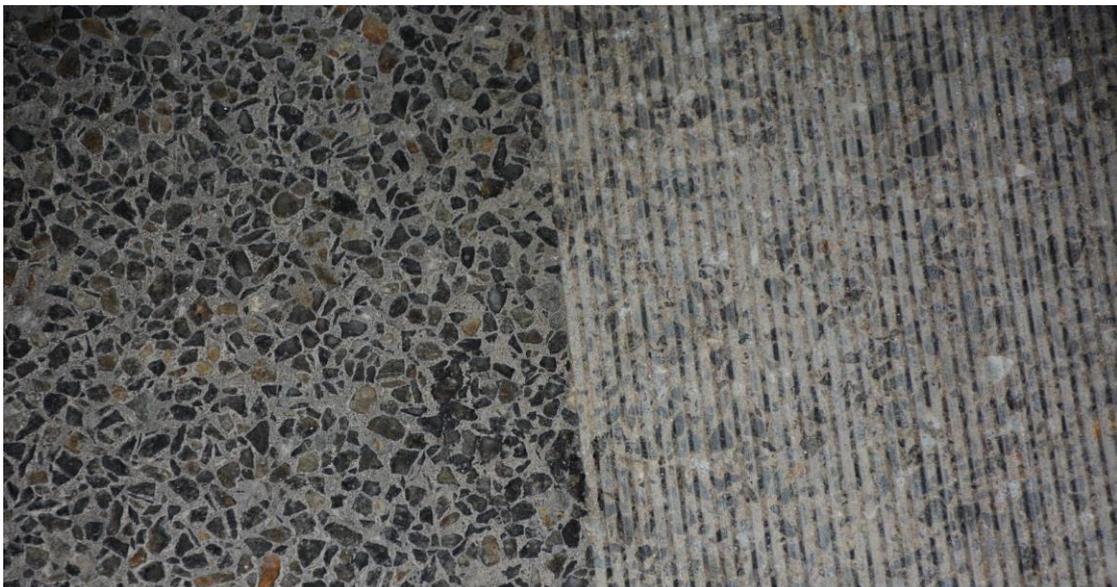


# Optimierung von Grinding & Grooving von Betonfahrbahndecken **GROOVE**

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung 2015  
**(VIF2015)**

Dezember 2018



## Impressum:

### Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien  
Radetzkystraße 2  
A – 1030 Wien

 Bundesministerium  
Verkehr, Innovation  
und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG  
Nordbahnstraße 50  
A – 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-  
Aktiengesellschaft  
Rotenturmstraße 5-9  
A – 1010 Wien



### Für den Inhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
Giefinggasse 4  
A - 1210 Wien



### Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH  
Thematische Programme  
Sensengasse 1  
A – 1090 Wien



# Optimierung von Grinding & Grooving von Betonfahrbahndecken **GROOVE**

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2015)

**AutorInnen:**

**DI Roland SPIELHOFER<sup>1</sup>**  
**DI Dr. Denitsa OSICHENKO<sup>1</sup>**  
**DI Dr. Martin KRIEGISCH<sup>1</sup>**  
**DI Reinhard WEHR<sup>1</sup>**  
**DI Jens SKARABIS**  
**Prof. Dr.-Ing. Christoph GEHLEN<sup>2</sup>**  
**Dr.-Ing. Thomas KRÄNKEL<sup>2</sup>**  
**M.Sc. Nicolai KLEIN<sup>2</sup>**  
**DI Dr. Alfred WENINGER-VYCUDIL<sup>3</sup>**

**Auftraggeber:**

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
ÖBB-Infrastruktur AG  
Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

**Auftragnehmer:**

<sup>1</sup>AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
<sup>2</sup>TU München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung  
<sup>3</sup>PMS-Consult GmbH

## KURZFASSUNG

Am österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz werden die hochbelasteten Fahrbahnabschnitte bevorzugt in Waschbeton ausgeführt, der vorteilhafte Eigenschaften hinsichtlich Lärmentwicklung besitzt. Einige wenige ältere Abschnitte sind auch in Besenstrich ausgeführt. Betondecken zeichnen sich bei ordnungsgemäßer Herstellung durch geringen Wartungsaufwand bei hoher Liegedauer aus. Trotzdem werden mit zunehmendem Alter Erhaltungsmaßnahmen insbesondere zur Wiederherstellung einer ausreichenden Griffigkeit notwendig. Die RVS13.01.51 „Betondeckenerhaltung“ beschreibt die verschiedenen Erhaltungsmaßnahmen. Schleifen („Grinding“) und Rillenschneiden („Grooving“) sind in der aktuellen RVS als Verfahren beschrieben, jedoch nicht im Detail spezifiziert.

In vorangegangenen Forschungsprojekten in den USA und Deutschland wurden starke Reduktionen der Lärmemissionen durch Kombination der beiden Maßnahmen Grinding und Grooving (sog. Next Generation Concrete Surfaces, NGCS) erzielt, ebenso wurden Griffigkeit, Ebenheit, Drainageverhalten und Rollwiderstand verbessert.

Im Projekt „Groove“ wurden die geometrischen Eigenschaften von Grinding- und Groovingoberflächen sowohl im Labor als auch an Versuchsstrecken in der Praxis erprobt und optimiert. Dabei wurden die in Österreich gängigen Bauweisen Waschbeton und Besenstrich berücksichtigt. Auf zwei Bestandsstrecken wurden unterschiedliche Grinding- und Groovingtexturen aufgebracht und die Entwicklung der Oberflächeneigenschaften Lärmemission, Griffigkeit, Ebenheit, über einen Zeitraum von 1 bis 1,5 Jahren beobachtet. Die durch das Grinding erzielte Erhöhung der Griffigkeit ist am Ende des Beobachtungszeitraumes nicht mehr vorhanden, während die Verbesserung der Längsebenheit unverändert anhielt. Ebenso dauerhaft zeigte sich die durch das Grinding erzielte Reduktion des Rollgeräusches.

Nach einer Erhebung von Bestandsdaten wurde ein Konzept für die Laboruntersuchungen entwickelt. Im Labor wurden Probekörper verschiedener Betone hergestellt und Untersuchungen der Dauerhaftigkeit hinsichtlich Witterungseinflüssen und Verkehrsbelastungen durchgeführt und mit Praxisproben verglichen. Zusätzlich wurde die Robustheit unterschiedlicher Texturen gegen eine Verkehrsbelastung untersucht. Die Laborergebnisse zeigten, dass für die auf den Teststrecken ausgeführte Textur mit einer ausreichenden Dauerhaftigkeit der Griffigkeit zu rechnen ist. Auch im direkten Vergleich zur Waschbetonoberfläche wiesen die unterschiedlichen Grindingtexturen ein gleichwertiges Griffigkeitsverhalten auf.

Eine Kosten-Nutzen-Analyse hinsichtlich Griffigkeit und Lärm sowie ein passender PMS-Algorithmus wurden entwickelt und erlauben die Berücksichtigung von Grinding & Grooving-Maßnahmen im Pavement Management der ASFINAG.

Schließlich wurde ein Textvorschlag zur Erweiterung der RVS „Betonstraßenerhaltung“ hinsichtlich Grinding und Grooving für den zuständigen FSV-Arbeitsausschuss entworfen. Der Textvorschlag beinhaltet die Beschreibung der optimierten Geometrie sowie Anforderungen für die Umsetzung.

## ABSTRACT

Sections with heavy traffic loads on the Austrian motorway network are preferably built as exposed aggregate concrete, which has beneficial noise properties. Older concrete sections were done using brushing. Concrete pavements are – if done properly – long lasting and require little maintenance. However, with increasing age, maintenance measures to rehabilitate in particular sufficient skid resistance are necessary. The Austrian regulation RVS 13.01.51 “Maintenance of Concrete Pavements” describes different maintenance measures. Among others, grinding and grooving are mentioned in the current version of the RVS, but no details on the implementation are given.

In recent research projects carried out in the USA and Germany, large reductions of noise emissions have been achieved with the combination of both grinding and grooving (so called “Next generation concrete surfaces”, NGCS). A positive effect on skid resistance, evenness, drainage and rolling resistance has been reported as well.

The aim of the project “Groove” was to provide and optimise the geometric properties of grinding and grooving surfaces in the laboratory and on trial sections in-situ. It considers both current construction types in Austria, exposed aggregate concrete and brushing. On two motorway sections, different grinding and grooving textures were applied and the development of the surface properties of noise emission, skid resistance and evenness were monitored over a period of 1 to 1.5 years. The increase in skid resistance achieved by the grinding is no longer present at the end of the observation period, while the improvement in longitudinal evenness is unchanged. The reduction of rolling noise achieved by the grinding was just as durable.

After compiling existing measurement results, a concept for the laboratory work was developed. Test specimens with different concretes were then produced in the laboratory and durability tests were carried out with regard to weather impact and traffic loads and compared to samples from the motorway. In addition, the robustness of different textures against a traffic load was examined. The laboratory results showed that sufficient durability of skid resistance on the test tracks was expected from the applied grinding texture. Also, in direct comparison to the exposed aggregate concrete surface, the different grinding textures showed an equal skid resistance behavior.

Finally, a text proposal for the extension of RVS “Maintenance of Concrete Pavements” regarding Grinding and Grooving was drafted for the responsible FSV working committee. The text suggestion includes the description of the optimized geometry as well as requirements for the implementation.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Aufgabenstellung</b> .....	<b>8</b>
1.1 Gesamtziel .....	8
1.2 Methodik des Vorgehens .....	9
1.3 Stand der Technik und Erkenntnisse aus Forschung und Straßenbaupraxis .....	12
<b>2 Bestandsaufnahme und Festlegung Untersuchungs-konzept</b> .....	<b>22</b>
2.1 Bestandsaufnahme.....	22
2.2 Festlegung Untersuchungskonzept.....	24
2.2.1 Griffigkeit .....	24
2.2.2 Ebenheit .....	25
2.2.3 Rollgeräusch.....	28
2.2.4 Textur .....	29
<b>3 Laboruntersuchungen</b> .....	<b>31</b>
3.1 Vorgehen.....	31
3.2 Betone .....	33
3.3 Grinding im Labor .....	35
3.4 Versuchsprogramm .....	36
3.4.1 Laborpaket 1 – Dauerhaftigkeit von Grindingoberflächen .....	36
3.4.2 Laborpaket 2 – Untersuchung der ersten Praxisstrecke.....	39
3.5 Bestimmung der Textureigenschaften.....	40
3.6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	43
3.6.1 Laborpaket 1 – Dauerhaftigkeit von Grindingoberflächen .....	43
3.6.1 Laborpaket 2 – Untersuchung der ersten Praxisstrecke.....	54
3.6.2 Zusammenfassung .....	63
<b>4 Umsetzung und messtechnische Begleitung Versuchsstrecken</b> .....	<b>64</b>
4.1 Vorgehen.....	64
4.2 Versuchsstrecke A01/A21 Knoten Steinhäusl.....	64
4.2.1 Allgemeines.....	64
4.2.2 Beschreibung der Grinding- und Groovingtexturen .....	66
4.2.3 Messung der Griffigkeit.....	66

4.2.4	Messung der Längsebenheit.....	71
4.2.5	Messung der Geräuschemission.....	73
4.2.6	Texturmessungen.....	78
4.3	Versuchsstrecke A10.....	80
4.3.1	Allgemeines.....	80
4.3.2	Beschreibung der Grindingtextur.....	80
4.3.3	Messung der Griffigkeit.....	81
4.3.4	Messung der Längsebenheit.....	82
4.3.5	Messung der Geräuschemission.....	83
4.3.6	Texturmessungen.....	85
<b>5</b>	<b>Kosten-Nutzen-Analyse und Lebenszyklusanalyse.....</b>	<b>86</b>
5.1	Einführung zur Kosten-Nutzen-Analyse und der Lebenszyklusanalyse.....	86
5.2	Kosten-Nutzen-Analyse.....	89
5.2.1	Allgemeines.....	89
5.2.2	Wirkungen von Grinding & Grooving auf den Straßenoberbau.....	89
5.2.2.1	Wirkung von Grinding & Grooving auf die Griffigkeit.....	89
5.2.2.2	Wirkung von Grinding & Grooving auf das Lärmverhalten.....	91
5.3	Praktische Anwendung Kosten-Nutzen-Analyse.....	94
5.3.1	Analyse Griffigkeit.....	95
5.3.2	Analyse Lärm.....	97
5.4	PMS-Implementierung.....	102
5.4.1	Überblick PMS der ASFINAG.....	102
5.4.2	Erweiterung der Systemkonfiguration VIAPMS-ASFINAG.....	104
<b>6</b>	<b>Erarbeitung Vorschlag für RVS 13.01.51.....</b>	<b>107</b>
6.1	Aktueller Stand der RVS 13.01.51.....	107
6.2	Richtlinien in Deutschland.....	107
6.2.1	Für Erhaltung/Bestand.....	107
6.2.2	Allgemein bzw. Neubau.....	111
6.3	Vorschlag für Texterweiterung der RVS 13.01.51.....	112
6.4	Anforderungen an Grindingoberflächen.....	114
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>115</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>118</b>
	<b>Anhänge.....</b>	<b>121</b>

# 1 AUFGABENSTELLUNG

## 1.1 Gesamtziel

Rund ein Drittel der gesamten ASINAG Netz ist als Betondecke ausgeführt, die anderen zwei Drittel aus Asphalt. Betondecken zeichnen sich bei ordnungsgemäßer Herstellung durch geringen Wartungsaufwand bei hoher Liegedauer aus. Hochbelasteten Abschnitte werden in Österreich seit den 1990ern ausschließlich in Waschbeton ausgeführt, der Vorteile in Zusammenhang mit Lärmentwicklung besitzt. Mit zunehmender Alter der Betondecke sind Erhaltungsmaßnahmen notwendig, insbesondere zur Wiederherstellung einer ausreichenden Griffigkeit. Schleifen („Grinding“) und Rillenschneiden („Grooving“) sind in der RVS 13.01.51 [1] beschrieben, aber nicht detailliert spezifiziert. Es gibt weder Angaben für die Geometrie der Grindingtextur, noch Empfehlungen für die Anwendung in der Praxis.

Ziel des Projektes ist eine Optimierung der geometrischen Eigenschaften von Grinding- und Groovingoberflächen sowohl im Labor als auch an Versuchsstrecken.

Am Anfang des Projektes steht eine Bestandsaufnahme bestehender Grinding- bzw. Grinding und Grooving-Strecken in Österreich. Im Labor werden Probekörper mit unterschiedlichen Texturgeometrien hergestellt und Untersuchungen der Dauerhaftigkeit hinsichtlich Witterungseinflüssen und Verkehrsbelastungen durchgeführt und mit Referenzgeometrien verglichen. Im Zusammenhang mit den Laborergebnissen wurden die optimierten Geometrien als Versuchsstrecken hergestellt. Hierzu wurde die Entwicklung der Oberflächeneigenschaften Lärmemission, Griffigkeit, Ebenheit, Rollwiderstand und Entwässerung über einen längeren Zeitraum beobachtet. Daraus werden Empfehlungen zur optimierten Bauweise abgeleitet. Abschließend wurde Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt und potenzielle Implementierung der Ergebnisse der Untersuchungen in das Lebenszyklusverfahren des Pavement Management Systems der ASFINAG (VIAPMSASFINAG) vorgeschlagen.

Als Ergebnis liegt am Ende des Projekts ein Textvorschlag für die RVS 13.01.51 (Erhaltung Betondecken), der die Verfahren Grinding und Grooving hinsichtlich Geometrie und Ausführung detailliert. Der Textvorschlag soll die Beschreibung der optimierten Geometrie sowie Empfehlungen für die Umsetzung beinhalten.

## 1.2 Methodik des Vorgehens

Eine graphische Darstellung des Projektverlaufs zeigt Abbildung 1.

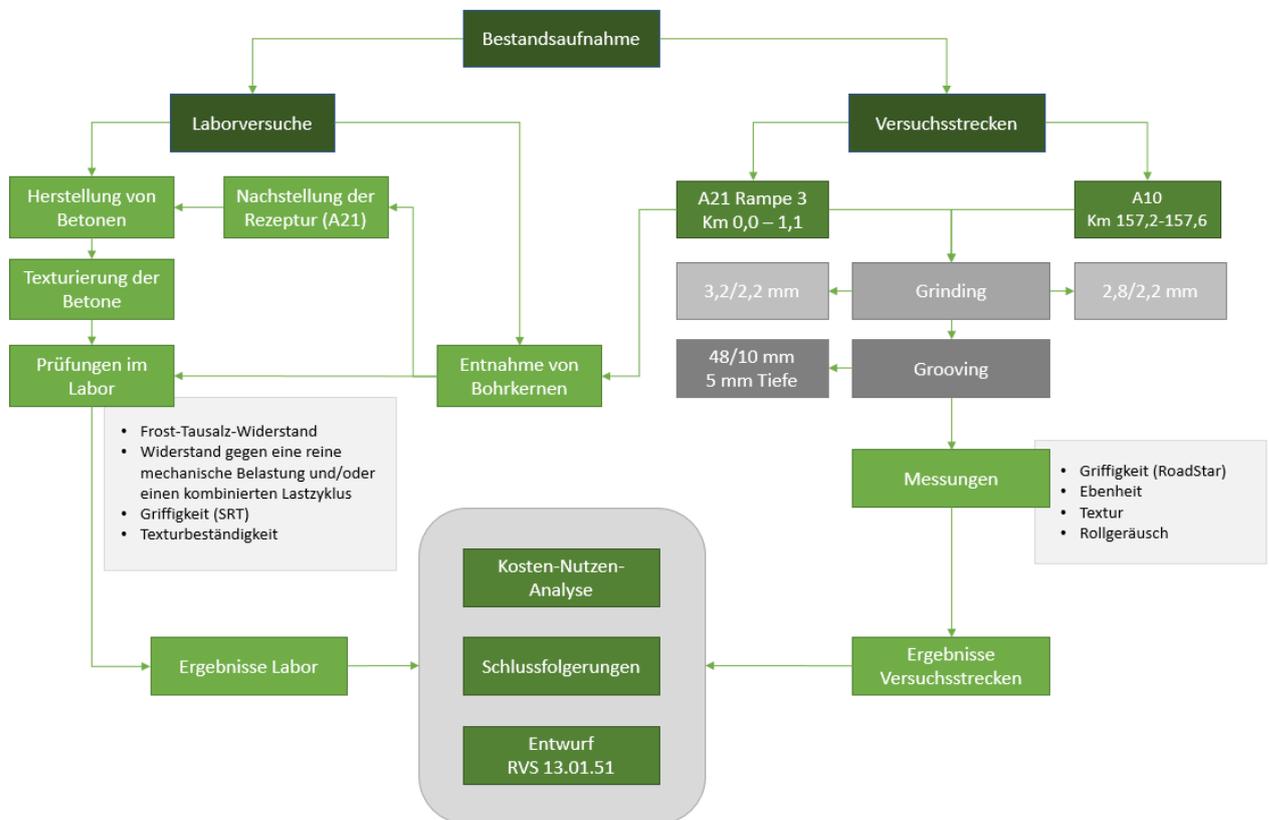


Abbildung 1: Projekt GROOVE Verlaufsschema

Das Projekt Groove startete mit einer Bestandsaufnahme der bereits bestehenden Grind- und Grooving-Strecken in Österreich sowie einer Ausarbeitung eines Labor- und In-Situ-Untersuchungs- bzw. Monitoringkonzepts. Eine Liste der derzeit vorhandenen Strecken in Österreich und die Gründe für die Herstellung sind im Detail in Kapitel 2 dieses Berichtes dargestellt. Ebenso wird ein Überblick über die Entwicklung der Griffigkeit auf denjenigen Strecken gegeben, auf denen Grinding als griffigkeitsverbessernde Maßnahme durchgeführt wurde.

Im Arbeitspaket 3 wurden die Laboruntersuchungen durchgeführt. Zwei Pakete wurden bearbeitet:

- Laborpaket 1: Parameterstudie zur Dauerhaftigkeit des Grindings in Abhängigkeit unterschiedlicher Gesteinskörnungen;
- Laborpaket 2: Untersuchung und labortechnische Nachstellung der Versuchsstrecke A01/A21 Knoten Steinhäusl.

Im ersten Teil der Untersuchungen wurden Betone unterschiedlicher Zusammensetzung hergestellt. Auf Grundlage der Erkenntnisse aus vergangenen Forschungsvorhaben wurden verschiedene Texturen ausgewählt. Es wurden Texturen mit und ohne Groovingrillen und auch die sogenannte Next Generation Concrete Surface (NGCS) aus den USA betrachtet. Nach der Texturierung der Proben im Labor wurde die Auswirkung einer Kombination aus mechanischer Belastung und Umwelteinwirkung betrachtet. Die Laborversuche im Laborpaket 1 umfassen Widerstand gegen mechanischen Angriff, Widerstand gegen Frost-Tau(salz)-Belastung und Widerstand gegen einen kombinierten Beanspruchungszyklus, bestehend aus einer mechanischen Belastung sowie einem Frost Tau(salz)- und Säureangriff, basierend auf Untersuchung von [17].

Ziel des zweiten Laborpakets war die Abschätzung der Griffigkeitsentwicklung auf der Versuchsstrecke A01/A21 bei unterschiedlichen Texturierungsvarianten und die Durchführung eines Vergleichs der Ergebnisse mit denen aus Laborpaket 1. Hierzu wurden Bohrkerne aus der rechten Fahrspur der Strecke entnommen und stufenweise mechanisch belastet. Das Griffigkeitsverhalten und die Änderung der Textur wurden auch untersucht. Die Laborversuche sind im Detail im Kapitel 3 dargestellt.

Im Rahmen des Projekts sind zwei Versuchstrecken gemeinsam mit ASFINAG bestimmt und untersucht:

- A01/A21 Knoten Steinhäusl Rampe 3 km 0,0 – km 1,1
- A10 Paternion, RFB Villach km 157,2 – km 157,6

Am Knoten Steinhäusl wurden Grinding (Segmentbreite/Segmentabstand 3,2/2,2 mm) und Grooving (48/10 mm und 5mm Tiefe) kombiniert bzw. Grinding alleine ausgeführt. Auf der A10 wurde nur Grinding (2,8/2,2 mm) ausgeführt. Auf beiden Versuchstrecken wurden Griffigkeit, Ebenheit, Textur und Rollgeräusch gemessen. Die Messungen erfolgten vor der Herstellung der Grindingtextur („Nullmessung“), unmittelbar danach und verteilt über die restliche Projektlaufzeit im Frühling und Herbst. Eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Grinding- bzw. Groovingtexturen sowie der Messergebnisse ist in Kapitel 4 vorgestellt.

Im Arbeitspaket 5 wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse von Grinding und Grooving durchgeführt sowie die Auswirkungen solcher Maßnahmen auf das Pavement Management System untersucht und dargestellt. Kapitel 5 beschreibt im Detail die Inhalte und Ergebnisse des Arbeitspaketes.

Den Abschluss des Projektes bilden im Arbeitspaket 6 die im Ausschreibungstext geforderte Erarbeitung eines Vorschlages zur Detaillierung der RVS 13.01.51. Dieser Entwurf ist im Zusammenhang mit dem derzeitigen Stand deutschen und österreichischen Richtlinien im Kapitel 6 dargestellt.

Die Schlussfolgerung der durchgeführten Laborversuche und Messungen auf den Versuchstrecken wurden im Kapitel 7 zusammengefasst.

### 1.3 Stand der Technik und Erkenntnisse aus Forschung und Straßenbaupraxis

Die nachfolgende Darstellung wurde aus [3] entnommen und adaptiert. Das Schleifen („Grinding“) ist eine der effektivsten Verfahren zur Erhaltung von Betondecken. Beim Schleifen schneiden die Sägeblätter, an deren Rändern sich diamantbesetzte Schleifsegmente befinden, wenige Millimeter tief eine definierte Textur in die Oberfläche. Grinding wird hauptsächlich zur Verbesserung der Oberflächentextur und der Verringerung des Geräuschpegels durchgeführt, ebenso um die Fahrqualität bzw. -komfort wiederherzustellen oder zu verbessern. Für die Verbesserung/Wiederherstellung der Ebenheit hat sich der Begriff „Bump Cutting“ etabliert.

Der Abstand der Sägeblätter wird über sog. Distanzscheiben (Spacer) eingestellt und wird für konventionelle Grindingtexturen so gewählt, dass die diamantbesetzten Schleifsegmente am Rand der Sägeblätter einen Abstand von rund 2 mm zueinander haben, vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3. Der Grindingvorgang erfolgt in Längsrichtung.

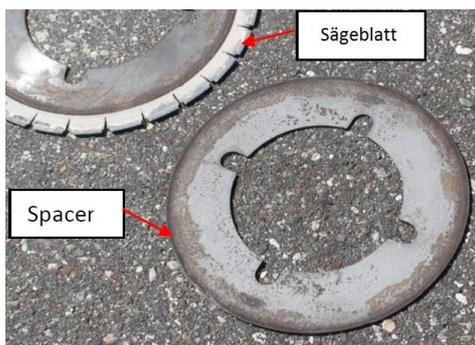


Abbildung 2: Sägeblätter und Distanzscheiben (Spacer)



Abbildung 3: Grindingwelle

Die Textur besteht aus Rillen und sog. Stegen. Die Breite der Rillen ergibt sich aus der Breite der Schleifsegmente. Der zwischen den Schleifsegmenten in der Textur verbleibende Beton wird als Steg bezeichnet, Abbildung 4.

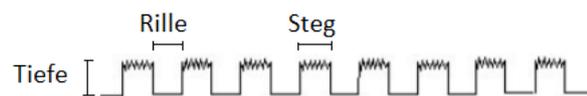


Abbildung 4: Links: Grindingtextur, rechts: schematische Darstellung

Grinding wurde erstmals im Jahr 1965 in Kalifornien eingesetzt auf einem damals 19 Jahre alten Abschnitt der Interstate 10 zur Beseitigung erheblicher Stufen. Im Jahr 1983 wurden Erhaltungsmaßnahmen auf dem gleichen Straßenabschnitt durchgeführt, einschließlich die Verwendung von zusätzlichem Grinding, um Ebenheit bzw. Fahrkomfort und Griffbarkeit wiederherzustellen. Im Jahr 1997 wurde dieser Belag zum dritten Mal nachgeschliffen, wobei auf dieser Strecke ein beträchtlicher LKW-Verkehr vorliegt (fast 2,25 Millionen ESAL<sup>1</sup>- pro Jahr auf der LKW-Spur). Je nach Betondicke kann das Verfahren also mehrfach angewandt werden.

Die Abmessungen der Rillen- und Stegbreite sowie Tiefe variieren in Abhängigkeit von dem für ein bestimmtes Projekt ausgewählten Blattabstand, der eine Funktion der Aggregathärte ist. Betonbeläge mit härteren Zuschlagstoffen (z. B. Granit) erfordern einen engeren Abstand zwischen den Blättern, um das härtere Gestein zu durchschneiden und das Abreißen der Stege unter Verkehr sicherzustellen, während Betonbeläge mit weicheren Gesteinskörnungen (z. B. Kalkstein oder Dolomit) etwas breitere Segmentbreiten aufnehmen können. Tabelle 1 fasst die typischen Abmessungen für Grinding in den USA zusammen.

**Tabelle 1: Typische Texturgeometrien für Grinding in den USA. Die etwas „krummen“ Werte ergeben sich aus der Umrechnung von Zoll auf mm. [3]**

	<b>Bereich</b>	<b>Härtere Gesteins- körnungen</b>	<b>Weichere Gesteinskörnungen</b>	<b>Ge-</b>
<b>Rillenbreite</b>	2.29 - 3.81 mm	2.29 - 3.81 mm	2.29 - 3.81 mm	
<b>Stegbreite</b>	1.78 - 3.25 mm	1.78 - 2.79 mm	2.29 - 3.25 mm	
<b>Tiefe</b>	1.00 – 3.00 mm	1.00 – 3.00 mm	1.00 – 3.00 mm	
<b>Anzahl Sägeblätter</b>	165 – 200 /m	175 – 200 /m	165 – 180 /m	

Die Verwendung von Stegbreite in Spezifikationen ist problematisch, da ihre Dimensionen von anderen Faktoren abhängen. Zum Beispiel beeinflussen die Breite des Sägeblattkerns, die Breite der befestigten Diamantsägeblattsegmente und die Breite der Distanzscheibe zwischen den Segmenten alle die Stegbreite. Dies ist in Abbildung 5 dargestellt und zeigt, wie sich die Sägeblattsegmente über die Breite des Sägeblattkerns hinaus erstrecken, und zeigt für dieses Beispiel auch, dass ein Sägeblattkern mit einer Breite von 2,67 mm und ein

<sup>1</sup> equivalent single axle load

Spacer mit einer Breite von 2,79 mm eine Stegbreite von 2,29 mm erzeugen. Andere Faktoren wie Unregelmäßigkeiten und Verschleiß der Sägeblätter, Maschineneinstellung, Bediener der Grindingmaschine sowie Schwierigkeiten an Ort und Stelle beeinflussen ebenfalls die Stegbreite [3].

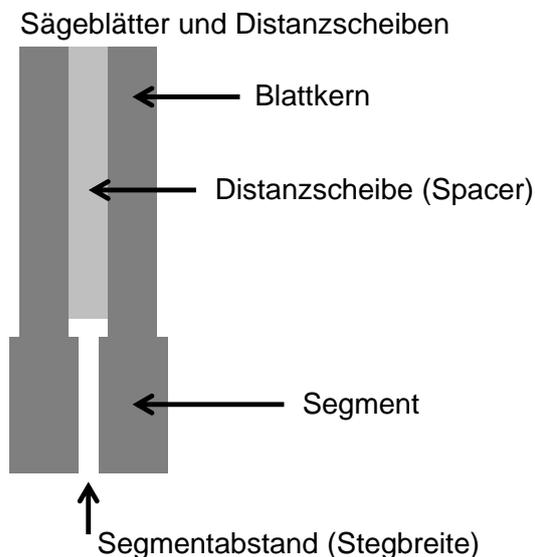


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Anordnung von Sägeblättern.

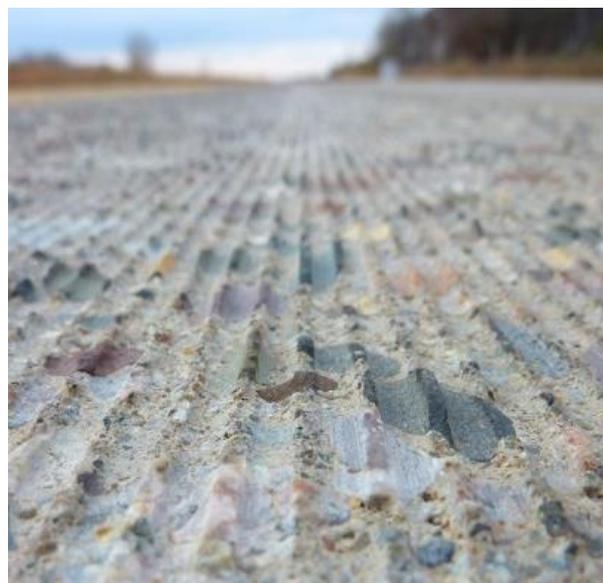


Abbildung 6: Grindtextur in der Testanlage MnROAD<sup>2</sup>

## Grooving

Die gleiche Technik und Ausrüstung wird für das Rillenschneiden („Grooving“) verwendet. Während der Zweck des Schleifens („Grinding“) hauptsächlich darin besteht, die Fahrbahnqualität und -beschaffenheit wiederherzustellen, wird Grooving allgemein verwendet, um Aquaplaning und Unfälle zu reduzieren, indem Abflussskanäle für Oberflächenwasser bereitgestellt werden. Der Unterschied zwischen Schleifen und Rillenschneiden liegt in dem Abstand zwischen den Sägeblättern, der beim Rillenschneiden etwa 6-mal höher ist, vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8 sowie in der Schnitttiefe.

Grooving wurde in den 1960er-Jahren von der NASA entwickelt, um Aquaplaning auf Start- und Landebahnen zu reduzieren.

<sup>2</sup> <http://www.thetranstecgroup.com/fhwa-mndot-investigate-pavement-surfaces-effect-fuel-consumption/>

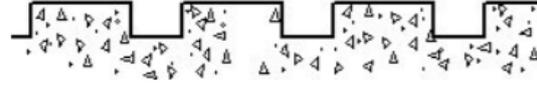


Abbildung 7: Links: Groovingtextur<sup>3</sup>, rechts: schematische Darstellung

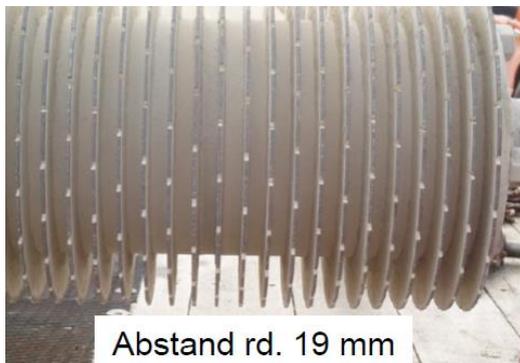


Abbildung 8: Groovingwelle



Abbildung 9: Groovingtextur<sup>4</sup>

Grooving von Betondecken wurde seit den 1960er Jahren in den USA durchgeführt, um zusätzliches Entwässerungspotenzial zur Verfügung zu stellen und die Aquaplaninggefahr auf nassen Belag zu reduzieren. Es kann quer oder längs zur Fahrtrichtung durchgeführt werden. Grooving in Querrichtung findet man vor allem auf Flughäfen auf Start- und Landebahnen und ist zwischenzeitlich weltweit eine Standardbauweise. Aus Lärmgründen bzw. wegen des aufwendigen Herstellungsprozess (hoher Zeitaufwand bzw. Einschränkungen des Verkehrsflusses auf benachbarten Fahrstreifen) wird auf Straßen nur längsgerichtetes Grooving angewendet. Grooving in Längsrichtung wird häufig auf Autobahnen eingesetzt und häufig als lokale Maßnahme in Abschnitten, denen es bei Starkregen zu Problemen gekommen ist, wie Querneigungsnulldurchgängen, Kurven, Ausfahrtsrampen, Brücken und Knotenästen [3].

<sup>3</sup> Otto Alte-Teigeler GmbH

<sup>4</sup> <https://www.nasa.gov/offices/oct/40-years-of-nasa-spinoff/safety-grooving>

## Next generation Concrete Surface (NGCS)

Die nachfolgende Darstellung der Entwicklung der NGCS und NGCS Lite wurde aus [4] entnommen und adaptiert. Nachdem Straßenlärm auch in den USA immer mehr zu einem Problem der Lebensqualität wurde und die vorherrschende Betonstruktur in den USA die wenig lärmoptimierten Querrillen (transverse tining) sind (Abbildung 10 und Abbildung 11), begann im Jahr 2004 die American Concrete Pavement Association (ACPA) mit der Entwicklung einer strategische Anstrengung, um die Lärmprobleme besser zu verstehen und neue und bestehende Betonstrukturen zu verbessern. Die ACPA benötigte finanzielle Unterstützung für die Umsetzung ihres Plans und erhielt ab 2005 großzügige Unterstützung von der amerikanischen Zementindustrie.



**Abbildung 10: Transverse tining auf Interstate 45 in Houston<sup>5</sup>**



**Abbildung 11: Erstellung von transverse tining in Chicago, Illinois.<sup>6</sup>**

Mit dieser finanziellen Unterstützung führte die ACPA ab dem Jahr 2005 ein dreijähriges Projekt durch, um die Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn zu untersuchen. Die ACPA hatte die Purdue University (eine im Bereich der Ingenieurwissenschaften sehr angesehene Universität in West Lafayette, Indiana) beauftragt, um sowohl bestehende Straßen als auch neu errichtete Betonoberflächen zu untersuchen. Zusätzlich wurde der Einfluss von Querrillen auf den Geräuschpegel untersucht. ACPA konnte mit Unterstützung der International Grooving and Grinding Association (IGGA) verschiedene Faktoren untersuchen, die das Grinding beeinflussen und schließlich eine neue Struktur entwickeln, die als Next Generation Concrete Surface (NGCS) bezeichnet wurde. Die NGCS-Textur wurde durch Untersuchungen an Purdues Tyre Pavement Test Apparatus (TPTA) entwickelt. Verschiedene Betonprobekörper wurden im TPTA befestigt (Abbildung 12) und mit einer speziellen

<sup>5</sup> <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/637.2.pdf>

<sup>6</sup> [https://www.gomaco.com/Resources/pressreleases/pressreleases\\_skewedtining.html](https://www.gomaco.com/Resources/pressreleases/pressreleases_skewedtining.html)

Grindingvorrichtung texturiert (Abbildung 13). Bei der Untersuchung wurden unterschiedliche Wellenbesätze der Grindingvorrichtung unter Variation der Segmentbreite und der Distanzscheibenbreite verwendet.



Abbildung 12: Versuchsstand (TPTA) [3]



Abbildung 13: Grindingvorrichtung [3]

Das Forschungsgelände MnROAD des Departments of Transportation in Minnesota wurde als Testfeld für unterschiedliche Grindingoberflächen benutzt. Die NGCS wurde in einem oder in zwei Arbeitsgänge hergestellt. Für die Herstellung in einem Gang wurde einen Wellenbesatz aus Schneidescheiben mit unterschiedlichen Durchmesser benutzt (Abbildung 14).

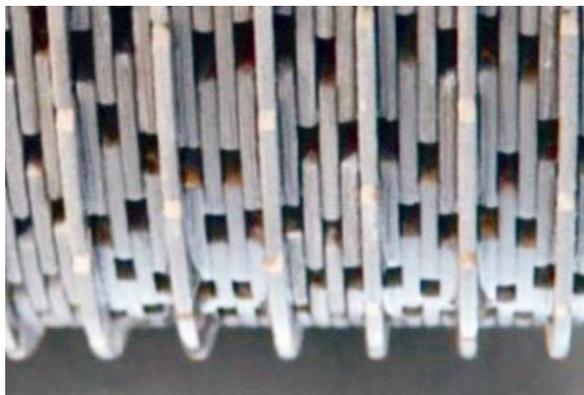


Abbildung 14: Grindingwelle für NGCS (in einem Arbeitsgang) [IGGA, 2014]



Abbildung 15: NGCS Textur [IGGA, 2014]

Bei der Herstellung in zwei Arbeitsgänge wird zuerst die Grindingtextur und danach die Groovingtextur hergestellt. Die beide Verfahren führen zum gleichen Ergebnis (Abbildung 15).



**Abbildung 16: links: Konventionelle Grindingoberfläche, rechts: Next Generation Concrete Surface (NGCS) [Scofield, 2014]**

### **Next generation Concrete Surface LITE (NGCS LITE)**

Während der NGCS-Entwicklung an der Purdue University wurde beobachtet, dass durch die Verbesserung der Mikrotextur der Geräuschpegel reduziert werden kann. Obwohl zu diesem Zeitpunkt noch nicht bewiesen, bestand die Annahme, dass die verbesserte Mikrotextur auf den gebrochenen Stegen auch die Griffigkeit der NGCS-Oberfläche verbessern. Wenn die Mikrotextur verbessert wird, würde dies einen großen Vorteil für die NGCS-Textur bedeuten. Ein solches Verfahren würde eine erneuerbare Textur ermöglichen, die weniger teuer ist als CDG-Texturen (conventional diamond grinding texture), da der Materialabtrag sehr gering ist. Für das Verfahren wurden abgenutzte Sägeblätter mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet und die Distanzscheiben auf 0,05 Zoll (0,127 cm) geändert wurden (für NGCS wurden Distanzscheiben von 0,03 Zoll (0,076 cm) benutzt. Im Oktober/November 2008 wurde der Testabschnitt auf I-94 WB bei MnROADs erstellt. Die Textur wurde später als NGCS LITE bezeichnet (Abbildung 17).

Die NGCS LITE-Oberfläche wurde entwickelt, um zusätzliche Mikrotextur auf vorhandenen NGCS-Oberflächen bereitzustellen. Bei der großen Fläche der NGCS-Oberfläche wurde angenommen, dass der Texturverschleiß geringer ist als auf CDG-Oberflächen. Somit sollte es im Vergleich zu CDG eine längere Lebensdauer aufweisen. Mit dem Aufkommen der NGCS LITE-Oberfläche würde sie eine leicht erneuerbare Oberfläche bieten, die in weniger Zeit und Kosten „aufgefrischt“ werden kann als eine CDG-Oberfläche. Es wird sehr wenig Material entfernt, um diese Oberfläche zu erzeugen, was eine wesentlich schnellere Operation ermöglicht.



**Abbildung 17: Next generation Concrete Surface LITE (NGCS Lite) MnROAD Cell 37 [4]**

Leider war der erste Versuch, die NGCS LITE-Oberfläche zu erstellen, nicht erfolgreich. Der Lärm war höher als der bei NGCS-Oberfläche. Zusätzliche Untersuchungen waren notwendig.

Durch die Jahre wurden einige Straßenabschnitte mit NGCS Lite gebaut, aber alle zeigen höhere Lärmwerte im Vergleich zu dem NGCS-Texture beim OBSI Messungen. Da bisher nur eine begrenzte Bewertung und Untersuchung dieser Textur stattgefunden hat, ist der Grund für die erhöhten Geräuschpegel nicht bekannt.

### **Akustische Messungen**

Während der Entwicklung der NGCS-Textur zwischen 2005 und 2009 konnten signifikante Verbesserungen bei der Geräuschemessung in der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn erzielt werden. In die USA wird das von General Motors entwickelte On-Board-Sound-Intensity-Verfahren (OBSI) verwendet ([4] und Abbildung 19). Das Verfahren ist im Ablauf ähnlich der in Europa gängigen Close-Proximity Method (CPX, Abbildung 18), deutlichster Unterschied zwischen den Messmethoden ist die Messung der Schallintensität (OBSI) im Vergleich zur Messung des Schalldruckpegels (CPX). Bei beiden Verfahren wird die Schallabstrahlung eines Messreifen (ASTM SRTT) im Nahfeld bei konstanter Messgeschwindigkeit erfasst und mehrere Korrekturverfahren (z.B. Temperatur, Abweichung von der Ziel-Messgeschwindigkeit) angewandt. Umrechnungsverfahren zwischen den Methoden existieren und weisen eine geringe Unsicherheit auf [13].



Abbildung 18: CPX-Messung

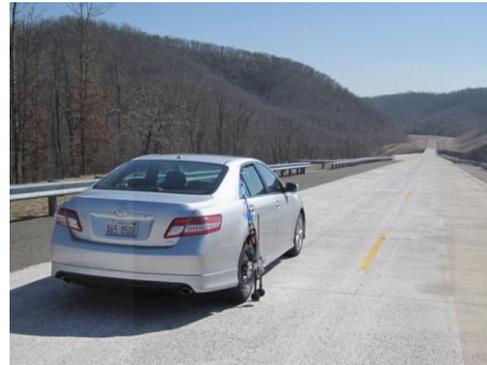


Abbildung 19: OBSI Messung im Freifeld<sup>7</sup>

In verschiedenen US-amerikanischen Bundesstaaten wurden daraufhin NGCS-Strecken ausgeführt und untersucht [5] - [12]. Neben der Verbesserung der akustischen Eigenschaften wurden auch eine Verbesserung der Griffigkeit bzw. der Längsebenheit beobachtet, ebenso eine Verbesserung der Entwässerung bzw. eine Verringerung der Aquaplaninggefahr. NGCS wurden in den USA bevorzugt als Sanierungsmaßnahme auf bestehenden Betonfahrbahnen angewendet.

### Griffigkeitsmessungen

In den USA ist das blockierte Rad (ASTM E274 *Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire*) die vorherrschende Methode für Griffigkeitsmessungen (vgl. Abbildung 20). Abbildung 20 zeigt auch die zwei Typen der eingesetzten Messreifen: glatt und gerillt. Die meisten Staaten verwenden den gerillten Reifen. Das Messverfahren beruht auf einer Griffigkeitsmessung mit blockiertem Reifen. Bei Zustandserfassungen der Griffigkeit auf Netzebene – ebenso wie auf Projektebene – erfolgt die Messung nicht *kontinuierlich* wie in Europa üblich, sondern es wird pro gefahrene Meile eine Messung („Spotmessung“, ein Blockiervorgang) durchgeführt. An die Messung anschließend folgt eine Strecke mit freilaufendem Rad bis nach weiteren einer Meile die nächste Blockierung bzw. Messung erfolgt.

<sup>7</sup> <https://hmmh.com/projects/board-sound-intensity-measurements/>

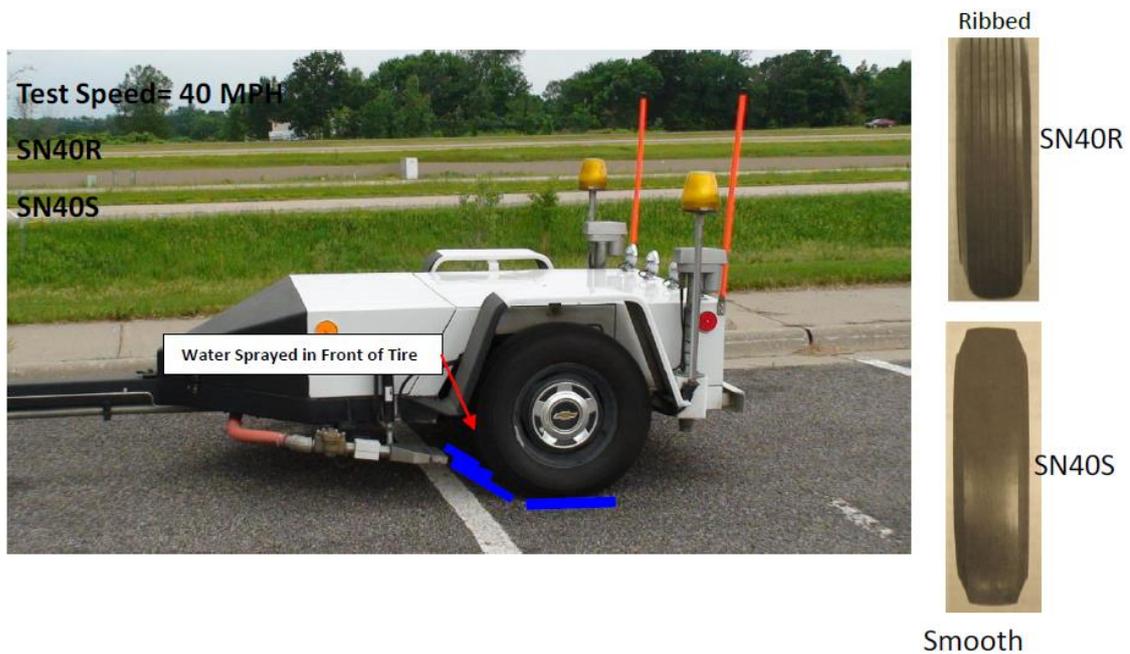


Abbildung 20: Griffigkeitsmessgerät gem. ASTM E274 in den USA [4]

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich sowohl die Griffigkeits-Messmethode als auch die Rollgeräusch-Messmethode in den USA und Europa unterschiedlich ist. Ergebnisse aus den USA lassen sich somit nicht direkt mit europäischen oder österreichischen Ergebnissen vergleichen. Es existierten auch keine Umrechnungsformeln zur Konvertierung der Griffigkeits-Messwerte. Somit sind die Ergebnisse aus den USA eher qualitativ interessant, im Sinne von Vorher-Nachher-Untersuchungen bzw. einer zeitlichen Entwicklung. Bei den Verbesserungspotenzialen bei Lärm und Griffigkeit in der (US-amerikanischen) Literatur sollten auch die grundsätzlich unterschiedlichen Bauweisen von Betondecken (in den USA typischerweise *transverse Tining*, in Österreich/Deutschland Waschbeton) in die Bewertung miteinbezogen werden.

## 2 BESTANDSAUFNAHME UND FESTLEGUNG UNTERSUCHUNGS-KONZEPT

### 2.1 Bestandsaufnahme

Zu Beginn des Projektes erfolgte eine Bestandsaufnahme der bereits in Österreich vorhandenen Autobahn-Abschnitte, auf denen Grindingmaßnahmen durchgeführt wurden.

Tabelle 2 zeigt die Liste bzw. Karte der Abschnitte, auf denen Grindingmaßnahmen durchgeführt wurden.

**Tabelle 2: Bestand der Abschnitte mit Grindingtextur am A+S-Netz.**

Nr	Autobahn	RFB	km von	km bis	Länge [m]	Ziel der Maßnahme	Datum
1	A01	Salzburg	68,3	69,4	1100	Griffigkeitsverbesserung	15.07.2015
2	A01	Salzburg	71,2	75,4	4200	Griffigkeitsverbesserung	15.07.2015
3	A01	Salzburg	146,6	149	2400	Griffigkeitsverbesserung	15.07.2015
4	A01	Wien	154,6	154,3	300	Griffigkeitsverbesserung	15.07.2015
5	A01	Wien	141,8	141,5	300	Griffigkeitsverbesserung	15.07.2015
6	A01	Wien	124,8	124,3	500	Griffigkeitsverbesserung	15.07.2015
7**	A10	Villach	132,0	132,5	k.A.	Griffigkeitsverbesserung	15.06.2006
8	A01	Salzburg	37,59	40,71	3120	Ebenheitsverbesserung/ Bump Cutting/Lärm	05.11.2015
9	A04	Wien	11,37	11,05	320	Bump Cutting	11.04.2014
10*	A09	Spielfeld	174,8	178,32	3520	Griffigkeitsverbesserung im Projekt MAGMA	19.11.2014
11*	A09	Kn. Voralpenkreuz	184,84	181,82	3020	Griffigkeitsverbesserung im Projekt MAGMA	19.11.2014

\* Plabutschunnel

\*\* Einhausung Trebesing, eigene Beobachtung

Bei den Strecken Nr. 1 bis 6 wurden in der Messkampagne 2014 am rechten Fahrstreifen Bereiche mit geringer Griffigkeit festgestellt. Diese wurden im darauffolgenden Jahr behandelt. Die Strecke 8 wurde zur Verbesserung der Ebenheit und Lärmreduktion gegründet, ebenso die Strecke 9 im Bereich Flughafen Wien. Die Strecken 10 und 11 wurden im Rahmen des Projektes MAGMA [14], in dem es um den Vergleich verschiedener griffigkeitsverbessernder Maßnahmen ging, gegründet. Die Strecke 7 wurde 2005 in der Einhausung Trebesing hergestellt. Über deren derzeitigen Zustand ist nichts bekannt.

Im Folgenden ist die Entwicklung der Griffigkeit über die Zeit auf den Bestandsstrecken dargestellt, bei denen die Grinding-Maßnahme zur Griffigkeitsverbesserung durchgeführt wurde. Abbildung 22 zeigt den zeitlichen Verlauf jeweils vor der Maßnahme, unmittelbar

nach dem Grinding und drei Jahre später, im Jahr 2018. Es sind jeweils Mittelwerte über die gesamte Strecke dargestellt. Die Daten zur Messung vor der Maßnahme stammen aus der netzweiten Zustandserfassung des ersten Fahrstreifens aus dem Jahr 2014, die Messungen unmittelbar nach dem Grinding wurden im Rahmen von Abnahmeprüfungen 2015 durchgeführt. Die Daten für 2018 wurden der netzweiten Zustandserfassung 2018 des ersten Fahrstreifens entnommen. Die mit „\*“ gekennzeichneten Strecken wurden im Projekt MAGMA hergestellt, bei diesen wurde bereits im Jahr 2014 gegrindet, der Beobachtungszeitraum ist also um ein Jahr länger. In Abbildung 23 ist die Änderung der Griffigkeit durch die Maßnahme sowie das  $\Delta\mu$  drei Jahre nach der Maßnahme (vier Jahre für Strecken 10 und 11) dargestellt. Es zeigt sich ein uneinheitliches Bild. Einerseits fällt die Erhöhung der Griffigkeit durch das Grinding sehr unterschiedlich aus (Erhöhung um  $+\Delta\mu \sim 0,02$  bis  $0,24$ ), andererseits bleibt die erzielte Erhöhung nur bei zwei Strecken erhalten (bei einer davon sogar eine leichte Steigerung der Griffigkeit). Bei fünf Strecken stellt sich nach drei bzw. vier Jahren das Ausgangsniveau wieder ein.

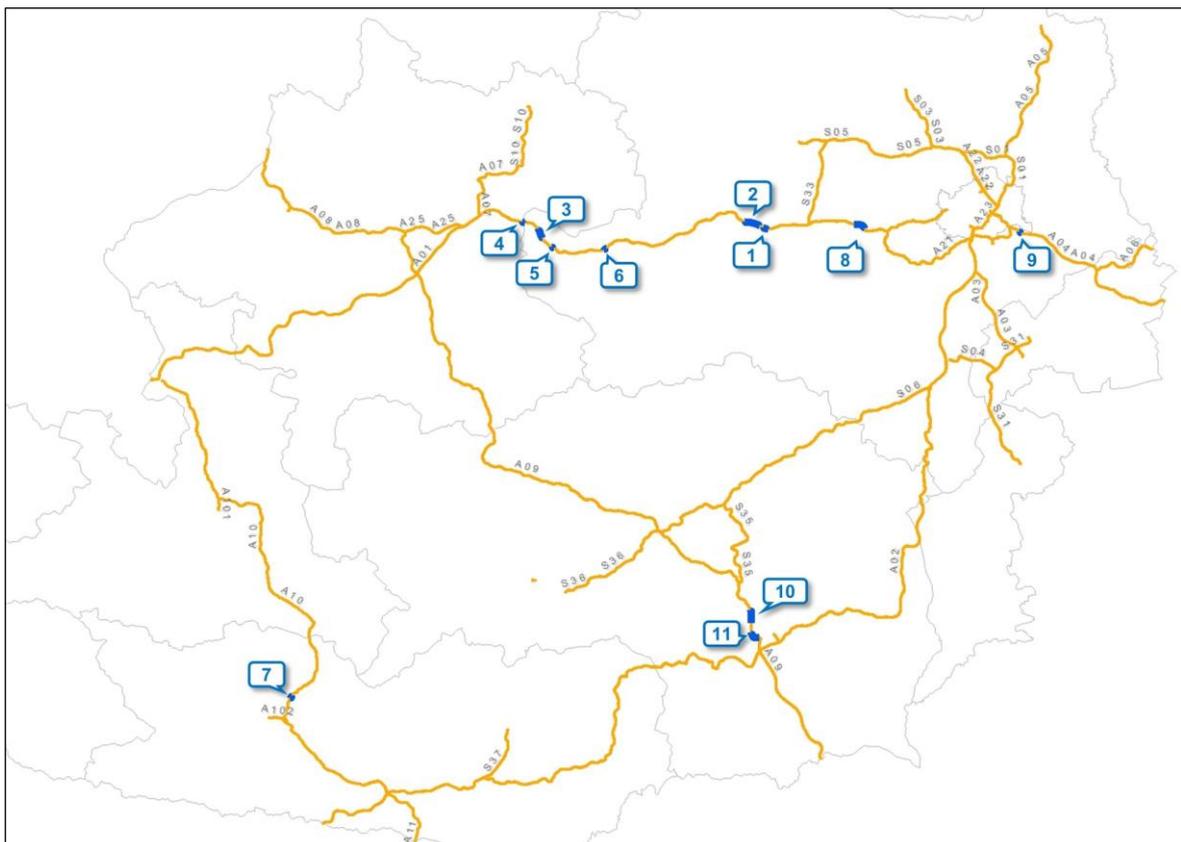


Abbildung 21: Übersicht über die Lage der Grinding-Bestandsstrecken am A+S-Netz. Zur Nummerierung siehe Tabelle 2.

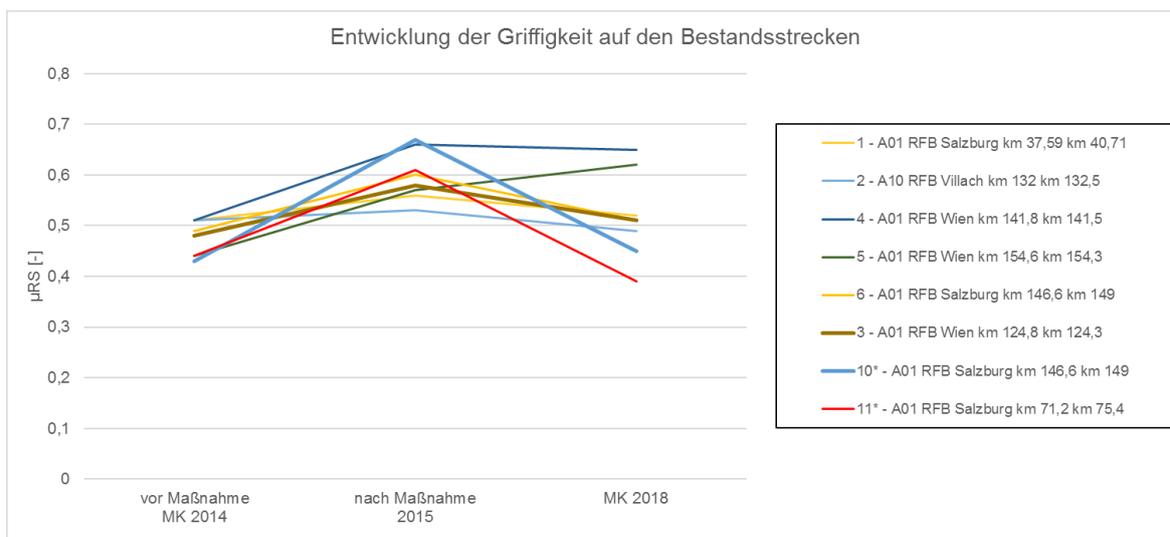


Abbildung 22: Entwicklung der Griffigkeit auf den gegründeten Bestandsstrecken. Beiden mit \* gekennzeichneten Strecken 10 und 11 wurde das Grinding bereits 2014 durchgeführt.

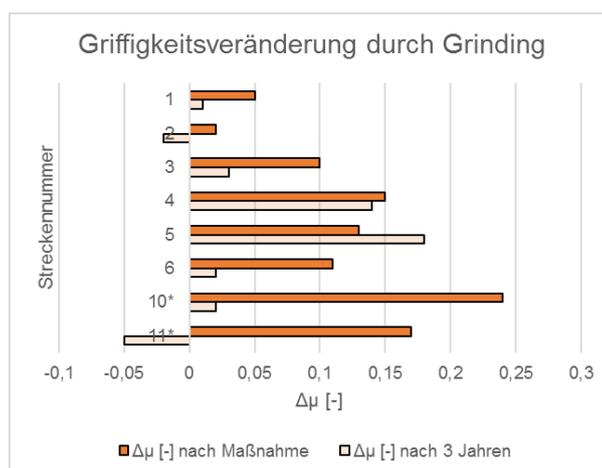


Abbildung 23: Griffigkeitsveränderung durch Grinding und nach drei Jahren Liegedauer. Bei den Strecken mit \* beträgt die Liegedauer bereits vier Jahre.

## 2.2 Festlegung Untersuchungskonzept

Im Rahmen des Projektes sollten Grinding-Versuchsstrecken auf Bestands-Betondecken hergestellt und über die Projektlaufzeit gemonitort werden. Zu Beginn wurden die Messverfahren festgelegt. Es folgt eine Beschreibung der eingesetzten Messverfahren.

### 2.2.1 Griffigkeit

Die Fahrbahngriffigkeit wurde mit dem Messfahrzeug RoadSTAR (vgl. Abbildung 24) gem. RVS 11.06.67 bzw. ÖNORM B3581 erhoben. Die Messungen erfolgten bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h und 18 % Schlupf in Längsrichtung bei Aufbringungen eines

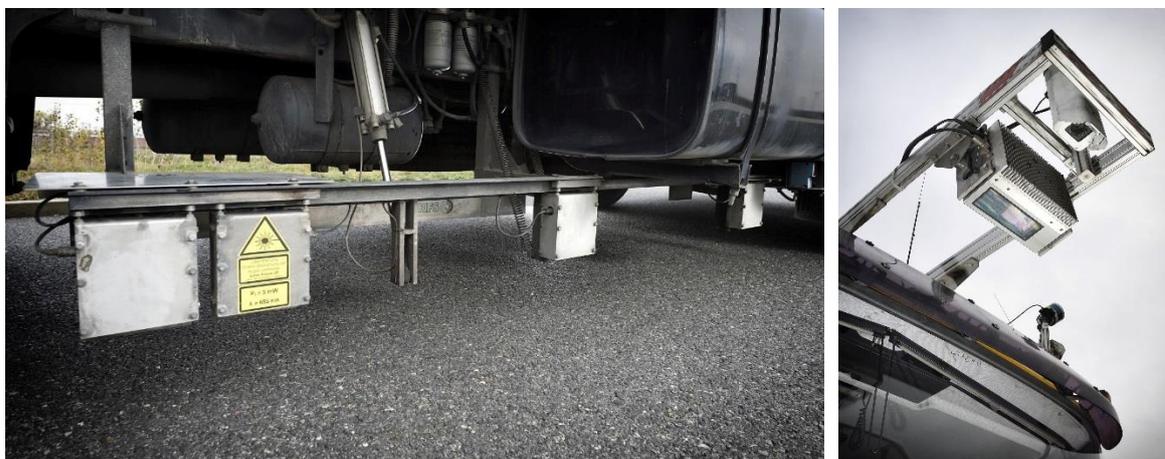
Wasserfilms mit einer Dicke von 0,5 mm. Die vertikale Last betrug 3500 N. Der eingesetzte Messreifen ist „PIARC ribbed“ 165/75R14.



**Abbildung 24: Messfahrzeug RoadSTAR zur Erfassung von Griffigkeit, Längs- und Querebenheit.**

### 2.2.2 Ebenheit

Für die Erfassung der Längsebenheit in der rechten Radspur des RoadSTAR wurde der 2 m lange Messbalken nach dem sogenannten HRM-Prinzip verwendet. Für die Erfassung der Querebenheit wurde der an der Front des RoadSTAR befindliche Profil-Scanner Fraunhofer PPS verwendet. Damit werden in der Breite 4 m erfasst. Die Messsysteme sind in Abbildung 25 dargestellt.



**Abbildung 25: Längsebenheits-Messsystem (links), Querebenheits-Messsystem (rechts).**

Der HRM-Balken basiert auf dem Prinzip der Mehrfachabtastung, derselbe Punkt der Straße wird bei der Überfahrt nacheinander von den vier Lasersensoren erfasst. Die Spotgröße der Lasersensoren beträgt ca. 2 mm. Daraus ergeben sich bei Grindingoberflächen in der weiteren Folge Schwierigkeiten bei der Berechnung des Längsprofils. Durch die kleine Spotgröße kann bei feinen Grindingtexturen nicht mehr sichergestellt werden, dass alle vier Lasersensoren dieselbe Stelle treffen – die Lasersensoren messen entweder auf dem Steg oder in der Rille, was zu Distanzunterschieden von 1 bis 3 mm führen kann. Die genaue Örtlichkeit der Messung kann bei der Überfahrt mit 60 km/h nicht vorhergesagt, bzw. kann nicht sichergestellt werden, dass die Wiederabtastung jeweils am exakt gleichen Punkt am Steg oder in der Rille geschieht. Die daraus ermittelten Profile beinhalten dann Teile der Textur, was zu unerwünschten Effekten in der Kennwertberechnung von z.B. IRI oder WLP führt.

Im Projekt wurde deshalb eine Möglichkeit zur Erfassung der Längsprofile mittels des Querebenheits-Laserscanners entwickelt. Der Scanner verfügt einerseits über eine größere Spotgröße als die Triangulations-Sensoren, andererseits werden die Höhen von mehreren Punkten gemittelt. Die Bestimmung der Höhe berücksichtigt Punkte im Umkreis von 10 cm und gewichtet die Höhen invers zur Distanz. Damit werden die Effekte der Textur eliminiert. Die Höhe des Scanners selbst wird mittels Positionierungssystem nachgeführt. Aus der Kombination der beiden Systeme lässt sich so ein Längsprofil berechnen, das anschließend so wie die Profile aus dem HRM-Balken gefiltert wird und auf dem die Berechnung der Längsebenheitskennwerte aufsetzt.

Zur Veranschaulichung zeigt die folgende Abbildung 26 zwei Längsprofile. Das Längsprofil in Rot wurde vor der Grindingmaßnahme mit dem HRM-Balken erfasst, das zweite in Blau nach der Grindingmaßnahme. Auf den ersten 400 m führen sie über Waschbeton, danach, ab km 157,2 für 400 m über die Grindingstrecke. Der Einfluss der Textur auf das Längsprofil (in blau) ist augenfällig. Es entsteht eine Art Sägezahnmuster, das in weiterer Folge zu fälschlich überhöhten Längsebenheitskennwerten im Grindingabschnitt führt. Dies wird für den gleichen Streckenabschnitt in Abbildung 27 gezeigt. Während die ersten acht 50 m-IRI-Werte der beiden Messungen nahezu identisch sind, weichen die hinteren acht 50 m-IRI-Werte deutlich ab, im Grindingbereich sind die Werte deutlich überhöht.

Für die Auswertungen der Längsebenheit der Grindingabschnitte wurden im Projekt nur Längsprofile, die mit dem Laserscanner erzeugt wurden, herangezogen.

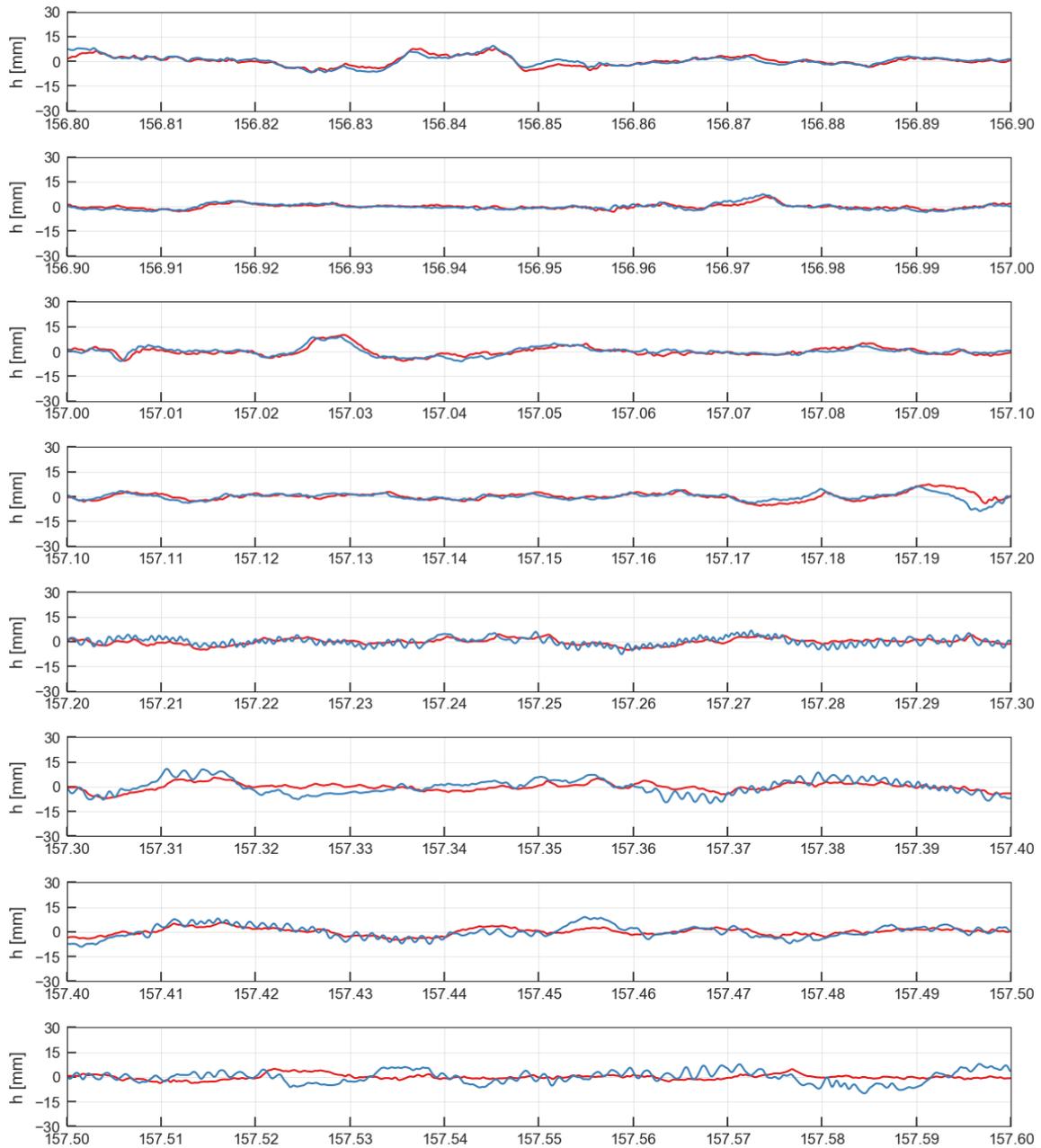


Abbildung 26: Vergleich der HRM-Längsprofile (rot: vor der Grindingmaßnahme, blau: nach der Grindingmaßnahme auf den hinteren 400 m, ab km 157,2).

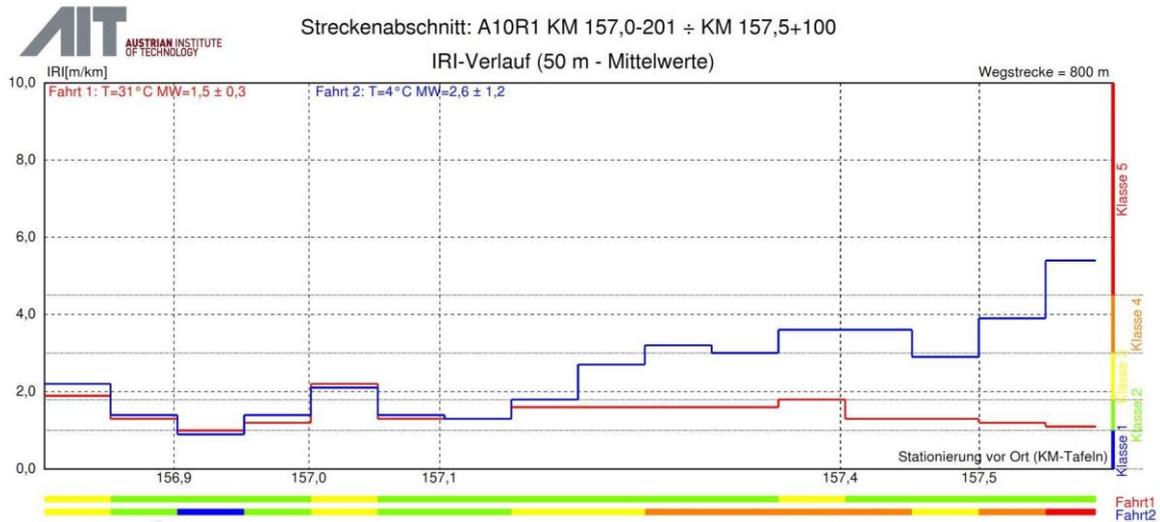


Abbildung 27: Längsebenheitskennwert IRI, basierend auf HRM-Profilen vor (rote Linie) und nach (blaue Linie) der Grindingmaßnahme auf den hinteren 400 m, ab km 157,2.

### 2.2.3 Rollgeräusch

Zur Bewertung der akustischen Eigenschaften der Fahrbahndecke wurde das Messverfahren nach ISO 11819-2 (CPX-Methode) angewandt. Als Messreifen wurde dabei der ASTM SRTT (Reifen P1) verwendet, die Messungen wurden mit 80 und 100 km/h durchgeführt.

Ebenfalls wurden Vorbeifahrtsmessungen nach ISO 11819-1 (Statistical Pass-By (SPB)-Methode) vorgenommen, die durch kontrollierte Vorbeifahrtsmessungen (Controlled Pass-By (CPB)-Methode) mit einem PKW (Typ Volvo XC60) unterstützt wurden.

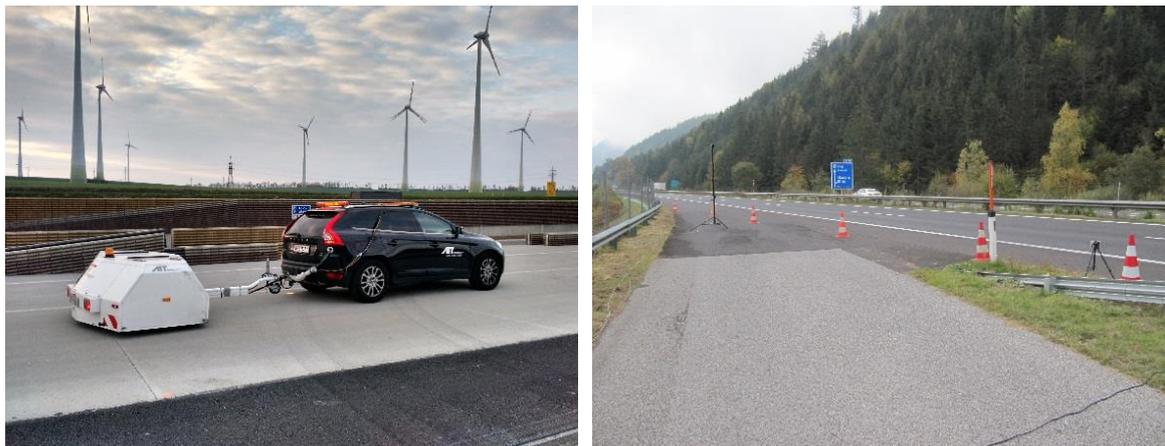


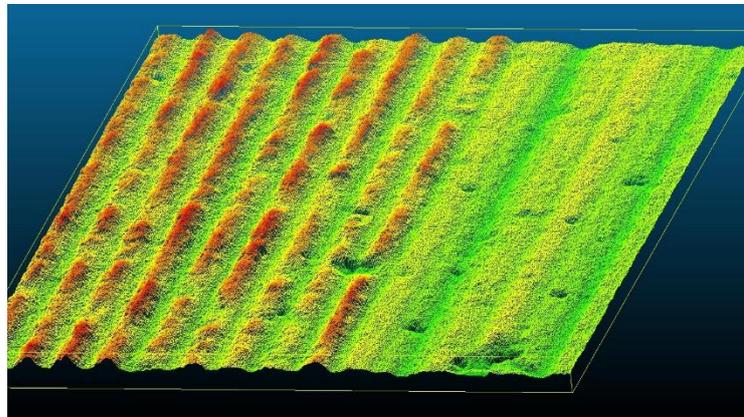
Abbildung 28: CPX-Messmethode (links), SPB-Messungen (rechts).

## 2.2.4 Textur

Aufgrund der anisotropen Struktur der Grinding-Oberflächen muss zur korrekten Messung der Oberflächentextur ein 3D-Texturscanner verwendet werden. Hierbei wird auf ein Stereo-Video-System auf Basis von Hochgeschwindigkeitszeilenkameras zurückgegriffen, das eine Auflösung von ca. 75 µm aufweist. Der Scanner ist in Abbildung 29 gezeigt, ein Beispiel einer damit aufgenommenen Oberflächentextur ist in Abbildung 30 dargestellt. Der Scanner ist am CPX-Anhänger in der Rollspur montiert, um synchrone Messungen der Oberflächentextur und des Rollgeräusches zu ermöglichen.



**Abbildung 29: 3D-Texturscanner**



**Abbildung 30: Beispiel einer Grinding-Textur**

Zur Bewertung der Oberflächeneigenschaften der Fahrbahndecke können nun auf Basis der 3D-Textur verschiedene Kennwerte berechnet werden, wobei sich diese Größen teilweise an den Standard-Parametersätzen von Linientexturmessungen orientieren. Darüber hinaus können weitere Kennwerte wie z.B. die Anzahl der lokalen Maxima und Minima sowie die Höhenverteilungen dieser Extrema berechnet werden. Als statistisch relevanter Parameter mit großen Auswirkungen auf das Rollgeräusch hat sich hier nach einer Modellierung die Anzahl der lokalen Maxima innerhalb eines 3D-Texturpatches herausgestellt [15]. Abbildung 31 zeigt dazu zwei Beispiel-Texturpatches mit den identifizierten lokalen Maxima (rote Markierungen). Man erkennt dabei, dass die angesprochene Anzahl der lokalen Maxima als Güte-Maß für die Homogenität der Stege der Grinding-Textur interpretiert werden kann, da wenige lokale Maxima auf stark strukturierte Stege mit teilweise auftretenden Stegbrüchen hinweisen.

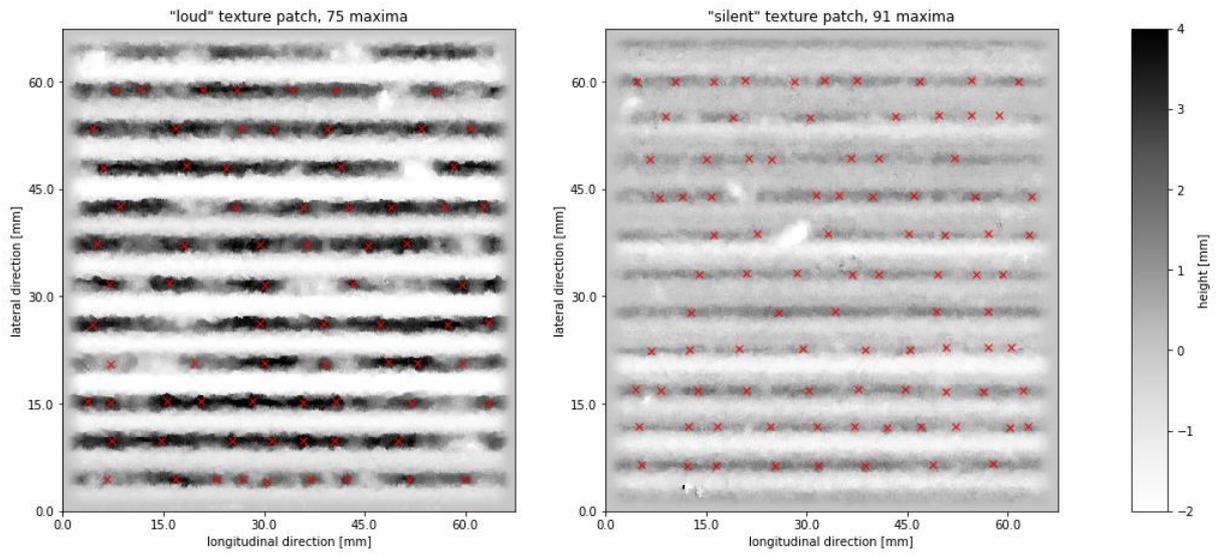


Abbildung 31: Beispiele der Anzahl lokaler Maxima innerhalb eines 3D-Texturpatches

### 3 LABORUNTERSUCHUNGEN

#### 3.1 Vorgehen

Im Labor wurde die Dauerhaftigkeit der Grindingoberflächen gegen äußere Belastung untersucht. Die Laboruntersuchungen gliederten sich in die folgenden zwei Bereiche:

1. Parameterstudie zur Dauerhaftigkeit des Grindings in Abhängigkeit unterschiedlicher Gesteinskörnungen
2. Untersuchung und labortechnische Nachstellung der ersten Praxisstrecke

Ziel des ersten Laborpakets war es, durch den Einsatz unterschiedlicher für Straßenbetone geeigneter Gesteinskörnungen eine allgemeine Aussage über die Dauerhaftigkeit einer üblichen Grindingtextur zu erhalten. Hierzu wurden Proben im Labor hergestellt und mit einer Kombination aus mechanischer Belastung und Umwelteinwirkung (Frost-Tausalz- und Säureangriff), mit einer reinen Frost-Tausalz-Belastung sowie mit einer stufenweise mechanischen Belastung beaufschlagt. Dabei wurden die einwirkungsbedingten Änderungen im Griffigkeitsverhalten sowie für die rein mechanische Belastung die Veränderung der Mikrotextur aufgezeichnet.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden neben Laboruntersuchungen zusätzlich bereits bestehende Autobahnabschnitte mit einer Grindingtextur versehen. Details können Abschnitt 4.2 auf Seite 64 entnommen werden. Daher galt es im zweiten Laborpaket, die Griffigkeitsentwicklung der ersten Praxisstrecke bei unterschiedlichen Texturierungsvarianten abzuschätzen und diese in Relation zum ersten Laborpaket zu setzen. Hierzu wurden im Anschluss an das Grinding, jedoch vor Verkehrsfreigabe, Bohrkerne aus der rechten Fahrspur der Strecke entnommen und stufenweise mechanisch belastet. Im Anschluss wurden die Bohrkerne im Labor rückseitig mit einer Grindingtextur versehen und erneut belastet, um einen direkten Vergleich der beiden Grindingverfahren zu ermöglichen. Zudem wurde die Strecke im Labor nachgestellt, mit unterschiedlichen Grinding- und Grinding/Grooving-Texturen versehen und einer möglichst intensiven mechanischen Belastung unterzogen. Auch hier wurden das Griffigkeitsverhalten und die Änderung der Textur untersucht. Das Untersuchungsschema ist in Abbildung 32 dargestellt.

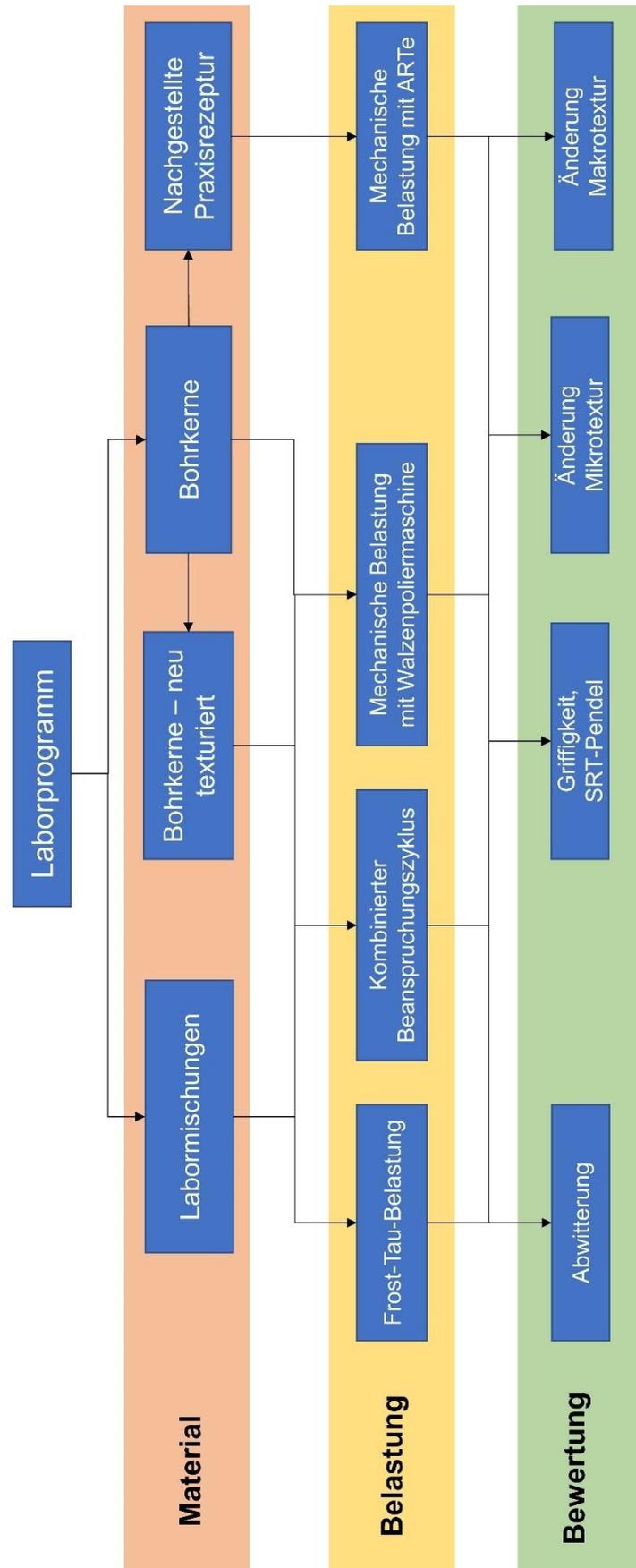


Abbildung 32: Ablaufschema des Laborprogramms

### 3.2 Betone

Die Festlegung der Betonzusammensetzung für die Laboruntersuchungen zur Dauerhaftigkeit der Grundingstruktur (Parameterstudie 1, siehe 3.4.1, Seite 36) erfolgte entsprechend der RVS 08.17.02 [18] mit den Vorgaben für Oberbeton. In Tabelle 3 ist die gewählte Rezeptur dargestellt. Die verwendeten Sieblinien können dem Anhang entnommen werden. Die Betone wurden abhängig von ihrer Gesteinskörnung als GK G (Granit), GK L (Granitoid/Lamprophyr), GK B (Basalt) und GK K (Naturkies).

**Tabelle 3: Betonzusammensetzung**

Zementart	-	CEM II B-S 42,5N
Zementgehalt	[kg/m <sup>3</sup> ]	400
w/z-Wert	-	0,40
Zusatzstoffe	-	-
GK ≤ 4 mm	-	Natursand
GK 4-22 mm	-	Variabel: Granit, Granitoid/Lamprophyr, Basalt, Naturkies
LP-Gehalt	[Vol.-%]	5 ± 1

Die Betone wurden in einem 120 Liter Zwangsmischer mit dem Mischregime nach Tabelle 4 gemischt.

**Tabelle 4: Mischregime**

Vorgang	Dauer [s]	Zeit ab Wasserzugabe [s]
Vormischen der trockenen Bestandteile	60	-
Wasserzugabe und Zugabe des Luftporenmittels unter Mischen	30	0 - 30
Mischen	90	30 - 120

Die Mischungen wurden so eingestellt, dass sie die Anforderungen an den Luftporengehalt, gemessen mit dem Luftporentopf von 4,0%-6,0% einhalten. Die Ergebnisse der Frischbetonuntersuchungen sind in Tabelle 5 gegeben.

**Tabelle 5: Frischbetoneigenschaften**

Gesteinsart	LP-Gehalt [Vol.-%]	Verdichtungsmaß [-]	Frischbetonrohddichte [kg/dm <sup>3</sup> ]
Granit	4,7	1,44	2,32
Granitoid/Lamprophyr	5,6	1,42	2,37
Basalt	5,4	1,46	2,40
Kies	6,0	1,23	2,31

Je Mischungen wurden 3 Würfel (150x150x150 mm<sup>3</sup>) zur Bestimmung der Druckfestigkeit, 3 Zylinder (100 mm Durchmesser, 200 mm Höhe) zur Bestimmung der Spaltzugfestigkeit und je acht Platten (300x300x40 mm<sup>3</sup>) zur späteren Texturierung hergestellt. Die Proben wurden nach rund 24 h ausgeschalt. Die Proben der Festigkeitsprüfung lagerten bis zu einem Alter von 7 Tagen im Wasserbad bei 20°C und anschließend bis zum Prüfzeitpunkt bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchte. Die Platten wurden bis zur Texturierung mit einem Jutetuch nachbehandelt und lagerten nach der Texturierung bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchte.

Ab einem Alter von 14 Tagen wurden die Proben mit einer Grindingtextur versehen und anschließend auf Platten der Maße 150x150x40 mm<sup>3</sup> geviertelt. Im Alter von 28 Tagen wurden die Druck- und Spaltzugfestigkeiten nach DIN EN 12390-3 [19] bzw. AL Sp-Beton [20] bestimmt. Die Ergebnisse können Tabelle 6 entnommen werden.

**Tabelle 6: Betonfestigkeiten**

Gesteinsart	Druckfestigkeit ( $\sigma$ ) [MPa]	Spaltzugfestigkeit ( $\sigma$ ) [MPa]
Granit	66,1 (1,0)	5,2 (0,5)
Granitoid/Lamprophyr	57,1 (3,5)	5,4 (0,3)
Basalt	44,3 (4,6)	5,1 (0,3)
Kies	39,4 (5,2)	4,4 (0,2)

Die Anforderung an die Spaltzugfestigkeit (3,2 MPa) für Oberbetone nach RVS 08.17.02 sind somit für alle vier Gesteinskörnungen erfüllt.

Für die Nachstellung der ersten Praxisstrecke war zunächst geplant, die damalige Rezeptur im Labor nachzubilden. Es konnten jedoch keine ausreichenden Angaben zur Mischungszusammensetzung ermittelt werden. Daher wurde die Gesteinskörnung des Oberbetons anhand von aus Bohrkernen der Praxisstrecke hergestellten Dünnschliffen charakterisiert.

Die Untersuchungen ergaben eine Zusammensetzung aus quarzitischem Brechsand und einer groben Gesteinskörnung aus Diabas. Da im näheren Umkreis um die Praxisstrecke kein Diabaswerk auffindbar war, musste auf ein über 250 km (Luftlinie) entferntes Werk zurückgegriffen werden.

Da keine sonstigen Erkenntnisse vorlagen, wurde ein Beton entsprechend den Vorgaben der RVS 08.17.02 für Waschbetone konzipiert. Die verwendete Sieblinie ist dem Anhang zu entnehmen.

Um das Grinding auf der Strecke möglichst exakt nachstellen zu können, wurden die Proben nach der Herstellung mit einem Kombinationsmittel nachbehandelt und ca. 16 Stunden nach der Wasserzugabe auf eine praxisübliche Texturtiefe von 0,7 mm händisch ausgebürstet.

Zusätzlich wurden der Strecke nach dem Grindingvorgang Proben entnommen und diese im Labor untersucht. Damit ein direkter Vergleich zwischen Praxis und Laborgrinding durchgeführt werden kann, wurden die Unterseiten der Praxiskerne zusätzlich im Labor texturiert.

### **3.3 Grinding im Labor**

Die Umsetzung der Grindingtexturen im Labor erfolgte mit einer Laborgrindingmaschine (Abbildung 33). Diese setzt sich aus einem höhenverstellbaren Sägekopf und einem fahrbaren Tisch zusammen. Der Sägekopf wird mit praxisüblichen Sägeblättern (Ø 350 mm) und Distanzscheiben (Ø 200 mm) bis zu einer Breite von 30 mm bestückt. Sie wird mit einem Elektromotor mit 2200 Watt auf 2800 U/min angetrieben. Durch zehntelmillimetergenaue Höheneinstellung des Sägekopfs lässt sich die gewünschte Frästiefe exakt und reproduzierbar einstellen. Auch die horizontale Verschiebung senkrecht zur Schleifrichtung lässt sich zehntelmillimetergenau einstellen, um somit den Einfluss des horizontalen Versatzes der Welle zu minimieren. Der Vortrieb in Schleifrichtung erfolgt mit einer handbetriebenen Kurbelwelle.



Abbildung 33: Laborgrindingmaschine

### 3.4 Versuchsprogramm

#### 3.4.1 Laborkpaket 1 – Dauerhaftigkeit von Grindingoberflächen

Für das Grinding wurden Sägeblätter mit einer Segmentbreite von 3,2 mm und, abhängig von der Textur, variierende Distanzscheiben verwendet. Die eingesetzten Texturen mit ihrem zugehörigen Laborkpaket sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 aufgeführt.

**Tabelle 7: Texturparameter**

Bezeichnung	Standard Grinding (G)	Grinding/Grooving (G/G)	„Next Generation Concrete Surface“ (NGCS)
	[mm]	[mm]	[mm]
Grinding (Rillen-/Stegbreite)	3,2/2,2	3,2/2,2	3,2/1,1
Grooving (Rillen-/Stegbreite)	-	3,2/14,0	3,2/14,0

**Tabelle 8: Zuordnung der Grindingtexturen zu Laboruntersuchungen**

	G	G/G	NGCS
Laborpaket 1	X	-	-
Laborpaket 2 – nachgestellte Praxisstrecke	X	X	X
Laborpaket 2 – Praxisstrecke	X	-	-

Das Laborpaket 1 gliedert sich in die Bereiche Widerstand gegen mechanischen Angriff, Widerstand gegen Frost-Tau(salz)-Belastung und Widerstand gegen einen kombinierten Beanspruchungszyklus, bestehend aus einer mechanischen Belastung sowie einem Frost-Tau(salz)- und Säureangriff, basierend auf Untersuchung von [17].

Der Widerstand gegen einen mechanischen Angriff wurde durch stufenweises Polieren mit einer Walzenpoliermaschine (Abbildung 34) untersucht. Diese besteht aus einer Steuereinheit, einer horizontalen Probenführung und einer vertikal beweglichen, gefedert gelagerten Poliereinheit. Als Poliermaterial wird eine Lamellenrolle mit zwischenliegendem Poliervlies verwendet. Die Poliermaschine lässt sich mit einer Drehzahl von 1000 bis 3500 Umdrehungen pro Minute betreiben. Zur flächigen Polierung der Probe wird die Poliermaschine auf der Probe aufgesetzt und durch die Probenführung mit einem konstanten Vorschub zwischen 0 und 20 mm/s auf der Probe entlang geführt.



**Abbildung 34: Walzenpoliermaschine**

Ziel der Untersuchungen war es, durch eine wiederholte mäßige mechanische Belastung, eine stufenweise Belastung der Probe zu erreichen und damit eine Abschätzung über den zeitlichen Verlauf der Griffigkeit zu ermitteln. Hierzu wurden je Gesteinsart drei Proben nach

0, 1, 2 und 5 Belastungsdurchgängen mit den Belastungsparametern entsprechend Tabelle 8 untersucht.

**Tabelle 9 Polierparameter für eine reine mechanische Beanspruchung mit der Walzenpoliermaschine**

Anpressweg	2 mm
Vorschubgeschwindigkeit	2 mm/s
Drehzahl	1100 U/min

Um den Widerstand gegen einen Frost-Tau(salz)-Angriff zu ermitteln, wurden je Gesteinsart vier Proben einem Slabtest in Anlehnung an die ONR 23033:2010-09-01 [21] durchgeführt. Um den Widerstand der Texturierung festzustellen wurde, entgegen dem standardisierten Verfahren die mit dem Grinding texturierte Oberfläche belastet. Zusätzlich wurden die Proben erst ab einem Alter von 56 Tagen geprüft, um sicher zu stellen, dass die primäre Festigkeitsentwicklung vollständig abgeschlossen ist.

Der Widerstand gegen einen kombinierten Zyklus aus mechanischer Belastung sowie einer Umweltbelastung bestehend aus Frost/Taumittel-Angriff und Säureangriff wurde durch einen wechselnden Beanspruchungszyklus entsprechend Abbildung 35 untersucht.

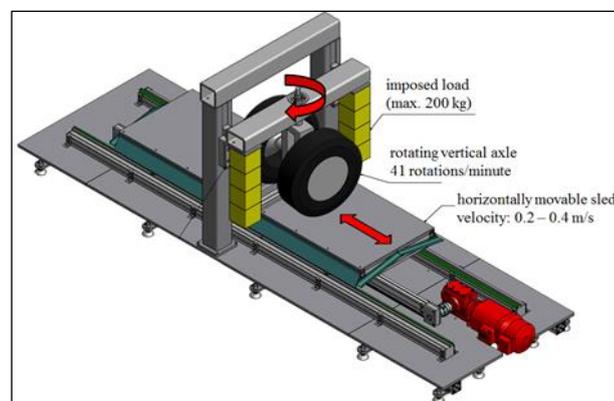


**Abbildung 35 Ablauf des kombinierten Beanspruchungszyklus**

Die mechanische Beanspruchung erfolgte auch hier mit der Walzenpoliermaschine, jedoch wurde hier eine stärkere Belastung durch Steigerung der Drehzahl auf 1500 U/min erreicht, die übrigen Parameter entsprachen Tabelle 9. Im Anschluss an die erste mechanische Belastung wurde die Textur für eine Stunde in einer gepufferten Essigsäure bei einem konstanten pH-Wert von  $4,5 \pm 0,1$  in Anlehnung an das Prüfverfahren von [21] gelagert. Nach einer weiteren mechanischen Belastung wurden die Proben für sechs Frost-Tau-Wechsel (FTW) in Anlehnung an das CDF-Verfahren nach DIN CEN/TS 12390-9 [23] und im Anschluss ein abschließendes weiteres Mal mechanisch beansprucht. Es wurden je Gesteinsart vier Platten geprüft

### 3.4.2 Laborpaket 2 – Untersuchung der ersten Praxisstrecke

Auch das Versuchsprogramm im Laborpaket 2 gliederte sich in zwei Teilabschnitte. Im ersten Bereich wurde die Praxisstrecke nach dem Grindingvorgang beprobt und die Bohrkerne zusätzlich auf der Unterseite der Proben mit einem Laborgrinding versehen, um eine Abschätzung bezüglich der unterschiedlichen Texturausbildung zwischen Labor und Praxis zu erhalten. Sowohl die Praxisbohrkerne als auch die nachtexturierten Proben wurden mit einer reinen mechanischen Belastung entsprechend Laborpaket 1 (Abschnitt 3.4.1) belastet. Für den zweiten Teilabschnitt wurden die, mit der nachgestellten Rezeptur, im Labor hergestellten Proben ebenfalls stufenweise mechanisch belastet, dies erfolgte jedoch mit dem Aachener Raveling Tester (ARTE, Abbildung 36).



**Abbildung 36: Schemazeichnung des Aachener Raveling Tester<sup>8</sup>**

Bei dem ARTE handelt es sich um eine Vorrichtung, bei der Probeplatten des zu untersuchenden Betons durch eine Überlagerung von Translations- und Rotationsbewegungen auf Schub beansprucht werden. Die Probe ist hierbei in einem horizontal, linear beweglichen Schlitten eingespannt und wird durch zwei handelsüblichen Autoreifen, die um eine Achse rotieren, belastet. Um die Intensität der Belastung einzustellen, lässt sich der Reifeninnendruck und die Anpresskraft der Reifen variieren. Für eine weitere Intensitätssteigerung kann zusätzlich ein Poliermittel-Wasser-Gemisch zugegeben werden. Die eingesetzten Einstellungsparameter können Tabelle 10 entnommen werden. Diese wurden in Anlehnung an das PSV-Verfahren (DIN EN 1097-8) [24] festgelegt und bereits im Rahmen des Forschungsprojekts FE 08.0220 [27] der BAST erprobt.

<sup>8</sup> ISAC, RWTH Aachen

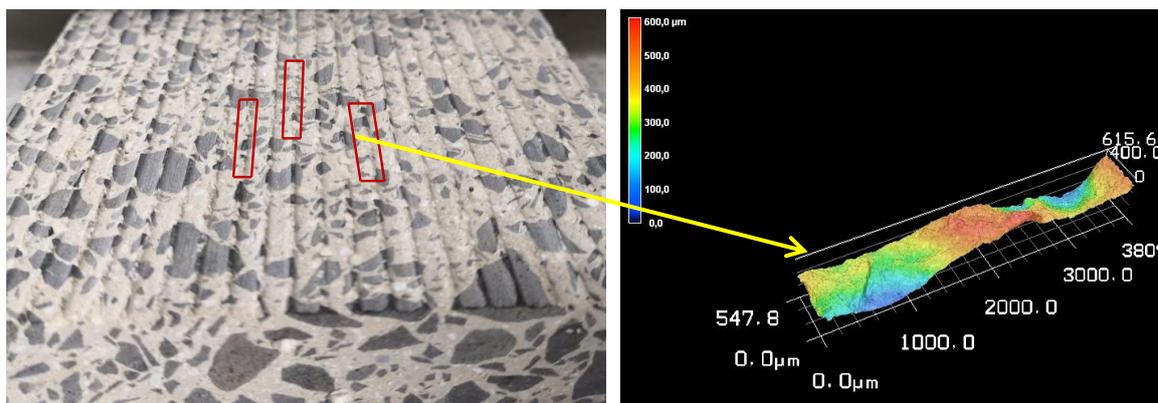
**Tabelle 10: Parameter der ARTe**

Reifen	Reifenmodell	Vanco 8, 165/75R14 C 8PR 97/95 R
		TL
	Reifeninnendruck	2 bar
Auflast	Umdrehungsgeschwindigkeit	41 U/min (entspricht 1,2 m/s)
	-	400 kg
Poliermittel	Poliermittelart	Quarzsand WF 31, mittlere Korngröße 0,42 mm
	Poliermittel-Wasser-Verhältnis	1:1
	Zufuhr rate (Poliermittel)	27±7 g/min
Schlitten- bewegung	-	9 pro min (Hin & Rück)

Die mechanische Belastung durch den ARTe stellt durch seine ungerichtete Schubbelastung eine Extrembelastung für eine gerichtete Textur, wie dem Grinding, dar. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Griffigkeitsentwicklung in Abhängigkeit der Belastung nicht dem in der Praxis anzutreffenden entspricht. Es gibt jedoch Hinweise, wie robust die gesamte Textur ist und damit wie hoch die Gefahr von Stegversagen einzuschätzen ist.

### 3.5 Bestimmung der Textureigenschaften

Die Textureigenschaften wurden im Rahmen des Forschungsprojekts mithilfe von Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel im unbelasteten und nach jeder Belastungsstufe charakterisiert. Diese erfolgten im Labor bei 20°C und wurden entsprechend der deutschen technischen Prüfvorschrift für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil Messverfahren SRT (TP-Griff SRT) [29] in Texturrichtung durchgeführt. Zusätzlich wurden bei den Untersuchungen mit reiner mechanischer Belastung durch die Walzenpoliermaschine die Griffigkeitsuntersuchungen durch ein Lasermikroskop ergänzt, um die Veränderung der Mikrorauheit auf der Stegfläche durch die Belastung zu verfolgen. Die Messparameter lassen sich Tabelle 11 entnehmen. Hierzu wurden je Probe drei Stege innerhalb des Belastungs- und Pendelbereiches gewählt und deren Oberfläche im Anschluss an jede Belastungsstufe auf einer Länge von 2 cm aufgenommen, siehe Abbildung 37.

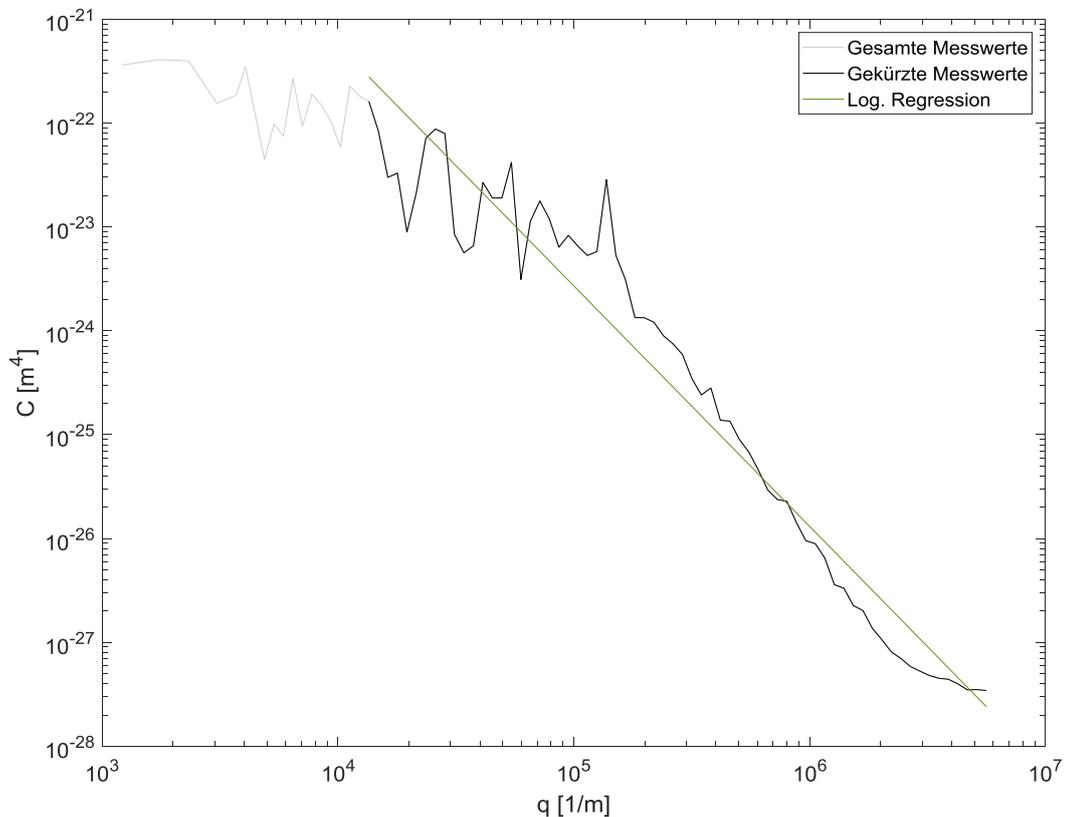


**Abbildung 37: Untersuchungsbereich mit dem Lasermikroskop links) und Abschnitt einer Lasermessung (rechts)**

Die Messungen erfolgten mit einem Objektiv mit 20-facher Vergrößerung bei einem Messpunktabstand von 1.417,4 nm. Zur Auswertung der Daten wurde ein Messbereich von  $170 \times 19.844 \mu\text{m}^2$  (120x14.000 Messpunkte) entlang des Steges entnommen und mittels des 2D „top surface roughness power spectrum“ (2D-PSD)<sup>9</sup> [30] ausgewertet. Hierbei wird die flächige Spektraldichte einer Oberfläche in Abhängigkeit ihrer Höhe bestimmt. Das bedeutet, dass lediglich die Höhen der Oberfläche betrachtet werden, bei denen es voraussichtlich zu einem Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahn kommen würde. Da die Eindringtiefe des Reifens von einer Vielzahl von Faktoren (bspw. Reifendruck, Radlast und Geschwindigkeit) abhängt, wurden für die Auswertung pauschal die obersten 5% der Messwerte zusätzlich 200  $\mu\text{m}$  Tiefe verwendet. Die Verwendung des 95%-Quantils dient hierbei der Berücksichtigung unregelmäßig verteilter Texturspitzen, die den Ansatz einer flächigen Belastung einschränken würde. Da bei niedrigeren Wellenlängen ( $\lambda$ ) der Abstand zwischen den betrachteten Wellenlängen und deren Amplituden sinkt, wird um eine gleichmäßige Verteilung der Spektraldichte (C) zu erreichen diese im doppeltlogarithmischen Maßstab mit C über q ( $q=2 \cdot \pi/\lambda$ ) dargestellt. Da die Daten für die einzelnen Wellenlängen starke Schwankungen bei einer eindeutigen Tendenz aufweisen, wird eine Betrachtung der Absolutwerte der einzelnen Wellenlängen im 2D-PSD als nicht zielführend angesehen und lediglich die aus den Daten ermittelte logarithmische Regression der Mikrotextur (Wellenlänge  $\leq 500 \mu\text{m}$ ) bewertet (vgl. Abbildung 38). Für die Bewertung der Mikrotextur werden zwei Parameter herangezogen. Zum einen wird aus der Steigung der Regression das Verhältnis

<sup>9</sup> Copyright © 2016, Mona M. Kanafi

von „grober“ zu „feiner“ (bis bzw. ab  $2 \cdot 10^5$ ) Mikrotextrur betrachtet, zum anderen kann über die Höhe der Werte auf die Ausprägung der Textur geschlossen werden.



**Abbildung 38 Vorgehen zur Anpassung der Spektraldichtemessungen zur besseren Vergleichbarkeit**

**Tabelle 11 Messeinstellungen des Lasermikroskops**

Mikroskoptyp	Lasermikroskop
Objektiv	20x
Punktabstand	1.417,4 nm
Messfeldlänge	~2 cm
Messfeldbreite	544 $\mu\text{m}$
Auswertlänge	19.844 $\mu\text{m}$
Auswertbreite	170 $\mu\text{m}$

Für die Untersuchungen der nachgestellten Praxisstrecke wurde aufgrund der stärkeren mechanischen Beanspruchung und den dadurch zu erwartenden Materialverlusten im Makrotextrur-Bereich die mittlere Texturtiefe nach DIN EN ISO 13473-1 [25] bestimmt. Hierzu

wurde ein kreisender Lasersensor mit einer Kreisbahn von 200 mm bei einer Auflösung von 30 µm in der Horizontalen und 0,3 µm in der Vertikalen verwendet. Der hierbei ermittelte MPD-Wert wird mittels der in der Norm angegebenen Formel in den ETD-Wert und damit in einen, mit dem Sandfleckverfahren üblicherweise bestimmten MTD-Wert vergleichbaren Wert umgerechnet, vgl. Formel 1.

$$ETD = 0,2 \text{ mm} + 0,8 \text{ MPD}$$

Formel 1

### 3.6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

#### 3.6.1 Laborpaket 1 – Dauerhaftigkeit von Grindingoberflächen

##### Ausgangsdaten

Betrachtet man zunächst die Ausgangslage der Griffigkeiten (vgl. Abbildung 39) ergibt sich für alle vier Betone ein SRT-Wert auf vergleichbarem Niveau zwischen 70 und 74 SRT-Einheiten. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Größenordnung der Griffigkeit primär von den eingesetzten Texturparametern und weniger von der verwendeten Gesteinskörnung abhängt.

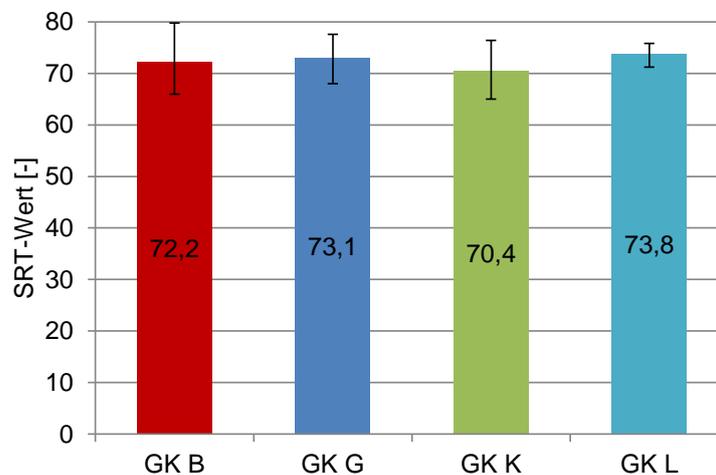


Abbildung 39: Ausgangswerte der Griffigkeit

Zusätzlich zur Griffigkeit wurde ein Anteil der Proben auf ihre Mikrotextur hin untersucht. Die Ergebnisse der Nullmessung der Spektraldichte sind in Abbildung 40 dargestellt. Es zeigen sich mit den SRT-Werten vergleichbare Messdaten. So liegen alle vier Mischungen insbesondere bei der groben Mikrotextur in der gleichen Größenordnung. Bei der feinen

Mikrotextur kommt es zu einer leichten Auffächerung der Daten, die aber insgesamt sehr gering ausfällt.

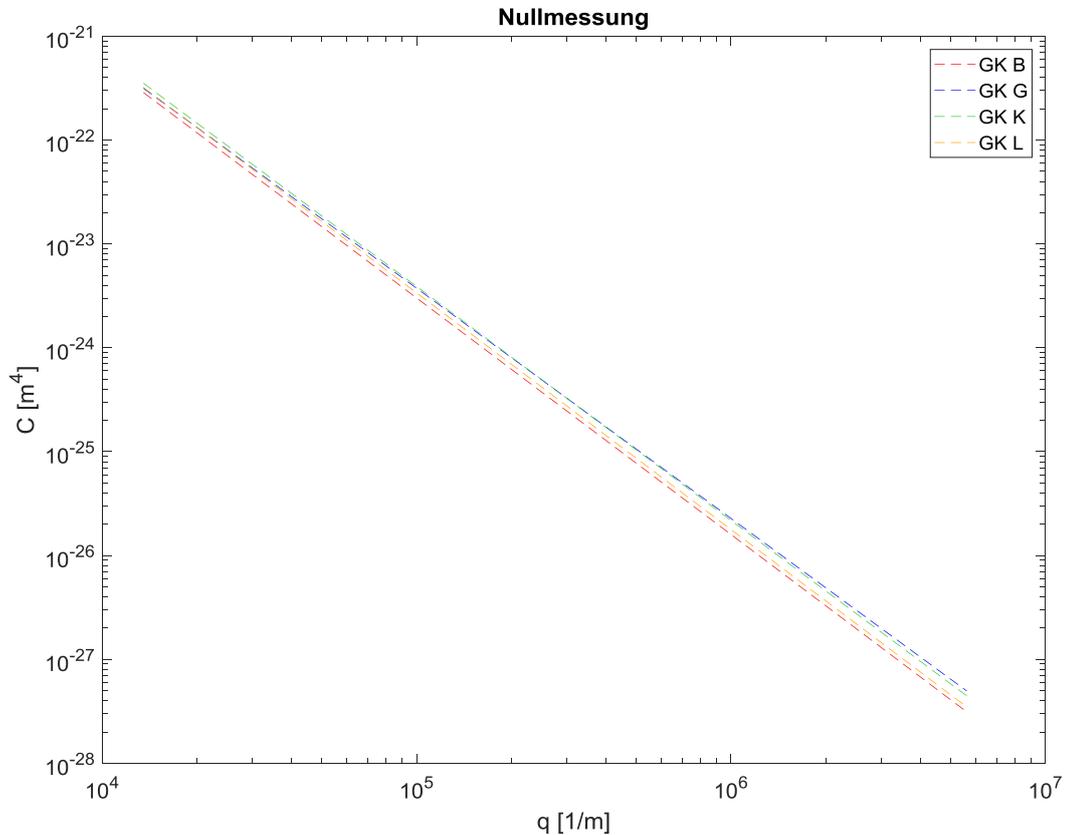


Abbildung 40: Spektraldichte der Betone GK B, GK G, GK K und GK L nach der Texturierung

### Frostbelastung

Für die folgenden Untersuchungen wurden je Mischung vier Proben verwendet. In Abbildung 41 ist der klassischerweise zur Bewertung des Frostwiderstands verwendete Verlauf der Abwitterung dargestellt. Es ergibt sich für alle drei Betone unter Verwendung von Splitt eine Größenordnung der Abwitterung von 150 g/m<sup>2</sup>. Lediglich die Betonmischung mit Kies (GK K) weist mit 360 g/m<sup>2</sup> nach 56 Frost-TauWechseln einen geringeren Widerstand gegen Frost auf.

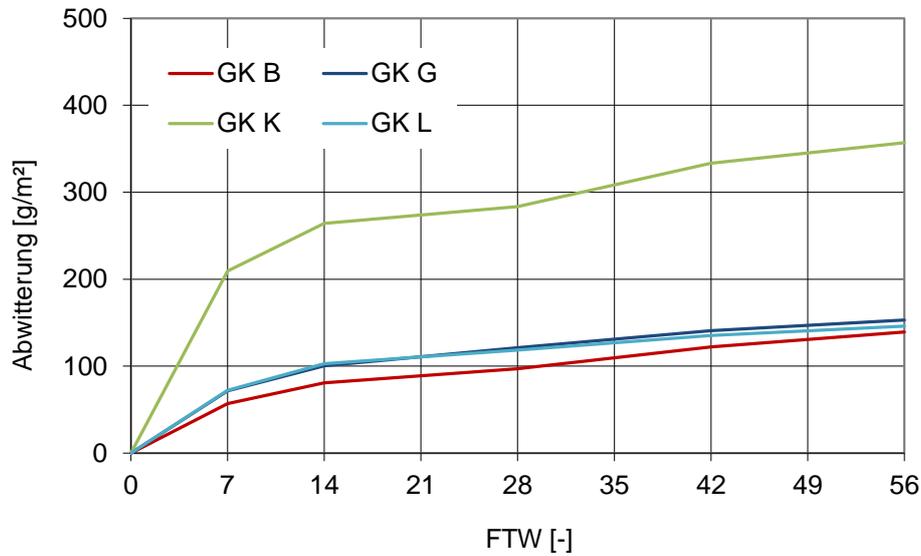


Abbildung 41: Abwitterung im Slab-Test

Betrachtet man zusätzlich das Griffigkeitsverhalten in Abbildung 42 aufgrund der reinen Frostbelastung, liegen die Betone vor der Belastung alle auf einem vergleichbaren Niveau von ca. 70 SRT-Einheiten. Auch nach der Belastung liegt der Kies (GK K), trotz schlechterer Beständigkeit, auf gleichem Absolut-Niveau des SRT-Werts und mit einem Verlust von 1,8 SRT-Einheiten zusammen mit dem Basalt (GK B) mit einem Verlust von 2,0 SRT-Einheiten im Mittelfeld der Gesteinskörnungen. Den geringsten Verlust weist der Granit (GK G) mit lediglich 1,3 SRT-Einheiten auf, wohingegen der Granitoid/Lamprophyr (GK L) einen Verlust von 4,1 SRT-Einheiten besitzt. Anhand der geringen Verluste der SRT-Werte kann geschlussfolgert werden, dass auch nach den 56 Frost-Tau-Wechsels (FTW) kein maßgeblicher Verlust der Stege erfolgt und somit die Textur als solche frostbeständig ist.

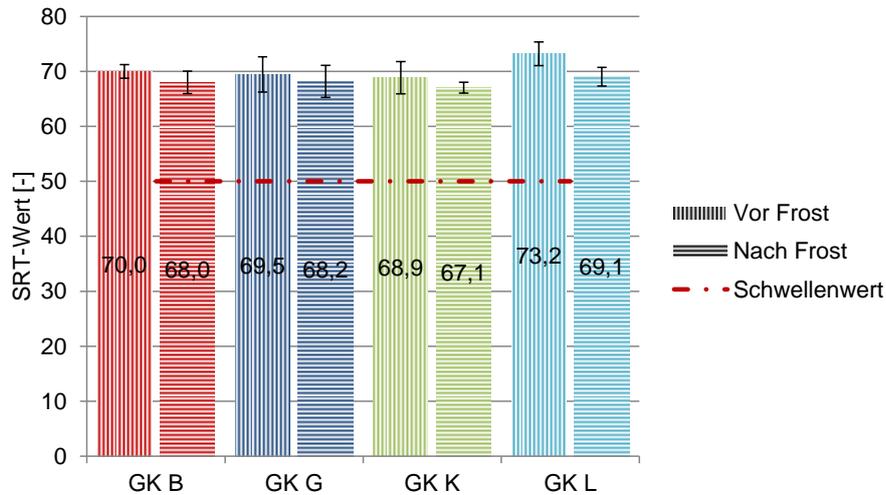
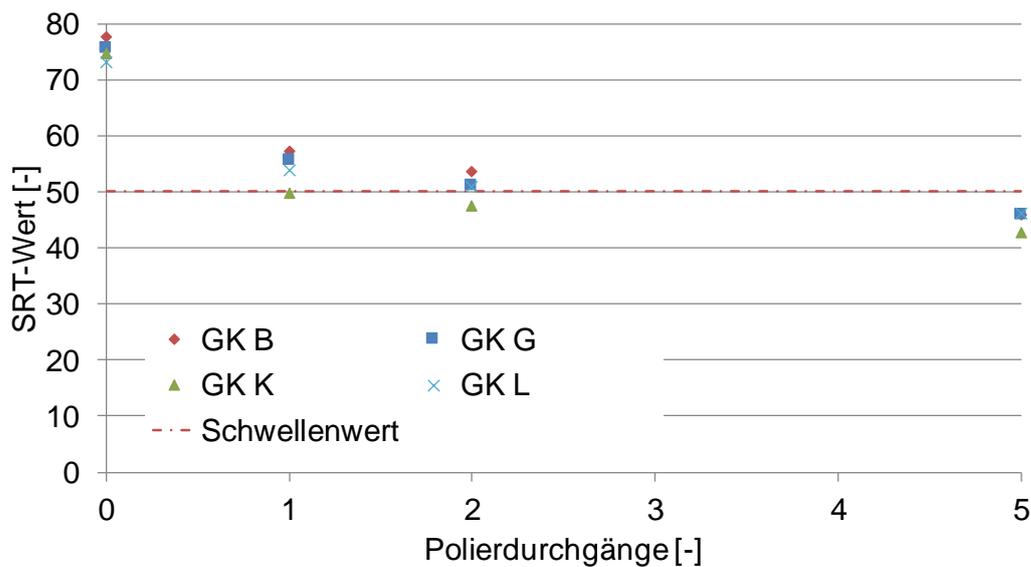


Abbildung 42 Griffigkeit der Betone vor und nach 56 Frost-Tau-Wechseln im Slab-Test

### Mechanische Belastung

Bei der reinen mechanischen Belastung wurden je Mischung 3 Proben verwendet. Es zeigt sich der aus anderen Belastungstypen, Beispielsweise dem PWS-Verfahren [26] bekannte logarithmische Verlust der Griffigkeit. Aus Abbildung 43 wird ersichtlich, dass sich für die verwendeten Gesteinskörnungen der Kies gegenüber den Splitten auf einem um ca. 3 SRT-Einheiten niedrigeren Niveau befindet. Betrachtet man jedoch zusätzlich die logarithmische Regression zwischen dem 1. und 5. Polierdurchgang (siehe Tabelle 12), zeigt sich für die Mischung mit Kies (GK K) und jene mit Granitoid/Lamprophyr (GK L) mit einer Steigung der logarithmischen Regression zwischen -4,5 und -4,8, gegenüber dem Beton mit Granit (GK G) -6,1 und jenem mit Basalt (GK B) mit -7,1, ein geringerer, fortschreitender Griffigkeitsverlust. Dies lässt auf ein verbessertes Langzeitverhalten der Mischungen GK K und GK L unter der Wirkung einer rein mechanischen Belastung schließen. Insgesamt unterschreiten alle Gesteine den Schwellenwert von 50 SRT-Einheiten gemäß der deutschen Richtlinie ZTV Beton-StB 07 [28] nach 5 Polierdurchgängen. Die Mischung GK K unterschreitet diesen bereits nach dem ersten Durchgang. Die deutsche Richtlinie wird verwendet, da es in den österreichischen Vorschriften keine Vorgaben für den SRT-Wert gibt. Bisher wurden jedoch noch keine Untersuchungen zur Korrelierbarkeit der Belastung der Walzenpoliermaschine mit derjenigen auf Praxisstrecken durchgeführt. Somit ist für die Gesteinskörnung lediglich eine relative Einordnung, jedoch keine absolute Beurteilung möglich.



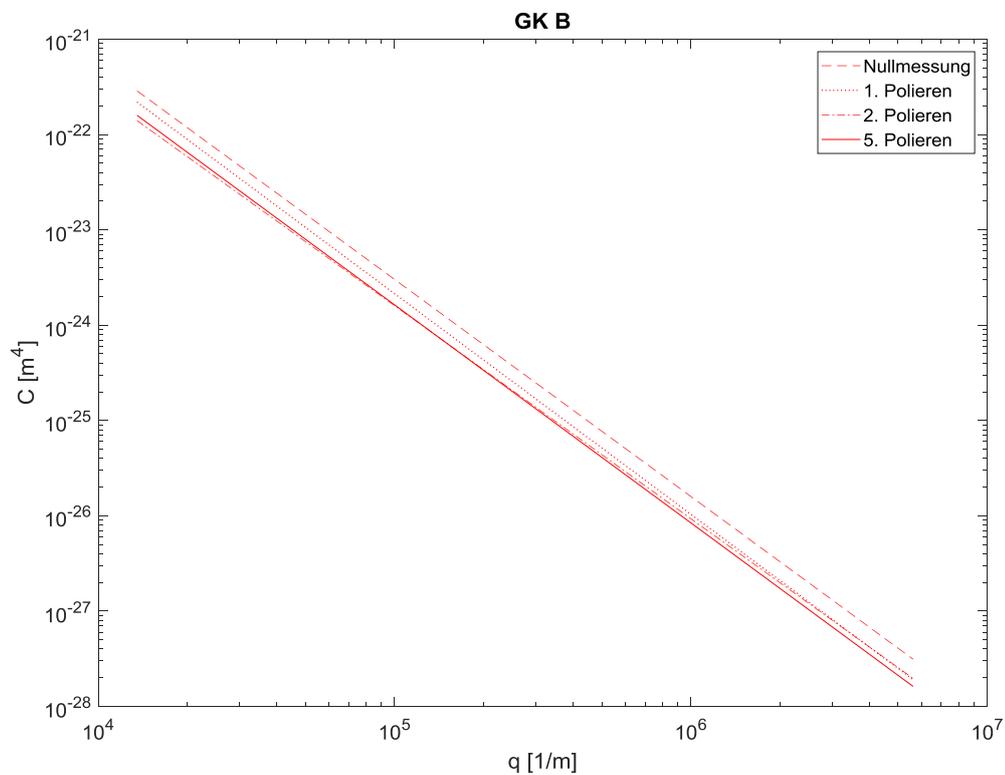
**Abbildung 43: Griffigkeitsentwicklung der untersuchten Laborbetone mit variierender Gesteinskörnung (GK B, GK G, GK K und GK L) bei mechanischer Belastung durch die Walzenpoliermaschine**

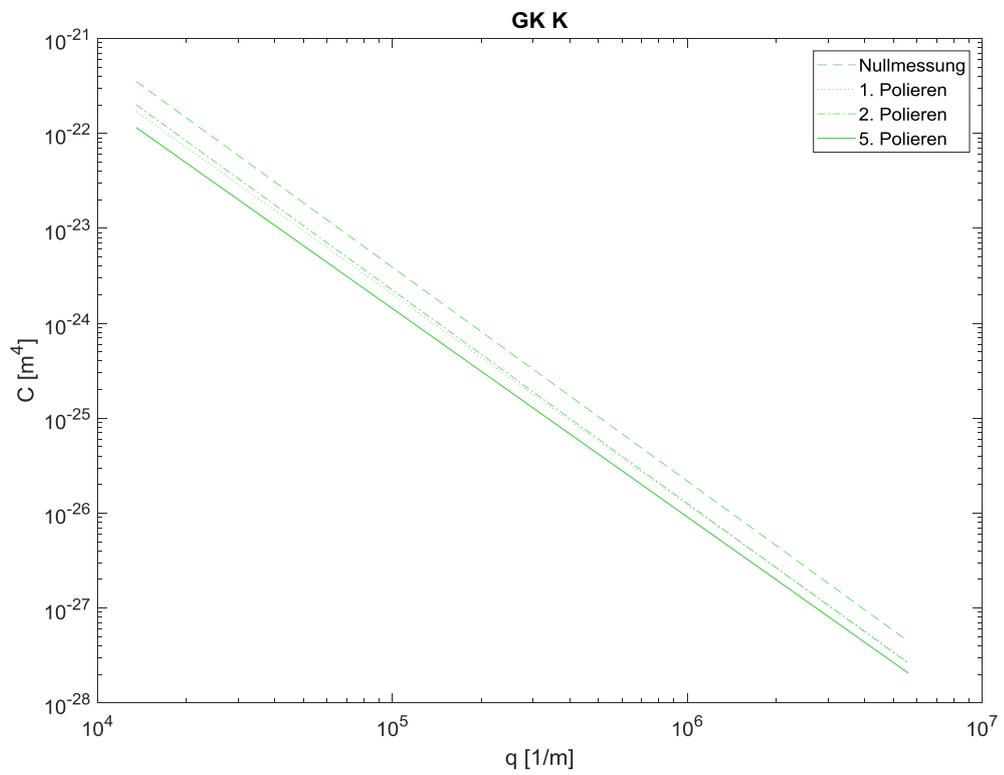
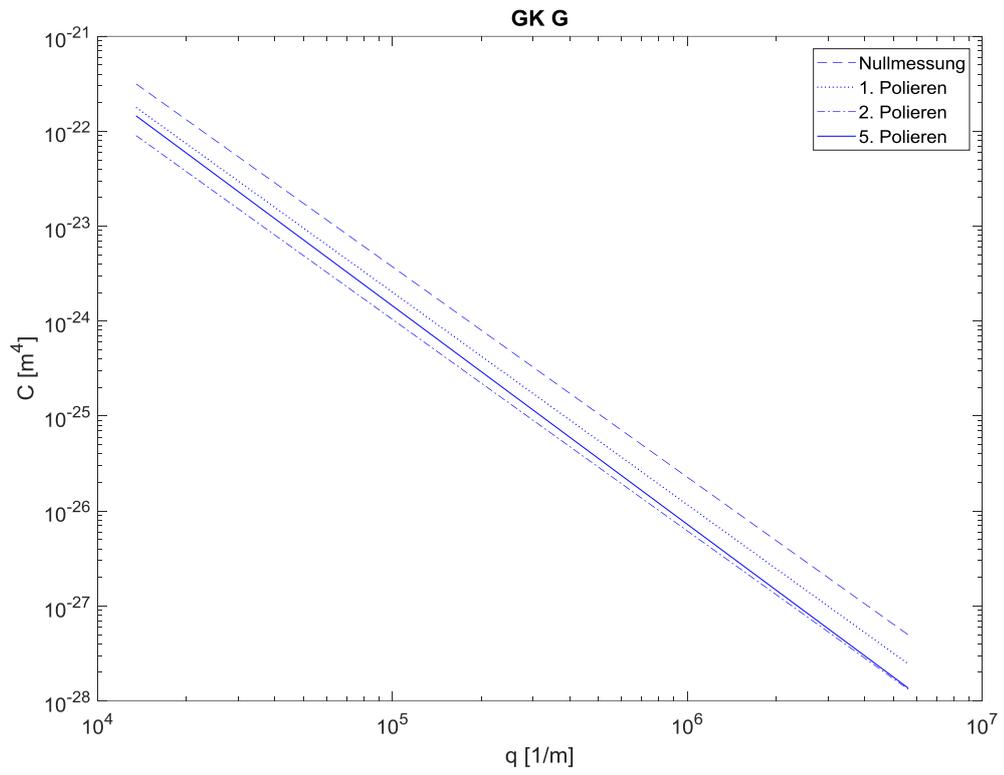
**Tabelle 12: Einzelergebnisse der untersuchten Laborbetone mit variierender Gesteinskörnung (GK B, GK G, GK K und GK L) bei mechanischer Belastung durch die Walzenpoliermaschine**

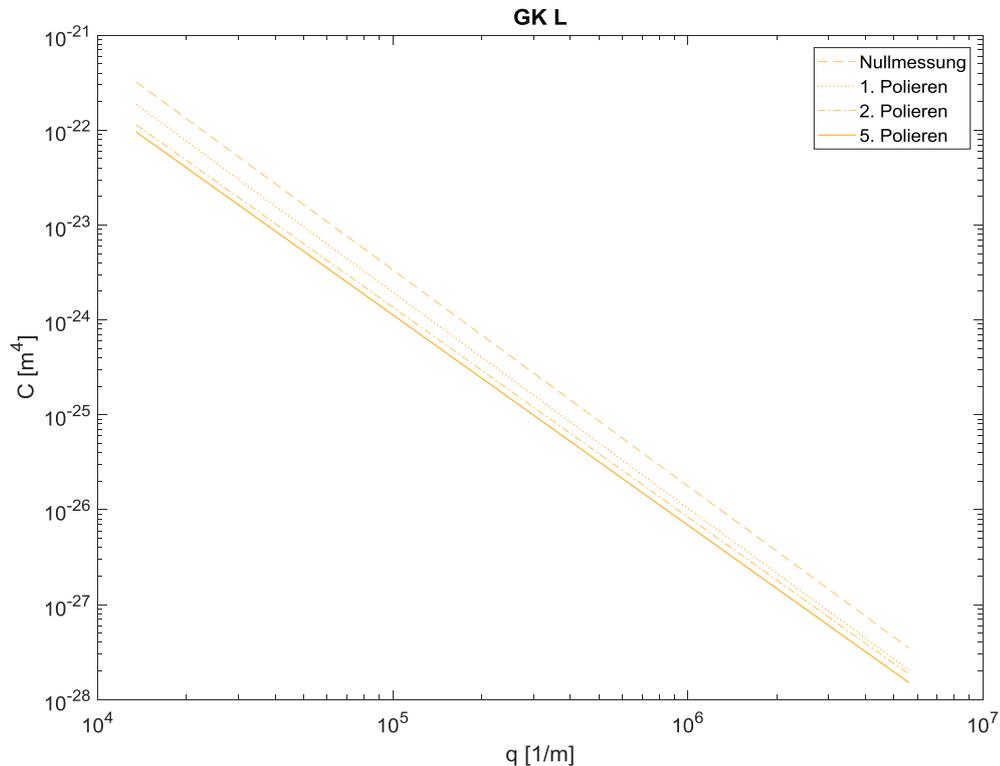
Polierdurchgang	SRT-Wert [-]				Steigung der Regression [-]
	0	1	2	5	-
GK B	77,6±2,2	57,3±2,3	53,5±1,9	45,9±1,3	-7,1
GK G	75,7±2,0	55,7±6,3	51,1±1,5	45,9±1,1	-6,1
GK K	74,8±1,6	49,9±6,5	47,4±6,4	42,3±8,3	-4,5
GK L	73,2±2,6	53,8±3,4	50,9±3,5	46,1±1,9	-4,8

Die Entwicklung der Mikrotextur ist für die einzelnen Gesteine getrennt in den Diagrammen in Abbildung 44 dargestellt. Wie bereits aus den SRT-Werten bekannt, ergibt sich nach dem ersten Polierdurchgang ein starker Abfall in der Griffigkeit und somit auch der griffigkeitsbestimmenden Mikrotextur wie sie sich in der Spektraldichte zeigt. Im Verlauf der Belastung zeigt sich zunächst ein ungleichmäßiger Abtrag der Textur nach dem ersten und zweiten Polieren. Insbesondere nach dem ersten Polieren ist bei der vier Mischungen (ausgenommen GK L) eine Abnahme der Steigung und damit ein überdurchschnittlicher Rückgang

der feinen Mikrotextrur zu verzeichnen. Der zweite Polierdurchgang führt hierbei zu einer unregelmäßigen Veränderung der Mikrotextrur so zeigt sich bei den Mischungen GK B und L eine starke Abnahme der groben Mikrotextrur wohingegen Mischung GK K nahezu keine Veränderung erfährt. Diese unregelmäßigen Veränderungen egalisieren sich jedoch nach wiederholter Belastung wodurch es nach 5 Polierdurchgängen zu einer nahezu parallelen Verschiebung der Spektraldichte gegenüber der Nullmessung kommt. Es kann somit über mehrere Belastungsschritte von einem insgesamt gleichmäßigen Mikrotextrurabtrag ausgegangen werden. Eine Ausnahme stellt hierbei der Granit (GK G) dar, bei dem es nach dem 5. Polierdurchgang zu einem Anstieg der Messwerte kommt. Eine Erklärung dafür konnte bis dato nicht gefunden werden.

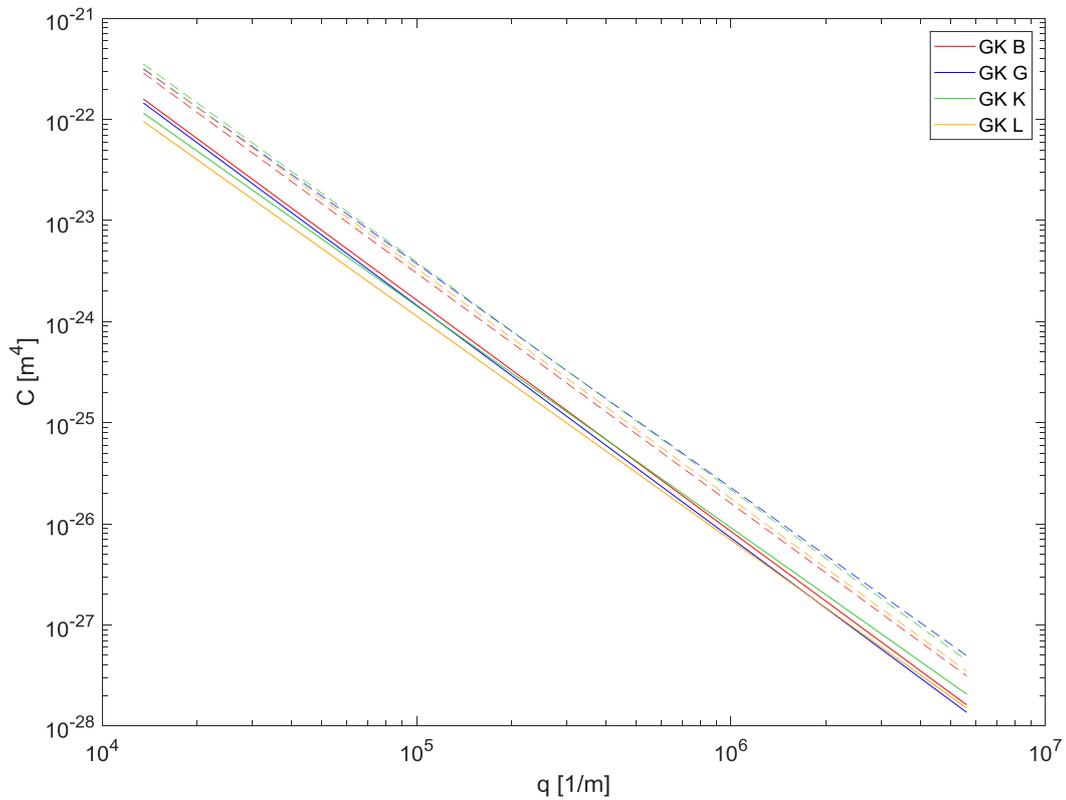






**Abbildung 44: Verhalten der Spektraldichte in Abhängigkeit der Belastungsdauer für die Betone B, G, K und L (von oben nach unten)**

Zur besseren Vergleichbarkeit sind in Abbildung 45 die Spektraldichten aller untersuchten Betone vor der Belastung und nach den 5 Polierdurchgängen dargestellt. Es zeigt sich, dass der Granitoid/Lamprophyr (GK L) nach 5 Polierdurchgängen durchschnittlich die am schwächsten ausgeprägte Mikrotextrur aufweist. Bei den anderen Gesteinen gibt es zwar Unterschiede in den Steigungen und somit, ob die feine (GK K) oder grobe (GK B & GK G) Mikrotextrur stärker ausgeprägt ist, sie liegen jedoch durchschnittlich auf einem ähnlichen Niveau. Somit widersprechen die Spektraldichten den Griffigkeitskennwerten mit dem SRT-Pendel. Dies ist vermutlich auf die deutlich geringere Messfläche der mikroskopischen Untersuchungen zurückzuführen. So können durch diese zwar genauere Informationen über die Art und Weise der Mikrotextrurveränderung und damit über die mit dem SRT-Pendel aufnehmbare Griffigkeit festgestellt werden, diese unterliegt jedoch flächigen Schwankungen und spiegelt daher nicht unbedingt das gleiche Niveau wieder.

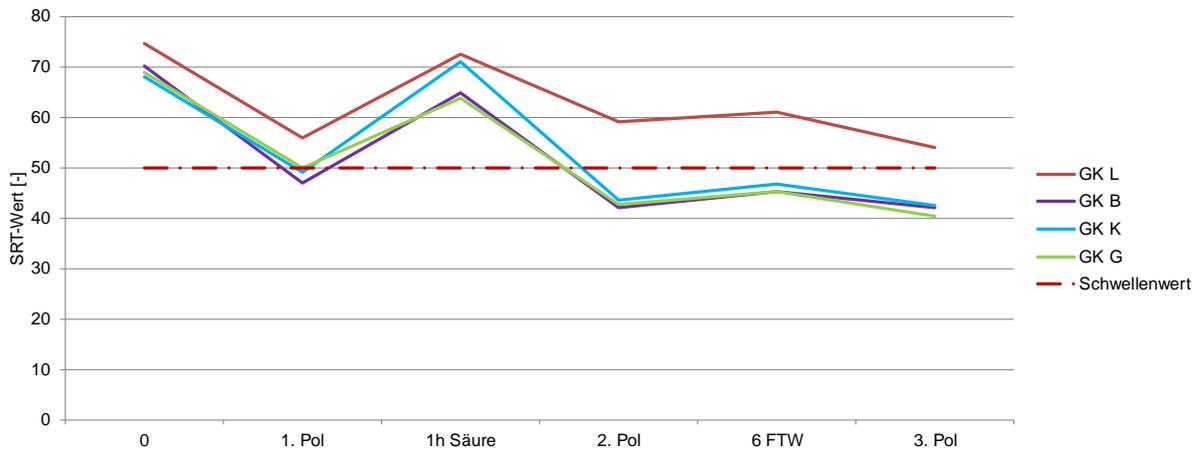


**Abbildung 45: Vergleich der Mikrotextrur zwischen Start- und Endmessung für die untersuchten Gesteinskörnungen**

Zu den Untersuchungen muss angemerkt werden, dass durch die schrittweise Belastung der „worst case“ der Verkehrsbelastung ohne Berücksichtigung der teils positiven Effekte durch Umwelteinflüsse und somit ohne Beachtung der jahreszeitlichen Schwankungen betrachtet wird.

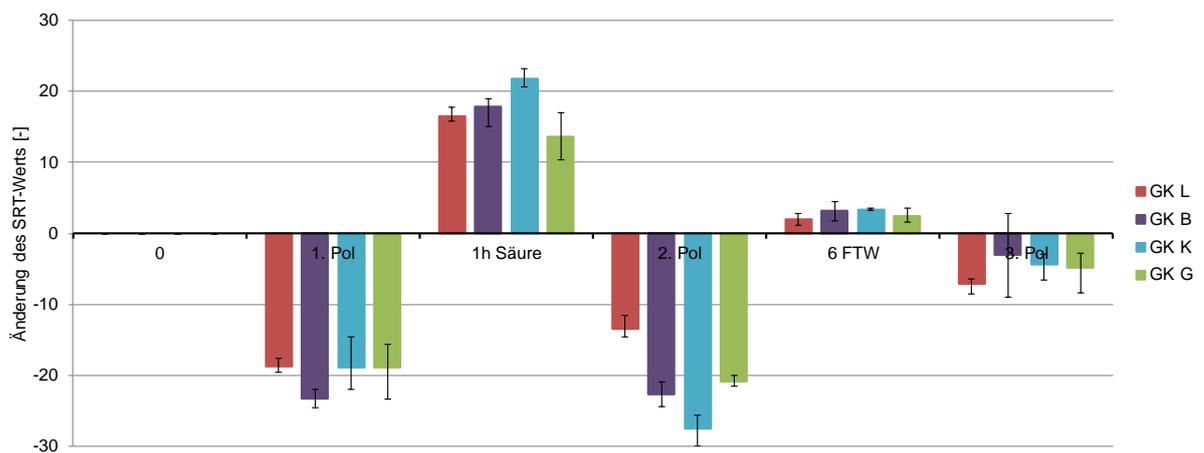
#### Kombinierter Beanspruchungszyklus

Im Rahmen des kombinierten Laborbeanspruchungszyklus wurde, in Anlehnung an die real auftretenden Belastungen der Einfluss von Umwelteffekten bei zusätzlicher mechanischer Beanspruchung auf die Entwicklung der Griffigkeit untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 46 dargestellt.



**Abbildung 46: Einfluss des kombinierten Laborbeanspruchungszyklus auf die Griffigkeit von Grindingoberflächen**

Es ergibt sich für die Betone GK B, GK K sowie GK G bereits nach der ersten Polierbelastung eine Annäherung an den Schwellenwert von 50 SRT-Einheiten, welcher nach dem gesamten Zyklus deutlich unterschritten wird. Einzig der Beton GK L weist während des gesamten Beanspruchungszyklus SRT-Werte größer 50 auf. Wie bereits erwähnt, liegen bisher keine Daten vor, inwieweit die eingesetzte mechanische Belastung auf eine Überrollungsanzahl auf der Strecke übertragen werden kann. Um eine genauere Betrachtung der einzelnen Verluste durchführen zu können, sind in Abbildung 47 die Griffigkeitsänderungen zur jeweiligen Vorstufe angetragen.



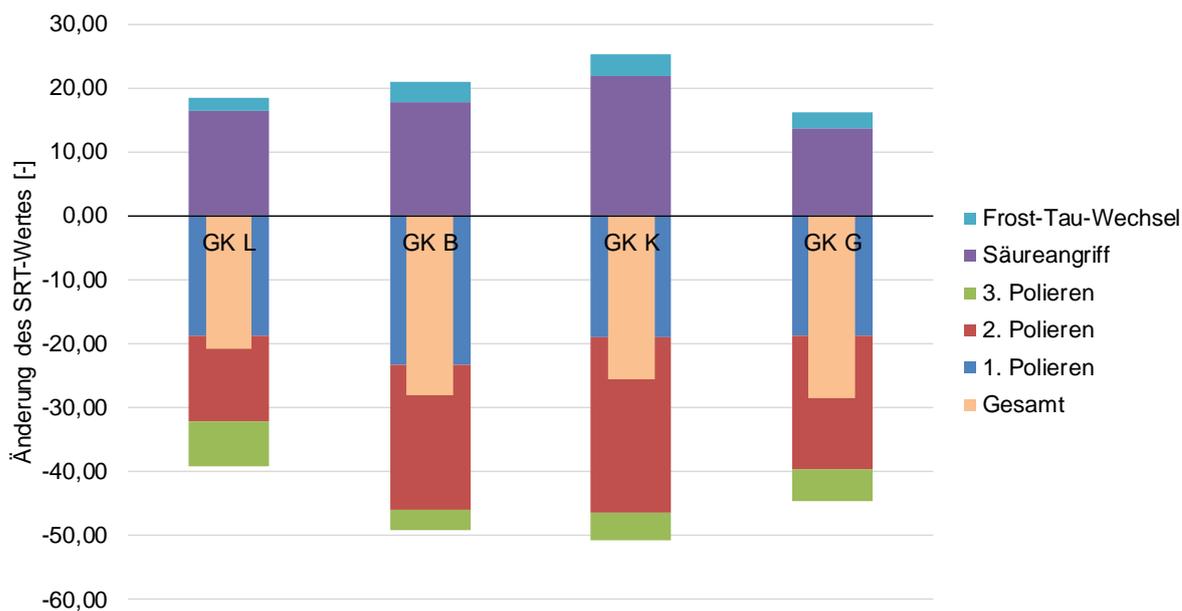
**Abbildung 47: Änderung des SRT-Werts zur jeweiligen Vorstufe für den kombinierten Laborbeanspruchungszyklus**

Es zeigt sich bei allen Gesteinsarten eine Griffigkeitsabnahme durch die mechanische Einwirkung (Polieren) und eine Griffigkeitszunahme durch die Umwelteinwirkung (Säure und Frost-Tauwechsel). Der einstündige Säureangriff führt zu einer deutlichen Zunahme des

SRT-Werts von im Mittel über 13 SRT-Einheiten, bis zu 21,9 für den eingesetzten Kies. Die Erhöhung der Griffigkeit kann auf zwei mögliche Effekte zurückgeführt werden. Zum einen können durch flächige Abwitterungen Bereiche freigelegt werden, die von der vorherigen Polierung nicht betroffen waren und somit eine ausgeprägtere Mikrotextur aufweisen. Da es sich bei den eingesetzten Gesteinskörnungen um frostbeständige Gesteine handelt, führt dies in erster Linie zu einer Aufrauung der Zementsteinmatrix. Im Zuge der Säurebelastung konnten lediglich vernachlässigbare Abwitterungsmengen festgestellt werden, der Griffigkeitszugewinn kann demnach nicht hierauf zurückgeführt werden. Die zweite Möglichkeit der Griffigkeitssteigerung ist ein Anlösen von oberflächlichen Partikeln und damit einer Aufrauung der Oberfläche auf Mikroebene. Dies erfolgt sowohl auf dem Zementstein, als auch, abhängig von der Petrographie, auf der Gesteinskörnung. Dieser Effekt kann für den Säureangriff als maßgeblich bewertet werden. Der deutlich höhere Wert des Kieses ist demnach voraussichtlich durch einen calcitischen und damit säureempfindlicheren Anteil der Gesteinskörnung begründet.

Der oberflächliche Mikrostrukturaufbau durch die Säure bewirkt jedoch keine dauerhafte Verbesserung der Griffigkeit. So wird, mit Ausnahme von GK L, der Griffigkeitsgewinn bereits nach dem folgenden Polieren vollständig abgebaut.

Der geringe Anstieg aufgrund der Frostbelastung ist auf den Zementsteinverlust auf den Grindingstegen zurückzuführen. Da lediglich ein Anteil der Oberfläche aus Zementstein besteht, ist die Griffigkeitszunahme mit max. 3,3 SRT-Einheiten für die Kiesprobekörper nur geringfügig. Die Abweichungen der Einzelproben bestätigen diesen Ansatz, da der Zugewinn unabhängig von der Gesteinskörnung auftritt.



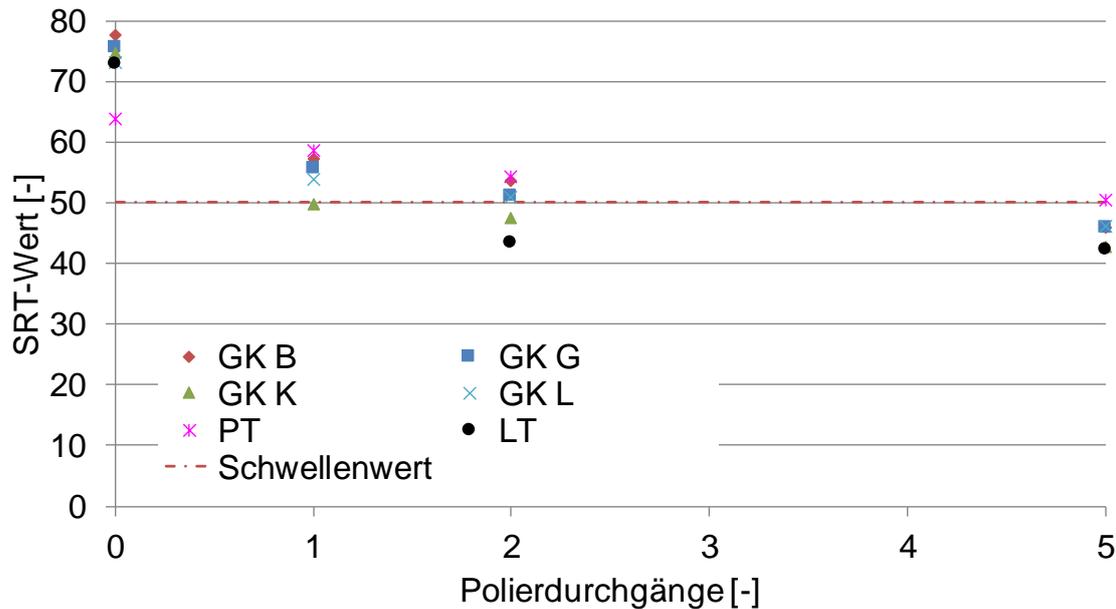
**Abbildung 48: Vergleich der gesamten Griffigkeitsverluste und -gewinne während des kombinierten Laborbeanspruchungszyklus**

Betrachtet man die gesamten Griffigkeitsgewinne (Abbildung 48) so zeigt sich, dass für den eingesetzten Kies mit den höchsten umweltbedingten Schwankungen der Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche zu rechnen ist, wohingegen der Granit als eher unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen angesehen werden kann. Im Gesamten zeigt sich jedoch, dass bei drei der vier Gesteinsarten der Gesamtverlust in einer ähnlichen Größenordnung liegt. Lediglich der Granitoid/Lamprophyr weist durch eine gewisse Robustheit der durch Ansäuerung entstandenen Griffigkeit insgesamt einen geringeren Verlust auf.

### 3.6.1 Laborpaket 2 – Untersuchung der ersten Praxisstrecke

#### Untersuchungen der Praxisbohrkerne

Im Laborpaket 2 wurde der reine mechanische Angriff entsprechend dem Laborpaket 1 mit der Walzenpoliermaschine, die Poliereinstellungen können Tabelle 9 entnommen werden, an den in der Praxis (PT) und im Labor (LT) texturierten Bohrkernen untersucht, hierzu standen zwei Bohrkern zur Verfügung. Abbildung 49 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen mit denen aus Paket 1.



**Abbildung 49: Griffigkeitsentwicklung der aus der Praxisstrecke entnommen Bohrkernproben (PT) und der im Labor nachgestellten Praxistextur (LT) sowie vergleichend dazu die untersuchten Laborbetone mit variierender Gesteinskörnung (GK B, GK G, GK K und GK L) bei mechanischer Belastung durch die Walzenpoliermaschine**

Es ist ersichtlich, dass die im Labor nachgestellte Textur an den Bohrkernen LT, trotz gleichem Wellenbesatz eine höhere Anfangsgriffigkeit als die auf der Strecke texturierten Bohrkern aufwies. Diese nahm unter mechanischer Belastung jedoch bereits während der ersten beiden Polierdurchgänge stark ab. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Griffigkeit der LT ähnlich den im Labor hergestellten Betonen GK B, GK G, GK K und GK L nach dem 1. Polierdurchgang logarithmisch abnimmt. Die Bohrkern mit der Praxistexturierung weisen hingegen den geringsten Startwert auf, besitzt aber bereits nach dem ersten Polierdurchgang mit einem SRT-Wert von 59 die höchste Griffigkeit. Auch das Griffigkeitsverhalten über die weitere mechanische Belastung weist mit einer log. Regressionssteigung von -5,0 (siehe Tabelle 13) stabile Werte auf.

**Tabelle 13: Griffigkeitsentwicklung der aus der Praxisstrecke entnommen Bohrkernproben (PT) und der im Labor nachgestellten Praxistextur (LT)**

Polierdurchgang	SRT-Wert [-]				Steigung der Regression [-]
	0	1	2	5	-
LT	63,9±0,3	58,7±1,7	54,2±0,6	50,5±0,3	-5,0
PT	73,0±	-*	43,5±2,3	42,2±1,2	-

\*Fehlmessung

Um die Ursache für die große Differenz zwischen Labor- und Praxisgrinding zu ermitteln, wurden zusätzliche 2D-Texturuntersuchungen mit dem Lasermikroskop zur Ermittlung der Steghöhe, Rillenbreite (R) und des Stegabstands durchgeführt. Für diese Messungen wurde eine 5-fache Vergrößerung verwendet was in einem Messpunktabstand von 5,681 µm resultiert. Es wurden je Probe fünf Linien mit einer Länge von ca. 8 cm quer zur Grindingrichtung mit einem Längsabstand von ca. 2 cm gemessen.

Die Auswertung des Stegabstands ergab mit im Mittel 5,5 mm für das Laborgrinding und die Praxisstrecke gleichwertige Ergebnisse, welche mit den eingestellten 5,4 mm (3,2 mm Rillenbreite + 2,2 mm Stegbreite) ausreichend genau übereinstimmen. Unterschiede zeigen sich hingegen bei den anderen beiden Parametern. Die Rillenbreite wurde zur einfacheren Berechnung als die Länge definiert, bei der die Messwerte unterhalb des um 200 µm erhöhten Minimums der Rille liegen (vgl. Abbildung 50).

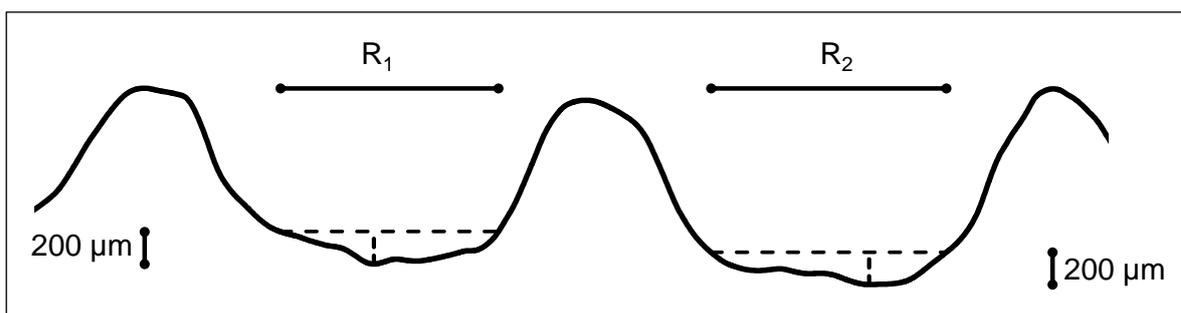


Abbildung 50: Bewertungsprinzip der Texturuntersuchung

Es ergab sich für die auf der Strecke texturierten Bohrkernproben eine Rillenbreite von 2,5 mm und für die im Labor texturierten eine Rillenbreite 2,9 mm. Die hieraus resultierende Unterschreitung des Sollwerts ist auf die Berechnungsmethodik zurück zu führen, die

berechneten Rillenbreiten sind daher lediglich qualitativ zu sehen. Zudem weisen die im Labor texturierten Proben eine Steghöhe von im Mittel 0,69 mm auf, wohingegen die Praxisproben eine Steghöhe von 1,05 mm besitzen (vgl. Tabelle 14). Es lässt sich daraus folgern, dass es im Labor zu einem geringeren Abstand der Schleifscheiben zu einander kam, wodurch es zu einer feiner gebrochenen und somit zu einer weniger robusten Textur kam.

**Tabelle 14: Texturkenndaten**

	Rillenbreite	Steghöhe	Stegabstand
	[mm]	[mm]	[mm]
Soll	3,2	-	5,4
Labortexturierung (LT)	2,9*	0,69	5,5
Praxistexturierung (PT)	2,5*	1,05	5,5

\*nach Messdefinition

Zur Bewertung der Mikrotextur sind entsprechend dem vorherigen Kapitel zunächst die Verläufe der Spektraldichte welche auf Grundlage von Lasermikroskopmessungen durchgeführt wurde während der Polierstufen in Abbildung 51 dargestellt. Es ergibt sich, wie bereits von den vorherigen Spektraldichten bekannt, eine quasi parallele Verschiebung der Werte von der Nullmessung zur letzten Stufe hin, wohingegen die ersten beiden Polierstufen erneut ein unregelmäßiges Verhalten zeigen. Insbesondere bei der Praxistexturierung (PT) (Abbildung 51 oben) fällt auf, dass beim ersten Polieren keine maßgebliche Veränderung der Mikrotextur zu verzeichnen war, während sich beim zweiten Polieren die Steigung deutlich verringert und daher besonders die feine Mikrotextur abgetragen wurde. Bei der Labortexturierung zeigt sich hingegen ein gleichmäßiger starker Texturverlust bereits nach dem ersten Polieren, wodurch die Vermutung, dass es bei diesen Proben nach dem ersten Polieren zu einem starken Einbruch der Griffigkeit kam bestätigt wird. Vergleicht man die reale Praxistextur (PT) mit der im Labor nachgestellten Textur (LT), ergibt sich entsprechend den SRT-Werten ein stärkerer Verlust für die im Labor texturierten Proben.

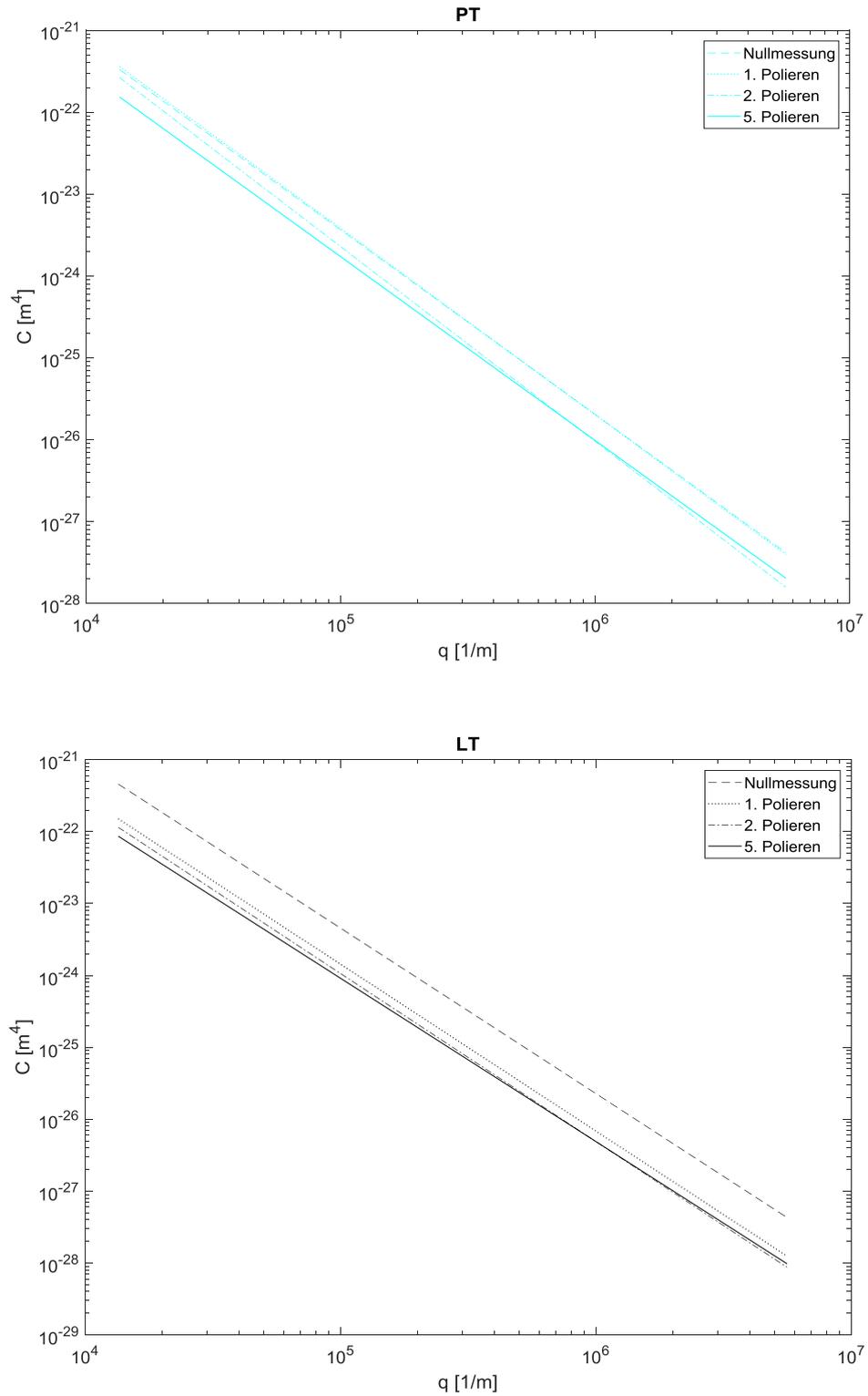
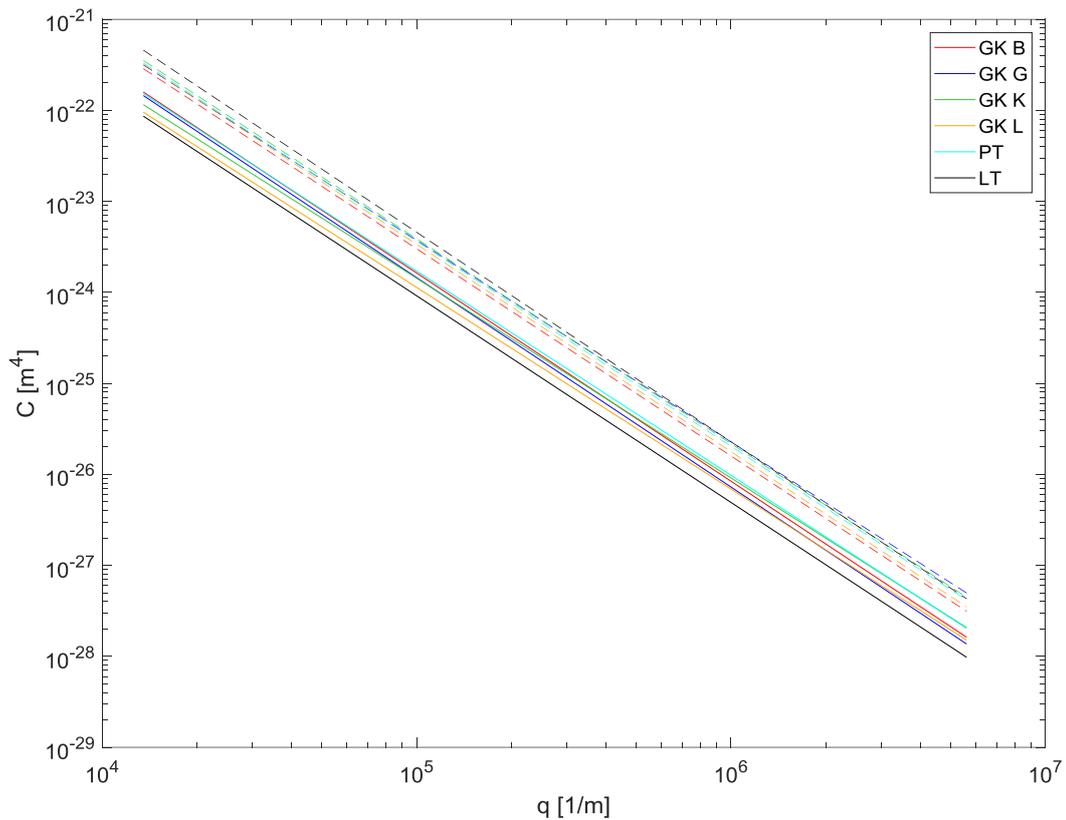


Abbildung 51: Verhalten der Spektraldichte in Abhängigkeit der Belastungsdauer für die Betone PT (oben) und TL (unten)

Vergleicht man die Ergebnisse der Proben LT und PT mit den im Labor hergestellten Proben (GK B, GK G, GB K sowie GK L), so zeigt sich entsprechend Abbildung 52, dass die Mikrotextur der Praxisstrecke, trotz ihres deutlich geringeren SRT-Wertes mit denen des Laborgrindings vergleichbare Werte aufweist. Eine mögliche Ursache dafür das dennoch große Griffigkeitsunterschiede auftreten, lässt sich in den Unterschieden in der Grobtextur, also den schmalere Stegen bei der Labortextur vermuten. Die Endergebnisse zeigen geringfügig höhere Werte der Praxiskerne (PT) gegenüber den übrigen Gesteinen. Die schwächsten Werte weisen die nachbearbeiteten Bohrkerne (LT) für die feine Mikrotextur bei mit GK K gleichwertiger groben Mikrotextur auf.

Auf Grundlage dieser Informationen ist davon auszugehen, dass bei einem entsprechend der Praxisstrecke A21 ausgeführtem Grinding, die im Laborpaket 1 untersuchten Gesteine den SRT-Schwellenwert von 50 erst nach mehreren Polierdurchgängen erreichen würden. Zudem weist der Kies (GK K) zwar die geringste Dauerhaftigkeit der Griffigkeit und der Mikrotextur auf, diese sind jedoch vergleichbar mit den Werten des labortexturierten Bohrkernen welche zuvor trotz Jahrzehnten der Einwirkungen aus Umwelt und Verkehr eine ausreichende Griffigkeit aufwies. Der Einsatz von runder Gesteinskörnung für Grinding-Neubaustrecken sollte somit Gegenstand weiterer Forschungen werden.

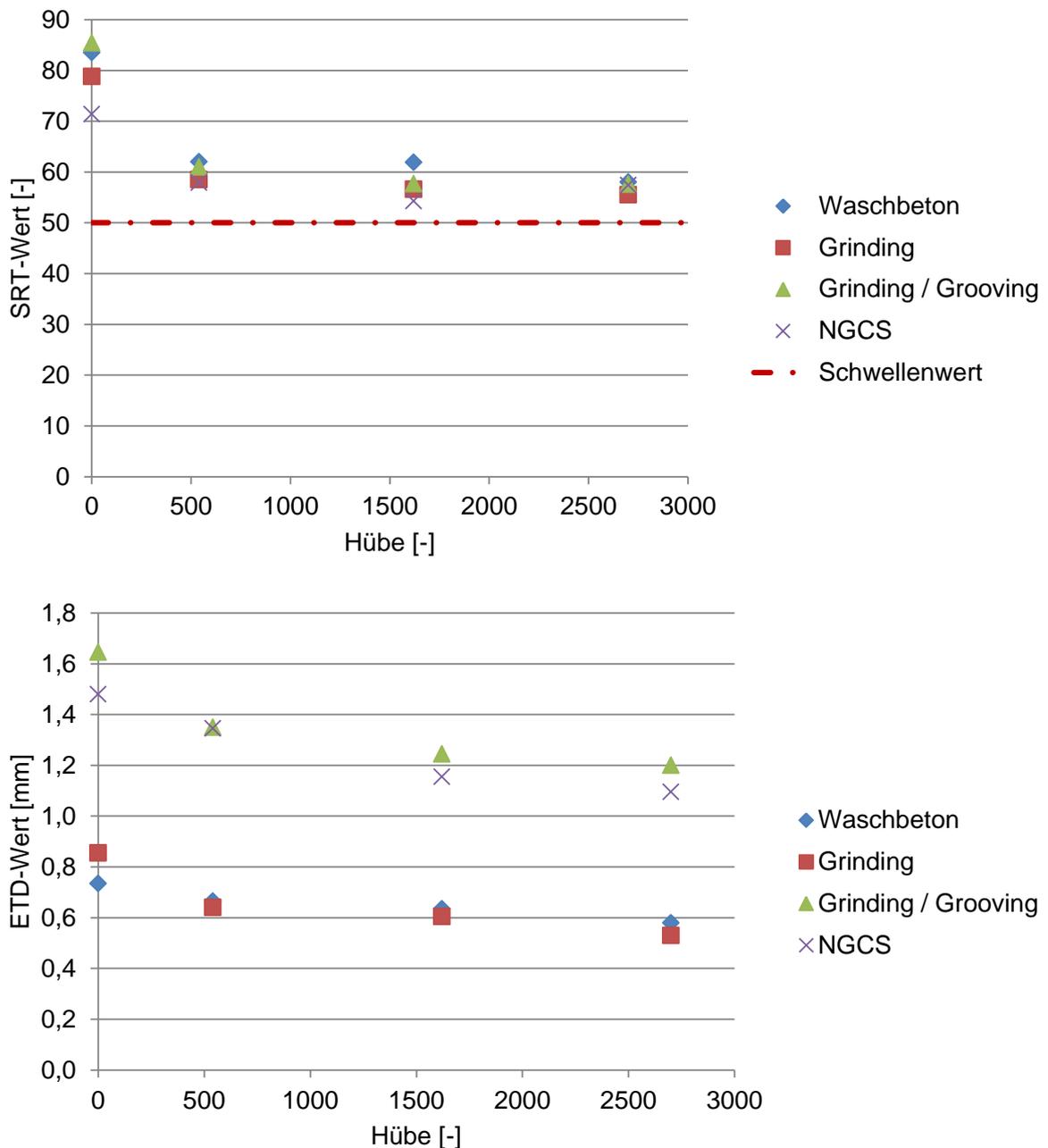


**Abbildung 52: Vergleich der Spektraldichte zwischen Start- und Endmessung der aus der Praxisstrecke entnommenen Bohrkernproben (PT) und der im Labor nachgestellten Praxistextur (LT) sowie vergleichend dazu die untersuchten Laborbetone mit variierender Gesteinskörnung (GK B, GK G, GK K und GK L) bei mechanischer Belastung durch die Walzenpoliermaschine**

### Nachgestellte Rezeptur

Während anhand der aus der Praxisstrecke entnommenen Bohrkernproben Untersuchungen zur Griffigkeitsentwicklung und zur Robustheit der Mikrotextur mit der Walzenpoliermaschine durchgeführt wurden, wurde die nachgestellte Textur auf makroskopischer Ebene auf ihre Beständigkeit gegen einen intensiveren mechanischen Angriff durch den Aachener Raveling Tester hin untersucht.

In den nachfolgenden Diagrammen (Abbildung 53) sind die Veränderungen des SRT-Wertes und des ETD-Wertes in Abhängigkeit der Anzahl an Belastungshüben dargestellt, es wurden je Textur zwei Probekörper verwendet. Während die mit dem SRT-Pendel gemessene Griffigkeit primär von der Mikrotextur der Proben bestimmt wird, wird durch den ETD-Wert ein Maß für die Ausprägung der Makrotextur geprüft.



**Abbildung 53: Griffigkeitsverhalten (oben) und Texturtiefenänderung (unten) im Verlauf der mechanischen Belastung durch den ARTe**

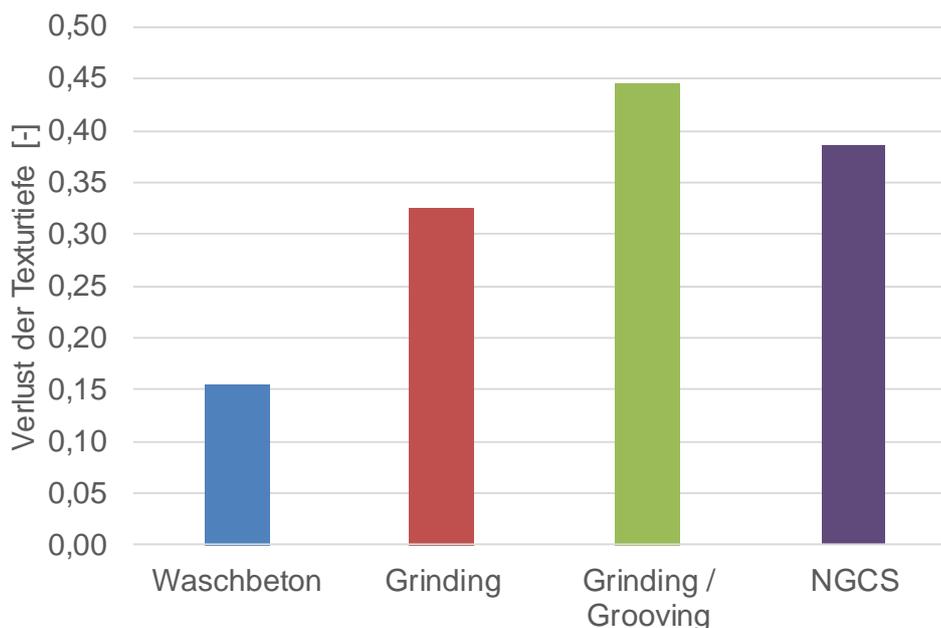
Wie bereits aus den vorherigen Untersuchungen mit der Walzenpoliermaschine bekannt, wird auch bei der Belastung durch den ARTe beim ersten Polierdurchgang ein überdurchschnittlicher Griffigkeitsverlust erzielt. Dieser reicht bei den untersuchten Texturen von 13,5 SRT-Einheiten für die NGCS bis zu 24,4 SRT-Einheiten für die Grinding/Grooving, (vgl. Tabelle 15).

**Tabelle 15: Veränderung der SRT- und der ETD-Werte durch die Belastung mit dem ARTe**

Anzahl der Hübe	0	540	1620	2700
SRT-Wert [-]				
Waschbeton	83,5±0,5	62,0±0,0	61,9±0,5	58,0±0,0
Grinding	78,8±1,6	58,5±0,5	56,6±0,6	55,5±0,1
Grinding/Grooving	85,4±2,4	61,0±1,0	57,7±0,3	57,6±0,6
NGCS	71,4±2,0	57,9±0,3	54,3±0,3	57,4±0,6
ETD-Wert [mm]				
Waschbeton	0,74±0,01	0,67±0,01	0,64±0,04	0,58±0,00
Grinding	0,86±0,02	0,64±0,02	0,61±0,04	0,53±0,05
Grinding/ Grooving	1,65±0,08	1,35±0,14	1,25±0,05	1,20±0,10
NGCS	1,48±0,36	1,35±0,11	1,16±0,21	1,10±0,14

Die großen Schwankungen beim Griffigkeitsverlust sind dabei primär in den unterschiedlichen Anfangsgriffigkeiten begründet. Nach dem ersten Durchgang (540 Hübe) befanden sich alle Griffigkeiten auf einem Niveau um die 60 SRT-Einheiten. Auch nach 2700 Hüben weisen alle vier Texturen einen quasi gleichwertigen SRT-Wert von rund 57 SRT-Einheiten auf. Der Materialverlust stellt jedoch den großen Schwachpunkt der Grindingtexturen in den vorliegenden Untersuchungen dar. Während es beim Waschbeton aufgrund der Belastung zu einer Abnahme des ETD-Werts von lediglich 0,16 mm kam (Abbildung 54), weist das reine Grinding, als robusteste Grindingtextur eine Abnahme um 0,33 mm auf. Zwar weisen die Texturen mit zusätzlichen Groovingrillen einen weitaus höheren Verlust der Texturtiefe auf, hierzu muss jedoch erwähnt werden, dass es aufgrund des kreisförmigen Messfelds bei der Bestimmung aufgrund der Groovingrillen zu starken Schwankungen in den Messwerten kommen kann. Ursächlich für den insgesamt stärkeren Materialverlust der Grindingtexturen sind die unterschiedlichen Belastungsflächen. Während die Belastung beim Waschbeton ausschließlich von der groben Gesteinskörnung abgefangen wird und der gegen Abrasion empfindlichere Zementsteinmörtel nahezu unangetastet bleibt, finden sich in den Grindingstegen beide Betonbestandteile. Dies führt dementsprechend zu einem

verstärkten Texturverlust im Bereich der Stege aus Mörtel. Wie bereits erwähnt, stellt das gewählte Belastungsverfahren eine Extrembelastung dar, da es entgegen der Praxisbelastung, die vorwiegend entlang der Stege verläuft, eine Belastung längs und quer zu den Stegen erfolgt. Die dabei auftretenden Kräfte können teils nur schädigend abgetragen werden können. Durch die ungerichtete Oberfläche des Waschbetons weist dieser kein solches Phänomen auf.



**Abbildung 54: Verlust der Texturtiefe innerhalb von 2700 Hieben mit dem ARTE**

### 3.6.2 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die auf der ersten Praxisstrecke angewandte Grindingtexturierung auch bei hoher Belastung der Mikrotextur durch 5 Polierdurchgänge mit der Walzenpoliermaschine eine robuste Griffigkeit bietet. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass das Ergebnis des Praxisgrindings im Vergleich zum Laborgrinding zwar geringere Anfangsgriffigkeiten unter mechanischer Beanspruchung jedoch geringere Verluste aufweist. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass bei gleichwertig durchgeführtem Grinding, alle im Labor untersuchten Betone eine bessere Griffigkeit aufweisen würden. Dies gilt auch für die nachgestellte Rezeptur, wodurch zusammen mit den vergleichenden Untersuchungen mit dem Aachener Raveling Tester eine vergleichbare Lebensdauer der neuen Grindingtextur mit dem ursprünglichen Waschbeton anzunehmen ist.

## 4 UMSETZUNG UND MESSTECHNISCHE BEGLEITUNG VERSUCHSSTRECKEN

### 4.1 Vorgehen

Gemeinsam mit der ASFINAG wurden zwei Versuchsstrecken bestimmt, auf denen Grinding bzw. Grinding kombiniert mit Grooving umgesetzt wurden. Auf allen Versuchsstrecken wurde vor Herstellung der Grindingtextur, unmittelbar nach Herstellung sowie über die restliche Projektlaufzeit Messungen der Griffigkeit, Ebenheit, Textur sowie Rollgeräusch durchgeführt. Abbildung 55 zeigt die Lage der Versuchsstrecken.

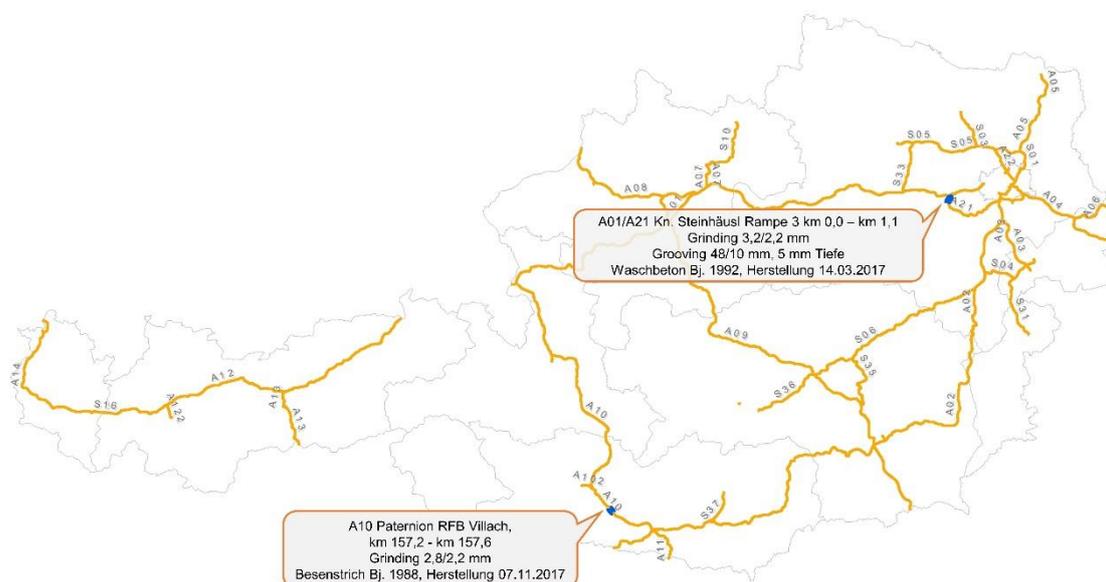


Abbildung 55: Übersicht über die Versuchsstrecken, auf denen im Projekt Groove Grinding- bzw. Groovingtexturen hergestellt wurden.

### 4.2 Versuchsstrecke A01/A21 Knoten Steinhäusl

#### 4.2.1 Allgemeines

Die Versuchsstrecke befindet sich auf der Rampe 3 des Knoten Steinhäusl. Die Rampe verbindet die A01 mit der A21 in Fahrtrichtung Osten/Knoten Vösendorf. Aufgrund des Hauptverkehrsstromes zur Umfahrung von Wien von der A01 über A21 und S01 zur A04 Richtung Ungarn ist die Rampe mit drei Fahrstreifen plus Pannestreifen ausgeführt und entspricht in ihrer Anlage einer Hauptfahrbahn. Die in Fahrtrichtung Wien weiterführende A01 wird aufgrund der geringeren Verkehrsbelastung nur zweistreifig weitergeführt. Die Rampe selbst weist eine weitgehend gerade Linienführung auf mit einem langgezogenen



#### 4.2.2 Beschreibung der Grinding- und Groovingtexturen

Auf allen drei Fahrstreifen wurde über eine Länge von 1,3 km eine Grindingtextur mit der Geometrie 3,2/2,2 mm (Segmentbreite/Segmentabstand) aufgebracht. Auf den ersten 300 m des rechten Fahrstreifens wurde zusätzlich zum Grinding ein Grooving mit der Geometrie 10/48 mm und 5 mm Tiefe aufgebracht.

Die Maßnahme wurde in zwei Durchgängen (Ebenheitsgrinding, anschließend Texturgrinding) durchgeführt.

#### 4.2.3 Messung der Griffigkeit

Vor der Grindingmaßnahme wurde der Zustand der Betondecke auf allen Fahrstreifen erfasst. Unmittelbar nach Beendigung der Maßnahme wurde die Erstmessung durchgeführt. Über den Projektzeitraum erfolgten wiederholte Messungen, genaue Daten sind in Tabelle 16 bis Tabelle 19 verzeichnet. Pro Messzeitpunkt wurden zwei unmittelbar aufeinanderfolgende Messungen durchgeführt und an Ort und Stelle verglichen. Nachdem die 50 m-Mittelwerte, aber auch die 5 m-Rohwerte keine größere Variation innerhalb der Messstrecke zeigten, wurde über den gesamten Abschnitt pro Messung ein Mittelwert gebildet („Messung 1“, „Messung 2“ in den nachfolgenden Tabellen) Die Ergebnisse der Erst- und Wiederholungsmessung wurden für die Darstellung im folgernden Diagramm ebenfalls gemittelt („MW  $\mu_{RS}$ “ in den nachfolgenden Tabellen und Diagramme).

Ausnahme war die Messung am 18.05.2018, bei der im Rahmen der Messkampagne des rechten Fahrstreifens nur dieser erfasst wurde. Die Messungen wurden am rechten Fahrstreifen in die beiden Bereiche „Grinding“ (km 0,3 – km 1,1) und „Grinding+Grooving“ (km 0,0 – km 0,3) unterteilt und jeweils über den gesamten Abschnitt gemittelt. Die beiden restlichen Fahrstreifen wurden jeweils als ein Abschnitt behandelt.

**Tabelle 16: Zusammenstellung der Griffigkeitsmessungen am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding**

Datum	Messung 1	Messung 2	MW $\mu_{RS}$
09.03.2017	0,55	0,55	0,55
27.03.2017	0,65	0,66	0,66
18.05.2017	0,58	0,58	0,58
17.10.2017	0,60	0,62	0,61
03.04.2018	0,62	0,61	0,62
05.11.2018	0,56	0,56	0,56

**Tabelle 17: Zusammenstellung der Griffigkeitsmessungen am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding+Grooving**

Datum	Messung 1	Messung 2	MW $\mu_{RS}$
09.03.2017	0,53	0,54	0,54
27.03.2017	0,65	0,65	0,65
18.05.2017	0,62	0,61	0,62
17.10.2017	0,61	0,62	0,62
03.04.2018	0,61	0,61	0,61
05.11.2018	0,55	0,56	0,56

**Tabelle 18: Zusammenstellung der Griffigkeitsmessungen am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS2**

Datum	Messung 1	Messung 2	MW $\mu_{RS}$
09.03.2017	0,62	0,62	0,62
27.03.2017	0,66	0,66	0,66
18.05.2017	0,61	-	0,61
17.10.2017	0,63	0,65	0,64
03.04.2018	0,64	0,65	0,65
05.11.2018	0,58	0,59	0,59

**Tabelle 19: Zusammenstellung der Griffigkeitsmessungen am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS3**

Datum	Messung 1	Messung 2	MW $\mu_{RS}$
09.03.2017	0,66	0,66	0,66
27.03.2017	0,66	0,67	0,67
18.05.2017	0,64	-	0,64
17.10.2017	0,68	0,68	0,68
03.04.2018	0,68	0,7	0,69
05.11.2018	0,64	0,65	0,65

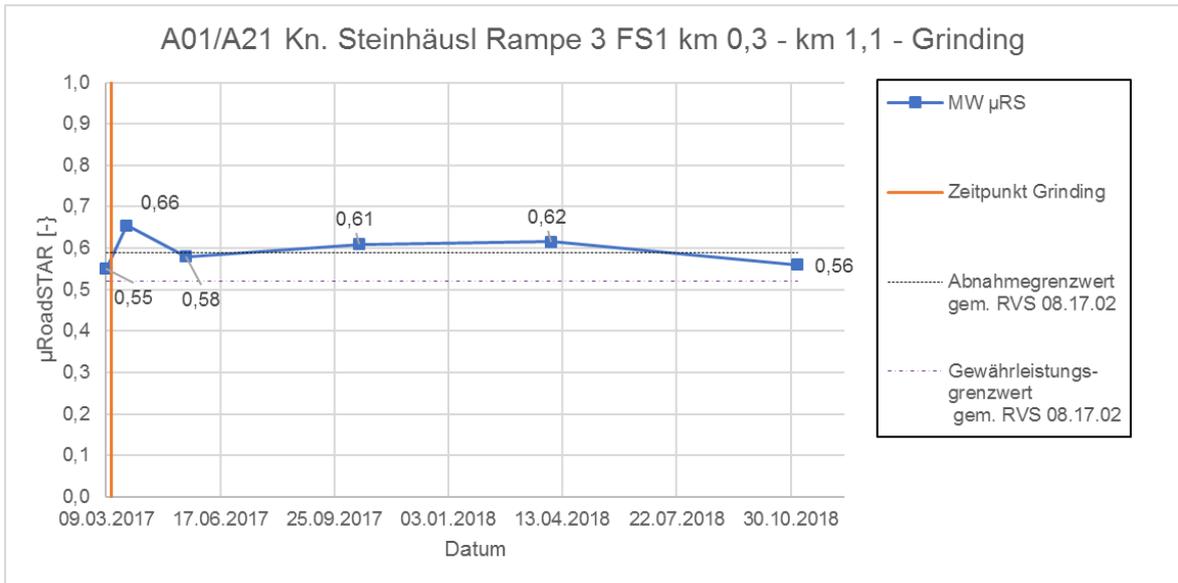


Abbildung 57: Verlauf der Griffigkeit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding

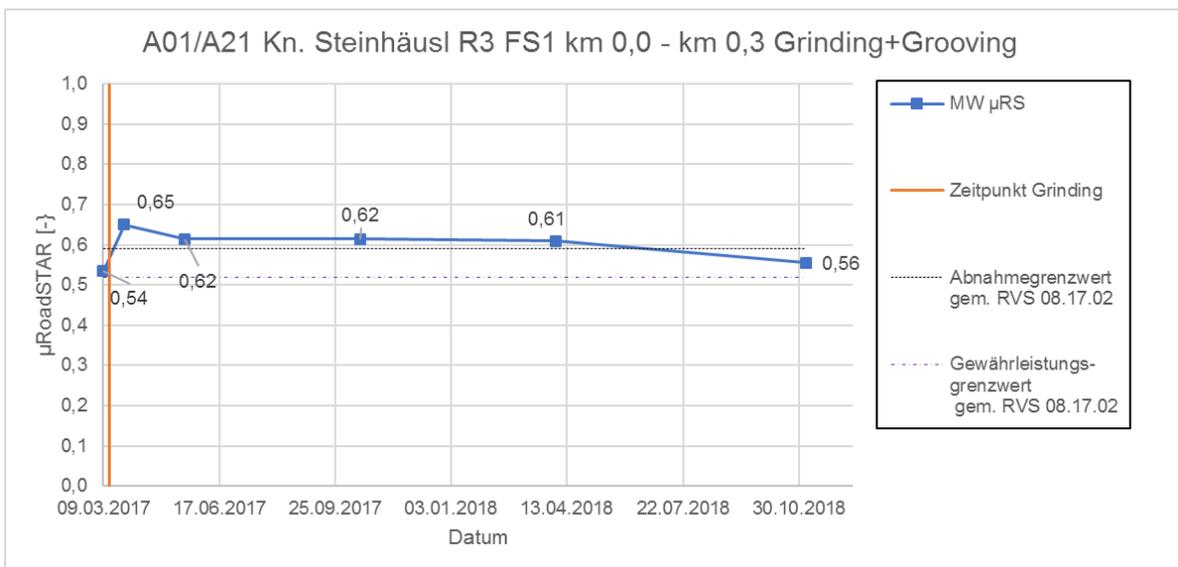


Abbildung 58: Verlauf der Griffigkeit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding+Grooving

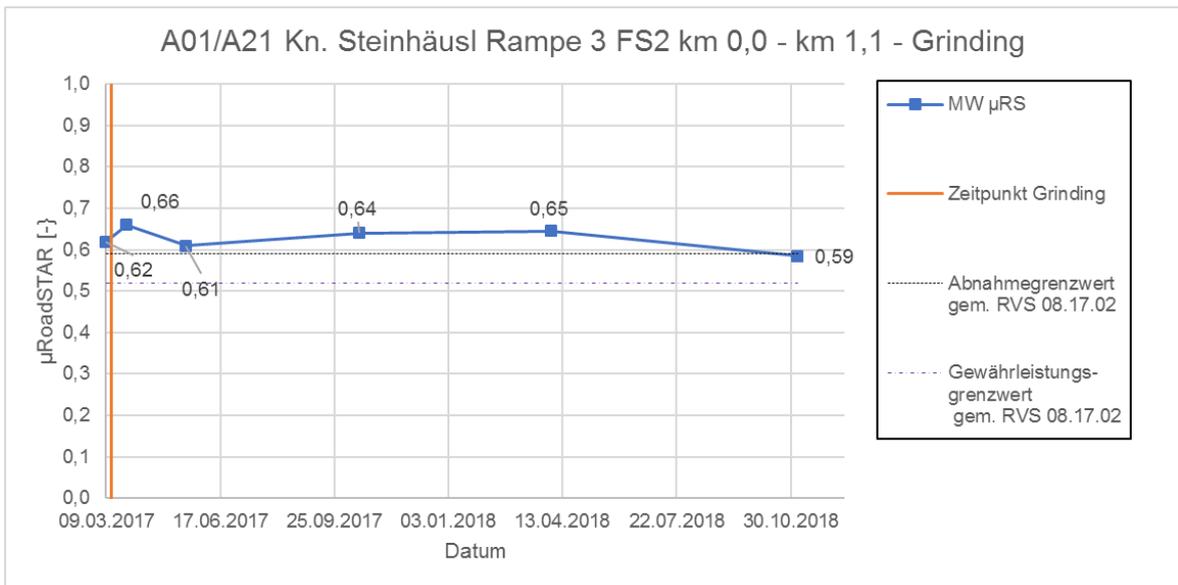


Abbildung 59: Verlauf der Griffigkeit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS2, Abschnitt Grinding

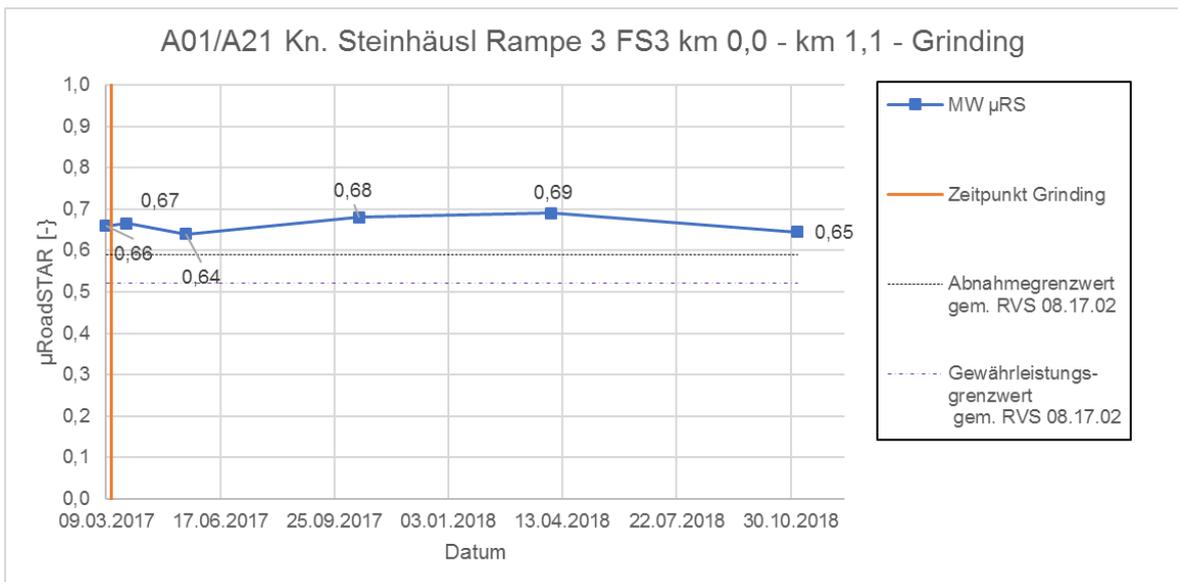
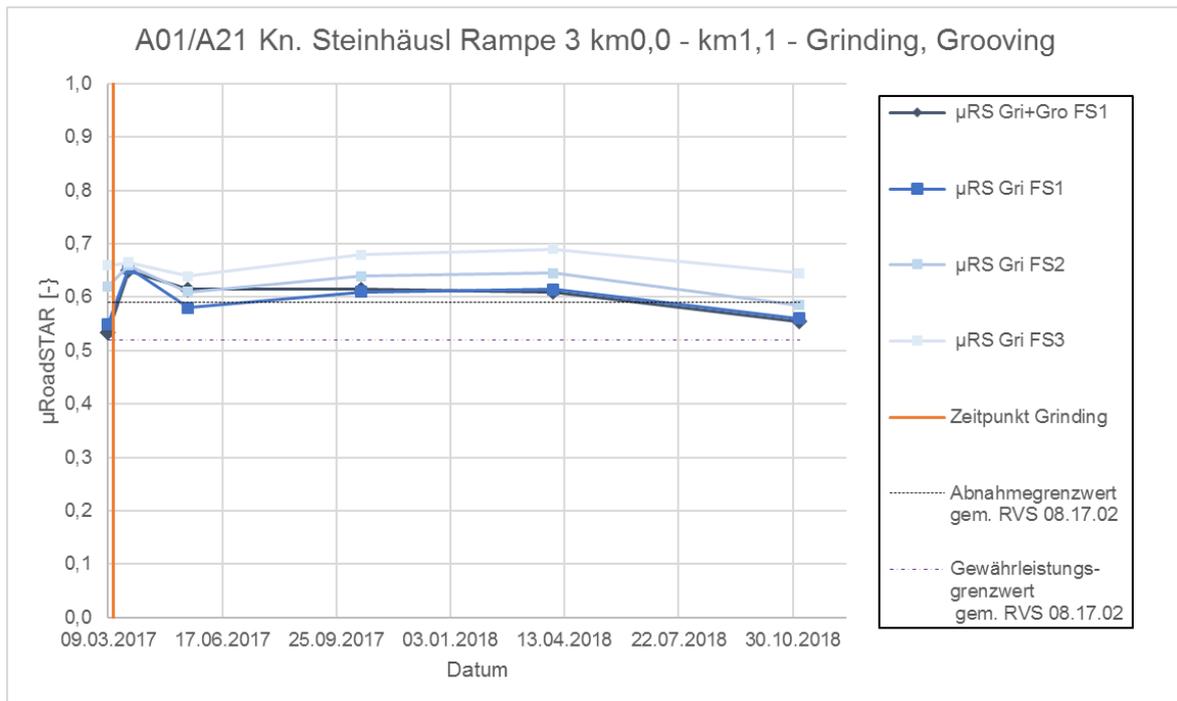


Abbildung 60: Verlauf der Griffigkeit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS3, Abschnitt Grinding



**Abbildung 61: Verlauf der Griffigkeit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, alle Fahrstreifen, FS1 unterteilt in Grinding und Grinding+Grooving**

Die Rampe wurde aufgrund der schlechten Ebenheit bzw. zur Reduktion der Lärmentwicklung zur Sanierung ausgewählt. Die Griffigkeit lag vor Projektbeginn in den Klassen „gut“ bzw. „befriedigend“ gemäß RVS 13.01.15.

Im zeitlichen Verlauf lässt sich folgendes festhalten: Die Ausgangsgriffigkeit auf allen drei Fahrstreifen lag zwischen  $\mu=0,52$  und  $\mu=0,63$ , ansteigend vom rechten bis zum linken Fahrstreifen. Nach dem Grinding stellte sich auf allen drei Fahrstreifen dasselbe Griffigkeitsniveau bei  $\mu=0,66$  ein. Nach ca. zwei Monaten Liegedauer sinkt die Griffigkeit wieder auf das Niveau vor der Maßnahme, um über den restlichen Projektzeitraum zuerst etwas anzusteigen und anschließend wieder zu fallen. Nach 1,5 Jahren Liegedauer stellt sich das Griffigkeitsniveau wie vor der Maßnahme ein, wiederum gestaffelt nach Fahrstreifen.

Der Teilabschnitt des ersten Fahrstreifens, in dem zusätzlich Grooving aufgebracht wurde, zeigt im Vergleich zum reinen Grinding keine Unterschiede im Griffigkeitsverhalten, sowohl was die initiale Erhöhung als auch den zeitlichen Verlauf betrifft.

Die Unterschiede zwischen den Fahrstreifen sind der unterschiedlichen Verkehrsbelastung geschuldet. Insgesamt ist die Schwerverkehrsbelastung für eine Rampe hoch, aufgrund der starken Steigung ist die Beanspruchung höher und es kommt durch größere, den unterschiedlichen Ladungen bzw. Motorisierungen geschuldete Geschwindigkeitsunterschiede

zwischen den LKW auch zu vermehrten LKW-Überholvorgängen bzw. höheren LKW-Anteilen am zweiten Fahrstreifen.

#### 4.2.4 Messung der Längsebenheit

Die Messungen der Längsebenheit wurden analog zu den Griffigkeitsmessungen durchgeführt.

In den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen ist die Entwicklung der Längsebenheit für alle drei Fahrstreifen dargestellt. In allen Abbildungen sind die Kennwerte IRI (International Roughness Index) mit den zugehörigen Klassengrenzen gemäß RVS 13.01.15 [1] auf der linken Achse sowie  $\sigma_{WLP}$  und  $\Delta_{WLP}/6$  auf der rechten Achse dargestellt. Die Darstellung von  $1/6 \Delta_{WLP}$  wurde nur zu Darstellungszwecken gewählt, um den Wertebereich der beiden Kennwerte anzugleichen.

Es zeigt sich eine deutliche Verbesserung der Ebenheit. Ein unerwartetes Detail ist die nochmalige Verbesserung von  $\sigma_{WLP}$  und  $\Delta_{WLP}$  nachfolgend zur Maßnahme. Beim IRI ist diese Entwicklung nicht erkennbar, ein Grund dafür konnte nicht gefunden werden. Möglicherweise wirkt sich die Befahrung durch Verkehr nochmal vergleichmäßigend auf die Ebenheit aus. Das ist aber derzeit nicht belegbar.

**Tabelle 20: Zusammenstellung der Ebenheitskennwerte am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1**

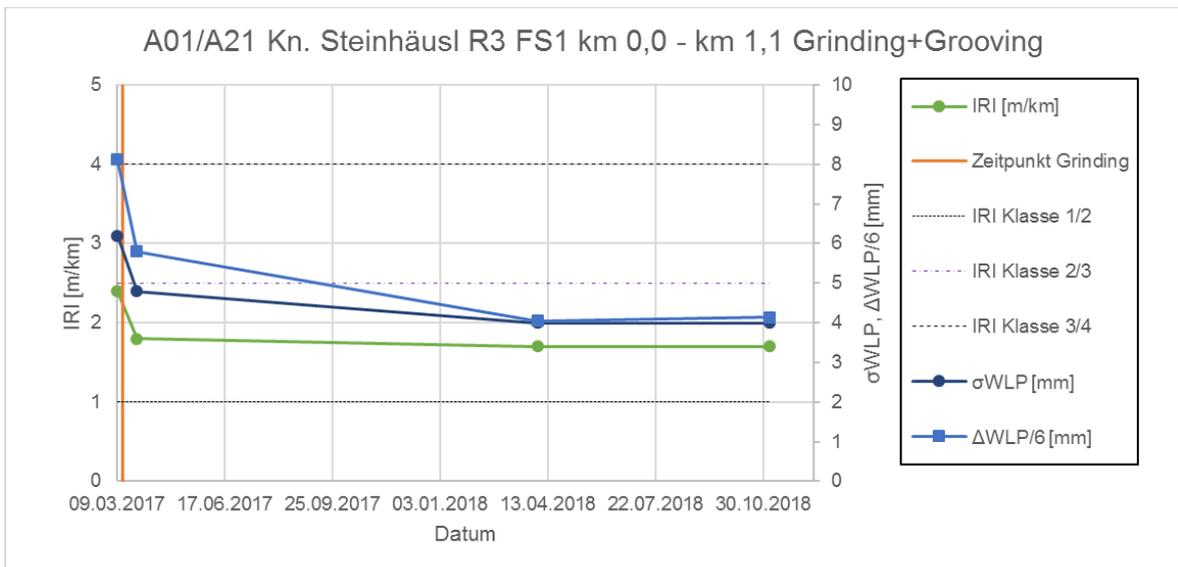
Datum	IRI [m/km]	$\sigma_{WLP}$ [mm]	$\Delta_{WLP}/6$ [mm]
09.03.2017	2,4	6,2	8,1
27.03.2017	1,8	4,8	5,8
03.04.2018	1,7	4,0	4,1
05.11.2018	1,7	4,0	4,1

**Tabelle 21: Zusammenstellung der Ebenheitskennwerte am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS2**

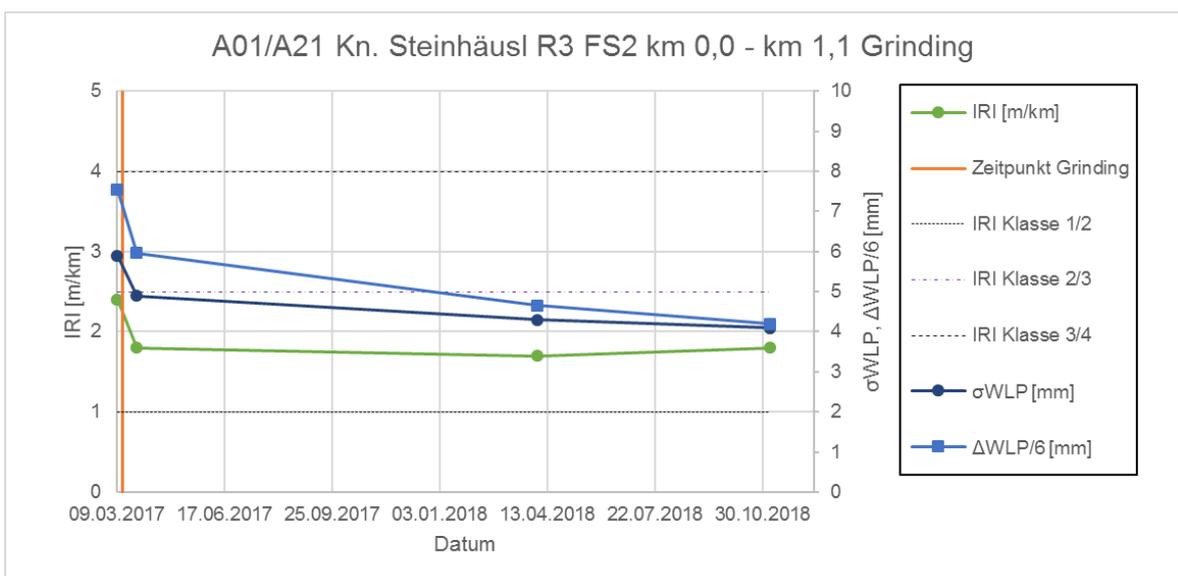
Datum	IRI [m/km]	$\sigma_{WLP}$ [mm]	$\Delta_{WLP}/6$ [mm]
09.03.2017	2,4	5,9	7,6
27.03.2017	1,8	4,9	6,0
03.04.2018	1,7	4,3	4,7
05.11.2018	1,8	4,1	4,2

**Tabelle 22: Zusammenstellung der Ebenheitskennwerte am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS3**

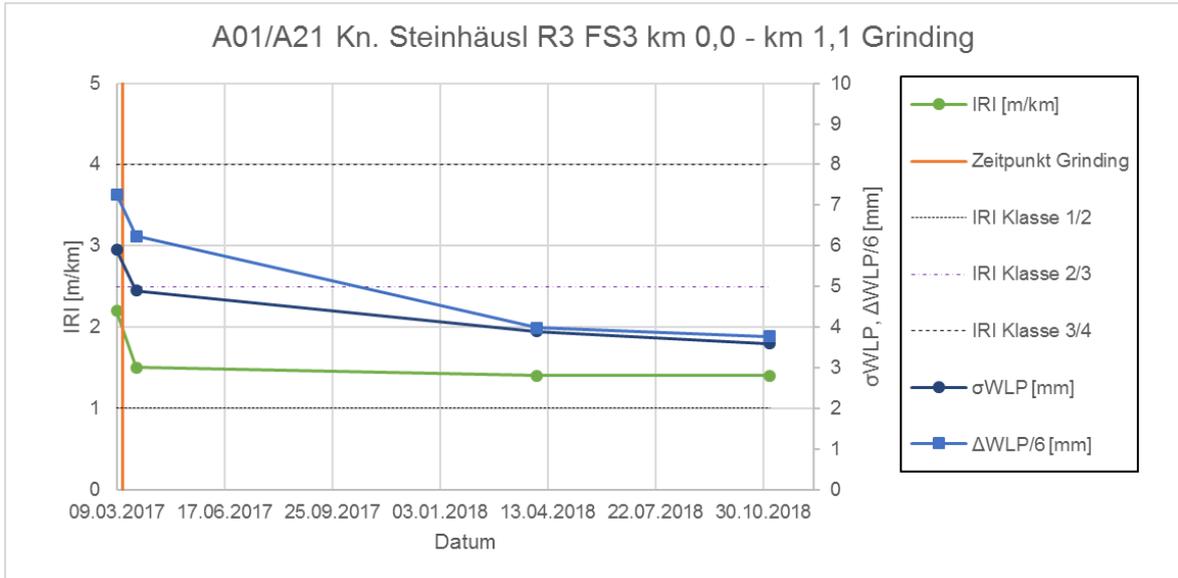
Datum	IRI [m/km]	$\sigma_{WLP}$ [mm]	$\Delta_{WLP}/6$ [mm]
09.03.2017	2,2	5,9	7,3
27.03.2017	1,5	4,9	6,2
03.04.2018	1,4	3,9	4,0
05.11.2018	1,4	3,6	3,8



**Abbildung 62: Verlauf der Längsebenheit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, gesamter FS1**



**Abbildung 63: Verlauf der Längsebenheit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS2**



**Abbildung 64: Verlauf der Längsebenheit am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS3**

#### 4.2.5 Messung der Geräuschemission

Die CPX-Messungen im Bereich Knoten. Steinhäusl wurden vor der Grinding-Maßnahme sowie anschließend vier Mal innerhalb des Projektzeitraumes durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen Tabelle 23 bis Tabelle 26 sowie in den Abbildungen Abbildung 65 bis Abbildung 68 getrennt nach Fahrstreifen sowie am FS1 getrennt nach Grinding und Grooving angegeben. Ergebnisse der SPB- und CPB-Messungen sind in Tabelle 27 und Tabelle 28 dargestellt.

**Tabelle 23: Zusammenstellung der CPX-Messergebnisse am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding**

Datum	80 km/h	100 km/h
08.03.2017	99,6	102,6
04.04.2017	97,1	100,2
12.10.2017	98,1	100,4
03.07.2018	97,7	100,6
22.10.2018	97,9	101,0

**Tabelle 24: Zusammenstellung der CPX-Messergebnisse am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding+Grooving**

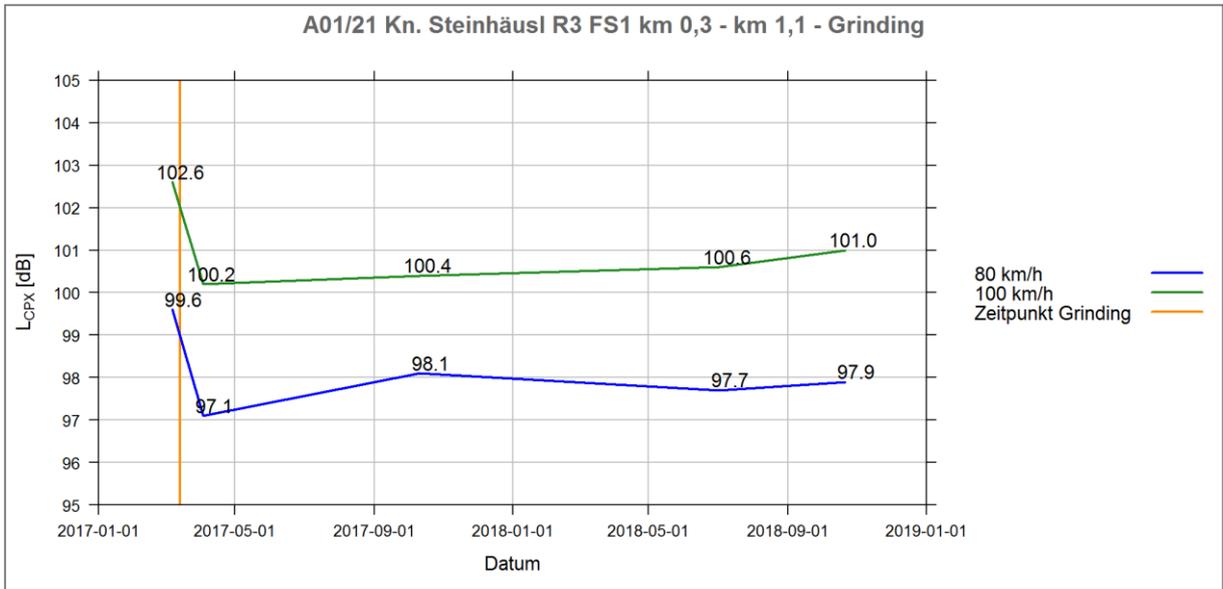
Datum	80 km/h	100 km/h
08.03.2017	99,8	102,6
04.04.2017	97,3	99,9
12.10.2017	97,2	99,9
03.07.2018	98,3	100,2
22.10.2018	97,9	101,1

**Tabelle 25: Zusammenstellung der CPX-Messergebnisse am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS2, Abschnitt Grinding**

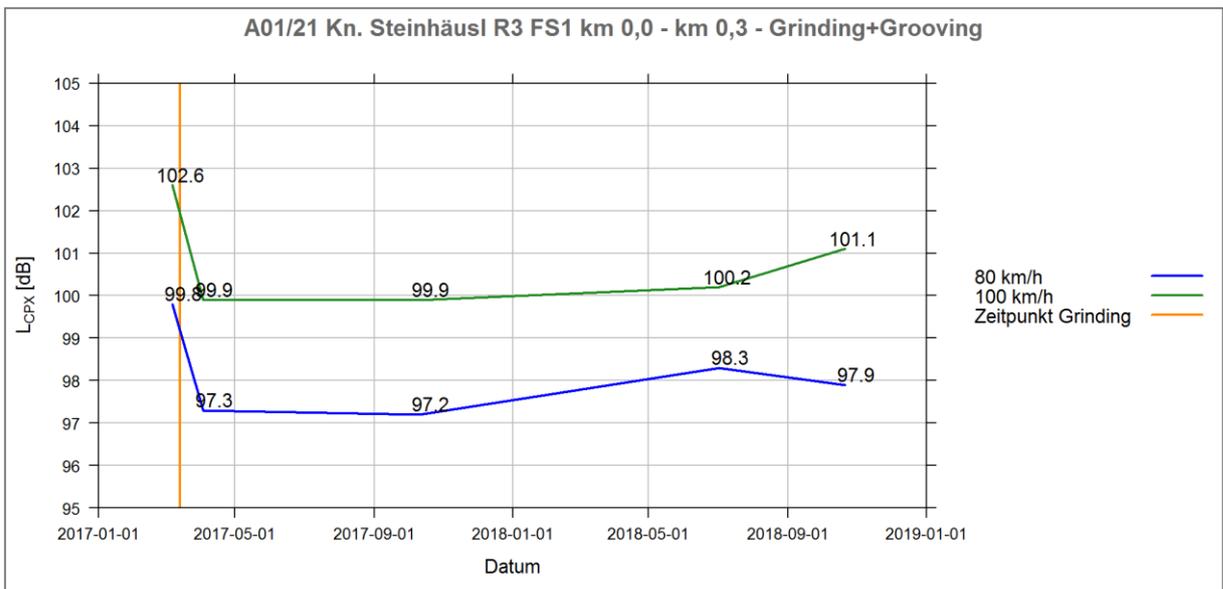
Datum	80 km/h	100 km/h
08.03.2017	99,1	101,9
04.04.2017	95,9	99,0
12.10.2017	97,0	99,9
03.07.2018	96,9	99,9
22.10.2018	97,0	99,8

**Tabelle 26: Zusammenstellung der CPX-Messergebnisse am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS3, Abschnitt Grinding**

Datum	80 km/h	100 km/h
08.03.2017	97,8	100,7
04.04.2017	95,6	98,7
12.10.2017	96,3	99,2
03.07.2018	96,2	99,1
22.10.2018	96,2	99,0



**Abbildung 65: Verlauf der CPX-Pegel am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding**



**Abbildung 66: Verlauf der CPX-Pegel am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding+Grooving**

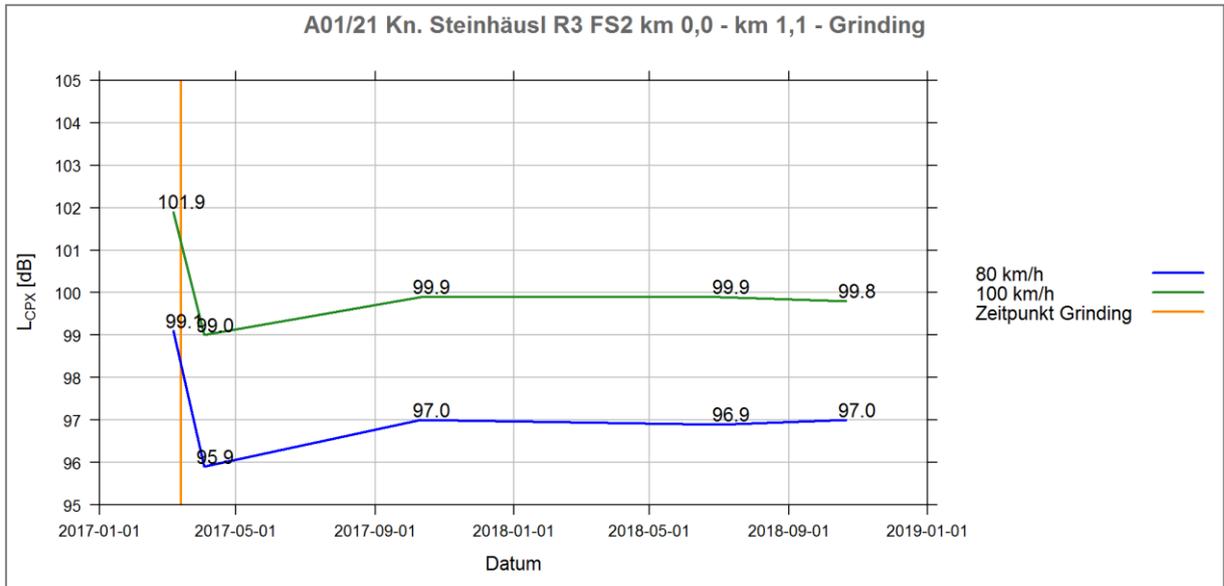


Abbildung 67: Verlauf der CPX-Pegel am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS2, Abschnitt Grinding

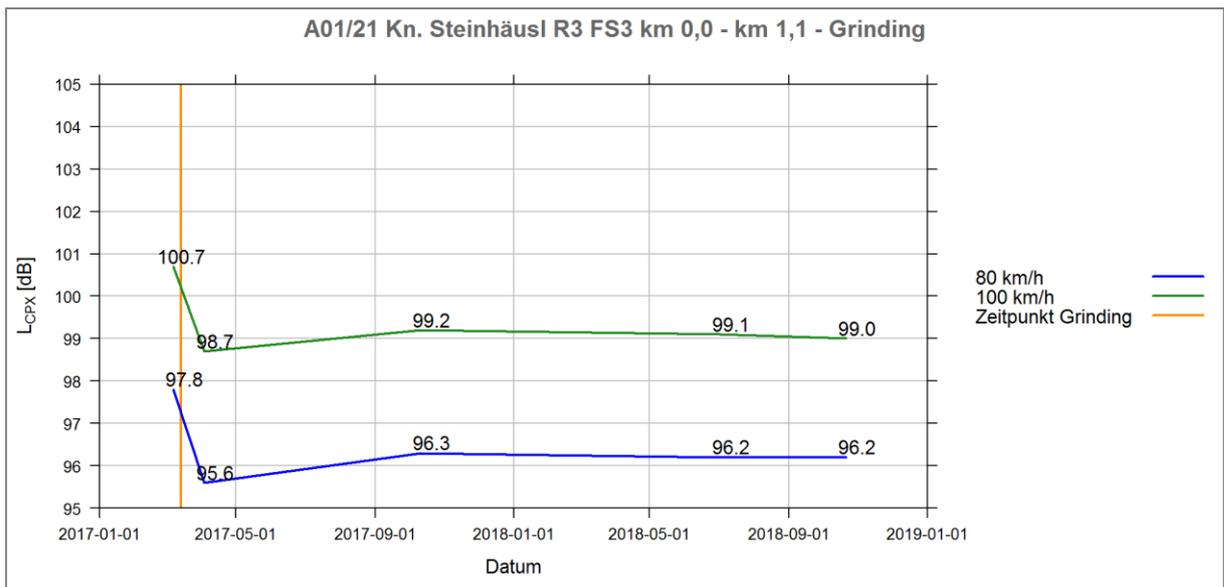


Abbildung 68: Verlauf der CPX-Pegel am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS3, Abschnitt Grinding

**Tabelle 27: Ergebnisse der SPB- und CPB-Messungen am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding; zur Vergleichbarkeit sind die Standard-Werte der RVS 04.02.11 für lärmarmen Waschbeton GK 8 ebenfalls angeführt**

Messung	Fahrzeugkategorie	Geschwindigkeit [km/h]			
		60	80	100	130
RVS 04.02.11 LWBGK8	PKW	-	53,4	55,4	57,8
	CPB	-	53,4	55,4	57,8
	sLKW	57,7	60,4	-	-
Grinding 11.05.2017	PKW	-	53,0	54,8	56,9
	CPB	-	52,4	54,2	56,2
	sLKW	61,3	62,2	-	-
Grinding 06.06.2018	PKW	-	53,1	55,3	57,8
	CPB	-	52,9	54,8	57,1
	sLKW	60,9	62,4	-	-

**Tabelle 28: Ergebnisse der SPB- und CPB-Messungen am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grooving; zur Vergleichbarkeit sind die Standard-Werte der RVS 04.02.11 für lärmarmen Waschbeton GK 8 ebenfalls angeführt**

Messung	Fahrzeugkategorie	Geschwindigkeit [km/h]			
		60	80	100	130
RVS 04.02.11 LWBGK8	PKW	-	53,4	55,4	57,8
	CPB	-	53,4	55,4	57,8
	sLKW	57,7	60,4	-	-
Grooving 11.05.2017	PKW	-	53,3	54,8	56,6
	CPB	-	51,7	53,6	55,8
	sLKW	60,9	62,2	-	-
Grooving 06.06.2018	PKW	-	52,9	54,1	55,5
	CPB	-	50,4	53,0	56,0
	sLKW	61,3	61,7	-	-

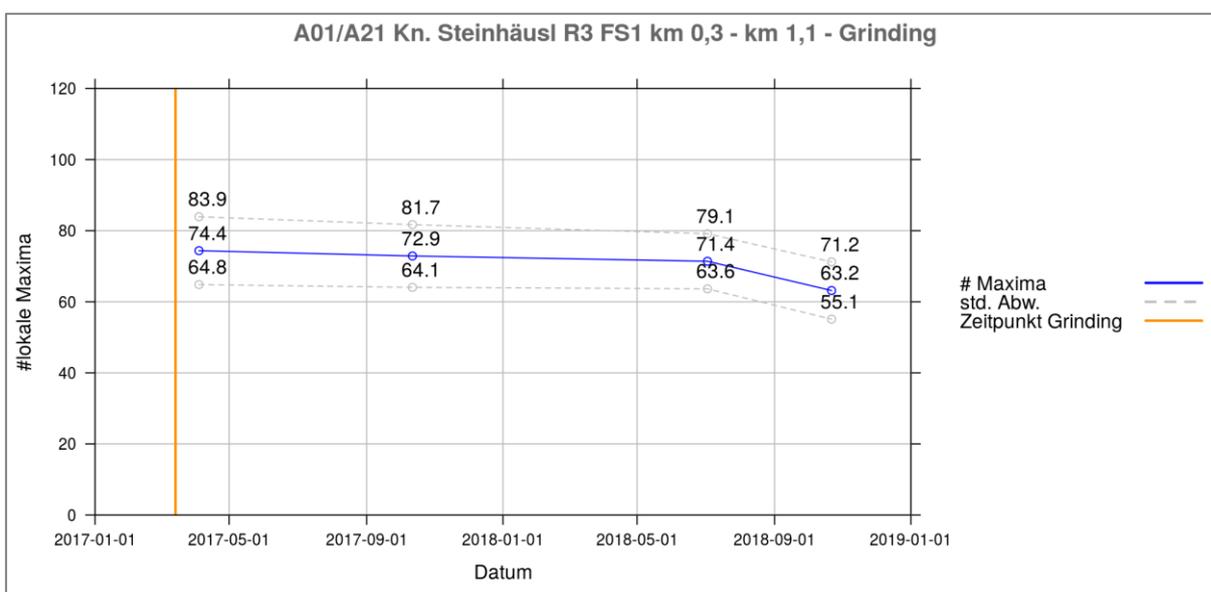
Die Ergebnisse der CPX-Messungen zeigen nach Durchführung der Grinding-Maßnahme für die drei Fahrstreifen eine Verbesserung der Emissionscharakteristik von ca. 2 dB(A). Das zusätzliche Grooving am ersten Fahrstreifen zeigt keine relevante Änderung im Vergleich mit den Grinding-Strecken. In Bezug auf den Gesamtemissionspegel zeigt sich hier, dass die Wirkung relativ zum Ausgangswert gesehen werden sollte, wobei der 1. Fahrstreifen vor Durchführung des Grindings einen schlechteren akustischen Zustand aufweist.

In Bezug auf die im Projektzeitraum betrachtete akustische Alterung der Fahrbahndecke zeigt sich ein Rückgang der lärmverbessernden Wirkung von ca. 0,5 – 1 dB(A), wobei vor allem die schwerverkehrsbelasteten ersten beiden Fahrstreifen höhere Rückgänge der Wirkung aufweisen.

In Hinblick auf die Vorbeifahrtmessungen zeigt sich im Vergleich mit den ausgewerteten Emissionscharakteristika für Waschbeton GK 8 für PKWs eine leichte Verbesserung der Schallemissionen. In Bezug auf schwere LKWs zeigt sich aus den Messungen ein konträres Bild, wobei beachtet werden muss, dass die Messstelle eine merkliche Steigung aufweist und damit in Hinblick auf Schwerverkehrsemissionen nicht sichergestellt werden kann, dass Motor- und Antriebsgeräusche das gemessene Rollgeräusch beeinflussen.

#### 4.2.6 Texturmessungen

Die 3D-Texturmessungen im Bereich Knoten Steinhäusl wurden nach der Grinding-Maßnahme vier Mal innerhalb des Projektzeitraumes durchgeführt. Als primäres Ergebnis ist der Zeitverlauf der mittleren Anzahl lokaler Maxima in Abbildung 69 bis Abbildung 72 getrennt nach Fahrstreifen und Grinding bzw. Grinding und Grooving dargestellt. Dabei ist zusätzlich zur mittleren Anzahl der lokalen Maxima ihre Standardabweichung dargestellt.



**Abbildung 69: Verlauf der Anzahl lokaler Maxima am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding**

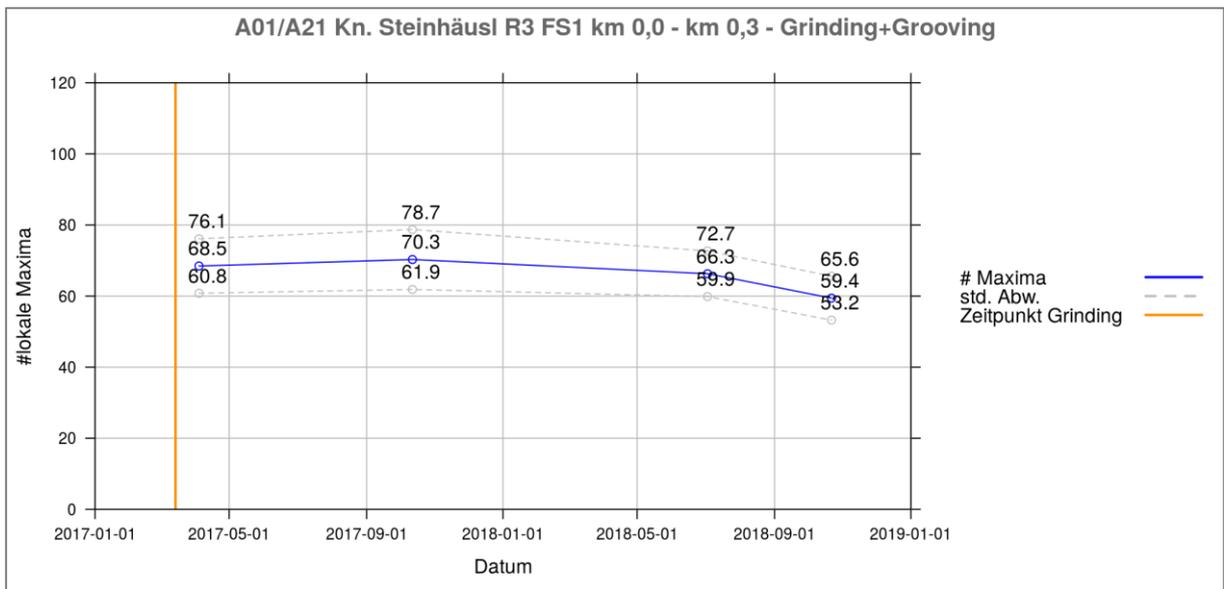


Abbildung 70: Verlauf der Anzahl lokaler Maxima am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS1, Abschnitt Grinding+Grooving

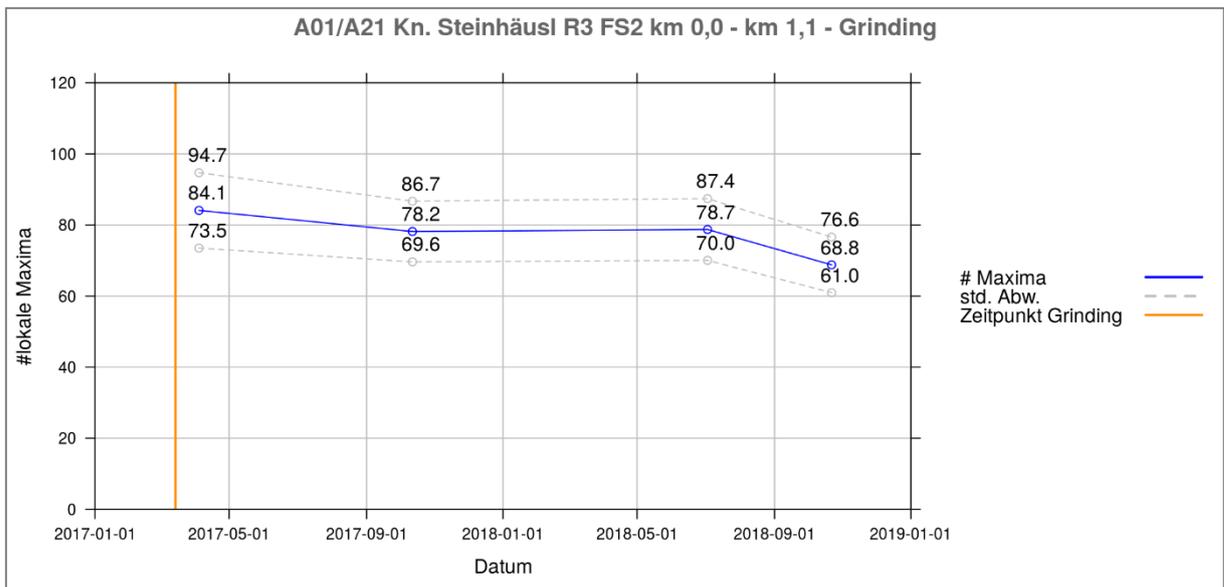
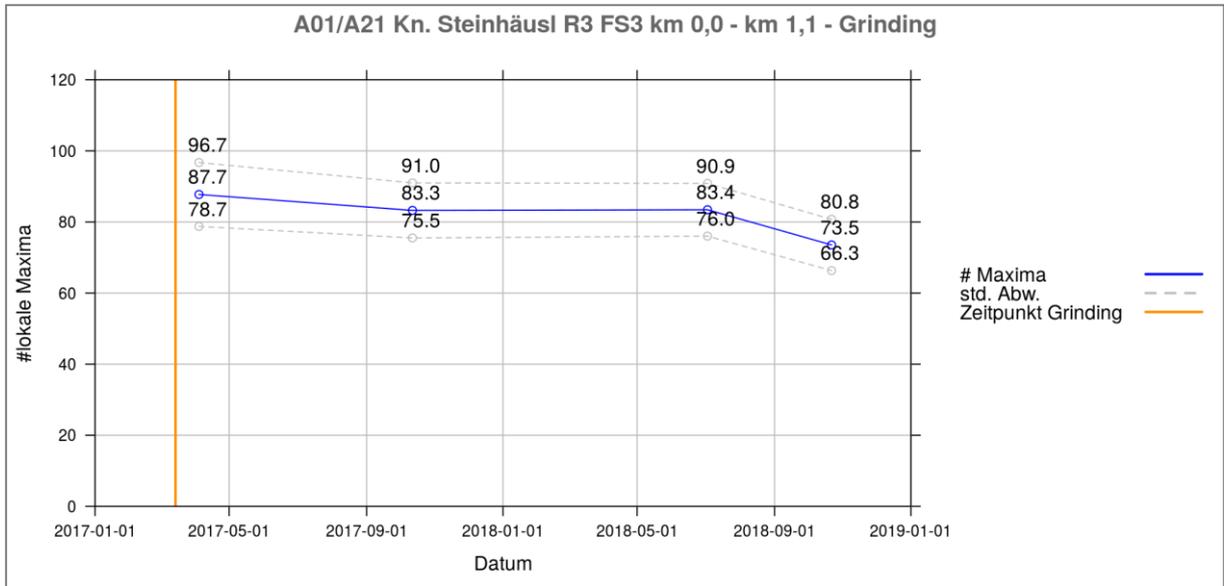


Abbildung 71: Verlauf der Anzahl lokaler Maxima am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS2, Abschnitt Grinding



**Abbildung 72: Verlauf der Anzahl lokaler Maxima am Knoten Steinhäusl Rampe 3, FS3, Abschnitt Grinding**

Im zeitlichen Verlauf der mittleren Anzahl lokaler Maxima ist hierbei über alle Messabschnitte hinweg eine Abnahme zu beobachten, die in mit der Zeit zunehmender Anzahl an Stegbrüchen vermutet wird. Ebenfalls kann eine Zunahme der Anzahl lokaler Maxima vom 1. zum 3. Fahrstreifen hin festgestellt werden, die über den Monitoringzeitraum unverändert erhalten bleibt.

### 4.3 Versuchsstrecke A10

#### 4.3.1 Allgemeines

Die Versuchsstrecke auf der A10 befindet sich in Fahrtrichtung Villach zwischen den Anschlussstellen Spittal Ost und Paternion. Die Strecke wurde ausgewählt, weil es sich hier um den letzten vorhandenen Abschnitt handelt, der mit Besenstrich texturiert wurde. Alle anderen Betonabschnitte am ASFINAG-Netz sind als Waschbeton ausgebildet. Die Strecke weist eine lange Liegedauer auf, die Oberbaudatenbank der ASFINAG weist 1988 als Herstellungsjahr aus.

#### 4.3.2 Beschreibung der Grindingtextur

Die Herstellung der Grindingtextur erfolgte am 07.11.2017 auf einer Länge von 400 m am rechten Fahrstreifen. Die Geometrie der aufgetragenen Textur wurde mit 2,8/2,2 mm (Segmentbreite/Segmentabstand) festgelegt.

### 4.3.3 Messung der Griffigkeit

Vor der Grindingmaßnahme wurde der Zustand der Betondecke erfasst. Die Griffigkeit lag gemäß RVS 13.01.15 in der Klasse „gut“.

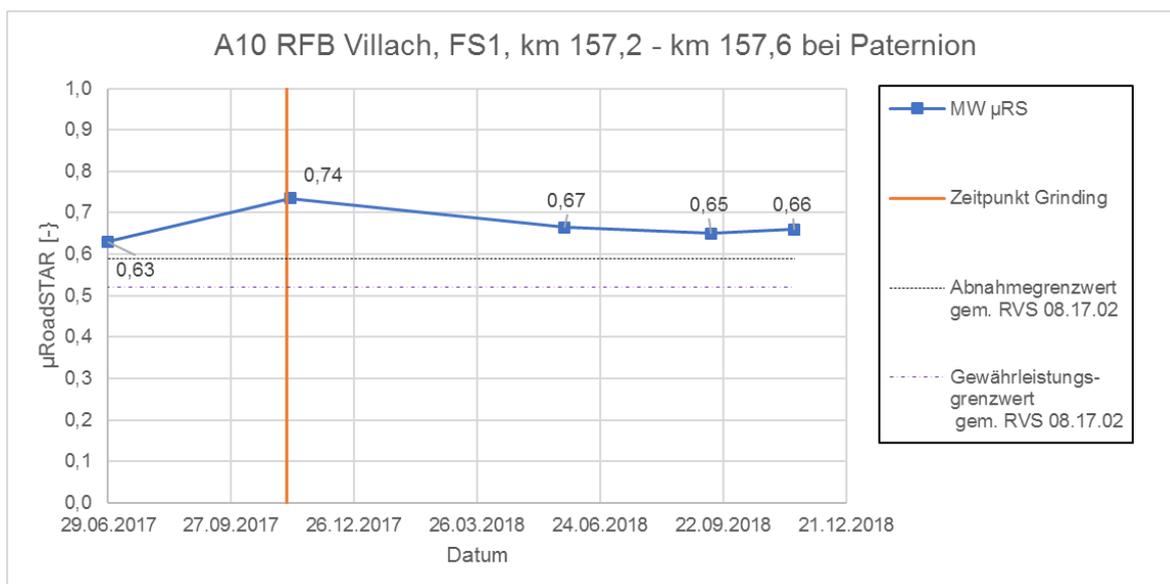
Unmittelbar nach Beendigung der Maßnahme wurde die Erstmessung durchgeführt. Über den Projektzeitraum erfolgten wiederholte Messungen, genaue Daten sind in der Tabelle 29 verzeichnet.

Pro Messzeitpunkt wurden zwei unmittelbar aufeinanderfolgende Messungen durchgeführt und an Ort und Stelle verglichen. Nachdem die 50 m-Mittelwerte, aber auch die 5 m-Rohwerte keine größere Variation innerhalb der Messstrecke zeigten, wurde über den gesamten Abschnitt pro Messung ein Mittelwert gebildet („Messung 1“, „Messung 2“ in den nachfolgenden Tabellen) Die Ergebnisse der Erst- und Wiederholungsmessung wurden für die Darstellung im folgernden Diagramm ebenfalls gemittelt („MW  $\mu_{RS}$ “ in den nachfolgenden Tabellen und Diagramme).

Zusätzlich zum Grindingabschnitt wurde auch ein Vor- bzw. Nachlauf von 400 m der unbehandelten Besenstrichtextur erfasst, um etwaige zeitliche bzw. verkehrliche Veränderungen der Oberflächeneigenschaften unabhängig von der Grindingmaßnahme nachvollziehen zu können.

**Tabelle 29: Zusammenstellung der Griffigkeitsmessungen auf der A10, RFB Villach, km 157,2 – km 157,6, FS1**

Datum	Messung 1	Messung 2	MW $\mu_{RS}$
29.06.2017	0,64	0,62	0,63
09.11.2017	0,73	0,74	0,74
29.05.2018	0,66	0,67	0,67
13.09.2018	0,65	-	0,65
13.11.2018	0,66	0,66	0,66



**Abbildung 73: Verlauf der Griffigkeit auf der Versuchsstrecke A10, RFB Villach, km 157,2 – km 157,6, FS1**

Die zeitliche Entwicklung der Griffigkeit lässt folgende erkennen: Durch die Grindingmaßnahme wird die Griffigkeit vom ursprünglichen Niveau  $\mu=0,63$  um ca.  $\Delta\mu=0,1$  deutlich angehoben. Über den Winter büßt die Strecke einen großen Teil der Erhöhung wieder ein und zeigt über den Sommer eine „horizontale“ Entwicklung ohne größere Änderungen. Nach einem Jahr Liegedauer ist die Griffigkeit nicht mehr nennenswert über dem Ausgangsniveau und liegt weiterhin in der Klasse „gut“ gemäß RVS 13.01.15.

#### 4.3.4 Messung der Längsebenheit

Die Messungen der Längsebenheit wurden analog zu den Griffigkeitsmessungen durchgeführt.

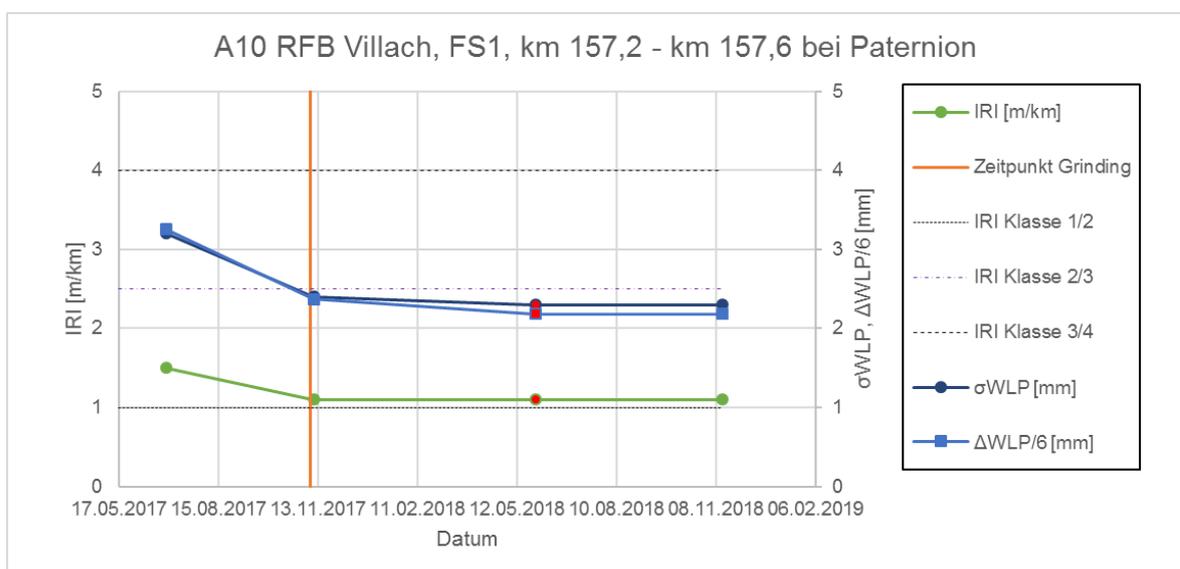
In der nachfolgenden Tabelle und Abbildung ist die Entwicklung der Längsebenheit dargestellt. In der Abbildung sind die Kennwerte IRI (International Roughness Index) mit den zugehörigen Klassengrenzen gemäß RVS 13.01.15 [1] auf der linken Achse sowie  $\sigma_{WLP}$  und  $\Delta_{WLP}/6$  auf der rechten Achse dargestellt. Die Darstellung von  $1/6 \Delta_{WLP}$  wurde nur zu Darstellungszwecken gewählt, um den Wertebereich der beiden Kennwerte anzugleichen.

Es zeigt sich eine deutliche Verbesserung der Ebenheit. Die Messung am 29.05.2018 war aus unbekanntem Gründen nicht vollständig auswertbar, es wurden ersatzweise die Werte von der darauffolgenden Messung übernommen. Die betroffenen Werte sind in der Tabelle und im Diagramm rot markiert.

**Tabelle 30: Zusammenstellung der Ebenheitsmessungen auf der A10, RFB Villach, km 157,2 – km 157,6, FS1**

Datum	IRI [m/km]	$\sigma_{WLP}$ [mm]	$\Delta_{WLP}/6$ [mm]
29.06.2017	1,5	3,2	3,3
09.11.2017	1,1	2,4	2,4
29.05.2018*	1,1	2,3	2,2
13.11.2018	1,1	2,3	2,2

\* Messung ungültig, siehe Text



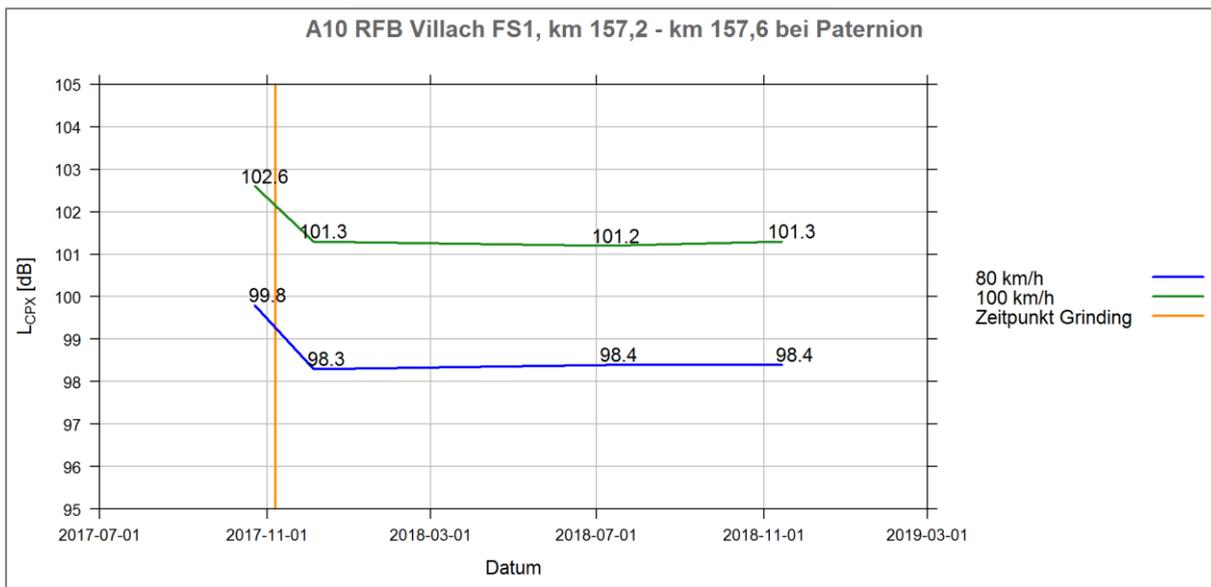
**Abbildung 74: Verlauf der Ebenheitskennwert auf der Versuchsstrecke A10, RFB Villach km 157,2 – km 157,6, FS1**

#### 4.3.5 Messung der Geräuschemission

Die CPX-Messungen im Bereich Spittal/Drau – Paternion/Feistritz wurden vor der Grinding-Maßnahme sowie anschließend drei Mal innerhalb des Projektzeitraumes durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen sowie in den Abbildungen angegeben. Die Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen nach ISO 11819-2 sind in Tabelle 32 dargestellt.

**Tabelle 31: Zusammenstellung der CPX-Messergebnisse auf der A10, km 157,2 – km 157,6, FS1**

Datum	80 km/h	100 km/h
24.10.2017	99,8	102,6
06.12.2017	98,3	101,3
09.07.2018	98,4	101,2
15.11.2018	98,4	101,3



**Abbildung 75: Verlauf der CPX-Pegel auf der Versuchsstrecke A10, km 157,2 – km 157,6, FS1**

**Tabelle 32: Ergebnisse der SPB- und CPB-Messungen auf der Versuchsstrecke A10, km 157,2 – km 157,6, FS1; zur Vergleichbarkeit sind die Standard-Werte der RVS 04.02.11 für lärmarmen Waschbeton GK 8 ebenfalls angeführt**

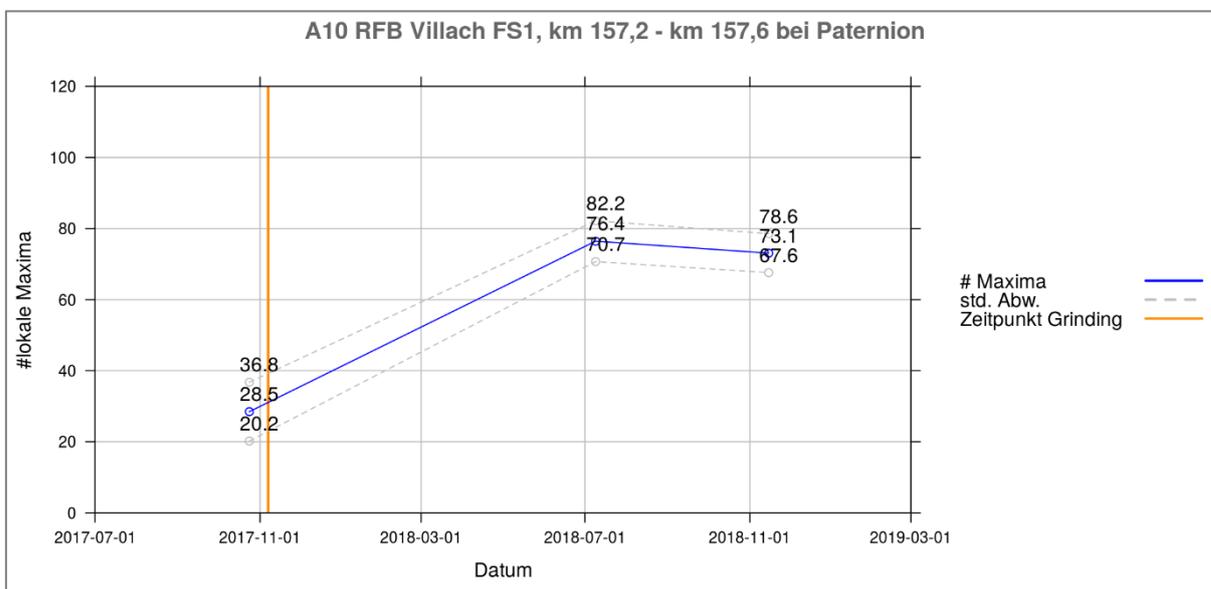
Messung	Fahrzeugkategorie	Geschwindigkeit [km/h]			
		60	80	100	130
RVS	PKW	-	53,4	55,4	57,8
04.02.11	CPB	-	53,4	55,4	57,8
LWBGK8	sLKW	57,7	60,4	-	-
Referenz- messung	PKW	-	58,6	59,2	60,0
	CPB	-	53,4	56,3	59,8
	sLKW	62,1	63,4	-	-
Grinding 23.07.2018	PKW	-	54,5	56,3	58,5
	CPB	-	53,9	56,1	58,6
	sLKW	60,0	61,7	-	-

In Bezug auf die CPX-Messungen zeigt die Messstelle durch die Durchführung des Grindings eine akustische Verbesserung von ca. 1,5 dB(A). Damit ist die erreichte Lärmminde- rung etwas geringer als bei Versuchsstrecke A01/A21, die erreichten CPX-Pegel liegen ca. 1 dB(A) über denen der Messstelle 1.

Die Ergebnisse der Vorbeifahrtmessungen zeigen ebenfalls eine Verbesserung im Ver- gleich mit der Referenzmessstelle in derselben Größenordnung. Bei Vergleich mit der RVS 04.02.11 ist hier zu beachten, dass in Tabelle 32 die ausgewerteten Basis- und Kenn- werte für lärmindernden Waschbeton mit Größtkorn 8 dargestellt sind, die Versuchsstre- cke allerdings ursprünglich eine Besenstrich-texturierten Betonoberfläche aufweist.

#### 4.3.6 Texturmessungen

Die Messungen der 3D-Textur an der A10 bei Paternion wurden im Projektverlauf kurz vor und zwei Mal nach Durchführung des Grindings vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Ab- bildung 76 für den 1. Fahrstreifen dargestellt. Durch das Grinding ist eine deutliche Erhö- hung in der Anzahl lokaler Maxima zu sehen, wobei bei wiederholter Messung nach Durch- führung des Grindings in Übereinstimmung mit der Messstelle am Knoten Steinhäusl eine Abnahme mit der Zeit beobachtet wird.



**Abbildung 76: Verlauf Anzahl lokaler Maxima auf der Versuchsstrecke A10, FS1, km 157,2 – km 157,6, FS1**

## 5 KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE UND LEBENSZYKLUSANALYSE

### 5.1 Einführung zur Kosten-Nutzen-Analyse und der Lebenszyklusanalyse

Die Lebenszyklusanalyse oder genauer gesagt die Lebenszykluskostenanalyse ist ein in Österreich standardisiertes Verfahren zur Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen unterschiedlicher Intensität im Bereich des Straßenoberbaus. Die Auswahl einer optimalen Erhaltungsstrategie (= Abfolge von unterschiedlichen oder gleichen Erhaltungsmaßnahmen innerhalb des Lebenszyklus des Straßenoberbaus) unter vorgegebenen Randbedingungen ist das oberste Ziel einer solchen Untersuchung, wobei als Randbedingungen entweder monetäre (budgetäre) Restriktionen oder Anforderungen an den Zustand definiert werden. Bei der Lebenszyklusanalyse handelt es sich um ein Vergleichsverfahren, bei welchem unterschiedliche, technisch sinnvolle Erhaltungsstrategien bzw. Maßnahmenstrategien miteinander verglichen werden und die daraus ableitbaren Kosten und Wirkungen (Nutzen) im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse gegenübergestellt werden. Als Grundlage für die Bewertung der unterschiedlichen Varianten werden die Prognose des Straßenzustandes sowie die aufgrund eines schlechten Straßenzustandes vorzunehmenden Erhaltungsmaßnahmen über einen bestimmten Betrachtungszeitraum herangezogen. Dies bedeutet, dass für eine Beurteilung einer Erhaltungsmaßnahme folgende Informationen im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse mit Kosten-Nutzen-Beurteilung vorhanden sein müssen:

- Kosten der Maßnahme
- Direkte Wirkung der Maßnahme auf die unterschiedlichen Eigenschaften des Straßenoberbaus (Inventar und Zustand)
- Langfristige Wirkung auf die unterschiedlichen Eigenschaften des Straßenoberbaus (Inventar und Zustand), abgebildet über Zustandsprognosemodelle
- Ableitung des Nutzens unter Heranziehungen der Wirkungen auf die Nutzer

Eine detaillierte Beschreibung der von ASFINAG verwendeten Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse kann dem Handbuch Pavement Management in Österreich [31] entnommen werden, sodass im Rahmen des gegenständlichen Projektes nur die wichtigsten Berechnungsbausteine nachfolgend beschrieben werden.

Der Nutzen einer Erhaltungsstrategie beschreibt die positiven Auswirkungen auf den Straßennutzer und/oder den Straßenerhalter bzw. Baulastträger. Der Vergleich zwischen der „Nichts-Tun-Strategie“ (0-Strategie) und einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme ermöglicht die Berechnung des Nutzens. Dieser Nutzen kann dabei

- monetär durch die Ermittlung einzusparenden Kosten oder
- nicht monetär, durch die Verwendung von auf den Straßenzustand bezogenen Verhältniszahlen

über die Analyseperiode festgelegt werden.

Voraussetzung für die Berechnung des Nutzens ist die Kenntnis der Entwicklung des Straßenzustandes über die betrachtete Zeitperiode. Bei einer monetären Bewertung ist darüber hinaus ein Zusammenhang zwischen Straßenzustand und Kosten, sowohl auf Seiten des Straßennutzers und/oder der betroffenen Stakeholder (z.B. Anrainer) als auch auf Seiten des Straßenerhalters erforderlich. Die Abbildung 77 zeigt nach [31] schematisch, wie der Nutzen einer Erhaltungsstrategie über die berechenbare „Wirkungsfläche“ (auch als „Fläche zwischen den Kurven“ bezeichnet) in Form einer dimensionslosen Verhältniszahl ausgedrückt werden kann. Ist der technische, auf den Zustand bezogene Effekt der einzelnen Erhaltungsmaßnahmen groß, ergibt sich auch ein hoher Nutzen.

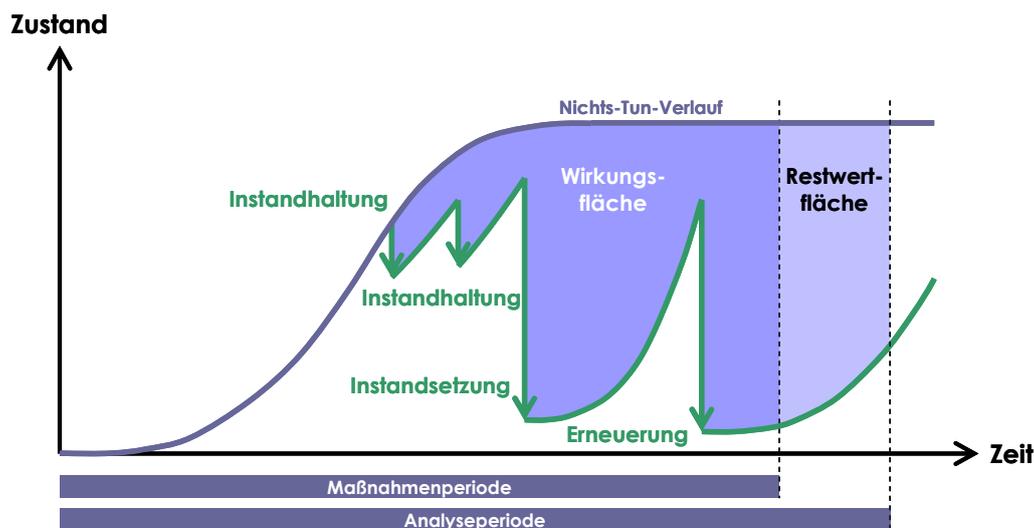


Abbildung 77: Nicht-monetäre Definition des Nutzens nach [31]

Um sowohl die Auswirkungen der Maßnahmen auf den Baulastträger (Straßenverwaltung) als auch auf den Straßennutzer zu bewerten, empfiehlt es sich, den Gesamtwert als maßgebendes Zustandsmerkmal heranzuziehen. Der Gesamtwert beinhaltet sowohl den auf den Straßennutzer bezogenen Gebrauchswert als auch den auf den Baulastträger bezogenen Substanzwert. Die Fläche muss in einem letzten Schritt lediglich mit der Anzahl der betroffenen Nutzer multipliziert werden, um jene Strategien höher zu bewerten, deren positive Auswirkungen auch mehr Straßennutzer und/oder Stakeholder betrifft. Dies kann

dabei sowohl über die Verkehrsbelastung als auch über einen weiteren Verhältniswert erfolgen (Nutzenfaktor).

Wird der Nutzen als Verhältniszahl definiert, so kann auch der „Restwert“ (Wert des Oberbaus am Ende der Maßnahmenperiode) durch eine nicht monetäre Größe einfach und effizient über die Wirkungsfläche bestimmt werden. Hierzu empfiehlt es sich, die zu beurteilende Fläche über die Maßnahmenperiode so zu erweitern, dass eine aussagekräftige Beurteilung der Entwicklung nach dem Durchführen einer letzten Erhaltungsmaßnahme möglich ist (mind. 5 Jahre). Diese zusätzliche Fläche wird auch als „Restwertfläche“ bezeichnet. Das Ziel der Nutzen-Kosten-Untersuchung oder genauer gesagt der Kostenwirksamkeitsanalyse besteht nun darin, jene Strategien herauszufiltern, die aufgrund ihres günstigen Nutzen-Kosten-Verhältnisses für eine Optimierung herangezogen werden sollen. Alle anderen Strategien werden nicht näher betrachtet, da sie „unwirtschaftliche“ Lösungen darstellen. Dabei kann nach [31] das Verfahren des „inkrementellen“ Nutzen-Kosten-Verhältnisses“ INKV herangezogen werden. Das INKV ist dabei der Quotient aus der Nutzen- und Kostendifferenz zweier Erhaltungsmaßnahmen auf einem bestimmten Abschnitt (siehe Abbildung 78).

Als effektive Maßnahmen werden jene Maßnahmen bezeichnet, die im Vergleich zu allen anderen Maßnahmen ein günstiges (hohes) inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweisen. Diese Maßnahmen liegen im „Effektivitätsdiagramm“ - der grafischen Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen - entlang einer abschnittsweise linearen Funktion, die als „Effektivitätsgerade“ bezeichnet wird (umhüllende Gerade der Strategiepunkte). Jede Strategie ist in diesem Diagramm mit einem Punkt darstellbar (siehe Abbildung 78).

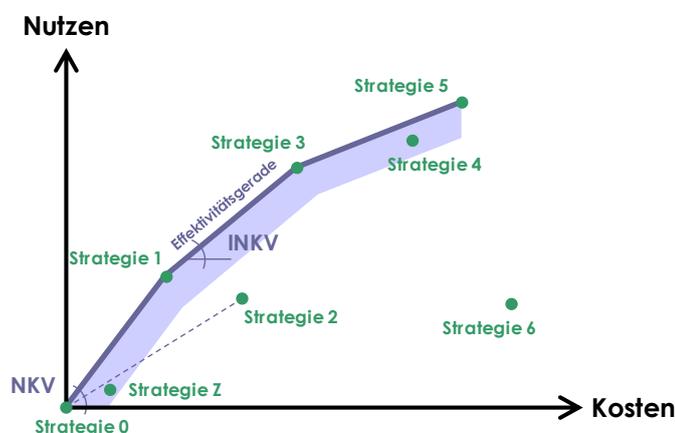


Abbildung 78: Schematische Darstellung Effektivitätsdiagramm nach [31]

Die „Nichts-Tun-Strategie“ (Strategie 0 in Abbildung 78) verursacht keine Kosten und hat auch keinen Nutzen im Vergleich zur Zwischensanierungsstrategie (Strategie Z in Abbildung 78), die ausschließlich Instandhaltungsmaßnahmen beinhaltet und ebenfalls einer Bewertung unterzogen werden sollte [31].

Liegt eine Erhaltungsstrategie knapp unterhalb der Effektivitätsgerade, so würde sie nach diesem Verfahren als unwirtschaftlich von einer Optimierung ausgeschlossen. Da jedoch die Berechnungen der Kosten und des Nutzens gewisse Ungenauigkeiten aufweisen, wird in der Regel ein Bereich unterhalb der Effektivitätsgeraden angegeben, dessen Strategien ebenfalls im Zuge einer Optimierung berücksichtigt werden (siehe z.B. Strategie 4 in Abbildung 78) [31].

## 5.2 Kosten-Nutzen-Analyse

### 5.2.1 Allgemeines

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel erwähnt, ist es für eine Kosten-Nutzen-Analyse erforderlich, bestimmte, der Erhaltungsmaßnahme zugeordnete Kennzahlen und Informationen zu ermitteln. In den nachfolgenden Kapiteln sind diese Grundlagen für die Beurteilung von Grinding & Grooving im Detail beschrieben und zusammengestellt.

### 5.2.2 Wirkungen von Grinding & Grooving auf den Straßenoberbau

Um die Wirkungen von Grinding & Grooving zu beurteilen, wurden neben den Laboruntersuchungen auch Messungen an 2 Versuchsstrecken vorgenommen. Diese Daten können den Kapiteln 4.2 und 4.3 entnommen werden und bilden die Grundlage für die nachfolgenden Ergebnisse.

#### 5.2.2.1 Wirkung von Grinding & Grooving auf die Griffigkeit

Von wesentlicher Bedeutung für eine Beurteilung von Grinding & Grooving ist die Wirkung auf das Zustandsmerkmal Griffigkeit, welches über den Reibungsbeiwert (in Längsrichtung, gemessen mit dem System RoadSTAR) physikalisch definiert ist. Dabei muss einerseits die direkte Wirkung durch die Maßnahme beschrieben werden, andererseits aber auch der Langzeiteffekt über eine entsprechende Änderung der nach der Maßnahme sich einstellenden Zustandsentwicklung.

Unter Bezugnahmen auf die durchgeführten Messungen ergibt sich eine mittlere Verbesserung von ca.  $\Delta\mu = +0,07$ , jedoch mit einer relativ großen Standardabweichung von  $\Delta\mu = 0,05$ . Dies bedeutet, dass Verbesserungen sogar über  $\Delta\mu = +0,1$  erzielt werden können, jedoch die Verbesserungen zum Teil auch sehr gering ( $\Delta\mu = +0,01$ ) ausfallen können. Eine

Abhängigkeit vom Ausgangsniveau konnte nicht erkannt werden. Für die Berücksichtigung von Grinding & Grooving im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung wird ein direkter Rücksetzwert von  $\Delta\mu = +0,07$  empfohlen, sofern nicht aus entsprechenden Abnahmemessungen die tatsächlichen Messergebnisse zur Verfügung stehen.

Neben dem direkten Rücksetzwert spielt die Entwicklung der Griffigkeit nach der Maßnahme eine entscheidende Rolle. Hierfür können wiederum die Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen sowie den Teststrecken herangezogen werden. Von wesentlicher Bedeutung ist dabei der Umstand, dass sich nach ca. 1 bis 2 Jahren das Ausgangsgriffigkeitsniveau wieder einstellt. In diesem Sinne ist für die Prognose eine temporäre Veränderung zu modellieren, die nach ca. 1 bis 2 Jahren wieder den Verlauf der ursprünglichen Entwicklung nachzeichnet und somit auf das Standardmodell nach Handbuch Pavement Management in Österreich [31] zurückgreift. Im Rahmen der Festlegungen in [31] wurde für die Prognose des Zustandsmerkmals Griffigkeit ein vereinfachtes Model gewählt, das eine lineare Abnahme der Griffigkeit unter Verwendung einer konstanten Verringerung des Reibungsbeiwertes  $\mu$  vorsieht.

Um die Auswirkungen von Grinding & Grooving auf die Griffigkeitsentwicklung zu modellieren, muss die temporäre Verbesserung innerhalb eines Zeitraumes von 1,5 Jahren mathematische beschrieben werden. Dies geschieht dabei, wie bereits erwähnt, unter Heranziehung der zur Verfügung stehenden Daten. Dabei wurde folgendes Modell des Zustandsmerkmals Griffigkeit nach dem Durchführen einer Grinding & Grooving Maßnahme innerhalb eines Zeitraumes von 1,5 Jahren ermittelt:

$$ZG_{GR,t} = ZG_{GR,G\&G} - Alt_{G\&G,t} \cdot \left( \frac{\Delta\mu_{G\&G}}{1,5} \right) \cdot (-0,75 \cdot \ln(Alt_{G\&G,t}) + 1,3) \text{ für } [0 < Alt_{G\&G,t} \leq 1,5]$$

$ZG_{GR,t}$ ..... Zustandsgröße Griffigkeit  $\mu$  zum Zeitpunkt t

$ZG_{GR,t}$ ..... Zustandsgröße Griffigkeit  $\mu$  nach dem Durchführung von Grinding & Grooving

$Alt_{G\&G,t}$ ..... Alter Decke nach dem Durchführung von Grinding & Grooving zum Zeitpunkt t

$\Delta\mu_{G\&G}$ ..... Wirkung von Grinding & Grooving auf die Griffigkeit  $\mu$

Nach einer Dauer von 1,5 Jahren kann die nachfolgende standardisierte Funktion herangezogen werden:

$$ZG_{GR,t,Xf} = ZG_{GR,t-1} + X_f \cdot a \text{ für } [Alter_{G\&G,t} > 1,5]$$

$ZG_{GR,t,Xf}$ ..... Skalierte Zustandsgröße Griffigkeit  $\mu$  zum Zeitpunkt t

$X_f$ ..... Skalierungsfaktor für Oberflächeneigenschaften (Standard  $X_f = 1,0$ )

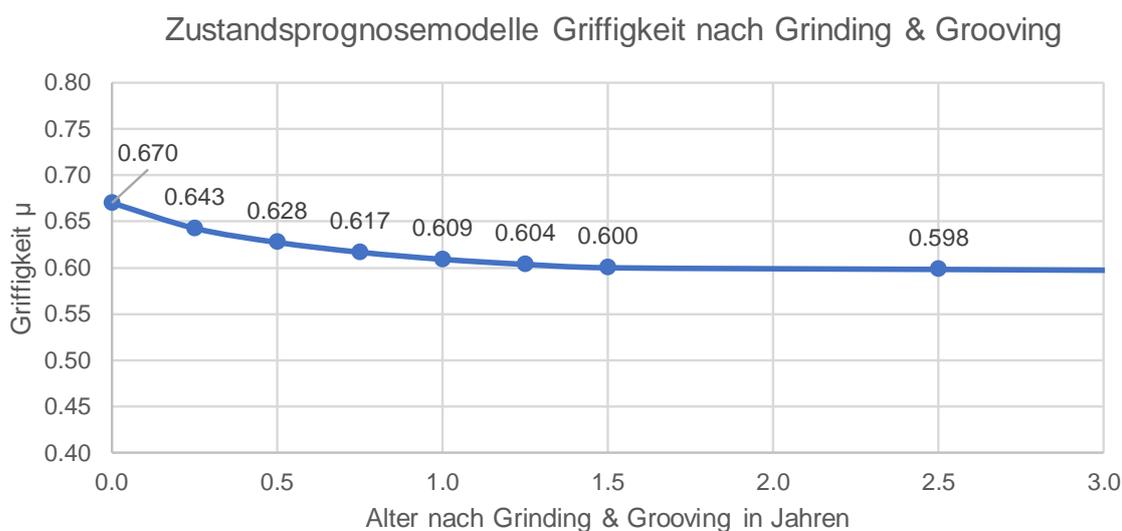
$ZG_{GR,t-1}$ ..... Zustandsgröße Griffigkeit  $\mu$  zum Zeitpunkt t-1 [-]

a..... Modellparameter (siehe Tabelle 33)

**Tabelle 33: Modellparameter Verhaltensfunktion Griffigkeit**

Bautype	Modellparameter a
alle Bautypen	-0,0018

Die nachfolgende Abbildung 79 zeigt das oben mathematisch beschriebene Modell in graphischer Darstellung für eine Ausgangsgriffigkeit von  $\mu = 0,6$  und einer Verbesserung von  $\Delta\mu = +0,07$  über einen Betrachtungszeitraum von 3 Jahren.



**Abbildung 79: Zustandsprognosemodell Griffigkeit nach Grinding & Grooving**

Der aus der Verbesserung ableitbare technische Nutzen (technische Wirkung) ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Prognosemodell nach dem Durchführen der Maßnahme und der Nichts-Tun-Funktion. Die sehr geringe und vor allem kurzzeitige Wirkung auf die Griffigkeit lässt jedoch den Schluss zu, dass der daraus ableitbare Nutzen (nach Normierung und Berechnung des Gebrauchswertes) vernachlässigt werden kann und dass vor allem im Bezug zu den Kosten der Maßnahme hier ein sehr geringes NKV bzw. INKV die Folge ist. Eine solche Maßnahme wird vor allem im Vergleich zu nachhaltigeren Maßnahmen der Griffigkeitsverbesserung mit größter Wahrscheinlichkeit als unwirtschaftlich eingestuft.

### 5.2.2.2 Wirkung von Grinding & Grooving auf das Lärmverhalten

Obwohl im Rahmen der Kosten-Nutzen-Untersuchung bzw. der Lebenszyklusanalyse nicht explizit auf das Lärmverhalten derzeit im PMS eingegangen wird, zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen eine deutlich nachhaltigere Verbesserung als bei der Griffigkeit, wo

die Maßnahme Grinding & Grooving mit größter Wahrscheinlichkeit eine zu geringe Wirtschaftlichkeit (NKV bzw. INKV) aufweist. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, das Thema Lärm bei der Kosten-Nutzen-Untersuchung genauer zu betrachten (obwohl nicht explizit in diesem Arbeitspaket angesprochen) und unter Heranziehung der Ergebnisse des CEDR-Forschungsprojektes ISABELA [32] eine entsprechende Bewertungsgrundlage an dieser Stelle zur Verfügung zu stellen.

Auch hierfür ist zunächst die direkte Wirkung auf die Lärmeigenschaften von wesentlicher Bedeutung. Die Ergebnisse der Untersuchung haben gezeigt, dass unter Heranziehung der CPX-Messwerte vor und nach den Grinding & Grooving Maßnahmen mit einer Verbesserung im Mittel von -1,9 dB(A) sowohl bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h als auch bei einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h gerechnet werden kann. Die Standardabweichung liefert bei 80 km/h einen Wert von 0,4 dB(A) und bei 100 km/h einen Wert von 0,5 dB(A).

Besonders auffällig ist der nahezu konstante Verlauf des CPX-Wertes nach dem Durchführen der Maßnahme über einen längeren Zeitraum, was wesentlich für die Beurteilung im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse ist.

Für die Modellierung der Wirkungen sind dabei zwei wesentliche Faktoren von Bedeutung:

- Anzahl der Personen, welche von der positiven Auswirkung der Lärmreduktion der betroffen sind (räumliche Auswirkung).
- Dauer der Wirkung der Maßnahme (zeitliche Auswirkung)

Für die Beurteilung der räumlichen Auswirkungen können nach [32] Lärmemissionskarten herangezogen werden, wobei die Auswirkungen durch die Maßnahme zu modellieren sind. Deutlich komplexer ist die Frage der Langzeitwirkung, welche nur über Langzeituntersuchungen genau ermittelt werden kann. Da diese in der Regel nur bedingt zur Verfügung stehen, muss eine entsprechende ingenieurmäßige Abschätzung vorgenommen werden, welche im Projekt ISABELA [32] ebenfalls vorgestellt wurde. Dabei werden unterschiedliche Wirkungskategorien  $catEffN_m$  der Maßnahme mit einer möglichen Wirkungsdauer  $T_{effN,m}$  verknüpft. Die nachfolgende Tabelle 34 gibt entsprechende Hinweise für die Auswahl der Wirkungsdauer.

**Tabelle 34: Beispiele für die Definition der Wirkungsdauer von Maßnahmen zur Reduktion der Lärmemissionen im Bereich des Straßenoberbaus nach ISABELA [15]**

Kategorie catEffN <sub>m</sub>	Beschreibung	Beispiele Wirkungsdauer T <sub>effN,m</sub>
A	keine Auswirkungen	0 Jahre
B	Geringe Auswirkungen im Bereich des Oberbaus erkennbar (punktuelle Maßnahmen)	3 Jahre
C	Nachhaltige mittelfristige Auswirkungen (z.B. durch flächendeckende Maßnahme)	10 Jahre

Die Ergebnisse der gegenständlichen Untersuchungen erlauben durchwegs die Auswahl einer Kategorie B oder C, müssten jedoch von Fall zu Fall im Detail untersucht werden. Ist die Wirkungsdauer bekannt, kann unter Heranziehung der Erkenntnisse aus ISABELA eine Abschätzung eines monetären Nutzens über diese Wirkungsdauer erfolgen. Dabei wird folgende mathematische Funktion herangezogen, wobei davon ausgegangen wird, dass der „normale“ Verlauf bzw. Wert (aus der Nichts-Tun-Funktion) am Ende der Wirkungsperiode wieder erreicht wird:

$$\text{savNoiseCST}_{s,m} = (b\text{PNaff}_{s,m} - a\text{PNaff}_{s,m}) \cdot \frac{T_{\text{effN},m}}{2} \cdot \text{CR}_{\text{noise},n}$$

- savNoiseCST<sub>s,m</sub> .. monetärer Nutzen an Umweltkosten infolge Reduktion Lärmemission (savings in environmental costs due to the reduction of noise emission) [€]
- bPNaff<sub>s,m</sub>..... Anzahl der Personen, die durch Lärmemissionen beeinträchtigt werden (über den Grenzwerten) vor der Maßnahme im Abschnitt s (number of persons affected by traffic noise before maintenance project m on road sections s) [persons]
- aPNaff<sub>s,m</sub>..... Anzahl der Personen, die durch Lärmemissionen beeinträchtigt werden (über den Grenzwerten) nach der Maßnahme im Abschnitt s (number of persons affected by traffic noise after maintenance project m on road section s) [persons]
- T<sub>effN,m</sub> ..... geschätzte Wirkungsdauer der Maßnahme m (estimated time of noise reducing effect caused by maintenance project m) [-]
- CR<sub>noise,n</sub>..... Kostensatz Lärm (cost rate noise per affected person) [€/person yr]

Unter Bezugnahme auf das Projekt EVITA [33] wird empfohlen, die einzusparenden Kosten für unterschiedliche Emissionsbereiche zu berechnen und dabei ggf. auch eine Kategorisierung zwischen Tag und Nacht vorzunehmen. Die entsprechenden Kostenansätze können dabei den laufenden statistischen Untersuchungen des BMVIT (siehe hierzu [34]) entnommen werden. Die nachfolgende Tabelle 35 zeigt die Kostensätze Lärm in Abhängigkeit vom Lärmpegel nach [34].

**Tabelle 35: Kostensätze Lärm nach [34]**

**Kosten verkehrsbedingter  
Lärmbelastung  
in Österreich 2002**  
in [EUR pro lärmbeeinträchtigter Person  
und Jahr]

Lden (dB(A))	Straße	Schiene	Luft
>=51	10	0	16
>=52	21	0	32
>=53	31	0	48
>=54	41	0	64
>=55	52	0	80
>=56	62	10	96
>=57	72	21	112
>=58	83	31	128
>=59	93	41	144
>=60	103	52	160
>=61	114	62	176
>=62	124	72	192
>=63	134	83	208
>=64	144	93	224
>=65	155	103	240
>=66	165	114	256
>=67	175	124	272
>=68	186	134	288
>=69	196	144	304
>=70	206	155	320
>=71	274	222	393
>=72	291	240	416
>=73	308	257	439
>=74	326	274	462
>=75	343	291	485
>=76	360	309	508
>=77	378	326	531
>=78	395	343	554
>=79	412	361	577
>=80	429	378	600
>=81	447	395	623

HERRY 2006

Quelle: HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, D5 - Proposal for Harmonised Guidelines, 2006

Liegen die Einsparungen als monetärer Wert vor, so kann in Rahmen eines Vergleichs mit den Kosten der Maßnahmen wiederum das Kosten-Nutzen-Verhältnis (NKV bzw. INKV) ermittelt werden.

### 5.3 Praktische Anwendung Kosten-Nutzen-Analyse

Das Ziel der praktischen Anwendung der zuvor beschriebenen Erkenntnisse von Grinding & Grooving ist es, einen relativen Vergleich zwischen einem erzielbaren Nutzen und einem anzustrebenden Kostenniveau, ab welchem diese Maßnahme als wirtschaftlich eingestuft werden kann, durchzuführen. Hierfür werden die im PMS der ASFINAG und im Handbuch Pavement Management in Österreich [31] beschriebenen Grundlagen herangezogen.

Für die praktische Durchführung der Kosten-Nutzen-Analyse wurden die beiden untersuchten Abschnitte auf der A21 und der A10 herangezogen und mit einer konventionellen Deckschichtmaßnahme mit einem SMA S3, der direkt auf die Betondecke aufgebracht wird (Blacktopping), verglichen. Dieser relative Vergleich ermöglicht eine Aussage im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und bestimmten wirtschaftlichen Randbedingungen für die Anwendung von Grinding & Grooving.

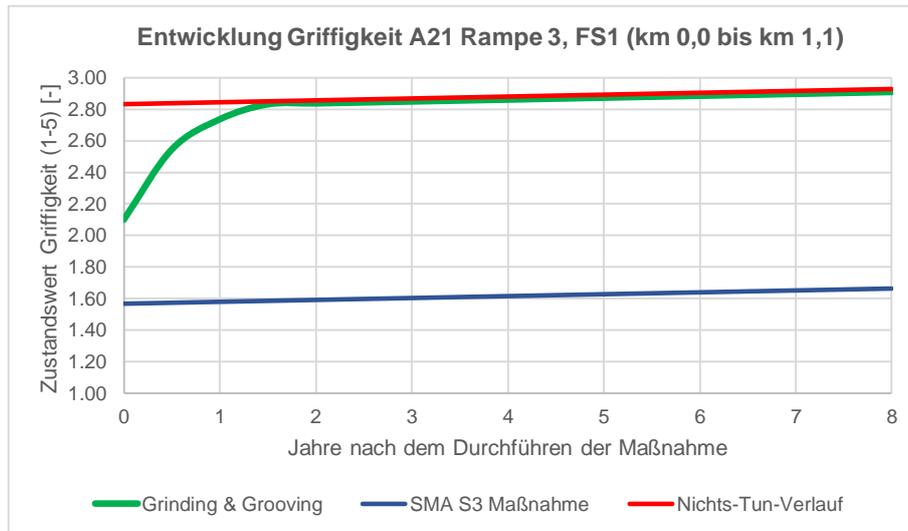
### 5.3.1 Analyse Griffigkeit

Für die Analyse der Auswirkungen auf die Griffigkeit wurde der maßgebende rechte Fahrstreifen herangezogen. Als Vergleichsmaßnahme wird, wie bereits erwähnt, eine Überbauung mit einer SMA S3 Asphaltdeckschicht (Blacktopping) herangezogen und über eine Betrachtungsperiode von 8 Jahren (geschätzte Lebensdauer der SMA-Maßnahme) mit den durchgeführten Grinding & Grooving Maßnahmen verglichen. In der nachfolgenden Tabelle 36 sind die Eingangswerte für die Analyse im Überblick für beide Testabschnitte zusammengestellt.

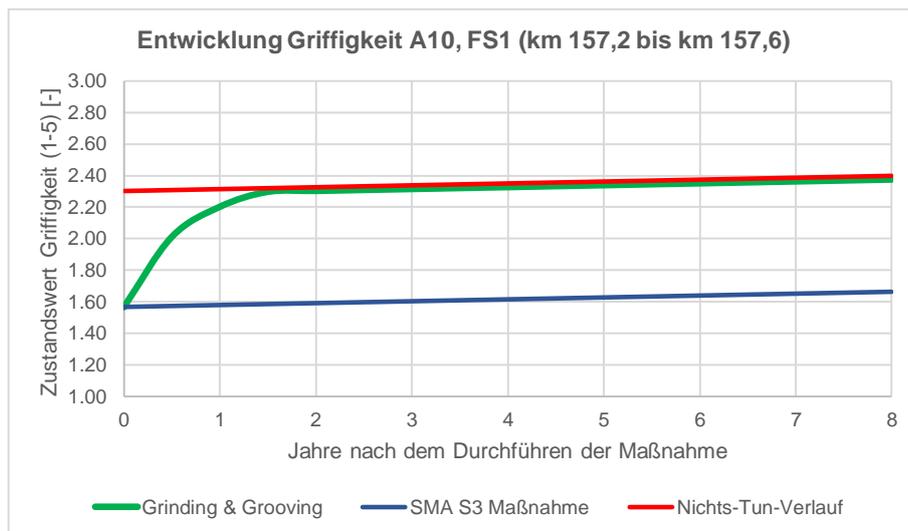
**Tabelle 36: Eingangswerte Kosten-Nutzen-Analyse Griffigkeit Testabschnitte**

<b>Eingangswerte</b>	<b>A21 Rampe 3</b> (km 0,0 bis km 1,1)	<b>A10 Paternion</b> (km 157,2 bis km 157,6)
Griffigkeit $\mu$ vor Maßnahme	0,55	0,63
Griffigkeit $\mu$ nach Grinding & Grooving	0,66	0,74
Griffigkeit nach SMA S3 Maßnahme Annahme gem. [35]	0,74	0,74
Verkehrsbelastung JDTV [KFZ/24h] Grundlage = Verkehrszählung ASFINAG	27.900	14.800
Angenommene Zuwachsrage Verkehr	2%	2%

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Verläufe der Griffigkeit unter den zuvor beschriebenen Annahmen für die beiden Maßnahmen sowie für die Nichts-Tun-Variante als Vergleichsgröße zur Bestimmung des Nutzens.



**Abbildung 80: Zustandsentwicklung Griffigkeit A21 (km 0,0 bis km 1,1), FS1 (Zustandswert) für die untersuchten Varianten**



**Abbildung 81: Zustandsentwicklung Griffigkeit A10 (km 157,2 bis km 157,6), FS1 (Zustandswert) für die untersuchten Varianten**

Unter Heranziehung der Nutzendefinition gem. Handbuch Pavement Management [31], der Annahme, dass die Verbesserung der Griffigkeit (Zustandswert) direkt im Gesamtwert abgebildet wird (kein reduzierender Einfluss durch andere Zustandsmerkmale), und unter Berücksichtigung der Gewichtung durch den Gesamtverkehr kann eine Vergleichsgröße für den Nutzen ermittelt werden.

Wie bereits angenommen, ergibt sich aus der Sicht der Griffigkeit ein sehr geringer Nutzen für das Grinding & Grooving (kurzfristige Wirkung), welcher auf der A21 mit 3% und auf der

A10 mit 6% des Nutzens der SMA S3 Maßnahme quantifiziert werden konnte. Dies bedeutet auch, dass für eine ausreichende Wirtschaftlichkeit die Kosten für das Grinding & Grooving deutlich geringer sein müssen als die Kosten der SMA S3 Maßnahme. Um das gleiche Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen, müssen die Kosten für Grinding & Grooving deutlich unter 10% der Kosten einer konventionellen Deckschichtmaßnahme für die untersuchten Abschnitte liegen. Zumindest aus der Sicht der Griffigkeit ist für die untersuchten Abschnitte eine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme nicht ersichtlich, wobei dies nur bedingt auf andere Abschnitte übertragbar ist, vor allem dann, wenn zumindest eine mittelfristige Wirkung auf die Griffigkeit erzielt werden kann.

### 5.3.2 Analyse Lärm

Ein anderes Bild ergibt sich natürlich aufgrund der Erkenntnisse im Rahmen der Reduktion der Lärmemissionen. Leider liegen für die beiden untersuchten Abschnitte keine genauen Daten für eine entsprechende Quantifizierung vor, sodass eine Beurteilung des Nutzens durch eine Reduktion der Lärmemissionen nur bedingt möglich ist bzw. auf einer größeren Anzahl von Annahmen basiert. Wie bereits im Kapitel 5.2.2.2 beschrieben, kann ein Vergleich zwischen der Vorher- und Nachher-Situation eine Aussage über den Nutzen einer Maßnahme zulassen. Als Grundlage hierfür werden die Lärmemissionskarten herangezogen, welche flächendeckend für das österreichische Bundesstraßennetz zur Verfügung stehen. In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 82 und Abbildung 83) sind diese Karten für den Abschnitt auf der A21 und auf der A10 als Bildschirmausdruck dargestellt.

Aus beiden Abbildungen lässt sich sehr einfach die Anzahl der in unterschiedlichen Emissionsbereichen liegenden Objekte ermitteln (ausgewiesen ab einen Wert von 55 dB(A)). Beide Abschnitte zeigen dabei nur eine geringe Anzahl von Objekten, die von Lärmemissionen über 55 dB(A) betroffen sind. Dem Bereich der A21 können 22 Objekte zugeordnet werden, dem Bereich auf der A10 nur 8. Die Daten lassen dabei nur eine generelle Quantifizierung der betroffenen Personen zu. Da es sich bei den Objekten zum Teil auch um Nebenobjekte handelt, wird ein Wert von 1 Person je Objekt angenommen, sodass auf der A21 22 Personen und auf der A10 insgesamt 8 Personen durch Lärmemissionen über 55 dB(A) betroffen sind.

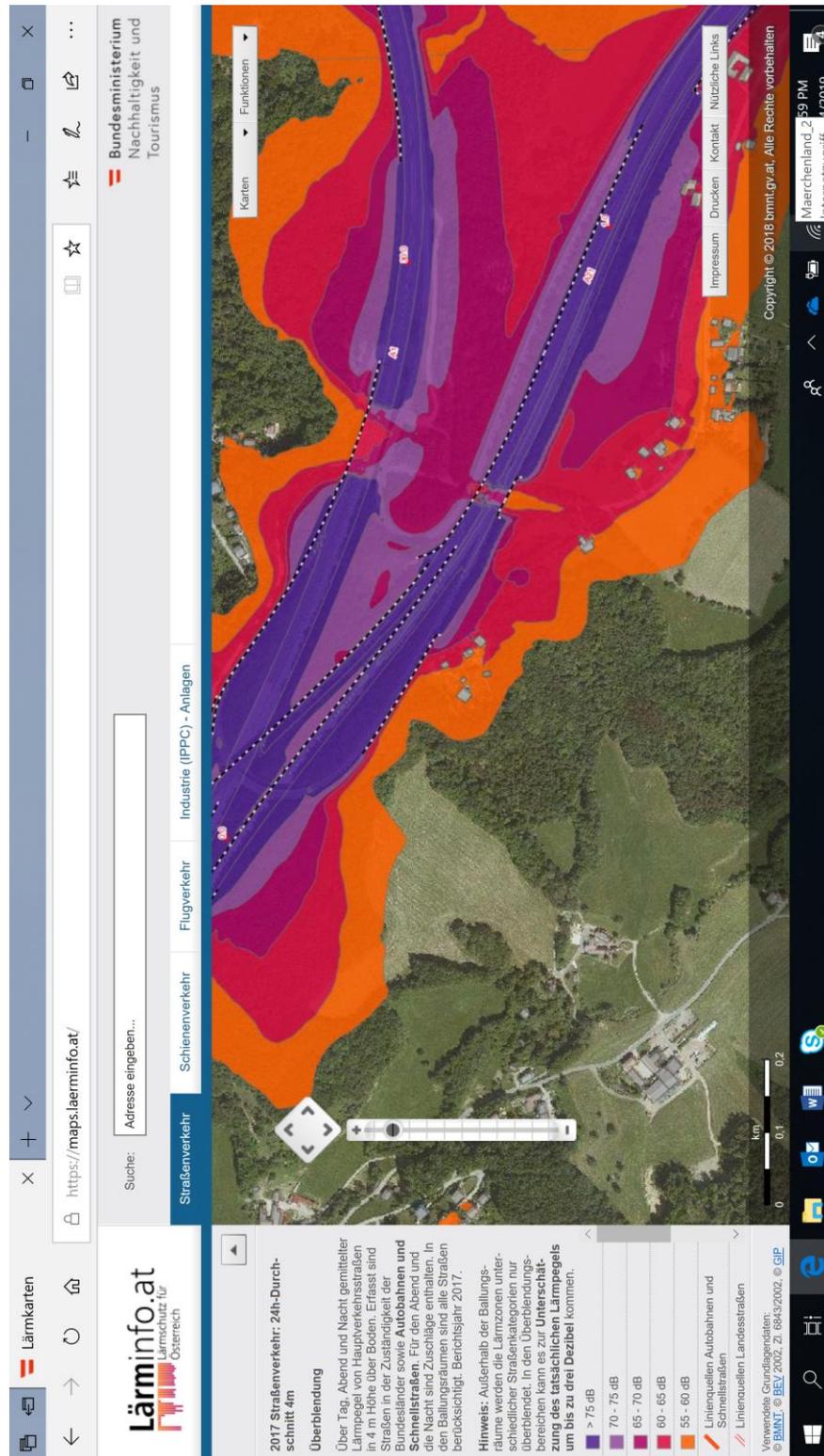


Abbildung 82: Bildschirmausdruck Lärmemissionskarte A21 (km 0,0 bis km 1,1)<sup>10</sup>

<sup>10</sup> <https://maps.laerminfo.at/>



Die nachfolgende Tabelle 37 gibt einen Überblick über die in den einzelnen Emissionskategorien vorzufindenden geschätzten Personen im Bereich der beiden Testabschnitte.

**Tabelle 37: Eingangswerte Kosten-Nutzen-Analyse Lärm Testabschnitte**

Emissionskategorie dB(A)	Geschätzte betroffene Personen vor der Maßnahme	
	A21 Rampe 3 (km 0,0 bis km 1,1)	A10 Paternion (km 157,2 bis km 157,6)
55-60	14	8
60-65	8	0
65-70	0	0
70-75	0	0
>75	0	0

Deutlich schwieriger ist die Abschätzung der Auswirkungen durch das Grinding & Grooving auf die Lärmemissionen unter Berücksichtigung der gemessenen Verbesserungen von -2,0 dB(A) auf am ersten Fahrstreifen der A21 und um -1,5 dB(A) im Bereich der A10 (Referenzgeschwindigkeit von 80 km/h). Dies führt auf der A21 zu einem Lärmpegel von 97,6 dB(A) und auf der A10 zu einem Wert von 98,3 dB(A) und bedeutet zumindest mit großer Wahrscheinlichkeit eine teilweise Verschiebung an betroffenen Personen in den einzelnen Kategorien. Unter der Annahme, dass zumindest 50% der betroffenen Objekte in eine niedrigere Kategorie fallen, ergibt sich die nachfolgende Annahme (siehe Tabelle 38).

**Tabelle 38: Geschätzte Auswirkung Grinding & Grooving auf Testabschnitte**

Emissionskategorie dB(A)	Geschätzte betroffene Personen nach der Maßnahme	
	A21 Rampe 3 (km 0,0 bis km 1,1)	A10 Paternion (km 157,2 bis km 157,6)
55-60	11	4
60-65	4	0
65-70	0	0
70-75	0	0
>75	0	0

In ähnlicher Form kann auch für die Alternativmaßnahme SMA S3 (Blacktopping) eine Abschätzung vorgenommen werden, wobei der nach RVS 08.16.01 geforderte Wert von mindestens 96 dB(A) bei 80 km/h als Zielwert herangezogen wird. Unter der Annahme, dass sich auf der A21 2/3 der Objekte und auf der A10 sämtliche Objekte zumindest um eine

Emissionskategorie positiv verschieben, lässt sich die nachfolgende Tabelle erklären (siehe Tabelle 39).

**Tabelle 39: Geschätzte Auswirkung SMA S3 auf Testabschnitte**

Emissionskategorie dB(A)	Geschätzte betroffene Personen nach der Maßnahme	
	A21 Rampe 3 (km 0,0 bis km 1,1)	A10 Paternion (km 157,2 bis km 157,6)
55-60	10	0
60-65	3	0
65-70	0	0
70-75	0	0
>75	0	0

Eine detaillierte Ermittlung der Auswirkungen wäre über eine neuerliche Berechnung der Lärmemissionskarten unter Berücksichtigung der angesetzten Maßnahmen möglich, was jedoch unter Berücksichtigung des erforderlichen Aufwandes im Rahmen des gegenständlichen Projektes nicht möglich ist.

Für die Maßnahme Grinding & Grooving wird eine Wirkungsdauer von 10 Jahren angesetzt, für die SMA S3 Maßnahme ein Wert von 8 Jahren (analog zur Annahme bei der Griffigkeit). Die in Tabelle 35 aufgelisteten Kostensätze werden als Basis für die Ermittlung des monetären Nutzens (= Einsparungen von externen Kosten durch Lärm auf betroffene Anrainer) verwendet. Eine Änderung der Auswirkungen durch eine Steigerung der Verkehrsbelastung wird über eine ggf. verkürzte die Wirkungsdauer ausreichend abgebildet.

Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Annahmen kann der Nutzen auf der A21 mit ca. 98% und auf der A10 mit 63% des ermittelten Nutzens der SMA S3 Maßnahme quantifiziert werden. Dies bedeutet auch, dass für eine ausreichende Wirtschaftlichkeit die Kosten für das Grinding & Grooving in etwa um 20% bis 30% geringer sein müssen als die Kosten der SMA S3 Maßnahme. Dieses Ergebnis zeigt, dass Grinding & Grooving als konkurrenzfähige Maßnahme im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse zur Bewertung von Maßnahmenwirkungen auf Lärmemissionen auf diesen beiden Abschnitten eingestuft werden kann. Die sensitiven Faktoren sind dabei einerseits die Annahme der Wirkungsdauer der Lärmreduktion und andererseits die direkten Auswirkungen im Hinblick auf die Reduktion der Lärmemissionen im Vergleich zu den von einer lärmindernden Deckschichtmaßnahme erreichbaren bzw. nach RVS geforderten Emissionswerten.

## 5.4 PMS-Implementierung

### 5.4.1 Überblick PMS der ASFINAG

Computerunterstützte Erhaltungsmanagementsysteme sind seit vielen Jahren fixe Bestandteile für die Erhaltungsplanung auf den österreichischen Bundes- und Landesstraßen. Die für die PMS-Analyse im Bereich der ASFINAG herangezogene PMS-Software mit der Bezeichnung VIAPMS™, bzw. dTIMS™ (Deighton Total Infrastructure Management System, kanadische Originalbezeichnung) stammt aus der Produktpalette des kanadischen Softwarehauses Deighton Associates Limited. Ein wesentlicher Vorteil dieses kommerziellen Softwareproduktes im Vergleich zu anderen Systemen liegt in der offenen Struktur, die eine individuelle Adaptierung des Systems an die Randbedingungen des jeweiligen Straßennetzes ermöglicht.

Im Zuge der praktischen Anwendung von VIAPMS™ wird auf eine Reihe von Systemfunktionalitäten zurückgegriffen, die wie folgt zusammengefasst werden können:

- Aufbau einer Datenbankstruktur zur Speicherung der erhaltungsrelevanten Daten
- Eingabe bzw. Import der erhaltungsrelevanten Daten in das Datenbankmodul von VIAPMS™
- Datenaufbereitung der erhaltungsrelevanten Daten für die PMS-Analyse bzw. für das Berichtswesen
- Durchführung einer PMS-Analyse unter Anwendung des Verfahrens der Lebenszyklusanalyse sowie einer darauf aufbauenden Kosten-Nutzen-Analyse und einer heuristischen Optimierung einer ausgewählten Zielfunktion unter vorgegebenen Restriktionen

Das Hauptziel einer Lebenszyklusanalyse eines Straßenabschnittes oder eines gesamten Straßennetzes unter Verwendung der Software VIAPMS™ ist das Finden einer optimalen Maßnahmenstrategie im Hinblick auf das Jahr der Anwendung und auf die Art der Erhaltungsmaßnahme selbst. Dies erfordert neben dem Einsatz von Optimierungsverfahren auch die Berücksichtigung der zeitlichen Änderung unterschiedlicher Eigenschaften des Straßenoberbaus. Die Lebenszyklusanalyse in VIAPMS™ ist eine Prozedur, die grundsätzlich aus den folgenden zwei Einzelschritten besteht:

- Erzeugen einer Liste mit technisch möglichen Erhaltungsstrategien für jeden zu untersuchenden Abschnitt auf der Grundlage von individuell gewählten technischen Anwendungskriterien der Erhaltungsmaßnahmen (eine Erhaltungsstrategie kann

dabei aus einer oder mehreren zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfindenden Erhaltungsmaßnahmen oder aus der „Nichts-Tun“-Strategie bestehen).

- Heuristische Optimierung von Kosten, Nutzen oder anderen Zielkriterien unter vorgegebenen Randbedingungen

Das Ergebnis der Analyse ist ein abschnittsbezogener Vorschlag für eine Maßnahmenstrategie unter bestimmten Randbedingungen, der auch gleichzeitig die Grundlage für die netzweite Darstellung der Ergebnisse liefert. Die Analyse wird dabei unter Heranziehung einer oder mehrerer Analysevariablen durchgeführt, die die einzelnen Eigenschaften des Straßenoberbaus beschreiben. Die mathematische Definition der einzelnen Analysevariablen erfolgt dabei durch die Verwendung von individuell festzulegenden Funktionen und Filtern, die nach einem bestimmten Berechnungsschema angewendet werden (Berechnungsalgorithmus).

Für die Durchführung der Optimierungsaufgabe stehen im System derzeit mehrere heuristische Optimierungsverfahren zur Verfügung (siehe hierzu auch Handbuch Pavement Management in Österreich [31]).

Voraussetzung für die Durchführung der Lebenszyklusanalyse mit der Software VIAPMS™ ist die Erstellung einer speziellen Systemkonfiguration, die auf die österreichischen Verhältnisse bezogen, aus den folgenden Hauptelementen besteht:

- Datenbankmodul für die Speicherung der erhaltungsrelevanten Daten (Oberbau, Zustand, Verkehr, etc.) oder Einrichtung eines Interfaces zur Datengrundlage (externe Datenbank)
- Implementierung eines Algorithmus zur Berechnung von Kennzahlen und Kennwerten der erhaltungsrelevanten Daten (Substanzwert Bestand, Kalibrierfaktoren Zustandsprognosemodelle, etc.)
- Implementierung des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes (Teilwert Substanz, Gesamtwert, etc.)
- Implementierung der Zustandsprognosemodelle und der Analysevariablen für die Berücksichtigung der zeitabhängigen Änderung bestimmter Merkmale
- Maßnahmenkatalog mit Kosten, Angaben zur Produktivität, Baustellenführung unter Berücksichtigung der Verkehrsbeeinträchtigung, etc. für unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen
- Definition des Optimierungsproblems und der Restriktionen

#### 5.4.2 Erweiterung der Systemkonfiguration VIAPMS-ASFINAG

Die praktische Umsetzung der zuvor beschriebenen, im Rahmen des Projektes GROOVE entwickelten Modelle zur Prognose der Auswirkungen von Grinding & Grooving erfolgt direkt im Pavement Management System der ASFINAG.

Im Zuge des gegenständlichen Projekts wurde diese Systemkonfiguration VIAPMS-ASFINAG, Version 2018, entsprechend erweitert und ergänzt. Diese Erweiterungen betreffen einerseits die Datenbankstruktur zur Ablage der Daten von Grinding & Grooving Maßnahmen aber auch den damit verbundenen Berechnungsalgorithmus zur Modellierung der Auswirkungen. Im Detail wurden folgende Erweiterungen vorgenommen:

- Erweiterung der Datenbankstruktur durch eine Datentabelle (P\_Massnahme\_Oberflaeche) zur Aufnahme der Eingangsparameter für die Bewertung von Grinding & Grooving Maßnahmen. Dieser fahrstreifenbezogenen Tabelle wurden folgende Attribute zugeordnet:
  - Art\_Massnahme
  - Jahr\_Massnahme
  - Info\_Massnahme
  - ZG\_GR\_vorher
  - ZG\_GR\_nachher
  - ZG\_Laerm\_vorher
  - ZG\_Laerm\_nachher
  - Wirkungsdauer
- Implementierung von Tabellentransformationen von der Datentabelle P\_Massnahme\_Oberflaeche in die Datentabelle für die PMS-Analyse P\_LCCA\_hom zur Berücksichtigung von Grinding & Grooving Maßnahmen in der Lebenszyklusanalyse
- Erweiterung der Formeln für die Datenaufbereitung in der Datentabelle P\_LCCA\_hom
- Erweiterung des Zustandsprognosemodells Griffigkeit zur Abbildung der Auswirkungen von Grinding & Grooving Maßnahmen

Der nachfolgenden Abbildung 84 kann ein Bildschirmausdruck der Datenbankerweiterung sowie der Prognosemodellerweiterung Griffigkeit der Systemkonfiguration VIAPMS-ASFINAG entnommen werden.

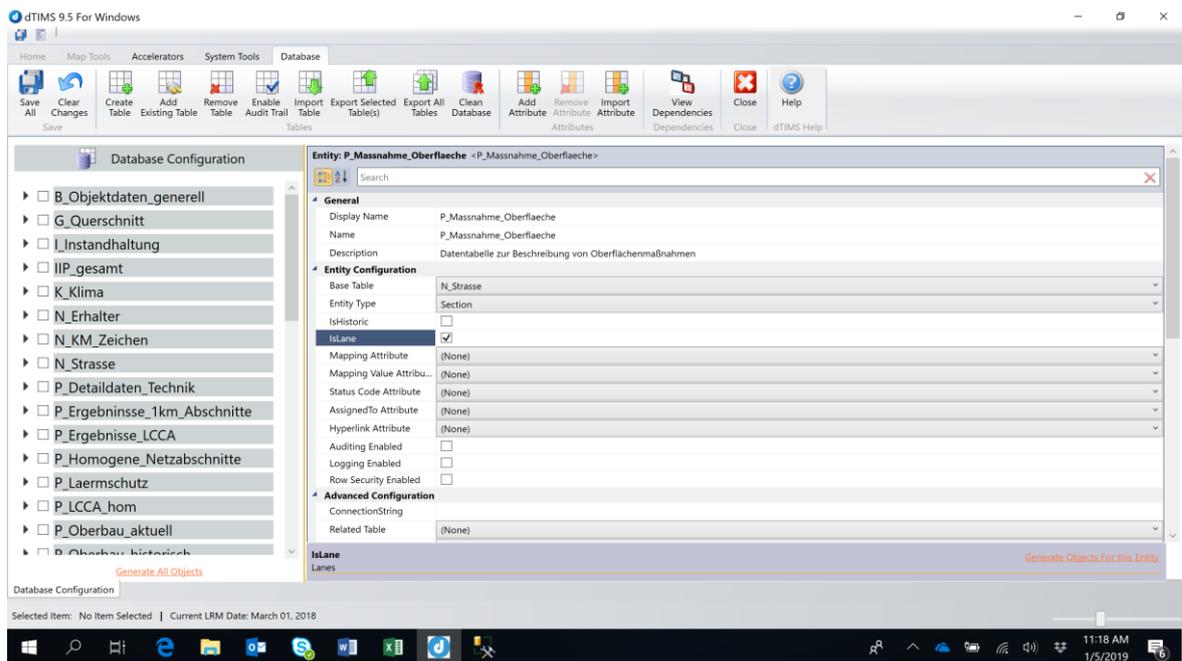


Abbildung 84: Bildschirmausdruck Erweiterung Datenbankstruktur VIAPMS-ASFINAG

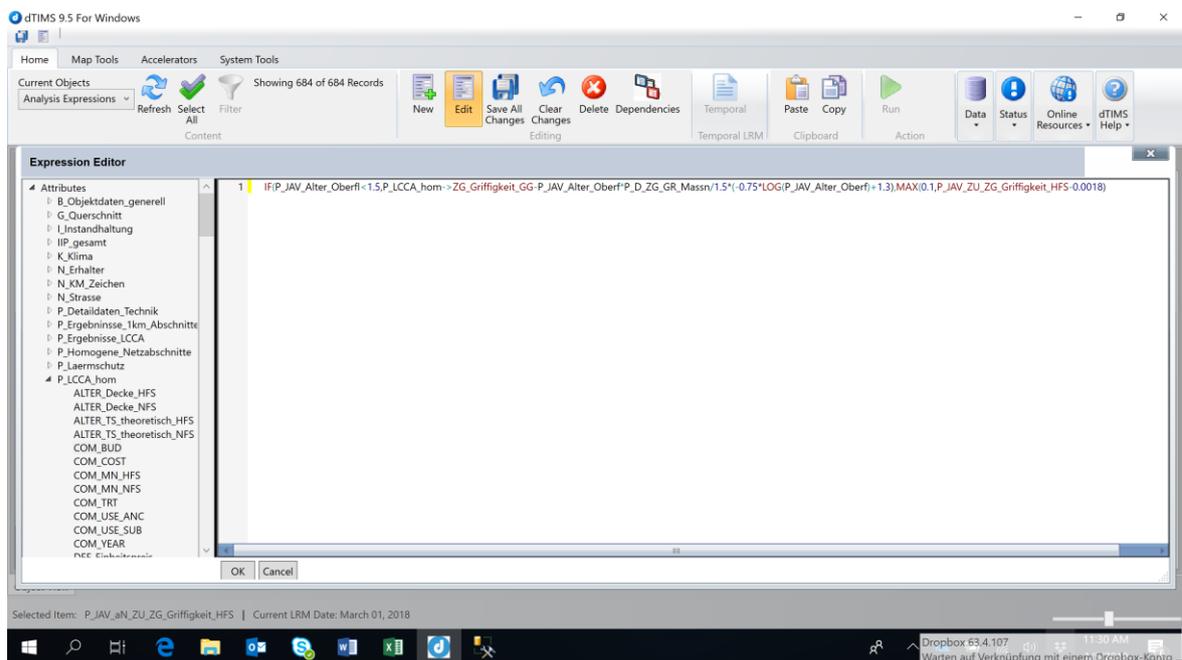


Abbildung 85: Bildschirmausdruck Erweiterung Prognosemodell Griffigkeit  
VIAPMS-ASFINAG

Da die aktuelle Version von VIAPMS-ASFINAG keinen Modul zur Bewertung von Lärm beinhaltet, wurden zwar die Attribute für die Speicherung der Auswirkung auf die

Lärmemissionen in das System implementiert, jedoch eine Analyseerweiterung (Zustandsprognose und Berücksichtigung der Auswirkungen im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse) wurde ausschließlich im Bereich der Griffigkeit vorgenommen. Die erweiterte Systemkonfiguration steht in Form eines Prototyps dem Auftraggeber zur Verfügung und kann jederzeit in die Arbeitsversion von VIAPMS-ASFINAG übertragen werden.

## 6 ERARBEITUNG VORSCHLAG FÜR RVS 13.01.51

### 6.1 Aktueller Stand der RVS 13.01.51

Die aktuelle Fassung der **RVS 13.01.51 „Betondeckenerhaltung“** enthält in der aktuellen Version im Kapitel 9 „Bearbeiten von Betondeckenoberflächen“ den Punkt 9.6 „Schleifen (Grinding)“ folgenden Text:

Durch Schleifen in Längsrichtung der Fahrbahn kann Beton sehr maßgenau abgetragen und feingerillt werden. Dabei werden das Gefüge der bearbeiteten Oberfläche sowie ausgehärtete Reparaturstellen, Fugenfüllungen und Fugenkanten nicht beschädigt.

Dieses Verfahren eignet sich zur Verbesserung der Ebenheit und der Griffigkeit sowie zur Verringerung des Rollgeräusches. Die Bearbeitungstiefe soll zur Verbesserung der Griffigkeit mindestens 2 mm betragen (Zementstein ist zu entfernen) und zur Verbesserung der Ebenheit bis zu 10 mm.

Zur Verbesserung der Griffigkeit wird die Anordnung der Schleifscheiben wie folgt empfohlen:

- 3,2 mm dicke Schleifscheiben mit 2,2 mm dicken Distanzscheiben oder
- 2,8 mm dicke Schleifscheiben mit 2,0 mm dicken Distanzscheiben.

An den Übergangszonen der Schleifbahnen zueinander dürfen keine Stufen über 3 mm entstehen.

Der Überlappungsbereich der Schleifbahnen soll zwischen 0,5 cm und 2 cm betragen. Die Dauerhaftigkeit der Griffigkeitsverbesserung ist vom verwendeten Gestein der Betondecke abhängig.

### 6.2 Richtlinien in Deutschland

Im deutschen Regelwerk der FGSV wird das Thema Grinding bzw. Grooving in mehreren Dokumenten behandelt. Die Texte bezüglich Grinding bzw. Grooving werden im nachfolgenden zitiert. Die Zitate sind am linken Rand markiert. Es sind dies:

#### 6.2.1 Für Erhaltung/Bestand

**Merkblatt für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen aus Beton,  
M BEB – Ausgabe 2009.**

##### 4.2.5.6 Schleifen (Grinding)

Zum Schleifen werden Geräte mit Diamantschneidscheiben auf horizontalen Wellen verwendet. Durch Schleifen kann Beton sehr maßgenau abgetragen und unterschiedlich fein gerillt werden (siehe Bild 21), ohne dass sich die Festigkeit der bearbeiteten Oberfläche ändert. Schleifen eignet sich zur Verbesserung der Ebenheit und Griffigkeit sowie zur Verminderung der Lärmemission bei einer Bearbeitungstiefe in der Regel bis 10 mm Dicke. Zur Griffigkeitsverbesserung reicht in der Regel ein Abtrag von 2 bis 3 mm. Ausgehärtete Reparaturstellen sowie Fugenkanten werden beim Schleifen nicht geschädigt. Der Schleifschlamm ist abzusaugen.

#### 4.2.5.7 Rillenschneiden (Grooving)

Rillenschneiden ist für Flächen mit unzureichender Oberflächenentwässerung, bei Gefahr des Wassergleitens (Aquaplaning) und zur Kraftschlussverbesserung geeignet. Rillenschneiden kann zu verstärkter Rollgeräuschentwicklung führen. Richtwerte für die Ausführung sind:

– für Querrillen:

Breite und Tiefe jeweils 6 mm.

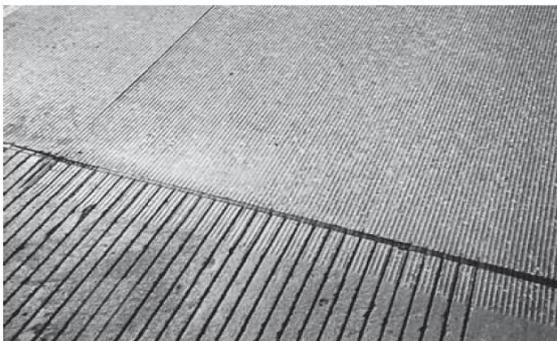
Die Abstände der Querrillen sind zwischen 100 und 150 mm zu wählen.

– für Längsrillen:

Breite 4 mm, Tiefe 6 mm, Mittenabstand 25 mm.

Die Rillen sind scharfkantig und ohne Ausbrüche herzustellen. Der einmal gewählte Rillenabstand ist beizubehalten.

Auf Abschnitten mit Querneigungswechsel ist zur Entwässerung der Verkehrsfläche je Platte ein Diagonalschnitt mit einer Schnittbreite von 10 mm anzuordnen. Der Schneidschlamm ist abzusaugen.



**Bild 21: Schleifen (Grinding) obere Fläche  
Rillenschneiden (Grooving) untere Fläche**

## 8.1 Grinding

### 8.1.1 Allgemeines

Grinding (Schleifen) wird in der Regel als Maßnahme zur Verbesserung der Ebenheit im Betondeckenbau eingesetzt. Es hat sich jedoch durch Untersuchungen in der Vergangenheit gezeigt, dass sich mit dieser Maßnahme auch eine deutliche Verbesserung der Griffigkeit in der Oberflächentextur erreichen lässt und auch ein Beitrag zur Lärminderung geleistet werden kann.

### 8.1.2 Ausführung

Zum Grinding (Schleifen) werden Geräte mit Diamantschneidscheiben auf horizontalen Wellen verwendet. Der Beton kann mit diesem Verfahren sehr maßgenau abgetragen und unterschiedlich fein gerillt werden, ohne dass sich die Festigkeit der bearbeiteten Oberfläche ändert. Zur Griffigkeitsverbesserung und zur Verminderung der Lärmemission reicht in der Regel ein Abtrag von 2 bis 3 mm aus. Ausgehärtete Reparaturstellen sowie Fugenkanten werden beim Schleifen nicht geschädigt. Der Schleifschlamm ist abzusaugen.

### 8.1.3 Griffigkeitsverbesserung und Lärminderung (Lärmemission)

Griffigkeitsmessungen auf einem Betondeckenabschnitt mit Grindingtextur (siehe Bild 44) haben gezeigt, dass die zur Abnahme in den ZTV Beton-StB geforderten Griffigkeitswerte von  $\mu\text{SKM} = 0,46$  (SKM-Wert bei 80 km/h), auch unter Berücksichtigung der Betonfestigkeit, gut erreicht werden.

Betondecken, die unter dem Schwellenwert von  $\mu\text{SKM} = 0,32$  (SKM-Wert bei 80 km/h) liegen, können somit mit einem flächendeckenden Grinding wieder aufgebessert werden. Eine bessere Langzeitwirkung der Griffigkeit ist dabei mit einer groben Grindingtextur (5,0 mm Diamantscheibenbreite im Abstand von 2,0 mm) gegenüber einer feinen Grindingtextur (3,2 mm Diamantscheibenbreite im Abstand von 1,4 mm) erzielbar.

Bild 44: Grindingtextur (links), Waschbetontextur (rechts)



**Bild 44: Grindingtextur (links), Waschbetontextur (rechts)**

Lärmmessungen auf Versuchstrecken haben ergeben, dass der mittlere Schalldruckpegel vor und nach dem Grinding (im Vergleich zu einer mit Jutetuch längs texturierten Decke) um ca. 2 dB(A) reduziert werden konnte. Auch hier ist eine bessere Langzeitwirkung der groben Grindingstruktur zu erwarten.

### **Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen**

#### **ZTV BEB-StB 2009**

##### 2.3.3.5 Bearbeiten der Betonoberfläche

###### 2.3.3.5.1 Allgemeines

Das Bearbeiten von Beton erfolgt bei:

- Griffigkeitsmängeln,
- Unebenheiten,
- Abflussbehinderung von Oberflächenwasser,
- Oberflächenschäden an Einzelfeldern,
- Stufenbildung an Fugen und Rissen,
- Oberflächentextur mit hoher Lärmemission.

Geeignete Verfahren sind:

- Schleifen (Grinding),
- Rillenschneiden (Grooving)

**Tabelle 8: Zuordnung von Erscheinungsbildern zu geeigneten Verfahren**

<i>Erscheinungsbild</i>	<i>Verfahren</i>	
	<i>Schleifen (Grinding)</i>	<i>Rillenschneiden (Grooving)</i>
<i>Griffigkeitsmängel</i>	+	-
<i>Unebenheiten</i>	+	-
<i>Abflussbehinderung von Oberflächenwasser</i>	O	+
<i>Oberflächenschäden</i>	+	-
<i>Stufenbildung an Fugen und Rissen</i>	+	-
<i>Oberflächentextur mit hoher Lärmemission</i>	+	-

+ geeignet, O bedingt geeignet, – nicht geeignet

#### 2.3.3.5.2 Ausführung

Durch das Bearbeiten darf die Oberfläche des Betons nicht nachteilig verändert werden.

##### 2.3.3.5.2.1 Schleifen (Grinding)

Durch Schleifen können Schichten bis etwa 10 mm Dicke schonend und maßgenau in einem Arbeitsgang abgetragen werden. Dabei wird auf der Betonoberfläche eine Textur mit Längsrillen hergestellt.

An den Rändern der Schleifbahnen dürfen keine Stufen größer als 3 mm entstehen.

Der Wasserabfluss darf dadurch nicht behindert werden.

Der anfallende Schleifschlamm ist direkt an der Maschine aufzunehmen und einer ordnungsgemäßen Entsorgung zuzuführen.

Zum Schleifen wird üblicherweise eine mit Diamantscheiben besetzte Welle (Segmentbreite ca. 3,2 mm und Segmentabständen ca. 2,2 mm) verwendet.

Wenn aus schalltechnischen Gründen geschliffen wird, können andere Segmentbreiten und/oder Segmentabstände erforderlich sein. Diese sind in der Leistungsbeschreibung anzugeben.

##### 2.3.3.5.2.2 Rillenschneiden (Grooving)

Durch das Rillenschneiden kann die Gefahr von Aquaplaning insbesondere in abflussschwachen Bereichen der Fahrbahn vermindert werden.

Richtwerte für die Ausführung sind:

– für Querrillen:

Breite ca. 3,2 mm

Tiefe ca. 5 mm.

Abstände der Querrillen mindestens 150 mm.

– für Längsrillen:

Breite ca. 3,2 mm

Tiefe ca. 3 bis 5 mm.

Abstände der Längsrillen ca. 25 bis 40 mm.

Die Art der Ausführung und der Rillenabstand sind in der Leistungsbeschreibung anzugeben.

Die Rillen sind scharfkantig und ohne Ausbrüche herzustellen. Der gewählte Rillenabstand ist beizubehalten.

Der anfallende Schleifschlamm ist direkt an der Maschine aufzunehmen und einer ordnungsgemäßen Entsorgung zuzuführen.

## 6.2.2 Allgemein bzw. Neubau

### Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Verkehrsflächen aus Beton

M OB Ausgabe 2009

## 7.2 Grinding (Schleifen)

Beim Grinding handelt es sich um ein abtragendes Schleifverfahren, das in Längs- und in Querrichtung ausgeführt werden kann.

Oberflächen mit einer längsgerichteten Grindingtextur (Bild 17) eignen sich besonders für Verkehrsflächen mit hohen Griffigkeitsanforderungen und führen zu einer Reduzierung der Reifen/Fahrbahn-Geräusche. Quer zur Fahrtrichtung gerichtete Grindingtexturen eignen sich besonders für Verkehrsflächen mit hohen Griffigkeitsanforderungen.

Sie führen aber zu einer deutlichen Erhöhung der Reifen/Fahrbahn- Geräusche und kommen daher vorwiegend auf Flugbetriebsflächen zur Anwendung.



**Bild 17: Textur nach dem Schleifen (Grinding) (links: in der Übersicht, rechts: im Detail)**



**Bild 18: Grindingmaschine (links: Grindingmaschine, rechts: neue Grindingwelle)**

Die Betondecke sollte zum Zeitpunkt der Ausführung mindestens die in den ZTV Beton-StB [2] für die Verkehrsfreigabe geforderte Festigkeit aufweisen. Durch Grinding kann Beton sehr maßgenau abgetragen werden, ohne dass das Gefüge des Betons der bearbeiteten Oberfläche gestört wird. Es empfiehlt sich, das Einbringen von Fugenfüllstoffen erst nach dem Grinding auszuführen. Eine Behandlung der Oberfläche nach dem Schleifen ist nicht erforderlich.

Die Bearbeitung der Oberfläche erfolgt mit Diamantschleifscheiben, welche auf einer rotierenden Welle (Bild 18 rechts) nebeneinander montiert sind und vertikal über die zu bearbeitenden Flächen geführt werden. Zwischen den Diamantschleifscheiben beträgt der maximale Abstand ca. 3 mm. Der Abstand und die Breite der Diamantscheiben bestimmen die spätere Textur der zu bearbeitenden Flächen. Die Kühlung der Diamantscheiben erfolgt mit Wasser. Der entstehende Schleifschlamm wird unmittelbar nach dem Schleifen abgesaugt.

Eine langfristige Verbesserung der Oberflächeneigenschaften von Verkehrsflächen aus Beton, ist vorwiegend abhängig von der Qualität und Dicke des Oberflächenmörtels und der Polierresistenz der vorhandenen Gesteinskörnung.

### **Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton**

#### **ZTV Beton-StB 2008**

Die aktuelle Version der ZTV für den Neubau von Betondecken enthält keine Hinweise bzw. Anforderungen für Grinding oder Grooving. Diese Richtlinie befindet sich gerade in Überarbeitung.

### **6.3 Vorschlag für Texterweiterung der RVS 13.01.51**

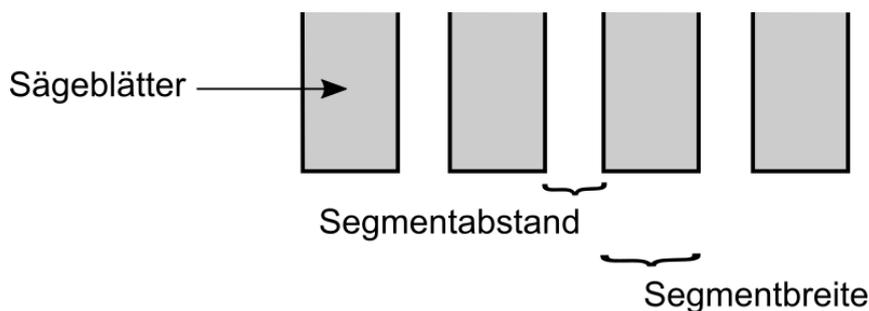
Die folgenden Änderungen bzw. Ergänzungen zum aktuellen Text der RVS werden vorgeschlagen:

Einführung des Begriffs „*Texturgrinding*“. Dieser wird auch in der deutschen Richtlinie eingeführt und betont die Oberflächenbearbeitung.

Texturgrinding ist das Schneiden von feinen Rillen in den Festbeton in Längsrichtung mit Diamantscheiben („diamond grinding“). Es dient zur Verbesserung der Ebenheit und Fahr-  
bahngriffigkeit und Verringerung des Rollgeräusches.

Segmentabstand bezeichnet den lichten Abstand der Schneidelemente (vgl. Abbildung).

Segmentbreite ist die Breite der Schneidscheiben (vgl. Abbildung).



Die Bearbeitungstiefe soll zur Verbesserung der Griffigkeit mindestens 5 mm betragen (Zementstein ist zu entfernen) und zur Verbesserung der Ebenheit bis zu 10 mm.

Zur Verbesserung der Griffigkeit wird die Anordnung der Schleifscheiben wie folgt empfohlen:

- 3,2 mm dicke Schleifscheiben mit 2,2 mm dicken Distanzscheiben oder
- 2,8 mm dicke Schleifscheiben mit 2,2 mm dicken Distanzscheiben.

Zur Verringerung des Rollgeräusches wird die Anordnung der Schleifscheiben wie folgt empfohlen:

- 2,5 mm dicke Schleifscheiben mit 2,2 mm dicken Distanzscheiben
- 2,2 mm dicke Schleifscheiben mit 1,8 mm dicken Distanzscheiben

### Textvorschlag für Ausführungsdetails

An den Übergangszonen der Schleifbahnen zueinander dürfen keine Stufen über 3 mm entstehen.

Der Überlappungsbereich der Schleifbahnen soll zwischen 0,5 cm und 2 cm betragen. Die Dauerhaftigkeit der Griffigkeitsverbesserung ist vom verwendeten Gestein der Betondecke

abhängig.

Im gesamten Baulos ist ein einheitlicher Wellenbesatz zu verwenden.

Die Schnitttiefe ist so einzustellen, dass die groben Gesteinskörnungen an der Oberfläche der Stege anstehen.

Die Bahnen sind so anzulegen, dass die Überlappungsbereiche nicht in den Rollspuren liegen.

Die Schleifrückstände sind nach oder im Zuge der Arbeiten vollständig zu entfernen.

Die ordnungsgemäße Ausführung der Betonfugen ist nach erfolgtem Grinding zu überprüfen und gegebenenfalls wiederherzustellen.

#### 6.4 Anforderungen an Grindingoberflächen

In der RVS 13.01.51 sind hinsichtlich Griffigkeit, Ebenheit bzw. Rollgeräusch keine spezifischen Anforderungen definiert. Für die ZTV Beton (Neubau!) werden im Entwurf die folgenden Anforderungen diskutiert:

Ebenheit mit der 4 m-Latte/Planograph	≤ 2 mm
Höhendifferenz zweier benachbarter Rillen	≤ 2 mm
Höhenversatz längs (zwischen Grindingbahnen)	≤ 3 mm
Höhenversatz quer (Tagesansatz)	≤ 4 mm
Überschneiden der Grindingbahnen (Längsrichtung)	≤ 10 mm
Höhenversatz zweier benachbarter Stege	n. def.

## 7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus Sicht des Labors lässt sich zusammenfassen, dass die verwendeten Grindingtexturen in Bezug auf deren Griffigkeit (im Labor und in Situ), Dauerhaftigkeit (im Labor) und akustische Eigenschaften (in Situ) ein zum Waschbeton vergleichbares Niveau aufweisen. Hierbei muss jedoch mitberücksichtigt werden, dass im Rahmen des Forschungsprojekts keine ganzheitliche Betrachtung durchgeführt werden konnte. So wurden beispielsweise Einflüsse auf den Fahrkomfort und die Ebenheit nicht betrachtet, welche sich aufgrund der nachträglichen Texturierung, bei dem mögliche Fehlstellen (fertigungsbedingte Unebenheiten oder Fugenversätze) korrigiert werden, positiv auswirken können. Um das Grindingverfahren aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch für den Neubau zu optimieren, müssten Untersuchungen zur Optimierung der einzusetzenden Betonrezeptur durchgeführt werden. Hierdurch ließe sich der für Waschbetonstrecken benötigte hohe Zementanteil von  $450 \text{ kg/m}^3$  deutlich reduzieren was ökonomische, aber insbesondere auch ökologische Vorteile hervorbringen könnte. Zusätzlich könnte sich bei Grinding-Neubaustrecken eine einschichtige Bauweise als zielführend herausstellen. Zwar kämen dadurch die erhöhten Anforderungen an die Gesteinskörnung des Oberbetons, insbesondere deren Polierwiderstand für den gesamten Fahrbahnbeton zum Tragen, es könnte jedoch die sich aus den Texturanforderung des Waschbetons ergebene Größtkornbegrenzung auf 8 mm entfallen, wodurch gröberes Material, beispielsweise ein Größtkorn von bis zu 22 mm eingesetzt werden kann. Zusätzlich ließe sich durch den Schleifvorgang auch Material mit geringer Bruchflächigkeit innerhalb des zu texturierenden Bereichs anwenden.

Somit könnte durch betontechnologische Optimierungen das Grinding bzw. Grinding/Grooving zu einer konkurrenzfähigen Oberflächentexturierung für den übergeordneten Verkehrswegebau entwickelt werden.

Die Untersuchung der Bestandsstrecken lässt keinen einheitlichen Trend erkennen. Weder die Griffigkeitserhöhung durch das Grinding, noch die Entwicklung über die Zeit sind über die Strecken vergleichbar. Auf dem Großteil der Strecken stellte sich nach drei oder vier Jahren wieder das Ausgangsniveau von vor der Maßnahme ein.

Folgendes lässt sich nach einem Beobachtungszeitraum von 1,5 Jahren (Knoten Steinhäusl) bzw. 1 Jahr (A10 Paternion) aus dem Monitoringprogramm schlussfolgern: Die Erhöhung der Griffigkeit, die sich in der Größenordnung  $+\Delta\mu \sim 0,1 - 0,15 [-]$  eingestellt hat, wurde über den Beobachtungszeitraum wieder „verbraucht“. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Abschnitte schon längere bzw. sehr lange Liegedauern (26 bzw. 32 Jahre)

aufweisen und vor Projektbeginn noch immer in den Griffigkeits-Klassen „gut“ und „befriedigend“ lagen. Das verwendete Gestein ist somit qualitativ als gut einzuschätzen, andernfalls hätten sich schon wesentlich früher Griffigkeitsmängel gezeigt. Der Verlust von  $\Delta\mu \sim 0,1$  [-] während eines bzw. eineinhalb Jahren wäre also bei unveränderter Oberflächenbeschaffenheit nicht zu erwarten gewesen. Insofern stellt sich die Frage, welche Voraussetzungen vorhanden sein müssen, um aus Griffigkeitssicht eine Grindingmaßnahme durchzuführen. Hier kommen wohl vor allem Strecken in Frage, die bereits Griffigkeitsprobleme aufweisen, aber kurzfristig nicht nachhaltig saniert oder erneuert werden können. Eine „Überbrückung“ von 2 bis 3 Jahren bis zur tiefgreifenderen Maßnahme erscheint mittels Grinding möglich. Der Umfang der Erhöhung von  $\Delta\mu \sim 0,1$  erscheint auf den ersten Blick nicht besonders groß, ist aber im Zusammenhang zum vorhandenen Ausgangsniveau zu betrachten. Auf Strecken mit niedrigerem Griffigkeitsniveau kann die Erhöhung auch größer ausfallen (vgl. Bestandsstrecken).

Bezüglich der (Längs-)Ebenheit ist eine deutliche Verbesserung des Zustandes festzuhalten, die sich im Projektzeitraum durchgehend erhält. Der erhöhte Fahrkomfort und die geringeren dynamischen Radlasten (und damit einhergehend die längere strukturelle Lebensdauer), die damit erzielt werden, sind positiv festzuhalten.

Festgehalten sei, dass die Erfassung der Ebenheit mit den etablierten Verfahren HRM-Balken bzw. Inertial Profiler aufgrund der anisotropen, längsgerichteten Textur an ihre Grenzen stößt und damit aufgenommene Profile zu fehlerhaften Ebenheitsbewertungen führen. Im Projekt konnte ein alternatives Verfahren gezeigt werden, das diese Einschränkungen umgeht und die Ebenheitsbewertung von gegrindeten/gegroovten Oberflächen ermöglicht.

Als Sanierungsmaßnahme bei Lärmproblemen scheint beim Grinding, basierend auf den Ergebnissen der beiden Versuchsstrecken, das größte Potential zu bestehen, wie das Monitoring zeigt. Auf allen Strecken konnten deutliche Verbesserungen erzielt werden (Reduktion des Rollgeräusches zwischen 1,3 und 3,2 dB direkt nach Durchführung des Grindings bzw. 1,3 und 2,1 dB zum Ende der Untersuchungszeit), die sich größtenteils über den Monitoringzeitraum gehalten haben.

Interessant ist, dass die Verbesserungen auf den unterschiedlichen Strecken nicht überall auf das gleiche Niveau führen. Obwohl die Oberflächentextur aus akustischer Sicht vollkommen „neu“ ist, bleibt weiterhin ein Einfluss des Bestands-Materials erkennbar.

Die Ergebnisse der durchgeführten Kosten-Nutzen-Analyse bzw. der Lebenszyklusanalyse zeigen ebenfalls eine besondere Wirksamkeit im Hinblick auf die Lärmreduktion.

Die neu entwickelte 3D-Textur-Messverfahren erlaubt die kontinuierliche Erfassung längerer Abschnitte im Fließverkehr und wurde erstmalig in einem Forschungsprojekt eingesetzt. Die Analyse der Messdaten steht naturgemäß noch am Anfang, lässt aber großes Potential für die Zukunft erkennen. Insbesondere die Anisotropie der Fahrbahtextur wird so einer Analyse zugänglich gemacht. Das schnellfahrende Messsystem macht die Sperre von Fahrstreifen überflüssig und ermöglicht so die rasche Beurteilung der Homogenität längerer Abschnitte.

Insgesamt wäre ein längerfristiges Monitoring der Entwicklung der Oberflächeneigenschaften von besonderem Interesse. Insbesondere eine Gesamtschau der in den Jahren 2017 und 2018 hergestellten Grindingabschnitte in den Projekten Groove, INGGO und auf der A2 würde zu weiteren Erkenntnissen führen.

## LITERATUR

- [1] RVS 13.01.15, „Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2006
- [2] RVS 13.01.51, „Betondeckenerhaltung“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2016.
- [3] CONCRETE PAVEMENT PRESERVATION GUIDE, Chapter 9: Diamond Grinding and Grooving, National Concrete Pavement Technology Center, FHWA Publication No. FHWA-HIF-14-014, September 2014
- [4] Scofield L. Development and Implementation of the Next Generation Concrete Surface, 2017
- [5] Scofield, L., “Arizona I-10 EB NGCS and CDG Test Section Draft Construction Report”, American Concrete Pavement Association, June 2010.
- [6] Scofield, L., “Chicago I-355 NB OBSI Test Results”, American Concrete Pavement Association, June 2010.
- [7] Scofield, L., “Chicago I-355 Testing of NCHRP 10-67 Site Locations,” American Concrete Pavement Association, June 2010.
- [8] Scofield, L., “OBSI Testing of Iowa US 30 Diamond Ground Surfaces,” American Concrete Pavement Association, October 2010.
- [9] Scofield, L., “Kansas I-70 EB Surface Texture Test Section OBSI Evaluation,” American Concrete Pavement Association, June 2010.
- [10] Scofield, L., “MnROAD I-94 NGCS, NGCS LITE, and OBSI Test Results,” American Concrete Pavement Association, July 2009.
- [11] Scofield, L., “MnROAD NGCS LITE Test Strip Evaluation,” American Concrete Pavement Association, January, 2011.
- [12] Scofield, L., “Duluth I-35 NGCS Open House Testing”, American Concrete Pavement Association, January 2011.
- [13] Oddershede, J., et.al, “CPX – OBSI Relation in Tyre/Road Noise Measurement Results”, Internoise 2013, Innsbruck, Austria.
- [14] Gruber J., Spielhofer R., “Monitoring abtragender griffigkeitsverbessernder Maßnahmen – MAGMA“, Ergebnisbericht im Rahmen von VIF 2012, Wien, 2015

- [15] Wehr, R. et. al. „Beurteilung der akustischen Wirkung von Grinding-Texturen auf das Reifen/Fahrbahngeräusch“. DAGA 2018, München
- [16] Nievelt, „Gutachterliche Stellungnahme Bewertung einer Fahrbahnbetonoberfläche auf Eignung zur Erhöhung der Griffigkeit durch das Schleifverfahren („Grinding“). Stockerau 2016
- [17] Wenzl, P., Dauerhaftigkeit der Oberflächeneigenschaften von texturierten Verkehrsflächen aus Beton, Dissertation, TU München, 2007
- [18] RVS 08.17.02, „Betondecken - Deckenherstellung“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2011
- [19] DIN EN 12390-3:2009-07, „Prüfung von Festbeton – Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern“, 2009
- [20] AL Sp Beton, „Arbeitsanleitung zur Bestimmung der charakteristischen Spaltzugfestigkeit an Zylinderscheiben als Eingangsgröße in die Bemessung von Betondecken für Straßenverkehrsflächen“, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2006
- [21] ONR 23033:2010 09 01 „Prüfverfahren Beton (PVB) - Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe“, Wien, 2010
- [22] Dorner, H., Hilbig, H., „Widerstand von Beton sehr geringer Porosität gegenüber einem sehr starken chemischen Angriff.“, Abschlussbericht zum DFG-Forschungsvorhaben (Nr. Do. 279), 12/1999
- [23] DIN CEN/TS 12390-9:2017-05, „Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung“, 2017
- [24] DIN EN 1097-8:2009-10, „Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Bestimmung des Polierwertes“, 2009
- [25] DIN EN ISO 13473-1:2004-07, „Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe“ (ISO 13473-1:1997)
- [26] Klein, N., Kränkel, T. und Gehlen, C. (2018). Prüfung von Waschbeton mit der Prüfanlage Wehner/Schulze. Band 1 zur 20. ibausil 12.-14. September, Weimar
- [27] FE 08.0220/2012/ORB, Dauerhafte Betondecken – Optimierung der Fahrbahnoberfläche durch Texturierung mittels Grinding-Verfahren
- [28] ZTV Beton-StB 07, „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“, Köln, 2007

- [29] TP-Griff SRT, „Technischen Prüfvorschrift für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil Messverfahren SRT“, Köln, 2004
- [30] Kanafi, M. M., “Rocky road - surface roughness impacts on rubber friction”, Dissertation, Aalto University, Otaniemi, 2017
- [31] Weninger-Vycudil A., Simanek P., Brozek B. und Litzka J.: Handbuch Pavement Management in Österreich, Version 2016. Im Auftrag der ASFINAG, Wien, 2016 (unveröffentlicht)
- [32] ISABELA - Integration of social aspects and benefits into life-cycle asset management. Social Benefit Modelling Report, Deliverable D 3.2. CEDR, Brussels, August 2017
- [33] J. Jamnik, M.L. Antunes, K. Turpin, D. Kokot, A. Weninger-Vycudil, J. Cesbron (2012). Practical Guide for the use of E-KPIs in pavement management practice. EVITA Deliverable 4.2.
- [34] Herry, M., Sedlacek. N. und Steinacher, I., „Verkehr in Zahlen 2011“. Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2011
- [35] Glatz, A., “Beurteilung der Effizienz von Erhaltungsmaßnahmen im Hinblick auf den Straßenzustand. Masterarbeit, ausgeführt am FH-Campus Wien, Wien, Dezember 2018
- [36] RVS 04.02.11, „Lärmschutz. Umweltschutz. Lärm und Luftschadstoffe“, Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2009
- [37] RVS 08.16.01, „Anforderungen an Asphaltsschichten. Technische Vertragsbedingungen. Bituminöse Trag- und Deckschichten,“ Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2015

## ANHÄNGE

### Sieblinien der hergestellten Betone

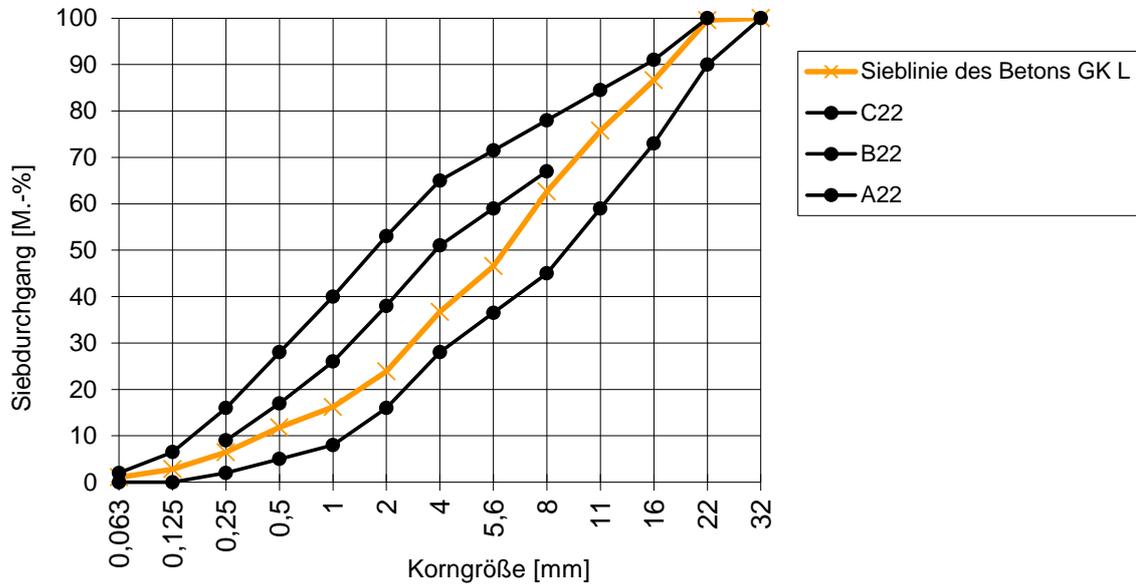


Abbildung A 1: Sieblinie des Betons GK L

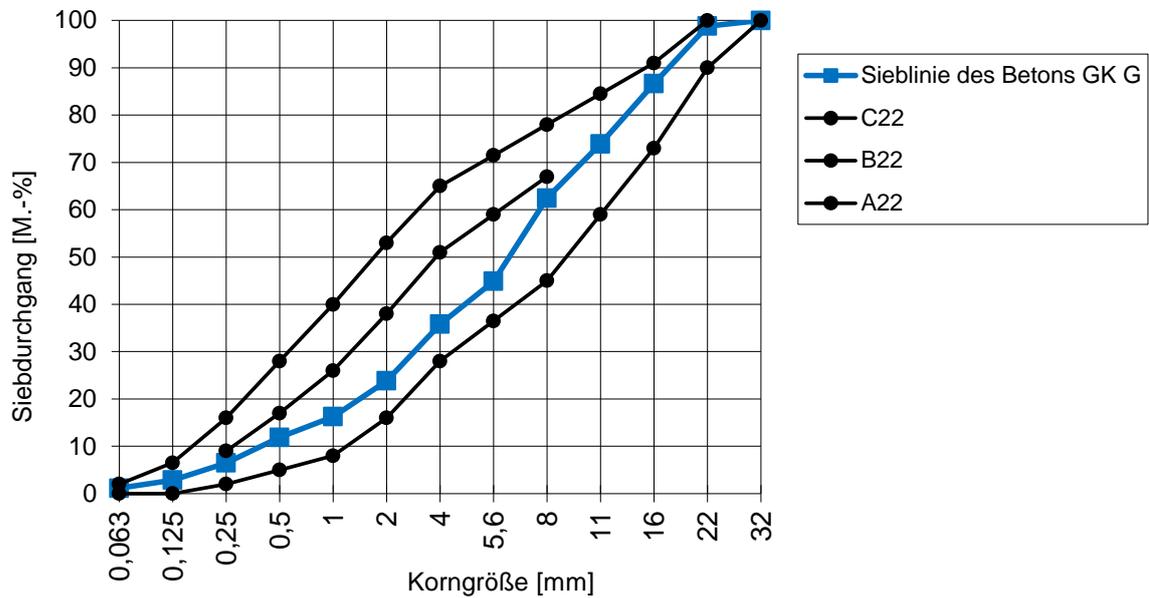


Abbildung A 2: Sieblinie des Betons GK G

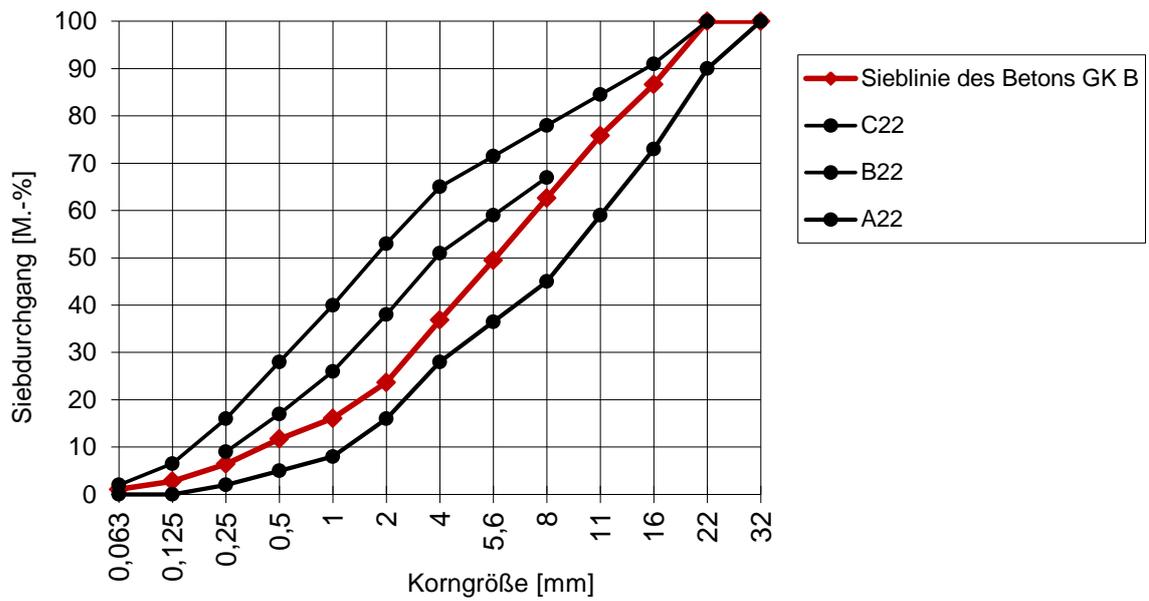


Abbildung A 3: Sieblinie des Betons GK B

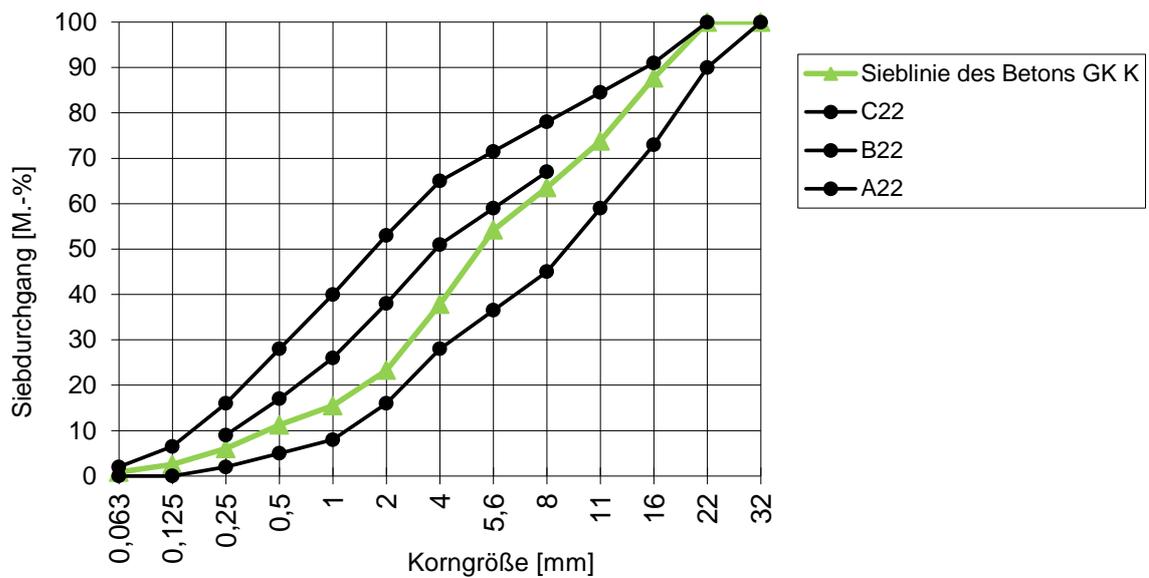


Abbildung A 4: Sieblinie des Betons GK K

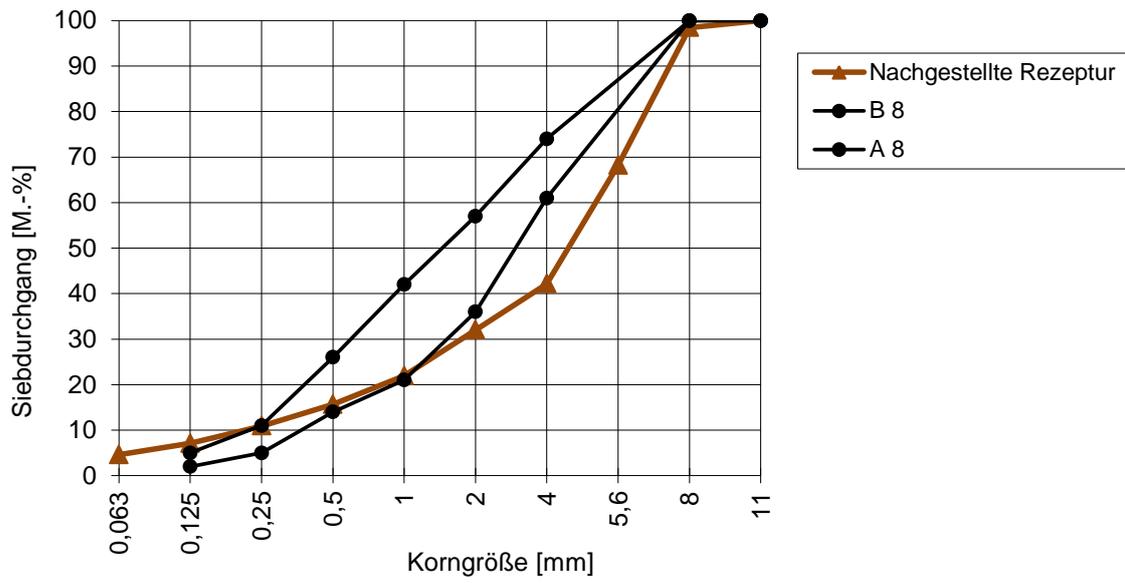


Abbildung A 5: Sieblinie der nachgestellten Praxisrezeptur