

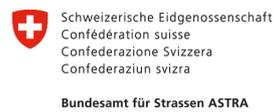
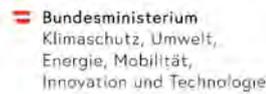
Texturgrinding Plus

TexPlus

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
DE-AT Kooperation
Verkehrsinfrastrukturforschung 2019
DACH 2019

Dezember 2023





Impressum

Herausgeber und Programmverantwortung:

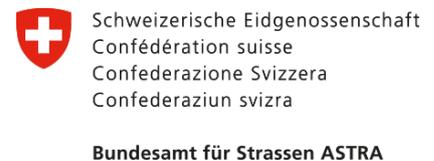
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Deutschland



Bundesministerium für Klimaschutz (BMK)
Radetzkystraße 2
1030 Wien
Österreich



Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Mühlestrasse 2, Ittigen
3003 Bern
Schweiz



Für den Inhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4
1210 Wien



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
1090 Wien
Österreich



Texturgrinding Plus

TexPlus

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
D-A-CH Kooperation
Verkehrsinfrastrukturforschung 2019
DACH 2019

AutorInnen:

DI Roland Spielhofer
DI Reinhard Wehr
DI Andreas Fuchs
DI Dr. Jonathan Nowak
DI Dr. Hannes Kugler
DI Stephan Villaret
DI Bernd Frohböse
DI Clemens Gebhardt
DI Stefan Pichottka
DI Dr. Konrad Posern

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Deutschland
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreich
Bundesamt für Strassen, Schweiz

Auftragnehmer:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH
Villaret Ingenieurgesellschaft GmbH
ABE Bauprüf- und -beratungsgesellschaft mbH

INHALTSVERZEICHNIS

1	Aufgabenstellung	6
1.1	Motivation.....	6
1.2	Ziele	7
1.3	Methodik des Vorgehens/Struktur des Berichtes	7
2	Recherche & Erhebung von Material, Textur und Performance	8
2.1	Erhebung Oberflächeneigenschaften	10
2.2	Zeitliche Entwicklung Oberflächeneigenschaften.....	11
2.2.1	A02 Wiener Neudorf, RFB Italien, km 6,9 – km7,5 und km 8,9 – km 9,4	11
2.2.2	A10 Paternion, RFB Villach, km 157,2 – km 157,6.....	13
2.2.3	A05 Schrick (AT), RFB Wien, km 25,500 – km 25,250 und km 25,250 – km 25,000	14
2.2.4	A05 Bruchsal (DE), RFB Basel, km 610,280 – km 609,400.....	15
2.2.5	A05 Ettlingen West (DE), RFB Frankfurt/m., km 641,2 – km 637,0	17
2.2.6	A93 Luhe-Wildenau (DE), RFB Hof und Regensburg, km 127,400 – km 129,350	18
2.2.7	A10 Marzahn (DE), RFB AD Barnim, km 9,0 – km 5,0	21
2.2.8	A14 Löbejün (DE), RFB Dresden, km 132,050 – km 128,155	23
2.3	Erhebung bautechnischer Daten und Rückstellproben	25
2.4	Beprobung Bestandsstrecken.....	26
3	Analyse und Modellierung Textur vs. Performance	27
3.1	Laboranalysen.....	27
3.1.1	Spaltzugfestigkeit und Abwitterung durch Frost-Tausalz-Wechsel	27
3.1.2	Mineralogie und einfache Petrographie.....	28
3.1.3	Texturanalysen im Labor.....	29
3.1.4	Griffigkeiten und Polierverhalten	34
3.1.5	Beobachtung der PWS-Poliersimulation mittels Rasterelektronenmikroskop	56
3.1.6	Schlussfolgerungen aus den Labor-Erkenntnissen	62
3.2	Rollgeräuschmessungen – CPX.....	63
3.2.1	Zeitliche Entwicklung der CPX-Pegel	63
3.2.2	Terzbandbetrachtung.....	66
3.2.3	Statistische Analyse des Einflusses der Steggeometrien	68
3.3	3D-Textur	71
3.3.1	Hohlraumvolumen zwischen Reifen und Fahrbahn	71
3.3.2	Stegdetektion.....	72
3.3.3	Detektion von Stegbrüchen.....	72
3.3.4	Clusterbildung.....	73
3.3.5	Zeitliche Entwicklung der Texturparameter	75
3.3.6	Zusammenfassung	80
4	Untersuchungsstrecken	81
4.1	Grundsätzliche Überlegungen zur Optimierung des Oberbetons	82
4.2	Oberbetonoptimierung für die geplante Untersuchungsstrecke in Deutschland	85
4.3	Anforderungen an Betonausgangsstoffe und die Betonzusammensetzung	86
4.4	Über die TL Beton-StB 07 hinausgehende Anforderungen	86
4.4.1	Oberbeton.....	86
4.4.2	Unterbeton	88
4.4.3	Ober- und Unterbeton, Betonfestigkeit	88
4.5	Anforderungen an die Bauausführung	88

4.6	Grinding- und Groovingmaßnahmen	89
4.6.1	Allgemeine Anforderungen	90
4.6.2	Grindingvorgang	91
4.6.3	Groovingvorgang	91
4.6.4	Ausführungsbegleitende Eigenüberwachung	91
4.7	Untersuchungsstrecke Österreich	92
4.7.1	Griffigkeit und Längsebenheit	92
4.7.2	Rollgeräusch	94
4.8	Untersuchungsstrecke Deutschland	95
4.8.1	Erhebung bautechnischer Daten und Rückstellproben	95
4.8.2	Bohrkernentnahme in der Erprobungsstrecke	96
4.8.3	Spaltzugfestigkeit, Druckfestigkeit und Abwitterung durch Frost-Tausalz-Wechsel	97
4.8.4	Statisches Elastizitätsmodul und Wärmedehnzahl	98
4.8.5	Griffigkeit und Längsebenheit	102
4.8.6	Rollgeräusch und 3D-Textur	104
5	Spezifikation Texturgrinding	109
5.1	Verhaltensfunktionen	109
5.1.1	Lärmemission	109
5.1.2	Griffigkeit	114
5.1.3	Evaluation	120
5.2	Einfluss des Grindings auf die strukturelle Substanz	121
5.2.1	Berücksichtigung des Grindings	121
5.2.2	Beispielsimulationen	123
5.2.3	Evaluation	131
5.2.4	Auswertung mit FEM	132
5.3	Untersuchungen zum Einsatz des Effektivitätsindexes	137
5.4	Überlagerung der Ergebnisse	143
6	Ergebnisse und Empfehlungen	152
	Literatur	155
	Verwendete Regelwerke	156
	Anhänge	160
	Anhang 1 – 1:	161
	Anhang 1 – 2	163
	Anhang 1–3	180

1 AUFGABENSTELLUNG

1.1 Motivation

Weltweit rücken Themen wie Klimawandel – und damit einhergehend auch der Klimaschutz – sowie Ressourcenknappheit immer mehr in den Fokus. Die Straßeninfrastruktur und damit auch der Straßenoberbau müssen sich dieser Diskussion dringend stellen und Fragen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit beantworten. Dabei rücken Fragen in den Mittelpunkt, wie man Straßenoberbauten von der Planung bis zur Erneuerung („cradle to cradle“) entwerfen und bauen kann. Neben einer langen Dauerhaftigkeit (Substanz), der Recyclingfähigkeit und der umweltfreundlichen Bau- und Benutzbarkeit spielen verstärkt auch Fragen der Erzielung dauerhafter Gebrauchseigenschaften eine entscheidende Rolle.

Hinsichtlich dauerhafter Gebrauchseigenschaften für Betondecken scheint das Grindingverfahren eine mögliche Lösung zu sein. Es können mit diesem Verfahren sehr ebene, griffige und lärmarme Oberflächen hergestellt werden. Bisherige Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass nicht alle Oberbetone dauerhaft die gewünschten Eigenschaften behalten. Eine Ursachenanalyse muss daher aufzeigen, unter welchen Randbedingungen ein erfolgreiches Grinding möglich ist.

Die bereits hergestellten Grinding- bzw. Groovingabschnitte in Deutschland und Österreich weisen mittlerweile eine Liegedauer von 5 bis 7 Jahren auf. Auf den verschiedenen Strecken wurde in unterschiedlichem Umfang und Tiefe ein Monitoring der Oberflächeneigenschaften durchgeführt. Für diese Strecken liegen somit für Griffigkeit, Rollgeräusch und Textur Messdaten vor, die einer eingehenden Analyse bedürfen. Ebenso sind auf den Neubaustrecken detaillierte Daten über das verbaute Material vorhanden.

Untersuchungen unmittelbar nach der Ausführung zeigen auf vielen Strecken durch die Herstellung des Grindings eine deutliche Verbesserung der Oberflächeneigenschaften, die über die Zeit in unterschiedlichem Ausmaß wieder verloren geht. Diese Analyse ist jedoch derzeit noch fragmentarisch. Die erhobenen Daten liegen bei verschiedenen Stellen, teils sind bis jetzt keine Zeitreihen gebildet oder es ist zu erwarten, dass Rohdaten (z.B. 3D-Textur), nach verbesserter Auswertung, weitere Schlussfolgerungen erlauben.

Vor der Ausführung weiterer Abschnitte mit Grinding bzw. Grooving scheint es geboten, die vorliegenden Daten, Ergebnisse und Zeitreihen zusammenzufassen und zu systematisieren, um sie anschließend einer eingehenden Analyse zu unterziehen: Welche Faktoren führen zu dauerhaft guten Abschnitten, wo liegen die Ursachen für stärkere Einbußen?

Veränderungen in Rollgeräusch, Griffigkeit und Rollwiderstand lassen sich auf Texturveränderungen zurückführen. Diese Texturveränderungen müssen erfasst, beschrieben und bewertet werden. Die zweite Stufe stellt den Zusammenhang zwischen den Texturveränderungen und dem Baustoff bzw. der Bauausführung her. Wie kann das Baumaterial Beton

bzw. seine Komponenten optimiert werden, so dass Texturveränderungen über die Zeit verhindert bzw. hintangehalten werden? Aus den bei dieser Analyse gewonnenen Schlüssen lässt sich das weitere Programm zur Optimierung des Oberbetons hinsichtlich Materials und Gestein, Zusammensetzung bzw. Rezeptur, Grindingzeitpunkt sowie Geometrie festlegen.

Zu beachten ist, dass die Textureigenschaften die geforderten Performance-Parameter (Geräuschemission, Griffbarkeit, Ebenheit, Rollwiderstand, Drainage) nicht notwendigerweise in die gleiche Richtung beeinflussen. Diese Zusammenhänge müssen notwendigerweise gemeinsam betrachtet werden, um ein ganzheitliches Bild der Oberflächeneigenschaften zu erhalten.

1.2 Ziele

Die folgenden Ziele wurden im Projekt verfolgt:

- Systematische Zusammenstellung aller verfügbaren Messdaten, Zeitreihen, Materialkennwerte etc. von acht ausgewählten bereits bestehenden Grinding- und Groovingmaßnahmen in Deutschland und Österreich
- Analyse der bei Forschungsprojekten und Monitoring erhobenen Daten
- Beschreibung der Texturveränderung der Grinding-Oberflächen durch Verkehrsbeanspruchung
- Beschreibung des Zusammenhangs der zeitlichen Veränderung der Oberflächeneigenschaften und der Texturveränderung
- Beschreibung eines hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der positiven Oberflächeneigenschaften optimierter Oberbeton für Grindingoberflächen
- Empfehlung für die Bestimmung bzw. Festlegung des Grindingzeitpunktes
- Verhaltensfunktionen für Grindingoberflächen
- Umgesetzte Versuchsstrecken in Deutschland und Österreich und durchgeführte Zustandserfassung,
- Erstanwendung des Effektivitätsindex E_{StrO}

1.3 Methodik des Vorgehens/Struktur des Berichtes

Das Projekt folgt in seiner Abarbeitung den Arbeitspaketen wie in Abbildung 1 ersichtlich. Der gegenständliche Ergebnisbericht beschreibt alle Arbeiten, die im Projekt geleistet wurden. Aufgrund äußerer Umstände konnte die geplante Neubaustrecke in Deutschland erst verspätet umgesetzt werden, damit einher ging eine Anpassung des Arbeitsprogrammes. Die aus den Ergebnissen von AP2 und AP3 abgeleitete optimierte Rezeptur für einen optimierten Oberbeton (Ergebnisse von AP4) sind im Bericht beschrieben, die Rezeptur selbst

bzw. das damit einhergehende Konzept der Texturgründings konnte jedoch aufgrund der erwähnten Umstände nicht umgesetzt werden. Die Ergebnisse des Monitorings bzw. Ersterfassung (AP 5) sowie die umfangreichen Untersuchungen zur Substanzbewertung und dem Effektivitätsindex (AP6) sind im Bericht detailliert beschrieben.

Die Prüfberichte der Laborergebnisse sind in den Anhängen beigelegt.

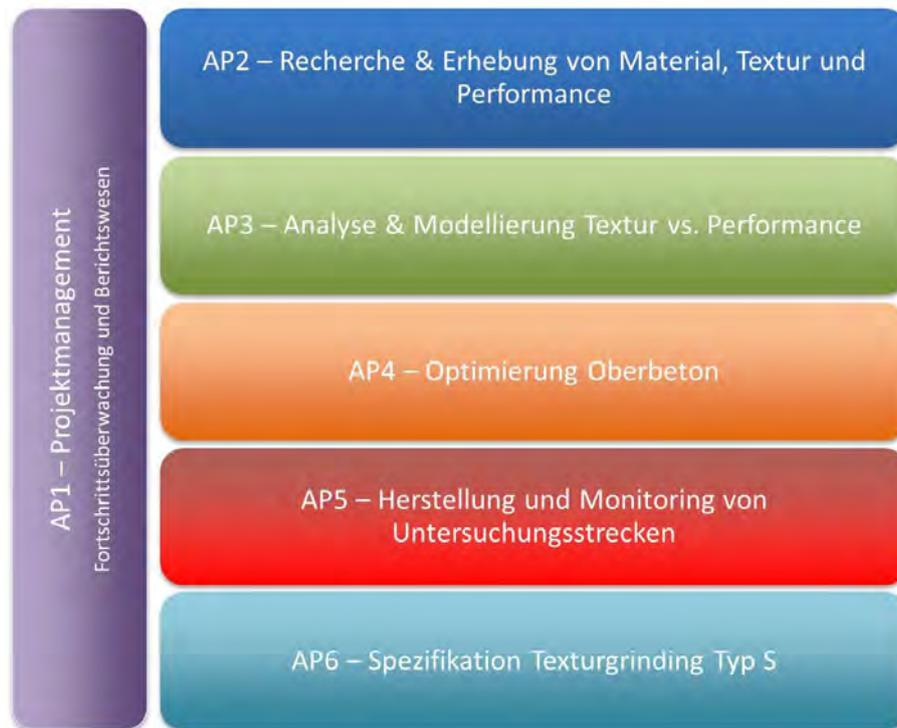


Abbildung 1: Struktur der Arbeitspakete im Projekt TexPlus

2 RECHERCHE & ERHEBUNG VON MATERIAL, TEXTUR UND PERFORMANCE

Bei den bisher ausgeführten Betondecken mit Grindingoberfläche handelt es sich um neu gebaute Betondecken, aber auch um Decken, die seit längerer Zeit unter Verkehr waren. Für die weiteren Untersuchungen wurden verschiedene Strecken in Österreich und Deutschland ausgewählt (vgl. Tabelle 1 sowie Abbildung 2), für die bereits Monitoringdaten der Oberflächeneigenschaften vorlagen. Das Monitoring wurde fortgesetzt und die entsprechenden Zeitreihen ergänzt. Darüber hinaus wurden verschiedene Laboruntersuchungen an Bohrkernen durchgeführt sowie vorhandene Rückstellproben untersucht.

Tabelle 1: Liste der Untersuchungsabschnitte der Bestandsstrecken im Projekt TexPlus

Land	Autobahn	von km	bis km	Textur 1		Textur 2			Beton	Baujahr	Gründungszeitpunkt
				Segment-		Segment-		Rillentiefe			
				breite	abstand	breite	abstand				
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]							
DE	A 93, RF Hof	127,400	129,350	2,8	1,6	-	-	-			08/2013 - 09/2013
		129,350	129,550	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0			
	A 93, RF Regensburg	129,350	127,400	2,8	1,6	-	-	-			
		129,550	129,350	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0			
DE	A 10, RF AD Barnim	9,000	5,000								06/2018
DE	A 5, RFB Basel	641,200	639,200	2,4	1,8				GK 22	2018	2018
		639,200	637,000	2,8	2,2						
DE	A 5, RF Basel	609,400	609,500	2,0	1,0	-	-	-	OB und UB Rundkorn GK 32	19.- 21.10.2015	30.11.- 04.12.2015
		609,500	609,585	2,0	1,0	-	-	-			
		609,585	609,670	2,0	1,0	2,4	21,0	3,0			
		609,670	609,760	2,4	1,4	-	-	-	OB GK 22, 35% gebrochen		
		609,760	609,845	2,4	1,4	-	-	-			
		609,845	609,930	2,0	1,0	2,4	21,0	3,0			
		609,930	610,020	2,0	1,0	-	-	-	OB Rundkorn GK 16		
		610,020	610,105	2,0	1,0	-	-	-			
		610,105	610,190	2,0	1,0	2,4	21,0	3,0			
610,190	610,280	2,4	1,4	-	-	-					
DE	A 14, RF Dresden	132,050	130,750	2,8	2,0	-	-	-	WB stetige Sieblinie 2/8	2017	2017
		130,750	129,450	2,4	1,8	-	-	-			
		129,450	128,155	2,8	2,2	-	-	-			
AT	A02, Wr. Neudorf	7,5	9	2,8	2,2	-	-	-	WB	2003	2018-10
AT	A10, Paternion	157,2	157,6	2,8	2,2	-	-	-	WB	1998	2017-11
AT	A05, Schrick	25,5	25,250	2,8	2,2	-	-	-	WB	2017-08	2017-11
		25,250	25	2,4	1,8	-	-	-			

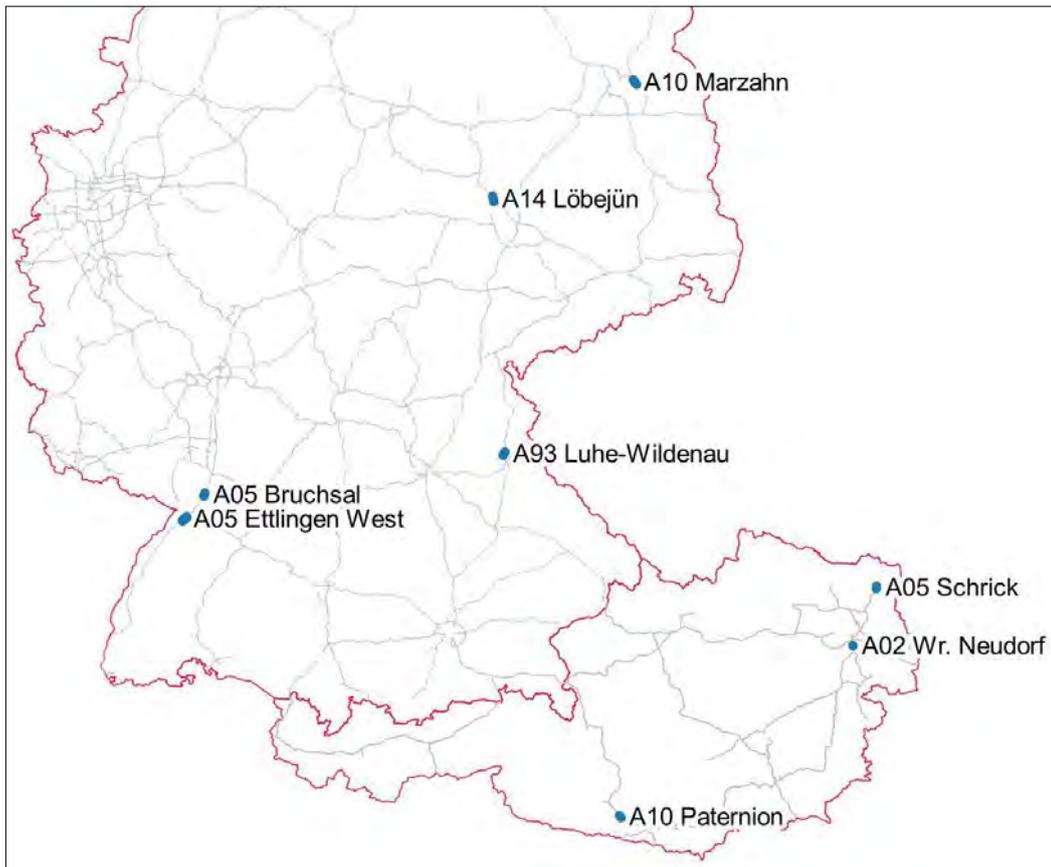


Abbildung 2: Lage der untersuchten Bestandsstrecken in Deutschland und Österreich

2.1 Erhebung Oberflächeneigenschaften

Die Messungen der Griffigkeit sowie Ebenheit seitens AIT wurden im Mai 2020 begonnen und fanden verteilt über den Sommer statt. Die Strecken in Deutschland wurden im Rahmen einer Messrunde Mitte September erhoben. Für die Erfassung der 3D-Textur bzw. des Rollgeräusches ist trockene Fahrbahn (auch bei der Überstellung des Messfahrzeuges) sowie die Einhaltung bestimmter Temperaturfenster Voraussetzung. Im Jahr 2020 kamen noch COVID-19-bedingte Restriktionen bezüglich der Einreise nach Deutschland sowie Übernachtung im Ausland hinzu, sodass die Messungen erst im Oktober 2020 abgeschlossen werden konnten. Die Abfolge der Erhebungen und Probenahmen ist in Abbildung 3 dargestellt, eine tabellarische Darstellung der genauen Daten findet sich in Tabelle 2.

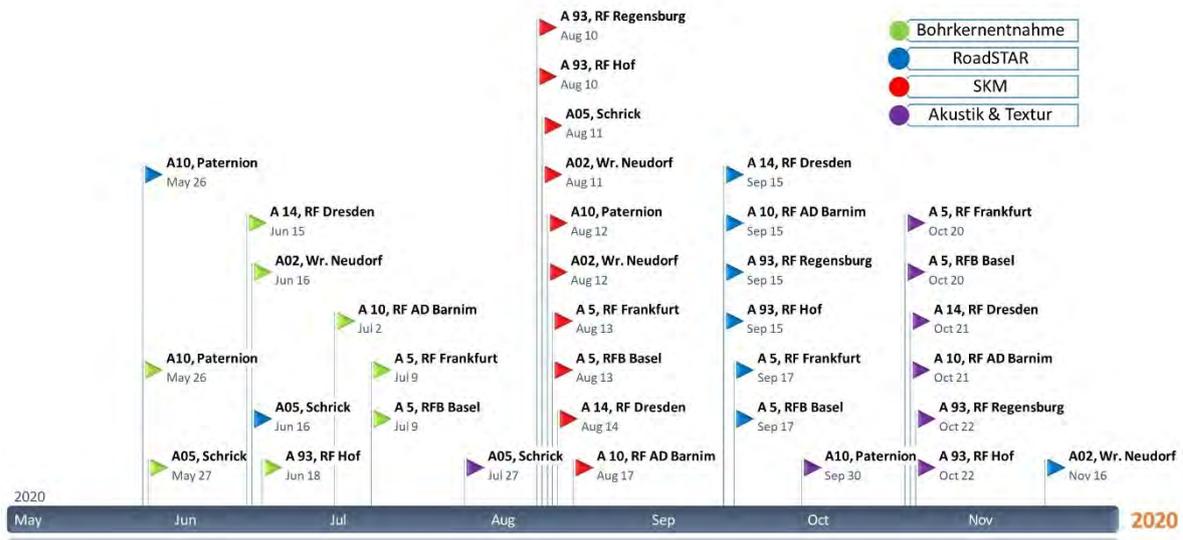


Abbildung 3: Zeitliche Abfolge der Bohrkerntnahme und messtechnischer Zustandserfassung.

Tabelle 2: Erhebungs- und Beprobungsdaten auf den Untersuchungstrecken

Land	Autobahn	von km	bis km	Textur 1		Textur 2			Beton	Baujahr	Grindingzeitpunkt	Probenentnahme	Zustandserfassung RoadSTAR	Zustandserfassung Akustik	Zustandserfassung SKM
				Segmentbreite	abstand	Segmentbreite	abstand	Rillentiefe							
				[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]							
DE	A 93, RFB Hof	127,400	129,350	2,8	1,6	-	-	-	GK 16	1986	08/2013 - 09/2013	18.06.2020 wurde nicht beprobt	15.09.2020	22.10.2020	10.08.2020
		129,350	129,550	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0							
	129,350	127,400	2,8	1,6	-	-	-								
	129,550	129,350	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0								
DE	A 10, RFB AD Barnim	9,000	5,000						GK 22	2003	06/2018	02.07.2020	15.09.2020	21.10.2020	17.08.2020
DE	A 5, RFB Basel	641,200	639,200	2,4	1,8				GK 22	2018	2018	09.07.2020	17.09.2020	20/21.10.2020	13.08.2020
639,200		637,000	2,8	2,2											
DE	A 5, RFB Frankfurt	609,400	609,500	2,0	1,0	-	-	-	OB und UB Rundkorn GK 32	19.10.- 21.10. 2015	30.11.- 04.12. 2015	09.07.2020/ 23.07.2020	17.09.2020	20/21.10.2020	13.08.2020
		609,500	609,585	2,0	1,0	-	-	-							
		609,585	609,670	2,0	1,0	2,4	21,0	3,0							
		609,670	609,760	2,4	1,4	-	-	-							
		609,760	609,845	2,4	1,4	-	-	-							
		609,845	609,930	2,0	1,0	2,4	21,0	3,0							
		609,930	610,020	2,0	1,0	-	-	-							
		610,020	610,105	2,0	1,0	-	-	-							
		610,105	610,190	2,0	1,0	2,4	21,0	3,0							
		610,190	610,280	2,4	1,4	-	-	-							
DE	A 14, RFB Dresden	132,050	130,750	2,8	2,0	-	-	-	WB stetige Sieblinie 2/8	2017	2017	15.06.2020	15.09.2020	21.10.2020	14.08.2020
		130,750	129,450	2,4	1,8	-	-	-							
		129,450	128,155	2,8	2,2	-	-	-							
AT	A02, Wr. Neudorf	6,9	9,4	2,8	2,2	-	-	-	WB	2003	2018-10	16.06.2020	18.06.2020/ 16.11.2020	12.08.2020	11.08.2020
AT	A10, Paternion	157,2	157,6	2,8	2,2	-	-	-	WB	1998	2017-11	26.05.2020	26.05.2020	30.09.2020	12.08.2020
AT	A05, Schrick	25,5	25,250	2,8	2,2	-	-	-	WB	2017-08	2017-11	27.05.2020	16.06.2020	27.07.2020	11.08.2020
		25,250	25	2,4	1,8	-	-	-	WB						

2.2 Zeitliche Entwicklung Oberflächeneigenschaften

Nachfolgend werden die Zeitreihen bzw. Messergebnisse der der bisher durchgeführten Messungen der Griffigkeit, Längsebenheit und Rollgeräusch dargestellt. Die Darstellung erfolgt gruppiert nach den Strecken.

2.2.1 A02 Wiener Neudorf, RFB Italien, km 6,9 – km7,5 und km 8,9 – km 9,4

Die Strecke A02 Wr. Neudorf besteht aus zwei Abschnitten. Abschnitt 1 reicht von km 6,9 bis km 7,0; Abschnitt 2 von km 8,9 bis km 9,4. Es liegen Messungen mit dem Messsystem RoadSTAR vor dem Grinding, unmittelbar nach dem Grinding sowie nach einer Liegedauer von ca. 2 Jahren vor.

Mit dem System SKM wurde im Rahmen des Forschungsprojektes auf beiden Teilabschnitten jeweils eine Griffigkeitsmessung durchgeführt. Dabei wurden Seitenkraftbeiwerte μ_{SKM} von 0,73 (km 6,9 – km 7,5) und 0,69 (km 8,9 – km 9,4) erreicht.

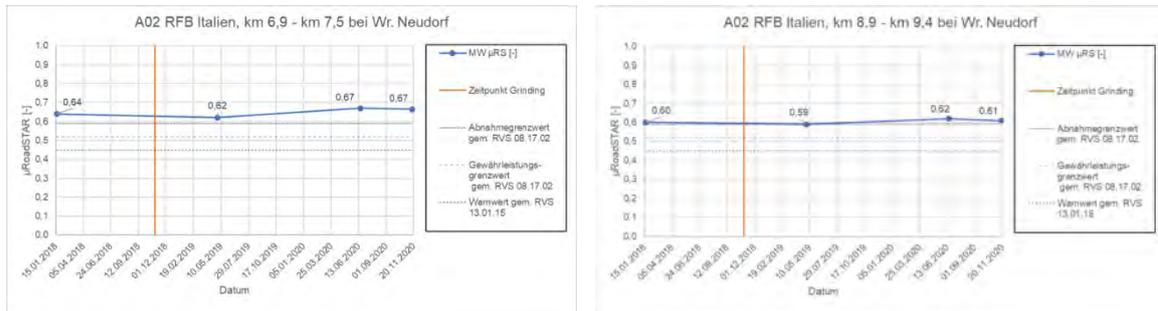


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{RoadSTAR}) auf der A02 Wr. Neudorf

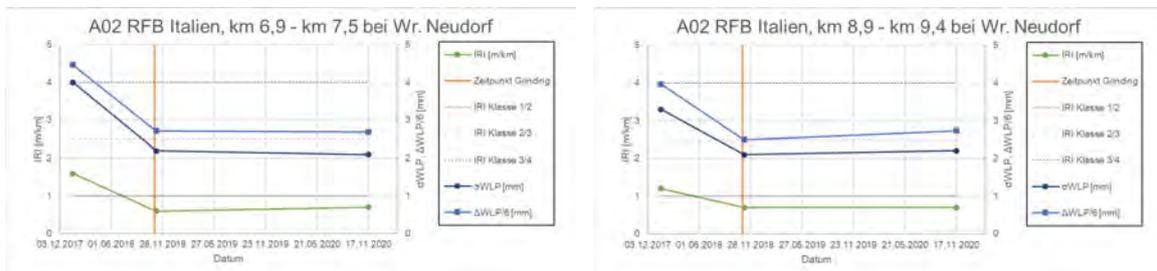


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der Längsebenheit (IRI [m/km], σ_{WLP} [mm] und Δ_{WLP} [mm]) auf der A02 Wr. Neudorf

Für die Messstelle liegen 4 (km 6,9 – km 7,5) bzw. 5 (km 8,9 – km 9,4) CPX-Messpunkte für den ersten Fahrstreifen vor. Der zeitliche Verlauf ist dazu in Abbildung 6 dargestellt. Nach einer deutlichen Verbesserung des Schallemissionspegels zu Anfangs werden mittlerweile CPX-Pegel erreicht, die nur wenig unter den Ausgangspegel liegen.

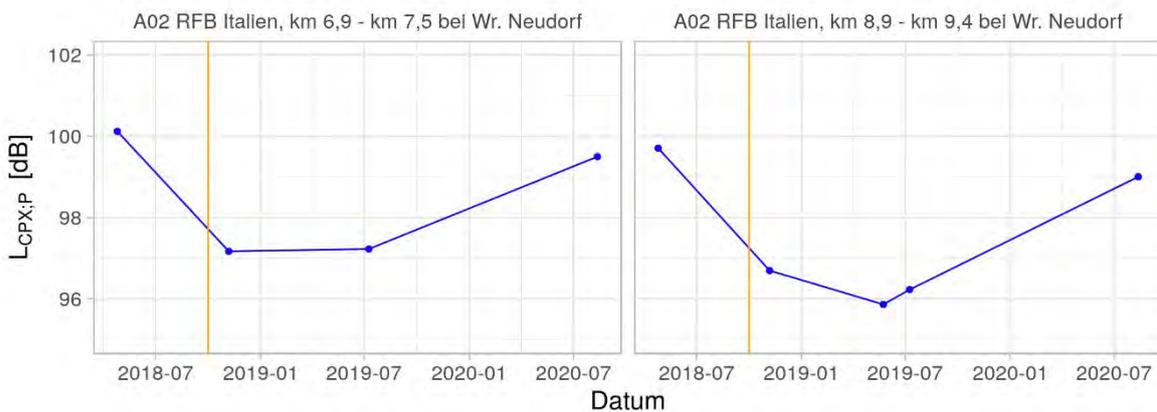


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der CPX-Pegel (P1-Reifen) auf der A02 Wr. Neudorf

2.2.2 A10 Paternion, RFB Villach, km 157,2 – km 157,6

Mit dem System SKM wurde bei der Messung ein Seitenkraftbeiwert μ_{SKM} von 0,76 erreicht. Die zeitliche Entwicklung der Griffigkeit $\mu_{RoadSTAR}$ ist in Abbildung 7 dargestellt, die zeitliche Entwicklung der Längsebenheit in Abbildung 8

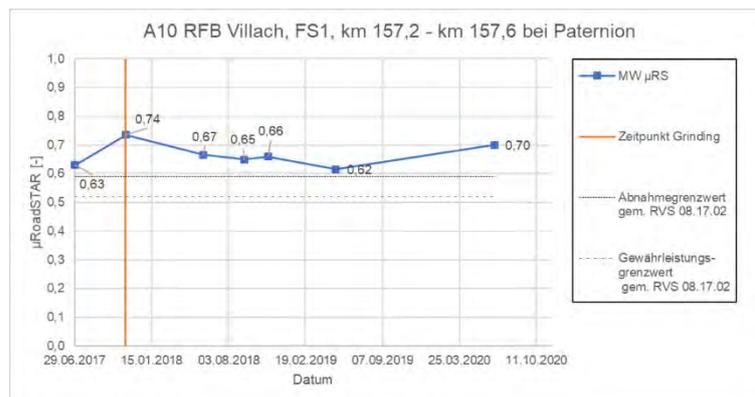


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit ($\mu_{RoadSTAR}$) auf der A10 Paternion

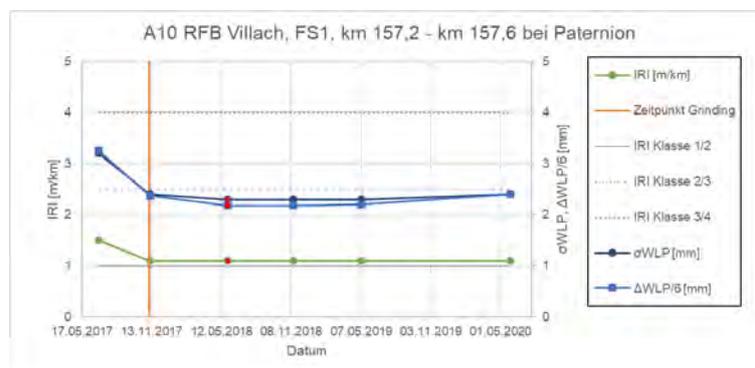


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der Längsebenheit (IRI [m/km], σ_{WLP} [mm] und Δ_{WLP} [mm]) auf der A10 Paternion

Für die Messstelle liegen 5 CPX-Messpunkte inklusive der Vorher-Messung für den ersten Fahrstreifen vor. Der zeitliche Verlauf ist dazu in Abbildung 9 dargestellt.



Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf der CPX-Pegel (P1-Reifen) auf der A10 Paternion

2.2.3 A05 Schrick (AT), RFB Wien, km 25,500 – km 25,250 und km 25,250 – km 25,000

Bei der A05 (Schrick) handelt es sich um eine neue hergestellte Waschbetondecke, die unmittelbar nach Fertigstellung auf einem 500 m langen Abschnitt mit zwei Texturen á 250 m grindet wurde. Für die Griffigkeitsmessungen wurde auch ein unveränderter Waschbetonabschnitt (grün in Abbildung 10) unmittelbar vor dem Beginn des Grindingabschnittes zu Vergleichszwecken miterhoben. Bei der Längsebenheit wurden beide Texturabschnitte in der Zeitreihendarstellung zu einem Abschnitt zusammengefasst.

Mit dem System SKM wurden Seitenkraftbeiwerte μ_{SKM} von 0,61 (km 25,500 – km 25,250) und 0,65 (km 25,250 – km 25,000) erreicht.

Die 6 Ergebnisse der CPX-Messungen, aufgeteilt auf die beiden Grinding-Geometrien, sind in Abbildung 12 dargestellt.



Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit ($\mu_{RoadSTAR}$) auf der A05 (Schrick)

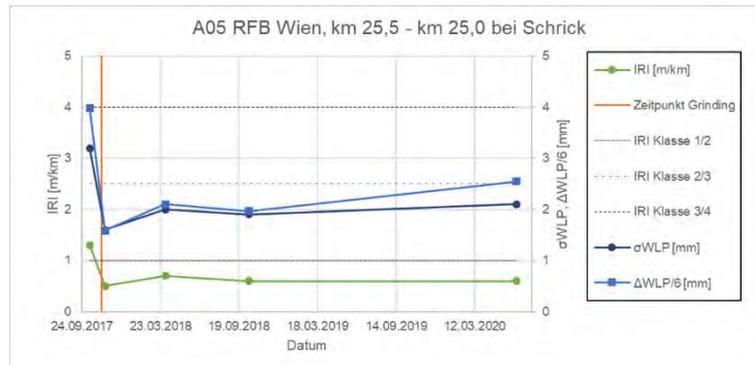


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der Längsebenheit (IRI [m/km], σ WLP [mm] und Δ WLP [mm]) auf der A5 Schrick

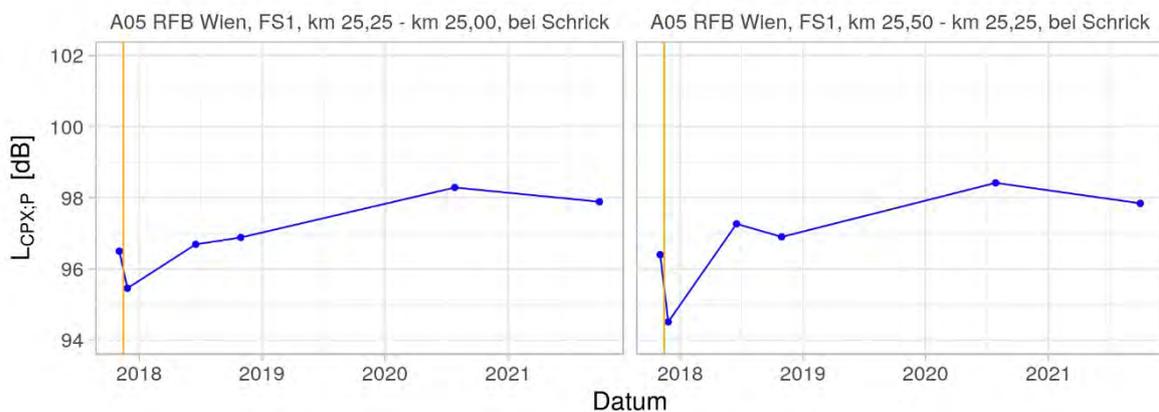


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der CPX-Pegel (P1-Reifen) auf der A5 Schrick

2.2.4 A05 Bruchsal (DE), RFB Basel, km 610,280 – km 609,400

Der Abschnitt auf der A05 bei Bruchsal besteht aus 10 sehr kurzen Abschnitten mit unterschiedlichen Texturen mit Längen von 85 bis 100 m. Bei Griffigkeit mit dem System RoadSTAR und Längsebenheit liegen jeweils zwei Messungen vor. Aufgrund der kurzen Einzelabschnitte erfolgt die Auswertung der Längsebenheit für den gesamten Abschnitt. Im Rahmen des Monitorings der deutschen Grindingabschnitte wurden mit dem System SKM zwischen 2016 und 2020 vier Griffigkeitsmessungen durchgeführt. Die Bestimmung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches mit dem CPX-Messanhänger wurde zwischen 2015 und 2020 insgesamt siebenmal durchgeführt.

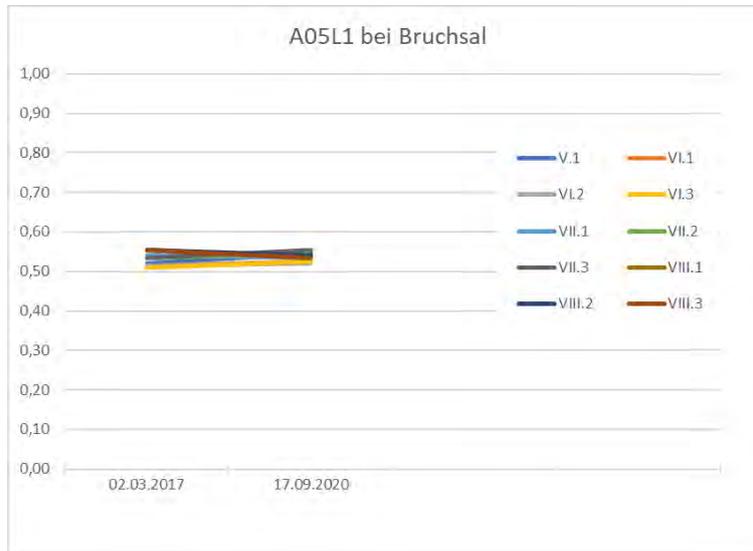


Abbildung 13: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{RoadSTAR}) auf der A05 Bruchsal

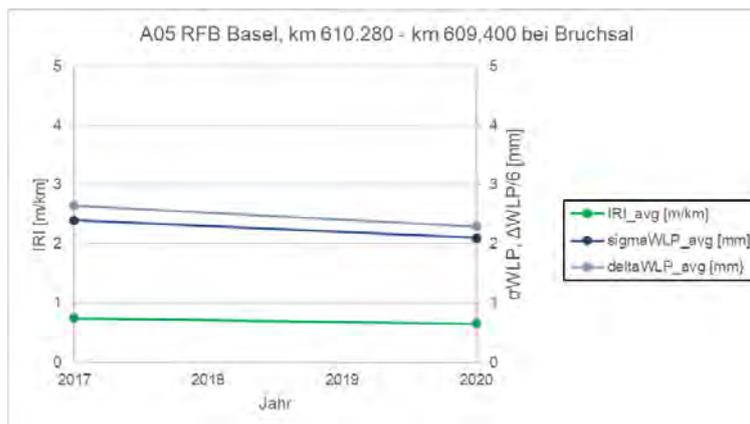


Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf der Längsebenheit (IRI [m/km], σWLP [mm] und ΔWLP [mm]) auf der A05 Bruchsal

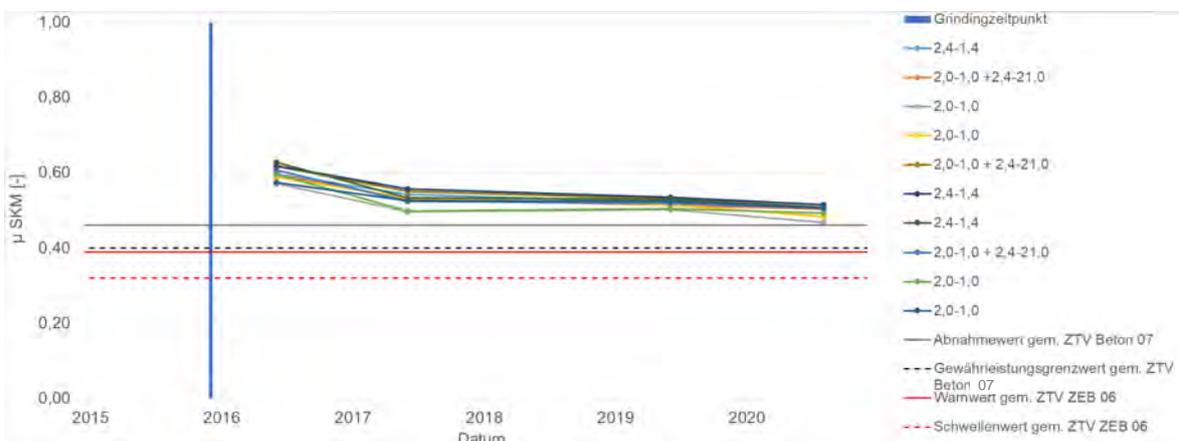


Abbildung 15: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{SKM}) auf der A05 Bruchsal

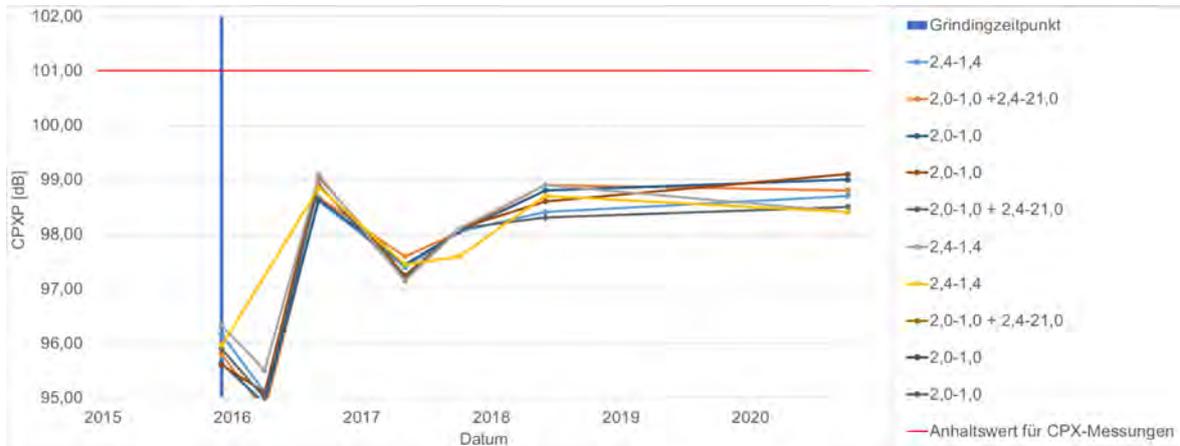


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Reifen-Fahrbahn-Geräusche (CPX) auf der A05 Bruchsal

2.2.5 A05 Ettlingen West (DE), RFB Frankfurt/m., km 641,2 – km 637,0

Auf der A05 Ettlingen West liegen mit dem Messsystem RoadSTAR nur Messungen aus dem Jahr 2020 vor. Mit dem System SKM wurden zwei Griffigkeitsmessungen durchgeführt. Mit dem CPX-Messanhänger wurden drei Messungen des Reifen-Fahrbahn-Geräusches durchgeführt.

Tabelle 3: Ergebnisse Griffigkeitsmessungen auf den Abschnitten der A05 Ettlingen West - μ_{RoadSTAR} [-]

Abschnitt	StrCode	Text	KM von	KM bis	Beton	Texturtyp	Gri_SegB [mm]	Gri_SegA [mm]	Gro_SegB [mm]	Gro_SegA [mm]	Länge [km]	μ_{RoadSTAR} [-]
1	A05R1	Grinding	637,050	638,000	WB	Typ S	2,8	2,2		-	0,950	0,60
2	A05R1	Grinding	638,000	639,700	0/22	Typ S	2,8	2,2			1,700	0,63
3	A05R1	Gri+Gro	639,750	640,000	0/22	Typ S+	2,8	2,2	2,4	18	0,250	0,59
4	A05R1	Gri+Gro	640,000	640,250	0/22	Typ S+	2,4	2,2	2,4	16	0,250	0,62
5	A05R1	Grinding	640,250	641,200	0/22	Typ S	2,4	2,2			0,950	0,64

Tabelle 4: Messergebnisse der Längsebenheit auf der A05 Ettlingen West (IRI [m/km], σ_{WLP} [mm] und Δ_{WLP} [mm])

Abschnitt	StrCode	Text	KM von	KM bis	Beton	Texturtyp	Gri_SegB [mm]	Gri_SegA [mm]	Gro_SegB [mm]	Gro_SegA [mm]	Länge [km]	IRI_avg [m/km]	$\Delta_{\text{WLP_avg}}$ [mm]	$\sigma_{\text{WLP_av}}$ g [mm]
1	A05R1	Grinding	637,050	638,000	WB	Typ S	2,8	2,2			0,950	0,80	15,9	2,5
2	A05R1	Grinding	638,000	639,700	0/22	Typ S	2,8	2,2			1,700	0,80	18,0	2,7
3	A05R1	Gri+Gro	639,750	640,000	0/22	Typ S+	2,8	2,2	2,4	18	0,250	0,70	18,9	3,1
4	A05R1	Gri+Gro	640,000	640,250	0/22	Typ S+	2,4	2,2	2,4	16	0,250	0,70	25,6	3,2
5	A05R1	Grinding	640,250	641,200	0/22	Typ S	2,4	2,2			0,950	0,95	17,4	2,7

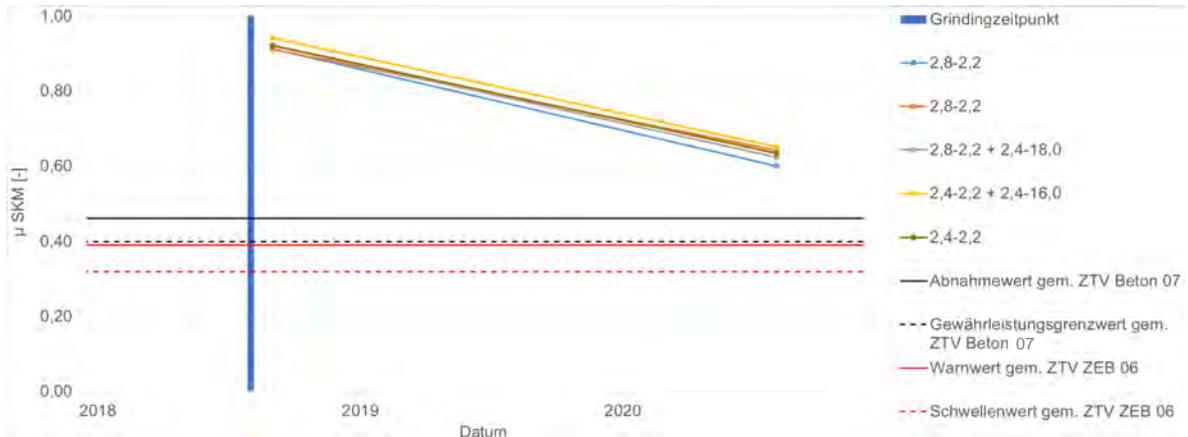


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ SKM) auf der A05 Ettligen West

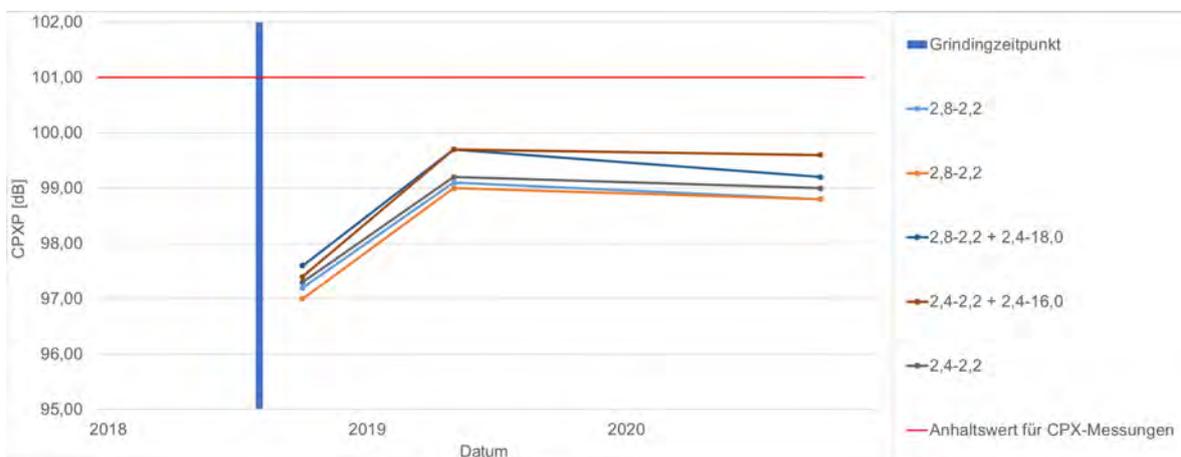


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der Reifen-Fahrbahn-Geräusche (CPX) auf der A05 Ettligen West

2.2.6 A93 Luhe-Wildenau (DE), RFB Hof und Regensburg, km 127,400 – km 129,350

Der Abschnitt A93 Luhe-Wildenau ist durch Brückenbauwerke mit Asphaltbelag unterbrochen. Im Vergleich zur Messung 2017 waren auf der Richtungsfahrbahn Nord bereits einige Betonfelder ausgetauscht worden (vgl. Abbildung 19). Mit dem System SKM wurden zwei Griffigkeitsmessungen durchgeführt. Mit dem CPX-Messanhänger wurden zwischen 2013 und 2020 insgesamt 9 Messungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche durchgeführt.



Abbildung 19: Abfolge der Belagsabschnitte und Betonfeldtausch auf der A93 Luhe-Wildenau.

Tabelle 5: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{RoadSTAR}) auf der A93 Luhe-Wildenau

Route	vonkm	biskm	Belag	Länge		Grindingtextur		Groovingtextur			2017 Gri	2020 Gri	delta_2017-2020
						Segmentbreite	Segmentabstand	Segmentbreite	Segmentabstand	Schleiftiefe	2017_MW	2020_MW	
A93L1	129,54	129,34	Grinding+Grooving	0,200	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	0,57	0,60	0,03
A93L1	129,22	128,67	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	0,54	0,55	0,01
A93L1	128,32	128,22	Grinding	0,100	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	0,60	0,61	0,01
A93L1	127,95	127,40	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	0,58	0,62	0,04

Route	vonkm	biskm	Belag	Länge		Segmentbreite	Segmentabstand	Segmentbreite	Segmentabstand	Schleiftiefe	2017 MW	2020 MW	delta
A93R1	127,40	128,30	Grinding	0,9	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	0,53	0,56	0,03
A93R1	128,67	129,22	Grinding	0,55	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	0,54	0,59	0,05
A93R1	129,336	129,536	Grinding+Grooving	0,2	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	0,65	0,65	0,00

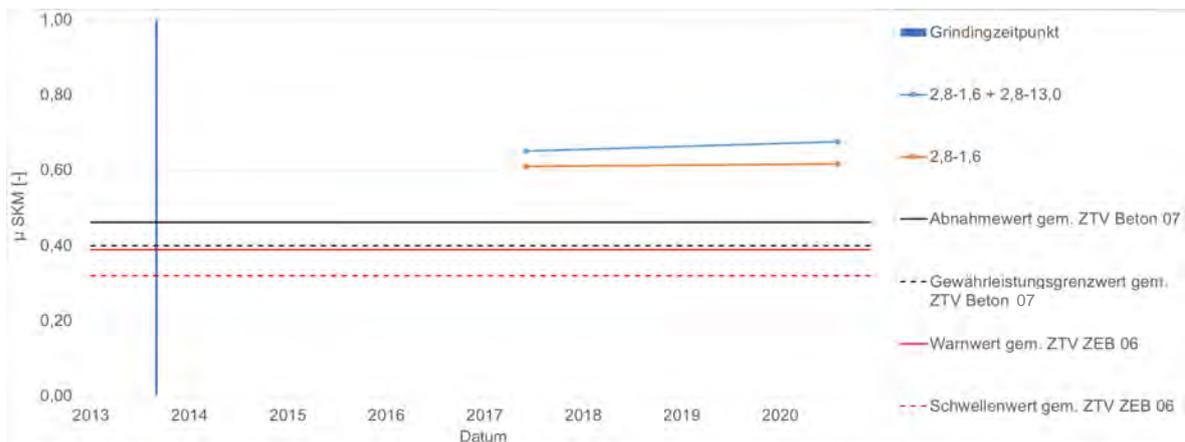


Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{SKM}) auf der A93 Luhe-Wildenau, RFB Hof

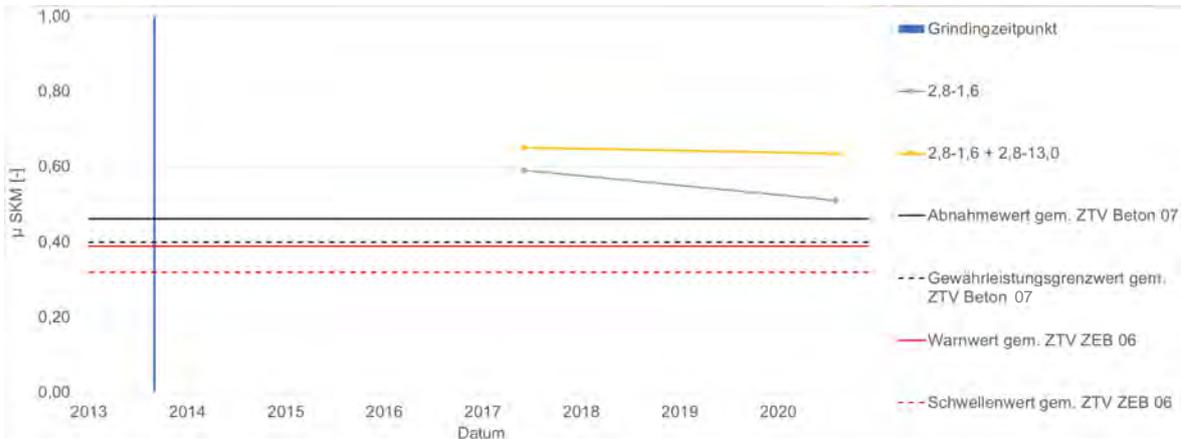


Abbildung 21: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{SKM}) auf der A93 Luhe-Wildenau, RFB Regensburg

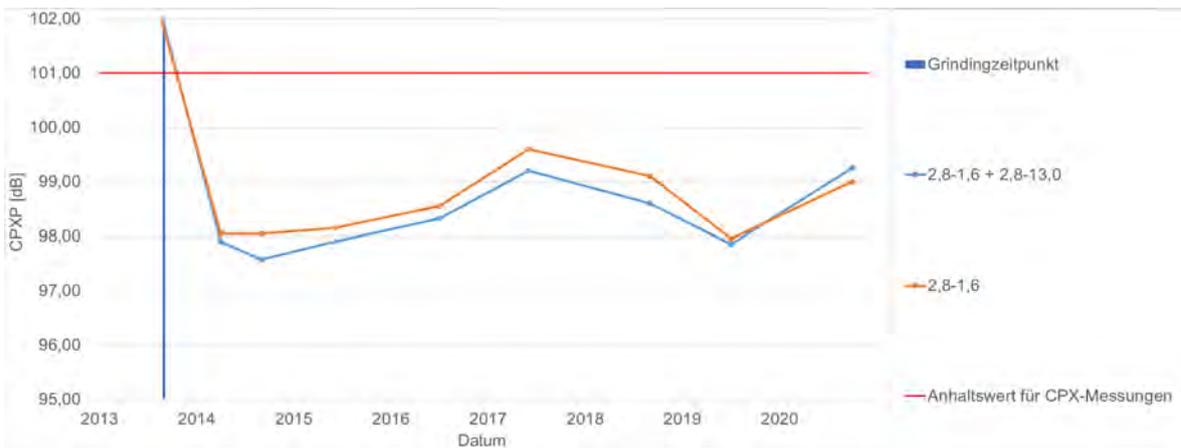


Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf der Reifen-Fahrbahn-Geräusche (CPX) auf der A93 Luhe-Wildenau, RFB Hof

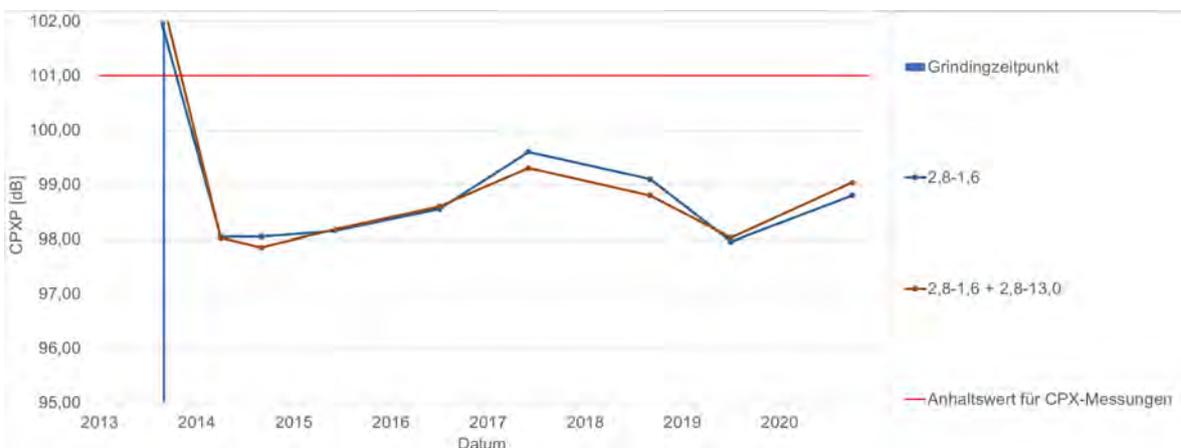


Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf der Reifen-Fahrbahn-Geräusche (CPX) auf der A93 Luhe-Wildenau, RFB Regensburg

Tabelle 6: Zeitlicher Verlauf der Längsebenheit (IRI [m/km], σ WLP [mm] und Δ WLP [mm]) auf der A93 Luhe-Wildenaue

Route	vonkm	biskm	Belag	Länge	Typ	Grindingtextur		Groovingtextur			2017_IRI		2020_IRI		delta_2017-2020
						Segmentbreite	Segmentabstand	Segmentbreite	Segmentabstand	Schleiftiefe	2017_MW	2020_MW	2017_MW	2020_MW	
A93L1	129,54	129,34	Grinding+Grooving	0,200	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	1,2	1,1	-0,1		
A93L1	129,22	128,67	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	1,6	1,5	-0,1		
A93L1	128,32	128,22	Grinding	0,100	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	1,9	1,7	-0,2		
A93L1	127,95	127,40	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	1,3	1,0	-0,3		
A93R1	127,40	128,30	Grinding	0,9	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	1,0	0,8	-0,2		
A93R1	128,67	129,22	Grinding	0,55	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	1,4	0,6	-0,8		
A93R1	129,336	129,536	Grinding+Grooving	0,2	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	1,8	0,7	-1,1		

Route	vonkm	biskm	Belag	Länge	Typ	Grindingtextur		Groovingtextur			2017_sigmaWLP		2020_sigmaWLP		delta_2017-2020
						Segmentbreite	Segmentabstand	Segmentbreite	Segmentabstand	Schleiftiefe	2017_MW	2020_MW	2017_MW	2020_MW	
A93L1	129,54	129,34	Grinding+Grooving	0,200	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	2,9	2,7	-0,1		
A93L1	129,22	128,67	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	4,0	4,0	0,0		
A93L1	128,32	128,22	Grinding	0,100	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	3,4	2,9	-0,5		
A93L1	127,95	127,40	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	3,0	2,8	-0,3		
A93R1	127,40	128,30	Grinding	0,9	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	3,0	2,6	-0,4		
A93R1	128,67	129,22	Grinding	0,55	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	3,6	3,3	-0,3		
A93R1	129,336	129,536	Grinding+Grooving	0,2	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	3,4	3,0	-0,4		

Route	vonkm	biskm	Belag	Länge	Typ	Grindingtextur		Groovingtextur			2017_deltaWLP		2020_deltaWLP		delta_2017-2020
						Segmentbreite	Segmentabstand	Segmentbreite	Segmentabstand	Schleiftiefe	2017_MW	2020_MW	2017_MW	2020_MW	
A93L1	129,54	129,34	Grinding+Grooving	0,200	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	18,7	20,6	1,9		
A93L1	129,22	128,67	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	27,6	29,7	2,1		
A93L1	128,32	128,22	Grinding	0,100	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	19,6	23,2	3,6		
A93L1	127,95	127,40	Grinding	0,550	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	18,6	18,4	-0,3		
A93R1	127,40	128,30	Grinding	0,9	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	17,8	16,5	-1,3		
A93R1	128,67	129,22	Grinding	0,55	Typ S	2,8	1,6	-	-	-	21,7	19,9	-1,8		
A93R1	129,336	129,536	Grinding+Grooving	0,2	Typ S+	2,8	1,6	2,8	13,0	3,0	21,2	18,6	-2,6		

2.2.7 A10 Marzahn (DE), RFB AD Barnim, km 9,0 – km 5,0

Auf der A10 Marzahn (DE) liegen Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR sowie Ebenheitsmessungen nur aus dem Jahr 2020 vor.

Tabelle 7: Ergebnisse Griffigkeitsmessungen auf den Abschnitten der A10 Marzahn - μ RoadSTAR [-]

StrCode	Text	StrKM_vor	StrKM_bis	Texturtyp	Gri_SegB	Gri_SegA	Gro_SegB	Gro_SegA	Gro_Tiefe	Laenge [km]	μ RoadSTAR [-]
A10L1	Grinding	9,550	8,700	Typ S	2,4	1,8	-	-	-	0,85	0,65
A10L1	Gri_Gro	8,700	8,550	Typ S+	2,4	1,8	2,4	10	-	0,15	0,66
A10L1	Gri_Gro	8,550	8,400	Typ S+	2,4	1,8	2,4	15	-	0,15	0,64
A10L1	Gri_Gro	8,400	8,250	Typ S+	2,4	1,8	2,4	20	-	0,15	0,65
A10L1	Grinding	6,500	5,750	Typ S	2,8	2,2	-	-	-	0,75	0,65
A10L1	Gri_Gro	5,750	5,500	Typ S+	2,8	2,2	2,4	10	3	0,25	0,62
A10L1	Grooving	5,500	5,250	Typ 0+	-	-	2,4	10	3	0,25	0,68

Im Rahmen des Monitorings der deutschen Grindingabschnitte wurden fünf Griffigkeitsmessungen durchgeführt. Die Bestimmung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches mit dem CPX-Messanhänger wurde viermal durchgeführt.

Tabelle 8: Ergebnisse der Ebenheitsmessungen auf den Abschnitten der A10 Marzahn – IRI [m/km, Δ_{WLP} [mm], σ_{WLP} [mm]]

StrCode	Text	StrKM_vor	StrKM_bis	Texturtyp	Gri_SegB	Gri_SegA	Gro_SegB	Gro_SegA	Gro_Tiefe	Laenge [km]	50mA	IRI [m/km]
A10L1	Grinding	9,550	8,700	Typ S	2,4	1,8	-	-	-	0,85	17	0,7
A10L1	Gri_Gro	8,700	8,550	Typ S+	2,4	1,8	2,4	10	-	0,15	3	0,6
A10L1	Gri_Gro	8,550	8,400	Typ S+	2,4	1,8	2,4	15	-	0,15	3	0,6
A10L1	Gri_Gro	8,400	8,250	Typ S+	2,4	1,8	2,4	20	-	0,15	3	0,8
A10L1	Grinding	6,500	5,750	Typ S	2,8	2,2	-	-	-	0,75	15	0,6
A10L1	Gri_Gro	5,750	5,500	Typ S+	2,8	2,2	2,4	10	3	0,25	5	0,6
A10L1	Grooving	5,500	5,250	Typ 0+	-	-	2,4	10	3	0,25	5	1,1

StrCode	Text	StrKM_vor	StrKM_bis	Texturtyp	Gri_SegB	Gri_SegA	Gro_SegB	Gro_SegA	Gro_Tiefe	Laenge [km]	50mA	σ_{WLP} [mm]
A10L1	Grinding	9,550	8,700	Typ S	2,4	1,8	-	-	-	0,85	17	3,0
A10L1	Gri_Gro	8,700	8,550	Typ S+	2,4	1,8	2,4	10	-	0,15	3	3,3
A10L1	Gri_Gro	8,550	8,400	Typ S+	2,4	1,8	2,4	15	-	0,15	3	2,7
A10L1	Gri_Gro	8,400	8,250	Typ S+	2,4	1,8	2,4	20	-	0,15	3	2,7
A10L1	Grinding	6,500	5,750	Typ S	2,8	2,2	-	-	-	0,75	15	3,0
A10L1	Gri_Gro	5,750	5,500	Typ S+	2,8	2,2	2,4	10	3	0,25	5	3,4
A10L1	Grooving	5,500	5,250	Typ 0+	-	-	2,4	10	3	0,25	5	3,6

StrCode	Text	StrKM_vor	StrKM_bis	Texturtyp	Gri_SegB	Gri_SegA	Gro_SegB	Gro_SegA	Gro_Tiefe	Laenge [km]	50mA	Δ_{WLP} [mm]
A10L1	Grinding	9,550	8,700	Typ S	2,4	1,8	-	-	-	0,85	17	25,9
A10L1	Gri_Gro	8,700	8,550	Typ S+	2,4	1,8	2,4	10	-	0,15	3	23,7
A10L1	Gri_Gro	8,550	8,400	Typ S+	2,4	1,8	2,4	15	-	0,15	3	21,8
A10L1	Gri_Gro	8,400	8,250	Typ S+	2,4	1,8	2,4	20	-	0,15	3	24,3
A10L1	Grinding	6,500	5,750	Typ S	2,8	2,2	-	-	-	0,75	15	24,2
A10L1	Gri_Gro	5,750	5,500	Typ S+	2,8	2,2	2,4	10	3	0,25	5	23,9
A10L1	Grooving	5,500	5,250	Typ 0+	-	-	2,4	10	3	0,25	5	11,4

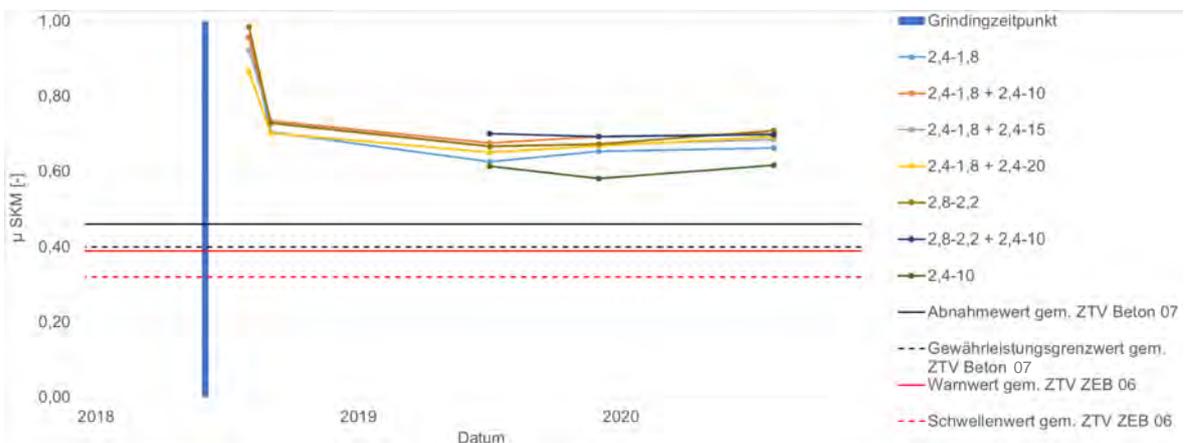


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{SKM}) auf der A10 Marzahn

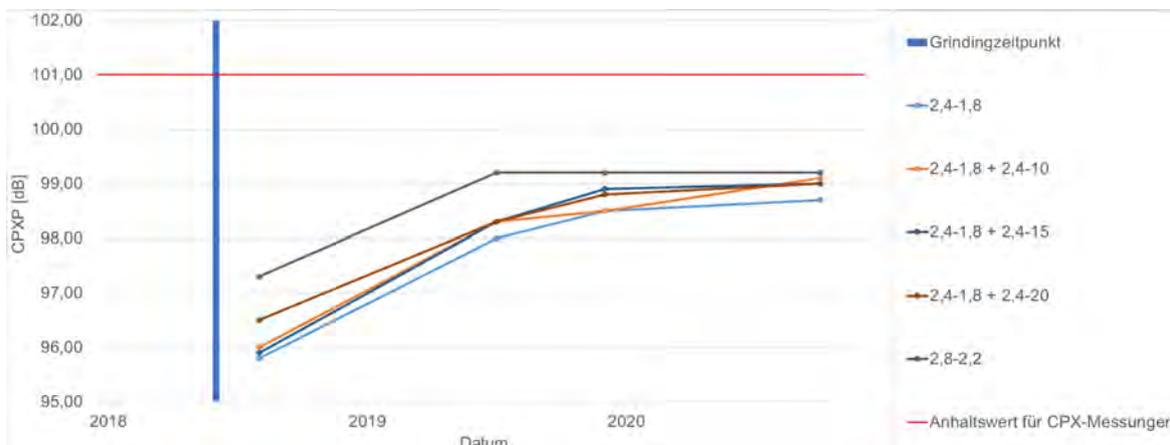


Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Reifen-Fahrbahn-Geräusche (CPX) auf der A10 Marzahn

Tabelle 9: Messergebnisse der Längsebenheit auf den Abschnitten der A10 Marzahn (IRI [m/km], σ WLP [mm] und Δ WLP [mm])

StrCode	Text	StrKM_von	StrKM_bis	Texturtyp	Gri_SegB	Gri_SegA	Gro_SegB	Gro_SegA	Gro_Tiefe	Laenge [km]	50mA	IRI [m/km]
A10L1	Grinding	9,550	8,700	Typ S	2,4	1,8	-	-	-	0,85	17	0,7
A10L1	Gri_Gro	8,700	8,550	Typ S+	2,4	1,8	2,4	10	-	0,15	3	0,6
A10L1	Gri_Gro	8,550	8,400	Typ S+	2,4	1,8	2,4	15	-	0,15	3	0,6
A10L1	Gri_Gro	8,400	8,250	Typ S+	2,4	1,8	2,4	20	-	0,15	3	0,8
A10L1	Grinding	6,500	5,750	Typ S	2,8	2,2	-	-	-	0,75	15	0,6
A10L1	Gri_Gro	5,750	5,500	Typ S+	2,8	2,2	2,4	10	3	0,25	5	0,6
A10L1	Grooving	5,500	5,250	Typ 0+	-	-	2,4	10	3	0,25	5	1,1

StrCode	Text	StrKM_von	StrKM_bis	Texturtyp	Gri_SegB	Gri_SegA	Gro_SegB	Gro_SegA	Gro_Tiefe	Laenge [km]	50mA	σ WLP [mm]
A10L1	Grinding	9,550	8,700	Typ S	2,4	1,8	-	-	-	0,85	17	3,0
A10L1	Gri_Gro	8,700	8,550	Typ S+	2,4	1,8	2,4	10	-	0,15	3	3,3
A10L1	Gri_Gro	8,550	8,400	Typ S+	2,4	1,8	2,4	15	-	0,15	3	2,7
A10L1	Gri_Gro	8,400	8,250	Typ S+	2,4	1,8	2,4	20	-	0,15	3	2,7
A10L1	Grinding	6,500	5,750	Typ S	2,8	2,2	-	-	-	0,75	15	3,0
A10L1	Gri_Gro	5,750	5,500	Typ S+	2,8	2,2	2,4	10	3	0,25	5	3,4
A10L1	Grooving	5,500	5,250	Typ 0+	-	-	2,4	10	3	0,25	5	3,6

StrCode	Text	StrKM_von	StrKM_bis	Texturtyp	Gri_SegB	Gri_SegA	Gro_SegB	Gro_SegA	Gro_Tiefe	Laenge [km]	50mA	Δ WLP [mm]
A10L1	Grinding	9,550	8,700	Typ S	2,4	1,8	-	-	-	0,85	17	25,9
A10L1	Gri_Gro	8,700	8,550	Typ S+	2,4	1,8	2,4	10	-	0,15	3	23,7
A10L1	Gri_Gro	8,550	8,400	Typ S+	2,4	1,8	2,4	15	-	0,15	3	21,8
A10L1	Gri_Gro	8,400	8,250	Typ S+	2,4	1,8	2,4	20	-	0,15	3	24,3
A10L1	Grinding	6,500	5,750	Typ S	2,8	2,2	-	-	-	0,75	15	24,2
A10L1	Gri_Gro	5,750	5,500	Typ S+	2,8	2,2	2,4	10	3	0,25	5	23,9
A10L1	Grooving	5,500	5,250	Typ 0+	-	-	2,4	10	3	0,25	5	11,4

2.2.8 A14 Löbejün (DE), RFB Dresden, km 132,050 – km 128,155

Auf der A14 Löbejün (DE) liegen Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR sowie Ebenheitsmessungen nur aus dem Jahr 2020 vor. Mit dem System SKM wurden drei Griffigkeitsmessungen durchgeführt. Mit dem CPX-Messanhänger wurden vier Messungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche durchgeführt.

Tabelle 10: Ergebnisse Griffigkeitsmessungen auf den Abschnitten der A14 Löbejün - μ_{RoadSTAR} [-]

StrCode	Text	StrKM_von	StrKM_bis	Typ	Gri_SegB	Gri_SegA	Länge [km]	μ_{RoadSTAR} [-]
A14L1	Grinding	131,850	130,750	Typ S	2,8	2,0	1,100	0,66
A14L1	Grinding	130,750	129,450	Typ S	2,4	1,8	1,300	0,69
A14L1	Grinding	129,450	129,050	Typ S	2,8	2,2	0,400	0,68
A14L1	Grinding	128,905	128,155	Typ S	2,8	2,2	0,750	0,70

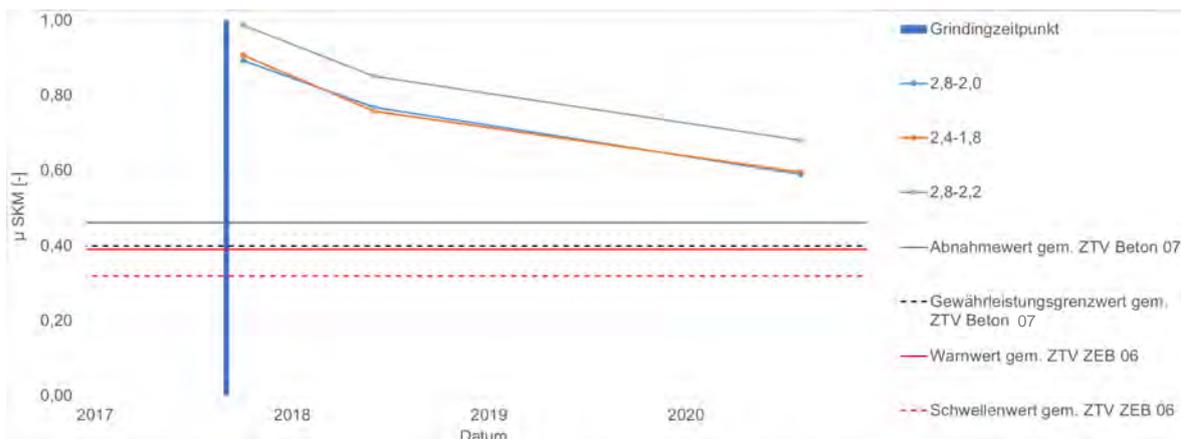


Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{SKM}) auf der A14 Löbejün

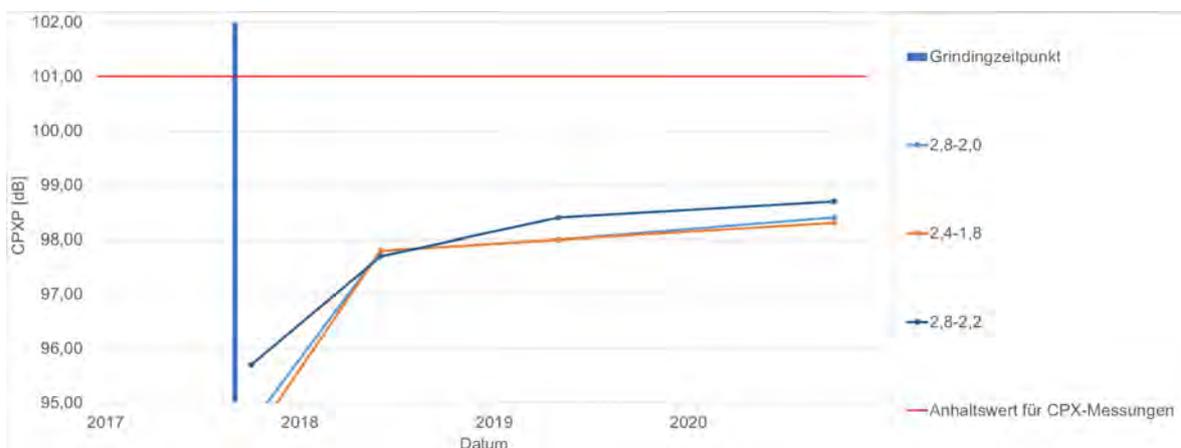


Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Reifen-Fahrbahn-Geräusche (CPX) auf der A14 Löbejün

Tabelle 11: Messergebnisse der Längsebenheit (IRI [m/km], σ_{WLP} [mm] und Δ_{WLP} [mm])

StrCode	Text	StrKM_von	StrKM_bis	Typ	Gri_SegB	Gri_SegA	Länge [km]	deltaWLP [mm]	sigmaWLP [mm]	IRI [mm]
A14L1	Grinding	131,850	130,750	Typ S	2,8	2,0	1,100	18,15	2,10	0,50
A14L1	Grinding	130,750	129,450	Typ S	2,4	1,8	1,300	15,25	1,90	0,50
A14L1	Grinding	129,450	129,050	Typ S	2,8	2,2	0,400	18,55	2,10	0,50
A14L1	Grinding	128,905	128,155	Typ S	2,8	2,2	0,750	17,45	2,20	0,50

2.3 Erhebung bautechnischer Daten und Rückstellproben

Für die Recherche der verbauten Rezepturen der Betonfahrbahndecken, mussten vorab die Erst- bzw. Eignungsprüfungen der fünf vorher festgelegten deutschen Autobahnabschnitte beschafft werden. Bis auf den 1986 erbauten Abschnitt der A93, bei der jedoch die Eignungsprüfung des direkten Nachbarabschnittes herangezogen wurde, konnte diese Recherche erfolgreich durchgeführt werden.

Bei der anschließenden Materialbeschaffung wurde eine Probelieferung des in der A10 verbauten Edelsplitts von der Lieferfirma formal abgelehnt. Aufgrund der weit zurückliegenden Bauzeit der A93 bzw. des Nachbarabschnittes sind viele der genutzten Sand- bzw. Kiesgruben bereits geschlossen, so dass der verbaute Sand bzw. Kies nicht mehr beschafft werden konnte. Es konnte jedoch ein Naabkies einer angrenzenden Grube zu Vergleichszwecken und der verbaute Splitt des Nachbarabschnittes besorgt werden. Ansonsten wurden alle Sande und Gesteinskörnungen direkt vom Werk oder als Rückstellprobe von der BASt bezogen. In der folgenden Tabelle 12 sind die Lieferwerke der beschafften Materialien zusammengefasst.

Tabelle 12: Beschaffte Materialien der jeweiligen Autobahnabschnitte

Strecken-Code	Autobahn	Lieferwerk Sand	Lieferwerk grobe Gesteinskörnung	Material gGK
1	A 93 (D)	Schwarzenfeld	Schwarzenfeld Nittenau	Kies Granit
2	A 10 (D)	Ruhlsdorf	Mühlberg	Kies
3	A 5 RF Basel (D)	Malsch	Ottenhöfen	Ryolith
4	A 5 RF FFM (D)	Langenbrücken	Langenbrücken	Kies
5	A 14 (D)	Löberitz	Löbejün	Ryolith

Alle Materialien wurden nach der Beschaffung zum Projektpartner TPA nach Trumau für weitergehende Untersuchungen versendet.

Die Erhebung bautechnischer Daten für die österreichischen Strecken wurde seitens der ASFINAG durchgeführt. Rückstellproben der Gesteinskörnungen lagen keine vor, später entnommene Proben der betreffenden Werke wurden der TPA übergeben. Die Reibwerte der entsprechenden groben Gesteinskörnungen (PSV-Werte) wurden aus Eigenmessungen der TPA bzw. aus den österreichischen Güteschutzlisten der Jahre des Einbaues bzw. aus den Leistungserklärungen abgeleitet. Diese PSV-Werte aus Leistungserklärungen stellen gewährleistete Mindestwerte dar und müssen nicht mit den Reibwerten der tatsächlich eingebauten Körnungen übereinstimmen. Hinsichtlich der Betonqualitäten wurden keine Informationen übermittelt.

2.4 Beprobung Bestandsstrecken

Zur Beprobung der deutschen Untersuchungsstrecken wurden jeweils 3 Bohrkern mit einem Durchmesser von 225 mm aus 3 nacheinander folgenden Platten der rechten Radspur des ersten Fahrstreifens und des Seitenstreifens entnommen. Eine Ausnahme bildete die A 93, bei der der Seitenstreifen nicht texturiert war, so dass die Bohrkern aus der Mitte des ersten Fahrstreifens entnommen werden mussten. Weiterhin wurden jeweils 5 Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm pro Platte des Seitenstreifens für die Bestimmung der Spaltzugfestigkeit bzw. Rohdichte entnommen (siehe Abbildung 28 links). Nach Entnahme der Proben wurden die Bohrlöcher, wie in der Abbildung 28 (rechts) zu sehen, mit einem Spezialmörtel wieder verschlossen. In Tabelle 13 sind die beprobten Autobahnabschnitte inklusive der Plattennummern dargestellt. Die Bohrkern mit dem Durchmesser 225 mm wurden zum Projektpartner TPA zur Charakterisierung der texturierten Oberfläche verschickt.



Abbildung 28: Exemplarische Bohrkernentnahme auf der BAB 14 (links) und Exemplarischer Bohrkernverschluss auf der BAB 5 RF Basel (rechts).

Tabelle 13: Beprobte Autobahnabschnitte mit Kilometrierung und Plattennummern

Strecken-Code	Autobahn	km von - bis	Plattennummer
1	A 93 (D)	128,975 – 128,985	-
2	A 10 (D)	8,995 – 9,005	1687 - 1689
3	A 5 RF Basel (D)	639,965 – 639,975	1793 - 1795
4	A 5 RF FFM (D)	610,060 – 610,070	043 -045
5	A 14 (D)	129,970 – 129,980	330 -332

Die Organisation der Bohrkernentnahme auf den österreichischen Untersuchungsstrecken erfolgte durch bzw. mit der ASFINAG, welche auch die Baustellenabsicherung und anschließende Verkehrsfreigabe übernahm. Die Bohrkernentnahmen und Bohrlochverschlüsse wurden von der TPA durchgeführt.

Auf den Bestandsstrecken wurden zumindest 6 Bohrkern D 225 mm gezogen (3 Bohrkern aus der rechten Radspur des 1. Fahrstreifens, 3 Bohrkern aus dem Pannestreifen). Dazu wurden innerhalb augenscheinlich möglichst homogener Streckenabschnitte hintereinander situierte Betonfelder ausgewählt. Aus jedem Betonfeld wurde ein Bohrkern D 225 mm gezogen, die Fahrtrichtung wurde am Bohrkern markiert.

Ergänzend wurden je Streckenabschnitt insgesamt 15 Bohrkern D 100 mm gezogen (je 5 Bohrkern aus jenen Betonfeldern, aus denen auch ein Bohrkern D 225 mm entnommen wurde). Zur Gewährleistung einer raschen Verkehrsfreigabe erfolgte der Bohrlochverschluss unmittelbar nach der Bohrkernentnahme. Außerdem wurde ein spezieller Blitzzement verwendet, der innerhalb kurzer Zeit ein Wiederbefahren ermöglichte.

3 ANALYSE UND MODELLIERUNG TEXTUR VS. PERFORMANCE

3.1 Laboranalysen

3.1.1 Spaltzugfestigkeit und Abwitterung durch Frost-Tausalz-Wechsel

Nachdem von allen Bohrkernen (\varnothing 100 mm) der deutschen und österreichischen Autobahnen die Längen und Schichtdicken bestimmt worden sind, wurden Prüfkörper aus der oberen und unteren Randfaser zur Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05 und der Festbetonrohddichte hergestellt und diese ermittelt.

Weiterhin wurde jeweils ein 225er Bohrkern pro Autobahn einem CDF-Test (in Anlehnung an die DIN CEN/TS 12390-9 mit 56 Frost-Tau-Wechseln) unterzogen. Die Ergebnisse der sind in folgender Tabelle 14 dargestellt.

Anschließend an die Untersuchungen wurden die bewitterten Bohrkern (225 cm), die Abwitterungen selbst sowie die untersuchten Prüfkörper der Spaltzugfestigkeit zur weiteren Bearbeitung bzw. Charakterisierung durch die TPA nach Österreich versendet.

Tabelle 14: Charakteristische Spaltzugfestigkeiten in der unteren bzw. oberen Randfaser, mittlere Rohdichte des Oberbetons sowie die Abwitterung nach 56 Frost-Tau-Wechseln

Strecken-Code	Autobahn	$f_{ctk, sp}$ OB [N/mm ²]	$f_{ctk, sp}$ UB [N/mm ²]	Rohdichte OB [kg/m ³]	Abwitterung 56 FTW [g/m ²]
1	A 93 (D)	4,39	4,38	2350	26
2	A 10 (D)	4,39	4,54	2320	84
3	A 5 RF Basel (D)	3,47	3,82	2260	206
4	A 5 RF FFM (D)	4,91	5,13	2290	34
5	A 14 (D)	4,63	4,83	2260	61
6	A 02 (Ö)	4,30	-	2310	32
7	A 10 (Ö)	5,19	-	2440	236
8	A 05 (Ö)	4,31	-	2240	39

3.1.2 Mineralogie und einfache Petrographie

Von der Fa. ABE wurden der TPA Trumau die Gesteinskörnungen der deutschen Strecken übermittelt, die österreichischen Materialien wurden von der TPA unter Mithilfe der ASFI-NAG organisiert.

An sämtlichen (deutschen und österreichischen) Gesteinskörnungen wurden an den Sandfraktionen und an zumindest einer (repräsentativen) Fraktion der groben Gesteinskörnungen mineralogische Untersuchungen mittels Röntgendiffraktion (x-ray diffraction, XRD) (Fa. Malvern Panalytical) durchgeführt.

Ergänzend wurden an zumindest einer (repräsentativen) Fraktion der vorliegenden groben Gesteinskörnungen einfache petrographische Untersuchungen vorgenommen. Darüber hinaus wurden Bruchstücke von Bohrkernen nach den Festigkeitsuntersuchungen der Fa. ABE ebenfalls mineralogisch analysiert sowie Dünnschliffuntersuchungen unterzogen.

Die Ergebnisse sind im Anhang dargestellt und bestätigten, dass die analysierten Gesteinskörnungen tatsächlich sowohl den erhobenen Daten als auch den Körnungen in den Bohrkernen entsprechen (einzige Ausnahmen waren Bohrkern der Strecke 2, in denen eindeutig karbonatische Fossilien erkennbar waren, welche sich aber in den gelieferten Körnungen nicht wiederfanden). Gleichzeitig waren die Resultate wesentliche Grundlage für das Verständnis und die Interpretation der nachfolgenden mikromorphologischen Untersuchungen im REM (vgl. Kap. 3.1.5).

Die Dünnschliffe und ihre Beschreibungen sind ebenfalls im Anhang angeführt. Exemplarisch wurden auch quer zur Grindingrichtung Dünnschliffe angefertigt, um gegebenenfalls Informationen zum Ausbruchverhalten der groben Gesteinskörnung zu erhalten.

3.1.3 Texturanalysen im Labor

Zur textuellen Charakterisierung und gegebenenfalls auch zur Erfassung der Veränderung im Zuge der PWS-Poliersimulation wurden mittels MicroCAD-Geräts (Fa. GFM) die Texturen der Bohrkern D 225 mm in einer Auflösung von 200 μm lateral und 20 μm vertikal erfasst. Durch entsprechende Auswertungen konnten die mittleren vorliegenden Steggeometrien sowie Rauheitsparameter ermittelt werden.

Zur Erfassung und Vergleichbarkeit der Texturen ist es von großer Bedeutung die gleichen Einstellungen zu verwenden, die eine Software zur Berechnung der mittleren Rautiefe (R_z) heranzieht. Die Rautiefe R_z ist eine Senkrechtkenngröße, sie wird über Einzelmessstrecken bestimmt. R_z ist somit die senkrechte gemessene Differenz zwischen der höchsten Profilspitze und dem tiefsten Profiltal innerhalb einer (in Abhängigkeit von den Steggeometrien zu definierenden) Einzelmessstrecke.

Die Gesamtmessstrecke wurde in so viele Einzelmessstrecken unterteilt, dass etwa bei Messungen quer zu den Stegen in einer Einzelmessstrecke zumindest 1 Steg und 1 Rille zu liegen kamen, um den maximalen Höhenunterschied Steg/Rille sicher zu erfassen. Die gemittelte Rautiefe R_z wird dann als Mittelwert über die Einzelmessstrecken angegeben.

R_z -Werte an originalen Bohrkernen der Pannenstreifen wurden sowohl quer zur Grinding-Richtung erfasst (exemplarisch Abbildung 29), als auch entlang der Stege (Abbildung 30). Diese R_z -Werte wurden schließlich auch nach der Poliersimulation mittels PWS (vgl. Kap.3.1.4.2.3) an denselben Stellen aufgenommen, um Veränderungen zu beobachten und letztlich mit Griffigkeitsverlusten oder visuellen Beobachtungen (REM) zu vergleichen.

Die Bestimmung der Steghöhen (bzw. Rillentiefen) sowie der mittleren Rautiefen der Stege wurden an allen Bohrkernen im Bereich der SRT-Pendelung (schmaler Gleitkörper) in der PWS-Polierspur (im Zuge der Poliersimulation) sowohl im Originalzustand als auch nach abgestuften Polierstufen bis insgesamt 270.000 Überrollungen durch die PWS-Anlage durchgeführt. Dadurch konnten die ungefähren mittleren Abtragsraten nach Polierung ermittelt werden. Diese Daten sowie sonstige potenziell relevante Geometrien sind in Tabelle 15 angeführt.

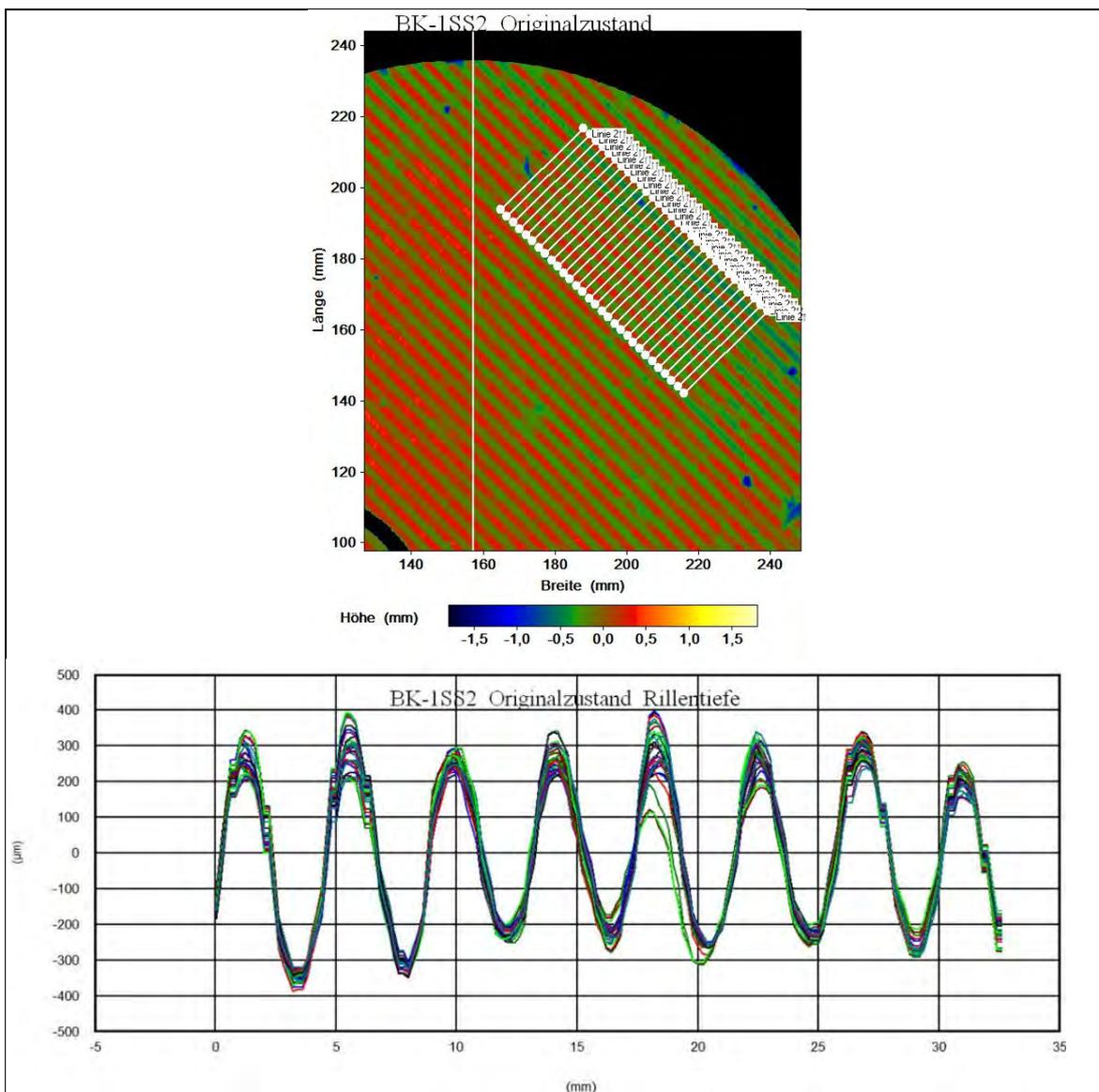


Abbildung 29: Bestimmung der Steghöhen (bzw. Rillentiefen) am BK-1SS2 im Bereich der SRT-Pendelung (schmaler Gleitkörper) in der PWS-Polierspur im Zuge der Poliersimulation.
Oben: Position der Messlinien quer zu den Stegen innerhalb der SRT-Prüffläche. Unten: überhöhte Profilbilder der Messlinien.

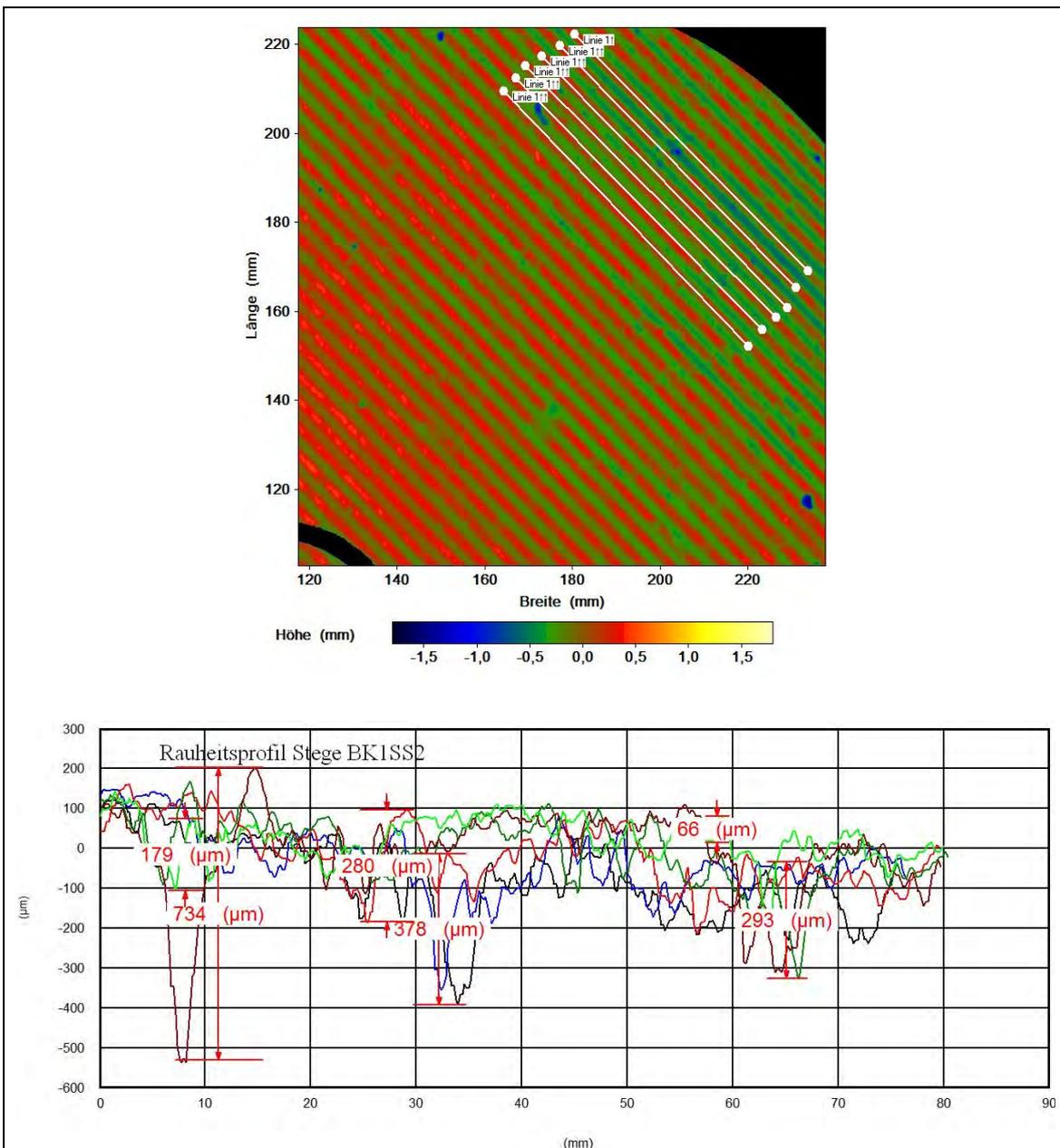


Abbildung 30: Ermittlung der mittleren Rautiefe (R_z) entlang der Stege der SRT-Pendelung (schmaler Gleitkörper) in der PWS-Polierspur im Zuge der Poliersimulation. Oben: Position der Messlinien entlang der Stege innerhalb der SRT-Prüffläche. Unten: überhöhte Profilbilder der Messlinien.

Tabelle 15: Überblick zu den textuellen Eigenschaften (bei Strecke 3 wurden die Grooving-Rillen zu Vergleichszwecken nicht berücksichtigt).

	BK 1-SS-2	BK 2-SS-3	BK 3-SS-3b	BK 4-SS-1	BK 5-SS-1	BK 6-SS-3	BK 7-MS-2	BK 8-SS-3	BK 9-MS-3	BK 10-SS-2	BK 11-SS-4
Rillentiefe [μm] gemittelt über 30 Profile Original	546	669	905	232	651	898	873	1014	540	931	813
Rillentiefe [μm] gemittelt über 30 Profile 270 T Ü	517	651	874	221	632	875	857	993	520	905	806
Verringerung Rillentiefe [μm] nach 270 T Ü	29	17	31	11	19	23	17	21	20	26	8
Verringerung Rillentiefe [%] nach 270 T Ü	5	3	3	5	3	3	2	2	4	3	1
Länge der Stege / Fläche [cm^{-1}]	1,8	1,8	1,2	2,5	1,8	1,5	1,5	1,5	2,0	2,1	2,2
durchschnittlicher Stegabstand [mm]	5,6	5,6	8,3	3,9	5,6	6,5	6,5	6,5	5,0	4,7	4,6
mittlere Stegbreite in 100 μm Tiefe (Original) [mm]	1,3	1,2	1,1	1,6	1,1	0,9	1,2	1,1	1,1	0,9	1,3
mittlere Stegbreite in 300 μm Tiefe (Original) [mm]	2,3	2,1	2,0	-	1,8	1,7	1,9	1,9	1,9	1,6	2,4
Gesamtfläche aller Stege bei mittlerer Stegbreite 100 μm unterhalb der Oberfläche [%]	23	22	14	39	19	14	18	17	21,4	19	28
Gesamtfläche aller Stege bei mittlerer Stegbreite 300 μm unterhalb der Oberfläche [%]	41	38	24	-	33	25	29	28	38,8	34	53
Rz entlang Steg_Prüfspur_Originalzustand [μm] 5 Linien entlang des Steges	87	156	161	74	164	68	229	136	58	167	150
Rz entlang Steg_Prüfspur_270 T Ü [μm] 5 Linien entlang des Steges	77	157	151	68	121	65	194	136	62	161	135
Reduktion Rz entlang eines Steges [μm]	10	-1	10	7	43	3	35	0	-4	7	15
Reduktion Rz entlang eines Steges [%]	11	-1	6	9	26	4	15	0	-7	4	10

Es zeigten sich zunächst bei den untersuchten Strecken geometrische (produktionstechnische) Zusammenhänge: Je tiefer die Rillen, desto:

- größer der Stegabstand (nur schwacher Zusammenhang)
- kleiner die prozentuelle Stegfläche

Obwohl die Wiederfindung der exakten Position einer textuellen Messung besonders nach erfolgter Polierung und damit Veränderung des Steges geringfügigen Fehlern unterworfen ist, sind dennoch Trends im Zuge der Poliersimulation abzulesen. So verringern sich die Steghöhen (bzw. Rillentiefen) zwischen etwa 10-30 μm (im Mittel rund 20 μm) nach 270.000 Überrollungen mit der PWS-Anlage. Dies deckt sich mit den Beobachtungen im REM. Auffällig ist, dass jene Strecken mit der geringsten Verringerung der Steghöhe (Strecken 4 und

11) auch gleichzeitig die geringsten Stegabstände bzw. größten Gesamtlängen bzw. -flächen der Stege in Relation zur Gesamtfläche aufweisen. Die Vermutung liegt nahe, dass damit auch das Abriebverhalten (Glättung bzw. Erosionsleistung je Zeiteinheit) sowie das Stegbruchverhalten positiv beeinflusst werden. Letzteres ist nicht nur dem Umstand besserer Lastverteilung auf den Stegen (bedingt durch den größeren Flächenanteil) geschuldet, sondern vmtl. auch stabileren Stegen durch gedrungenerer Querprofile bzw. flachere Stegflanken.

Generelle geometrische Abhängigkeiten der Verringerung der Steghöhen lassen sich aber nur sehr eingeschränkt daraus ableiten (vgl. Abbildung 31), weil die Datenbasis gering ist, v.a. aber der Einfluss der Polierresistenz der Gesteinskörnung dabei nicht berücksichtigt wird.

Mit der Verringerung der Steghöhen geht auch eine messbare Verringerung der Rauheit entlang der Stege einher (wenngleich eine messtechnische Erfassung angesichts der schmalen Stege mit größeren Unsicherheiten behaftet und auch keine Korrelation erkennbar ist). Dies ist die Bestätigung der visuellen Beobachtung durch die REM-Analysen in Form von Kantenrundung, Glättung und überwiegender Nivellierung von Höhenunterschieden. Die Rz-Werte entlang der Stege decken sich relativ zueinander im Wesentlichen mit dem optischen und haptischen Eindruck.

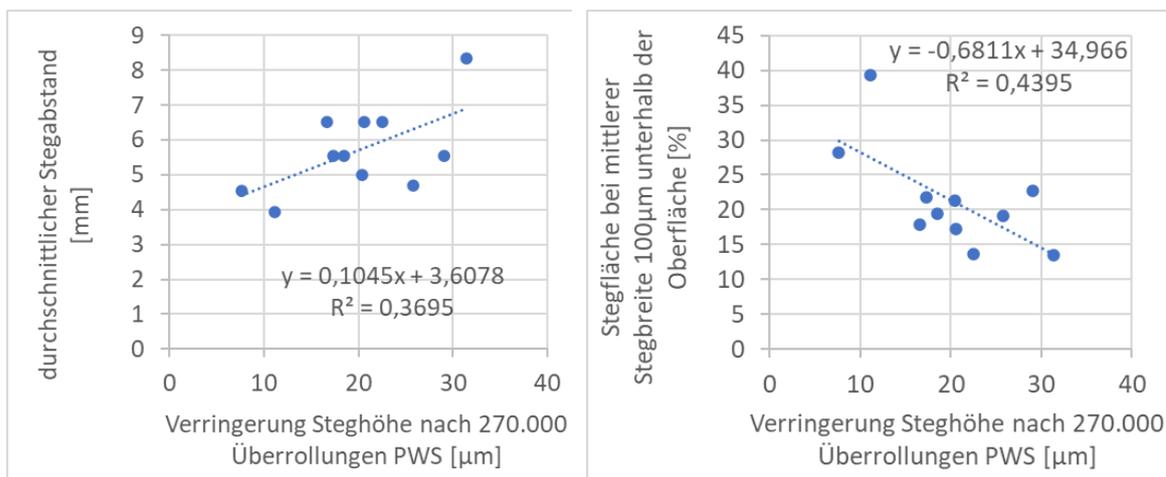


Abbildung 31: Mögliche geometrische Einflüsse auf die Verringerung der Steghöhe nach Polierarbeit

PWS- und PSV-Werte korrelieren nicht mit SRT-Werten oder Rauheiten (wobei PSV-Werte nicht gemessen, sondern aus Literaturdaten erhoben wurden). Entweder sind die Wertespreizung von PWS / PSV dafür gegebenenfalls zu gering, oder die Griffigkeiten von Grinding-Oberflächen sind vielmehr nur als untrennbares Gesamtsystem aus Grinding-Geometrien, Mikrotexturen sowie Gesteins- und Zementeigenschaften, ohne klar dominanten singulären Einflussparameter zu sehen.

Die Reduktion der SRT-Werte nach Laborpolierung zeigt keine signifikanten Zusammenhänge zu Texturparametern.

3.1.4 Griffigkeiten und Polierverhalten

3.1.4.1 PWS-Reibwerte der Sande

Aus den feinen Gesteinskörnungen wurden die Fraktionen 0,2/0,4 mm ausgesiebt und Reibwertuntersuchungen mittels PWS-Verfahren unterzogen (Abbildung 32). Sämtliche PWS-Werte lagen z.T. deutlich $>0,5$ und sind damit als sehr polierresistent zu bezeichnen. Die höchsten PWS-Werte lassen sich auf überwiegenden bis ausschließlichen Gehalt an Quarz (oder annähernd gleich harten Silikaten) der Sande rückführen.

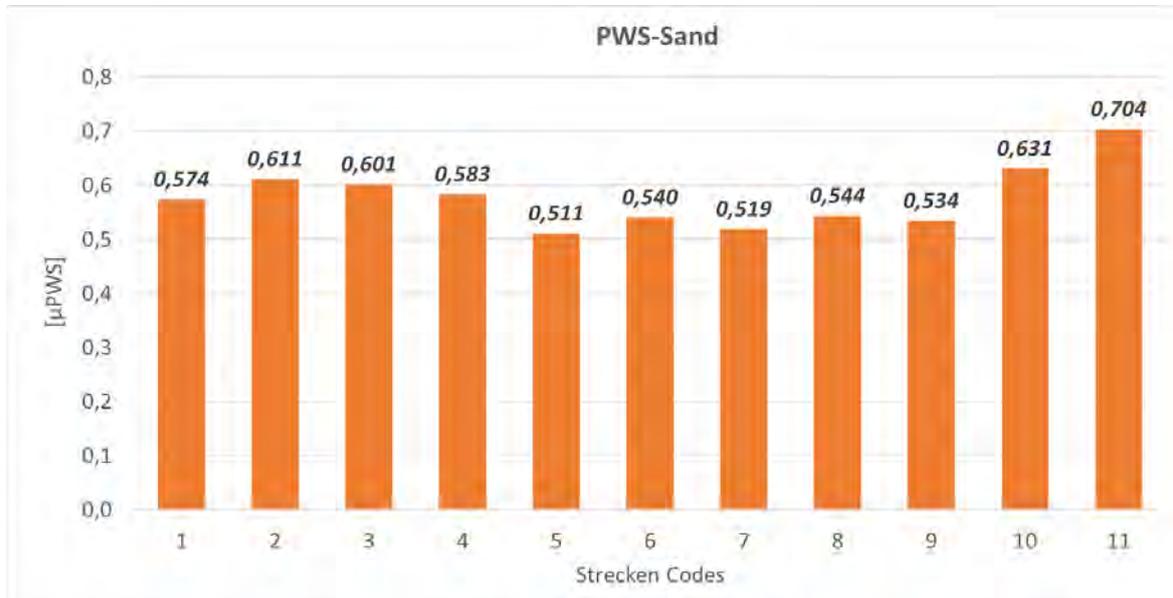


Abbildung 32: PWS-Werte der Sande aller Strecken.

3.1.4.2 Laborgriffigkeit mittels SRT und Poliersimulation mittels PWS

Die Erfassung der Griffigkeit von anisotropen Oberflächen stellt die Prüftechnik vor besondere Herausforderungen, weil die Richtung der Prüfung von essenzieller Bedeutung ist. Im Falle von Grinding-Oberflächen ist zudem in besonderem Maße die Repräsentativität der

Prüffläche zu berücksichtigen. Die gerichtete Grinding-Textur lässt berechtigt an der Sinnhaftigkeit zweifeln, mit einem rotierenden (also Kreisbewegungen vollführenden) Prüfkopf wie etwa im Falle der Polieranlage nach Wehner / Schulze (PWS) prüfen zu wollen. PWS-Prüfungen sind für isotrope Oberflächen bekanntermaßen sehr wiederholbar und vertrauenswürdig und korrelieren zudem signifikant mit Straßenmesssystemen wie etwa dem RoadSTAR. Für die Griffigkeitsmessung auf Grinding-Texturen ist PWS allerdings leider nicht brauchbar.

Das zweite bekannte und über Jahrzehnte etablierte Labor-Messsystem des SRT-Pendels hingegen ist auf Grund der linearen Pendelbewegung geeignet, lineare Texturen zu prüfen. Als nachteilig erweist sich allerdings die geringe Prüffläche in Kombination mit der Pendelbewegung. Letztere führt dazu, dass durch den relativ kurzen Pendelarm die Prüfflächenlänge eingeschränkt ist und durch die (in Zeitlupe gut erkennbare) Hüpfbewegung im Zuge des Darübergleitens die Prüffläche nicht mit gleichmäßigem Druck geprüft wird.

Im Wesentlichen können folgende Eigenschaften des SRT-Versuches als für Grinding-Texturen besonders nachteilig erachtet werden:

- kleine Prüffläche, welche durch die Rillen noch kleiner wird, wodurch kleine Inhomogenitäten (herausragende Gesteinsspitzen) überproportionale Relevanz erlangen
- kein konstanter Anpressdruck des Prüfgummis im Zuge der Pendelbewegung
- rasches Einschneiden der Grinding-Stege in die hintere Reibkante des Prüfgummis
- relativ hohe Laboranten-Abhängigkeit

Daraus folgen als Konsequenz relativ geringe Reproduzierbarkeit von Prüfwerten (am selben Prüfkörper) und auf isotropen Oberflächen etwas geringere Zusammenhänge zu Straßenmesssystemen wie z.B. dem RoadSTAR, der ebenfalls in Grinding-Richtung misst und als ein Referenzmesssystem zur Beurteilung der Qualität eines Labormesssystems erachtet werden kann.

Aus diesen Gründen wurde in der TPA einerseits aus Mangel an vorliegenden Alternativen versucht, den SRT-Versuch und dessen Auswertung in Hinblick auf Grinding-Texturen zu optimieren und andererseits alternative Prüfungen ins Auge zu fassen (siehe Kap. 3.1.4.3 und 3.1.3.4).

3.1.4.2.1 Einflüsse und Auswertung des SRT-Versuches

Bevor die eigentlichen SRT-Messungen der BK aus den Streckenabschnitten erfolgen sollten, wurden zahlreiche Vorversuche durchgeführt, um die relevantesten Sensibilitäten des Versuches besonders in Hinblick auf Grinding-Texturen zu eruieren und zu entschärfen.

Folgende Einflüsse wurden als relevant identifiziert:

- Reproduzierbarkeit der Messergebnisse (Laborant, gleiche Prüffläche)
- Bewässerung von Gleitkörper und Prüffläche
- Größe der Gleitkörper (breit/schmal) in Hinblick auf die Vergleichbarkeit
- Einfahren der Reibkante und besonders Einschneiden von Rillen in die Gleitkörper-Reibkante durch Grinding-Stege
- Textur am Beginn der Prüfstrecke bzw. Ansatz des Gleitkörpers
- Winkel der Pendelrichtung zur Lineartextur

Zur Verifizierung eines Prüfwertes an einer spezifischen Stelle bieten sich bei zerstörungsfreien Prüfungen Wiederholungen an derselben Stelle an. Bei tribologischen Systemen kann es dabei aber zu messbaren Veränderungen des Reibwertes kommen und äußert sich meist in logarithmischer Verringerung der Griffigkeit, so auch bei der Erfassung der Griffigkeit mittels SRT-Pendels (vgl. z.B. Abbildung 33).

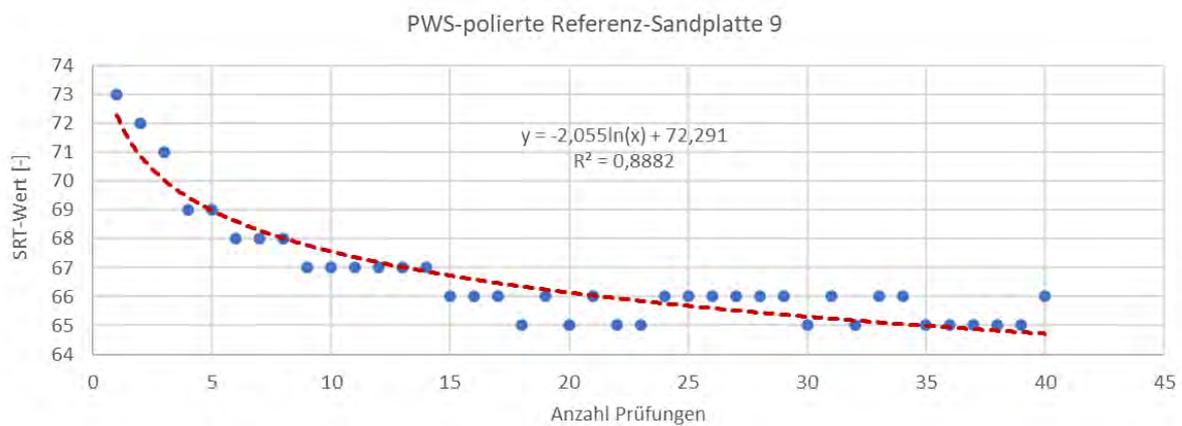


Abbildung 33: Entwicklung des SRT-Wertes auf einer PWS-polierten Sandplatte.

Dies ist auf mehrere simultan wirkende Einflüsse zurückzuführen, v.a. auf das Einschleifen einer oberflächenspezifischen Textur in den Prüf gummi, die zunehmende Polierung der geprüften Oberfläche und gegebenenfalls das Erreichen einer gummispezifischen Betriebs-

temperatur. Diesen Umständen wird insofern in Regelwerken Rechnung getragen, als mehrere Prüfwerte gemittelt werden, um den Effekt zu nivellieren. Um diese Anfangseffekte und das langfristige Verhalten von geprüfter Oberfläche sowie Prüf gummi zu beobachten und zu verstehen, wurden auch im Rahmen dieses Projekts auf allen Oberflächen zumindest zehn aufeinander folgende Prüfungen an einer Stelle durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass alternativ auch andere Messwerte zur Mittelung herangezogen werden könnten, um aussagekräftigere und vergleichbarere Ergebnisse zu erhalten. Grundsätzlich wurden folgende Auswertemöglichkeiten zu Vergleichszwecken herangezogen (Tabelle 16):

Bei Prüfung von homogenen PWS-Sandplatten (Fraktion 0,2/0,4 mm) kann unter strikter Einhaltung normgemäßer Vorgangsweise sowie ergänzend standardmäßiger Bewässerung von Gleitkörper und Prüf fläche mit Umgebungstemperatur-äquilibriumtem Wasser mit guter Reproduzierbarkeit gerechnet werden, sofern die Prüf strecke so exakt wie möglich wieder eingemessen und geprüft werden kann.

Sobald allerdings die Prüf position verändert wird (Abbildung 34), kann es - auch auf homogenen Oberflächen - zu überraschend großen Veränderungen des Messwertenniveaus kommen (Tabelle 17).

Tabelle 16: Auswertemethoden von aufeinander folgenden SRT-Messungen an selber Stelle.

Normgemäße Mittelung gemäß:	Kurzbezeichnung in Tabellen	Mittelung folgender Messwerte einer Messreihe
ÖN EN 13036-4	ÖN	1-5
TP Griff-Stb (SRT)	TP	2-6
-	F&E 1	4-10 (bei schmalem Gleitkörper)
-	F&E 2	6-8 (bei breitem Gleitkörper) 4-6 (bei schmalem Gleitkörper)

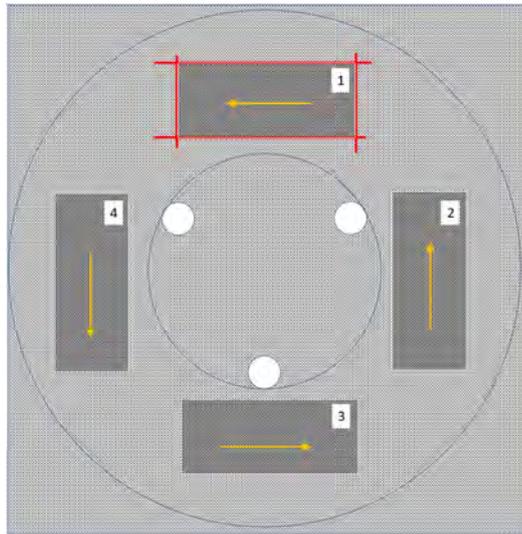


Abbildung 34: SRT-Prüfpositionen (dunkle Rechtecke) auf einer PWS-Sandplatte (der Ring zwischen den beiden Kreisen wurde mittels PWS poliert).

Tabelle 17: Streuung der SRT-Werte an 4 Positionen einer polierten PWS-Platte.

SRT \ Prüfposition	1	2	3	4
Spanne:	1	3	2	4
Mittelwert:	70,1	62,0	66,0	66,8

Dies führt vor Augen, wie bedeutsam die Repräsentativität der Prüffläche ist bzw. wie sehr Prüfwerte auf derselben Oberfläche (sogar desselben Prüfkörpers) streuen können, wenn die Prüfflächen klein sind.

3.1.4.2.2 SRT-Werte der Grinding-Strecken, Diskussion und Korrelationen der Ergebnisse
 Oben beschriebene unerwünschte Anfangs-Effekte treten auch bei anisotropen Grinding-Oberflächen auf und die regelmäßige Lineartextur führt zu ergänzenden Problemen. Abbildung 35 zeigt den Griffigkeitsverlauf einer Grinding-Oberfläche nach 300 Prüfungen an einer bestimmten Stelle. Nach jeweils 60 Prüfungen wurde das Gerät ab- und wieder aufgebaut und es wurde versucht die markierte Prüffläche wieder so genau wie möglich für die nächsten 60 Prüfungen zu treffen. Der Verlauf zeigt den gleichen logarithmischen Generaltrend wie auf isotropen Oberflächen (vgl. Abbildung 33), der eindeutig auf zunehmende Polierung der Oberfläche zurückzuführen ist, zumal die Prüfgummiqualität konstant bleibt (was durch gleichbleibende Prüfwerte an einer Referenzfläche abgesichert wird, die vor Beginn jeder 60er-Serie erfasst wurden, vgl. orange Punkte in Abbildung 35). Allerdings ist am Beginn jeder 60er-Serie ein um 2-3 Punkte erhöhter Startwert zu beobachten, dessen

Niveau sich erst nach etwa 10-20 Prüfungen auf das Niveau des Generaltrends einschleift. Dieser Effekt ist damit zu erklären, dass die Justage des Pendelgerätes und das Ansetzen des Gleitkörpers auf einer Prüffläche Handarbeit ist und dadurch die Prüffläche nicht millimetergenau wiedergefunden werden kann. Dies bedingt, dass einerseits ein kleiner zuvor nicht polierter Bereich geprüft wird und andererseits sich die Stege der Grinding-Textur an minimal versetzter Stelle in den Gummi des Gleitkörpers einschneiden können.

Dies zeigt wenig überraschend, dass besonders anisotrope Grinding-Texturen grundsätzlich anfällig für größere Prüfstreuungen sind, besonders wenn die Prüffläche klein ist. Dieser Umstand ist besonders bei jenen Grinding-Texturen von großer Bedeutung, wo die Stege breit und unregelmäßig gebrochen sind (ausgeprägte Mikro- bis Makrotextur entlang des Steges) sowie die Stegabstände vergleichsweise groß sind, weil dadurch nur wenige Stege im Zuge eines Pendelvorganges erfasst werden und die eigentliche Prüffläche sehr klein ist.

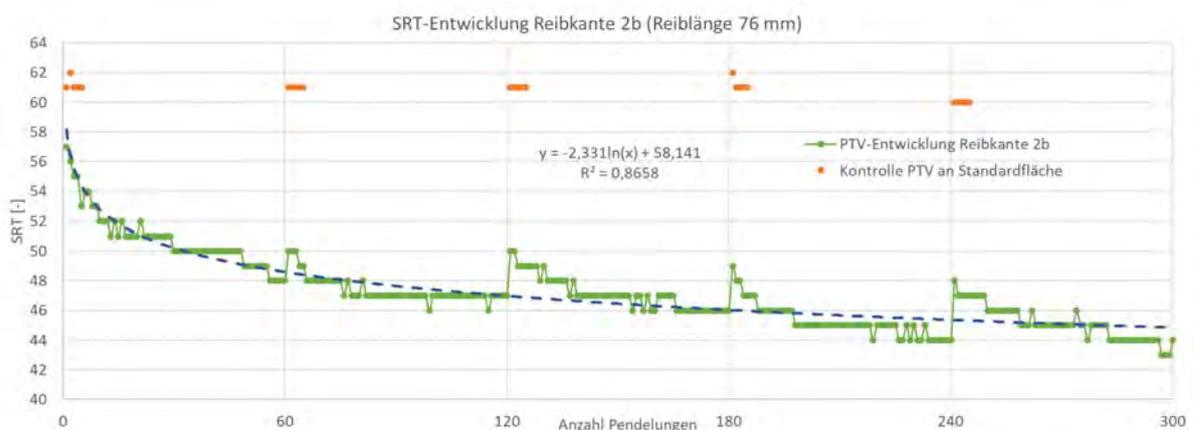


Abbildung 35: Entwicklung des SRT-Wertes eines Grinding-BK aus dem Pannenstreifen an „selber“ Stelle bei Ab- und Wiederaufbau des Gerätes nach jeweils 60 aufeinanderfolgenden Prüfungen.

Auf den Bohrkernen der Untersuchungsstrecken wurden SRT-Werte sowohl mit dem breiten als auch mit dem schmalen Gleitkörper durchgeführt, um die Relevanz der Prüfflächen- gröÙe auf breiterer Datenbasis einschätzen zu können. Die für jede Strecke (in verschiedenen Methoden gemäß Tabelle 16) SRT-Werte sind in Tabelle 42 in der Anlage angeführt.

Angesichts der günstigen Wertespreizung zeigt sich ein durchaus signifikanter Zusammenhang zwischen SRT-Werten mit dem breiten Prüf gummi und der StraÙengriffigkeit μ_{Road}

STAR auf den untersuchten Grinding-Oberflächen (Abbildung 36). Der Unterschied zwischen breitem und schmalen Gleitkörper erweist sich als - wenig überraschend – erkennbar. Allerdings bei Betrachtung einer breiteren Datenbasis (Prüfkörper vom Pannestreifen und Hauptfahrstreifen sowie bei letzterem auch nach CDF) zeigt sich ein immer noch signifikanter Zusammenhang zwischen den SRT-Werten mit breitem und schmalen Gleitkörper (Abbildung 37). Diese Ergebnisse erlauben es somit grundsätzlich, auch mit dem schmälere Gleitkörper (unter Berücksichtigung etwas größerer Unsicherheiten) zu arbeiten.

Der Grund, warum der schmälere Gleitkörper und zusätzlich eine kürzere Prüflänge angesichts obiger Erkenntnisse zur Prüflächengröße auf anisotropen Verhältnisse überhaupt in Erwägung gezogen wurde, ist der Umstand, dass bis dato nur die Möglichkeit bestand, eine „anerkannte“ Poliersimulation mit dem PWS-Gerät durchzuführen. Obwohl die PWS-Anlage oberflächlich betrachtet angesichts der kreisförmigen Bewegung der Polierrollen nur für isotrope Oberflächen sinnvoll erscheint, kann diese eingeschränkt auch für lineare Texturen verwendet werden. Dies ist deshalb möglich, weil in zwei kleinen Bereichen eines Prüfkörpers nahezu parallel zur Grinding-Richtung poliert wird. Genau in diesen Positionen wurde das 60mm-Bohrsegment zur Beobachtung der Polierwirkung (vgl. Poliersimulation und Beobachtung mittels REM in Kapitel 3.1.5) sowie die Prüfstrecken für den schmalen Gleitkörper angeordnet (Abbildung 38). Eine Prüfung mit dem breiten Gleitkörper ist angesichts der Kreisbahn der Polierspur nicht möglich, ohne die Polierspur zu verlassen und somit unpolierte Oberfläche mitzuerfassen.

Ursprünglich war nach positiven Korrelationsuntersuchungen in Abhängigkeit von der Prüflänge sogar eine direkte Prüfung auf dem herausnehmbaren 60mm-Bohrkern vorgesehen, um direkte Vergleichsmöglichkeiten zwischen Griffigkeitsentwicklung und den morphologischen Veränderungen auf den Stegen (REM-Analysen) zu ermöglichen. Angesichts einer Prüflänge von nur ca. 38 mm und zum Teil sehr inhomogenen Stegeigenschaften einiger Strecken wurde diese Vorgangsweise aber wieder verworfen. Stattdessen wurde die SRT-Pendelung direkt gegenüber auf einer Prüflänge von 76 mm vorgenommen, um die Veränderung der Griffigkeit im Zuge der abgestuften Poliersimulation möglichst vertrauenswürdig zu erfassen.

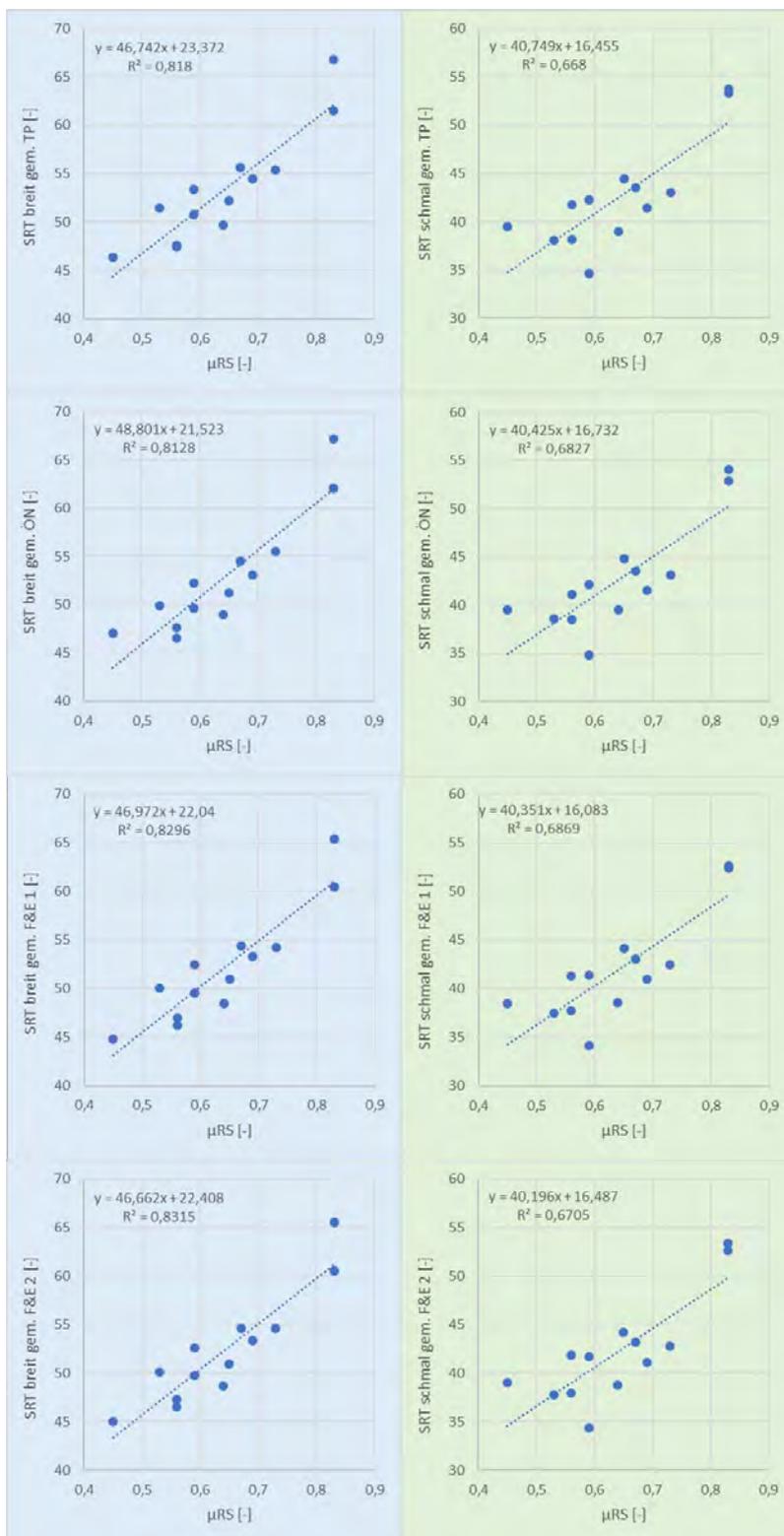


Abbildung 36: Zusammenhang zw. SRT-Wert (Mittelwerte aller BK des HFS bzw. SS einer Strecke) und μ RoadSTAR. Links: breite Gleitkörper mit 126 mm Prüflänge, rechts: schmale Gleitkörper bei 76 mm Prüflänge (jeweils Auswertung nach TP, ÖN sowie F&E 1 und F&E 2).

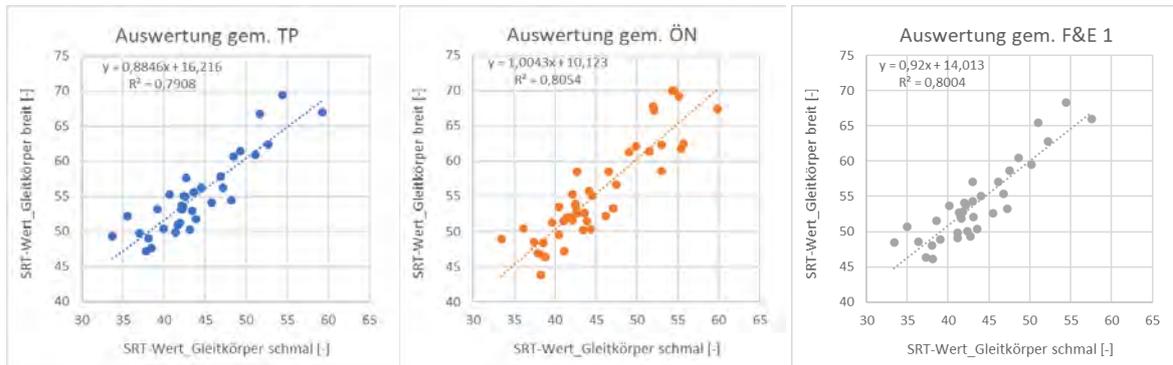


Abbildung 37: Korrelation zwischen SRT-Werten mit breitem und schmalen Gleitkörper auf allen erfassten Grinding-Oberflächen in verschiedenen Auswertemethoden.

Die Ergebnisse der Griffigkeitsveränderungen vor und nach CDF-Untersuchungen sind in Abbildung 39 dargestellt (Datengrundlage Tabelle 42, Anhang). Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass die Griffigkeiten infolge Abwitterung von den Stegen zunehmen. Dies ist tendenziell eher bei Ergebnissen mit dem schmalen Gleitkörper gegeben, was auch ein Hinweis auf größere Sensibilität der kleineren Gleitkörper bei Absplitterungen sein könnte. Auf Grund eher wenig gleichmäßiger Abwitterung und der großen Wahrscheinlichkeit, dass die SRT-Prüffläche keine für die gesamte BK-Oberfläche repräsentative Absplitterung aufweist, korrelieren auch Ausmaß der Abwitterung und Griffigkeitserhöhung nicht.

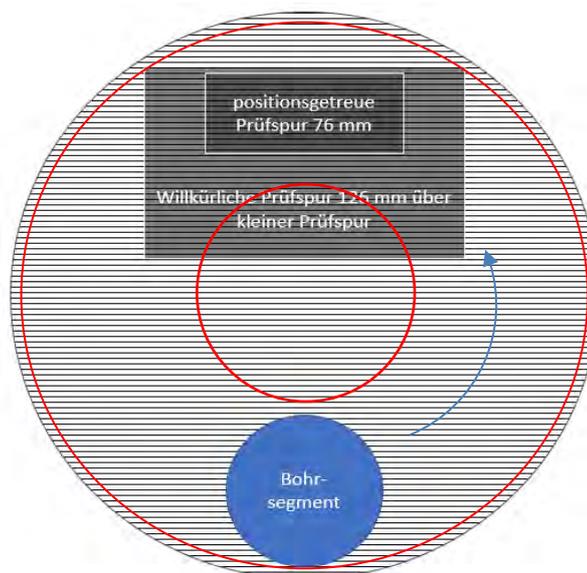
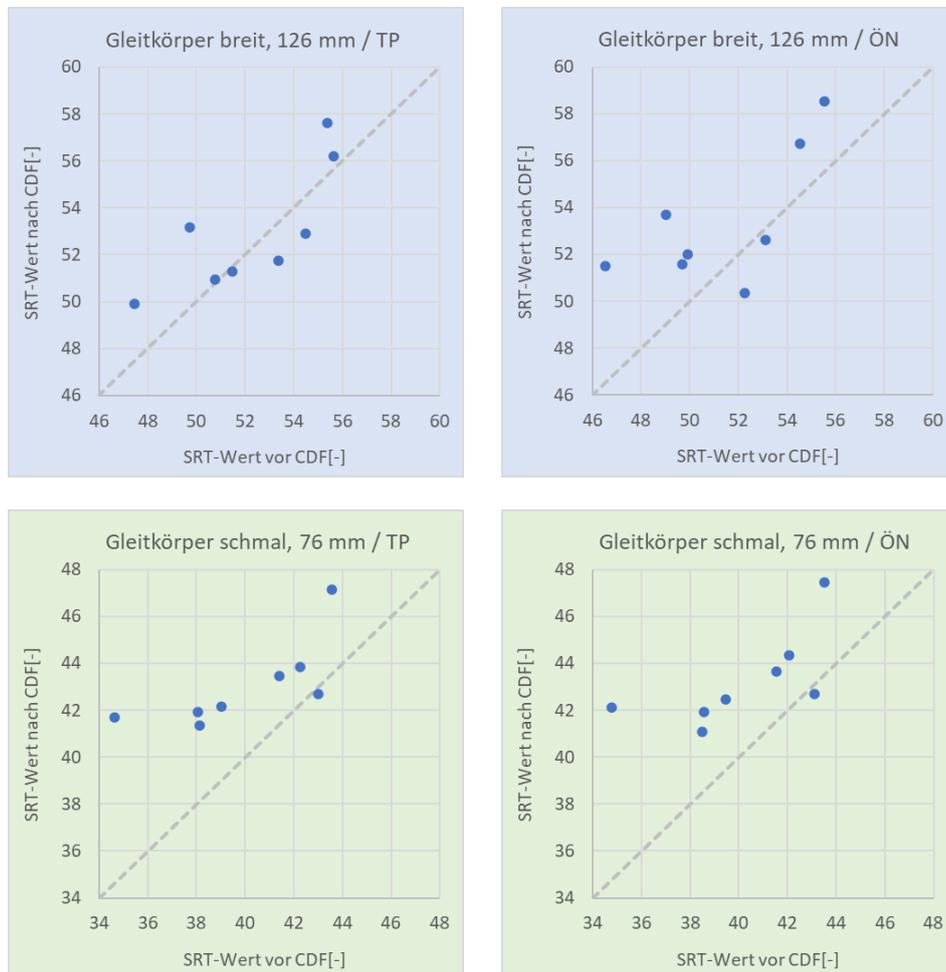


Abbildung 38: Schematische Darstellung eines 225 mm-BK mit Grinding-Textur. Die Polierrollen der PWS-Maschine rotieren in einer Kreisbewegung (Pfeil) innerhalb der beiden roten

**Kreise. In der Polierspur in den Bereichen zur Grinding-Richtung nahezu paralleler Polier-
richtung wurden sowohl 60 mm-BK als auch die 76mm-SRT-Prüfspur für den schmalen
Gleitkörper angeordnet.**



**Abbildung 39: Unterschiede zwischen SRT-Werten vor und nach CDF-Prüfungen. Bei Griff-
figkeitserhöhung nach CDF liegen die Punkte oberhalb der strichlierten Linie. Oben: breiter
Gleitkörper mit 126 mm Prüflänge, unten: schmaler Gleitkörper bei 76 mm Prüflänge (jeweils
Auswertung nach TP links und ÖN rechts)**

3.1.4.2.3 Poliersimulation der Grinding-Oberflächen mittels PWS und Griffigkeitsentwick- lung mittels SRT

An jeweils einem ausgewählten, möglichst repräsentativen, Bohrkern aus dem Pannen-
streifen jeder Strecke wurde die Griffigkeitsentwicklung durch abwechselndes Polieren mit-
tels PWS-Anlage und darauffolgendes Prüfen mittels SRT-Pendel erfasst. Nachdem die
standardisierte PWS-Poliersimulation eine ringförmige Polierspur hinterlässt, kann nur der

schmale SRT-Gleitkörper auf einer Prüflänge von 76 mm auf einer spezifischen Stelle am BK zum Einsatz kommen (vgl. Abbildung 38).

Die Griffigkeitsmessung erfolgte nach jeder Polierstufe (Originalzustand, 500, 12.000, 90.000 und 270.000 Überrollungen der PWS-Anlage). Durch die abgestufte Polierbeanspruchung und anschließende Griffigkeitsmessung konnten schließlich für jeden Streckenabschnitt spezifische Polierverläufe ermittelt werden (Tabelle 18 und Abbildung 40). Es zeigte sich, dass selbst geringe Polierleistungen bereits deutlich mittels SRT-Pendelung erfassbar sind.

Tabelle 18: SRT-Werte bei abgestufter Poliersimulation an unbefahrenen BK aus den Pannenstreifen (Ausnahme Strecke 7 = Mittelstreifen) mittels PWS. Anzahl Überrollungen in grau. Die SRT-Werte nach 270000 Überrollungen (blau) können mit den SRT-Werten an den HFS (grün) gegenübergestellt werden.

Bezeichnung	PWS- Überrollungen	Code 1				Code 2				Code 3				Code 4			
		1-SS-2				2-SS-3				3-SS-3B				4-SS-1			
		TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2
Erstaufnahme	0	56,78	54,58	55,29	56,24	51,14	51,54	50,2	50,67	54,40	54,60	54,40	54,40	52,64	53,04	52,24	52,24
PS 1	500	53,58	54,18	52,29	52,58	48,07	48,67	47,55	47,93	52,84	53,24	52,44	52,44	50,68	51,28	49,77	50,15
PS 2	12000	50,67	50,87	50,10	50,67	47,22	47,22	47,22	47,22	50,39	50,39	50,96	51,39	51,21	51,81	50,27	50,75
PS 3	90000	50,55	50,75	49,84	50,22	45,53	45,73	44,96	45,53	48,47	48,67	48,41	48,27	49,89	50,29	49,12	49,69
PS 4	270000	46,27	46,27	46,41	46,60	42,41	42,41	42,41	42,41	46,59	47,19	46,39	46,39	49,34	49,94	48,63	49,01
Bezeichnung	PWS- Überrollungen	Code 5				Code 6				Code 7				Code 8			
		5-SS-1				6-SS-3				7-MS-2				8_1-SS-3			
		TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2
Erstaufnahme	0	59,26	59,86	57,60	58,79	57,34	58,14	56,17	56,40	50,00	50,40	49,74	49,93	55,82	53,62	54,34	55,29
PS 1	500	53,74	53,94	52,77	53,34	54,08	54,68	53,48	53,48	49,00	47,80	47,95	48,14	54,91	53,51	53,79	54,17
PS 2	12000	52,41	53,01	51,55	51,75	50,67	50,87	50,24	50,67	45,93	45,93	46,24	45,86	51,74	51,74	50,77	51,34
PS 3	90000	50,84	50,94	50,72	51,10	45,85	46,05	45,65	45,65	44,48	44,48	45,05	45,48	47,40	46,60	46,74	46,93
PS 4	270000	50,68	50,88	49,91	50,48	46,31	46,51	45,34	45,91	40,46	40,46	41,46	42,46	46,06	45,46	45,32	45,79
Bezeichnung	PWS- Überrollungen	Code 9				Code 10				Code 11							
		9-MS-3				10-SS-2				11-SS-4							
		TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2	TP	ÖN	F&E 1	F&E 2				
Erstaufnahme	0	48,45	49,05	47,50	47,98	50,20	50,60	49,17	49,93	49,76	50,36	49,1	49,29				
PS 1	500	48,38	48,98	47,58	47,91	46,15	46,55	45,70	45,89	48,87	49,47	48,38	48,67				
PS 2	12000	45,71	46,31	45,00	45,38	43,60	43,80	43,60	43,60	47,33	47,73	46,65	46,93				
PS 3	90000	42,87	43,47	41,98	42,60	41,43	41,83	40,97	41,16	45,81	46,41	45,35	45,54				
PS 4	270000	42,74	43,34	41,57	42,14	40,54	41,14	39,88	40,07	44,06	44,26	43,49	44,06				

Die maximal applizierte Polierleistung von 270.000 Überrollungen der PWS-Anlage kann grob mit rund 20 Jahren Verkehrsbeanspruchung auf einer Autobahn gleichgesetzt werden (unter Zugrundelegung eines JDTLV von etwa 4000) und reicht damit weit über die realen Beobachtungszeiträume der Streckenabschnitte mittels Straßenmesssystemen hinaus. Interessant ist aber, dass dieser aus Forschungsprojekten ermittelte Zusammenhang zwi-

schen PWS-Polierleistung und realer Verkehrsbeanspruchung auf Autobahnen [1] auf Grinding-Texturen offenbar nicht anwendbar ist. Zwar findet eindeutig Polierung statt, allerdings konnten zum Teil nicht einmal die Griffigkeits-Niveaus der Hauptfahrstreifen erreicht werden, die nur wenige Jahre unter Verkehr lagen (vgl. Tabelle 21).

Tabelle 19: SRT-Werte aus Tabelle 18 nach 270000 Überrollungen (blau) gem. F&E 1-Auswertung in Gegenüberstellung mit den SRT-Werten der realen HFS (grün).

	270000	HFS vor CDF
1-SS-2	46,4	41,44
2-SS-3	42,4	43,06
3-SS-3B	46,4	34,17
4-SS-1	48,6	37,46
5-SS-1	49,9	40,97
6-SS-3	45,3	38,53
7-MS-2	41,5	42,50
8-1-SS-3	45,3	37,72
9-MS-3	42,1	44,11
10-SS-2	39,9	41,28
11-SS-4	43,5	38,48

Die Labor-Polierleistung mittels PWS von Waschbeton- oder SMA-Oberflächen ist anscheinend nicht auf Grinding-Oberflächen übertragbar. Die Ursache dafür könnte am Umstand liegen, dass das Quarzmehl als polierendes Zwischenmittel nur eingeschränkt auf den Stegen zu liegen kommt und stattdessen in den Grindingrillen abgeführt wird und somit nicht in dem Ausmaß polierwirksam wird, wie dies auf isotropen Oberflächen der Fall ist.

Die Poliersimulation mittels PWS kann aber zum relativen Vergleich zwischen unterschiedlichen Grinding-Strecken verwendet werden. Dabei fällt auf, dass besonders Strecke 4 eine geringe Abnahme der Griffigkeit nach 270.000 Überrollungen zu verzeichnen hat und gleichzeitig die Differenz zwischen 90.000 und 270.000 Überrollungen nur mehr sehr gering ist. Daraus kann geschlossen werden, dass die vorliegende Konfiguration aus Textur, Gesteinszuschlag und Rezeptur dazu führt, dass auch unter realem Verkehr wahrscheinlich mit nur geringem Griffigkeitsverlust zu rechnen ist. Einen einfachen Überblick zur Einschätzung der Polierbarkeit der untersuchten Strecken in Relation zueinander gibt Tabelle 20.

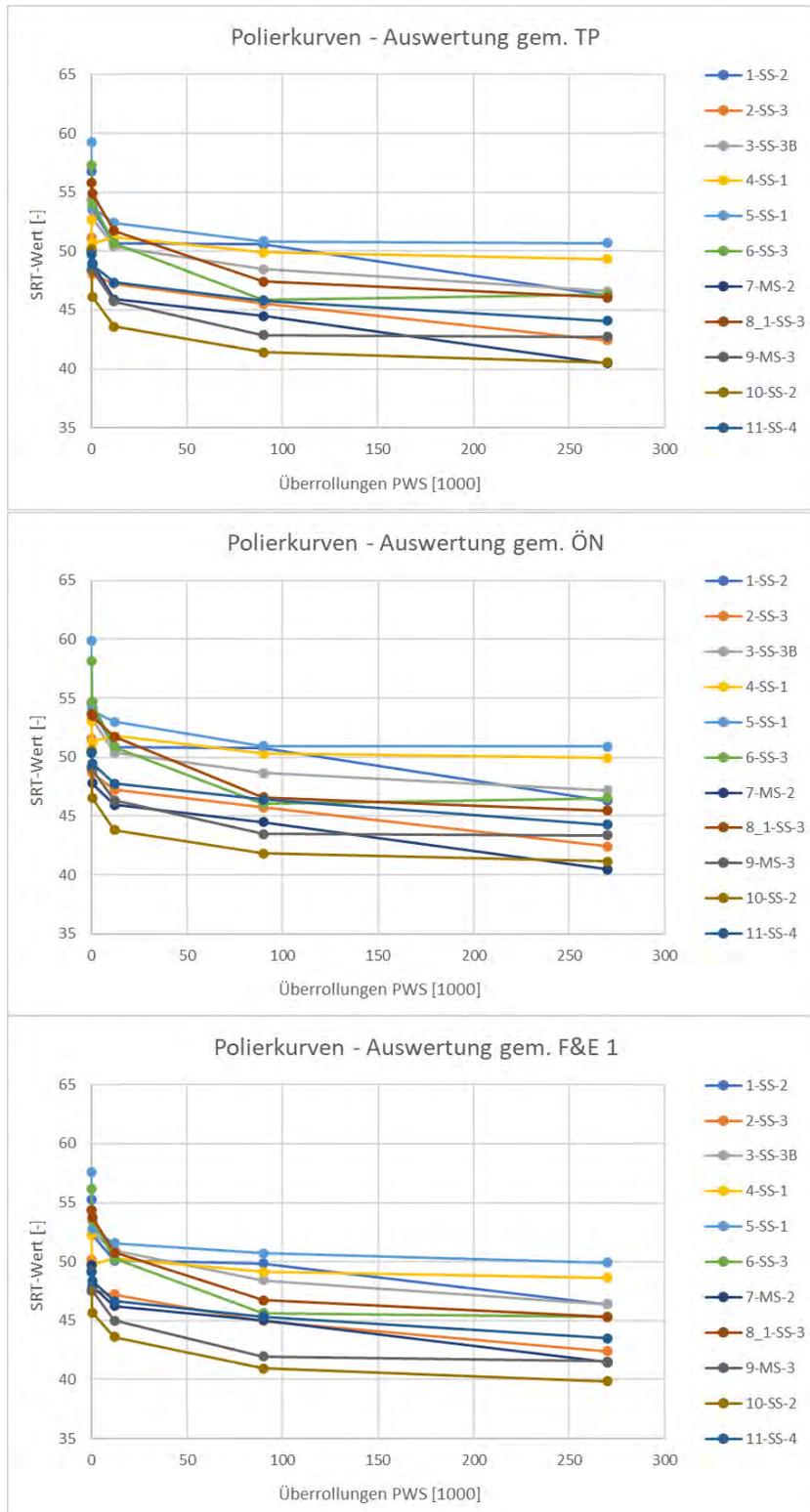


Abbildung 40: Griffigkeitsverläufe der Grinding-Strecken im Zuge von Poliersimulationen mittels PWS (oben Auswertung gem. TP, Mitte gem. ÖN, unten gem. F&E 1).

Tabelle 20: Einfache Einschätzung der Polierbarkeit der untersuchten Strecken in Relation zueinander (Ü = Überrollungen mittels PWS; rot = geringes Wertenniveau oder große Verringerung des Reibwertes im Zuge definierter Polierleistung, grün = Gegenteil von rot, gelb = mittlere Niveaus).

	Absolutniveau Originaloberfläche	Niveaus nach 270T Ü	Niveau-Verringerung im Zuge der Polierung (Diff. 0-270T Ü)	Verringerung durch anfängl. Polierung (Diff. 0-500)	weitere Polierfähigkeit nach starker Polierung (Diff. 90-270T Ü)
Code 1 - SS	hoch (55-57)	mittel (um 46-47)	stark (9-10 Pkte)	mittel (2-3 Pkte)	rel. hoch (> 2 Pkte)
Code 2 - SS	niedrig (50-52)	niedrig (um 42)	stark (8-10Pkte)	mittel (2-3 Pkte)	rel. hoch (> 2 Pkte)
Code 3 - SS	mittel (54-55)	mittel (um 46-47)	mittel (um 8 Pkte)	mittel (2-3 Pkte)	mittel (1-2 Pkte)
Code 4 - SS	niedrig / mittel (52-53)	hoch (um 49-50)	sehr gering (um 3 Pkte)	mittel (2-3 Pkte)	sehr gering (<1)
Code 5 - SS	am höchsten (um 58-60)	hoch (um 50-51)	mittel (8-9 Pkte)	hoch: (um 5)	sehr gering (<1)
Code 6 - SS	hoch (56-58)	mittel (um 45-47)	stark (um 11 Pkte)	mittel (2-3 Pkte)	sehr gering (<1)
Code 7 - MS	niedrig (um 50)	niedrig (um 40-42)	stark (8-10Pkte)	mittel (2-3 Pkte)	rel. hoch (> 2 Pkte)
Code 8_1 - SS	mittel / hoch (54-56)	mittel (um 45-46)	stark (9-10 Pkte)	sehr gering (< 1)	mittel (1-2 Pkte)
Code 9 - MS	niedrig (48-49)	niedrig (um 42-43)	gering (um 6 Pkte)	sehr gering (< 1)	sehr gering (<1)
Code 10 - SS	niedrig (49-51)	niedrig (um 40-41)	stark (9-10 Pkte)	mittel (3-4 Pkte)	mittel (um 1 Pkt)
Code 11 - SS	niedrig (49-50)	niedrig (um 43-44)	gering (um 6 Pkte)	gering (um 1)	mittel (1-2 Pkte)

3.1.4.3 Alternative zur Poliersimulation mittels PWS

Zur Vermeidung der Nachteile kreisförmigen Polierens (nur kleine Bereiche nahezu linearen Polierens in Grindingrichtung, wenig Platz für SRT-Pendelung durch Krümmung der Polierspur) wurde eine linear polierende Maschine angedacht, deren Polierwirkung analog zur PWS-Anlage frei rollend erfolgt. Nach einigen Entwürfen wurde das Vorhaben wegen zu hohem Zeit- und v.a. Kostenaufwand wieder verworfen.

Alternativ wurde angestrebt, eine kompaktere Anlage zu konstruieren, die durch einfache schleifende Bewegung einer Gummiwalze (optional mit Poliermittel) eine Polierwirkung herbeiführt (dem Prinzip nach ähnlich der Walzenpoliermaschine in [2]). Die schleifende Bewegung gibt die rollende Polierwirkung eines Autoreifens zwar nur unbefriedigend wieder, stellt angesichts geringer Poliereffizienz durch die PWS-Anlage aber einen akzeptablen Kompromiss hinsichtlich Prüfaufwand und Realitätsnähe dar.

Bei der Konstruktion des Prototypen der Linearpoliermaschine der TPA Trumau (LPM, Abbildung 41) wurde großer Wert auf größtmögliche Flexibilität gelegt, um auf unvorhersehbares Verhalten auf Grinding-Oberflächen durch Variation verschiedener Einstellungen reagieren zu können. Dies hat sich als essenziell erwiesen, um bei bestimmten Texturen auftretende Vibrationen bzw. Springbewegungen in den Griff zu bekommen. Folgende wesentliche Einstellmöglichkeiten stehen zur Verfügung:

- Prüflänge und Anzahl an aufeinander folgenden Polierzyklen
- Gummiqualitäten (an PWS angelehnt)
- Gummiwalze:
 - Breite
 - Rotationsgeschwindigkeit
 - Vorschubgeschwindigkeit
 - Drehrichtung (Mitlauf, Gegen-)
- Auflast
- Laterale Oszillation
- Reiner Wasserzulauf oder Suspension mit Schleifmittel (analog PWS-Gerät)

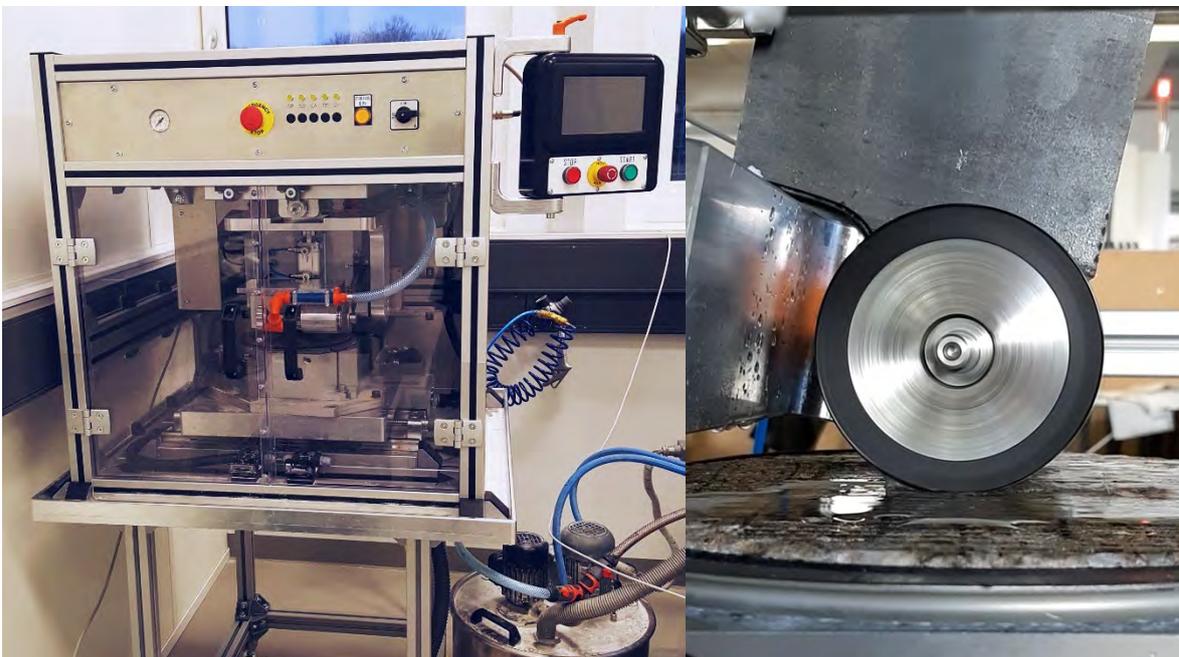


Abbildung 41: Linearpoliermaschine der TPA Trumau (LPM), rechts Schleifwalze in Drehbewegung.

Zahlreiche Versuche haben gezeigt, dass Überrollungen ohne Schleif- oder Poliermittel bereits ausreichend sein könnten, Polierung durch Verkehr zu simulieren. Allerdings dürfte die sich die Veränderung der Textur vorrangig auf die Mikrotextur beschränken und damit reale Polierung auf der Straße nur unbefriedigend wiedergeben. Die künftige Verwendung eines künstlichen Zwischenmittels zur realitätsnahen Veränderung der Textur scheint erforderlich.

Die LPM kann außerdem (simultan) zur Erfassung der Griffigkeit verwendet werden (vgl. Kap. 3.1.4.4.2). Erste vergleichende Ergebnisse auf isotropen Oberflächen sind vielver-

sprechend, aber auch auf Grinding-Oberflächen ist die LPM mit dem SRT-Versuch vergleichbar (Kap. 3.1.4.4.3 und 3.1.4.4.4). Im Zuge der Erfassung der Griffigkeit mittels LPM hat sich gezeigt, dass bereits die wiederholte Messung der Griffigkeit (zur Beobachtung von Wiederholbarkeit bzw. stabilem Messwert) offensichtlich zu einer relevanten Veränderung derselben führt und daher auch als Poliersimulation in Betracht gezogen werden kann (Tabelle 22 bzw. Abbildung 49).

3.1.4.4 Alternativen zum SRT-Versuch

Angesichts oben diskutierter Probleme beim SRT-Versuch, besonders auf Grinding-Oberflächen, aber auch auf Grund einer nicht erklärlichen Diskrepanz zwischen Optik und Haptik auf der einen Seite und SRT-Werten auf der anderen Seite ist die Vertrauenswürdigkeit des SRT-Versuchs mit einer gewissen Skepsis beladen. Einige Strecken, z.B. 2 und 7 zeigen nach der Poliersimulation an Bohrkernen aus dem Pannestreifen geringere Griffigkeiten als auf den Hauptfahrstreifen, welche sich allerdings deutlich glatter als die laborpolierten Bohrkern anfühlten! Aus diesen Gründen wurden Anstrengungen unternommen, alternative Messsysteme zu finden, die für Griffigkeitsmessungen auf Grinding-Oberflächen geeigneter sind als SRT-Pendelungen oder diese zumindest verifizieren.

3.1.4.4.1 Gleitreibungsmessgerät

Als einfachste (aber womöglich nicht schlechteste) Alternative wurde angedacht, einen Reibkörper unter definierten Prüfbedingungen über die Grinding-Oberfläche zu ziehen und die dazu erforderliche Kraft zu messen.

Zur Vermeidung aufwändiger Eigenkonstruktionen wurde auf ein bestehendes Gerätesystem zurückgegriffen, das üblicher Weise zur Bestimmung des Gleitreibungskoeffizienten von eher glatten Bodenbelägen verwendet wird (Gleitreibungsmessgerät GMG-200 / GTE-Industrieelektronik GmbH gemäß DIN 51131 bzw. ÖN EN 13893, s. Abbildung 42).

Um den deutlich raueren Grinding-Oberflächen Rechnung zu tragen, wurde ein eigener Gleiter mit deutlich größerer Prüffläche gebaut, der zudem mit variabler Auflast versehen werden konnte. Gleichzeitig wurde die Versuchsanordnung adaptiert (vgl. Abbildung 43). Neben Grinding-Oberflächen wurden noch weitere raue Oberflächen wie Asphalte und Besenstrichbeton erfasst. Leider hat sich das Gerät in der vorliegenden (und nicht veränderbaren) Konfiguration z.B. hinsichtlich Einzugsgeschwindigkeit und Abtastrate als nicht geeignet erwiesen, die unterschiedlichen Niveaus der SRT-Prüfungen nachzuzeichnen, u.a.

auch deshalb, weil trotz sehr unterschiedlicher Oberflächen fast keine Wertespreizung erzeugt werden konnte.

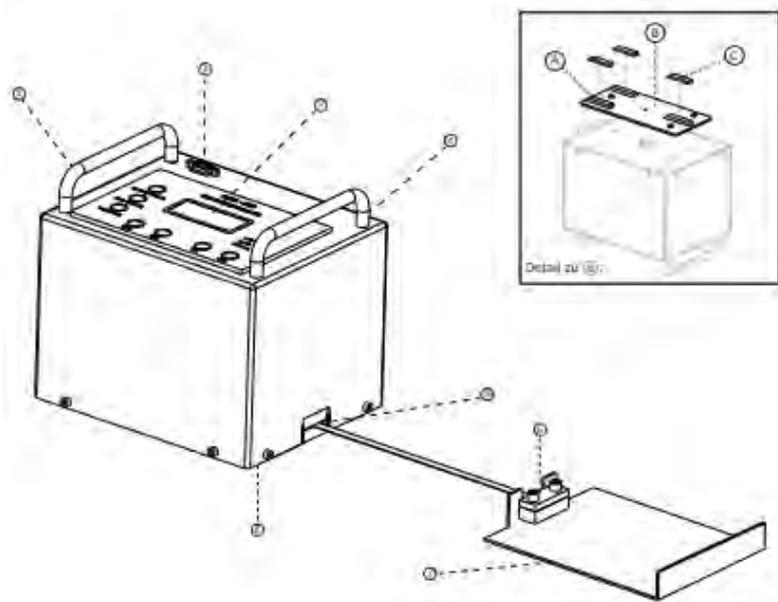


Abbildung 42: Gleitreibungsmessgerät GMG-200

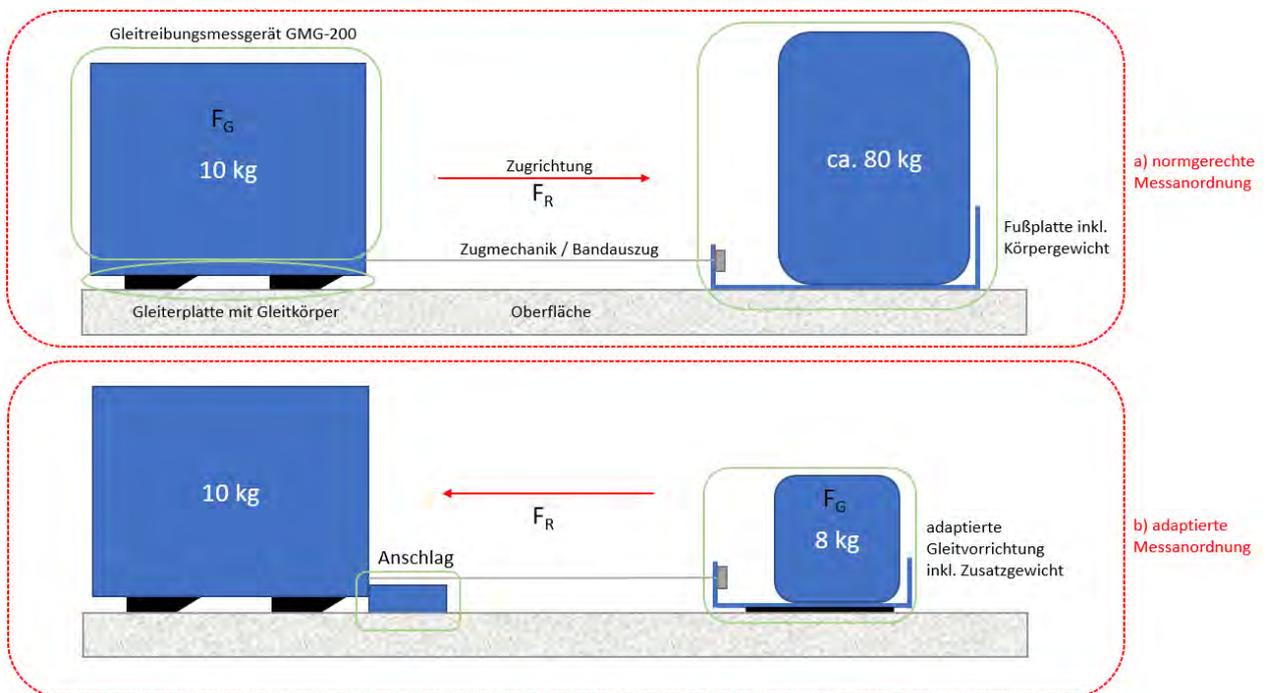


Abbildung 43: normgerechte (a) und adaptierte (b) Versuchsanordnung des Gleitreibungsmessgerätes GMG-200.

3.1.4.4.2 Indirekte Griffigkeitsmessung mittels LPM der TPA Trumau

Als deutlich vielversprechendere (aber auch aufwändigere) Möglichkeit wurde ins Auge gefasst, die in der TPA Trumau entwickelte Linearpoliermaschine (LPM, Abbildung 41), die in erster Linie zur alternativen Poliersimulation herangezogen werden sollte (Kap. 3.1.4.3), auch für die Griffigkeitsprüfung verwendbar zu machen. Dies hätte mehrere entscheidende Vorteile, insbesondere:

- Verwendung desselben Gerätes zur Poliersimulation und zur Griffigkeitsmessung (kein weiteres Gerät erforderlich, kein Umbau der eingebauten Probe nötig)
- Messung der Griffigkeit auf derselben Fläche und Flächengröße wie bei der Poliersimulation
- deutlich größere Prüfflächen als bei SRT-Prüfungen möglich
- gegebenenfalls Überwachung der Griffigkeitsveränderung während der Poliersimulation
- unterschiedliche Prüfbedingungen einstellbar (v.a. Vorschubgeschwindigkeit, Drehzahl, Auflast, Drehrichtung)
- Differenzierbarkeit unterschiedlicher Reibwerte an unterschiedlichen Stellen der Prüffläche

Grundsätzlich wäre somit die Möglichkeit der Griffigkeitsmessung mittels LPM einer SRT-Prüfung weit überlegen.

Um dies auch zu verifizieren, wurde ein System entwickelt, das es erlaubt, die in Abhängigkeit vom Reibwiderstand der Oberfläche variierende Stromstärke [A] zu messen. Damit sich die schleifende Polierrolle mit den definierten Einstellwerten (z.B. Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit) konstant bewegen kann, muss die Stromstärke je nach Oberflächenwiderstand automatisch angepasst werden. Dadurch kann mit der Stromstärke ein Reibwert-abhängiger Parameter in sehr kurzen Zeitintervallen laufend erfasst werden.

Im Zuge von Vorversuchen wurden auf einer definierten 155 mm langen Messstrecke einer spezifischen WB-Oberfläche (Bohrkern aus dem unbefahrenen Pannestreifen) Messungen durchgeführt. Dabei zeigen sich mehrere interessante und aufschlussreiche Phänomene:

- die Stromstärke zeigt deutliche Abhängigkeit von der Position an der Prüfstrecke bzw. von den lokalen spezifischen Oberflächenverhältnissen – ein Hinweis, wie unterschiedlich die Griffigkeiten im cm-Bereich sein können und wie relevant die Positionierung der Prüfstrecke besonders bei der SRT-Prüfung ist (Abbildung 44).
- mit jedem weiteren Übergang auf derselben Prüfstrecke war eine (abnehmende) Erniedrigung der über die Prüfstrecke gemittelten Stromstärke zu verzeichnen, wobei die Verringerung in harmonischer Weise einer Potenz-Funktion (gegebenenfalls auch Logarithmus-) zu folgen scheint (Abbildung 45). Der Verlauf dieser wiederholten Prüfungen erinnert auffällig an Wiederholungsprüfungen mittels der PWS-Anlage und auch dem SRT-Pendel und spiegelt die Polierleistung wider, die im Zuge einer Prüfung generiert wird.
- nach zahlreichen Wiederholungsmessungen zeigt sich bei graphischem Vergleich zweier aufeinander folgender Messungen kaum mehr ein Unterschied, weder in der mittleren Stromstärke, noch im Besonderen im Verlauf der Prüfstrecke (Abbildung 44). Dies spricht für eine sehr gute Wiederholbarkeit des ermittelten Stromstärkenverlaufs und somit für die grundsätzlich hohe Reproduzierbarkeit des Messsystems unter standardisierten Rahmenbedingungen (z.B. Temperaturen von Prüfmittel und Gerät, kontrollierte Gummiqualität etc.).

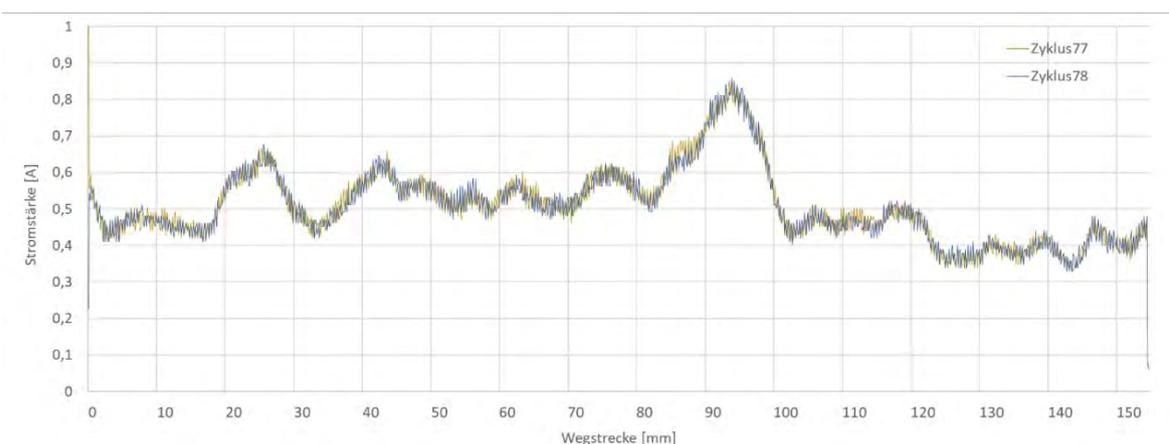


Abbildung 44: Wiederholbarkeit von zwei aufeinander folgenden Messungen auf bereits durch vielfache Prüfungen poliertem WB über eine Prüfstrecke von 155 mm.

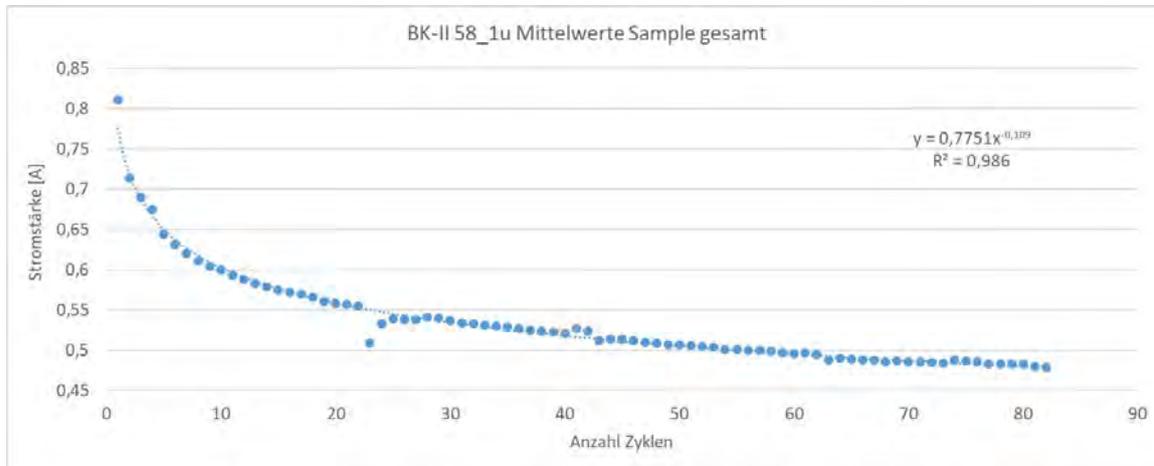


Abbildung 45: Entwicklung der mittleren Stromstärke bei wiederholten Messungen mittels LPM an selber Stelle eines WB-Bohrkernes aus dem Pannestreifen.

3.1.4.4.3 Korrelationen Labor- vs. Straßengriffigkeit auf Waschbeton (WB)

Als nächster Schritt wurde versucht, einen Zusammenhang zu etablierten Messsystemen herzustellen. Dazu wurden WB-Bohrkerne herangezogen, von denen sowohl μ RoadSTAR-Werte als auch μ PWS-Werte bereits existierten. An diesen Bohrkerne wurden zu Vergleichszwecken zusätzlich SRT-Werte (gem. TP) sowie LPM-Messwerte (aus dem 1. Zyklus = Zy1) ermittelt (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Vergleich der Messwerte verschiedener Griffigkeits-Messsysteme auf WB.

Probe	μ -PWS [1]	SRT-Wert nach TP [-]	LPM Zy1 [A]	μ -RS [1]
BK-II-58-1u	0,569	59,6	1,131	0,82
BK-II_58-2	0,492	58,2	1,034	0,69
BK-II-12-4	0,420	53,6	0,701	0,63
BK 29-2	0,399	46,0	0,773	0,54
BK-II-32-4	0,405	46,4	0,776	0,66
BK-II-8-3	0,382	47,8	0,750	0,58
BK-II-5-5	0,357	49,2	0,704	0,56
BK 7-2	0,320	42,6	0,665	0,54
BK-63-4	0,255	38,6	0,428	0,49
absolute Wertespreizung	0,314	21	0,703	0,33
relative Wertespreizung [% Max]	55	35	62	40

Bei Korrelationen der Messwerte zeigte sich, dass die LPM-Messwerte (Stromstärken) einerseits einen signifikanteren Zusammenhang zum Straßen-Messsystem RoadSTAR abbilden können als SRT (Abbildung 46) und andererseits LPM auch besser mit dem besten Labor-Messsystem PWS korreliert als das SRT-Pendel (Abbildung 47).

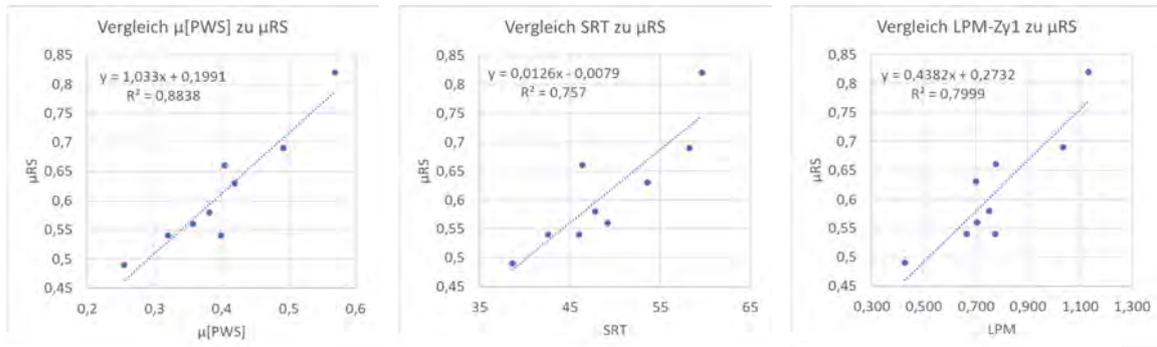


Abbildung 46: Vergleich der Laborgriffigkeits-Messsysteme PWS, SRT und LPM mit dem Straßengriffigkeits-Messsystem RoadSTAR an WB-Bohrkernen.

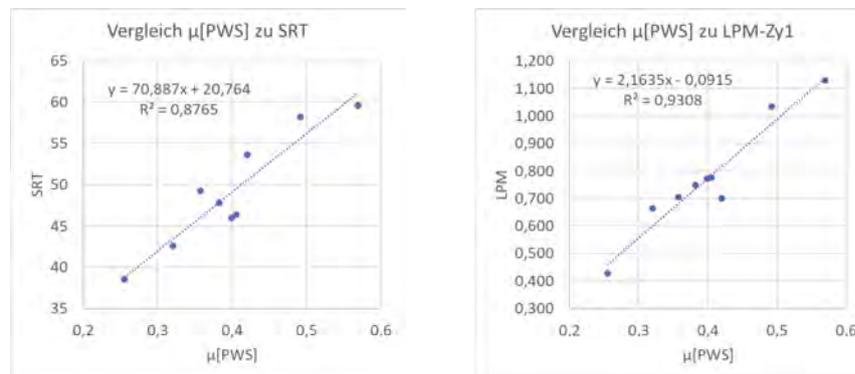


Abbildung 47: Vergleich des Laborgriffigkeits-Messsystems PWS mit SRT und LPM an WB-Bohrkernen.

Auf Basis dieser ersten Versuche auf isotropen Texturen kann somit die grundsätzliche Eignung der LPM als alternatives Griffigkeitsmesssystem im Labor festgestellt werden. Das System LPM weist gegenüber dem System SRT auf isotropen WB-Texturen auf Basis der Korrelationen und der verbesserten Wertespreizung (vgl. Tabelle 21) zumindest gleichwertige bzw. sogar etwas verbesserte Aussagekraft auf.

3.1.4.4.4 Korrelationen Labor- vs. Straßengriffigkeit auf Grinding-Oberflächen

Die Erkenntnisse am WB führten zur berechtigten Hoffnung, dass LPM gerade auf Grinding-Oberflächen dem SRT-Pendel überlegen sein könnte (allein wegen der größeren, gleichmäßig befahrenen Prüffläche). Zur Verifizierung wurden im Zuge der SRT-Messungen der HFS aller Strecken BK herangezogen, an denen auf exakt definierten Prüfflächen zunächst SRT-Versuche durchgeführt wurden, danach 10 LPM-Zyklen und schließlich nochmals SRT-Pendelungen nach LPM. An denselben BK wurden außerhalb der SRT / LPM-Prüfflächen zusätzlich versuchsweise PWS-Messungen durchgeführt. Ergänzend wurden die μRS-Werte von den Bereichen der entsprechenden BK-Entnahmestellen gegenübergestellt (Tabelle 22).

Tabelle 22: Vergleichende Untersuchungen SRT / LPM / RS / PWS an BK der HFS.

	SRT vor LPM [-]	SRT nach 10 Zykl. LPM [-]	μ RS [-]	PWS [-]	LPM [A]									
					Zyklus 1	Zyklus 2	Zyklus 3	Zyklus 4	Zyklus 5	Zyklus 6	Zyklus 7	Zyklus 8	Zyklus 9	Zyklus 10
1-HFS-1	54,14	47,54	0,59	0,424	0,627	0,496	0,442	0,408	0,385	0,370	0,358	0,352	0,345	0,340
2-HFS-1	54,79	47,44	0,67	0,510	0,717	0,580	0,520	0,481	0,453	0,432	0,416	0,402	0,390	0,380
3-HFS-2	47,02	39,59	0,59	0,425	0,467	0,373	0,339	0,321	0,310	0,303	0,298	0,294	0,290	0,288
4-HFS-2	46,09	42,74	0,53	0,381	0,627	0,463	0,405	0,373	0,354	0,343	0,335	0,331	0,327	0,325
5-HFS-2	52,24	45,39	0,69	0,447	0,580	0,456	0,405	0,375	0,356	0,343	0,335	0,329	0,324	0,320
6-HFS-3	51,14	43,52	0,64	0,528	0,630	0,506	0,449	0,416	0,394	0,379	0,368	0,363	0,353	0,348
7-HFS-3	56,97	48,66	0,73	0,512	0,677	0,557	0,504	0,471	0,448	0,430	0,414	0,401	0,391	0,382
8_1 HFS-3	49,08	40,57	0,56	0,422	0,518	0,421	0,378	0,353	0,336	0,325	0,316	0,310	0,304	0,300
9-HFS-2	59,47	50,52	0,65	0,532	0,631	0,512	0,460	0,427	0,402	0,385	0,371	0,360	0,353	0,347
10-HFS-1	45,42	40,46	0,56	0,465	0,466	0,414	0,386	0,368	0,354	0,344	0,336	0,329	0,323	0,319
11-HFS-1	45,16	38,24	0,45	0,389	0,445	0,362	0,329	0,314	0,304	0,298	0,297	0,293	0,290	0,287

Korrelationen zwischen den Straßengriffigkeiten μ RS und den Laborgriffigkeiten SRT, PWS und LPM an BK der HFS zeigen, dass alle drei getesteten Laborgriffigkeitsmesssysteme einen vergleichbaren mäßig signifikanten Zusammenhang zum RS aufweisen (Abbildung 48). Die prozentuellen Änderungen der Messwerte im Zuge von 10 LPM-Zyklen (Mittel > 40%) sind viel eklatanter als bei SRT (Mittel ca. 14% vor / nach LPM). Dies kann als Hinweis gewertet werden, dass LPM messtechnisch sensitiver ist bzw. größere Wertespreizungen verursacht (und damit in der Lage ist, unterschiedliche Oberflächen besser zu differenzieren). Interessant ist auch der Umstand, dass die rotierend messende PWS vergleichbare Zusammenhänge und Wertespreizungen wie die anderen beiden Labormesssysteme aufweist. Die relativen Wertespreizungen (in Relation zum jeweiligen Mittelwert) liegen bei SRT um 28%, bei PWS um 33% und bei LPM um 42%, auch hier differenziert die LPM am besten.

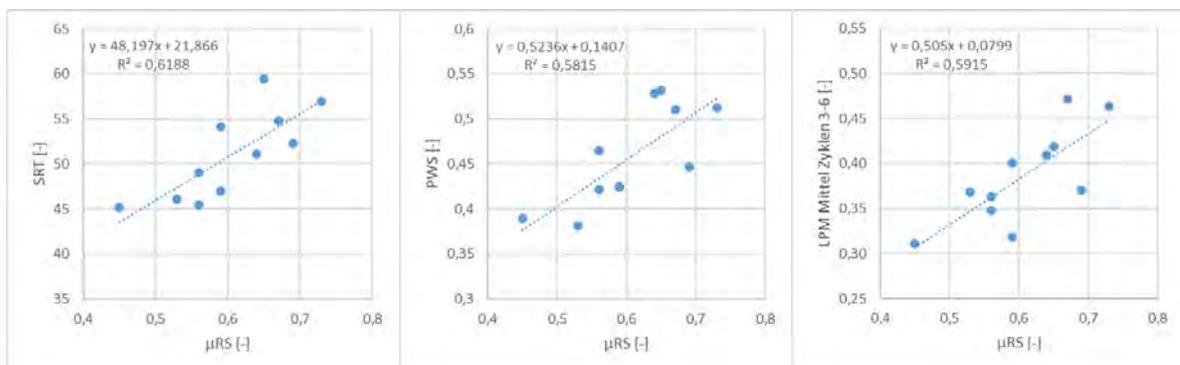


Abbildung 48: Korrelationen zwischen den Straßengriffigkeiten μ RS und den Laborgriffigkeiten SRT (links), PWS (Mitte) und LPM (rechts) an BK der HFS.

Die LPM ist also nicht nur geeignet, den Status quo der Griffigkeit zu erheben, sondern auch gleichzeitig Polierung zu simulieren (vgl. Abbildung 49). Dass diese auch tatsächlich stattfindet, verifizieren die abermaligen SRT-Messungen nach 10 Zyklen LPM (vgl. Tabelle 22).

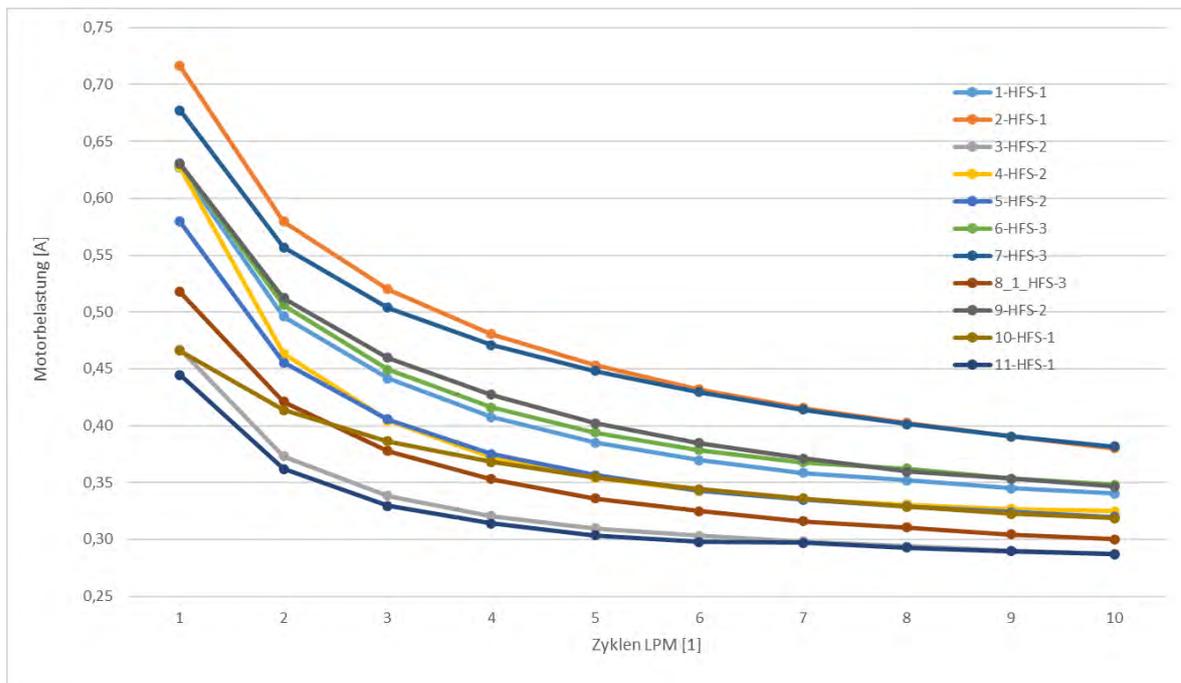


Abbildung 49: Verläufe der aufgezeichneten Stromstärken (bzw. Motorbelastungen) im Zuge hintereinander durchgeführter Messzyklen der LPM an BK der HFS (vgl. Tabelle 22).

3.1.5 Beobachtung der PWS-Poliersimulation mittels Rasterelektronenmikroskop

Zur simultanen visuellen Beobachtung der abgestuften Poliersimulation im Labor wurde ein Rasterelektronenmikroskop (REM) eingesetzt. Die analysierbare Probengröße ist dabei aber auf Grund der REM-Probenkammer und der Breite der PWS-Polierspur auf einige cm limitiert (max. Bohrkern-Durchmesser 60 mm). Zur Umsetzung dieses Vorhabens musste ein innovatives System etabliert werden, das es erlaubt, einen Teil eines Bohrkernes D 225 mm, wo mittels PWS nahezu lineare Polierung erfolgt (vgl. Abbildung 38), zu entnehmen, im REM zu beobachten und anschließend wieder in exakt gleicher Position im Bohrkern D 225 mm einzubauen. Dies wurde dadurch bewerkstelligt, dass ein kleiner Bohrkern D 60 mm herausgebohrt und in eine schmale Hülle gesteckt wurde, um sowohl verdreh- und kippstabil als auch positionstreu fixiert zu werden. Die Hülle wiederum konnte abmontiert und wiederholt in selber Position wieder sowohl in den großen Bohrkern D 225 mm, als

auch in eine Probenhalterung innerhalb des REM eingesetzt werden. Die Positionstreuung im Bohrkern D 225 mm gewährleistete vergleichbare Verhältnisse im Zuge der Laborpolierung mittels PWS und ermöglichte zudem, im REM beobachtete Punkte wieder zu finden und dadurch Entwicklungen im Zuge der gesamten Poliersimulation zu erfassen.

Dabei konnte sehr gut beobachtet werden, wie an den Grindingstegen der Zementstein erodiert wurde und wie tief die Polierwirkung an den Stegflanken graduell hinunter reichte („Eindringtiefe“ der Poliergummis) oder wie verschiedene Sande bzw. Gesteinsbruchstücke verändert wurden. In vielen Fällen zeigte sich die große Bedeutung polierresistenten Sandes. Besonders Quarzsand ist bei Vorliegen als bereits gerundeter Natursand in der Lage, trotz deutlicher Kantenrundung der Polierarbeit weitgehend zu widerstehen, wohingegen umgebender Zementstein erodiert wird. Dies führt zur Freistellung solcher Sande an der Oberfläche der Grindingstege bzw. sogar zum Herausarbeiten von im Originalzustand noch im Zementsteinesteg verborgenen Körnern der Sand- oder Schlufffraktion (Abbildung 50). Trotz Abrundung der Komponenten kommt es dadurch zu einem Erhalt oder sogar zu einer Regenerierung von Mikrotextrur, welche der Glättung der Körner antagonistisch entgegenwirkt und damit zu einer Verlangsamung des Griffigkeitsverlustes führt.

Die Polierresistenz ist stark mineralspezifisch: scharfkantiger Quarz (aus Brechsand) wird meist nur kantengerundet, wohingegen Feldspäte deutlicher gerundet und Karbonate im Extremfall sogar vollständig oberflächenparallel geglättet und auf das Niveau des umgebenden Zementsteines erodiert werden.

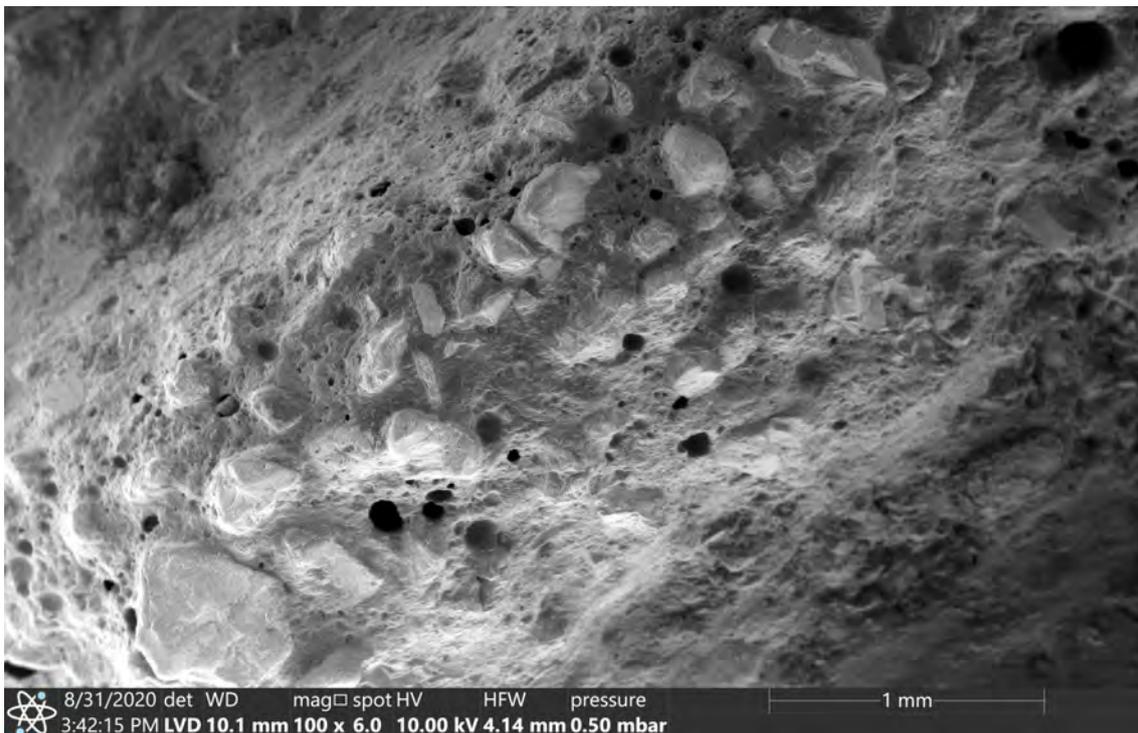
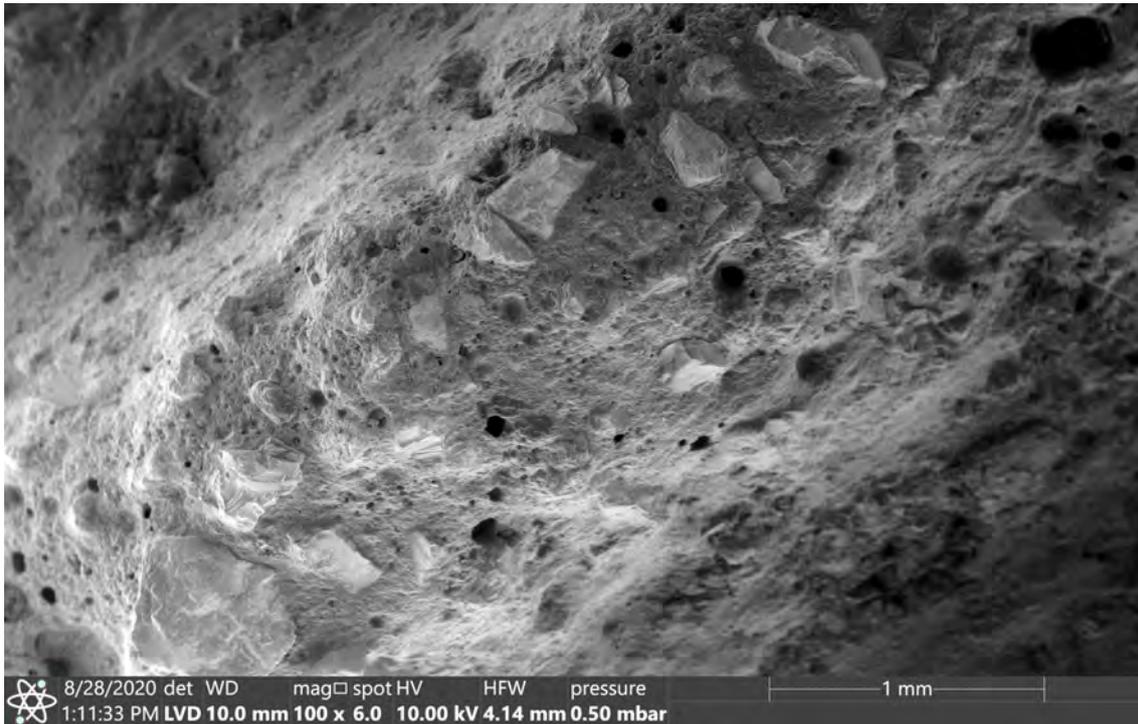


Abbildung 50: Herausarbeiten polierresistenter Quarz-Sandkörner aus dem Zementsteinsteig. Oben: nach 500 Überrollungen, unten nach 270.000 Überrollungen mittels PWS.

Bei den groben Gesteinskörnungen (gGk) konnten analoge Beobachtungen angestellt werden. Auch hier zeigte sich, dass bei den üblichen Hartgesteinen immer Quarz zu den polierresistentesten Mineralen zählt. Zu den Amphibolen und Feldspäten besteht nur ein geringer Härtekontrast (kaum Unterschied innerhalb der Feldspäte zwischen Plagioklas und Kalifeldspat), wohingegen ein großer Härtekontrast zu Karbonaten und Schichtsilikaten sichtbar wird. So kann etwa Quarz gegenüber Feldspäten oder Amphibolen durch intensive Polierung tatsächlich leicht herausgearbeitet und ein Höhenkontrast = Mikrotextrur generiert werden (vgl. Abbildung 51). Die zunehmende Kantenrundung und Nivellierung von noch feineren Mikrotextruren führt letztlich aber dennoch zu einer Verringerung der Reibwerte.

Karbonate hingegen tragen sowohl als gGk als auch als feine Gesteinskörnung (fGk) nur kurzfristig zur Anfangsgriffigkeit bei und werden im Zuge der Poliersimulation rasch extrem geglättet oder gar auf das Niveau des Zementsteines abgeschliffen.

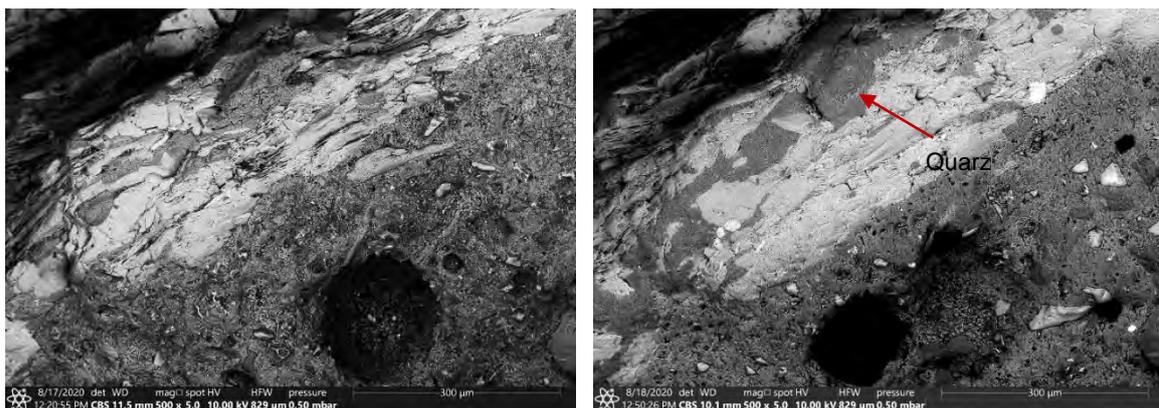


Abbildung 51: Gesteinskorn (Amphibolit) in einem Steg nach 500 Überrollungen (links) und nach 270.000 Überrollungen (rechts; mit rotem Pfeil markierter Quarz wurde freigestellt, der Zementstein in der unteren Bildhälfte wurde deutlich tiefergelegt).

Als günstige gGk in Hinblick auf die Griffigkeit haben sich feinkörnige Silikate (Rhyolithe) erwiesen, deren bruchraue Mikrotextrur entweder weitgehend erhalten bleibt oder durch fakultatives Ausbrechen porphyroblastischer Quarze sogar Nachschärfung erfährt (allerdings mit dem Preis der nicht unbedeutlichen Veränderung der Mikrotextrur und damit gegebenenfalls auch des Lärmverhaltens). Generell bemerkenswert ist der Umstand, dass trotz überwiegend nur geringer mikrotextrurer Veränderungen im Zuge der Poliersimulation (Glättung von Körnern und Tieferlegung des Zementsteines im Bereich von wenigen 10µm) die Griffigkeiten so stark reduziert wurden. Dies zeigt die große Bedeutung der mikrotextruren Verhältnisse, sowohl im Bestand als auch für die langfristigen Entwicklung.

Mikromorphologische und mineralogische Erkenntnisse aus den REM-Beobachtungen nach Poliersimulation können wie folgt zusammengefasst werden:

- fGk
 - bei Natursand höchstens geringfügige weitere Rundung/Glättung
 - scharfkantiger Q (Quarz) wird meist nur kantengerundet
 - Feldspäte deutlicher und rascher gerundet
 - Karbonate im Extremfall sogar vollständig oberflächenparallel geglättet und auf das umgebende Zementsteinniveau heruntergeschliffen
- gGk
 - Bei den üblichen Hartgesteinen ist meist Quarz das polierresistenteste Mineral – die Ritzhärte nach Mohs scheint eine vernünftige Orientierung hinsichtlich der Einschätzung des Härtekontrasts zu liefern; z.B. relativ geringer Härtekontrast von Quarz zu Feldspäten (und kaum Unterschied innerhalb der Feldspäte zwischen Plagioklas und Kalifeldspat beobachtet) und zu Amphibolen (gegebenenfalls weniger resistent als Feldspäte), hingegen großer Härtekontrast zu Karbonaten und Schichtsilikaten
 - durch Härtekontrast zu anderen Mineralen kann Höhenkontrast = Mikrotextr im Zuge der Poliersimulation generiert werden (aber: Antagonist Kantenrundung und Glättung der Mineraloberflächen)
 - große Quarz-Porphyroblasten des Rhyoliths oder Quarz-Körner des Sandsteines können zu Ausbruch neigen und damit die lärmtechnischen Eigenschaften verschlechtern
- Tieferlegung / Erosion des Zementsteines
 - stark poröse Partien werden rascher erodiert
 - Mikrorisse dürften Ausbrüche fördern
 - vertikale Erosion im Bereich von wenigen 10 µm nach 270.000 Überrollungen mittels PWS-Poliersimulation; Erosion auch stark von relativer Höhenlage des Zementsteinsteiges in Relation zur Umgebung abhängig
 - Regenerierung der Mikrotextr durch Freilegen tiefer sitzender polierresistenter Körner im Zuge der PWS-Poliersimulation
 - meist (monomineralische) Feinsand – Grobschluffpartikel

- Quarz und harte Silikate (z.B. Granate, Amphibole) werden analog des Prinzips Härtekontrasts bei gGk freigelegt und gleichzeitig kantengerundet
 - Feldspäte werden dabei stark gerundet, nur gröbere Körner herausgearbeitet (kleinere ebenfalls nivelliert)
 - Karbonate werden zusammen mit Zementstein simultan auf gleichem Niveau eingeebnet
- Stegbrüche
 - vmtl. stärkster Einfluss: Grinding-Geometrie: eher niedrige Stege v.a. aber mit flachen Flanken vorteilhaft
 - Hinweise von Zusammenhängen zu Grobporen-Reichtum und glatten runden Sandkörnern, gegebenenfalls auch zu schlechtem Verhältnis Sand/Zementstein (wenig gröberer Sand im Zementstein)
 - gegebenenfalls Ebenheitsgrinding im Vorfeld sinnvoll, um Ausbrüche an den Stegen zu vermindern

Die REM-Analysen haben gezeigt, dass sich die Makrotextur praktisch nicht verändert. Die Mikrotextur ändert sich vorwiegend durch Kantenrundung und spezifische Glättung des Gesteinszuschlages sowie durch Erosion und Glättung des Zementsteines. Beide Phänomene erklären nicht die beobachtete Zunahme der Lärmbelastung auf der Straße nach wenigen Jahren (gegebenenfalls sind diese einer geringeren Lärmemission sogar zuträglich). Nachdem REM-Beobachtungen von Ausbrüchen von z.B. Quarz-Porphyroblasten oder verwitterungsanfälligen Sandsteinen relativ selten und in geringem Ausmaß stattfanden, muss davon ausgegangen werden, dass die Lärmzunahme primär von anderen Einflüssen gesteuert wird. Besonders auf mitteleuropäischen Straßen auftretende Frost-Tau-Wechsel in Kombination mit Einsatz von Taumitteln sowie gegebenenfalls ungleichmäßige mechanische Belastungen durch Fahrzeugreifen (z.B. durch Bremsmanöver oder Spurwechsel) sind in der Lage, Stegausbrüche herbeizuführen. Diese stehen im Verdacht, für Zunahme des emittierten Lärmes bei Überfahrung im Zuge der Gebrauchsdauer verantwortlich zu sein. Demnach dürfte stabilen Stegen in Hinblick auf dauerhaft niedriges Lärmniveau eine zentrale Bedeutung zukommen. Aus dem Spektrum der untersuchten Strecken würde demnach die A5, RFB Frankfurt am ehesten den angestrebten lärmtechnischen Eigenschaften entsprechen. Gleichzeitig zeigt sich, dass bei dieser Strecke auch die längerfristige Ab-

nahme der Griffigkeit nur langsam vor sich gehen dürfte, was ebenfalls für stabile Verhältnisse spricht, bei denen sich auch die Mikrotextur nur wenig verändert und besonders auf geringfügige Kantenrundung und Glättung harten (quarzreichen) Gesteins beschränkt.

3.1.6 Schlussfolgerungen aus den Labor-Erkenntnissen

Die Schlussfolgerungen aus den Labor-Erkenntnissen zu Textur, Griffigkeitsverhalten nach Poliersimulation sowie mikromorphologischen / petrographischen Beobachtungen lassen sich in Hinblick auf neu herzustellende Deckenbetone mit Grinding-Texturen wie folgt zusammenfassen:

- Texturgeometrien:
 - vmtl. flache Flanken der Stege (durch z.B. geringe Steghöhen bzw. Rillentiefen) zur Verminderung von Stegbrüchen sinnvoll
 - viele schmale eng nebeneinander liegende Stege erhöhen die Gesamtstegfläche: durch Lastverteilung sind geringere Polierwirkung am Einzelkorn und weniger Stegbrüche zu erwarten
- Mineralogisch-petrologische Kriterien für Festigkeit und Polierresistenz der Stege:
 - fGk
 - möglichst hoher Quarz-Anteil (oder alternativ: harte Silikate) in der Sandfraktion, gegebenenfalls auch im Grobschluff!
 - hohen PWS-Wert berücksichtigen; Quarz-Natursand mit hohem PWS-Wert wird diesen vmtl. im Zuge der Gebrauchsdauer weitgehend behalten
 - Quarz-Brechsand wird vmtl. noch höhere Anfangsgriffigkeiten aufweisen, die sich dann auf dem (hohen) Niveau eines Natursandes einpendeln
 - gGk
 - möglichst geringe Mineralkorngröße im Gesteinskorn, z.B. Rhyolith, aber: Steine mit Quarz-Porphroblasten neigen zum Ausbrechen dieser Quarze, was zwar zur Nachschärfung, aber auch zu einer unerwünschten Lärmerhöhung führen kann
 - reine Quarze oder Quarzite u.U. von Nachteil wegen vermehrter spröder Ausbrüche im Zuge des Grindingvorgangs und des Gebrauches (Befahrung, Verwitterung)
 - PSV-Wert als Hinweis zur Polierresistenz brauchbar

- Rundkorn steht im Verdacht, geringere Zementsteinhaftung aufzuweisen und damit Schwachstellen für Stegbrüche darzustellen

3.2 Rollgeräuschmessungen – CPX

Zur Bewertung der akustischen Fahrbahneigenschaften werden Analysen von Rollgeräusch-Messreihen nach dem CPX-Verfahren (EN ISO 11819-2) durchgeführt. Ziel dieser Analysen ist es einerseits, das akustische Alterungsverhalten der Grinding-Bauweise nachzuvollziehen, andererseits die Auswirkungen unterschiedlicher Grinding-Geometrien (vor allem in Hinblick auf die Segmentbreite und der Segmentabstand) zu untersuchen. Der zur Verfügung stehende Datensatz setzt sich dabei aus Messungen aus Vorprojekten (GROOVE, INGGO, A02 Wr.Neudorf) als auch durch Messungen im Zuge von TexPlus zusammen. Ergänzend wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen weitere Datensätze bereitgestellt. Messungen wurden dabei sowohl mit dem P1- als auch dem H1-Reifen durchgeführt (ASTM SRTT bzw. Avon AV4).

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Rollgeräuschmessungen analysiert. Im Zuge der statistischen Auswertungen ist dabei zu beachten, dass der Datensatz in mehrerer Hinsicht inhomogen ist:

- verschiedene Messstellen kommen unterschiedlich oft im Datensatz vor.
- verschiedene Messstellen sind mit unterschiedlicher Streckenlänge im Datensatz.
- teilweise sind mehrere Fahrstreifen einer Messstelle im Datensatz, die als separate Datenpunkte angesehen werden.

3.2.1 Zeitliche Entwicklung der CPX-Pegel

Durch die Verkehrsbelastung sowie durch den Winterdienst kommt es zu Veränderungen in der Oberflächentextur von Fahrbahndeckschichten. Dies führt zu einer Degradation der akustischen Eigenschaften der Messstellen. Als erste Übersicht ist die Altersverteilung der P1-Datensätze in Abbildung 50 dargestellt. Aus dem Histogramm ist eine Häufung von Messdaten bei geringem Deckschichtalter zu sehen, was auf die neu eingeführte Bauweise zurückzuführen ist. Bei der Analyse des Datensatzes ist diesem Umstand Rechnung zu tragen: die im Folgenden gezeigten Zeitverläufe können als Trend angesehen werden, Einflüsse durch Anpassungen in der Bauweise wie auch zunehmende Erfahrung in der Herstellung von Grinding-Texturen können das rein bautechnische Alterungsverhalten aber überlagern.

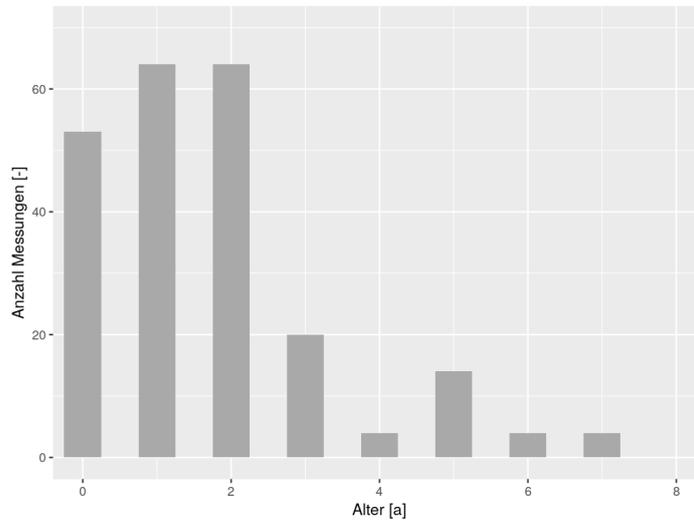


Abbildung 52: Jährliche Anzahl aller CPX-Datensätze (P1); das Alter der Messstellen ist nur gerundet auf ganze Jahre bekannt.

In Abbildung 51 wird die äquivalente Graphik für den H1-Reifen gezeigt. Im Vergleich zum P1-Reifen existieren für den Lastkraftwagen repräsentierenden H1-Reifen nur Datensätze zu jüngerem Alter. Die verschiedenen im Weiteren gezeigten Modellierungen müssen daher mit höherer Unsicherheit behaftet interpretiert werden.

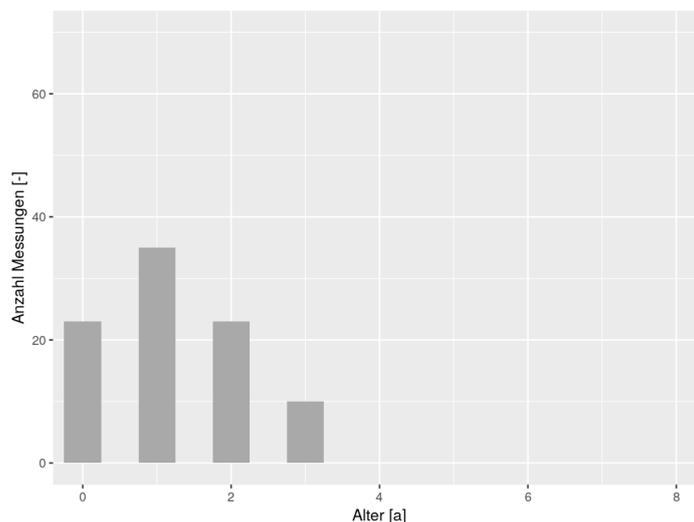


Abbildung 53: Jährliche Anzahl aller CPX-Datensätze (H1); das Alter der Messstellen ist nur gerundet auf ganze Jahre bekannt.

In Abbildung 52 ist die altersabhängige Zusammenstellung der Messergebnisse für den P1- bzw. H1-Reifen (Abbildung 53) nach ISO 11819-2 dargestellt. Da das Alter der einzelnen Messstellen nur gerundet auf ganze Jahre bekannt ist, wurden die einzelnen Datenpunkte

zur besseren Visualisierung mit einem leichten Jitter auf der Abszisse dargestellt. Die weiteren Berechnungen beziehen sich aber jeweils auf das ganzzahlige Jahresalter. Zusätzlich zu den Datenpunkten ist ein linearer (negativ exponentieller) Fit nach

$$L_{CPX;P1}(t) \sim e^{-t}$$

eingezeichnet. Man erkennt daraus einen signifikanten Trend der Zunahme der CPX-Pegel, wobei die Unsicherheiten zu Messstellen mit geringem Alter sichtlich ausgeprägt sind. Das zeigt sich auch in einem Standardfehler der Regression von ca. 1,0 dB bei einer Spannweite der Eingangswerte von 5,4 dB (P1-Reifen) bzw. 1,0 dB bei einer Spannweite von 5,0 dB (H1-Reifen). Aus der Modellierung ergibt sich hiermit eine Schätzung des zu erwartenden Ausgangs-CPX-Pegels von 96,3 dB sowie ein CPX-Pegel von 98,5 dB nach 7 Jahren (97,9 dB zu Beginn bzw. 100,5 dB nach 3 Jahren für den H1-Reifen). Zu beachten ist bei den Zeitreihenanalysen, dass die Datensatzgröße wie schon aus den Histogrammen ersichtlich mit zunehmendem Alter deutlich abnimmt. Eine Weiterführung des Monitorings ist daher zur Absicherung der statistischen Auswertungen wichtig.

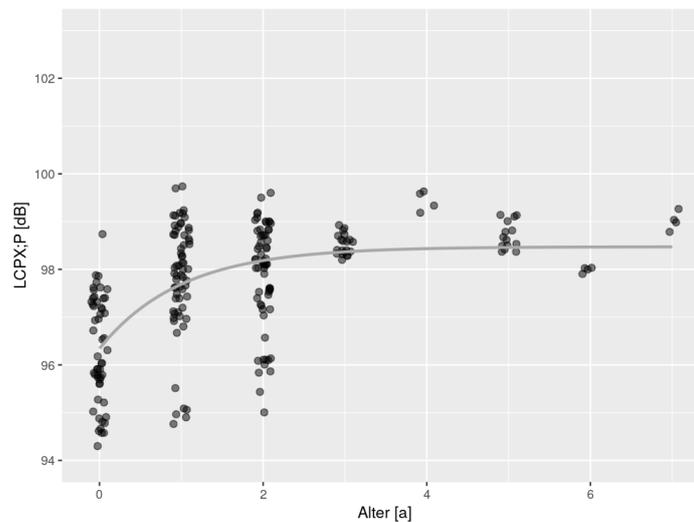


Abbildung 54: Zeitreihe aller CPX-Datensätze (P1); das Alter der Messstellen ist nur gerundet auf ganze Jahre bekannt, zur besseren Visualisierung wurden die einzelnen Datensätze daher mit einem leichten Jitter auf der x-Achse versehen.

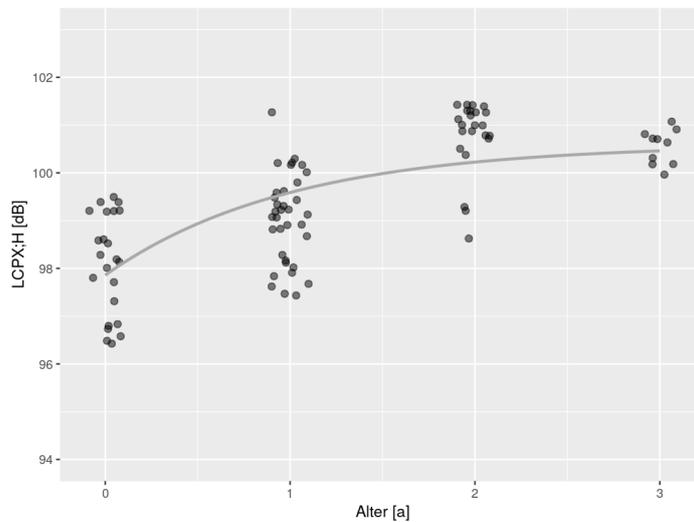


Abbildung 55: Zeitreihe aller CPX-Datensätze (H1); das Alter der Messstellen ist nur gerundet auf ganze Jahre bekannt, zur besseren Visualisierung wurden die einzelnen Datensätze daher mit einem leichten Jitter auf der x-Achse versehen.

3.2.2 Terzbandbetrachtung

Um weiter in die Ursachensuche der Wirkmechanismen der Rollgeräuschreduktion durch Grinding-Texturen zu gehen, wurden für einzelne Messstellen terzbandaufgelöste Zeitreihenanalysen für den P1-Reifen durchgeführt. Eine gesamtheitliche Betrachtung aller Messstellen ist aktuell nicht möglich, da einerseits für viele Messstellen nur Gesamtpegel verfügbar sind, andererseits für weitere Messstellen nur kurze bzw. lückenbehaftete Zeitreihen herangezogen werden könnten. Daher wird hier exemplarisch das Alterungsverhalten der österreichischen Messstrecke A05 – Schrick gezeigt, die zwischen 2017 und 2020 insgesamt vier Mal vermessen wurde. Anstelle der Einzelmessergebnisse wird in Abbildung 54 der linear modellierte Altersverlauf in Terzbändern dargestellt. Zusätzlich ist in der Graphik das Spektrum einer Referenzmessstelle (Waschbetondecke der Gegenrichtungsfahrbahn der Messstelle) in schwarz angegeben, wobei die strichlierten Linien die maximal bzw. minimal auftretenden CPX-Pegel im Referenzabschnitt angeben. Man erkennt anhand des farblich dargestellten modellierten Altersverlaufs ab 800 Hz eine stetige Zunahme des CPX-Pegels mit steigendem Alter. Dieser erreicht im (den Gesamtpegel dominierenden) Frequenzbereich von 800 bis ca. 1600 Hz Werte, die in etwa den minimal auftretenden Pegeln der Referenzstrecke entsprechen, zu höheren Frequenzen hin werden nach anfänglich sehr niedrigen Rollgeräuschemissionen durchaus vergleichbare bis hohe Pegel im Vergleich mit der Referenzstrecke erreicht. Tieffrequent im Bereich, in dem Reifen- bzw. Mantelschwingungen zu den hauptsächlichen Schallentstehungsmechanismen zählen, ist im

Gegensatz dazu kein starkes Alterungsverhalten zu sehen. In diesem Bereich bleibt auch die im Vergleich zur Referenzstrecke gute Rollgeräuschminderung über den betrachteten Zeitraum erhalten.

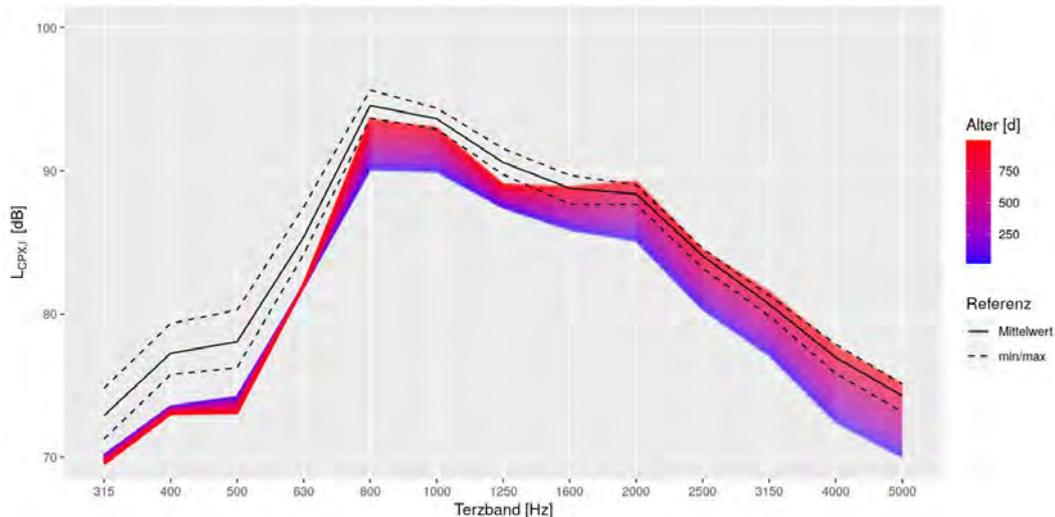


Abbildung 56: Zeitliche Entwicklung der Terzbanddaten am Beispiel der österreichischen A05. Der farblich markierte Bereich zeigen das Ergebnis einer linearen Alterungsmodellierung der CPX-Terzbanddaten. Die durchgezogene schwarze Linie zeigt als Vergleich die mittleren Messergebnisse einer Referenzstrecke in Waschbetonbauweise, die strichlierten Linien die maximal bzw. minimal auftretenden CPX-Werte dieser Messstrecke.

In selber Weise wurden einzelne weitere Grinding-Strecken, für die Zeitreihen vorliegen, analysiert. Im Vergleich zeigen sie ein ähnliches Verhalten, vor allem der im Betrachtungszeitraum erreichte Endzustand der Frequenzzusammensetzung ist gleichartig. Eine Erweiterung der Datenbasis, vor allem aber auch ein weiteres Monitoring der Messstrecken, für die detaillierte Zeitreihendaten vorliegen, ist für eine Absicherung der beschriebenen Zusammenhänge allerdings wichtig.

Während im Zusammenhang mit den physikalischen Wirkmechanismen die tieffrequente Verringerung der Rollgeräuschpegel eingängig ist, stellt sich weiterhin die Frage, welche Mechanismen mittel- und hochfrequent zu den anfangs niedrigen Rollgeräuschemissionen bzw. deren Rückgang führen. Inwieweit strömungsakustische Mechanismen, die als hochfrequent wirksam angenommen werden, durch die Grinding-Texturen beeinflusst werden, kann aus einer reinen Betrachtung der Pegelminderungen nicht abgeschätzt werden. Hier könnten beispielsweise Simulationsansätze im Reifen/Fahrbahn-Kontaktbereich weiter Aufschluss geben.

3.2.3 Statistische Analyse des Einflusses der Steggeometrien

Basierend auf den Zeitreihen der Messergebnisse der Rollgeräuschdaten wurden statistische Analysen zum Einfluss der Grinding-Geometrien (Segmentabstand S_A sowie Segmentbreite S_B) unter Berücksichtigung des Alters t durchgeführt. Die Analysen beruhen dabei auf den Annahmen, dass die grundlegenden Grinding-Geometrien einen merklichen Einfluss auf das Rollgeräusch aufweisen. Zu beachten ist dabei die Verteilung der Messdatensätze auf die Geometrien, die in Tabelle 19 angegeben ist.

Tabelle 23: Anzahl der CPX-Messwerte zu Segmentbreiten (Zeilen) und Segmentabständen (Spalten)

	1 mm	1,4 mm	1,6 mm	1,8 mm	2 mm	2,2 mm
2 mm	60	0	0	0	0	0
2,4 mm	0	26	0	24	0	6
2,5 mm	0	0	0	0	0	1
2,5 mm	0	0	32	0	4	74

Wie schon zuvor sind alle Einzelmessungen in der Tabelle als Datenpunkt angeführt, d.h. Messungen an unterschiedlichen Fahrstreifen derselben Messstelle am selben Tag werden als separater Datenpunkt betrachtet. Aus der Tabelle geht deutlich hervor, dass nur wenige Geometrie-Kombinationen tatsächlich vorliegen. Dies ist bei der weiteren Analyse zu beachten, ebenfalls der Umstand, dass in erster Linie Geometrien aus der Hauptdiagonale der Matrix besetzt sind und somit die statistischen Untersuchungen zu den Wechselwirkungen zwischen Segmentabstand und Segmentbreite mit hohen Unsicherheiten behaftet sind.

Die grundlegende Modellform zur Bewertung des Einflusses des Segmentabstandes und der Segmentbreite für die betrachteten Deckschichteigenschaften E kann damit nach

$$E \sim t + S_A + S_B$$

formuliert werden. Der dazugehörige Datensatz ist in Abbildung 55 dargestellt. Dabei wird schon in den einzelnen Panels (aufgeteilt nach Segmentbreite) sowie farblich kodiert (Segmentabstand) auf die unterschiedlichen Grinding-Geometrien Bezug genommen. Der einzelne Datenpunkt zu einer Segmentbreite von 2,5 mm ist dabei nicht angeführt. Ebenfalls wird ein Teil des Datensatzes über die Symbolform hervorgehoben. Es handelt sich dabei um eine Messung der deutschen Messstelle A05 bei Bruchsal, die aufgrund ihrer zeitlichen Entwicklung Auffälligkeiten zeigt. Der Mittelwert der Messstelle (über alle Geometrien) zu dem Zeitpunkt (im Jahr 2016) hebt sich mit 98,8 dB deutlich über das Messstellenmittel ein

Jahr später (97,0 dB) ab bzw. erreicht den ermittelten Wert mit 98,6 dB erst im Jahr 2018. Eine weitere Messung im Jahr 2016 wies dabei einen Mittelwert von 95,1 dB auf, die Erstmessung im Jahr 2015 einen Wert von 95,4 dB. Damit scheint ein Verwerfen des Datensatzes als gerechtfertigt.

|

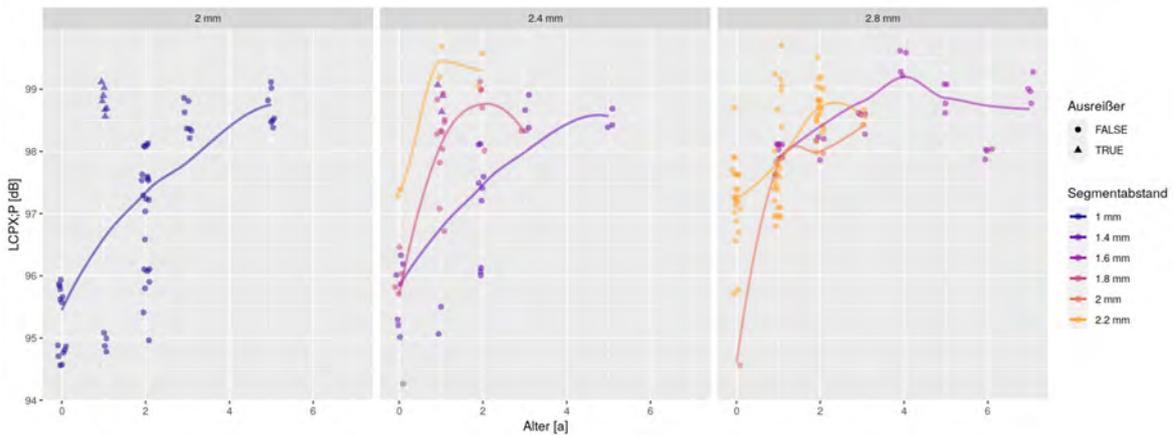


Abbildung 57: Zeitreihen aller CPX-Messdaten (Reifen P1), aufgeschlüsselt nach Segmentbreiten und Segmentabständen. Die Ausreißer der deutschen A05 - Bruchsal sind durch Dreiecks-Symbole gekennzeichnet, die Loess-Fits beziehen sich auf die jeweils farblich gruppierten Datensätze (inklusive Ausreißer).

Die Messergebnisse sind sichtlich stark vom Alter der Deckschicht zum Zeitpunkt der Messung abhängig. Da die Zeitabhängigkeit in allgemeiner Form als nichtlinear angenommen wird, kann in einer weiteren Betrachtung der Datensatz vor der Modellierung in Bezug auf das Deckschichtalter normalisiert werden. Dazu wird zu jedem auf ein ganzes Jahr gerundetem Alter der nach Abschnitt 3.2.1 modellierte Alterswert des Datensatzes als Relativwert subtrahiert. Damit ergibt sich eine angepasste Modellform für die normalisierte Deckschichtteigenschaft E_t

$$E_t \sim S_A + S_B$$

Der damit erzeugte Datensatz wird in Abbildung 56 gezeigt.

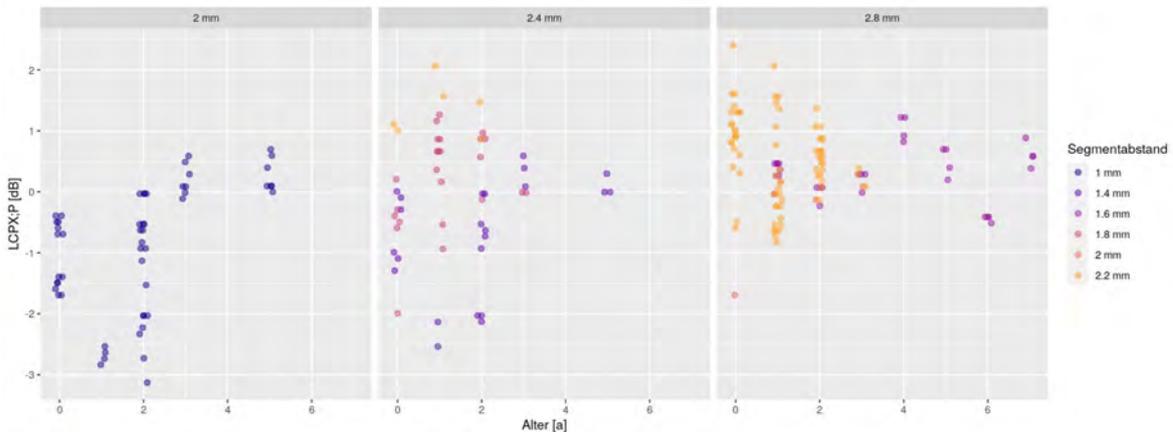


Abbildung 58: Zeitreihen der Ausreißer-bereinigten CPX-Messdaten (Reifen P1), aufgeschlüsselt nach Segmentbreite und Segmentabständen. Das Alterungsverhalten wurde basierend auf einer Modellierung des Gesamtdatensatzes korrigiert.

Auf der Basis dieses Datensatzes wird nun die lineare Modellierung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 angegeben. Bei einem Standardfehler der Regression von ca. 0,8 dB und einem Bestimmtheitsmaß von 0,34 wird der Segmentabstand der Grinding-Texturen als wesentlicher Einflussfaktor identifiziert, ein höherer Abstand führt zu höheren Rollgeräuschpegeln. Die Segmentbreite der Grinding-Texturen wird in der Modellierung als nicht signifikant erachtet, wobei dies bis zu einem gewissen Grad auch direkt aus Abbildung 56 ablesbar ist. Niedrige CPX-Pegel treten hier bei allen drei im Datensatz vorhandenen Segmentbreiten auf, höhere Schallemissionen sind aber in erster Linie bei höheren Segmentabständen – vor allem bei geringem Alter der Messstelle – zu beobachten.

Tabelle 24: Ergebnis der linearen Modellierung der Einflussfaktoren Segmentabstand und Segmentbreite auf das Rollgeräusch

	Schätzung	Standardfehler	t-Wert	Pr(> t)
Schnittpunkt	-2,58	0,542	-4,75	3,66e-6
Segmentabstand Grinding	1,053	0,231	4,560	8,59e-6
Segmentbreite Grinding	0,320	0,333	0,963	3,37e-1
RSE	0,836			
R ²	0,339			

In einer weiteren Modellierung wurde auf die Frage eingegangen, ob möglicherweise nicht der Segmentabstand und die Segmentbreite für sich, jedoch deren Verhältnis Abstand zu Breite als bestimmender Faktor herangezogen werden sollten. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen dabei vergleichbare Modellparameter wie die unabhängige Modellierung.

Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass die Spannweite des Segmentabstandes das Verhältnis der beiden Parameter dominiert und damit wiederum vor allem der Segmentabstand als bestimmender Parameter in die Modellierung eingeht.

3.3 3D-Textur

Im Zuge der Auswertungen der 3D-Textur-Messungen wurden neue, an die Grinding-Texturen angepasste Parameter entwickelt. Diese werden in den folgenden Unterabschnitten kurz vorgestellt. Basierend auf den Parametern werden beispielhaft Analysen zur Clustierung der Deckschichttypen und Grinding-Geometrien durchgeführt. Abschließend werden Zeitreihen des Testabschnitts der österreichischen A05 bei Schrick gezeigt, um mögliche Änderungen bzw. Entwicklungen der Oberflächengeometrien zu veranschaulichen.

3.3.1 Hohlraumvolumen zwischen Reifen und Fahrbahn

Um den im Reifen/Fahrbahnkontakt verbleibenden Hohlraum zu untersuchen, wurde basierend auf einem Kontaktmodell die Gummiverformung im Latsch des Reifens berechnet. Dazu wurde im Preprocessing der betrachtete Texturpatch nivelliert und anschließend schrittweise mit einer deformierbaren Ebene belastet, bis ein gewählter Druck auf die Oberfläche aufgebaut ist. Ein Beispiel des sich daraus ergebenden Hohlraumes ist in Abbildung 57 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass es im Beispiel durch die gleichmäßige Auflagefläche zu einem nur geringen Eindringen der deformierten Ebene in die ca. 2,5 mm breiten Rinnen kommt.

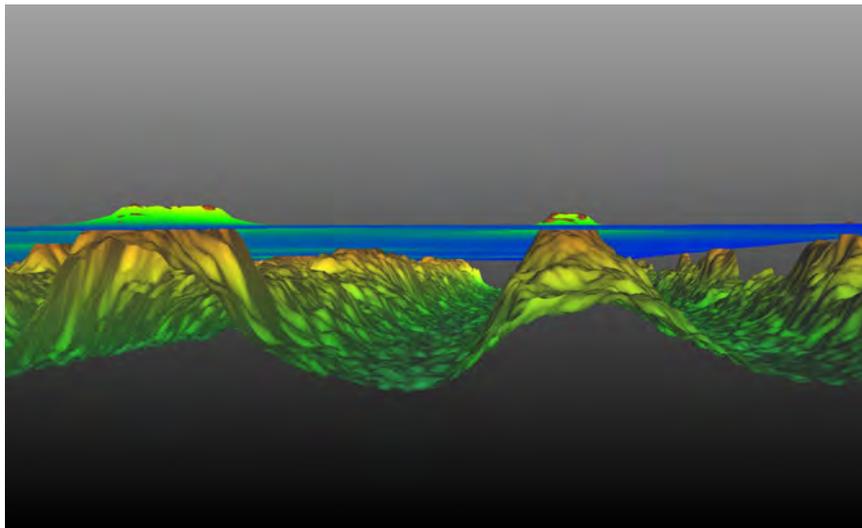


Abbildung 59: Beispiel für das verbleibende Hohlraumvolumen zwischen Grinding-Textur und Eindringtiefe eines als deformierbare Ebene modellierten Reifens.

3.3.2 Stegdetektion

Aufgrund der zu erwartenden Dominanz der Stege in der Reifen/Fahrbahninteraktion wurde ein Algorithmus entwickelt, der darauf abzielt, die Grindingstege im Texturbild zu identifizieren. Damit werden spezifische Analysen der Stegstrukturen ermöglicht, die im Gegensatz zu einem Höhenschnittbild nicht von lokalen Degradationen des Steges abhängig sind. Berechnungen von Texturparametern in diesen Bereichen mit anschließendem Modellierungsansatz sollen damit dedizierte Geometrien aufzeigen, die in Wechselwirkung mit den Fahrbahneigenschaften Rollgeräusch und Griffigkeit stehen.

3.3.3 Detektion von Stegbrüchen

Hervorstechender Parameter im Zusammenhang mit der Stegdetektion sind Bewertungen der einzelnen Stege in Hinblick auf ihre longitudinale Homogenität. Neben allgemeinen Parametern wie der kumulierten Gradienten der Stege, die einen allgemeinen Blick auf die Homogenität der Höhenverläufe geben, werden spezifisch Untersuchungen in Hinblick auf die auftretenden Stegbrüche durchgeführt. Dazu wurde ein Detektionsalgorithmus zu Stegbrüchen entwickelt. Dieser basiert auf dem im 60%-Perzentil der Höhenverteilung getrennten Texturdatensatz, der anschließend in Bilddaten umgesetzt wird. Diese Bilddaten werden mit einem Kernel, der einen Stegbruch repräsentiert, gefaltet und anschließend mit den Ergebnissen der Stegdetektion zusammengeführt. Dadurch entsteht eine dem Texturpatch entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung für Stegbrüche. Abschließend werden mittels Schwellwert Bereiche hoher Wahrscheinlichkeit als Stegbruch klassifiziert und lokal geclustert. Ein Beispiel für die Stegbruchdetektion ist in Abbildung 58 angegeben, wobei die blau umrahmten Bereiche automatisch detektierte Stegbrüche ausweisen. Dabei ist anzumerken, dass die Anzahl an gefundenen Stegbrüchen merklich von den eingestellten Parametern des Detektionsalgorithmus abhängt, für eine hohe Genauigkeit müssen diese schrittweise an die Aufgabenstellung angepasst werden. In Bezug auf relative Aussagen im Vergleich verschiedener Texturpatches ist hierbei jedoch von korrelierendem Verhalten bei gleichen Parametersätzen auszugehen. Hierzu wird aktuell eine strukturierte Anpassung der Parameter mittels annotiertem Testdatensatz angedacht.

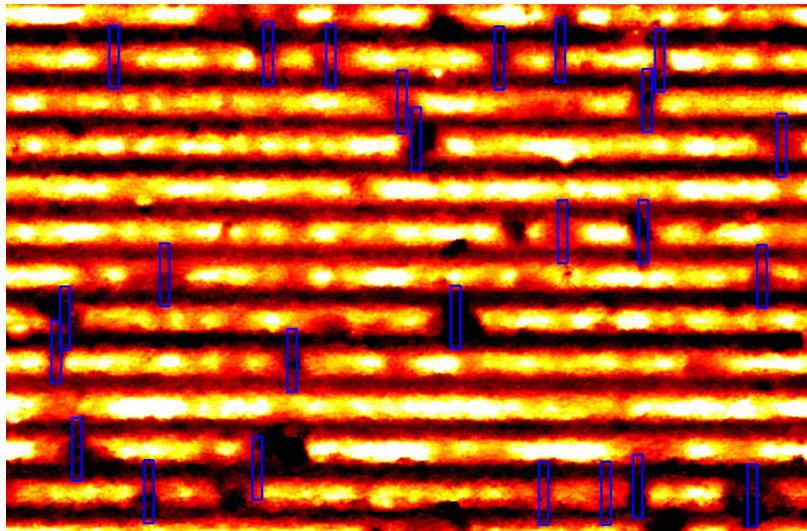


Abbildung 60: Beispiel der Ergebnisse einer Stegbruchdetektion auf einem Textur-Patch. Die Höhen der Grinding-Textur sind farblich von schwarz bis gelb dargestellt, die detektierten Stegbrüche sind als blaue Rechtecke markiert.

3.3.4 Clusterbildung

Ausgehend von den allgemeinen Texturparametern sowie den spezifischen Grinding-Parametern werden aktuell Strukturen und Zusammenhänge im Texturdatensatz gesucht. Dabei werden sowohl die Grinding-Abschnitte, als auch einige parallel gemessene Abschnitte mit Waschbetonstruktur als Vergleich herangezogen. Als Beispiel dazu ist in Abbildung 59 der Datensatz für die Verformungsgradienten (berechnet als Summe der Beträge der Texturgradienten) in und normal zur Fahrtrichtung dargestellt. Der Datensatz beinhaltet dabei Vor- und Nachlauf der Einzelmessungen zu den Messstellen, wodurch neben den Grinding-Bereichen auch Waschbetonstrukturen vorhanden sind. Man erkennt klar die Trennung in zwei Hauptcluster, die ebenfalls durch die farblich codierte Anzahl der lokalen Maxima im jeweiligen Texturpatch trennen.

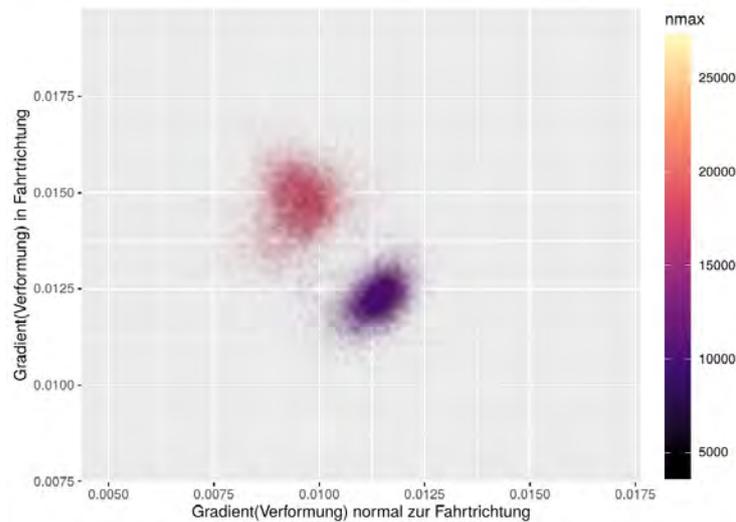


Abbildung 61: Beispiel einer Clusterung von 3D-Texturparametern am Beispiel der Verformungsgradienten einer Grinding- bzw. Waschbetondeckschicht. Die Clusterbildung wird ebenfalls durch die farblich dargestellte Anzahl lokaler Maxima im Texturpatch wiederspiegelt.

In Abbildung 60 ist ein weiteres Beispiel der Clusterbildung gezeigt. Aufgetragen werden die Anzahl der Textur-Maxima pro Fläche sowie der (unverformte) Gradient der Textur quer zur Fahrtrichtung. Der gezeigte Datensatz beinhaltet insgesamt vier verschiedene Texturen. Jeweils zwei verschiedene Grinding-Geometrien (in blau) sowie zwei SMA-Abschnitte mit einem Größtkorn~11mm (in rot) weisen deutlich abweichende Verteilungen in ihrer Häufigkeitsverteilung auf. Ebenfalls von Interesse ist die grundlegende Form der Häufigkeits- bzw. Dichteverteilungen: während die Grinding-Datensätze verhältnismäßig enge elliptische Verteilungen zeigen, ist die Variation der SMA-Stellen merklich größer. Das deutet darauf hin, dass verschiedene Texturen nicht nur durch die Zentren der Verteilungen, sondern auch durch deren Form identifizierbar sind.

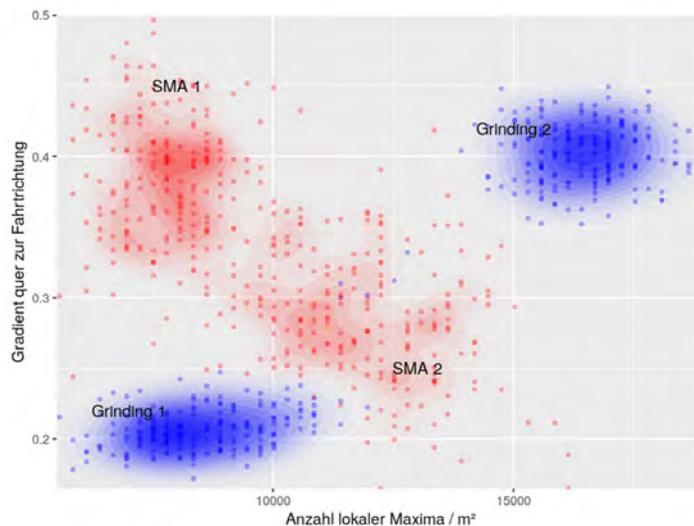


Abbildung 62: Clusterbildung am Beispiel zweier Grinding- und SMA-Messstellen. Als Parameter werden der Gradient quer zur Fahrtrichtung sowie die Anzahl lokaler Maxima herangezogen. Neben der Lage der Einzelcluster gibt auch deren Form Aufschluss über den Deckschichttyp.

Grundsätzlich kann aus den beiden herausgehobenen Beispielen abgeleitet werden, dass mittels 3D-Texturmessungen sowie der darauf basierenden Parameterberechnung eine einfache Klassifizierung der Oberflächentypen – zumindest in der Unterscheidung “Grinding” / “kein Grinding” - bereits auf Basis von zwei Parametern mit einfachen Mitteln durchgeführt werden kann. Eine Weiterführung in Bezug auf Untergruppen im Bereich der Grinding-Oberflächen (gerade in Hinblick auf verschiedene Steggeometrien) erscheint ebenfalls möglich. Des Weiteren erscheint eine detaillierte Untersuchung bzw. eine Clusteranalyse auf mehrdimensionaler Parameterbasis auch für isotrope Deckschichten sinnvoll.

3.3.5 Zeitliche Entwicklung der Texturparameter

Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Parameterberechnungen im Hinblick auf die Grinding-spezifischen Texturparameter sind auch die Untersuchung der Datenstrukturen sowie die Altersverläufe und Zusammenhänge mit Rollgeräusch und Griffigkeit Gegenstand laufender Untersuchungen. Um die Zeitverläufe zu untersuchen, wurden die 3D-Texturmessungen auf der österreichischen A05 bei Schrick herangezogen. Die A05 wurde hierbei deswegen ausgewählt, weil sie die umfangreichsten Zeitreihen mit vier 3D-Messungen an zwei Grinding-Geometrien aufweist. Ebenfalls sind für drei der vier Messungen Daten zu zwei Fahrstreifen verfügbar. Die Messergebnisse werden dementsprechend jeweils für beide Fahrstreifen (“Fahrstreifen 1” bzw. “Fahrstreifen 2”) bzw. Messstellen (“Messstelle Nord” (km 25,50 - 25,25) bzw. “Messstelle Süd” (km 25,25 - 25,00)) geteilt.

3.3.5.1 Hohlraum im Reifen/Fahrbahnkontakt

Als Beispiel einer Zeitreihe wird der Verlauf der Hohlräume im Reifen/Fahrbahnkontakt der A05 gezeigt (Abbildung 61). Die Boxplots geben die Häufigkeitsverteilung des Parameters zum Messzeitpunkt an, die roten Rauten geben neben dem Median ebenfalls den Mittelwert des Parameters an. Man sieht eine leichte Abnahme des Parameters über die Zeit, wobei die Höhe der Boxen die große Varianz des Parameters innerhalb der Messstrecke verdeutlicht. Die Abweichungen der Mittelwerte zum Median deuten hier auf einzelne Ausreißer hin, die vor allem zu höheren Hohlraumvolumina hin auftreten. Hier besteht die Annahme, dass es sich bei den zugehörigen Stellen um Bereiche mit Kornausbrüchen bzw. Dehnungsfugen handelt.

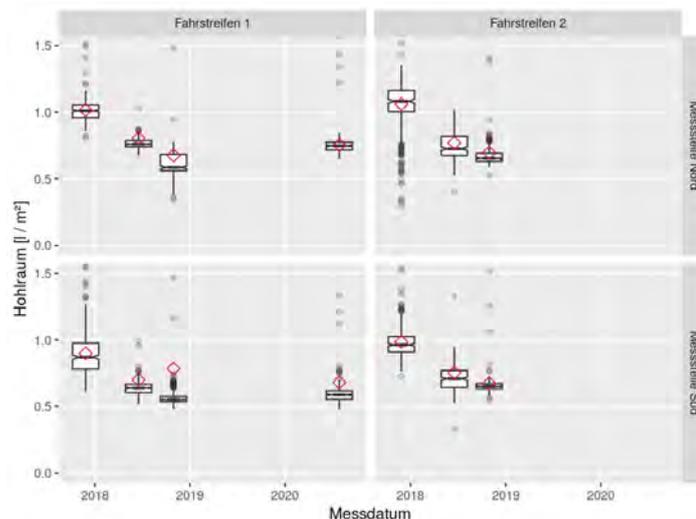


Abbildung 63: Zeitreihe der Hohlraumvolumen am Beispiel der österreichischen A05. Aufgeschlüsselt nach den beiden Grinding-Texturen und Fahrstreifen werden die Verteilungen der Hohlraumvolumen im Reifen/Fahrbahnkontakt durch Boxplots dargestellt. Zusätzlich zum Median wird ebenfalls der Mittelwert durch eine rote Raute aufgetragen.

3.3.5.2 Stegbrüche

In Abbildung 62 werden die Zeitreihen für den Parameter der detektierten Stegbrüche pro Meter und Steg gezeigt. Im Gegensatz zum Hohlraumvolumen ist hier kein ausgeprägter Trend mit zunehmendem Alter erkennbar. Zu sehen ist aber ein signifikanter Unterschied des Parameters: der Median der Stegbrüche pro Steg und Meter liegt bei der Messstelle Nord bei einem Wert von $\sim 22 \text{ m}^{-1}$, bei der südlichen Messstelle bei $\sim 30 \text{ m}^{-1}$ bei vergleichbaren Standardabweichungen.

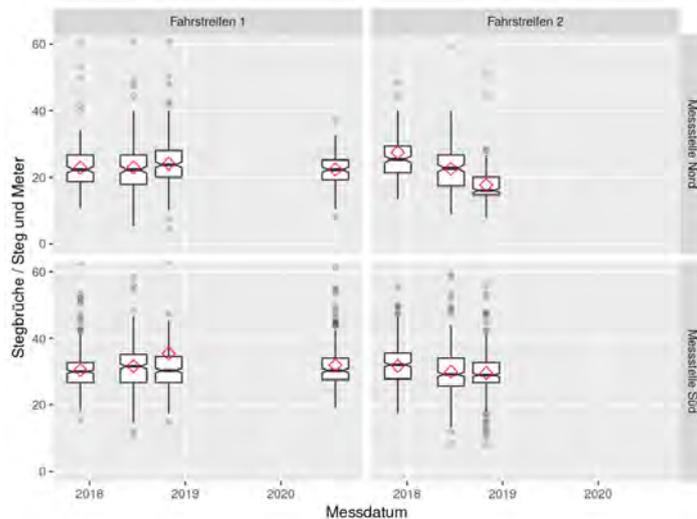


Abbildung 64: Zeitreihe des Parameters Stegbrüche pro Steg und Meter auf der österreichischen A05. Aufgeschlüsselt nach den beiden Grinding-Texturen und Fahrstreifen werden die Verteilungen der Stegbrüche durch Boxplots dargestellt. Zusätzlich zum Median wird ebenfalls der Mittelwert durch eine rote Raute aufgetragen.

3.3.5.3 Oberflächengradienten

In den Abbildung 63 und Abbildung 64 werden die Wegverläufe der Oberflächengradienten in bzw. quer zur Fahrtrichtung gezeigt, wobei alle Messungen altersunabhängig in der Graphik berücksichtigt werden. Dabei sind zusätzlich kurze Bereiche der Messstrecke vor bzw. nach dem Grinding in der Graphik inkludiert. Man erkennt dabei deutlich die durch Grinding bearbeiteten Bereiche, die sich in Fahrtrichtung durch einen geringeren lokalen Gradienten, quer zur Fahrtrichtung durch einen erhöhten Gradienten relativ zu den Waschbetontexturen hervorheben.

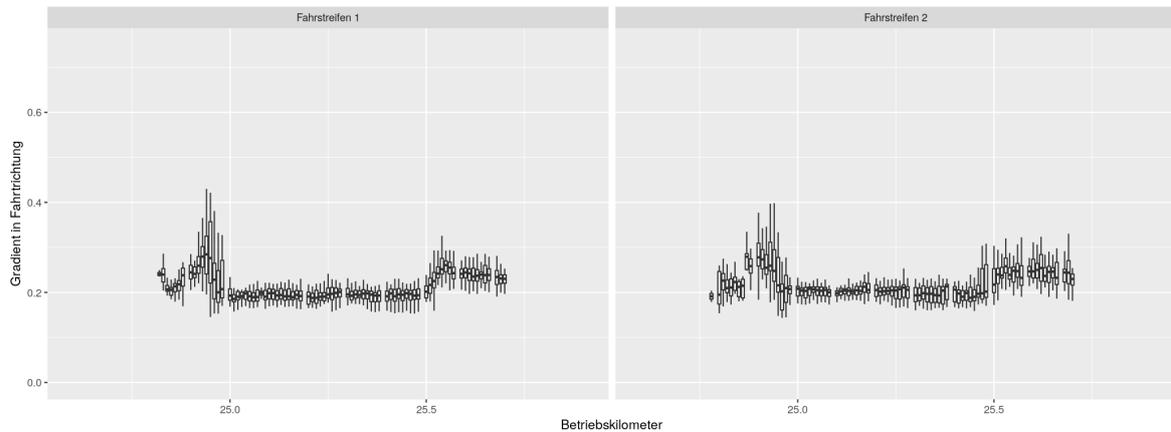


Abbildung 65: Ortsverlauf des Parameters Texturgradient in Fahrtrichtung. Die Messstrecken auf der österreichischen A05 erstrecken sich von Betriebskilometer 25,00 - 25,25 bzw. 25,25 - 25,50.

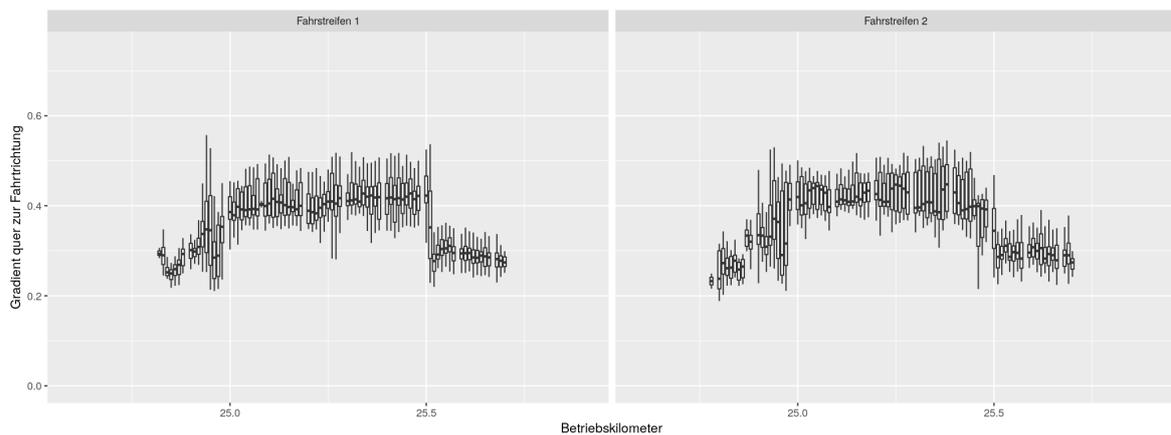


Abbildung 66: Ortsverlauf des Parameters Texturgradient quer zur Fahrtrichtung. Die Messstrecken auf der österreichischen A05 erstrecken sich von Betriebskilometer 25,00 - 25,25 bzw. 25,25 - 25,50.

Geht man nun zu den Zeitreihen über (Abbildung 65 und Abbildung 66), so ist vor allem in dem Gradienten quer zur Fahrtrichtung eine zeitliche Abnahme des Parameters zu beobachten. Hierbei stellt sich die Frage, ob dies in Kombination mit dem sich ebenfalls verringenden Hohlraumvolumen auf eine generelle Abnahme der Texturtiefe mit der Zeit hindeutet oder auf Glättungseffekten bei geringeren Wellenlängen als der Steggeometrien beruht.

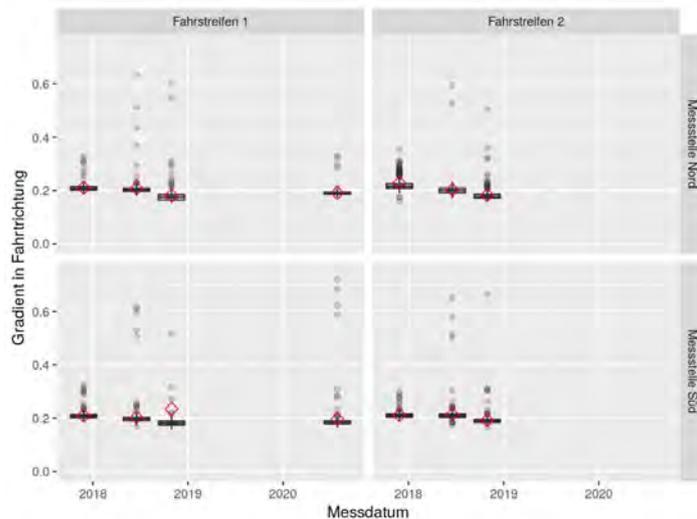


Abbildung 67: Zeitreihe des Parameters Gradient in Fahrtrichtung auf der österreichischen A05. Aufgeschlüsselt nach den beiden Grinding-Texturen und Fahrstreifen werden die Verteilungen der Stegbrüche durch Boxplots dargestellt. Zusätzlich zum Median wird ebenfalls der Mittelwert durch eine rote Raute aufgetragen.

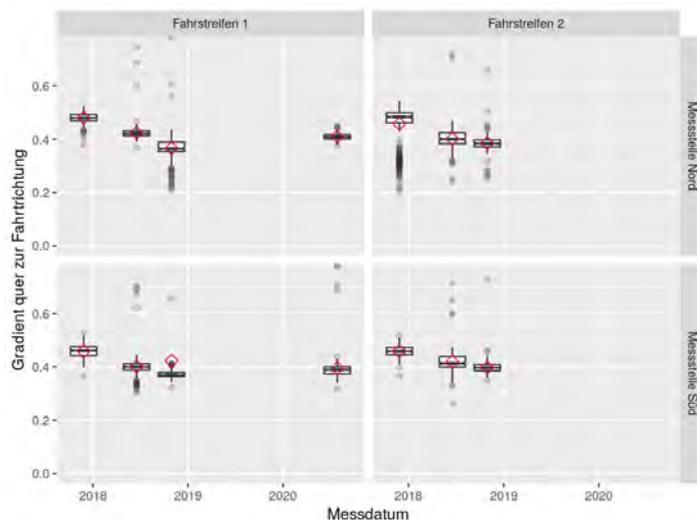


Abbildung 68: Zeitreihe des Parameters Gradient quer zur Fahrtrichtung auf der österreichischen A05. Aufgeschlüsselt nach den beiden Grinding-Texturen und Fahrstreifen werden die Verteilungen der Stegbrüche durch Boxplots dargestellt. Zusätzlich zum Median wird ebenfalls der Mittelwert durch eine rote Raute aufgetragen.

3.3.5.4 Mittlere Texturhöhe

Ebenfalls eine zeitliche Abnahme zeigt der Verlauf der mittleren Texturhöhe (Abbildung 67). Der Parameter ist dabei eine Umsetzung des MPD (Mean Profile Depth) auf dreidimensio-

nale Oberflächen, wobei aufgrund des abweichenden Oberflächenbereichs sowie der Auflösung kein direkter Vergleich mit dem MPD gezogen werden kann, bevor nicht Analysen zum Einfluss von Meta-Parametern wie der Messfläche, der Sensorauflösung sowie des Preprocessings der Oberfläche durchgeführt wurden. Nichtsdestotrotz zeigt sich auch hier eine signifikante Abnahme des Parameters (wie zuvor bei Hohlraumvolumen und Gradienten) mit der Zeit.

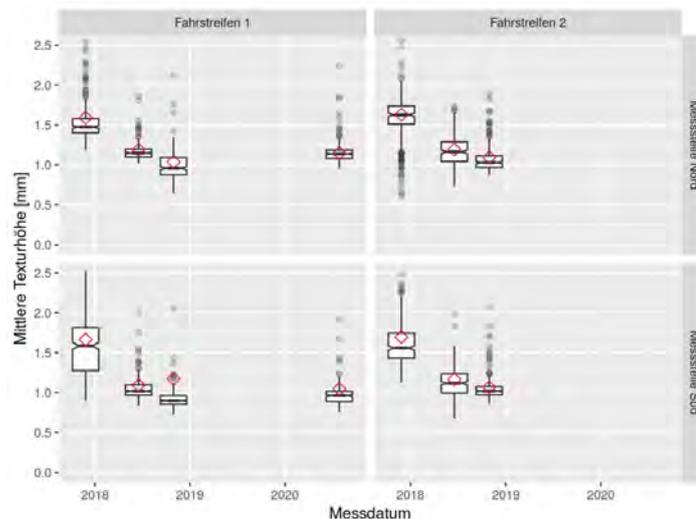


Abbildung 69: Zeitreihe des Parameters der mittleren Texturhöhe auf der österreichischen A05. Aufgeschlüsselt nach den beiden Grinding-Texturen und Fahrstreifen werden die Verteilungen der Stegbrüche durch Boxplots dargestellt. Zusätzlich zum Median wird ebenfalls der Mittelwert durch eine rote Raute aufgetragen.

3.3.6 Zusammenfassung

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Analysen zeigen das Potential, Grinding-Texturen durch die 3D-Vermessung ihrer Oberfläche zu charakterisieren. Einerseits können die Geometrien in ihrer allgemeinen Struktur erfasst und unterschieden werden (Clusteranalyse), andererseits können durch dedizierte Parameter (Stegbruchdetektion) die spezifische Geometrie beschreibende Größen festgelegt und analysiert werden. Es zeigt sich aber auch, dass für eine umfassende Analyse und vor allem Korrelation mit den Gebrauchseigenschaften der Grinding-Texturen umfangreiche Datensätze zur Verfügung stehen müssen. Einzelne Messstellen, für die Zeitreihen existieren, können aktuell nur Hinweise auf generelle Entwicklung der Oberflächengeometrien geben. Für statistisch abgesicherte Aussagen müssen weitere Messstellen über mehrere Jahre hinweg überwacht werden.

4 UNTERSUCHUNGSSTRECKEN

Im Zuge des Arbeitspaketes 5, Herstellung und Monitoring von Untersuchungsstrecken des Forschungsvorhabens „Texturgrinding Plus“, war die Erprobung der Forschungsergebnisse an je einer geeigneten Untersuchungsstrecke in Deutschland und Österreich vorgesehen.

Die Umsetzung der Untersuchungsstrecke in Österreich auf der A10 erfolgte auf einer bestehenden Waschbetondecke, die aufgrund eines schadhaften Fertigers komforttechnisch unangenehme kurzweilige Unebenheit aufwies. Auf die Betonzusammensetzung konnte kein Einfluss genommen werden, da die Strecke bereits vor Projektbeginn gebaut wurde.

Für die Umsetzung der deutschen Untersuchungsstrecke wurden mit den Erkenntnissen der Laboruntersuchung (vgl. Vorkapitel) die Rezeptur für den Oberbeton optimiert und Anforderungen an die Betonausgangstoffe die Betonzusammensetzung definiert. Diese sind in den nachfolgenden Kapiteln 4.3 und 4.4 beschrieben. Bei Umsetzung dieser Anforderungen sollte eine besonders feine kombinierte Grooving-Grindingstruktur, die der sog. NGCS-Geometrie entspricht, aufgebracht werden. Als geeignetes Baulos zur Umsetzung wurde die A93 im Bereich xx identifiziert. Das entsprechende Leistungsverzeichnis für die Ausschreibung wurde erstellt. Kurz vor der Publikation auf der Ausschreibungsplattform wurde das Bauvorhaben aber von der Verkehrsbehörde gestoppt und eine Zwischensanierung anstatt einer grundhaften Erneuerung angeordnet. Damit konnten die geplante optimierte Betonrezeptur sowie die Grinding/Grooving-Texturen auf dieser Strecke nicht umgesetzt werden. Ersatzweise wurde der bereits gebaute Abschnitt auf der A09 bei Marktschorgast (ca. km 287 – km 293) herangezogen, auf dem 2021 und 2022 Grinding- und Groovingtexturen aufgebracht wurden. Auf die Umsetzung der NGCS-Textur und Ausführung des optimierten Betons musste leider verzichtet werden.

Die Lage der Untersuchungsstrecken in Deutschland und Österreich zeigt die Abbildung 70.

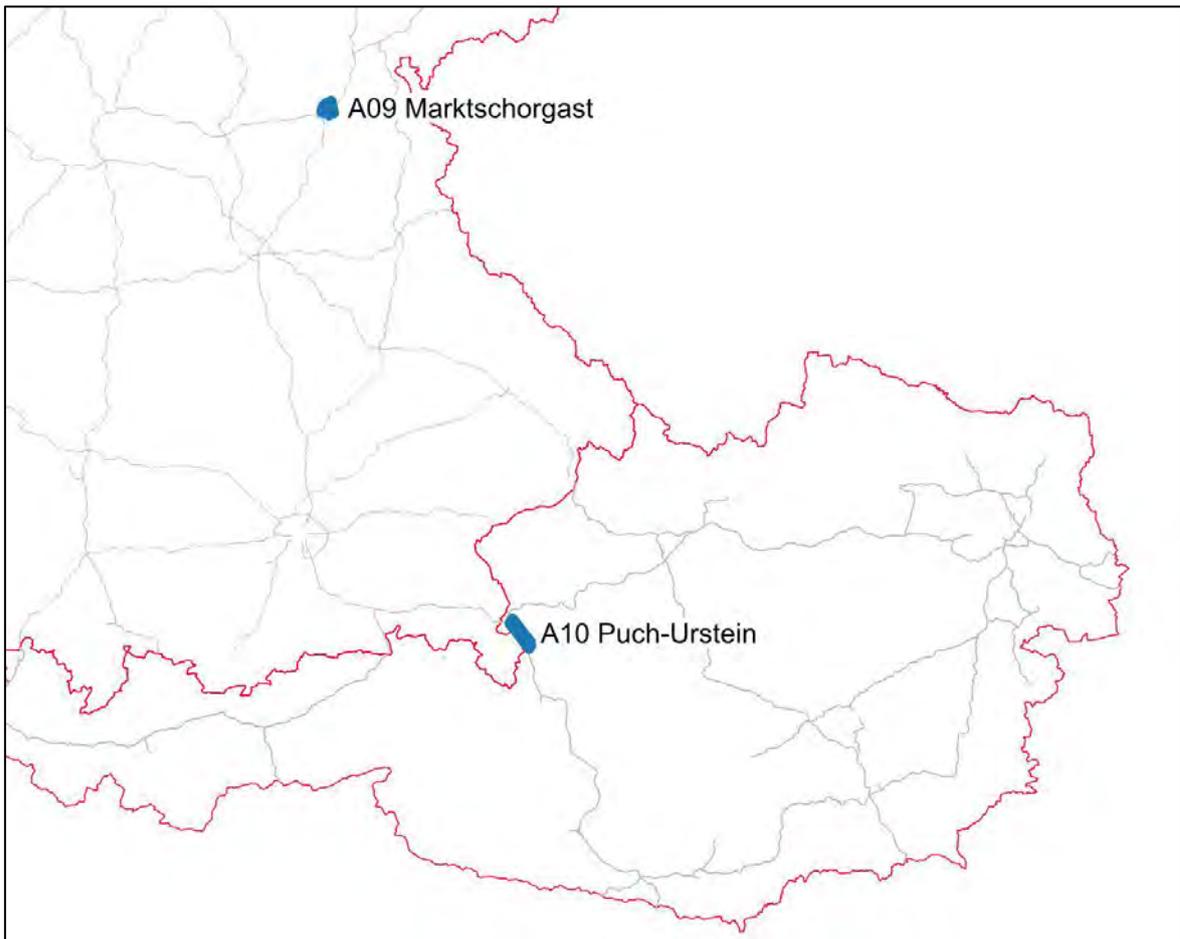


Abbildung 70: Lage der Untersuchungsstrecken A09 Marktschorgast und A10 Puch/Urstein.

4.1 Grundsätzliche Überlegungen zur Optimierung des Oberbetons

Ziel des Arbeitspaketes AP 4 war die Optimierung der Zusammensetzung des Oberbetons hinsichtlich der dauerhaften Gebrauchseigenschaften bei grindingtexturierten Oberflächen auf der Grundlage der Erkenntnisse aus den Arbeitspaketen AP 2 Beprobung der Bestandsstrecken und AP 3 Beschreibung der Auswirkung von Texturveränderungen auf die flächeneigenschaften der Betondecke.

Im Rahmen der Optimierung des Oberbetons ist zwangsläufig immer auch die praktische Umsetzbarkeit der Optimierungsansätze im objektbezogenen Bauvertrag zu berücksichtigen. Mit diesem Hintergrund erfolgte eine Recherche zu den für die Baumaßnahme BAB A94 relevanten Lieferwerken mit einem Abgleich der lieferfähigen Gesteinskörnungen und deren seitens der Lieferanten erklärten Eigenschaften im Hinblick auf die in den vorausgegangenen Arbeitspaketen herausgearbeiteten Zielgrößen.

Für die Mindestanforderungen an die Ausgangsmaterialien und an den Beton gelten in Deutschland grundsätzlich die Vorgaben der TL Beton-StB 07 unter Berücksichtigung des ARS 04/2013 bzw. dem Einsatz von Gesteinskörnungen für Fahrbahndecken aus Beton nach Verfahren 4 der Bekanntmachung zur TL Beton-StB 07 des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr.

Darüberhinausgehend wurden im Bauvertrag Anforderungen an die Gesteinskörnungen formuliert, die zusätzlich zu den Anforderungen der TL Beton-StB 07 für den Oberbeton eines zweischichtigen oder den Beton eines zweilagigen Einbaus mit einem Größtkorn von 22 mm und einer Mindestdicke des Oberbetons von 7 cm gelten sollen. Diese werden im Nachfolgenden erläutert und sind im Einzelnen:

- Kornformkennzahl SI_{10}

Die TL Beton-StB 07 fordert für die Kornformkennzahl der groben Gesteinskörnung eines Oberbetons mit einem Größtkorn $D > 8$ mm die Kategorie SI_{20} . Mit der Forderung an ein möglichst kubisch geformtes Korn wird die Verarbeitbarkeit des Betons verbessert und die mögliche Packungsdichte der Körnung erhöht. Es ist dadurch zu erwarten, dass sich der Anteil an Gesteinskörnung in der Betonmatrix erhöht und der Zementleimbedarf verringert. Aufgrund der geringeren mechanischen Festigkeit und damit Verschleißbeständigkeit ist die Dauerhaftigkeit der Zementsteinmatrix gegenüber der Gesteinskörnung als grundsätzlich geringer einzustufen.

- Bruchflächigkeit $C_{100/0}$

Die TL Beton-StB 07 fordert für die Bruchflächigkeit der groben Gesteinskörnung eines Oberbetons mit einem Größtkorn $D > 8$ mm die Kategorie $C_{90/1}$. Es wäre somit ein Anteil von bis zu einem Prozent vollständig gerundeter Körner und bis zu 70 % Anteil teilweise gebrochener Körner zulässig. Mit der Kategorie $C_{100/0}$ für die Anforderung an die Bruchflächigkeit werden ausschließlich Körnungen mit vollständig gebrochener Oberfläche zugelassen. Es ist somit eine bessere Verzahnung mit der Zementsteinoberfläche und damit insbesondere eine erhöhte Zugfestigkeit des Betons zu erwarten.

- PSV-Wert > 53

Die TL Beton-StB 07 fordert für den PSV-Wert als Kennzeichen für die Polierresistenz der groben Gesteinskörnung eines Oberbetons mit einem Größtkorn $D > 8$ mm

die Kategorie ≥ 48 und für die grobe Gesteinskörnung eines Oberbetons mit einem Größtkorn $D = 8 \text{ mm}$ die Kategorie ≥ 53 . Mit der Anforderung an den PSV-Wert > 53 wird ein möglichst hoher Polierwiderstand der Gesteinskörnung und damit eine dauerhafte Polierresistenz und Griffigkeit der Textur des Oberbetons erreicht.

- PWS-Wert $> 0,50$

Die TL Beton-StB 07 enthält keine Anforderung an den Polierwert der feinen Gesteinskörnung. In der Praxis hat sich hier als Bewertungsgrundlage der Polierwert Wehner-Schulze gemäß TP Gestein-StB Teil 5.4.2 etabliert. Mit einer hohen Polierresistenz der feinen Gesteinskörnung wird eine dauerhafte Griffigkeit der Mörtelmatrix der Textur der Oberfläche der Betondecke sichergestellt. Im direkten Zusammenhang hierzu steht die petrographische Zusammensetzung der feinen Gesteinskörnung. Hier hat sich einer hoher Quarzanteil als entscheidendes Kriterium für eine hohe Polierresistenz herauskristallisiert. Für die anvisierte Erprobungsstrecke ist aufgrund der regional zur Verfügung stehenden Provenienzen der feinen Gesteinskörnung nur ein Anteil von rund 80 % Quarz/Quarzit an der feinen Gesteinskörnung realisierbar.

- Betonzusammensetzung

In Abstimmung zur Sieblinie des eingesetzten Sandes sowie der abschlämmbaren Bestandteile der groben Gesteinskörnung soll der Anteil an feinkörnigen Bestandteilen im Beton zwischen 400 und 450 kg/m^3 betragen. Hierfür ist der Durchgang durch das Sieb 0,25 mm für die feine Gesteinskörnung 0/2 auf 12 bis 17 M.-% zu begrenzen.

Im Zuge des Grinding werden Gesteinskörnung sowie Zementsteinmatrix durch Anschleifen freigelegt und anschließend durch Klima und Verkehr beansprucht. Da die Zementsteinmatrix relativ zur Gesteinskörnung eine deutlich geringere Festigkeit aufweist, ist die Festigkeit der Zementsteinmatrix möglichst hoch anzusetzen. Dies soll über eine gegenüber den Forderungen der TL Beton-StB 07 erhöhte Zielfestigkeit des Betons angestrebt werden. Aus diesem Grund soll die charakteristische Spaltzugfestigkeit der einzubauenden Straßenbetonklasse StC 35/45-3,7 von 3,7 MPa Bestandteil des Bauvertrags werden. Zusätzlich ist der Anteil der Zementsteinmatrix auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Dies wird durch die Optimierung des Mörtelanteiles im Beton sowie des später in der Bauausführung an der Betonoberfläche

realisierten Mörtelvolumens beeinflusst. Diese Möglichkeit besteht allerdings erst, wenn die Betonzusammensetzung auf die eingesetzte Einbautechnik abgestimmt werden kann.

Allgemein ist die Streuung der Konsistenz, des Luftporengehaltes und der Kornverteilung in der Bauausführung zu minimieren. Für das Verdichtungsmaß als Parameter der Konsistenz wird eine zulässige Spannweite von 0,1 am Einbauort festgelegt.

Entscheidend ist neben der anzustrebenden hohen Festigkeit ein geringes Mörtelvolumen an der Betonoberfläche, das mit einer hohen Sedimentationsstabilität des Betons einhergeht.

Der Mikroluftporengehalt soll bei Einsatz eines Betonverflüssigers durch Auszählung der Luftporen am Festbeton entsprechend TL Beton-StB 07, Abschnitt 4.7, um 1 Vol.-% reduziert werden.

- Nachweis der in situ erreichbaren charakteristischen Betonfestigkeit
Der Nachweis für die in situ zu erreichende charakteristische Spaltzugfestigkeit von 3,7 MPa erfolgt im Rahmen der Erstprüfung nach den TP B-StB 3.1.05 „Spaltzugfestigkeit von Beton an Zylinderscheiben“ und der TP B-StB Teil 0.2 „Statistische Grundlagen zur Auswertung von Prüfergebnissen“. Für den zugrunde zu legenden Variationskoeffizienten der Betonfestigkeit in situ sind Ergebnisse der Spaltzugfestigkeit in situ (Bohrkernproben) aus Baumaßnahmen der letzten drei Jahre des Ausführungsunternehmens zugrunde zu legen. Hilfsweise können für den Variationskoeffizienten der Betonfestigkeit Druckfestigkeitsergebnisse herangezogen werden.

4.2 Oberbetonoptimierung für die geplante Untersuchungsstrecke in Deutschland

Nachfolgend sind die im Projekt herausgearbeiteten Anforderungen an die Betonzusammensetzung, Festigkeiten, Bauausführung, Grindingtextur und Grindingausführung beschrieben, wie sie für eine Untersuchungsstrecke auf der BAB 94 in Bayern zugeschnitten waren. Neben der Betonfestigkeit (Straßenbetonklasse StC 35/45-3,7) ist vor allem die besondere Anforderung an die Petrographische Zusammensetzung der Lieferkörnung 0/2 bzw. 0/4 mit einem Anteil Quarz/Quarzit $\geq 80\%$ wichtig für die Dauerhaftigkeit der gewählten sehr feinen Grindingtextur. Die nachfolgenden Abschnitte 4.3 bis 4.6 wurden in die Baubeschreibung für Erd- und Deckenarbeiten übernommen.

Die Baumaßnahme wird jedoch nicht wie vorgesehen durchgeführt werden können, so dass ein geeigneter Streckenabschnitt weiterhin gesucht wird, für den dann eventuell die Anforderungen modifiziert werden müssten.

4.3 Anforderungen an Betonausgangsstoffe und die Betonzusammensetzung

Für die Anforderungen an den Beton gelten grundsätzlich die Vorgaben der TL Beton-StB 07 unter Berücksichtigung des ARS 04/2013 bzw. Einsatz von Gesteinskörnungen für Fahrbahndecken aus Beton nach Verfahren 4 der Bekanntmachung zur TL Beton des Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr. Der Nachweis der Beständigkeit der Gesteinskörnungen gegenüber schädigender AKR (Alkali-Kieselsäure-Reaktion) ist mit der Erstprüfung zu erbringen.

Die Herstellung der Betondecke muss zweischichtig oder zweilagig erfolgen.

Die Mindestdicke der Oberbetonschicht oder Oberbetonlage beträgt für das einzusetzende Größtkorn von 22 mm 7,0 cm.

Die nachfolgend aufgeführten erhöhten Anforderungen gelten jeweils für die Oberbetonschicht oder bei zweilagigem Einbau für die Betondecke insgesamt.

4.4 Über die TL Beton-StB 07 hinausgehende Anforderungen

4.4.1 Oberbeton

4.4.1.1 Grobe und feine Gesteinskörnung

Es soll als grobe Gesteinskörnung gebrochenes Festgestein eingesetzt werden, das die folgenden Anforderungen erfüllt:

- Größtkorn 22 mm,
- Korn > 4 mm, Konform von groben Gesteinskörnungen, Kategorie SI10,
- Korn > 4 mm Anteil gebrochener Oberflächen zu 100 % gebrochen, Kategorie C100/0,
- Widerstand gegen Polieren (Polished Stone Value), PSV-Wert > 53,

An die feine Gesteinskörnung werden folgende Anforderungen gestellt:

- Polierresistenz Körnung 0/2 oder 0/4 PWS-Wert > 0,50 (Polierwert nach Verfahren Wehner/Schulze gemäß TP Gestein-StB Teil 5.4.2),

- Besondere Anforderung an die Petrographische Zusammensetzung der Lieferkörnung 0/2 bzw. 0/4: Anteil Quarz/Quarzit $\geq 80\%$.

4.4.1.2 Zement

Als Zement für den Oberbeton ist ein Straßendeckenzement als reiner Portlandzement CEM I 42,5 N einzusetzen.

4.4.1.3 Betonzusammensetzung

In Abstimmung zur Sieblinie des eingesetzten Sandes sowie der abschlämbaren Bestandteile der groben Gesteinskörnung ist der Mehlkorn- und Feinstsandgehalt auf ein Mindestmaß zu beschränken, das in Abstimmung zur Betonzusammensetzung eine ausreichende Verarbeitbarkeit des Betons ermöglicht und gleichzeitig ein Bluten des Betons verhindert.

Im Zuge des Grinding werden Gesteinskörnung sowie Zementsteinmatrix durch Anschleifen freigelegt und anschließend durch Klima und Verkehr beansprucht. Da die Zementsteinmatrix relativ zur Gesteinskörnung eine deutlich verminderte Festigkeit aufweist, ist die Festigkeit der Zementsteinmatrix möglichst hoch anzusetzen. Dies soll über die höhere Zielfestigkeit des Betons angestrebt werden. Zusätzlich ist der Anteil der Zementsteinmatrix auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Dies kann durch Optimierung des Mörtelanteiles im Beton sowie des später in der Bauausführung an der Betonoberfläche realisierten Mörtelvolumens beeinflusst werden. Diese Möglichkeit besteht allerdings erst, wenn eine auf die Einbautechnik abzustimmende Erstprüfung erstellt wird.

Allgemein ist die Streuung der Konsistenz, des Luftporengehaltes und Kornverteilung in der Bauausführung zu minimieren. Für das Verdichtungsmaß als Parameter der Konsistenz wird eine zulässige Spannweite von 0,1 am Einbauort festgelegt.

Entscheidend ist neben der anzustrebenden hohen Festigkeit ein geringes Mörtelvolumen an der Betonoberfläche, das mit einer hohen Sedimentationsstabilität des Betons einhergeht.

Der Mikroluftporengehalt soll bei Einsatz eines Betonverflüssigers durch Auszahlung der Luftporen am Festbeton entsprechend TL Beton-StB 07, Abschnitt 4.7, um 1 Vol.-% reduziert werden.

4.4.2 Unterbeton

Als Zement für den Unterbeton ist ein Straßendeckenzement als reiner Portlandzement CEM I 42,5 N oder ein Portlandhüttenzement CEM II/A-S einzusetzen.

4.4.3 Ober- und Unterbeton, Betonfestigkeit

Als Anforderungswert für die Betonfestigkeit wird für den Ober- und Unterbeton die Straßenbetonklasse StC 35/45-3,7 festgelegt. Die Druckfestigkeitsklasse ist im Rahmen der Erstprüfung gemäß DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 mit einem Vorhaltemaß von 8 MPa nachzuweisen.

Zur zerstörungsfreien Erfassung der Festigkeitsentwicklung des Betons in situ ist im Zuge der Erstprüfung eine Kalibrierung des Rückprallhammers in Bezug zur Betondruckfestigkeit nach der TP B-StB Teil 3.1.09 „Kalibrierung Rückprallhammer – Erstellung Kalibrierkurve“ durchzuführen.

Der Nachweis für die in situ zu erreichende charakteristische Spaltzugfestigkeit von 3,7 MPa erfolgt im Rahmen der Erstprüfung nach den TP B-StB 3.1.05 „Spaltzugfestigkeit von Beton an Zylinderscheiben“ und der TP B-StB Teil 0.2 „Statistische Grundlagen zur Auswertung von Prüfergebnissen“. Für den zugrunde zu legenden Variationskoeffizienten der Betonfestigkeit in situ sind Ergebnisse der Spaltzugfestigkeit in situ (Bohrkernproben) aus Baumaßnahmen der letzten drei Jahre zugrunde zu legen. Hilfsweise können für den Variationskoeffizienten der Betonfestigkeit Druckfestigkeitsergebnisse herangezogen werden.

4.5 Anforderungen an die Bauausführung

Für die Bauausführung gelten über die ZTV Beton-StB 07 hinausgehend folgende Anforderungen:

Der Nachweis der Betondruckfestigkeit ist am separat hergestellten Probewürfel mit 150 mm Kantenlänge nach DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 für die Überwachungskategorie ÜK2 zu führen.

Die erreichte charakteristische Spaltzugfestigkeit ist an der oberen und unteren Randfaser der Betondecke an Bohrkernen mit dem Nenndurchmesser 100 mm nach den TP B-StB 3.1.05 und TP B-StB Teil 0.2 zu ermitteln.

Die Mindestanforderung an die Betonfestigkeit zum Texturierungszeitpunkt beträgt für die Würfeldruckfestigkeit 40 MPa. Der Nachweis der Druckfestigkeit in situ ist anhand einer im

Rahmen der Erstprüfung kalibrierten Rückprallhammerprüfung nach den TP B-StB Teil 5.2.01 „Prüfung der Druckfestigkeit mit dem Rückprallhammer in situ“ durchzuführen.

Im Bauzeitenplan ist zu berücksichtigen, dass das Grinding / Grooving erst nach Erreichen der vorgegebenen Festigkeitswerte stattfinden kann.

Die Einhaltung der Anforderungen an die Ebenheit ist mittels Ebenheitsmessung vor und nach dem Texturieren durch Grinding/Grooving nachzuweisen. Der Nachweis der Ebenheit erfolgt mittels des bewerteten Längsprofils (WLP). Als Grenzwerte werden festgelegt:

- Spannweite Δ WLP (auch genannt DLP) = 24 normiert auf 1mm,
- Standardabweichung σ WLP (auch genannt SLP) = 4 normiert auf 1mm.

Bei Nichteinhaltung der Grenzwerte ist die Ebenheit durch den Betondeckenhersteller mittels Ebenheitsgrinding herzustellen. Das gegebenenfalls erforderliche Ebenheitsgrinding ist eine Nebenleistung.

Die Deckendicke wird nach den TP D-StB 12 nach der Texturierung mittels Grinding und Grooving ermittelt.

Nach dem Schneiden der Fugenkerbe ist diese durch eine Fugenschutzeinlage zu schützen.

4.6 Grinding- und Groovingmaßnahmen

Die Grinding- und Groovingmaßnahme wird im Diamantschneidverfahren auf der gesamten Breite der erneuerten Betonfahrbahn im Bereich der Untersuchungsstrecke auf der BAB A ... in Fahrtrichtung ... zwischen Betr.-km ... und Betr.-km ... durchgeführt.

Neben der Herstellung der anforderungsgerechten Ebenheit und Griffigkeit sollen mit dem Grinding der Betonoberfläche Verbesserungen der akustischen Eigenschaften erreicht werden.

Die Baumaßnahme erfolgt unter Absperrung der Richtungsfahrbahn.

Die Baumaßnahme befindet sich im Verantwortungsbereich der Autobahnmeisterei

Sind Leistungen des AN erforderlich, welche im Leistungsverzeichnis nicht aufgeführt sind, hat der AN den AG davon vor Baubeginn schriftlich in Kenntnis zu setzen (VOB/B § 2 Nr. 6).

4.6.1 Allgemeine Anforderungen

Der Schneidvorgang hat, beginnend vom linken Rand der Fahrbahn, in Längsrichtung in mehreren Einzelflächen bis an den rechten Rand der Fahrbahn zu erfolgen.

Die zur Anwendung kommenden Schneidwellen sollen eine Arbeitsbreite von mindestens 1300 mm aufweisen. Geringere Arbeitsbreiten sind nur in begründeten Fällen z.B. an Sonder- und Ergänzungsflächen zulässig (ZTV Beton).

In den Übergangsbereichen zum Bestand ist die Schleiftiefe derart anzupassen, dass keine Stufen und Verwerfungen entstehen. Die Schleiftiefe ist im Beisein des AG vorab zu testen und festzulegen.

Die vorhandene Gradienten und Querneigung sind beizubehalten.

Die Grindingmaschine muss mit einer Vorrichtung zur Direktabsaugung des beim Schleifvorgang anfallenden Materials ausgerüstet sein, so dass keine Schneidschlämme auf die Fahrbahn gelangen können.

Die an den Rändern der einzelnen Arbeitsspuren in Längsrichtung auftretenden Überlappungsbereiche dürfen 1,0 cm nicht überschreiten. Mit Hilfe eines entsprechenden Mess- und Steuerungssystems an der Grindingmaschine muss die vollautomatische autonome Steuerung zur Einhaltung der parallelen Linienführung und zur weitestgehenden Vermeidung von Überlappungsbereichen während des Grindings gewährleistet werden. Die manuelle Steuerung der Grindingmaschine ist nicht zulässig.

Die Grindingmaschine muss mit einem Mess- und Steuerungssystem zur Beseitigung von Unebenheiten ausgestattet sein.

Zur genauen Kontrolle der Schneidtiefe muss das Grindinggerät über eine seitliche Abtastung verfügen, die exakt in der Achse der Welle gelagert ist. Der seitliche Abstand der Abtasträder zur Schleifwelle muss so gering sein, dass die Einhaltung der Texturparameter gewährleistet wird. Hierüber ist der gerätespezifische Nachweis zu erbringen.

Können die Anforderungen an die Textur bei ungleichmäßiger Abnutzung der einzelnen Schneidscheiben bzw. bei Erreichen des zulässigen Abnutzungsgrades des Scheibenbesatzes der Schneidwellen nicht mehr eingehalten werden, sind die Schneidwellen auszu-tauschen.

4.6.2 Grindingvorgang

In einem ersten Arbeitsgang ist die Betonoberfläche der Untersuchungsstrecke auf den in Tabelle 21 genannten Streckenabschnitten mit den genannten Texturparametern zu grinden. Die Schnitttiefe ist so zu wählen, dass der Oberflächenmörtel des Betons vollständig entfernt und die grobe Gesteinskörnung so weit angeschnitten wird, dass in den sich ausbildenden Stegen ein hoher Anteil an grober Gesteinskörnung enthalten ist.

Tabelle 25: Streckenabschnitte und Texturparameter des Grindingvorgangs

von Betr.- km	bis Betr.- km	Länge	Segmentbreite	Segmentabstand	Rillentiefe
		[km]	[mm]	[mm]	[mm]
...	...	3,...	2,0	0,5	Gesteinskörnung anschleifen

4.6.3 Groovingvorgang

In einem zweiten Arbeitsgang ist die Betonoberfläche der Untersuchungsstrecke auf den in Tabelle 22 genannten Streckenabschnitten mit den genannten Texturparametern zu grooven.

Tabelle 26: Streckenabschnitte und Texturparameter des Groovingvorgangs

von Betr.- km	bis Betr.- km	Länge	Segmentbreite	Segmentabstand	Rillentiefe
		[km]	[mm]	[mm]	[mm]
...	...	1,...	2,4	16	3
...	...	1,...	2,4	14	3
...	...	1,...	2,4	12	3

4.6.4 Ausführungsbegleitende Eigenüberwachung

Die Eigenüberwachung des Schnittbildes umfasst die Überwachung der Grindingwelle und einzelner Grindingscheiben auf Abnutzung, die Überwachung der Überlappungsbereiche benachbarter Grindingbahnen und die regelmäßige Überprüfung auf ausreichende Texturtiefe, um sicherzustellen, dass die grobe Gesteinskörnung in ausreichendem Maß angeschnitten ist.

Für die anforderungsgerechte Ausführung der Grindingoberfläche soll im Rahmen der Eigenüberwachung ein Texturmessgerät nach TP Textur-StB (ZTM) zum Einsatz kommen.

Der Nachweis der erreichten Texturtiefe erfolgt entsprechend TP Beton-StB 10, Abschnitt 4.2.4.8, an einem Messfeld je 100 m entsprechend den TP Textur-StB (ZTM) 20 „Zirkulares Messverfahren“. Als Anforderungswert für die Texturtiefe gilt ein MPD-Wert von $0,3 \pm 0,1$ mm.

4.7 Untersuchungsstrecke Österreich

Die in Österreich angelegte Untersuchungsstrecke befindet sich in Salzburg auf der A10, RFB Salzburg, zwischen den Anschlussstellen Hallein und Puch/Urstein (km 15,470 – km 11,600). Der Abschnitt wurde in einer Generalsanierung 2019 in Waschbeton hergestellt. Aufgrund von Problemen mit dem Betonfertiger wurden jedoch Längsunebenheiten eingebaut, die mittels Grinding behoben wurden. Nach mehreren Probegründings wurde die Geometrie mit 2,8/2,2 mm (Segmentabstand/Segmentbreite) festgelegt und die beiden Fahrstreifen am gesamten Abschnitte gegründet. Die Herstellung erfolgte fahrstreifenweise, die Grindingzeitpunkte waren der September 2020 am linken Fahrstreifen und der Oktober 2020 am rechten Fahrstreifen. Zum Zeitpunkt der Grindings war der Beton bereits 12 Monate eingebaut.

4.7.1 Griffigkeit und Längsebenheit

Über die Projektlaufzeit wurden wiederholt messtechnische Zustandserfassungen der Oberflächeneigenschaften durchgeführt. Diese umfasste insbesondere Griffigkeit (μ Road-STAR) sowie Längsebenheit (IRI, bewertetes Längsprofil). Der zeitliche Verlauf der Mittelwerte der Griffigkeit und Längsebenheit sind in Abbildung 71, Abbildung 72 und Abbildung 73 dargestellt.

Die Griffigkeit zeigt auf beiden Fahrstreifen, ausgehend von einem hohen Niveau, eine leicht sinkende Tendenz. Am rechten (ersten) Fahrstreifen ist nach einem initialen Abfall ab August 2022 ein relativ konstantes Niveau erreicht. Am zweiten Fahrstreifen (Überholfahrstreifen) ist der Rückgang kontinuierlich zu beobachten, im Herbst 2023 haben sich die Griffigkeitsniveaus der beiden Fahrstreifen einander stark angenähert.

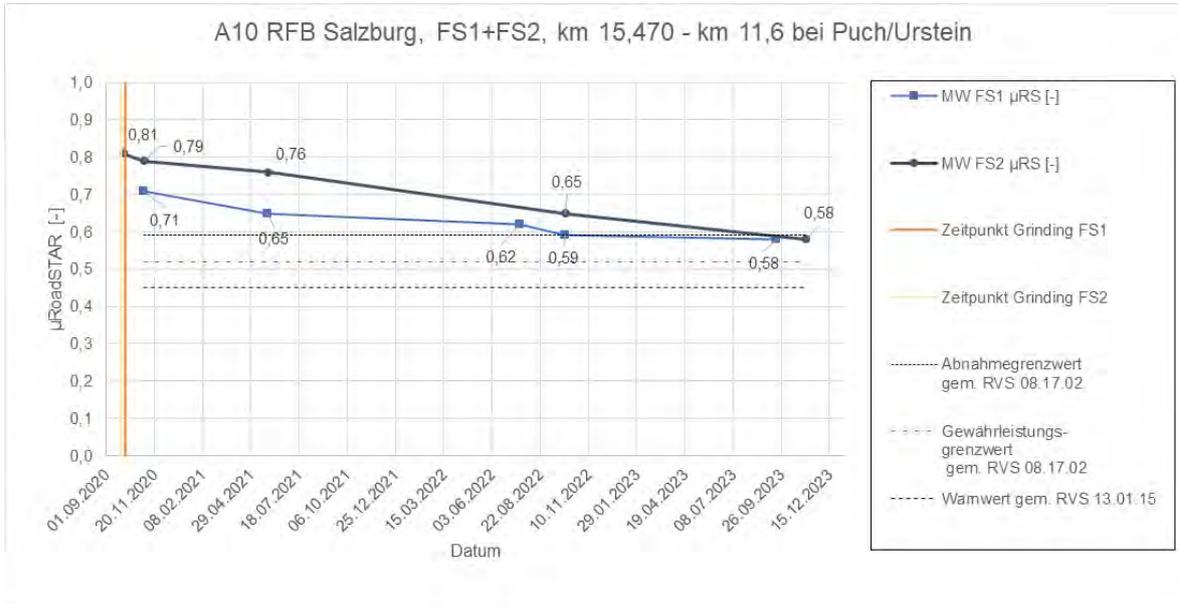


Abbildung 71: Zeitlicher Verlauf der Griffigkeit (μ_{RoadSTAR}) am FS1 und FS2 der Untersuchungsstrecke A10 bei Puch/Urstein



Abbildung 72: Zeitlicher Verlauf der Längsebenheit (Δ_{WLP} , σ_{WLP} , IRI) am FS 1 der Untersuchungsstrecke A10 bei Puch/Urstein.

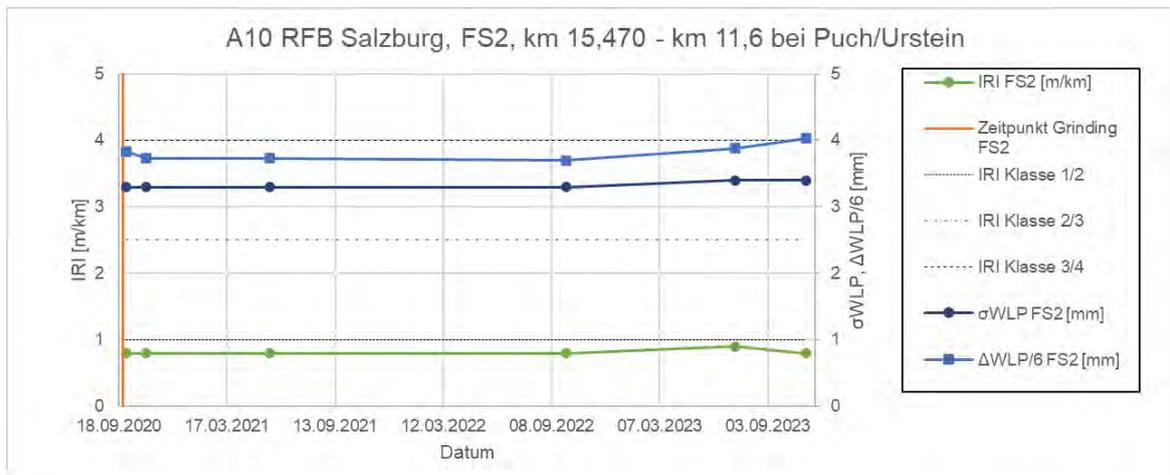


Abbildung 73: Verlauf der Längsebenheit (Δ_{WLP} , σ_{WLP} , IRI) am FS 2 der Untersuchungsstrecke A10 bei Puch/Urstein.

Der zeitliche Verlauf der Ebenheitskennwerte zeigt eine nahezu konstante Entwicklung auf sehr gutem Ebenheitsniveau.

4.7.2 Rollgeräusch

Die akustischen Eigenschaften der Grindingoberfläche wurden mit dem CPX-Verfahren untersucht. Hierzu wurden akustische Messungen am 01.10.2020 durchgeführt. Abbildung 74 zeigt den örtlichen Verlauf des CPX-Pegels entlang der Untersuchungsstrecke A10 bei Puch/Urstein am ersten (FS1) und zweiten Fahrstreifen (FS2). Der zweite Fahrstreifen weist einen etwas geringeren CPX-Pegel auf als der erste. Das deutet darauf hin, dass die erhöhte Belastung des ersten Fahrstreifens durch den Schwerverkehr, was zu einer erhöhten Abnutzung der Grindingoberfläche führt, einen höheren CPX-Pegel bewirkt. Weiters fällt auf, dass die CPX-Pegel im Anfangsbereich des ersten Fahrstreifens der Untersuchungsstrecke – etwa bis Baukilometer 12,5 – Spitzen von bis zu 1 dB aufweisen. Der CPX-Pegel des zweiten Fahrstreifens zeigt dieses Verhalten im Anfangsbereich weniger ausgeprägt, hingegen kann ein geringerer CPX-Pegel im Bereich zwischen Baukilometer 13,6 bis ca. 14,3 beobachtet werden. Eine detailliertere Betrachtung des CPX-Pegels in Zusammenhang mit Parametern der 3D-Textur wurde für die Untersuchungsstrecke in Deutschland durchgeführt, siehe Kapitel 4.8.6.

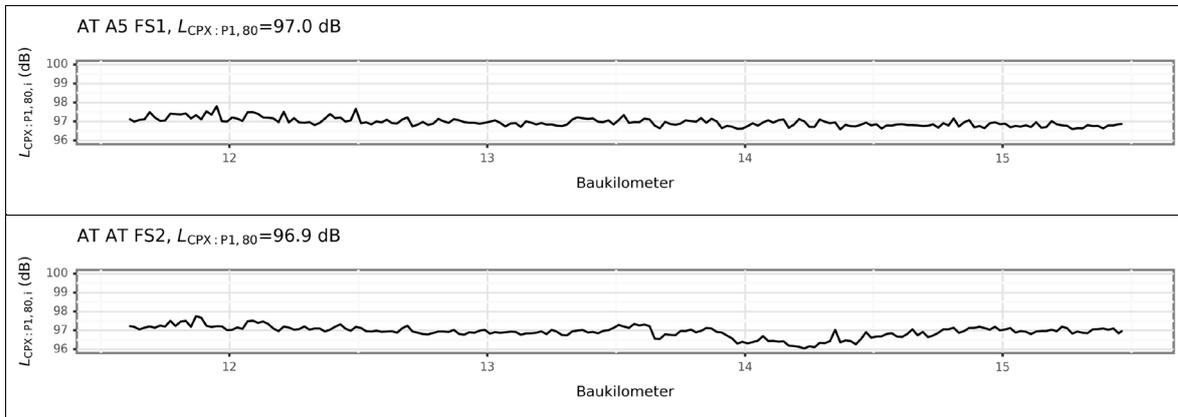


Abbildung 74: Ergebnisse der CPX-Messungen am ersten (oben) und zweiten (unten) Fahrstreifen auf der A10 bei Puch/Urstein,

4.8 Untersuchungsstrecke Deutschland

Die deutsche Versuchsstrecke befindet sich auf der A9 bei Marktschorgast (km 292,730 – km 287,300 RFB Berlin sowie km 287,300 – km 292,730 RFB München). Auf beiden Abschnitten ist das Grinding im Bereich von Brückenobjekten unterbrochen. Abschnittsweise wurde ein kombiniertes Grinding/Grooving aufgebracht. Die Details zu den Grinding- und Grooving-Abschnitten sind in Tabelle 27 nachfolgend dargestellt.

Tabelle 27: Grinding- und Grooving-Abschnitte auf der A9 bei Marktschorgast

Richtungsfahrbahn	Stationierung	Grinding 2,4/2,2			Grooving 2,4/16, Tiefe 3 mm		
		von km	bis km	Länge	von km	bis km	Länge
RFB Berlin	R-	291,550	287,300	4,250	292,733	291,550	1,183
RFB München	R+	287,300	292,733	5,433	-	-	-

4.8.1 Erhebung bautechnischer Daten und Rückstellproben

Analog zur Materialbeschaffung für das Arbeitspaket 2 wurden die Erstprüfungen der Abschnitte der neuen deutschen Erprobungsstrecken organisiert und die dort verbauten Materialien beschafft.

In der folgenden Tabelle 28 sind die Lieferwerke der beschafften Materialien, die in den beiden Abschnitten der BAB A9 verbaut worden sind, zusammengefasst.

Tabelle 28: Beschaffte Materialien der jeweiligen Autobahnabschnitte

Strecken-Code	Autobahn	Lieferwerk Sand	Lieferwerk grobe Gesteinskörnung	Material gGK
10	A 9 (D) RF Berlin	Bocksrück	Bad Berneck	Diabas
11	A 9 (D) RF Nürnberg	Maineck	Kupferberg	Diabas

Die Sande und die grobe Gesteinskörnung wurden nach der Beschaffung zum Projektpartner TPA nach Trumau für weitergehende Untersuchungen versendet.

4.8.2 Bohrkernentnahme in der Erprobungsstrecke

Zur Beprobung der beiden neuen deutschen Untersuchungsstrecken wurden jeweils 2 Bohrkern mit einem Durchmesser von 225 mm aus 2 nacheinander folgenden Platten der rechten Radspur des 1. Fahrstreifens und 4 Bohrkern aus dem Seitenstreifen entnommen. Weiterhin wurden 9 Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm dem Seitenstreifen für die Bestimmung der Spaltzugfestigkeit bzw. Rohdichte, der Druckfestigkeit und des Elastizitätsmoduls entnommen. Für die Bestimmung der Wärmedehnzahl erfolgte die Entnahme eines Bohrkerns mit dem Durchmesser 300 mm aus dem Seitenstreifen (siehe auch Abbildung 75).

Nach Entnahme der Kerne wurden die Bohrlöcher wiederum mit einem Spezialmörtel verschlossen. In Tabelle 29 sind die beprobten Autobahnabschnitte inklusive der Plattennummern dargestellt. Die entnommenen Bohrkernscheiben mit einem Durchmesser 225 mm wurden zum Projektpartner TPA zur Charakterisierung der texturierten Oberfläche verschickt.



Abbildung 75: Exemplarische Bohrkernentnahme auf der BAB A9 RF Berlin (links) und auf der BAB A9 RF Nürnberg (rechts).

Tabelle 29: Beprobte Autobahnabschnitte mit Kilometrierung und Plattennummern

Strecken-Code	Autobahn	km von - bis	Plattennummer
10	A 9 RF Berlin (D)	289,955-289,945	528 - 526
11	A 9 RF Nürnberg (D)	288,545-288,550	256- 257

4.8.3 Spaltzugfestigkeit, Druckfestigkeit und Abwitterung durch Frost-Tausalz-Wechsel

Anschließend an die Schichtdicken- und Längenbestimmung an allen Bohrkernen (\varnothing 100 mm), wurden Prüfkörper aus der oberen und unteren Randfaser zur Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05 und der Festbetonrohddichte sowie Prüfkörper zur Bestimmung der Druckfestigkeit (nur von den deutschen Autobahnen) hergestellt und diese ermittelt. Zusätzlich sind jeweils zwei 225er Bohrkern pro Autobahn einem CDF-Test (in Anlehnung an die DIN CEN/TS 12390-9 mit 56 Frost-Tau-Wechseln) unterzogen worden. Die Ergebnisse dieser Laboruntersuchungen sind in folgender Tabelle 30 dargestellt. Anschließend an die Untersuchungen der Bewitterung wurden die Bohrkern (225 mm) zur weiteren Charakterisierung durch die TPA abermals nach Österreich versendet.

Tabelle 30: Charakteristische Spaltzugfestigkeiten in der unteren bzw. oberen Randfaser, mittlere Rohdichte des Oberbetons, Druckfestigkeit sowie die Abwitterung nach 56 Frost-Tau-Wechseln

Strecken-Code	Autobahn	$f_{ctk, sp}$ OB [N/mm ²]	$f_{ctk, sp}$ UB [N/mm ²]	f_m [N/mm ²]	Rohdichte OB [kg/m ³]	Abwitterung 56 FTW [g/m ²]
9	A 10 RF Salzburg (Ö)	5,00	-	-	2230	24
10	A 9 RF Berlin (D)	4,08	5,26	68,1	2350	84
11	A 9 RF Nürnberg (D)	4,63	4,47	79,9	2310	63

4.8.4 Statisches Elastizitätsmodul und Wärmedehnzahl

Zur Erstellung einer Substanzprognose für die Untersuchungsstrecke Deutschland wurden das statische Elastizitätsmodul nach DIN EN 12390-13:2021 [41], Verfahren A – Bestimmung des anfänglichen und des stabilisierten Elastizitätsmoduls sowie die Wärmedehnzahl ermittelt.

Für die Bestimmung des Elastizitätsmoduls standen je Richtungsfahrbahn in den Baustellen A9D288L (BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF Berlin) Bohrkerncode 10 und A9D288R (BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF Nürnberg) Bohrkerncode 11 3 Bohrkernproben mit dem Nenndurchmesser 100 mm zur Verfügung. Aus den Bohrkernproben wurde Prüfkörper mit dem Verhältnis von Durchmesser zur Länge von 1:2 durch Schneiden und Planparallelschleifen herausgearbeitet. Die Proben wurden entsprechend [41] Verfahren A belastet, die Dehnung wurde mittels Dehnungsaufnehmern der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH HBM DDS1 erfasst. Tabelle 31 gibt die für das Elastizitätsmodul je Richtungsfahrbahn aus 3 Prüfkörpern ermittelten Werte wieder.

Tabelle 31: Statisches Elastizitätsmodul nach [41], Verfahren A

Strecken-Code	Autobahn	E-Modul [MPa]
10	A 9 RF Berlin (D)	39200
11	A 9 RF Nürnberg (D)	39300

Bei der Bewertung des ermittelten statischen Elastizitätsmoduls ist zu berücksichtigen, dass der Streckenabschnitt der A9 RF Berlin einschichtig zweilagig mit einem Größtkorn von 22 mm und der Streckenabschnitt der A9 RF Nürnberg zweischichtig mit einem Unterbeton Größtkorn 22 mm und einem Waschbeton als Oberbeton mit einem Größtkorn von 8 mm hergestellt wurde. Die ermittelten Elastizitätsmodule sind jeweils dem Beton mit einem Größtkorn von 22 mm zuzuordnen.

Für die Bestimmung der Wärmedehnzahl von Beton liegt zurzeit noch kein normativ geregeltes Prüfverfahren vor. Prüftechnische Ansätze gibt es über die Bestimmung der temperaturabhängigen Längenänderung von Prüfkörpern mittels induktiver Wegaufnehmer, Setzdehnungsmesser und Dehnmessstreifen DMS. Grundlage aller Verfahren ist der Bezug der an den Betonprüfkörpern gemessenen Längendehnung auf ein Normal mit bekanntem Wärmeausdehnungskoeffizienten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde neben einer rechnerischen Abschätzung des Wärmeausdehnungskoeffizienten die Bestimmung des Wärmeausdehnungskoeffizienten mittels Dehnmessstreifen angewendet.

Die rechnerische Abschätzung der Wärmedehnzahlen der Betone wurde auf der Grundlage der Unterlage [8] ausgeführt. Die Abschätzung kann gemäß Gleichung (1) erfolgen.

$$\alpha_b = \alpha_g + (\alpha_z - \alpha_g) \cdot (1 - V_g)^{1,5} \quad (1)$$

mit

α_g – Gesteinskörnung Wärmedehnzahl

α_z – Zementstein Wärmedehnzahl

V_g - Gesteinskörnungsanteil

Die jeweiligen Gesteinskörnungsanteile GK gesamt und anteilig für die feine Gesteinskörnung FGK (quarzitischer Natursand) und die grobe Gesteinskörnung GGK (Diabas) ergeben sich aus den Erstprüfungen Beton für die Streckenabschnitte wie folgt:

A9D288L (Probe 10) RF Berlin – 2021

Oberbeton 69 % GK, davon 31 % FGK und 69 % GGK

Unterbeton 69 % GK, davon 31 % FGK und 69 % GGK

A9D288R (Probe 11) RF Nürnberg – 2020

Oberbeton 64 % GK, davon 31 % FGK und 69 % GGK

Unterbeton 70 % GK, davon 30 % FGK und 70 % GGK

Für die verwendeten Gesteinskörnungen werden auf der Grundlage der Angaben aus [54] die folgenden Wärmedehnzahlen angenommen:

α_g Diabas (grobe Gesteinskörnung) = 9×10^{-6} 1/K

α_g Quarzit (Natursand) = $12,5 \times 10^{-6}$ 1/K

Für den Zementstein kann entsprechend Unterlage [8] altersabhängig bei 65 % rel. Feuchte und $w/z = 0,40$ eine Wärmedehnzahl $\alpha_z = 20,5 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ im Alter von 0 bis 6 Monaten bzw. $15 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ im Alter von 16 Jahren angenommen werden. Für die rechnerische Abschätzung der Wärmedehnzahl der Betone werden die folgenden Wärmedehnzahlen der Komponenten verwendet (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Wärmedehnzahl der einzelnen Komponenten des Betons

Wärmedehnzahl Komponenten [10^{-6} 1/K]	
Zementstein	15
FGK (Sand quarzitisches)	12,5
GGK (Diabas)	9

Mit den o. g. Anteilen aus Gesteinskörnung und Zementstein ergeben sich rechnerische Wärmedehnzahlen für den Beton entsprechend Tabelle 33.

Tabelle 33: Rechnerische Wärmedehnzahl der Betone

Probe	Ausführung	Anteile GK [Vol.-%]		Wärmedehnzahl Beton [10^{-6} 1/K]
10	2021	A9D288L OB gesamt	69	10,9
		Sand (Quarzitisches)	31	
		GGK (Diabas)	69	
		A9D288L UB gesamt	69	10,9
		Sand (Quarzitisches)	31	
		GGK (Diabas)	69	
11	2020	A9D288R OB gesamt	64	11,1
		Sand (Quarzitisches)	31	
		GGK (Diabas)	69	
		A9D288R UB gesamt	70	10,9
		Sand (Quarzitisches)	30	
		GGK (Diabas)	70	

Zur messtechnischen Bestimmung der Wärmedehnzahl der Betone wurden aus den Bohrkernproben mit dem Nenndurchmesser 300 mm aus der oberen und unteren Randfaser der Betondecke jeweils 3 Prismen mit den Maßen 200 mm x 50 mm x 50 mm gewonnen. Die

Verwendung von Prismen aus der Randfaser der Betondecke hat den Vorteil, dass der Kennwert auch an dünnen Oberbetonschichten wie z. B. Waschbeton ermittelt werden kann. Weiterhin ist die Ausrichtung der Prismen im relevanten horizontalen Untersuchungsbereich gegeben.

Da die Wärmedehnzahl von Beton neben der Temperaturabhängigkeit stark vom Feuchtegehalt und vom Betonalter abhängig ist [8], wurden die Prismen vor der Bestimmung des Wärmeausdehnungskoeffizienten durch Lagerung bei 65 % rel. Feuchte bis zur Ausgleichsfeuchte bzw. Massenkonstanz konfektioniert. Der Wärmeausdehnungskoeffizient wurde anschließend durch Lagerung im Klimaschrank in einem Temperaturbereich von 0 °C bis 40 °C bestimmt. Zur Erfassung der temperaturbedingten Längenänderung kamen Dehnmessstreifen 1-LY41-150/120 der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH zur Anwendung. Die Dehnmessstreifen waren auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten von ferritischem Stahl kalibriert. Der gemessene Dehnungswert wurde zusätzlich noch um die temperaturabhängige scheinbare Dehnung des Dehnmessstreifen und über den Bezug auf ein Normal aus austenitischem Stahl mit bekanntem Wärmeausdehnungskoeffizienten korrigiert. Abbildung 76 zeigt exemplarisch ein Betonprisma mit applizierten Dehnmessstreifen.



Abbildung 76: Bestimmung der Wärmedehnzahl mit DMS

Die nachfolgende Tabelle 34 stellt die rechnerisch ermittelten Wärmedehnzahlen den messtechnisch ermittelten Wärmedehnzahlen gegenüber.

Tabelle 34: Rechnerische und messtechnisch ermittelte Wärmedehnzahl der Betone

Probe	Ausführung	Schicht/Lage	Wärmedehnzahl Beton [10^{-6} 1/K]	
			rechnerisch	messtechnisch
10	2021	Oberbeton	10,9	10,7
		Unterbeton	10,9	10,3
11	2020	Oberbeton	11,1	11,0
		Unterbeton	10,9	10,4

4.8.5 Griffigkeit und Längsebenheit

Die messtechnische Zustandserfassung erfolgte im Rahmen des Projektes am 19.10.2022 für die Eigenschaften Griffigkeit (μ_{RoadSTAR}) sowie Längsebenheit (IRI, Δ_{WLP} , σ_{WLP}). Die Ergebnisse sind als Mittelwerte in der nachfolgenden Tabelle 35 dargestellt.

Tabelle 35: Ergebnisse der Zustandserfassung auf der A09 bei Bad Berneck

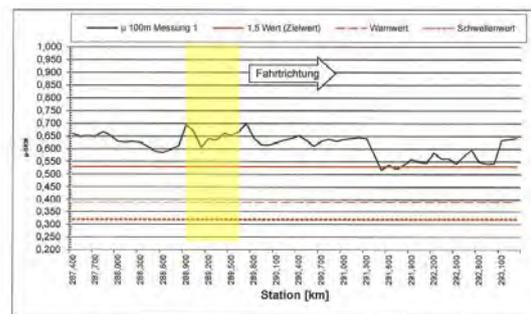
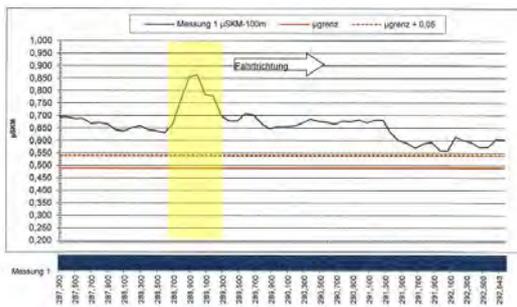
Autobahn	Richtungsfahrbahn	Fahrstreifen	μ_{RoadSTAR} (MW) [-]		IRI (MW) [m/km]		deltaWLP/6 (MW) [mm]		sigmaWLP (MW) [mm]	
			Fahrt 1	Fahrt 2	Fahrt 1	Fahrt 2	Fahrt 1	Fahrt 2	Fahrt 1	Fahrt 2
A09	RFB Berlin	PS	0,69	0,68	0,6	-	3,0	-	2,6	-
A09	RFB Berlin	FS1	0,56	0,57	0,6	-	3,3	-	2,6	-
A09	RFB München	PS	0,65	0,60	1,9	-	2,9	-	2,5	-
A09	RFB München	FS1	0,48	0,48	1,8	-	2,8	-	2,5	-

Die Messungen wurden am Pannestreifen und am rechten Fahrstreifen (Hauptfahrstreifen) durchgeführt. Nachdem das Grinding bereits im Jahr vor der Messung aufgebracht wurde, konnte der Anfangszustand nur annähernd über die Messergebnisse des Pannestreifen nachvollzogen werden. In der Griffigkeit zeigen sich am Pannestreifen dann auch deutlich höhere Werte (zwischen $\mu \sim 0,60 - 0,7$) als am Hauptfahrstreifen ($\mu \sim 0,48 - 0,58$), was auf den üblichen Rückgang über die Zeit schließen lässt.

Messungen mit dem Griffigkeits-Messsystem SKM liegen für die RFB München für zwei Zeitpunkte vor. Die erste Messung wurde im Rahmen der Abnahmeprüfung am 16.12.2020 auf allen drei Fahrstreifen durchgeführt. Eine zweite Messung wurde im Rahmen der Abnahmeprüfung des Bauloses RFB Berlin am 06.10.2021 durchgeführt. Für die RFB Berlin liegen derzeit nur die Ergebnisse der Abnahmeprüfung von Oktober 2021 vor. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 77 und Abbildung 78 dargestellt. In Gelb hinterlegt sind die im

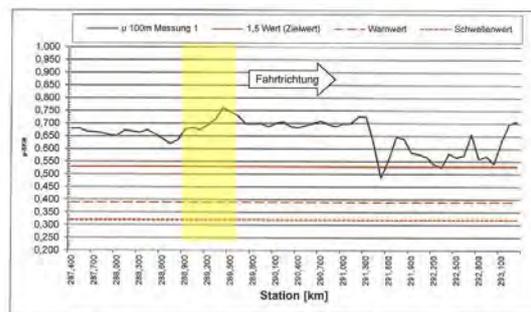
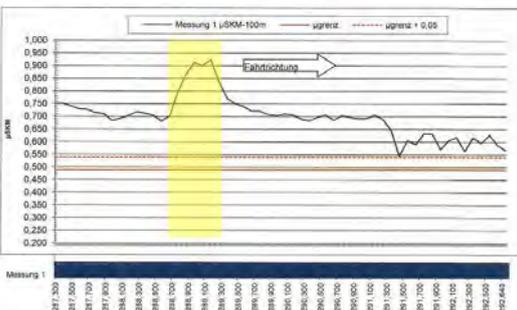
Asphalt ausgeführten Brückenabschnitte. Bei der Bauabnahme liegt die Griffigkeit bei beiden Richtungsfahrbahnen im Bereich $\mu_{SKM} \sim 0,7 - 08 [-]$, im östlichen Bereich RFB München zwischen km 291,5 und km 292,840 im Bereich $\mu_{SKM} \sim 0,6 [-]$ – alle Werte liegen über dem Zielwert. Bei der Messung ein Jahr später zeigen sich auf der RFB München nur geringfügige Änderungen.

Die Längsebenheit ist auf allen Fahrstreifen ausgezeichnet.



FS2

FS2



FS3

FS3

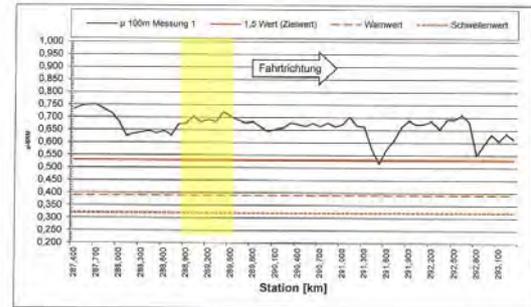
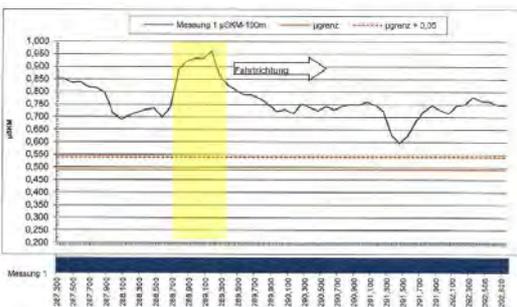
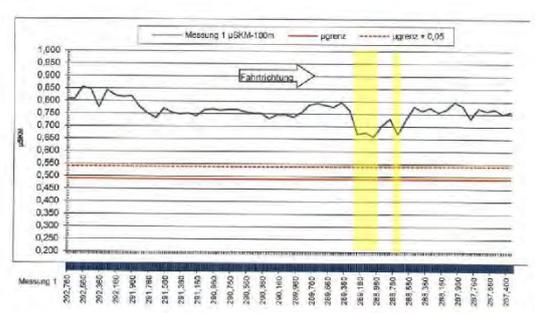
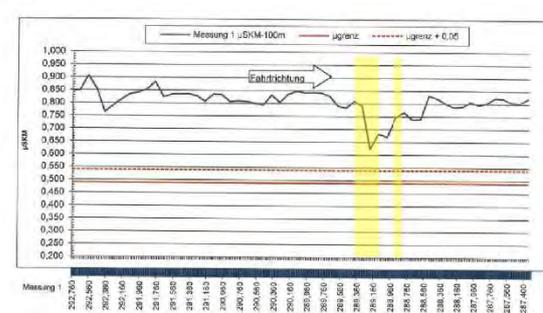


Abbildung 77: Ergebnisse der Griffigkeitsmessung mit SKM auf der A9 Marktchorgast RFB München, Messungen vom 16.12.2020 (linke Spalte) und vom 06.10.2021 (rechte Spalte). Asphalt-Abschnitte in gelb. Quelle: [10], [11].

FS1



FS3



FS2

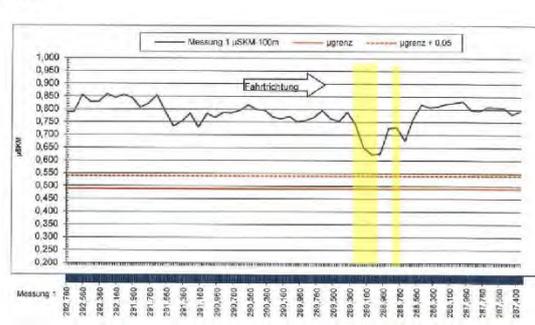


Abbildung 78: Ergebnisse der Griffigkeitsmessung mit SKM auf der A99 Marktchorgast RFB Berlin, Messungen vom 06.10.2021. Asphalt-Abschnitte in gelb. Quelle: [10], [11].

4.8.6 Rollgeräusch und 3D-Textur

Rollgeräuschmessungen auf der Untersuchungsstrecke in Deutschland wurden im Rahmen des Projektes am 20.07.2023 durchgeführt. Zusätzlich konnte auf CPX-Messergebnisse der Firma Müller BBM vom 13.10.2021 [9] zurückgegriffen werden. Der Verlauf der 20 m-CPX-Pegel ist in Abbildung 79 und Abbildung 80 dargestellt. Hier ist zu beachten, dass die Messungen vom 13.10.2021 zusätzlich Messfahrten mit dem Reifen H (CPXH in rot dargestellt) beinhaltet, die Messungen vom 20.07.2023 hingegen ausschließlich Messungen mit dem für PKW relevanten Reifen P. Daher wird für einen Vergleich der beiden Messzeitpunkte nur der Reifen P bei einer Referenzgeschwindigkeit von 80 km/h herangezogen.

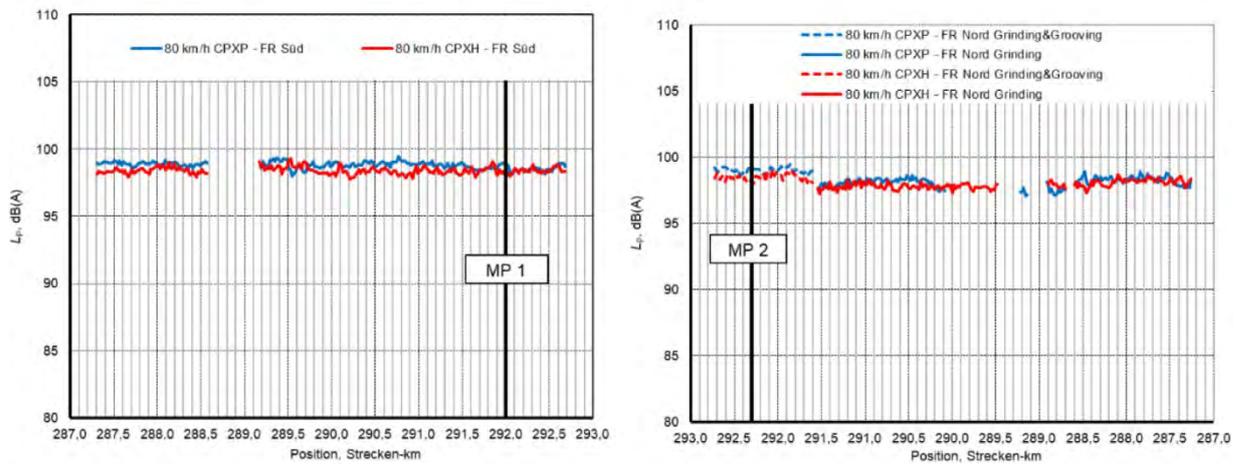


Abbildung 79: Verlauf der CPX-Pegel auf der A9 bei Marktschorgast, beide Richtungsfahrbahnen, Messung vom 13.10.2021, Grafik aus [9] entnommen.

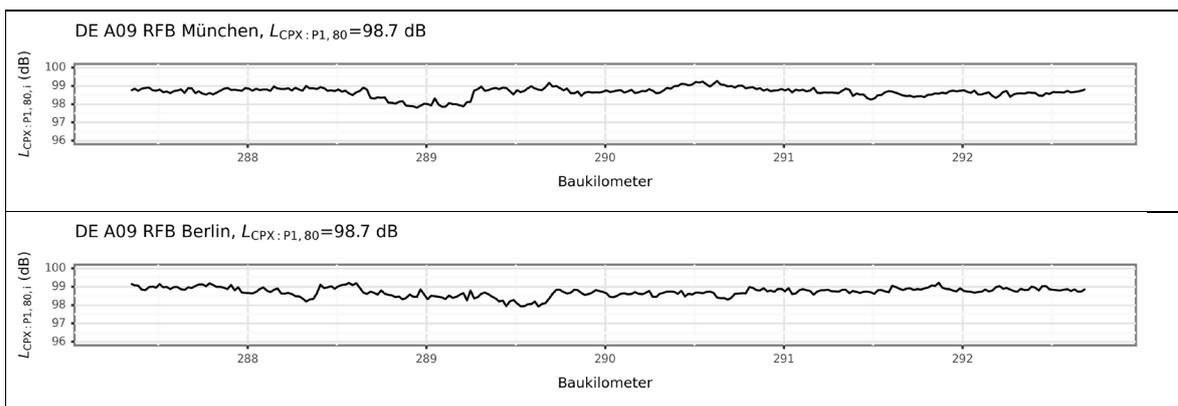


Abbildung 80: Verlauf der CPX-Pegel auf der A9 bei Marktschorgast, beide Richtungsfahrbahnen, FS1. Messung vom 20.07.2023.

Ein Vergleich der Messergebnisse aus 2023 mit den Ergebnissen der Messung von Müller-BBM vom 13.10.2021 ergibt einen weitgehend gleichgebliebenen, über die gesamte Messstrecke gemittelten CPX-Pegel. Der ursprüngliche Wert aus 2021 wird mit 98,7 dB (Richtung Süden/München) und 99,0 dB (Richtung Norden/Berlin) angegeben. Die gemittelten Werte aus 2023 betragen in beide Fahrrichtungen 98,7 dB.

Anzumerken ist hier, dass bei der zweiten Messung aus dem Jahr 2023 die gesamte Messstrecke ausgewertet wurde und somit auch Brückenbereiche, in denen Asphalt verbaut ist, in das Gesamtergebnis einfließen. Insbesondere der Abschnitt zwischen Baukilometer ca. 288,7 und ca. 289,2 fällt hier durch einen vergleichsweise geringen CPX-Pegel auf. Dieser Abschnitt wurde in der ersten Messung vernachlässigt und verringert somit den Mittelwert der späteren Messung im Vergleich zur ersten Messung. Des Weiteren ist der Effekt des

Groovings, der in der ersten Messung einen etwas höheren Schalldruckpegel als in Bereichen reinen Grindings verursacht, in der Messung aus 2023 nicht mehr sichtbar.

In den folgenden Grafiken in Abbildung 83 werden ausgewählte Parameter der Auswertung der 3D-Texturmessungen im Verlauf über die Messstrecke dargestellt. Es handelt sich um den Hohlraum zwischen Reifen und Textur, den Betrag des Texturgradienten in Fahrtrichtung sowie die Stegbruchdichte. Die Parameter wurden in Kapitel 3.3 eingeführt und definiert.

Die Darstellung des Texturgradienten in Fahrtrichtung München zeigt einen reduzierten Betrag des Gradienten im Bereich von Baukilometer 289,0, der mit dem Bereich des geringeren CPX-Pegels zusammenfällt. Dieser Abschnitt geht außerdem mit einer geringeren Stegbruchdichte einher, auch wenn dieser Effekt weniger deutlich als beim Texturgradienten ist. Außerdem enthält die Darstellung des Verlaufes einzelne Spitzen. Im Bereich von ca. km 288,7 km – km 289,25 ist die Betonfahrbahn durch eine Asphaltfahrbahn unterbrochen. In diesem Abschnitt ist ebenfalls Grinding vorhanden. Die zugehörigen Werte der Stegbruchdichte zeigen, dass es im betrachteten Fall bei Asphalt mit Grinding zu weniger Stegbrüchen kommt als bei den Abschnitten, in denen Beton mit Grinding verwendet wurde. Dies steht auch in gutem Einklang mit dem auf Asphalt reduzierten Betrag des Gradienten in Fahrtrichtung.

In Fahrtrichtung Berlin treten markante Spitzen in der Stegbruchdichte treten bei Baukilometer 289 und 289,2 auf. Diese sind auf unvollständiges Grinding im Bereich der Stoßstellen bei Brückenbeginn und -anfang zurückzuführen. Sie haben aber augenscheinlich keinen signifikanten Einfluss auf den CPX-Pegel.

Der erhöhte Hohlraumgehalt in Fahrtrichtung Berlin ab Baukilometer 291,6 ergibt sich aus dem dort vorhandenen Grooving. Das Grooving schränkt allerdings die Ergebnisse der Stegbruchdetektion in ihrer Aussagekraft deutlich ein, da der entwickelte Algorithmus auf reines Grinding ausgelegt wurde.

Im Folgenden werden ausgewählte Ausschnitte der 3D-Textur gezeigt. Die Bilder stellen die Höhen- und Tiefeninformation der Fahrbahnoberfläche farblich gekennzeichnet dar, wobei weiß bis gelb einem „Berg“ und schwarz bis rot einem „Tal“ entspricht. Die grünen Rechtecke kennzeichnen Regionen, in denen Stegbrüche durch den Algorithmus erkannt werden.

Abbildung 81 zeigt exemplarisch die 3D-Textur mit in grün gekennzeichneten detektierten Stegbrüchen, links im angesprochenen Bereich mit geringerem CPX-Pegel und geringerem Texturgradienten in Fahrtrichtung München bei Baukilometer 288,91 und rechts außerhalb dieses Bereiches bei Baukilometer 288,0. Hierdurch wird anschaulich gezeigt, dass im Abschnitt mit Betonfahrbahn mehr Stegbrüche detektiert wurden, als im Abschnitt mit Asphaltfahrbahn. In Abbildung 82 ist das unvollständige Grinding am Brückenanfang und -ende in Fahrtrichtung Berlin/Norden zu sehen, das zu einer erhöhten Stegbruchdichte führt.

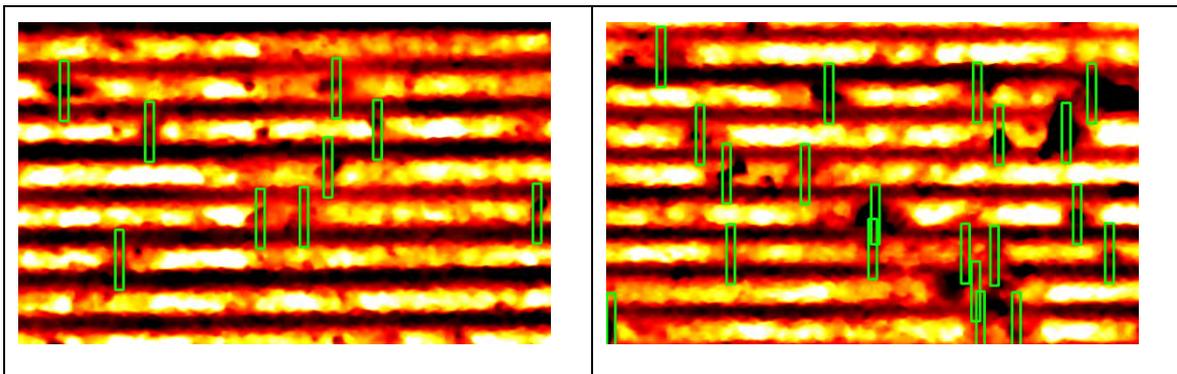


Abbildung 81: 3D-Textur mit Stegbruchdetektion (grüne Rechtecke) bei Baukilometer 288,91 (links) und 288,00 (rechts), Fahrtrichtung München/Süden.

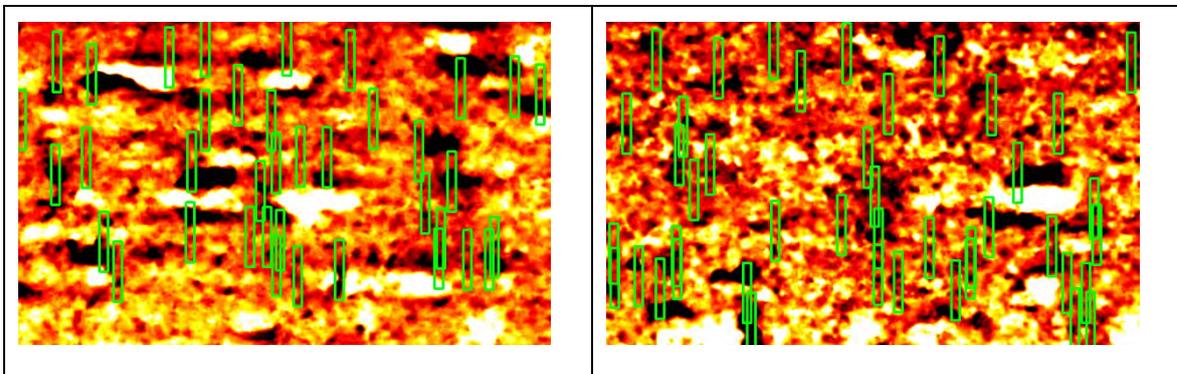


Abbildung 82: Unvollständiges Grinding bei Baukilometer 289,21 (links) und 289,02 (rechts), Fahrtrichtung Berlin/Norden.

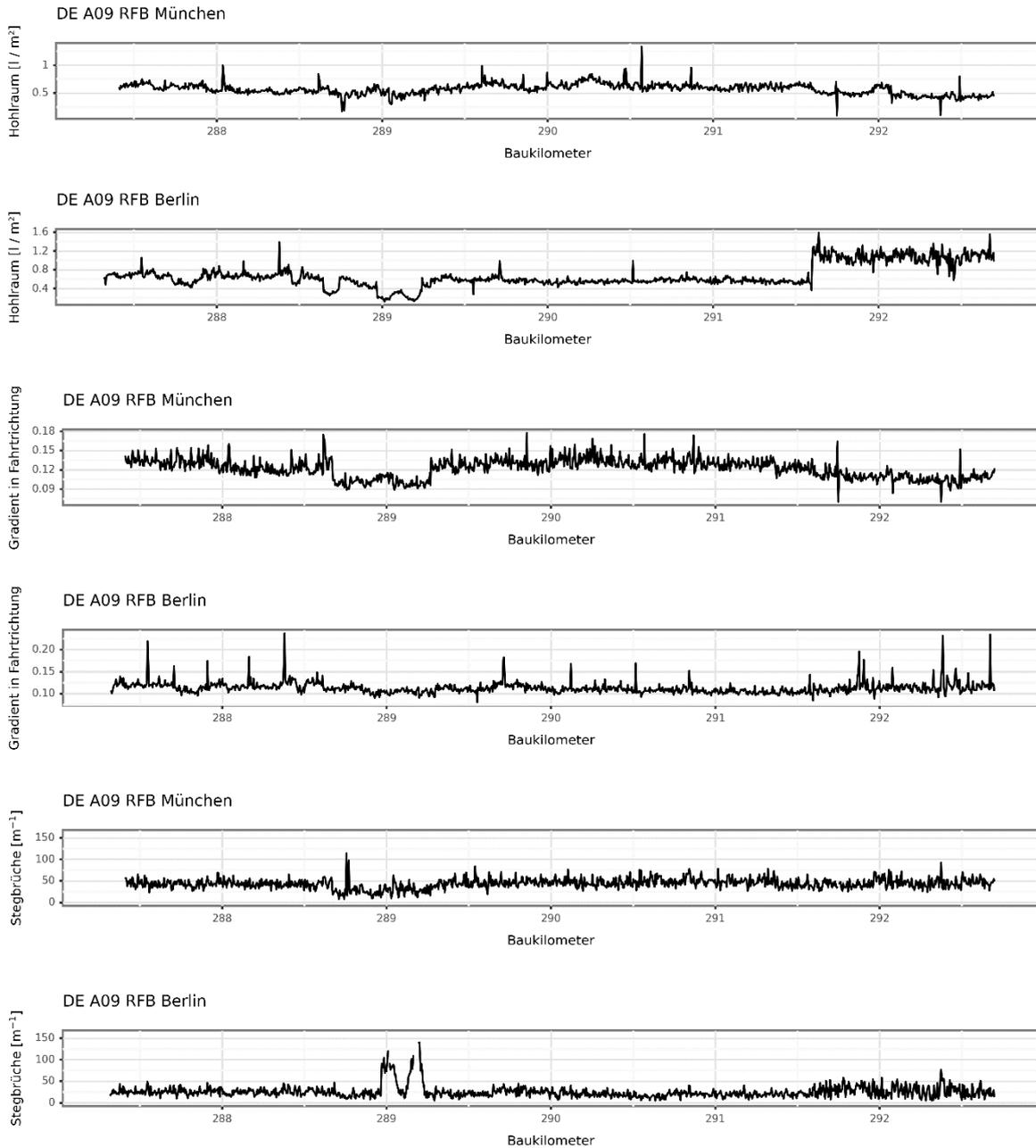


Abbildung 83: 3D-Texturparameter für Untersuchungsstrecke in Deutschland (A09, Marktschorgast) in beiden Fahrtrichtungen (München/Süden und Berlin/Norden).

5 SPEZIFIKATION TEXTURGRINDING

5.1 Verhaltensfunktionen

Im Rahmen des Projekts wurden auf 7 verschiedenen Streckenabschnitten in Deutschland und Österreich Messungen der Lärmemission mit dem PKW-Reifen (CPX_P) und der Griffigkeit (μ SKM und μ RoadSTAR) durchgeführt. Mit den vorhandenen Daten wurden erste Verhaltensfunktionen definiert, welche den verallgemeinerten Wertebereich für einen bestimmten relativen Zeitpunkt abbilden. In diesem Fall entspricht dieser relative Zeitraum dem seit dem letzten Grinding bis zum Messzeitpunkt. Zur Ermittlung der Verhaltensfunktionen werden die vorhandenen Messwerte zusammen auf einem Diagramm aufgetragen und interpretiert. Je nach Verlauf und Funktion muss eine parametrisierte allgemeine mathematische Funktion definiert werden.

5.1.1 Lärmemission

Für die Lärmemission wurden Messreihen für CPX_P (bei 80 km/h) aufgenommen und Verhaltensfunktionen ermittelt. Die Messreihen sind in Abbildung 68 und Abbildung 69 dargestellt.

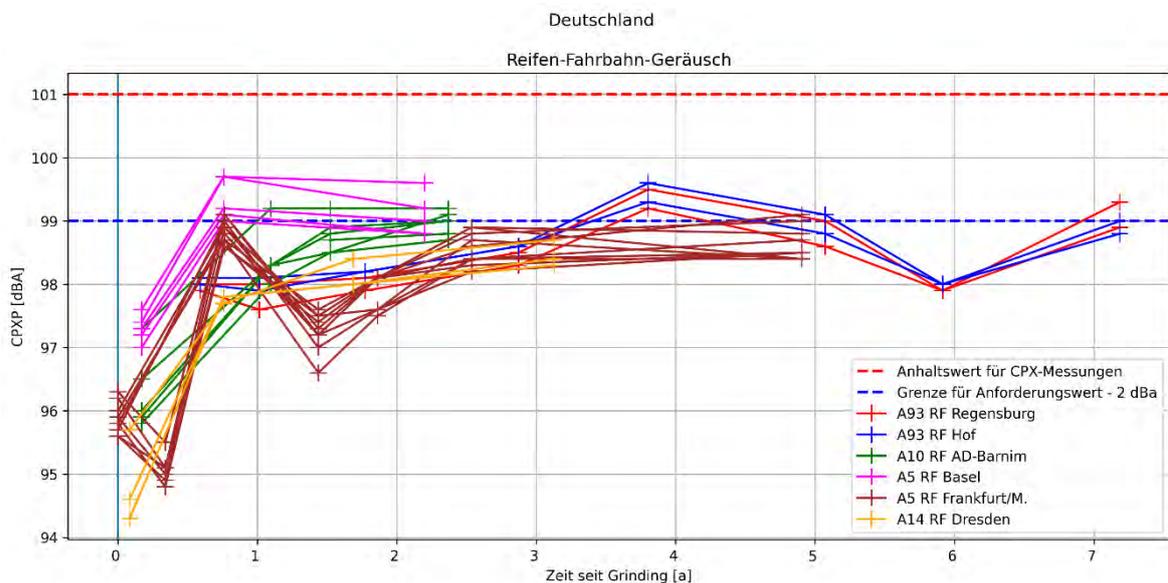


Abbildung 84: CPXP-Messungen in Deutschland, kodiert nach Streckenabschnitt

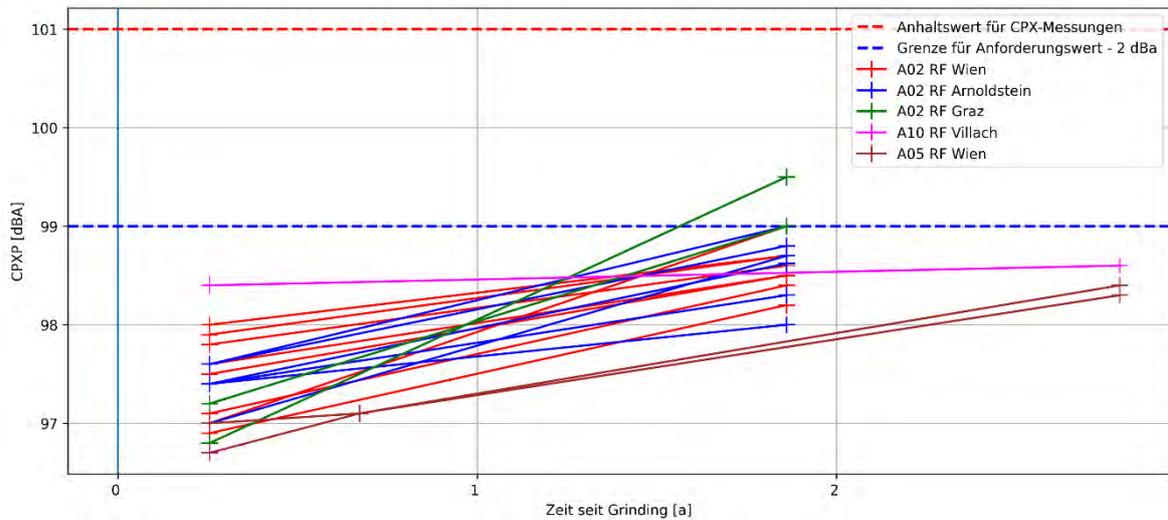


Abbildung 85: CPXP-Messungen in Österreich, kodiert nach Streckenabschnitt

Erkennbar ist ein grundsätzlich niedriger Wert zwischen 94 und 98 dB(A) nach dem Grinding, welcher mit unterschiedlicher Intensität innerhalb der direkt folgenden Jahre wieder ansteigt. In den Diagrammen ist der Anhaltswert, basierend auf den Regelungen der Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen [52], sowie der allgemeine Anforderungswert bei Neuplanungen eingezeichnet. Der Anhaltswert wird nicht erreicht, der Anforderungswert aber tangiert und leicht überschritten. Für die Streckenabschnitte in Österreich liegen keine ausreichenden Messwerte für die Erstellung einer Verhaltensfunktion vor. Daher werden die Verhaltensfunktionen für die Messdaten aus Deutschland erstellt.

5.1.1.1 Analyse der Messdaten für die Lärmemission

Die Analyse beinhaltet auch die Erforschung möglicher Korrelationen mit baulichen und verkehrsabhängigen Parametern der Streckenabschnitte. In Abbildung 70 werden Verläufe der Messungen den Segmentabständen bzw. Stegbreiten nach dem Grinding gegenübergestellt. Die roten Verläufe entsprechen z.B. einem Segmentabstand von 1,0 mm, welcher auf der A5 in Richtung Frankfurt a.M. angewandt wurde, während die blauen Linien den Strecken mit einem Segmentabstand von 2,2 mm entsprechen, welcher auf der A93 nach Hof zu finden ist. Es lässt sich die Tendenz ablesen, dass ein kleinerer Segmentabstand bzw. eine kleinere Stegbreite nach dem Grinding zu einer geringeren Lärmemission führt. Nach ca. 3 Jahren scheint sich diese Tendenz zu verlieren und der Abstand zwischen den verschiedenen Messungen wird geringer. In Abbildung 71 wird analog der Zusammenhang zwischen den Messwerten und der Schwerverkehrsstärke abgebildet. Für alle Strecken stand der durchschnittliche tägliche Schwerverkehr zu Verfügung. Als Vergleichsjahr wurde

das Jahr 2019 gewählt. Mit der Anzahl der Fahrspuren wurden die äquivalenten Achsübergänge B, bezogen auf eine 10-Tonnen-Achse, nach [48] berechnet. In diesem Fall wird keine Korrelation zwischen der Intensität der Lärmemission und den Achsübergängen ersichtlich. Die Änderung der Belastung durch den Schwerverkehr führt weder zu einer klaren Verringerung noch Erhöhung des Lärms. Allerdings ist zu bedenken, dass alle untersuchten Strecken ein relativ hohes Schwerverkehrsaufkommen aufweisen.

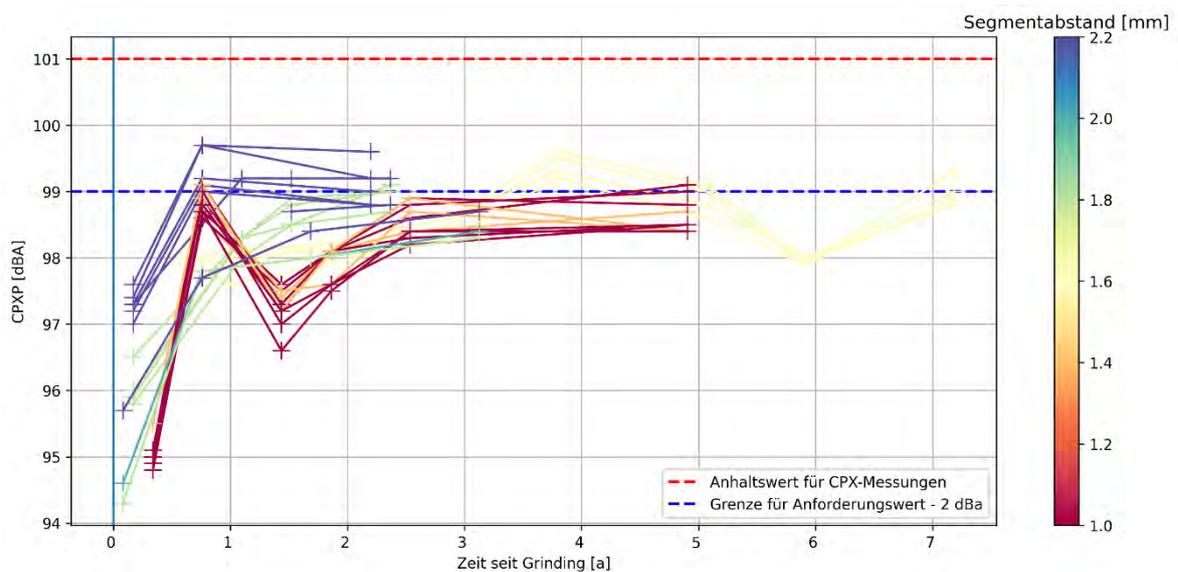


Abbildung 86: CPXP-Messungen in Deutschland, kodiert nach Segmentabstand bzw. Stegbreite nach dem Grinding

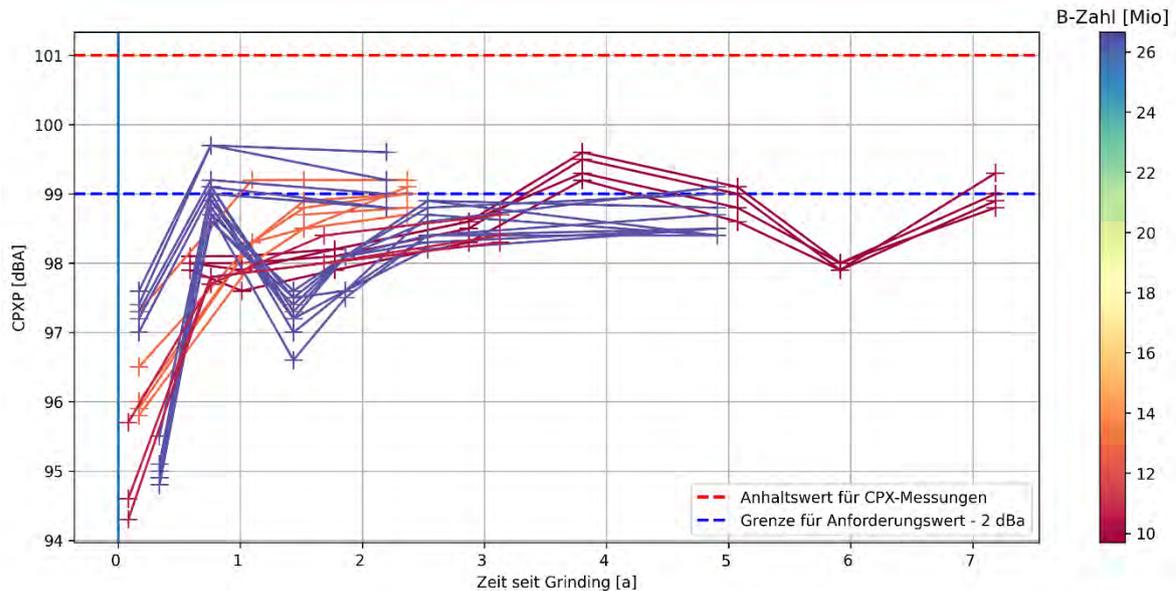


Abbildung 87: CPXP-Messungen in Deutschland, kodiert nach den äquivalenten Achsübergängen B nach [RStO 12]

5.1.1.2 Identifikation der Verhaltensfunktionen für die Lärmemission

Bezugnehmend auf das Forschungsprojekt [3] werden die dort vorgestellten parametrisierten Verhaltensfunktionen hier angepasst und Parameter identifiziert, welche zum einen die bekannten Messdaten einhüllen sowie den Verlauf näherungsweise für den Datenzeitraum aber auch für weiter darüberhinausgehende Prognosen wiedergeben.

Die allgemeine Funktion lautet

$$F_{CPX}(n) = \begin{cases} F_E - \frac{F_E - F_0}{a^n} & \text{für } n < n_s \\ F_E - \frac{F_E - F_0}{a^{n_s}} + d * (n - n_s) & \text{für } n \geq n_s \end{cases},$$

wobei F_0 und F_E den Start- und Endwert (zwischen $n = 0$ und $n = n_s$) beeinflussen und a und d die Formen der zwei Einzelfunktionen beschreiben. Es wurden Parameter identifiziert, die zwei Funktionen beschreiben, welche die gemessenen Verläufe einhüllen. Die untere Kurve mit niedrigeren Lärmemissionswert wird optimistische Kurve, die obere pessimistische Kurve genannt. Die Parameter der Kurve sind in Tabelle 23 aufgeführt.

Tabelle 36: Parameter der Verhaltensfunktionen für die CPX_p-Messungen

Optimistische Kurve	Pessimistische Kurve
$F_0 = 93 \text{ dBa}$	$F_0 = 97 \text{ dBa}$
$F_E = 98 \text{ dBa}$	$F_E = 99,5 \text{ dBa}$
$a = 1,15$	$a = 1,35$
$d = 0,001$	$d = 0,002$
$n_s = 30$	$n_s = 30$

Die Verhaltensfunktionen sind in Abbildung 72 gemeinsam mit den Messwerten aufgetragen. Der anfängliche Bereich der Verhaltensfunktionen bis 6 Jahre nach Grinding wird durch die Messreihen erfasst. Der darüberhinausgehende Bereich folgt Erfahrungs- und Erwartungswerten. Es wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass die Lärmemission nach 6 Jahren einen linearen und schwach ansteigenden Verlauf zeigt. Der Mittelwert der beiden Verhaltensfunktionen überschreitet den Anforderungswert etwa im 13. Jahr nach dem Grinding. Dieser Zeitraum könnte eine mögliche regemäßige Grindingperiode markieren. Die Messwerte und Verhaltensfunktionen werden in Abbildung 73 für die österreichischen Streckenabschnitte dargestellt. Da die Zeitreihen im Bereich nach dem Grinding dort noch stark begrenzt sind, wurden diese Werte nicht als Anhaltswerte für die Funktionsbestimmung genutzt. Die bestimmten Verhaltensfunktionen umhüllen allerdings die Messwerte für Österreich, was zu einer optimistischen Annahme einer erfolgreichen Generalisierung führt.

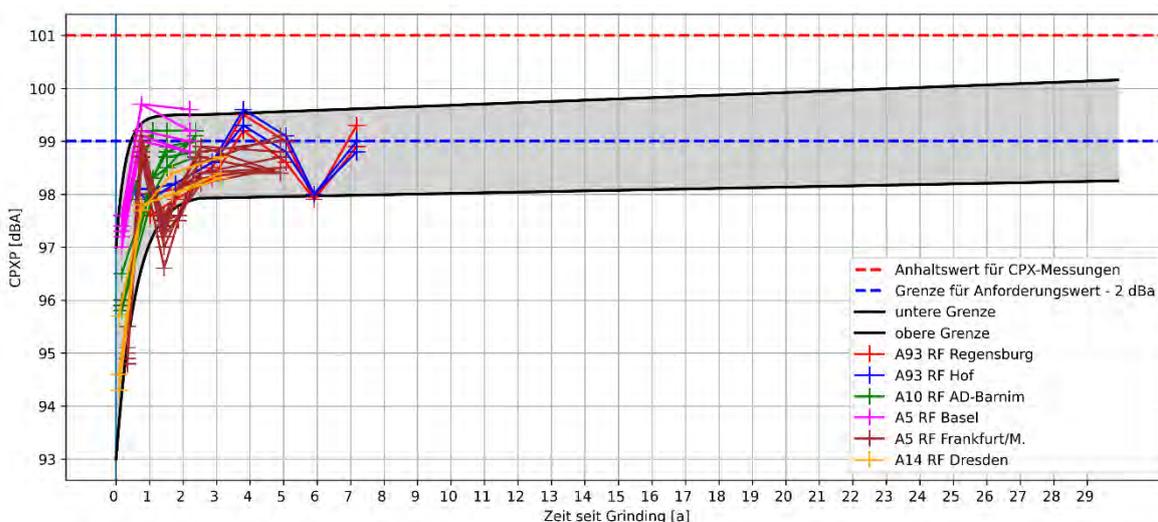


Abbildung 88: CPXP-Messungen in Deutschland und Verhaltensfunktionen mit Hüllbereich (grau)

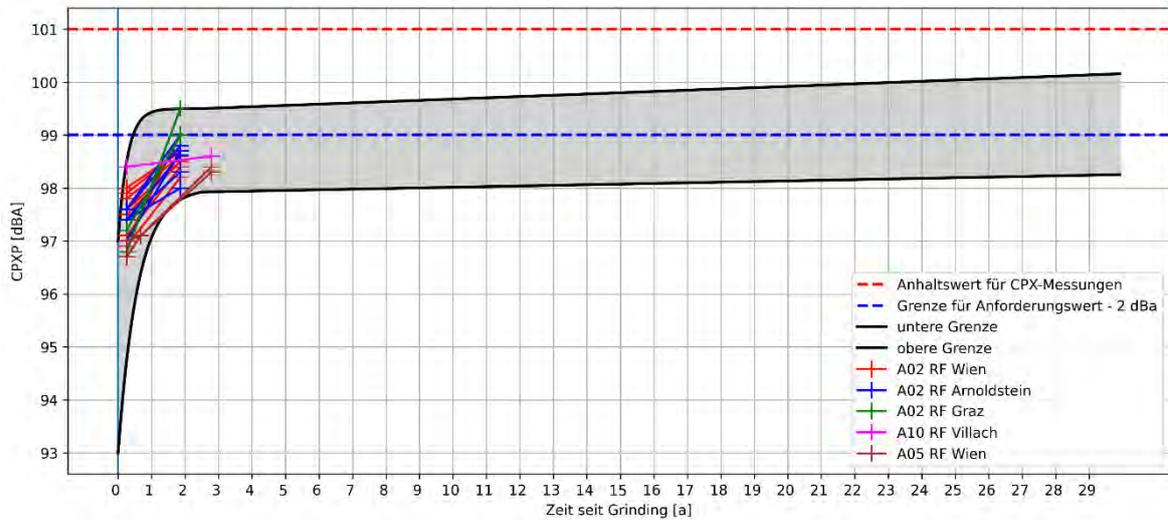


Abbildung 89: CPXP-Messungen in Österreich und Verhaltensfunktionen mit Hüllbereich (grau)

5.1.2 Griffigkeit

Die Griffigkeit wurde mit Hilfe der Verfahren SKM und RoadSTAR gemessen. Die Messwerte sind in den Abbildung 74 bis Abbildung 77 dargestellt. Für das Verfahren RoadSTAR steht für Deutschland nur eine geringe Zahl an Messwerten zur Verfügung. Ebenso existieren nur wenige Messwerte in Österreich für das Verfahren SKM. In Österreich sind Daten vom RoadSTAR vorhanden, allerdings nur für einen kurzen Zeitraum nach dem Grinding (ca. 2 Jahre). Für die Identifikation der Verhaltensfunktionen wurden daher nur die Messwerte für das SKM-Verfahren in Deutschland genutzt. Anschließend wird geprüft, ob die weiteren Messreihen und -punkte im Wertebereich der Verhaltensfunktionen liegen. In einigen Messreihen sind sehr hohe Griffigkeitsbeiwerte von nahezu 1,0 unmittelbar nach dem Grinding erkennbar. Die Werte fallen allerdings in jedem Fall deutlich ab.

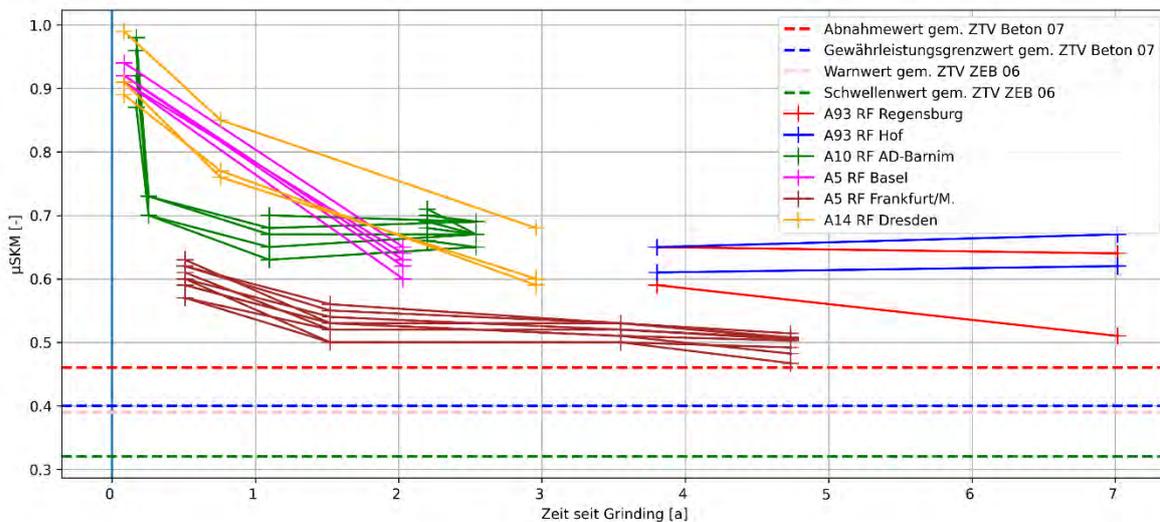


Abbildung 90: SKM-Messungen in Deutschland, kodiert nach Streckenabschnitt

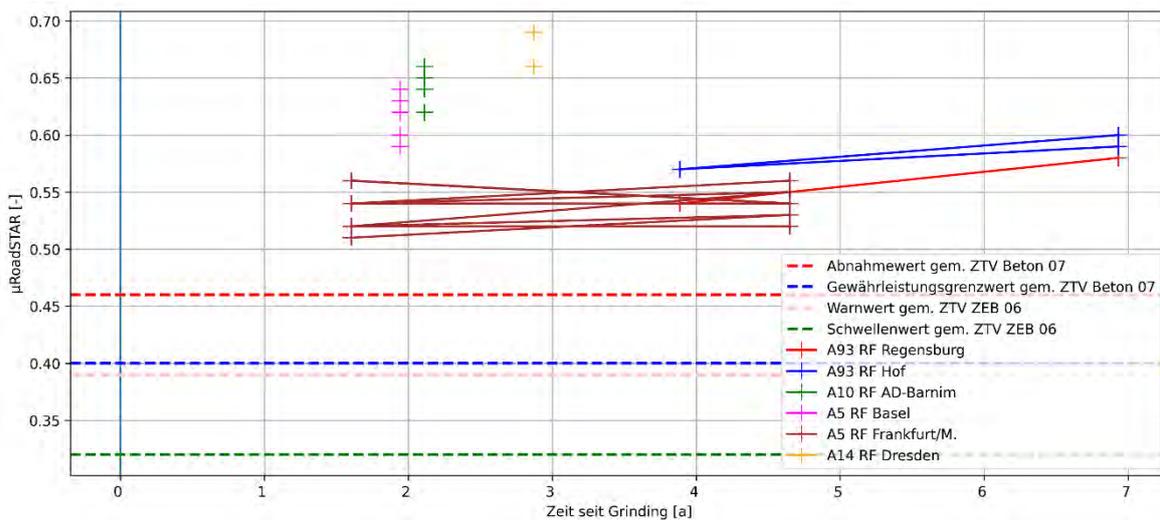


Abbildung 91: RoadSTAR-Messungen in Deutschland, kodiert nach Streckenabschnitt

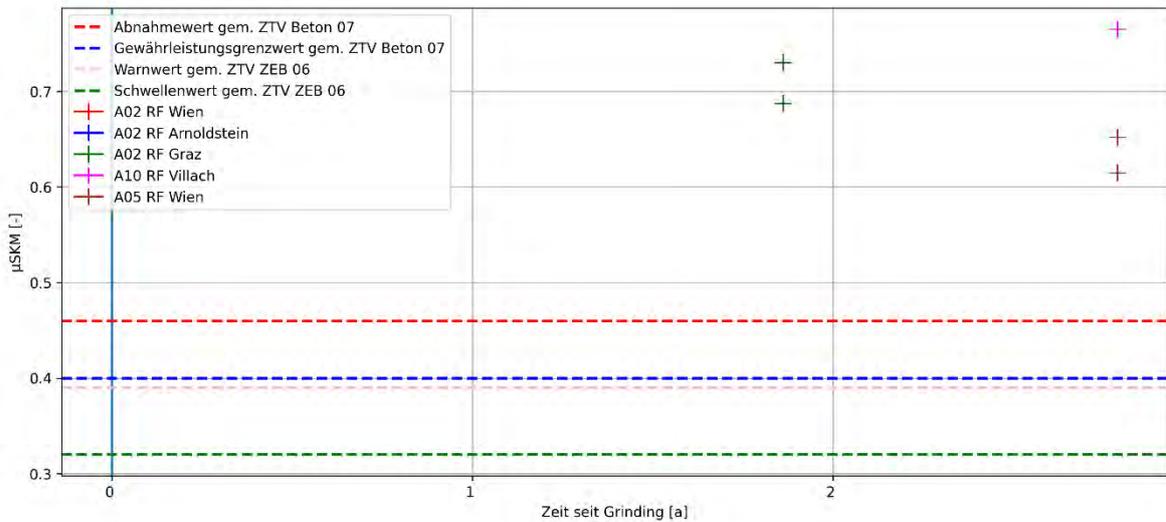


Abbildung 92: SKM-Messungen in Österreich, kodiert nach Streckenabschnitt

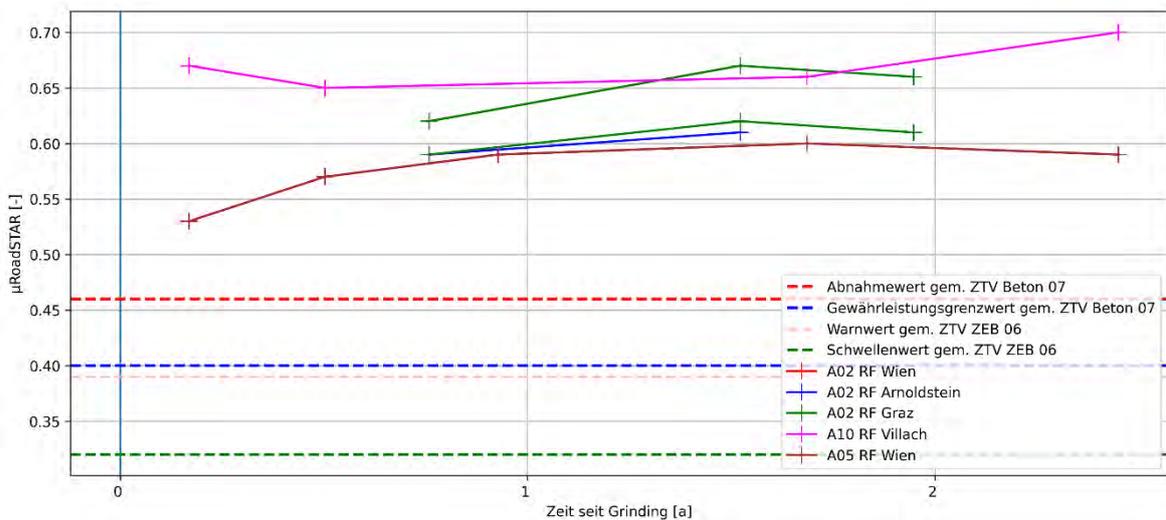


Abbildung 93: RoadSTAR-Messungen in Österreich, kodiert nach Streckenabschnitt

5.1.2.1 Analyse der Messdaten für die Griffigkeit

Wie bereits in Abschnitt 5.1.1.1 werden die Messwerte auf mögliche Korrelationen mit dem Segmentabstand und der Schwerverkehrsintensität überprüft. In Abbildung 78 wird farblich der Segmentabstand bzw. die Stegbreite beim Grindingverfahren dargestellt. Es kann einfach festgestellt werden, dass eine große Stegbreite zu einer deutlich höheren Griffigkeit nach dem Grinding führt. Ebenso kann allerdings auch abgelesen werden, dass die gröbere Textur mit dem höheren Segmentstand zu einer schnelleren Änderung der Griffigkeit bereits nach 2 Jahren führt. Die feine Textur weist zwar keine so hohe Griffigkeit unmittelbar nach dem Grinding auf, bleibt dafür aber stabiler und erfährt keine starken Änderungen mehr.

In Abbildung 79 werden die Messwerte im Zusammenhang mit den äquivalenten Achsübergängen B dargestellt. Wie schon bei der Lärmemission scheint kein direkter Zusammenhang erkennbar zu sein. Die Intensität der Änderung und die Höhe der gemessenen Griffigkeit ist offensichtlich nicht direkt von der Schwerverkehrsstärke abhängig.

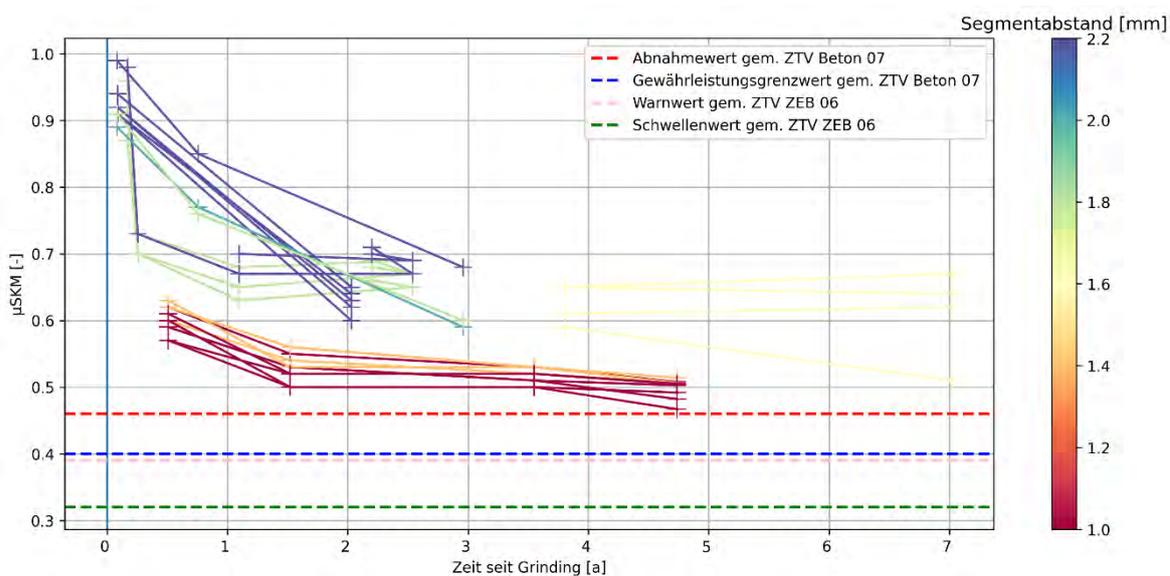


Abbildung 94: SKM-Messungen in Deutschland, kodiert nach Segmentabstand bzw. Stegbreite nach dem Grinding

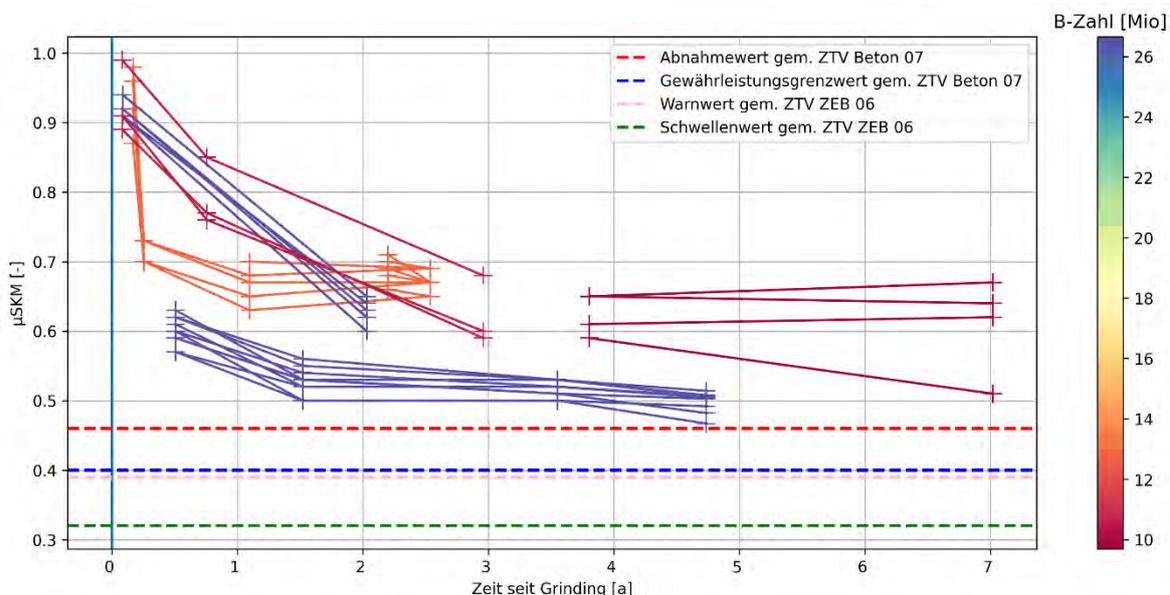


Abbildung 95: SKM-Messungen in Deutschland, kodiert nach den äquivalenten Achsübergängen B nach [RStO 12]

5.1.2.2 Identifikation der Verhaltensfunktionen für die Griffigkeit

Analog zu Kapitel 5.1.1.2 wurden auch für die Griffigkeit bereits im Rahmen von Forschungsprojekt [3] vorgestellte Funktionen angepasst und Parameter identifiziert. Auch in diesem Fall wurden zwei Kurven definiert, welche die Messwerte einhüllen. In diesem Fall ist die optimistische Kurve die obere Kurve, welche höhere Griffigkeitswerte aufweist. Die pessimistische Kurve ist dementsprechend die untere Kurve mit geringerer Griffigkeit. Die angepasste Kurve mit drei Parametern ist

$$F_{skm}(n) = c - a * \left(1 + \frac{1}{b * n + 1}\right) * \ln(n + 1),$$

wobei Parameter a und b die Form beschreiben und der Parameter c den Anfangswert nach dem Grinding. Die identifizierten Parameter sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 37: Parameter der Verhaltensfunktionen für die SKM-Messungen

Optimistische Kurve	Pessimistische Kurve
$a = 0,071$	$a = 0,052$
$b = 0,006$	$b = 0,05$
$c = 1,173$	$c = 0,7275$

In Abbildung 80 sind die SKM-Messungen für die deutschen Streckenabschnitte mit den beschriebenen Verhaltensfunktionen dargestellt. Die Verhaltensfunktionen sind in der Lage, den initialen Wertebereich und den Verlauf in den ersten 6 Jahren näherungsweise zu beschreiben. Wie bereits bei der Lärmemission wurde der darüberhinausgehende Zeitbereich durch auf Erfahrung basierenden Schätzungen in den Funktionen abgebildet. Es wird generell davon ausgegangen, dass sich die Griffigkeit asymptotisch einem Minimum annähert, welches nicht unterschritten werden wird. Ohne weitere äußere Einflüsse wird nicht davon ausgegangen, dass während der regulären Lebenszeit eines Betonstreckenabschnitts mit Grindingtextur der Warn- oder Schwellenwert unterschritten werden kann. Die einhüllenden Verhaltensfunktionen sind auch für die Messungen mit dem RoadSTAR-Verfahren für deutsche und österreichische Streckenabschnitte in den Abbildung 80 bis Abbildung 83 dargestellt.

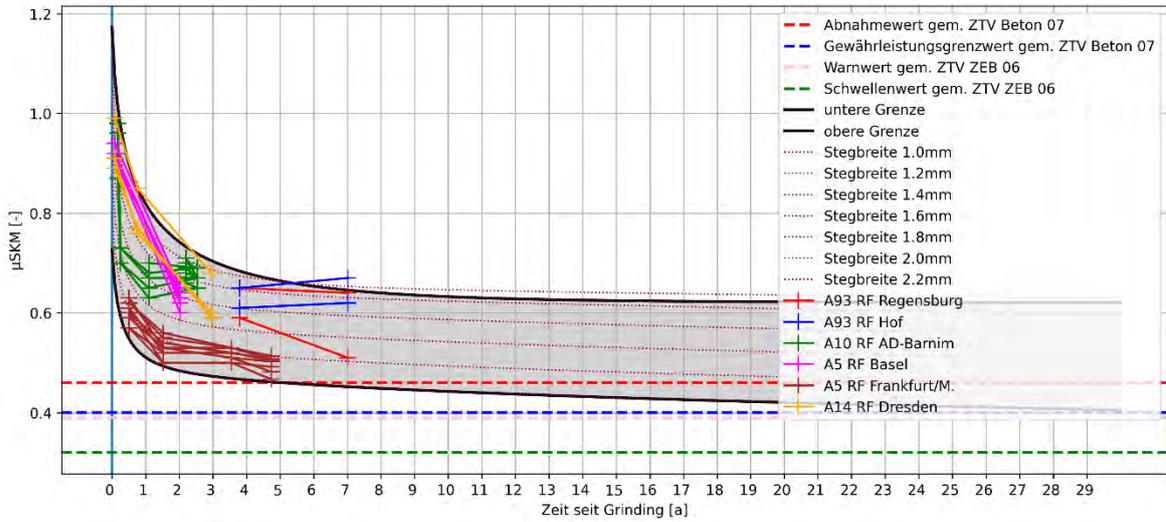


Abbildung 96: SKM-Messungen in Deutschland und Verhaltensfunktionen mit Hüllbereich (grau)

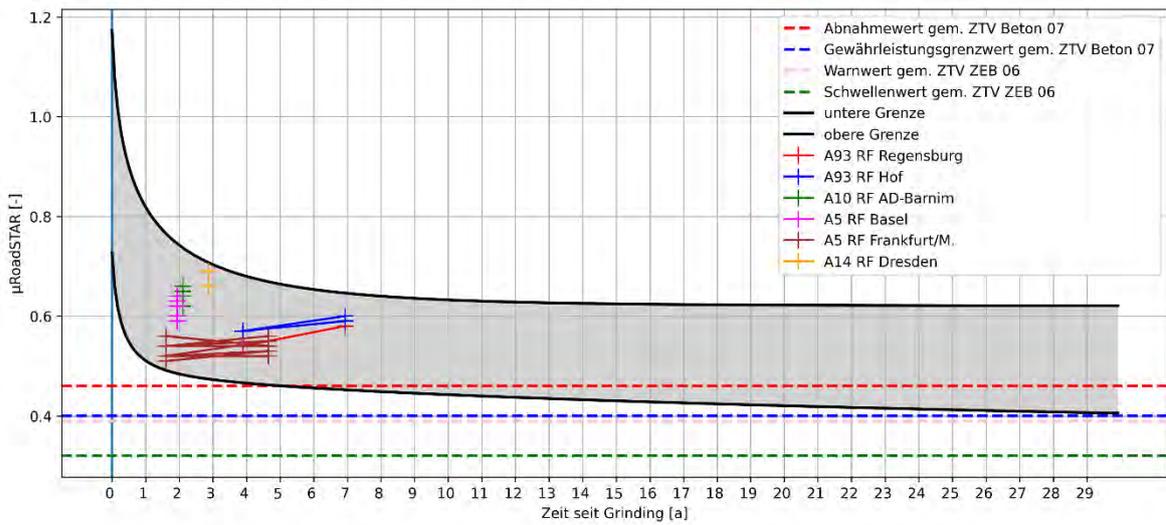


Abbildung 97: RoadSTAR-Messungen in Deutschland und Verhaltensfunktionen mit Hüllbereich (grau)

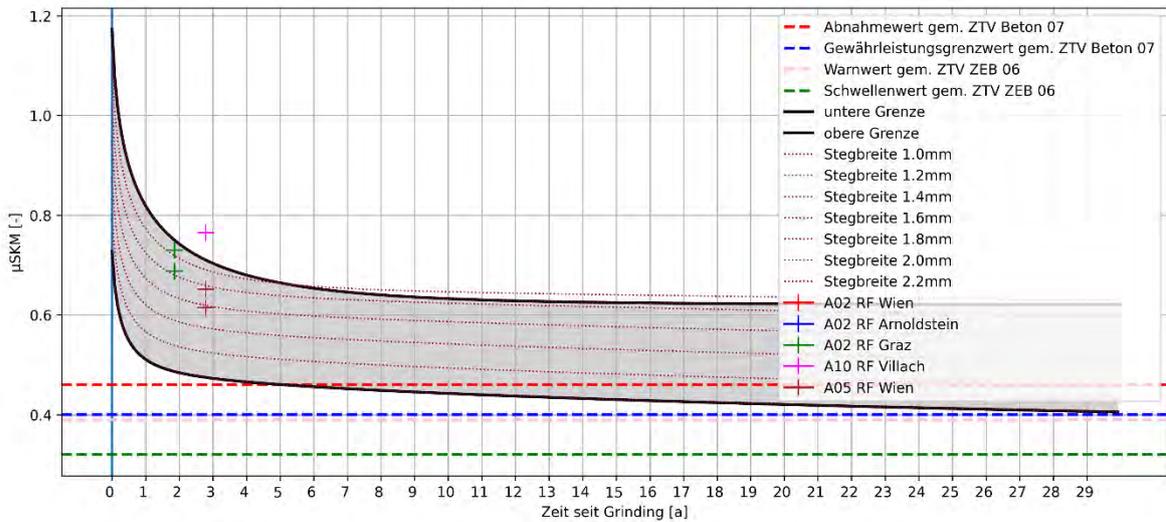


Abbildung 98: SKM-Messungen in Österreich und Verhaltensfunktionen mit Hüllbereich (grau)

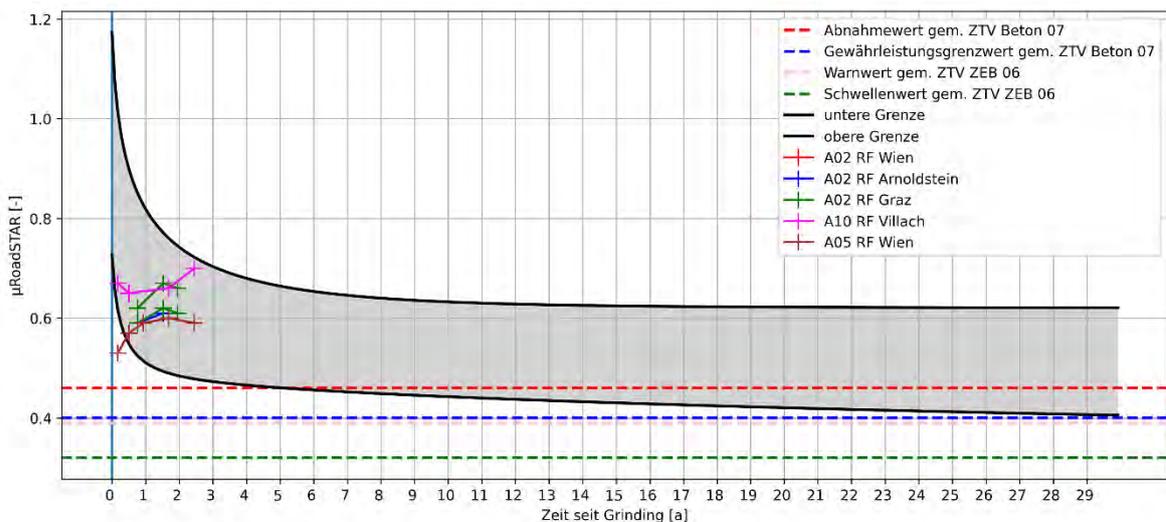


Abbildung 99: RoadSTAR-Messungen in Österreich und Verhaltensfunktionen mit Hüllbereich (grau)

5.1.3 Evaluation

Mit den vorgestellten Verhaltensfunktionen wurde ein Ansatz gezeigt, um das Verhalten der Lärmemission und der Griffigkeit nach einem Grindingsvorgang abzuschätzen und zu prognostizieren. Auf deren Basis wurde ein mögliches Grindingsintervall gewählt, welches für weitergehende Simulationen genutzt wird, um den Einfluss des Grindings auf die Lebensdauer neuer und bestehender struktureller Substanz zu untersuchen. Aufgrund der Entwicklung der Lärmemission wurde bereits ein Grindingsintervall von 13 Jahren erwähnt. Für

die Griffigkeit ist dieses auch angemessen, da sich die Werte im pessimistischen Fall bereits dem Gewährleistungsgrenzwert annähern.

5.2 Einfluss des Grindings auf die strukturelle Substanz

Mit dem identifizierten Grindingintervall soll die Auswirkung des Grindings auf das mechanische Verhalten der strukturellen Substanz rechnerisch bewertet werden. Im Projekt [4] wurde eine umfassende Simulationsmethode für die Substanzbewertung auf Basis des zeitlichen und probabilistischen Verhaltens der Material-, Geometrie- und Verkehrsparameter vorgestellt, welches mit weiteren Anpassungen eingesetzt werden kann, den Einfluss des Grindings zu untersuchen. Dazu werden für ausgewählte Streckenabschnitte Simulationen ohne Grinding und mit Grinding durchgeführt und diese Fälle gegenübergestellt.

Mit Hilfe dieser Methode wird über die Ermittlung der Schädigung des Streckenabschnitts für jedes Jahr im Nutzungszeitraum einer Strecke die Ausfallrate, also der Anteil beschädigter Platten der Betonfahrbahn ermittelt. Dafür wird die probabilistische Verteilung der Achslasten, der Temperaturgradienten, der Betonfestigkeit und der Deckendicke berücksichtigt.

5.2.1 Berücksichtigung des Grindings

Die Berücksichtigung des Grindings in diesem Verfahren erfordert die schrittweise Verringerung der Deckendicke im Grindingintervall, sowie die Anpassung des Stoßfaktors. Die Deckendicke wird als probabilistische Größe einbezogen. Durch bereits untersuchte Bohrkern sind Mittelwerte und Standardabweichungen bekannt, um die Deckendicke durch eine Normalverteilung beschreiben zu können. Mit Hilfe einer zeitabhängigen Funktion $\delta h_d(t)$ wird in jedem Jahr der Mittelwert der Deckendicke angepasst, um das Grinding zu berücksichtigen. Beispielhaft ist ein Verlauf in Abbildung 100 dargestellt, wo mit einem Grindingintervall von 13 Jahren die Deckendicke jeweils um 5 mm reduziert wird.

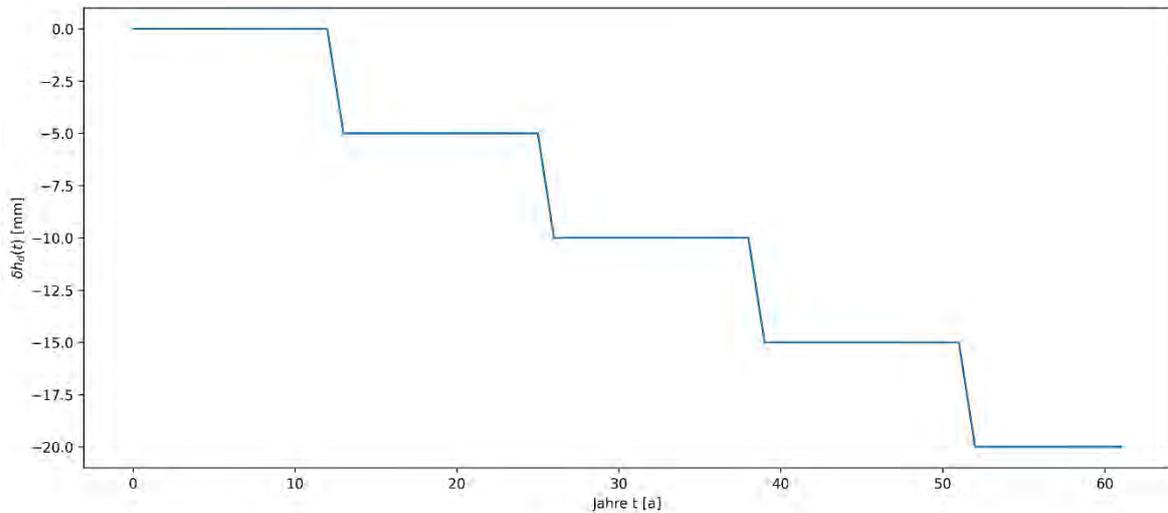


Abbildung 100: Exemplarische Darstellung des Verlaufs von $\delta h_d(t)$ für ein Grindingintervall von 13 Jahren

Der Stoßfaktor beschreibt die dynamische Erhöhung der Radlast durch Stufenbildung an den Plattenrändern sowie anderer Unebenheiten und der daraus folgenden vertikalen Beschleunigung. Da nach [54] nur eine statische Ersatzrechnung erfolgt, bildet der Faktor diese Zusatzkräfte durch eine zusätzliche äquivalente statische Last ab. Ohne Grinding erhöht sich der Stoßfaktor mit zunehmendem Alter durch Rissbildungen und Hohllagerungen unter der Betondecke sowie der Abnahme des Wirksamkeitsindex an den Querfugen, erreicht dabei aber asymptotisch einen Höchstwert. Die Gesamtlast erhöht sich dadurch um ca. 50% nach 30 Jahren. Dieser Verlauf ist in Abbildung 101 dargestellt. Durch einen erstmaligen Grindingvorgang verringern sich die Unebenheiten und somit der Stoßfaktor maßgeblich. Das Grinding führt zu einer Elimination der konstruktionsbedingten kleinen Unebenheiten. Dies ist auch an der Verbesserung der Längsebenheit nach dem Grinding ersichtlich. Es werden im Folgenden drei Szenarien untersucht. Im regulären Fall ohne Grinding gibt es keine Änderung der zeitlichen Verlaufsfunktion des Stoßfaktors. Im optimalen Fall verringert sich der Stoßfaktor auf 1,05 und der darauffolgende Anstieg beträgt nur die Hälfte des regulären Anstiegs durch die Verbesserung der Längsebenheit und der daraus folgenden langsameren Schädigung. Im pessimalen Fall bleibt der Anstieg gleich und der Stoßfaktor wird auf den Faktor 1,10 durch das Grinding abgemindert. Diese beiden Kurven sind ebenso in Abbildung 101 exemplarisch an einem Beispiel dargestellt.

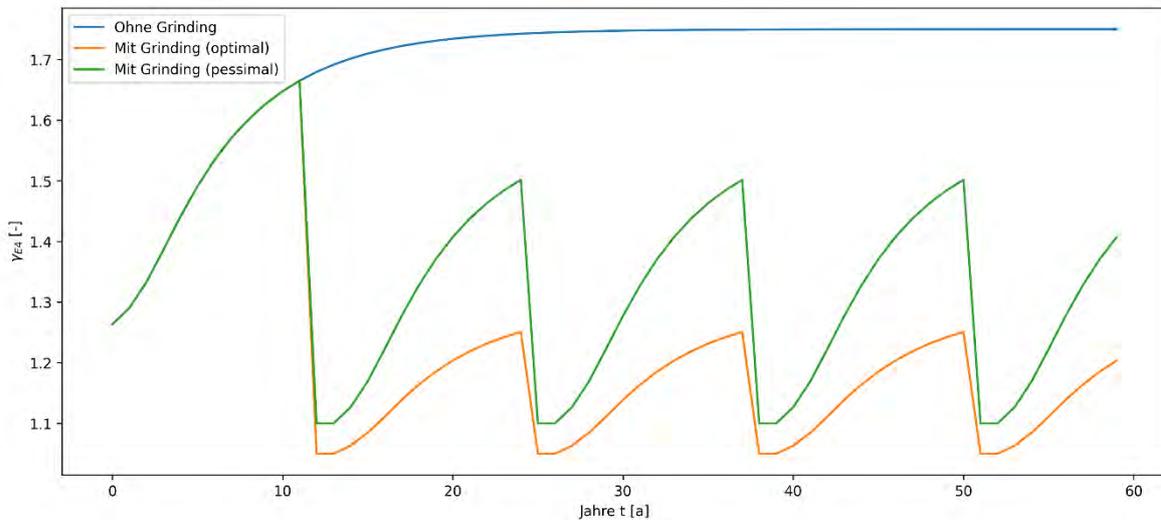


Abbildung 101: Exemplarische Darstellung des Verlaufs von $\gamma_{E4}(t)$ für ein Grindingintervall von 13 Jahren

5.2.2 Beispielsimulationen

Die Methode zur Berechnung der Ausfallrate bzw. Substanzbewertung erfordert regulär eine bekannte quantitative Ausfallrate zu einem späteren Zeitpunkt nach der Konstruktion. Mit dem Konstruktionsjahr, dem Auswertungsjahr und der Ausfallrate im Auswertungsjahr wird ein Kalibrierungsfaktor bestimmt, welcher den Verlauf der Ausfallrate nach der Einbeziehung aller sonstigen bekannten Parameter anpasst. In diesem Projekt ist die Ausfallrate allerdings unbekannt und die Bestimmung der Ausfallraten soll ab einem fiktiven Konstruktionsbeginn erfolgen. Daher wird für alle drei Szenarien (Ohne Grinding, Grinding mit optimalem Stoßfaktor, Grinding mit pessimalem Stoßfaktor) derselbe Kalibrierungsfaktor gewählt. Trotz Eingabe aller physikalischen und verkehrsstatistischen Parameter ist es dadurch nicht möglich, eine präzise Prognose der Ausfallrate in der Zukunft zu bestimmen. Dies ist nur möglich bei einer späteren Betrachtung mehrerer bestehender Strecken. Für die Untersuchung des Einflusses des Grindings ist es allerdings trotzdem zweckmäßig, eine beispielhafte Simulation durchzuführen, da der qualitative Vergleich der Szenarien möglich und realitätsgetreu ist.

In Abbildung 102 ist das Ergebnis einer solchen Simulation für die Strecke A14 bei Löbejün auf der Richtungsfahrbahn Dresden abgebildet. Die gelbe Linie bei 5% stellt die Ausfallrate dar, welche zum Entwurfszeitpunkt erst 30 Jahre nach Fertigstellung eintreten sollte. Bei 10% (rote Linie) ist die Ausfallrate so hoch, dass fortwährende Instandsetzungsmaßnahmen wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll sind und stattdessen eine grundhafte Erneuerung

notwendig wird. Ohne Grinding (grüne Kurve) wird dieser Punkt hier nach ca. 40 Jahren erreicht. Es ist deutlich erkennbar, dass selbst im pessimistischen Fall die Lebensdauer der Strecke um fast 10 Jahre verlängert wird. Vom optimalen Fall aus wird die Ausfallrate von 5% selbst nach 60 Jahren nicht erreicht. In Abbildung 103 ist die gleiche Simulation dargestellt, wobei hier (nur zur Veranschaulichung) der Stoßfaktor nicht angepasst wird, sondern nur die Betondecke sukzessiv dünner wird. In diesem Fall steigt durch die erhöhte Spannung die Ausfallrate stärker an. Im Vergleich mit der korrekten Simulation in Abbildung 96 wird erkennbar, dass der Stoßfaktor einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hat.

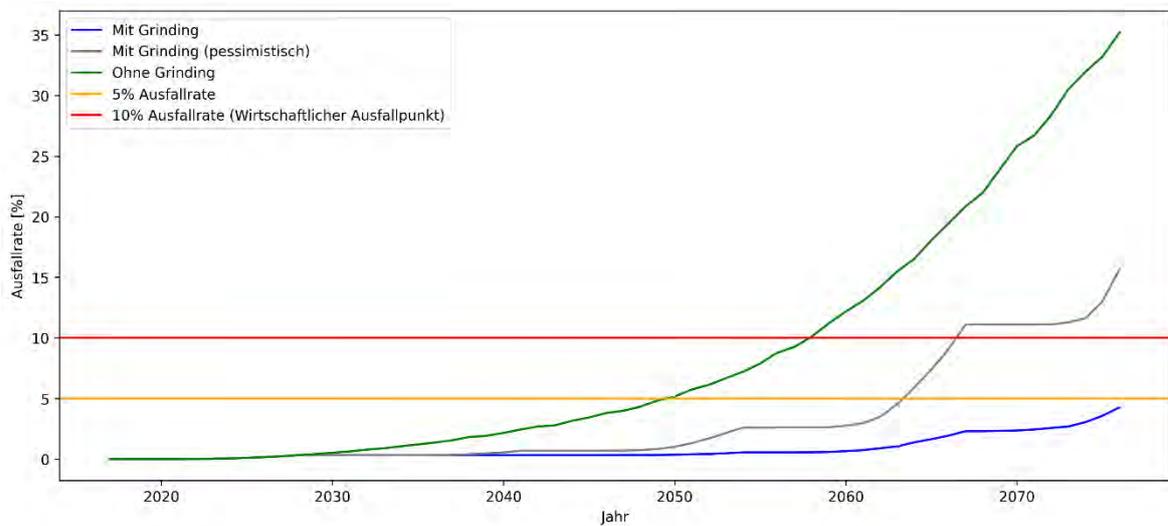


Abbildung 102: Simulation der Ausfallrate der Strecke A14 Richtungsfahrbahn Dresden

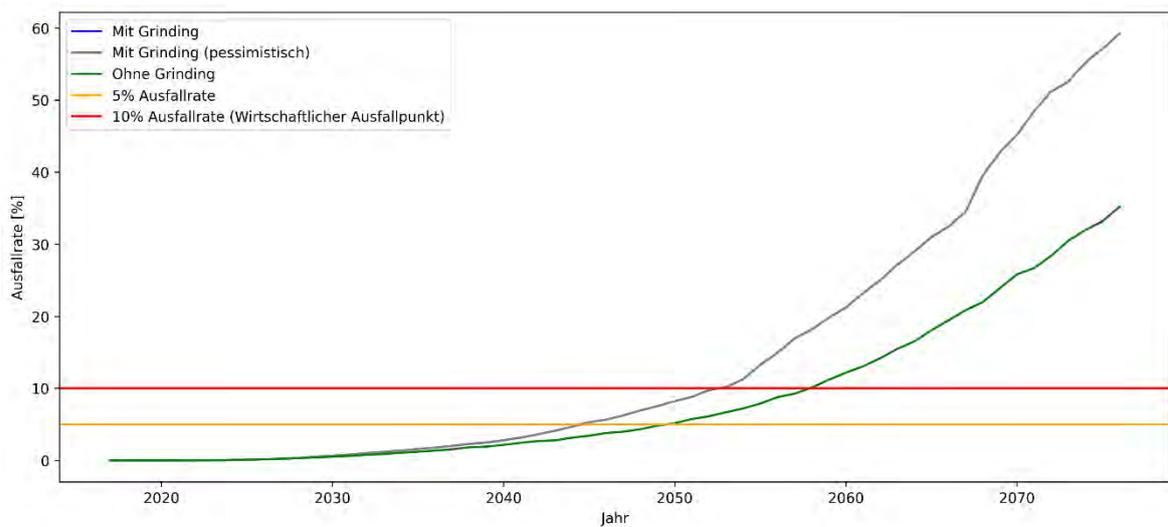


Abbildung 103: Simulation der Ausfallrate der Strecke A14 Richtungsfahrbahn Dresden bei ausschließlicher Veränderung der Deckendicke ohne Anpassung des Stoßfaktors

Zusätzlich wurde das Grindingintervall in zwei weiteren Szenarien variiert. Im ersten Fall findet ein Grinding bereits alle 6 Jahre statt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 104 dargestellt. Im Vergleich zu Abbildung 102 wird deutlich, dass die Lebensdauer durch sehr häufiges Grinding nicht mehr erhöht, sondern sogar verkürzt wird. Dies ist bedingt durch die starke Abnahme der Deckendicke und der resultierenden sehr hohen Spannungen in den Betonplatten. In einem zweiten Szenario wird ein Grindingvorgang einmalig nach Bauende durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 105 dargestellt. Durch die Verringerung des Stoßfaktors verlängert sich die Lebensdauer der Fahrbahn bereits signifikant um mehr als 10 Jahre.

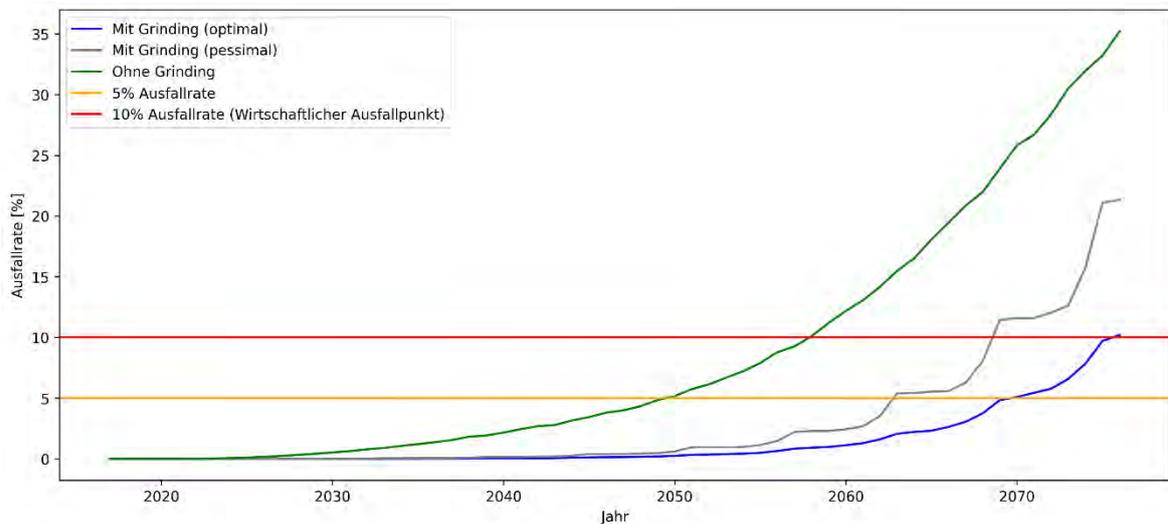


Abbildung 104: Simulation der Ausfallrate der Strecke A14 Richtungsfahrbahn Dresden mit Grindingintervall von 6 Jahren

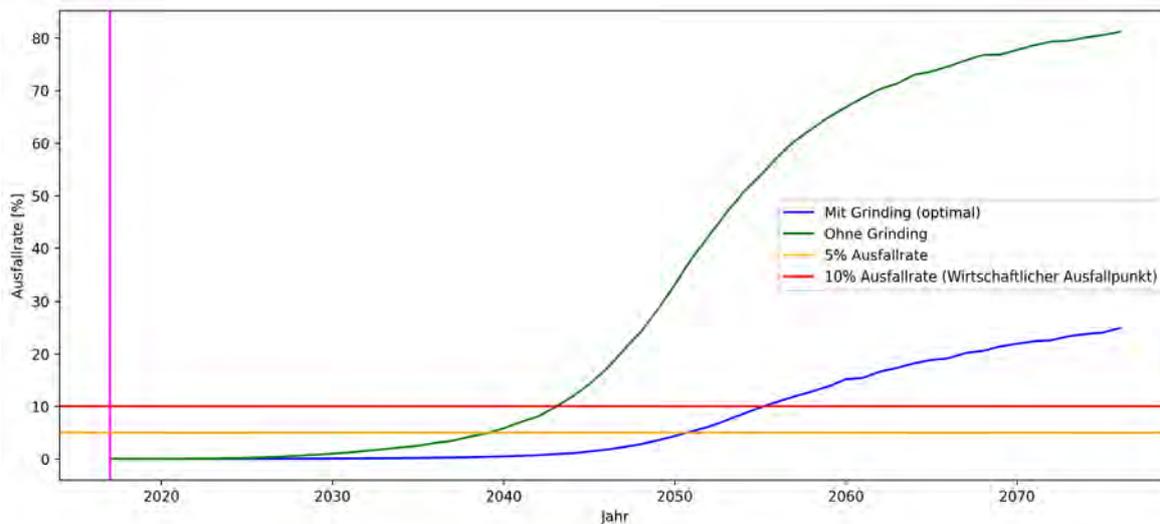


Abbildung 105: Simulation der Ausfallrate der Strecke A14 Richtungsfahrbahn Dresden mit einmaligem Grindingvorgang im Baujahr

In den Abbildung 106 bis Abbildung 108 sind weitere Simulationsergebnisse für die Streckenabschnitte A93 RF Regensburg (Abbildung 106), A10 RF Barnim (Abbildung 107) und A5 RF Basel (Abbildung 108) dargestellt. In allen Fällen wird der positive Effekt des Grindings sehr deutlich. Im Falle der Strecke A93 RF Regensburg ist die Betondecke mit Baujahr 1987 mit 21,7 cm sichtlich unterdimensioniert für heutige Verkehrsverhältnisse. Die Ausfallrate steigt sehr schnell an. Durch ein Grinding hätte hier allerdings eine Überschreitung der Grenzwerte für mindestens 10 Jahre vermieden werden können. Dagegen führt die großzügige Dimensionierung der A10 RF Barnim mit 31,5 cm Deckendicke zu einer bereits grundlegenden hohen Lebensdauer.

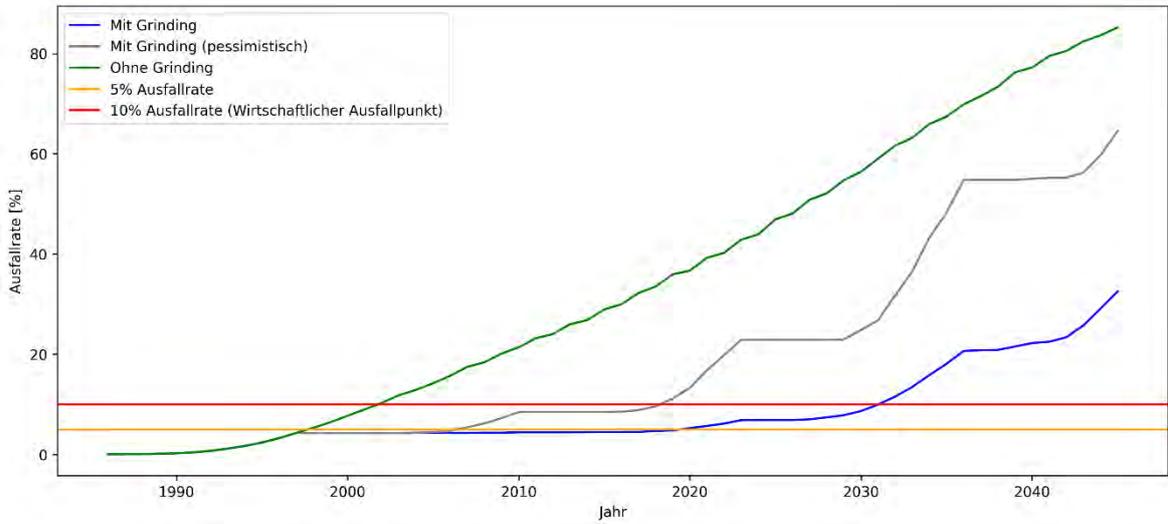


Abbildung 106: Simulation der Ausfallrate der Strecke A93 Richtungsfahrbahn Regensburg

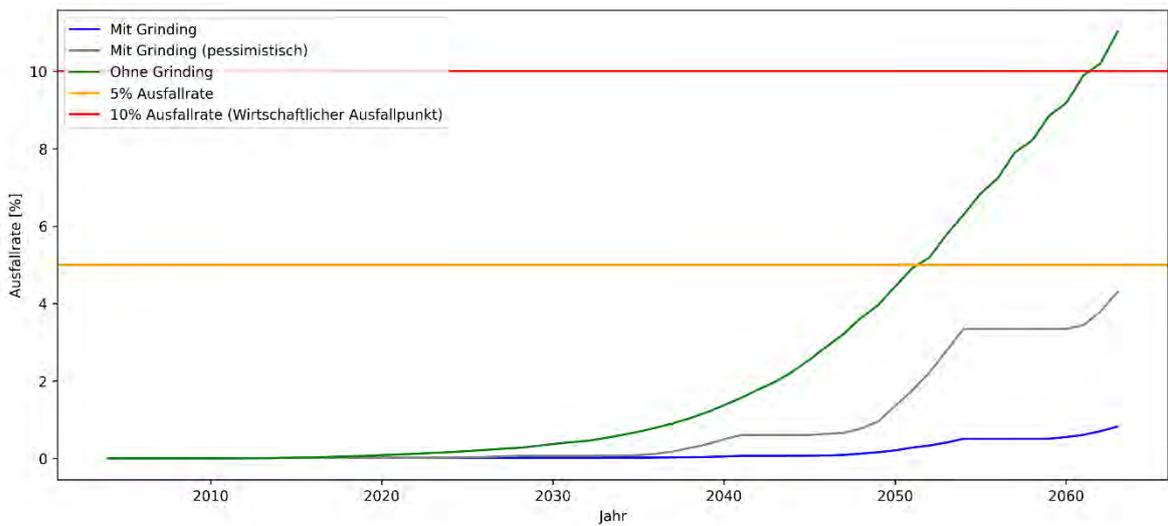


Abbildung 107: Simulation der Ausfallrate der Strecke A10 Richtungsfahrbahn Barnim

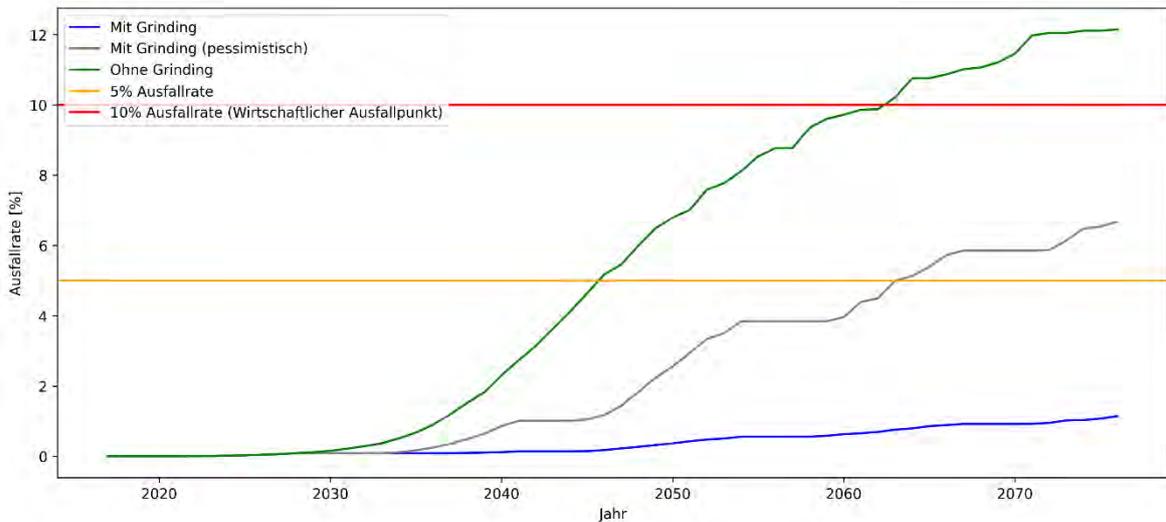


Abbildung 108: Simulation der Ausfallrate der Strecke A5 Richtungsfahrbahn Basel

In den Abbildungen 109 und 110 sind die Ergebnisse der Substanzbewertungen der Untersuchungsstrecken auf der A9 abgebildet. Deutlich wird die auch ohne Grinding sehr hohe Lebensdauer von ca. 45 Jahren. Dies ist bedingt durch eine ausreichende Dimensionierung der Betondecke (mindestens 30 cm Deckendicke) und einer hohen Güte des eingesetzten Materials. Notwendig wäre in diesen Fällen noch die Betrachtung jahreszeitlicher Effekte, die Zwangsspannungen und für eine realistischere Abschätzung eine Kalibrierung durch die Aufnahme einer gemessenen Ausfallrate zu einem späteren Zeitpunkt.

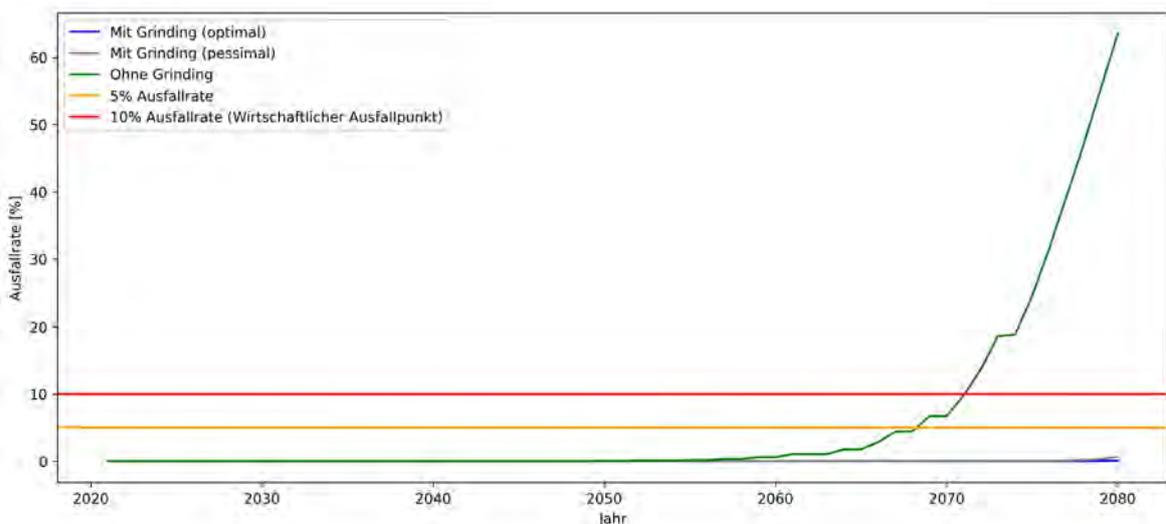


Abbildung 109: Simulation der Ausfallrate der Untersuchungsstrecke A9 Richtungsfahrbahn Berlin

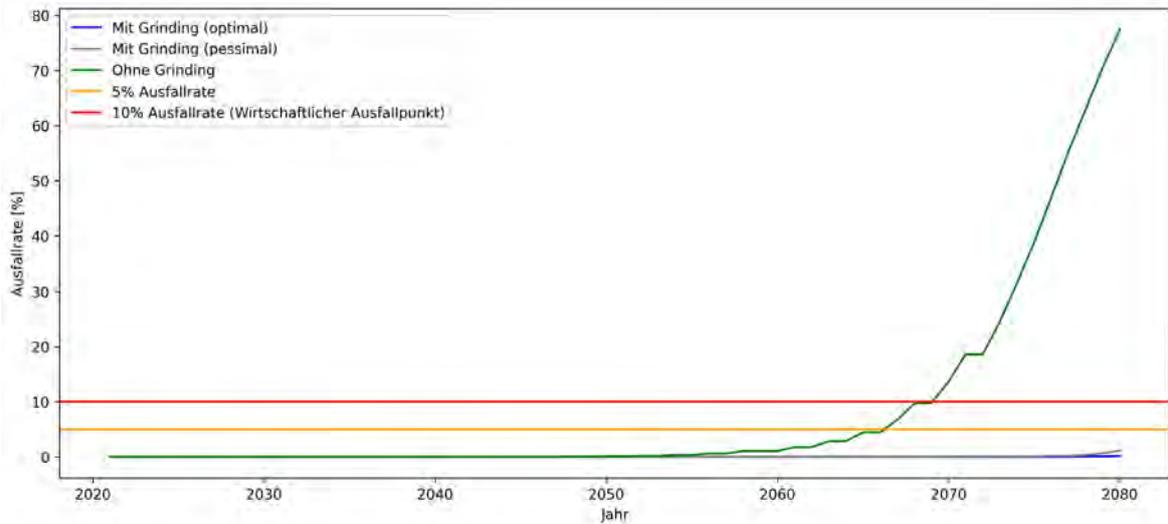


Abbildung 110: Simulation der Ausfallrate der Untersuchungsstrecke A9 Richtungsfahrbahn Nürnberg

In den Abbildungen 111 bis 114 werden die Ergebnisse der Untersuchungen an den österreichischen Streckenabschnitten A02 Wr. Neudorf, A10 Paternion, A05 Schrick und der Untersuchungsstrecke A10 Urstein abgebildet. Die vergleichsweise geringe Lebensdauer auf der Strecke A02 Wr. Neudorf resultiert aus einer hohen Verkehrsbelastung mit einem DTV_{SV} von ca. $6.600 \frac{\text{Achsen}}{24h}$. Die Prognose hoher Lebensdauer bei den Strecke A10 Paternion und A05 Schrick wird bedingt durch Kombinationen aus relativ hoher Spaltzugfestigkeiten, ausreichend dimensionierten Deckendicken und mittleren Verkehrsbelastungen. Für die Untersuchungsstrecke A10 Urstein wird eine Lebensdauer von ca. 33 Jahren prognostiziert, resultierend aus einer höheren Verkehrsbelastung. In allen Strecken kommt es erneut zu einer signifikanten Lebensdauererlängerung durch Grindingmaßnahmen.

Zusätzlich wurde das Grindingintervall in 2 weiteren Szenarien variiert. Im ersten Fall findet ein Grinding bereits alle 6 Jahre statt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 91 dargestellt. Im Vergleich zu Abbildung 86 wird deutlich, dass die Lebensdauer durch sehr häufiges Grinding nicht mehr erhöht, sondern sogar verkürzt wird. Dies ist bedingt durch die starke Abnahme der Deckendicke und der resultierenden sehr hohen Spannungen in den Betonplatten.

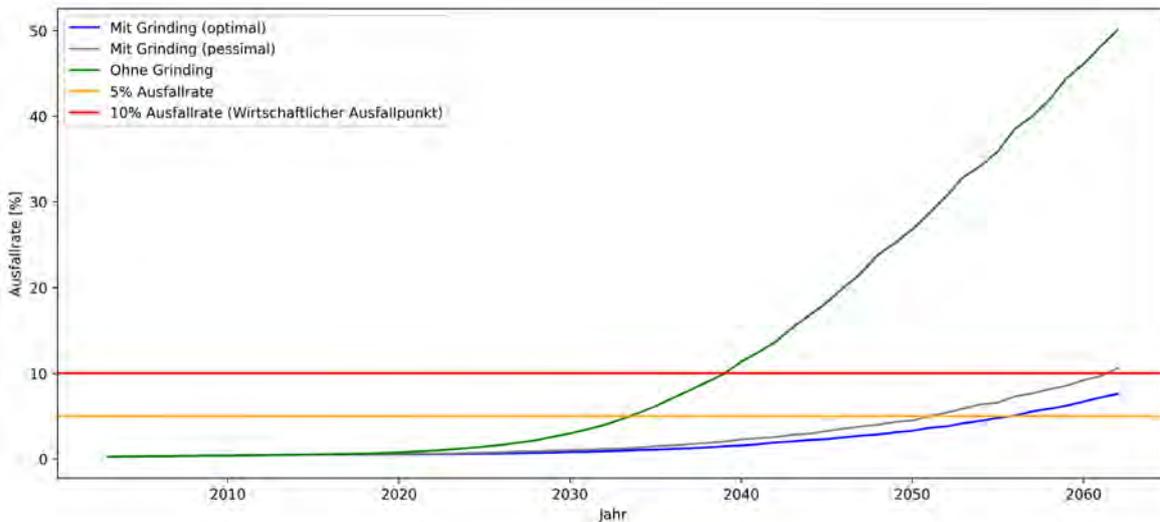


Abbildung 111: Simulation der Ausfallrate der Strecke A02 Wr. Neudorf

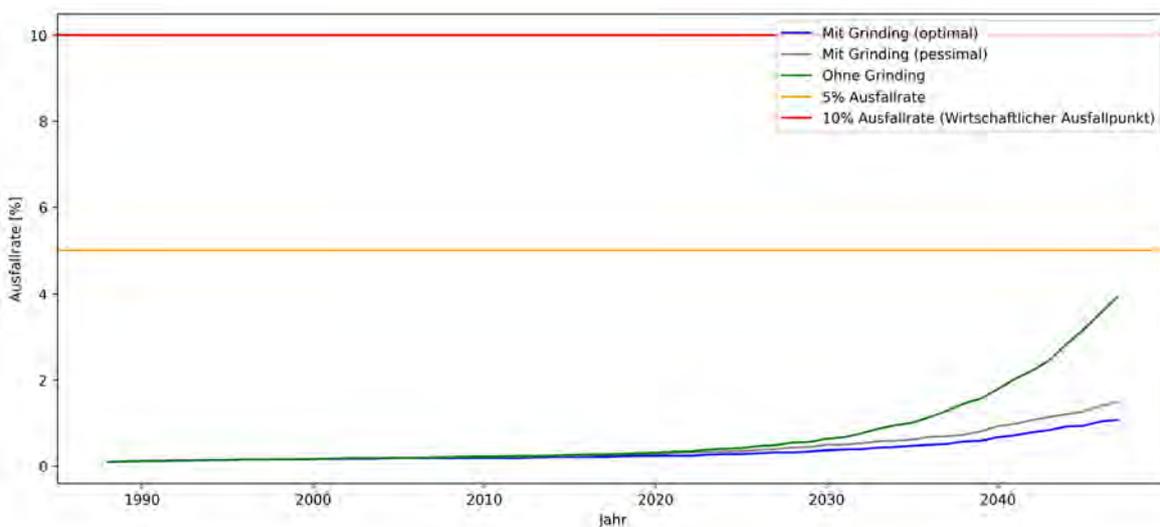


Abbildung 112: Simulation der Ausfallrate der Strecke A10 Paternion

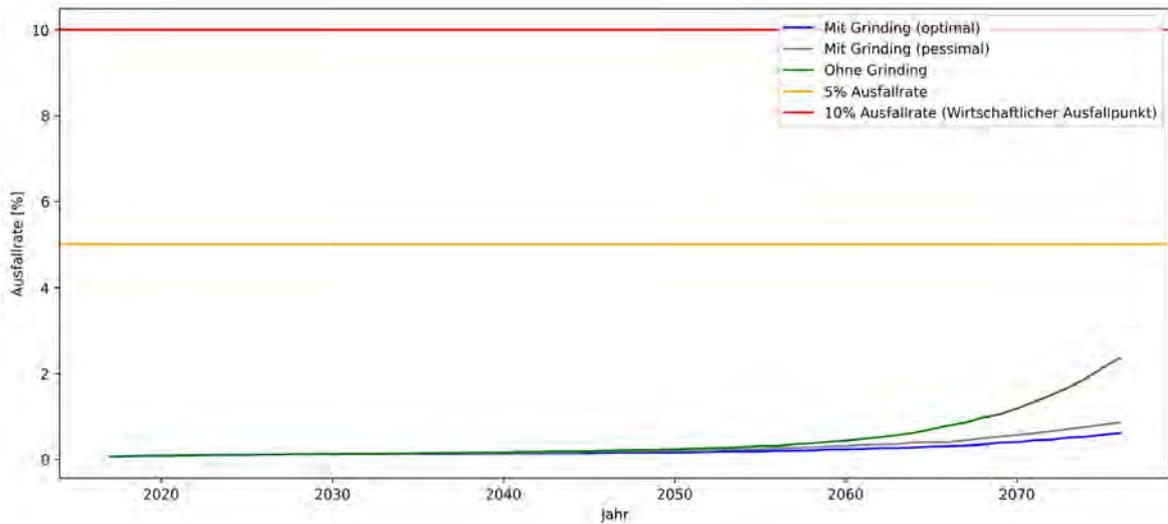


Abbildung 113: Simulation der Ausfallrate der Strecke A05 Schrick

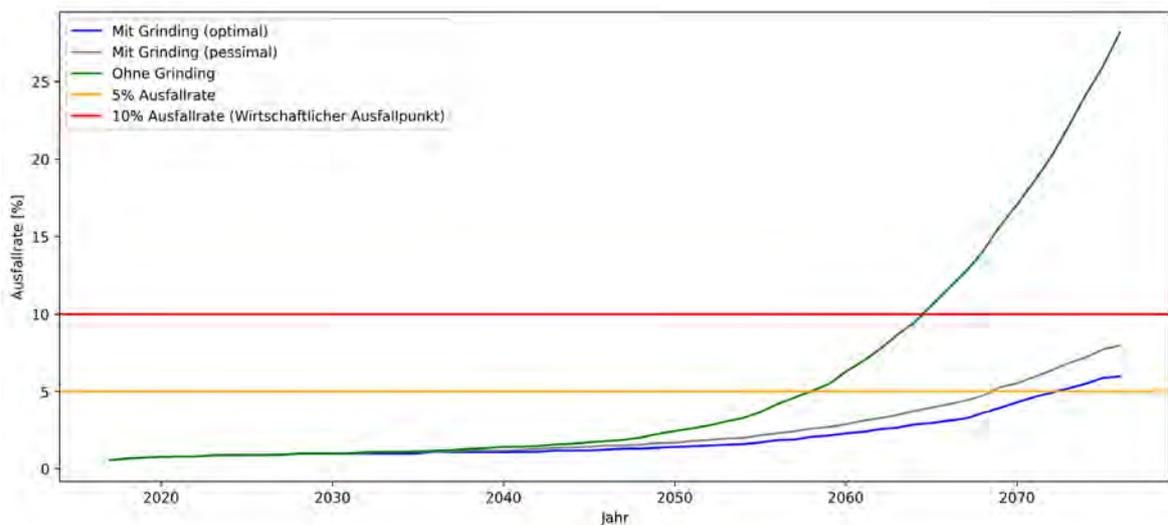


Abbildung 114: Simulation der Ausfallrate der Untersuchungsstrecke A10 Urstein

5.2.3 Evaluation

In Kapitel 5.2.2 wurde eine deutliche Verlängerung der Lebensdauer durch turnusmäßiges Grinding herausgestellt. Ein Intervall von ca. 13 Jahren stellt sich dabei scheinbar als ein optimales Maß dar. Unter Gegenüberstellung der Kosten für die Grindingvorgänge mit der deutlichen Verlängerung der Lebensdauer um mindestens 10 Jahre im pessimalen Fall bietet das Grinding große Chancen. Eine weitere Auswertung der zeitlichen Entwicklung des Stoßfaktors ist notwendig, um den Einfluss auf die Lebensdauer genauer zu untersuchen.

5.2.4 Auswertung mit FEM

Zusätzlich zur Methode der Berechnung der Ausfallrate wurde die Simulation des Einflusses des Grindings mit der Finiten Elemente Methode (FEM) untersucht. Bei der FEM wird eine reale körperliche Struktur durch ein physikalisches Modell abgebildet. Dazu wird das Modell diskretisiert in einzelne kleine Elemente, für welches ein physikalischer Zusammenhang zwischen Verschiebung und Spannung präzise definiert werden kann. Die Elemente werden durch Randbedingungen zusammengesetzt zu einem Gesamtmodell. Numerisch betrachtet wird ein Gesamtmodell gebildet, welches bei gegebenem Verschiebungszustand durch die inneren Spannungen entsprechende innere Kräfte abbildet. Diese Kräfte werden mit der äußeren Belastung ins Verhältnis gesetzt und ein Verschiebungszustand wird gefunden, für welchen die Ungleichgewichtskräfte verschwinden, das System also stabil ist. Das hier eingesetzte Modell wurde bereits in den Forschungsprojekten [5] und [7] angewandt.

Ein beispielhaftes FEM-Modell für einen Streckenabschnitt mit Untergrund, Platten, Fugen und Achslasten ist in Abbildung 115 dargestellt.

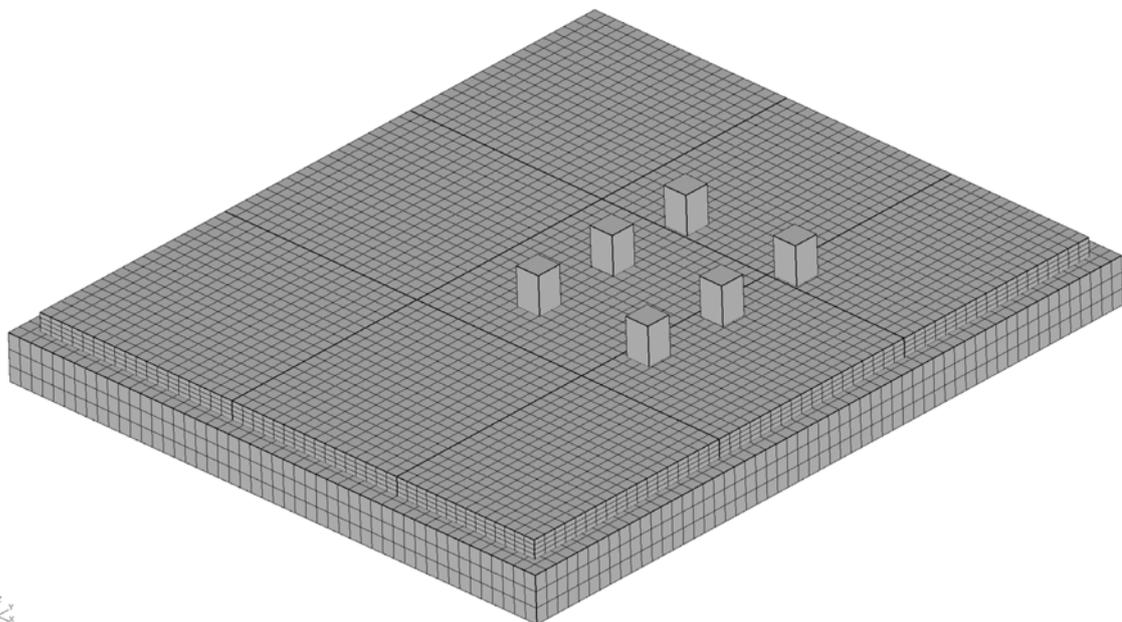


Abbildung 115: Beispiel für ein Finite-Elemente-Modell eines Plattensystems mit Untergrund, Fugen und 6 Achslasten

Das Modell umfasst die Abbildung des Verbunds zwischen Untergrund und Platten durch eine Kontaktformulierung, die Verbindung der Platten durch Anker und Dübel, die Einbeziehung eines Temperaturgradienten durch Aufbringung punktbezogener Temperaturen und die Lastaufbringung durch 6 Einzellasten mit einer Kontaktformulierung. Die Simulation erfolgt geometrisch nichtlinear. Das Modell besteht aus ca. 143.000 Knoten und 36.000 Elementen (abhängig von der genauen Plattengeometrie). Da die Durchführung einer einzelnen Simulation ca. 35 Minuten in Anspruch nimmt, können auch bei paralleler Durchführung nur bestimmte einzelne Fälle simuliert werden. Um die Ergebnisse aus Kapitel 5.2.2 zu validieren, wurden maßgebende Temperaturgradienten, Lastorte und Zeitpunkte identifiziert, für welche die Simulation erfolgt. Die Identifikation maßgebender Lastorte wurde in Projekt [5] ausführlich dargelegt. Der maßgebende Temperaturgradient ist ein Fall, bei dem eine starke Erhitzung der Oberfläche nach vorherigen tiefen Temperaturen im Frostbereich erfolgt. Dies bewirkt eine starke Aufwölbung der Platten und stellt einen besonders kritischen Fall dar.

Die Zeitpunkte wurden entsprechend des Grindingintervalls gewählt. Es erfolgen Simulationen jeweils direkt nach Bauende, vor und nach einem Grindingvorgang und nach 60 Jahren. Zur Berücksichtigung des Grindings wird die Deckendicke jeweils angepasst. Die Berücksichtigung des sich verändernden Stoßfaktors erfolgt durch Anpassung der äquivalenten statischen Ersatzachslast. Dazu wird die ursprüngliche Achslast von 10 Tonnen mit dem Stoßfaktor multipliziert.

Für jeden Zeitschritt werden zwei Simulationen an zwei verschiedenen Lastorten durchgeführt. Es werden zwei Szenarien berücksichtigt, welche dem optimalen und pessimalen Verlauf des Stoßfaktors aus Kapitel 5.2.1 entsprechen. Im Modell wird nach der Simulation die maximale auftretende Hauptspannung ermittelt. Die Ergebnisse für die einzelnen Streckenabschnitte sind in den Abbildung 116 bis Abbildung 119 dargestellt.

A14 RF Dresden

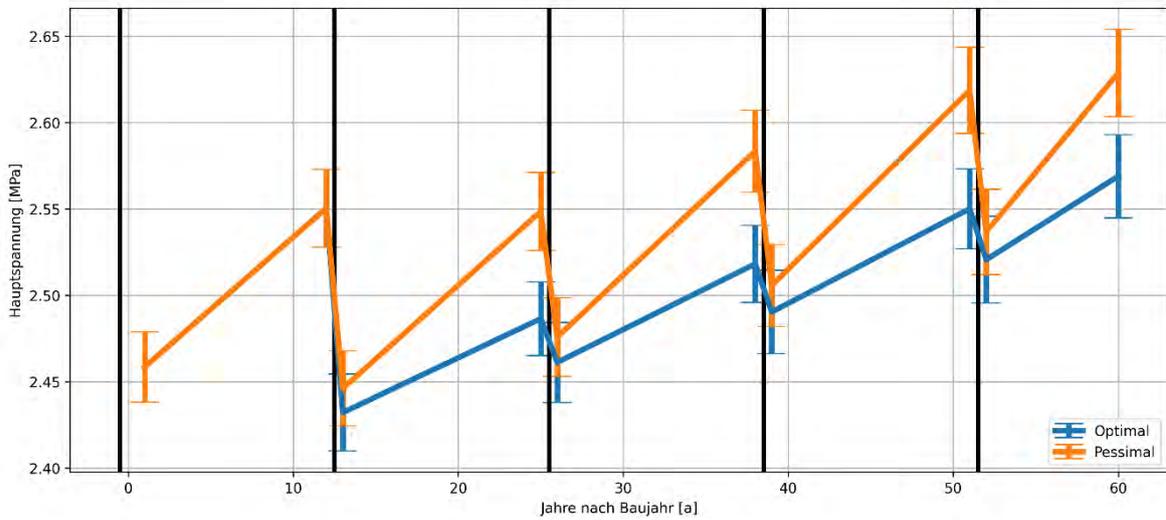


Abbildung 116: Zeitlicher Verlauf der Hauptspannungen (FEM) der Strecke A14 Richtungsfahrbahn Dresden

A93 RF Regensburg

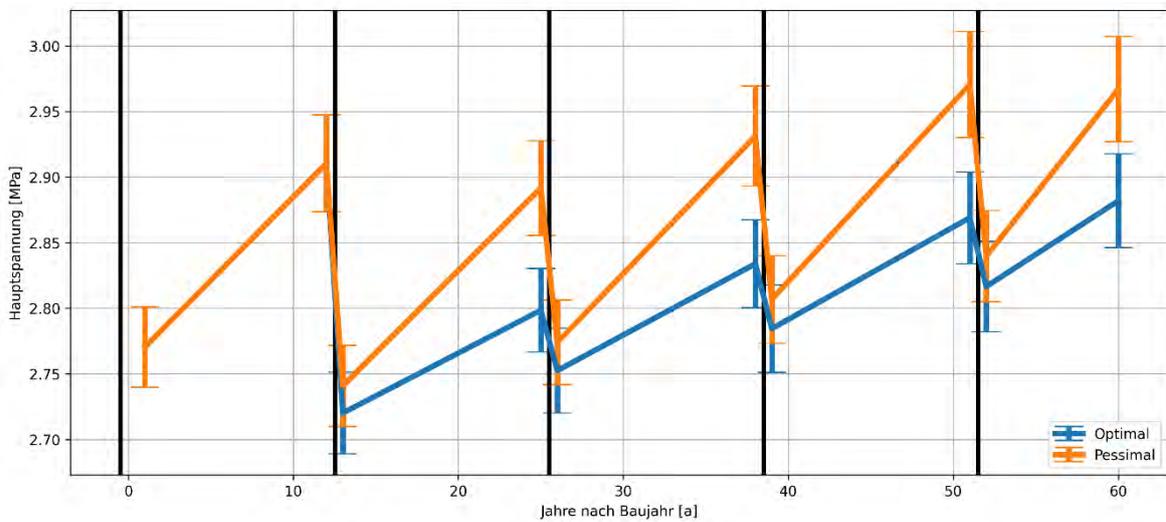


Abbildung 117: Zeitlicher Verlauf der Hauptspannungen (FEM) der Strecke A93 Richtungsfahrbahn Regensburg

A10 RF Barnim

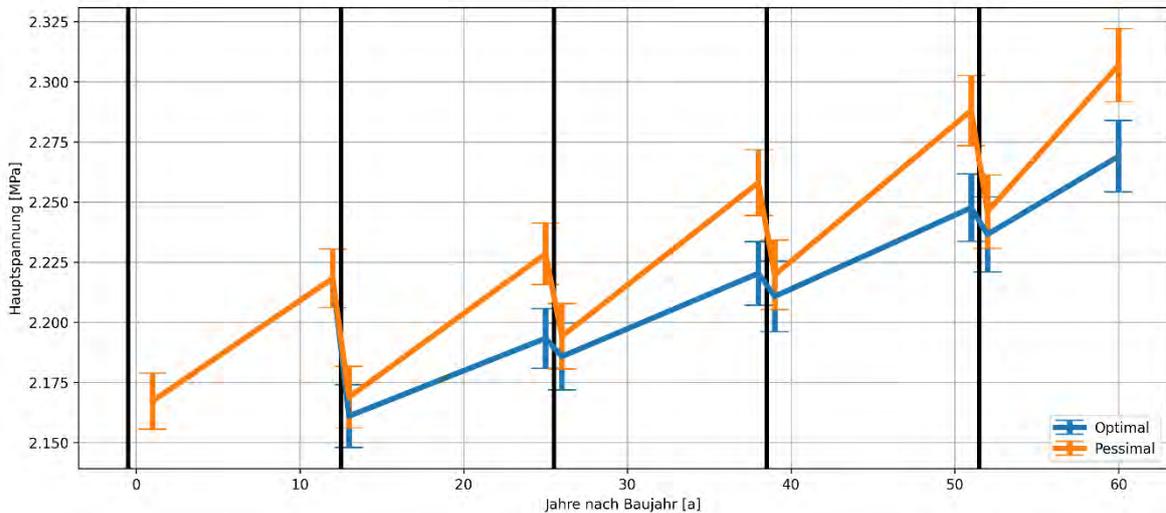


Abbildung 118: Zeitlicher Verlauf der Hauptspannungen (FEM) der Strecke A10 Richtungsfahrbahn Barnim

A5 RF Basel

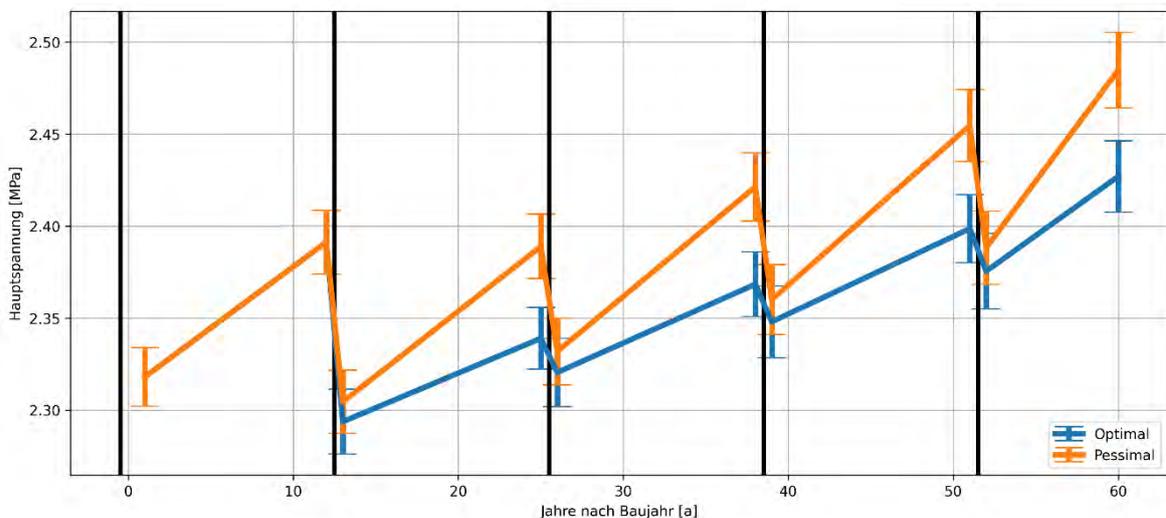


Abbildung 119: Zeitlicher Verlauf der Hauptspannungen (FEM) der Strecke A5 Richtungsfahrbahn Basel

In den Abbildungen sind durch schwarze vertikale Striche die einzelnen Grindingvorgänge dargestellt. Deutlich wird die Reduktion der Spannungen nach jedem Grindingvorgang. Bis zum jeweils nächsten Grindingvorgang steigt die Spannung wieder durch den Anstieg des Stoßfaktors an. Es wird deutlich, dass durch das Grinding die Spannungen auf einem relativ niedrigen Niveau gehalten werden können, während der Stoßfaktor normalerweise für eine

deutliche Erhöhung der Spannungen sorgen würde. Für eine genauere Analyse sind die maximalen Hauptspannungen für den Streckenabschnitt der A14 Richtungsfahrbahn Dresden in Tabelle 38 eingetragen.

Tabelle 38: Maximale Hauptspannungen in [MPa] aus der FEM-Berechnung für die Strecke A14 Richtungsfahrbahn Dresden

Jahr	1	12	13	25	26	38	39	51	52	60
Optimal	2,48	2,57	2,45	2,51	2,48	2,54	2,51	2,57	2,55	2,59
Pessimall	2,48	2,57	2,47	2,57	2,50	2,61	2,53	2,64	2,56	2,65

Der absolute Betrag, um den sich die Hauptspannung verringert, scheint zunächst gering. Allerdings treten die Spannungen aufgrund des Verkehrs in einer hohen Frequenz auf. Eine Schädigung des Materials erfordert nicht zwangsläufig eine Überschreitung des zulässigen Lastniveaus. Durch eine hohe Lastwechselzahl kommt auch bei kleinen Lasten zur Ermüdung und Schädigung. In den Projekten [6] und [5] wurden bereits ähnliche Studien für Seitenstreifen und veränderte Plattengeometrien durchgeführt und der Einfluss der Spannungsänderung auf die ertragbare B-Zahl ermittelt. In beiden Projekten hat sich herausgestellt, dass bereits eine kleine Änderung im Spannungsniveau zu einer deutlichen Veränderung der ertragbaren Lastwechsel führt und damit eine deutlich andere Lebensdauer angenommen werden kann. In diesem Fall führt der Einfluss des Grindings zu einer Verringerung der Spannung, wodurch eine Verlängerung der Lebensdauer erwartet werden kann. Es kann in den Diagrammen außerdem erkannt werden, dass sich die Spannungen ohne die Grindingvorgänge sogar deutlich erhöhen würden, was wiederum die Dauerhaftigkeit signifikant beeinträchtigen würde. Mit den FEM-Simulationen werden daher zunächst die Erkenntnisse aus den Untersuchungen zur Substanzbewertung in den vorangegangenen Kapiteln bestätigt. Außerdem wird auch hier bestätigt, dass sich das Grinding in einer angemessenen Frequenz positiv auf die Lebensdauer einer Betonfahrbahn auswirken kann.

5.3 Untersuchungen zum Einsatz des Effektivitätsindex

Die ganzheitliche Bewertung einer Straßenoberfläche erfordert ein objektives Bewertungsinstrument. Der Effektivitätsindex (definiert in REFERENZ WIELAND) stellt für die Ermittlung der Gesamtwirksamkeit ein Beurteilungskriterium dar. In diesem Projekt werden dafür die vier Hauptmerkmale Griffigkeit, Ebenheit, Geräuschpegel und Rollwiderstand in die Berechnung einbezogen. Der Effektivitätsindex wird definiert mit

$$E_{Str0}^{t_i} = \frac{\sum w_m^{t_i} \cdot l_m^{t_i}}{\sum w_m^{t_i}},$$

$$\text{wobei } l_m^{t_i} = \begin{cases} LG_m^{t_i} ; LG_m^{t_i} \leq 1,0 \\ 1,0 ; LG_m^{t_i} > 1,0 \end{cases}.$$

Der Index t_i bezeichnet den Zeitpunkt, $LG_m^{t_i}$ den Leistungsgrad eines Merkmals und $w_m^{t_i}$ sind gewählte Wichtungen der einzelnen Leistungsgrade. Die Leistungsgrade werden aus den physikalischen Messwerten so berechnet, dass der Wert 1,0 einer 100%-igen Zielerreichung entspricht. Dabei kann es auch zu einer Übererfüllung mit Werten $LG_m^{t_i}$ größer als 1,0 kommen. Die Wichtungen $w_m^{t_i}$ bilden wiederum eine subjektive oder fallspezifische Betrachtung ab. Höhere Werte entsprechen einer höheren Priorisierung eines Merkmals. In diesem Projekt wurden für einzelne Abschnitte Griffigkeit und Geräuschpegel gemessen, diese Werte werden für eine exemplarische Berechnung des Effektivitätsindex genutzt. Die Merkmale Ebenheit und Rollwiderstand werden ebenso exemplarisch mit zwei Modellen berechnet. Im Projekt [3] wird ein Verfahren gezeigt, um die Ebenheit in Abhängigkeit verschiedener Parameter und auch der Ausfallrate zu berechnen. Die Ausfallrate wird dabei den Simulationen in Kapitel 5.2.2 entnommen. Als Ergebnis wird der IRI (International Roughness Index) berechnet. Ebenso wird ein Modell gezeigt, um den Rollwiderstand F_r und darauf basierend den Kraftstoffverbrauch F_{CS} zu berechnen. Auch hierbei wurden realitätsnahe Parameter angenommen sowie der vorher berechnete IRI mit einbezogen.

Beispielhaft werden in Abbildung 120 für den Streckenabschnitt A10 RF Barnim die Merkmale mit ihren physikalischen Werten aufgetragen. Es wurde der Zeitabschnitt zwischen verfügbaren Messpunkten für Geräuschpegel und Griffigkeit gewählt und für diesen die Ausfallrate, die Ebenheit und der Kraftstoffverbrauch berechnet.

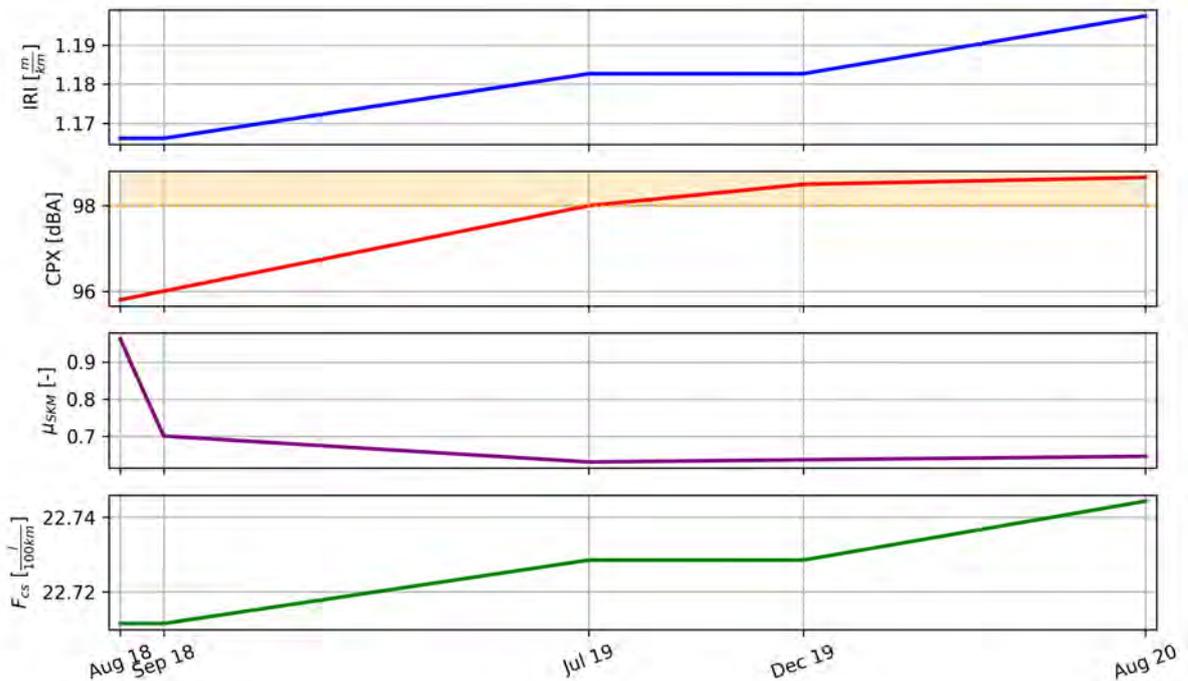


Abbildung 120: Physikalische Werte der vier Parameter, gestrichelte Linien: gelb – untere Grenze, rot – obere Grenze

Für die Umrechnung der physikalischen Werte in Leistungsgrade werden den Merkmalen entsprechende Grenzwerte identifiziert. Es wird definiert, dass das Erreichen der Grenzwerte einem Leistungsgrad von 1,0 entspricht. Zudem muss ein weiterer Wert gewählt werden, für welchen der Leistungsgrad auf 0,0 geht. Der Leistungsgrad kann dadurch mit der Funktion

$$LG(w) = \frac{w - g_0}{g_1 - g_0}$$

beschrieben werden. Der Wert w entspricht dem physikalischen Wert des Merkmals und g_0 und g_1 sind die Grenzwerte für welchen der Leistungsgrad $LG(w)$ jeweils den Wert 0,0 oder 1,0 annimmt. Folgende Grenzwerte wurden für die nachfolgenden Untersuchungen festgelegt (Tabelle 39):

Tabelle 39: Grenzwerte für die Berechnung der Leistungsgrade

Merkmal		g_0	g_1
Ebenheit	IRI [$\frac{m}{km}$]	4,0	2,3
Geräuschpegel	CPX [dBA]	101	97
Griffigkeit	SKM [–]	0,0	0,4
Kraftstoffverbrauch	F_{cs} [$\frac{l}{100 km}$]	26	23

Die Leistungsgrade für eine einzelne Stelle auf der Beispielstrecke A10 RF Barnim ergeben sich dann zu den in Abbildung 121 abgebildeten Werten. Da der Grindingzeitpunkt nur kurz nach dem Bauzeitpunkt liegt, erreicht als einziges Merkmal der Geräuschpegel einen Wert unter 1,0. Für die verschiedenen, in diesem Fall 5, Messstellen erhält man die in Abbildung 122 abgebildeten Wertebereiche. Da alle Merkmale, die einen Leistungsgrad größer als 1,0 haben, mit dem Maximalwert von 1,0 in die Berechnung des Effektivitätsindex eingehen, ist dieser in diesem Fall allein vom Geräuschpegel CPX abhängig und folgt dessen Verlauf. In den Abbildungen 123 bis 128 sind die Effektivitätsindizes für die weiteren Streckenabschnitte dargestellt. Beim Streckenabschnitt A02 Wr. Neudorf fand nach den ersten Messungen bzw. den ersten Datenpunkten des Effektivitätsindex das Grinding statt. Daher erhöhte sich hier der Index wieder auf 1,0.

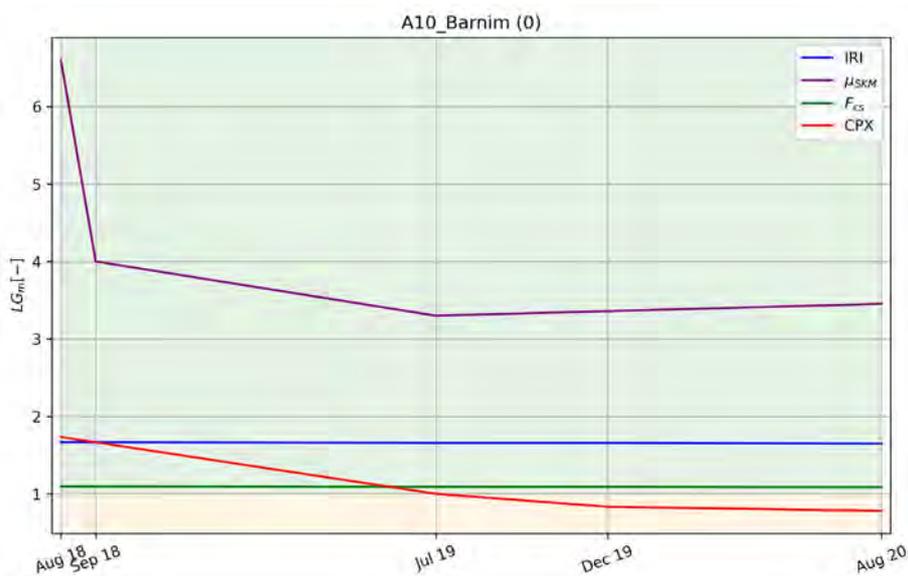


Abbildung 121: Leistungsgrade LG der vier Parameter

A10_Barnim

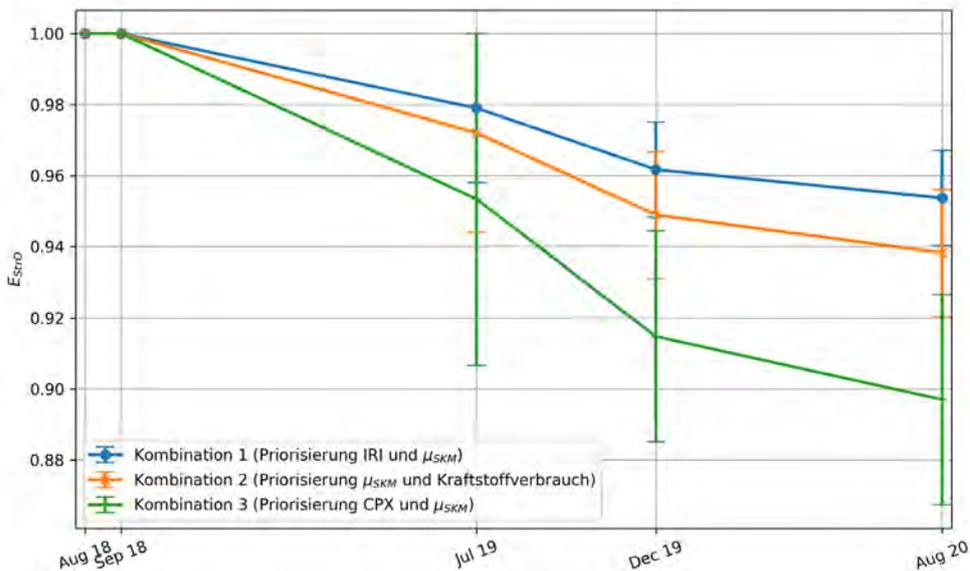


Abbildung 122: Effektivitätsindizes für den Streckenabschnitt A10 RF Barnim für die 3 Kombinationen, Balken geben unteren und oberen Wertebereich für die einzelnen Messstellen an.

A5_Basel

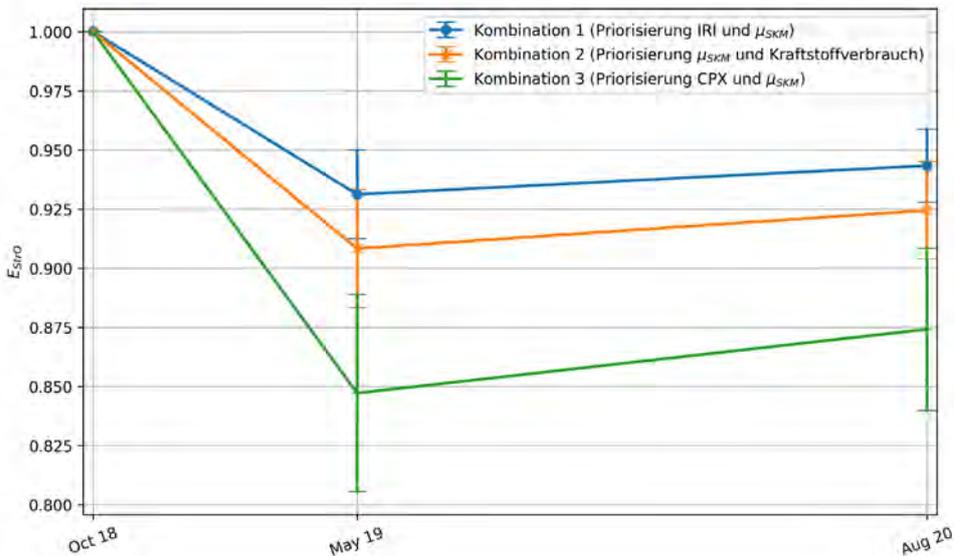


Abbildung 123: Effektivitätsindizes für den Streckenabschnitt A5 RF Basel für die 3 Kombinationen, Balken geben unteren und oberen Wertebereich für die einzelnen Messstellen an.

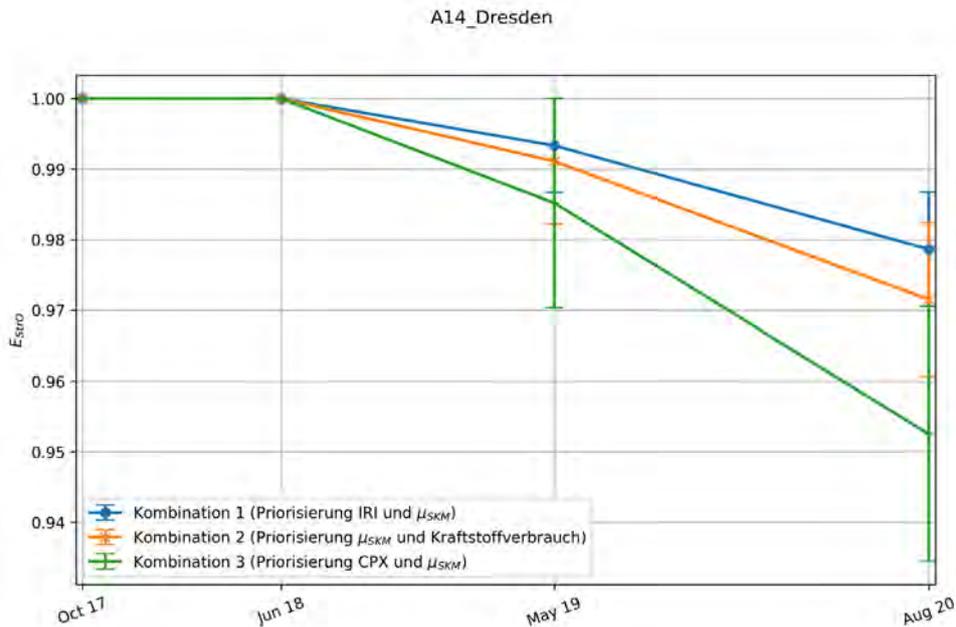


Abbildung 124: Effektivitätsindizes für den Streckenabschnitt A14 RF Dresden für die 3 Kombinationen, Balken geben unteren und oberen Wertebereich für die einzelnen Messstellen an.

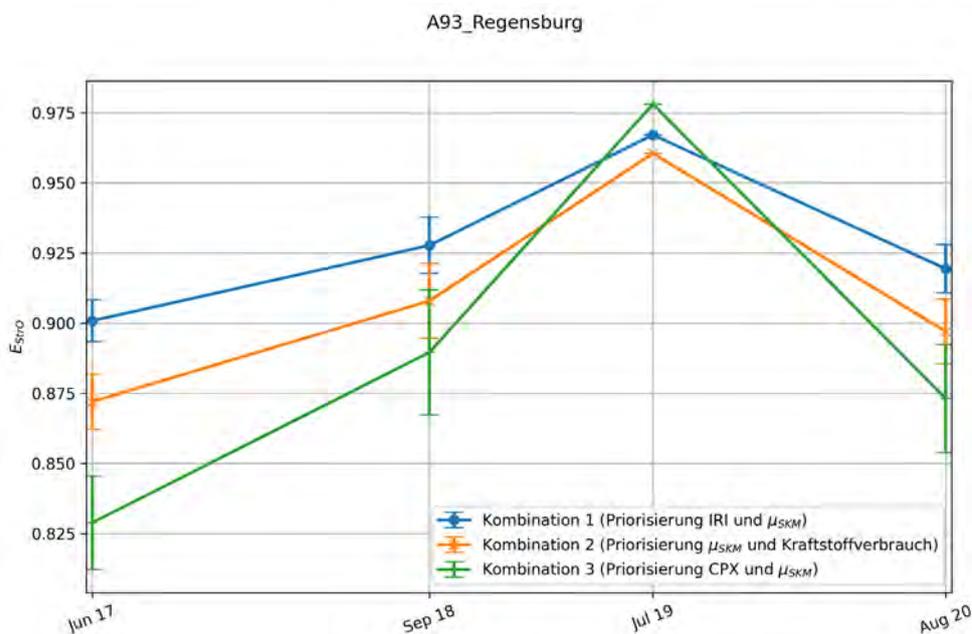


Abbildung 125: Effektivitätsindizes für den Streckenabschnitt A93 RF Regensburg für die 3 Kombinationen, Balken geben unteren und oberen Wertebereich für die einzelnen Messstellen an.

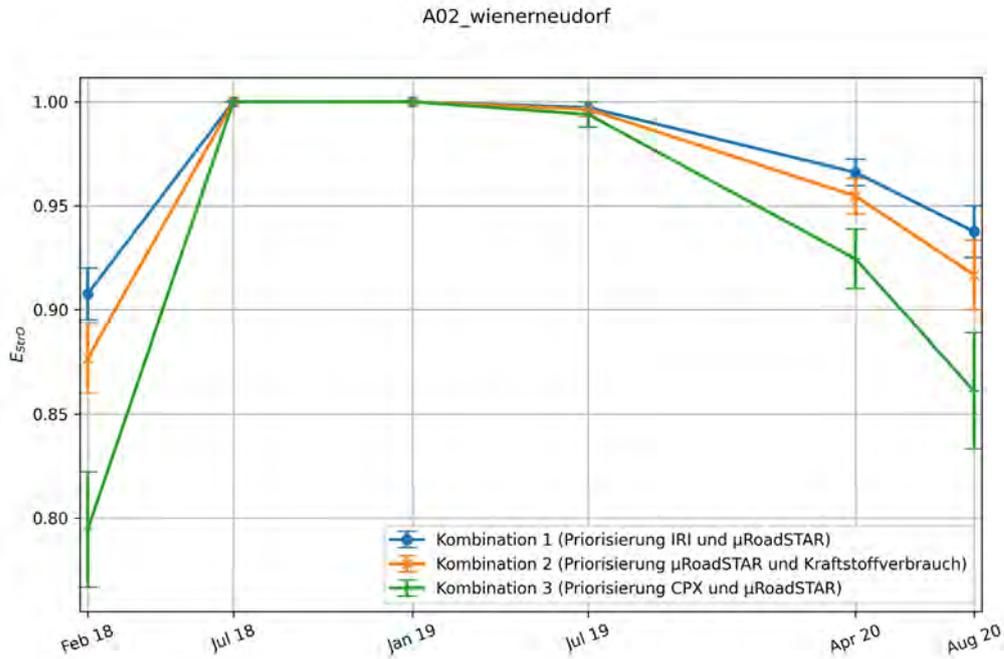


Abbildung 126: Effektivitätsindizes für den Streckenabschnitt A02 Wr. Neudorf für die 3 Kombinationen, Balken geben unteren und oberen Wertebereich für die einzelnen Messstellen an.

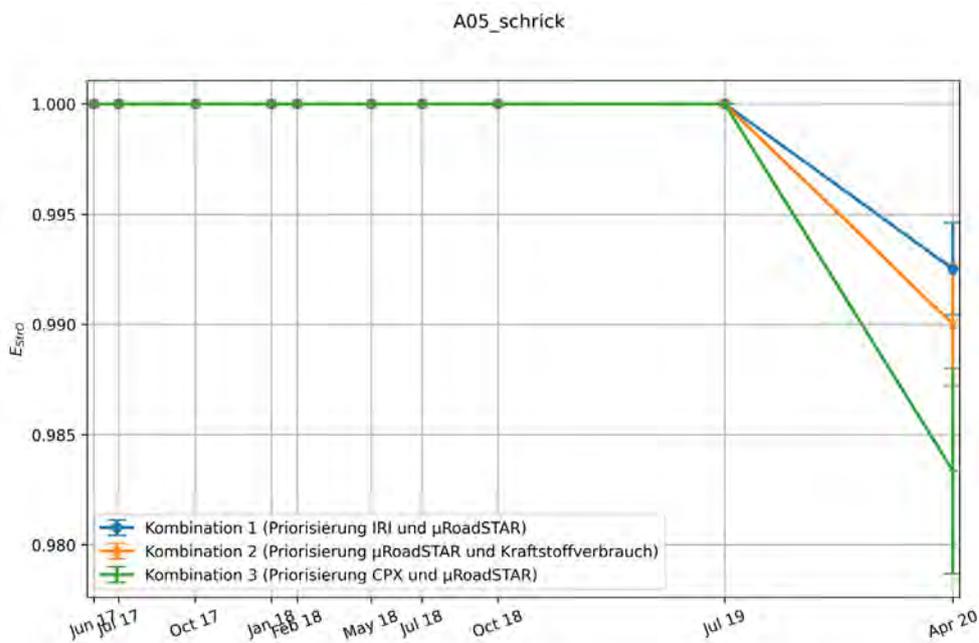


Abbildung 127: Effektivitätsindizes für den Streckenabschnitt A05 Schrick für die 3 Kombinationen, Balken geben unteren und oberen Wertebereich für die einzelnen Messstellen an.

A10_paternion

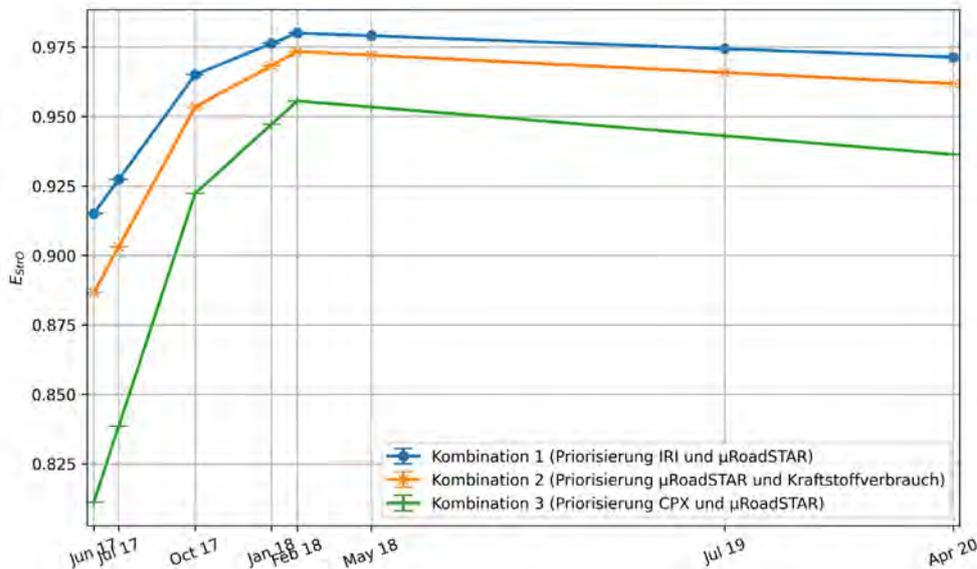
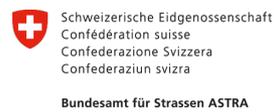
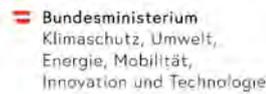


Abbildung 128: Effektivitätsindizes für den Streckenabschnitt A10 Paternion für die 3 Kombinationen, Balken geben unteren und oberen Wertebereich für die einzelnen Messstellen an.

5.4 Überlagerung der Ergebnisse

Mit dem Effektivitätsindex existiert ein wirksames Werkzeug zur Bewertung der Gebrauchseigenschaften. Mit der gleichzeitigen Darstellung der Substanzeigenschaften bzw. der Ausfallrate ist eine ganzheitliche Betrachtung möglich. Da sowohl Gebrauchs- als auch Substanzeigenschaften die Notwendigkeit einer Sanierungsmaßnahme oder eines Neubaus notwendig machen können, ist diese gleichzeitige Betrachtung notwendig.

Für eine solche Betrachtung sind regelmäßige Messungen der Gebrauchseigenschaften und der Ausfallrate notwendig. Daher wurde innerhalb des Projekts eine solche Betrachtung mit Hilfe realistischer Modelle und Annahmen vorgenommen. Es wurde ein einmaliger Grindvorgang simuliert, so wie er tatsächlich auf dem jeweils betrachteten Streckenabschnitt stattfand. Die bereits beschriebenen Methoden zur Modellierung der Ausfallrate mit Hilfe der Substanzbewertung und der Ebenheit und des Kraftstoffverbrauchs wurden für einen Zeitraum von 60 Jahren eingesetzt. Der Geräuschpegel und die Griffigkeit wurden, vereinfacht, mit den vorgestellten Verhaltensfunktionen ab dem Baujahr simuliert. Die Parameter der Verhaltensfunktionen wurden durch Parameteridentifikation an den jeweiligen Daten-



satz des Streckenabschnitts angepasst. Die Ergebnisse der Überlagerung sind in den Abbildungen 129 bis 135 für die einzelnen Streckenabschnitte dargestellt. Die Linien in rosa entsprechen dem Grindingzeitpunkt und die schwarzen verbundenen Kreuze stellen Messergebnisse dar. Am Beispiel der A93 RF Regensburg kann betrachtet werden, dass der wirtschaftliche Nutzungsausfallzeitpunkt entsprechend der Ausfallrate bereits nach 13 Jahren eintritt. Eine Überschreitung der Grenzwerte für die Ebenheit findet dagegen erst nach 36 Jahren statt. In einem umgekehrten Fall würde es auch möglich sein, den Bedarf für eine Ausbesserungsmaßnahme vor einer durch die Ausfallrate bedingten Sanierungsmaßnahme zu erkennen.

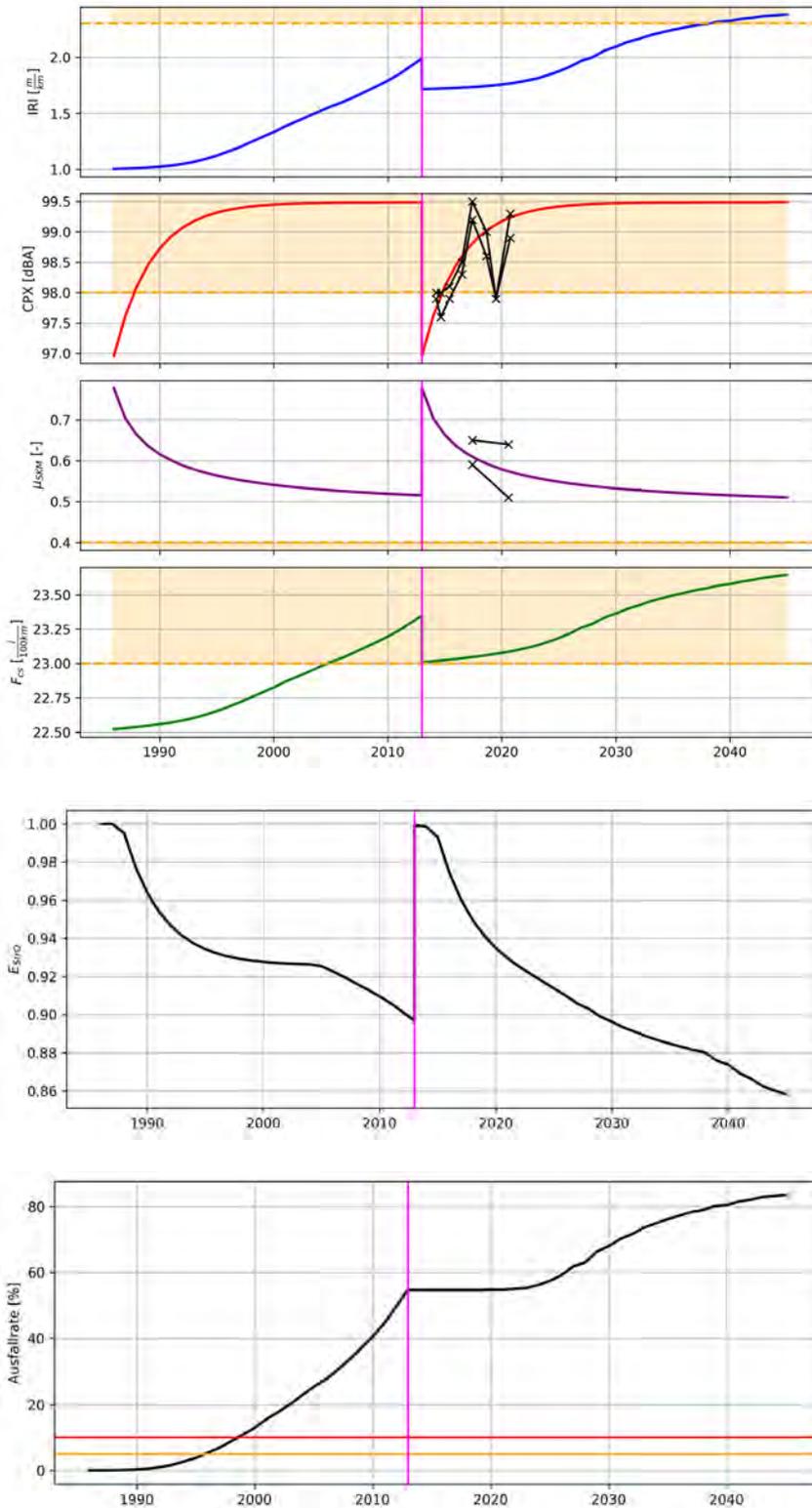


Abbildung 129: Überlagerung der Gebrauchseigenschaften, des Effektivitätsindex und der Ausfallrate für den Streckenabschnitt A93 RF Regensburg. Zeitpunkt des Grindings in rosa.

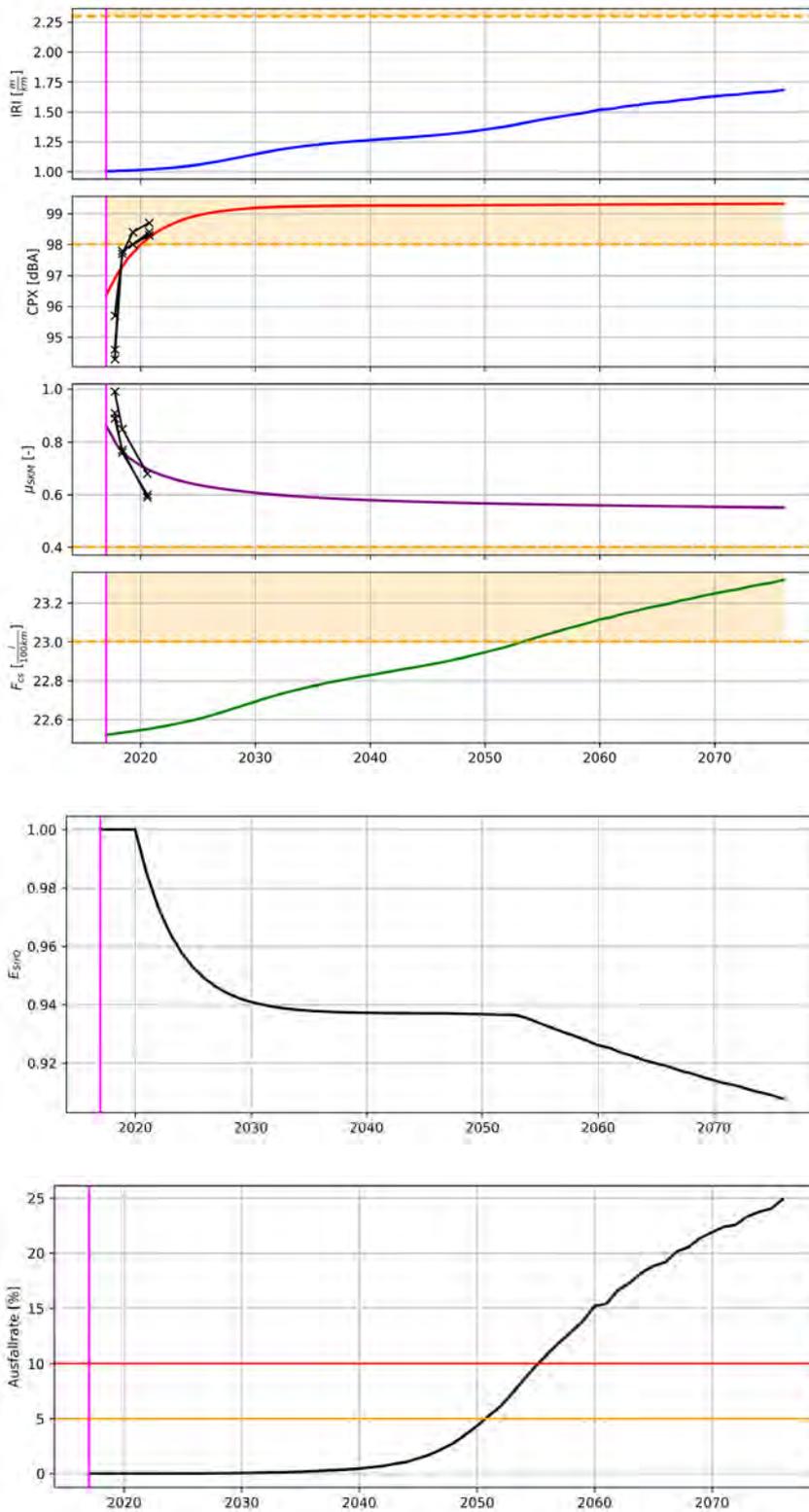


Abbildung 130: Überlagerung der Gebrauchseigenschaften, des Effektivitätsindex und der Ausfallrate für den Streckenabschnitt A14 RF Dresden. Zeitpunkt des Grindings in rosa.

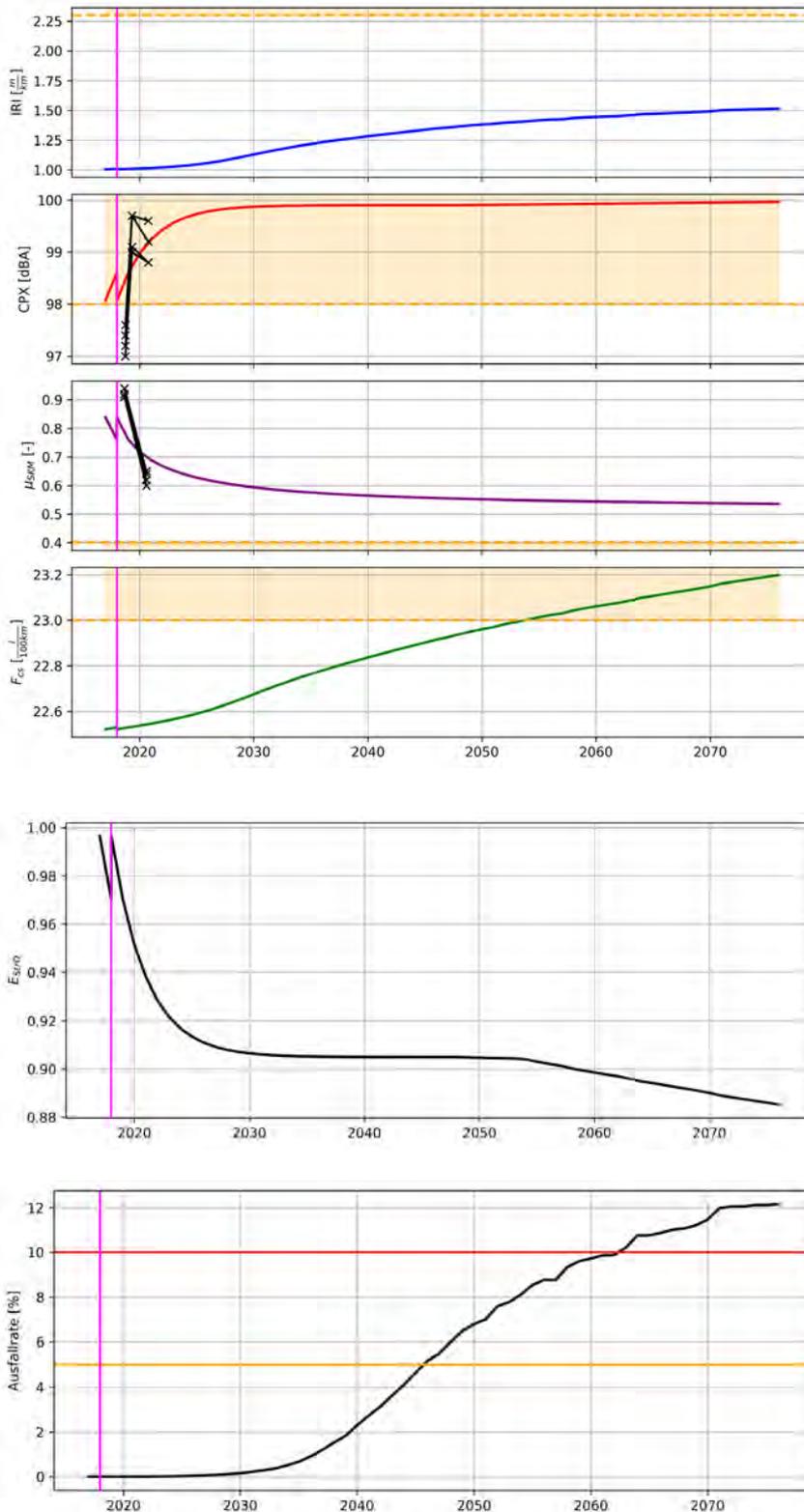


Abbildung 131: Überlagerung der Gebrauchseigenschaften, des Effektivitätsindex und der Ausfallrate für den Streckenabschnitt A5 RF Basel. Zeitpunkt des Grindings in rosa.

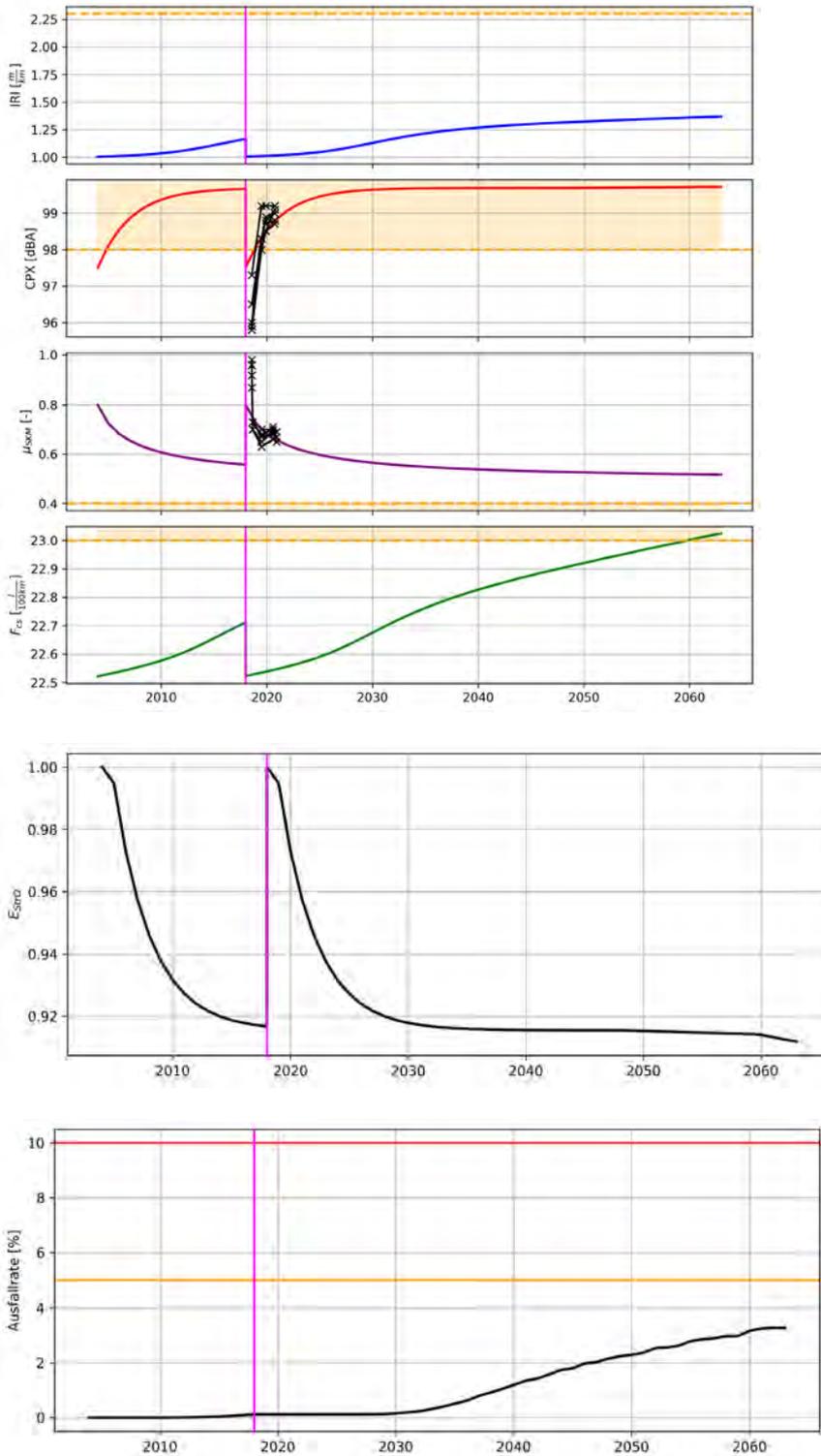


Abbildung 132: Überlagerung der Gebrauchseigenschaften, des Effektivitätsindex und der Ausfallrate für den Streckenabschnitt A10 RF Barnim. Zeitpunkt des Grindings in rosa.

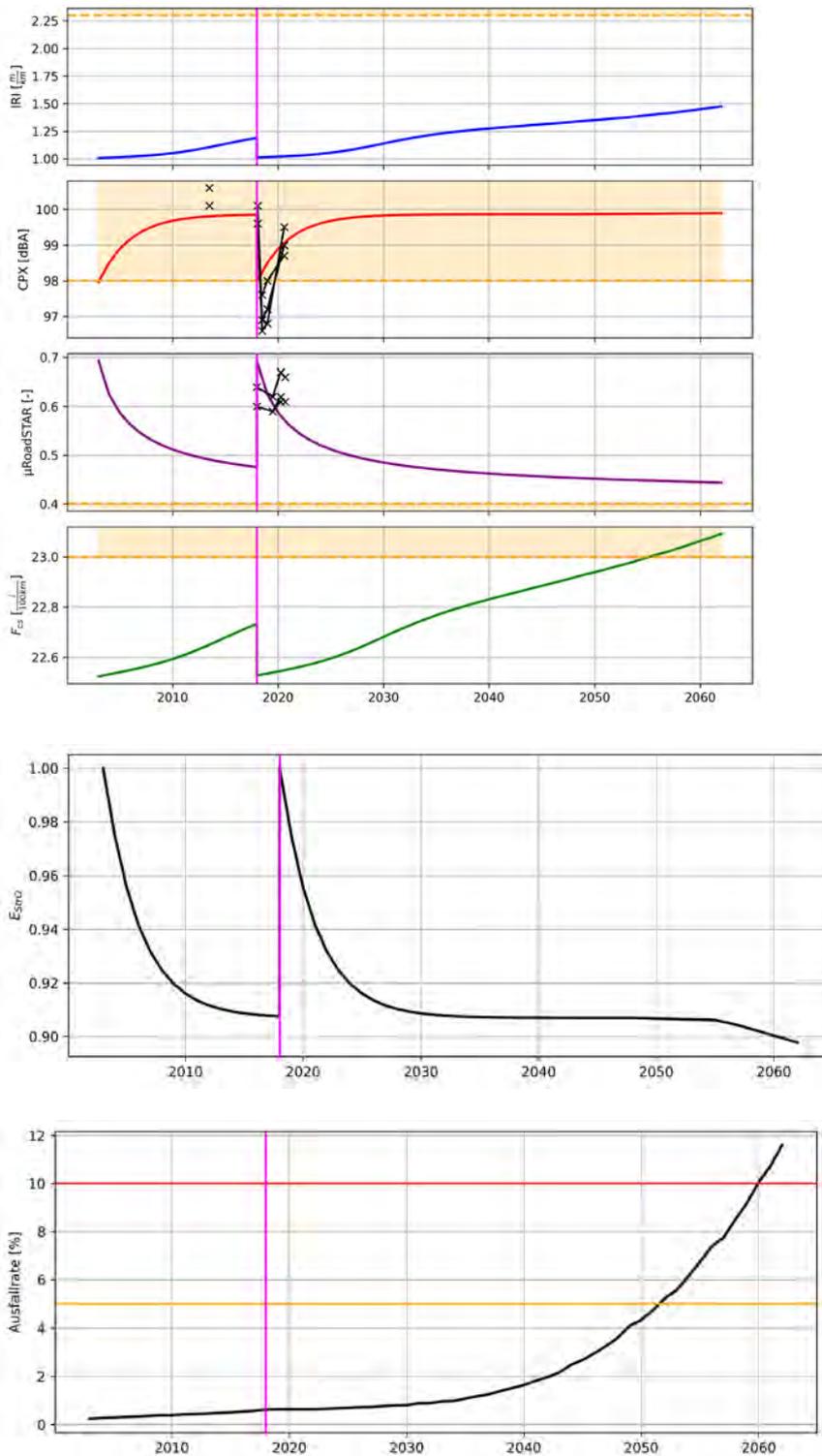


Abbildung 133: Überlagerung der Gebrauchseigenschaften, des Effektivitätsindex und der Ausfallrate für den Streckenabschnitt A02 Wr. Neudorf. Zeitpunkt des Grindings in rosa.

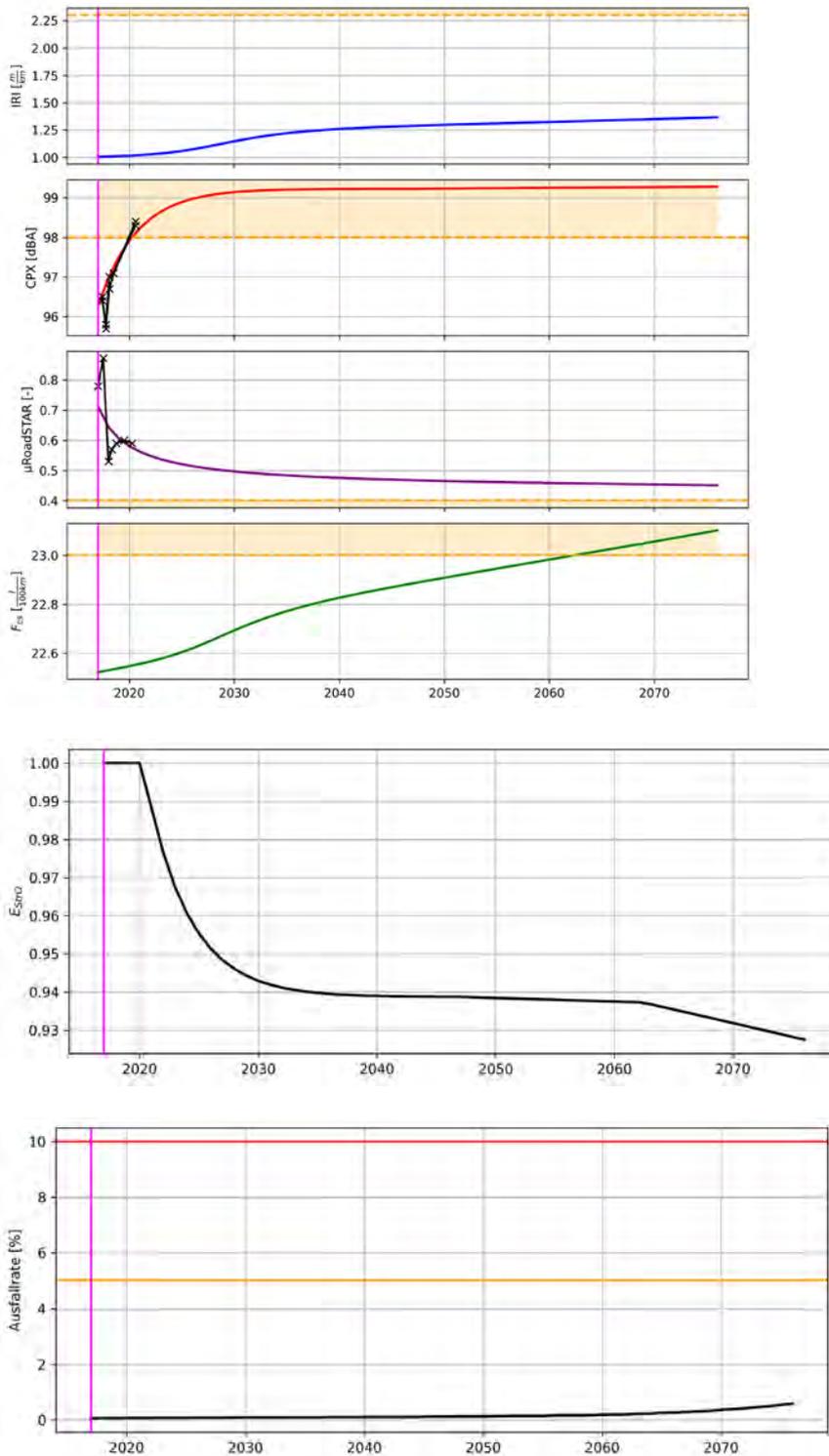


Abbildung 134: Überlagerung der Gebrauchseigenschaften, des Effektivitätsindex und der Ausfallrate für den Streckenabschnitt A05 Schrick. Zeitpunkt des Grindings in rosa.

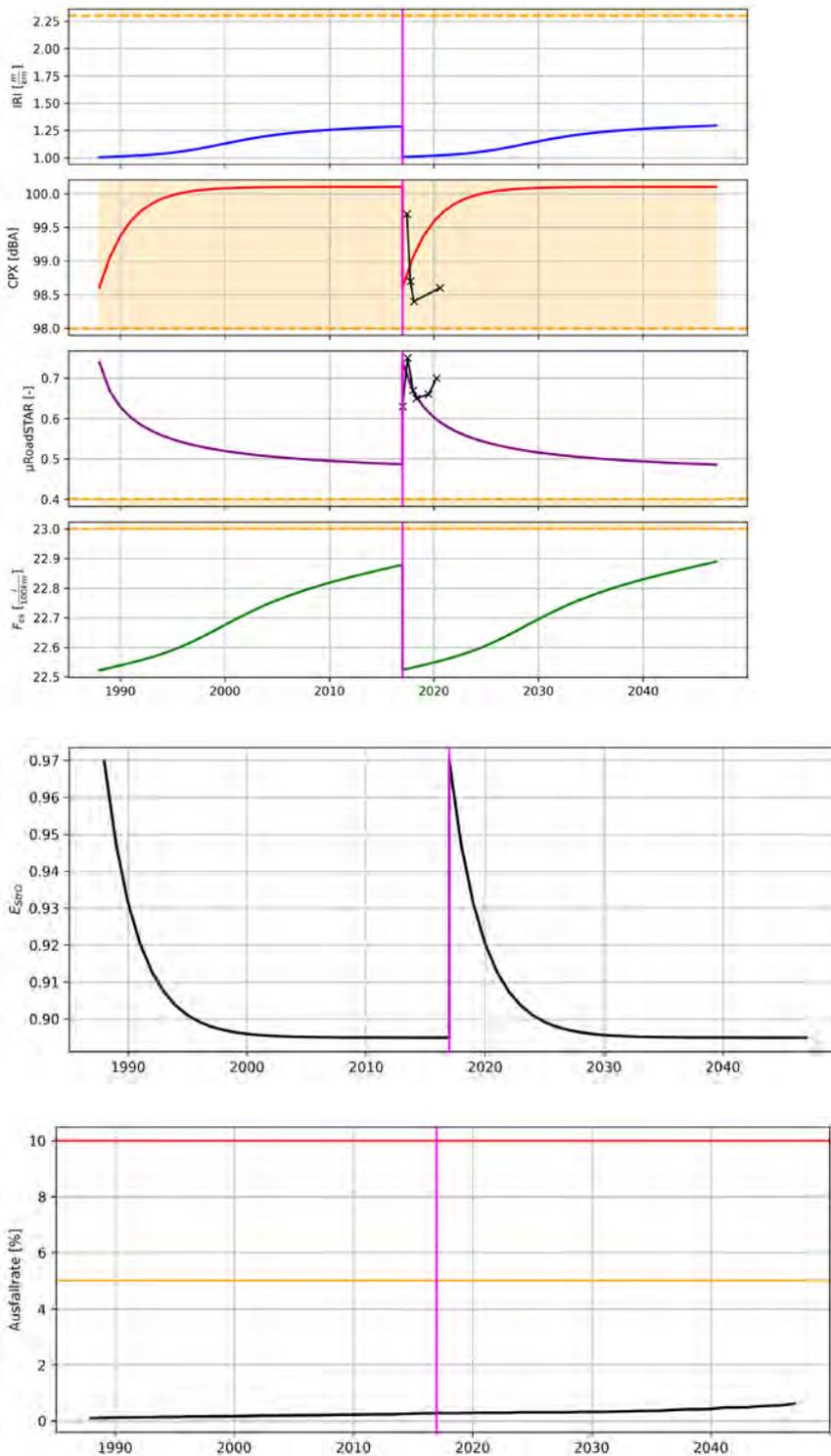


Abbildung 135: Überlagerung der Gebrauchseigenschaften, des Effektivitätsindex und der Ausfallrate für den Streckenabschnitt A10 Paternion. Zeitpunkt des Grindings in rosa.

6 ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN

- Für verschiedene Grinding-Bestandsstrecken wurden die zeitlichen Verläufe der Zustandparameter Griffigkeit, Längsebenheit und Rollgeräusch konsolidiert und durch weitere Messdaten erweitert. Diese Messdaten dienten als Grundlage für die Erstellung von Verhaltensfunktionen für die Zustandparameter.
- Auf den erwähnten Bestandsstrecken wurden Bohrkerns entnommen und labor-technisch hinsichtlich ihrer Materialkennwerte analysiert. Die Oberflächen der Bohrkerns wurden Labor-Polierbeanspruchungen ausgesetzt und die Griffigkeitsentwicklung und Texturveränderung im Labor zyklisch untersucht. Dabei wurden auch Texturveränderungen im mikroskopischen Bereich mittels Rasterelektronenmikroskopie dokumentiert. So konnten die unterschiedlichen Wirkmechanismen der Polierbeanspruchung auf den Gesteinskörnern und Zementstein der Grindingstege nachvollzogen werden.

Qualitative Schlussfolgerungen hinsichtlich Materialeigenschaften der Ausgangsstoffe und Texturgeometrien sind im Bericht bereits enthalten, sollten aufgrund der Vielzahl der Parameter und der kleinen Zahl der Stichprobe allerdings zukünftig mit weiteren Untersuchungen abgesichert werden.

- Zur Verbesserung der Realitätsnähe der Poliersimulation im Labor kam erstmals eine speziell entwickelte Linear-Poliermaschine zum Einsatz. Dies ist gerade bei den gerichteten, anisotropen Grinding-Texturen von Relevanz, weil die derzeit gebräuchliche kreisförmig polierende Wehner-Schulze-Maschine nur einen sehr kleinen Bereich des Bohrkerns so wie die tatsächliche In-Situ-Verkehrsbeanspruchung in Richtung der Grinding-Stege poliert. Erste positive Erfahrungen mit dieser neuen Linear-Poliermaschine konnten gewonnen werden.

Weiterer Forschungsbedarf ist gegeben hinsichtlich Konsistenz und Wiederholbarkeit der Polierarbeit.

- Das Alterungsverhalten bzw. die zeitliche Performance verschiedener Grinding-Geometrien hinsichtlich ihrer akustischen Eigenschaften wurde auf Basis von Zeitreihen modelliert. Dabei wurden auch die unterschiedlichen Entwicklungen in den einzelnen Frequenzbereichen herausgearbeitet. Dies ermöglicht eine erste Bewertung der verschiedenen Geometrie-Kombinationen, ist aufgrund der derzeit noch geringen Liegedauern der einzelnen Texturen und der geringen Stichprobenanzahl aber noch nicht vollständig umsetzbar.

Ein weiteres Monitoring der Bestandsstrecken wird empfohlen, um mit statistischen Ansätzen auf einer breiteren Datenbasis zu stabilen Aussagen zu kommen.

- Auf Bestands- und Untersuchungsstrecken wurden hochauflösende 3D-Texturmessungen durchgeführt. Zur Texturbeschreibung wurden mehrere Indikatoren entwickelt: Holraumvolumen zwischen Reifen und Textur unter Berücksichtigung der Eindringtiefe des Reifenlatsches, Stegbrüche, die Rauheit der Stege in Form des Oberflächengradienten sowie die mittlere Texturhöhe als Maß für den Materialabtrag durch die Polierwirkung des Verkehrs. Für diese Parameter konnte auch die zeitliche Entwicklung auf einer Bestandsstrecke gezeigt werden.

Hinsichtlich der Prognose der CPX-Pegel aus den Texturparametern bzw. der Aussagekraft der Texturparameter ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

- Für die im Rahmen des Projekts geplante Herstellung von Untersuchungsstrecken wurde eine optimierte Rezeptur für den Oberbeton entwickelt sowie eine abgestimmte Grinding-/Groovingtextur festgelegt. Die Anforderungen an die Betonausgangsstoffe und die Betonzusammensetzung wurden definiert. Eine entsprechende Baubeschreibung sowie Ausschreibungsdokumente wurden erstellt.
- Zwei Versuchsstrecken in Österreich und Deutschland wurden im Projekt untersucht. Auf der österreichischen Untersuchungsstrecke konnten aufgrund der frühen Fertigstellung Zeitreihen der Oberflächeneigenschaften Griffigkeit und Längsebenheit über drei Jahre erstellt werden. Auf der deutschen Untersuchungsstrecke wurden Messungen der Griffigkeit (System RoadSTAR), Längsebenheit, Rollgeräusch (CPX) und 3D-Textur durchgeführt.

Die Messungen sollten zur Erstellung von Zeitreihen analog zu den Bestandsstrecken fortgeführt werden.

- Aus den Zeitreihen der verschiedenen Bestandsstrecken, den vorliegenden Materialkennwerten und FE-Simulationen konnten Verhaltensfunktionen der Oberflächeneigenschaften sowie ein Verfahren zur Bewertung und Prognose der strukturellen Substanz entwickelt werden. Anhand von Beispielsimulationen wurden Szenarien ohne Grinding und zwei Varianten mit Grinding (optimal und pessimal) für die Bestandsstrecken berechnet und die Entwicklung der Ausfallraten prognostiziert. Dabei konnten der positive Effekt des Grindings auf die Lebensdauer aufgrund verringerter Stoßzahl gezeigt werden.

Für eine detailliertere Entwicklung der Zeitreihen, abhängig von Lage und Betonrezeptur ist ein deutlicher größerer Datenbestand notwendig. Die Methode der Substanzbewertung kann um die Abbildung der Eigenspannungen im Beton und die Erfassung jahreszeitlicher Effekte erweitert werden. Eine Kalibrierung der Methode würde durch eine Erfassung der tatsächlichen Ausfallrate ermöglicht werden. Die Grindingvorgänge können in die Dimensionierung einbezogen werden, in dem durch eine Substanzbewertung im Voraus die erwartete Lebensdauer approximiert wird. Durch die Annahme der positiven Auswirkungen des Grindings auf die Lebensdauer ist mit einer Ressourcenschonung zu rechnen.

- Der Effektivitätsindex, der eine gemeinsame Betrachtung und Bewertung der Gebrauchseigenschaften über die Zeit ermöglicht, wurde für verschieden Gewichtungen über die Lebenszeit der Bestandsstrecken berechnet und dargestellt. In Kombination mit der oben beschriebenen Substanzbewertung ist somit eine ganzheitliche Betrachtung aller Eigenschaften möglich.

LITERATUR

- [1] Kugler, H., Hofko, B., Spielhofer, R. (2015): Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Entwicklung eines Labor-Verfahrens PROGRIP. Ein Projekt finanziert im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2012 (VIF2012). (download unter: <https://www2.ffg.at/verkehr/projekte.php?id=1093&lang=de&browse=programm>)
- [2] Spielhofer, R., Osichenko, D., Wehr, R., V, M., Villaret, S., Frohböse, B., Pichottka, S., Alte-Teigeler, T., Schmidt, J. (2019): Innovative Grinding- und Grooving-Oberflächen. INGGO. Verkehrsinfrastrukturforschung DE-AT 2016.
- [3] FE 04.0317/2018/MRB: "Prognose der Wirtschaftlichkeit von Betonfahrbahndecken - Bauweisen RStO/RDO", Villaret Ingenieurgesellschaft mbH
- [4] FE 08.0257/2018/DGB: "Evaluierung von bestehenden Betonfahrbahnen auf unterschiedlichen Tragschichtkonstruktionen", Ingenieurbüro A. Riwe et. al.
- [5] FE 08.0264/2020/KRB: "Lösungsstudie zur Umsetzung der ASR A5.2 im Kontext mit der Herstellung von Betonfahrbahndecken", Villaret Ingenieurgesellschaft mbH
- [6] FE 04.0327/2018/OGB: "Aspekte der Dimensionierung und Konstruktion zur Sicherstellung der Verfügbarkeit bei temporärer Nutzung von Randbereichen von Bundesfernstraßen", TU Dresden et. al.
- [7] FE 08.0237/2015/ARB, "Informationssystem - Ermittlung und Prognose von Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken", Villaret Ingenieurgesellschaft mbH
- [8] N.N., „Vorherbestimmung und Kontrolle des thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Beton“, DAFStB Heft 305, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1979
- [9] Altreuther B., Kirchhoff, N.: „A9 Marktschorgast km 287,300 bis 292,733 beide Fahrtrichtungen. Nahfeld- (CPX-) Messungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nach DIN EN ISO 11819-2 und Statistische Vorbeifahrtmessungen nach DIN EN ISO 11819-1, Auswertung nach RLS-19 und TP KoSD-19, Bericht Nr. M166547/02“, Müller-BBM GmbH
- [10] STB Prüfinstitut für Baustoffe und Umwelt GmbH, „Prüfzeugnis Nr. 21-0555 (1621/21) – Prüfergebnisse Griffigkeitsmessung (SKM)“ vom 11.10.2021
- [11] STB Prüfinstitut für Baustoffe und Umwelt GmbH, „Prüfzeugnis Nr. 21-0555 (1625/21) – Prüfergebnisse Griffigkeitsmessung (SKM)“ vom 12.10.2021

VERWENDETE REGELWERKE

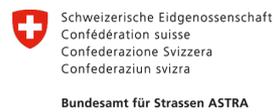
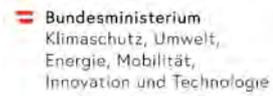
- [12] RVS 13.01.15, „Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2006
- [13] ÖNORM B3591, „Bestimmung der Griffigkeit von Oberflächen durch Messung des Griffigkeitskoeffizienten in Längsrichtung mit dem System RoadSTAR (μ -Road-STAR)“; Austrian Standards, Wien, 2007
- [14] RVS 11.06.65, „Teil V: Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (System RoadSTAR)“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2002
- [15] RVS 11.06.67, „Teil VII: Querebenheitsmessungen System RoadSTAR“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2004
- [16] EN 13036-5, „Road and airfield surface characteristics — Test methods — Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices“, Brussels, 2018
- [17] ISO/DIS 11819-2: “Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method”. Norm-Entwurf vom 30.08.2012
- [18] DIN EN ISO 13473-1: „Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen - Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe“, Ausgabedatum 2004-07
- [19] DIN EN 29053: „Akustik; Materialien für akustische Anwendungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes“, Deutsche Fassung, Ausgabedatum 1993-05
- [20] ARS 16/1992: Verfahren zur Messung der Geräuschemission von Straßenoberflächen (GEstro), herausgegeben durch den Bundesminister für Verkehr, Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 16/1992, Bonn, 1992
- [21] ARS 03/2009: „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90 - Fahrbahnoberflächen-Korrekturwerte DStro für offenporigen Asphalt (VkBf. 2009 S. 260)“, herausgegeben durch den Bundesminister für Verkehr, Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 03/2009, Bonn, 2009
- [22] EN ISO 11819-1: “Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic. Part 1. Statistical Pass-By method”. September 1997
- [23] ARS 05/2006: „Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 5/2006 vom 17. Februar 2006 (S 13/7244.4/01, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung)

zu Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90 – Fahrbahnoberflächen-Korrekturwerte DStrO für Betone mit Waschbetonoberflächen mit Anlage: Statuspapier Deckschichten aus Waschbeton der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) vom 03.11.2003“

- [24] TL Beton-StB 07: „Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“, Ausgabe 2007, FGSV, Köln
- [25] TL Gestein-StB 04/07: „Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau“, Ausgabe 2004/Fassung 2007, FGSV, Köln
- [26] TP Eben: Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührungslose Messungen, Ausgabe 2009, FGSV, Köln
- [27] TP Griff-StB (SKM), Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM), Ausgabe 2007, FGSV, Köln
- [28] TP Griff-Stb (SRT): Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau. Teil: Messverfahren SRT.
- [29] ÖN EN 13036-4: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen — Prüfverfahren. Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest
- [30] CEN / TS 15901-8 "Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen - Teil 8: Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit einer Fahrbahndecke durch Messung des Seitenkraftkoeffizienten (SFCD): SKM"
- [31] ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2007, FGSV, Köln
- [32] TP B-StB Teil 3.1.05: Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen, Teil 3.1.05, Spaltzugfestigkeit von Beton an Zylinderscheiben, Ausgabe 2016, FGSV, Köln
- [33] ZTV Fug-StB 15: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Fugen in Verkehrsflächen, Ausgabe 2015, FGSV, Köln
- [34] RVS 08.17.02, „Deckenherstellung. Technische Vertragsbedingungen Betondecken“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2011

- [35] RVS 04.02.11, „Lärmschutz. Umweltschutz. Lärm und Luftschadstoffe“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2009
- [36] DIN CEN/TS 12390-9, „Prüfung von Festbeton - Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung“, Deutsche Fassung, Ausgabe 2017-05
- [37] DIN EN 12390-2, „Prüfung von Festbeton - Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probe-körpern für Festigkeitsprüfungen“, Deutsche Fassung EN 12390-2, Ausgabe 2009-08
- [38] DIN EN 12390-3, „Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern“, Deutsche Fassung EN 12390-3, Ausgabe 2009-07
- [39] DIN EN 12390-5, „Prüfung von Festbeton - Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern“, Deutsche Fassung EN 12390-5, Ausgabe 2009-07
- [40] DIN EN 12390-6, „Prüfung von Festbeton - Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern“, Deutsche Fassung EN 12390-6, Ausgabe 2010-09
- [41] DIN EN 12390-13:2021, Prüfung von Festbeton – Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul)
- [42] TP Gestein-StB, Teil 5.4.2, Bestimmung des Polierwertes von feinen Gesteinskörnungen mit dem Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS), Ausgabe 2020, FGSV, Köln
- [43] ARS 04/2013, Straßenbefestigung, Bauweisen - Vermeidung von Schäden an Fahrbahndecken aus Beton in Folge von Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR), Ausgabe 2013
- [44] DIN EN 206-1, Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Deutsche Fassung EN 206-1:2000
- [45] DIN 1045-2, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, Ausgabe 2008-08
- [46] TP B-StB Teil 0.2, Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen, Teil 0.2, Statistische Grundlagen zur Auswertung von Prüfergebnissen, Ausgabe 2021, FGSV, Köln
- [47] TP B-StB Teil 5.2.01, Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen, Teil 5.2.01, Prüfung der Druckfestigkeit mit dem Rückprallhammer in situ, Ausgabe 2017, FGSV, Köln
- [48] TP D-StB 12, Technische Prüfvorschriften zur Bestimmung der Dicken von Oberbauschichten im Straßenbau, Ausgabe 2012, FGSV, Köln

- [49] VOB/B, Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen“, Fassung 2016
- [50] TP Textur-StB (ZTM) 20, Technische Prüfvorschriften für Texturmessungen im Verkehrswegebau - Teil: Zirkulares Texturmessverfahren (ZTM), Ausgabe 2020, FGSV, Köln
- [51] TP Beton-StB 10, Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2010, FGSV, Köln
- [52] RLS-19, Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, Ausgabe 2019, FGSV, Köln
- [53] RStO 12, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012, FGSV, Köln
- [54] RDO 09, Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen, Ausgabe 2009, FGSV, Köln
- [55] DIN 18516-3, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 3: Naturwerkstein - Anforderungen, Bemessung, Beuth Verlag, Ausgabe 2021



ANHÄNGE

Anhang 1.1 Mineralogische und einfache Gesteinsansprach

Anhang 1.2: Dünnschliffbeschreibungen

Anhang 1.3 SRT-Werte

Anhang 2 Prüfberichte Untersuchungen Beton in situ

ANHANG 1 – 1:

Tabelle 40: Mineralogie und einfache Gesteinsansprache (deutsche Streckenabschnitte).

Infos				Mineralogie																Petrographie							Extra												
TPA	Probe	Gestein	Herkunft / Werk	Quarz	Plagioklas	K-Feldspat	Kalzit	Dolomit	Amphibol	Granat	Pyroxen	Pyrit	Glimmer	Chlorit	Kasinit	Quellf.	Summe	Quarz / Quarz [%]	Granit [%]	Grüngestein / Gneis / Amphibolit [%]	Sandstein [%]	Tonschiefer [%]	Karbonat [%]	Vulkanit [%]	Tuffit [%]	Rest, Kluftfüllungen [%]	Bröckel [%]	Summe	Farbeindruck	Oberflächenbeschaffenheit	Rundung	Kornform	makr. Erkennbare Minerale	Verwitterungszustand	Besonderheit / Kommentar	Dünnschliff			
20_8082	Code 1 - 100 BK nach Bruch	Betonbohrkern	Kieswerke Schatz GmbH Morgenlandstraße, 92521 Schwarzenfeld	64	9	14	1		2				8	2			100										0												
20_8083	Code 1 - 0/2	Quarzsand		89	1	6	Sp							3	1			100										0	beige / bunt										
20_8084	Code 1 - 0/4	Quarzsand																0										0	beige / bunt										
20_8085	Code 1 - 2/8	Kies		90	3	7	Sp		Sp				Sp	Sp			100	59	31	7	3						100	bunt	wellig - rau	angerundet	gedrungen bis teilweise Plattig (Schiefer)	Quarz, Feldspat, Biotit, Muskovit, Chlorit, Amphibol	kaum; Granit teilweise leicht rostige Oberflächenverfärbungen						
20_8086	Code 1 - 8/11	Granit	Schwinger Granit, Werk Treidling, 93149 Nittenau	49	21	17	1		4				6	2	Sp		100		100									100	schwarz / weiß / rosa	rau	kantig	gedrungen bis flach/ leicht plattig	Quarz, Feldspäte, Biotit	-	seltenere kleine Kalzitklüfte				
20_8087	Code 1 - 11/16	Granit																0		100								100	schwarz / weiß / rosa	rau	kantig	gedrungen bis flach/ leicht plattig	Quarz, Feldspäte, Biotit	-					
20_8088	Code 1 - 16/22	Granit			39	30	28							3	Sp			100		100								100	schwarz / weiß / rosa	rau	kantig	gedrungen bis flach/ leicht plattig	Quarz, Feldspäte, Biotit	kaum, nur wenige rostige Flecken					
20_8089	Code 2 - 100 BK nach Bruch	Betonbohrkern	Kieswerk Ruhlsdorf, Zerpenschleuser Chaussee 25 Marienwerder 16348	62	9	6	10	3	Sp				8	2			100	x		x	x	x	x				0								nicht alle Gesteinsarten geschickt	x			
20_8090	Code 2 - 0/2	Quarzsand			94	2	2	2		Sp				Sp	Sp			100										0	beige / bunt						tw. oxidiert?				
20_8091	Code 2 - 2/8	Kies	Elbkies GmbH, Werk Mühlberg, 04931 Mühlberg	94	3	3			Sp				Sp	Sp			100											0	bunt	Quarz = glatt, Rest = rau	Kantengerundet t - gerundet	gedrungen, teilweise gebrochene Stücke	Amphibol, Quarz, Feldspäte, Hellglimmer, Biotit	kaum, Quarzite und ein paar Granite leicht rostig verfärbt					
20_8092	Code 2 - 8/16	Kies															0	63	8	12	8	1		8				100	bunt (rosa)	Quarz = glatt, Rest = rau	Kantengerundet t - gerundet	gedrungen, teilweise gebrochene Stücke	Amphibol, Quarz, Feldspäte, Hellglimmer, Biotit	kaum, Quarzite und ein paar Granite leicht rostig verfärbt					
20_8093	Code 3 - 100 BK nach Bruch	Betonbohrkern	Sand und Kieswerke Malsch, Durmersheimer Str. 28, 76316 Malsch	88	1	1	10						Sp	Sp			100	x					x				0		grob=rau; fein=glatt	grob=kantig; fein=gerundet	gedrungen			-	3 Typen feinkörnige Komponenten: laminiert, verfault, formlos	x			
20_8094	Code 3 - 0/2	Quarzsand			91	2	5	2						Sp				100										0	weiß - beige										
20_8095	Code 3 - 2/5	Rhyolith		Ottenhöfen	66	4	8	Sp					20	2				100										0	grau / violett										
20_8096	Code 3 - 5/8	Rhyolith																	0					100					100	grau / violett									
20_8097	Code 3 - 16/22	Rhyolith																0					100					100	grau / violett										
20_8098	Code 4 - 100 BK nach Bruch	Betonbohrkern	Langenbrücken, Kies und Sand	76	4	2	14	1	Sp				2	1			100	x			x	x	x				0							bräunlich, rötliche Verfärbungen	v.a. Sandstein	Querschnitt			
20_8099	Code 4 - 0/2	Sand			87	4	6	3					Sp	Sp				100										0	beige / bunt										
20_8100	Code 4 - 2/8	Rheinkies			82	5	8	5					Sp	Sp				100										0	bunt										
20_8101	Code 4 - 8/16	Rheinkies																0										0	bunt (rot)										
20_8102	Code 5 - 100 BK nach Bruch	Betonbohrkern	Mitteldeutsche Baustoffe GmbH, Kieswerk Löberitz, 06780 Zörbig	65	13	14	3					4	1				100									x	0	grob=rau; fein=glatt	grob=kantig; fein=gerundet	gedrungen			-	Matrix gestützt	Querschnitt				
20_8103	Code 5 - 0/2	Quarzsand			96	2	2						Sp					100										0	beige / braun / bunt										
20_8104	Code 5 - 2/8	Rhyolith		Löbejün	59	20	15	1					3	2				100						100				100	ziegelrot	rau	kantig	vorw. plattig - flach, teilw. gedrungen	nur Komponenten, keine Minerale	nur ganz selten rostige Flecken an Oberflächen	Komponenten: beige, dunkel (glasig?), rosa				

Tabelle 41: Mineralogie und einfache Gesteinsansprache (österreichische Streckenabschnitte).

Infos			Herkunft / Werk	Mineralogie													Petrographie											Extra								
TPA	Probe	Gestein		Quarz	Plagioklas	K-Feldspat	Kalzit	Dolomit	Amphibol	Granat	Pyroxen	Pyrit	Glimmer	Chlorit	Koebnit	Quellf.	Summe	Quarz / Quarz [%]	Granit [%]	Grundgestein / Gneis / Amphibolit [%]	Sandstein [%]	Tonschiefer [%]	Karbonat [%]	Vulkanit [%]	Tuffit [%]	Rest, Kluftfüllungen [%]	Breccie [%]	Summe	Farbeindruck	Oberflächenbeschaffenheit	Rundung	Kornform	makr. Erkennbare Minerale	Verwitterungs-zustand	Besonderheit / Kommentar	Dünnschliff
20_8805	Code 6 - 0/4	Sand	Markgrafneusiedl	85	4	5	3	3	Sp								100										0									
20_8806	Code 6 - 4/8	Kies		61	3	4	12	20	Sp	ev.Sp							100										0									
20_8807	Code 6 - 8/11	Kies gebrochen	Markgrafneusiedl/ Schönkirchner	85	3	Sp	11	1	Sp								100	74		13	2		11				100	weiß / grün / beige / grau	rau	kantig	gedrungen, gebrochen	Glimmer, Amphibol, Plagioklas, Quarz, ev. K Feldspat (?)	wenig, v.a. die Quarzite	z.T. noch gerundete Oberflächen enthalten		
20_8808	Code 6 - 8/16	Kies		77	3	2	10	8	Sp								100	59		17	2		21				99	weiß / grün / beige / grau	glatt - wellig	gerundet	v.a. gedrungen, Karbonate und teilweise Metamorphe plattig	Glimmer, Amphibol, Plagioklas, Quarz, ev. K Feldspat (?)	Quarze und Metamorphe immer wieder Verfärbungen	z.T. Konglomerierungsreste aus Kalk an Quarz-Körnern vorhanden; relativ viel Amphibol - Schiefer und Gneise		
20_9111	Code 7 - 100 BK nach Bruch	Beton-bohrkern		44	8	3	13	9	16								100	x	x								0		rau	kantig	gedrungen, gebrochen			Verbindung von Amphibolit zu Zement teilweise rissig (Foto)	Querschnitt	
20_8666	Code 7 - 0/4	Sand	Asphalt und Beton Lendorf	37	2	1	15	42									100										0									
20_8667	Code 7 - 4/8	Kies		16	1	Sp	17	63	Sp								100										0									
20_8579	Code 7 - 4/8	Amphibolit	Mineralabbau Bleiberg	12	11	3	4	3	42								100			89	6	4	1				100	grau/schwarz/rot/grün	rau	kantig	gedrungen, Tonschiefer und roter Amph plattig	-	ganz selten leichter oberflächenbelag			
20_8580	Code 7 - 8/11	Amphibolit		10	9	3	3	2	51								100			87	6	7	Sp				100	grau/schwarz/rot/grün	rau	kantig	gedrungen, Tonschiefer und roter Amph plattig	-	ganz selten leichter oberflächenbelag			
20_9117	Code 8 - 100 BK nach Bruch	Beton-bohrkern		40	22	10	6	3	12	x							100	x	x	x							0		rau	kantig	gedrungen			Amphibolit, Granit, Granatführende Gesteinsfragmente	Querschnitt	
20_8581	Code 8 - 0/4	Granulit	Hartsteinwerk Wanko, Firma Asamer	32	43	13			11								100										0									
20_8819	Code 8 - 0/2	Granit		39	18	12	13		11								100										0									
20_8820	Code 8 - 2/4	Granit		39	17	12	1		18								100										0									
20_8821	Code 8 - 4/8	Granit	Werk Limberg, Firma Hengl	32	27	12	2		16		ev.Sp						100			64	29						100	beige/braun/grün	rau	kantig	gedrungen, gebrochen	Feldspat, Quarz, Hellglimmer, Dunkelglimmer, Amphibol	Amphibol gar nicht, vom Granit ist ca. die Hälfte leicht verfärbt	BK enthält keine 8/11 Körnung; die unter "Rest" zusammengefassten Komponenten		
20_8822	Code 8 - 8/11	Granit		35	17	7	2		21								100			62	30						100	beige/braun/grün	rau	kantig	gedrungen, gebrochen	Feldspat, Quarz, Hellglimmer, Dunkelglimmer, Amphibol	Amphibol gar nicht, vom Granit ist ca. die Hälfte leicht verfärbt	BK enthält keine 8/11 Körnung; die unter "Rest" zusammengefassten Komponenten		
23_10661	Code 9 - 0/2	Granit	Kusser	64	22	11			Sp								100																			
23_11219	Code 9 - 5/8	Granit	vmtl. Kusser	56	17	19		Sp									100																			
23_00512	Code 10 - 0/2		Bocksrück	100					Sp																											
23_00513	Code 10 - 2/8			11	19	11	31										100																			
23_00515	Code 10 - 16/22	Diabas	Bad Berneck																	2									hellgrün/dunkelgrün	rau	kantig	gedrungen, gebrochen	Chlorit, Kalzit	keine Verwitterung	Manche Komponenten haben größere ehemalige Porenräume - weiß verheilt	Querschnitt
23_00511	Code 11 - 0/2	Natursand	Sand + Kies Dietz Werk Maineck	88	2	5	1		1								100																			
23_00516	Code 11 - 2/8			10	43	3	17										100																			
23_00518	Code 11 16/22	Diabas	Kupferberg																										hellgrün/dunkelgrün/rot	glatt-wellig bis rau	kantig	gedrungen, gebrochen	Chlorit, Kalzit	zwei Komponenten mit leicht rostiger Verfärbung		Querschnitt

ANHANG 1 – 2: Dünnschliffbeschreibungen

Code 1 – Bohrkern (20_8082)

Größere Komponenten:

- **Granitoid:**
 - K-Fsp und auch Plagioklase: immer wieder starke Umwandlungsspuren im Korninneren – erhebliche Glimmeranreicherung
 - Zirkone
 - Verbund mit Zement nicht optimal (Abbildung 97 e und f) – dünne Risse entlang des Kornrandes immer wieder
 - Kantig, v.a. in stark geschieferten Gneisen z.T. Risse

Kleinere Komponenten:

Nur wenige angerundet bis gerundet, die meisten Körner sind nur kantengerundet.

- Glimmerschiefer? / Tonstein?
 - Abbildung 97 a und b rechts
 - Makroskopisch feinkörnig und hellgrün gefärbt
 - Nicht wirklich geschiefert
 - Besteht fast ausschließlich aus Helglimmer und rel. wenig Chlorit
 - Vereinzelt sind noch
 - Verbund mit Zement nicht optimal – dünne Risse entlang des Kornrandes immer wieder
- Quarzite
 - Undulöse Auslöschung
 - Teilweise zeigen einige Körner Bulging – Kornoberfläche sieht dann beinahe „angefressen“ bis wellig aus – dürften kleine Kornausbrüche sein.
- Feldspäte - Einzelkristalle
 - Einige teilverwitterte Plagioklasleisten
 - Immer wieder Mikoklin (Abbildung 97 c und d rechte obere Ecke) – Porosität in Korn

Kommentar: Blau gefärbtes Harz – Porosität ersichtlich

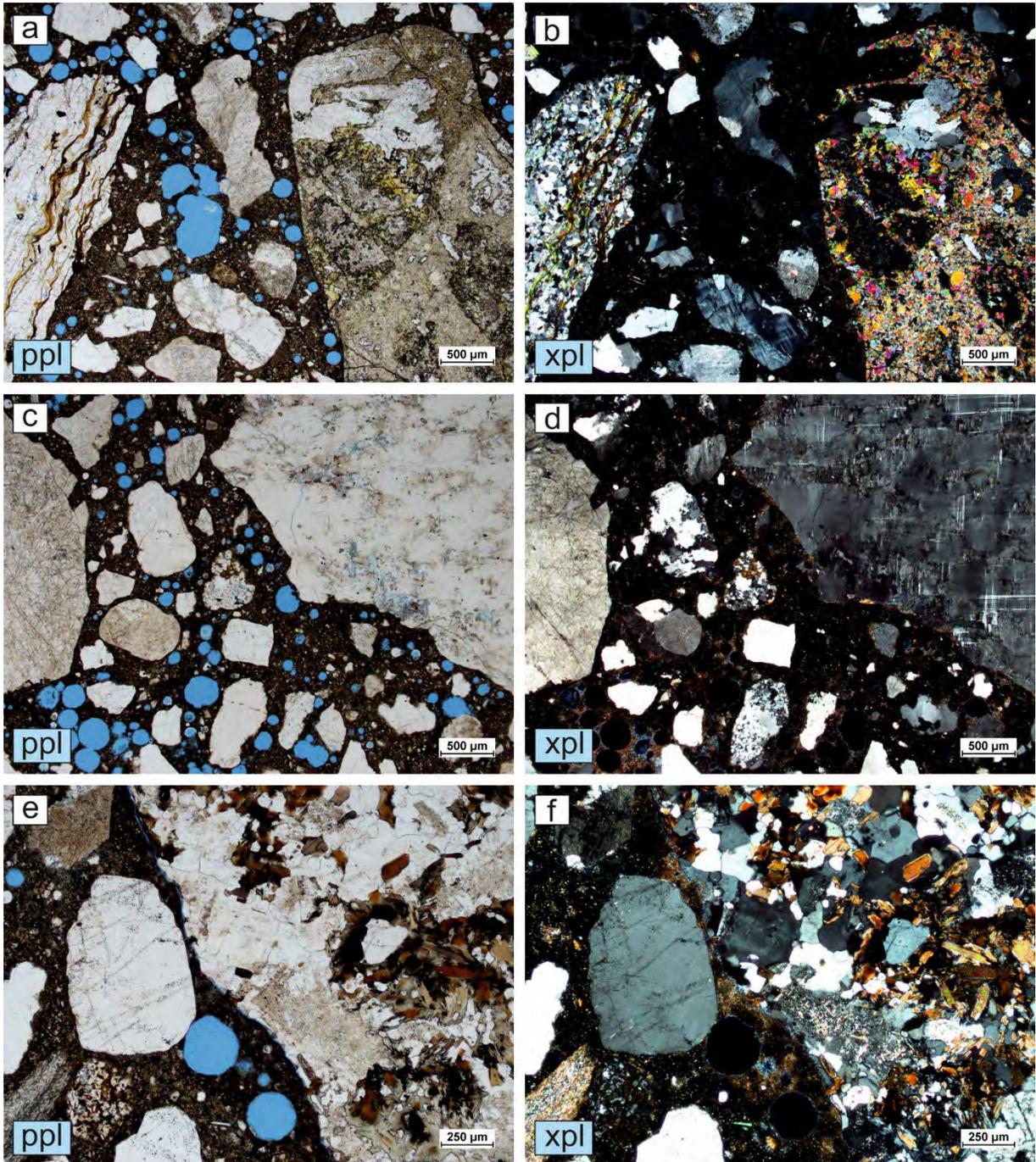


Abbildung 136: Dünnschliff Probe 20_8082 Code 1.

Code 2 – Bohrkern (20_8089)

Größere Komponenten:

- **Vulkanite:**
 - Basalt
 - Basalt + Amphibol (Abbildung 98 c und d rechte obere Ecke)
 - Angewitterter Basalt (Abbildung 98 a und b rechte untere Ecke)
- **Quarzite**
- **Karbonate:**
 - Sparitisch (eher kleiner)
 - Mikritisch, fossilreich (v.a. Crinoidenreste und (weniger) Schalenreste; siehe Abbildung 98 a und b linke obere Ecke)
- **Schiefer**
 - Wenige, stark geschiefert, metamorphe Komponenten (wenige Tonminerale)
- **Sandstein**
 - V.a. korngestützte Quarzarenite (siehe Abbildung 98 c und d, linke Seite), kaum Matrix

Kleinere Komponenten:

- Sehr quarzreich, teilweise auch Feldspäte und wenige Karbonate;
- Komponenten gut gerundet bis kantengerundet

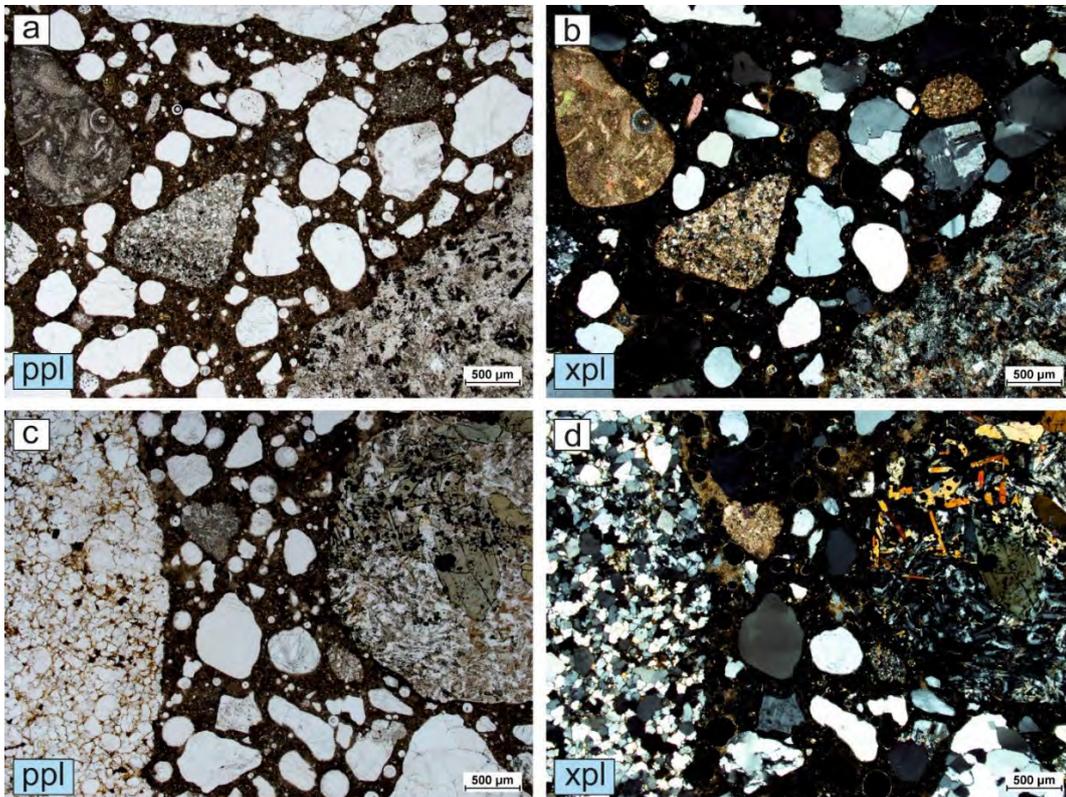


Abbildung 137: Dünnschliff Probe 20_8089 Code 2.

Code 3 – Bohrkern (20_8093)

Größere Komponenten:

- **Vulkanite:**
 - Gebrochen, kantig, gedrungen, rel. feinkörnig – aber zu grob für Tuffite
 - Manche laminiert, formlos oder verfaltet bzw. wellig;
 - Farblos bis beige – Braun.

Kleinere Komponenten:

Sehr viele **Quarze und Gesteinsfragmente**, kantengerundet, gedrungen

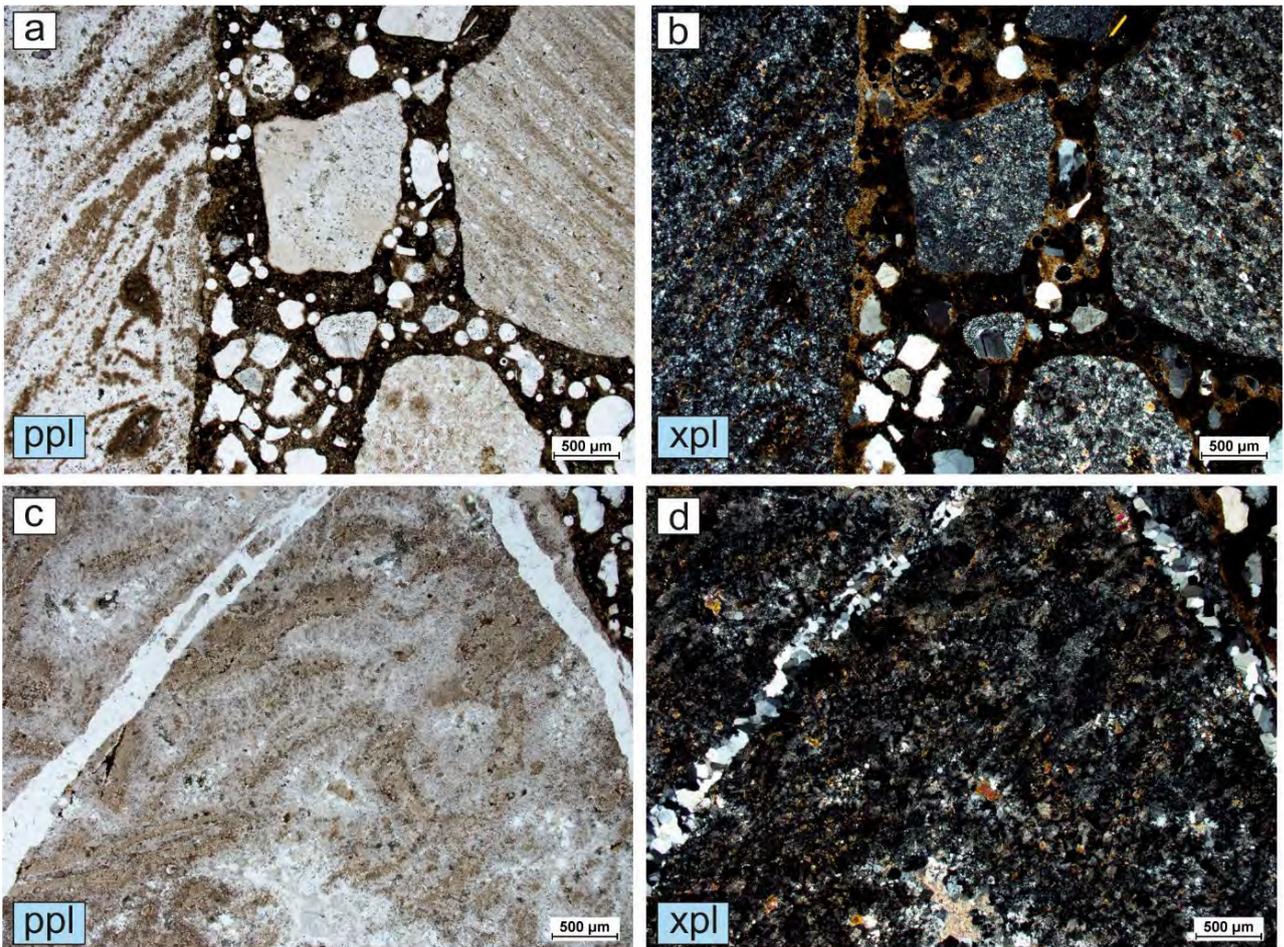


Abbildung 138: Dünnschliff Probe 20_8093 Code 3.

Code 4 – Bohrkern (20_8098)

Größere Komponenten:

- **Karbonate:**
 - 2 Typen:
 - sparitisch: Deformationszwillinge (siehe Abbildung 100 g und h)
 - mikritisch: Mikrofossilien (siehe Abbildung 100 e und f), Schalenreste
- **Sandsteine:**
 - 2 Typen:
 - Matrix gestützt, immer wieder Chlorit
 - Quarzarenite, Komponenten gestützt
- **Basalt:**
 - Nur wenige, teilweise bräunlich, fleckige Verfärbungen erkennbar
- **Quarzit**

Kleinere Komponenten:

Beinahe ausschließlich **Quarze**, gerundet

Grinding: Die Karbonate passen sich beim Einschneiden den Zementphasen gleichwertig an. Die Oberfläche ist glatt, es gibt keine Stufen zur Zementmatrix. Quarze zeigen kantige Brüche an den Oberflächen der Grindingspur (siehe rote Pfeile Abbildung 100 a-d).

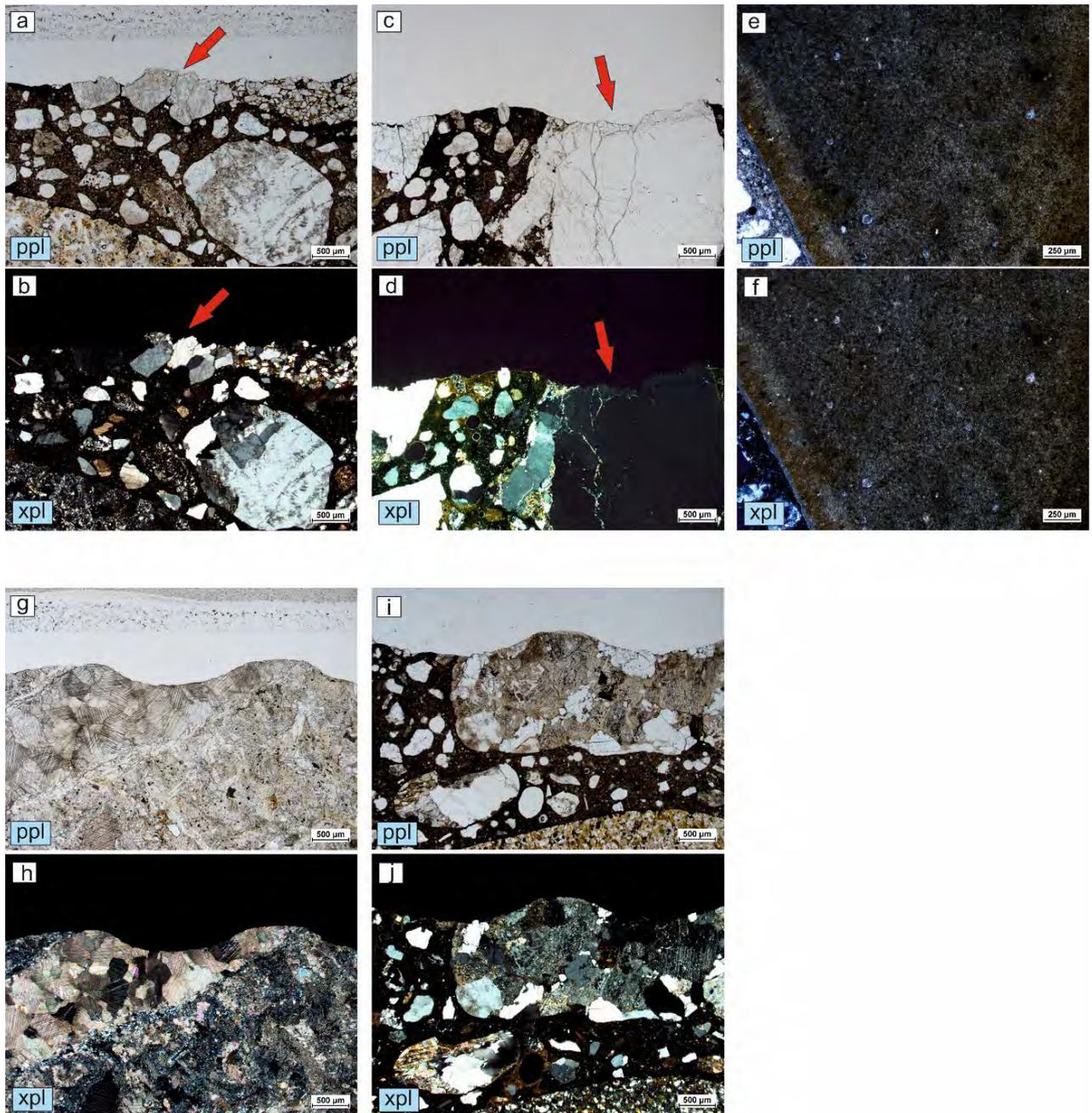


Abbildung 139: Dünnschliff Probe 20_8098 Code 4.

Code 5 – Bohrkern (20_8102)

Größere Komponenten:

- **Rhyolith:**
 - Kantig, gebrochen, Matrix gestützt

Kleinere Komponenten:

- **Quarz, Feldspat, Glimmer:**
 - Teilweise gerundet bis kantengerundet (besonders Quarze sehr gut gerundet)

Grinding: Die großen Komponenten passen sich bei den Schnitten ganz gut an, erzeugen aber eine Raue Oberfläche. An manchen Stellen [Foto] sind diese Rhyolithstücke ausgebrochen – nur noch Reste erhalten, Schwachstellen der Oberfläche.

Die kleinen Komponenten passen sich den Schnitten nicht so gut an, sondern stehen öfter hervor. Besonders Quarzkörner sind an der Oberfläche mehrfach gebrochen, anstatt abgeschnitten und erzeugen dadurch eine kantige, raue Oberfläche (Foto).

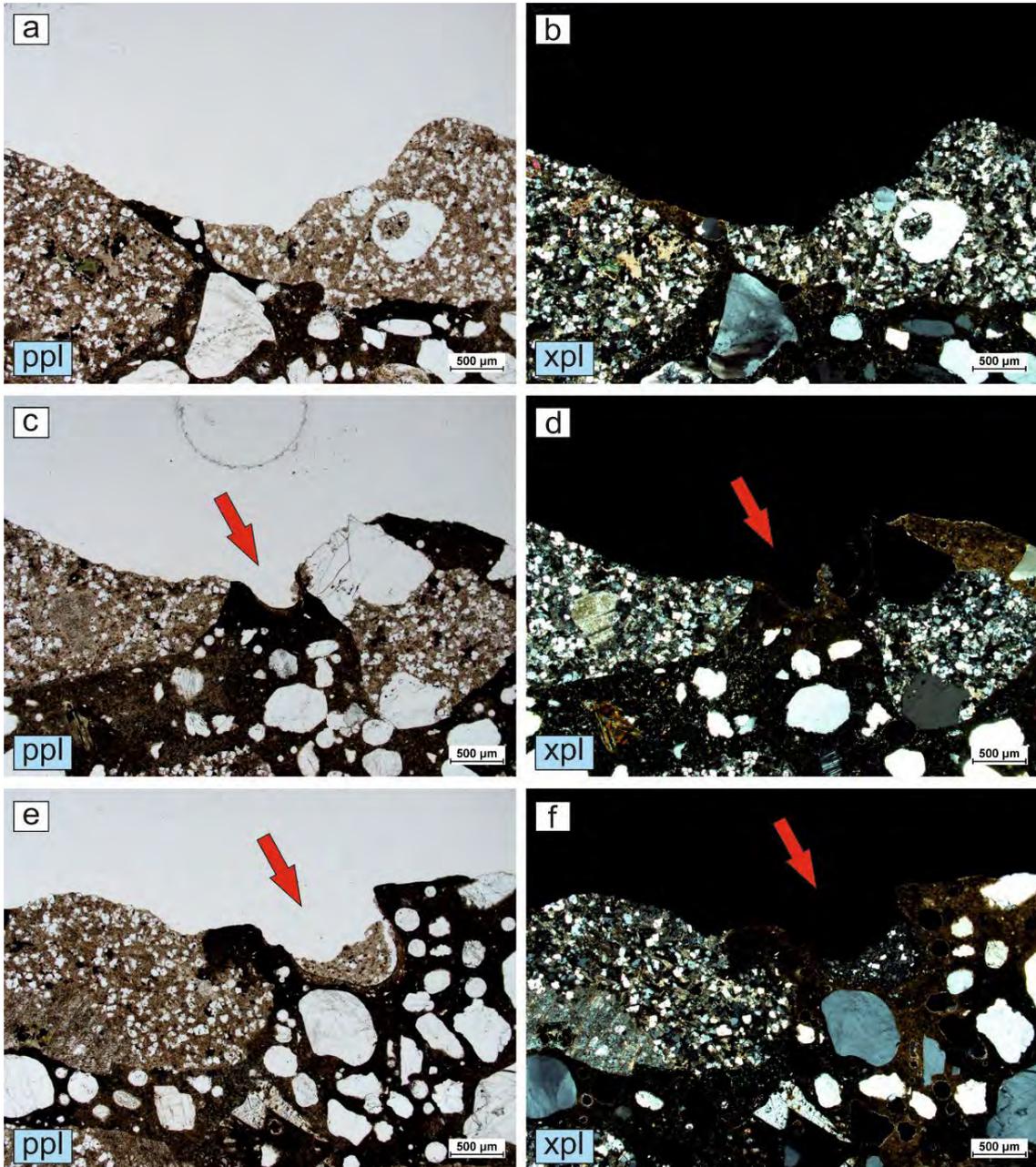


Abbildung 140: Dünnschliff Probe 20_8102 Code 5.

Code 6 – Bohrkern (20_9110)

Größere Komponenten:

- **Karbonate:**
 - Mikritisch, fossilreich (Belemniten, und wenige Schalen; siehe Abbildung 102 a und b)
- **Quarzite:**
 - Machen den Großteil der Komponenten aus (siehe Abbildung 102 c - f)
 - Kantig, rau, polykristallin
 - immer wieder kleine Risse (siehe Abbildung 102 c und d)

Kleinere Komponenten:

- **V.a. Quarz und Quarzit, aber auch vereinzelt Glimmer, Karbonate und geschieferte Komponenten:**
 - kantig bis kantengerundet, vermutlich gedrunen
 - Durch die Quarze ziehen

Grinding: Die Karbonate passen sich dem Zement beim Schnittverhalten an (siehe Abbildung 102 a und b), Quarzite tendieren zum Bruch (siehe rote Pfeile Abbildung 102 e und f).

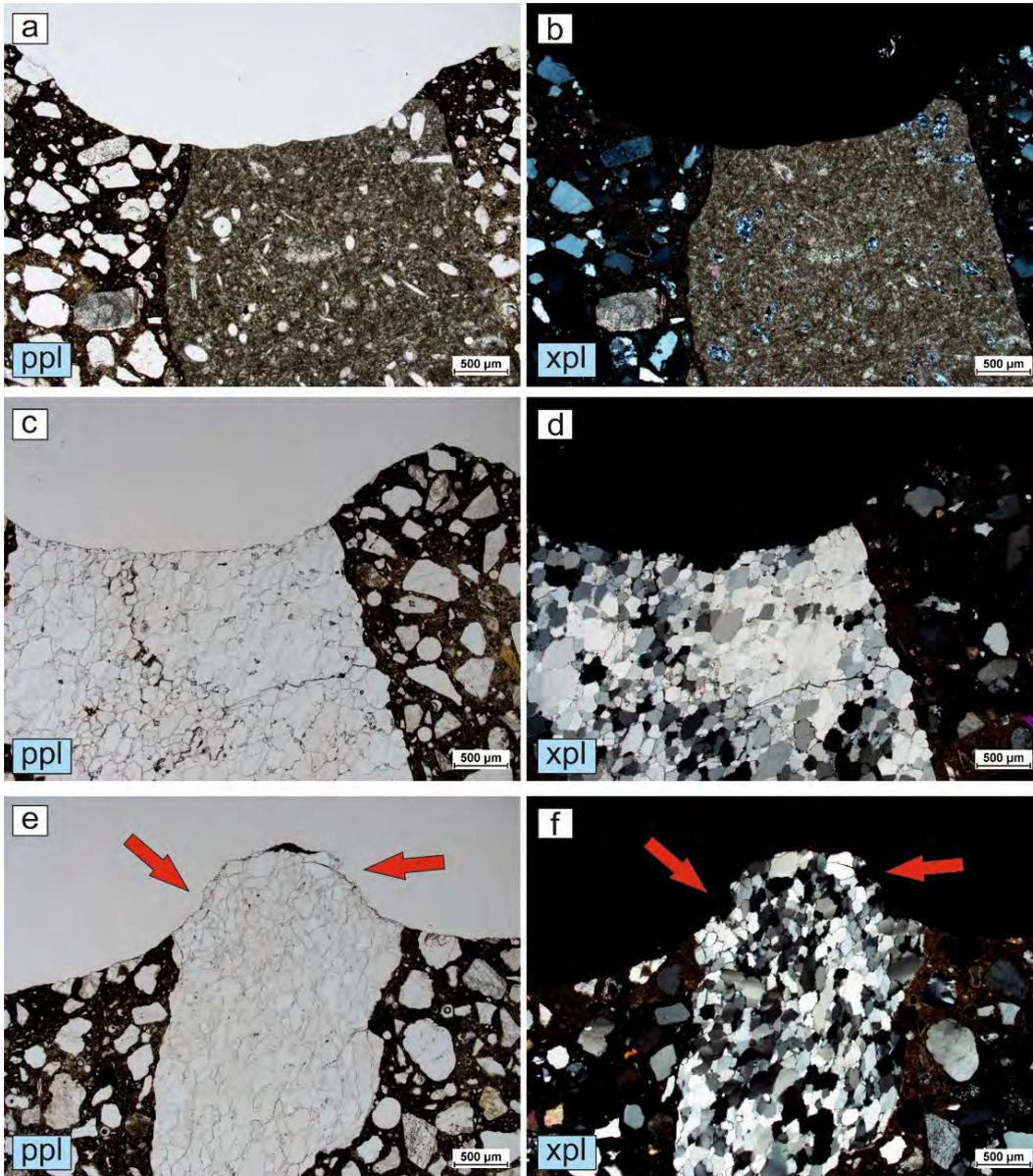


Abbildung 141: Dünnschliff Probe 20_9110 Code 6.

Code 7 – Bohrkern (20_9111)

Größere Komponenten:

- **Amphibolite:**
 - Unterschiedliche Korngrößen: grobkörnige (Abbildung 103 c und d) und feinkörnige (a und b)
 - Eigenfarbe Grün, viele Amphibole und Chlorit
 - Kornform: kantig, gedrunge
 - Oberflächen Eben bis wellig, rau

Kleinere Komponenten:

- **V.a. Quarz und Quarzit, Karbonate und vereinzelt Glimmer (ev. auch Glimmerreiche Gesteinsfragmente)**
- Zumindest Quarze metamorph überprägt, sie zeigen undulöse Auslöschung
- kantig bis kantengerundet, vermutlich gedrunge

Grinding: z. T. passen sich vor allem die grobkörnigeren Amphibole dem Zement im Schnittverhalten gut an (siehe Abbildung 103 c und d). Bei feinkörnigeren Vertretern (siehe Abbildung 103 a und b) ist das Haftverhalten zwischen Komponenten und Zement teilweise nicht gut und es kommt zur Ausbildung von Rissen (rote Pfeile). Quarzite und Quarze zeigen keinen regelmäßigen Schnittverlauf der Grindingspur – sie stehen hervor, brechen kantig ab oder brechen aus dem Zement aus.

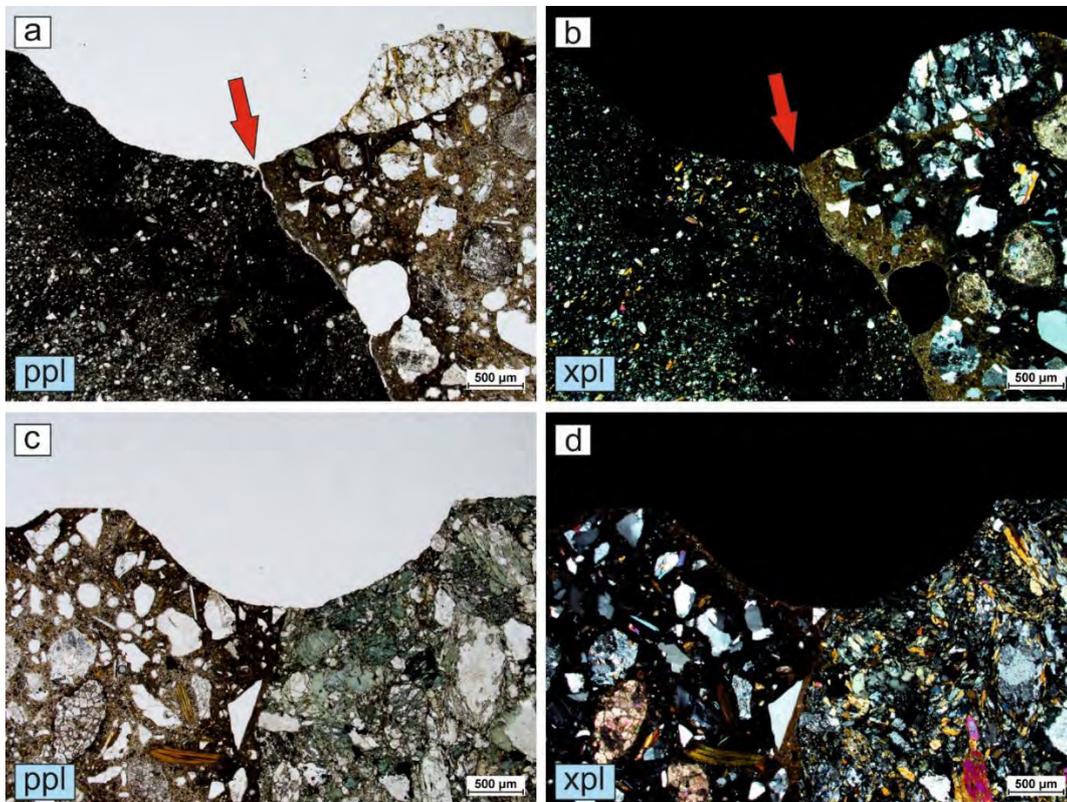


Abbildung 142: Dünnschliff Probe 20_9111 Code 7.

Code 8 – Bohrkern (20_9117)

Größere Komponenten:

- **Granit:**
 - Dicht, korngestützt, mittelkörnig (siehe Abbildung 104 a und b)
 - Minerale: viel Quarz, Feldspäte Biotit
 - Gedrungen, kantig, raue Oberflächen
- **Amphibolite:**
 - Kantig, gedrungen, rau
 - Minerale: Amphibol v.a. grüne, Feldspäte (immer wieder perthitische Entmischungen z.B.: Abbildung 104 e und f), Chlorit, akzessorisch immer wieder Rutil

Kleinere Komponenten:

Quarz, Quarzit, Gesteinsfragmente mit Granaten (immer wieder Risse) und Glimmer (siehe Abbildung 104 c und d; Granatglimmerschiefer?), aber auch vereinzelt Glimmer und (selten) Hornblenden

- **Komponenten:**
 - Kantig, rau, vermutlich gedrungen, keine Kornrundungen ersichtlich

Grinding: Das Schnittverhalten der größeren Komponenten ist grundsätzlich der Grindingspur gut folgend (siehe Abbildung 104 a und b). Einige Stellen sind bruchrau, was an den vielen enthaltenen Quarzmineralen in den Granitkomponenten liegt. Allerdings sind immer wieder kleinere Absätze zwischen den Komponenten und der Zementmatrix erkennbar. Dies ist auf die unterschiedliche Härte der beiden Bereiche zurückzuführen.

Allgemein: Grinding gut erhalten, kantig; Amphibolit war an keiner Grindingspur angeschnitten.

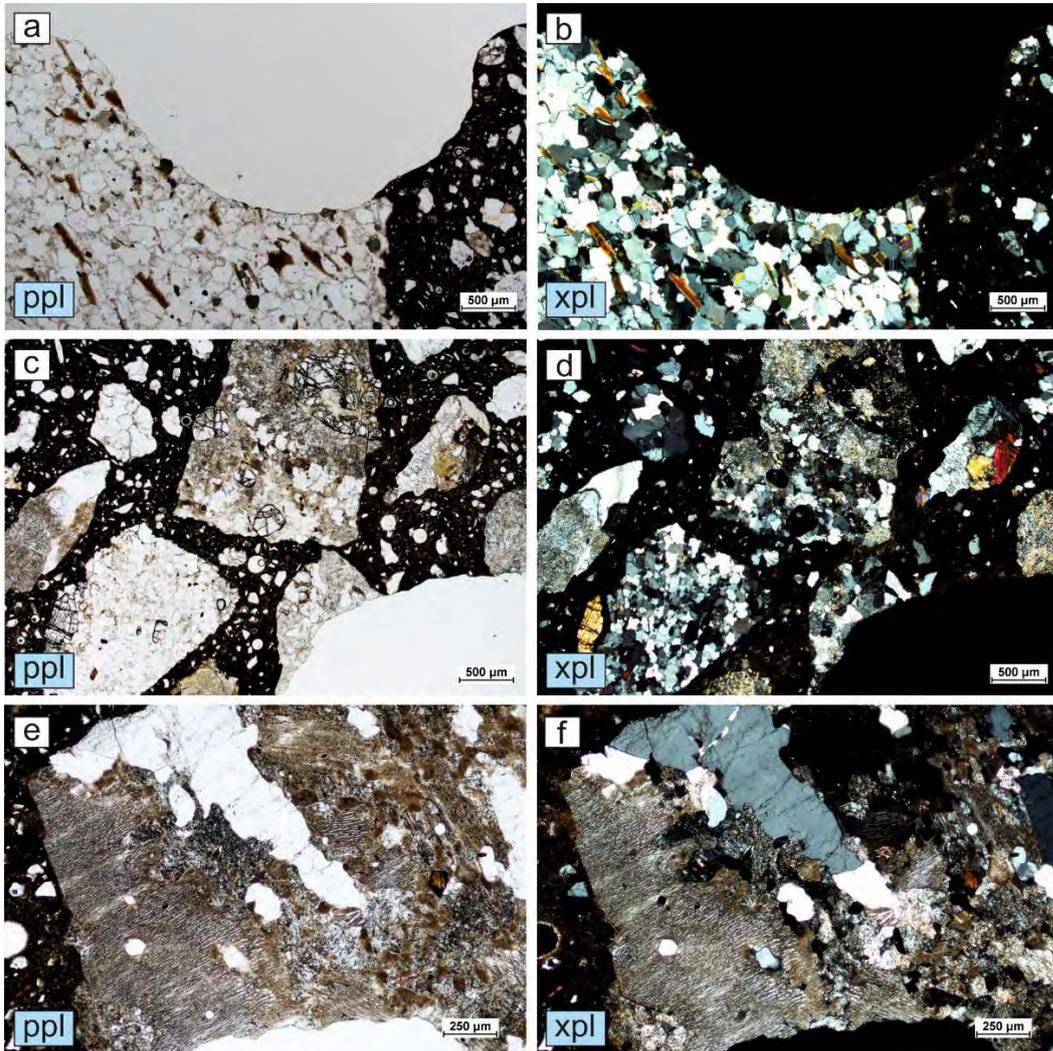


Abbildung 143: Dünnschliff Probe 20_9117 Code 8.

Code 10 – Bohrkern (23_08264)

Minerale: Quarz, Plagioklas, K-Feldspat (wenig), Chlorit, Karbonat, vulkanisches Glas, Zirkon (akzessorisch), opake Phase, Zementphasen

Grobkörnige Komponenten (Abbildung 144 a und b):

Bis auf ein Korn (Tuffit Komponenten v.a. in Korngröße Silt) sind ausschließlich stark vergrünte Vulkanite enthalten. Dabei handelt es sich bei fast allen Komponenten um einen deutlich umgewandelten Trachybasalt bis basaltischen Trachyandesit. Die feinkörnige Matrix ist dabei reich an Glasparkeln. Die Plagioklasleisten sind stellenweise leicht eingeregelt. Ehemalige grobkörnigere Komponenten sind vollständig umgewandelt in Chlorit in einer ersten Umwandlungsphase und in Karbonat in einer zweiten. Ein Diabasstück ist ebenfalls als Komponente enthalten.

Sand (Abbildung 144c und d):

Besteht aus Quarz- und Quarzitkörnern. Es handelt sich überwiegend um gebrochenen Sand und nur sehr wenige gerundete Komponenten.

Es ist auffällig, dass manche Poren im Beton elongierte und vergleichsweise große Hohlräume gebildet haben mit einer im Dünnschliff messbaren max. Länge von 3396 µm.

Grindingverhalten (Abbildung 144 e und f): Quarzsand in Zementstein führt zu verstärkter Mikrotextr, grobkörnige Komponenten werden gut bzw. glattwandig gegrindet.

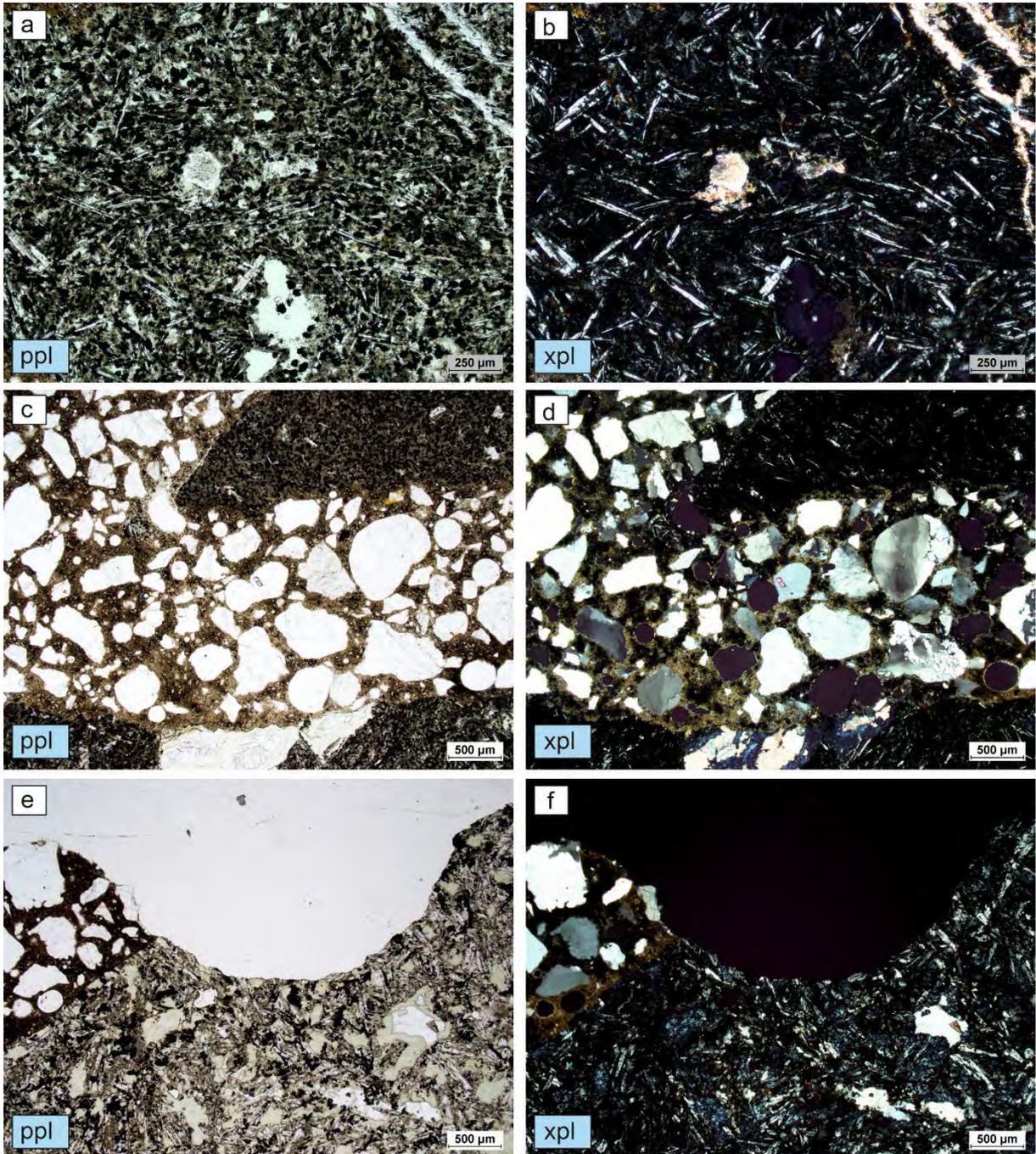


Abbildung 144: Dünnschliffotos der Probe 23_08264 (Code 10).

Code 11 – Bohrkern (23_08265)

Minerale gesamt (Überblick in Abbildung 145 a und b): Quarz, K-Feldspat, Plagioklas, Chlorit, Karbonat (Kalzit oder Dolomit - Dünnschliff ungefärbt), Pyroxen, Amphibol (hellbraunfarblos), Hellglimmer, Biotit (wenig), opake Phase, Zementphasen

Grobkörnige Komponenten:

V.a. Diabas und Andesit, wobei die meisten Stücke umgewandelt vorliegen mit deutlicher Vergrünung durch Chlorit und pseudomorphen Karbonaten (Ersatz von v.a. Amphibolen ersichtlich).

Es wurden auch einige Kalke, stellenweise ggf. fossilführend (Foraminiferen?) als größere Klaster in der Zementmatrix beobachtet.

Sand (Abbildung 145 c und d):

Der verwendete Sand besteht hauptsächlich aus Quarzen, Quarziten und Sandsteinen. Die Körner sind überwiegend gerundet.

Grindingverhalten (Abbildung 145 e und f): Vulkanite=gut, Karbonat=gut, Sandstein=mittel, Quarz=schlecht

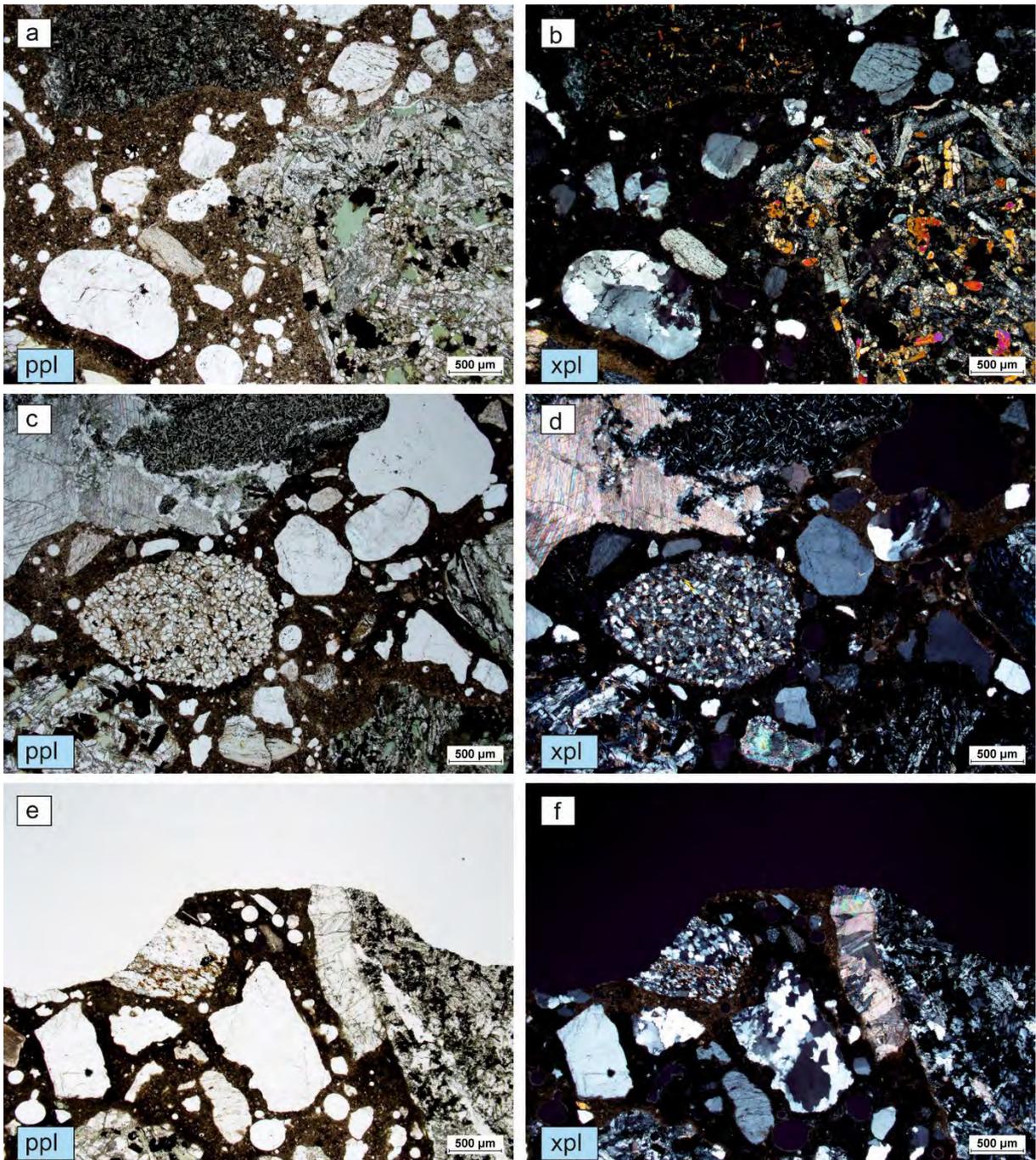


Abbildung 145: Dünnschliffotos der Probe 23_08265 (Code 11).

ANHANG 1–3: SRT-WERTE

Tabelle 42: SRT-Werte vor und nach CDF, differenziert in breiten und schmalen Prüf gummi entsprechend der unterschiedlichen Auswertemethoden.

		Datengrundlage	SRT-Werte Messfelder gem.							
			TP		ÖN		F&E 1		F&E 2	
			schmal	breit	schmal	breit	schmal	breit	schmal	breit
Code 1	1-SS-2	Erstaufnahme	56,78		54,58		55,29		56,24	
	1-SS-3	Erstaufnahme	48,14	54,47	47,14	53,27	47,28	53,27	47,47	53,27
	1-HFS-2	vor CDF	42,35	53,56	42,65	52,56	41,30	52,76	41,78	52,90
	1-HFS-2	nach CDF								
	1-HFS-3	vor CDF	42,19	53,17	41,49	51,97	41,57	52,17	41,66	52,30
	1-HFS-3	nach CDF	43,86	51,76	44,36	50,36	43,56	50,36	43,73	50,36
Code 2	2-SS-3	Erstaufnahme	51,14	60,96	51,54	61,36	50,20	59,56	50,67	59,70
	2-HFS-2	vor CDF	44,55	56,28	44,55	55,08	43,99	55,08	44,18	55,24
	2-HFS-2	nach CDF	47,16	56,22	47,46	56,72	46,82	55,32	47,13	55,45
	2-HFS-3	vor CDF	42,57	54,96	42,47	53,96	42,12	53,76	42,27	53,96
	2-HFS-3	nach CDF								
Code 3	3-SS-3B	Erstaufnahme	54,40	69,39	54,60	69,99	54,40	68,39	54,40	68,39
	3-HFS-1	vor CDF	35,53	52,19	36,13	50,39	34,94	50,69	35,23	50,89
	3-HFS-1	nach CDF								
	3-HFS-3	vor CDF	33,73	49,37	33,43	48,97	33,40	48,47	33,49	48,67
	3-HFS-3	nach CDF	41,71	50,96	42,11	51,56	41,12	49,86	41,57	49,80
Code 4	4-SS-1	Erstaufnahme	52,64	62,36	53,04	62,36	52,24	62,76	52,24	63,03
	4-HFS-1	vor CDF	39,18	53,20	39,68	51,30	38,56	51,50	38,94	51,64
	4-HFS-1	nach CDF	41,91	51,29	41,91	51,99	42,34	50,09	41,91	50,23
	4-HFS-3	vor CDF	36,97	49,73	37,47	48,53	36,35	48,53	36,57	48,53
	4-HFS-3	nach CDF								
Code 5	5-SS-1	Erstaufnahme	59,26	66,99	59,86	67,39	57,60	65,99	58,79	66,19
	5-HFS-1	vor CDF	40,69	55,28	40,49	53,48	40,16	53,68	40,26	53,82
	5-HFS-1	nach CDF								
	5-HFS-3	vor CDF	42,13	53,67	42,63	52,77	41,77	52,87	41,96	52,93
	5-HFS-3	nach CDF	43,45	52,92	43,65	52,62	43,07	52,12	43,19	52,32
Code 6	6-SS-3	Erstaufnahme	57,34		58,14		56,17		56,40	
	6-SS-1	Erstaufnahme	49,31	61,51	49,91	62,11	48,65	60,51	48,84	60,51
	6-HFS-1	vor CDF	39,93	50,40	40,43	49,60	39,06	48,90	39,63	49,10
	6-HFS-1	nach CDF								
	6-HFS-2	vor CDF	38,10	49,03	38,50	48,43	38,00	48,03	38,00	48,23
	6-HFS-2	nach CDF	42,17	53,18	42,47	53,68	41,65	51,88	42,07	52,35
Code 7	7-MS-2	Erstaufnahme	50,00		50,40		49,74		49,93	
	7-MS-1	Erstaufnahme	46,93	57,86	46,53	58,46	46,10	57,06	46,20	57,46
	7-HFS-1	vor CDF	42,41	55,11	42,11	55,31	41,96	54,11	42,15	54,48
	7-HFS-1	nach CDF								
	7-HFS-2	vor CDF	43,63	55,64	44,13	55,74	43,04	54,34	43,33	54,67
	7-HFS-2	nach CDF	42,70	57,62	42,70	58,52	43,01	57,12	42,63	57,42
Code 8	8_1-SS-3	Erstaufnahme	55,82		53,62		54,34		55,29	
	8_1-SS-4	Erstaufnahme	51,68	66,82	52,08	67,22	51,05	65,42	51,48	65,55
	8_1-HFS-1	vor CDF	38,45	47,64	38,85	46,34	38,13	46,14	38,22	46,34
	8_1-HFS-1	nach CDF								
	8_1-HFS-2	vor CDF	37,84	47,25	38,14	46,75	37,31	46,35	37,74	46,75
	8_1-HFS-2	nach CDF	41,37	49,90	41,07	51,50	41,17	49,10	41,17	49,27
Code 9	9-MS-3	Erstaufnahme	48,45	60,66	49,05	61,26	47,50	58,66	47,98	58,79
	9-HFS-1	vor CDF	45,78	54,17	46,18	52,27	45,52	52,57	45,54	52,60
	9-HFS-1	nach CDF								
	9-HFS-3	vor CDF	43,18	50,31	43,38	50,21	42,71	49,31	42,78	49,34
	9-HFS-3	nach CDF								
Code 10	10-SS-3	Erstaufnahme	53,89	69,34	54,29	69,94	53,46	67,74	53,89	68,07
	10-SS-1	nach CDF	51,68	67,29	51,98	67,79	51,28	66,29	51,45	66,39
	10-SS-4	nach CDF	54,61	68,74	55,11	69,24	53,64	67,94	54,21	68,07
	10-HFS-1	Erstaufnahme	40,28	44,58	38,28	43,78	39,00	44,08	39,62	44,28
	10-HFS-2	Erstaufnahme	43,21	50,56	43,91	51,46	43,56	49,86	44,08	50,19
Code 11	11-SS-1	Erstaufnahme	52,40	58,60	53,00	58,60	51,74	59,00	51,93	59,27
	11-SS-2	nach CDF	55,31	62,18	55,71	62,58	54,08	60,88	54,84	61,21
	11-SS-3	nach CDF	55,25	61,59	55,45	61,79	54,68	60,79	54,92	60,86
	11-HFS-1	Erstaufnahme	40,63	46,64	41,13	47,24	39,67	45,54	40,20	45,74
	11-HFS-2	Erstaufnahme	38,42	46,08	37,92	46,88	37,29	44,08	37,88	44,35

Anhang 2: Prüfberichte Untersuchungen Beton in situ

Streckencode 1

BAB A93, RF Hof, km 127,400-129,350

Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit



ABE Bauprüf- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 29.06.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 26.06.20

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: BAB A93, RF Hof, km 127,400-129,350

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle				Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche					Schichtdicke			Bemerkungen
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS	Platte		Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB	gesamt	
					1.	2.	3.	4.					
	km			-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
1-HFS 1	128+985 Ø 225	LS		OB gesamt	5,5 22,0	5,9 21,9	6,3 22,3	5,9 22,0	5,9 22,1	5,9	16,2	22,1	
1-HFS 2	128+980 Ø 225	LS		OB gesamt	5,9 22,0	6,0 22,4	5,8 22,2	6,0 22,1	5,9 22,2	5,9	16,3	22,2	
1-HFS 3	128+975 Ø 225	LS		OB gesamt	6,0 21,7	6,0 21,8	6,4 21,9	6,3 20,5	6,2 21,5	6,2	15,3	21,5	
1-SS 1	128+985 Ø 225	Mitte LS		OB gesamt	6,9 21,7	6,5 21,5	6,8 21,6	6,5 21,5	6,7 21,6	6,7	14,9	21,6	
1-SS 2	128+980 Ø 225	Mitte LS		OB gesamt	6,0 21,0	5,8 20,8	6,4 21,1	6,2 21,0	6,1 21,0	6,1	14,9	21,0	
1-SS 3	128+975 Ø 225	Mitte LS		OB gesamt	6,0 21,2	5,8 20,4	6,3 21,5	6,4 21,8	6,1 21,2	6,1	15,1	21,2	
1-100 1	128+985 Ø 100	SS		OB gesamt	6,0 21,0	6,4 21,4	6,7 21,0	6,0 21,1	6,3 21,1	6,3	14,9	21,1	
1-100 2	128+985 Ø 100	SS		OB gesamt	6,5 21,4	6,2 21,5	6,8 21,2	6,5 21,3	6,5 21,4	6,5	14,9	21,4	
1-100 3	128+985 Ø 100	SS		OB gesamt	6,8 21,3	6,7 21,5	6,5 21,2	6,5 21,2	6,6 21,3	6,6	14,7	21,3	
1-100 4	128+985 Ø 100	SS		OB gesamt	6,5 19,0	6,8 20,3	5,8 20,0	6,3 20,1	6,4 19,9	6,4	13,5	19,9	BK abgebr.
1-100 5	128+985 Ø 100	SS		OB gesamt	6,6 21,5	6,8 21,6	6,5 21,5	6,6 21,6	6,6 21,6	6,6	14,9	21,6	
1-100 6	128+980 Ø 100	SS		OB gesamt	6,8 21,3	6,5 21,7	6,4 21,5	6,5 21,5	6,6 21,5	6,6	15,0	21,5	
1-100 7	128+980 Ø 100	SS		OB gesamt	7,0 21,3	6,8 21,3	7,2 21,2	6,9 21,2	7,0 21,3	7,0	14,3	21,3	
1-100 8	128+980 Ø 100	SS		OB gesamt	7,0 21,4	7,0 21,5	6,8 21,8	7,1 21,5	7,0 21,6	7,0	14,6	21,6	
1-100 9	128+980 Ø 100	SS		OB gesamt	6,5 21,8	7,0 21,4	6,8 21,2	7,0 21,2	6,8 21,4	6,8	14,6	21,4	
1-100 10	128+980 Ø 100	SS		OB gesamt	6,7 21,8	6,8 21,4	6,8 21,9	6,4 21,8	6,7 21,7	6,7	15,1	21,7	
1-100 11	129+975 Ø 100	SS		OB gesamt	6,8 18,5	6,0 18,7	6,5 18,3	7,2 18,4	6,6 18,5	6,6	11,9	18,5	BK abgebr.

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			 <small>Asphalt Beton Erdstoff</small> <small>Unabhängiges Institut</small>
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A93, RF Hof, km 127,400-129,350	Festigkeitsklasse:	B 35		
Bohrkernentnahmen:	18.06.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			Verbund: OB/UB ja
Probenvorbereitung:	26.06.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / OB:	ca. 21,5 cm / 6,5 cm	Datum:	
					Seite 1/2

Oberbeton (Größtkorn 22 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
1-1	128+985	SS	1986	20.07.20		939,9	99,8	51,1	51,0	51,2	51,1	51,1	2350	48,4	6,04	Typ 1	
1-2	128+985	SS	1986	20.07.20		916,3	99,8	50,4	50,3	50,4	50,3	50,4	2330	43,0	5,45	Typ 1	
1-3	128+985	SS	1986	17.07.20		911,2	99,8	49,9	49,8	49,9	50,3	50,0	2330	52,6	6,71	Typ 3	
1-4	128+985	SS	1986	20.07.20		902,4	99,8	49,6	49,5	49,5	49,6	49,6	2330	38,2	4,92	Typ 1	
1-5	128+985	SS	1986	17.07.20		914,6	99,8	50,2	50,2	50,1	50,2	50,2	2330	37,7	4,79	Typ 2	
1-6	128+980	SS	1986	20.07.20		918,8	99,8	49,8	49,9	49,9	49,8	49,9	2360	54,0	6,91	Typ 1	
1-7	128+980	SS	1986	20.07.20		924,2	99,8	49,7	49,9	49,9	49,7	49,8	2370	52,0	6,66	Typ 1	
1-8	128+980	SS	1986	17.07.20		938,0	99,8	50,7	50,9	50,8	50,9	50,8	2360	47,8	6,00	Typ 2	
1-9	128+980	SS	1986	17.07.20		921,4	99,8	50,2	50,1	50,0	50,1	50,1	2350	46,6	5,93	Typ 2	
1-10	128+980	SS	1986	17.07.20		894,6	99,8	49,1	49,1	49,2	49,1	49,1	2330	42,1	5,47	Typ 1	
1-11	128+975	SS	1986	17.07.20		935,5	99,8	50,6	50,8	50,8	50,9	50,8	2360	49,2	6,18	Typ 1	
1-12	128+975	SS	1986	20.07.20		930,1	99,8	50,6	50,7	50,7	50,6	50,7	2350	45,6	5,74	Typ 1	
1-13	128+975	SS	1986	17.07.20		929,3	99,8	50,3	50,5	50,4	50,5	50,4	2360	43,0	5,44	Typ 1	
1-14	128+975	SS	1986	20.07.20		926,6	99,8	50,1	50,2	50,1	50,2	50,2	2360	51,9	6,60	Typ 1	
1-15	128+975	SS	1986	17.07.20		929,2	99,8	50,2	50,3	50,3	50,2	50,3	2360	55,7	7,07	Typ 3	
												Mittelwert:	2350	[kg/m³]	5,99	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,70	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	11,7	[%]	
												k			2,291	(n = 15)	
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}			4,39	[N/mm²]

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-UB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A93, RF Hof, km 127,400-129,350	Festigkeitsklasse:	B 35		
Bohrkernentnahmen:	18.06.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			Verbund: OB/UB ja
Probenvorbereitung:	26.06.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / UB:	ca. 21,5 cm /15,0 cm	Datum:	
					Seite 2/2

Unterbeton (Größtkorn 32 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
1-1	128+985	SS	1986	20.07.20		914,8	99,8	51,5	51,6	51,6	51,5	51,6	2270	42,8	5,30	Typ 1	
1-2	128+985	SS	1986	20.07.20		888,6	99,8	50,1	49,9	50,5	50,5	50,3	2260	40,6	5,15	Typ 3	
1-3	128+985	SS	1986	17.07.20		891,8	99,8	49,8	49,6	49,7	49,9	49,8	2290	42,1	5,40	Typ 2	
1-4	128+985	SS	1986	20.07.20		902,3	99,8	50,2	50,4	50,3	50,3	50,3	2290	41,2	5,22	Typ 2	
1-5	128+985	SS	1986	17.07.20		891,8	99,8	50,2	50,1	50,0	50,1	50,1	2280	40,2	5,12	Typ 3	
1-6	128+980	SS	1986	17.07.20		886,6	99,8	49,6	49,5	49,6	49,4	49,5	2290	40,0	5,15	Typ 3	
1-7	128+980	SS	1986	17.07.20		888,1	99,8	49,6	49,5	49,7	49,6	49,6	2290	44,1	5,67	Typ 1	
1-8	128+980	SS	1986	20.07.20		893,4	99,8	50,1	50,2	50,1	50,1	50,1	2280	38,6	4,91	Typ 1	
1-9	128+980	SS	1986	20.07.20		897,7	99,8	50,2	50,3	50,2	50,2	50,2	2280	40,7	5,17	Typ 1	
1-10	128+980	SS	1986	17.07.20		900,1	99,8	49,9	50,0	50,0	49,9	50,0	2300	53,7	6,86	Typ 1	
1-11	128+975	SS	1986	20.07.20		903,3	99,8	50,3	50,4	50,5	50,5	50,4	2290	42,6	5,39	Typ 3	
1-12	128+975	SS	1986	20.07.20		885,4	99,8	49,8	49,7	49,8	49,8	49,8	2270	44,8	5,74	Typ 1	
1-13	128+975	SS	1986	20.07.20		907,3	99,8	50,4	50,5	50,3	50,5	50,4	2300	47,3	5,98	Typ 1	
1-14	128+975	SS	1986	20.07.20		901,3	99,8	50,4	50,3	50,2	50,3	50,3	2290	45,4	5,76	Typ 2	
1-15	128+975	SS	1986	20.07.20		901,8	99,8	49,9	49,9	50,1	50,2	50,0	2300	42,0	5,36	Typ 2	
												Mittelwert:	2290	[kg/m³]	5,48	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,48	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	8,8	[%]	
															k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:			f _{ctk, sp}	4,38	[N/mm²]

Streckencode 2

BAB A10, RF AD Barnim, km 5,500-9,550

Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 15.07.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt**Messung am:** 14.07.20**Bezeichnung der Bauleistung:** Projekt Texplus**Kurzbeschreibung d. Teilleistungen:** BAB A10, RF AD Barnim km 5,500-9,550

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messtabelle			Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche					Schichtdicke			Bemerkungen	
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS		Platte	Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB		gesamt
					1.	2.	3.	4.					
	km		-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
2-HFS 1	9+005 Ø 225	LS	1689	gesamt	31,6	31,9	32,1	32,0	31,9			31,9	
2-HFS 2	9,000 Ø 225	LS	1688	gesamt	31,7	31,8	31,6	31,7	31,7			31,7	
2-HFS 3	8+995 Ø 225	LS	1687	gesamt	31,8	31,7	32,1	32,0	31,9			31,9	
2-SS 1	9+005 Ø 225	SS	1689	gesamt	31,0	31,1	30,8	30,7	30,9			30,9	
2-SS 2	9,000 Ø 225	SS	1688	gesamt	31,6	31,8	31,9	31,4	31,7			31,7	
2-SS 3	8+995 Ø 225	SS	1687	gesamt	31,5	30,9	31,1	31,2	31,2			31,2	
2-100 1	9+005 Ø 100	SS	1689	gesamt	31,2	31,0	31,1	31,3	31,2			31,2	
2-100 2	9+005 Ø 100	SS	1689	gesamt	31,0	30,5	31,2	30,7	30,9			30,9	
2-100 3	9+005 Ø 100	SS	1689	gesamt	11,7	12,4	13,0	12,6	12,4			12,4	BK abgebr.
2-100 4	9+005 Ø 100	SS	1689	gesamt	30,6	30,8	30,5	30,7	30,7			30,7	
2-100 5	9+005 Ø 100	SS	1689	gesamt	31,1	31,0	30,7	30,8	30,9			30,9	
2-100 6	9,000 Ø 100	SS	1688	gesamt	31,6	32,0	31,8	31,5	31,7			31,7	
2-100 7	9,000 Ø 100	SS	1688	gesamt	31,6	31,6	31,6	31,7	31,6			31,6	
2-100 8	9,000 Ø 100	SS	1688	gesamt	31,4	31,5	31,5	31,3	31,4			31,4	
2-100 9	9,000 Ø 100	SS	1688	gesamt	31,5	31,4	31,5	31,6	31,5			31,5	
2-100 10	9,000 Ø 100	SS	1688	gesamt	32,1	32,3	32,1	32,0	32,1			32,1	
2-100 11	8+995 Ø 100	SS	1687	gesamt	31,7	31,6	31,8	31,9	31,8			31,8	

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A10, RF AD Barnim km 5,500-9,550	Festigkeitsklasse:	B 35		
Bohrkernentnahmen:	02.07.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	14.07.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / UB:	ca. 31,5 cm	Datum:	
					Seite 1/2

Oberbeton (Größtkorn 22 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung	Betonalter [d]	Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
2-1	8+995	SS	2004	21.07.20		913,6	99,8	50,3	50,2	50,1	50,1	50,2	2330	41,6	5,29	Typ 2
2-2	8+995	SS	2004	20.07.20		915,6	99,8	50,0	50,0	50,1	50,2	50,1	2340	37,5	4,78	Typ 2
2-3	8+995	SS	2004	21.07.20		931,5	99,8	50,9	50,9	50,8	50,8	50,9	2340	47,3	5,93	Typ 2
2-4	8+995	SS	2004	21.07.20		922,7	99,8	50,8	50,7	50,7	50,6	50,7	2330	42,4	5,33	Typ 2
2-5	8+995	SS	2004	21.07.20		890,0	99,8	49,1	49,1	49,0	49,1	49,1	2320	41,0	5,33	Typ 2
2-6	9,000	SS	2004	21.07.20		891,6	99,8	49,1	49,2	49,1	49,1	49,1	2320	37,9	4,92	Typ 2
2-7	9,000	SS	2004	20.07.20		918,1	99,8	50,6	50,7	50,8	50,6	50,7	2320	43,5	5,48	Typ 1
2-8	9,000	SS	2004	21.07.20		914,5	99,8	50,2	50,3	50,2	50,3	50,3	2330	43,2	5,48	Typ 2
2-9	9,000	SS	2004	20.07.20		881,1	99,8	48,6	48,7	48,6	48,7	48,7	2320	43,7	5,73	Typ 3
2-10	9,000	SS	2004	21.07.20		901,9	99,8	49,7	49,8	49,9	49,9	49,8	2310	44,7	5,72	Typ 3
2-11	9+005	SS	2004	20.07.20		902,7	99,8	49,9	50,0	50,0	50,1	50,0	2310	38,5	4,91	Typ 2
2-12	9+005	SS	2004	21.07.20		925,5	99,8	51,2	51,3	51,2	51,2	51,2	2310	41,4	5,16	Typ 2
2-13	9+005	SS	2004	21.07.20		901,7	99,8	49,9	49,9	50,0	50,0	50,0	2310	51,9	6,63	Typ 2
2-14	9+005	SS	2004	21.07.20		917,2	99,8	50,4	50,6	50,4	50,3	50,4	2330	44,7	5,65	Typ 2
2-15	9+005	SS	2004	20.07.20		895,6	99,8	49,6	49,6	49,7	49,7	49,7	2310	44,7	5,74	Typ 2
												Mittelwert:	2320	[kg/m³]	5,47	[N/mm²]
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,47	[N/mm²]
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	8,6	[%]
														k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}	4,39	[N/mm²]	

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-UB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A10, RF AD Barnim km 5,500-9,550	Festigkeitsklasse:	B 35		
Bohrkernentnahmen:	02.07.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	14.07.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / UB:	ca. 31,5 cm	Datum:	
					Seite 2/2

Unterbeton (Größtkorn 22 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung	Betonalter [d]	Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
2-1	8+995	SS	2004	21.07.20		933,3	99,8	50,3	50,3	50,3	50,2	50,3	2370	35,1	4,45	Typ 2
2-2	8+995	SS	2004	20.07.20		935,9	99,8	50,3	50,2	50,3	50,3	50,3	2380	45,0	5,71	Typ 2
2-3	8+995	SS	2004	21.07.20		920,8	99,8	49,8	50,0	49,7	49,9	49,9	2360	44,0	5,63	Typ 2
2-4	8+995	SS	2004	20.07.20		925,1	99,8	49,8	49,7	49,9	49,9	49,8	2370	49,7	6,36	Typ 1
2-5	8+995	SS	2004	21.07.20		921,7	99,8	49,8	49,7	49,7	49,6	49,7	2370	50,4	6,47	Typ 3
2-6	9,000	SS	2004	20.07.20		912,1	99,8	49,7	49,6	49,7	49,6	49,7	2350	48,4	6,22	Typ 2
2-7	9,000	SS	2004	20.07.20		927,3	99,8	50,1	50,0	50,1	50,0	50,1	2370	47,3	6,03	Typ 2
2-8	9,000	SS	2004	21.07.20		917,5	99,8	49,8	49,7	49,6	49,7	49,7	2360	50,3	6,46	Typ 3
2-9	9,000	SS	2004	20.07.20		906,9	99,8	49,0	49,1	49,0	49,1	49,1	2360	56,1	7,30	Typ 3
2-10	9,000	SS	2004	21.07.20		920,8	99,8	49,6	49,7	49,6	49,7	49,7	2370	51,0	6,55	Typ 2
2-11	9+005	SS	2004	20.07.20		936,7	99,8	50,7	50,7	50,8	50,7	50,7	2360	49,1	6,17	Typ 2
2-12	9+005	SS	2004	21.07.20		923,5	99,8	50,2	50,2	50,3	50,3	50,3	2350	45,3	5,75	Typ 3
2-13	9+005	SS	2004	20.07.20		917,1	99,8	50,0	49,9	49,9	50,0	50,0	2350	42,9	5,48	Typ 1
2-14	9+005	SS	2004	21.07.20		919,2	99,8	49,9	50,2	50,0	50,1	50,1	2350	44,7	5,69	Typ 2
2-15	9+005	SS	2004	20.07.20		926,5	99,8	50,0	49,8	49,8	50,0	49,9	2370	46,2	5,91	Typ 3
												Mittelwert:	2360	[kg/m³]	6,01	[N/mm²]
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,64	[N/mm²]
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	10,6	[%]
														k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}	4,54	[N/mm²]	

Streckencode 3

BAB A5, RF Basel, km 639,200-641,200

Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 16.07.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 15.07.20

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: BAB A5, RF Basel km 639,200-641,200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle				Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche					Schichtdicke			Bemerkungen
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS	Platte		Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB	gesamt	
					1.	2.	3.	4.					
	km			-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
3-HFS 1	639+965 Ø 225	LS	1793	OB gesamt	5,8 28,4	5,9 28,5	6,0 28,4	5,7 28,3	5,9 28,4	5,9	22,6	28,4	
3-HFS 2	639+970 Ø 225	LS	1794	OB gesamt	5,7 28,1	5,8 28,3	5,6 28,2	5,5 28,3	5,7 28,2	5,7	22,6	28,2	
3-HFS 3	639+975 Ø 225	LS	1795	OB gesamt	6,0 28,8	6,2 29,0	6,3 28,7	6,1 28,8	6,2 28,8	6,2	22,7	28,8	
3-SS 1	639+965 Ø 225	SS	1793	OB gesamt	6,1 29,3	6,2 29,5	6,3 29,6	6,2 29,4	6,2 29,5	6,2	23,3	29,5	
3-SS 2	639+970 Ø 225	SS	1794	OB gesamt	5,9 29,3	6,0 29,0	6,1 28,9	6,0 29,1	6,0 29,1	6,0	23,1	29,1	
3-SS 3	639+975 Ø 225	SS	1795	OB gesamt	6,2 28,4	6,3 28,2	6,2 28,0	6,1 28,1	6,2 28,2	6,2	22,0	28,2	
3-100 1	639+965 Ø 100	SS	1793	OB gesamt	6,5 29,0	6,4 28,8	6,6 29,2	6,5 29,3	6,5 29,1	6,5	22,6	29,1	
3-100 2	639+965 Ø 100	SS	1793	OB gesamt	6,5 29,3	6,5 29,2	6,6 29,3	6,7 29,5	6,6 29,3	6,6	22,8	29,3	
3-100 3	639+965 Ø 100	SS	1793	OB gesamt	6,0 28,7	6,0 28,5	6,2 28,6	6,1 28,5	6,1 28,6	6,1	22,5	28,6	
3-100 4	639+965 Ø 100	SS	1793	OB gesamt	6,5 28,8	6,6 28,9	6,7 28,7	6,5 28,7	6,6 28,8	6,6	22,2	28,8	
3-100 5	639+965 Ø 100	SS	1793	OB gesamt	6,0 29,4	6,3 29,2	6,2 29,3	6,4 29,4	6,2 29,3	6,2	23,1	29,3	
3-100 6	639+970 Ø 100	SS	1794	OB gesamt	6,2 29,1	6,4 28,9	6,3 29,0	6,4 28,8	6,3 29,0	6,3	22,6	29,0	
3-100 7	639+970 Ø 100	SS	1794	OB gesamt	5,7 28,5	6,0 28,1	5,9 28,2	6,0 28,2	5,9 28,3	5,9	22,4	28,3	
3-100 8	639+970 Ø 100	SS	1794	OB gesamt	6,5 28,5	6,3 28,4	6,6 28,6	6,5 28,5	6,5 28,5	6,5	22,0	28,5	
3-100 9	639+970 Ø 100	SS	1794	OB gesamt	6,0 28,6	5,8 28,7	5,9 28,6	6,1 28,7	6,0 28,7	6,0	22,7	28,7	
1-100 10	639+970 Ø 100	SS	1794	OB gesamt	6,2 28,4	5,8 28,2	5,8 28,0	6,0 28,2	5,7 28,2	5,7	22,5	28,2	
3-100 11	639+975 Ø 100	SS	1795	OB gesamt	6,0 28,6	6,5 28,5	6,8 28,7	5,8 28,9	6,0 28,7	5,9	22,7	28,7	

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A5, RF Basel km 639,200-641,200	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	09.07.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	16.07.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / OB:	ca. 28,8 cm / 6,2 cm	Datum:	
					Seite 1/2

Oberbeton (Größtkorn 8 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung	Betonalter [d]	Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
3-1	639+965	SS	2018	21.07.20		875,1	99,1	50,2	50,2	50,3	50,3	50,3	2260	34,1	4,36	Typ 1
3-2	639+965	SS	2018	21.07.20		871,6	99,1	49,8	49,7	49,6	49,7	49,7	2270	35,4	4,58	Typ 1
3-3	639+965	SS	2018	21.07.20		876,0	99,1	50,0	49,9	50,1	50,0	50,0	2270	44,2	5,68	Typ 1
3-4	639+965	SS	2018	21.07.20		877,9	99,1	50,0	49,8	49,9	50,0	49,9	2280	39,5	5,08	Typ 1
3-5	639+965	SS	2018	21.07.20		857,1	99,1	49,3	49,2	49,4	49,2	49,3	2260	33,0	4,30	Typ 1
3-6	639+970	SS	2018	21.07.20		862,8	99,1	49,4	49,3	49,4	49,2	49,3	2270	44,3	5,77	Typ 1
3-7	639+970	SS	2018	21.07.20		873,3	99,1	50,2	50,1	50,2	50,3	50,2	2260	35,0	4,48	Typ 1
3-8	639+970	SS	2018	21.07.20		872,1	99,1	50,1	50,0	49,9	49,9	50,0	2260	37,8	4,86	Typ 1
3-9	639+970	SS	2018	21.07.20		873,6	99,1	49,8	49,9	49,8	49,9	49,9	2270	38,4	4,95	Typ 1
3-10	639+970	SS	2018	21.07.20		868,1	99,1	49,5	49,4	49,5	49,5	49,5	2270	39,0	5,06	Typ 2
3-11	639+975	SS	2018	21.07.20		868,8	99,1	49,6	49,8	49,7	49,8	49,7	2270	50,4	6,51	Typ 2
3-12	639+975	SS	2018	21.07.20		856,4	99,1	49,2	49,2	49,1	49,2	49,2	2260	43,4	5,67	Typ 3
3-13	639+975	SS	2018	28.07.20		884,6	99,1	50,6	50,5	50,4	50,3	50,5	2270	36,6	4,66	Typ 2
3-14	639+975	SS	2018	28.07.20		856,1	99,1	49,2	49,3	49,2	49,3	49,3	2250	32,1	4,19	Typ 3
3-15	639+975	SS	2018	28.07.20		861,2	99,1	49,7	49,6	49,8	49,8	49,7	2250	34,8	4,50	Typ 3
												Mittelwert:	2260	[kg/m³]	4,98	[N/mm²]
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,66	[N/mm²]
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	13,3	[%]
														k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}	3,47	[N/mm²]	

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-UB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A5, RF Basel km 639,200-641,200	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	09.07.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	16.07.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / UB:	ca. 28,8 cm / 22,6 cm	Datum:	
					Seite 2/2

Unterbeton (Größtkorn 32 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung	Betonalter [d]	Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
3-1	639+965	SS	2018	21.07.20		879,3	99,1	49,3	49,4	49,3	49,2	49,3	2310	43,8	5,71	Typ 3
3-2	639+965	SS	2018	21.07.20		897,8	99,1	49,9	49,8	49,7	49,8	49,8	2340	39,2	5,06	Typ 2
3-3	639+965	SS	2018	21.07.20		895,2	99,1	50,0	50,0	49,9	49,9	50,0	2320	37,7	4,85	Typ 2
3-4	639+965	SS	2018	21.07.20		871,2	99,1	49,1	49,0	49,0	49,0	49,0	2300	39,1	5,12	Typ 2
3-5	639+965	SS	2018	21.07.20		900,5	99,1	50,4	50,5	50,4	50,6	50,5	2310	33,7	4,29	Typ 2
3-6	639+970	SS	2018	21.07.20		866,0	99,1	48,6	48,8	48,7	48,8	48,7	2300	38,1	5,02	Typ 1
3-7	639+970	SS	2018	21.07.20		891,9	99,1	49,8	49,9	49,8	49,9	49,9	2320	42,5	5,48	Typ 1
3-8	639+970	SS	2018	21.07.20		878,6	99,1	49,5	49,4	49,6	49,5	49,5	2300	42,0	5,45	Typ 2
3-9	639+970	SS	2018	21.07.20		886,6	99,1	49,8	49,8	49,7	49,6	49,7	2310	30,4	3,93	Typ 2
3-10	639+970	SS	2018	21.07.20		890,4	99,1	50,0	49,9	49,8	50,0	49,9	2310	43,4	5,58	Typ 2
3-11	639+975	SS	2018	21.07.20		882,4	99,1	49,3	49,4	49,3	49,2	49,3	2320	35,1	4,57	Typ 3
3-12	639+975	SS	2018	21.07.20		891,4	99,1	49,8	49,7	49,7	49,6	49,7	2330	45,7	5,91	Typ 3
3-13	639+975	SS	2018	28.07.20		883,2	99,1	49,6	49,7	49,8	49,6	49,7	2310	37,0	4,78	Typ 1
3-14	639+975	SS	2018	28.07.20		894,8	99,1	50,3	50,4	50,3	50,4	50,4	2300	41,8	5,33	Typ 1
3-15	639+975	SS	2018	28.07.20		889,7	99,1	50,3	50,2	50,2	50,1	50,2	2300	37,8	4,84	Typ 2
												Mittelwert:	2310	[kg/m³]	5,06	[N/mm²]
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,54	[N/mm²]
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	10,7	[%]
														k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}	3,82	[N/mm²]	

Streckencode 4

BAB A5, RF Frankfurt, km 609,400-610,280
Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 24.07.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 15.07.20 und 24.07.20

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: BAB A5, RF Frankfurt km 609,400 - 610,280

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle			Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche					Schichtdicke			Bemerkungen	
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS		Platte	Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB		gesamt
					1.	2.	3.	4.					
	km		-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
4-HFS 1	610+070 Ø 225	LS	043	OB gesamt	6,8 28,3	7,0 28,8	6,9 28,5	6,8 28,6	6,9 28,6	6,9	21,7	28,6	
4-HFS 2	610+065 Ø 225	LS	044	OB gesamt	7,1 28,2	7,2 28,5	7,1 28,4	7,2 28,3	7,2 28,4	7,2	21,2	28,4	
4-HFS 3	610+060 Ø 225	LS	045	OB gesamt	6,9 28,6	7,1 28,3	6,9 28,4	7,0 28,6	7,0 28,5	7,0	21,5	28,5	
4-SS 1	610+070 Ø 225	SS	043	OB gesamt	7,1 28,0	7,1 28,1	7,1 28,2	7,1 28,1	7,1 28,1	7,1	21,0	28,1	
4-SS 2	610+065 Ø 225	SS	044	OB gesamt	7,1 28,0	6,9 28,1	7,2 28,2	7,0 28,3	7,1 28,2	7,1	21,1	28,2	
4-SS 3	610+060 Ø 225	SS	045	OB gesamt	7,1 28,0	7,2 28,2	7,1 28,1	7,0 28,2	7,1 28,1	7,1	21,0	28,1	
4-100 1	610+070 Ø 100	SS	043	OB gesamt	7,1 28,3	6,9 28,4	7,0 28,2	7,1 28,3	7,0 28,3	7,0	21,3	28,3	
4-100 2	610+070 Ø 100	SS	043	OB gesamt	7,0 28,1	7,1 28,2	7,0 28,1	7,0 28,1	7,0 28,1	7,0	21,1	28,1	
4-100 3	610+070 Ø 100	SS	043	OB gesamt	7,4 28,4	7,2 28,2	7,3 28,1	7,5 28,3	7,4 28,3	7,4	20,9	28,3	
4-100 4	610+070 Ø 100	SS	043	OB gesamt	7,5 28,6	7,4 28,5	7,6 28,7	7,7 28,6	7,6 28,6	7,6	21,1	28,6	
4-100 5	610+070 Ø 100	SS	043	OB gesamt	7,4 27,6	7,2 27,5	7,1 27,8	7,3 27,5	7,3 27,6	7,3	20,4	27,6	
4-100 6	610+065 Ø 100	SS	044	OB gesamt	6,7 27,8	6,9 27,9	7,2 27,7	7,0 27,8	7,0 27,8	7,0	20,9	27,8	
4-100 7	610+065 Ø 100	SS	044	OB gesamt	6,8 28,0	6,9 27,8	7,1 27,9	6,8 27,9	6,9 27,9	6,9	21,0	27,9	
4-100 8	610+065 Ø 100	SS	044	OB gesamt	7,1 28,1	7,4 28,0	7,2 28,3	7,2 28,2	7,2 28,2	7,2	20,9	28,2	
4-100 9	610+065 Ø 100	SS	044	OB gesamt	7,0 28,4	7,4 28,3	7,3 28,4	7,1 28,5	7,2 28,4	7,2	21,2	28,4	
4-100 10	610+065 Ø 100	SS	044	OB gesamt	7,2 28,2	6,9 28,4	7,1 28,3	7,3 28,1	7,1 28,3	7,1	21,1	28,3	
4-100 11	610+060 Ø 100	SS	045	OB gesamt	7,2 27,8	7,5 27,7	7,4 27,9	7,2 27,8	7,3 27,8	7,3	20,5	27,8	

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A5, RF Frankfurt km 609,400 - 610,280	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	09.07. 20 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	16.07.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / OB:	ca. 28,2 cm / 7,1 cm	Datum:	
					Seite 1/2

Oberbeton (Größtkorn 16 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung	Betonalter [d]	Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
4-1	610+070	SS	2015	28.07.20		877,9	99,1	49,8	49,9	49,8	49,9	49,9	2280	40,6	5,23	Typ 2
4-2	610+070	SS	2015	28.07.20		894,6	99,1	50,4	50,5	50,6	50,5	50,5	2300	41,8	5,32	Typ 2
4-3	610+070	SS	2015	28.07.20		876,2	99,1	49,6	49,5	49,5	49,6	49,6	2290	40,9	5,30	Typ 2
4-4	610+070	SS	2015	28.07.20		886,2	99,1	49,7	49,8	49,8	49,7	49,8	2310	46,7	6,03	Typ 2
4-5	610+070	SS	2015	28.07.20		884,4	99,1	49,7	49,8	49,7	49,8	49,8	2300	43,2	5,58	Typ 2
4-6	610+065	SS	2015	28.07.20		874,2	99,1	49,6	49,7	49,6	49,6	49,6	2280	41,0	5,31	Typ 1
4-7	610+065	SS	2015	28.07.20		876,0	99,1	49,5	49,6	49,6	49,6	49,6	2290	46,2	5,99	Typ 1
4-8	610+065	SS	2015	28.07.20		885,2	99,1	49,9	50,0	50,0	50,0	50,0	2300	43,9	5,64	Typ 1
4-9	610+065	SS	2015	28.07.20		866,6	99,1	49,1	49,1	49,3	49,2	49,2	2280	42,8	5,59	Typ 1
4-10	610+060	SS	2015	28.07.20		889,3	99,1	50,4	50,3	50,4	50,5	50,4	2290	45,9	5,85	Typ 3
4-11	610+060	SS	2015	28.07.20		880,6	99,1	49,8	49,9	49,9	49,9	49,9	2290	38,9	5,01	Typ 2
4-12	610+060	SS	2015	28.07.20		893,2	99,1	50,3	50,4	50,2	50,3	50,3	2300	43,5	5,56	Typ 1
4-13	610+060	SS	2015	28.07.20		885,1	99,1	50,2	50,1	50,0	50,1	50,1	2290	43,7	5,60	Typ 1
4-14	610+060	SS	2015	28.07.20		891,7	99,1	50,4	50,3	50,2	50,3	50,3	2300	44,1	5,63	Typ 1
4-15	610+060	SS	2015	28.07.20		869,5	99,1	49,3	49,2	49,3	49,2	49,3	2290	43,3	5,65	Typ 1
												Mittelwert:	2290	[kg/m³]	5,55	[N/mm²]
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,28	[N/mm²]
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	5,0	[%]
														k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}	4,91	[N/mm²]	

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-UB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A5, RF Frankfurt km 609,400 - 610,280	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	09.07. durch Herrn Lehmann	Textur:			Verbund: OB/UB ja
Probenvorbereitung:	16.07.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / UB:	ca. 28,2 cm / 20,9 cm	Datum:	
					Seite 2/2

Unterbeton (Größtkorn 32 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung	Betonalter [d]	Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
4-1	610+070	SS	2015	28.07.20		895,8	99,1	49,2	49,3	49,2	49,3	49,3	2360	53,1	6,93	Typ 1	
4-2	610+070	SS	2015	28.07.20		910,3	99,1	50,2	50,1	50,1	50,0	50,1	2360	47,4	6,08	Typ 3	
4-3	610+070	SS	2015	28.07.20		905,5	99,1	49,6	49,7	49,8	49,7	49,7	2360	52,4	6,77	Typ 1	
4-4	610+070	SS	2015	28.07.20		914,8	99,1	50,5	50,6	50,4	50,6	50,5	2350	48,0	6,10	Typ 1	
4-5	610+070	SS	2015	28.07.20		914,6	99,1	50,5	50,5	50,6	50,5	50,5	2350	49,2	6,26	Typ 3	
4-6	610+065	SS	2015	28.07.20		910,1	99,1	50,5	50,6	50,5	50,5	50,5	2340	57,2	7,27	Typ 2	
4-7	610+065	SS	2015	28.07.20		901,3	99,1	49,9	50,0	50,0	50,1	50,0	2340	45,8	5,88	Typ 3	
4-8	610+065	SS	2015	28.07.20		908,8	99,1	50,1	49,9	50,0	50,0	50,0	2360	50,7	6,51	Typ 2	
4-9	610+065	SS	2015	28.07.20		904,8	99,1	50,1	50,0	49,9	50,1	50,0	2340	42,2	5,42	Typ 2	
4-10	610+060	SS	2015	28.07.20		899,0	99,1	49,6	49,8	49,5	49,5	49,6	2350	44,6	5,78	Typ 1	
4-11	610+060	SS	2015	28.07.20		896,0	99,1	49,6	49,7	49,8	49,6	49,7	2340	52,8	6,83	Typ 2	
4-12	610+060	SS	2015	28.07.20		923,4	99,1	50,7	50,8	50,7	50,8	50,8	2360	46,3	5,86	Typ 1	
4-13	610+060	SS	2015	28.07.20		908,2	99,1	50,0	50,1	50,0	50,0	50,0	2350	51,3	6,59	Typ 3	
4-14	610+060	SS	2015	28.07.20		896,4	99,1	49,5	49,6	49,7	49,5	49,6	2340	45,1	5,84	Typ 3	
4-15	610+060	SS	2015	28.07.20		930,1	99,1	51,1	51,1	51,2	51,0	51,1	2360	53,2	6,69	Typ 1	
												Mittelwert:	2350	[kg/m³]	6,32	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,52	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	8,2	[%]	
															k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}		5,13	[N/mm²]	

Streckencode 5

BAB A14, RF Dresden, km 129,45-130,75
Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 26.06.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 26.06.20

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus**Kurzbeschreibung d. Teilleistungen:** BAB A14, RF Dresden, km 129,45-130,75

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle				Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche					Schichtdicke			Bemerkungen
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS	Platte		Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB	gesamt	
					1.	2.	3.	4.					
				-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
5-HFS 1	129+970 Ø 225	LS	330	OB gesamt	5,5 26,0	5,4 26,1	5,8 26,3	5,7 26,4	5,6 26,2	5,6	20,6	26,2	
5-HFS 2	129+975 Ø 225	LS	331	OB gesamt	5,5 26,1	5,9 26,3	6,0 26,2	5,9 26,4	5,8 26,3	5,8	20,4	26,3	
5-HFS 3	129+980 Ø 225	LS	332	OB gesamt	6,4 26,5	6,6 26,4	6,5 26,5	6,4 26,4	6,5 26,5	6,5	20,0	26,5	
5-SS 1	129+970 Ø 225	SS	330	OB gesamt	5,4 26,5	6,0 26,6	5,8 26,7	5,9 26,4	5,8 26,6	5,8	20,8	26,6	
5-SS 2	129+975 Ø 225	SS	331	OB gesamt	6,2 26,5	6,3 26,6	6,1 26,5	6,5 26,4	6,3 26,5	6,3	20,2	26,5	
5-SS 3	129+980 Ø 225	SS	332	OB gesamt	6,4 26,5	6,2 26,4	6,3 26,5	6,5 26,6	6,4 26,5	6,4	20,2	26,5	
5-100 1	129+970 Ø 100	SS	330	OB gesamt	5,2 18,0	6,0 17,4	5,8 16,8	5,6 16,0	5,7 17,1	5,7	11,4	17,1	BK abgebr.
5-100 2	129+970 Ø 100	SS	330	OB gesamt	5,5 26,5	5,4 26,5	5,7 26,4	5,9 26,5	5,6 26,5	5,6	20,9	26,5	
5-100 3	129+970 Ø 100	SS	330	OB gesamt	5,6 12,9	5,5 13,3	5,8 13,0	5,7 12,6	5,7 13,0	5,7	7,3	13,0	BK abgebr.
5-100 4	129+970 Ø 100	SS	330	OB gesamt	6,4 26,6	6,6 26,5	6,9 26,6	7,0 26,5	6,7 26,6	6,7	19,8	26,6	
5-100 5	129+970 Ø 100	SS	330	OB gesamt	6,2 26,4	6,4 26,6	6,2 26,6	6,3 26,5	6,3 26,5	6,3	20,3	26,5	
5-100 6	129+975 Ø 100	SS	331	OB gesamt	6,2 12,0	6,1 12,5	5,8 12,8	6,0 12,3	6,0 12,4	6,0	6,4	12,4	BK abgebr.
5-100 7	129+975 Ø 100	SS	331	OB gesamt	6,4 26,4	6,3 26,6	6,0 26,5	6,2 26,4	6,2 26,5	6,2	20,3	26,5	
5-100 8	129+975 Ø 100	SS	331	OB gesamt	5,9 26,5	6,0 26,5	6,8 26,3	6,4 26,2	6,3 26,4	6,3	20,1	26,4	
5-100 9	129+975 Ø 100	SS	331	OB gesamt	6,4 26,3	6,1 26,2	5,9 26,3	6,2 26,3	6,2 26,3	6,2	20,1	26,3	
5-100 10	129+975 Ø 100	SS	331	OB gesamt	6,0 26,4	5,6 26,5	5,8 26,3	6,1 26,5	5,9 26,4	5,9	20,6	26,4	
5-100 11	129+980 Ø 100	SS	332	OB gesamt	6,0 26,4	6,5 26,5	6,8 26,6	6,4 26,4	6,4 26,5	6,4	20,1	26,5	

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A14, RF Dresden, km 129,45-130,75	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	15.06.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	26.06.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / OB:	ca. 26,5 cm / 6,1 cm	Datum:	
					Seite 1/2

Oberbeton (Größtkorn 8 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
5-1	129+970	SS	2017	20.07.20		890,8	99,5	50,7	50,8	50,6	50,7	50,7	2260	48,4	6,11	Typ 1	
5-2	129+970	SS	2017	20.07.20		899,5	99,5	51,2	51,1	51,1	51,0	51,1	2260	48,7	6,10	Typ 3	
5-3	129+970	SS	2017	20.07.20		892,2	99,5	50,6	50,5	50,6	50,5	50,6	2270	50,6	6,40	Typ 2	
5-4	129+970	SS	2017	17.07.20		884,1	99,5	50,5	50,6	50,6	50,6	50,6	2250	37,1	4,69	Typ 1	
5-5	129+970	SS	2017	17.07.20		881,0	99,5	50,0	50,1	50,1	50,0	50,1	2260	45,0	5,75	Typ 2	
5-6	129+975	SS	2017	20.07.20		879,6	99,5	50,1	50,0	50,2	50,1	50,1	2260	45,2	5,77	Typ 2	
5-7	129+975	SS	2017	17.07.20		902,8	99,5	50,9	50,8	51,0	50,9	50,9	2280	47,0	5,91	Typ 2	
5-8	129+975	SS	2017	20.07.20		874,8	99,5	49,7	49,9	49,8	49,8	49,8	2260	39,8	5,11	Typ 1	
5-9	129+975	SS	2017	17.07.20		875,1	99,5	49,9	50,0	49,9	50,0	50,0	2250	41,7	5,34	Typ 2	
5-10	129+975	SS	2017	20.07.20		885,0	99,5	50,2	50,1	50,1	50,2	50,2	2270	51,4	6,56	Typ 2	
5-11	129+980	SS	2017	20.07.20		897,4	99,5	50,7	50,6	50,8	50,8	50,7	2280	41,9	5,29	Typ 3	
5-12	129+980	SS	2017	20.07.20		888,0	99,5	50,2	50,3	50,3	50,2	50,3	2270	47,0	5,98	Typ 3	
5-13	129+980	SS	2017	17.07.20		882,8	99,5	50,0	49,9	50,0	50,0	50,0	2270	47,2	6,04	Typ 1	
5-14	129+980	SS	2017	17.07.20		877,8	99,5	50,0	49,9	50,1	50,0	50,0	2260	46,6	5,96	Typ 1	
5-15	129+980	SS	2017	17.07.20		897,9	99,5	50,9	50,8	51,0	50,8	50,9	2270	44,7	5,62	Typ 1	
												Mittelwert:	2260	[kg/m³]	5,78	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,50	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	8,7	[%]	
															k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:			f _{ctk, sp}	4,63	[N/mm²]

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-UB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A14, RF Dresden, km 129,45-130,75	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	15.06.20 durch Herrn Lehmann	Textur:			Verbund: OB/UB ja
Probenvorbereitung:	26.06.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / UB:	ca. 26,5 cm / 20,4 cm	Datum:	
					Seite 2/2

Unterbeton (Größtkorn 32 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
5-1	129+970	SS	2017	20.07.20		896,6	99,5	49,6	49,5	49,6	49,5	49,6	2330	43,0	5,55	Typ 3	
5-2	129+970	SS	2017	20.07.20		903,4	99,5	50,2	50,1	50,2	50,1	50,2	2320	45,9	5,86	Typ 3	
5-3	129+970	SS	2017	20.07.20		902,8	99,5	49,8	50,0	49,7	49,9	49,9	2330	44,0	5,65	Typ 1	
5-4	129+970	SS	2017	17.07.20		913,0	99,5	50,2	50,1	50,3	50,2	50,2	2340	44,8	5,71	Typ 3	
5-5	129+970	SS	2017	17.07.20		914,8	99,5	50,2	50,3	50,1	50,2	50,2	2340	51,3	6,54	Typ 1	
5-6	129+975	SS	2017	20.07.20		921,6	99,5	50,6	50,7	50,8	50,7	50,7	2340	46,2	5,83	Typ 2	
5-7	129+975	SS	2017	17.07.20		918,1	99,5	50,3	50,5	50,4	50,3	50,4	2340	46,7	5,93	Typ 3	
5-8	129+975	SS	2017	20.07.20		904,2	99,5	49,8	49,9	49,8	49,9	49,9	2330	43,4	5,57	Typ 1	
5-9	129+975	SS	2017	17.07.20		905,7	99,5	49,6	49,6	49,7	49,7	49,7	2350	44,7	5,76	Typ 2	
5-10	129+975	SS	2017	17.07.20		941,7	99,5	51,3	51,4	51,4	51,5	51,4	2360	43,6	5,43	Typ 3	
5-11	129+980	SS	2017	20.07.20		914,1	99,5	49,6	49,7	49,8	49,9	49,8	2360	49,2	6,33	Typ 3	
5-12	129+980	SS	2017	20.07.20		904,5	99,5	49,9	50,0	50,0	50,1	50,0	2330	41,0	5,25	Typ 2	
5-13	129+980	SS	2017	20.07.20		912,0	99,5	50,0	50,1	50,1	50,0	50,1	2340	42,5	5,43	Typ 1	
5-14	129+980	SS	2017	17.07.20		920,3	99,5	50,7	50,7	50,7	50,8	50,7	2330	40,5	5,11	Typ 3	
5-15	129+980	SS	2017	17.07.20		904,9	99,5	50,0	50,0	50,1	50,1	50,1	2330	43,0	5,50	Typ 1	
												Mittelwert:	2340	[kg/m³]	5,70	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,38	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	6,7	[%]	
															k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}		4,83	[N/mm²]	

Streckencode 6

A02, Wr. Neudorf, km 7,500-9,000

Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit



ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 03.09.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 03.09.20

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: A 02 Wr. Neudorf km 7,500-9,000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle			Platte	Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche				Mittel wert	Schichtdicke			Bemerkungen
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS			Einzelmesswerte					OB	UB	gesamt	
					1.	2.	3.	4.					
	km		-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
6-100		SS	OB	5,6	5,4	5,8	5,5	5,6	5,6	1,9	7,5		
1			gesamt	7,5	7,4	7,5	7,5	7,5					
6-100		SS	OB	5,6	5,3	5,4	5,6	5,5	5,5	2,0	7,5		
2			gesamt	7,4	7,5	7,4	7,6	7,5					
6-100		SS	OB	5,4	5,3	5,4	5,5	5,4	5,4	2,1	7,5		
3			gesamt	7,5	7,4	7,6	7,5	7,5					
6-100		SS	OB	5,5	5,2	5,3	5,5	5,4	5,4	2,3	7,7		
4			gesamt	7,6	7,7	7,6	7,7	7,7					
6-100		SS	OB	5,6	5,4	5,8	5,5	5,6	5,6	1,9	7,5		
5			gesamt	7,5	7,4	7,6	7,5	7,5					
6-100		SS	OB	5,8	5,6	6,0	6,1	5,9	5,9	1,6	7,5		
6			gesamt	7,6	7,5	7,3	7,4	7,5					
6-100		SS	OB	5,6	5,8	5,5	5,6	5,6	5,6	1,8	7,4		
7			gesamt	7,5	7,3	7,4	7,5	7,4					
6-100		SS	OB	5,2	5,1	5,3	5,2	5,2	5,2	2,0	7,2		
8			gesamt	7,2	7,3	7,2	7,1	7,2					
6-100		SS	OB	5,1	5,0	5,2	5,1	5,1	5,1	2,2	7,3		
9			gesamt	7,3	7,4	7,2	7,1	7,3					
6-100		SS	OB	5,4	5,7	5,8	5,6	5,6	5,6	1,9	7,5		
10			gesamt	7,5	7,5	7,4	7,5	7,5					
6-100		SS	OB	5,6	5,5	5,7	5,8	5,7	5,7	1,8	7,5		
11			gesamt	7,5	7,4	7,3	7,6	7,5					
6-100		SS	OB	5,5	5,4	5,5	5,2	5,4	5,4	2,1	7,5		
12			gesamt	7,5	7,4	7,6	7,3	7,5					
6-100		SS	OB	5,5	5,4	5,6	5,6	5,5	5,5	1,9	7,5		
13			gesamt	7,4	7,6	7,5	7,3	7,5					
6-100		SS	OB	5,0	5,1	5,5	5,2	5,2	5,2	2,3	7,5		
14			gesamt	7,3	7,6	7,5	7,5	7,5					
6-100		SS	OB	5,8	6,1	6,0	5,7	5,9	5,9	1,4	7,3		
15			gesamt	7,4	7,3	7,4	7,2	7,3					

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05				
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:				
Bauteil/Station:	A 02 Wr. Neudorf km 7,500-9,000	Festigkeitsklasse:				
Bohrkernentnahmen:	16.06.2020	Textur:				
Probenvorbereitung:	03.09.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / OB:	ca. 7,4 cm / 5,5 cm	Verbund:	OB/UB ja	
					Datum:	
Seite 1						

Oberbeton

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
6-1		SS	2003	09.09.20		892,2	99,2	50,0	50,2	50,4	50,3	50,2	2300	39,1	5,00	Typ 2
6-2		SS	2003	09.09.20		868,8	99,2	48,9	48,8	48,5	48,7	48,7	2310	38,9	5,12	Typ 1
6-3		SS	2003	09.09.20		895,7	99,2	50,1	50,4	50,3	50,1	50,2	2310	52,6	6,72	Typ 1
6-4		SS	2003	09.09.20		862,3	99,2	48,4	48,5	48,6	48,3	48,5	2300	45,9	6,08	Typ 1
6-5		SS	2003	09.09.20		877,7	99,2	48,8	49,0	48,7	48,8	48,8	2330	41,0	5,39	Typ 2
6-6		SS	2003	09.09.20		856,9	99,2	48,1	48,3	48,1	48,0	48,1	2300	48,8	6,51	Typ 3
6-7		SS	2003	09.09.20		891,6	99,2	50,8	50,2	50,2	50,5	50,4	2290	42,5	5,41	Typ 3
6-8		SS	2003	09.09.20		901,6	99,2	50,9	50,8	51,0	50,8	50,9	2290	40,4	5,10	Typ 1
6-9		SS	2003	09.09.20		867,6	99,2	48,9	49,0	48,8	48,9	48,9	2300	43,8	5,75	Typ 2
6-10		SS	2003	09.09.20		890,2	99,2	49,4	49,5	49,2	49,4	49,4	2330	42,1	5,47	Typ 1
6-11		SS	2003	09.09.20		886,5	99,2	49,2	49,5	49,3	49,6	49,4	2320	38,8	5,04	Typ 1
6-12		SS	2003	09.09.20		895,4	99,2	49,7	49,6	49,5	49,8	49,7	2330	42,5	5,49	Typ 1
6-13		SS	2003	09.09.20		873,6	99,2	48,9	48,8	49,0	49,0	48,9	2310	45,1	5,92	Typ 3
6-14		SS	2003	09.09.20		896,4	99,2	50,0	50,1	50,1	50,2	50,1	2310	51,3	6,57	Typ 2
6-15		SS	2003	09.09.20		865,4	99,2	48,8	48,9	48,9	48,7	48,8	2290	39,1	5,14	Typ 2
Mittelwert:												2310	[kg/m³]	5,65	[N/mm²]	
Standardabweichung:												10	[kg/m³]	0,59	[N/mm²]	
Variationskoeffizient:												0,4	[%]	10,4	[%]	
k														2,291	(n = 15)	
charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:												f _{ctk, sp}		4,30	[N/mm²]	

Streckencode 7

A10, Paternion, km 157,200-157,600

Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 03.09.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

03.09.2020

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: A 10 Paternion km 157,200-157,600

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle			Platte	Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche				Mittel wert	Schichtdicke			Bemerkungen
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS			Einzelmesswerte					OB	UB	gesamt	
					1.	2.	3.	4.					
	km		-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
7-100		SS										7,6	
1			gesamt	7,5	7,6	7,5	7,6	7,6					
7-100		SS										7,5	
2			gesamt	7,5	7,5	7,6	7,5	7,5					
7-100		SS										7,5	
3			gesamt	7,6	7,5	7,6	7,4	7,5					
7-100		SS										7,6	
4			gesamt	7,6	7,7	7,7	7,5	7,6					
7-100		SS										7,6	
5			gesamt	7,5	7,7	7,6	7,7	7,6					
7-100		SS										7,7	
6			gesamt	7,5	7,7	7,8	7,7	7,7					
7-100		SS										7,5	
7			gesamt	7,5	7,5	7,6	7,5	7,5					
7-100		SS										7,5	
8			gesamt	7,5	7,6	7,4	7,5	7,5					
7-100		SS										7,5	
9			gesamt	7,5	7,4	7,5	7,6	7,5					
7-100		SS										7,5	
10			gesamt	7,5	7,6	7,5	7,5	7,5					
7-100		SS										7,8	
11			gesamt	7,8	7,9	7,7	7,6	7,8					
7-100		SS										7,7	
12			gesamt	7,7	7,7	7,8	7,7	7,7					
7-100		SS										7,7	
13			gesamt	7,7	7,6	7,8	7,5	7,7					
7-100		SS										7,5	
14			gesamt	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5					
7-100		SS										7,5	
15			gesamt	7,5	7,4	7,6	7,5	7,5					

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	A 10 Paternion km 157,200-157,600	Festigkeitsklasse:			
Bohrkernentnahmen:	26.05.2020	Textur:			
Probenvorbereitung:	03.09.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / OB:	ca. 7,6 cm	Datum:	
					Seite 1

Oberbeton

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
7-1		SS	1998	08.09.20		949,3	99,6	49,7	49,6	49,8	49,9	49,8	2450	41,7	5,36	Typ 2
7-2		SS	1998	08.09.20		929,5	99,6	49,4	49,2	49,3	49,1	49,3	2420	50,8	6,59	Typ 2
7-3		SS	1998	08.09.20		927,8	99,6	49,0	49,2	49,0	49,2	49,1	2430	48,7	6,34	Typ 3
7-4		SS	1998	08.09.20		945,4	99,6	49,8	49,6	49,8	49,7	49,7	2440	42,6	5,48	Typ 2
7-5		SS	1998	08.09.20		943,3	99,6	49,5	49,3	49,7	49,5	49,5	2450	53,9	6,96	Typ 3
7-6		SS	1998	08.09.20		920,9	99,6	49,0	49,1	49,2	49,1	49,1	2410	54,0	7,03	Typ 3
7-7		SS	1998	08.09.20		940,0	99,6	49,2	49,4	49,6	49,3	49,4	2440	49,2	6,37	Typ 2
7-8		SS	1998	08.09.20		935,2	99,6	49,4	49,1	49,1	49,5	49,3	2440	47,6	6,17	Typ 3
7-9		SS	1998	08.09.20		948,1	99,6	49,6	49,4	49,2	49,5	49,4	2460	51,2	6,62	Typ 1
7-10		SS	1998	08.09.20		974,2	99,6	50,8	51,2	50,9	50,9	51,0	2450	51,9	6,51	Typ 3
7-11		SS	1998	08.09.20		934,5	99,2	49,6	49,8	49,5	49,4	49,6	2440	52,8	6,84	Typ 1
7-12		SS	1998	08.09.20		936,2	99,2	49,6	49,6	49,9	49,6	49,7	2440	52,3	6,76	Typ 3
7-13		SS	1998	08.09.20		971,9	99,2	51,2	51,4	50,0	50,9	50,9	2470	52,2	6,58	Typ 3
7-14		SS	1998	08.09.20		929,8	99,2	48,6	48,9	49,2	49,0	48,9	2460	55,3	7,25	Typ 1
7-15		SS	1998	08.09.20		945,0	99,2	50,2	49,9	50,3	49,8	50,1	2440	45,4	5,82	Typ 1
Mittelwert:												2440	[kg/m³]	6,45	[N/mm²]	
Standardabweichung:												20	[kg/m³]	0,55	[N/mm²]	
Variationskoeffizient:												0,8	[%]	8,5	[%]	
k														2,291	(n = 15)	
charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:													f _{ctk, sp}	5,19	[N/mm²]	

Streckencode 8

A05, Schrick, km 25,500-25,000

Ergebnisse der Schichtdickenmessung und der
Spaltzugfestigkeit



ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

Datum: 03.09.2020

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern / Herr Eickstädt
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 03.09.20

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: A 05, Schrick km 25,500-25,000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle				Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche				Schichtdicke			Bemerkungen	
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS	Platte		Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB		gesamt
					1.	2.	3.	4.					
	km			-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
8-100		SS		OB	5,8	6,0	5,9	5,8	5,9	5,9	1,6	7,5	
1				gesamt	7,4	7,6	7,5	7,4	7,5				
8-100		SS		OB	5,4	5,6	5,5	5,6	5,5	5,5	2,2	7,7	
2				gesamt	7,8	7,7	7,7	7,6	7,7				
8-100		SS		OB	5,4	5,6	5,5	5,6	5,5	5,5	2,2	7,7	
3				gesamt	7,8	7,7	7,6	7,7	7,7				
8-100		SS		OB	5,4	5,5	5,3	5,4	5,4	5,4	2,1	7,5	
4				gesamt	7,6	7,5	7,4	7,5	7,5				
8-100		SS		OB	5,8	5,4	5,6	5,6	5,6	5,6	2,1	7,7	
5				gesamt	7,7	7,6	7,7	7,6	7,7				
8-100		SS		OB	5,6	5,4	5,6	5,7	5,6	5,6	2,0	7,6	
6				gesamt	7,6	7,7	7,6	7,5	7,6				
8-100		SS		OB	5,8	5,7	5,9	5,8	5,8	5,8	1,7	7,5	
7				gesamt	7,5	7,5	7,4	7,5	7,5				
8-100		SS		OB	5,7	5,8	5,6	5,7	5,7	5,7	2,1	7,8	
8				gesamt	7,8	7,7	7,7	7,8	7,8				
8-100		SS		OB	5,8	5,5	5,6	5,7	5,7	5,7	2,0	7,6	
9				gesamt	7,7	7,6	7,7	7,5	7,6				
8-100		SS		OB	5,8	5,7	5,9	5,8	5,8	5,8	1,7	7,5	
10				gesamt	7,5	7,4	7,5	7,4	7,5				
8-100		SS		OB	5,4	5,2	5,4	5,5	5,4	5,4	2,1	7,4	
11				gesamt	7,5	7,3	7,5	7,4	7,4				
8-100		SS		OB	5,8	5,7	5,5	5,7	5,7	5,7	2,0	7,6	
12				gesamt	7,6	7,7	7,6	7,6	7,6				
8-100		SS		OB	5,4	5,5	5,4	5,6	5,5	5,5	2,3	7,8	
13				gesamt	7,7	7,7	7,9	7,8	7,8				
8-100		SS		OB	5,4	5,2	5,1	5,3	5,3	5,3	2,3	7,5	
14				gesamt	7,6	7,5	7,4	7,5	7,5				
8-100		SS		OB	5,6	5,5	5,8	5,6	5,6	5,6	2,0	7,6	
15				gesamt	7,7	7,5	7,6	7,5	7,6				

Prüfbericht-Nr.:	57/120/20-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05				
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:				
Bauteil/Station:	A 05, Schrick km 25,500-25,000	Festigkeitsklasse:				
Bohrkernentnahmen:	27.05.2020	Textur:				
Probenvorbereitung:	03.09.20 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / OB:	ca. 7,6 cm / 5,6 cm	Verbund:	OB/UB ja	
					Datum:	
Seite 1						

Oberbeton

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
8-1		SS	2017	10.09.20		869,0	99,0	50,6	50,5	50,3	50,4	50,5	2240	40,5	5,16	Typ 2
8-2		SS	2017	10.09.20		816,5	99,0	48,1	48,2	48,1	48,0	48,1	2210	38,0	5,08	Typ 1
8-3		SS	2017	10.09.20		851,9	99,0	49,8	49,4	49,8	49,6	49,7	2230	36,9	4,78	Typ 1
8-4		SS	2017	10.09.20		841,9	99,0	48,9	48,7	49,0	48,8	48,9	2240	36,8	4,84	Typ 1
8-5		SS	2017	10.09.20		865,3	99,0	50,3	50,6	50,2	50,5	50,4	2230	43,4	5,54	Typ 3
8-6		SS	2017	10.09.20		859,8	99,0	49,9	49,8	49,7	48,9	49,6	2250	44,0	5,71	Typ 2
8-7		SS	2017	10.09.20		884,6	99,0	51,4	51,3	51,2	51,1	51,3	2240	42,7	5,36	Typ 2
8-8		SS	2017	10.09.20		846,9	99,0	49,2	48,9	49,1	49,0	49,1	2240	36,9	4,84	Typ 1
8-9		SS	2017	10.09.20		837,3	99,0	48,9	49,2	49,1	49,1	49,1	2220	39,8	5,22	Typ 2
8-10		SS	2017	10.09.20		857,0	99,0	49,5	49,9	49,7	49,7	49,7	2240	40,4	5,23	Typ 3
8-11		SS	2017	10.09.20		862,8	99,0	50,3	50,0	50,0	50,1	50,1	2240	39,1	5,02	Typ 3
8-12		SS	2017	10.09.20		852,9	99,0	49,1	48,9	48,8	48,9	48,9	2260	34,4	4,52	Typ 2
8-13		SS	2017	10.09.20		864,6	99,0	49,8	49,8	50,0	49,7	49,8	2250	37,4	4,83	Typ 1
8-14		SS	2017	10.09.20		867,3	99,0	50,0	50,1	49,6	49,8	49,9	2260	37,8	4,87	Typ 3
8-15		SS	2017	10.09.20		888,6	99,0	50,9	51,0	50,9	51,3	51,0	2260	45,1	5,68	Typ 3
Mittelwert:												2240	[kg/m³]	5,11	[N/mm²]	
Standardabweichung:												10	[kg/m³]	0,35	[N/mm²]	
Variationskoeffizient:												0,4	[%]	6,8	[%]	
k														2,291	(n = 15)	
charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:												f _{ctk, sp}		4,31	[N/mm²]	

Streckencode 9

A10, RF Salzburg, km 14,297-14,264

Ergebnisse der Spaltzugfestigkeit

Prüfbericht-Nr.:	57/038/21-SZ	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	A10, RF Salzburg km 14,2970 – 14,2637	Festigkeitsklasse:			
Bohrkernentnahmen:		Textur:			
Probenvorbereitung:	06.10.21 durch Herrn Eickstädt	Ø Höhe BK / UB:			Verbund:
					Datum:
					Seite 1/1

Oberbeton (Größtkorn 8 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung	Betonalter [d]	Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
9-1		SS		13.10.21		859,9	99,6	49,2	49,5	49,8	49,3	49,5	2230	42,4	5,48	Typ 2
9-2		SS		13.10.21		877,4	99,6	49,8	50,5	49,7	50,6	50,2	2250	47,1	6,00	Typ 2
9-3		SS		13.10.21		880,4	99,6	50,8	50,2	51,0	50,4	50,6	2230	41,7	5,27	Typ 1
9-4		SS		13.10.21		834,5	99,6	48,2	47,9	48,5	48,3	48,2	2220	44,9	5,95	Typ 2
9-5		SS		13.10.21		886,6	99,6	50,9	51,6	51,3	51,2	51,3	2220	48,2	6,01	Typ 2
9-6		SS		13.10.21		867,0	99,7	49,2	49,9	49,4	49,4	49,5	2240	43,9	5,67	Typ 3
9-7		SS		13.10.21		888,0	99,7	50,7	50,6	50,7	50,1	50,5	2250	45,4	5,74	Typ 3
9-8		SS		13.10.21		867,2	99,6	49,5	50,0	49,7	49,9	49,8	2240	46,6	5,98	Typ 1
9-9		SS		13.10.21		870,9	99,7	50,1	50,7	50,5	50,0	50,3	2220	46,2	5,86	Typ 2
9-10		SS		13.10.21		799,1	99,7	46,2	46,5	46,0	46,9	46,4	2210	40,9	5,63	Typ 2
9-11		SS		13.10.21		891,1	99,7	51,0	51,7	51,6	51,2	51,4	2220	48,9	6,08	Typ 3
9-12		SS		13.10.21		873,3	99,7	50,6	51,0	50,7	50,4	50,7	2210	42,7	5,38	Typ 1
9-13		SS		13.10.21		906,8	99,7	51,7	52,0	52,2	51,6	51,9	2240	48,7	5,99	Typ 3
9-14		SS		13.10.21		866,9	99,7	49,7	49,9	49,5	50,3	49,9	2230	45,2	5,79	Typ 3
9-15		SS		13.10.21		895,9	99,6	51,6	51,0	51,1	51,5	51,3	2240	40,2	5,01	Typ 1
												Mittelwert:	2230	[kg/m³]	5,72	[N/mm²]
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,32	[N/mm²]
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	5,6	[%]
														k	2,291	(n = 15)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}	5,00	[N/mm²]	

Streckencode 10

BAB A9, RF Berlin, km 292,733-287,300
Ergebnisse der Schichtdickenmessung,
Spaltzugfestigkeit, Druckfestigkeit, die Ermittlung
der Wärmedehnzahl und des E-Moduls



ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/005/23

Datum: 27.02.2023

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 27.02.23

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: BAB A9, RF Berlin, km 292,733-287,300 (289,955-289,945)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle				Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche					Schichtdicke			Bemerkungen
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS	Platte		Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB	gesamt	
					1.	2.	3.	4.					
	km			-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
10-HFS 1	289+955 Ø 225	LS	528	OB gesamt	32,8	32,8	32,7	32,8	32,8			32,8	
10-HFS 2	289+950 Ø 225	LS	527	OB gesamt	32,6	32,7	32,7	32,6	32,7			32,7	
10-SS 1	289+955 Ø 225	SS	528	OB gesamt	31,7	32,1	32,0	31,8	31,9			31,9	
10-SS 2	289+955 Ø 225	SS	528	OB gesamt	32,2	32,2	32,3	32,2	32,2			32,2	
10-SS 3	289+950 Ø 225	SS	527	OB gesamt	32,2	32,3	32,2	32,1	32,2			32,2	
10-SS 4	289+950 Ø 225	SS	527	OB gesamt	32,0	32,1	32,0	32,0	32,0			32,0	
10-SS 5	289+945 Ø 300	SS	526	OB gesamt	31,7	31,6	31,7	31,7	31,7			31,7	
10-100 1	289+950 Ø 100	SS	527	OB gesamt	31,8	32,0	32,0	32,0	32,0			32,0	
10-100 2	289+950 Ø 100	SS	527	OB gesamt	31,9	31,8	32,0	31,9	31,9			31,9	
10-100 3	289+950 Ø 100	SS	527	OB gesamt	32,0	31,9	31,9	32,0	32,0			32,0	
10-100 4	289+950 Ø 100	SS	527	OB gesamt	31,8	32,0	31,9	32,0	31,9			31,9	
10-100 5	289+945 Ø 100	SS	526	OB gesamt	31,7	31,8	31,7	31,8	31,8			31,8	
10-100 6	289+945 Ø 100	SS	526	OB gesamt	31,7	31,8	31,7	31,8	31,8			31,8	
10-100 7	289+945 Ø 100	SS	526	OB gesamt	31,8	31,7	31,8	31,8	31,8			31,8	
10-100 8	289+945 Ø 100	SS	526	OB gesamt	31,8	31,8	31,7	31,8	31,8			31,8	
10-100 9	289+945 Ø 100	SS	526	OB gesamt	31,7	31,8	31,7	31,7	31,7			31,7	

Prüfbericht-Nr.:	57/005/23-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A9, RF Berlin, km 292,733-287,300	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	23.02.23 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	28.02.23 durch Herrn Lehmann	Ø Höhe BK / OB:	32 cm	Datum:	
					Seite 1/2

Oberbeton (Größtkorn 22 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
10-1	289+950	SS	2021	06.03.23		901,8	99,4	49,7	49,8	49,7	49,8	49,8	2340	46,6	6,00	Typ 2	
10-2	289+950	SS	2021	06.03.23		934,2	99,4	51,6	51,4	51,5	51,7	51,6	2340	40,8	5,07	Typ 3	
10-3	289+950	SS	2021	06.03.23		899,4	99,4	49,5	49,4	49,4	49,3	49,4	2350	40,8	5,29	Typ 1	
10-4	289+950	SS	2021	06.03.23		907,2	99,4	50,2	50,3	50,1	50,1	50,2	2330	40,6	5,18	Typ 2	
10-5	289+945	SS	2021	06.03.23		924,5	99,4	50,5	50,6	50,3	50,4	50,5	2360	45,1	5,73	Typ 5	
10-6	289+945	SS	2021	06.03.23		915,2	99,4	50,0	50,1	49,9	49,9	50,0	2360	37,8	4,84	Typ 2	
												Mittelwert:	2350	[kg/m³]	5,35	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,43	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	8,0	[%]	
															k	2,951	(n = 6)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:	f _{ctk, sp}		4,08	[N/mm²]	

Prüfbericht-Nr.:	57/005/23-SZ-UB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05				
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:				
Bauteil/Station:	BAB A9, RF Berlin, km 292,733-287,300	Festigkeitsklasse:	C 30/37			
Bohrkernentnahmen:	23.02.23 durch Herrn Lehmann	Textur:				
Probenvorbereitung:	28.02.23 durch Herrn Lehmann	Ø Höhe BK / UB:	32 cm	Verbund:	einschichtig	
					Datum:	
Seite 2/2						

Unterbeton (Größtkorn 22 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)
								1	2	3	4	Mittel				
10-1	289+950	SS	2021	07.03.23		946,5	99,5	50,5	50,4	50,6	50,7	50,6	2410	47,8	6,05	Typ 1
10-2	289+950	SS	2021	07.03.23		937,5	99,4	50,0	50,0	49,9	50,1	50,0	2420	48,1	6,16	Typ 2
10-3	289+950	SS	2021	07.03.23		938,7	99,4	49,8	49,9	50,0	50,0	49,9	2420	51,3	6,58	Typ 3
10-4	289+950	SS	2021	07.03.23		935,6	99,4	49,9	50,0	49,8	49,9	49,9	2420	46,6	5,98	Typ 1
10-5	289+945	SS	2021	07.03.23		921,6	99,4	49,7	49,6	49,5	49,3	49,5	2400	51,7	6,69	Typ 1
10-6	289+945	SS	2021	07.03.23		934,5	99,4	49,9	49,8	50,0	50,1	50,0	2410	45,9	5,89	Typ 1
Mittelwert:												2410	[kg/m³]	6,23	[N/mm²]	
Standardabweichung:												10	[kg/m³]	0,33	[N/mm²]	
Variationskoeffizient:												0,4	[%]	5,3	[%]	
charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:													k	2,951	(n = 6)	
													f _{ctk, sp}	5,26	[N/mm²]	

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straeue 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonpruefung
nach DIN EN 12504-1
und TP Beton-StB 10****Pruefbericht-Nr.: 57/005/23**

vom: 06.03.23 Seite 1/1

Auftraggeber: Projekt Texplus
 Bauausfuehrung:
 Bauvorhaben: BAB A9, RF Berlin,
 km 292,733-287,300

Pruefung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: Betonfahrbahndecke
 Richtungsfahrbahn Berlin

Angaben zum Pruefgut

Probekoeper-Kennzeichnung	10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6
Festigkeitsklasse	C 30/37					
Betonsorte						
Herstellungsdatum	2021	2021	2021	2021	2021	2021
Bauteil / Entnahmestelle	Standstreifen km 289+950 Platte 527	Standstreifen km 289+950 Platte 527	Standstreifen km 289+950 Platte 527	Standstreifen km 289+950 Platte 527	Standstreifen km 289+945 Platte 526	Standstreifen km 289+945 Platte 526
Bohrkernlaenge mm	320	319	320	319	318	318
Solldicke mm						
Entnahmedatum	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23
Groestkorn (visuell) mm	22	22	22	22	22	22
Angaben zum Frischbeton						

Festbeton

Lagerung nach der Einlieferung	gemaeue DIN EN 12390-2, Anhang NA (20 °C, 65 % rel. Luftfeuchte)					
Aeuere Beschaffenheit	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.
Einlieferungsdatum	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23
Bewehrung	keine	keine	keine	keine	keine	keine
Stahl Ø mm						
Stahl Anzahl						
Stahl Gesamllaenge mm						
Volumen Stahl %						
Pruefdatum	06.03.23	06.03.23	06.03.23	06.03.23	06.03.23	06.03.23
Pruefalter (Ist) Tage						
Durchmesser mm	99,4	99,4	99,3	99,4	99,4	99,4
Hoeh mm	99,2	99,4	99,1	99,5	99,1	99,5
Masse kg	1,901	1,909	1,905	1,915	1,906	1,892
Volumen dm³	0,770	0,771	0,767	0,772	0,769	0,772
Rohdichte kg/m³	2470	2470	2480	2480	2480	2450
Bruchlast kN	499,6	529,9	541,6	510,0	570,4	517,2
Pruefflaech mm²	7.760	7.760	7.744	7.760	7.760	7.760
Druckfestigkeit f_i N/mm²	64,4	68,3	69,9	65,7	73,5	66,6
Mittelwert f_m N/mm²	68,1					

Die Stirnflaechen der Probekoeper wurden nach dem Schneiden geschliffen. Die Bestimmung der Druckfestigkeit erfolgte unter Beruecksichtigung des Formbeiwertes k gemaeue TP Beton-StB 10, Tabelle 5a.

Dieser Pruefbericht wurde in 1 Exemplaren aus geliefert, umfasst 1 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfaeltigt werden. Alle Pruefergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf den im Bericht angegebenen Pruefgegenstand.



Anlage 1 zu

Prüfbericht-Nr.: 57/005/23

vom: 17.11.2023

Seite 1/2

Wärmeausdehnungskoeffizient

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288L
 Bauwerk:

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km
 292+733, RF Berlin

Bemerkungen:
 BK 10, Prüfkörper isoliert bei 65 % rel. Feuchte

Dieser Prüfbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

Prisma	Lage	Messung	Temperatur T _{(ij)m}	Dehnung ea _{(ij)m}	es(i)	ea(j)m-es(i)	Wärmeausdehnungskoeffizient alpha in 10 ⁻⁶ K ⁻¹																
							alpha _{e(i)}	Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient										
[-]	[-]	[-]	[°C]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[1/K]	[1/K]	[1/K]	[%]	[1/K]	[1/K]	[%]										
7	Oberbeton	1	40,30	68,79	-27,76	96,55	10,40	0,3	3,0	10,69	0,4	3,5											
		2	20,06	83,36	-0,50	83,86								10,85									
		3	0,58	77,10	-6,03	83,13								10,26									
		4	19,97	80,55	-0,45	81,00								10,11									
		5	40,27	65,67	-27,70	93,37								10,83									
		6																					
		7																					
		8																					
		8	1	40,30	70,83	-27,76	98,59	10,44	0,4					3,7	10,69	0,4	3,5						
			2	20,06	85,76	-0,50	86,26												10,83				
			3	0,58	79,55	-6,03	85,58												10,26				
			4	19,97	82,23	-0,45	82,68												10,07				
			5	40,27	70,16	-27,70	97,86												10,97				
			6																				
			7																				
			8																				
		9	1	40,30	67,51	-27,76	95,27	11,22	0,2					1,6					10,69	0,4	3,5		
			2	20,06	67,86	-0,50	68,36																11,55
			3	0,58	46,15	-6,03	52,18																11,05
			4	19,97	69,27	-0,45	69,72																11,13
			5	40,27	67,38	-27,70	95,08																11,47
			6																				
			7																				
			8																				
10	Unterbeton	1	40,01	69,83	-21,87	91,70	10,26	0,3	2,8	10,26	0,1	1,3											
		2	19,98	82,24	0,21	82,03								10,80									
		3	0,44	74,32	-11,67	85,99								10,11									
		4	20,02	80,08	0,20	79,88								10,00									
		5	40,13	64,56	-22,09	86,65								10,65									
		6																					
		7																					
		8																					
		11	1	40,01	75,36	-21,87	97,23	10,10	0,1					0,7	10,26	0,1	1,3						
			2	19,98	88,45	0,21	88,24																10,76
			3	0,44	80,03	-11,67	91,70																10,14
			4	20,02	85,74	0,20	85,54																10,00
			5	40,13	60,16	-22,09	82,25																10,15
			6																				
			7																				
			8																				
		12	1	40,01	102,34	-21,87	124,21	10,42	0,3					3,0					10,26	0,1	1,3		
			2	19,98	111,05	0,21	110,84																10,98
			3	0,44	100,68	-11,67	112,35																10,24
			4	20,02	109,54	0,20	109,34																10,16
			5	40,13	98,25	-22,09	120,34																10,86
			6																				
			7																				
			8																				

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Ruhlsdorfer StraÙe 95, 14532 Stahnsdorf

Tel.: 03329 / 60 69 0 Fax: 03329 / 60 69 28

Beton

**E-Modul nach
DIN EN 12390-13****Prüfbericht-Nr.:** 57/005/23 vom: 04.04.23 Anlage 2, Seite 1/6

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288L
 Bauwerk: Fahrbahndeckenbeton

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF Berlin

Nennwerte

Probekörper-Kennzeichnung	[-]	10-7
Alter des Probekörpers	[d]	>360
Anlieferung	[d]	20.03.23
Lagerungsbedingungen	[°C/rel. F]	
Durchmesser d	[mm]	99,5
Höhe h	[mm]	202,1
Masse m	[g]	3793
Rohdichte	[kg/m³]	2410
Probenvorbereitung	[-]	Schleifen
Prüfdatum	[d]	04.04.23
Längenmessgerät	[-]	DD1
Bezugslänge L0	[mm]	100
Bezugsdruckfestigkeit fc	[MPa]	32,8
obere Prüfspannung σ_a	[MPa]	10,9
untere Prüfspannung σ_b	[MPa]	4,1
Vorbelastungsspannung σ_p	[MPa]	0,8
obere Prüfkraft Fa	[kN]	84,8
untere Prüfkraft Fb	[kN]	31,9
Vorbelastungskraft Fp	[kN]	6,2

	Messwert	Fp	Lp1	Lp2	Fb	Lb1	Lb2	Fa	La1	La2
		[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]
Zyklus	1	6,2	-0,0030	-0,0020	31,8	-0,0140	-0,0090	84,7	-0,0310	-0,0290
	2	6,2	-0,0030	-0,0020	31,7	-0,0130	-0,0090	84,7	-0,0310	-0,0290
	3	6,1	-0,0030	-0,0020	31,8	-0,0120	-0,0090	84,7	-0,0310	-0,0290
	4	6,2	-0,0030	-0,0020	31,8	-0,0130	-0,0090	84,7	-0,0310	-0,0290
	5	6,2	-0,0030	-0,0020	31,6	-0,0140	-0,0100	84,6	-0,0310	-0,0290
	6	6,2	-0,0030	-0,0020	32,1	-0,0150	-0,0110	85,0	-0,0310	-0,0290

	Überprüfung	Soll	Ist
	$\epsilon_{b31}-\epsilon_{b21}$	$\leq 10 \%$	7,7
	$\epsilon_{b32}-\epsilon_{b22}$	$\leq 10 \%$	0,0
	ϵ_{b3m1}	$\leq 20 \%$	12,5
	ϵ_{b3m2}	$\leq 20 \%$	16,7

Bruchkraft Fc	[kN]	
Druckfestigkeit fc	[MPa]	
anfänglicher E-Modul EC,0	[MPa]	35800
stabilisierter E-Modul EC,S	[MPa]	40000

Prüfung durchgeführt:
 Schilling, M.Sc.
 Bericht geprüft:
 Dr.-Ing. Dudziak, Betonprüfstellenleiter

"Dieser Prüfbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszusweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand."

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Ruhlsdorfer StraÙe 95, 14532 Stahnsdorf

Tel.: 03329 / 60 69 0 Fax: 03329 / 60 69 28

Beton**E-Modul nach
DIN EN 12390-13****Prüfbericht-Nr.:** 57/005/23 vom: 04.04.23 Anlage 2, Seite 2/6

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288L
 Bauwerk: Fahrbahndeckenbeton

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF Berlin

Nennwerte

Probekörper-Kennzeichnung	[-]	10-8
Alter des Probekörpers	[d]	>360
Anlieferung	[d]	20.03.23
Lagerungsbedingungen	[°C/rel. F]	
Durchmesser d	[mm]	99,4
Höhe h	[mm]	201,8
Masse m	[g]	3775
Rohdichte	[kg/m³]	2410
Probenvorbereitung	[-]	Schleifen
Prüfdatum	[d]	04.04.23
Längenmessgerät	[-]	DD1
Bezugslänge L0	[mm]	100
Bezugsdruckfestigkeit fc	[MPa]	32,8
obere Prüfspannung σa	[MPa]	10,9
untere Prüfspannung σb	[MPa]	4,1
Vorbelastungsspannung σp	[MPa]	0,8
obere Prüfkraft Fa	[kN]	84,6
untere Prüfkraft Fb	[kN]	31,8
Vorbelastungskraft Fp	[kN]	6,2

	Messwert	Fp	Lp1	Lp2	Fb	Lb1	Lb2	Fa	La1	La2
		[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]
Zyklus	1	31,7	-0,0030	-0,0030	31,7	-0,0120	-0,0100	84,6	-0,0310	-0,0310
	2	6,3	-0,0030	-0,0030	32,0	-0,0120	-0,0110	84,6	-0,0310	-0,0310
	3	6,3	-0,0030	-0,0030	31,7	-0,0120	-0,0110	84,6	-0,0310	-0,0310
	4	6,4	-0,0030	-0,0030	32,0	-0,0120	-0,0110	84,6	-0,0310	-0,0310
	5	31,9	-0,0030	-0,0030	31,9	-0,0140	-0,0120	84,5	-0,0310	-0,0310
	6	32,0	-0,0030	-0,0030	32,0	-0,0140	-0,0130	84,7	-0,0310	-0,0310

	Überprüfung	Soll	Ist
	ε _{b31} -ε _{b21}	≤ 10 %	0,0
	ε _{b32} - ε _{b22}	≤ 10 %	0,0
	ε _{b3m1}	≤ 20 %	4,2
	ε _{b3m2}	≤ 20 %	4,5

Bruchkraft Fc	[kN]	
Druckfestigkeit fc	[MPa]	
anfänglicher E-Modul EC,0	[MPa]	34800
stabilisierter E-Modul EC,S	[MPa]	38800

Prüfung durchgeführt:
 Schilling, M.Sc.
 Bericht geprüft:
 Dr.-Ing. Dudziak, Betonprüfstellenleiter

"Dieser Prüfbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand."

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Ruhlsdorfer StraÙe 95, 14532 Stahnsdorf

Tel.: 03329 / 60 69 0 Fax: 03329 / 60 69 28

Beton

**E-Modul nach
DIN EN 12390-13****Prüfbericht-Nr.:** 57/005/23 vom: 04.04.23 Anlage 2, Seite 3/6

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288L
 Bauwerk: Fahrbahndeckenbeton

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF Berlin

Nennwerte

Probekörper-Kennzeichnung	[-]	10-9
Alter des Probekörpers	[d]	>360
Anlieferung	[d]	20.03.23
Lagerungsbedingungen	[°C/rel. F]	
Durchmesser d	[mm]	99,5
Höhe h	[mm]	201,4
Masse m	[g]	3741
Rohdichte	[kg/m³]	2390
Probenvorbereitung	[-]	Schleifen
Prüfdatum	[d]	04.04.23
Längenmessgerät	[-]	DD1
Bezugslänge L0	[mm]	100
Bezugsdruckfestigkeit fc	[MPa]	32,8
obere Prüfspannung σ_a	[MPa]	10,9
untere Prüfspannung σ_b	[MPa]	4,1
Vorbelastungsspannung σ_p	[MPa]	0,8
obere Prüfkraft Fa	[kN]	84,8
untere Prüfkraft Fb	[kN]	31,9
Vorbelastungskraft Fp	[kN]	6,2

	Messwert	Fp	Lp1	Lp2	Fb	Lb1	Lb2	Fa	La1	La2
		[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]
Zyklus	1	6,2	-0,0100	-0,0090	31,9	-0,0240	-0,0200	84,8	-0,0420	-0,0430
	2	6,2	-0,0100	-0,0090	31,8	-0,0240	-0,0200	84,8	-0,0420	-0,0430
	3	6,2	-0,0090	-0,0100	31,8	-0,0230	-0,0190	84,8	-0,0420	-0,0430
	4	6,2	-0,0090	-0,0090	32,0	-0,0230	-0,0190	84,9	-0,0420	-0,0430
	5	6,2	-0,0100	-0,0090	31,8	-0,0270	-0,0230	85,0	-0,0420	-0,0430
	6	6,2	-0,0100	-0,0090	32,0	-0,0270	-0,0230	84,6	-0,0420	-0,0430

Überprüfung	Soll	Ist
$\epsilon_{b31}-\epsilon_{b21}$	≤ 10 %	4,2
$\epsilon_{b32}-\epsilon_{b22}$	≤ 10 %	0,0
ϵ_{b3m1}	≤ 20 %	8,7
ϵ_{b3m2}	≤ 20 %	10,5

Bruchkraft Fc [kN]
Druckfestigkeit fc [MPa]
anfänglicher E-Modul EC,0 [MPa] **31600**
stabilisierter E-Modul EC,S [MPa] **38700**

Prüfung durchgeführt:

Schilling, M.Sc.

Bericht geprüft:

Dr.-Ing. Dudziak, Betonprüfstellenleiter

"Dieser Prüfbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand."

Streckencode 11

BAB A9, RF Nürnberg, km 287,300-292,300

Ergebnisse der Schichtdickenmessung,
Spaltzugfestigkeit, Druckfestigkeit, die Ermittlung
der Wärmedehnzahl und des E-Moduls



ABE Bauprüf- und -beratungsgesellschaft mbH
 Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar
 Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton
Bohrkerne
Dickenmessungen
nach TP D-StB 12

Prüfbericht-Nr.: 57/005/23

Datum: 27.02.2023

Dickenmessung an Bohrkernen nach den TP D-StB 12

Auftraggeber:	Bauausführung:	Prüfung ausgeführt von: Herr Posern
		verwendete Prüfmittel: Stahllineal

Aufmaßblatt

Messung am: 27.02.2023

Bezeichnung der Bauleistung: Projekt Texplus

Kurzbeschreibung d. Teilleistungen: BAB A9, RF Nürnberg, km 287,300-292,300 (288,545-288,550)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Messstelle				Schicht- bezeich- nung	Abstand der Schichtgrenzen zur Bohrkernoberfläche					Schichtdicke			Bemerkungen
Nr.	Station [Betr.-km] Ø BK	FS	Platte		Einzelmesswerte				Mittel wert	OB	UB	gesamt	
					1.	2.	3.	4.					
	km			-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
11-HFS 1	288+545 Ø 225	LS	256	OB gesamt	7,2 30,7	7,0 30,6	7,5 30,9	7,7 30,4	7,4 30,7	7,4	23,3	30,7	
11-HFS 2	288+550 Ø 225	LS	257	OB gesamt	7,9 30,1	8,4 30,1	7,8 30,1	7,9 31,0	8,0 30,3	8,0	22,3	30,3	
11-SS 1	288+545 Ø 225	SS	256	OB gesamt	8,4 31,2	8,2 32,0	7,9 31,2	8,0 31,4	8,1 31,5	8,1	23,3	31,5	
11-SS 2	288+545 Ø 225	SS	256	OB gesamt	7,7 31,4	7,8 31,4	8,5 31,6	8,2 32,0	8,1 31,6	8,1	23,6	31,6	
11-SS 3	288+545 Ø 225	SS	256	OB gesamt	8,5 31,3	7,7 31,3	8,2 31,4	7,8 31,6	8,1 31,4	8,1	23,4	31,4	
11-SS 4	288+550 Ø 225	SS	257	OB gesamt	8,5 31,0	8,1 31,0	8,0 31,3	8,2 31,1	8,2 31,1	8,2	22,9	31,1	
11-SS 5	288+545 Ø 300	SS	256	OB gesamt	7,6 32,0	8,1 32,0	7,4 32,0	8,4 31,6	7,9 31,9	7,9	24,0	31,9	
11-100 1	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	7,9 31,4	8,2 31,4	8,1 31,2	7,9 31,2	8,0 31,3	8,0	23,3	31,3	
11-100 2	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	8,4 31,7	8,0 31,5	8,2 31,2	7,9 31,1	8,1 31,4	8,1	23,3	31,4	
11-100 3	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	8,0 31,5	7,8 31,7	8,0 31,3	8,0 31,4	8,0 31,5	8,0	23,5	31,5	
11-100 4	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	8,4 31,6	8,2 31,5	7,9 31,6	7,9 31,7	8,1 31,6	8,1	23,5	31,6	
11-100 5	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	7,9 31,5	7,8 31,8	7,9 31,6	8,1 31,5	7,9 31,6	7,9	23,7	31,6	
11-100 6	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	7,9 31,5	7,8 31,6	8,4 31,7	8,2 31,8	8,1 31,7	8,1	23,6	31,7	
11-100 7	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	8,1 31,5	8,1 31,5	8,0 31,2	7,8 31,1	8,0 31,3	8,0	23,3	31,3	
11-100 8	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	8,1 31,2	7,8 31,1	8,3 30,8	7,7 30,8	8,0 31,0	8,0	23,0	31,0	
11-100 9	288+550 Ø 100	SS	257	OB gesamt	7,9 31,5	8,1 31,3	7,8 31,3	8,2 31,6	8,0 31,4	8,0	23,4	31,4	

Prüfbericht-Nr.:	57/005/23-SZ-OB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A9, RF Nürnberg, km 287,300-292,300	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	23.02.23 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	28.02.23 durch Herrn Lehmann	Ø Höhe BK / OB:	31,5 cm / 8 cm	Datum:	
					Seite 1/2

Oberbeton (Größtkorn 8 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
11-1	288+550	SS	2020	07.03.23		896,1	99,4	49,6	49,7	49,8	49,6	49,7	2320	43,7	5,63	Typ 2	
11-2	288+550	SS	2020	07.03.23		895,0	99,4	49,9	50,0	49,8	50,0	49,9	2310	42,4	5,44	Typ 3	
11-3	288+550	SS	2020	07.03.23		881,6	99,5	49,2	49,1	49,4	49,1	49,2	2300	39,8	5,18	Typ 1	
11-4	288+550	SS	2020	07.03.23		891,1	99,4	50,1	50,0	50,0	50,1	50,1	2290	39,0	4,99	Typ 1	
11-5	288+550	SS	2020	07.03.23		907,5	99,5	50,5	50,4	50,6	50,7	50,6	2310	44,5	5,63	Typ 4	
11-6	288+550	SS	2020	07.03.23		889,9	99,4	49,3	49,3	49,5	49,6	49,4	2320	41,1	5,33	Typ 3	
												Mittelwert:	2310	[kg/m³]	5,37	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	10	[kg/m³]	0,25	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,4	[%]	4,7	[%]	
															k	2,951	(n = 6)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:			f _{ctk, sp}	4,63	[N/mm²]

Prüfbericht-Nr.:	57/005/23-SZ-UB	Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach TP B-StB Teil 3.1.05			
Bauvorhaben:	Projekt TexPlus	Lieferwerk:			
Bauteil/Station:	BAB A9, RF Nürnberg, km 287,300-292,300	Festigkeitsklasse:	C 30/37		
Bohrkernentnahmen:	23.02.23 durch Herrn Lehmann	Textur:			
Probenvorbereitung:	28.02.23 durch Herrn Lehmann	Ø Höhe BK / UB:	31,5 cm / 23,5 cm	Datum:	
					Seite 2/2

Unterbeton (Größtkorn 22 mm)

PK	km	Fahrstreifen	Einbau	Prüfung		Masse [g]	Ø [mm]	Höhe [mm]					Rohdichte [kg/m³]	Bruchlast [kN]	f _{ct, sp} [N/mm²]	Bemerkung Bruchbild (gem. Anhang 1)	
								1	2	3	4	Mittel					
11-1	288+550	SS	2020	07.03.23		964,1	99,5	50,5	50,6	50,7	50,7	50,6	2450	43,7	5,52	Typ 4	
11-2	288+550	SS	2020	07.03.23		968,2	99,4	50,6	50,7	50,8	50,8	50,7	2460	42,4	5,35	Typ 2	
11-3	288+550	SS	2020	07.03.23		940,4	99,4	50,1	50,2	50,0	50,0	50,1	2420	39,8	5,09	Typ 2	
11-4	288+550	SS	2020	07.03.23		959,8	99,4	50,3	50,4	50,4	50,3	50,4	2460	39,0	4,96	Typ 1	
11-5	288+550	SS	2020	07.03.23		927,1	99,4	49,3	49,5	49,4	49,3	49,4	2420	44,5	5,77	Typ 1	
11-6	288+550	SS	2020	07.03.23		938,6	99,5	50,0	50,0	50,1	49,9	50,0	2410	41,1	5,26	Typ 1	
												Mittelwert:	2440	[kg/m³]	5,33	[N/mm²]	
												Standardabweichung:	20	[kg/m³]	0,29	[N/mm²]	
												Variationskoeffizient:	0,8	[%]	5,4	[%]	
															k	2,951	(n = 6)
												charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) nach TP B-StB Teil 0.2:			f _{ctk, sp}	4,47	[N/mm²]

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straeue 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonpruefung
nach DIN EN 12504-1
und TP Beton-StB 10****Pruefbericht-Nr.: 57/005/23**

vom: 06.03.23 Seite 1/1

Auftraggeber: Projekt Texplus
 Bauausfuehrung:
 Bauvorhaben: BAB A9, RF Nuernberg,
 km 287,300-292,300

Pruefung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: Betonfahrbahndecke
 Richtungsfahrbahn Nuernberg

Angaben zum Pruefgut

Probekoeper-Kennzeichnung	11-1	11-2	11-3	11-4	11-5	11-6
Festigkeitsklasse	C 30/37					
Betonsorte						
Herstellungsdatum	2021	2021	2021	2021	2021	2021
Bauteil / Entnahmestelle	Standstreifen km 288 +550 Platte 257					
Bohrkernlaenge mm	313	314	315	316	316	317
Solldicke mm						
Entnahmedatum	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23
Groestkorn (visuell) mm	22	22	22	22	22	22
Angaben zum Frischbeton						

Festbeton

Lagerung nach der Einlieferung	gemaeue DIN EN 12390-2, Anhang NA (20 °C, 65 % rel. Luftfeuchte)					
Aeuere Beschaffenheit	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.
Einlieferungsdatum	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23	23.02.23
Bewehrung	keine	keine	keine	keine	keine	keine
Stahl Ø mm						
Stahl Anzahl						
Stahl Gesamllaenge mm						
Volumen Stahl %						
Pruefdatum	06.03.23	06.03.23	06.03.23	06.03.23	06.03.23	06.03.23
Pruefalter (Ist) Tage						
Durchmesser mm	99,4	99,4	99,4	99,3	99,4	99,4
Hoeh mm	99,0	100,2	98,9	98,5	99,2	99,1
Masse kg	1,861	1,899	1,864	1,851	1,860	1,867
Volumen dm³	0,768	0,778	0,767	0,763	0,770	0,769
Rohdichte kg/m³	2420	2440	2430	2430	2420	2430
Bruchlast kN	649,1	609,3	574,8	632,2	609,2	640,5
Pruefflaech mm²	7.760	7.760	7.760	7.744	7.760	7.760
Druckfestigkeit f_i N/mm²	83,6	79,3	74,1	81,6	78,5	82,5
Mittelwert f_m N/mm²	79,9					

Die Stirnflaechen der Probekoeper wurden nach dem Schneiden geschliffen. Die Bestimmung der Druckfestigkeit erfolgte unter Beruecksichtigung des Formbeiwertes k gemaeue TP Beton-StB 10, Tabelle 5a.

Dieser Pruefbericht wurde in 1 Exemplaren aus geliefert, umfasst 1 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfaeltigt werden. Alle Pruefergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf den im Bericht angegebenen Pruefgegenstand.



Anlage 1 zu

Prüfbericht-Nr.: 57/005/23

vom: 17.11.2023

Seite 2/2

Wärmeausdehnungskoeffizient

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288R
 Bauwerk:

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km
 292+733, RF Nürnberg

Bemerkungen:
 BK 11, Prüfkörper isoliert bei 65 % rel. Feuchte

Dieser Prüfbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

Prisma	Lage	Messung	Temperatur T _{(i)m}	Dehnung ea _{(i)m}	es(i)	ea(i)m-es(i)	Wärmeausdehnungskoeffizient alpha in 10 ⁻⁶ K ⁻¹							
							alpha _(i)	Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient	
[-]	[-]	[-]	[°C]	[µm/m]	[µm/m]	[µm/m]	[1/K]	[1/K]	[1/K]	[%]	[1/K]	[1/K]	[%]	
1	Oberbeton	1	40,46	70,93	-28,08	99,01	10,83	0,3	2,5	10,96	0,1	1,0		
		2	19,98	77,24	-0,46	77,70							11,31	
		3	0,44	64,99	-6,21	71,20							10,60	
		4	19,97	78,65	-0,45	79,10							10,68	
		5	40,32	70,43	-27,80	98,23							11,21	
		6												
		7												
		8												
		2	1	40,46	83,45	-28,08	111,53	10,94	0,3				3,0	
			2	19,98	87,16	-0,46	87,62							11,44
			3	0,44	72,53	-6,21	78,74							10,73
			4	19,97	86,33	-0,45	86,78							10,68
			5	40,32	82,15	-27,80	109,95							11,41
			6											
			7											
			8											
		3	1	40,46	92,77	-28,08	120,85	11,11	0,2				2,0	
			2	19,98	94,66	-0,46	95,12							11,53
			3	0,44	75,92	-6,21	82,13							10,94
			4	19,97	95,28	-0,45	95,73							10,97
			5	40,32	91,34	-27,80	119,14							11,42
			6											
			7											
			8											
4	Unterbeton	1	40,22	58,74	-27,60	86,34	10,27	0,3	2,6	10,37	0,1	0,7		
		2	20,10	74,66	-0,53	75,19							10,79	
		3	0,59	71,57	-6,02	77,59							10,11	
		4	20,02	73,62	-0,48	74,10							10,05	
		5	40,25	54,57	-27,66	82,23							10,63	
		6												
		7												
		8												
		5	1	40,22	83,46	-27,60	111,06	10,45	0,3				2,4	
			2	20,10	99,05	-0,53	99,58							10,80
			3	0,59	93,10	-6,02	99,12							10,26
			4	20,02	99,72	-0,48	100,20							10,29
			5	40,25	84,17	-27,66	111,83							10,81
			6											
			7											
			8											
		6	1	40,22	66,25	-27,60	93,85	10,38	0,3				3,4	
			2	20,10	81,35	-0,53	81,88							10,83
			3	0,59	79,15	-6,02	85,17							10,06
			4	20,02	84,24	-0,48	84,72							10,21
			5	40,25	69,85	-27,66	97,51							10,87
			6											
			7											
			8											

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Ruhlsdorfer StraÙe 95, 14532 Stahnsdorf

Tel.: 03329 / 60 69 0 Fax: 03329 / 60 69 28

Beton

**E-Modul nach
DIN EN 12390-13****Prüfbericht-Nr.:** 57/005/23 vom: 04.04.23 Anlage 2, Seite 4/6

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288R
 Bauwerk: Fahrbahndeckenbeton

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF Nürnberg

Nennwerte

Probekörper-Kennzeichnung	[-]	11-7
Alter des Probekörpers	[d]	>360
Anlieferung	[d]	20.03.23
Lagerungsbedingungen	[°C/rel. F]	
Durchmesser d	[mm]	99,4
Höhe h	[mm]	199,3
Masse m	[g]	3790
Rohdichte	[kg/m³]	2450
Probenvorbereitung	[-]	Schleifen
Prüfdatum	[d]	04.04.23
Längenmessgerät	[-]	DD1
Bezugslänge L0	[mm]	100
Bezugsdruckfestigkeit fc	[MPa]	32,8
obere Prüfspannung σ_a	[MPa]	10,9
untere Prüfspannung σ_b	[MPa]	4,1
Vorbelastungsspannung σ_p	[MPa]	0,8
obere Prüfkraft Fa	[kN]	84,6
untere Prüfkraft Fb	[kN]	31,8
Vorbelastungskraft Fp	[kN]	6,2

Messwert	Fp	Lp1	Lp2	Fb	Lb1	Lb2	Fa	La1	La2	
	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	
Zyklus	1	6,3	-0,0020	-0,0040	31,7	-0,0090	-0,0140	84,5	-0,0260	-0,0370
	2	6,3	-0,0020	-0,0040	31,7	-0,0100	-0,0150	84,5	-0,0260	-0,0370
	3	6,3	-0,0020	-0,0040	31,9	-0,0100	-0,0140	84,5	-0,0260	-0,0370
	4	6,3	-0,0020	-0,0050	32,0	-0,0100	-0,0150	84,5	-0,0260	-0,0370
	5	6,3	-0,0020	-0,0040	31,7	-0,0110	-0,0180	84,8	-0,0270	-0,0370
	6	6,3	-0,0020	-0,0040	32,8	-0,0110	-0,0190	84,4	-0,0270	-0,0370

Überprüfung	Soll	Ist
$\epsilon_{b31}-\epsilon_{b21}$	≤ 10 %	0,0
$\epsilon_{b32}-\epsilon_{b22}$	≤ 10 %	7,1
ϵ_{b3m1}	≤ 20 %	20,0
ϵ_{b3m2}	≤ 20 %	14,3

Bruchkraft Fc	[kN]	
Druckfestigkeit fc	[MPa]	
anfänglicher E-Modul EC,0	[MPa]	35600
stabilisierter E-Modul EC,S	[MPa]	39100

Prüfung durchgeführt:
 Schilling, M.Sc.
 Bericht geprüft:
 Dr.-Ing. Dudziak, Betonprüfstellenleiter

"Dieser Prüfbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszusweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand."

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH

Ruhlsdorfer StraÙe 95, 14532 Stahnsdorf

Tel.: 03329 / 60 69 0 Fax: 03329 / 60 69 28

Beton**E-Modul nach
DIN EN 12390-13****Pr-bericht-Nr.:** 57/005/23 vom: 04.04.23 Anlage 2, Seite 5/6

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288R
 Bauwerk: Fahrbahndeckenbeton

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF N-urnberg

Nennwerte

Probek-er-Kennzeichnung	[-]	11-8
Alter des Probek-ers	[d]	>360
Anlieferung	[d]	20.03.23
Lagerungsbedingungen	[°C/rel. F]	
Durchmesser d	[mm]	99,5
H-ohle h	[mm]	200,8
Masse m	[g]	3858
Rohdichte	[kg/m³]	2470
Probenvorbereitung	[-]	Schleifen
Pr-ufdatum	[d]	04.04.23
L-angenmessger-at	[-]	DD1
Bezugsl-ange L0	[mm]	100
Bezugsdruckfestigkeit f _c	[MPa]	32,8
obere Pr-ufspannung σ _a	[MPa]	10,9
untere Pr-ufspannung σ _b	[MPa]	4,1
Vorbelastungsspannung σ _p	[MPa]	0,8
obere Pr-ufkraft F _a	[kN]	84,8
untere Pr-ufkraft F _b	[kN]	31,9
Vorbelastungskraft F _p	[kN]	6,2

	Messwert	F _p	L _{p1}	L _{p2}	F _b	L _{b1}	L _{b2}	F _a	L _{a1}	L _{a2}
		[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]
Zyklus	1				31,9	-0,0140	-0,0120			
	2	6,4	-0,0050	-0,0030	31,8	-0,0140	-0,0120			
	3	6,3	-0,0050	-0,0030	32,0	-0,0140	-0,0120			
	4	6,2	-0,0040	-0,0020	31,9	-0,0140	-0,0120	84,7	-0,0340	-0,0310
	5				31,8	-0,0170	-0,0140	84,6	-0,0340	-0,0310
	6				32,0	-0,0170	-0,0140	84,7	-0,0340	-0,0310

	Überprüfung	Soll	Ist
	ε _{b31} -ε _{b21}	≤ 10 %	0,0
	ε _{b32} - ε _{b22}	≤ 10 %	0,0
	ε _{b3m1}	≤ 20 %	7,1
	ε _{b3m2}	≤ 20 %	8,3

Bruchkraft F_c	[kN]	
Druckfestigkeit f_c	[MPa]	
anf-anglicher E-Modul EC,0	[MPa]	34800
stabilisierter E-Modul EC,S	[MPa]	39900

Pr-ufung durchgef-uhrt:
 Schilling, M.Sc.
 Bericht gepr-uft:
 Dr.-Ing. Dudziak, Betonpr-ufstellenleiter

"Dieser Pr-ufbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszusweise vervielf-igt werden. Alle Pr-ufergebnisse beziehen sich ausschlieÙlich auf den im Bericht angegebenen Pr-ufgegenstand."

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Ruhlsdorfer StraÙe 95, 14532 Stahnsdorf

Tel.: 03329 / 60 69 0 Fax: 03329 / 60 69 28

Beton

**E-Modul nach
DIN EN 12390-13****Prüfbericht-Nr.:** 57/005/23 vom: 04.04.23 Anlage 2, Seite 6/6

Auftraggeber: FFG
 Bauvorhaben: A9D288R
 Bauwerk: Fahrbahndeckenbeton

Bemerkungen:
 BAB A9 km 287+300 bis km 292+733, RF Nürnberg

Nennwerte

Probekörper-Kennzeichnung	[-]	11-9
Alter des Probekörpers	[d]	>360
Anlieferung	[d]	20.03.23
Lagerungsbedingungen	[°C/rel. F]	
Durchmesser d	[mm]	99,3
Höhe h	[mm]	199,9
Masse m	[g]	3835
Rohdichte	[kg/m³]	2480
Probenvorbereitung	[-]	Schleifen
Prüfdatum	[d]	04.04.23
Längenmessgerät	[-]	DD1
Bezugslänge L0	[mm]	100
Bezugsdruckfestigkeit fc	[MPa]	32,8
obere Prüfspannung σ_a	[MPa]	10,9
untere Prüfspannung σ_b	[MPa]	4,1
Vorbelastungsspannung σ_p	[MPa]	0,8
obere Prüfkraft Fa	[kN]	84,4
untere Prüfkraft Fb	[kN]	31,8
Vorbelastungskraft Fp	[kN]	6,2

Messwert	Fp	Lp1	Lp2	Fb	Lb1	Lb2	Fa	La1	La2	
	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]	
Zyklus	1	6,0	-0,0050	-0,0010	32,0	-0,0180	-0,0170	84,4	-0,0400	-0,0330
	2	6,0	-0,0050	-0,0010	31,9	-0,0170	-0,0170	84,4	-0,0400	-0,0330
	3	6,3	-0,0050	-0,0010	31,8	-0,0170	-0,0170	84,4	-0,0400	-0,0330
	4	6,5	-0,0050	-0,0010	31,9	-0,0170	-0,0180	84,2	-0,0400	-0,0330
	5	6,0	-0,0050	-0,0010	31,7	-0,0200	-0,0180	84,3	-0,0400	-0,0330
	6	6,0	-0,0050	-0,0010	31,7	-0,0200	-0,0180	84,6	-0,0400	-0,0330

Überprüfung	Soll	Ist
$\epsilon_{b31}-\epsilon_{b21}$	$\leq 10 \%$	0,0
$\epsilon_{b32}-\epsilon_{b22}$	$\leq 10 \%$	5,9
ϵ_{b3m1}	$\leq 20 \%$	0,0
ϵ_{b3m2}	$\leq 20 \%$	0,0

Bruchkraft Fc [kN]
Druckfestigkeit fc [MPa]
anfänglicher E-Modul EC,0 [MPa] **35500**
stabilisierter E-Modul EC,S [MPa] **39000**

Prüfung durchgeführt:
 Schilling, M.Sc.
 Bericht geprüft:
 Dr.-Ing. Dudziak, Betonprüfstellenleiter

"Dieser Prüfbericht wurde in 1 Exemplar ausgefertigt, umfasst 1 Seite und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand."

Ergebnisse des CDF-Tests (alle Strecken)

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung****Frost-Tausalz-Wider-****stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
 Bauausführung:
 Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: BAB A93, km 127,400-129,350

Probekörper-Kennzeichnung	1-HFS-3					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	18.06.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn	Hof					
Entnahmestelle km	128+975					
Prüfalter Tage						

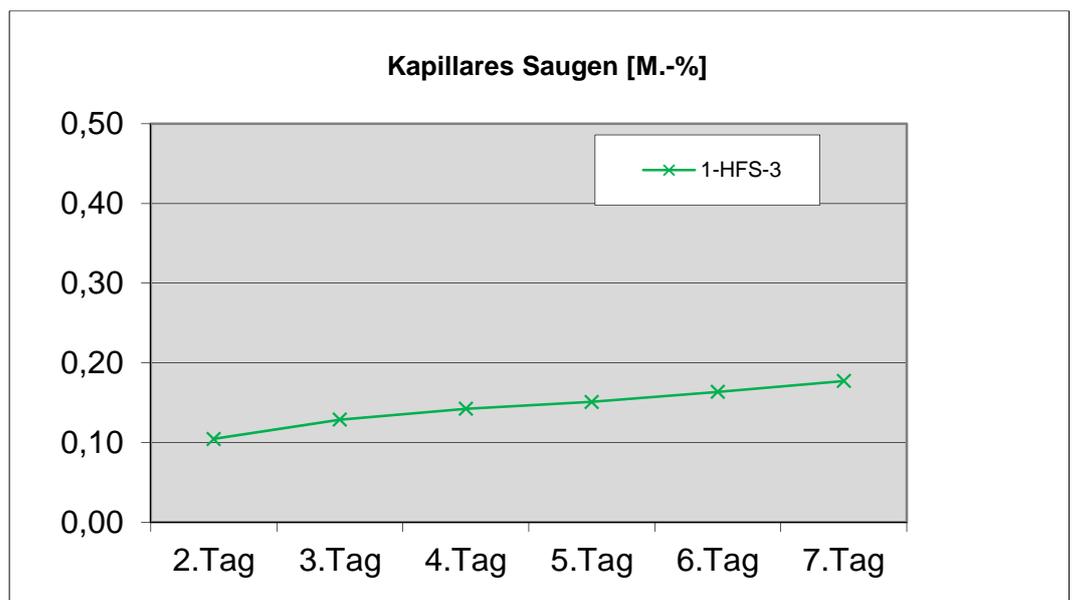
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 07.09.2020
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton 0/22
 Prüflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
1-HFS-3	0,10	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren aus gefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung****Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

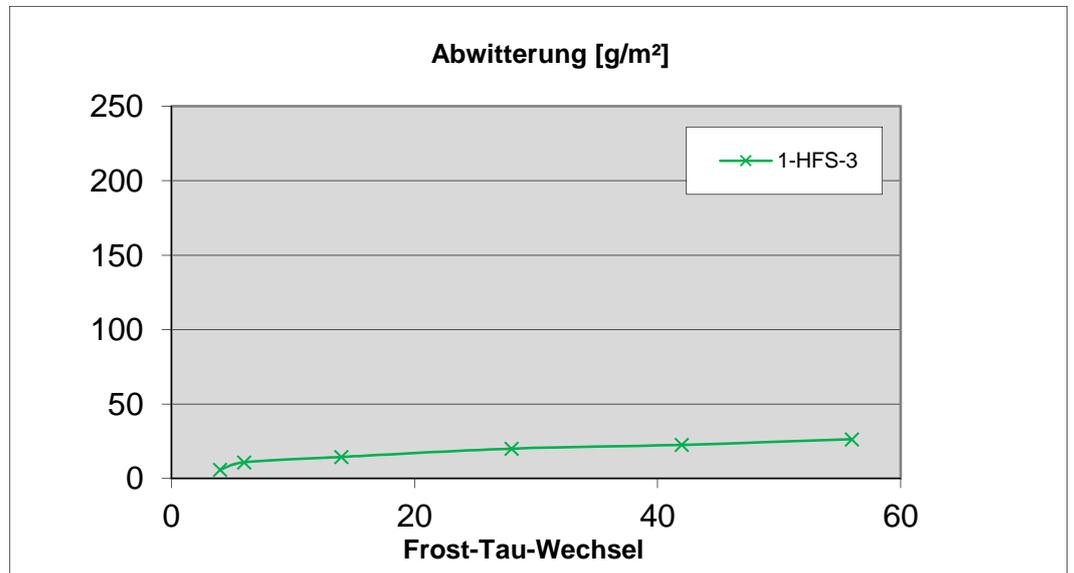
Bauwerk: BAB A93, km 127,400-129,350

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 14.09.2020
 Prüfende: 12.10.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0395 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0395 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
1-HFS-3	6	11	14	20	23	26

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.



ABE

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton

Bohrkerne

**Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.**

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
Bauausführung:
Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
Lieferwerk:
Bauwerk: BAB A10, km 5,500-9,550

Probekörper-Kennzeichnung	2-HFS-2					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	02.07.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn	Barnim					
Entnahmestelle km	9+000					
Prüfalter Tage						

Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei 20 ± 2°C und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

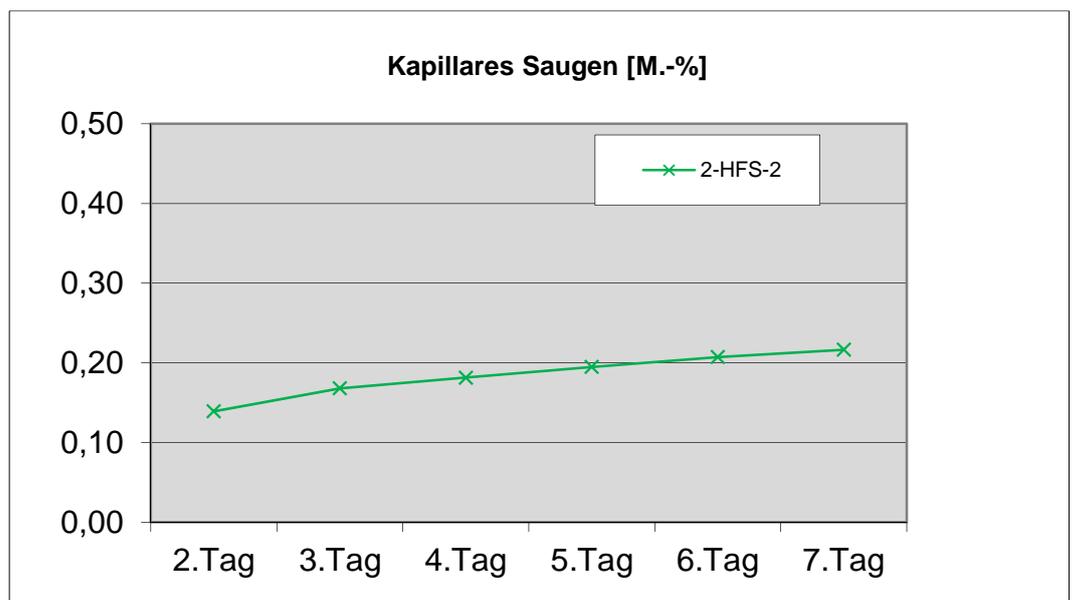
Prüfbeginn: 07.09.2020
Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton 0/22
Prüfflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1

Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
2-HFS-2	0,14	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22

Grafik 1



Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seiten(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung****Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

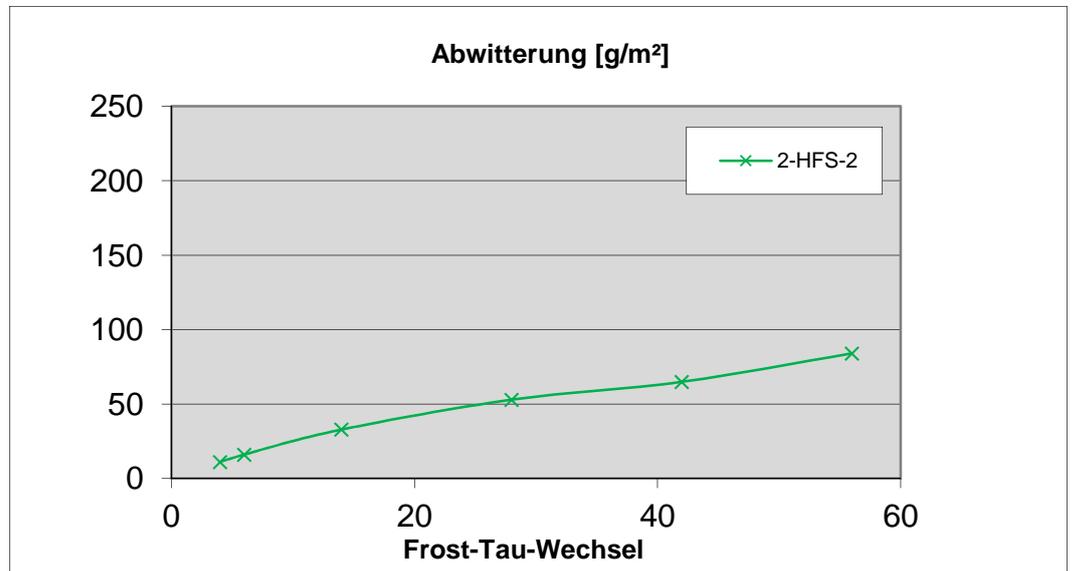
Bauwerk: BAB A10, km 5,500-9,550

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 14.09.2020
 Prüfende: 12.10.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0399 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0399 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
2-HFS-2	11	16	33	53	65	84

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren aus gefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
 Bauausführung:
 Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: BAB A5, km 639,200-641,200

Probekörper-Kennzeichnung	3-HFS-3					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	09.07.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn	Basel					
Entnahmestelle km	639+975					
Prüfalter Tage						

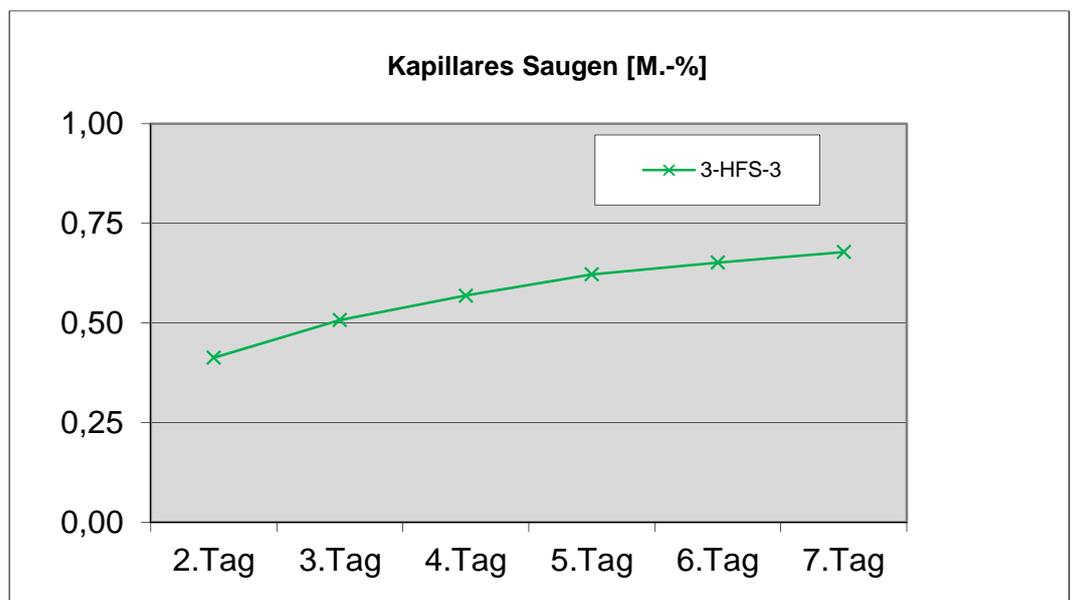
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 07.09.2020
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton 0/8
 Prüflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
3-HFS-3	0,41	0,51	0,57	0,62	0,65	0,68

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung****Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

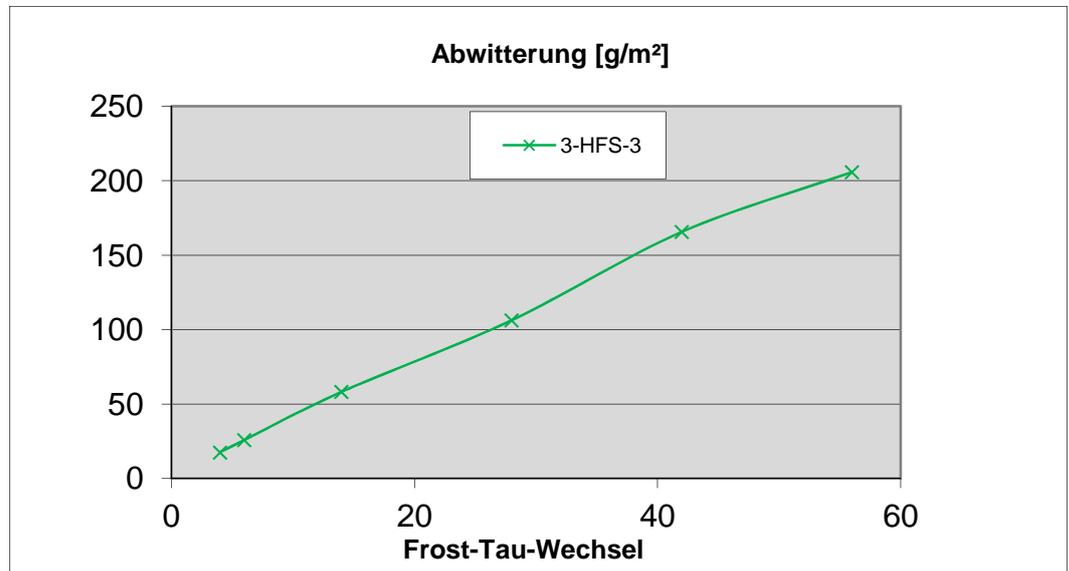
Bauwerk: BAB A5, km 639,200-641,200

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 14.09.2020
 Prüfende: 12.10.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0399 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0399 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
3-HFS-3	18	26	58	106	166	206

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren aus gefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung****Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
 Bauausführung:
 Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: BAB A5, km 609,400 - 610,280

Probekörper-Kennzeichnung	4-HFS-1					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	23.07.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn	Frankfurt					
Entnahmestelle km	610+060					
Prüfalter Tage						

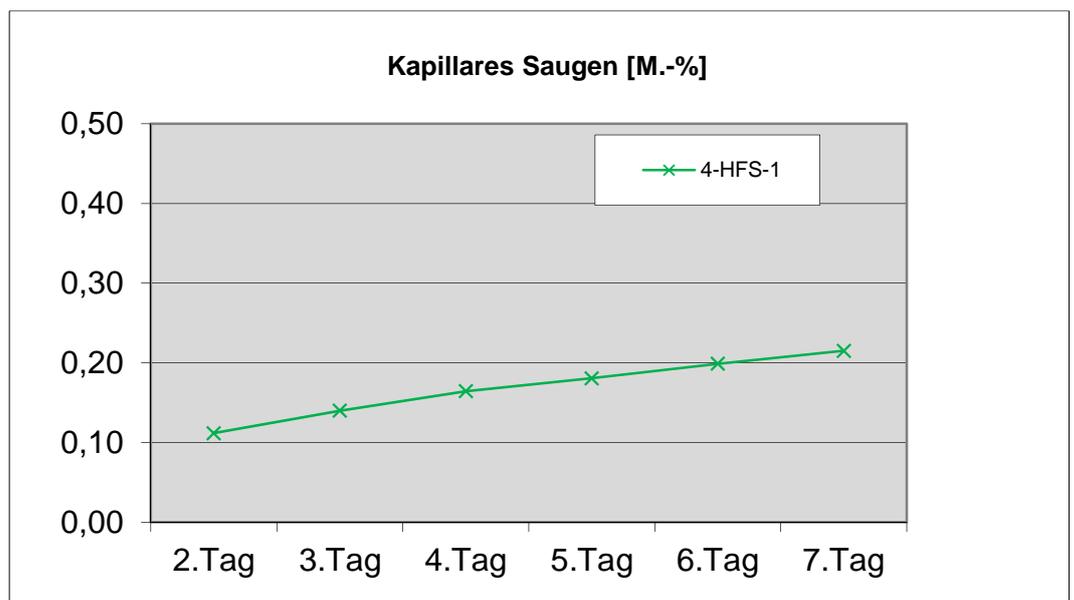
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 07.09.2020
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton 0/16
 Prüflöslichkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Probenbezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
4-HFS-1	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seiten(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

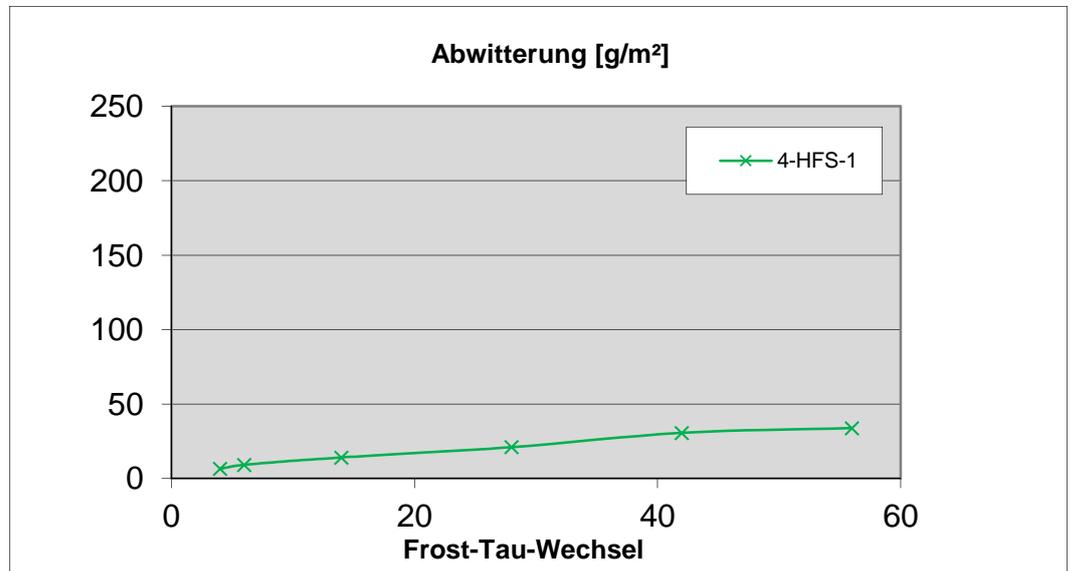
Bauwerk: BAB A5, km 609,400 - 610,280

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 14.09.2020
 Prüfende: 12.10.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0405 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0405 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
4-HFS-1	6	9	14	21	31	34

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.



ABE

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton

Bohrkerne

**Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.**

Prüfbericht-Nr.: 57/120/20

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
Bauausführung:
Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
Lieferwerk:
Bauwerk: BAB A14, km 129,45-130,75

Probekörper-Kennzeichnung	5-HFS-3					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	15.06.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn	Dresden					
Entnahmestelle km	129+980					
Prüfalter Tage						

Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei 20 ± 2°C und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

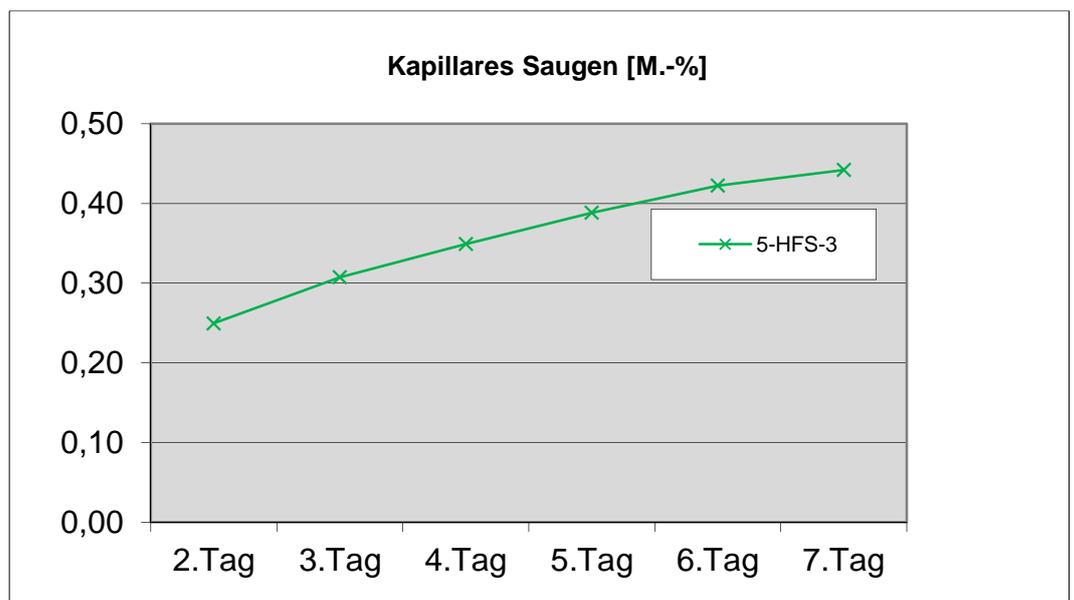
Prüfbeginn: 05.10.2020
Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton 0/8
Prüfflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1

Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
5-HFS-3	0,25	0,31	0,35	0,39	0,42	0,44

Grafik 1



Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

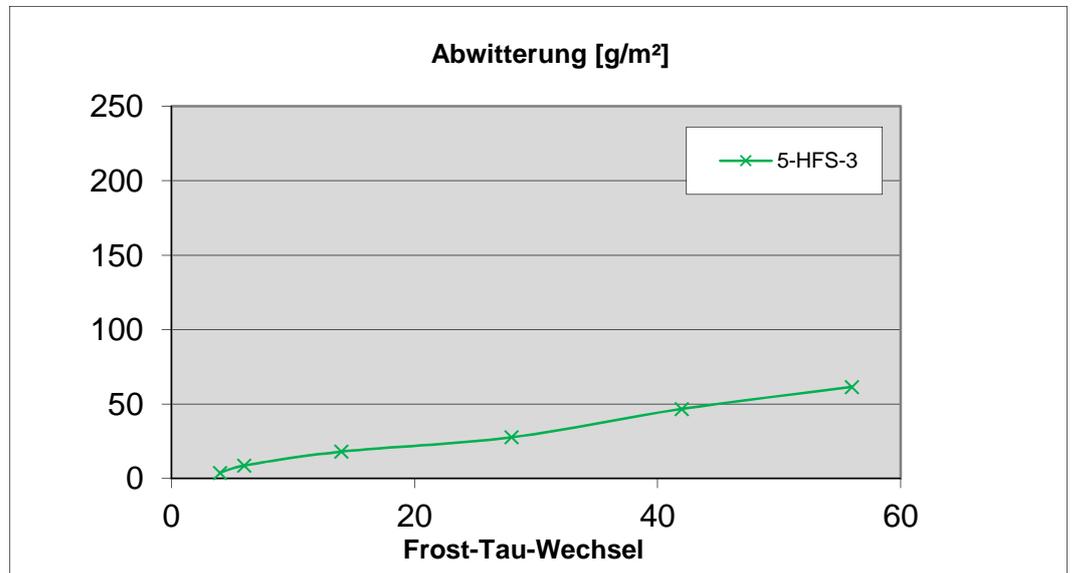
Bauwerk: BAB A14, km 129,45-130,75

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 12.10.2020
 Prüfende: 09.11.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0394 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0394 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
5-HFS-3	4	9	18	28	47	61

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
 Bauausführung:
 Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: A 02 Wr. Neudorf km 7,500-9,000

Probekörper-Kennzeichnung	6-HFS-2					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	16.06.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn						
Entnahmestelle km						
Prüfalter Tage						

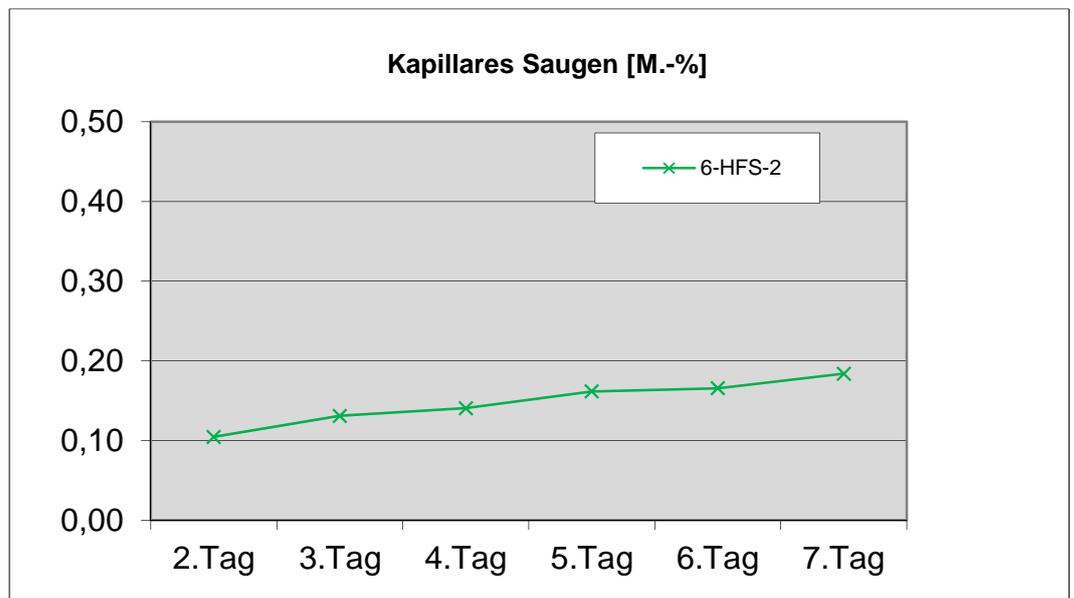
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 05.10.2020
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton
 Prüflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
6-HFS-2	0,10	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seiten(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

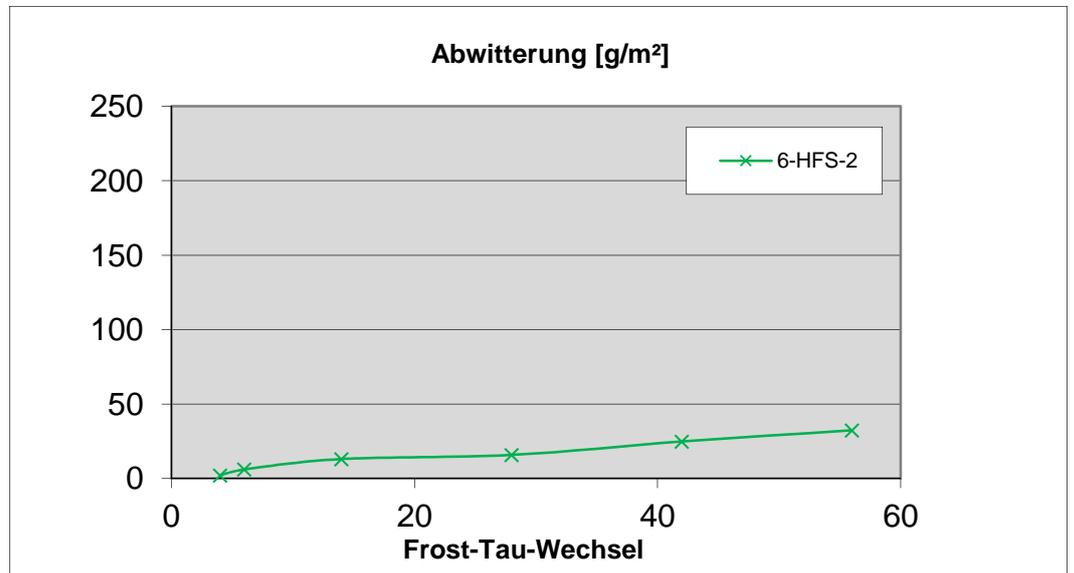
Bauwerk: A 02 Wr. Neudorf km 7,500-9,000

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 12.10.2020
 Prüfende: 09.11.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0399 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0399 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
6-HFS-2	2	6	13	16	25	32

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
Bauausführung:
Bauvorhaben: Projekt TexPlusPrüfung:
Lieferwerk:
Bauwerk: A 10 Paternion km 157,200-157,600

Probekörper-Kennzeichnung	7-HFS-2					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	26.05.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn						
Entnahmestelle km						
Prüfalter Tage						

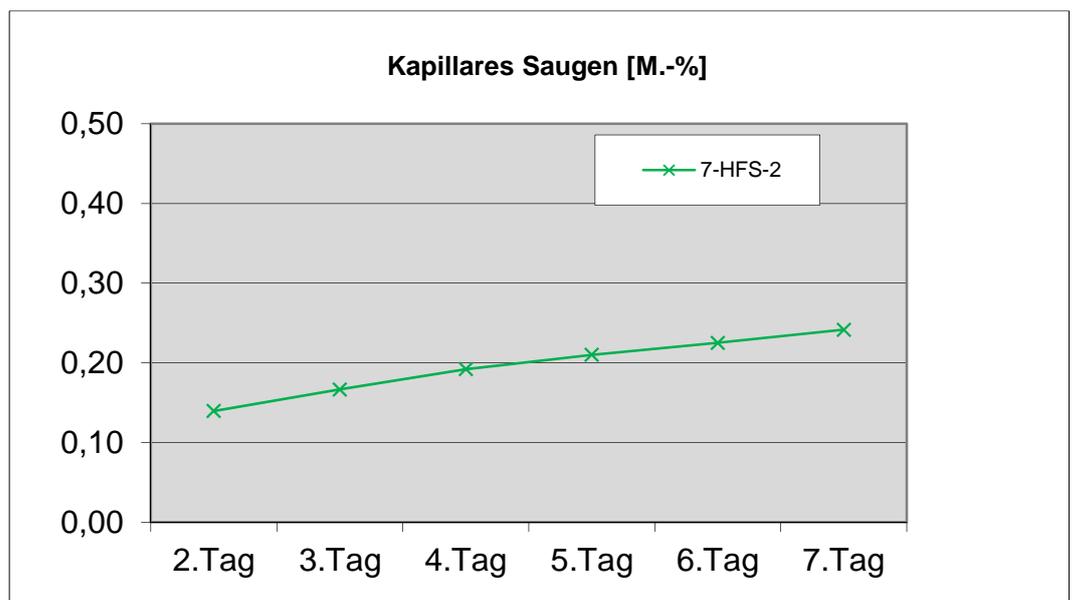
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 05.10.2020
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton
 Prüflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
7-HFS-2	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,24

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seiten(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

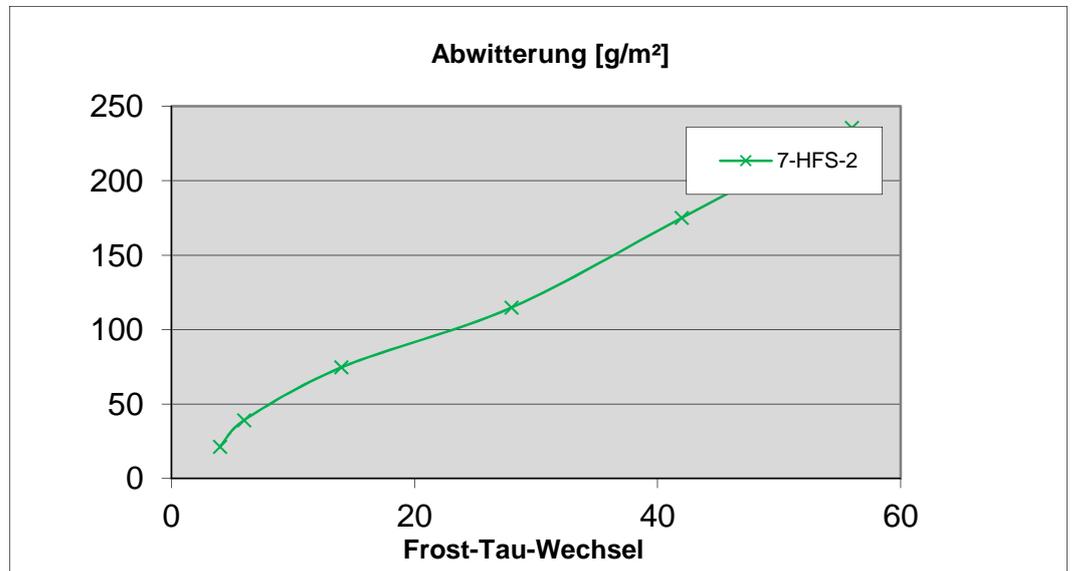
Bauwerk: A 10 Paternion km 157,200-157,600

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 12.10.2020
 Prüfende: 09.11.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0398 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0398 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
7-HFS-2	21	39	75	115	175	236

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren aus gefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 1/2

Auftraggeber:
 Bauausführung:
 Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: A 05, Schrick km 25,500-25,000

Probekörper-Kennzeichnung	8-HFS-2					
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	27.05.2020					
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn						
Entnahmestelle km						
Prüfalter Tage						

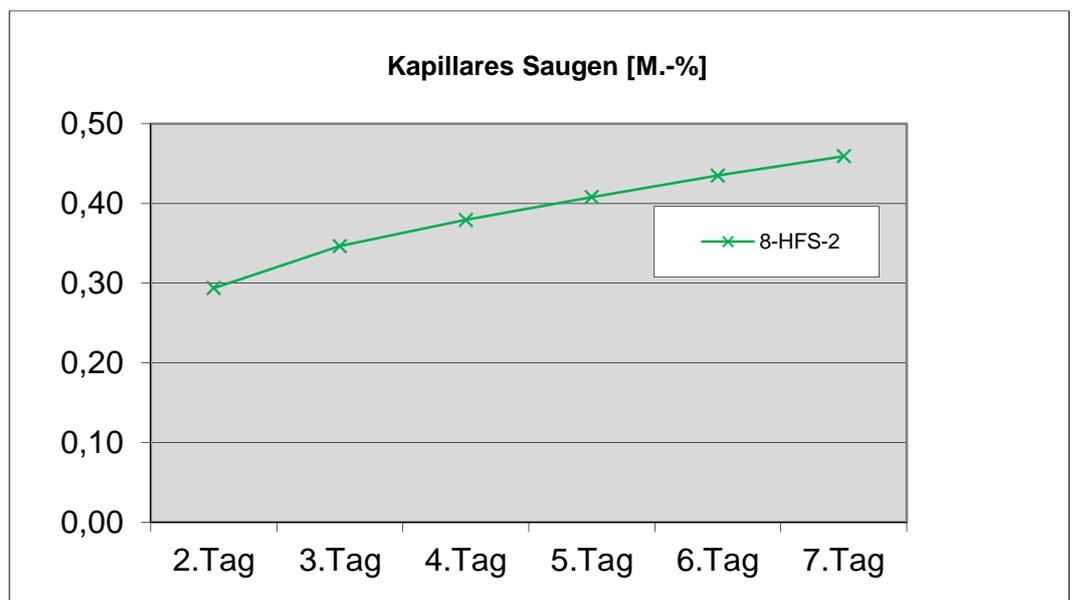
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 05.10.2020
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton
 Prüflöslichkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
8-HFS-2	0,29	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung****Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/120/20**

vom: 11.11.2020 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

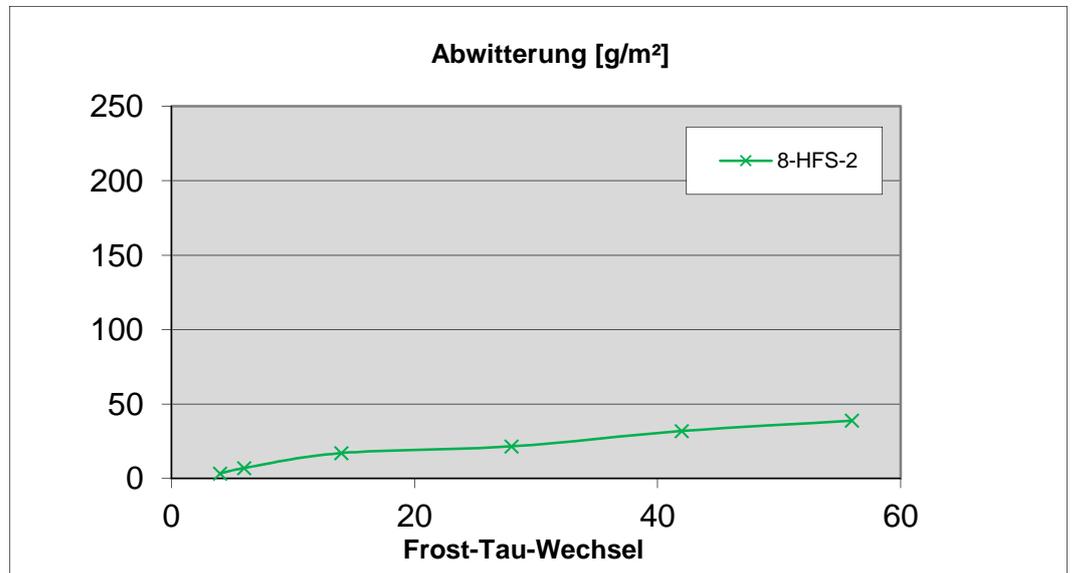
Bauwerk: A 05, Schrick km 25,500-25,000

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 12.10.2020
 Prüfende: 09.11.2020
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0399 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0399 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
8-HFS-2	3	7	17	22	32	39

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren aus gefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung****Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/038/21**

vom: 04.01.2022 Seite 1/2

Auftraggeber:
 Bauausführung:
 Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:
 Lieferwerk:
 Bauwerk: A 10, RF Salzburg km 14,2970 – 14,2637

Probekörper-Kennzeichnung	9-HFS-1	9-HFS-3				
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum						
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn						
Entnahmestelle km						
Prüfalter Tage						

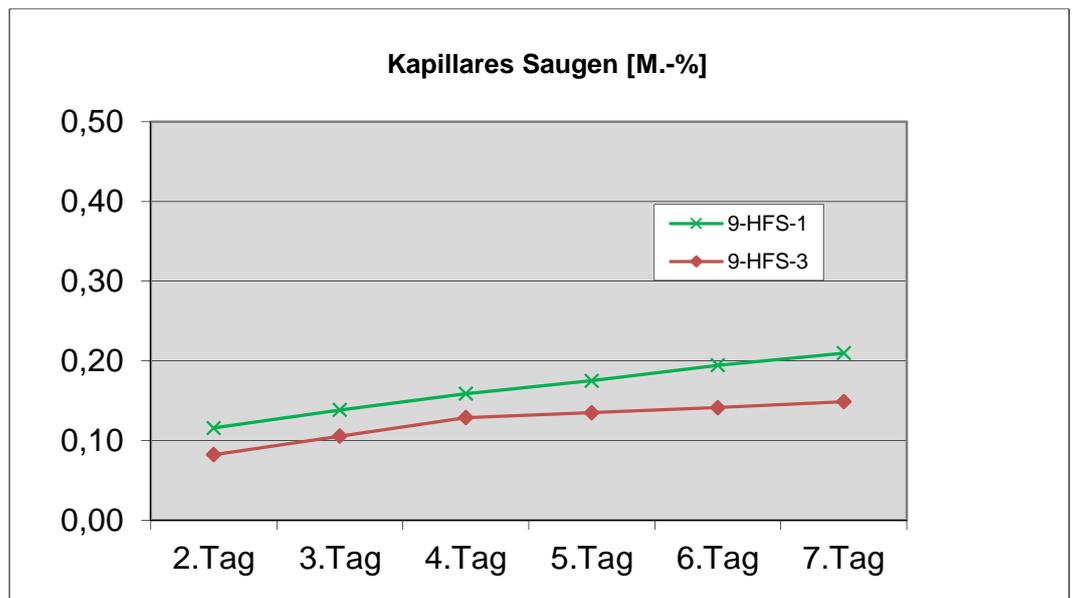
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 29.11.2021
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton
 Prüflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Probenbezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
9-HFS-1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21
9-HFS-3	0,08	0,11	0,13	0,13	0,14	0,15

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

Beton**Bohrkerne****Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/038/21**

vom: 04.01.2022 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

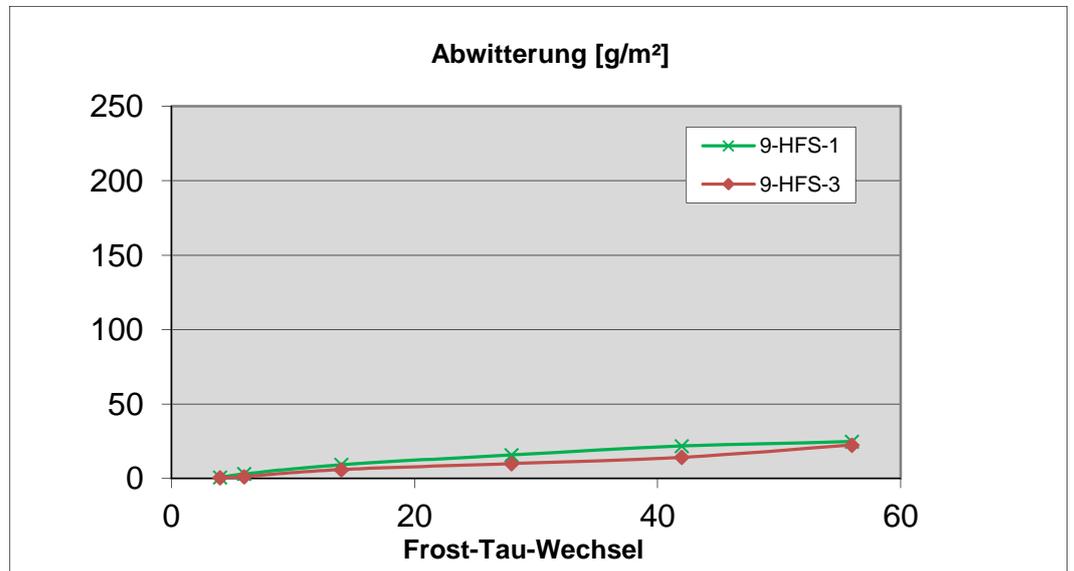
Bauwerk: A 10, RF Salzburg km 14,2970 – 14,2637

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 06.12.2021
 Prüfende: 03.01.2022
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0401 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0401 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
9-HFS-1	1	3	9	16	22	25
9-HFS-3	0	1	6	10	14	22

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

**Beton
Bohrkerne
Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/005/23**

vom: 11.04.2023 Seite 1/2

Auftraggeber:
Bauausführung:
Bauvorhaben: Projekt TexPlusPrüfung:
Lieferwerk:
Bauwerk: BAB A9, RF Berlin, km 292,733-287,300

Probekörper-Kennzeichnung	10-1	10-4				
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	23.02.2023	23.02.2023				
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn	Berlin	Berlin				
Entnahmestelle km	289+955	289+950				
Prüfalter Tage						

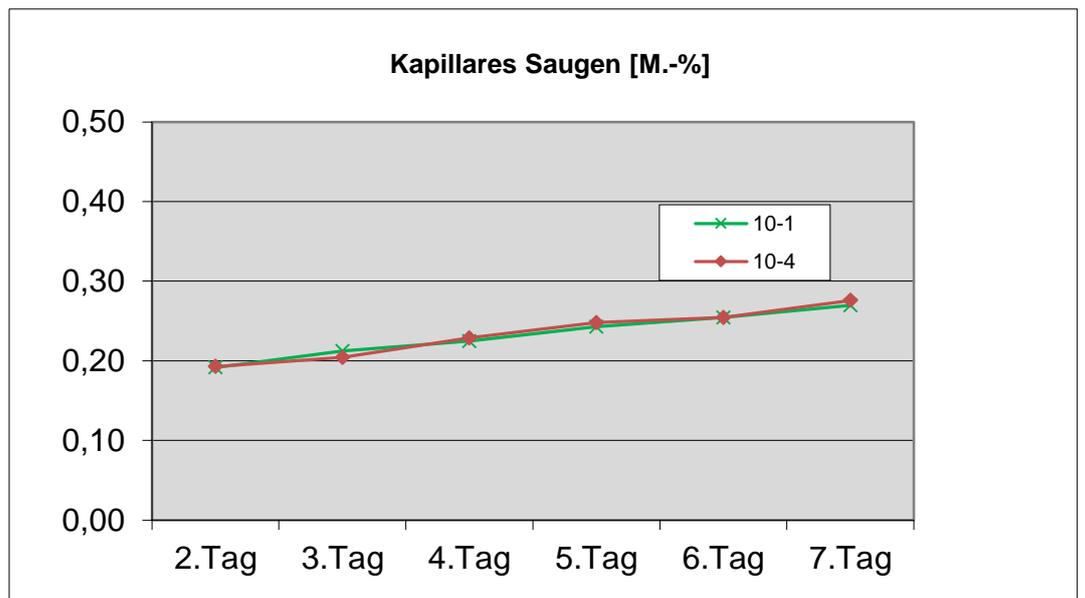
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn: 06.03.2023
 Prüfflächen: Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton
 Prüflüssigkeit: 3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
10-1	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27
10-4	0,19	0,20	0,23	0,25	0,25	0,28

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupr- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

**Beton
Bohrkerne
Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/005/23**

vom: 11.04.2023 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

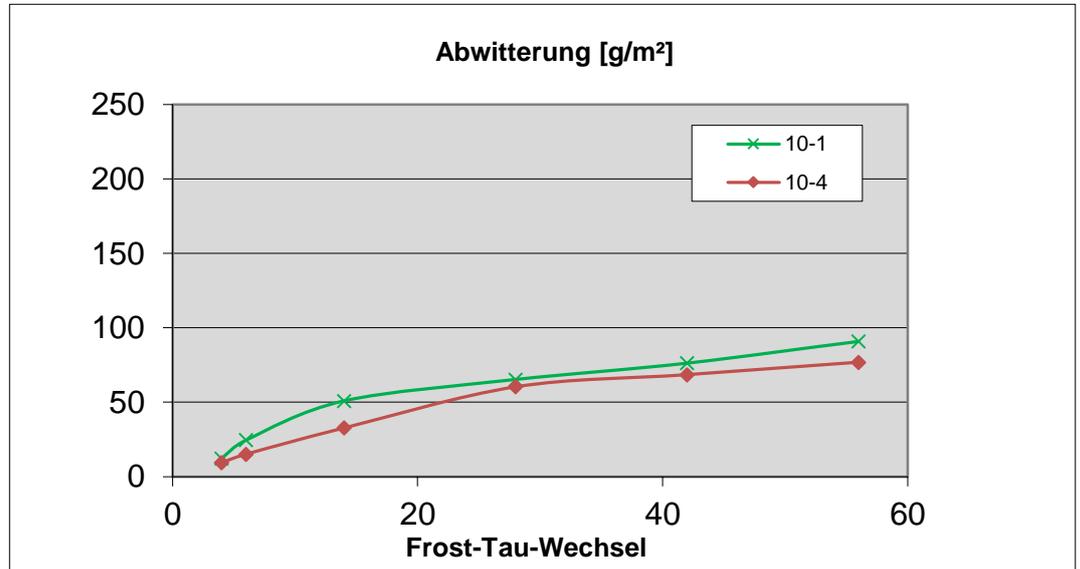
Bauwerk: BAB A9, RF Berlin, km 292,733-287,300

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 13.03.2023
 Prüfende: 10.04.2023
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0397 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0397 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
10-1	12	25	51	65	76	91
10-4	10	15	33	60	69	77

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren aus gefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

**Beton
Bohrkerne
Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/005/23**

vom: 11.04.2023 Seite 1/2

Auftraggeber:	Prüfung:
Bauausführung:	Lieferwerk:
Bauvorhaben: Projekt TexPlus	Bauwerk: BAB A9, RF Nürnberg, km 287,300-292,300

Probekörper-Kennzeichnung	11-2	11-3				
Festigkeitsklasse						
Entnahmedatum	23.02.2023	23.02.2023				
Herstellungsdatum						
Richtungsfahrbahn	Nürnberg	Nürnberg				
Entnahmestelle km	288+545	288+545				
Prüfalter Tage						

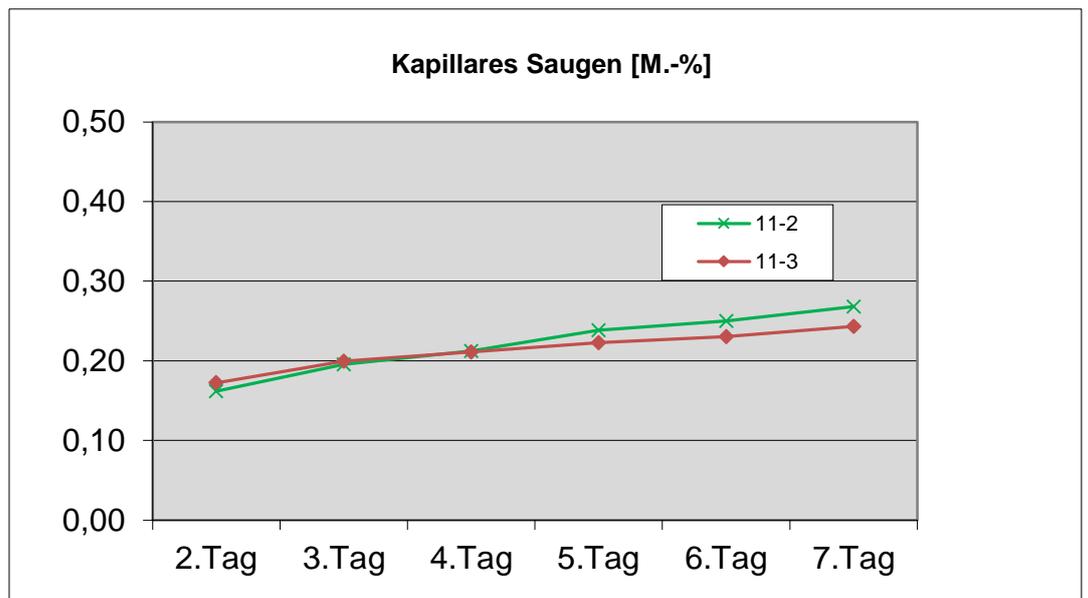
Die Lagerung des angelieferten Bohrkerns erfolgte nach Entnahme bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte. Die Seitenflächen des Probekörpers wurden mit lösungsmittelfreiem Epoxidharz abgedichtet.

Kapillares Saugen

Prüfbeginn:	06.03.2023
Prüfflächen:	Herstellungsoberfläche - Texturierter Oberbeton
Prüfflüssigkeit:	3 %-ige NaCl-Lösung

Tabelle 1**Masse der aufgesaugten Lösung in [M.-%]**

Proben- bezeichnung	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag
11-2	0,16	0,20	0,21	0,24	0,25	0,27
11-3	0,17	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24

Grafik 1

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren ausgefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

**ABE**

ABE Baupruef- und -beratungsgesellschaft mbH

Otto-Schott-Straße 3, 99427 Weimar

Tel.: 03643 / 85 01 99 Fax: 03643 / 85 01 98

**Beton
Bohrkerne
Festbetonprüfung
Frost-Tausalz-Wider-
stand nach CDF Verf.****Prüfbericht-Nr.: 57/005/23**

vom: 11.04.2023 Seite 2/2

Auftraggeber:

Bauausführung:

Bauvorhaben: Projekt TexPlus

Prüfung:

Lieferwerk:

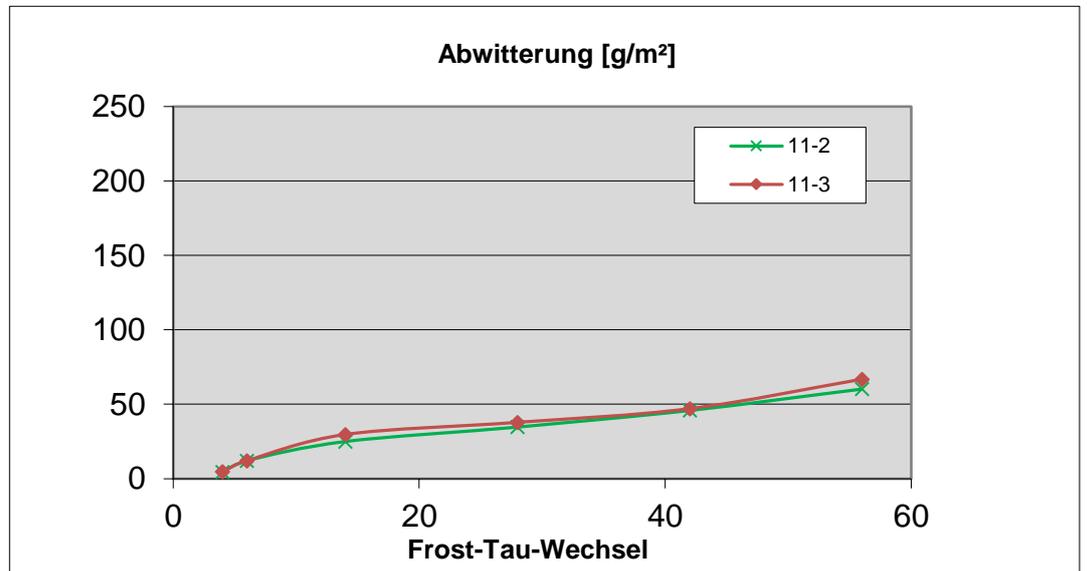
Bauwerk: BAB A9, RF Nürnberg, km 287,300-292,300

Frost-Tau-Wechsel

Prüfbeginn: 13.03.2023
 Prüfende: 10.04.2023
 Prüfdauer: 56 Frost-Tau-Wechsel
 Prüfflächen: 1 x 0,0397 m²
 Summe Prüfflächen: 0,0397 m²

Tabelle 2**abgewitterte Prüfkörpermasse in [g/m²]**

Proben- bezeichnung	Frost-Tau-Wechsel					
	4	6	14	28	42	56
11-2	5	12	25	35	46	60
11-3	5	12	30	38	47	67

Grafik 2

Prüfung durchgeführt:

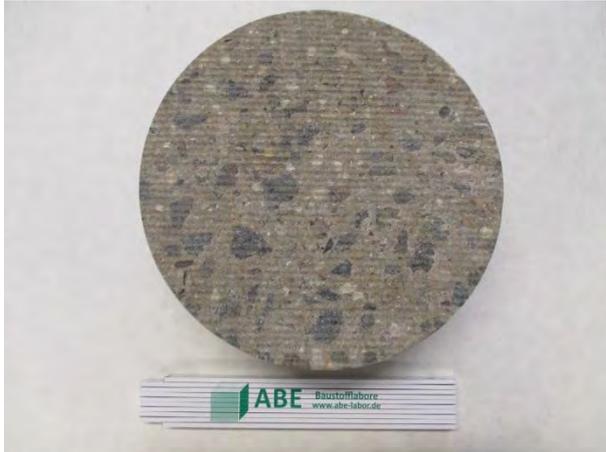
Posern, Dr.-Ing.

Bericht geprüft:

Dipl.-Ing. Harsch, Prüfstellenleiter

Dieser Prüfbericht wurde in 2 Exemplaren aus gefertigt, umfasst 2 Seite(n) und darf ohne schriftliche Genehmigung der ABE GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Alle Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den im Bericht angegebenen Prüfgegenstand.

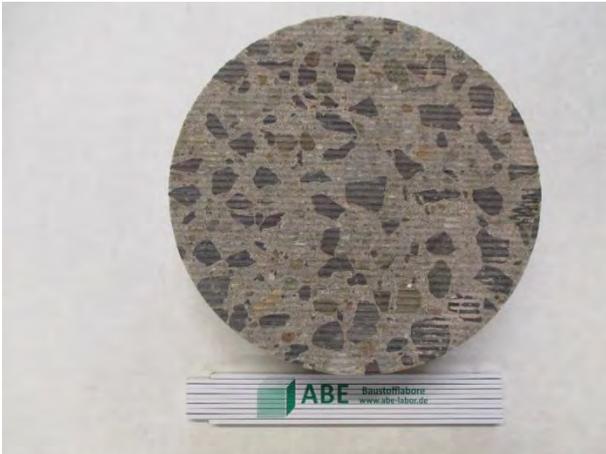
Fotodokumentation
CDF-Test (alle Strecken)



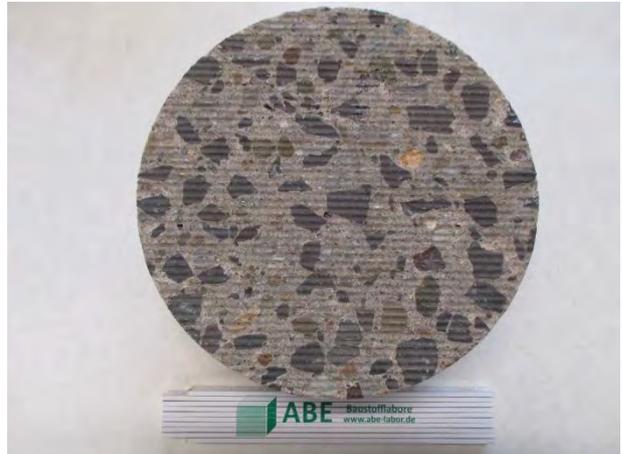
Probekörper 1-HFS-3
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



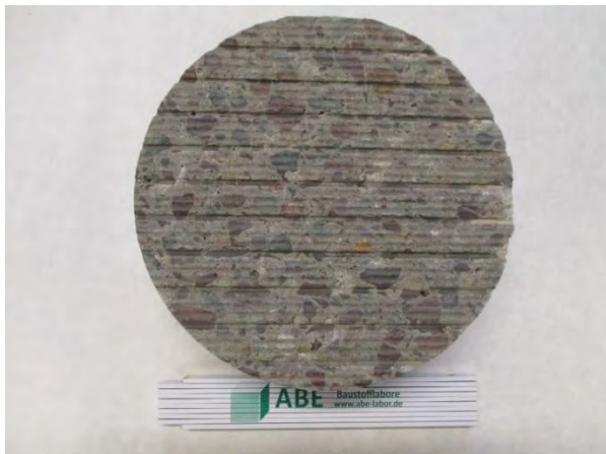
nach 56 Frost-Tau-Wechseln



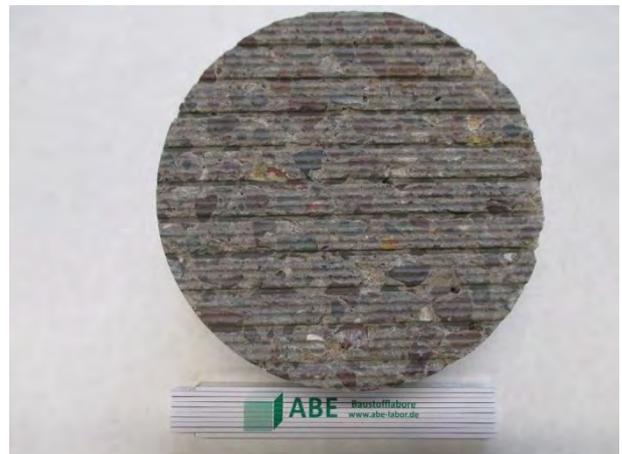
Probekörper 2-HFS-2
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



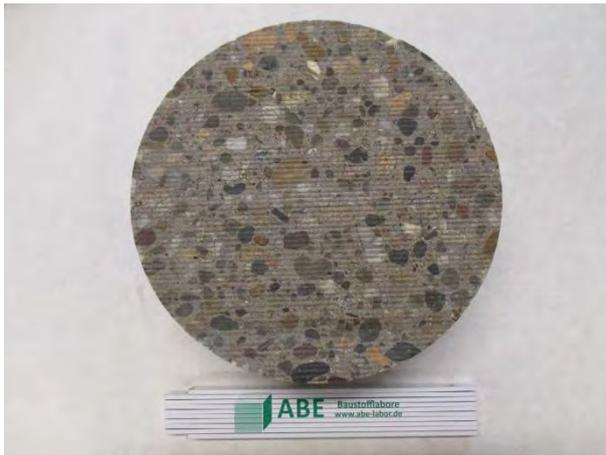
nach 56 Frost-Tau-Wechseln



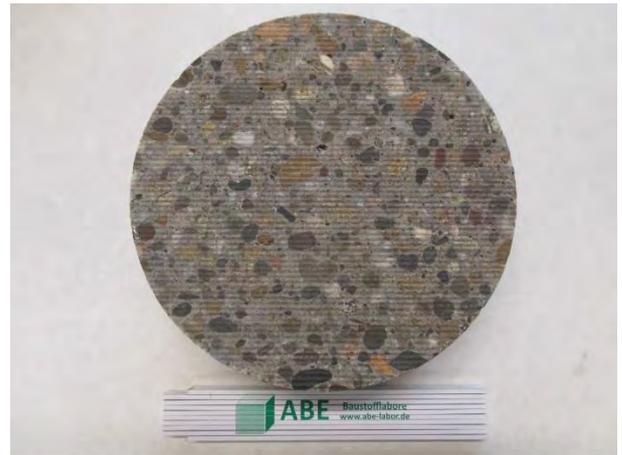
Probekörper 3-HFS-3
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



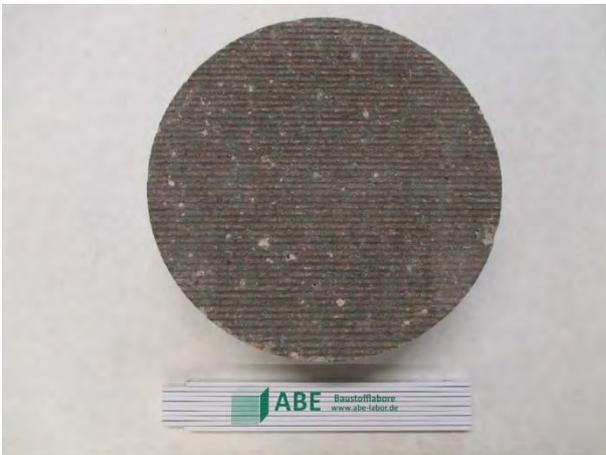
nach 56 Frost-Tau-Wechseln



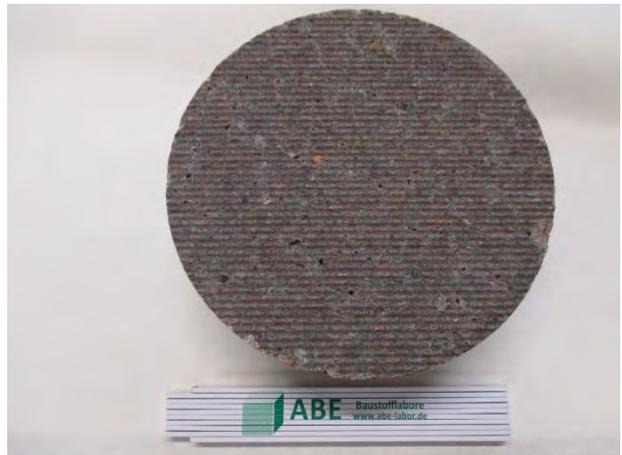
Probekörper 4-HFS-1
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



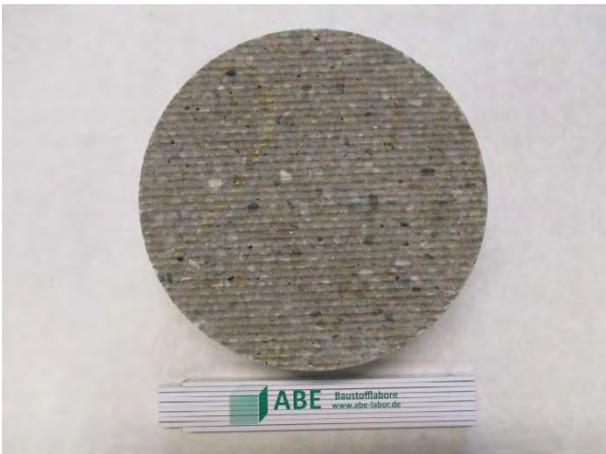
nach 56 Frost-Tau-Wechseln



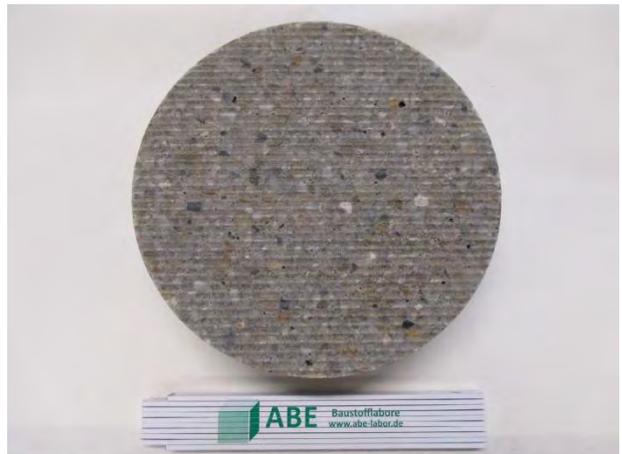
Probekörper 5-HFS-3
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



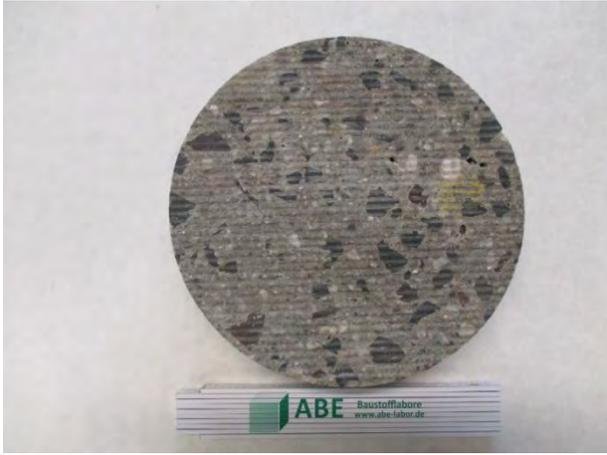
nach 56 Frost-Tau-Wechseln



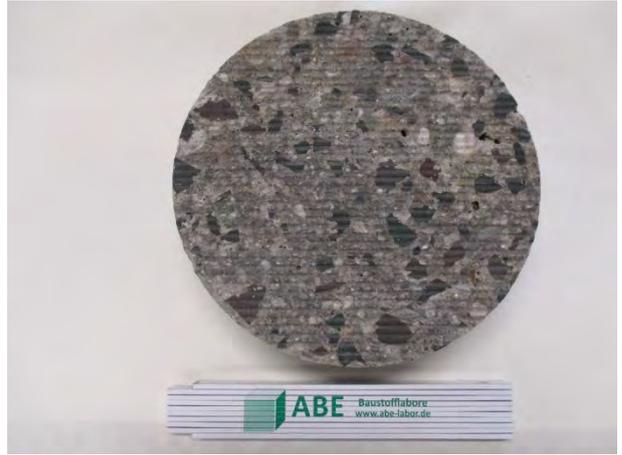
Probekörper 6-HFS-2
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



nach 56 Frost-Tau-Wechseln



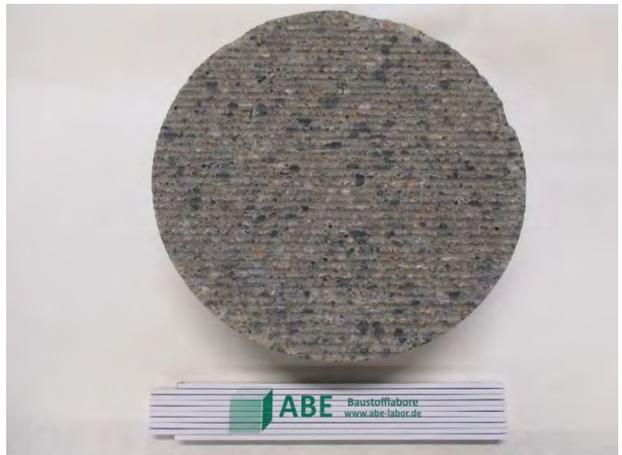
Probekörper 7-HFS-2
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



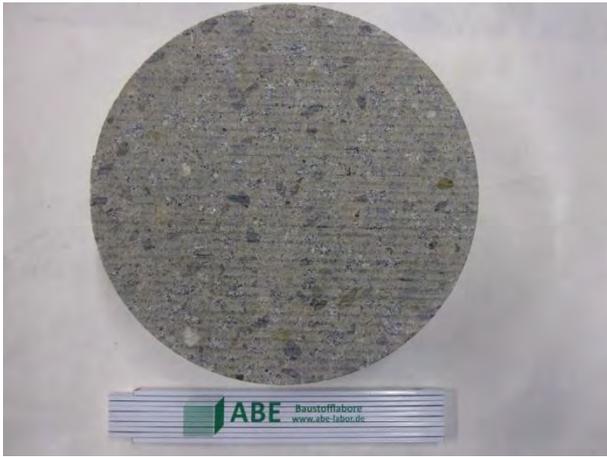
nach 56 Frost-Tau-Wechseln



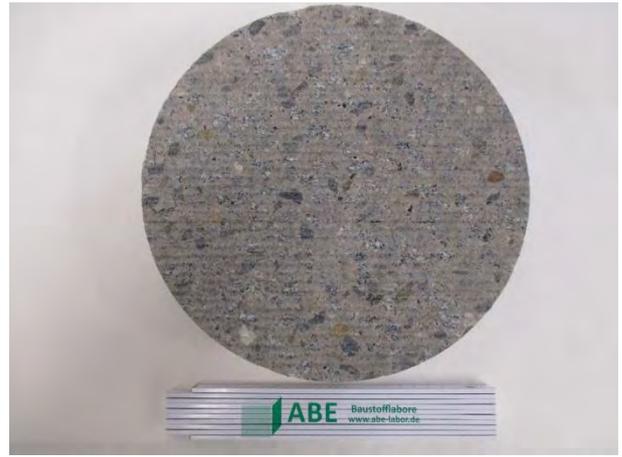
Probekörper 8-HFS-2
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



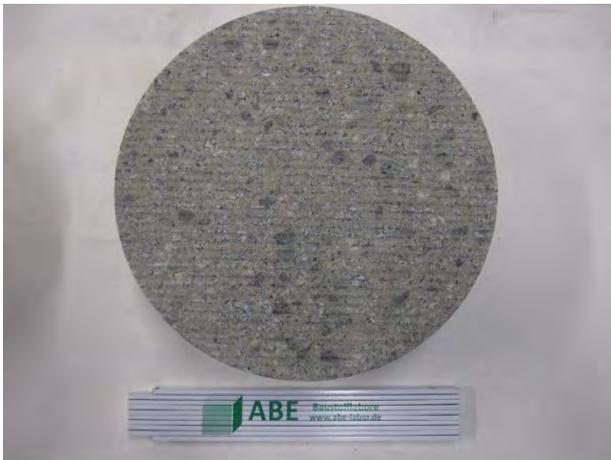
nach 56 Frost-Tau-Wechseln



Probekörper 9-HFS-1
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



nach 56 Frost-Tau-Wechseln



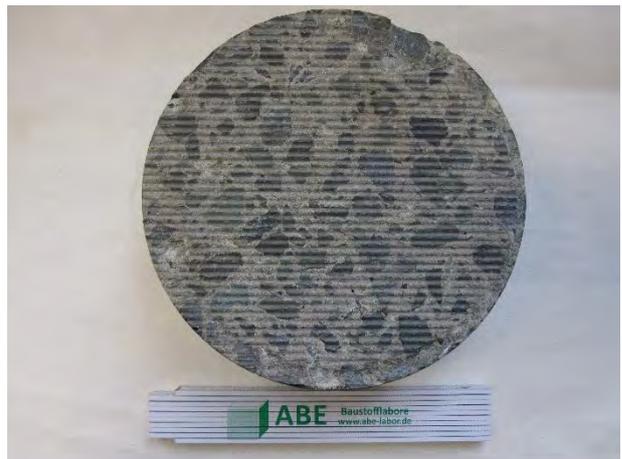
Probekörper 9-HFS-3
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



nach 56 Frost-Tau-Wechseln



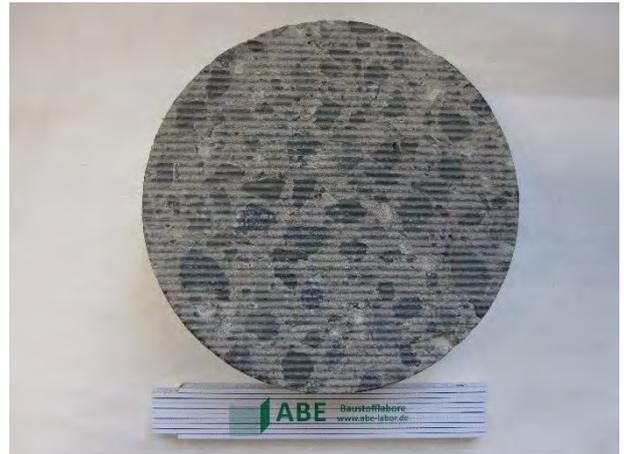
Probekörper 10-1
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



nach 56 Frost-Tau-Wechseln



Probekörper 10-4
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



nach 56 Frost-Tau-Wechseln



Probekörper 11-2
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



nach 56 Frost-Tau-Wechseln



Probekörper 11-3
vor Frost-Tausalz-Beanspruchung



nach 56 Frost-Tau-Wechseln