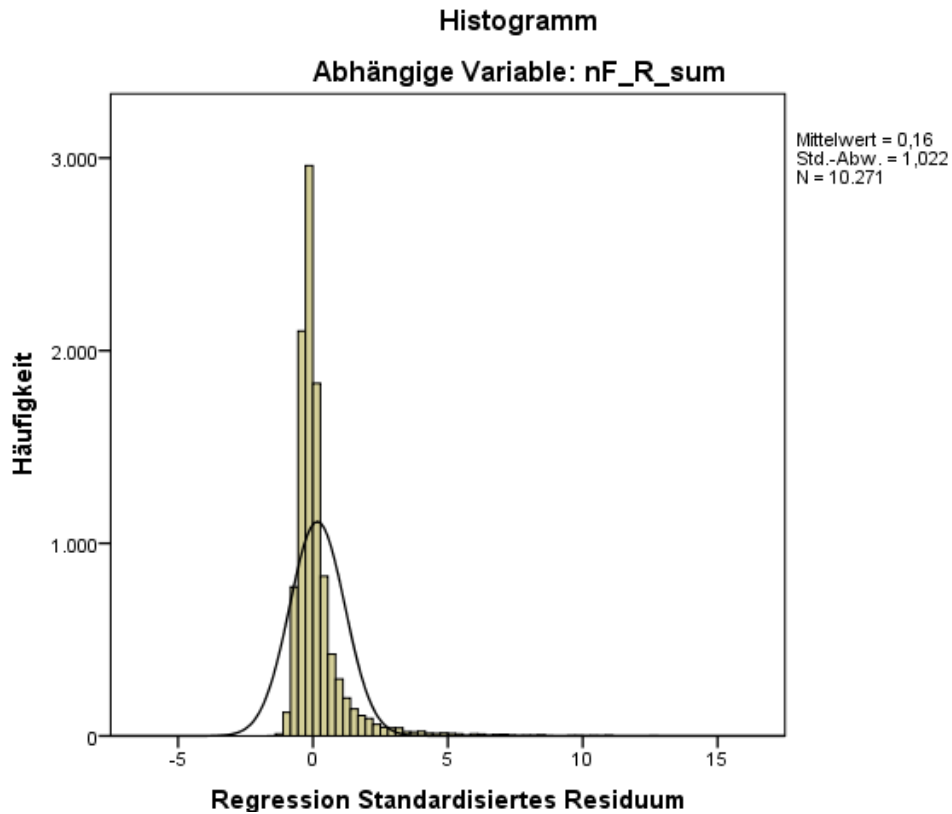


Abbildung A2-13: Histogramm zur Überprüfung der Häufigkeitsverteilung der Residuen

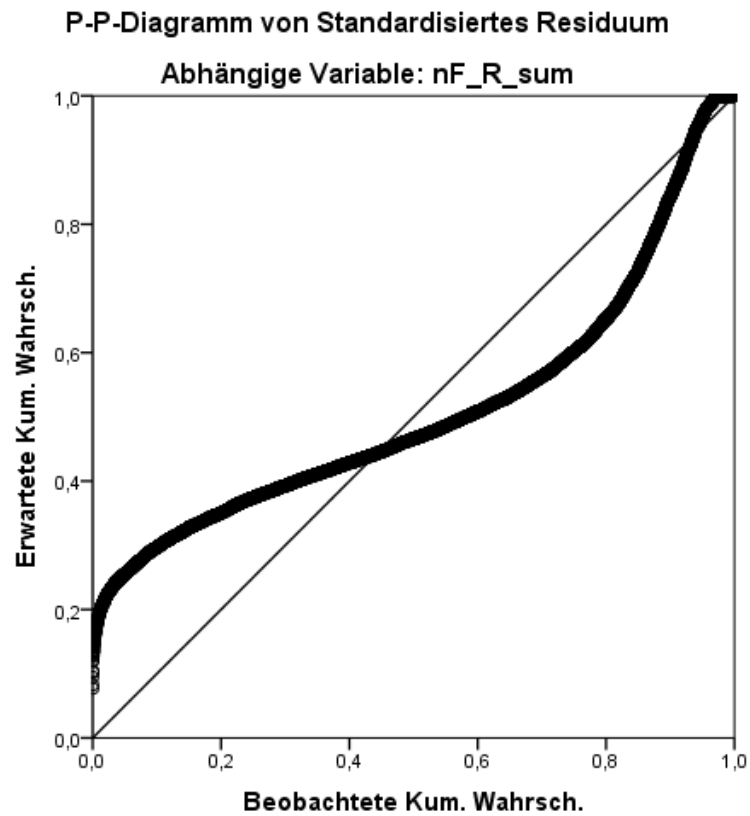


Abbildung A2-14: P-P-Diagramm zu den standardisierten Residuen

A2-2-1-3 Ergebnisse zur Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS)

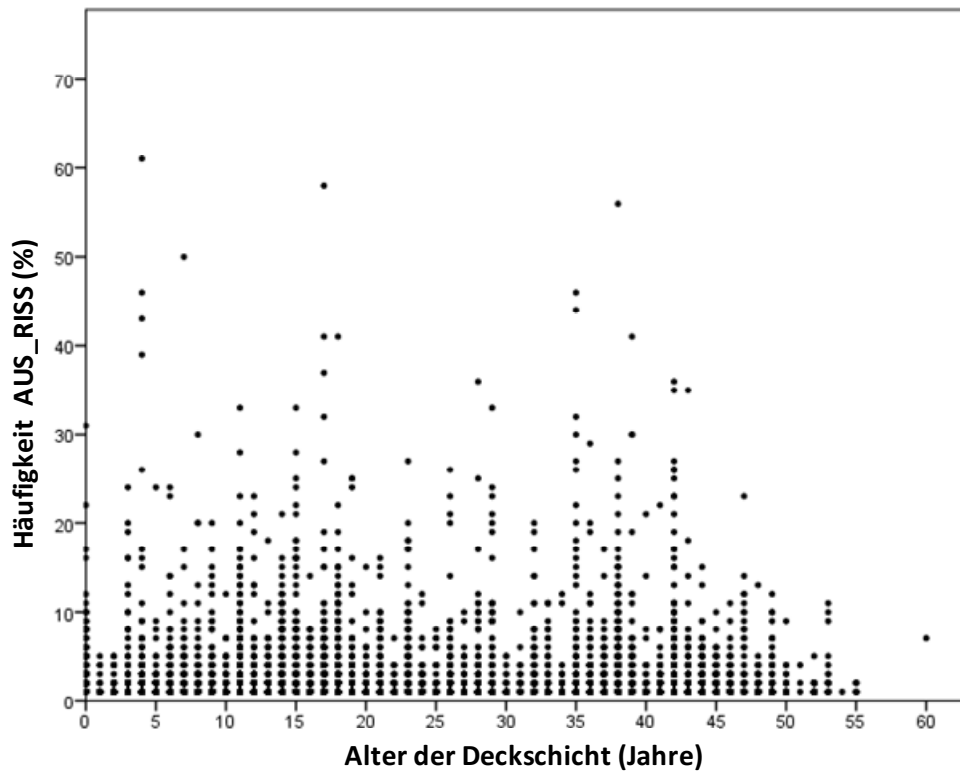


Abbildung A2-15: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit des Alters der Deckschicht

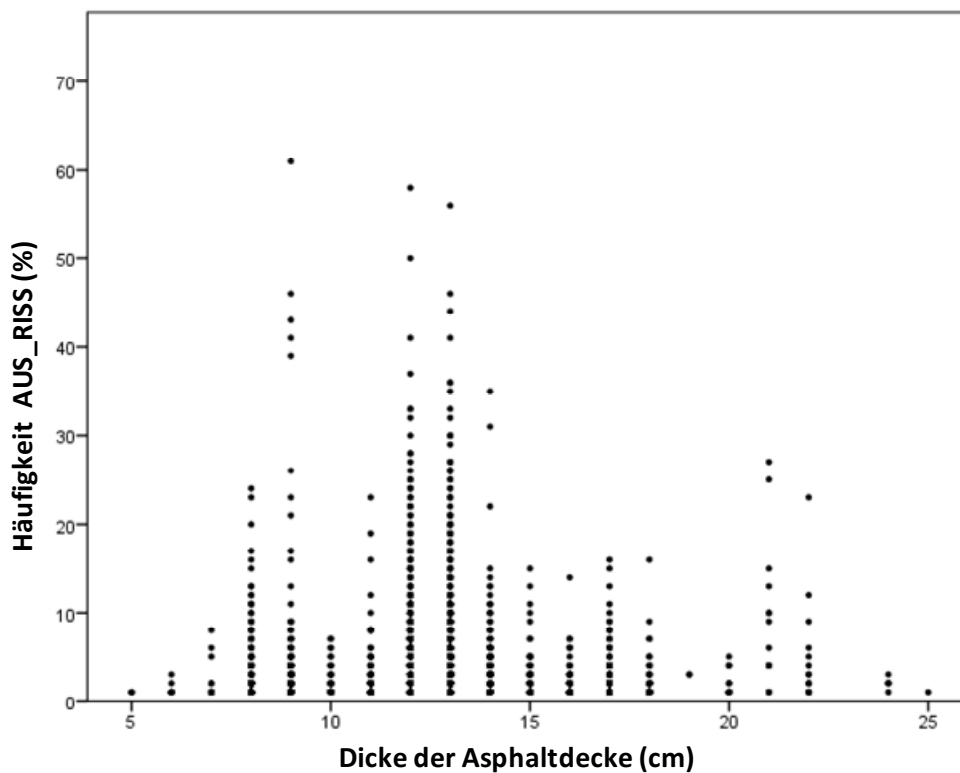


Abbildung A2-16: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltdecke

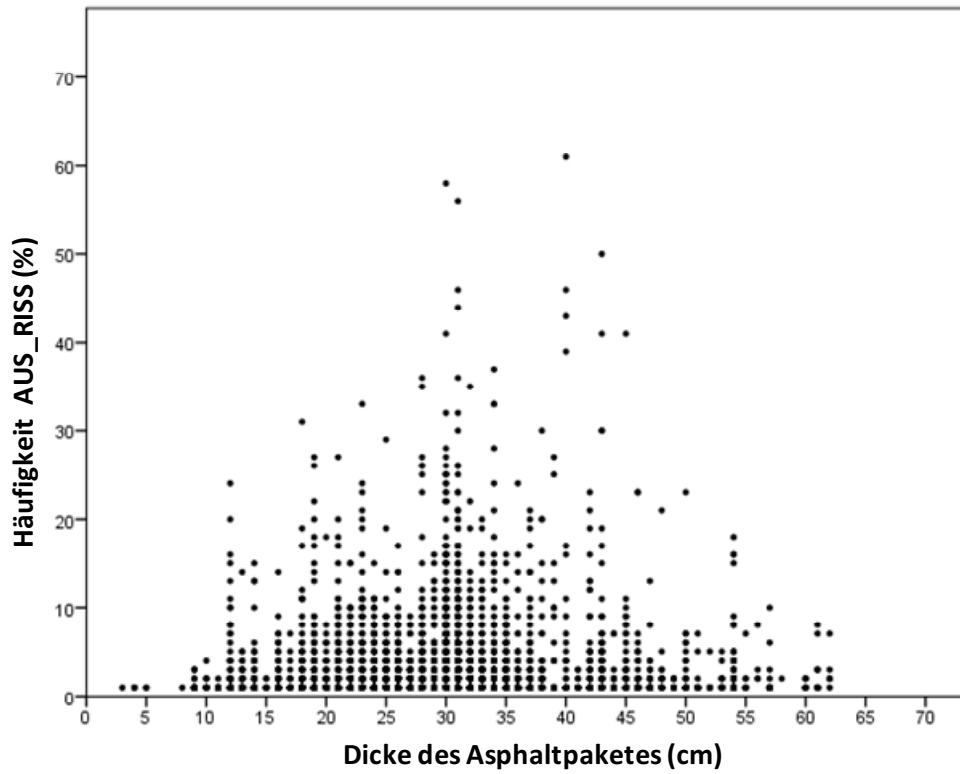


Abbildung A2-17: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Dicke des Asphaltpaketes

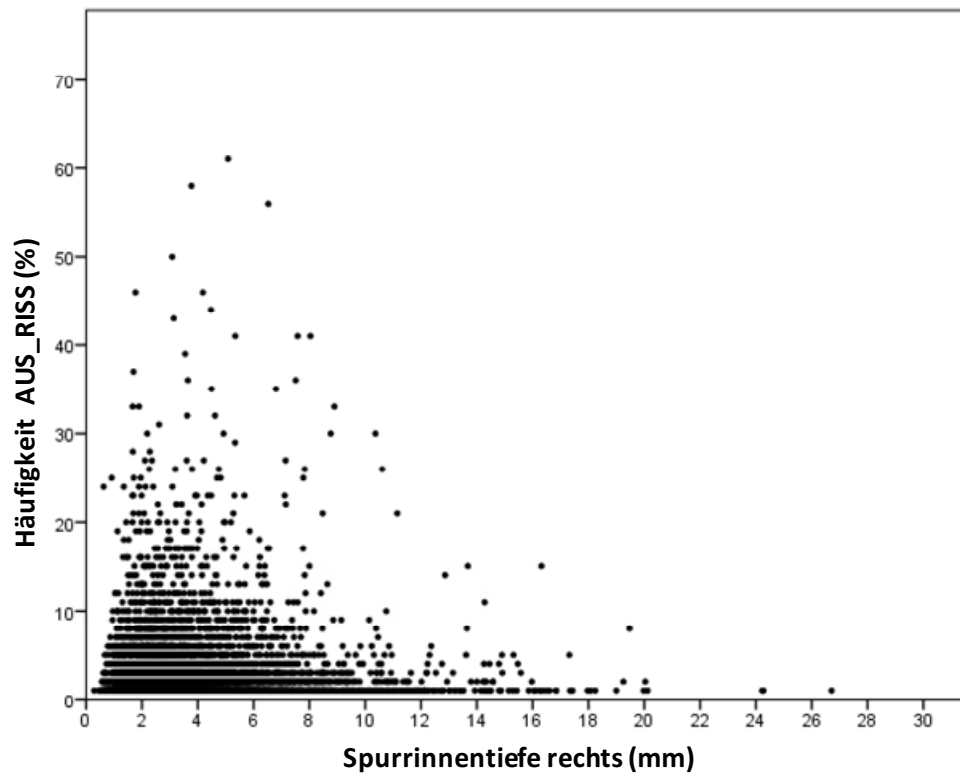


Abbildung A2-18: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der rechten Spurrinnentiefe

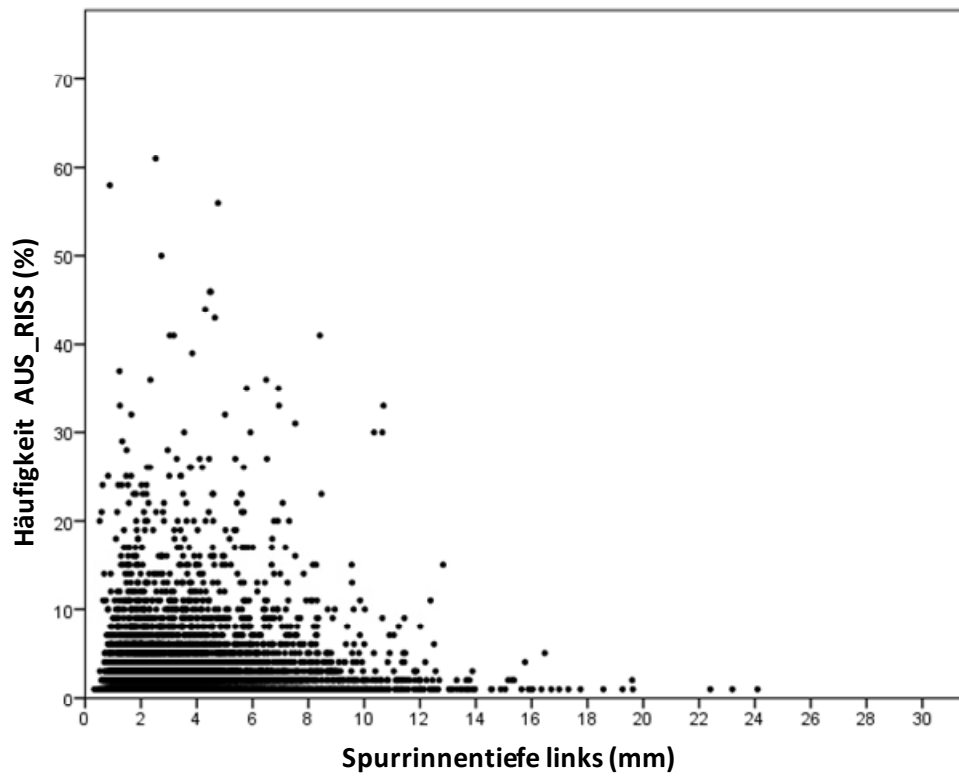


Abbildung A2-19: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der linken Spurrinntiefe

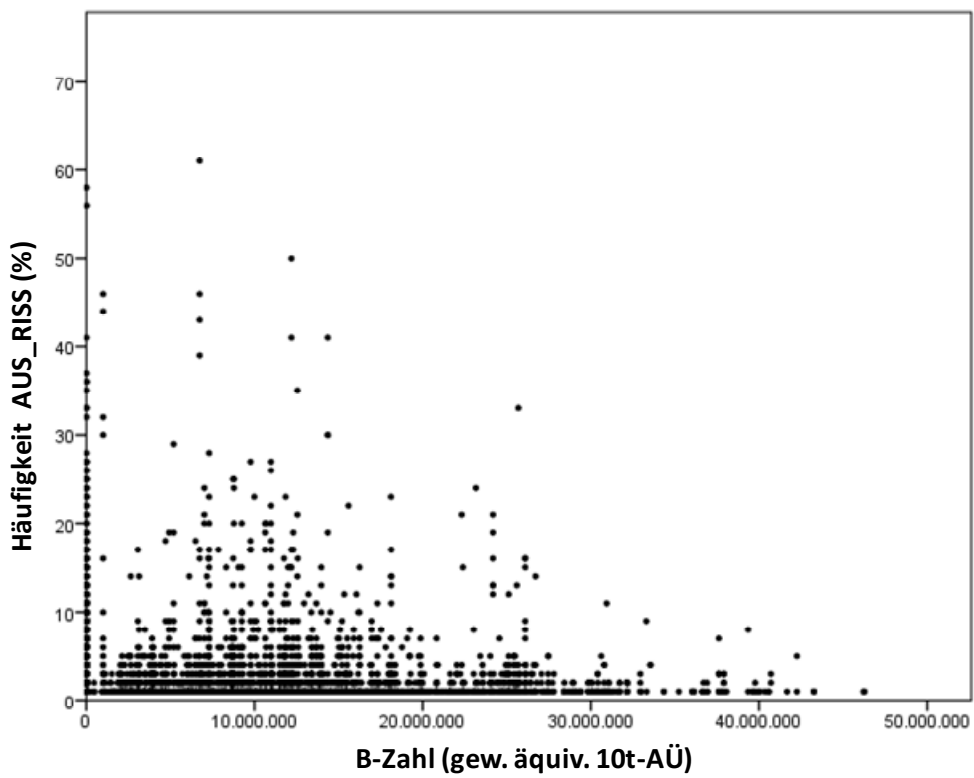


Abbildung A2-20: Häufigkeit des Auftretens der Merkmalskombination „AUS_RISS“ in Abhängigkeit von der Summe der gewichteten äquivalenten 10t-Achsübergänge (B-Zahl)

	AUS_RISS	
	<i>r</i>	Korrelation
Arbeitsnaht DS/Rand	0,635	mittel
Spurrinntiefe links	0,031	sehr gering
Spurrinntiefe rechts	0,037	sehr gering
Dicke Asphaltdecke	0,021	sehr gering
Dicke Asphaltpaket	0,027	sehr gering
Alter Deckschicht	0,011	sehr gering
B-Zahl	0,007	sehr gering

Tabelle A2-10: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zur Merkmalskombination „AUS_RISS“
(DS = Deckschicht, Rand = Naht/Fuge zur Randbefestigung, TS = Tragschicht)

Modellzusammenfassung ^e				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,645 ^a	,416	,416	2,685
2	,649 ^b	,421	,421	2,674
3	,650 ^c	,422	,422	2,671
4	,650 ^d	,423	,422	2,669

a. Einflußvariablen : (Konstante), nA_R_NAHT_sum
b. Einflußvariablen : (Konstante), nA_R_NAHT_sum, B_summe_mean
c. Einflußvariablen : (Konstante), nA_R_NAHT_sum, B_summe_mean, DS_ALTER_A
d. Einflußvariablen : (Konstante), nA_R_NAHT_sum, B_summe_mean, DS_ALTER_A, SPTL
e. Abhängige Variable: nA_R_sum

Abbildung A2-21: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Merkmalskombination „AUS_RISS“

Erläuterungen zur Abbildung A2-21:

nA_R_sum	Anzahl „AUS_RISS“ im 100m-Abschnitt
nA_R_NAHT_sum	Lage „AUS_RISS“ nahe Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen oder zur Randbefestigung
B_summe_mean	Mittelwert der Summe der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung für die Jahre 2005-2012
DS_ALTER_A	Alter der Deckschicht
SPTL	Spurrinntiefe links

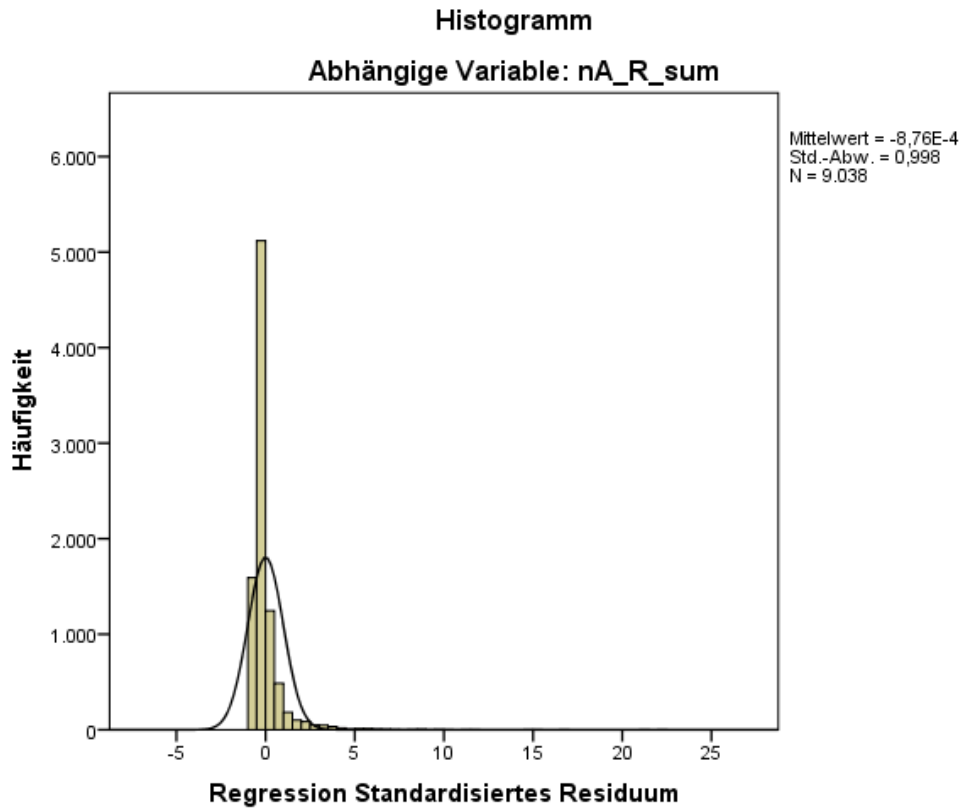


Abbildung A2-22: Histogramm zur Überprüfung der Häufigkeitsverteilung der Residuen

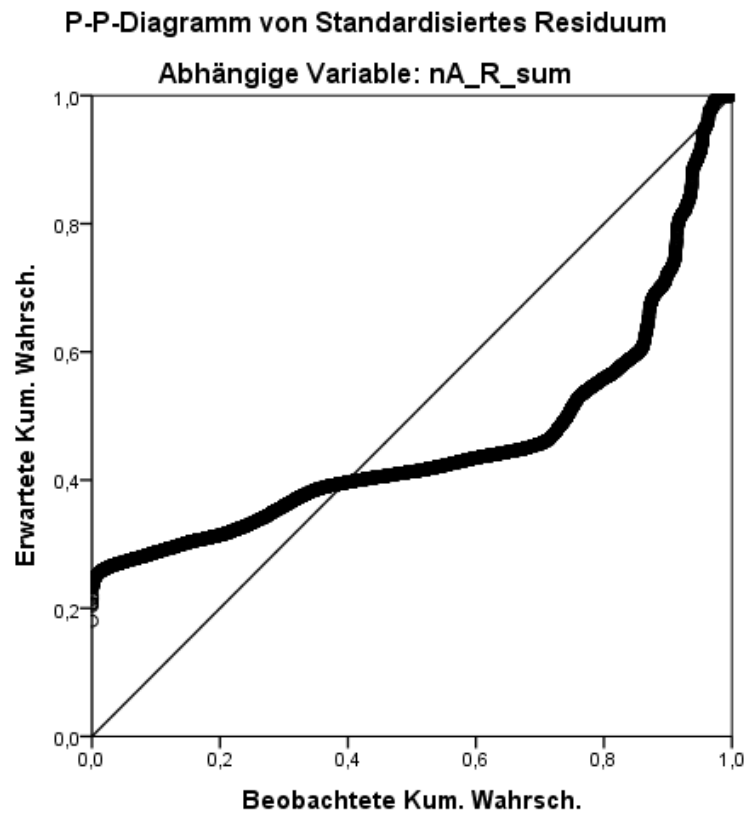


Abbildung A2-23: P-P-Diagramm zu den standardisierten Residuen

A2-2-2 Ergebnisse zur regionalgeographischen Analyse der Merkmalskombinationen des TP3

Die in diesem Anhang enthaltenen Kartendarstellungen können visuell den Eindruck eines höheren Schadensvorkommens im BAB-Netz vermitteln als tatsächlich vorliegt. Die kleinmaßstäbige Darstellung führt zwangsläufig zu einer Überlagerung von in der Karte visualisierten Informationen. So erscheinen eingefärbte 100m-Abschnitte, die ein Vorkommen der jeweiligen Merkmalskombination anzeigen, als häufig zusammenhängend. Eine Überrepräsentation der Bereiche mit Merkmalen ist die Folge.

Bundesland	Abschnitte	ONA_RISS	FLI_RISS	AUS_RISS
SH	16.016	1,9%	7,6%	5,9%
HH	3.450	3,5%	8,4%	9,0%
NI	41.556	2,6%	2,6%	0,3%
HB	868	4,3%	2,3%	1,0%
NW	92.511	6,2%	5,5%	7,8%
HE	42.530	3,6%	4,3%	0,5%
RP	30.969	3,9%	4,5%	0,4%
BW	34.508	4,9%	2,3%	0,2%
BY	91.641	3,5%	4,6%	0,3%
SL	9.358	2,8%	2,7%	0,4%
BE	2.652	4,0%	12,0%	5,8%
BB	18.965	1,9%	2,6%	2,4%
MV	17.147	0,6%	2,9%	2,6%
SN	11.589	1,1%	5,2%	7,4%
ST	5.547	2,3%	6,1%	7,2%
TH	10.498	0,5%	2,3%	2,6%

Tabelle A2-11: Relative Anteile der Merkmalskombinationen des TP3 an allen 100m-Abschnitten je Bundesland für alle Fahrstreifen

Bundesland	ONA_RISS	FLI_RISS	AUS_RISS
SH	0,8%	6,2%	6,8%
HH	0,4%	1,7%	2,7%
NI	5,9%	6,8%	0,5%
HB	0,3%	0,1%	0,1%
NW	19,3%	26,2%	63,0%
HE	15,0%	7,9%	1,1%
RP	12,1%	8,1%	1,1%
BW	16,9%	4,4%	0,4%
BY	25,6%	26,3%	2,2%
SL	1,5%	1,3%	0,2%
BE	0,2%	1,5%	0,9%
BB	0,9%	2,5%	3,2%
MV	0,1%	1,9%	2,4%
SN	0,3%	3,0%	10,0%
ST	0,6%	1,5%	3,4%
TH	0,1%	0,7%	2,0%

Tabelle A2-12: Relative Schadensverteilung des Gesamtvorkommens der Merkmalskombinationen des TP3 auf die Bundesländer (1m-Auswerteabschnitte, alle Fahrstreifen)

Bundesautobahnnetz
Vorkommen der Merkmalskombination "ONA_RISS"

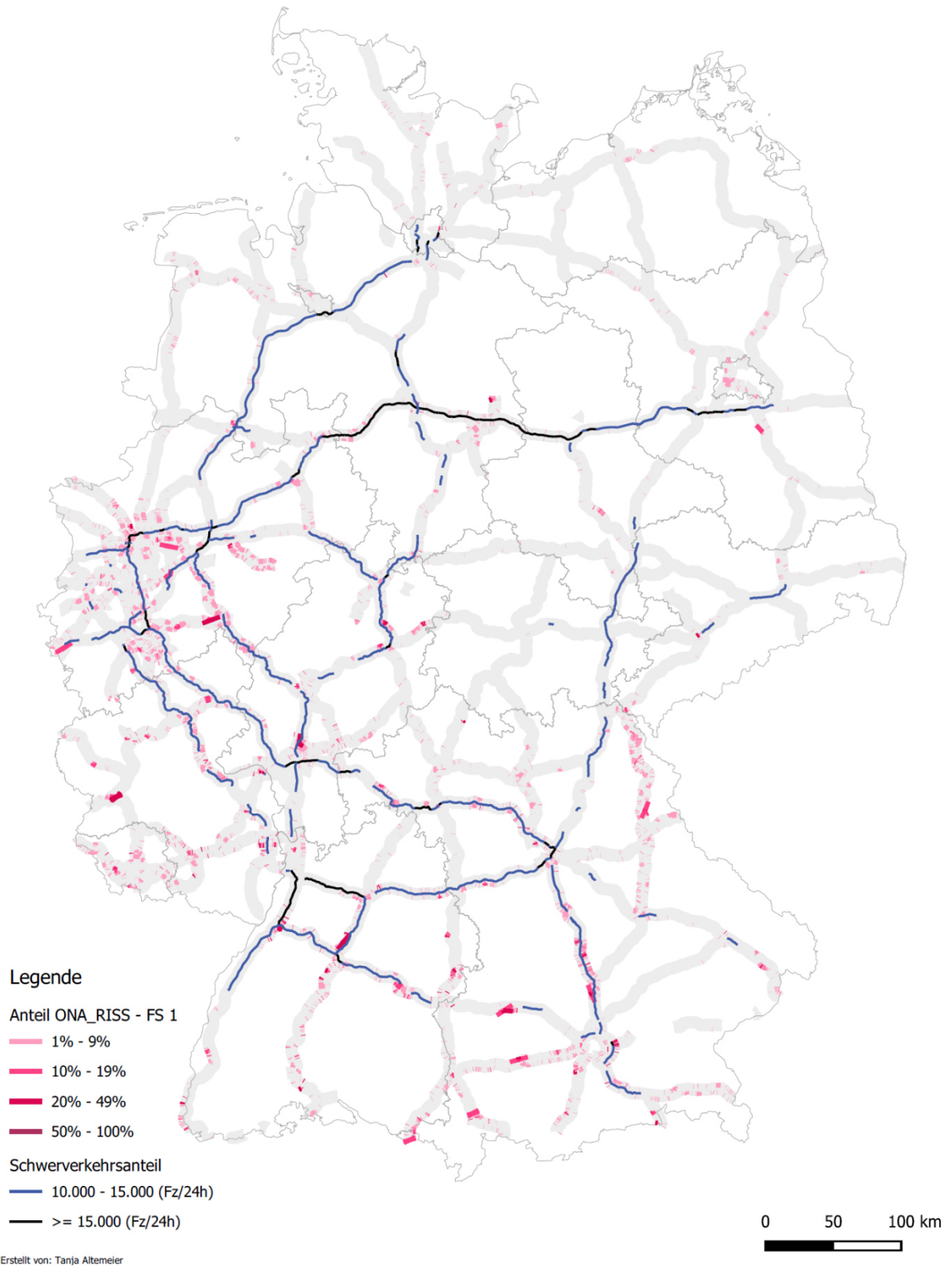


Abbildung A2-24: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) auf dem ersten Fahrstreifen

Bundesautobahnnetz Vorkommen der Merkmalskombination "ONA_RISS"

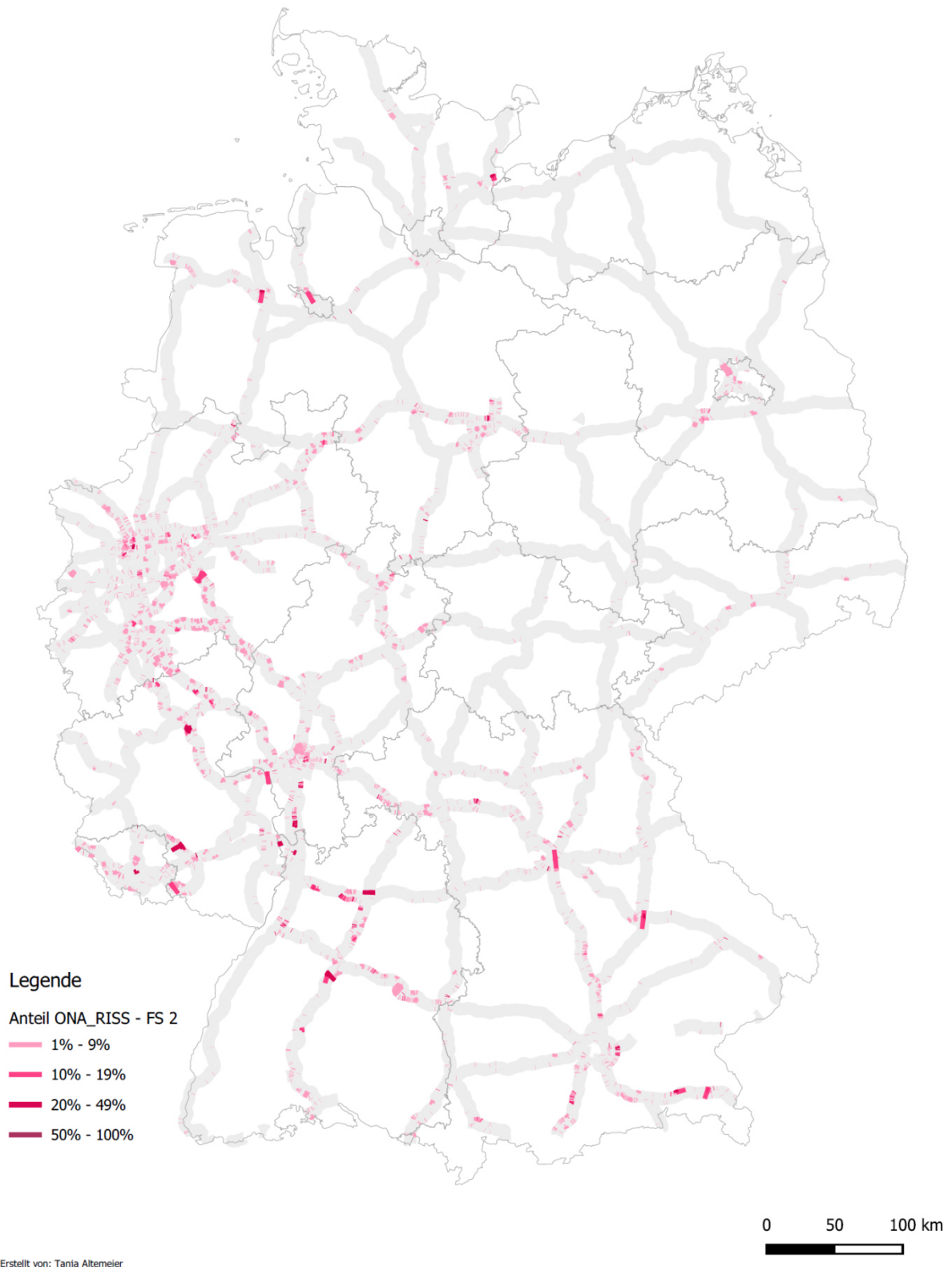


Abbildung A2-25: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Offene Arbeitsnähte und Risse“ (ONA_RISS) auf dem zweiten Fahrstreifen

Bundesautobahnnetz
Vorkommen der Merkmalskombination "FLI_RISS"

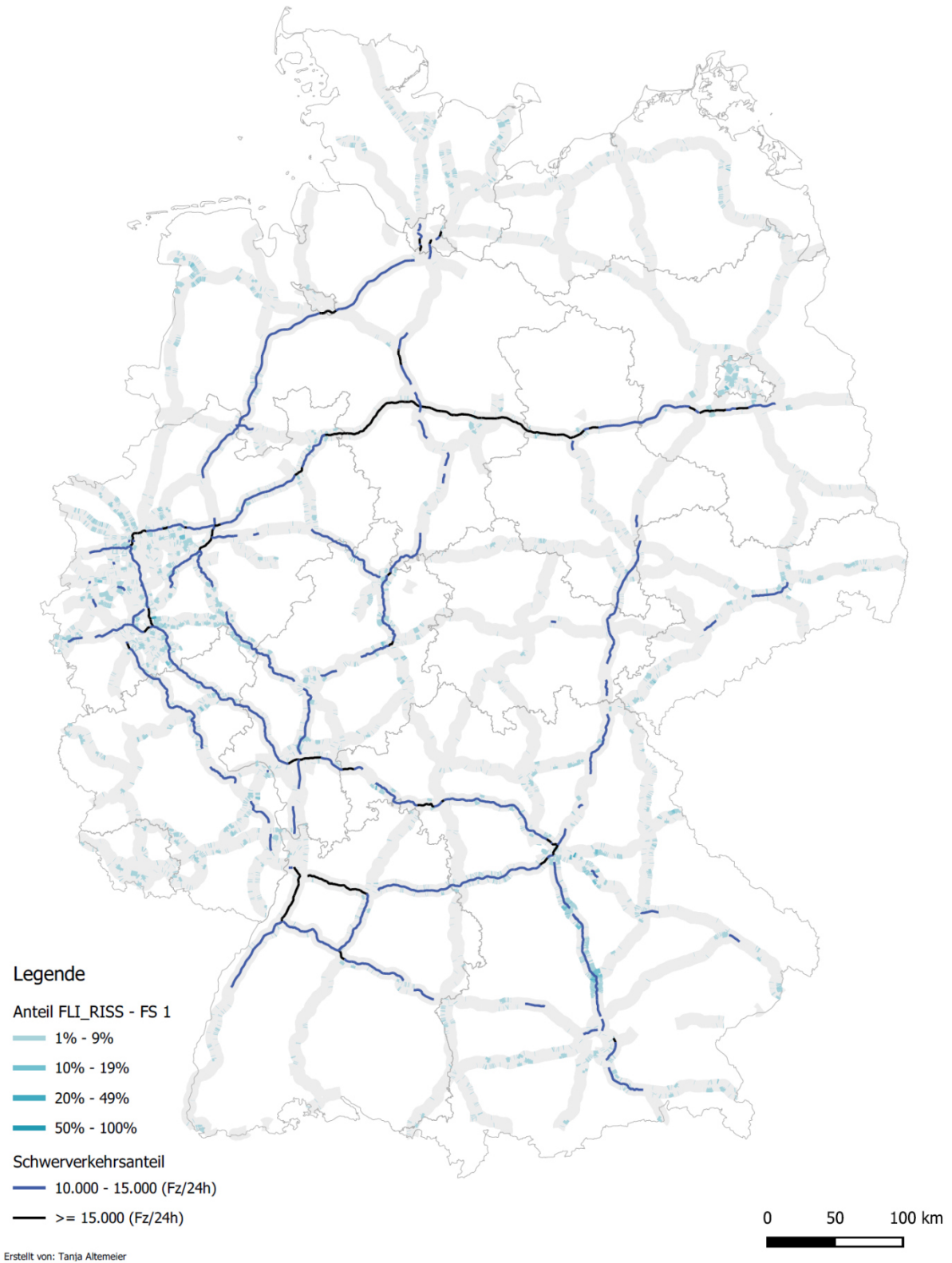


Abbildung A2-26: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS) auf dem ersten Fahrstreifen

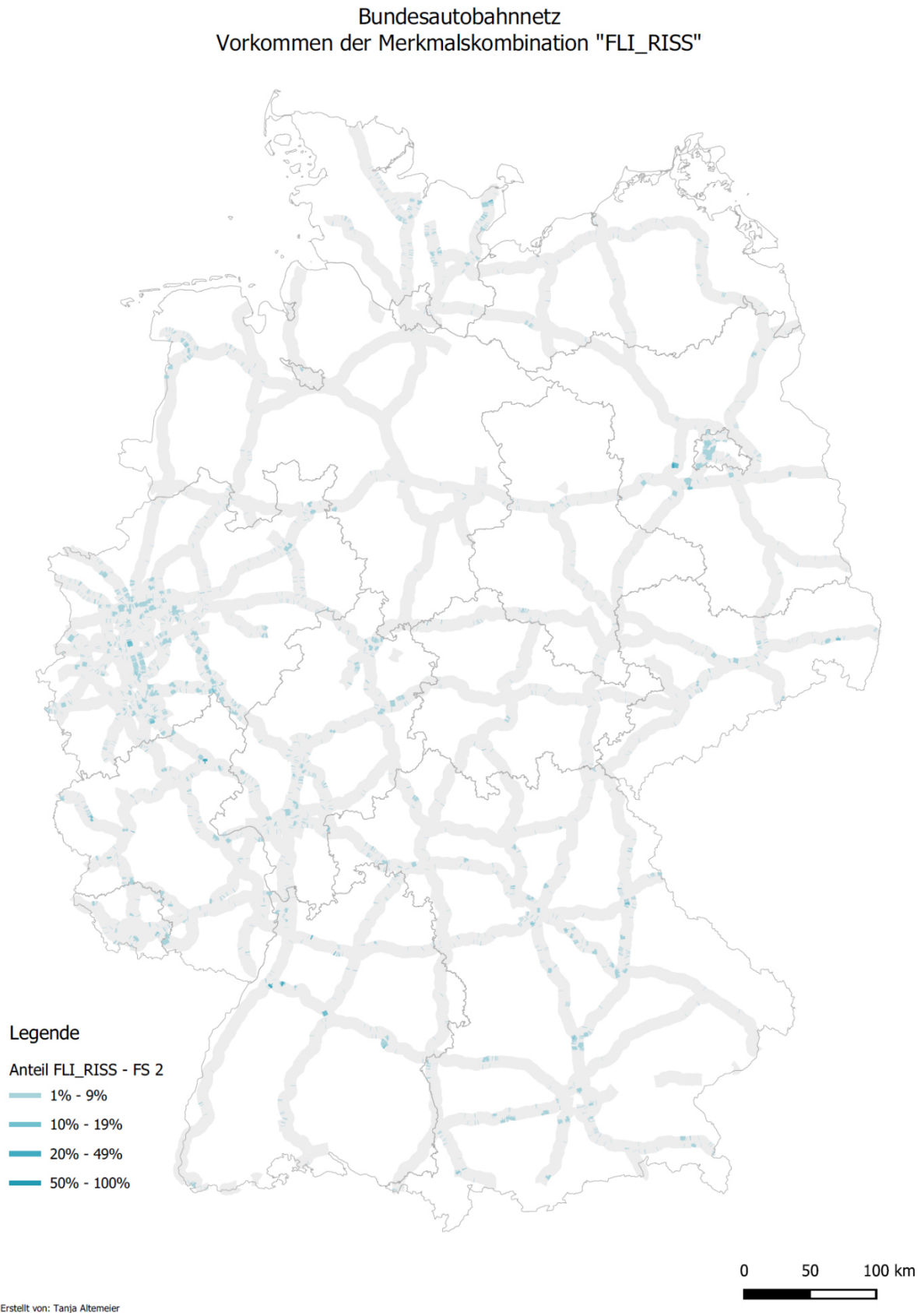


Abbildung A2-27: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Flickstellen und Risse“ (FLI_RISS) auf dem zweiten Fahrstreifen

Bundesautobahnnetz
Vorkommen der Merkmalskombination "AUS_RISS"

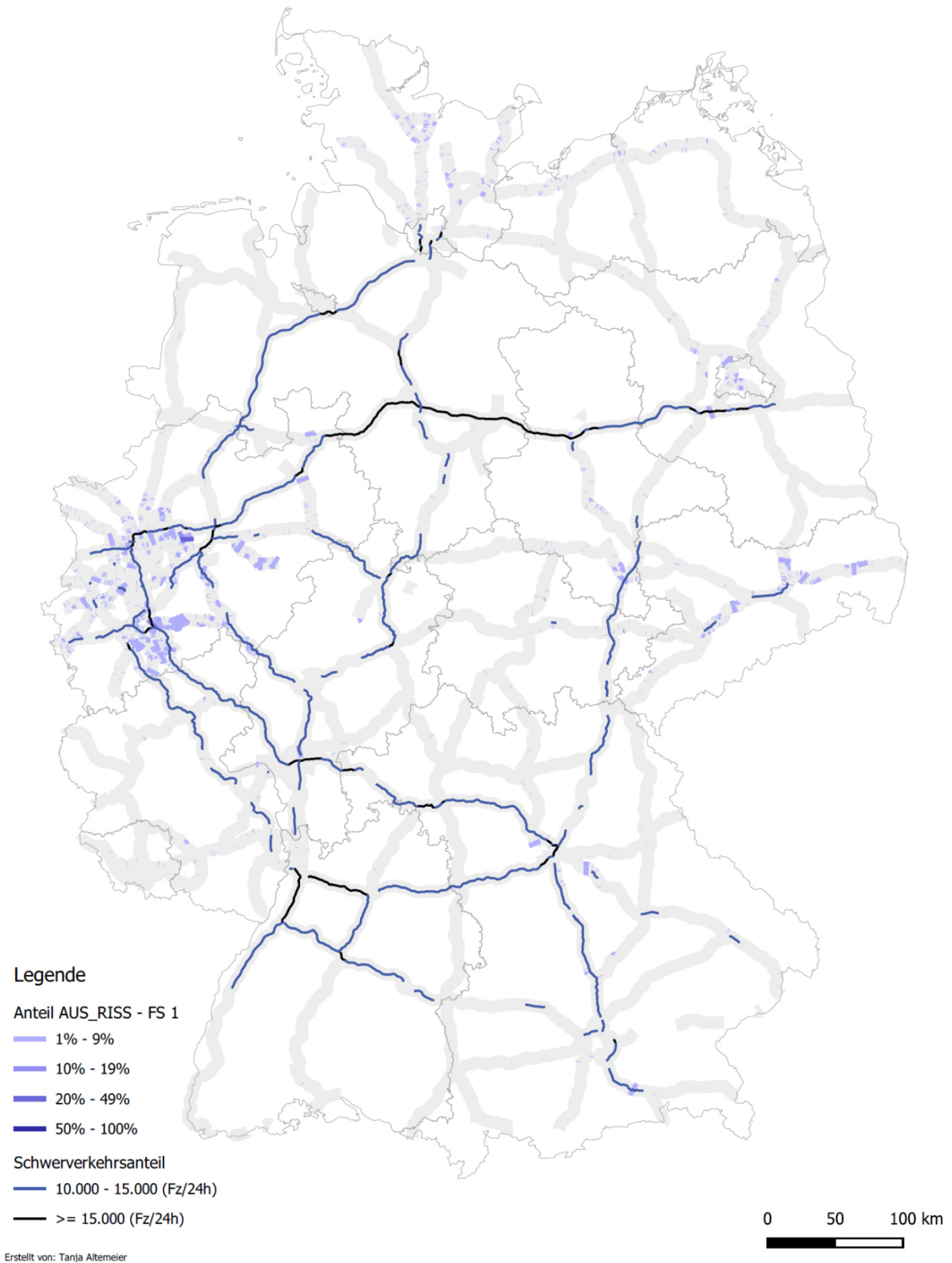


Abbildung A2-28: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS) auf dem ersten Fahrstreifen

Bundesautobahnnetz Vorkommen der Merkmalskombination "AUS_RISS"

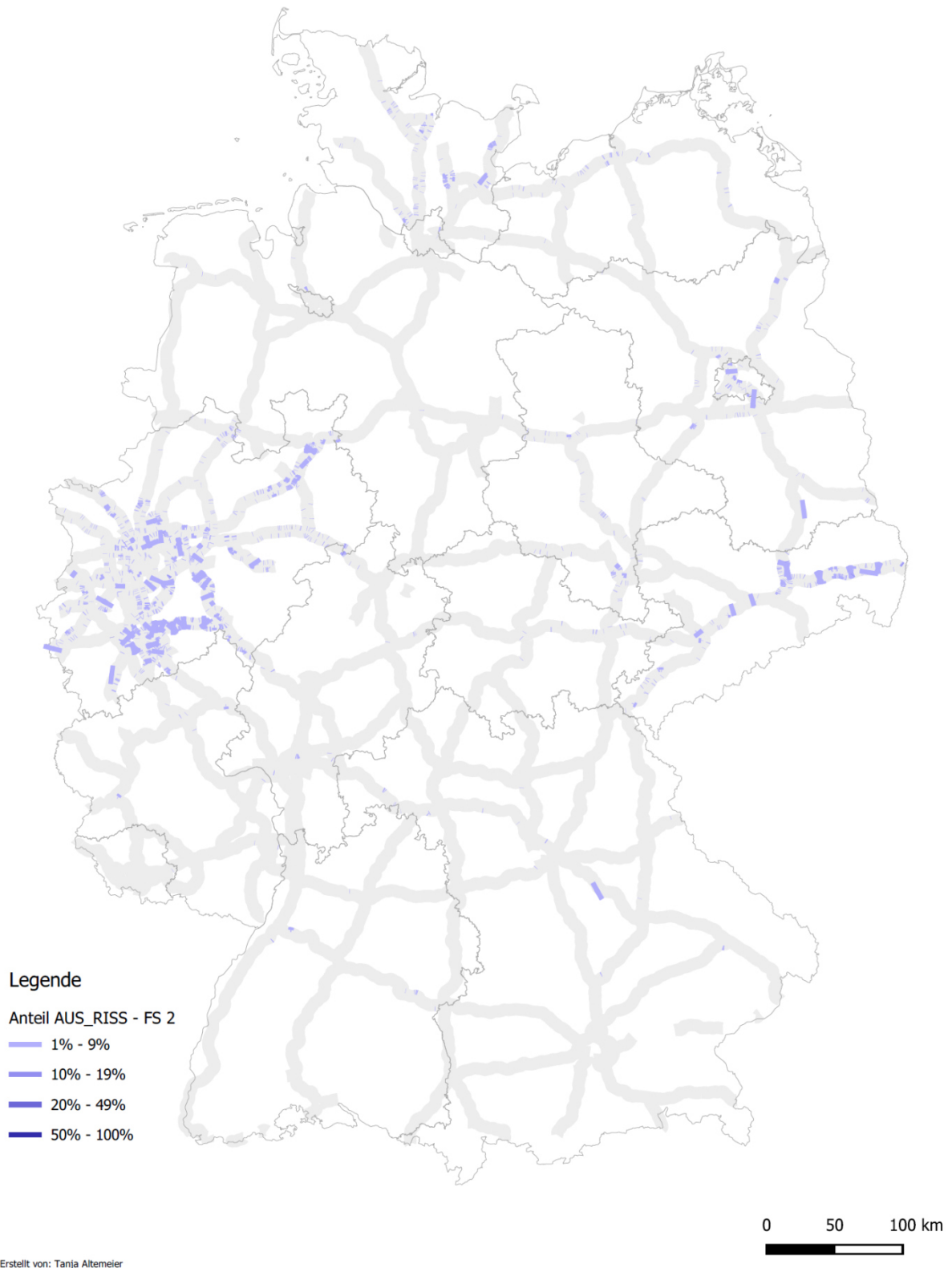


Abbildung A2-29: GIS-Karte zum geographischen Vorkommen der Merkmalskombination „Ausbrüche und Risse“ (AUS_RISS) auf dem zweiten Fahrstreifen

A2-2-3 Ergebnisse zur Variationsanalyse

		Anzahl
Stichprobenumfang		322
räumlicher Zusammenhang zwischen den Einzelmerkmalen der Merkmalskombination	ja	161
	nein	53
fehlerhaft ausgewertet		108
an Arbeitsnaht vorkommend		117
Quernaht		4
Reflexionsriss/Schattennaht		28
geschlossene Arbeitsnaht		10

Tabelle A2-13: Ergebnisse der Variationsanalyse zur Merkmalkombination „ONA_RISS“

		Anzahl
Stichprobenumfang		321
räumlicher Zusammenhang zwischen den Einzelmerkmalen der Merkmalskombination	ja	240
	nein	53
fehlerhaft ausgewertet		28
an Arbeitsnaht vorkommend		63
an Schachtabdeckung vorkommend		29
Lage im Nahtbereich		19
Lage im Randnahtbereich		35

Tabelle A2-14: Ergebnisse der Variationsanalyse zur Merkmalkombination „FLI_RISS“

		Anzahl
Stichprobenumfang		319
räumlicher Zusammenhang zwischen den Einzelmerkmalen der Merkmalskombination	ja	252
	nein	25
fehlerhaft ausgewertet		42
Schaden ineinander		233
an Arbeitsnaht vorkommend		5
in Rollspur vorkommend		7

Tabelle A2-15: Ergebnisse der Variationsanalyse zur Merkmalkombination „AUS_RISS“

A3 Arbeitsnähte zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt

A3-1 Methodik des Vorgehens

Modellannahmen für die BISAR-Berechnungen bei einer Oberflächentemperatur von +20°C

Für die Berechnung der Spannungs- und Dehnungsverläufe in einer Fahrbahnbefestigung mit BISAR sind im Vorfeld viele Parameter zu bestimmen und festzulegen.

Die Festlegung der einzelnen Berechnungspunkte im Fahrbahnquerschnitt erfolgte auf Basis des Regelquerschnitts RQ 36 nach den RAA (FGSV 2008) für die Straßenkategorie AS 0, AS I, AS II und die Entwurfsklasse EKA 1 A und EKA 1 B. Danach besitzt der Hauptfahrstreifen eine Breite von 3,75 m und die Fahrstreifen zwei und drei je eine Breite von 3,50 m. Die gesamte Fahrbahnbreite unter Berücksichtigung des Seitenstreifens und der Randsteine beträgt 14,50 m.

Die Bauweise wurde gemäß RStO 12 (FGSV 2012), Tafel 1 „Bauweisen mit Asphaltdecke für Fahrbahnen auf F2- und F3-Untergrund/Unterbau“, Zeile 1 „Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht“ und unter Auswahl der Belastungsklasse Bk100 für Bundsautobahnen mit einem Asphaltaufbau von 34 cm (Asphaltdecke 12 cm + Asphalttragschicht 22 cm) und einer Frostschuttschicht von 41 cm festgelegt. Bei der Eingabe des Aufbaus (Structure) in das BISAR-Programm wurde nur zwischen dem Asphaltpaket (34 cm), der Frostschuttschicht (41 cm) und dem Untergrund (∞) unterschieden, da insbesondere die Zugspannungen an der Unterseite des Asphaltpaketes (-34 cm) und die Zugdehnungen an der Straßenoberfläche (0 cm) für die Fragestellung relevant sind und für alle Schichten des Asphaltpaketes dasselbe E-Modul angenommen wurde.

Die Festlegung des E-Moduls für das Asphaltpaket erfolgte gemäß der RDO Asphalt (FGSV 2009) für eine Belastungsfrequenz von 10 Hz und eine Oberflächentemperatur von +20°C auf 7.000 MN/mm². Die Querkontraktionszahl (Poisson's Ratio) wurde auf 0,35 gesetzt. Für die Tragschicht ohne Bindemittel (ToB) wurde ein E-Modul von 300 MN/mm² und eine Querkontraktionszahl von 0,5 angenommen. Basierend auf den Angaben im AP Trag Teil C 2.1 (FGSV 2014) zur Berechnung des E-Moduls für den Untergrund wurde das E-Modul auf 70 MN/mm² und die Querkontraktionszahl auf 0,5 festgelegt.

Da die BISAR-Berechnungen für den ungünstigsten Fall, also die höchste Belastung im Fahrbahnquerschnitt durchgeführt werden sollten, wurde der Lastfall LKW und PKW angenommen. Für den LKW wurde ein Sattelzugfahrzeug des Typs 98 mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t ausgewählt, da die aus Achslasterfassungen abgeleitete Schwerverkehrsverteilung für das gesamte BAB-Netz eine Dominanz dieses Typs ergab (BAST 2019). Zur Bestimmung der Achslastverteilung des Sattelzugfahrzeugs wurde nach WOLF (2010) anhand des Regressions-Koeffizienten das Gewicht der einzelnen Achsen berechnet. Die Antriebsachse des Zugfahrzeugs ist mit einem Gewicht von 10,89 t die schwerste Achse. Gerechnet wurde mit einem glatten Wert von 11 t. Da die Antriebsachse in der Praxis nahezu ausschließlich mit einer Zwillingsbereifung bestückt ist, wo jeder einzelne Reifen zwar eine geringere Lasteintragung aufweist, jedoch durch die Überlagerung der Druckeinträge in den Straßenaufbau ein insgesamt höherer Lasteintrag auftritt als bei einer Singlebereifung, wurde mit insgesamt vier Reifen für diese Achse gerechnet. Nach RABE (2010) wird die Aufstandsweite der LKW-Reifen auf 280 mm festgelegt und als Toplast in die Berechnungen mit einbezogen. Für den PKW wurde ein VW Passat mit einem Gewicht von 1,5 t zugrunde

gelegt mit einer Achslast von 0,75 t. Für den VW Passat wurde als Schätzwert aus der Reifenbreite und dem Radius eine Aufstandsfläche von 100 mm angenommen, die als Toplast in die Berechnungen mit einging.

Für die BISAR-Berechnungen wurden der LKW auf dem ersten Fahrstreifen und der PKW auf dem zweiten Fahrstreifen positioniert. Im berechneten Lastfall besitzen die betrachteten Achsen des LKW und PKW die gleiche Höhe im Fahrbahnquerschnitt, so dass die Werte für die Y-Koordinate gleich 0 gesetzt wurden. Als Vertikallast (Vertical load) wurde für jeden LKW-Reifen auf Basis des Achsgewichtes eine Last von 27,5 kN und für den PKW von 3,75 kN berechnet. Für die Lasteintragung wurden insgesamt sechs Positionen festgelegt, die entsprechend der Abmessungen des Regelquerschnitts jeweils mittig im Fahrstreifen zwei (PKW) und Fahrstreifen eins (LKW) positioniert wurden. Eine mittige Positionierung wurde unter der Annahme, dass unter realen Bedingungen eine mittige Spurlage bevorzugt wird, angenommen. Der Nullpunkt für die Bemessungen wurde an den äußersten linken Punkt der Asphaltbahn des dritten Fahrstreifens gelegt.

Eine graphische Darstellung der Einmessungen und Berechnungspunkte für die BISAR-Berechnungen ist der Abbildung A3-31 (Anhang A3-2-4) zu entnehmen.

Für die Berechnung der Spannungen und Dehnungen wurde ein engmaschiges Netz mit einer Maschenweite von 10 cm gewählt, um möglichst detaillierte Verläufe zu erhalten. Inklusive der Positionen für die Lasteintragungen lagen insgesamt 96 Berechnungspunkte über den gesamten Fahrbahnquerschnitt (X-Koordinate) vor. Die Spannungs- und Dehnungsverläufe wurden für insgesamt acht unterschiedliche Tiefen (Z-Koordinate) im Straßenaufbau berechnet. Diese detaillierte Aufschlüsselung diente der Analyse der unterschiedlichen Druck- und Zugbeanspruchungen innerhalb und zwischen den einzelnen Schichten des Oberbaus sowie der Identifizierung des Minimums und Maximums der Beanspruchungen im Lastsystem LKW und PKW. Von besonderem Interesse für die Analyse der ungünstigsten Positionierung der Arbeitsnaht zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB war neben der Straßenoberfläche (0 cm) die Unterseite des Asphaltpaketes (-34 cm).

Ein voller Schichtenverbund zwischen den einzelnen Schichten des Straßenaufbaus wurde für alle Berechnungen angenommen.

Beim Lastfall LKW und PKW war eine Berechnung für eine Tiefe im Asphaltpaket zwischen 0 cm und -5 cm nicht möglich, da der Überlagerungsbereich der Druckkegel unmittelbar unter den Lasteintragungen der LKW-Reifen bei einer Zwillingsbereifung unterhalb der Asphaltoberfläche zu einem „Nullbereich“ führt, so dass keine plausiblen Berechnungen durchgeführt werden können und das Programm die Berechnungen aufgrund unplausibler Werte abbricht.

Modellannahmen für die BISAR-Berechnungen bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^{\circ}\text{C}$

Temperaturen um den Gefrierpunkt führen zu einer verzögerten Reaktion der einzelnen Schichten des Asphaltpaketes auf Druck infolge von Lasteintragungen in den Straßenaufbau sowie zu einer erhöhten Steifigkeit des Asphalttes, was dessen Dehnungsfähigkeit deutlich herabsetzt.

Für die BISAR-Berechnungen bei einer Oberflächentemperatur von $\pm 0^{\circ}\text{C}$ wurden dieselben Modellannahmen getroffen wie zuvor für die Berechnungen bei einer Oberflächentemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$. Es hatte lediglich eine Anpassung des E-Moduls für das Asphaltpaket an eine

Temperatur von $\pm 0^{\circ}\text{C}$ zu erfolgen. Gemäß der RDO Asphalt (FGSV 2009) wird das E-Modul des Asphaltpaketes für eine Belastungsfrequenz von 10 Hz und eine Oberflächentemperatur von $\pm 0^{\circ}\text{C}$ auf 14.000 MN/mm^2 festgelegt. Das E-Modul der ungebundenen Schicht und des Untergrundes bleibt identisch, da nur bei Temperaturen um den Gefrierpunkt ein verminderter Wert angenommen wird, wenn keine ausreichenden Entwässerungsmaßnahmen gewährleistet werden können (FGSV 2009).

A3-2 Ergebnisse zu den Arbeitsnähten zwischen Einbaubahnen im Fahrbahnquerschnitt

A3-2-1 Ergebnisse zur Projektion von Arbeitsnähten

Im Folgenden sind die Ergebnisse getrennt für 2- und 3-streifige BAB aufgeführt.

A3-2-1-1 Ergebnisse zu 2-streifigen Bundesautobahnen

2-streifige BAB		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	27.192.141	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	13.505.236	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	1.557.782	11,5%
1m-Abschnitte mit „ONA“	225.754	1,7%

Tabelle A3-1: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB

FS 2			FS 1		
L	M	R	L	M	R
0	230.282	465.536	877.372	265.420	0
0,0%	12,5%	25,3%	47,7%	14,4%	0,0%
0	230.282	1.342.908		265.420	0
0,0%	12,5%	73,0%		14,4%	0,0%

Tabelle A3-2: Anzahl projizierter Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB

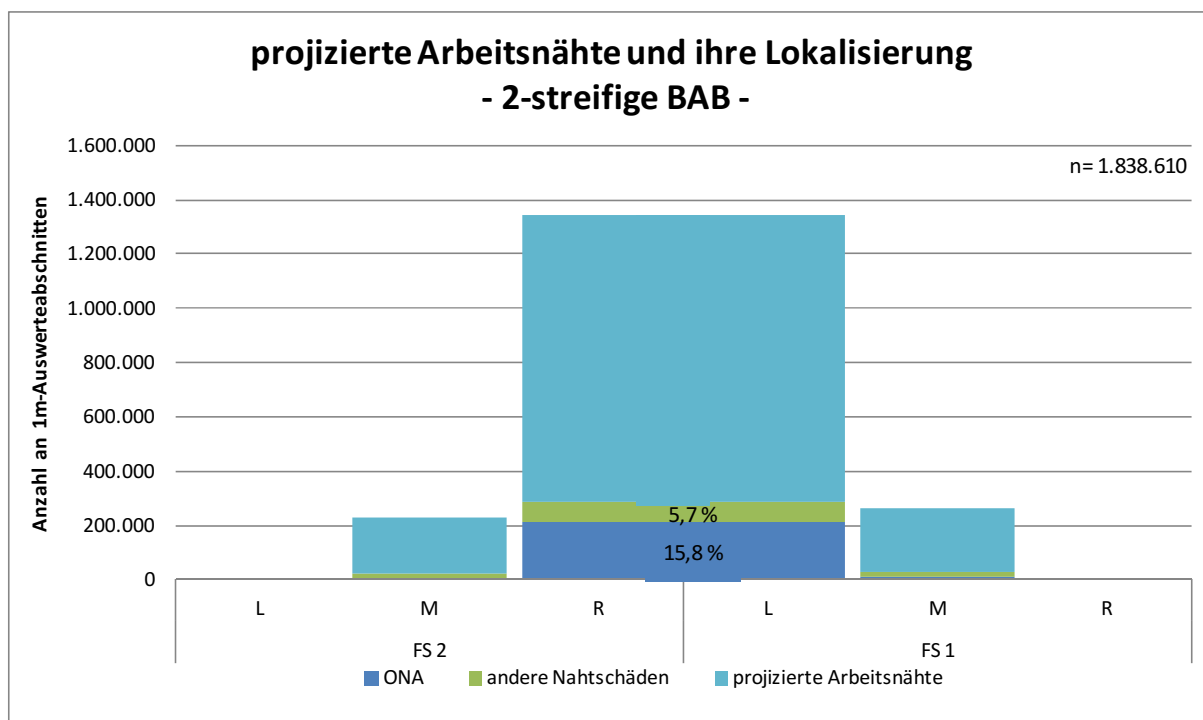


Abbildung A3-1: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – alle Bundesländer

BL		FS 2			FS 1		
		L	M	R	L	M	R
SH	Arbeitsnaht	0	9.648	30.973	30.311	12.867	0
		0,0%	11,5%	37,0%	36,2%	15,4%	0,0%
		0	9.648	61.284		12.867	0
		0,0%	11,5%	73,2%		15,4%	0,0%
	ONA	0,0%	3,6%	21,0%	13,5%	2,5%	0,0%
		17,3%					
andere	0,0%	4,2%	6,6%	7,3%	6,8%	0,0%	
	6,9%						
HH	Arbeitsnaht	0	2.948	4.556	6.452	4.044	0
		0,0%	16,4%	25,3%	35,8%	22,5%	0,0%
		0	2.948	11.008		4.044	0
		0,0%	16,4%	61,1%		22,5%	0,0%
	ONA	0,0%	3,4%	4,5%	12,2%	3,0%	0,0%
		9,1%					
andere	0,0%	4,0%	3,6%	3,9%	3,5%	0,0%	
	3,7%						

BL		FS 2			FS 1		
		L	M	R	L	M	R
NI	Arbeitsnaht	0	17.875	19.452	25.139	24.311	0
		0,0%	20,6%	22,4%	29,0%	28,0%	0,0%
		0	17.875	44.591		24.311	0
		0,0%	20,6%	51,4%		28,0%	0,0%
	ONA	0,0%	1,6%	6,1%	5,1%	3,2%	0,0%
		5,5%					
	andere	0,0%	6,4%	5,8%	7,2%	5,3%	0,0%
		6,6%					
HB	Arbeitsnaht	0	1.269	1.595	1.148	355	0
		0,0%	29,1%	36,5%	26,3%	8,1%	0,0%
		0	1.269	2.743		355	0
		0,0%	29,1%	62,8%		8,1%	0,0%
	ONA	0,0%	14,5%	7,5%	9,8%	1,7%	0,0%
		8,5%					
	andere	0,0%	0,9%	1,6%	14,4%	26,8%	0,0%
		7,0%					
NW	Arbeitsnaht	0	99.592	243.004	495.751	71.675	0
		0,0%	10,9%	26,7%	54,5%	7,9%	0,0%
		0	99.592	738.755		71.675	0
		0,0%	10,9%	81,2%		7,9%	0,0%
	ONA	0,0%	1,8%	16,6%	21,2%	4,8%	0,0%
		19,7%					
	andere	0,0%	5,3%	5,7%	3,8%	4,1%	0,0%
		4,4%					
HE	Arbeitsnaht	0	12.823	23.886	25.008	9.067	0
		0,0%	18,1%	33,7%	35,3%	12,8%	0,0%
		0	12.823	48.894		9.067	0
		0,0%	18,1%	69,0%		12,8%	0,0%
	ONA	0,0%	2,1%	10,1%	11,4%	4,6%	0,0%
		10,8%					
	andere	0,0%	3,3%	3,4%	3,6%	5,1%	0,0%
		3,5%					

		FS 2			FS 1		
BL		L	M	R	L	M	R
RP	Arbeitsnaht	0	19.224	21.271	44.140	32.506	0
		0,0%	16,4%	18,2%	37,7%	27,7%	0,0%
		0	19.224	65.411		32.506	0
		0,0%	16,4%	55,9%		27,7%	0,0%
	ONA	0,0%	2,1%	6,2%	13,5%	3,9%	0,0%
				11,1%			
	andere	0,0%	9,5%	8,6%	4,7%	5,3%	0,0%
				6,0%			
BW	Arbeitsnaht	0	21.414	24.633	39.249	24.793	0
		0,0%	19,5%	22,4%	35,7%	22,5%	0,0%
		0	21.414	63.882		24.793	0
		0,0%	19,5%	58,1%		22,5%	0,0%
	ONA	0,0%	2,6%	4,9%	14,5%	10,6%	0,0%
				10,8%			
	andere	0,0%	6,9%	5,8%	9,0%	5,1%	0,0%
				7,8%			
BY	Arbeitsnaht	0	27.250	40.628	93.558	64.971	0
		0,0%	12,0%	17,9%	41,3%	28,7%	0,0%
		0	27.250	134.186		64.971	0
		0,0%	12,0%	59,2%		28,7%	0,0%
	ONA	0,0%	1,5%	9,4%	10,6%	5,4%	0,0%
				10,2%			
	andere	0,0%	11,7%	9,4%	8,2%	8,5%	0,0%
				8,6%			
SL	Arbeitsnaht	0	4.079	7.277	10.538	5.220	0
		0,0%	15,0%	26,8%	38,9%	19,3%	0,0%
		0	4.079	17.815		5.220	0
		0,0%	15,0%	65,7%		19,3%	0,0%
	ONA	0,0%	3,4%	5,9%	8,5%	4,4%	0,0%
				7,4%			
	andere	0,0%	8,2%	8,3%	7,2%	6,3%	0,0%
				7,7%			

		FS 2			FS 1		
BL		L	M	R	L	M	R
BE	Arbeitsnaht	0	1.022	6.204	2.486	1.376	0
		0,0%	9,2%	56,0%	22,4%	12,4%	0,0%
		0	1.022	8.690		1.376	0
		0,0%	9,2%	78,4%		12,4%	0,0%
	ONA	0,0%	2,0%	10,6%	4,3%	1,5%	0,0%
				8,8%			
	andere	0,0%	3,6%	6,7%	4,0%	4,2%	0,0%
				5,9%			
BB	Arbeitsnaht	0	2.576	23.133	68.005	2.781	0
		0,0%	2,7%	24,0%	70,5%	2,9%	0,0%
		0	2.576	91.138		2.781	0
		0,0%	2,7%	94,5%		2,9%	0,0%
	ONA	0,0%	1,4%	16,4%	11,4%	5,7%	0,0%
				12,7%			
	andere	0,0%	9,8%	3,1%	7,3%	8,7%	0,0%
				6,2%			
MV	Arbeitsnaht	0	3.542	8.447	13.532	4.945	0
		0,0%	11,6%	27,7%	44,4%	16,2%	0,0%
		0	3.542	21.979		4.945	0
		0,0%	11,6%	72,1%		16,2%	0,0%
	ONA	0,0%	1,1%	6,4%	9,0%	2,1%	0,0%
				8,0%			
	andere	0,0%	7,4%	7,5%	5,3%	6,2%	0,0%
				6,1%			
SN	Arbeitsnaht	0	5.642	6.010	9.523	4.734	0
		0,0%	21,8%	23,2%	36,8%	18,3%	0,0%
		0	5.642	15.533		4.734	0
		0,0%	21,8%	60,0%		18,3%	0,0%
	ONA	0,0%	1,3%	4,5%	6,1%	14,1%	0,0%
				5,5%			
	andere	0,0%	14,3%	14,7%	12,7%	8,3%	0,0%
				13,4%			

BL		FS 2			FS 1		
		L	M	R	L	M	R
ST	Arbeitsnaht	0	999	1.865	7.091	894	0
		0,0%	9,2%	17,2%	65,4%	8,2%	0,0%
		0	999	8.956		984	0
		0,0%	9,2%	82,6%		8,2%	0,0%
	ONA	0,0%	1,5%	8,6%	15,4%	2,0%	0,0%
				8,6%			
	andere	0,0%	20,9%	19,5%	31,3%	14,4%	0,0%
				19,5%			
TH	Arbeitsnaht	0	379	2.602	5.441	881	0
		0,0%	4,1%	28,0%	58,5%	9,5%	0,0%
		0	379	8.043		881	0
		0,0%	4,1%	86,5%		9,5%	0,0%
	ONA	0,0%	1,3%	17,1%	13,3%	6,2%	0,0%
				14,5%			
	andere	0,0%	14,8%	13,8%	6,7%	3,3%	0,0%
				9,0%			
alle BL	Arbeitsnaht	0	230.282	465.536	877.372	265.420	0
		0,0%	12,5%	25,3%	47,7%	14,4%	0,0%
		0	230.282	1.342.908		265.420	0
		0,0%	12,5%	73,0%		14,4%	0,0%
	ONA	0,0%	2,0%	13,6%	16,9%	5,2%	0,0%
				15,8%			
	andere	0,0%	6,9%	6,2%	5,4%	6,0%	0,0%
				5,7%			

Tabelle A3-3: Projizierte Arbeitsnähte und Nahtschäden im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB je Bundesland

Die bundeslandspezifischen prozentualen Anteile je Lokalisierung im Fahrstreifen beziehen sich bei der Arbeitsnaht auf die Summe aller Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt. Die prozentualen Anteile von „ONA“ und den anderen Nahtschäden („andere“) hingegen beziehen sich auf die Anzahl der Arbeitsnähte je Lokalisierung im Fahrstreifen.

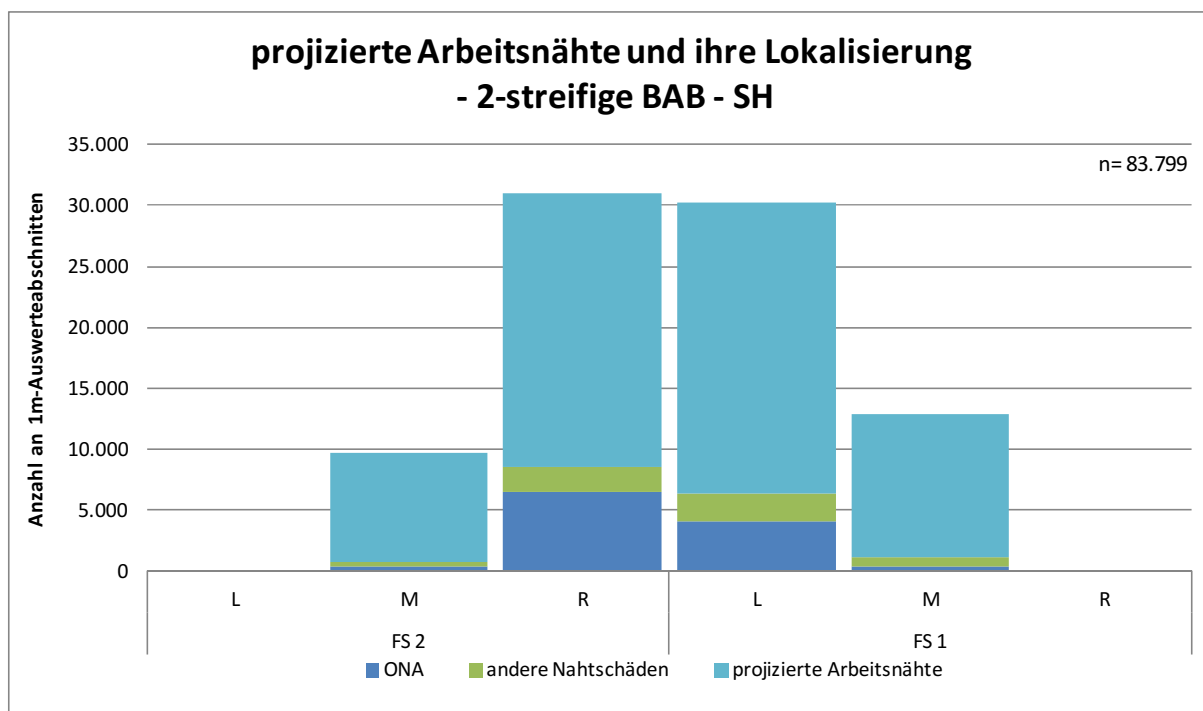


Abbildung A3-2: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Schleswig-Holstein (SH)

2-streifige BAB - SH		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	1.564.376	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	778.893	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	71.569	9,2%
1m-Abschnitte mit „ONA“	11.119	1,4%

Tabelle A3-4: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - SH

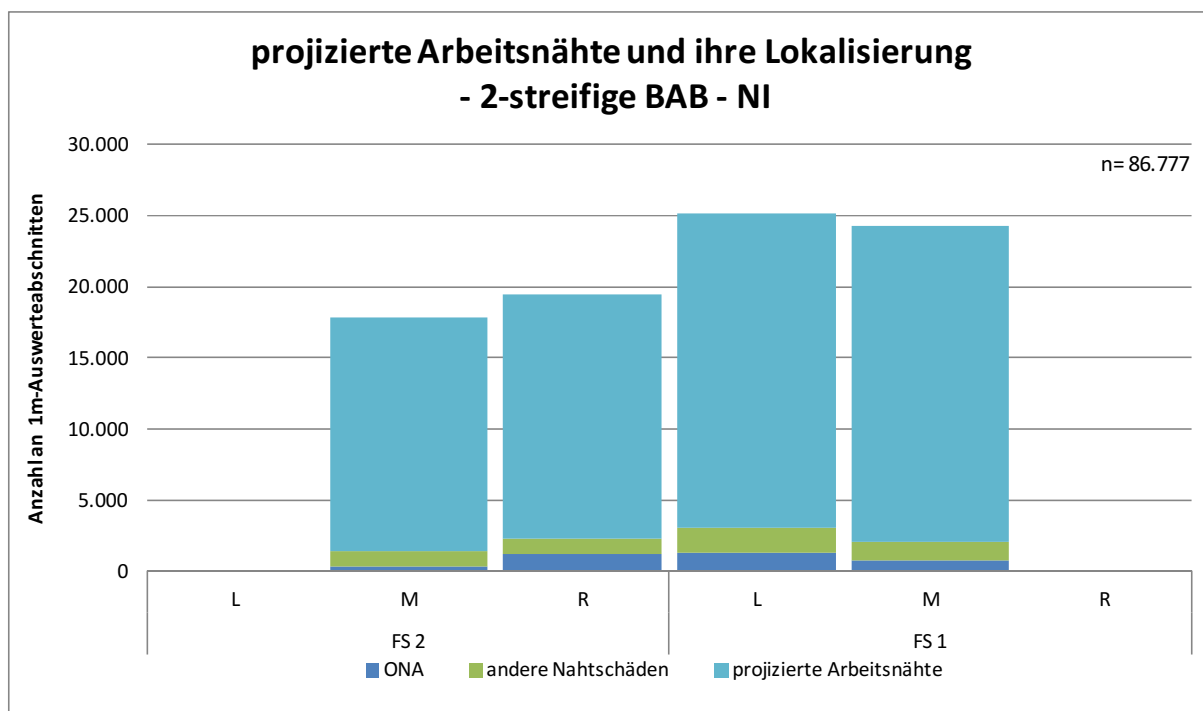


Abbildung A3-3: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Niedersachsen (NI)

2-streifige BAB - NI		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	2.370.285	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	1.182.936	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	64.966	5,5%
1m-Abschnitte mit „ONA“	3.198	0,3%

Tabelle A3-5: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - NI

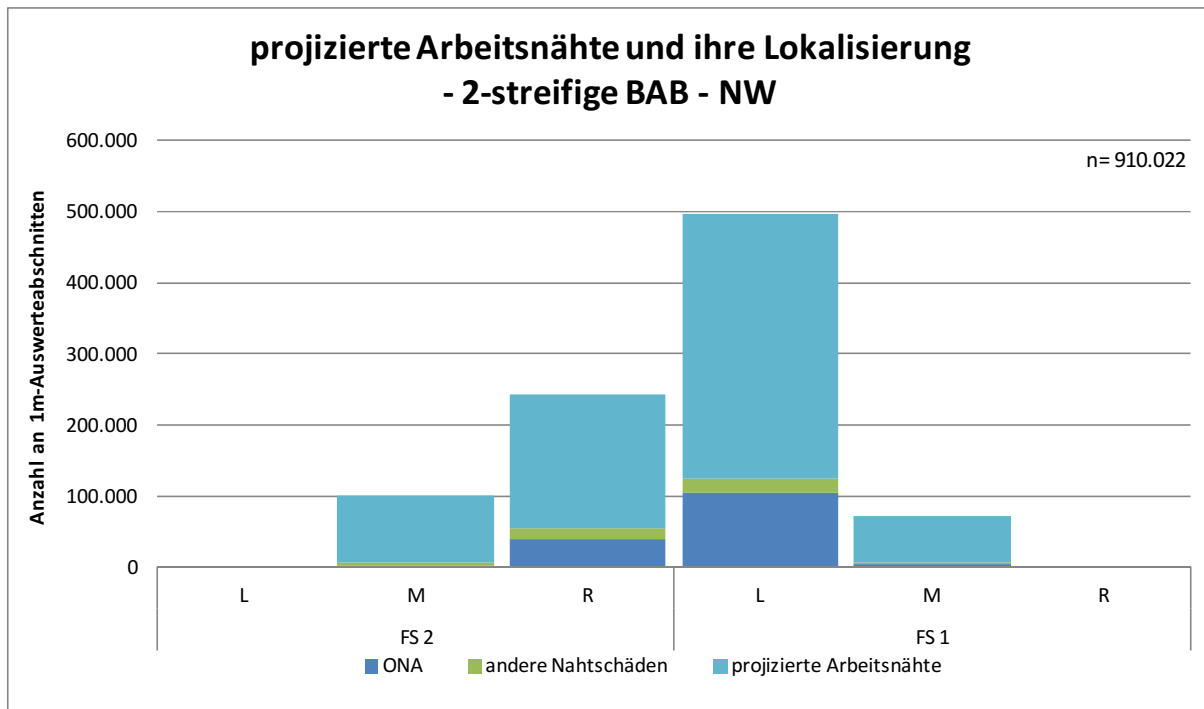


Abbildung A3-4: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Nordrhein-Westfalen (NW)

2-streifige BAB - NW		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	5.066.763	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	2.504.658	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	809.672	32,3%
1m-Abschnitte mit „ONA“	149.092	6,0%

Tabelle A3-6: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - NW

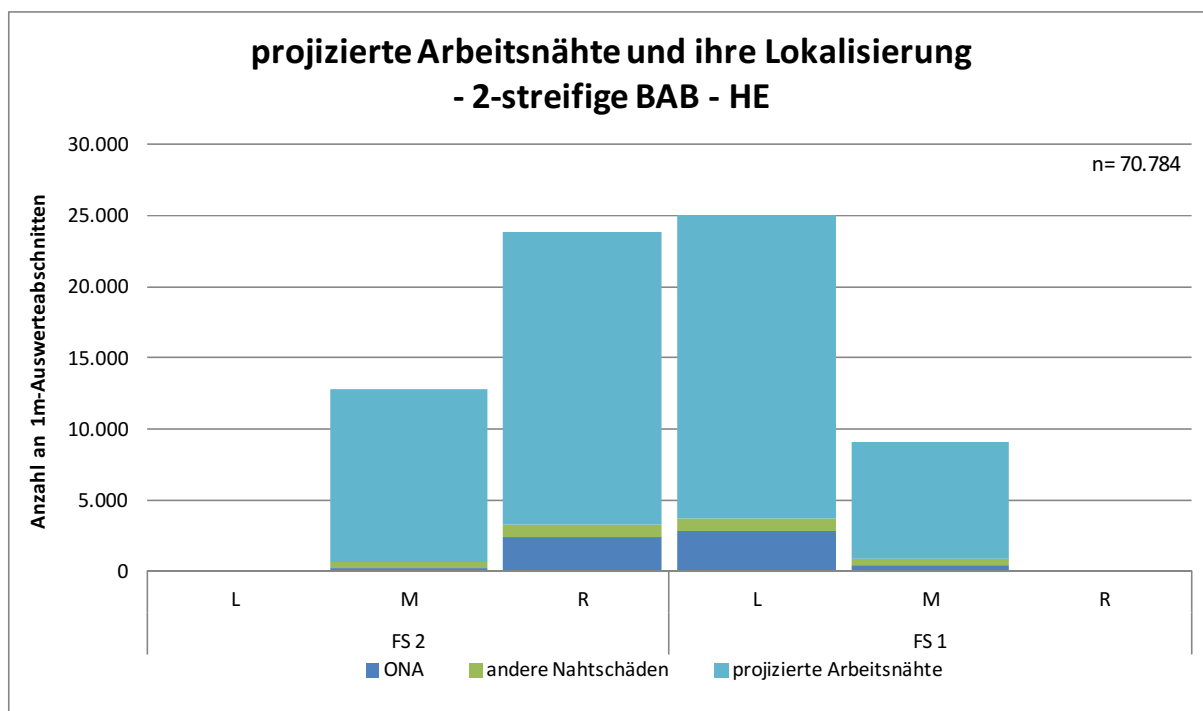


Abbildung A3-5: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Hessen (HE)

2-streifige BAB - HE		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	2.312.250	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	1.147.944	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	57.409	5,0%
1m-Abschnitte mit „ONA“	5.767	0,5%

Tabelle A3-7: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - HE

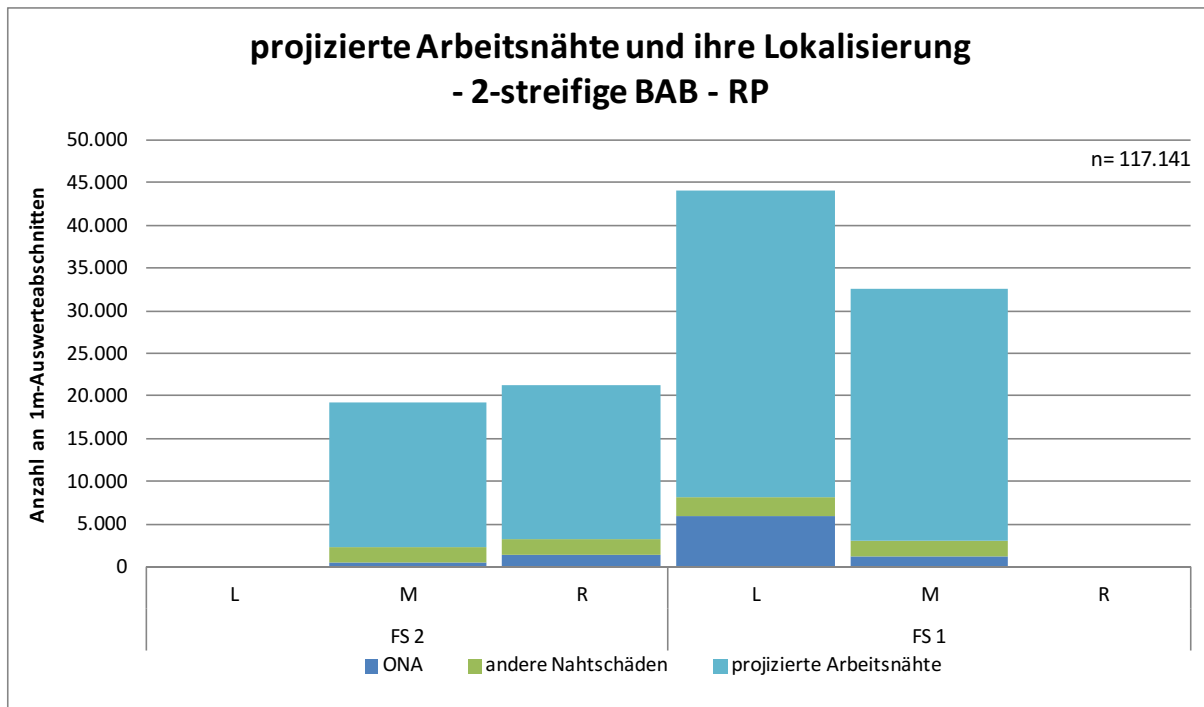


Abbildung A3-6: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Rheinland-Pfalz (RP)

2-streifige BAB - RP		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	2.291.758	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	1.106.037	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	83.655	7,6%
1m-Abschnitte mit „ONA“	8.400	0,8%

Tabelle A3-8: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - RP

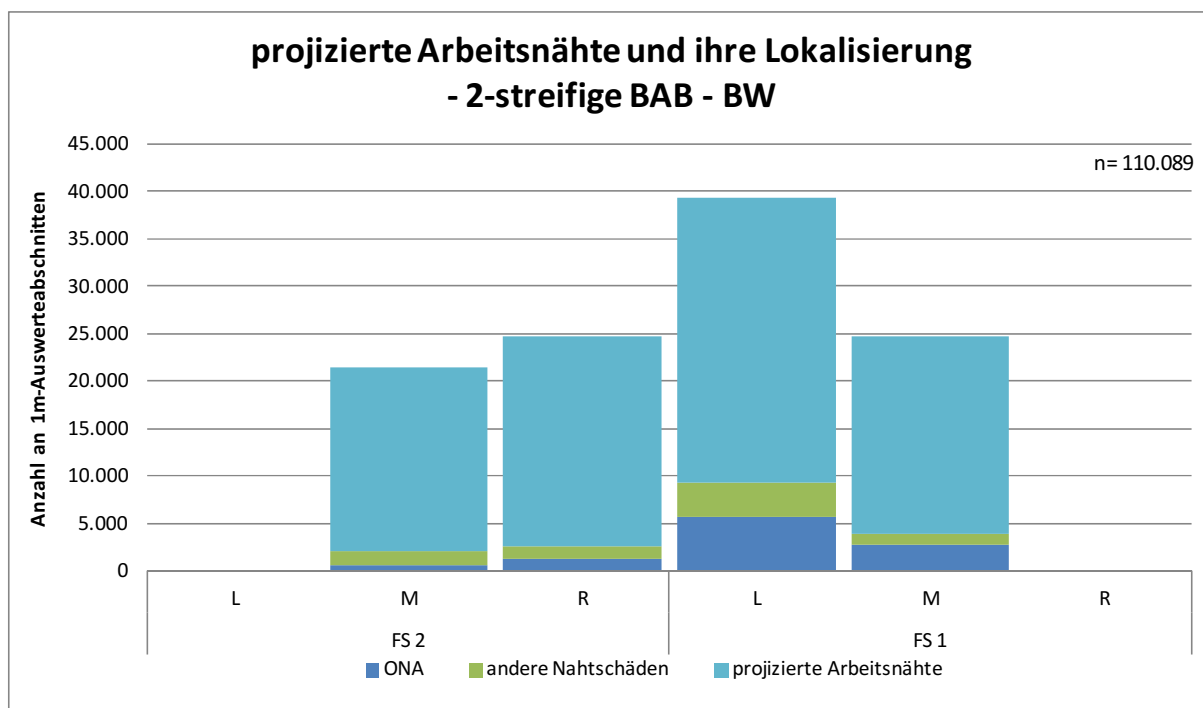


Abbildung A3-7: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Baden-Württemberg (BW)

2-streifige BAB - BW		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	1.988.911	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	960.246	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	89.097	9,3%
1m-Abschnitte mit „ONA“	9.777	1,0%

Tabelle A3-9: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - BW

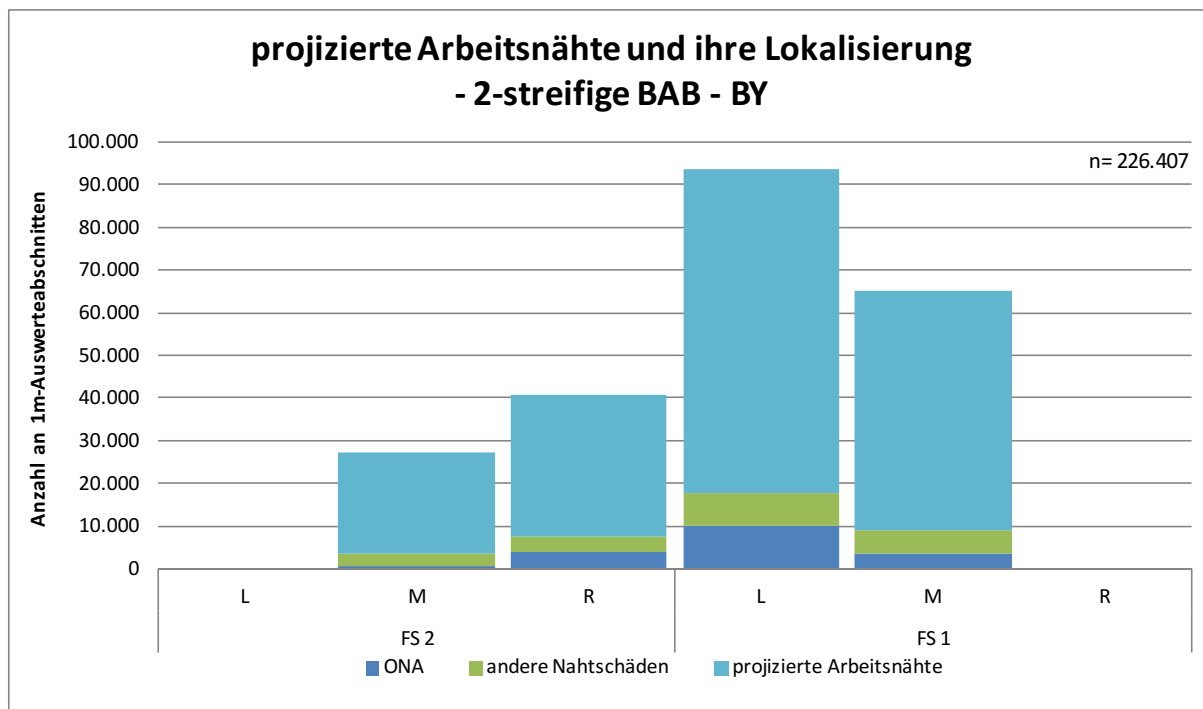


Abbildung A3-8: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Bayern (BY)

2-streifige BAB - BY		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	5.808.852	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	2.894.407	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	171.391	5,9%
1m-Abschnitte mit „ONA“	16.817	0,6%

Tabelle A3-10: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - BY

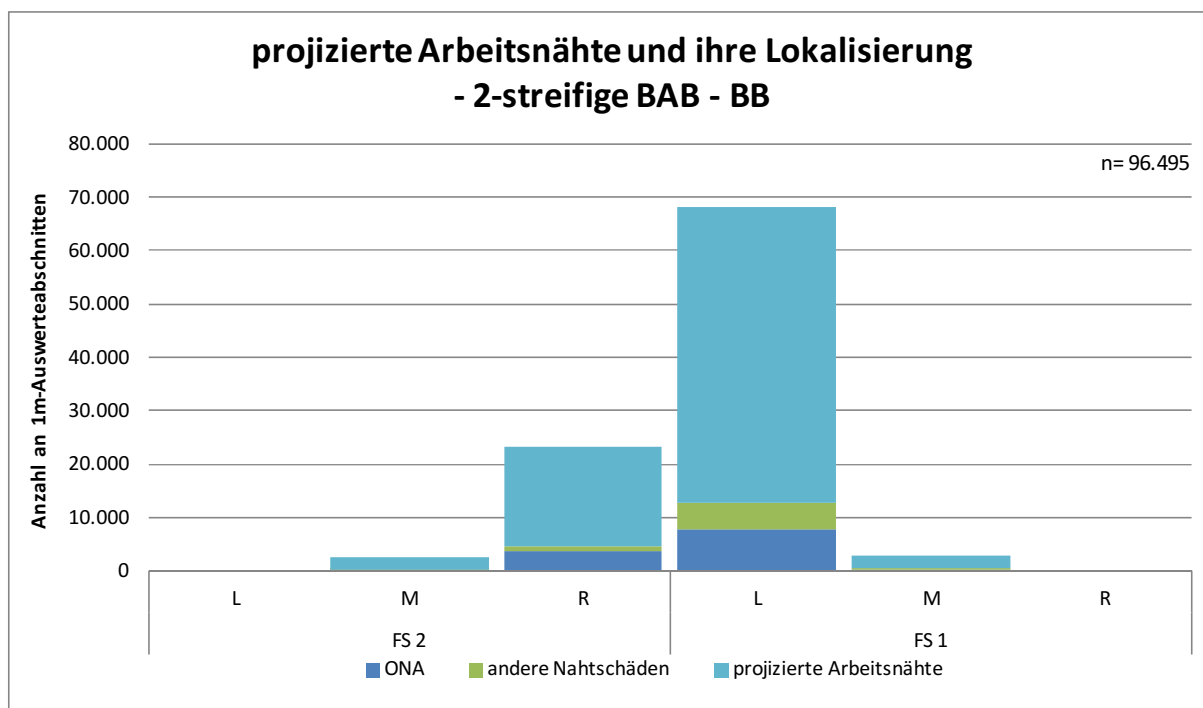


Abbildung A3-9: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 2-streifiger BAB – Brandenburg (BB)

2-streifige BAB - BB		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	1.356.440	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	672.595	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	93.468	13,9%
1m-Abschnitte mit „ONA“	11.701	1,7%

Tabelle A3-11: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 2-streifiger BAB und je Bundesland - BB

A3-2-1-2 Ergebnisse zu 3-streifigen Bundesautobahnen

3-streifige BAB		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	14.001.445	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	4.607.948	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	1.141.501	24,8%
1m-Abschnitte mit „ONA“	199.990	4,3%

Tabelle A3-12: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB

FS 3			FS 2			FS 1		
L	M	R	L	M	R	L	M	R
0	96.719	189.033	200.267	128.082	448.763	215.658	96.155	0
0,0%	7,0%	13,8%	14,6%	9,3%	32,6%	15,7%	7,0%	0,0%
0	96.719	389.300		128.082	664.421		96.155	0
0,0%	7,0%	28,3%		9,3%	48,3%		7,0%	0,0%

Tabelle A3-13: Anzahl projizierter Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB

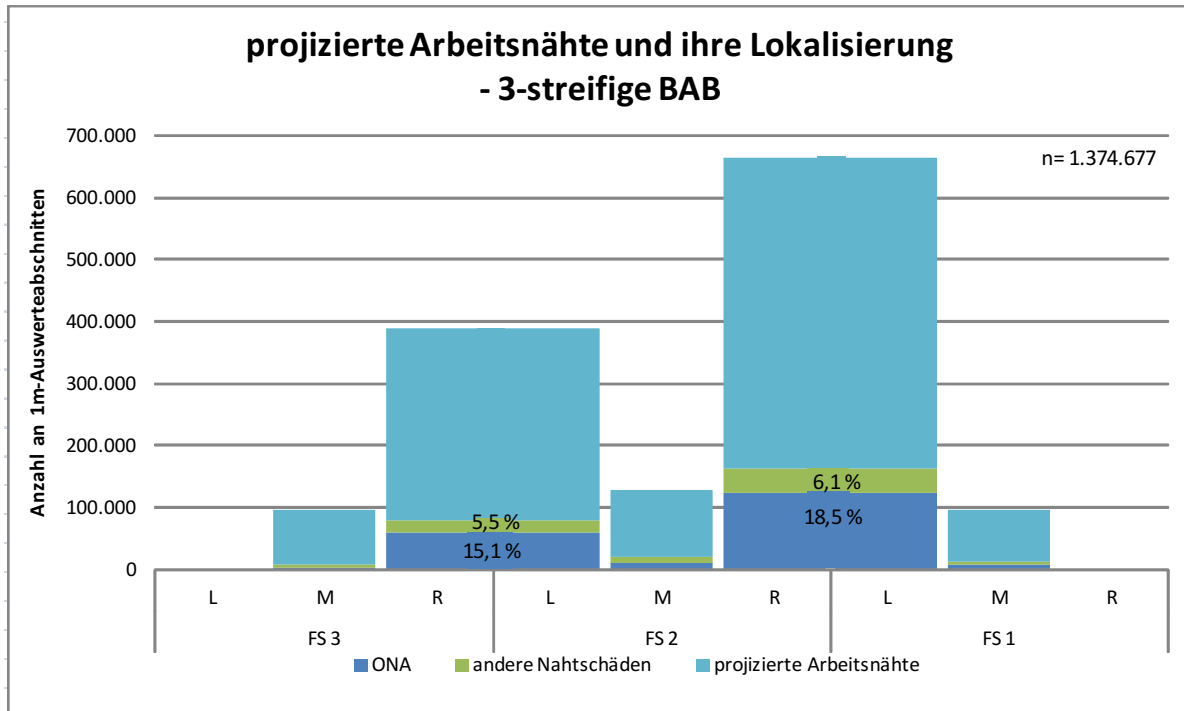


Abbildung A3-10: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – alle Bundesländer

		FS 3			FS 2			FS 1		
BL		L	M	R	L	M	R	L	M	R
SH	Arbeitsnaht	0	162	502	337	221	466	361	303	0
		0	6,9%	21,3%	14,3%	9,4%	19,8%	15,3%	12,9%	0,0%
		0	162	839		221	827		303	0
		0,0%	6,9%	35,6%		9,4%	35,1%		12,9%	0,0%
	ONA	0,0%	3,7%	35,3%	5,6%	4,5%	10,9%	13,0%	5,6%	0,0%
				23,4%			11,9%			
	andere	0,0%	8,6%	8,8%	6,2%	8,1%	7,3%	17,5%	7,6%	0,0%
				7,7%			11,7%			

BL		FS 3			FS 2			FS 1		
		L	M	R	L	M	R	L	M	R
HH	Arbeitsnaht	0	391	3.817	398	662	9.501	2.609	702	0
		0,0%	2,2%	21,1%	2,2%	3,7%	52,5%	14,4%	1,1%	0,0%
		0	391	4.215		662	12.110		702	0
		0,0%	2,2%	23,3%		3,7%	66,9%		3,9%	0,0%
	ONA	0,0%	1,0%	17,5%	2,8%	1,7%	16,0%	15,8%	1,1%	0,0%
				16,1%			15,9%			
	andere	0,0%	5,1%	7,3%	11,1%	6,9%	8,9%	3,4%	2,7%	0,0%
				7,6%			7,7%			
NI	Arbeitsnaht	0	6.652	11.810	6.137	9.238	10.577	7.733	5.750	0
		0,0%	11,5%	20,4%	10,6%	16,0%	18,3%	13,4%	9,9%	0,0%
		0	6.652	17.947		9.238	18.310		5.750	0
		0,0%	11,5%	31,0%		16,0%	31,7%		9,9%	0,0%
	ONA	0,0%	2,5%	13,1%	14,7%	13,2%	9,6%	11,5%	2,1%	0,0%
				13,7%			10,4%			
	andere	0,0%	1,6%	1,1%	1,2%	1,1%	1,2%	1,8%	1,9%	0,0%
				1,1%			1,5%			
NW	Arbeitsnaht	0	57.205	124.077	130.375	59.726	282.828	136.360	42.974	0
		0,0%	6,9%	14,9%	15,6%	7,0%	33,9%	16,4%	5,2%	0,0%
		0	57.205	254.452		59.726	419.188		42.974	0
		0,0%	6,9%	30,5%		7,2%	50,3%		5,2%	0,0%
	ONA	0,0%	4,7%	16,1%	18,7%	8,9%	21,8%	17,6%	11,0%	0,0%
				17,4%			20,4%			
	andere	0,0%	5,0%	5,3%	4,7%	6,5%	5,9%	4,6%	2,5%	0,0%
				5,0%			5,5%			
HE	Arbeitsnaht	0	7.700	9.421	14.016	16.801	28.594	7.635	3.675	0
		0,0%	8,8%	10,7%	16,0%	19,1%	32,6%	8,7%	4,2%	0,0%
		0	7.700	23.437		16.801	36.229		3.675	0
		0,0%	8,8%	26,7%		19,1%	41,3%		4,2%	0,0%
	ONA	0,0%	1,5%	2,6%	2,6%	3,0%	17,0%	23,4%	1,7%	0,0%
				2,6%			18,4%			
	andere	0,0%	3,5%	3,5%	5,1%	5,6%	4,7%	2,1%	3,0%	0,0%
				4,5%			4,2%			

		FS 3			FS 2			FS 1		
BL		L	M	R	L	M	R	L	M	R
RP	Arbeitsnaht	0	4.038	4.032	5.375	5.917	19.440	5.851	4.028	0
		0,0%	8,3%	8,3%	11,0%	12,2%	39,9%	12,0%	8,3%	0,0%
		0	4.038	9.407		5.917	25.291		4.028	0
		0,0%	8,3%	19,3%		12,2%	51,9%		8,3%	0,0%
	ONA	0,0%	1,6%	6,0%	3,9%	14,3%	21,3%	10,4%	1,8%	0,0%
				4,8%			18,8%			
	andere	0,0%	10,9%	8,9%	5,7%	5,0%	12,1%	11,6%	4,2%	0,0%
				8,0%			17,3%			
BW	Arbeitsnaht	0	4.632	8.498	15.811	11.755	15.600	8.680	10.661	0
		0,0%	6,1%	11,2%	20,9%	15,5%	20,6%	11,5%	14,1%	0,0%
		0	4.632	24.309		11.755	24.280		10.661	0
		0,0%	6,1%	32,1%		15,5%	32,1%		14,1%	0,0%
	ONA	0,0%	3,1%	13,4%	20,1%	17,5%	21,9%	12,3%	17,5%	0,0%
				17,8%			18,4%			
	andere	0,0%	5,6%	8,2%	8,8%	6,1%	6,6%	6,4%	5,1%	0,0%
				8,6%			6,5%			
BY	Arbeitsnaht	0	11.032	16.162	15.103	15.217	30.341	31.592	20.391	0
		0,0%	7,9%	11,6%	10,8%	10,9%	21,7%	22,6%	14,6%	0,0%
		0	11.032	31.265		15.217	61.933		20.391	0
		0,0%	7,9%	22,4%		10,9%	44,3%		14,6%	0,0%
	ONA	0,0%	1,5%	10,9%	3,4%	32,%	13,3%	15,1%	7,0%	0,0%
				7,3%			14,2%			
	andere	0,0%	9,0%	9,4%	10,1%	9,2%	5,7%	11,2%	12,5%	0,0%
				9,8%			8,5%			
SL	Arbeitsnaht	0	199	396	198	1.776	525	100	0	0
		0,0%	6,2%	12,4%	6,2%	55,6%	16,4%	3,1%	0,0%	0,0%
		0	199	594		1.776	625		0	0
		0,0%	6,2%	18,6%		55,6%	19,5%		3,1%	0,0%
	ONA	0,0%	1,0%	7,6%	25,3%	13,7%	2,7%	69,0%	0,0%	0,0%
				13,5%			13,3%			
	andere	0,0%	48,2%	23,7%	47,5%	32,3%	48,4%	8,0%	0,0%	0,0%
				31,6%			41,9%			

		FS 3			FS 2			FS 1		
BL		L	M	R	L	M	R	L	M	R
BE	Arbeitsnaht	0	1.303	3.784	4.991	3.853	3.547	3.138	2.704	0
		0,0%	5,6%	16,2%	21,4%	16,5%	15,2%	13,5%	11,6%	0,0%
		0	1.303	8.775		3.853	6.685		2.704	0
		0,0%	5,6%	37,6%		16,5%	28,7%		11,6%	0,0%
	ONA	0,0%	1,9%	7,9%	8,0%	5,8%	8,1%	6,7%	4,1%	0,0%
				7,9%			7,5%			
	andere	0,0%	2,9%	4,8%	4,8%	4,4%	5,7%	4,4%	4,8%	0,0%
				4,8%			5,1%			
BB	Arbeitsnaht	0	1.188	1.847	1.903	821	35.727	5.416	1.750	0
		0,0%	2,4%	3,8%	3,9%	1,7%	73,4%	11,1%	3,6%	0,0%
		0	1.188	3.750		821	41.143		1.750	0
		0,0%	2,4%	7,7%		1,7%	84,5%		3,6%	0,0%
	ONA	0,0%	1,9%	2,9%	11,0%	1,6%	13,7%	10,5%	3,1%	0,0%
				7,0%			13,2%			
	andere	0,0%	8,1%	7,9%	5,7%	8,9%	7,5%	3,4%	4,0%	0,0%
				6,8%			7,0%			
SN	Arbeitsnaht	0	770	1.636	3.076	1.173	2.563	2.687	1.370	0
		0,0%	5,8%	12,3%	24,6%	10,8%	29,9%	22,2%	9,6%	0,0%
		0	770	4.712		1.173	5.250		1.370	0
		0,0%	5,8%	36,9%		10,8%	52,1%		9,6%	0,0%
	ONA	0,0%	2,2%	19,4%	32,9%	31,7%	21,6%	27,4%	10,7%	0,0%
				28,2%			24,6%			
	andere	0,0%	13,6%	10,2%	5,8%	4,8%	11,1%	3,8%	3,2%	0,0%
				7,3%			7,4%			
ST	Arbeitsnaht	0	323	1.846	1.529	451	3.421	2.661	1.252	0
		0,0%	2,8%	16,1%	13,3%	3,9%	29,8%	23,2%	10,9%	0,0%
		0	323	3.375		451	6.082		1.252	0
		0,0%	2,8%	29,4%		3,9%	53,0%		10,9%	0,0%
	ONA	0,0%	3,4%	19,1%	26,5%	3,8%	14,4%	15,1%	12,1%	0,0%
				22,4%			14,7%			
	andere	0,0%	5,9%	2,7%	5,4%	7,8%	4,4%	1,4%	5,0%	0,0%
				3,9%			3,0%			

BL		FS 3			FS 2			FS 1		
		L	M	R	L	M	R	L	M	R
TH	Arbeitsnaht	0	1.124	1.205	918	471	5.633	835	507	0
		0,0%	10,5%	11,3%	8,6%	4,4%	52,7%	7,8%	4,7%	0,0%
		0	1.124	2.123		471	6.468		507	0
		0,0%	105%	19,9%		4,4%	60,5%		4,7%	0,0%
	ONA	0,0%	1,2%	5,2%	16,4%	10,2%	10,0%	1,8%	1,4%	0,0%
				10,1%			9,0%			
	andere	0,0%	6,5%	6,6%	2,6%	2,5%	7,6%	9,2%	5,3%	0,0%
				4,9%			7,8%			
alle BL	Arbeitsnaht	0	96.719	189.033	200.267	128.082	448.763	215.658	96.155	0
		0,0%	7,0%	13,8%	14,6%	9,3%	32,6%	15,7%	7,0%	0,0%
		0	96.719	389.300		128.082	664.421		96.155	0
		0,0%	7,0%	28,3%		9,3%	48,3%		7,0%	0,0%
	ONA	0,0%	3,5%	14,2%	15,9%	8,9%	19,5%	16,5%	9,1%	0,0%
				15,1%			18,5%			
	andere	0,0%	5,6%	5,6%	5,4%	6,5%	6,3%	5,6%	5,1%	0,0%
				5,5%			6,1%			

Tabelle A3-14: Anzahl projizierter Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB je Bundesland

Die bundeslandspezifischen prozentualen Anteile je Lokalisierung im Fahrstreifen beziehen sich bei der Arbeitsnaht auf die Summe aller Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt. Die prozentualen Anteile von „ONA“ und den anderen Nahtschäden (andere) hingegen beziehen sich auf die Anzahl der Arbeitsnähte je Lokalisierung im Fahrstreifen.

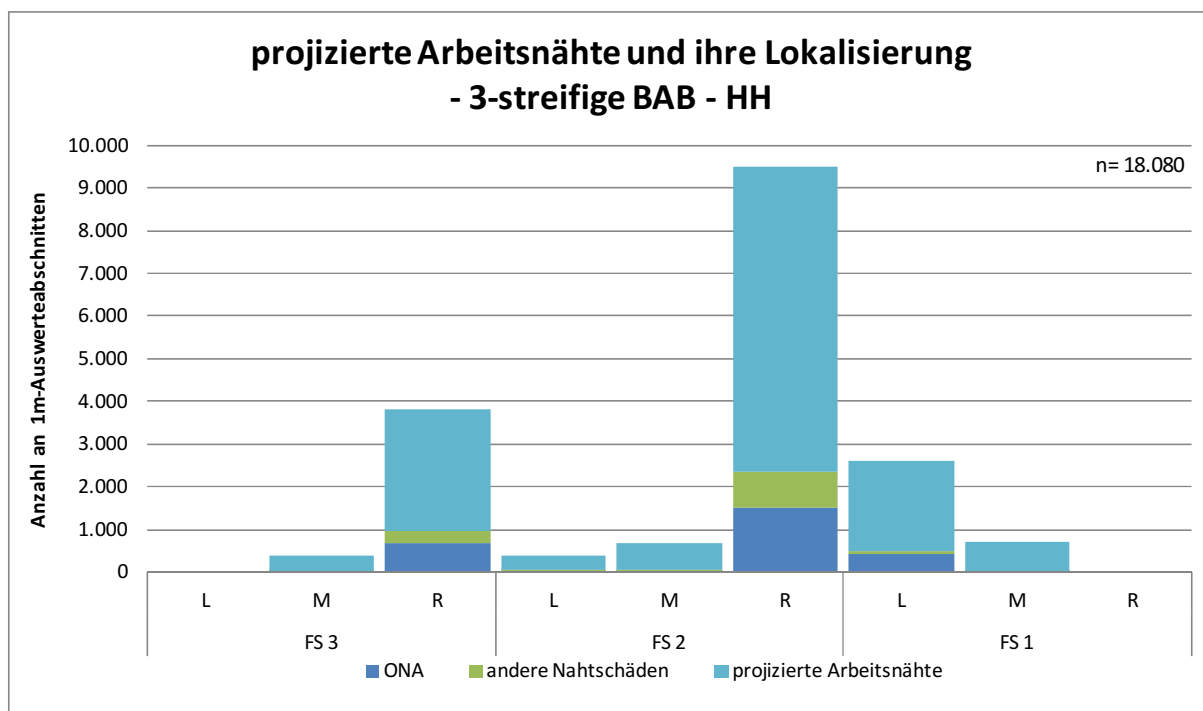


Abbildung A3-11: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Hamburg (HH)

3-streifige BAB - HH		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	127.793	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	39.292	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	17.184	43,7%
1m-Abschnitte mit „ONA“	16.023	6,7%

Tabelle A3-15: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - HH

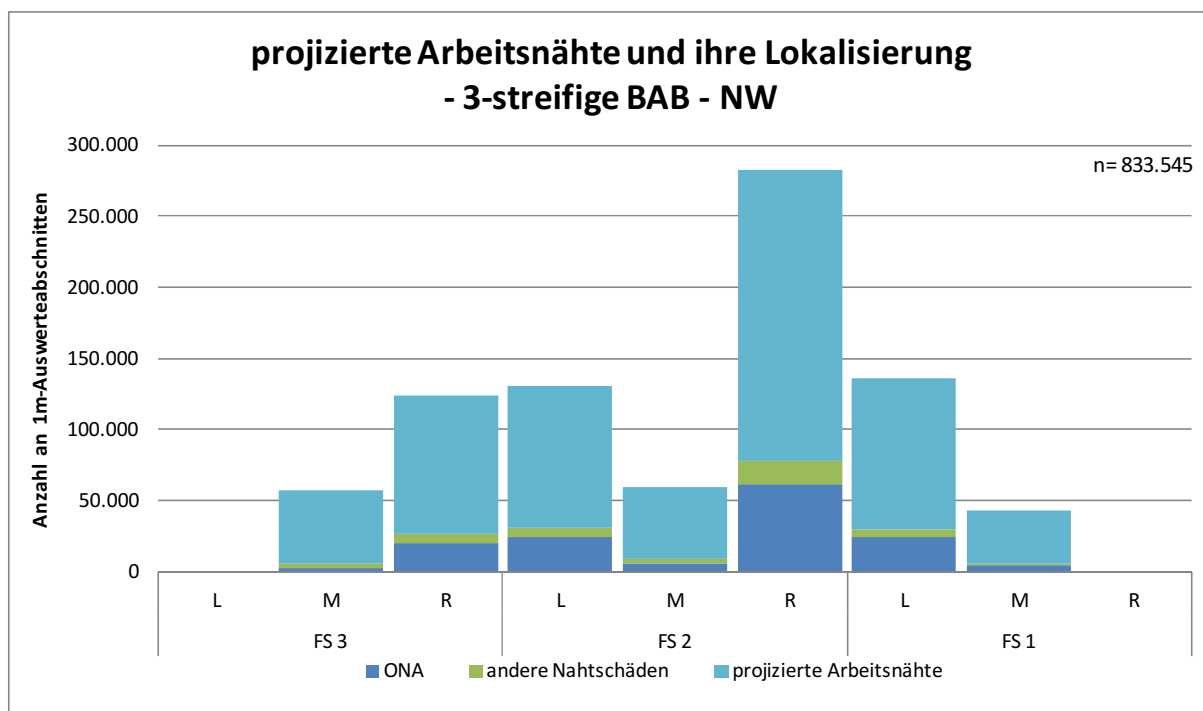


Abbildung A3-12: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Nordrhein-Westfalen (NW)

3-streifige BAB - NW		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	3.945.632	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	1.247.521	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	725.961	58,2%
1m-Abschnitte mit „ONA“	478.200	11,2%

Tabelle A3-16: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - NW

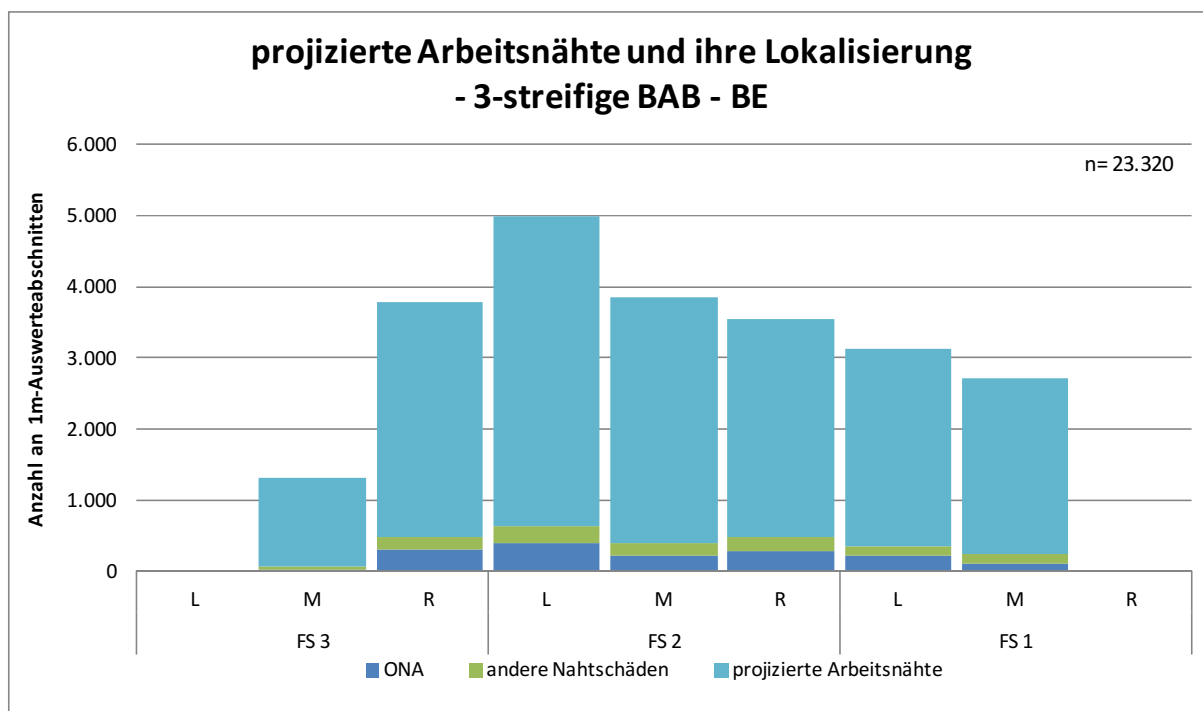


Abbildung A3-13: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Berlin (BE)

3-streifige BAB - BE		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	167.516	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	47.420	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	18.667	39,4%
1m-Abschnitte mit „ONA“	17.594	3,0%

Tabelle A3-17: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - BE

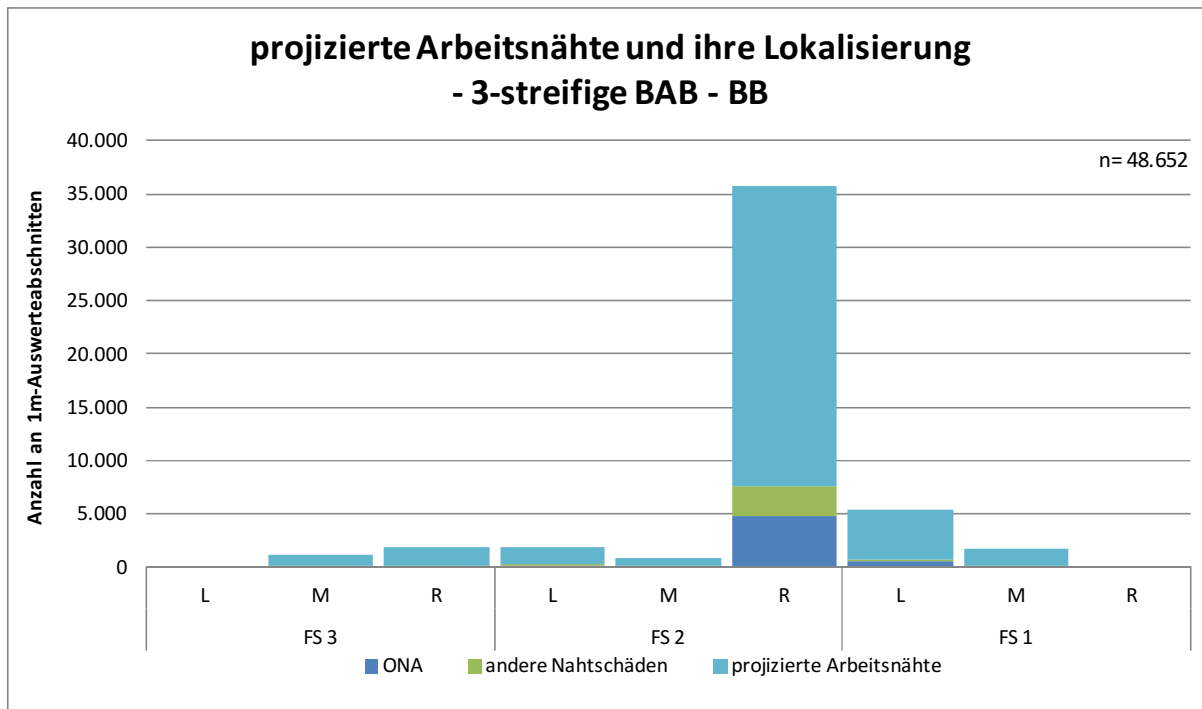


Abbildung A3-14: Lokalisierung der projizierten Arbeitsnähte im Fahrbahnquerschnitt 3-streifiger BAB – Brandenburg (BB)

3-streifige BAB - BB		
	absolut	relativ
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	451.171	
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	147.140	100,0%
1m-Abschnitte projizierte Arbeitsnaht	45.793	31,1%
1m-Abschnitte mit „ONA“	33.560	3,9%

Tabelle A3-18: Anteil projizierter Arbeitsnähte an allen Abschnitten 3-streifiger BAB - BB

A3-2-2 Ergebnisse zu den nahtbezogenen Substanzschäden der Oberfläche

Im Folgenden sind die Ergebnisse getrennt nach 2- und 3-streifigen BAB aufgeführt.

A3-2-2-1 Ergebnisse zu 2-streifigen Bundesautobahnen

2-streifige BAB			
	absolut	relativ	
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	27.192.141		
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	13.505.236	100,0%	
projizierte Arbeitsnaht (1m)	1.557.782	11,5%	100,0%
ONA (1m)	225.754	1,7%	14,5%
andere Nahtschäden (1m)	87.377	0,6%	5,6%

Tabelle A3-19: Anteil nahtbezogener Substanzschäden der Oberfläche - 2-streifige BAB

Erstnähte				
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	Summe
ABAB	20.058	89.612	19.184	128.854
DBDB	9.286	35.146	8.332	52.764
GAGA	49.713	293.112	71.317	414.142
SMASMA	115.605	462.093	63.125	640.823
missing				0
Summe	194.662	879.963	161.958	1.236.583
	15,7%	71,2%	13,1%	

Folgenähte				
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	Summe
ABAB	3.402	5.778	1.029	10.209
ABDB	4.112	18.753	1.587	24.452
ABGA	306	8.200	1.139	9.645
ABSMA	4.239	24.179	3.160	31.578
DBDB	2.749	7.242	1.527	11.518
DBGGA	7.016	48.734	10.101	65.851
DBOB	40	266	100	406
DBSMA	3.247	14.443	2.993	20.683
GAGA	4.782	90.693	6.512	101.987
GASMA	5.985	86.617	11.948	104.550
OBGA	157	758	159	1.074
SMASMA	8.254	69.599	14.065	91.918
missing				0
Summe	44.289	375.262	54.320	473.871

		offen	offen	
Erstnähte	1.236.583	72,3%	135.297	10,9%
Folgenähte	473.871	27,7%	79.716	16,8%
Summe	1.710.454		215.013	

Tabelle A3-20: Unterteilung der projizierten Arbeitsnähte nach Erstnähte und Folgenähte – 2-streifige BAB
(AB = Asphaltbeton, DB = Dünnschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt, OB = Oberflächenbehandlung)

Erstnähte					
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	Summe	Anteil an Summe
ABAB	994	14.954	291	16.239	7,6%
DBDB	661	4.822	193	5.676	2,6%
GAGA	1.440	38.082	1.413	40.935	19,0%
SMASMA	7.553	63.677	1.217	72.447	33,7%
missing				0	0,0%
Summe	10.648	121.535	3.114	135.297	62,9%
	7,9%	89,8%	2,3%		

Folgenähte					
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	Summe	Anteil an Summe
ABAB	164	654	13	831	0,4%
ABDB	164	4.411	27	4.602	2,1%
ABGA	5	2.190	22	2.217	1,0%
ABSMA	177	5.690	74	5.941	2,8%
DBDB	57	687	24	768	0,4%
DBGA	214	8.458	167	8.839	4,1%
DBOB	4	13	1	18	0,0%
DBSMA	47	1.161	67	1.275	0,6%
GAGA	410	24.733	113	25.256	11,7%
GASMA	316	20.910	189	21.415	10,0%
OBGA	9	55	4	68	0,0%
SMASMA	336	7.935	215	8.486	3,9%
missing				0	0,0%
Summe	1.903	76.897	916	79.716	37,1%

Erstnähte	135.297	62,9%
Folgenähte	79.716	37,1%
Summe	215.013	

Tabelle A3-21: Auftreten von „ONA“ an projizierten Arbeitsnähten je Art der obersten Asphaltsschicht – 2-streifige BAB (AB = Asphaltbeton, DB = Dünnsschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt, OB = Oberflächenbehandlung)

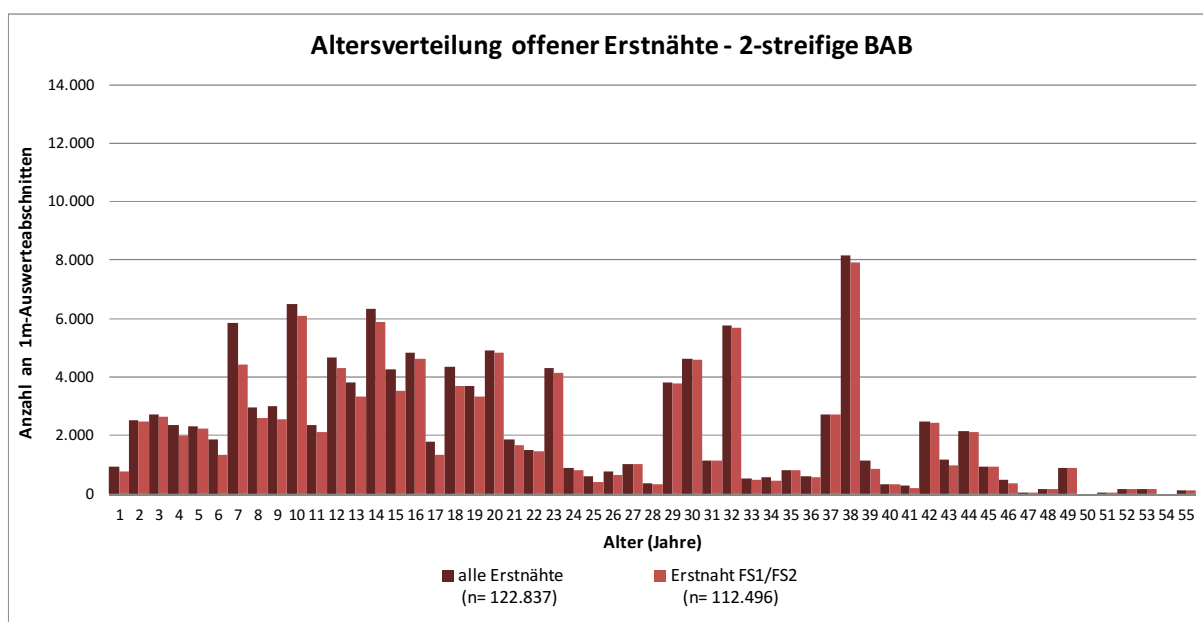


Abbildung A3-15: Altersverteilung offener Erstnähte – 2-streifige BAB

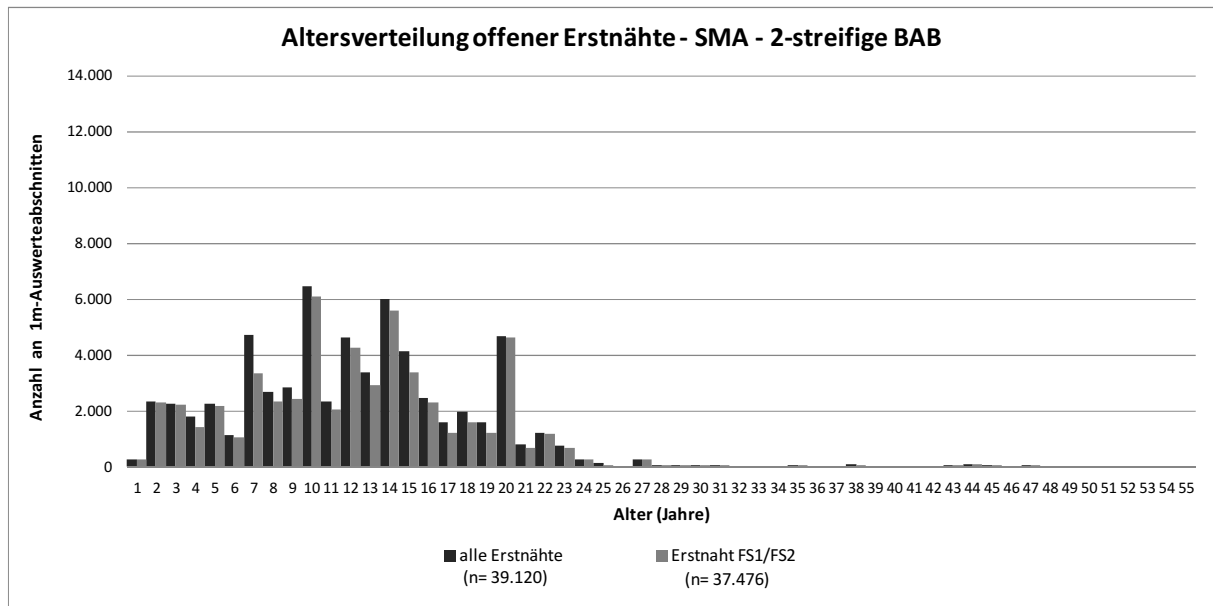


Abbildung A3-16: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Splittmastixasphalt – 2-streifige BAB

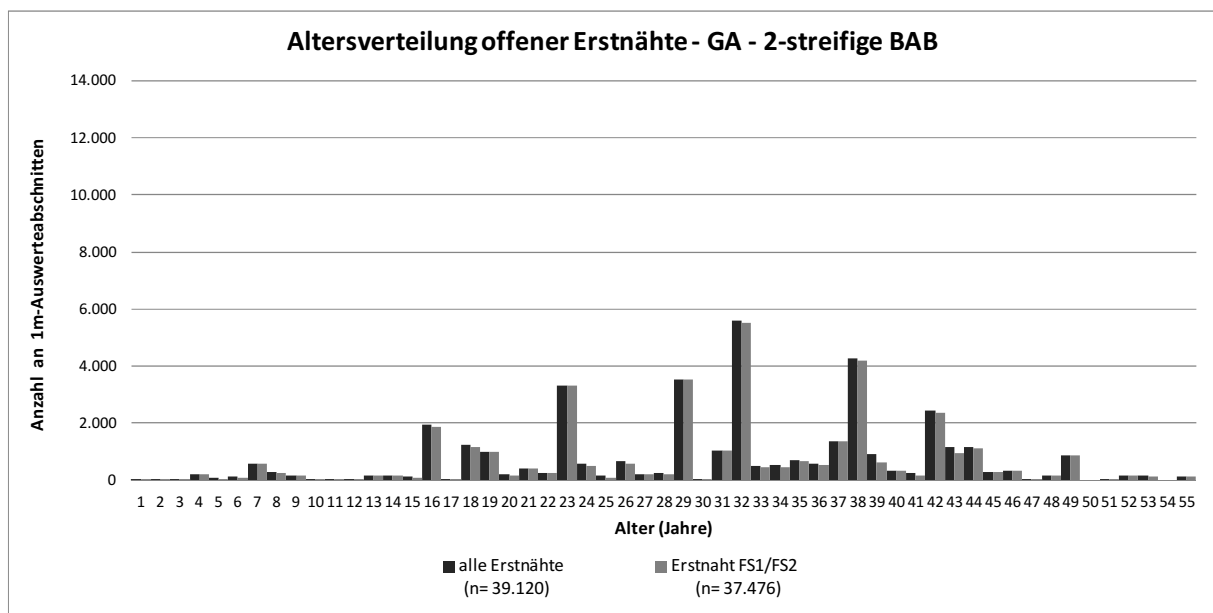


Abbildung A3-17: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Gussasphalt – 2-streifige BAB

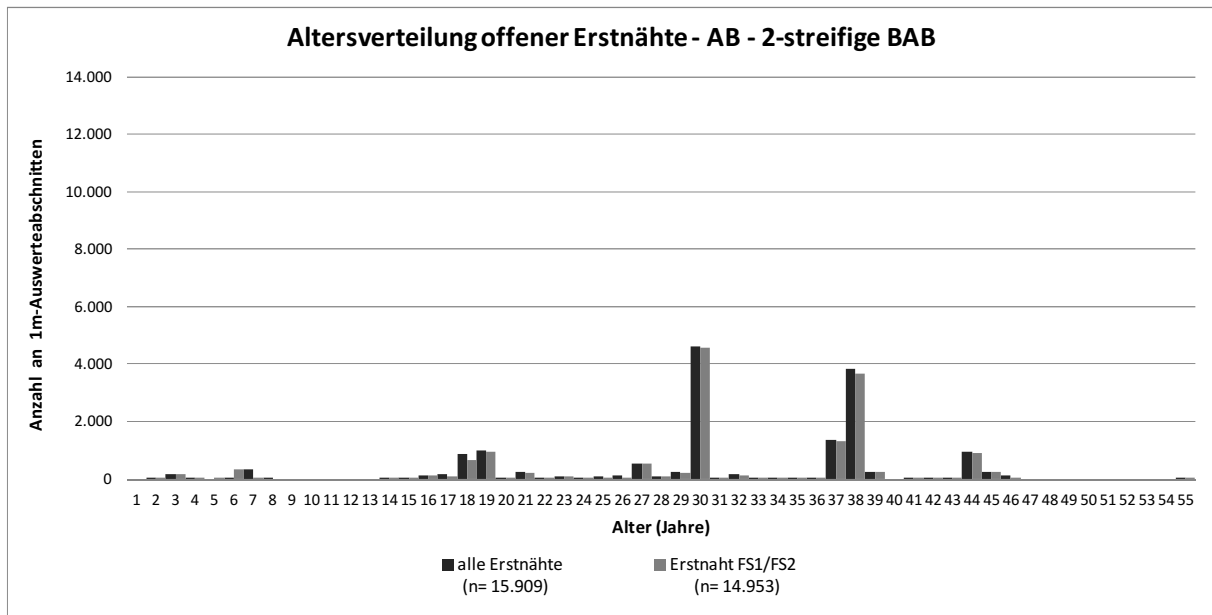


Abbildung A3-18: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Asphaltbeton – 2-streifige BAB

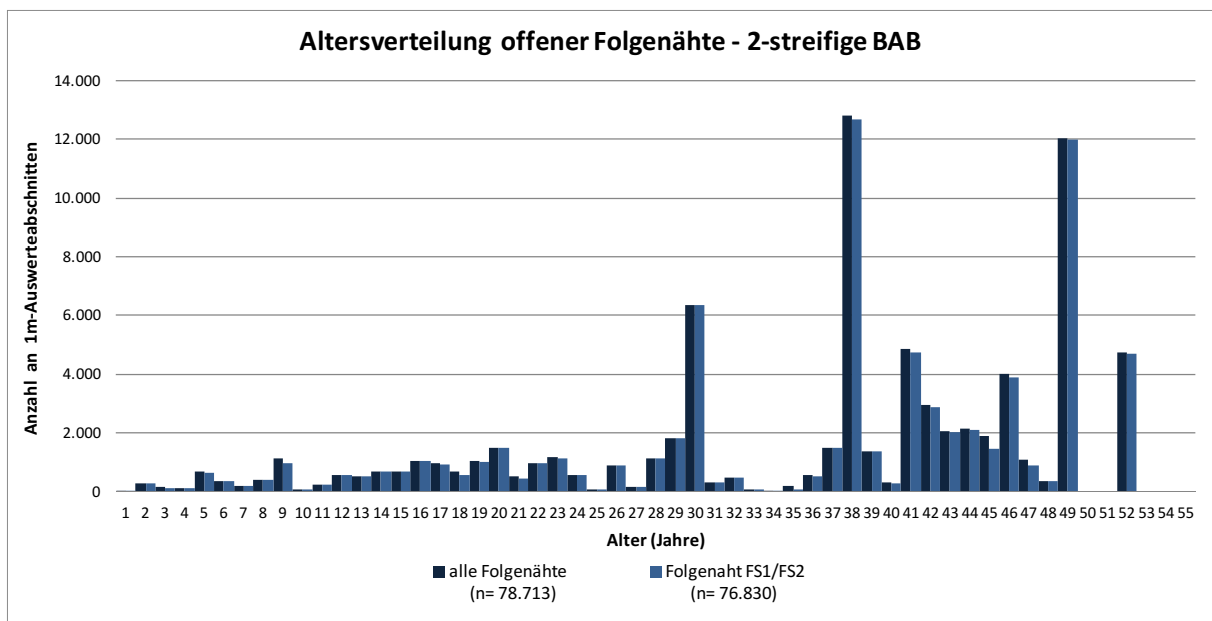


Abbildung A3-19: Altersverteilung offener Folgenähte – 2-streifige BAB

	Erstnähte (Jahre)		Folgenähte (Jahre)	
	alle	FS1/FS2	alle	FS1/FS2
alle Arten	20,4	20,8	36,5	36,5
SMA an SMA	12,1	12,1	15,2	15,2
GA an GA	30,8	30,8	44,2	44,2
AB an AB	31,1	31,2	44,6	44,8

Tabelle A3-22: Mittelwerte der Altersverteilungen offener Arbeitsnähte nach Art der obersten Asphaltsschichten – 2-streifige BAB

Die in Tabelle A3-22 aufgeführten Mittelwerte für die obersten Asphaltschichten mit Folgenähten beziehen sich auf jene Abschnitte, bei denen sich die Arbeitsnaht zwischen Schichten gleicher Art befindet.

A3-2-2-2 Ergebnisse zu 3-streifigen Bundesautobahnen

3-streifige BAB			
	absolut	relativ	
1m-Abschnitte gesamt (je Fahrstreifen)	14.001.445		
1m-Abschnitte (gesamte Fahrbahnbreite)	4.607.948	100,0%	
projizierte Arbeitsnaht (1m)	1.141.501	24,8%	100,0%
ONA (1m)	199.990	4,3%	17,5%
andere Nahtschäden (1m)	63.051	1,4%	5,5%

Tabelle A3-23: Anteil nahtbezogener Substanzschäden der Oberfläche - 3-streifige BAB

Erstnähte						
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	FS 2 / FS 3	FS 3	Summe
ABAB	4.169	19.189	4.087	14.381	5.359	47.185
DBDB	3.585	19.596	4.118	13.580	3.998	44.877
GAGA	21.884	141.954	32.400	126.639	48.014	370.891
SMASMA	36.861	225.165	37.676	130.390	27.638	457.730
missing						0
Summe	66.499	405.904	78.281	284.990	85.009	920.683
	7,2%	44,1%	8,5%	31,0%	9,2%	100,0%

Folgenähte						
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	FS 2 / FS 3	FS 3	Summe
ABAB	201	1.107	378	305	0	1.991
ABDB	113	1.181	493	2.142	400	4.329
ABGA	1.076	9.015	1.260	2.955	701	15.007
ABSMA	939	3.545	460	1.469	631	7.044
DBDB	399	12.870	679	6.521	400	20.869
DBGA	8.235	55.528	10.265	21.381	2.252	97.661
DBSMA	2.698	22.863	5.639	3.757	0	34.957
GAGA	3.664	34.534	6.327	12.449	597	57.571
GASMA	3.534	56.114	6.150	19.529	1.948	87.275
SMASMA	1.597	20.606	3.226	12.829	1.140	39.398
missing						0
Summe	22.456	217.363	34.877	83.337	8.069	366.102
	6,1%	59,4%	9,5%	22,8%	2,2%	100,0%

		offen	offen	offen/alle
Erstnähte	920.683	71,5%	131.674	14,3%
Folgenähte	366.102	28,5%	65.341	17,8%
Summe	1.286.785		197.015	15,3%

Tabelle A3-24: Unterteilung der projizierten Arbeitsnähte nach Erstnähte und Folgenähte – 3-streifige BAB
(AB = Asphaltbeton, DB = Dünnschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt)

Erstnähte							
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	FS 2 / FS 3	FS 3	Summe	Anteil an Summe
ABAB	1.009	4.596	142	1.411	544	7.702	3,9%
DBDB	151	4.018	771	1.289	65	6.294	3,2%
GAGA	1.308	23.336	2.212	17.727	1.252	45.835	23,3%
SMASMA	4.361	39.168	4.376	23.035	903	71.843	36,5%
missing						0	0,0%
Summe	6.829	71.118	7.501	43.462	2.764	131.674	66,8%
	5,2%	54,0%	5,7%	33,0%	2,1%	100,0%	

Folgenähte							
Arbeitsnaht	FS 1	FS 1 / FS 2	FS 2	FS 2 / FS 3	FS 3	Summe	Anteil an Summe
ABAB	2	92	8	44	0	146	0,1%
ABDB	5	76	11	420	8	520	0,3%
ABGA	65	1.881	206	820	245	3.217	1,6%
ABSMA	69	331	7	23	10	440	0,2%
DBDB	11	3.648	17	1.886	5	5.567	2,8%
DBGGA	321	13.068	344	2.346	35	16.114	8,2%
DBSMA	801	6.160	1.165	588	0	8.714	4,4%
GAGA	59	7.507	498	1.768	6	9.838	5,0%
GASMA	227	11.506	514	2.373	30	14.650	7,4%
SMASMA	131	2.700	214	2.968	122	6.135	3,1%
missing						0	0,0%
Summe	1.691	46.969	2.984	13.236	461	65.341	33,2%
	2,6%	71,9%	4,6%	20,3%	0,7%	100,0%	

Erstnähte	131.674	66,8%
Folgenähte	65.341	33,2%
Summe	197.015	

Tabelle A3-25: Auftreten von „ONA“ an projizierten Arbeitsnähten je Art der obersten Asphalttschicht – 3-streifige BAB (AB = Asphaltbeton, DB = Dünnschichtbelag, GA = Gussasphalt, SMA = Splittmastixasphalt)

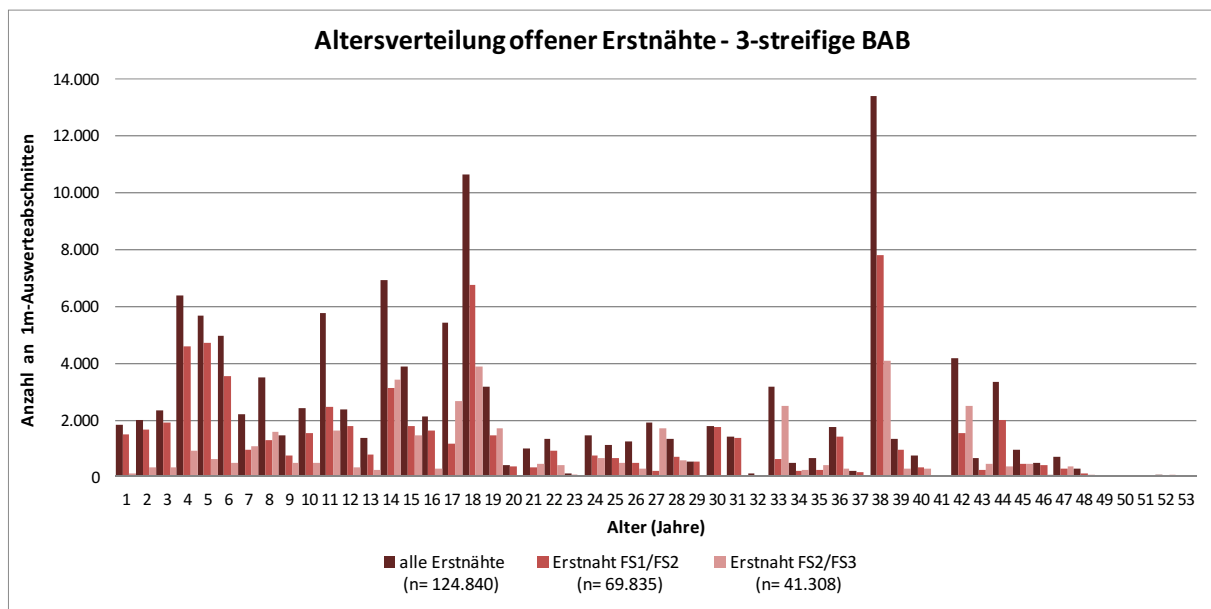


Abbildung A3-20: Altersverteilung offener Erstnähte – 3-streifige BAB

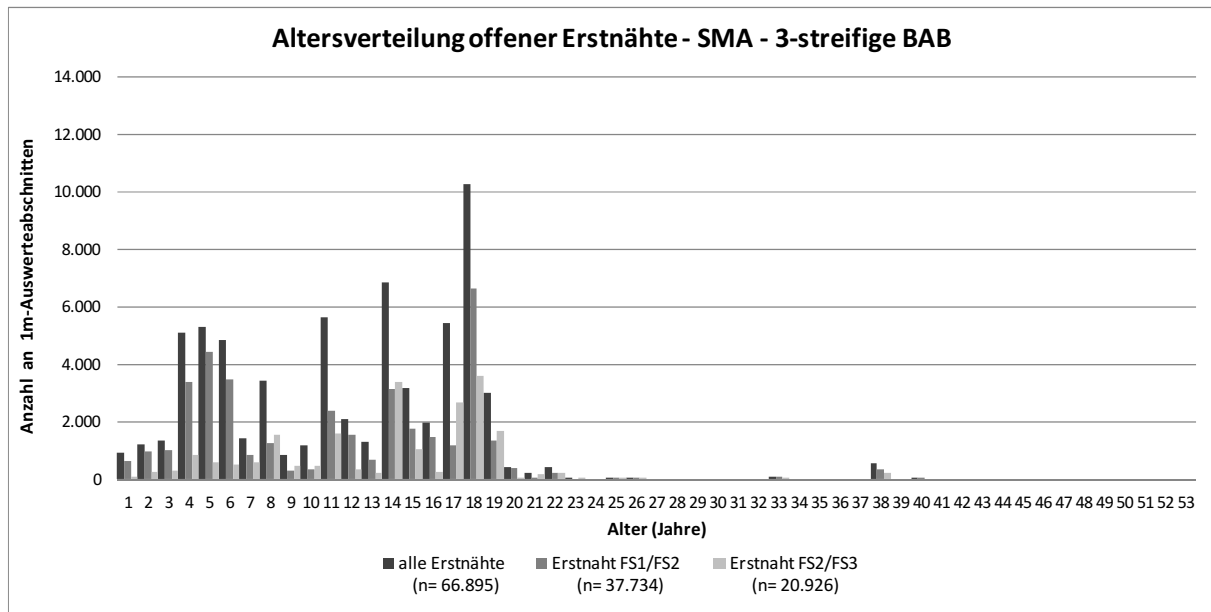


Abbildung A3-21: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Splittmastixasphalt – 3-streifige BAB

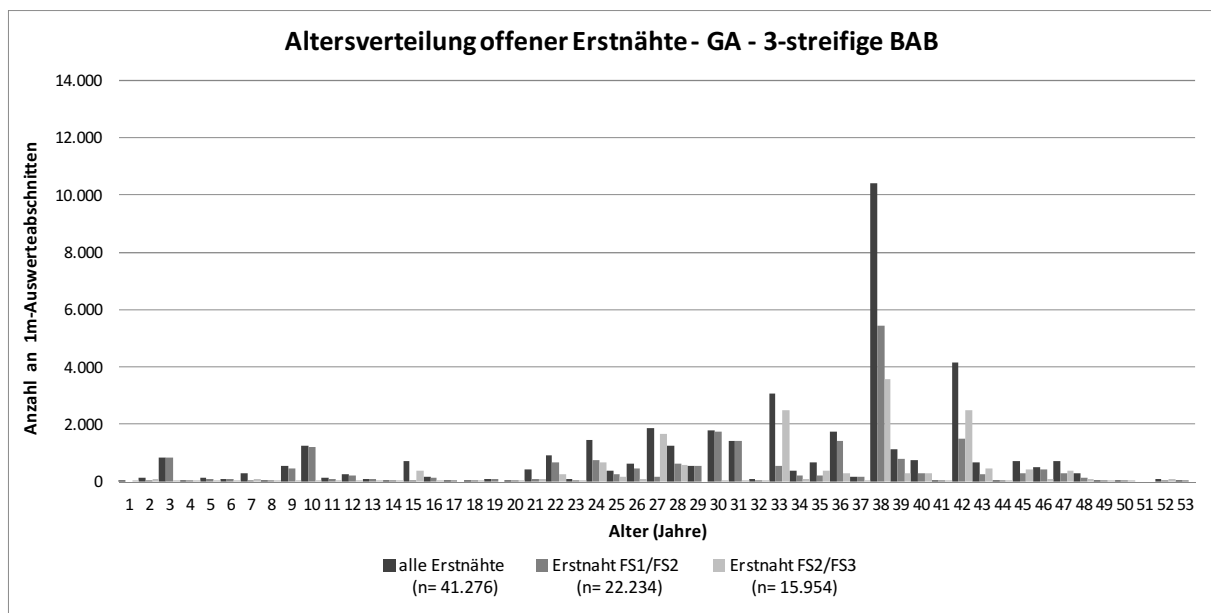


Abbildung A3-22: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Gussasphalt – 3-streifige BAB

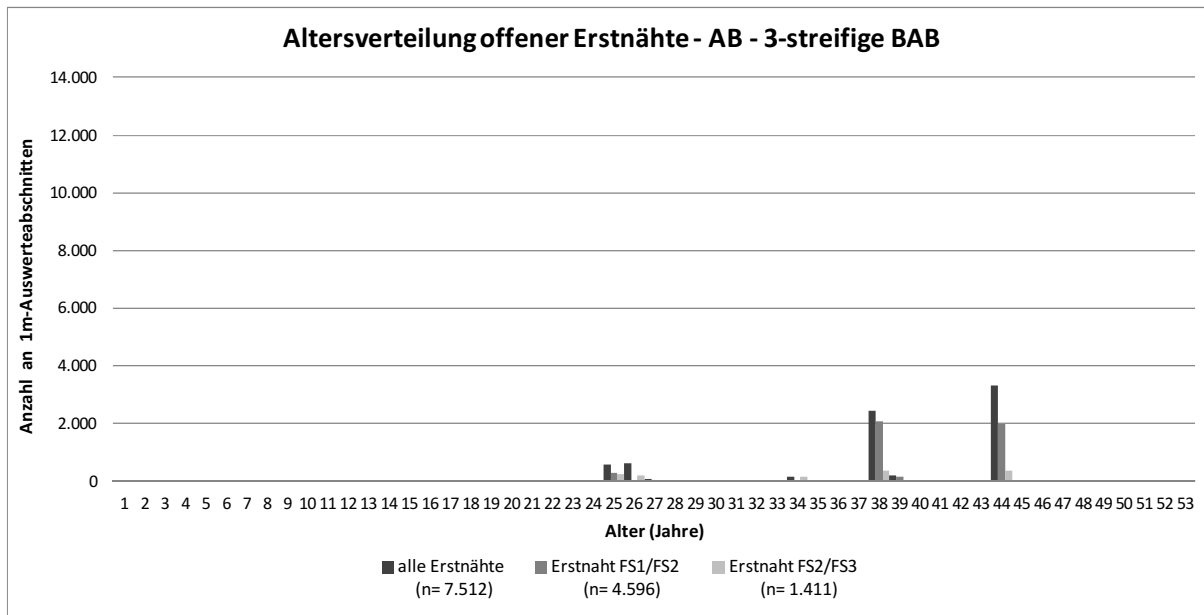


Abbildung A3-23: Altersverteilung offener Erstnähte zwischen Asphaltbeton – 3-streifige BAB

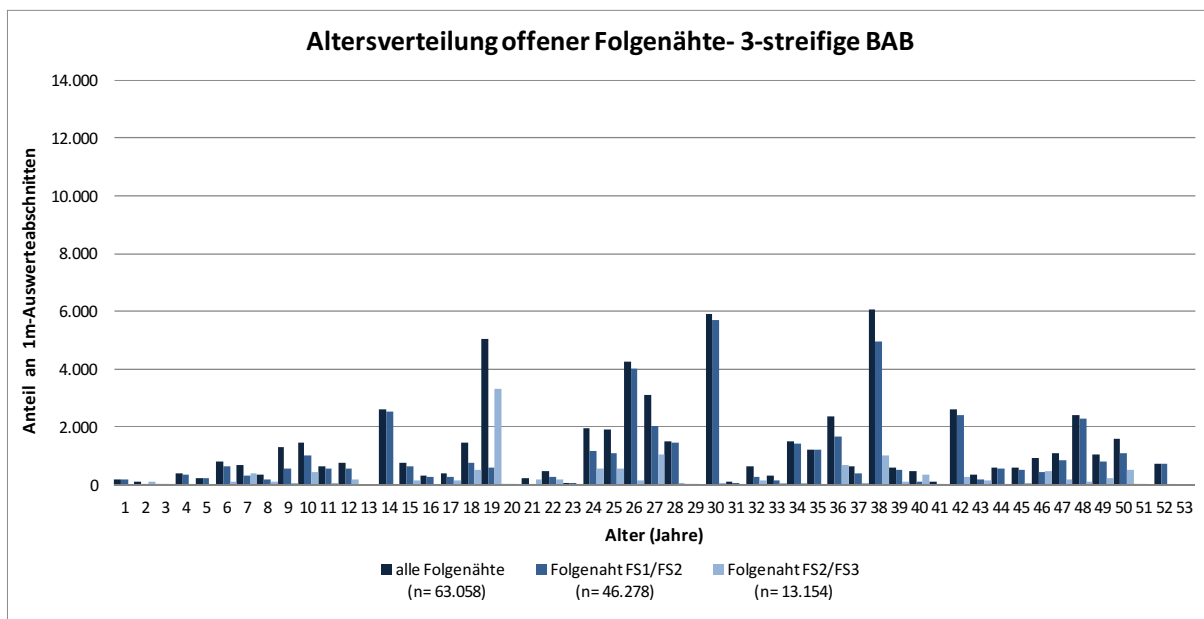


Abbildung A3-24: Altersverteilung offener Folgenähte – 3-streifige BAB

	Erstnähte (Jahre)			Folgenähte (Jahre)		
	alle	FS1/FS2	FS2/FS3	alle	FS1/FS2	FS2/FS3
alle Arten	19,8	18,9	21,8	29,2	30,4	27,0
SMA an SMA	11,5	11,0	12,8	13,5	12,7	14,3
GA an GA	31,8	30,5	33,5	36,5	37,6	31,9
AB an AB	38,3	39,5	34,6	26,9	26,1	27,7

Tabelle A3-26: Mittelwerte der Altersverteilungen offener Arbeitsnähte nach Art der obersten Asphaltsschichten – 3-streifige BAB

Die in Tabelle A3-26 aufgeführten Mittelwerte für die obersten Asphaltsschichten mit Folgenähten beziehen sich auf jene Abschnitte, wo sich die Arbeitsnaht zwischen Schichten gleicher Art befindet.

	Anzahl 1m-Abschnitte	Prozent
alle Nahtschäden 2013/2014	286.860	100,0%
nur Nahtschäden 2013/2014	236.919	82,6%
davon: nur „ONA“	126.514	53,4%
nur „RISS“	52.359	22,1%
ONA_RISS	48.331	20,4%
Nahtschäden 2009-2014	46.083	16,1%
Nahtschäden 2005-2014	3.858	1,3%

Tabelle A3-27: Vorhandensein von Nahtschäden über die Messkampagnen

		Kampagne 2009/2010					
		ONA	AUS	RISS	ONA/AUS	ONA/RISS	AUS/RISS
Kampagne 2013/2014	ONA	17.856	29	4.406	16	264	12
	AUS	187	21	196	3	6	2
	RISS	1.361	21	7.699	4	99	4
	ONA/AUS	722	3	276	11	16	3
	ONA/RISS	5.488	2	2.902	3	139	3
	AUS/RISS	77	2	298	-	1	-

Tabelle A3-28: Schadensentwicklung zwischen Messkampagne 2009/2010 und 2013/2014

Die in Tabelle A3-28 grau hinterlegten Felder zeigen die Schadensbilder an, die sich zwischen den Kampagnen höchstens in ihrer räumlichen Ausdehnung verändert haben.

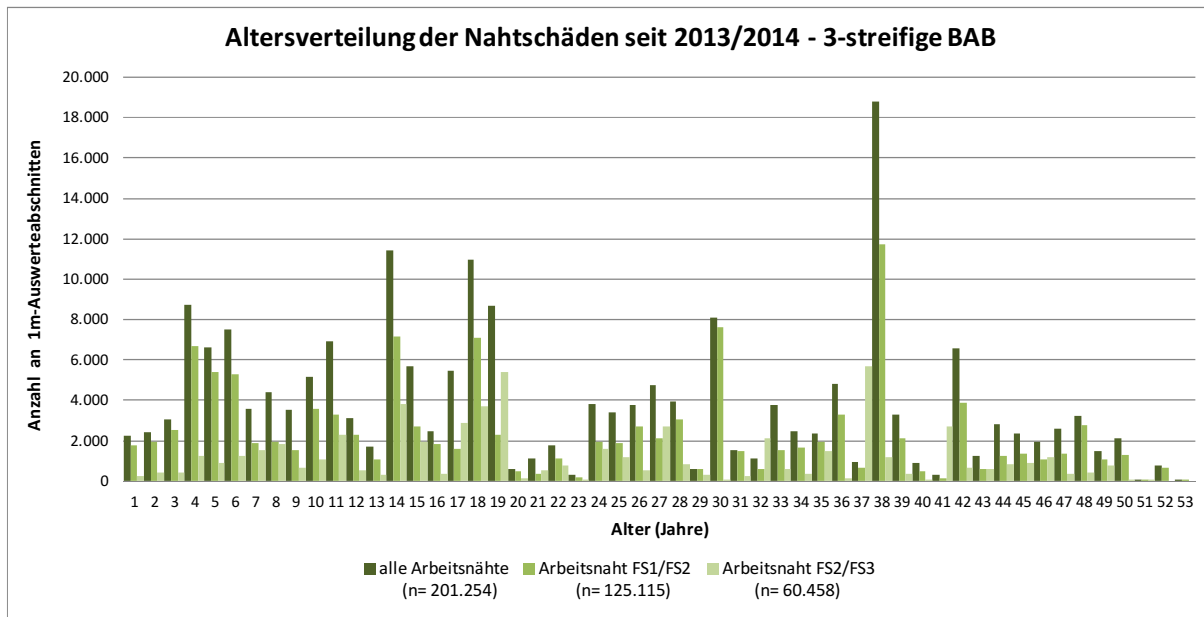


Abbildung A3-25: Altersverteilung der seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschäden an den Arbeitsnähten

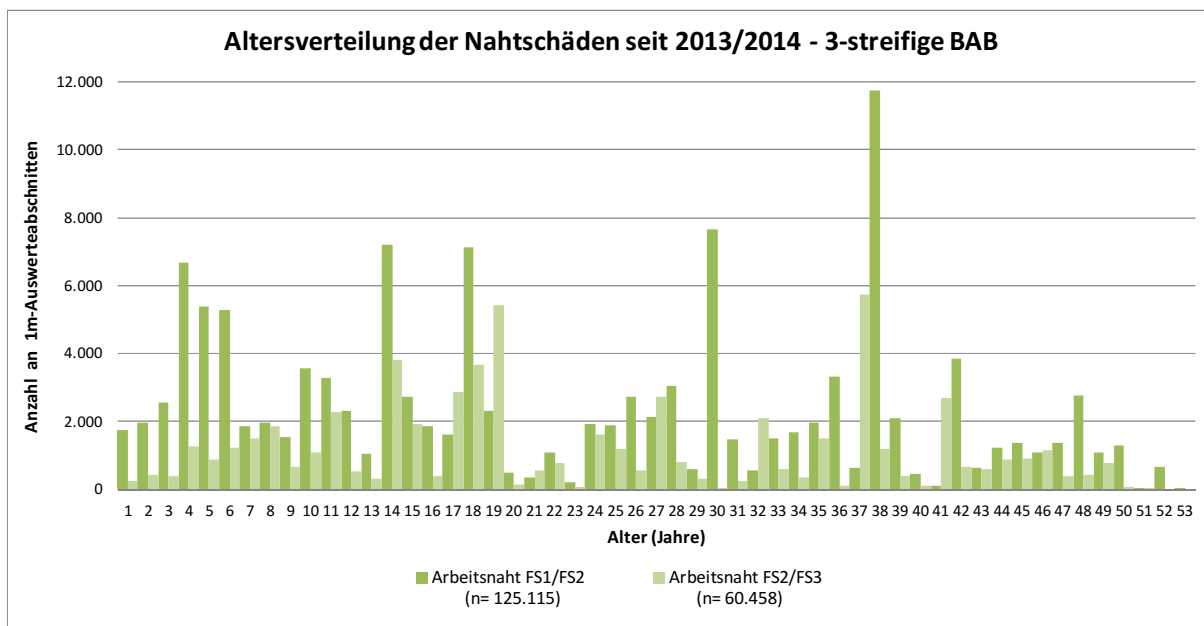


Abbildung A3-26: Altersverteilung der seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschäden an den Arbeitsnähten

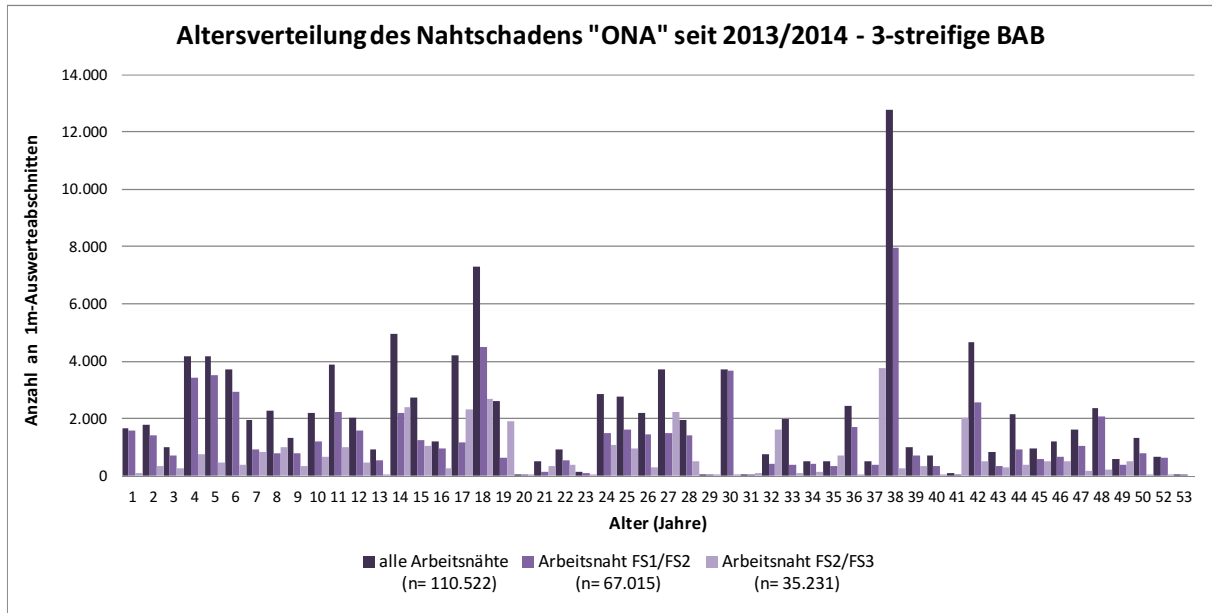


Abbildung A3-27: Altersverteilung des seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschadens „ONA“

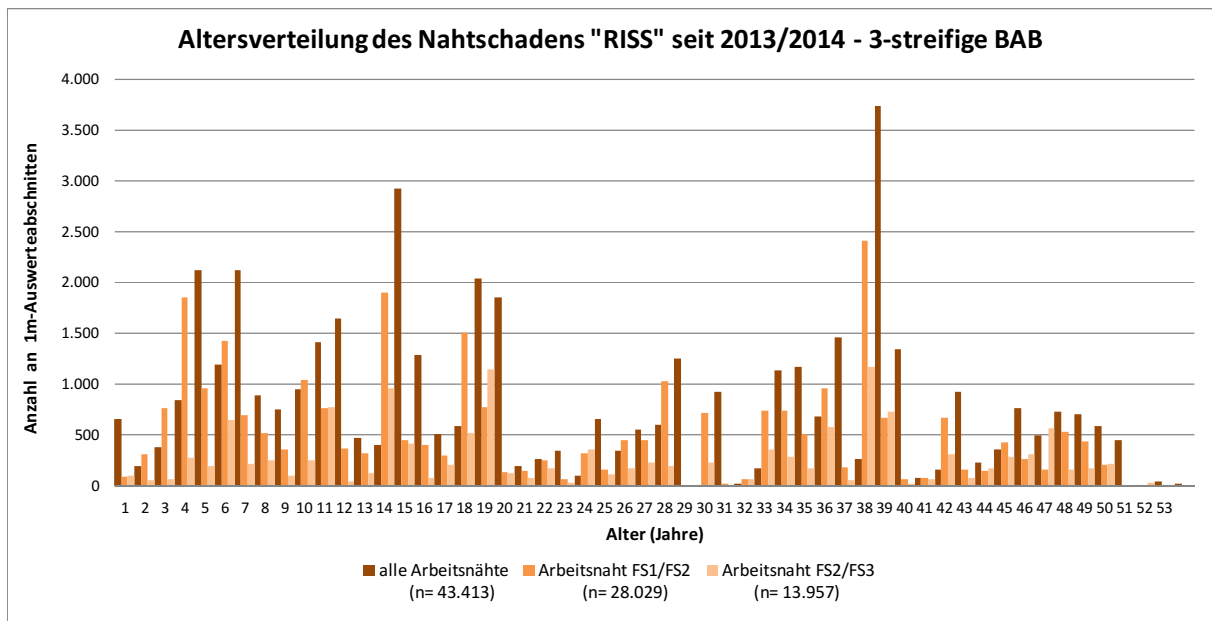


Abbildung A3-28: Altersverteilung des seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschadens „RISS“

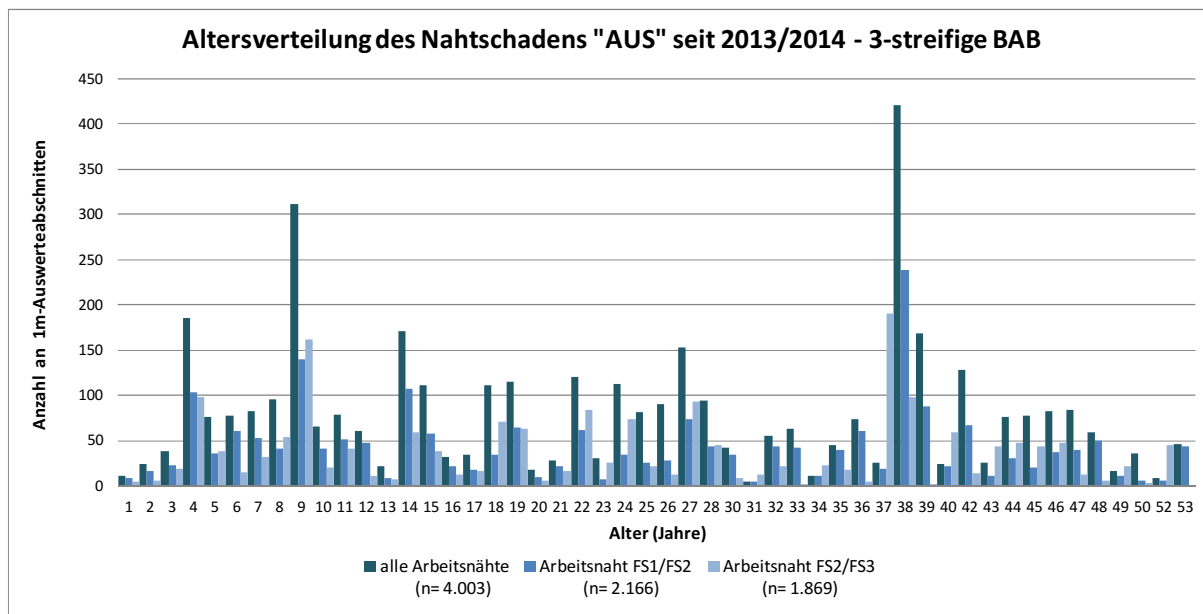


Abbildung A3-29: Altersverteilung des seit 2013/2014 aufgetretenen Nahtschadens „AUS“

A3-2-3 Ergebnisse zur Positionierung der Arbeitsnaht im Fahrbahnquerschnitt bei Neubau

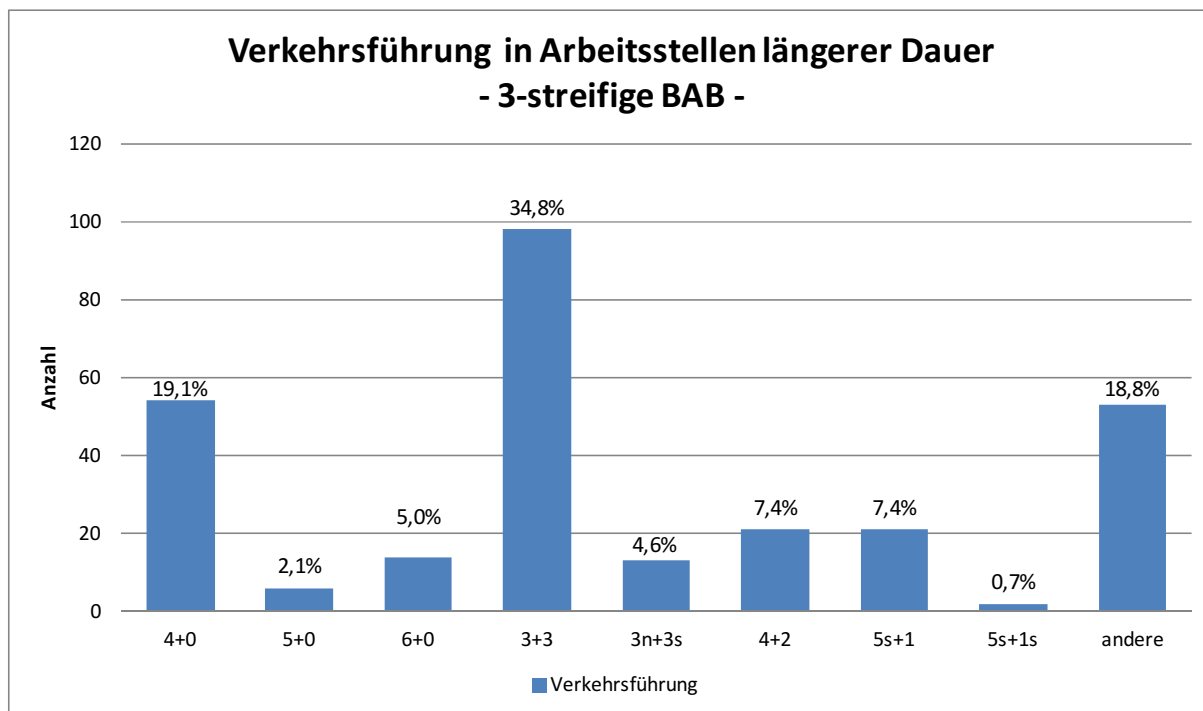


Abbildung A3-30: Häufigkeitsverteilung der Verkehrsführungen in Arbeitsstellen von längerer Dauer für das 1. Quartal 2018

A3-2-4 Ergebnisse zu den BISAR-Berechnungen

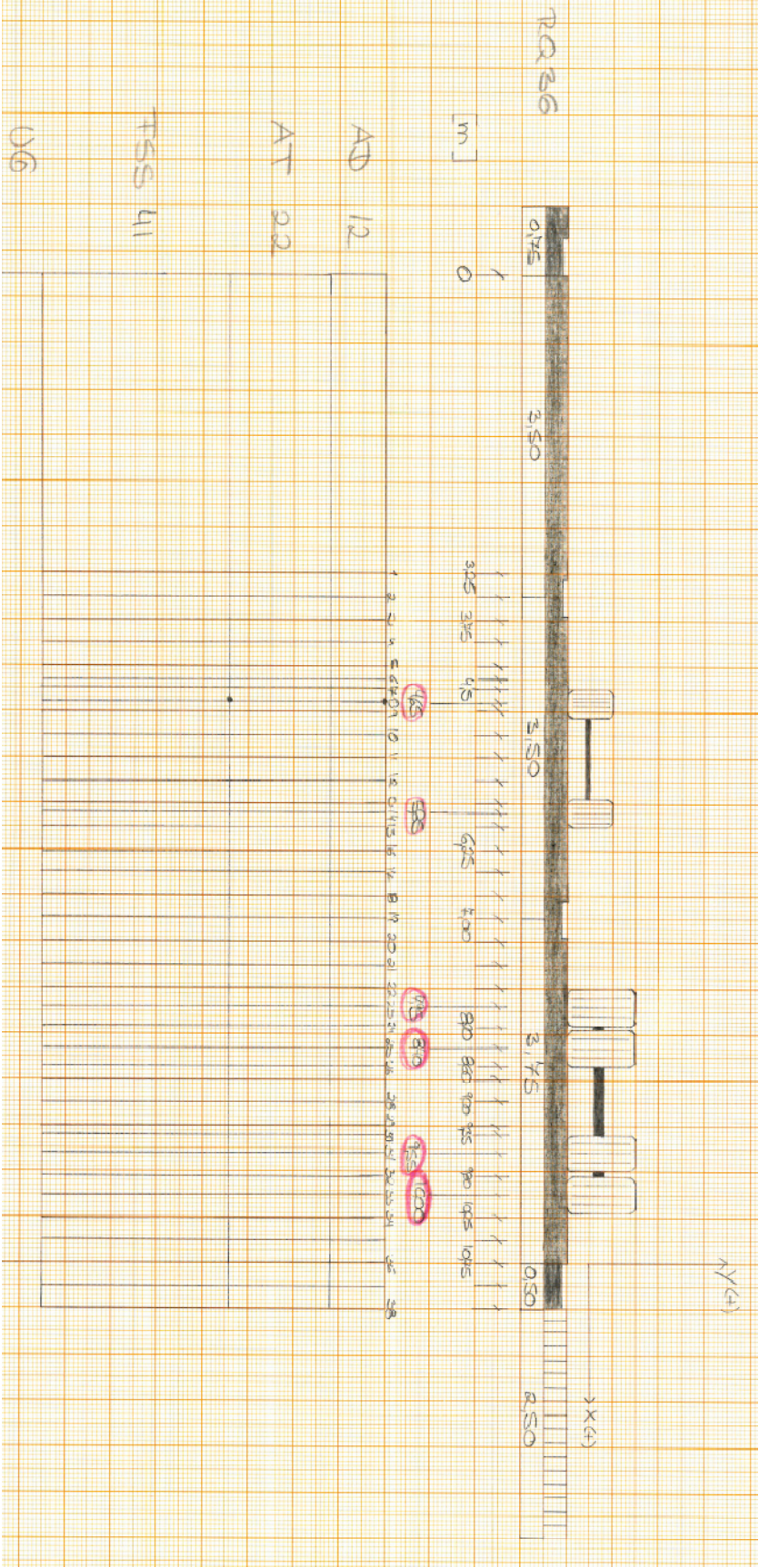


Abbildung A3-31: Einmessungen und Berechnungspunkte für die BISAR-Berechnungen