

PROGRIP - PROGNOSE DER GRIFFIGKEIT VON FAHRBAHNOBERFLÄCHEN

Das Projekt PROGRIP umfasst die Entwicklung eines Laborverfahrens zur Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen, die Kalibrierung dieses Verfahrens am tatsächlichen Verkehr durch Entnahme von Bohrkernen sowie die Ableitung von Laborgrenzwerten durch Korrelation mit Straßengriffigkeiten.

Allgemeine Zusammenfassung der Projektergebnisse

Ziel war es, die Entwicklung der Griffigkeit von Straßendecken aus Splitt-Mastix-Asphalt und Waschbeton bereits im Labor zu prognostizieren. Dazu wurde ein Laborverfahren entwickelt, das es erlaubt, Laborprüfkörper oder Bohrkern auf wiederhol- und vergleichbare Weise aufzurauen (zu regenerieren) und anschließend in definierten Stufen zu polieren.

Um einen Zusammenhang zwischen Laborbeanspruchung mittels der Polieranlage nach Wehner / Schulze (PWS, Abb. 1) und der tatsächlichen Polierwirkung durch den Straßenverkehr herzustellen, wurden an 14 Streckenabschnitten im österreichischen A+S-Netz Bohrkern aus den Fahrspuren sowie aus den unbefahrenen Bereichen gezogen. Die unbefahrenen Bohrkern wurden im Labor so lange polierend beansprucht, bis diese das Griffigkeitsniveau der Fahrspuren erreicht haben. Die dazu erforderlichen Polier-Überrollungen mittels PWS wurden mit den Verkehrsbelastungen korreliert. Durch die erfolgreiche Gegenüberstellung können somit für eine prognostizierte Verkehrsbelastung die erforderlichen Überrollungen im Labor abgeleitet werden, mit denen ein Laborprüfkörper oder Bohrkern zu beanspruchen ist.

Ein erhaltener Labor-Prognosewert (z.B. für den Zeitpunkt der Übernahme) kann schließlich durch eine signifikante Korrelation mit dem RoadSTAR, der in Österreich die Griffigkeit des A+S-Netzes erfasst, in eine Straßengriffigkeit umgerechnet werden. Die Korrelation wurde durch die Gegenüberstellung der im Labor geprüften Bohrkern aus den Fahrspuren mit den Messwerten des RoadSTAR auf den Straßen erhalten. Dies erlaubt gleichzeitig erstmals die Ableitung von Laborgrenzwerten für die Griffigkeit von Straßendecken.



ABB 1. Prüfanlage nach Wehner / Schulze (PWS).

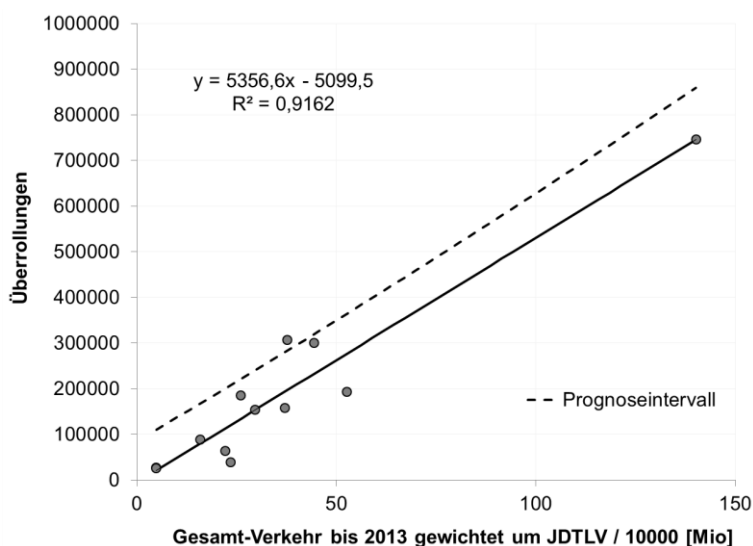


ABB 2. Zusammenhang zwischen erforderlichen Labor-Überrollungen (PWS) mit 90%-Prognosewahrscheinlichkeit (strichliert) und Verkehrsbelastung.

Kurzzusammenfassung

Problem

Bis dato stand keine Möglichkeit der Griffigkeitsprognose der gesamten Straßendecke zur Verfügung. Die Einschätzung der künftigen Griffigkeit beruhte ausschließlich auf der reinen Gesteinsprüfung (PSV am Splitt, PWS am Sand).

Gewählte Methodik

Die Griffigkeitsermittlung sowie die -prognose im Labor wurde mittels der Prüfanlage nach Wehner / Schulze (PWS, Abb. 1) durchgeführt. Eine festgelegte Abfolge von Aufrauen (Sandstrahlen) und Polieren als Eckpfeiler des entwickelten Laborverfahrens wurde systematisch auf Bohrkerne angewandt, die aus 14 homogenen, geradlinigen Strecken im österreichischen A+S-Netz gezogen wurden. Bohrkerne aus der Fahrspur dienten zur Ermittlung der aktuellen Griffigkeit im Labor sowie zur Korrelation mit der zuvor durch den RoadSTAR festgestellten Straßen-Griffigkeit. Bohrkerne aus dem unbefahrenen Bereich sollten so lange mit dem entwickelten Laborverfahren beansprucht werden, bis diese das Griffigkeitsniveau der Fahrspur erreicht haben und dadurch eine Kalibrierung mit der realen Verkehrsbelastung möglich wird.

Ergebnisse

Es wurde im Zuge der Entwicklung des Laborverfahrens festgestellt, dass unter konstanten Gerätebedingungen durch definiertes Sandstrahlen eine wiederholbare Regeneration sowie das Erreichen einer maximalen Griffigkeit (μ_{max}) nach Polierbeanspruchung möglich sind. Dieser Umstand ermöglichte es, standardmäßig mehrfache Prognoseprüfungen an allen (unbefahrenen) Bohrkernen hintereinander durchzuführen und diese den bekannten summarischen Verkehrslasten gegenüber zu stellen. Dadurch konnte ein Zusammenhang zwischen Polierbeanspruchung im Labor und Verkehrsbelastung auf der Straße hergestellt werden (vgl. Abb. 2).

Auf Grund einer signifikanten Korrelation der Labor-Griffigkeiten mittels PWS mit dem RoadSTAR ist außerdem die Ableitung von Labor-Grenzwerten für die Griffigkeit auf Straßen gelungen.

Facts:

- Laufzeit: 06/2013-12/2015
- Forschungskonsortium:
 - TPA – Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH (Hauptbewerber)
Polgarstr. 30,
A-1220 Wien
 - Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich für Straßenwesen, Technische Universität Wien (IVS)
Gusshausstraße 28/230/3
A-1040 Wien
 - AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Donau-City-Straße 1
A-1220 Wien
- FFG Projektnummer: 840562
- eCall Antragsnummer: 3576896
- Externe Zusatzfinanzierung:
 - Gestrata – Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt
 - Österreichische Betondecken ARGE
 - Österreichische Bautechnik Veranstaltungs-GmbH
 - Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie

Schlussfolgerungen

Auf Basis der untersuchten Strecken ist es künftig möglich, unter Zugrundelegung einer voraussichtlichen Verkehrsbelastung die entsprechend erforderliche Laborbeanspruchung (eines Bohrkerns oder Labor-Prüfkörpers) mittels PWS abzuleiten. Durch die signifikante Korrelation mit dem RoadSTAR kann nach entsprechender Laborbeanspruchung prognostiziert werden, ob eine bestimmte Griffigkeit auf der Straße erreicht werden kann (z.B. Übernahme) oder wann kritische Grenzwerte (z.B. Warnwert) unterschritten werden würden.

English Abstract

The aim of the project is the design of a laboratory method for long-term prediction of skid resistance of road surfaces using the testing device according to Wehner / Schulze (PWS). The laboratory method comprises a standardised combination of roughening (by sand-blasting) and subsequent polishing by rotating rubber cones.

Sand blasted (regenerated) drilling cores serve as testing specimens to calibrate polishing performance in laboratory relating to real traffic load on the road. A successful correlation between traffic and laboratory polishing allows the conduction of a realistic laboratory simulation and enables skid resistance prognosis depending on expected traffic.

Furthermore for the first time a correlation between skid resistance measurements on high level roads carried out by the RoadSTAR (a skid measurement device used in Austria) and laboratory values determined on drilling cores could be established. Therefore laboratory limiting values can be derived from existing limiting values for skid resistance of roads.

Impressum:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

DI Dr. Johann Horvatits,
Abt. IV/ST 2 Technik und
Verkehrssicherheit
johann.horvatits@bmvit.gv.at,

DI (FH) Andreas Blust,
Abt. III/14 Mobilitäts- und
Verkehrstechnologien
andreas.blust@bmvit.gv.at,
www.bmvit.gv.at

ÖBB-Infrastruktur AG

Ing. Wolfgang Zottl, ISM;
Leitung Forschung & Entwicklung
wolfgang.zottl@oebb.at,
www.oebb.at

ASFINAG

DI Eva Hackl,
Manager International Relations
und Innovation
eva.hackl@asfinag.at,

DI (FH) René Moser, Leiter Strategie,
Internationales und Innovation
rene.moser@asfinag.at,
www.asfinag.at

Österreichische Forschungs- förderungsgesellschaft mbH

DI Dr. Christian Pecharda,
Programmleitung Mobilität
Sensengasse 1, 1090 Wien
christian.pecharda@ffg.at,
www.ffg.at

Dezember, 2015

Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Entwicklung eines Labor-Verfahrens **PROGRIP**

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2012
(VIF2012)

Dezember 2015





Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

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



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



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

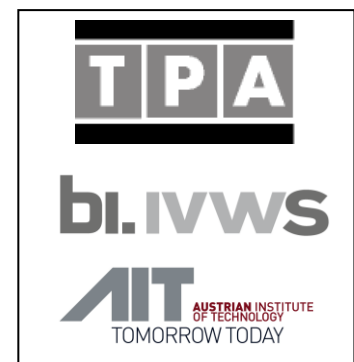


Für den Inhalt verantwortlich:

TPA – Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH (Hauptbewerber)
Polgarstr. 30,
A-1220 Wien

Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich für
Straßenwesen, Technische Universität Wien (IVS)
Gusshausstraße 28/230/3
A-1040 Wien

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 2
A-1210 Wien



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Entwicklung eines Labor-Verfahrens PROGRIP

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2012)

Autoren:

Dr. Hannes KUGLER

Dr. Bernhard HOFKO

DI Roland SPIELHOFER

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

- TPA – Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH
(Hauptbewerber);
- Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich für Straßenwesen,
Technische Universität Wien (IVS);
- AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Zusatzfinanzierung:

- Gestrata – Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt
- Österreichische Betondecken ARGE
- Österreichische Bautechnik Veranstaltungs-GmbH
- Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie

Danksagung

Allen voran sei den MitarbeiterInnen dieses Projektes gedankt, die aktiv an den Geräten gestanden oder vor den Computern gesessen sind. Die Zusammenarbeit der Konsortialpartner hat hervorragend funktioniert, Zuverlässigkeit und Engagement haben zum vorliegenden Ergebnis geführt.

Besonderer Dank gilt DI Mario Krmek / ASFINAG, der durch sein persönliches Engagement das Zustandekommen des Projektes entscheidend mitgetragen sowie die Bohrkernentnahmen ermöglicht hat.

Neben den Hauptfinanziers im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung seien auch die an der Zusatzfinanzierung beteiligten Firmen erwähnt. Diese haben es ermöglicht, dass weitere Strecken beprobt und bearbeitet werden konnten sowie die Herstellung von Waschbeton-Platten untersucht wurde.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Problemstellung	9
2. Ziele.....	9
3. Methoden und GerÄte.....	11
3.1. Überblick zu Arbeitspaketen (AP) und Meilensteinen	11
3.1.1. Detaillierte Beschreibung der Arbeitspakete	12
3.2. GerÄte.....	20
3.2.1. Polieranlage nach Wehner / Schulze (PWS).....	20
3.2.2. GriffigkeitsmessgerÄt RoadSTAR (RS)	21
3.2.3. Herstellung von Asphaltplatten	22
3.2.4. Herstellung von Waschbetonplatten	22
4. Ergebnisse und Diskussion.....	22
4.1. Voruntersuchungen zur Messstreckenauswahl anhand von RoadSTAR Daten.....	22
4.2. Feldmessungen mit dem RoadSTAR und Probekörper-Gewinnung	26
4.2.1. Hochauflösende Griffigkeitsermittlung an den Örtlichkeiten der Vorauswahl.....	26
4.2.2. Entnahme der Bohrkern.....	30
4.3. Parameterstudie und Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose ...	31
4.3.1. Auswertung und Zusammenfassung der Literaturstudie	31
4.3.2. Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose	33
4.3.2.1. Sandstrahl-Leistung	33
4.3.2.2. Polierleistung	37
4.3.2.3. Festlegung des Verfahrens zur Herstellung von Waschbetonprobekörpern im Labor	42
4.3.2.4. Verfahrensablauf zur Griffigkeitsprognose.....	46
4.4. Reihenuntersuchungen mit dem entwickelten Laborverfahren	48
4.4.1. Griffigkeitsmesswerte der Bohrkern	48
4.4.2. Durchführung der Laborprognosen an den unbefahrenen BK.....	51
4.5. Statistische Analyse und Aufbau eines Bewertungshintergrundes.....	51
4.5.1. Korrelation RoadSTAR und Wehner / Schulze und Ableitung von Grenzwerten	51
4.5.2. Wiederhol- und Vergleichbarkeit des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose	63
4.5.2.1. Maschinentechnische Einflussfaktoren.....	64
4.5.2.1.1. Prüfgummiqualität.....	64
4.5.2.1.2. Polierleistung	66
4.5.2.1.3. Funktionsfähigkeit des Drehmomentaufnehmers	68

4.5.2.2. Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit von Messwerten realitätsnaher Prüfkörper (PK).....	68
4.5.2.3. Wiederholbarkeit von Messwerten an BK der PROGRIP-Strecken.....	76
4.5.2.4. Empfohlene Richtwerte für die Beurteilung der Wiederholbarkeit von Prognoseprüfungen an Labor-PK und BK.....	79
4.5.3. Korrelation Polierbeanspruchung Feld und Labor	81
4.5.3.1. Parameter der Korrelationen	81
4.5.3.2. Beginn der Gültigkeit der Korrelationen.....	87
4.5.3.3. Erklärung zu Ausreißern in Bezug auf die PROGRIP-Strecken	90
4.5.3.4. Auswertung und Interpretation der Korrelationen	91
5. Zusammenfassung und Ausblick	100
6. Anhang I	104
7. Anhang II	164

1. PROBLEMSTELLUNG

Einer zuverlässigen Vorhersage der Griffigkeitsentwicklung einer Straßenoberfläche kommt insofern große Bedeutung zu, als die (mangelhafte) Griffigkeit der limitierende Faktor einer sonst unter Umständen noch für Jahre intakten Straße sein kann. Die Folge sind verfrüht notwendig werdende, teure und ressourcenzehrende Instandsetzungsarbeiten.

Die derzeitige Situation österreichischer Regelwerke sieht hinsichtlich Griffigkeits-Prognostik lediglich Grenzwerte für die Gesteinskörnung vor. Eine solchermaßen vorgenommene Beurteilung künftigen Griffigkeitsverhaltens einer Deckschicht ist daher mit Unsicherheiten behaftet, weil lediglich die Gesteinskomponente, nicht aber das komplexe Gesamtsystem einer Deckschicht inklusive Kornverteilung, Hohlraum und Textur berücksichtigt wird.

Weiters geht aus der Vorgabe der derzeit gültigen Laborgrenzwerte für Gestein (z.B. PSV₅₀) nicht hervor, welche Verkehrsbelastung damit eigentlich simuliert wird, bzw. wie lange unterschiedliche Deckentypen mit einem Gestein von PSV₅₀ auf welchem Niveau griffig bleiben werden.

Zudem ist bis heute nicht bekannt, welcher Zusammenhang zwischen im Labor als polierresistent qualifiziertem Gestein und der Griffigkeit damit hergestellter Deckschichten besteht, die mit dem in Österreich üblichen RoadSTAR gemessen werden.

Auf Grund dieser unbefriedigenden Ausgangssituation bzw. der angeführten Probleme in Hinblick auf eine zuverlässige Griffigkeitsprognose wird im gegenständlichen Vorhaben die Entwicklung eines spezifischen Laborverfahrens angestrebt. Dieses soll die Anforderungen an die Griffigkeit von jenen an das Gestein auf die Ebene der gesamten Oberflächeneigenschaften der Straße heben und gleichzeitig eine Vorhersage der Griffigkeit in Abhängigkeit von der erwarteten Verkehrsbelastung erlauben. Darüber hinaus wird eine Korrelation zwischen Labormesswerten und Griffigkeitsmesswerten auf der Straße mittels RoadSTAR angestrebt, um Labormesswerte in Straßengriffigkeiten mit existierendem Bewertungshintergrund übersetzen zu können.

2. ZIELE

Basierend auf der oben angeführten Problemstellung werden für das gegenständliche Vorhaben PROGRIP folgende Ziele definiert:

- Entwicklung eines Laborverfahrens für die Prognose der Griffigkeit von Deckschichten mittels der Prüfanlage nach Wehner / Schulze unter Verwendung von Laborprüfkörpern, welche eine geplante Straßenoberfläche möglichst realitätsnah abbilden sollen (Abkehr von der reinen Gesteinsprüfung)
- Kalibrierung des entwickelten Laborverfahrens (Simulation von Verkehrsbeanspruchungen) durch folgende Vorgangsweise:
 - Auswahl homogener Streckenabschnitte aus Splitt-Mastix-Asphalt (SMA) und Waschbeton (WB) im ostösterreichischen A+S-Netz
 - Erfassen des mittleren Griffigkeitsniveaus in der rechten Fahrspur des rechten Fahrstreifens (befahrener Bereich)
 - Durchführung von Prognoseprüfung(en) mittels entwickeltem Laborverfahren an Bohrkernen des unbefahrenen Bereichs der gewählten Streckenabschnitte
 - Gegenüberstellung von im Labor erforderlichen Polierbeanspruchungen (um das Niveau des entsprechenden befahrenen Bereiches zu erreichen) mit den realen Verkehrsbelastungen auf diesen Straßenabschnitten.
- Verlinkung der Griffigkeitsmessung im Labor mit jener auf der Straße durch Korrelation von Labormesswerten nach Wehner / Schulze mit RoadSTAR-Messungen. Dadurch können mit dem entwickelten Laborverfahren eruierte Labor-Prognosewerte in Griffigkeiten auf der Straße „übersetzt“ und daraus Laborgrenzwerte abgeleitet werden (z.B. für Abnahme und Übernahme).
- Vergleich der beiden einzigen derzeit in Österreich vorhandenen Prüfanlagen nach Wehner / Schulze, welche beide im Rahmen des vorliegenden Projekts zum Einsatz kommen sollen.

Als Ergebnisse werden in Konsequenz obiger Ziele folgende Resultate angestrebt:

- Präsentation eines Laborverfahrens, mit Hilfe dessen geplante Deckschichten als Gesamtsysteme realitätsnah geprüft werden können und Aussagen zulassen, nach welchen zu erwartenden Verkehrsbelastungen (bzw. entsprechenden Zeiträumen) mit welchen Griffigkeiten zu rechnen sein würde.
- Auf Basis von Regressionen mit RoadSTAR-Messungen können Laborgrenzwerte für auf der Straße kritische Griffigkeitsniveaus (entsprechend gültiger Regelwerke) abgeleitet werden. Ermittelte Labor-Prognosewerte geben somit Aufschluss, welche Griffigkeit auf der Straße zu erwarten sein würde bzw. ob oder wann gültige Grenzwerte unterschritten werden würden.
- Ermittlung von Vergleichbarkeiten der beiden Prüfanlagen nach Wehner / Schulze.
- Das entwickelte Laborverfahren, die abgeleiteten Grenzwerte sowie die eruierten Vergleichbarkeiten der beiden Prüfanlagen nach Wehner / Schulze sollen Grundlage für Implementierungen in entsprechende nationale Regelwerke sein.

3. METHODEN UND GERÄTE

3.1. Überblick zu Arbeitspaketen (AP) und Meilensteinen

In Abb. 1 sind die Arbeitspakete und der ursprünglich vorgesehene Zeitplan dargestellt. Durch unvorhersehbare Probleme mit der Servicierung der Maschinen sowie einer durch die Zusatzfinanzierung deutlich höheren Zahl an Strecken als der ursprünglich vorgesehenen wurde das Ende der Projektlaufzeit auf Ende Dez. 2015 verlängert.

Tabelle 1 beinhaltet eine Kurzbeschreibung der Arbeitspakete.

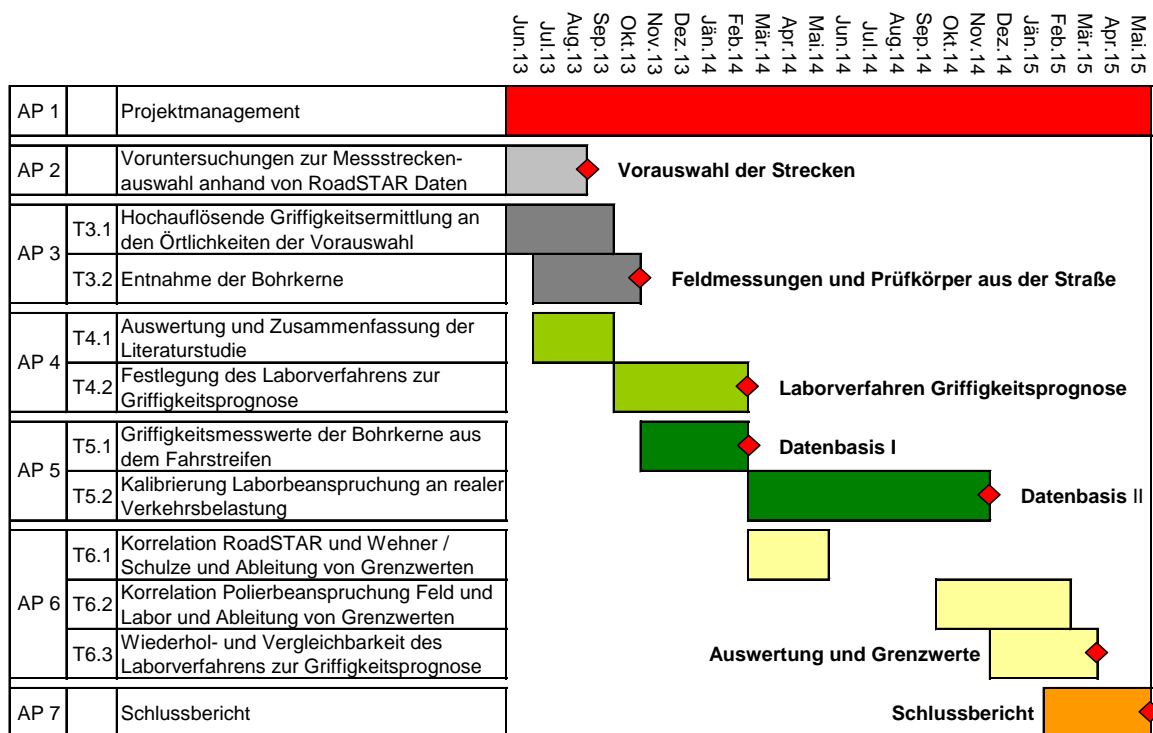


Abb. 1: Projektbalkenplan nach AP, Tasks (T) und mit Meilensteinen (rote Rauten) inkl. deren Bezeichnungen.

Tabelle 1: Übersicht Arbeitspakete.

AP Nr.	Arbeitspaket-Bezeichnung	Geplantes Ergebnis
1	Projektmanagement	Koordination der Projektpartner, Planung, Kontrolle, Steuerung und Abschluss
2	Voruntersuchungen zur Messstreckenauswahl anhand von RoadSTAR Daten	Vorauswahl an Strecken mit breiter Streuung an Griffigkeitsentwicklung und Verkehrsbelastung anhand der Analyse von RoadSTAR Daten aus vergangenen Messkampagnen
3	Feldmessungen mit dem RoadSTAR und Probekörper-Gewinnung	Hochauflösende Griffigkeitsermittlung an den gewählten Messstrecken, Filterung von insgesamt mindestens 6 homogenen Strecken und Entnahme von Bohrkernen
4	Parameterstudie und Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose	Gezielte Parameterstudie der Prüfbedingungen an der Prüfanlage nach Wehner-Schulze zur Festlegung eines realitätsnahen Laborverfahrens zur Griffigkeitsentwicklung
5	Reihenuntersuchungen mit dem entwickelten Laborverfahren	Griffigkeitsmessungen der Bohrkern aus dem befahrenen Bereich als Basis einer Korrelation zwischen RoadSTAR und Wehner / Schulze Polierbeanspruchungen und Griffigkeitsmessungen der Bohrkern aus dem unbefahrenen Bereich und an Laborprüfkörpern mit dem entwickelten Laborverfahren zum Aufbau eines Bewertungshintergrundes
6	Statistische Analyse und Aufbau eines Bewertungshintergrundes	Korrelation bzw. Regression zwischen Griffigkeitsmesswerten RoadSTAR und Wehner / Schulze sowie statistische Analyse zu sämtlichen Messungen bzw. Prüfverfahren Aufbau eines abgesicherten Bewertungshintergrundes
7	Schlussbericht	Zusammenfassung der Erkenntnisse im Schlussbericht

3.1.1. Detaillierte Beschreibung der Arbeitspakete

AP 1: Projektmanagement

Es wird die klassische Projektmanagement-Methode verfolgt, welche bereits in der Vorprojektphase startet (Finden von Projektpartnern bis Einreichung des Anbots), den

Projektfortschritt laufend kontrolliert und steuernd eingreift und schließlich das Projekt abschließt. Projektdiskontinuitäten werden von den Verantwortlichen der AP dem Projektleiter unverzüglich übermittelt, um gemeinsam Lösungsstrategien zu entwickeln und den Zeitplan in angebotener Qualität einhalten zu können. Das Controlling des Leistungsfortschritts erfolgt durch regelmäßigen Informationsaustausch und Meetings.

AP 2: Voruntersuchungen zur Messstreckenauswahl anhand von RoadSTAR Daten

Das AIT führt seit 2001 netzweite Griffigkeitsmessungen am ASFINAG-Netz durch. Seit 2004 werden auch Abnahme- und Gewährleistungsmessungen durchgeführt. Diese Daten werden verwendet, um in Kombination mit der Oberbaudatenbank der ASFINAG eine Vorauswahl an Örtlichkeiten für die Bohrkernentnahme zu treffen. Dabei sind sowohl Deckentyp, Alter, Verkehrsbelastung und Griffigkeitsniveau zu berücksichtigen, wobei folgende Kriterien für die Vorauswahl maßgebend sind:

- Bevorzugte Deckentypen Splitt-Mastix-Asphalt SMA und Waschbeton WB
- Strecken oder –abschnitte obiger Deckentypen mit möglichst großer Wertespreizung hinsichtlich Griffigkeitsveränderung

Die Überstellung des Griffigkeits-Messfahrzeuges sowie des Gerätes zur Bohrkernentnahme sind wesentliche Kostenfaktoren. Deshalb ist auch die Lage der Strecken zu berücksichtigen, um eine möglichst wirtschaftliche Messdatenerfassung und Bohrkernentnahme zu ermöglichen.

Können diese Rahmenbedingungen von den bevorzugten Deckentypen nicht erfüllt werden, müssen alternative Deckentypen für die Vorauswahl herangezogen werden.

Die Vorauswahl der Strecken erfolgt mittels Analyse der erhobenen Messdaten und Zeitreihen der einzelnen 50 m-Abschnitte aus den Messkampagnen 2001, 2004/2005 und 2009. Als zweite Datenquelle werden die Daten der Abnahme- und Gewährleistungsprüfungen ab dem Jahr 2004 herangezogen. Für diese Abschnitte wird ebenfalls die zeitliche Entwicklung der Griffigkeit untersucht.

Die Griffigkeitsdaten verfügen über Lagebezug (Koordinaten) und Linienbezug (Straßennummer, Stationierungskilometer). Zusammen mit der Oberbaudatenbank (Alter und Art der Decke) der ASFINAG und sowie Informationen zu Verkehrsbelastungen werden die Daten gescreent, um potenziell interessante Strecken zu identifizieren und eine Vorauswahl zu treffen.

AP 3: Feldmessungen mit dem RoadSTAR und Probekörper-Gewinnung

Task 3.1: Hochauflösende Griffigkeitsermittlung an den Örtlichkeiten der Vorauswahl

Die vorhandenen netzweiten Griffigkeitsmessdaten weisen ein Alter von 3 bis 5 Jahren (am rechten Fahrstreifen) auf. Für die Entwicklung eines Prognoseverfahrens ist aber auch die Einbeziehung älterer, schon länger unter Verkehr liegender Abschnitte notwendig. Strecken, die zum Zeitpunkt der Messung bereits geringere Griffigkeiten aufwiesen, sind aber möglicherweise zwischenzeitlich saniert worden. Daher müssen auf den aus den vorhandenen Daten vorausgewählten Strecken hochauflösende Griffigkeitsmessungen durchgeführt werden, um das aktuelle Griffigkeitsniveau des befahrenen Teils (Radspur) sowie des unbefahrenen Teils der Fahrbahn (Pannestreifen bzw. zwischen den Radspuren) zu erheben bzw. zu verifizieren. Auf Basis der ermittelten Messwerte werden schließlich mindestens 6 Homogenbereiche (je 3 Strecken in Asphalt- und Betonbauweise, bevorzugte Deckentypen SMA und WB) ausgeschieden, innerhalb derer die Bohrkernentnahme erfolgen soll. Durch die Zusatzfinanzierung ist die Beprobung von mindestens 10 Homogenbereichen (je 5 SMA und WB-Strecken) möglich. Im Endeffekt wurden insgesamt 14 Strecken ausgewählt und beprobt.

Task 3.2: Entnahme der Bohrkerne:

Nach Ausschluss potenzieller Hindernisse vor der Probennahme (z.B. ungenügende Querebenheit) werden erforderliche Absperrungsmaßnahmen an den insgesamt 14 Strecken mit der ASFINAG abgestimmt und von dieser durchgeführt.

Um auch minimale zeitliche Schwankungen zu berücksichtigen, werden unmittelbar vor den Absperrungsmaßnahmen und der Bohrkernentnahme zusätzliche hochauflösende Griffigkeitsmessungen an den endgültigen Örtlichkeiten durchgeführt.

An den 14 Homogenbereichen wurden insgesamt zumindest 112 Bohrkerne gezogen.

Messung der Griffigkeit gem. RVS 11.06.65:

Auf den potenziellen Strecken wird die Griffigkeit gemäß RVS 11.06.65 erhoben. Dazu wird das Messfahrzeug RoadSTAR eingesetzt. Die Messung erfolgt mit 18 % Schlupf und einer Wasserfilmdicke von 0,5 mm. Aufgrund der Messgeschwindigkeit von 60 km/h kann die Messung im fließenden Verkehr ohne Sperre eines Fahrstreifens erfolgen. Dabei wird

sowohl in der rechten Radspur gemessen (stärkere Beanspruchung durch LKW-Verkehr) als auch am Pannestreifen (sollte weitgehend im Ursprungszustand sein, nur der Witterung ausgesetzt) und zwischen den Radspuren (geringere, aber trotzdem vorhandene Abnutzung durch Verkehr).

Entnahme der Bohrkerne:

Innerhalb jedes Homogenbereiches werden – nach Ausschluss möglicher Probenahmehindernisse – jeweils 4 Bohrkerne im befahrenen Bereich und im unbefahrenen Bereich gezogen.

Die Entnahmepunkte von befahren und un- sollen dabei möglichst nahe nebeneinander liegen. Auf Basis der ausgeschriebenen Finanzierung können zunächst nur 50 % der gezogenen Bohrkernpaare untersucht werden. Die restlichen 50 % werden für den Fall von unvorhergesehenen Zwischenfällen im Labor oder späterer Ausweitung des Projekts rückgestellt.

Bei Bohrung und Entnahme der Bohrkerne wird höchster Bedacht darauf genommen, die nahe des Bohrkernrandes gelegene Prüfspur des Messgerätes nach Wehner / Schulze nicht zu beschädigen.

AP 4: Parameterstudie und Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose

Ziel des Arbeitspakets ist es, relevante Literatur zu Griffigkeitsuntersuchung und -entwicklung in Laborverfahren, die während der Antragstellung erhoben wurde, auszuwerten. Dabei wird der Fokus auf die Prüfanlage Wehner / Schulze gelegt. So werden Grundlagen für die effiziente Entwicklung eines Laborverfahrens gelegt. Darauf aufbauend werden in einer experimentellen Parameterstudie die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Polier- und Griffigkeitsprüfung nach Wehner / Schulze analysiert. Die Ergebnisse liefern die Basis für ein Laborverfahrens zur realitätsnahen Prognose, mit dem in AP 5 die Reihenuntersuchungen durchgeführt werden.

Task 4.1: Auswertung und Zusammenfassung der Literaturstudie

Um die Aufgabenstellungen des Projekts effizient zu lösen, ist es notwendig, relevante Literatur zum Themenbereich zu analysieren, um auf bereits aufgearbeitetes Wissen zurückgreifen zu können. In der Recherche werden der Themenkreis Prüfverfahren nach Wehner/Schulze und unterschiedliche Anwendungsbereiche behandelt, ebenso wie Zusammenhänge zwischen Simulation der Polierbeanspruchung im Labor und im Feld

und Einfluss der Variation von Prüfparametern auf die Polierleistung und das daraus resultierende Griffigkeitsniveau.

Task 4.2: Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose

Aufbauend auf die aus Task 4.1 gewonnen Erkenntnisse, werden wesentliche Prüfparameter des Prüfverfahrens nach Wehner / Schulze in einer experimentellen Parameterstudie variiert und Auswirkungen untersucht. Dabei wird darauf Wert gelegt, realitätsnahe Prüfbedingungen zu schaffen. Das bedeutet, dass ein klarer Zusammenhang zwischen Polierleistung unter definierter Verkehrsbeanspruchung im Feld bzw. im Labor an der Prüfanlage Wehner / Schulze hergestellt wird. Dazu werden in einem ersten Schritt Prüfkörper, die im Labor hergestellt wurden, zur Ermittlung der Einflüsse von Parametern auf die Griffigkeitsentwicklung herangezogen. Im zweiten Schritt werden auch Bohrkerne (AP 3) aus den Messstrecken verwendet, da für diese Informationen zur Verkehrsbelastung vorliegen. So können realitätsnahe Prüfbedingungen für ein Laborverfahren zur Griffigkeitsprognose abgeleitet werden. Dieses Verfahren wird im AP 5 für Reihenuntersuchungen zum Aufbau einer breiten Datenbasis angewendet.

Zunächst wird in einer vertieften Recherche nach Publikationen gesucht und diese analysiert. Daraus werden essenzielle Prüfparameter abgeleitet, die in einer Parameterstudie näher zu untersuchen sind und ein entsprechendes Prüfprogramm mittels der Prüfanlage Wehner / Schulze abgeleitet. Aus der Zusammenschau zwischen Ergebnissen aus Prüfungen mit variierenden Prüfbedingungen (z.B. Menge des Quarzes während des Poliervorgangs) und Griffigkeitsveränderung im Feld unter Verkehr können realitätsnahe Prüfbedingungen abgeleitet werden, die für die Entwicklung des Laborverfahrens herangezogen werden.

AP 5: Reihenuntersuchungen mit dem entwickelten Laborverfahren

Einerseits werden Griffigkeitsmessungen an Bohrkernen des befahrenen Bereichs durchgeführt, um erstmals einen gesicherten Zusammenhang mit Feldmessungen von RoadSTAR herstellen zu können. Andererseits sollen mit dem in AP 4 entwickelten Laborverfahren zur Griffigkeitsprognose jene Laborbeanspruchungen erfasst werden, die zu den tatsächlich gemessenen Griffigkeiten im befahrenen Bereich der Straße führen.

Task 5.1: Griffigkeitsmesswerte der Bohrkerne aus dem Fahrstreifen

Bohrkerne aus dem befahrenen Bereich des rechten Fahrstreifens dienen dazu, die vorliegenden Griffigkeiten der Straße nach bekannter Verkehrsbelastung labortechnisch zu erfassen. Dadurch wird eine Korrelation mit zuvor ermittelten RoadSTAR-Messwerten (AP 3) ermöglicht und damit die Grundlage für die Ableitung von Labor-Grenzwerten geschaffen (AP 6).

Task 5.2: Kalibrierung Laborbeanspruchung an realer Verkehrsbelastung

Gleichzeitig stellen die Griffigkeiten dieser Bohrkerne aus dem befahrenen Bereich die Zielwerte für die Laborsimulation der realen Verkehrsbelastung an Bohrkernen aus dem unbefahrenen Bereich sowie an exemplarischen Laborprüfkörpern dar. Zur Erreichung dieser Zielwerte wird das in AP 4 entwickelte Laborverfahren zur Griffigkeitsprognose angewandt.

Durch Kenntnis der realen Verkehrsbelastung kann ein Zusammenhang zur erforderlichen Laborbeanspruchung zur Erreichung der gleichen Griffigkeit wie auf der Straße hergestellt werden, wodurch eine Griffigkeitsprognose ermöglicht wird.

Zur Ermittlung der Griffigkeiten im Labor sowie zur Simulation realer Verkehrsbelastungen wird die Prüfanlage nach Wehner / Schulze (PWS) eingesetzt. Diese steht sowohl in der TPA, als auch am IVS zur Verfügung, was einerseits die Bearbeitung der Proben beschleunigt bzw. absichert (bei Geräteausfall) und andererseits einen Gerätevergleich erlaubt, der statistisch ausgewertet werden kann (AP 6) und wichtige Grundlage für die Angabe der Vergleichspräzision im Rahmen einer künftigen normativen Regelung sein wird.

Die reale Verkehrsbelastung, gemessen in Form der Griffigkeiten an Bohrkernen im stark befahrenen Bereich (Zielwerte), wird an Bohrkernen des unbefahrenen Bereiches und exemplarisch an Laborprüfkörpern simuliert. Es werden dabei so lange unterschiedliche Belastungszyklen (z.B. Sandstrahlung und Polierstufen) entsprechend dem in AP 4 entwickelten Laborverfahren appliziert, bis die Zielwerte (Mittel der befahrenen Bohrkerne) erreicht werden (Kalibrierung). Durch Gegenüberstellung der solchermaßen eruierten Belastungen im Labor mit den realen (bekannten) Verkehrsbelastungen sollen die Zusammenhänge schließlich regressiv erfasst werden (AP 6).

Darüber hinaus werden exemplarisch mindestens 16 Laborprüfkörper aus Asphaltmischgut der gleichen Zusammensetzung wie jener entnommener Bohrkerne mittels Walzenverdichtungsgerät hergestellt.

Durch die Zusatzfinanzierung wird es darüber hinaus ermöglicht, ein Herstellungsverfahren realitätsnaher WB-Platten durch Variation von Art und Zeitpunkt des Ausbürstens vorzuschlagen.

Diese Laborprüfkörper dienen dazu, die Vergleichbarkeit mit unbeanspruchten Bohrkernen herzustellen und labortechnische Varianzen statistisch zu erfassen (AP 6).

AP 6: Statistische Analyse und Aufbau eines Bewertungshintergrundes

Die gesammelten Messdaten aus AP 5 werden detailliert ausgewertet und interpretiert. Ziel dieses AP ist eine statistisch gesicherte Regression zwischen Feldmessungen mittels RoadSTAR und Labormesswerten mit der Prüfanlage Wehner / Schulze zu ermitteln und dadurch Labor-Grenzwerte abzuleiten. Zudem soll ein Bewertungshintergrund aufgebaut werden, der einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Griffigkeitsentwicklung im entwickelten Laborverfahren (AP 4) und im Feld unter Verkehrsbeanspruchung herstellt. Dadurch kann im Labor jene Verkehrsbelastung bzw. jene (verkehrsabhängige) Zeit prognostiziert werden, ab der es zur Unterschreitung definierter Griffigkeits-Grenzwerte kommen wird. Dies stellt ein wichtiges Instrument zur Mischgut-Optimierung im Zuge der Planung dar.

Zudem wird der Vorteil, dass zwei Partner mit Prüfmaschinen nach Wehner / Schulze beteiligt sind genutzt, indem Untersuchungen zur Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Prüfverfahren analysiert werden.

Task 6.1: Korrelation RoadSTAR und Wehner / Schulze und Ableitung von Grenzwerten

Die Daten aus Feldmessungen mit dem RoadSTAR und aus Labormessungen der Griffigkeit an der Prüfanlage Wehner / Schulze werden herangezogen, um eine Korrelationsanalyse zwischen diesen beiden Verfahren durchzuführen. Dazu werden sowohl Ergebnisse aus dem unbefahrenen Bereich (Pannestreifen – hohes Griffigkeitsniveau), als auch aus dem befahrenen Bereich (Radspur – niedrigeres Griffigkeitsniveau) herangezogen um eine große Wertespreizung zu erzielen. So kann ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Feld- und Labormessungen unter Berücksichtigung der statistischen Streuung abgeleitet und Labor-Grenzwerte in Anlehnung an die Grenzwerte, die für RoadSTAR-Messungen bei Abnahme und Gewährleistung gelten, ermittelt werden.

Task 6.2: Korrelation Polierbeanspruchung Feld und Labor

Ein Bewertungshintergrund für das Laborverfahren zur Griffigkeitsprognose wird entwickelt. Dazu werden Korrelationsanalysen zwischen den gewonnenen Prüfdaten an unbefahrenen Bohrkernen und der realen Belastung auf der Straße für jeden Deckschicht-Typ (SMA, WB) durchgeführt. Ziel ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Polierbelastung im Feld und im Labor. Damit können im Labor die im Rahmen einer Prognose zu erwartenden Verkehrsbelastungen simuliert und die entsprechend resultierende Griffigkeit ermittelt werden.

Dadurch wird es möglich, bereits in der Phase der Mischgutoptimierung auf stabile Griffigkeitsverhältnisse während der voraussichtlichen Lebensdauer zu achten bzw. zu prüfen, ob die Grenzwerte der Erst- und Abnahmeprüfung eingehalten werden können.

Task 6.3: Wiederhol- und Vergleichbarkeit des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose

Da im Konsortium zwei Partner mit Prüfanlagen nach Wehner / Schulze beteiligt sind (IVS, TPA) ist es möglich, neben der Wiederholbarkeit des Verfahrens auch die Vergleichbarkeit zu ermitteln. Diese Informationen tragen zusätzlich zur statistischen Absicherung bei und sind eine wichtige Grundlage für die Angabe der Vergleichspräzision im Rahmen einer künftigen normativen Regelung.

Für alle drei Tasks des AP gilt, dass die statistische Qualität der Daten verbessert werden soll, indem Ausreißerverfahren angewendet werden, die es auch bei kleinen Stichproben-Mengen erlauben, Ausreißer gesichert zu erfassen und zu eliminieren.

Bei den Korrelationsanalysen werden statistische Kenngrößen (z.B. Bestimmtheitsmaß) herangezogen, um wesentliche Einflussfaktoren auf die Griffigkeitsentwicklung zu isolieren. Die signifikanten Einflussfaktoren werden herangezogen, um mithilfe einer passenden Regressionsfunktion den Bewertungshintergrund zur Griffigkeitsentwicklung aufzubauen und unter Heranziehung der Daten aus den RoadSTAR-Messungen Grenzwerte für das Laborverfahren zur Griffigkeitsentwicklung abzuleiten.

Zur Darstellung der statistischen Qualität der Regressionen und des Bewertungshintergrund werden Konfidenz- und Prognoseintervalle abgeleitet, sodass Grenzwerte mit einer Sicherheit von z.B. 95% festgelegt werden können.

Zur Anwendung kommen Ausreißerverfahren, die auch bei kleinen Stichproben anwendbar sind.

3.2. Geräte

3.2.1. Polieranlage nach Wehner / Schulze (PWS)

Das Laborgriffigkeitsmessgerät stellt im Prinzip die Übertragung der Messmethode mit dem blockierten Schlepprad (Prinzip „Stuttgarter Reibungsmesser“) ins Laboratorium dar. Es ist in Abstimmung mit der ebenfalls in dem Gerät befindlichen Poliereinrichtung für Messungen auf ebenen, Prüfoberflächen eingerichtet, die einen Durchmesser von 225 mm haben. Die PWS erlaubt es somit, BK (Durchmesser 225 mm) oder auch rechteckige Prüfkörper (PK) mit Kantenlängen ≥ 225 mm zu prüfen. Drei mit einer Umlaufgeschwindigkeit von 100 km/h rotierende Messgummis werden auf der mit Wasser beaufschlagten Oberfläche des Probekörpers (Simulation Aquaplaninggefahr) abgebremst. Die während des Abbremsvorgangs aktivierte Reibungskraft wird über einen Drehmomentaufnehmer kontinuierlich bis zum Stillstand aufgezeichnet. Anschließend wird als Verhältnis zwischen Reibungskraft und Aufstandskraft der Messgummis über den ganzen Geschwindigkeitsbereich ein Reibbeiwertverlauf berechnet. Dieser wird zwischen 5 und 95 km/h durch ein Polynom 6. Ordnung geglättet. Der Polierwert μ_{PWS} wird auf der geglätteten Kurve bei 60 km/h abgelesen (s. Abb. 2, rechts).

Prüf- und maschinentechnische Details sind in RVS 11.06.23¹ und in prEN 12697-49² angeführt.

¹ RVS 11.06.23: Qualitätssicherung Bau. Prüfungen. Steinmaterial. Bestimmung des Polierwertes von Sand. Juni 2012

² prEN 12697-49:2011: Bituminous mixtures — Test methods for hot mix asphalt — Part 49: Determination of friction after polishing. 2011

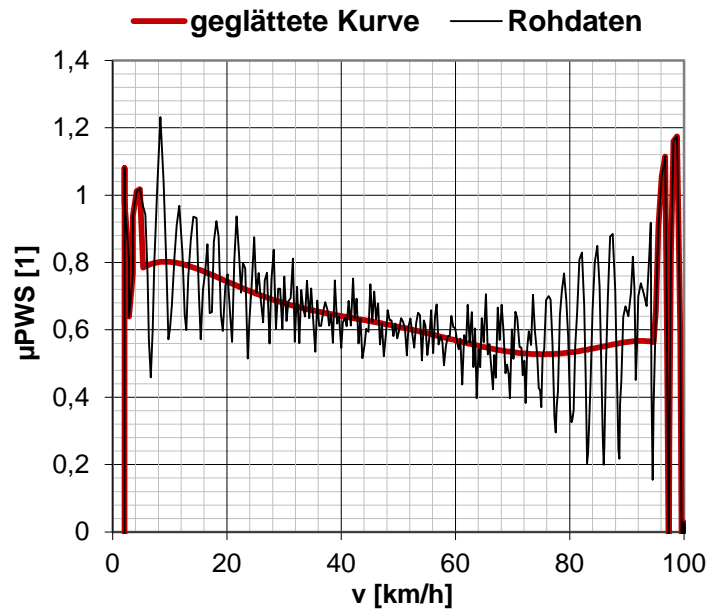


Abb. 2: Links Prüfanlage nach Wehner / Schulze PWS: links die Polierstation, rechts die Prüfstation. Rechts die erfasste Messwertkurve, der Schnittpunkt der geglätteten Kurve (rot) mit der 60 km/h-Linie = μ_{PWS} .

3.2.2. Griffigkeitsmessgerät RoadSTAR (RS)

Mit dem mobilen Messsystem RoadSTAR werden bei einer Standardgeschwindigkeit von 60 km/h die wichtigsten Oberflächeneigenschaften einer Fahrbahn sowie ihre Trassierungsparameter erfasst. Das Verfahren zur Griffigkeitsmessung ist in CEN TS 15901-1³ bzw. RVS 11.06.65 festgelegt. Die Griffigkeit der Fahrbahn wird in Längsrichtung bei einem Schlupf von 18 % auf nasser Fahrbahn gemessen, die Wasserfilmtiefe beträgt 0,5 mm. Das verwendete Prinzip der Griffigkeitsmessung orientiert sich am Bremsverhalten eines PKWs mit ABS und ermöglicht Rückschlüsse auf von PKW erreichbaren Verzögerungen bzw. die Berechnung von Bremsweglängen⁴. Das Verfahren wird seit 1990 in Österreich netzweit eingesetzt.

³ CEN TS 15901-1:2009, Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen - Teil 1: Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit von Fahrbahndecken durch Verwendung eines Geräts mit festgelegtem Schlupf in Längsrichtung (LFCS): das RoadSTAR-Gerät

⁴ Maurer P., Aspekte der Fahrbahngriffigkeit und ihr Einfluss auf erreichbare Pkw-Bremsverzögerungen,

Die hochauflösenden Griffigkeitsmessungen wurden mit dem RoadSTAR II (Kfz-Kennzeichen W77440T) am 20. und 21.11.2013 durchgeführt.

3.2.3. Herstellung von Asphaltplatten

Die Herstellung von Asphaltplatten für die Prüfung mittels PWS erfolgt gemäß ÖNORM EN 12697-33⁵.

3.2.4. Herstellung von Waschbetonplatten

Das ausgearbeitete Herstellungsverfahren sowie die dazu notwendigen Gerätschaften sind ausführlich in Anhang II beschrieben.

4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1. Voruntersuchungen zur Messstreckenauswahl anhand von RoadSTAR Daten

Die Auswahl der Messstrecken für die Probenahme erfolgte angesichts von teuren Geräteüberstellungen und Bohrkernentnahmen neben wissenschaftlichen Kriterien auch nach wirtschaftlichen. Hinzu kam die Überlegung, die Messstrecken auf eine vergleichbare klimatische Region zu beschränken, um besonders Einflüsse des Winters (Frostverwitterung) bzw. des Winterdienstes (Salzsprengeung) möglichst vergleichbar zu halten. Aus diesem Grund wurden nur Strecken des A+S-Netzes in Betracht gezogen, die im ostösterreichischen Alpenvorland (Wien bis Raum Linz) bzw. im Wiener und Grazer Becken verlaufen.

Österreichische Straßenforschung, Heft 564, Bundesministerium für Verkehr, Innovation Und Technologie; Wien 2007

⁵ ÖNORM EN 12697-33: Asphalt — Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 33: Probestückvorbereitung mit einem Walzenverdichtungsgerät. 2007.

Auf Basis von durch die ASFINAG zur Verfügung gestellten Daten sowie von RoadSTAR (RS)-Messdaten des AIT wurden folgende Filterkriterien auf die Vorauswahl der Strecken angewandt:

- Beschränkung der Probenahme auf den Raum Linz – Wien – Graz aus klimatischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Gründen
- Bauweise SMA und WB (je mindestens 5 Strecken)
- Hohe Verkehrslast (JDTV > 25.000)
- LKW-Anteil > 14%
- möglichst gleichmäßige Verteilung der Liegedauer und damit der gesamten Verkehrsbelastung
- Geradlinigkeit
- Minimale Abweichungen in der Längs- und Querebenheit
- Steigung $0 \pm \text{max. } 1 \%$
- Verfügbarkeit von Griffigkeitsmessdaten mittels RS
- Auswahl von Homogenbereichen, innerhalb derer sich die RS-Griffigkeiten nur minimal ändern, um die Gefahr von lokalen Ausreißern hinsichtlich Griffigkeitsniveau zu verringern

Bereiche von Zu- oder Abfahren wurden als besonders vielversprechend angesehen, weil sich am selben Belag plötzlich die Verkehrslast ändert und dadurch auch Griffigkeitsveränderungen zu erwarten gewesen wären. Diese Hoffnung hat sich allerdings nicht bestätigt, die Unterschiede in den ermittelten RS-Griffigkeiten waren für eine Bearbeitung im Rahmen dieses Forschungsprojekts zu gering (oft innerhalb der Wiederholbarkeit).

Auf Basis obiger Kriterien wurden schließlich von knapp 4.000 Datensätzen der ASFINAG rund 60 Strecken vorausgewählt, die einer weiteren Filterung bedurften. Der ursprüngliche Ansatz der Gegenüberstellung der Griffigkeitsverminderung seit Abnahme bzw. Verkehrsfreigabe und der seit dieser Zeit erfolgten Verkehrsbelastung führte alleine nicht zum Ziel, da nur für sehr wenige ältere Strecken Griffigkeiten zum Zeitpunkt der Abnahme durchgeführt wurden. Daher wurde auf die jüngste RS-Griffigkeitsmessung seitens AIT der jeweiligen Strecke zurückgegriffen und diese auf die summarische Verkehrsbelastung bis zu diesem Zeitpunkt bezogen. Eine Gegenüberstellung brachte allerdings nicht die erhofften Zusammenhänge, da neben Bauweisen- und gesteinspezifisch unterschiedlicher Griffigkeitsverminderung auch von unterschiedlichen (unbekannten)

Griffigkeitsniveaus bei Verkehrsfreigabe auszugehen ist. Daher wurden jene Strecken extrahiert, für die entweder laufende Griffigkeitsmessungen durchgeführt worden waren und ein plausibler Verlauf erkennbar war und / oder von denen 2 Messungen inkl. Abnahme existierten und die gleichzeitig deutliche Griffigkeitsabnahmen aufwiesen. Die Regressionsfunktionen dieser Zusammenhänge (log. Fkt.) wurden in ein Diagramm aller 60 Strecken integriert, woraus sich unter graphischer Ergänzung der üblichen Standardabweichungen bei Wiederholungsmessungen von 0,03 ein „Regressionsband“ ergibt. Innerhalb dessen kommen Strecken zu liegen (in Ergänzung zu jenen, die zu den Regressionsfunktionen geführt haben), die mit gewisser Wahrscheinlichkeit vergleichbare Griffigkeitsabnahmen aufweisen (vgl. Abb. 3).

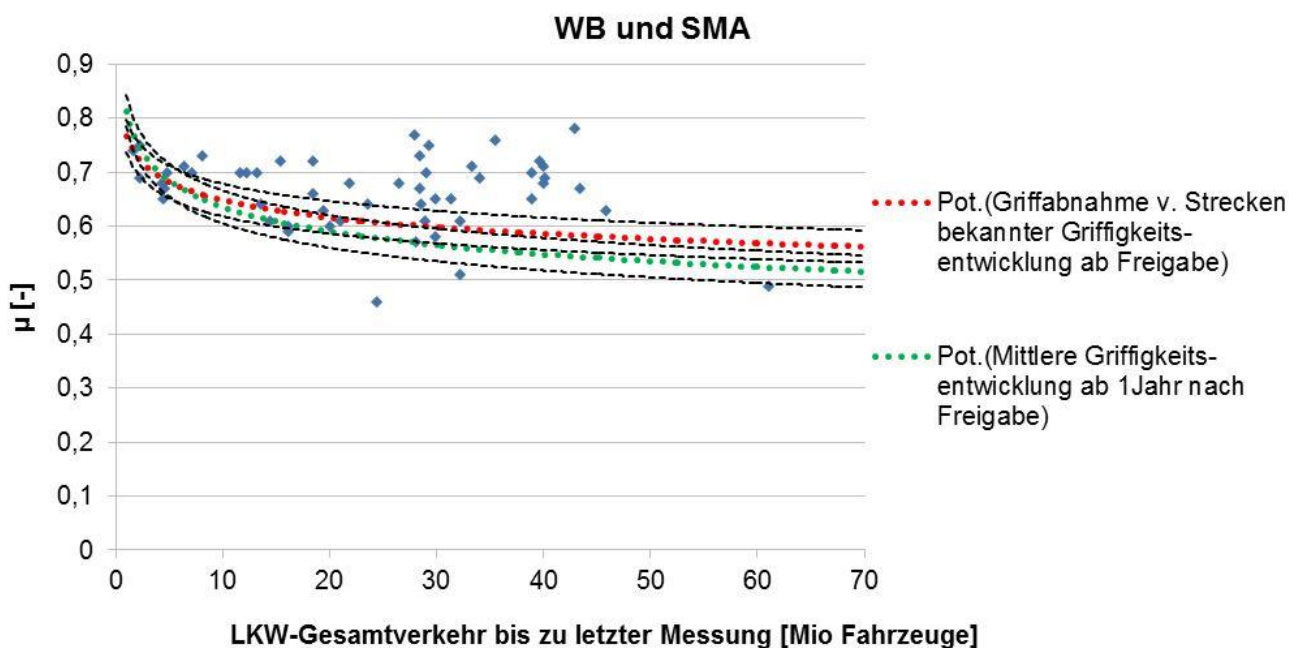


Abb. 3: Gegenüberstellung der RoadSTAR-Griffigkeit mit der gesamten LKW-Verkehrsbelastung bis zur aktuellen RoadSTAR-Messung (Stand Sept. 2013). In der Darstellung integriert sind die regressiv angenäherten Griffigkeits-Verläufe von Strecken häufiger RoadSTAR-Messungen zum Teil seit Verkehrsfreigabe (rot bzw. grün punktiert, jeweilige Abweichungen $\pm 0,03$ schwarz punktiert).

Auf Basis dieser Arbeitshypothese wurden nach entsprechend umfangreichen Befahrungen u.a. zur Verifizierung der Bauweise und Homogenität der Fahrbahndecken vor Ort jeweils 7 SMA-Strecken und 7 WB-Strecken als Probenahmestrecken ausgewählt, die einen möglichst weiten Bereich an Liegedauer bzw. summarischer Verkehrsbelastung sowie entsprechenden Griffigkeitsverlustes abdecken (vgl. Tabelle 2). Die Erhöhung der Gesamt-Streckenzahl von 10 (5+5) auf 14 (7+7) ergibt sich aus der vermuteten Notwendigkeit, weitere BK aus ergänzenden Strecken zur Verfügung zu haben, um Ausreißer zu kompensieren oder generell durch einen größeren Stichprobenumfang einer vertrauenswürdigeren Statistik Genüge zu tun (sofern dies Zeit und andere Ressourcen zulassen).

Die gewählten Strecken erfüllen die oben angeführten Kriterien, lediglich mangelt es vielen Strecken daran, dass der Pannestreifen nicht in der gleichen Bauweise ausgeführt war wie der rechte Fahrstreifen (nur eine WB-Strecke). Unter der Prämisse obiger Kriterien konnten mit vernünftigen Zeitaufwand keine weiteren Strecken mit Pannestreifen gleicher Bauweise gefunden werden.

Dies hat sich insofern als problematisch herausgestellt, als in der ursprünglichen Projektkonzeption die Polierbeanspruchung eines unbefahrenen BK im Labor bis zum Erreichen der Griffigkeitsniveaus eines entsprechend nahe in der Fahrspur gelegenen BK zur Kalibrierung an der tatsächlichen Verkehrslast vorgesehen war. In Ermangelung an verfügbaren Pannestreifen gleicher Bauweise wie der rechte Fahrstreifen wurde dazu übergegangen, alternativ die Mitte des rechten Fahrstreifens als einigermaßen unbefahrenen Bereich zu beproben. In weiterer Folge sollte sich spätestens nach den ersten PWS-Messungen an den BK der Fahrstreifenmitte herausstellen, dass diese zu weit vom wahrscheinlichen Niveau eines unbefahrenen Bereiches entfernt lagen, als dass sie als Alternative zum Pannestreifen fungieren hätten könnten. Dies führt natürlich zu dem Dilemma, nur wenig vergleichbare Referenzwerte bzw. Startniveaus für die Griffigkeitsprognose zur Verfügung zu haben. Ein möglicher Ausweg wurde im Rahmen der Ausarbeitung des Laborprognoseverfahrens in der Schaffung eines künstlichen Startniveaus gefunden, welches die Verfügbarkeit eines tatsächlich noch unbefahrenen BK überflüssig machen sollte (s. Kap. 4.3.2.1 und 4.3.2.4).

Tabelle 2: Gewählte Messstrecken, geordnet nach Bezeichnung der Straße und Kilometrierung.

Strecken Kürzel	Bauweise	Bezeichnung	km_von	km_bis	Länge [km]	Baujahr
65	WB	A0001_L	72,55	72,50	0,05	2003
7	WB	A0001_L	99,00	98,95	0,05	1999
67a	SMA	A0001_L	104,25	104,00	0,25	2012
67	SMA	A0001_L	107,40	107,20	0,20	2012
77	WB	A0001_L	118,50	118,30	0,20	2006
68	WB	A0001_L	134,70	134,60	0,10	2000
42	SMA	A0001_R	45,50	45,70	0,20	2007
2	WB	A0001_R	70,65	70,75	0,10	2004
63	WB	A0001_R	171,90	171,95	0,05	1994
29	WB	A0002_R	20,50	20,60	0,10	2007
51	SMA	A0021_L	11,88	11,85	0,03	2004
110	SMA	A0021_L	14,04	14,02	0,02	2007
109	SMA	A0021_L	16,525	16,50	0,025	2007
108	SMA	A0021_L	20,40	20,38	0,02	1998

4.2. Feldmessungen mit dem RoadSTAR und Probekörper-Gewinnung

4.2.1. Hoचाuflösende Griffigkeitsermittlung an den Örtlichkeiten der Vorauswahl

Trotz des späten Termins konnte die in RVS13.06.65 vorgegebene Fahrbahn-Mindesttemperatur von 5 °C für die Messung mittels RS eingehalten werden. Um Messfehler auszuschließen, wurden alle Streckenabschnitte zumindest zwei Mal erfasst. Dabei wurde immer die rechte Radspur des ersten (rechten) Fahrstreifens, und – abhängig von der Vorauswahl – der Pannestreifen oder die Mitte des ersten Fahrstreifens erfasst. Alle Messungen wurden vor Ort unmittelbar nach der Messung kontrolliert. Im Anschluss erfolgte das Abschneiden der messtechnisch notwendigen Vorlaufstrecke, Kontrolle der Marker und grafische Darstellung der Griffigkeitsverläufe.



Abb. 4: Lage der Messspuren im Bereich der Bohrkerne (BK).

Nachdem die Griffigkeitsmessungen teilweise nach der Bohrkern (BK) - Entnahme erfolgten (Lage Messspur siehe Abb. 4), sind in den Ergebnissen in den 1 m-Werten teilweise deutliche Spitzen an den Bohrkernörtlichkeiten sichtbar. Diese rühren von den Unebenheiten durch die Verfüllung der Bohrlöcher. Dass die Positionen der Bohrkern so deutlich im Griffigkeitsverlauf zu erkennen sind, kann als Merkmal für die Sensibilität des Messgerätes gewertet werden. Ein Beispiel ist in Abb. 5 zu sehen.

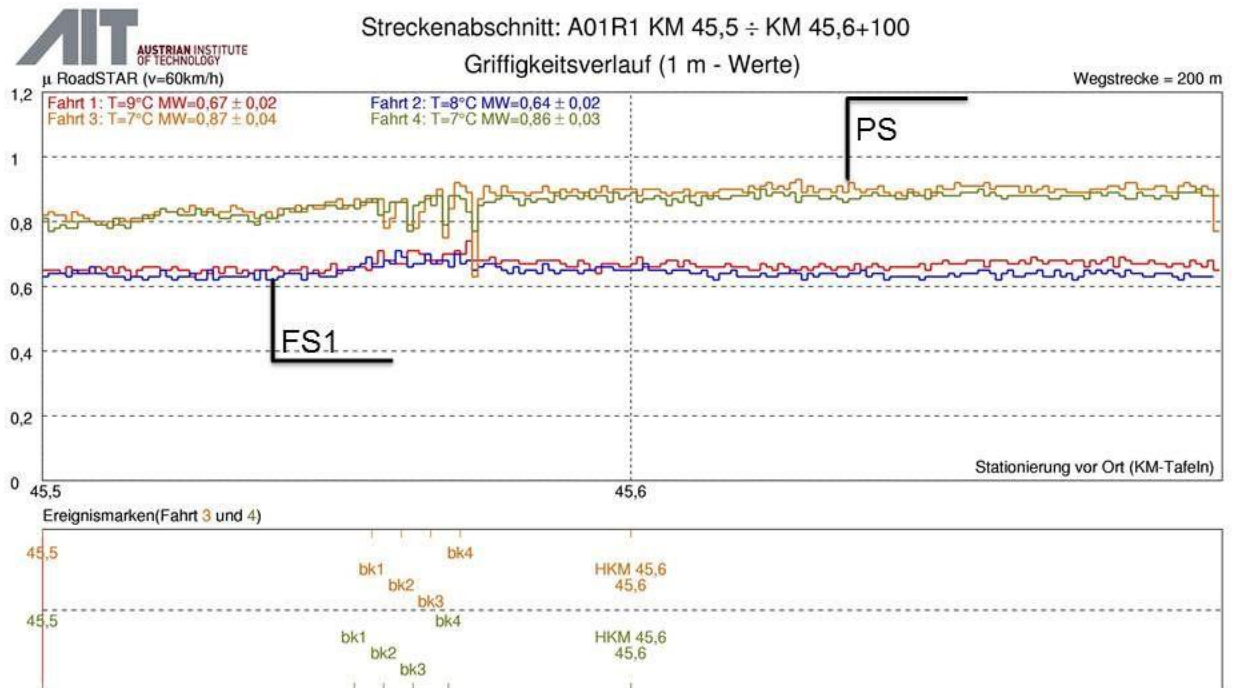


Abb. 5: Beispiel für Spitzen im Griffigkeitsverlauf im Bereich der Bohrkerne (PS = Pannestreifen, FS1 = Fahrstreifen 1, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen).

Ziel der Messungen war die Erhebung des Griffigkeitsniveaus des Belages im Bereich der Bohrkerne. Dieses Niveau wird als „charakteristischer Wert“ wie folgt definiert: Im Bereich von 5 m vor bis 5 m nach den Bohrkerne werden zuerst die 5 m-Griffigkeitswerte der beiden Fahrten gemittelt. Anschließend erfolgt die Mittelung über die Messlänge. Bei erkennbaren Spitzen wurde der Bereich der Bohrkerne ausgelassen. Die daraus berechneten Werte werden als Eingangsgrößen für die Korrelationsuntersuchung in Kapitel 4.5.1 verwendet und sind in Tabelle 3 angeführt. Die zugrundeliegenden Messwertaufzeichnungen sind in den Abb. 33 bis Abb. 46 in Anhang I dargestellt.

Tabelle 3: Griffigkeitsniveaus im Bereich der Bohrkerne ermittelt durch RS (obere Tab. Fahrspur, untere Tab. „unbefahrener“ Bereich („u“)). Blau markierte Strecken = WB, dunkelgrau = SMA

	Strecken Kürzel	μ_{RS} [1]
BK aus Fahrspur	2	0,57
	7	0,54
	29	0,74
	42	0,66
	51	0,64
	63	0,52
	65	0,58
	67	0,75
	67a	0,67
	68	0,58
	77	0,61
	108	0,64
	109	0,67
	110	0,64
BK aus Pannestreifen (grün) oder Fahrstreifenmitte (rot)	2u	0,69
	7u	0,77
	29u	0,75
	42u	0,85
	51u	0,89
	63u	0,59
	65u	0,69
	67u	0,83
	67au	0,81
	68u	0,64
	77u	0,63
	108u	0,90
	109u	0,97
	110u	0,94

Die Messgenauigkeit der Systems RoadSTAR ist in RVS 11.06.65 über die Wiederholbarkeit (Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung für 50 m-Messwerte) festgelegt. Im Projekt PROGRIP lag der Fokus auf der Feststellung der Griffigkeit der Bohrkernentnahmestellen bzw. deren unmittelbaren Umgebungen. Damit

lässt sich das Kriterium, das für 50 m-Mittelwerte gilt, nicht sinnvoll für die Beurteilung der 0,3 m großen Bohrkernstellen heranziehen. Es wurden daher die 1 m-Griffigkeitsverläufe herangezogen und nur unmittelbar im Bereich der Bohrkernentnahmestellen (5 m davor bis 5 m danach) untersucht. Analog zur Definition der Wiederholbarkeit wurden die Differenzen der beiden Fahrten für die 1 m-Werte gebildet, anschließend der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen berechnet. In Tabelle 4 sind diese Werte angeführt. Die Werte bleiben im Bereich der 50 m-Mittelwert-Differenzen bzw. -Standardabweichungen, obwohl bei den 50 m-Mittelwerten die Mittelung über die längere Distanz zu einer Verringerung der Werte führt. Somit kann von einer guten Wiederholbarkeit der Messergebnisse für diese kurzen Abschnitte ausgegangen werden.

Tabelle 4: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Stabw) der Differenzen der 1 m-Werte von Erst- und Zweitmessung im Bereich der BK-Entnahmestellen.

Strecken Kürzel	Pannestreifen / Fahrstreifen1, Mitte		Fahrstreifen1	
	MW $\Delta\mu$	Stabw. $\Delta\mu$	MW $\Delta\mu$	Stabw. $\Delta\mu$
2	0,02	0,03	0,01	0,03
7	-0,03	0,01	0,02	0,01
29	-0,03	0,01	-0,02	0,01
42	0,00	0,02	0,01	0,01
51	0,02	0,06	0,00	0,03
63	0,00	0,03	-0,03	0,03
65	0,02	0,03	-0,04	0,03
67	-0,04	0,02	0,02	0,02
67a	-0,01	0,03	0,04	0,05
68	0,01	0,01	-0,02	0,02
77	0,02	0,02	0,01	0,03
108	-0,05	0,05	0,03	0,03
109	-0,05	0,05	0,03	0,03
110	-0,04	0,07	0,02	0,03

4.2.2. Entnahme der Bohrkern

Die erforderlichen Absperrungsmaßnahmen für die BK-Entnahmen sowie die anschließende Reinigung wurden von der ASFINAG übernommen (Abb. 6, links).

Die exakten Stellen der BK-Entnahmen wurden vor Ort abhängig von der augenscheinlichen Homogenität und der Querebenheit der Oberfläche festgelegt und mit

Messrad entsprechend der Kilometrierung genau eingemessen. Die Positionierung innerhalb der Fahrspur bzw. in der Fahrbahnmitte oder am Pannestreifen wurde in Abhängigkeit von visuell erfassbarer Politur der Oberfläche ebenfalls vor Ort unmittelbar vor der BK-Entnahme festgelegt.

Unmittelbar nach Ziehen eines Kerns (zuerst in der Fahrspur) wurde das Loch von Bohrwasser befreit, mit Heißasphalt verfüllt und händisch verdichtet. Anschließend wurden die verfüllten Stellen mittels Kehrfahrzeug gereinigt und durch Befahrung weiter verdichtet. Daraufhin erfolgte die Verkehrsfreigabe.

Es konnten alle insgesamt 112 BK in plangemäßer Geschwindigkeit und Qualität gezogen werden.



Abb. 6: Absperrungsmaßnahmen der ASFINAG (links), gezogener BK (rechts).

4.3. Parameterstudie und Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose

4.3.1. Auswertung und Zusammenfassung der Literaturstudie

Die Literaturstudie, die wesentliche Einflussparameter im Prüfverfahren nach Wehner-Schulze vor dem Start der Reihenuntersuchungen zur Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose identifizieren sollte, umfasst folgende Publikationen: Wehner 1965⁶, Wehner 1968⁷, Schulze 1968⁸, Dames 2000⁹, Huschek 2002¹⁰, Wörner et al.,

⁶ Wehner B. (1965): Veränderung der Straßenoberflächen durch Verkehr und Wetter insbesondere

2003¹¹, Wörner et al., 2004¹², Lindner et al., 2009¹³, Rauschenbach et al., 2010¹⁴, Kirchmaier et al., 2010¹⁵, sowie die Europäische Prüfnorm 12697-49¹⁶. Grundsätzlich ist zu bemerken, dass in keinem der zitierten Forschungsvorhaben explizit auf die Auswirkung der Variation einzelner Prüfgrößen (wie etwa Anteil von Quarzmehl im Wasser während des Poliervorgangs) auf den Verlauf der Griffigkeit eingegangen wird. [Huschek, 2002] zeigt etwa, dass die Polierbeanspruchung auf der Straße durch Klima und Verkehr im Labor durch die Poliersimulation in der Anlage nach Wehner / Schulze mit guter Übereinstimmung nachgefahren werden kann - aus den zitierten Daten wurde das so genannte "Berliner Verfahren" entwickelt, mit dem die Griffigkeit zum Zeitpunkt des Endes der Gewährleistung von Asphaltdeckschichten prognostiziert werden kann. Wesentlich für die Wahl der Polier- und Prüfbedingungen scheint die Europäische Prüfnorm EN 12697-49 zu sein, die ein Verfahren zur Polierbeanspruchung von Asphaltprobekörpern beschreibt. Darin ist unter anderem Strahlwinkel (75°) und Abstand der Strahldüse (70±5) mm für das vorgeschaltete Sandstrahlen geregelt. Die Regelungen zum Polier- und Messvorgang entsprechen den Angaben in der Literatur: So ist das Verhältnis von Quarzmehl zu Wasser für das Polieren mit 60 g Quarzmehl pro Liter Wasser vorgegeben, ebenso die Umdrehungsfrequenz des Polierkopfs von 500 U/min, etc.

bezüglich der Straßengriffigkeit; Der Bauingenieur 40; Heft 1.

⁷ Wehner B. (1968): Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe; Beitrag 26 zu: Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe; Berlin.

⁸ Schulze K.-H. (1968): Typen der Oberflächenfeingestalt und ihre Wirkung auf den Reibungswiderstand bei Nässe; Beitrag 15 zu: Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe; Berlin.

⁹ Dames J. (2000): Untersuchungen zur Sandpolierprüfung in Anlehnung an BS 812. Schlussbericht zu FE-Nr. 06.068/1996/CGB, Berlin.

¹⁰ Huschek S. (2002): Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze. Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, Heft 13, Wien, S 39-55.

¹¹ Wörner T. und Böhnisch S. (2003): Untersuchung zur Qualifizierung von Geräten zur Prognose von Griffigkeitsmesswerten – Vorstudie. Schlussbericht zum Forschungsauftrag FGSV-Nr. 4/2002, München.

¹² Wörner T. und Böhnisch S. (2004): Laborverfahren zur Prognose der Griffigkeit. Straße und Autobahn, Nr. 6/2004, S. 314-321.

¹³ Lindner J., Dudenhöfer B. und Li A. (2009): Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze, Durchführung von Ringversuchen zur Ermittlung der Präzision unter Vergleichsbedingungen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FGSV-Nr. 3/2007, Berlin.

¹⁴ Rauschenbach V. und Borek J. (2010): Griffigkeit ausgewählter Beobachtungsstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit der Zeit. Abschlussbericht zum AiFForschungsvorhaben 14937 BR/1, Dresden.

¹⁵ Kirchmaier L. und Blab R. (2010b): Improving road friction - The polishing test according to Wehner/Schulze. Proceedings of the Junior Scientist Conference 2010, Technische Universität Wien, ISBN: 978-3-200-01797-9; S. 187 -188.

¹⁶ prEN 12697-49: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 49: Determination of friction after polishing

Für die Parameterstudie im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden daher die Parameter variiert, für die aus der Erfahrung der Projektmitarbeiter der größte Einfluss auf Polierwirkung bzw. Griffigkeitsentwicklung zu erwarten war.

4.3.2. Festlegung des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose

Basierend auf der durchgeführten Literaturstudie wurden verschiedene Parameter hinsichtlich Sandstrahlleistung und Polierleistung als für die Modifizierung der Griffigkeitsprognose relevant erachtet. Nach entsprechenden Untersuchungen (folgende Kap.) wurde schließlich ein Verfahrensablauf zur Griffigkeitsprognose für das Forschungsprojekt PROGRIP festgelegt (Kap. 4.3.2.4).

4.3.2.1. Sandstrahl-Leistung

Folgende Parameter wurden untersucht:

- Strahlwinkel
- Strahldauer
- Abstand der Strahldüse zur Probenoberfläche
- Qualität des Strahlmittels (Korund)

Der Strahlwinkel wurde nur exemplarisch variiert, weil der normativ vorgegebene Winkel von 75° (prEN 12697-49¹⁷) als vernünftig ohne Notwendigkeit einer Änderung erachtet wurde. Die Variation des Winkels brachte bis auf weiteres keine plausibel interpretierbare Änderung des Messwertes.

Als wesentlich hingegen wurden Strahldauer und Abstand der Strahldüse zur Probenoberfläche angesehen, weshalb diese beiden Parameter zu Strahlprogrammen unterschiedlicher Intensität kombiniert wurden. Nach Vorversuchen wurde mit folgenden Programmen weiter experimentiert (Tabelle 5):

¹⁷ prEN 12697-49:2011: Bituminous mixtures — Test methods for hot mix asphalt — Part 49: Determination of friction after polishing. 2011

Tabelle 5: Variationen der Strahlprogramme.

	Winkel Strahldüse [°]	Autom. Strahlprogramm / Strahlkabine Fa. Freundl	Strahldauer [sec]	Arbeitsdruck [bar]	Abstand Strahldüse - Probenoberfläche [mm]
Programm A	75	5	85	5	123 ± 5
Programm C	75	4 (2x)	2 x 110	5	63 ± 5
Programm 0,5 C	75	4	110	5	63 ± 5

Zur Verifizierung der unterschiedlichen Strahlleistung wurden die daraus resultierenden Griffigkeitsveränderungen zunächst an industriell hergestellten polierten Granitfliesen mittel- bis feinkörniger Struktur beobachtet. In Abb. 7 sind die ermittelten Messwerte für eine baumarktübliche Granitfliese exemplarisch dargestellt. Die streng parallelen Verläufe der zu Kurven verbundenen Messwerte nach Sandstrahlen bzw. nach gleichen Polierleistungen sowie die lokalen Höchstwerte beim 9. und 13. Zyklus zeigen die starke Abhängigkeit der Polierniveaus von der Startgriffigkeit nach Sandstrahlen.

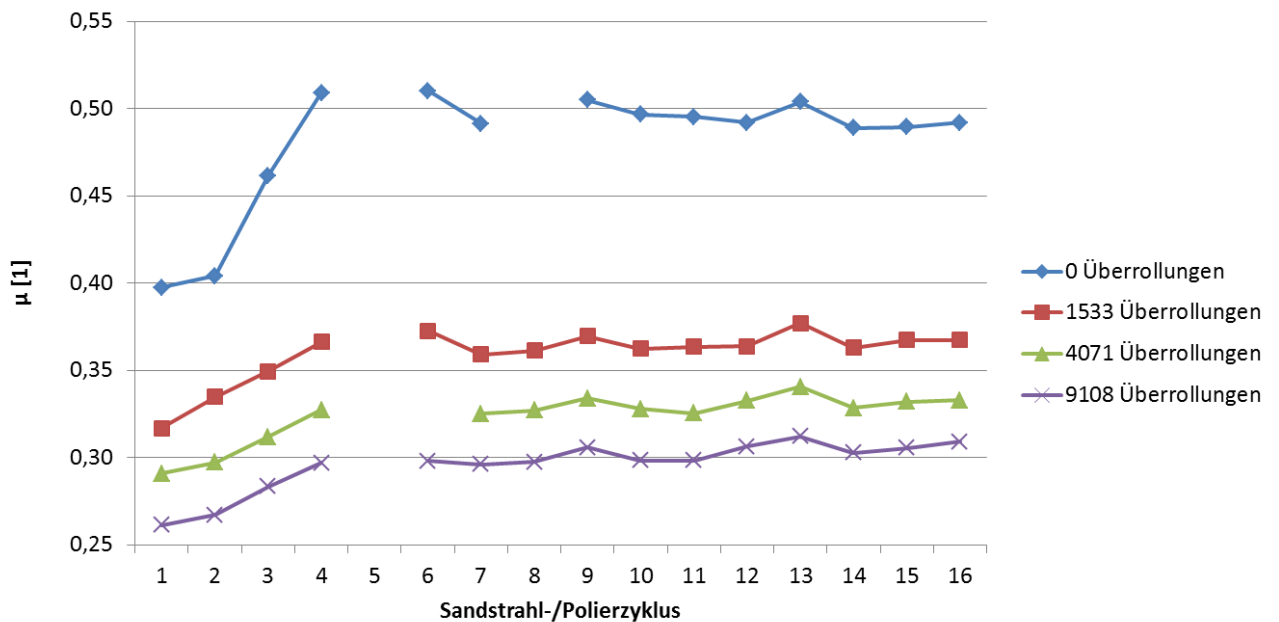


Abb. 7: Messwerte von 16 Sandstrahl- und Polierzyklen an einer Granitfliese mit jeweils einer Messung nach entsprechender Sandstrahlung sowie nach 1533, 4071 und 9108 Überrollungen (alle Punkte untereinander gehören jeweils einem Zyklus an). Fehlende Messwerte sind durch nachvollziehbare versuchstechnische oder software-bedingte Fehler exkludiert. Zu Beginn wurde mit Programm C gestrahlt, ab Zyklus 11 mit Programm A.

Daraus können folgende Erkenntnisse gezogen werden:

- Nach (unterschiedlicher) Anzahl von Strahl- (und Polier-)Zyklen wird nach Sandstrahlen ein Wert maximaler Griffigkeit erreicht, der unter den gegebenen gerätebedingten Rahmenbedingungen von Strahlvorrichtung und Strahlmittel konstant bleibt und sich auch bei weiterer Strahlarbeit nicht weiter erhöht („Maximalgriffigkeit μ_{\max} “).
- Dabei ist es egal, welche Strahlprogramme angewandt werden, beide Strahlintensitäten sind anscheinend in der Lage, zumindest von höherem Griffigkeitsniveau (nach geringer Polierleistung) wieder die Maximalgriffigkeit zu erreichen. Programm C dürfte angesichts der Beobachtungen an weiteren Granitfliesen etwas schneller zur Maximalgriffigkeit führen als A und diese auch nach starker Polierleistung wieder sicher erreichen.
- Bei graphischer Verbindung der Messwerte nach Sandstrahlen bzw. nach gleichen Polierleistungen ergeben sich im Diagramm Kurvenverläufe, die zueinander nahezu parallel verlaufen. Dies bedeutet, dass sich selbst geringe Unterschiede nach Sandstrahlen in fast gleicher Weise auch nach unterschiedlicher Polierarbeit durchzeichnen. Das heißt, dass es zumindest bei geringeren Polierleistungen von essenzieller Bedeutung ist, von welchem Griffigkeitsniveau aus eine bestimmte Polierleistung appliziert wird. Aus diesem Grund müssen Kriterien definiert werden, die ein wiederhol- und vergleichbares Griffigkeitsniveau als Startpunkt für definierte Polierleistung festlegen. Auf Grund der Beobachtung, dass sich nach Bauweisen- und gesteinspezifischer Strahlarbeit eine Maximalgriffigkeit einstellt, wird diese als zu erreichendes Startniveau für die nachfolgende Polierarbeit herangezogen.
- Ist eine Maximalgriffigkeit μ_{\max} erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass eine gut wiederholbare Griffigkeit nach definierter Polierleistung ermittelt werden kann (Wiederholbarkeit des Polierniveaus).
- Daraus ergibt sich außerdem die Schlussfolgerung, dass nicht nur neu hergestellte Straßenoberflächen oder Labor-PK, sondern auch bereits unter langjährigem Verkehr liegende Straßenoberflächen grundsätzlich mehrmals regeneriert und anschließend unterschiedlichen Polierleistungen unterzogen werden können. Dies ermöglicht es einerseits, auch ältere Straßen hinsichtlich der weiteren Griffigkeitsentwicklung zu beurteilen, andererseits Griffigkeitsentwicklungen am selben PK mehrmals zu wiederholen, um die Messwerte zu verifizieren.

- Die Qualität des Korunds (Kantenschärfe, Kornverfeinerung und Verunreinigung mit Fremdmaterial) hat deutlich messbaren Einfluss auf die erreichbare Maximalgriffigkeit. Daher wird der Korund künftig spätestens nach 10 Strahldurchgängen mit Programm 0,5 C (je 110 sec) erneuert.

In einem nächsten Schritt wurden die Versuchsabläufe auf realitätsnahe im Labor mittels Walzenverdichtungsgerät hergestellte PK aus SMA übertragen, um die Beobachtungen an Granitfliesen zu verifizieren. Die am selben Labor-PK ermittelten Messwerte nach Sandstrahlen bzw. unterschiedlichen Polierleistungen sind in Abb. 8 exemplarisch dargestellt. Nach höherer Polierleistung (180.000 Überrollungen) sind 2-3 Strahldurchgänge erforderlich, um vergleichbares maximales Griffigkeitsniveau wieder zu erreichen, bei geringer Polierleistung genügt ein Strahlvorgang.

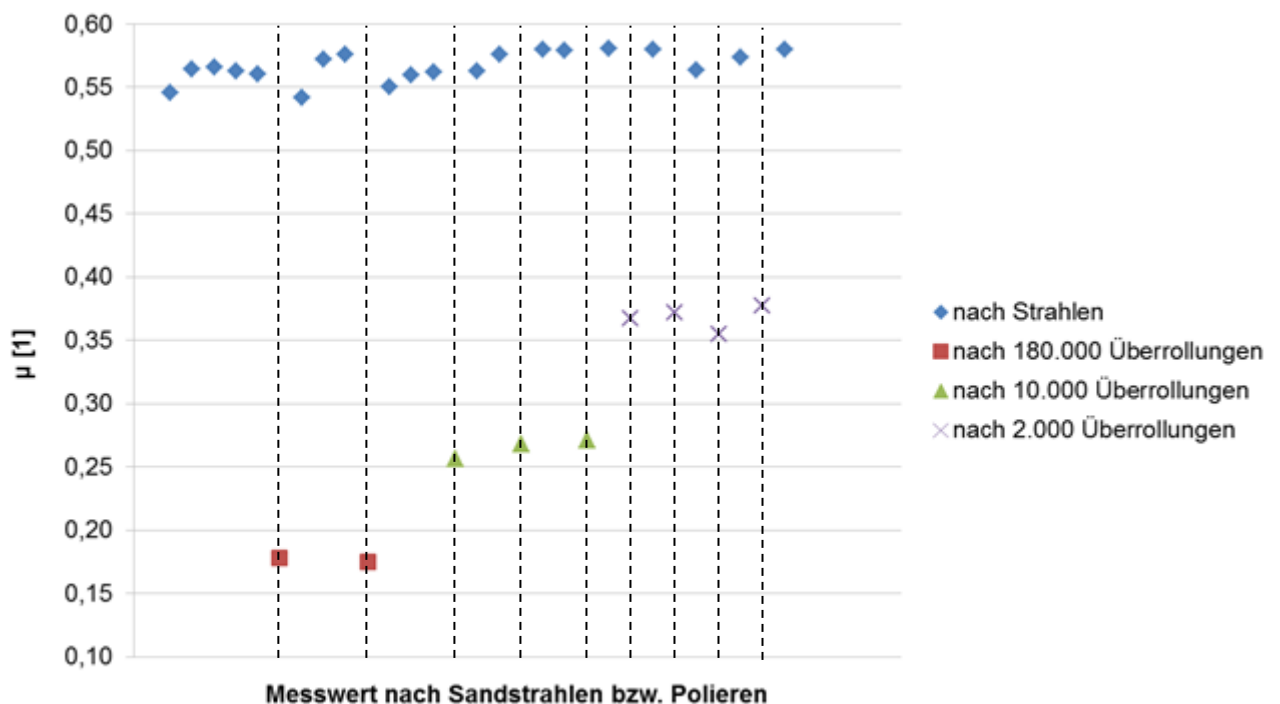


Abb. 8: Griffigkeitsmesswerte an einem Labor-PK (SMA) nach Sandstrahlen (blau) bzw. nach unterschiedlichen Polierstufen. Anwendung von Strahlprogramm C. Die Abszisse zeigt die Messwerte in chronologisch richtiger Reihenfolge von links nach rechts. Die strichlierten Linien markieren die Zeitpunkte aufgebrachter Polierleistung, dazwischen ist der Reibwert nach z.T. mehrmaligem Strahlen ablesbar.

Basierend auf den Untersuchungen mehrerer Labor-PK können die Beobachtungen aus den Voruntersuchungen an den Granitfliesen bestätigt werden:

- Es wird eine Maximalgriffigkeit μ_{\max} unter den gegebenen Rahmenbedingungen (Strahlkabine, Prüfbedingungen und Strahlmittel) erreicht.
- Die untersuchten Strahlprogramme zeigen keinen relevanten Unterschied hinsichtlich einer erreichbaren Maximalgriffigkeit, weshalb in Hinblick auf Schonung der Oberfläche und der Möglichkeit mehrmaliger Regeneration das Programm 0,5 C für die künftige Ermittlung der Maximalgriffigkeit herangezogen wird.
- Griffigkeiten nach definierter Polierleistung können wiederholbar am selben PK ermittelt werden, wenn zuvor die Maximalgriffigkeit erreicht wurde und diese vor jedem Polieren wieder hergestellt wird. Zur Verifizierung des abermaligen Erreichens der Maximalgriffigkeit werden zumindest 3 Strahldurchgänge mit Programm 0,5 C mit dazwischenliegenden Messungen durchgeführt.

Die Schlussfolgerungen daraus sowie die Ableitung von Kriterien fließen in die Festlegung der Prozedur der Griffigkeitsprognose ein (s. Kap. 4.3.2.4). Der Umstand, dass im Rahmen der Voruntersuchungen die Möglichkeit mehrmaliger Regenerierungen des selben PK festgestellt wurde, eröffnet die Chance, sowohl zeitlich begrenzte Strahlintensitäten, als auch Strahlen bis zur Maximalgriffigkeit hintereinander am selben PK zu applizieren. Dies hat dazu geführt, dass an allen geprüften BK zumindest 3 Zyklen an Prognoseprüfungen mit unterschiedlichen initialen Strahlintensitäten durchgeführt werden konnten (s. Kap. 4.3.2.4). Die Möglichkeit der Regenerierung erlaubt es daher, am selben BK mehrere verschiedene Prognosezyklen zur Gegenüberstellungen mit realen Verkehrsdaten durchzuführen, um zu prüfen, welcher Prognosezyklus eine reale Verkehrslast am besten wiedergibt oder ob eine Mittelung sinnvoll ist. Gleichzeitig kann durch definiertes Strahlen in verschiedenen Varianten ein (am selben PK) wiederholbares, aber auch vergleichbares künstliches Startniveau für die folgende Polierbeanspruchung geschaffen werden. Dies erlaubt es, vom ursprünglichen Konzept der Prognoseprüfungen an unbefahrenen BK abzuweichen und auch befahrene BK heranziehen zu können.

4.3.2.2. Polierleistung

Folgende als relevant erachtete Parameter wurden untersucht:

- Polierung mit unterschiedlichen Verdünnungsverhältnissen Quarz / Wasser
- Polierung mit reinem Wasser

Im Detail wurde das Standardverhältnis (2,4 kg Quarzmehl in 40 l Wasser) zunächst auf ein Drittel der Quarzmehlmenge reduziert (0,8 kg Quarzmehl in 40 l Wasser) und anschließend auf ein Zehntel der Standardmenge (0,24 kg Quarzmehl in 40 l Wasser). Zudem wurde die Polierbeanspruchung auch ohne Quarzmehl, das heißt mit reinem Wasser durchgeführt. Geprüft wurden jeweils vier Probekörper des Mischguts SMA 11 PmB 45/80-65, S3, GS. Die Hohlraumgehalte der Probekörper finden sich in Tabelle 6. Ein durchgeführter T-Test an den Hohlraumgehalten zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Probekörperserien.

Tabelle 6: Messung der Hohlraumgehalte der geprüften Probekörper (PK) unter Darstellung der applizierten Verhältnisse Quarzmehl [kg] / Wasser [l].

2,4/40		0,8/40		0,24/40		Wasser	
PK №	Hohlraum [V-%]	PK №	Hohlraum [V-%]	PK №	Hohlraum [V-%]	PK №	Hohlraum [V-%]
Z027A	15,2	Z050A	14,5	Z052A	14,6	Z048A	15,3
Z027B	15,2	Z050B	14,7	Z052B	16,2	Z048B	15,7
Z029A	15,8	Z051A	14,1	Z053A	14,8	Z049A	14,5
Z029B	16,6	Z051B	14,5	Z053B	14,8	Z049B	15,5

Die Ergebnisse finden sich zusammengefasst in Abb. 9. Das untere Diagramm stellt die PWS-Werte über die Anzahl an Polierüberrollungen linear dar, das obere Diagramm zeigt dieselben Daten, jedoch ist die x-Achse im logarithmischen Maßstab dargestellt. Visuell zeigt sich ein deutlicher Unterschied lediglich zwischen den Daten bei Polierbeanspruchung mit reinem Wasser und den anderen Polierbeanspruchungen. Wendet man einen T-Test auf die Daten an, so zeigt sich, dass die Polierbeanspruchung mit reinem Wasser signifikant unterschiedliche Ergebnisse bringt. Zudem zeigt auch das geringe Verhältnis (0,24 kg zu 40 l) signifikant unterschiedliche Ergebnisse in Bezug auf die höheren Quarzmehl-Verhältnisse.

Deutlich wird aus den Daten, dass die Streuung der Prüfergebnisse größer wird, je weniger Quarzmehl im Poliermittel vorhanden ist. So steigt das mittlere 95% Konfidenzintervall im Mittel von 0,052 bei Standardverhältnis auf 0,055 bei 0,8:40 und auf 0,088 bei 0,24:40. Dies kann dadurch erklärt werden, dass sich Schwankungen in der Quarzmehlmenge im Zuge der Prüfdurchführung einer Prüfserie stärker auswirken, je geringer das Verhältnis von Quarzmehl zu Wasser ist. Solche Schwankungen können durch Ablagerungen von Quarzmehl auf der Einspannvorrichtung verursacht werden. Es

wurde sogar beobachtet, dass innerhalb der Einspannvorrichtung unterhalb der eingespannten Probe relevante Mengen Quarzmehl abgelagert wurden, wenn die Dichtung nicht durchläufig war oder der PK Wasserwegigkeiten aufwies. Diese Mengen Quarzmehl sind gefangen und nehmen bei weiteren Polierstufen nicht mehr am Polierprozess teil. Routinemäßig wird zwar nach den jeweiligen Laborerfahrungen nach 90.000 Überrollungen Quarzmehl ergänzt, dennoch kann es PK-spezifisch zu Schwankungen kommen. Aus diesem Grund wurde dazu übergegangen, nach spätestens 180.000 Überrollungen das gesamte Quarzmehl zu tauschen und damit wieder ein korrektes Quarzmehl-Wasser-Verhältnis sowie originales (scharfkantiges) Quarzmehl bereit zu stellen.

Das 95% Konfidenzintervall für reines Wasser als Poliermittel ergibt einen mittleren Wert von 0,056.

Ebenfalls ersichtlich wird aus den Daten, dass schon eine geringe Quarzmehlmenge zu einer starken Polierwirkung führt, wenn reines Wasser als Referenz herangezogen wird. Reines Wasser wiederum führt zu geringer Polierwirkung.

Auf Basis obiger Erkenntnissen wurde schließlich die 1:10 Verdünnung (0,24 kg Quarzmehl auf 40 l Wasser) für die Prognoseprüfungen gewählt. Folgende Argumente waren dafür maßgeblich:

- Die Standard-Quarzmehlsuspension verursacht eine massive Polierleistung, was angesichts der erhobenen Griffigkeiten der BK aus den Fahrspuren bedeuten würde, dass nur sehr wenige Überrollungen (wenige 1000) im Labor nötig wären, um die Reibwerte der Fahrspur zu erreichen. Gerade am Beginn der Poliersimulation ist die Verringerung der Griffigkeit aber drastisch, sodass geringfügige Abweichungen der Polierleistung oder auch bereits geringe (künftige) Prognoseintervalle zu großen Unterschieden in den ermittelten Griffigkeiten führen würden. Bei einer 1:10-Verdünnung werden Abweichungen in der Überrollungszahl oder bestimmte Prognoseintervalle hinsichtlich der Ergebnisse deutlich weniger ins Gewicht fallen. Eine geringfügig längere Prüfdauer wird dadurch gerne in Kauf genommen.
- Minimierung der Fehler in der Reproduzierbarkeit der Polierarbeit (wegen Quarzmehlverlusten und Kantenabstumpfung der Quarzkörner) durch konsequenten Austausch der Quarzmehl-Wasser-Suspension nach 180.000 Überrollungen. Dabei ist es sowohl vom handling als auch aus finanzieller Sicht von Vorteil statt 2,4 kg nur 0,24 kg Quarzmehl zu verwenden.

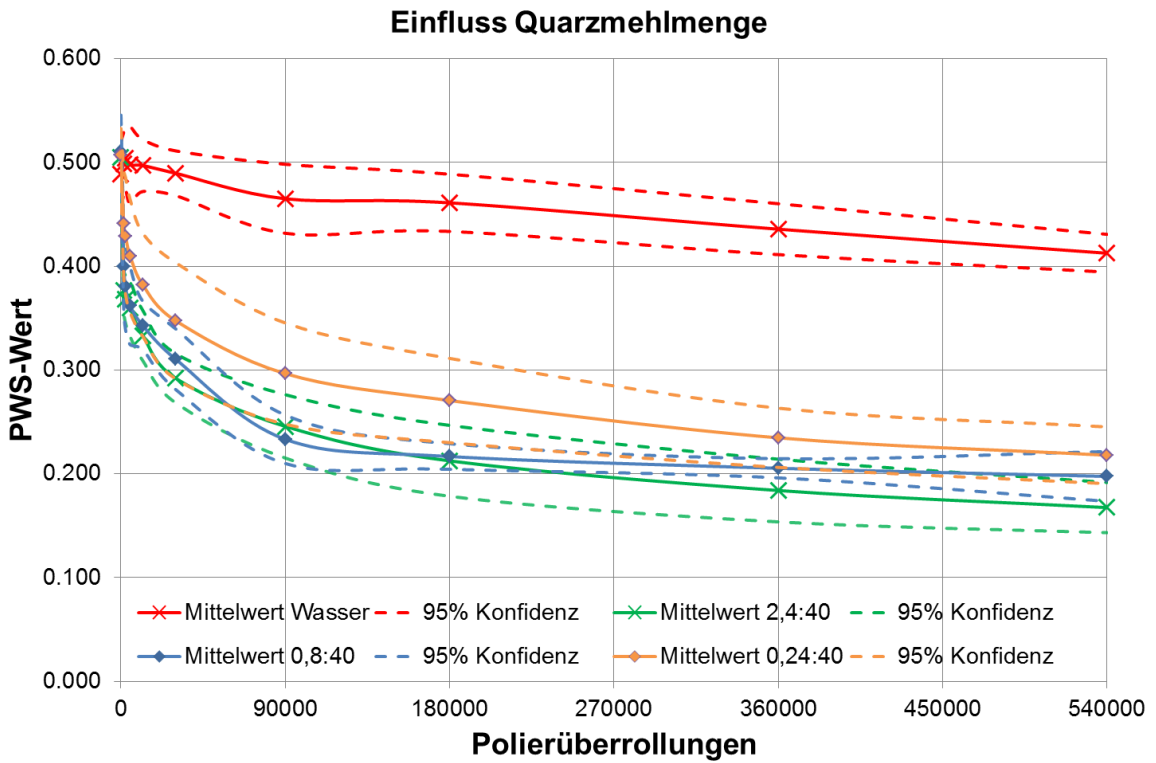
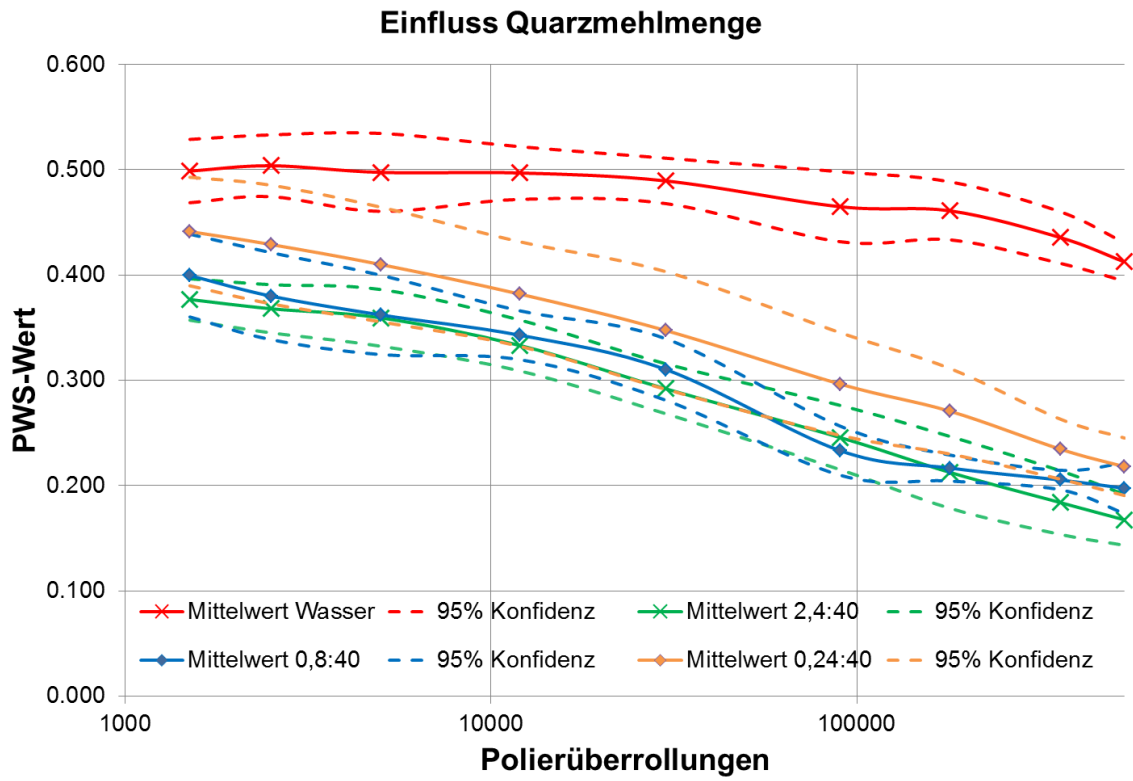


Abb. 9: Einfluss der Quarzmehlmenge (oben halblogarithmische Darstellung).

Zur vertrauenswürdigen Vorhersage eines Griffigkeitsverlaufes in Folge von bestimmter Polierleistung (üblicherweise Griffigkeitsabnahme) bedarf es einer möglichst guten mathematischen Angleichung von mehreren Messwerten an eine mathematische Funktion. Wie bereits bekannt kann eine logarithmische Regression den Verlauf der Griffigkeitsabnahme mittels Poliersimulation nach Wehner / Schulze grundsätzlich hochsignifikant nachbilden. Vorteilhaft dabei ist es, die Intervalle der Griffigkeitsverluste annähernd gleich zu halten, um eine vertrauenswürdige mathematische Angleichung und damit auch eine plausible Interpolation (für das Abgreifen von kalkulierten Werten aus der Regression) zu ermöglichen (vgl. exemplarisch Abb. 10).

Basierend auf den Erfahrungen aus zahlreichen Messungen im Vorfeld wurden schließlich folgende Polierstufen im Rahmen eines Prognosezyklus festgelegt, nach denen die Griffigkeit zu prüfen und damit der Verlauf einer Griffigkeitsveränderung zu erfassen ist (Tabelle 7).

Tabelle 7: Polierstufen im Rahmen eines Prognosezyklus, nach denen die Griffigkeit zu prüfen ist.

Auszuführende Überrollungen	Summarische Überrollungen	Durchführung
500	500	obligatorisch
1.000	1.500	obligatorisch
1.500	3.000	obligatorisch
3.000	6.000	obligatorisch
6.000	12.000	obligatorisch
18.000	30.000	obligatorisch
60.000	90.000	obligatorisch
90.000	180.000	obligatorisch
90.000	270.000	nach Bedarf
90.000	360.000	nach Bedarf
180.000	540.000	nach Bedarf
180.000	720.000	nach Bedarf

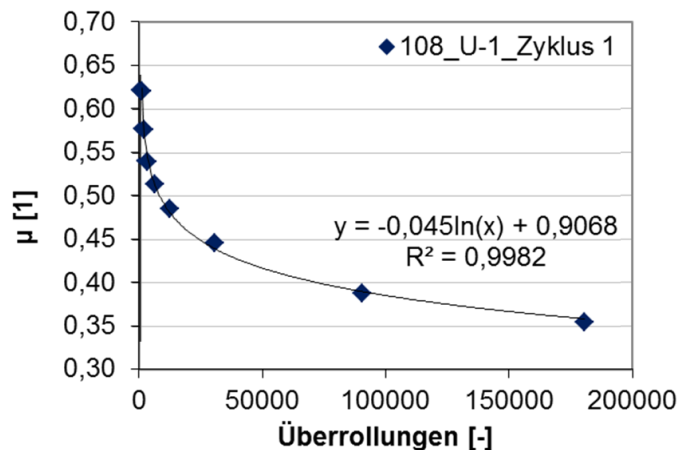


Abb. 10: Exemplarische Darstellung des Polierzyklus 1 am BK 108-u_1 mit den Messwerten nach den obligatorischen Polierstufen.

4.3.2.3. Festlegung des Verfahrens zur Herstellung von Waschbetonprobekörpern im Labor

Zur Festlegung und Validierung des Verfahrens für die Herstellung von Waschbetonprobekörpern im Labor wurde eine zusätzliche Neubaustrecke auf der A9 RFB Graz ausgewählt. Aus dieser Strecke wurden vor der Verkehrsfreigabe aus drei unterschiedlichen Tagesabschnitten Bohrkerns gezogen und diese mit der Prüfanlage nach Wehner/ Schulze einer Polieruntersuchung unterzogen.

Für die Herstellung der Waschbetonprobekörper im Labor wurden die gleichen Ausgangsmaterialien und die gleiche Rezeptur verwendet. Die Vorgehensweise der Herstellung und aller begleitenden laborseitigen Arbeiten ist in einer Arbeitsanweisung beschrieben, die in Anhang II zu finden ist.

Für das Ausbilden der Oberflächenstruktur wurde die Methode des Ausbürstens angewandt. Im Labor wurden Betonplatten hergestellt, die (a) von einem Laboranten händisch ausgebürstet wurden, sowie (b) mit einer Ausbürstvorrichtung nach einer Entwicklung der Universität Weimar. Das Ziel ist eine ähnliche Rautiefe wie beim maschinellen Ausbürsten auf der Baustelle zu erreichen, sowie ähnliches Verhalten in Bezug auf Polierresistenz und Griffigkeitsentwicklung auf der Prüfanlage nach Wehner / Schulze.

Das händische Ausbürsten (Abb. 11, links) der Betonplatten erfolgt zunächst nur mit einer Kunststoffwurzelsbürste, die mit einem Handdruck mehrmals über die Fläche geführt wird,

bis kein nennenswerter Materialabtrag mehr auftritt. Die Bürste soll dazu mit der gesamten Fläche parallel zu den Außenkanten bei gleichmäßigem Druck über die Betonoberfläche geführt werden. Beim händischen Ausbürsten wird die Bürste nicht immer mit einem gleichmäßigen Handdruck über die Fläche der Platten geführt. Die automatisierte Vorrichtung (Abb. 11, rechts) besteht aus einem pendelnd gelagerten Stahlbesen, der auf zwei Schienen geführt wird. Der Besen wird durch das Gewicht des Bearbeiters auf die senkrecht stehenden Fahrschienen über die Oberfläche gefahren. Auf diese Weise ist der Druck, mit dem der Besen die Platte belastet, immer gleichmäßig. Wenn der Stahlbesen über die Probe hinweggeschoben wird, pendelt er wieder in seine Ausgangsstellung. Durch Rückwärtsziehen des Stahlbesens erfolgt das Ausbürsten analog. Die Ausbürstvorrichtung wurde so kalibriert, dass der Stahlbesen die Platte mit einer Kraft von 130 ± 5 N belastet (detaillierte Information in Anhang II).

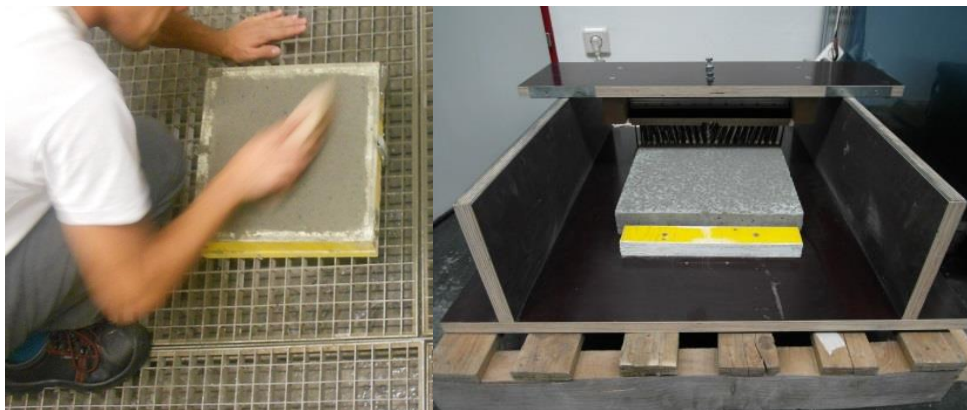


Abb. 11: Ausbürstverfahren - händisch (links), maschinell (rechts).

Um eine Validierung speziell der Verfahren zur Herstellung der Waschbetonoberfläche im Labor zu erreichen, wurde die Griffigkeitsentwicklung bei der Polierbeanspruchung nach Wehner / Schulze von im Labor hergestellten Probekörpern, Bohrkernen aus der Straße gegenübergestellt und verglichen. Die festgelegten Prüfparameter zur Griffigkeitsprognose wurden gleich gehalten. Da es um eine nicht polierte Oberfläche geht, wurden die Probekörper erst nach den ersten 500 Überrollungen geprüft.

Das Prüfprogramm zur Validierung kann man in drei Teile unterteilen:

Im ersten Teil wurden 6 von der A9 gezogene Probekörper aus dem zweiten und dritten Abschnitt geprüft. Die Ergebnisse der Probekörper vom ersten Abschnitt konnten für die Auswertung nicht in Betracht genommen werden, da sie sehr stark gestreut haben. Über Ausbürstzeitpunkt und Wetterbedingungen auf der Baustelle sind keine Informationen

vorhanden. Unterschiedliche Ausbürstzeitpunkte könnten der Grund für diese genannte Streuung sein.

Im zweiten Teil wurden je drei Waschbetonplatten hergestellt und nach 5, 5,5 und 6 Stunden nach dem Auftrag des Oberflächenverzögerers ausgebürstet. Die Polierverläufe sind in Abb. 12 dargestellt. In dem Diagramm mit einer halblogarithmischen Darstellung sind die Polierverläufe von den im Labor hergestellten Platten im Vergleich zu den Bohrkernen zusammengestellt.

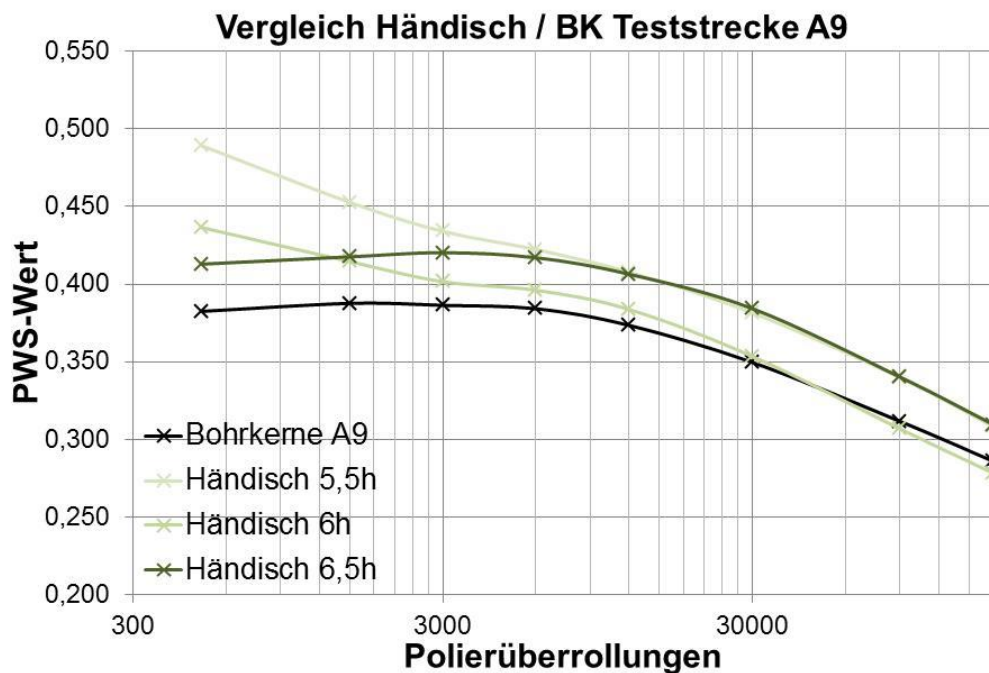


Abb. 12: Vergleich händisches Ausbürsten nach unterschiedlicher Dauer mit den Bohrkernen.

Im dritten Teil wurden weitere 6 Waschbetonplatten hergestellt, die mit einer Ausbürstvorrichtung ausgebürstet wurden. Alle Probekörper wurden 8 Stunden nach dem Auftrag des Oberflächenverzögerers weiter bearbeitet. Jede Platte wurde in die Vorrichtung gesetzt und der Stahlbesen wurde 5 Mal vorwärts und rückwärts über die Platte geführt. Das bedeutet zehn Übergänge des Stahlbesens. Die anderen drei Platten wurden mit 8 Übergängen ausgebürstet. Die Mittelwerte jeder Charge im Vergleich zu den Bohrkernen sind in Abb. 13 graphisch dargestellt.

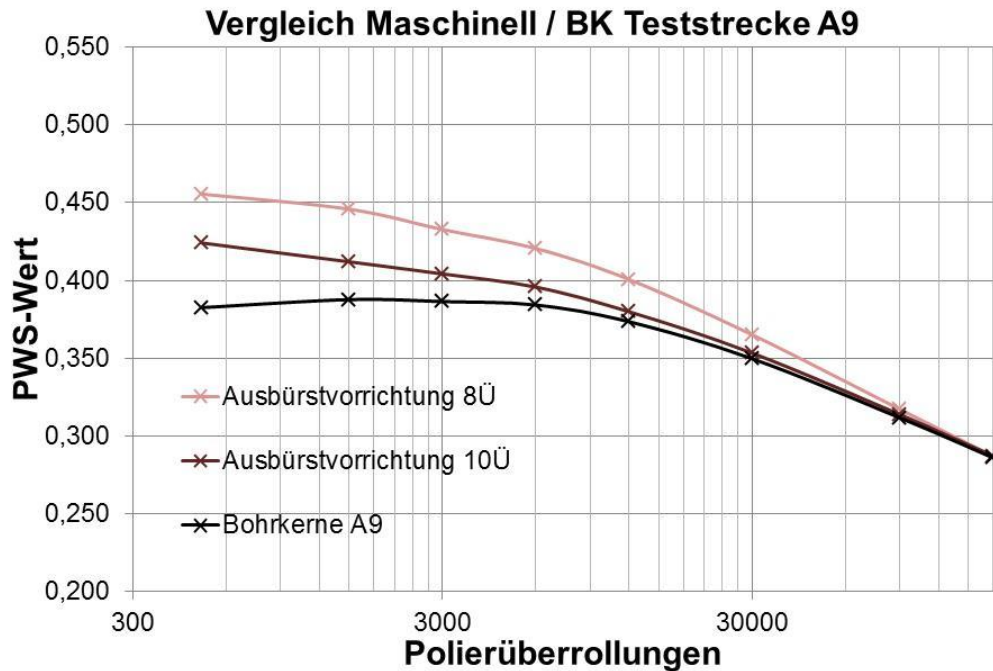


Abb. 13: Vergleich maschinelles Ausbürsten mit 8 und 10 Übergängen nach jeweils 8 Stunden mit den Bohrkernen.

In Abb. 14 sind die Mittelwerte der Verläufe des händischen und maschinellen Ausbürstens, sowie die 95%-Konfidenzintervalle zusammengestellt, die die beste Übereinstimmung mit den Bohrkernen aufweisen. Die mit 10 Übergängen ausgebürsteten Platten weisen eine geringe Streuung und damit hohe Wiederholbarkeit auf. Zusammenfassend kann man schlussfolgern, dass realitätsnahe Waschbetonoberflächen in Bezug auf Polierwiderstand und Griffigkeit unter Laborbedingungen sowohl mittels händischem, als auch mittels maschinelltem Verfahren hergestellt werden können. Die Griffigkeit der laborhergestellten Proben ist mit den Feldproben ab etwa 12.000 Polierüberrollungen vergleichbar.

Zu ergänzen ist an dieser Stelle, dass die Festlegung der Parameter in Bezug auf das Ausbürsten im Labor (Verweildauer des Oberflächenverzögerers, Übergänge mit Ausbüstvorrichtung) streng genommen nur für den Fall des betrachteten Straßenabschnitts gilt. Um einen klaren Zusammenhang zwischen Ausbürsten im Feld und im Labor herstellen und allgemeinere Empfehlungen zum Laborverfahren in Bezug auf das Ausbürsten geben zu können, bedarf es einer umfangreicheren Untersuchung von verschiedenen Streckenabschnitt mit einer bewussten Variation der Ausbüstzeitpunkte, sowie der Witterungsbedingungen im Feld. Diese sind zu

dokumentieren. Im Anschluss sind Ergebnisse solcher Feldproben mit im Labor hergestellten Proben zu vergleichen, um allgemeine Empfehlungen ableiten zu können. Generell ist dem maschinellen Ausbürsten mit der Ausbürstvorrichtung aus Sicht der Autoren zu bevorzugen, da die Ergebnisse eine bessere Wiederholbarkeit zeigen und das Verfahren standardisierbar ist.

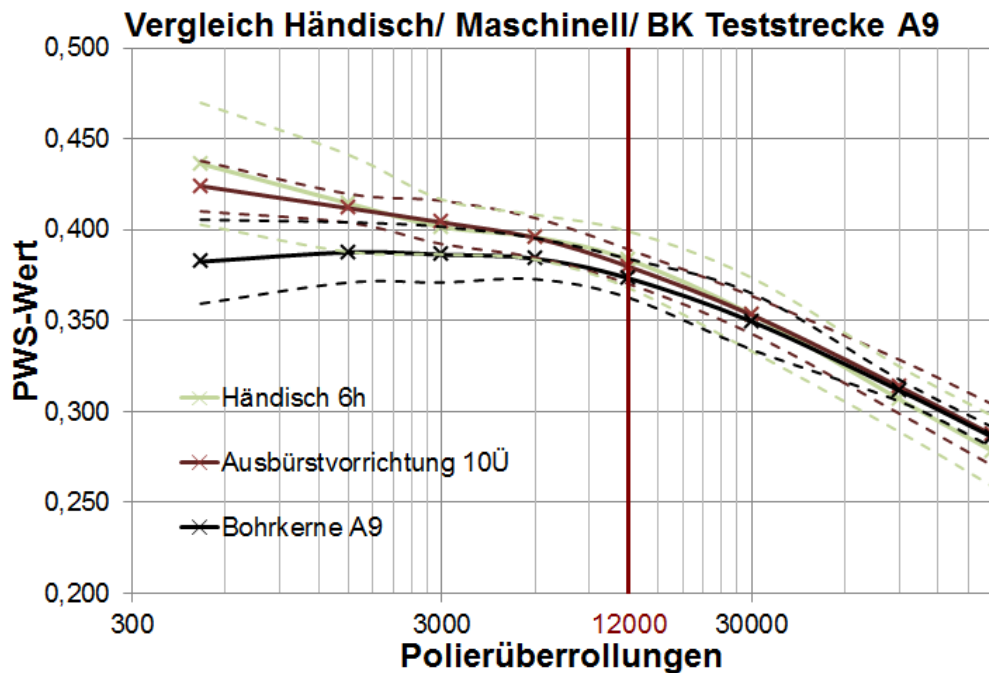


Abb. 14: Zusammenstellung händisches Ausbürsten / maschinelles Ausbürsten / Bohrkern A9.

4.3.2.4. Verfahrensablauf zur Griffigkeitsprognose

Auf Grund der Regenerierbarkeit von PK (vgl. Kap. 4.3.2.1) sowie der Notwendigkeit der Schaffung vergleichbarer künstlicher Startniveaus (in Ermangelung ausreichender Anzahl an BK aus dem Pannestreifen) werden routinemäßig mehrere Prognosezyklen an jedem einzelnen BK angewandt. Dies eröffnet am Ende der Reihenuntersuchungen die Möglichkeit der Gegenüberstellung verschiedener Prognosevarianten mit realer Verkehrsbeanspruchung.

Bei jedem unbefahrenen BK werden daher 3 Prognosezyklen obligatorisch nacheinander durchgeführt, die sich durch die am Beginn jedes Prognosezyklus stehende

Sandstrahlintensität unterscheiden (Tabelle 8). Nach jedem Sandstrahldurchgang und nach jeder Polierstufe ist dabei die Griffigkeit zu erfassen.

Tabelle 8: Überblick zur Gesamtprognose an jedem BK. Nacheinander durchgeführte Prognosezyklen mit den entsprechend festgelegten Strahldurchgängen und Polierstufen.

Prognosezyklus	Anzahl Strahldurchgänge	Polierstufen	Durchführung
Zyklus 0	-	gem. Tabelle 7	exemplarisch
Zyklus 1	1	gem. Tabelle 7	obligatorisch
Zyklus 2	3	gem. Tabelle 7	obligatorisch
Zyklus 3	bis μ_{\max}	gem. Tabelle 7	obligatorisch
Zyklus 4, etc.	bis μ_{\max}	gem. Tabelle 7	nach Bedarf

Zyklus 0 wird nur exemplarisch durchgeführt, um Hinweise auf die Griffigkeitsveränderung ohne vorheriges Sandstrahlen zu erlangen.

Zyklus 4 bzw. weitere darauf folgende Zyklen werden nach Bedarf durchgeführt. Dieser Bedarf kann dadurch entstehen, dass etwa die Ergebnisse der vorangegangenen Zyklen unplausibel sind (z.B. infolge von nicht erkannten defekten Messgummis oder Polierrollen) oder ein akuter Schaden an der Prüfmaschine aufgetreten ist.

Folgende detaillierte Vorgangsweise zur Durchführung der Gesamtprognose gem. Tabelle 8) ist im Rahmen des gegenständlichen Forschungsprojekts festgelegt worden:

- Grundsätzlich sind vor jeder Prüfung PK und montierte Prüfgummis in eingespanntem Zustand in der Prüfstation 5 min lang mittels $10 \pm 0,5^\circ\text{C}$ kaltem Prüfwasser zu kühlen. Sofern die Prüfung unmittelbar nach einem Spülvorgang nach Polieren erfolgt, kann der Vorgang auf 3 min reduziert werden.
- Strahlprogramm 0,5 C (Autom. Strahlprogramm 4/ Strahlkabine Fa. Freundl, vgl. Tabelle 5) wird für einzelne Strahlvorgänge sowie für die Ermittlung der Maximalgriffigkeit herangezogen.
- Das Verfahren und die Kriterien für die Ermittlung der Maximalgriffigkeit (ab Zyklus 3) werden folgendermaßen festgelegt:
 - o PK-Oberfläche (am besten bereits in der Einspannvorrichtung) vor dem ersten Sandstrahlen bei unbeanspruchten SMA-PK auf $0 \pm 2^\circ\text{C}$ bringen, vor den weiteren Strahlvorgängen auf Raumtemperatur belassen. Die

Abkühlung vor dem ersten Sandstrahlen kann bei WB entfallen. Der Eingangsdruck während des Strahlvorganges muss $5 \pm 0,2$ bar betragen. Die Probekörperoberfläche muss zum Zeitpunkt des Strahlens (z.B. durch Abtupfen und Belüftung unter Luftdruck) trocken sein und danach mittels Druckluft von Korund sorgfältig befreit werden.

- Mindestens 5 Strahlvorgänge mit dem Strahlprogramm 0,5 C durchführen, nach jedem Strahlvorgang ist die Griffigkeit zu erfassen.
- Korund (27,5 kg) wird nach dem Prognoseverfahren eines jeden BK (meist 8 – max. 10 Strahldurchgänge) erneuert (Entfernung von Über- und Unterkorn und Ergänzung des fehlenden Korundes). Wenn die Differenz aus 5. und 3. Messwert $< +0,015$ μ PWS-Einheiten und die Standardabweichung des 3. bis 5. Messwertes $< 0,015$ beträgt, ist die Maximalgriffigkeit erreicht. Falls eines der beiden Kriterien nicht erreicht wird, muss solange weiter sandgestrahlt werden, bis sowohl die Differenz des letzten und des vorvorletzten Wertes und die Standardabweichung der letzten 3 Werte unter 0,015 liegen. Die Maximalgriffigkeit entspricht dann der zuletzt gemessenen Griffigkeit. Der PK kann nun der Polierbeanspruchung unterzogen werden.
- Das Verhältnis Quarzmehl/Wasser muss 0,24 kg/40 kg betragen. Die Quarzmehlsuspension ist nach spätestens 180.000 Überrollungen zu tauschen, eine Zugabe zur Kompensation der Verluste erfolgt laborspezifisch nach 90.000 Überrollungen.

4.4. Reihenuntersuchungen mit dem entwickelten Laborverfahren

4.4.1. Griffigkeitsmesswerte der Bohrkern

Ziel dieses Tasks ist es, sämtliche BK (befahrenen und un-) in ihrem aktuellen Griffigkeits-Zustand zum Zeitpunkt der Befahrung mittels RS im Labor durch die Prüfanlage nach Wehner / Schulze (PWS) zu messen und den RS-Messwerten gegenüber zu stellen.

Dabei wurden alle BK an demselben Institut mit denselben Prüfummis geprüft, um ein möglichst hohes Maß an Vergleichbarkeit mit den RS-Messwerten zu erreichen. Jeder BK wurde aus Sicherheitsgründen 3 Einzelmessungen hintereinander unterzogen, um evtl.

auftretende software-Probleme (Datenübermittlung an den PC) kompensieren zu können. Unter der Voraussetzung sehr konstanter Zeitintervalle zwischen Einzelprüfungen ergeben mehrere hintereinander liegende Messpunkte einen nahezu perfekten logarithmischen Verlauf. Im Falle einer nicht erfolgten Messwertaufzeichnung oder eines Gerätedefektes während der Prüfung könnte so durch Analogieschluss vergleichbarer BK derselben Strecke ein nicht aufgezeichneter Messwert mit hoher Vertrauenswürdigkeit berechnet und so die wichtigen Daten zur Korrelation mit dem RS gerettet werden. Diese Notwendigkeit ist nicht eingetreten.

Die PWS-Einzelmessdaten sind in den Tabelle 23 und Tabelle 24 in Anhang I mit den statistischen Parametern Spannweite, Standardabweichung sowie relative Standardabweichung unter Angabe der Ausreißer und des Ausreißerkriteriums gelistet. Als Ausreißerkriterium wurden der Ausreißertest nach Dean-Dixon angewandt sowie ein zusätzliches Kriterium mit folgender Definition:

Spannweite des höchsten oder niedrigsten Messwertes zum nächstgelegenen Messwert der 4 BK einer Strecken $>$ mittlere Spanne über alle 4 BK der unbefahrenen Streckenabschnitte ($\mu\text{PWS} = 0,041$). Dieses Kriterium wurde notwendig, da einzelne BK z.T. $\mu\text{PWS} > 0,045$ vom nächstgelegenen Messwert eines BK desselben Streckenabschnitts entfernt lagen und das Dean-Dixon-Kriterium auf Grund des hohen Wertenniveaus noch nicht griff. Der Überlegung zur Definition der zulässigen Spannweite liegt die gem. RVS 11.06.23¹⁸ (Bestimmung des Polierwertes von Sand) erlaubte Spannweite von Einzelergebnissen von Sandplatten zugrunde (0,035 bei 3 Platten bzw. 0,042 bei 6 Platten). Angesichts größerer zu erwartender Streuung auf der Straße im Vergleich zu im Labor hergestellten PK wurde es als berechtigt angesehen obige Kriterien der Spannweite zumindest auf die Differenz zweier benachbarter Messwertenniveaus von BK eines Streckenabschnittes anzuwenden.

Bei den insgesamt 113 BK (112 + 1 Ersatz-BK) wurden lediglich 3 BK auf Grund des Dean-Dixon-Kriteriums ausgeschieden sowie 2 BK, welche das oben definierte Kriterium für eine zulässige Spannweite überschritten haben.

¹⁸ RVS 11.06.23: Qualitätssicherung Bau. Prüfungen. Steinmaterial. Bestimmung des Polierwertes von Sand. Juni 2012

Die BK weisen somit eine gute Vergleichbarkeit innerhalb der 4er-Serien eines Streckenabschnitts (jeweils befahren oder un-) auf. Einen Überblick zur Datenqualität (nach Exklusion der Ausreißer) liefert Tabelle 9, welche die Grundlage für die Korrelation mit den RS-Messwerten (Tabelle 3) darstellt.

Tabelle 9: Mittelwerte μ PWS je Streckenabschnitt (oben: befahren, unten: (überwiegend) unbefahren) unter Angabe der Standardabweichung.

Strecke	Bauweise	Mittel μ -PWS	Stabw	rel Stabw [%]
2	WB	0,319	0,011	3,3
7	WB	0,333	0,012	3,6
29	WB	0,393	0,006	1,6
42	SMA	0,380	0,002	0,5
51	SMA	0,383	0,006	1,6
63	WB	0,258	0,006	2,4
65	WB	0,337	0,007	2,2
67	SMA	0,420	0,006	1,5
67a	SMA	0,426	0,011	2,6
68	WB	0,352	0,004	1,2
77	WB	0,371	0,016	4,2
108	SMA	0,364	0,018	4,9
109	SMA	0,397	0,009	2,2
110	SMA	0,379	0,002	0,4
2u	WB	0,439	0,009	2,2
7u	WB	0,488	0,003	0,6
29u	WB	0,451	0,008	1,8
42u	SMA	0,544	0,026	4,8
51u	SMA	0,611	0,009	1,5
63u	WB	0,343	0,005	1,4
65u	WB	0,451	0,001	0,3
67u	SMA	0,526	0,017	3,3
67au	SMA	0,622	0,015	2,4
68u	WB	0,422	0,019	4,4
77u	WB	0,427	0,018	4,2
108u	SMA	0,624	0,013	2,1
109u	SMA	0,599	0,047	7,8
110u	SMA	0,706	0,033	4,7

4.4.2. Durchführung der Laborprognosen an den unbefahrenen BK

Grundsätzlich wurden alle unbefahrenen BK nach dem beschriebenen Gesamtprognoseverfahren mit zumindest 3 Prognosezyklen (1 bis 3) geprüft. Obwohl im Forschungsantrag pro Strecke nur die Prüfung von 2 befahrenen BK und 2 unbefahrenen BK vorgesehen war, haben sich die beiden mit der Prognose beschäftigten Institute TPA und IVS dazu entschlossen zumindest 3, meistens aber alle 4 unbefahrenen BK zu prüfen. Dieser Mehraufwand sollte durch die bessere Beurteilung von Streuung und Ausreißern mit dem Ergebnis einer vertrauenswürdigeren Regression mit dem tatsächlichen Verkehr gerechtfertigt werden.

Die Messwerte aller Prognosezyklen, BK und Strecken (nach Ausreißereliminierung) sind in Tabelle 26 bis Tabelle 39 angeführt.

4.5. Statistische Analyse und Aufbau eines Bewertungshintergrundes

4.5.1. Korrelation RoadSTAR und Wehner / Schulze und Ableitung von Grenzwerten

Die Tabellenwerte aus Tabelle 3 und Tabelle 9 wurden einander gegenübergestellt und in Abb. 15 graphisch dargestellt. Die erhaltene lineare Regressionsfunktion weist mit einem $R^2=0,887$ eine hohe Signifikanz auf ist auf Grund der relativ gleichmäßigen Werteverteilung stabil gegenüber Veränderung einzelner Punkte. Die Regression von

$$(1) \quad \mu_{PWS} = 0,8343 * \mu_{RS} - 0,1473$$

ist grundsätzlich über den mittels RS erfassten Messbereich von $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$ gültig.

Angesichts des Umstandes, dass die ASFINAG offensichtlich vorausschauend jene Strecken saniert, deren Griffigkeiten in den Verdacht eines Mangels geraten, wurden bei der Vorauswahl keine Strecken gefunden, die den definierten Kriterien gem. Kap. 4.1 entsprachen und gleichzeitig geringere Griffigkeiten als $\mu_{RS}=0,52$ aufwiesen. Dies ist aus Betreibersicht verständlich, aus wissenschaftlicher Sicht aber bedauerlich, da Messwerte

für eine erweiterte Regression fehlen und Überlegungen zur Erweiterung der Regression Richtung geringe Griffigkeiten bis zu einem Niveau von zumindest $\mu_{RS}=0,38$ (Schwellenwert für Erhaltungsmaßnahmen gem. RVS 13.01.15¹⁹) angestellt werden müssen. Eine Variante wäre die Extrapolation der Regression (1) (Bereich $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$) inklusive Prognoseintervallen. Dies würde aber angesichts eines relativ deutlich negativen d-Wertes der linearen Regression einen Schnittpunkt fernab des Nullpunktes bedeuten und wäre statistisch auch nicht korrekt, da für niedrigere Griffigkeitsniveaus bis $\mu_{RS}=0,38$ keine Messwerte vorliegen. Nachdem die Regression eine Gegenüberstellung von Messwerten zweier ähnlich arbeitender Messsysteme darstellt, welche dieselben Proben im selben Beanspruchungszustand erfasst haben, ist es aber zulässig, den Nullpunkt in die Regression zu integrieren. Die so erhaltene neue Regressionsgerade für den Wertebereich $0 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$ (Abb. 16) liegt näher am Nullpunkt und ist gleichzeitig durch die Plausibilität des Nullwertes als weiterer „Messwert“ für den Prognose-relevanten Bereich $0,38 \leq \mu_{RS} < 0,52$ vertrauenswürdiger als die extrapolierte Regression (1) von $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$. Die Regression mit der Gleichung

$$(2) \quad \mu_{PWS} = 0,7223 * \mu_{RS} - 0,0659$$

weist durch die größere Wertespreizung zwar ein $R^2=0,909$ auf, dafür sind die Prognoseintervalle für den Bereich $\mu_{RS} < 0,52$ größer und liegen v.a. um einige 0,01-Einheiten höher als bei Extrapolation der Regression (1).

Eine alternative Interpretation der Datensätze liegt angesichts des möglicherweise nicht linearen Verlaufes im niedrigen Griffigkeitsbereich $\mu_{RS} < 0,52$ in der Möglichkeit den gesamten Wertebereich in zwei lineare Bereiche zu splitten. Der Bereich $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$ sollte dabei angesichts einer regelmäßigen Werteverteilung und guten Korrelation nicht geteilt werden. Um zu einem Linear-Bereich zwischen (0 bzw.) $0,38 \leq \mu_{RS} < 0,52$ keinen Sprung im Wertenniveau zu verursachen, sondern einen Schnittpunkt der beiden (jeweils gleichen) Prognoseintervalle um $\mu_{RS} = 0,52$ auf möglichst ähnlichem μ_{PWS} -Niveau zu generieren, wurde eine Regression für den Bereich $0 \leq \mu_{RS} \leq 0,75$ berechnet. Hintergrund dieser Datenauswahl war, nur BK aus dem rechten Fahrstreifen für die folgende Regression heranzuziehen und BK aus dem Pannestreifen ($\mu_{RS} > 0,75$, bei gleichzeitig größerer Streuung) zu exkludieren:

¹⁹ RVS 13.01.15: Bauliche Straßenerhaltung. Pavement Management. Beurteilungskriterium für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR. 2006

$$(3) \quad y = 0,603x - 0,0036$$

Abb. 19 zeigt die entsprechende Regressionsgerade mit ebenfalls durch große Wertespreizung bedingtem hohem $R^2=0,922$. Der Schnittpunkt der Regressionsgeraden befindet sich tatsächlich praktisch beim Nullpunkt, allerdings ist dadurch die Steigung deutlich flacher als für den Wertebereich $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$, was – wie erwähnt – zu der Annahme führt, dass bei niedrigen Griffigkeiten der Zusammenhang nicht linear sein könnte. Dies ist ohne Messwerte zwischen $0 \leq \mu_{RS} < 0,52$ nicht verifizierbar, dennoch ist die Regressionsgerade aus Abb. 19 plausibel als worst case anzusehen (bei harmonischem Kurvenverlauf eines nicht linearen Zusammenhanges müssten die Punkte unterhalb der linearen Regression liegen), womit Prognosewerte bei linearer Regression auf der sicheren Seite liegen. Abb. 20 zeigt dieselbe Regressionsgerade mit 90%- sowie 80%-Prognoseintervallen.

Gleichzeitig liegen die zu μ_{RS} (im Bereich um 0,52) korrespondierenden μ_{PWS} -Werte bei gleichen Prognosewahrscheinlichkeiten auf sehr ähnlichem Niveau wie jene von Gleichung (1) für den Wertebereich $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$. Daher bietet sich an, diese beiden Regressionen unter Zugrundelegung von zu wählenden Prognosewahrscheinlichkeiten für die Ableitung von Laborgrenzwerten für μ_{PWS} heranzuziehen:

In Tabelle 25, Anhang I sind die zu μ_{RS} -Werten zwischen 0,38 – 0,97 korrespondierenden μ_{PWS} -Werte in Abh. v. Regressionsbereich und Prognosewahrscheinlichkeit aufgelistet. Folgende Regressionsbereiche werden dargestellt:

- $0 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$
- $0 \leq \mu_{RS} \leq 0,75$
- $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$

Dabei ist der nur sehr geringe Sprung der μ_{PWS} -Werte zwischen den jeweiligen oberen Prognoseintervallen der Regressionen $0 \leq \mu_{RS} \leq 0,75$ und $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$ beim Niveau um $\mu_{RS}=0,55$ zu erkennen, was diese beiden Regressionen für eine Gesamtbetrachtung eines Zusammenhanges μ_{RS} und μ_{PWS} kompatibel macht.

Im Vergleich dazu weist die Regression für $0 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$ wegen der höheren Streuung im sehr hohen Griffigkeitsbereich v.a. um den Bereich $\mu_{RS} = 0,52$ (Übernahme) viel

größere Prognoseintervalle und damit höhere korrespondierende μ PWS-Werte auf (bis zu 0,03 höher als bei Regression für $0,52 \leq \mu RS \leq 0,97$).

Aus Tabelle 25, Anhang I lassen sich daher aus den Regressionen für (3) für $0 \leq \mu RS \leq 0,75$ und aus (1) für $0,52 \leq \mu RS \leq 0,97$ unter Zugrundelegung der Prognosewahrscheinlichkeiten 95%, 90% und 80% folgende korrespondierende μ PWS für die Straßengriffigkeiten μRS ableiten (Tabelle 10):

Tabelle 10: Mindestwerte von μ PWS im Labor, um in Abh. v. gewählter Prognosewahrscheinlichkeit den entsprechenden μ RS-Wert zu erreichen. Berechnung der einseitigen (oberen) Prognoseintervalle.

μ RS	Mindestwert μ PWS bei Prognosewahrsch.:			μ RS	Mindestwert μ PWS bei Prognosewahrsch.:		
	95%	90%	80%		95%	90%	80%
0,38	0,277	0,265	0,251	0,68	0,485	0,470	0,453
0,39	0,283	0,271	0,257	0,69	0,494	0,479	0,461
0,4	0,288	0,277	0,263	0,7	0,502	0,487	0,469
0,41	0,294	0,283	0,269	0,71	0,510	0,495	0,478
0,42	0,300	0,288	0,275	0,72	0,519	0,504	0,486
0,43	0,306	0,294	0,281	0,73	0,527	0,512	0,495
0,44	0,312	0,300	0,287	0,74	0,536	0,521	0,503
0,45	0,318	0,306	0,293	0,75	0,544	0,529	0,511
0,46	0,324	0,312	0,299	0,76	0,552	0,537	0,520
0,47	0,329	0,318	0,305	0,77	0,561	0,546	0,528
0,48	0,335	0,324	0,310	0,78	0,569	0,554	0,536
0,49	0,341	0,330	0,316	0,79	0,578	0,563	0,545
0,5	0,347	0,336	0,322	0,8	0,586	0,571	0,553
0,51	0,353	0,342	0,328	0,81	0,595	0,579	0,562
0,52	0,359	0,348	0,334	0,82	0,603	0,588	0,570
0,53	0,365	0,354	0,340	0,83	0,612	0,596	0,579
0,54	0,371	0,360	0,346	0,84	0,620	0,605	0,587
0,55	0,379	0,366	0,352	0,85	0,629	0,613	0,595
0,56	0,387	0,372	0,358	0,86	0,637	0,622	0,604
0,57	0,395	0,380	0,364	0,87	0,646	0,630	0,612
0,58	0,403	0,388	0,370	0,88	0,655	0,639	0,621
0,59	0,411	0,396	0,378	0,89	0,663	0,648	0,629
0,6	0,419	0,404	0,386	0,9	0,672	0,656	0,638
0,61	0,428	0,413	0,395	0,91	0,680	0,665	0,646
0,62	0,436	0,421	0,403	0,92	0,689	0,673	0,655
0,63	0,444	0,429	0,411	0,93	0,698	0,682	0,663
0,64	0,452	0,437	0,420	0,94	0,706	0,690	0,672
0,65	0,461	0,446	0,428	0,95	0,715	0,699	0,680
0,66	0,469	0,454	0,436	0,96	0,724	0,708	0,689
0,67	0,477	0,462	0,445	0,97	0,732	0,716	0,697

In Abb. 21 sind die in Tabelle 10 angeführten μ RS- bzw. die korrespondierenden μ PWS-Werte exemplarisch für die Prognosewahrscheinlichkeit von 95% dargestellt (einseitig berechneter oberer Prognoseast).

Ergänzend zu den bisherigen Ausführungen (Ableitungen von μ PWS-Mindestwerten für die Umrechnung in $[\mu$ RS] am oberen Prognoseast) können folgende Überlegungen angestellt werden:

Die zweiseitige Berechnung von sowohl oberem als auch unterem Prognoseintervall für die Fragestellung der Abnahme und Übernahme erlaubt die Ableitung folgender Aussagen: Bei einem ermittelten μ PWS-Wert \geq der oberen Prognose-Intervallgrenze kann z.B. mit \geq 95% Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden, dass ein korrespondierender μ RS-Wert auf der Straße erreicht werden würde. Bei einem ermittelten μ PWS-Wert \leq der unteren Intervallgrenze würde dies bedeuten, dass ein korrespondierender μ RS-Wert auf der Straße mit \geq 95 % Wahrscheinlichkeit nicht erreicht werden würde. In diesen beiden Fällen kann also prognostiziert werden, ob ein geforderter μ RS-Wert (z.B. bei der Abnahme oder Übernahme) mit entsprechender Sicherheit erreicht oder nicht erreicht werden könnte. Läge der ermittelte μ PWS-Wert zwischen den (zu definierenden) Prognoseintervallen, wäre die Unsicherheit der Prognose zu groß und der RS müsste im Zuge einer Prüfung die endgültige Aussage treffen.

In Tabelle 11 sind vergleichend die 95%, 90%- und 80%-Prognoseintervalle unter Zugrundelegung der Regression (3) für den Bereich $0 \leq \mu$ RS \leq 0,75 dargestellt.

Werden ausschließlich die BK des rechten Fahrstreifens betrachtet (Bereich $0,52 \leq \mu$ RS \leq 0,75), werden durch die entsprechende Regression

$$(4) \quad y = 0,6314x - 0,022$$

aus Abb. 18 (oben) die Prognoseintervalle nicht schmaler, Regression (4) ist also für obige Überlegungen nicht zielführend. Dennoch zeigt Abb. 18, dass der Bereich $0,52 \leq \mu$ RS \leq 0,75 und $0 \leq \mu$ RS \leq 0,75 nahezu idente Steigungen der Regressionsgerade zeigen und einander somit bestätigen.

Nachdem die Werte (des oberen Prognoseastes) aus Tabelle 11 von jenen aus Tabelle 10 geringfügig differieren, ist Tabelle 11 ausschließlich für die Fragestellung zu verwenden, ob Abnahme- oder Übernahmewerte mit entsprechender Wahrscheinlichkeit nicht erreicht werden (niedrigere Werte).

Fragestellungen, welcher μ RS-Wert einem prognostizierten μ PWS-Wert mit entsprechender Wahrscheinlichkeit zumindest entspricht, sind ausschließlich mit den Werten aus Tabelle 10 zu beantworten (einseitige Berechnung der oberen Prognoseintervalle).

Tabelle 11: 2-seitig berechnete (obere und untere) Prognosewahrscheinlichkeiten von μ RS durch μ PWS für die Abnahme bzw. Übernahme. Die Mindestwerte differieren von Tabelle 10 und haben nur informativen Charakter.

y = 0,603x - 0,0036							
0 ≤ μ RS ≤ 0,75							
μ RS	Mindestwert μ PWS bei Prognosewahrsh.:			μ RS	Maximalwert μ PWS bei Prognosewahrsh.:		
	95%	90%	80%		95%	90%	80%
0,52	0,369	0,359	0,348	0,52	0,250	0,261	0,272
0,59	0,411	0,401	0,390	0,59	0,293	0,303	0,315

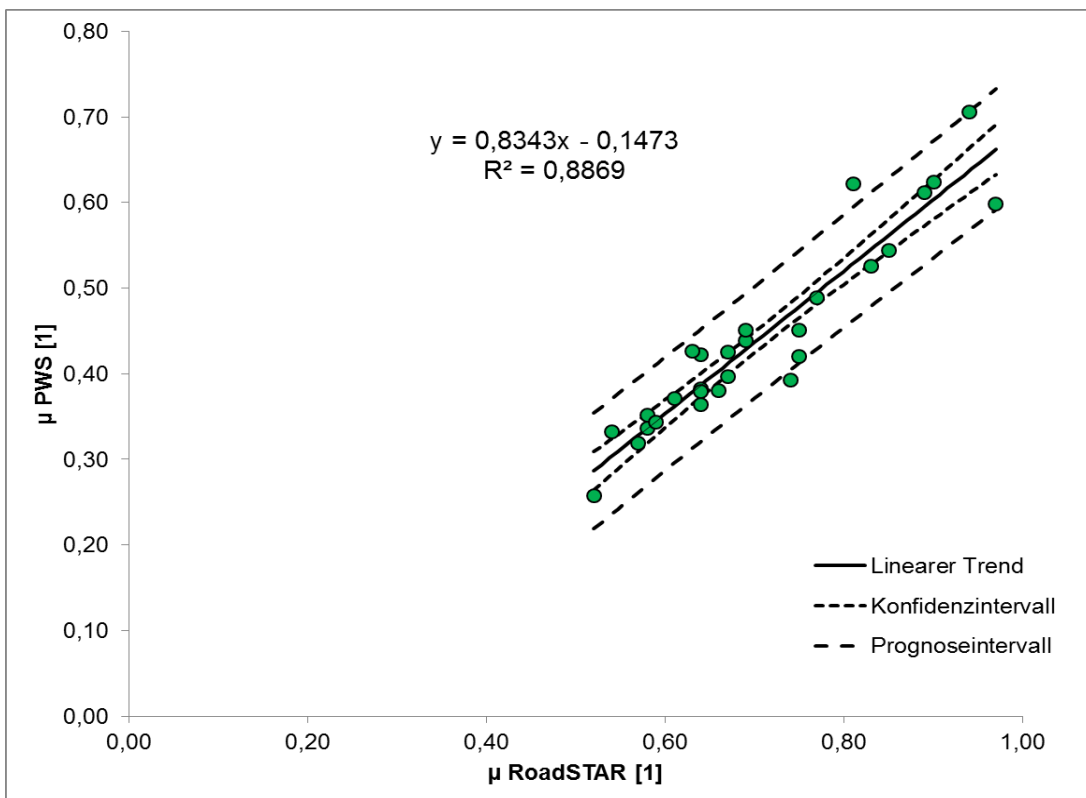
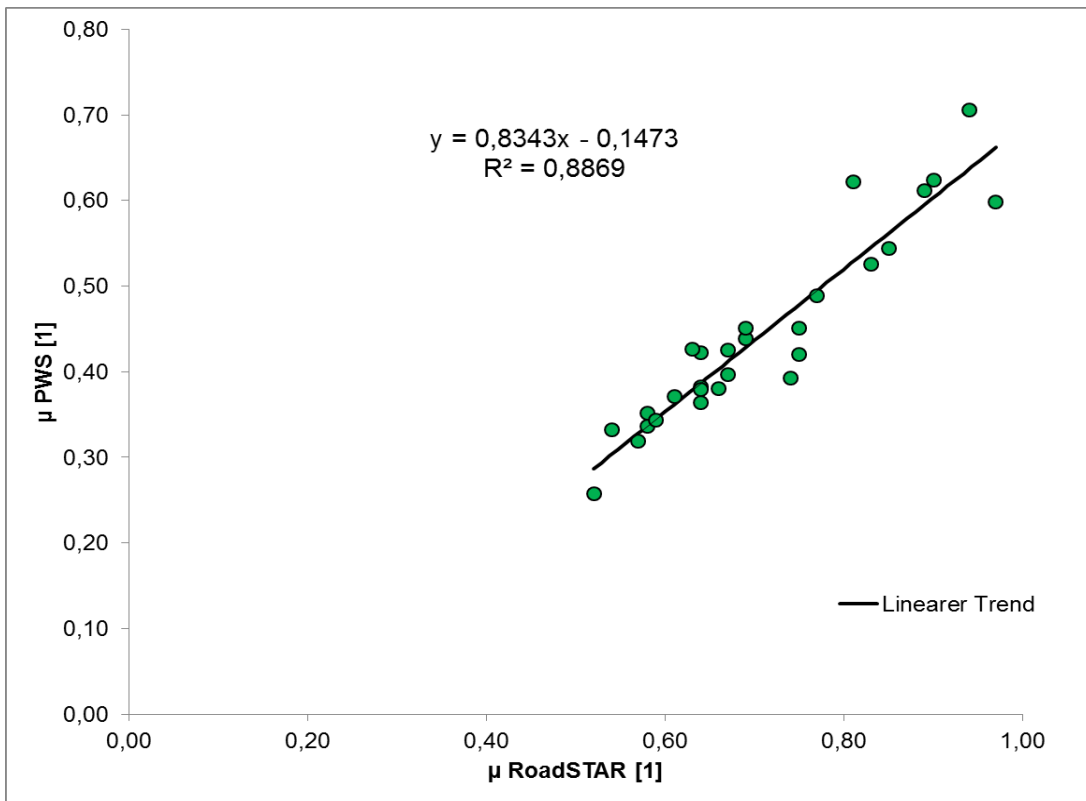


Abb. 15: Korrelation μ RS / μ PWS bez. Wertebereich $0,52 \leq \mu$ RS $\leq 0,97$. Unten mit oberem und unterem 95% Konfidenz- und Prognoseintervall.

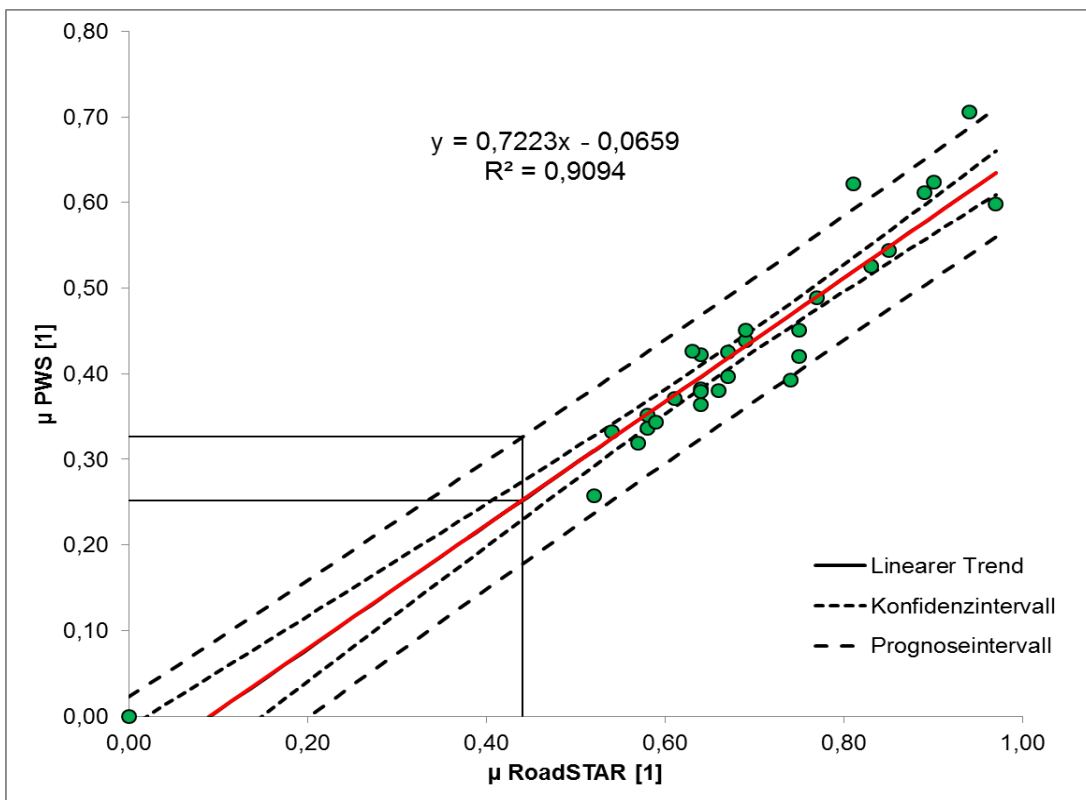
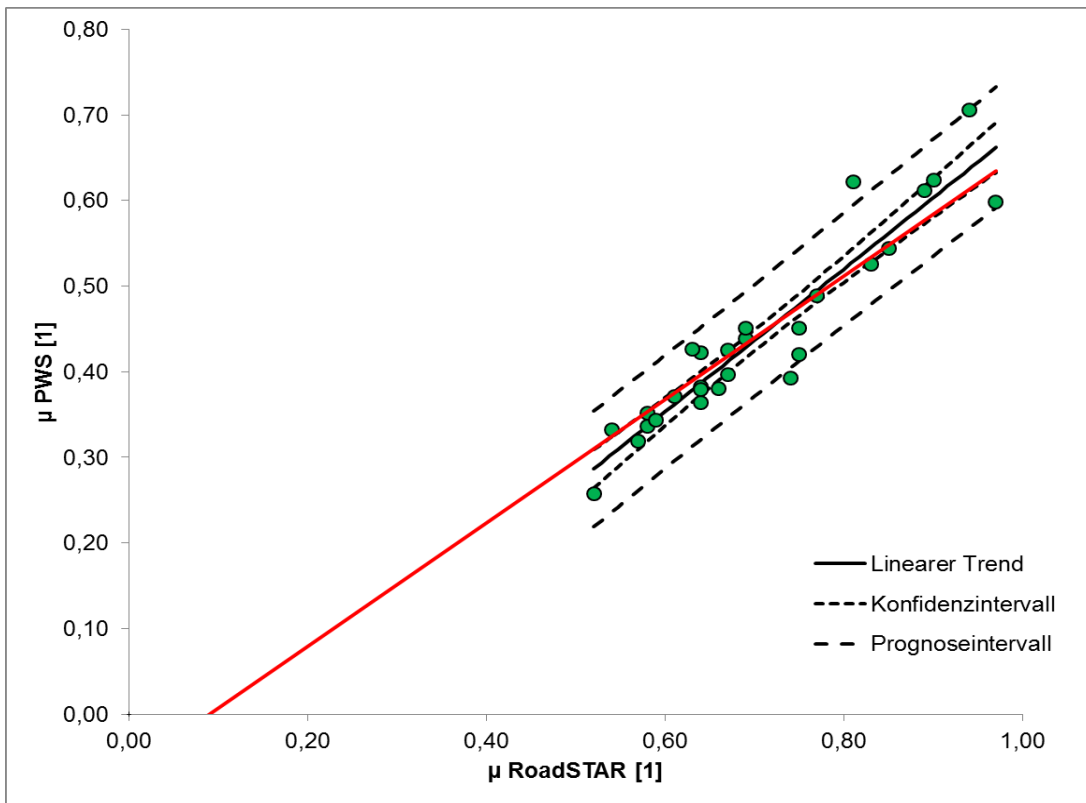


Abb. 16: Korrelation μ_{RS} / μ_{PWS} . Oben Regression von Abb. 15 mit roter Regressionsgeraden der Regression mit Nullpunkt (unten); oberes und unteres 95% Konfidenz-, sowie Prognoseintervall (einseitig) und Bsp. zu $\mu_{RS}=0,45$ (Warnwert).

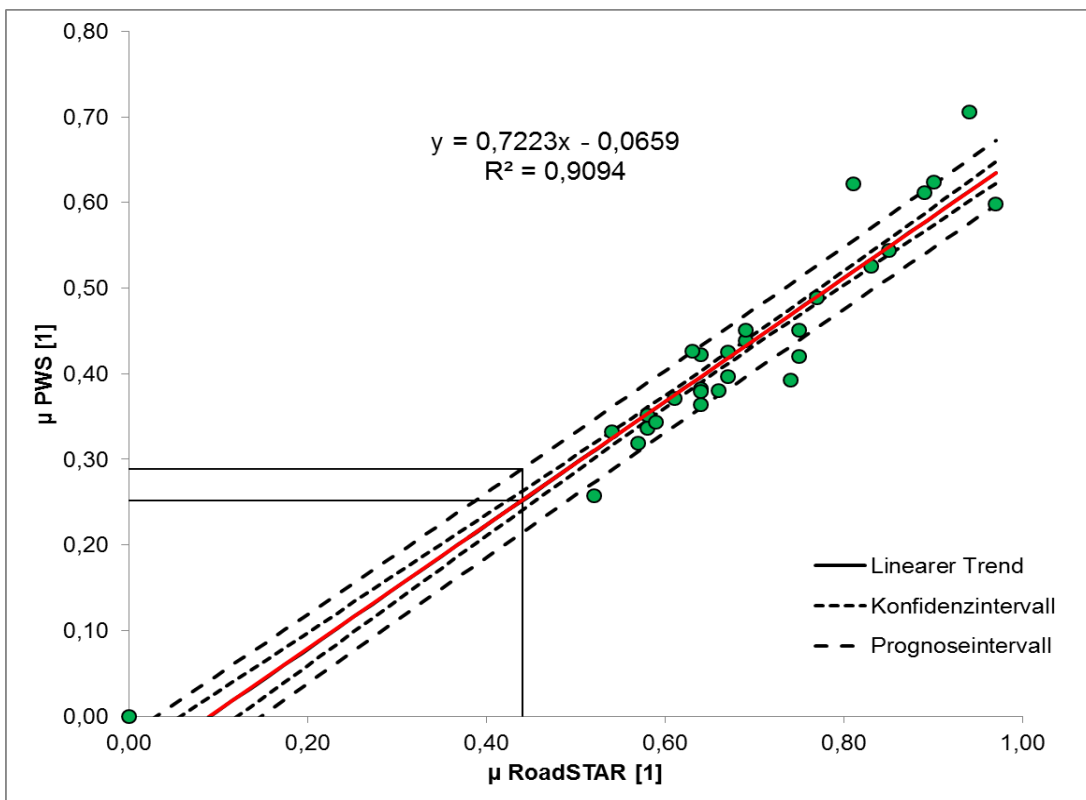
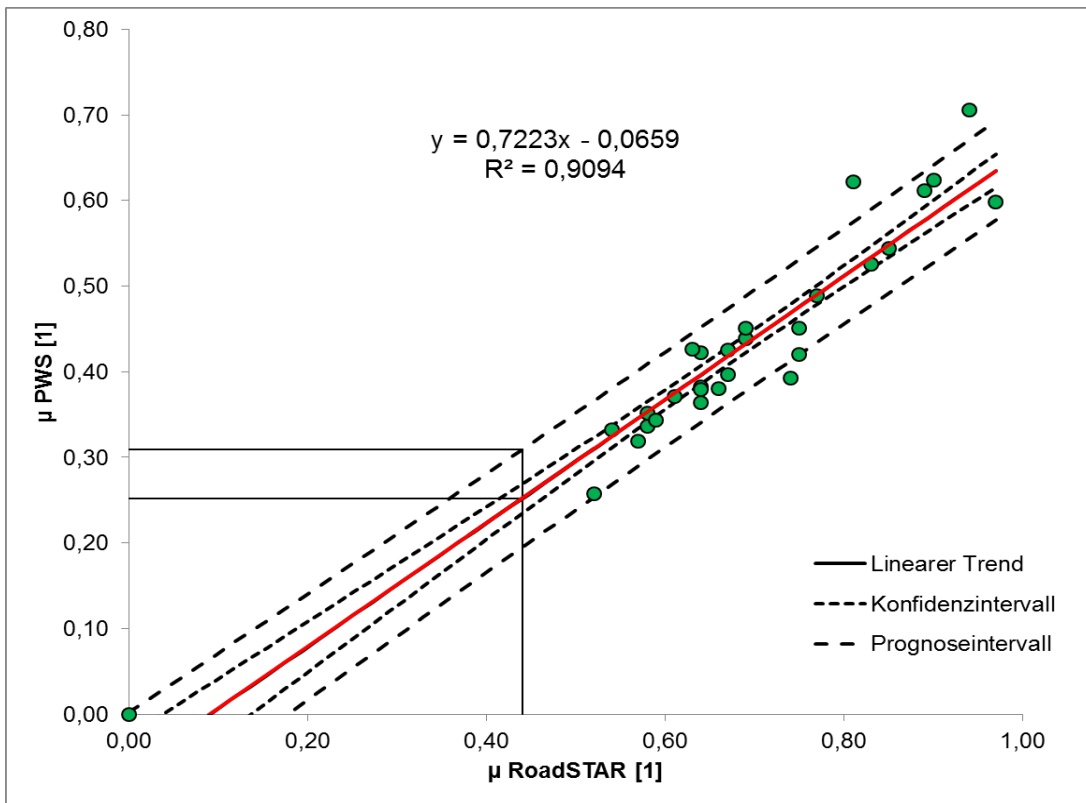


Abb. 17: Korrelation μ_{RS} / μ_{PWS} wie Abb. 16 inkl. Wertebereich $0 \leq \mu_{RS} < 0,52$ mit oberem und unterem 90%- (oben) sowie 80%- (unten) Konfidenz- und Prognoseintervall (einseitige Berechnung); Bsp. zu $\mu_{RS}=0,45$ (Warnwert).

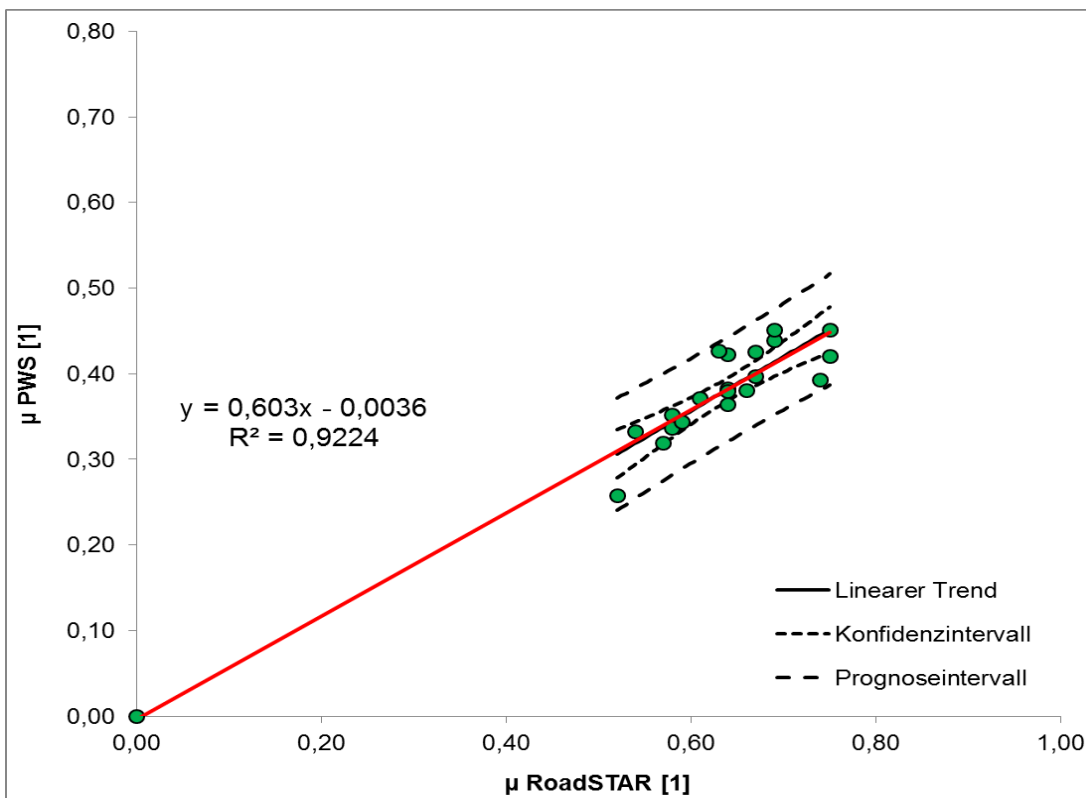
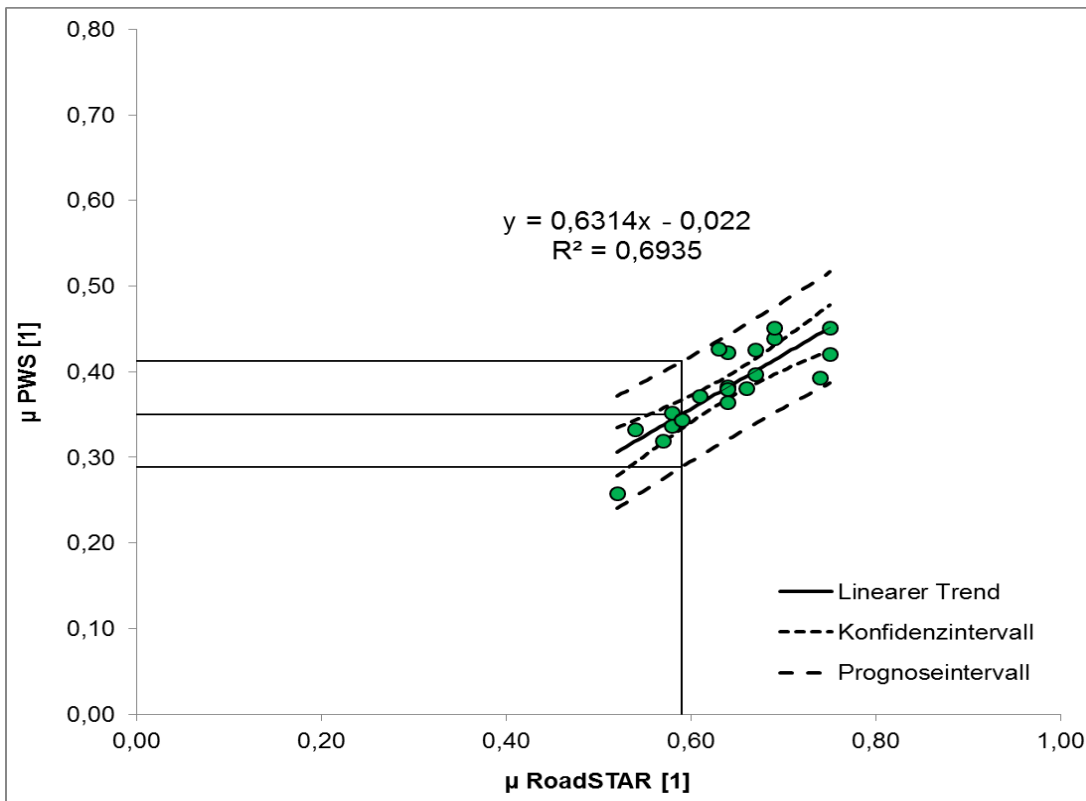


Abb. 18: Korrelation μRS / μPWS der BK aus dem rechten Fahrstreifen ($0,52 \leq \mu RS \leq 0,75$) mit oberem und unterem 95% Konfidenz-, sowie Prognoseintervall (2-seitige Berechnung) und Bsp. zu $\mu RS=0,59$ (Abnahme)(oben). Unten: Regressionsgerade (rot) mit Nullpunkt.

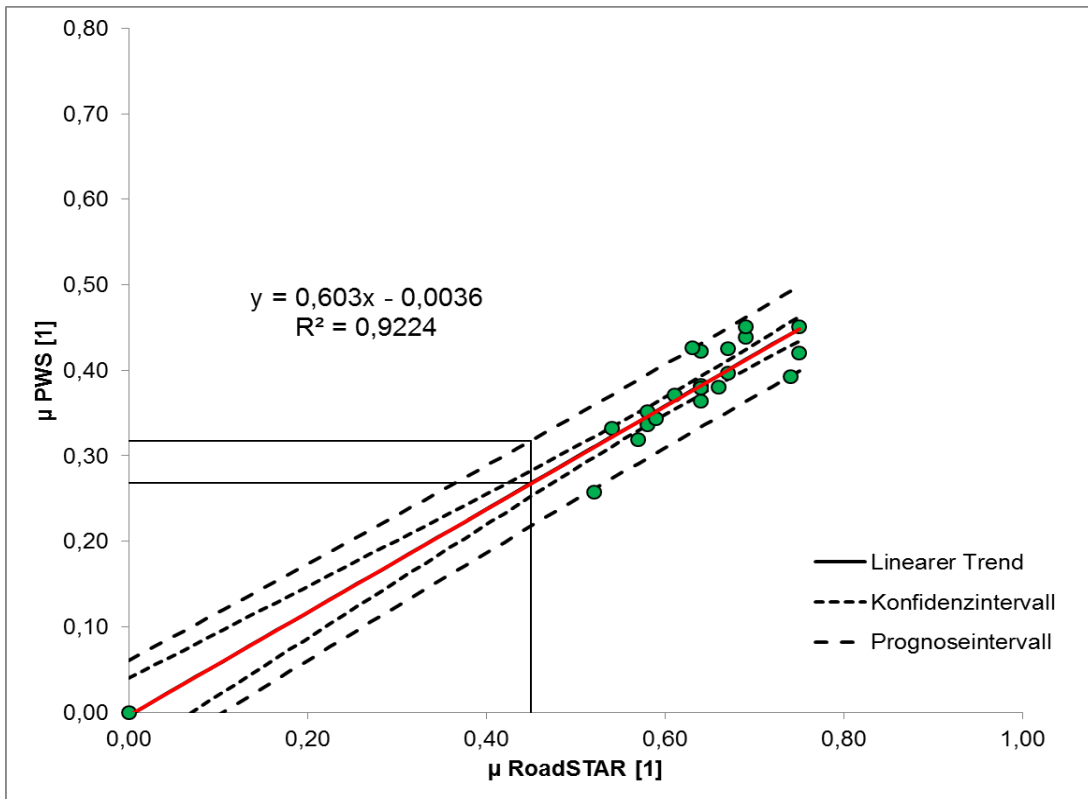


Abb. 19: Korrelation μ RS / μ PWS der BK aus dem rechten Fahrstreifen ($0,52 \leq \mu$ RS $\leq 0,75$) inkl. Nullpunkt (wie Abb. 18, unten) mit oberem und unterem 95%- Konfidenz- und Prognoseintervall (einseitige Berechnung) mit Bsp. zu μ RS=0,45 (Warnwert).

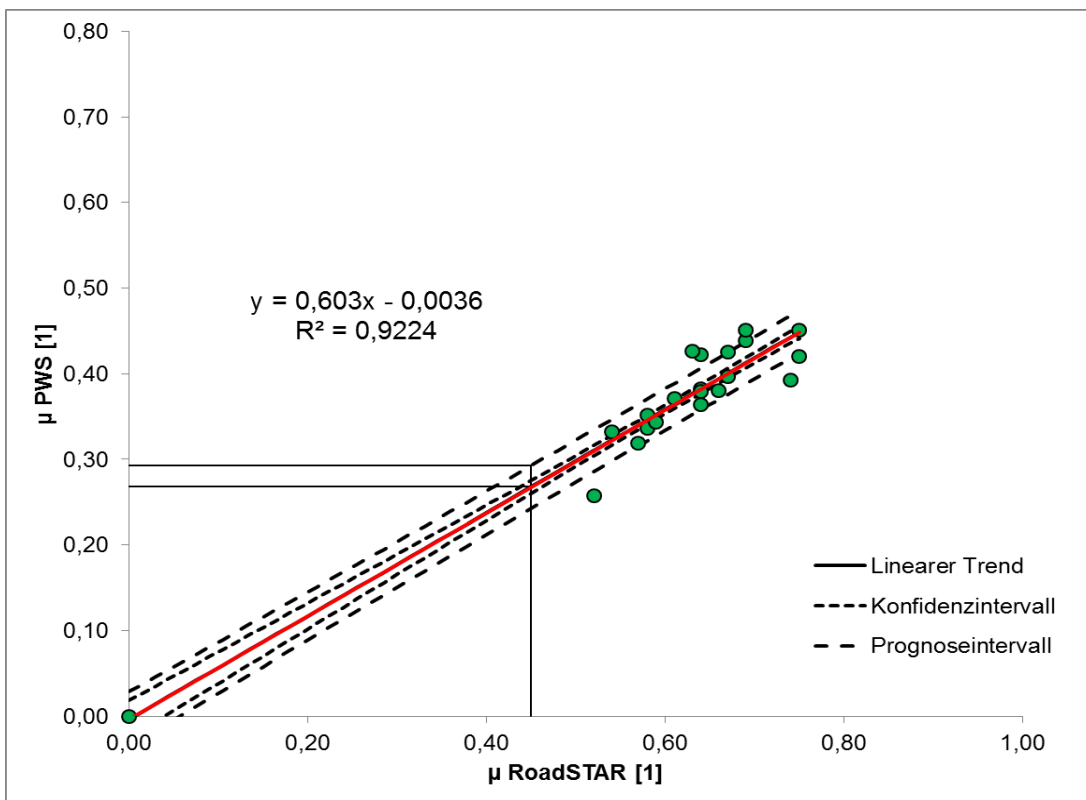
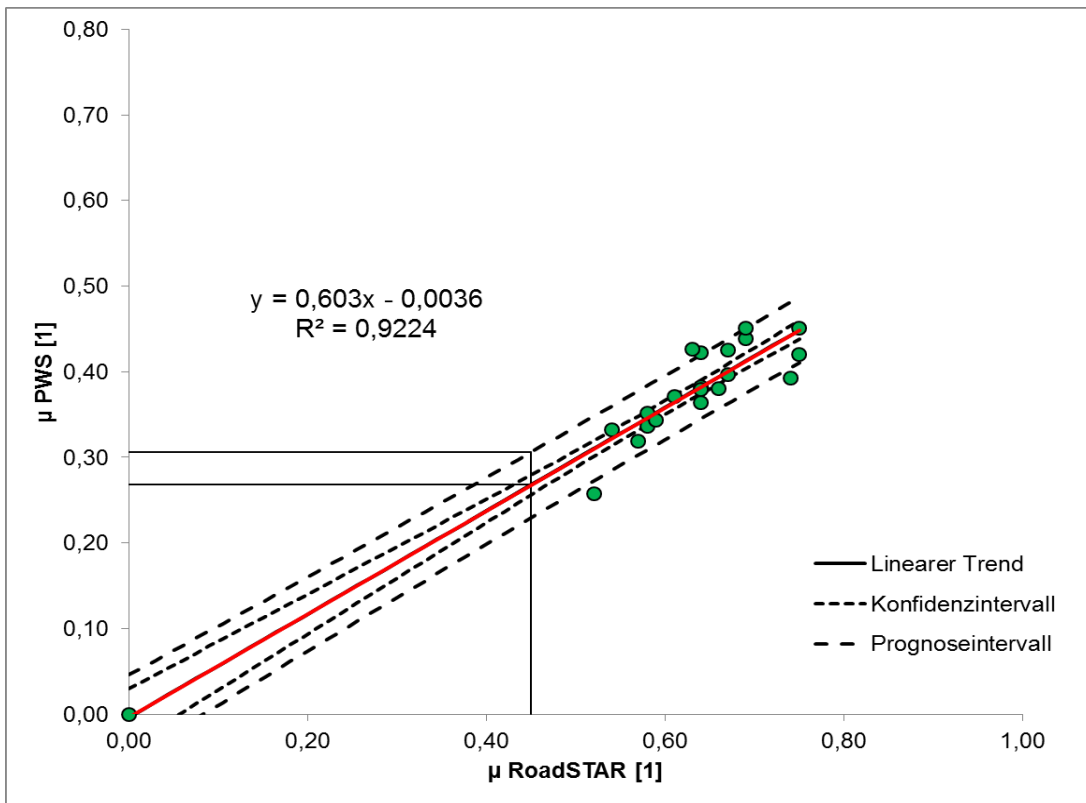


Abb. 20: Korrelation μ_{RS} / μ_{PWS} wie Abb. 18 mit oberem und unterem 90%- (oben) sowie 80%- (unten) Konfidenz- und Prognoseintervall (einseitige Berechnung) mit Bsp. zu $\mu_{RS}=0,45$ (Warnwert).

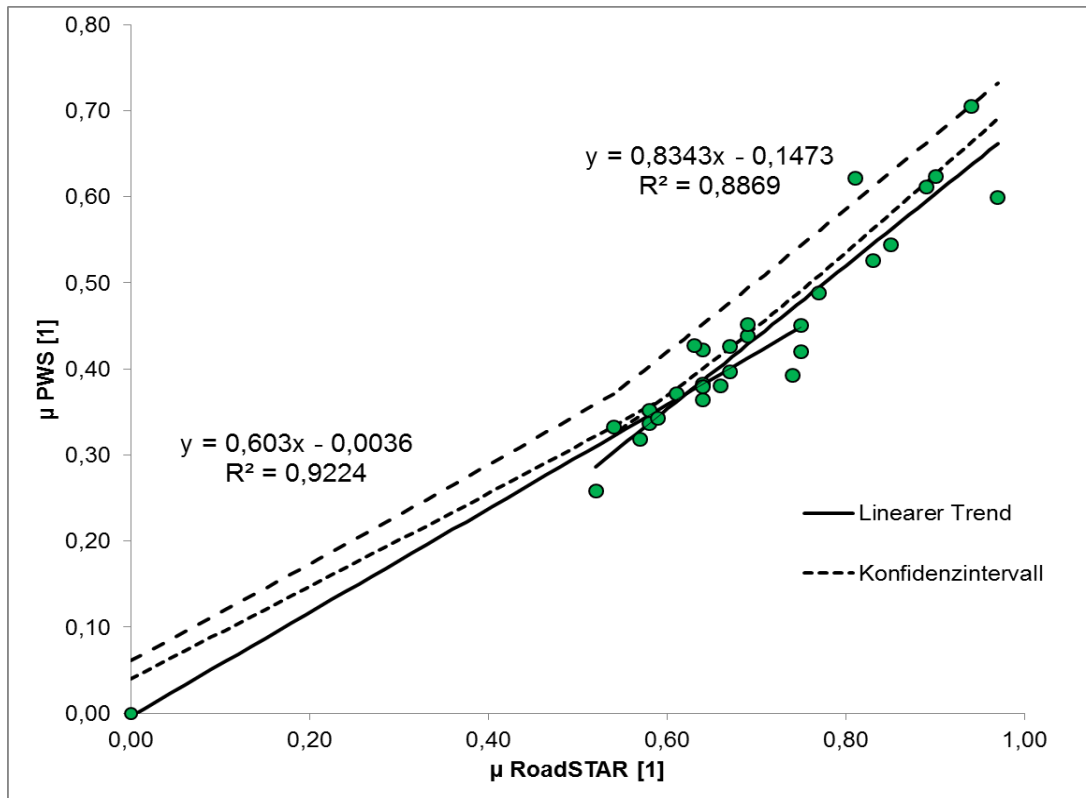


Abb. 21: Kombinierte Grafik aus den beiden Regressionen für die Wertebereiche $0 \leq \mu_{RS} \leq 0,75$ und $0,52 \leq \mu_{RS} \leq 0,97$ unter Heranziehung der oberen 95% Prognoseintervalle gem. Tabelle 10.

4.5.2. Wiederhol- und Vergleichbarkeit des Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose

Als Prüfung der Wiederholbarkeit eines Messwertes wird die wiederholte Ermittlung eines Messwertes durch wiederholte Herstellung und Prüfung gleicher PK im selben Labor mit denselben Materialien und Geräten (vorteilhafter Weise durch denselben Laboranten) verstanden.

Als Prüfung der Vergleichbarkeit eines Messwertes wird grundsätzlich die vergleichende Ermittlung eines Messwertes durch Herstellung und Prüfung gleicher PK in verschiedenen Labors mit den gleichen Materialien und Geräten (durch unterschiedliche Laboranten) verstanden. Ergänzend dazu wurden auch PK unterschiedlicher Herstellungsserien (im Sinne bewusster Variationen im Herstellungsprozess) miteinander verglichen, ebenso

Labor-PK mit BK aus der Straße. Der Begriff der Vergleichbarkeit ist unter diesen Umständen gerechtfertigt, auch wenn nur 1 Labor die Prüfkörper herstellt und prüft.

Die Vergleichbarkeit der Prüf- und der Polierleistung in maschinentechnischer Hinsicht sind essenzielle Voraussetzung für die Überprüfung der Vergleichbarkeit von Prüfungen realer Probekörper.

4.5.2.1. Maschinentechnische Einflussfaktoren

Als Basis für die Prüfung von Wiederhol- und Vergleichbarkeit an realen PK musste zunächst die maschinentechnische Wiederhol- und Vergleichbarkeit untersucht werden. Folgende Parameter werden für die Laborprognose der Griffigkeit mittels PWS in maschinentechnischer Hinsicht als sehr relevant erachtet:

- Prüfgummiqualität
- Polierleistung durch Qualität der Polierrollen und Polierrollenlager
- Funktionsfähigkeit und Kalibrierung des Drehmomentaufnehmers

Folgende Parameter haben ebenfalls Einfluss auf den letztlich ermittelten Messwert, werden aber für dieses Forschungsprojekt (und in der Folge auch für die Labor-Routine) als nicht relevant erachtet, weil diese im Rahmen des gegenständlichen Projekts standardisiert wurden (vgl. Kap. 4.3) und dadurch (weitgehend kontrollierbar) konstant zu halten sind.

- Quarzgehalt und Durchflussmenge der Quarzmehlsuspension
- Qualität des Korund-Strahlguts
- Strahlvorgang

4.5.2.1.1. Prüfgummiqualität

Zur Sicherung der Prüfgummiqualität wurden 30 Prüfgummitriplets von der Fa. Freundl unter Zusicherung derselben Liefercharge bezogen. Diese wurde auf derselben Kontrollplatte (Stahlriffelplatte) im selben Labor innerhalb eines Tages geprüft, um die Griffigkeitsniveaus zu vergleichen. Dabei zeigt sich bei Darstellung in aufsteigender Reihenfolge (Abb. 22) auf der Seite des höheren Niveaus eine rel. konstante, leicht ansteigende Gruppe von Messwerten mit einer Spannweite von $\mu\text{PWS}=0,014$ (0,264 – 0,278). Etwa ein Viertel der gelieferten Triplets liegt unterhalb dieser Spannweite ($\leq 0,261$) und wurde für Prüfungen nicht herangezogen. 18 der Triplets des höheren

Werteniveaus wurden für Wiederholungsmessungen am darauffolgenden Tag im selben Labor herangezogen. Die mittlere Differenz liegt bei 0,013 (die Standardabweichung dazu bei 0,006) μ PWS-Einheiten. Bei dieser mittleren Differenz ist ein (bekannter) Griffigkeitsverlust der Kontrollplatte zu berücksichtigen, der im konkreten Fall 0,007 μ PWS-Einheiten beträgt, womit bei wiederholter Prüfung dieselben Prüf gummitriplets im Mittel einen Unterschied von etwa 0,006 μ PWS-Einheiten aufweisen. Bei Wiederholungsmessungen einer Serie von 5 Triplets, die hintereinander in gleicher Reihenfolge innerhalb von nur 1 Stunde gemessen wurden, konnte sogar eine noch geringere mittlere Differenz von 0,002 μ PWS-Einheiten ermittelt werden.

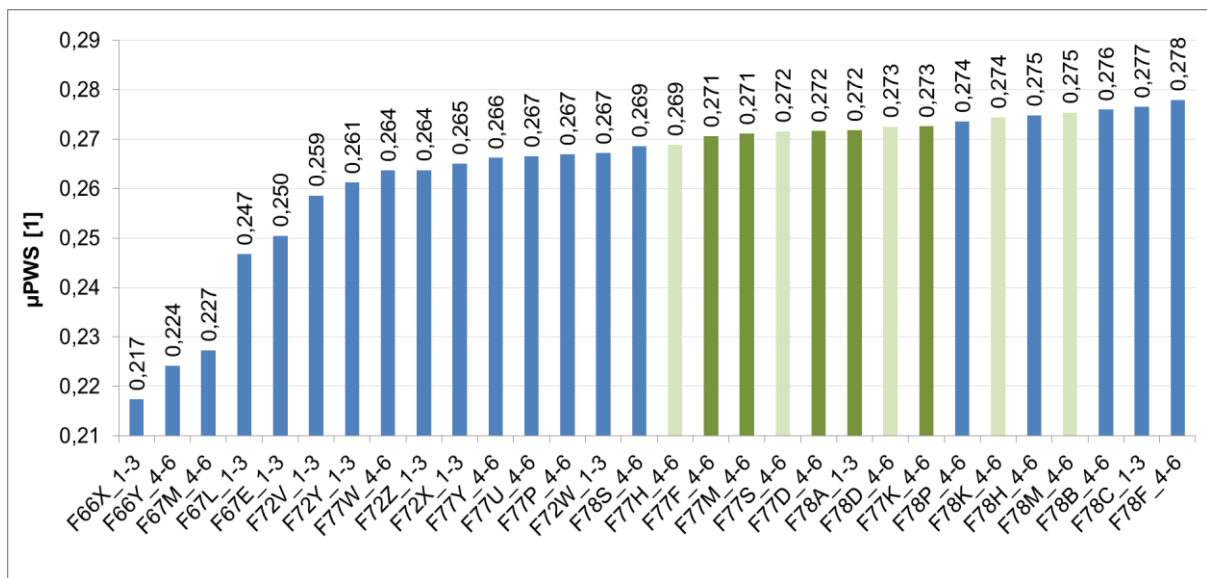


Abb. 22: Werteniveaus (geordnet) der bezogenen 30 Prüf gummitriplets. Dunkelgrün = 1. Wahl zur Verwendung im Rahmen von PROGRIP, hellgrün = 2. Wahl (Kategorisierung auf Basis von Wiederholungsmessungen).

Messungen derselben Gummitriplets auf denselben (über viele 100e Messungen eingefahrenen) Kontrollplatten in unterschiedlichen Labors erlauben einen Vergleich der Prüfstationen als Summenparameter aus v.a. Lagerreibung der Prüf achse und Drehmomentaufnehmer unter Berücksichtigung gleicher Prüf temperatur sowie der Kenntnis um die Wiederholbarkeit von Messungen mit denselben Prüf gummi (s. oben). Messungen von zwei Triplets auf derselben Kontrollplatte (Stahlriffel) erbrachte eine mittlere Abweichung von 0,012 μ PWS-Einheiten.

4.5.2.1.2. Polierleistung

Um die Qualität und Stabilität der Prüfstation zu beurteilen, werden Kontrollplatten mit sehr konstantem Griffigkeitsniveau gebraucht. Um die Polierleistung der Polierstation einer PWS-Maschine zu prüfen bzw. zu vergleichen bedarf es hingegen einer Prüffläche, die im Zuge der Prüfung an Griffigkeit verliert, da nur dadurch Polierleistung erfasst werden kann. Solche PK können dadurch grundsätzlich nur einmal verwendet werden, was zwei Konsequenzen nach sich zieht: Einerseits bedarf es eines entsprechenden Aufwandes, eine für eine vertrauensvolle statistische Aussage ausreichende Anzahl an PK herzustellen. Andererseits überlagert die Streuung der PK-Herstellung die Beurteilung der Wiederhol- und Vergleichbarkeit der Polierleistung. Daher ist es erforderlich, dasselbe Material mit einer Methode von möglichst hohem Standardisierungsgrad in möglichst hoher Wiederholbarkeit zu PK zu verarbeiten. Dafür wurden bei PROGRIP Sandplatten gem. RVS 11.06.23²⁰ (2012) unter Verwendung von Normensand hergestellt (Fa. Normensand GmbH, D-59269 Beckum, Prüfsand gem. ZTV-ING 2003, Teil 1, Abschnitt 3.4).

Insgesamt wurden für die Fragestellung des Polierleistungs-Vergleichs 54 Sandplatten in Labor A von einem bestimmten Laboranten in verschiedenen Serien hergestellt. Meistens wurden die Platten einer Herstellungs-Serie aufgeteilt und durch Variation eines Parameters versucht, dessen Relevanz zu quantifizieren. Tabelle 12 gibt einen Überblick zu den Variationen und den entsprechenden erhaltenen Mittelwerten. Die Sandplatten wurden mit einer 1:10 verdünnten Quarzmehlsuspension (0,24 kg / 40l Wasser) mit 30.000 Überrollungen poliert und in Labor A geprüft.

²⁰ RVS 11.06.23: Qualitätssicherung Bau. Prüfungen. Steinmaterial. Bestimmung des Polierwertes von Sand. Juni 2012

Tabelle 12: Vergleich der Polierstationen beider PWS-Maschinen durch Variation angeführter Parameter (rötlich unterlegt).

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Prüfkörper-Serie	Quarz-2		Quarz-2	Quarz-3	Quarz-4		Quarz5_1-10		Quarz5_11-20	
Ziel	Maschinenvergleich Polierstation		Vergleich Polierrollenlager		Vergleich Polierrollen		Variation Lager und Rollen		Variation Lager und Rollen	
Anzahl Platten	8	6	8	10	5	5	5	5	5	5
Herstellung	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A
Polieren	Labor A	Labor B	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A
Prüfen	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A	Labor A
Lager	Labor A	Labor A	Labor A	Labor B	Labor B	Labor B	Labor B	Labor A	Labor B	Labor A
Rollen	Labor A (neu2)	Labor A (neu2)	Labor A (neu2)	Labor A (neu2)	Labor A (neu2)	Labor B	Labor A (neu2)	Labor A (neu1)	Labor A (neu2)	Labor A (neu1)
Mittelwert [μPWS]	0,525	0,523	0,525	0,517	0,517	0,475	0,525	0,529	0,507	0,525
Standardabweichung [μPWS]	0,015	0,013	0,015	0,016	0,010	0,009	0,010	0,010	0,010	0,012

Spalten a/b: Die Polierstationen beider Maschinen hinsichtlich z.B. Lagerstange und/oder Lagerreibung sind als gleichwertig zu erachten.

Spalten c/d: durch Austausch der Polierrollenlager wurde dessen Einfluss geprüft. Die Lager zum Zeitpunkt der Überprüfung (keine Auffälligkeiten im aufgezeichneten und zu kontrollierenden Drehmomentenverlauf, Leichtgängigkeit) zeigen höchstens minimalen Einfluss (Bestätigung des etwas niedrigeren Mittelwertes aus Spalte e durch die gleiche Konstellation in Spalte e).

Spalten e/f: durch Austausch der Polierrollen zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Mittelwert. Die verwendeten Polierrollen von Labor B wurden als verschlissen identifiziert, ausgeschieden und gegen neue Polierrollen getauscht, die in vergleichbaren Vorversuchen des Labors A als gleichwertig mit den Rollen „neu2“ und „neu1“ gem. Tabelle 12 eingestuft wurden.

Spalten g/h und i/j: durch Variation von Polierlager und Rollen (2-fach durchgeführt) wurden Mittelwerte erhalten, die im Wesentlichen Spalten a-e entsprechen. Trotz gleicher Prüfbedingungen wie bei Platten aus Spalte g liegt der Mittelwert der Platten aus Spalte i etwas niedriger (0,018 μPWS-Einheiten), wohingegen h und j (ebenfalls gleiche Prüfbedingungen) auf sehr ähnlichem Niveau liegen. Dies zeigt die mögliche Schwankungsbreite trotz Einhaltung aller bekannten und fassbaren Rahmenbedingungen. Vor diesem Hintergrund müssen alle durchgeführten Variationen als innerhalb der Schwankungsbreite der Wiederholbarkeit angesehen werden mit Ausnahme der defekten Polierrollen aus Spalte f.

Die mittlere Streuung der Einzelwerte eines Serienteiles (Spalte) beträgt unter Exklusion von Spalte f 0,012. Die Streuung (Standardabweichung) der angeführten Mittelwerte aller Serienteile (ohne Spalte f) beträgt hingegen nur 0,007 um deren Mittelwert von 0,521. Selbst eine mögliche leichte Verschiebung des Polierniveaus durch die Variation der Polierrollen-Lager (Spalten d und e) läge noch eindeutig innerhalb der einfachen Standardabweichung.

Dies bestätigt, dass trotz Variation von (gleichwertigen) Maschinenbestandteilen rund um die Polierstation die Streuung vernachlässigbar bleibt und die beiden PWS-Maschinen somit auch hinsichtlich der Polierstation als gleichwertig zu erachten sind.

4.5.2.1.3. Funktionsfähigkeit des Drehmomentaufnehmers

Die Funktionsfähigkeit des Drehmomentaufnehmers kann indirekt über Reihenmessungen mit Gummitriplets konstanten Wertenniveaus auf derselben Kontrollplatte oder direkt über einen externen Drehmomentaufnehmer geprüft werden. Beide Methoden wurden im Zuge von PROGRIP zu Vergleichszwecken der Drehmomentaufnehmer beider PWS-Maschinen sowie zur laufenden Qualitätskontrolle etabliert und werden mittlerweile im Routinebetrieb angewandt. Labor A verwendet den externen Drehmomentaufnehmer grundsätzlich nach jedem Neustart des Gerätes. Nach über 100 Messungen (es wird ein Messbereich von 5 – 30 Nm in 5 Stufen abgedeckt) ergibt sich ein Mittelwert von 100,12 % (Nm_{PWS} / Nm_{extern}) mit einer Standardabweichung von 0,24 %. Punktuelle Vergleichsmessungen mit der Prüfstation des Labor B bestätigten die direkte Vergleichbarkeit der Drehmomentaufnehmer beider Geräte.

4.5.2.2. Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit von Messwerten realitätsnaher Prüfkörper (PK)

Nach Klärung, dass sich die potenziell maschinentechnisch relevanten Einflussfaktoren beider PWS-Maschinen im Bereich der Wiederholbarkeit der PK-Herstellung von Sandplatten mit Normensand bewegen (Kap. 4.5.2.1), wurde die Wiederholbarkeit von Messwerten an realitätsnahen Labor-PK geprüft. Die Herstellung von Labor-PK aus Asphalt ist weitgehend automatisiert, dennoch beruht ein Teil der Qualität auf der Kompetenz des/der Laboranten/in, die in die Wiederhol- und Vergleichbarkeit von Labor-

PK einget. Die wiederholbare Herstellung realitätsnaher WB-Platten hingegen ist Teil des Forschungsprojektes.

Zur Klärung der Frage wurden SMA- sowie WB-Platten hergestellt und jeweils miteinander verglichen. Zur Gewinnung homogenen SMA-Mischgutes wurde eine einmalige Entnahme von etwa 0,75 t Mischgut von der AMA durchgeführt. Das Mischgut wurde zeitgleich für eine Neubaustrecke A9, S´ Graz verwendet, welche kurz nach Einbau zur Gewinnung von BK zu Vergleichszwecken beprobt wurde.

Sämtliche Gegenüberstellungen von SMA-Labor-PK (bzw. auch den entsprechenden SMA-BK) sind in Tabelle 41, Anhang I, angeführt. Die zusammengefassten Resultate daraus sind in Tabelle 13 wiedergegeben, es lassen sich dazu folgende Aussagen treffen:

Zeile 1 gibt die Auswertungen von meist mehreren Regenerationen bis μ_{\max} an denselben PK wieder. Im Mittel beträgt die Spanne sämtlicher immer wieder erreichter μ_{\max} -Werte 0,024 μ PWS-Werte, die mittlere Spanne der Messwerte nach den jeweiligen Polierstufen 0,02 (Klammerwerte in Tabelle 13). Im Laufe von PROGRIP wurde die Feststellung gemacht, dass besonders nach vielen Regenerationen (>3) mit gleichzeitig ≥ 5 Strahlzyklen je Regeneration die Messwerte je Polierstufe leicht und kontinuierlich driften und dadurch die Spanne stetig vergrößert wird. Nachdem eine Regeneration in der Praxis allerdings kaum öfter als 1-2 Mal durchgeführt werden wird (insgesamt 3 Prognosezyklen nach μ_{\max}) ist es sinnvoll, die Werte nur für die ersten 3 vollständigen Regenerationen inkl. μ_{\max} zu berechnen. Diese liegen bez. der Spanne des Startniveaus (0,018) und der Polierstufen (gemittelt 0,015) tatsächlich nur mehr $< 0,02$ μ PWS-Einheiten (Bandbreite von 0,003 – 0,019, ein „Ausreißer“ bei 0,042). Dies entspricht praktisch dem Niveau der Streuung, wenn 1 Labor an verschiedenen PK einer Herstellungsserie von SMA gleiche Prognoseprüfungen durchführt (2. Zeile, Tabelle 13).

Die Regeneration und darauffolgende Prognoseprüfung am selben PK (maximal 3 Mal hintereinander) kann somit de facto als gleichwertig gegenüber einer Prognoseprüfung an einem weiteren PK einer Herstellungsserie (von SMA) angesehen werden.

Als Kriterium zur Beurteilung der Plausibilität von Messwerten der Regeneration wird eine mittlere Spanne aller Polierstufen (bei insgesamt max. 3 Regenerationen mit μ_{\max}) von 0,025 [μ PWS] empfohlen. Dieser Wert ergibt sich aus der (über viele Vergleiche gem. Tabelle 41) gemittelten mittleren Spanne (0,015) + Stabw. derselben (0,010), die größte ermittelte Spanne von 0,019 (abgesehen vom Ausreißer) wird von diesem Bereich noch erfasst.

Zur Beurteilung der Wiederholbarkeit von Spannweiten aller Polierstufen bei Labor-PK einer Herstellungsserie ist Folgendes anzumerken:

Unterschiedliche Startniveaus von PK derselben Herstellungsserie (oder von BK derselben Strecke) nach vergleichbarem Sandstrahlen können verschiedene Ursachen haben. Neben Mikro- und Makrotextur von Gestein können auch außergewöhnliche räumliche Orientierungen einzelner Körner in der Prüfspur kurzfristig große Kantenschärfe aufweisen und dafür verantwortlich sein, dass zunächst höhere Anfangsgriffigkeiten erreicht werden, als bei den anderen gleichwertigen PK oder BK. Beim darauffolgenden Polierzyklus (oder spätestens nach dem nächsten Sandstrahlen) nivelliert sich dieser „zufällige“ Unterschied wieder. In einem solchen Fall nähern sich die Polierkurven meist rasch einander an. Bei „systemischen“ Unterschieden zweier PK (z.B. durch unterschiedliche Makrotextur oder Bindemittelmengen) bleiben die Polierkurven meist annähernd parallel auf unterschiedlichen Niveaus. Daher kann die Beurteilung, ob ein PK als Ausreißer betrachtet wird, sinnvoller Weise erst ab einer höheren Polierstufe erfolgen. Dies trifft auch auf ein Kriterium zu, ob Prognoseprüfungen gleichartiger PK miteinander verglichen bzw. gemittelt werden können. Daher wurden die Auswertungen der PROGRIP-Strecken (aller Polierstufen) um eine Auswertung ergänzt, welche die Streumaße für die Polierstufen erst ab 30.000 Überrollungen berechnet (Tabelle 13, Zeile 3, Tabelle 15 und Tabelle 17). Diese Polierstufe wurde gewählt, weil etwa ab dieser aufgetragenen Polierarbeit ein Polierverhalten, das dem auf der Straße gleicht, auftritt (vgl. Ausführungen Kap. 4.5.3.2). Die mittlere Spannweite aller Polierstufen sowie deren Standardabweichung verringern sich dadurch bei Labor-PK aus SMA noch geringfügig auf 0,012 [μ PWS] (0,009 Standardabweichung).

Nachdem der Stichprobenumfang (18 Gegenüberstellungen an Hand von 22 Labor-PK) überschaubar ist und zudem vorwiegend 2 PK einer Serie miteinander verglichen wurden, muss bei weiteren Prüfungen (besonders mit mehreren PK einer Serie) mit größeren mittleren Spannweiten gerechnet werden. Obwohl obig ermittelte Spanne Grund für Optimismus ist, wird als Richtwert für künftige Prognosen an Labor-PK aus SMA (Prüfung von 2-4 PK einer Herstellungsserie) dennoch eine maximal zulässige mittlere Spannweite aller Polierstufen ab 30.000 Überrollungen von 0,035 [μ PWS] empfohlen. In dieser Spanne finden sich die mittlere Spanne von 0,012 + Standardabweichung von 0,009 sowie alle ermittelten mittleren Spannweiten (ab 30.000 Überrollungen, abgesehen von

einem Ausreißer Maximalwert von 0,030). Gleichzeitig deckt sich dieser Wert mit der vorgeschriebenen Spannweite bei 3 Sandplatten-PK gem. RVS 11.06.23²¹.

Die gleiche Vorgangsweise zur plausibleren Beurteilung der Abweichung von Polierkurven voneinander wurde bei den BK der PROGRIP-Strecken gewählt (Tabelle 17).

Um einen Eindruck von der Vergleichbarkeit der Labors hinsichtlich Labor-Prognose (allerdings an den PK einer Herstellungsserie) zu bekommen wurden zwei PK-Serien aus SMA hergestellt, die PK jeder Serie auf beide Labors aufgeteilt und die jeweiligen Prognosen verglichen. Die mittlere Spanne der von jedem Labor gemittelten Messwerte jeder Polierstufe beträgt bei einer Serie rund 0,05 [μ PWS], bei der anderen Serie $\leq 0,01$ [μ PWS] (abh. vom Zyklus entsprechend Laborprognose PROGRIP). Gemittelt ergäbe das eine mittlere Spanne von 0,018, vergleicht man allerdings nur Zyklen nach μ_{\max} ergibt das einen aussagekräftigeren Mittelwert von 0,031 [μ PWS] (4. Zeile in Tabelle 13). Angesichts des Umstandes, dass sich im Zuge der ersten Vergleichsuntersuchungen (Platten 1,2,4 aus Tabelle 41) die Rollen von Labor B als bereits leicht verschlissen herausgestellt haben (außergewöhnlich starke Polierleistung) kann die oben erwähnte Spanne von rund 0,05 bzw. das daraus resultierende Mittel der Spanne von 0,031 [μ PWS] eher als auf der schlechteren (sicheren) Seite angesiedelt betrachtet werden. Aus den vorhandenen Daten kann als erster Richtwert für eine zulässige Spannweite von 0,05 [μ PWS] (gemittelte mittlere Spanne von 0,031 + Standardabweichung von 0,02) abgeleitet werden. Es bedarf diesbezüglich aber einer Reihe weiterer Vergleiche für statistisch abgesichertere Angaben.

Ergänzend wurden die BK der Neubaustrecke A9 von einem Labor mit aus demselben Mischgut hergestellten SMA-PK verglichen. Trotz einer etwas größeren Spanne beim Startniveau (nur bei Zyklus 1) liegen die Abweichungen der Polierstufen auf sehr geringem Niveau, sodass sich mit einer mittleren Spanne aller Polierstufen von 0,004 (Standardabweichung 0,001) [μ PWS] eine sehr gute Vergleichbarkeit ergibt (s.a. Abb. 23). Als erster Anhaltspunkt der Vergleichbarkeit von Labor-PK aus SMA mit BK desgleichen Mischguts kann eine zulässige Spanne von 0,01 [μ PWS] angegeben werden.

²¹ RVS 11.06.23: Qualitätssicherung Bau. Prüfungen. Steinmaterial. Bestimmung des Polierwertes von Sand. Juni 2012

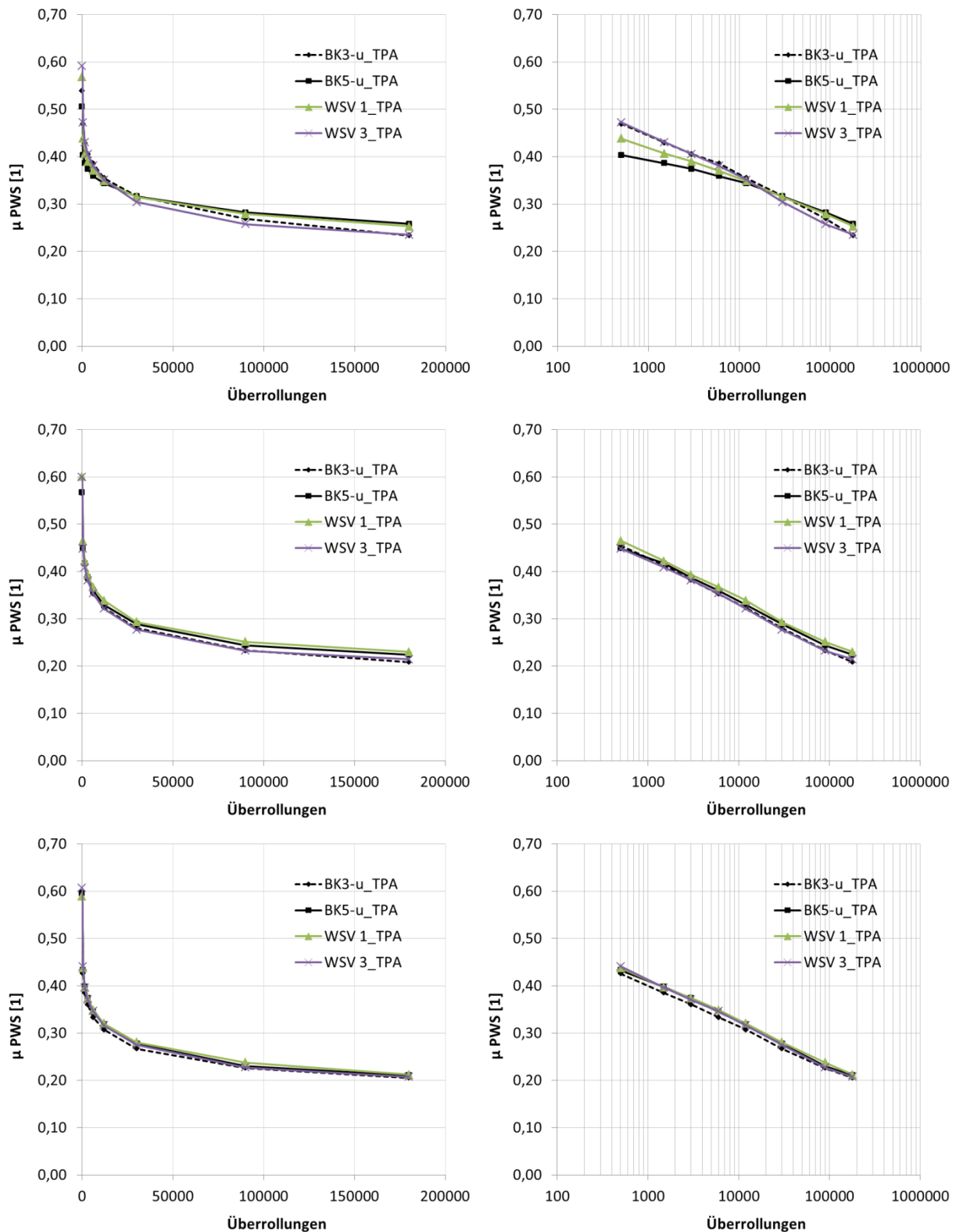


Abb. 23: Vergleich der PROGRIP-Prognosezyklen an BK der Neubaustrecke und Labor-SMA-Platten desgleichen Mischgutes. Oben Zyklus 1, Mitte Zyklus 2, unten Zyklus 3. Rechts jeweils in logarithmischer Abszissenskalierung.

Tabelle 13: Überblick zu gemittelten Wiederholbarkeiten (Wh.b) und Vergleichbarkeiten (Vgl.b) an SMA-Labor-PK in unterschiedlichen Konstellationen. Spanne = Differenz Max./Min., Stabw = Standardabweichung

	Spanne Startniveau [μPWS]	Mittel Startniveau [μPWS]	Stabw Startniveau [μPWS]	Gemittelte mittlere Spannen aller Polierstufen [μPWS]	Stabw der mittleren Spannen aller Polierstufen [μPWS]	Gemittelte mittlere Stabw aller Polierstufen [μPWS]
Wh.b Prognoseprü durch Regeneration an denselben PK (in Klammer inkl. Werten, die von >3 Prognosezyklen stammen)	0,018 (0,024)	0,597 (0,595)	0,008 (0,011)	0,015 (0,020)	0,010 (0,014)	0,010 (0,013)
Wh.b Prognoseprü 1 Labor an versch. PK einer Serie	0,021	0,592	0,006	0,014	0,012	0,007
Wh.b Prognoseprü 1 Labor an versch. PK einer Serie (Vergleich der Polierzyklen ab 30.000 Ü)	wie oben	wie oben	wie oben	0,012	0,009	
Vgl.b der Prognosen von 2 Labors an versch. PK einer Serie	0,008	0,598		0,031	0,020	
Vgl.b BK / Labor-SMA-Platten 1 Labor	0,032	0,577		0,004	0,001	

Ergänzend wurden aus Tabelle 41 jene Datensätze bzw. PK extrahiert, an denen die aufeinanderfolgenden Prognosezyklen 1 bis 3 gem. PROGRIP durchgeführt wurden (Tabelle 14). Dabei ist zu erkennen, dass mit zunehmenden Zyklen das Startniveau höher wird, d.h. dass μ_{\max} tatsächlich tendenziell noch (leicht) höher liegt als nach 3 x Strahlen (Zyklus 2). Besonders groß ist der Unterschied zwischen μ_{\max} und dem Startniveau nach 1 x Strahlen (Zyklus 1), der bei etwa 0,03 – 0,05 [μPWS] liegt. Angesichts der ebenfalls tendenziell höheren Streuung bei Zyklus 1 sowie der Bedeutung des Startniveaus in Hinblick auf Vergleichbarkeit, Wiederholbarkeit (im Falle einer Regeneration am selben PK) und besonders auf die folgenden Polierstufen, ist dies ein wichtiger Hinweis, dass lediglich 1 x Strahlen (Zyklus 1) zu keinem optimalen Prognoseergebnis führen könnte. Dies dürfte durch die Auswertungen an den BK der PROGRIP-Strecken zumindest für SMA bestätigt werden (Tabelle 16).

Tabelle 14: Überblick zu den aus Tabelle 41 extrahierten Datensätzen von PK mit aufeinanderfolgenden Prognosezyklen 1 bis 3.

	Zyklus-Nummer	Spanne Startniveau [μ PWS]	Mittel Startniveau [μ PWS]	Stabwn Startniveau [μ PWS]	Gemittelte mittlere Spannen aller Polierstufen [μ PWS]	Stabw der mittleren Spannen aller Polierstufen [μ PWS]	Gemittelte mittlere Stabw aller Polierstufen [μ PWS]
Wh.b Prognoseprü 1 Labor an versch. PK einer Serie	Zy 1	0,025	0,548	0,008	0,018	0,007	0,004
	Zy 2	0,015	0,596	0,002	0,008	0,004	0,003
	Zy 3	0,023	0,602	0,002	0,007	0,002	0,003
Vgl.b der Prognosen von 2 Labors an versch. PK einer Serie	Zy 1	0,028	0,566		0,005		
	Zy 2	0,006	0,597		0,008		
	Zy 3	0,001	0,598		0,010		
Vgl.b BK / Labor-SMA-Platten 1 Labor	Zy 1	0,058	0,551		0,005		
	Zy 2	0,034	0,583		0,003		
	Zy 3	0,004	0,596		0,004		

Parallel zu den Versuchen mit SMA wurden auch verschiedene Serien von WB hergestellt. Neben der Zielsetzung, Textur und Griffigkeitsverlauf von BK einer Neubaustrecke nachzubilden, deren Rezeptur auch für die Labor-PK verwendet wurde, können aus den Griffigkeitsverläufen dieser Labor-PK auch Aussagen zu Wiederhol- und Vergleichbarkeit extrahiert werden. Die entsprechenden Auswertungen sind im Detail in Tabelle 42, Anhang I, angeführt, Tabelle 15 gibt einen Überblick dazu.

Tabelle 15: Überblick zu Wiederhol- (Wh.b.) und Vergleichbarkeiten (Vgl.b.) von Labor-PK aus WB. Die Prognoseprüfungen wurden ohne vorheriges Sandstrahlen durchgeführt. Spanne = Differenz Max./Min., Stabw = Standardabweichung

		Gemittelte mittlere Spannen aller Polierstufen [μ PWS]	Stabw der mittleren Spannen aller Polierstufen [μ PWS]	Gemittelte mittlere Stabw aller Polierstufen [μ PWS]
Alle Polierstufen	Wh.b Prognoseprü 1 Labor an untersch. PK einer Serie	0,016	0,007	0,006
	Vgl.b versch. PK-Serien	0,037		0,016
	Vgl.b BK / Labor-PK	0,028		0,014
Polierstufen ab 30.000Ü	Wh.b Prognoseprü 1 Labor an untersch. PK einer Serie	0,015	0,008	0,006
	Vgl.b versch. PK-Serien	0,032		0,014
	Vgl.b BK / Labor-PK	0,013		0,006

Bei der Evaluierung der Wiederholbarkeit der Prognoseprüfung eines Labors an WB-PK derselben Herstellungsserie (Tabelle 15, Zeile 1 bzw. 4) wurde eine mittlere Spanne aller Polierstufen von 0,016 bzw. 0,015 (ab 30.000 Ü) [μ PWS] ermittelt. Diese liegt auf praktisch gleichem Niveau wie die Resultate vergleichbarer Untersuchungen an SMA-PK (vgl. Tabelle 13, Zeile 2: 0,014 bzw. 0,012 [μ PWS] ab 30.000 Ü).

Die ermittelten Spannweiten der beiden Bauweisen sind zwar wegen unterschiedlichen Startniveaus (SMA nach Sandstrahlen, WB ohne Sandstrahlen) für alle Polierstufen nur bedingt vergleichbar, bez. der Polierstufen ab 30.000 Überrollungen hingegen schon, da sich etwa ab dieser Polierleistung die Griffigkeitsverläufe von gestrahlten und nicht gestrahlten PK synchronisieren (vgl. Ausführungen Kap. 4.5.3.2). Nachdem die statistischen Parameter jenen der SMA-PK sehr ähnlich sind und auch die größte mittlere Spanne aller Polierstufen knapp $< 0,030$ liegt kann für die Beurteilung der Wiederholbarkeit von Prognosen an verschiedenen Labor-PK einer Herstellungsserie analog den SMA-PK eine zulässige Spannweite von 0,035 [μ PWS] empfohlen werden.

In Tabelle 15 wird bei Vergleichen verschiedener Herstellungsserien eine Spanne von 0,037 (bzw. 0,032 ab 30.000 Überrollungen) angegeben. Nachdem die einzelnen Serien bewusst differieren sollten (Anzahl der Übergänge der automatischen Ausbüstvorrichtung sowie unterschiedliche Ausbüstzeitpunkte) überlagern sich „zufällige“ und systemische

Abweichungen, sodass die angegebenen Spannen eindeutig auf der sicheren Seite liegen. Unter Hinzuziehung der Standardabweichung der Spannen aller Polierstufen von 0,015 (alle Polierstufen) bzw. 0,001 (ab 30.000 Überrollungen) ergäbe das maximale Spannen von 0,052 bzw. 0,033 [μ PWS]. Angesichts der gezielten Herstellungsvariationen kann daher in erster Näherung eine zulässige Spannweite von 0,05 [μ PWS] angegeben werden.

Analoges gilt für die Vergleichbarkeit der Labor-PK mit den BK, da es Ziel der bewussten Variationen war, Textur und Griffigkeit der BK möglichst treffend nachzubilden, weil der Ausbürstzeitpunkt der Neubaustrecke nicht bekannt war bzw. auch nicht immer homogen verteilt ist (sein kann). Die ermittelten Spannen liegen zwar geringfügig unterhalb jener für die Vergleiche verschiedener PK-Serien, nachdem grundsätzlich aber von zumindest gleicher Abweichung ausgegangen werden muss wie bei der wiederholten Herstellung von Labor-PK wird als erster Richtwert die gleiche Spannweite empfohlen.

4.5.2.3. Wiederholbarkeit von Messwerten an BK der PROGRIP-Strecken

Ergänzend wurden die vordergründig zur Ableitung der erforderlichen Laborleistung geprüften BK auch zu Vergleichszwecken herangezogen. Analog zu labortechnisch hergestellten PK können die gezogenen BK quasi als von einer Einbaufirma großtechnisch hergestellte Labor-PK angesehen werden, die von einem (anderen) Labor geprüft werden. Demzufolge wurden die nach Ausreißereliminierung gem. Kap. 4.5.3 zur Verfügung stehenden Messdaten aus Tabelle 26 bis Tabelle 39, Anhang I, ebenfalls einfachen statistischen Untersuchungen unterzogen. Die Resultate sind ausführlich in Tabelle 40, Anhang I, sowie als Überblick in Tabelle 16 bzw. Tabelle 17 (gleiche Datengrundlage, aber Auswertung ab Polierstufe 30.000 Überrollungen) dargestellt.

Tabelle 16: Überblick zu den statistischen Auswertungen der bereinigten Messwerte an den BK der PROGRIP-Strecken.

		Spanne Startniveau [μPWS]	Mittel Startniveau [μPWS]	Stabwn Startniveau [μPWS]	Diff Start/ 500Ü [μPWS]	Diff Start/ 30.000Ü [μPWS]	Diff Start/ 180.000Ü [μPWS]	Gemittelte mittlere Spannen aller Polierstufen [μPWS]	Stabw der mittleren Spannen aller Polierstufen [μPWS]	Gemittelte mittlere Stabw aller Polierstufen [μPWS]
Mittelwerte aus allen PROGRIP- Strecken	Zy1	0,059	0,643	0,025	0,059	0,221	0,300	0,041	0,022	0,019
	Zy2	0,058	0,642	0,024	0,069	0,226	0,302	0,035	0,021	0,016
	Zy3	0,051	0,644	0,026	0,074	0,223	0,300	0,032	0,015	0,015
Mittelwerte aus allen SMA- Strecken	Zy1	0,091	0,666	0,046	0,076	0,242	0,324	0,045	0,027	0,024
	Zy2	0,082	0,666	0,036	0,082	0,244	0,321	0,042	0,027	0,021
	Zy3	0,065	0,680	0,037	0,087	0,244	0,327	0,033	0,020	0,017
Mittelwerte aus allen WB- Strecken	Zy1	0,031	0,620	0,013	0,043	0,199	0,276	0,036	0,015	0,015
	Zy2	0,035	0,618	0,014	0,056	0,209	0,284	0,029	0,007	0,012
	Zy3	0,036	0,608	0,018	0,060	0,202	0,273	0,031	0,008	0,014

Tabelle 17: Überblick zu den statistischen Auswertungen der bereinigten Messwerte an den BK der PROGRIP-Strecken ab Polierstufe 30.000 Überrollungen (rot = Veränderungen zu Tabelle 16).

		Spanne Startniveau [μPWS]	Mittel Start-niveau [μPWS]	Stabwn Start-niveau [μPWS]	Diff Start/ 500Ü [μPWS]	Diff Start/ 30.000Ü [μPWS]	Diff Start/ 180.000Ü [μPWS]	Gemittelte mittlere Spannen aller Polierstufen [μPWS]	Stabw der mittleren Spannen aller Polierstufen [μPWS]	Gemittelte mittlere Stabw aller Polierstufen [μPWS]
Mittelwerte aus allen PROGRIP- Strecken	Zy1	0,059	0,643	0,025		0,221	0,300	0,035	0,019	0,017
	Zy2	0,058	0,642	0,024		0,226	0,302	0,029	0,021	0,014
	Zy3	0,051	0,644	0,026		0,223	0,300	0,027	0,016	0,013
Mittelwerte aus allen SMA- Strecken	Zy1	0,091	0,666	0,046		0,242	0,324	0,042	0,022	0,024
	Zy2	0,082	0,666	0,036		0,244	0,321	0,032	0,028	0,019
	Zy3	0,065	0,680	0,037		0,244	0,327	0,031	0,021	0,016
Mittelwerte aus allen WB- Strecken	Zy1	0,031	0,620	0,013		0,199	0,276	0,029	0,010	0,012
	Zy2	0,035	0,618	0,014		0,209	0,284	0,025	0,006	0,010
	Zy3	0,036	0,608	0,018		0,202	0,273	0,024	0,008	0,011

Vom Prinzip ist die Prüfung von BK eines homogenen Streckenabschnitts (entspricht großtechnisch hergestellten PK einer Herstellungsserie) gleichwertig der Prüfung von Labor-PK einer Herstellungsserie (SMA oder WB). Für Zyklus 3 (Prognose nach μ_{\max}) ergibt sich über alle Strecken eine gemittelte mittlere Spanne von 0,032 [μ PWS]. Dieser Wert liegt deutlich über 0,014 aus Tabelle 13, Zeile 2 (Labor-PK aus SMA) und zeigt, dass labortechnisch hergestellte SMA-PK geringere Streuungen der Messwerte hervorrufen als BK aus der Straße, auch wenn diese nach möglichst homogenen Gesichtspunkten (RS-Messwerte, Augenschein) ausgewählt wurden. Analoges kann auch bez. der Labor-PK aus WB ausgesagt werden (0,015, Tabelle 15, Zeile 4). Auch wenn bei diesen keine Strahlvorgänge vor den Polierzyklen durchgeführt wurden, sind die Polierzyklen ab 30.000 Überrollungen mit jenen von SMA-Labor-PK oder BK vergleichbar.

Durch die Untergliederung in Bauweisen und Prognosezyklen erlaubt Tabelle 16 darüber hinaus weitere Differenzierungen:

Die mittlere Spanne der Startniveaus nach Sandstrahlen sowie aller Polierstufen sinkt bei SMA deutlich mit jedem Zyklus und ist somit bei Zyklus 3 mit 0,033 [μ PWS] am niedrigsten und praktisch auf gleichem Niveau wie WB. Der Unterschied der Spannweiten beim Startniveau von SMA-BK fällt besonders hoch aus, auch hier scheint sich aber Zyklus 3 (Prognose nach μ_{\max}) positiv auf die Streuung auszuwirken. Bei WB sind diese Trends nicht zu beobachten, die Streuungen sind rel. konstant auf niedrigerem Niveau um 0,03 – 0,04 [μ PWS].

Weiters fällt -wie bereits erwähnt- auf, dass das mittlere Startniveau bei SMA bei Zyklus 3 am höchsten ist, d.h. dass μ_{\max} tatsächlich höher liegt als nach 1 x Strahlen bei Zyklus 1 bzw. 3 x Strahlen bei Zyklus 2. Dies trifft bei WB nicht zu, hier wird bereits beim 1. Zyklus bzw. 1 x Strahlen tendenziell das höchste Startniveau erreicht. Der Umstand, dass die Streuungsparameter (v.a. Spanne, z.T. auch Standardabweichung) von SMA-BK bei Zyklus 1 am größten sind, deckt sich mit den Beobachtungen an Labor-PK aus SMA (Tabelle 14).

Generell liegt die künstliche Anfangsgriffigkeit nach Strahlen bei SMA (0,67 – 0,68) deutlich über jener von WB (0,61 – 0,62), dafür wird SMA stärker poliert, wie die angeführte Differenzen zwischen Startniveau und verschiedenen Polierstufen zeigen, z.B. nach 180.000 Überrollungen 0,32 – 0,33 bei SMA bzw. 0,27 – 0,28 bei WB. Dies ist allerdings ergänzend zur Bauweise auch ein Effekt der unterschiedlichen Gesteinskörnung, die im Zuge von PROGRIP nicht untersucht wurde.

Analog zur Vorgangsweise bei den Labor-PK (Kap. 4.5.2.2, Tabelle 13 und Tabelle 15) wurden die Auswertungen der BK der PROGRIP-Strecken (aller Polierstufen) um eine Auswertung ergänzt, welche die Streumaße für die Polierstufen erst ab 30.000 Überrollungen berechnet (Tabelle 17). Tatsächlich verringern sich die Streuparameter im Vgl. zu Tabelle 16 (z.B. gemittelte mittlere Spannen von 0,032 auf 0,027), außerdem zeigt sich fast ausnahmslos der Trend (diesmal auch bei WB), dass mit zunehmendem Zyklus die Streumaße geringer werden.

Nachdem sich bei den zu geringerer Streuung neigenden Prognosezyklen 2 und 3 die Spannweiten zu etwa $85\% < 0,05$ [μ PWS] bewegen, wird dieser Wert als Richtwert für eine maximal zulässige mittlere Spannweite aller Polierstufen (ab 30.000 Überrollungen) bei künftigen Prognosen an BK aus der Straße empfohlen.

4.5.2.4. Empfohlene Richtwerte für die Beurteilung der Wiederholbarkeit von Prognoseprüfungen an Labor-PK und BK

Auf Basis sämtlicher durchgeführter Prognoseprüfungen an Labor-PK und an BK der PROGRIP-Strecken werden die in Tabelle 18 angeführten Richtwerte (zulässige Spannweiten) zur Beurteilung der Wiederhol- oder Vergleichbarkeit von Prognosezyklen an Labor-PK und / oder BK aus der Straße empfohlen. Werden Prognosezyklen auf Grund dessen als miteinander vergleichbar eingestuft, dürfen diese gemittelt werden und zur Ableitung erforderlicher Überrollungen oder von μ PWS-Werten herangezogen werden.

Tabelle 18: Empfohlene Richtwerte (zulässige Spannweiten) zur Beurteilung der Wiederhol- oder Vergleichbarkeit von Prognosezyklen an Labor-PK und / oder BK aus der Straße.

Fokus der Griffigkeitsprognose	Bauweise	Voraussetzungen	Maximale mittlere Spanne von μ_{\max} und allen Polierstufen gem. PROGRIP [µPWS]	Maximale mittlere Spanne aller Polierstufen (ab 30.000 Ü) [µPWS]
Regeneration am selben PK	SMA	max. 3 Zyklen nach μ_{\max}	0,025	-
	WB		(0,025)	-
Prüfung gleicher Labor-PK aus einer Herstellungsserie	SMA	max. 3 PK	-	0,035
	WB		-	0,035
Prüfung gleicher BK eines homogenen Streckenabschnittes	SMA	max. 4 PK	-	0,05
	WB		-	0,05
Vergleich von 2 Labors	SMA	Gleichwertigkeit der Maschinen	-	0,05
	WB		-	-
Vergleich BK / Labor-PK	SMA	bekanntes Mischgut	-	0,01
	WB		-	0,05
Vergleich PK aus verschiedenen Serien	SMA		-	-
	WB		-	0,05

Untersuchungen zur Regeneration an WB wurden nicht durchgeführt (daher der Klammerwert). Dennoch kann in erster Näherung die zulässige Spannweite für SMA übernommen werden. Basis für die Argumentation ist der Umstand, dass die generelle Variabilität von WB geringer zu sein scheint als jene von SMA (s. Tabelle 16 und Tabelle 17: Vgl. zw. SMA-BK und WB-BK, v.a. bez. Zyklus 3 = Regeneration nach μ_{\max}). Daher ist davon auszugehen, dass auch die Regenerationsfähigkeit am selben PK nicht schlechter sein wird als bei SMA.

Die Werte in roter Schrift weisen darauf hin, dass sich die verschiedenen Herstellungsserien aus WB in Ausbüstzeitpunkt und Anzahl an automatischen Ausbüstübergängen unterscheiden und daher nur bedingt vergleichen lassen. Die angeführten Werte stellen eher zulässige Spannen auf der sicheren Seite dar.

Ein Vergleich von SMA-PK aus verschiedenen Herstellungsserien konnte nicht durchgeführt werden, da zwischen den Serien maschinentechnische Probleme auftraten (v.a. Drehmomentaufnehmer) sowie die Versuchsbedingungen geändert wurden (Quarzmehlsuspension) und eine Vergleichbarkeit daher unplausibel wäre.

4.5.3. Korrelation Polierbeanspruchung Feld und Labor

4.5.3.1. Parameter der Korrelationen

Um eine Griffigkeitsprognose im Labor zu etablieren, bedarf es der Gegenüberstellung von jenen Laborbeanspruchungen und Verkehrsbelastungen, die beide zur gleichen Griffigkeit an gleichen BK führen. Ziel ist kurzgefasst die Übersetzung von Verkehr (z.B. Kfz) in Labor-Überrollungen mittels PWS.

Die Verkehrsbelastungen beruhen auf Daten der ASFINAG und sind als Richtungsfahrbahn-bezogene Kennwerte für definierte Streckenabschnitte bekannt (<http://www.asfinag.at/unterwegs/dauerzaehlstellen>). Aus diesen wurden für jeden entsprechenden Streckenabschnitt die Zeitverläufe zwischen 2009 und 2014 extrahiert, um auf angenäherte Verkehrsaufkommen seit Verkehrsfreigabe extrapolieren und damit eine realistischere Gesamtsumme berechnen zu können (vgl. JDTV und JDTLV, Tabelle 19).

Tabelle 19: Relevante Verkehrsdaten als Grundlage zur Korrelation mit PWS-Überrollungen.

Strecken-Kürzel	JDTV	JDTLV	Jahres Verkehr bis 2013 [Mio Kfz]	Gesamt-Verkehr bis 2013 [Mio Kfz]	Anzahl Fahrstreifen	Breite Fahrstreifen [m]	Anteil Kfz rechter Fahrstreifen ²² [%]
2	27379	4117	9	90	3	4,92	34
7	25926	3968	14	132	2	5,63	53
29	48214	3416	6	106	4	4,50	31
42	26186	4096	6	57	3	4,08	33
51	19416	3474	9	64	2	5,75	57
63	40234	5024	19	279	3	4,92	29
65	24119	4290	10	88	3	4,92	34
67	28560	4690	1	10	3	4,92	34
67a	28560	4690	1	10	3	4,92	36
68	23174	4038	13	110	3	4,92	34
77	24168	4206	7	62	3	4,92	34
108	17403	3107	15	95	2	5,50	64
109	19951	3632	6	44	2	5,75	59
110	19951	3632	6	44	2	5,75	57

²² Sammer, G., Berger, W.J., Klementsitz, R., Maurer, P.: Entscheidungshilfe für die Mitverwendung von Abstellstreifen für den Fließverkehr. Inst. f. Verkehrswesen, Univ. f. BOKU Wien, 1999. Unveröffentlichter Endbericht. Freundliche Übermittlung durch Dr. Berger.

Die erforderlichen Laborbeanspruchungen an den unbefahrenen BK bis zum Erreichen des Niveaus der Fahrspur wurden entsprechend des festgelegten Prüfprogramms (vgl. Kap. 4.3.2.4) in Form von zumindest 3 aufeinander folgenden Prognosezyklen an jedem BK eruiert. Für jede Strecke wurden (3-) 4 unbefahrene BK diesen Prognosezyklen unterzogen und diese auf Ausreißer geprüft.

Die Definition von Ausreißern in Bezug auf einzelne oder alle Prognosezyklen eines BK basierte auf folgenden Parametern bzw. empirischen Umständen:

- Nachträgliche Identifikation von defekten Maschinenteilen, v.a. Polierrollen, Poliergummis oder Rollenlagern
- Unplausible oder schlecht regressiv erfassbare Messwerte nach nicht erfolgter Messwertaufzeichnung durch Software-Defekt
- Zu hohe oder niedrige Anzahl erforderlicher Überrollungen (um auf Zielwert der jeweiligen Strecke zu kommen) im Vergleich zu den anderen BK: ab 150.000 Überrollungen darf ein Wert nicht 200% des Mittelwertes der anderen BK über- oder 50% unterschreiten. Bei erforderlichen Überrollungen < 150.000 dürfen 300% bzw. 33% nicht über- oder unterschritten werden.
- ungewöhnliches Verhalten eines BK im Vergleich zu den anderen, z.B. Anstieg der erforderlichen Überrollungen mit zunehmender Anzahl an Zyklen bei eindeutig gegenläufigem Verhalten der anderen BK

Sämtliche Messwerte von allen durchgeführten Prognosezyklen aller geprüfter BK aller Strecken sind in Tabelle 26 bis Tabelle 39 in Anhang I dargestellt.

Als Ergebnis dieser Tabellenwerte konnten einerseits einfache statistische Parameter abgeleitet werden (vgl. Kap. 4.5.2.3), andererseits wurden für jeden Prognosezyklus eines jeden BK die erforderlichen Überrollungen ermittelt, die zum Erreichen des Zielniveaus (Fahrspur) notwendig waren. Durch üblicher Weise höchstsignifikante logarithmische Angleichung an die PWS-Messwerte einer Prognosekurve (R^2 meist $>0,99$) ist grundsätzlich eine genaue Interpolation möglich.

Aus den mittleren erforderlichen Überrollungen aus allen BK für jeden Zyklus wurden wiederum Mittelwerte aus den einzelnen Prognosezyklen gebildet, sodass insgesamt 6 Laborparameter (gemittelte erforderliche Überrollungen aus den Zyklen 1, 2, 3, 1-2, 2-3 und 1-3) für Korrelationen mit Verkehrsparametern zur Verfügung standen.

Abb. 24 gibt beispielhaft einen Überblick zur Generierung der 6 korrelierbaren Mittelwerte einer einzigen Strecke. Nach Durchführung dieser Prozedur für alle 14 Strecken könnten diese in entsprechend 6-facher Weise Verkehrsparametern gegenübergestellt werden.

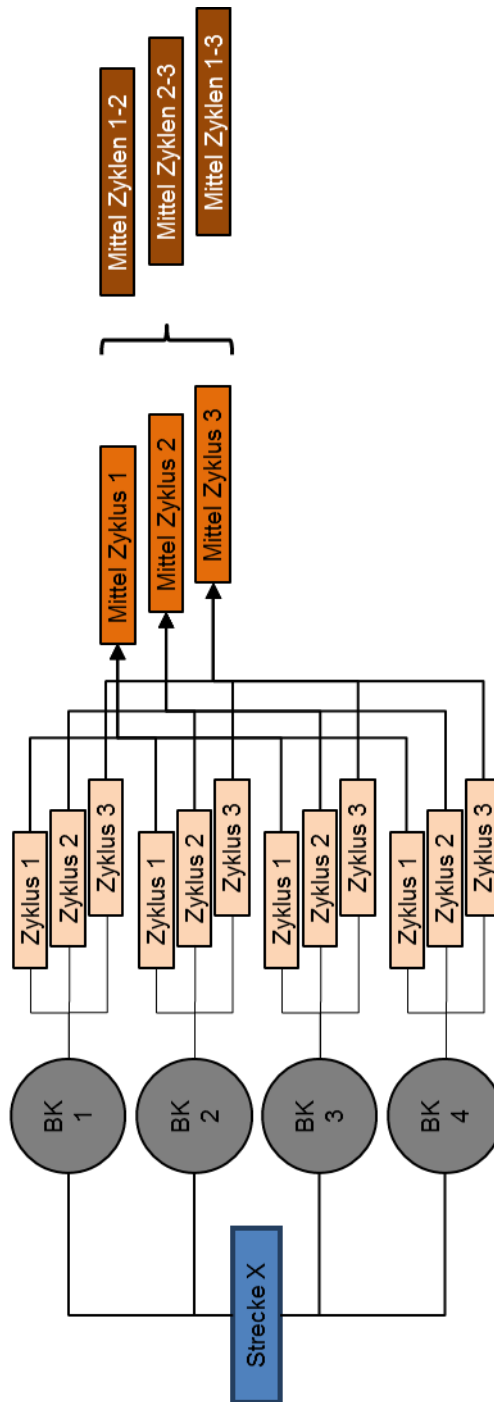


Abb. 24: Fließschema der Prognosezyklen (und den entsprechend ermittelten erforderlichen Überrollungen) von BK einer einzigen Strecke. Die 6 dargestellten Mittel (1, 2, 3, 1-2, 2-3 und 1-3) von allen Strecken werden zur Korrelation mit Verkehrsdaten verwendet.

Die gemittelten erforderlichen Überrollungen je Prognosezyklus zur Erreichung des mittleren Griffigkeitsniveaus der befahrenen BK der entsprechenden Strecken sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Erforderliche Überrollungen mittels PWS bis zum Erreichen der mittleren Griffigkeit der rechten Fahrspur des rechten Fahrstreifens, differenziert nach Prognosezyklen gem. PROGRIP.

Strecken-Kürzel	Mittlere Griffigkeit rechte Fahrspur	Mittel Zyklus 1	Mittel Zyklus 2	Mittel Zyklus 3	Mittel Zyklen 1-3	Mittel Zyklen 1-2	Mittel Zyklen 2-3
2	0,319	147780	167030	159333	158048	157405	163182
7	0,333	263006	165711	149962	192893	214358	157836
29	0,393	46322	31612	27863	35266	38967	29738
42	0,380	56132	33781	25761	38558	44957	29771
51	0,383	60662	44259	87985	64302	52461	66122
63	0,258	592842	764414	880320	745858	678628	822367
65	0,337	318454	312374	288430	306420	315414	300402
67	0,420	10029	35128	36000	27052	22578	35564
67a	0,426	42869	26406	10016	26430	34637	18211
68	0,352	372421	298988	231335	300914	335704	265161
77	0,371	260342	161047	135639	185676	210695	148343
108	0,364	192637	143307	127674	154539	167972	135491
109	0,397	35706	79230	203376	106104	57468	141303
110	0,379	61944	101070	103264	88759	81507	102167

Die Verkehrsparameter aus Tabelle 19 wurden entsprechend der verfügbaren Informationen in verschiedene als relevant erachtete Parameter untergliedert bzw. kombiniert, woraus sich in Gegenüberstellung mit den erforderlichen Überrollungen aus Tabelle 20 eine Korrelationsmatrix aus 144 Korrelationen ergab (Tabelle 21), die in den Abb. 47 bis Abb. 70 in Anhang I dargestellt sind.

Die Verkehrsparameter wurden wie folgt definiert:

- [Gesamt-Kfz bis 2013]: $JDTV * 365 * \text{Anzahl Jahre bis Messung RS 2013}$
- [Gesamt-Kfz bis 2013]_gewichtet um JDTLV/10.000: Gewichtung um JDTLV (=Kfz > 3,5t); die Zahl 10.000 dient der Reduktion auf handhabbare Größenordnungen
- [Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen]: Die Verkehrsstärke am rechten Fahrstreifen hängt besonders von der Anzahl der Fahrstreifen, der gesamten tageszeitlichen Verkehrsstärke sowie von der Nähe zu Rampen ab. Zur

Gewichtung der Verkehrsstärke am rechten Fahrstreifen wurden Faktoren aus Sammer et al. 1999²³ herangezogen.

- [Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen]_gewichtet um JDTLV/10.000: Gewichtung um JDTLV (=Kfz > 3,5t); die Zahl 10.000 dient der Reduktion auf handhabbare Größenordnungen
- [Gesamt-LKW Verkehr bis 2013]: JDTLV (=Kfz > 3,5t) * 365 * Anzahl Jahre bis Messung RS 2013
- [Gesamt-LKW Verkehr bis 2013]_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000: unter Annahme, dass 90% des LKW-Verkehrs am rechten Fahrstreifen fahren, kann der PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen berechnet werden.

²³ Sammer, G., Berger, W.J., Klementsitz, R., Maurer, P.: Entscheidungshilfe für die Mitverwendung von Abstellstreifen für den Fließverkehr. Inst. f. Verkehrswesen, Univ. f. BOKU Wien, 1999. Unveröffentlichter Endbericht. Freundliche Übermittlung durch Dr. Berger.

Tabelle 21: Korrelationsmatrix mit Bezug zu den entsprechenden Diagrammen in Anhang I.

Laborparameter	Verkehrsparameter	Gewichtung aller Verkehrsparameter	Strecken	Abb.
6 verschiedene Zyklen = (gemittelte erforderliche Überrollungen)	Gesamt-Kfz bis 2013	keine Gewichtung	alle außer 29 und 109	Abb. 47
	[Gesamt-Kfz bis 2013]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 48
	Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen			Abb. 49
	[Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 50
	Gesamt-LKW Verkehr bis 2013			Abb. 51
	[Gesamt-LKW Verkehr bis 2013]_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000			Abb. 52
6 verschiedene Zyklen = (gemittelte erforderliche Überrollungen)	Gesamt-Kfz bis 2013	gewichtet um Fahrstreifenbreite	alle außer 29 und 109	Abb. 53
	[Gesamt-Kfz bis 2013]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 54
	Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen			Abb. 55
	[Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 56
	Gesamt-LKW Verkehr bis 2013			Abb. 57
	[Gesamt-LKW Verkehr bis 2013]_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000			Abb. 58
6 verschiedene Zyklen = (gemittelte erforderliche Überrollungen)	Gesamt-Kfz bis 2013	keine Gewichtung	nur 3-streifige Fahrbahnen	Abb. 59
	[Gesamt-Kfz bis 2013]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 60
	Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen			Abb. 61
	[Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 62
	Gesamt-LKW Verkehr bis 2013			Abb. 63
	[Gesamt-LKW Verkehr bis 2013]_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000			Abb. 64
6 verschiedene Zyklen = (gemittelte erforderliche Überrollungen)	Gesamt-Kfz bis 2013	gewichtet um Fahrstreifenbreite	nur 3-streifige Fahrbahnen	Abb. 65
	[Gesamt-Kfz bis 2013]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 66
	Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen			Abb. 67
	[Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen]_gewichtet um JDTLV/10.000			Abb. 68
	Gesamt-LKW Verkehr bis 2013			Abb. 69
	[Gesamt-LKW Verkehr bis 2013]_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000			Abb. 70

4.5.3.2. Beginn der Gültigkeit der Korrelationen

Bei den in den Abb. 47 bis Abb. 70 dargestellten Korrelationen fällt auf, dass zumindest die Regressionsgeraden inkl. Strecke 63 (höchste Gesamtverkehrsbelastung) überwiegend negative d-Werte der linearen Kurvengleichungen aufweisen. Das heißt, dass die Regressionsgeraden die Abszissen bei bereits z.B. einigen Mio Kfz schneiden, was wiederum bedeuten würde, dass eine nicht unbedeutende Verkehrsmenge mit dem Startzustand von Labor-PK nach Sandstrahlen gleichzusetzen ist. Dies ist besonders vor dem Hintergrund unplausibel, da Sandstrahlen zu einem künstlich hohen Startniveau führt, das in keinem Fall mit realen Zuständen nach Einbau vergleichbar ist (Der Hintergrund, warum Sandstrahlen zur Schaffung eines künstlichen Startniveaus etabliert wurde, ist in Kap. 4.3.2 erläutert). Aus diesem Grund ist es auch nicht zulässig, den Nullpunkt als weiteren „Messwert“ in die Regressionen zu integrieren. Folglich ist es notwendig, Überlegungen anzustellen, ob diese Divergenz der Startniveaus erklärbar ist und wie die Plausibilität der Vergleiche Labor-Verkehrssimulation / reale Verkehrsbelastung zu rechtfertigen ist.

Grundsätzlich folgen der rollende Verkehr auf der Straße und die über einen Labor-PK rollenden Polierrollen der PWS den gleichen Mechanismen. Die Zwischenmedien wechseln auf der Straße naturgemäß saisonal, im Jahreszyklus betrachtet erfolgt aber eine immer wieder mit dem Vorjahr in Summe vergleichbare, also in erster Näherung konstante Polierleistung. Somit wären die Zustände auf der Straße prinzipiell auch diesbezüglich mit den konstanten Laborbedingungen (definierter Zustrom an Quarzmehlsuspension) vergleichbar. Somit sollten also beide Mechanismen bzw. Polierkurven (Griffigkeitsverlust auf der Straße und im Labor) harmonische Verläufe aufweisen, die zueinander in Beziehung zu bringen sind.

Betrachtet man nun Verläufe von realen Griffigkeitsentwicklungen auf der Straße (z.B. über regelmäßige RS-Messungen oder auch über Poliersimulation mittel PWS ohne vorherigem Strahlen), so ist nicht selten zu erkennen, dass nach Verkehrsfreigabe bzw. nach Beginn der Polierarbeit im Labor die Griffigkeiten einige Zeit nahezu konstant bleiben oder sogar ansteigen und erst bei weiterer Polierarbeit sinken. Bei Labor-PK hingegen, die sandgestrahlt wurden, lässt sich praktisch ausnahmslos eine nahezu perfekte logarithmische Abnahme ab der ersten Polierstufe beobachten (Schema in Abb. 25).

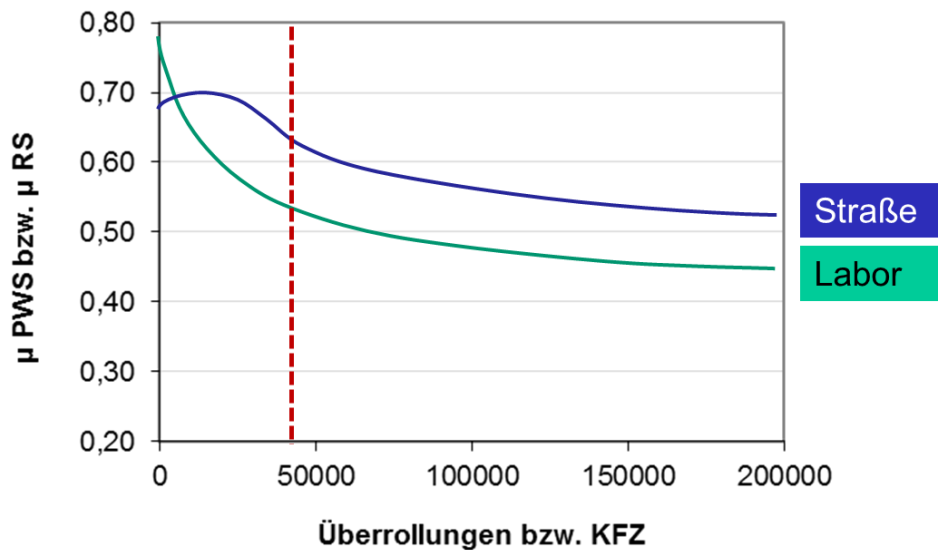


Abb. 25: Schematische Griffigkeitsentwicklung von sandgestrahlten Labor-PK durch Polieren mittels PWS (grün) sowie oftmals nach Verkehrsfreigabe auf der Straße (blau). Die rot strichlierte Linie markiert den Beginn vergleichbaren Verhaltens hinsichtlich des Griffigkeitsverlustes.

Abb. 26 zeigt, dass obiges Phänomen auch an Labor-PK auftreten kann, wenn diese zuvor nicht sandgestrahlt wurden (Zyklus 0). Der am selben PK unmittelbar nach Zyklus 0 durchgeführte Zyklus 1 (1 x Sandstrahlen) weist wieder den üblichen logarithmischen Verlauf auf.

Der einzig relevante Unterschied in den Mechanismen zwischen Griffigkeitsverlusten auf der Straße und jenen im Labor liegt im Startzustand. Im Gegensatz zum sandgestrahlten Labor-PK befindet sich an der Oberfläche der Straßendecke vor Verkehrsfreigabe noch ein Bindemittelfilm (Bitumen oder Zementschlämme), der die Gesteinskörnung bedeckt. Dies führt auf der Straße dazu, dass erst nach einiger Zeit der Verkehrsbeanspruchung die (mit geringem Schlupf) rollenden Reifen in der Lage sind, den Bindemittelfilm sukzessive zu erodieren und so die griffigkeitsrelevante Mikrotextrur der Gesteinskörnung freizulegen. Dies bewirkt zunächst unter Umständen sogar eine Griffigkeitserhöhung, bei weiterem Verkehr beginnt aber die polierende Wirkung der Reifen und damit eine zunehmende Abflachung des mikrotexturellen Reliefs gegenüber der Bindemittelfilmabtragung zu überwiegen, wodurch Griffigkeitsverlust einsetzt. Sobald der griffigkeitsrelevante Bindemittelfilm durch Polierwirkung der Reifen bzw. durch winterliche Verwitterung entfernt wurde, ist der Mechanismus des Griffigkeitsverlustes auf der Straße

mit jenem im Labor vergleichbar. Um diesen Zeitpunkt zu eruieren bedarf es entsprechender Vergleichsuntersuchungen. Exemplarisch sind diesbezüglich in Abb. 27 die Kurvenverläufe von Abb. 26 mit logarithmischer Abszissenskalierung dargestellt. Ein logarithmischer Verlauf wird dadurch linear, was modellhaft bei Zyklus 1 zu beobachten ist, wohingegen Zyklus 0 eine Kurve beschreibt. Diese beginnt erst zwischen 30.000 – 90.000 Überrollungen auf eine Lineare einzuschwenken und etwa die gleiche Steigung wie Zyklus 1 aufzuweisen.

All jene PK, an denen Zyklus 0 und darauffolgende Zyklen nach Sandstrahlen durchgeführt wurden, zeigen meist ab 30.000 Überrollungen lineares Verhalten bei halblogarithmischer Darstellung analog Abb. 27.

Daraus kann gefolgert werden, dass eine regressive Gegenüberstellung von Polierbeanspruchung im Labor und Verkehrsbelastung auf der Straße erst ab ca. 30.000 Überrollungen sinnvoll ist und eine Integration des Nullpunktes als theoretischen gemeinsamen „Messwertes“ nicht zulässig ist.

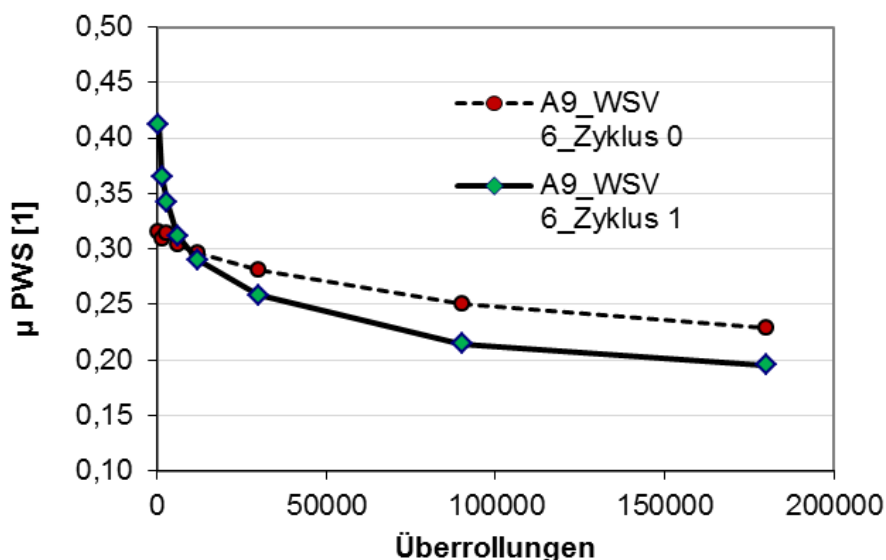


Abb. 26: Vgl. Zyklus 0 (kein Strahlen) / Zyklus 1 (1 x Strahlen) am selben SMA-Labor-PK.

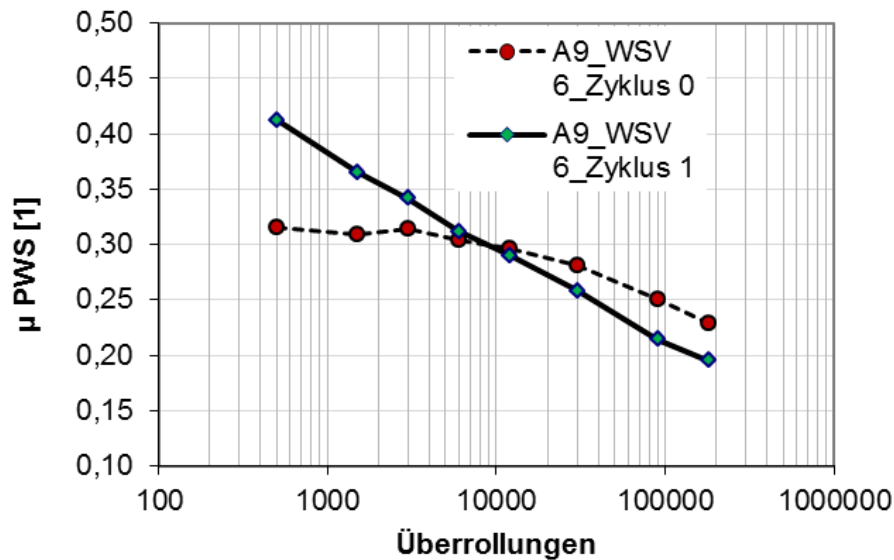


Abb. 27: wie Abb. 26, in logarithmischer Abszissenskalierung.

Werden 30.000 Überrollungen (Mittel aus Zyklen 1-3) dem Gesamt-Kfz gegenübergestellt (Abb. 47 und Abb. 59) so ergibt das aus den Regressionsgeraden ein ungefähres mittleres Verkehrsaufkommen von 10 Mio. Kfz. Die untersuchten Strecken hatten bereits nach 1 Jahr zwischen 6 und 18 Mio. Kfz zu bewältigen, die beiden jüngsten Strecken (67 und 67a) wiesen nach einem Jahr bereits 10 Mio. Kfz auf, können also auch tatsächlich in die Korrelationen einbezogen werden. Vor dem Hintergrund, dass überdies Prognosen vor einem Zeitraum von 3 Jahren bzw. dem Beginn von Übernahmen kaum Sinn haben bzw. nachgefragt werden, ist ein empfohlener Richtwert von mindestens 30.000 Überrollungen für eine plausible Aussage als praktikabel anzusehen.

4.5.3.3. Erklärung zu Ausreißern in Bezug auf die PROGRIP-Strecken

In Ergänzung zur Suche nach Ausreißern innerhalb der einzelnen Strecken (auf dem Niveau einzelner oder aller Prognosezyklen eines BK einer Strecke, vgl. Kap. 4.5.3.1) wurden auch die Strecken selber in Relation zueinander auf Plausibilität geprüft.

Strecke 109 zeigt im Vergleich zu den restlichen Strecken insofern ein ungewöhnliches Verhalten, als mit zunehmenden Zyklen die Griffigkeiten deutlich steigen. Gleichzeitig ist der Unterschied zwischen den Zyklen z.T. extrem hoch (bis Faktor 10 bez. erforderlicher Überrollungen). Obwohl die Regressionsgleichung und das Bestimmtheitsmaß nahezu

unverändert bleiben, wurde Strecke 109 aus oben erwähnten Gründen für die weiteren Korrelationen exkludiert.

Strecke 29 wurde ebenfalls eliminiert, weil im Vergleich zu den anderen Strecken ungewöhnlich wenige Überrollungen einem hohen Verkehrsaufkommen entsprechen (das ca. 2-3-fache des in Relation zu den anderen Strecken Erwartbare). Dies kann einerseits damit in Zusammenhang gebracht werden, dass es sich um die einzige untersuchte 4-streifige Fahrbahn handelt (mit unsicheren Verkehrsstärken je Fahrstreifen besonders angesichts der geringen Distanz zur Wiener Stadtgrenze und damit verbundenen häufigen Fahrstreifenwechseln). Andererseits zweigt in unmittelbarer Nähe ein Verzögerungsstreifen ab, weshalb auch deshalb mit vermehrten Fahrstreifenwechseln auf den 2. Fahrstreifen zu rechnen ist. Diese Überlegungen bzw. die daraus resultierenden besonders unklaren tatsächlichen Verkehrsverhältnisse ließen es plausibel erscheinen, diese Strecke von den weiteren Korrelationen auszunehmen.

Im Folgenden wird unter „alle Strecken“ alle Strecken außer 109 und 29 verstanden.

4.5.3.4. Auswertung und Interpretation der Korrelationen

Beim Vergleich der Korrelationen aller Strecken (im Sinne ohne als Ausreißer definierte Strecken 109 und 29) ohne / mit Gewichtung um Fahrstreifenbreite zeigt sich, dass die Gewichtung bei Gegenüberstellungen mit dem rechten Fahrstreifen (grundsätzlich eher geringe Zusammenhänge) von Vorteil ist, sich ansonsten aber eher indifferent verhält. Bei gleicher Vorgangsweise mit allen 3-streifigen Strecken verhält sich die Gewichtung um die Fahrstreifenbreite sogar leicht kontraproduktiv, wurde demnach also für die gegenständlichen Korrelationen nicht weiterverfolgt.

Beim Vergleich aller Strecken mit den nur 3-streifigen Strecken zeigt sich ein sehr deutliches Bild: die Korrelationen bei den 3-streifigen Fahrbahnen sind nicht nur bedeutend höher, sondern die Steigungen der Regressionsgeraden der Strecken ohne 63 (entferntester Punkt) sind jenen mit 63 wesentlich ähnlicher als bei Gegenüberstellung aller Strecken. Die Punkte der 2-streifigen Strecken liegen im Diagramm relativ weit rechts, was bedeutet, dass die Zielniveaus mit deutlich weniger als zu erwartenden Überrollungen erreicht wurden oder aber dass die zugrunde liegende Kfz-Belastung viel zu hoch ist. Besonders ausgeprägt stellt sich der „Ausreißercharakter“ 2-streifiger Strecken dar, wenn der rechte Fahrstreifen in die Korrelationen integriert wird. Nachdem die BK vom rechten Fahrstreifen stammen, sollte eine Berücksichtigung der relativen

Verkehrsstärke (und auch der Fahrstreifenbreite) die Korrelationen positiv beeinflussen. Der Umstand, dass dem nicht so ist, deutet darauf hin, dass entweder die relativen Verkehrsstärken unzutreffend sind, oder bei 2-streifigen Strecken weitere nicht erfasste Einflüsse wirksam sind. Jedenfalls führt eine Gewichtung um die Fahrstreifenanzahl nicht zum gewünschten Ziel besserer Korrelationen.

Nichtsdestotrotz können auch 2-streifige Strecken über eine Regression sinnvoll erfasst werden, weil alle 2-streifigen Strecken entweder auf oder rechts der Regressionsgeraden aller Strecken liegen. Dies bedeutet, dass bei Prognose der erforderlichen Überrollungen aus bestimmter künftiger Verkehrslast, diese erforderlichen Überrollungen tendenziell zu hoch im Vergleich zu den Erfahrungen der 2-streifigen PROGRIP-Strecken sind. Diese würden somit im Labor tendenziell zu stark poliert werden, wodurch die Prognosen allerdings zumindest auf der sicheren Seite lägen.

Im Vergleich der einzelnen Parameter untereinander zeigt sich bei Gegenüberstellung der Überrollungen mit dem Gesamt-Kfz eine gute Korrelation, unter Berücksichtigung des LKW-Anteils (in Form einfacher Gewichtung) sogar eine geringfügige Verbesserung. Analoges gilt für den Vergleich Kfz am rechten Fahrstreifen mit Gewichtung um LKW-Verkehr. Bei Korrelation aller Strecken ist zudem bei Berücksichtigung des LKW-Anteils die Regressionssteigung ohne Strecke 63 jener mit Strecke 63 ähnlicher, also vertrauenswürdiger. Auch der LKW-Verkehr alleine zeigt gute Zusammenhänge, wodurch ein grundsätzlich signifikanter Einfluss des JDTLV erkennbar wird.

Die Berücksichtigung der Verkehrsstärke des rechten Fahrstreifens führt bei Betrachtung aller Strecken wie oben angeführt durch die 2-streifigen Strecken zu einer überwiegenden Verschlechterung des Zusammenhanges (bei 3-streifigen Strecken indifferent).

Im Vergleich der Einzelzyklen 1, 2 und 3 fällt auf, dass bei allen Gegenüberstellungen die Steigung der Regressionsgerade mit zunehmendem Zyklus ansteigt. Dies ist praktisch zur Gänze darauf zurückzuführen, dass Strecke 63 (weitest entfernter Punkt) mit zunehmendem Zyklus im Vergleich zu den (meisten) anderen Strecken mit hoher Gesamt-Verkehrsbelastung überproportional hohe erforderliche Überrollungen aufweist (das Griffigkeitsniveau steigt leicht). Demnach liegt kein systemischer (alle Strecken betreffender) Grund vor, sondern ist durch die besondere Lage von Strecke 63 im Diagramm bedingt.

Wird Strecke 63 exkludiert, so sinkt die Steigung bei allen Regressionen mit zunehmendem Zyklus. Die Ursache dafür kann nicht mit einem einzigen weit entfernten Punkt begründet werden, sondern damit, dass bei der Mehrzahl der verbliebenen Strecken die Griffigkeitsniveaus tendenziell fallen (besonders bei den älteren) und die Steigung der Regressionsgerade abflachen. Angesichts der insgesamt relativ gleichen Verteilung der Strecken (auch der Bauweisen) bez. Anstieg und Erniedrigung des Griffigkeitsniveaus mit zunehmendem Zyklus kann darin keine Zyklusabhängigkeit erkannt werden.

Die Bestimmtheitsmaße der Zyklen (ohne Strecke 63) sind bei allen Strecken bei Zyklus 1 am besten, bei den 3-streifigen Strecken bei Zyklus 2, auch diesbezüglich ist also kein eindeutiger Trend abzulesen.

Daher hat es Sinn, Kombinationen von Zyklen zu untersuchen. Dabei zeigt sich, dass die gemittelten erforderlichen Überrollungen aus Zyklen 1-3 und 2-3 überwiegend die besten Zusammenhänge mit Verkehrsparametern aufweisen.

Aus den oben angeführten Beobachtungen sowie den Erkenntnissen aus den Auswertungen von Wiederhol- und Vergleichbarkeitsuntersuchungen in Kap. 4.5.2.2 bis 4.5.2.4 (größte Streuungen bei Zyklus 1) werden die folgenden Gegenüberstellungen grundsätzlich bevorzugt:

- Regressionen mit allen Strecken aus Gründen der statistischen Sicherheit (ohne Gewichtung um Fahrstreifenbreite)
- keine Gewichtung um Verkehrsstärke des rechten Fahrstreifens wegen unsicherer Datenlage oder unbekannter anderer Einflüsse (v.a. bei 2-streifigen Strecken)
- Integration des LKW-Verkehrs
- Mittelung von Zyklen 1-3 und 2-3
- möglichst geringe Abweichung der Steigungen der Regressionsgeraden mit / ohne Strecke 63 als Hinweis für die Plausibilität der Lage des am weitesten entfernten Punktes (Strecke 63)
- möglichst hohes Bestimmtheitsmaß der Regressionsgeraden mit und ohne Strecke 63
- d-Wert der linearen Regressionsgeraden (Überrollungen) möglichst gering
- Ähnlichkeit der Regression aller Strecken mit den hochsignifikanten Regressionen der 3-streifigen Strecken

Daraus kristallisieren sich einige Korrelationen heraus, welche die meisten Anforderungen weitgehend erfüllen (besonders Abb. 48, Abb. 60 und Abb. 63). Hervorstechend ist allerdings der Zusammenhang zwischen dem um LKW gewichteten Gesamt-Kfz-Verkehr mit den erforderlichen Überrollungen unter Mittelung der Zyklen 1-3 (s.a. Abb. 28): Einerseits, weil die Regressionssteigungen mit / ohne Strecke 63 praktisch ident sind und andererseits, weil derselbe Zusammenhang bei den nur 3-streifigen Strecken fast gleich ist (vgl. Abb. 29).

Die Korrelation der Mittel aus den Prognosezyklen 2-3 weist eine ähnliche Regression wie jene der Mittelung der Zyklen 1-3 (vgl. Abb. 48) auf, wenngleich der Zusammenhang der Strecken ohne 63 nicht so gut ist und deren Steigung keine so hohe Ähnlichkeit mit jener aller Strecken aufweist.

Aus diesem Grund wird vorerst eine Prognoseprüfung mit allen 3 Zyklen gem. PROGRIP bevorzugt.

Zur Klärung des Einflusses der als Ausreißer klassifizierten Strecken 29 und 109 wurden diese im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse jeweils einzeln und zusammen in die Regression aus Abb. 28 integriert. Die daraus abgeleiteten erforderlichen Überrollungen würden sich demnach nur geringfügig ändern. Tabelle 22 zeigt die relative theoretische mittlere Veränderung Δ [μ PWS] der resultierenden Prognosewerte bei Berücksichtigung der Ausreißerstrecken 29 bzw. 109 in Abhängigkeit von 3 exemplarischen Verkehrsbelastungen, die (auf Basis der untersuchten Strecken) Zeiträumen von 3-15 Jahren entsprechen. Diesen Berechnungen zugrunde liegt eine theoretische mittlere Prognosekurve aus allen Strecken (sowie BK und Zyklen), anhand derer eine Änderung von erforderlichen Überrollungen in eine mittlere Änderung des μ PWS-Wertes übersetzt werden kann. Es zeigt sich, dass nach rund 3 Jahren durchschnittlichem Verkehr bei Berücksichtigung der Ausreißer mit einer Verschiebung des μ PWS-Wertes zw. 0,004 – 0,007 bzw. nach 15 Jahren von 0,002 gerechnet werden muss. Es handelt sich demnach um eine praktisch vernachlässigbare Größenordnung und bestätigt die Stabilität der Regression von Abb. 28.

Tabelle 22: Relative theoretische mittlere Veränderung Δ [μ PWS] der resultierenden Prognosewerte bei Berücksichtigung der Ausreißerstrecken 29 bzw. 109 in Abhängigkeit vom Verkehr. Eine Regression mit Ergänzung nur um Strecke 109 würde keine merkliche Änderung bewirken und wurde daher nicht dargestellt.

Mio Kfz_gew. um JDTLV	Ungefährer entsprechender Zeitraum [Jahre]	Regression Abb. 28	Regression Abb. 28, mit 29		Regression Abb. 28, mit 29 und 109			
		Ü	Ü	Δ Ü [%]	Δ [μ PWS]	Ü	Δ Ü [%]	Δ [μ PWS]
20	3	75250	63384	16	0,007	67115	11	0,004
50	9	155599	143808	8	0,003	146780	6	0,002
100	15	235948	224232	5	0,002	226445	4	0,002

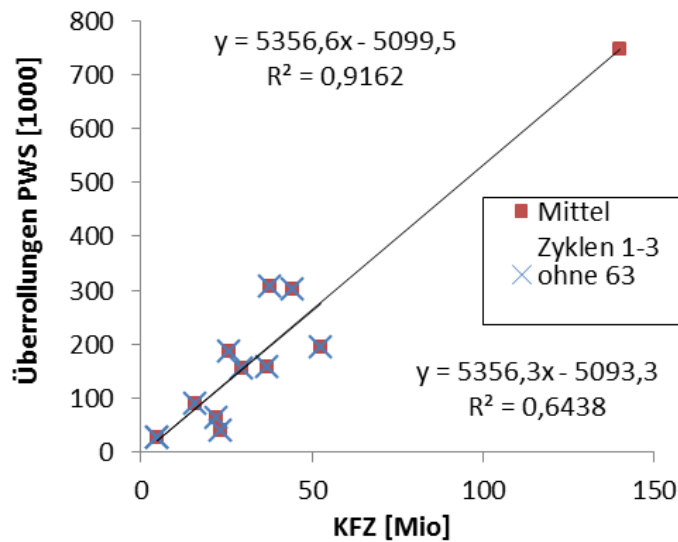


Abb. 28: Korrelation Überrollungen PWS (gemittelte Zyklen 1-3) / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

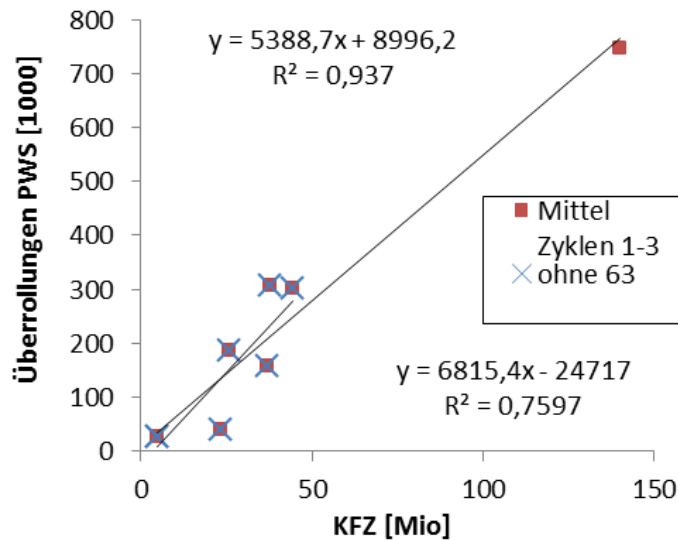


Abb. 29: Korrelation Überrollungen PWS (gemittelte Zyklen 1-3) / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

Für die Regression aller Strecken (ohne Ausreißer 29 und 109) aus Abb. 28 wurden die Konfidenz- und Prognoseintervalle für 95%, 90% und 80% Wahrscheinlichkeit berechnet und graphisch in den Abb. 30 bis Abb. 32 dargestellt.

Für die dargestellten oberen Prognoseintervalle, die für die abzuleitenden erforderlichen Überrollungen relevant sind, lassen sich folgende polynomischen Funktionen ableiten, wobei x = Gesamt-Verkehr gewichtet um JDTLV / 10000 [Mio]:

- (5) bei 95% Prognosewahrscheinlichkeit: $y = 3,21x^2 + 5133x + 113530$
- (6) bei 90% Prognosewahrscheinlichkeit: $y = 2,43x^2 + 5187x + 84713$
- (7) bei 80% Prognosewahrscheinlichkeit: $y = 1,56x^2 + 5248x + 52437$

Je nach gewünschter Vorhersagewahrscheinlichkeit können somit aus den zu erwartenden Verkehrsbelastungen die erforderlichen Labor-Überrollungen abgeleitet werden, mit denen BK oder Labor-PK mittels PWS nach dem Prinzip PROGRIP mit den Zyklen 1 bis 3 zu beanspruchen sind. Die resultierenden μ PWS-Werte werden gemittelt und können dann in μ RS-Werte zur Vorhersage der mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zu erwartenden Straßengriffigkeit übersetzt werden.

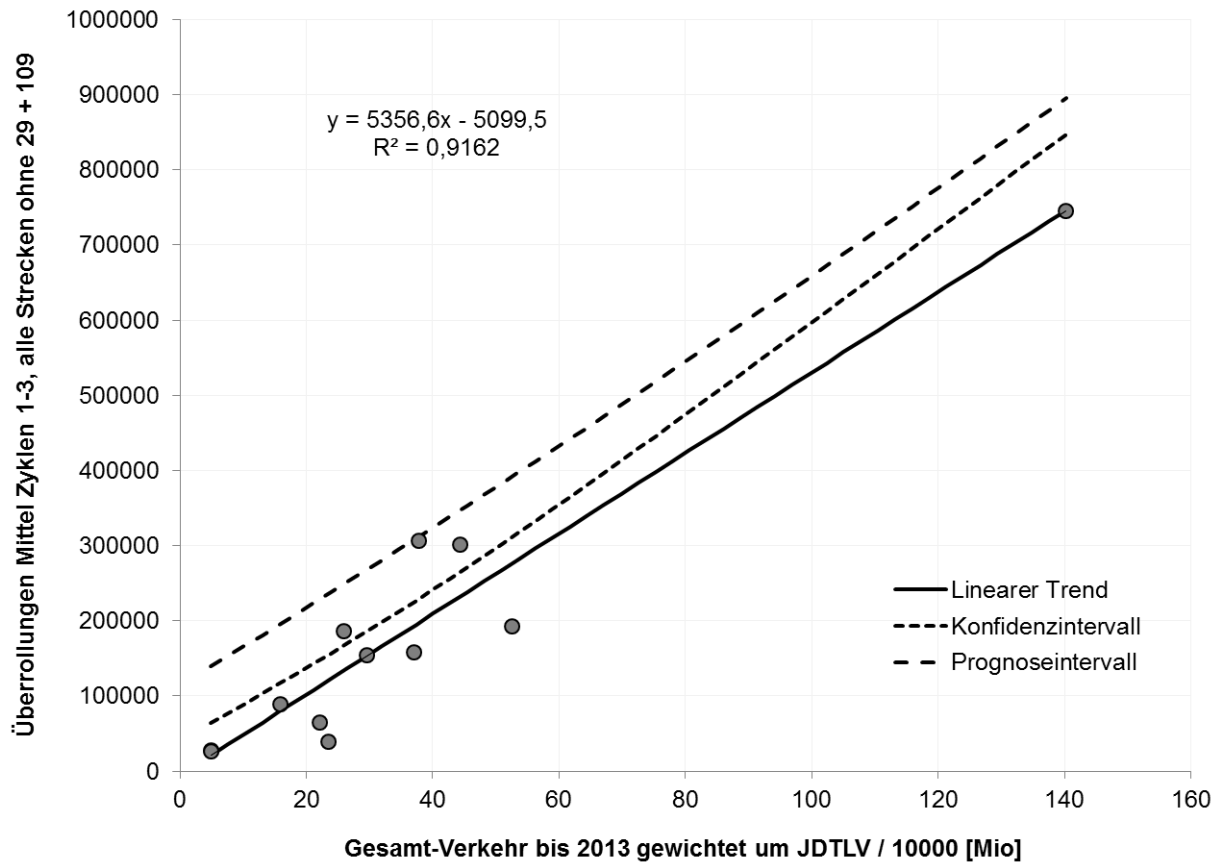


Abb. 30: Regression aller Strecken (ohne Ausreißer 29 und 109) mit oberen 95% Konfidenz- und Prognoseintervallen.

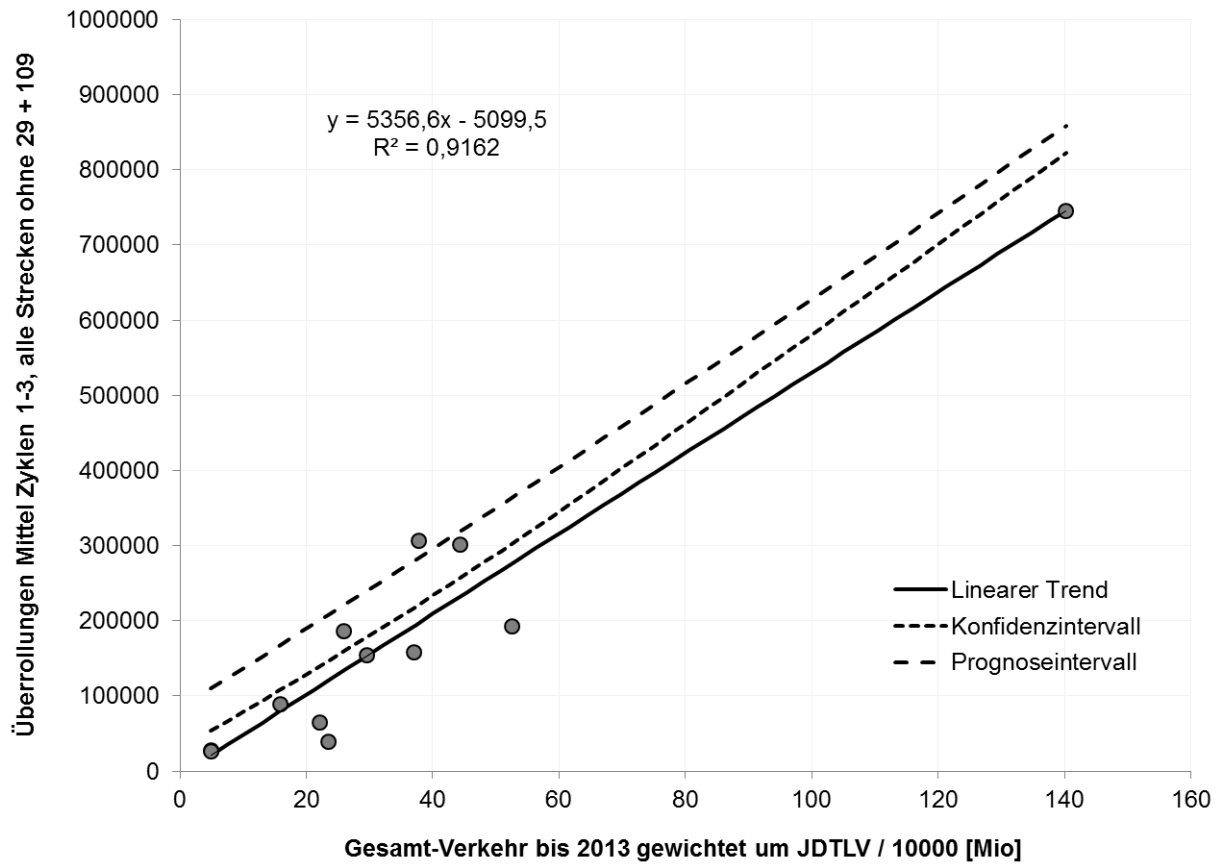


Abb. 31: Regression aller Strecken (ohne Ausreißer 29 und 109) mit oberen 90% Konfidenz- und Prognoseintervallen.

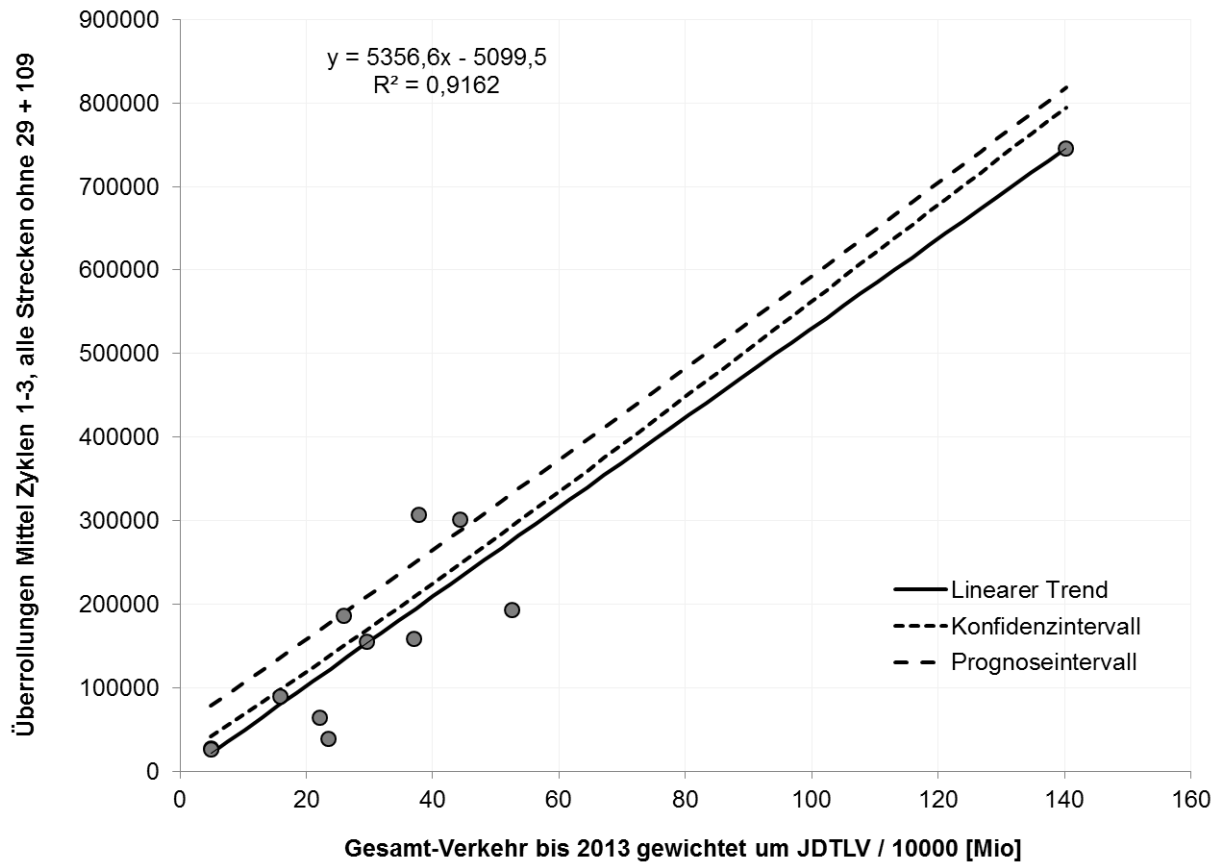


Abb. 32: Regression aller Strecken (ohne Ausreißer 29 und 109) mit oberen 80% Konfidenz- und Prognoseintervallen.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Bis dato existiert keine Möglichkeit, die Griffigkeit einer Asphalt- oder Betonstraßendecke im eingebauten Zustand geschweige denn deren Griffigkeitsveränderung im Laufe der Liegedauer vorauszusagen. Vorgeschriebene Gesteinsprüfungen geben lediglich Hinweise auf das Polierverhalten der Körnung, ignorieren aber sämtliche anderen griffigkeitsrelevanten Einflüsse einer Straßendecke.

Das Projekt PROGRIP zielt darauf ab, sowohl Straßendecken als auch realitätsnahe Labor-Prüfkörper (PK) in ihrer Gesamtheit zu prüfen. Diese Prüfung kann mit einer Prüfanlage nach Wehner / Schulze (PWS) durchgeführt werden, weshalb beide in Österreich existierenden Geräte dafür eingesetzt wurden. Dieses Gerät erlaubt es, Bohrkerne (BK) oder realitätsnahe Labor-PK in Kombination mit Sandstrahleinheiten in definierter Intensität aufzurauen und anschließend durch Überrollungen konischer Polierrollen unter Verwendung einer Quarzmehlsuspension als künstliches Zwischenmittel kontrolliert zu polieren. Nach jeder Beanspruchungsstufe (Aufrauen bzw. Polieren) kann die Griffigkeit [μ PWS] ermittelt werden.

Nach zahlreichen Vorversuchen musste im Rahmen von PROGRIP zunächst ein Prognoseverfahren etabliert werden, mit dem in standardisierter Weise griffigkeitsverändernde Laborbeanspruchungen auf eine Oberfläche appliziert werden können.

Um letztlich plausible Prognosen realisieren zu können, bedarf es der Kalibrierung dieses Verfahrens an realen Verkehrsbelastungen durch Entnahme von Bohrkernen (BK). Zu diesem Zweck wurden nach Vorauswahl auf Basis von RoadSTAR-Messungen insgesamt 14 homogene geradlinige Streckabschnitte des ostösterreichischen A+S-Netzes (Splitt-Mastix-Asphalt SMA und Waschbeton WB) beprobt. Es wurden jeweils 4 BK aus der rechten Fahrspur des rechten Fahrstreifens (befahren) sowie 4 BK aus dem unbefahrenen Bereich (Pannestreifen oder Fahrstreifenmitte) entnommen. An den BK der Fahrspur wurde die aktuelle mittlere Straßengriffigkeit gemessen, die unbefahrenen BK wurden für die Laborbeanspruchungen herangezogen. Ziel war es ursprünglich, die unbefahrenen BK (Pannestreifen) als unbelasteten Ausgangszustand seit Verkehrsfreigabe heranziehen zu können und diese so lange im Labor zu polieren, bis diese das Griffigkeitsniveau des befahrenen Bereiches aufweisen. Dies setzt allerdings die Verfügbarkeit von Pannestreifen gleicher Bauweise wie jene der gewählten befahrenen Streckenabschnitte voraus, was leider nicht gegeben war. Aus diesem Grund

bedurfte es einer modifizierten Vorgangsweise zur Generierung künstlicher vergleichbarer Startniveaus. Diese wurden durch Regeneration mittels unterschiedlicher Sandstrahlintensitäten geschaffen. Besonders hervorzuheben ist die Einführung einer Probe-spezifischen Maximalgriffigkeit μ_{\max} , die unter definierten Geräteparametern nicht überschritten und durch Regeneration zumindest mehrfach hintereinander immer wieder erreicht werden kann. Dies erlaubt es nicht nur, am selben Probekörper mehrfache Prognosezyklen durchzuführen, sondern ermöglichte es v.a. auch, befahrene BK zu regenerieren und damit das Prognosekonzept von PROGRIP weiterhin verfolgen zu können.

Neben der Generierung künstlicher Startniveaus wurde auch eine im Vergleich zur bisher üblichen Vorgangsweise modifizierte Polierleistung in definierten Polierstufen unter Verwendung einer 1:10 verdünnten Quarzmehlsuspension appliziert.

Die Kalibrierung des Laborverfahrens erfolgte schließlich durch Gegenüberstellung von erforderlicher Laborbeanspruchung durch PWS (in Form von Überrollungen nach verschiedenen Sandstrahlintensitäten bis zum Erreichen des Griffigkeitsniveaus der Fahrspur) mit den bekannten Verkehrslasten für jeden Streckenabschnitt.

Durch zahlreiche Korrelationen hat sich herausgestellt, dass der gesamte Verkehr seit Freigabe, gewichtet um den LKW-Verkehr, mit den im Labor erforderlichen Überrollungen mittels PWS den plausibelsten Zusammenhang aufweist (vgl. Abb. 28).

Unter Zugrundelegung einer entsprechend berechneten Prognosewahrscheinlichkeit können nun in Abhängigkeit von der erwarteten Verkehrslast für die gefragte Liegedauer einer bestimmten Straße die erforderlichen Laborüberrollungen mittels PWS nach Sandstrahlen abgeleitet werden. Der daraus resultierende μ_{PWS} -Wert nach Prognoseprüfung gem. PROGRIP repräsentiert die nach gefragter Verkehrsbelastung prognostizierte Labor-Griffigkeit.

Um diese in eine Straßengriffigkeit mit bekanntem Bewertungshintergrund übersetzen zu können, wurden die Reibwerte aller verfügbaren BK mittels PWS gemessen und den aktuellen RoadSTAR-Griffigkeiten der betreffenden Straßenabschnitte gegenübergestellt. Durch entsprechend vertrauenswürdige Regressionen ist es nun erstmals möglich, die im Labor ermittelten Prognosewerte in Straßengriffigkeiten zu übersetzen (vgl. Tabelle 10 bzw. Tabelle 11) und dem existierenden Bewertungsschema entsprechend zu beurteilen.

Die erfolgreiche Kalibrierung der Laborbeanspruchung an realen Verkehrslasten sowie die Korrelation von Labor- und Straßengriffigkeiten im Rahmen von PROGRIP erlaubt es schließlich, Straßengriffigkeiten für bestimmte Mischgüter für beliebige Zeiträume zu prognostizieren, etwa für den Zeitpunkt der Übernahme. Umgekehrt kann auch vorausgesagt werden, ab wann eine bestimmte geforderte Mindestgriffigkeit, z.B. der Warn- oder Schwellenwert unterschritten werden wird.

Durch die Einführung definierter Sandstrahlintensitäten für vergleichbare Startniveaus für die darauffolgenden Polierzyklen, besonders zur Erreichung der Maximalgriffigkeit (μ_{\max}) konnte die Regenerierbarkeit von Oberflächenzuständen in das Prognoseverfahren implementiert werden. Diese Regenerierbarkeit erlaubt es, künftig auch BK aus den Fahrspuren bestehender Straßen zu entnehmen, um etwa die Restlebensdauer hinsichtlich der Griffigkeit abzuschätzen.

Die Möglichkeit der Labor-Prognose an Mischgütern erlaubt es nicht nur, Vorhersagen zu Griffigkeiten nach bestimmten Zeiträumen zu treffen, sondern auch bereits im Stadium der Mischgutkonzeption das Mischgut selber durch Variation von Gesteinskörnung, Hohlraum und Textur hinsichtlich der Griffigkeit optimieren zu können.

Voraussetzung für eine Laborprognose und für eine Mischgutoptimierung ist eine realitätsnahe Nachbildung der zu prognostizierenden Straßendecke im Labor. Durch exemplarischen Vergleich von SMA-BK einer Neubaustrecke mit im Labor durch standardisiertes Walzenverdichtungsgerät hergestellten SMA-Platten des gleichen Mischgutes konnte nachgewiesen werden, dass eine Nachbildung im Labor nicht nur möglich ist, sondern sogar eine hervorragende Vergleichbarkeit aufweisen kann.

Analog wurde bei WB vorgegangen. Es wurden aus einer Neubaustrecke aus WB ebenfalls BK gezogen und im Labor PK unter Verwendung des gleichen Mischgutes hergestellt. Dabei wurden aber einerseits Ausbürstzeitpunkte variiert, andererseits wurde zwischen manuellem und automatischem Ausbürsten verglichen. Es zeigte sich auch bei WB die Möglichkeit, Labor-PK sehr realistisch den tatsächlichen Straßenverhältnissen angleichen zu können. Allerdings bedarf es dafür der Kenntnis des tatsächlichen Ausbürstzeitpunktes auf der künftigen Straße (der dann natürlich auch eingehalten werden müsste).

Zur Klärung der Sensitivitäten bzw. Streuungen der Messergebnisse durch Variationen im Herstellungsprozess bedarf es allerdings noch weiterer umfangreicherer Messreihen, um

vertrauenswürdige Empfehlungen bzw. Vorschriften für die Laborherstellung ableiten zu können.

Derzeit wird auf Basis der untersuchten Strecken im Rahmen von PROGRIP eine Griffigkeitsprognose empfohlen, die am selben PK 3 hintereinander durchzuführende Prognosezyklen nach unterschiedlicher Sandstrahlintensität umfasst. Die statistischen Auswertungen (vgl. Tabelle 14, Tabelle 16 und Tabelle 17) weisen allerdings darauf hin, dass Zyklus 1 die größten Streuungen und damit die geringsten Wiederholbarkeiten zwischen PK einer Herstellungsserie oder BK aus einem homogenen Straßenabschnitt aufweist. Gleichzeitig gibt es Hinweise durch Vergleiche von BK aus einer beprobten Neubaustrecke mit aus demselben Mischgut hergestellten SMA-Platten, dass es bei höherer Beanspruchung durch Sandstrahlen (Zyklus 2 und 3) eine bessere Übereinstimmung gibt (vgl. Abb. 23).

Zukünftig mag es daher ausreichend sein, nur einen Polierzyklus nach Erreichen von μ_{\max} (Zyklus 3 gem. PROGRIP) mit eventueller einfacher Wiederholung durch Regeneration durchzuführen, um verlässliche Ergebnisse zu erhalten. Diese zweifellose Beschleunigung des Verfahrens bedürfte aber weiterer gezielter Serienuntersuchungen. Naheliegender Weise sollten dafür in einer ersten Serie die noch nicht mit Prognosezyklen belasteten befahrenen BK der PROGRIP-Strecken herangezogen werden. Dadurch wäre eine optimale Vergleichbarkeit zu den bisherigen Untersuchungen gewährleistet und gleichzeitig der aufwändige Prozess der Selektion geeigneter Strecken sowie der BK-Entnahme auf Autobahnen überflüssig.

Aus Sicht der Autoren stellen die Ergebnisse von PROGRIP einen ersten wichtigen Schritt zur Prognose von Griffigkeiten auf (österreichischen) Autobahnen dar. Die Ausweitung von Messungen, aber auch von Vorhersagemodellen auf Kurven, Steigungen oder Rampen bzw. sonstige Verkehrsflächen wäre der konsequente und machbare nächste Schritt.

6. ANHANG I

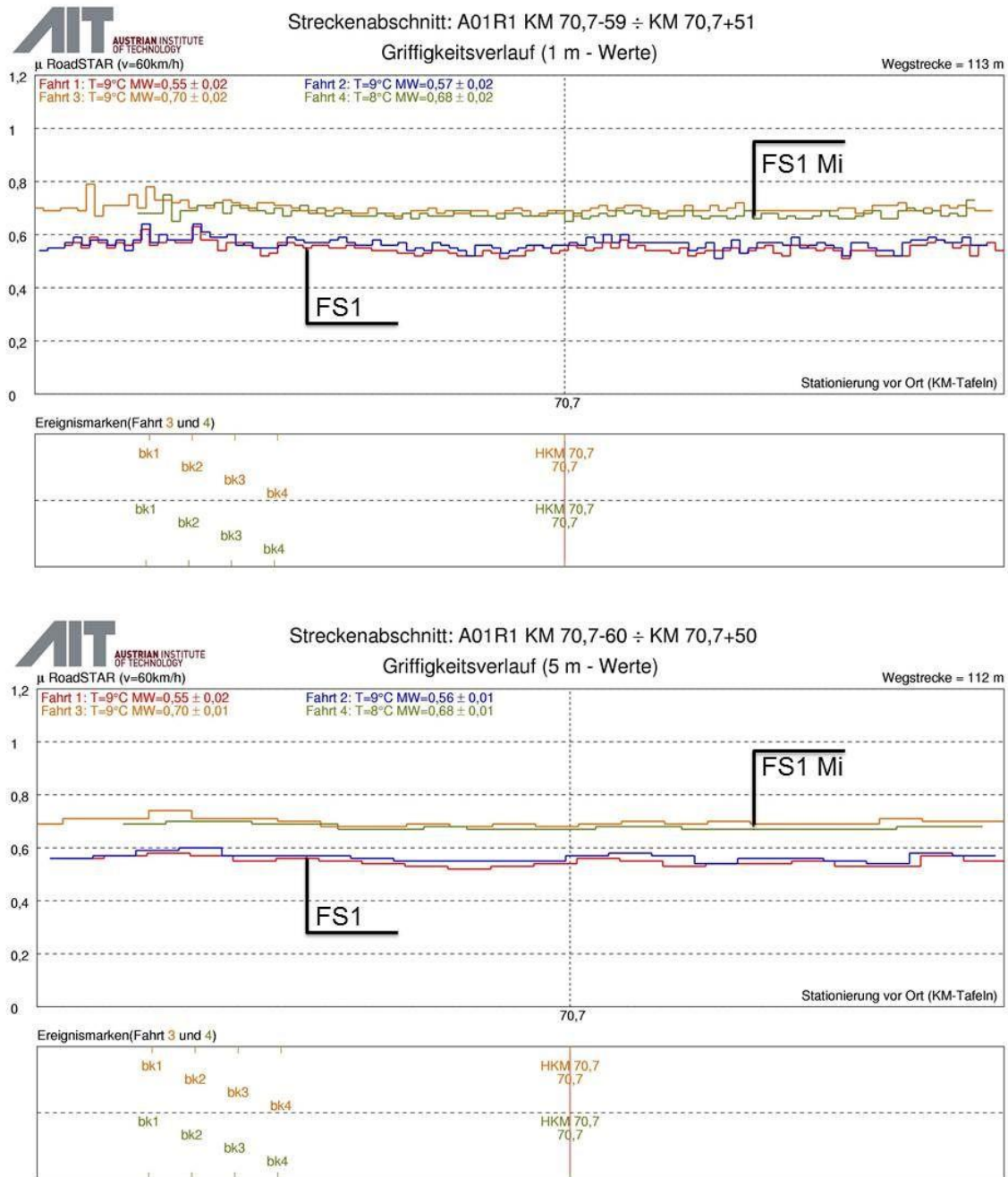


Abb. 33: Strecke 2, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkerntnahmen)

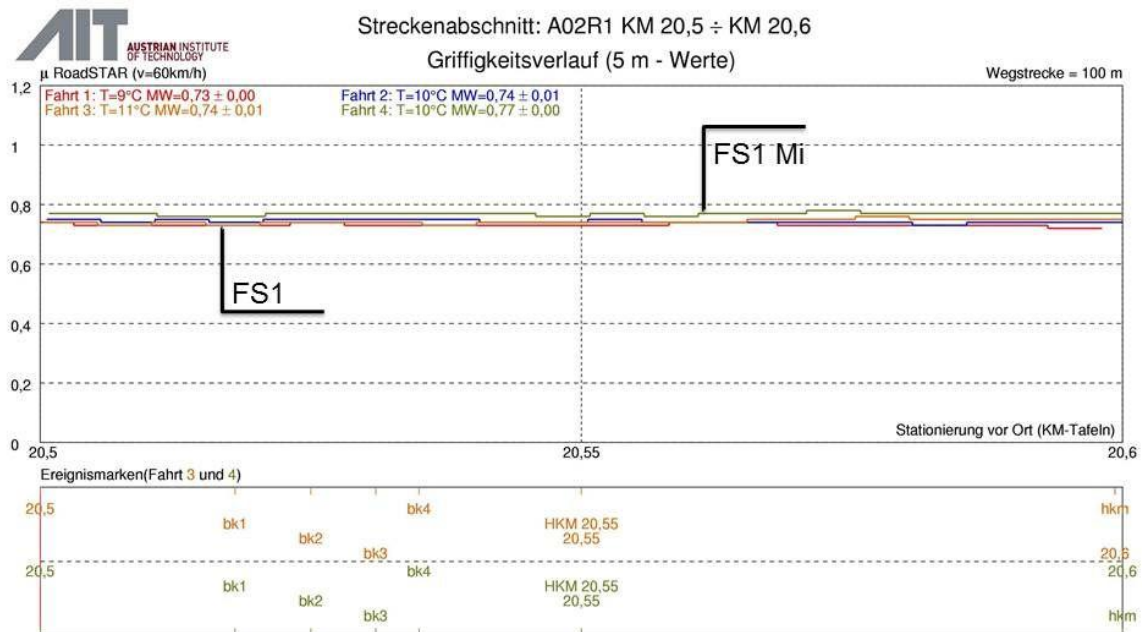
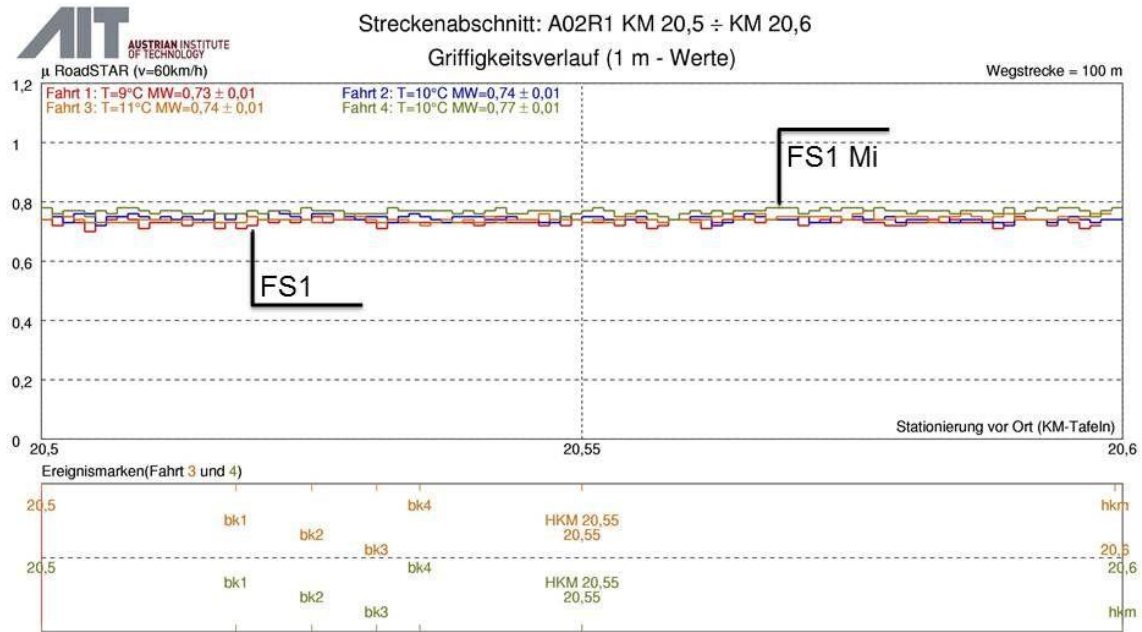


Abb. 35: Strecke 29, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

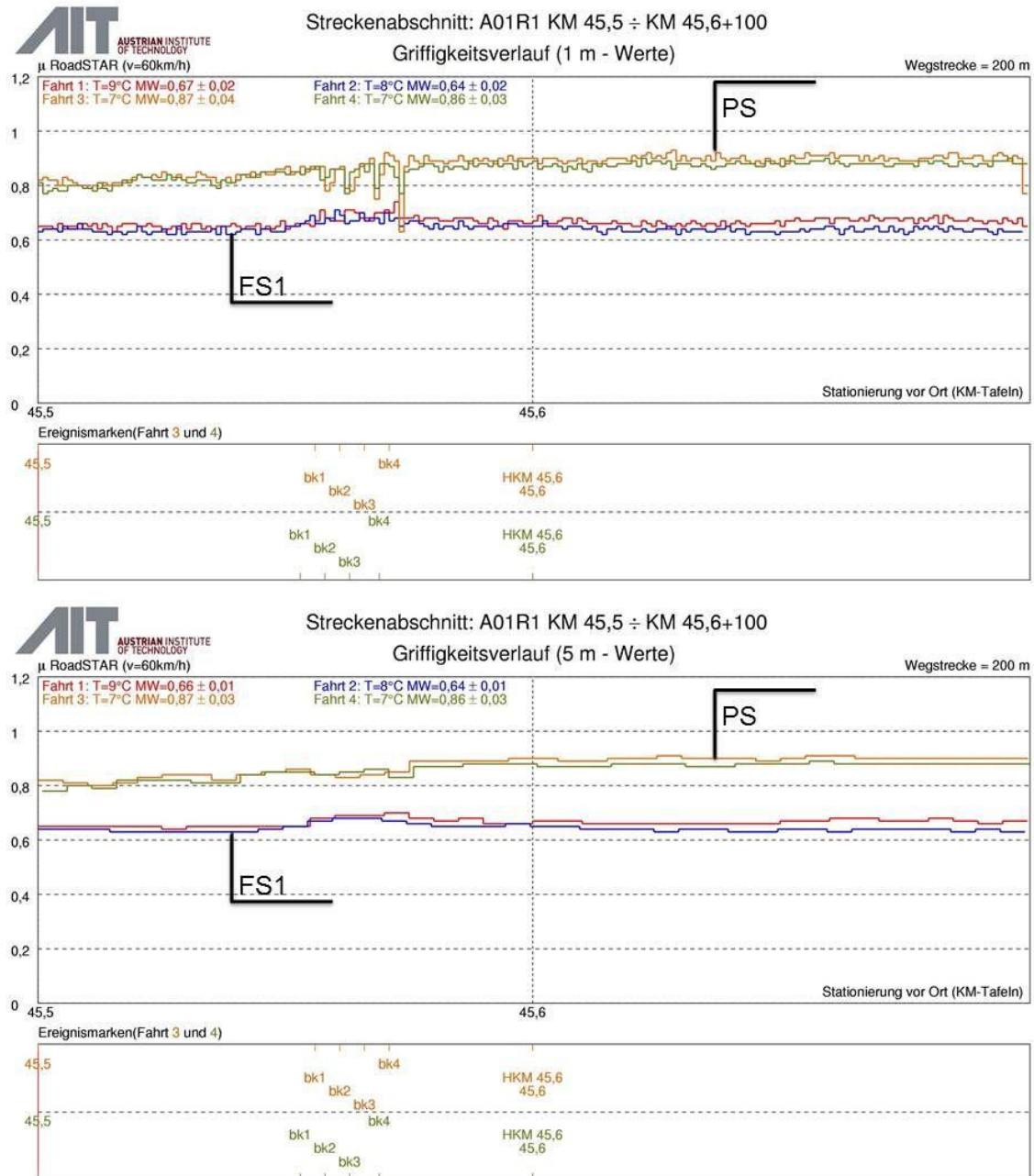


Abb. 36: Strecke 42, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

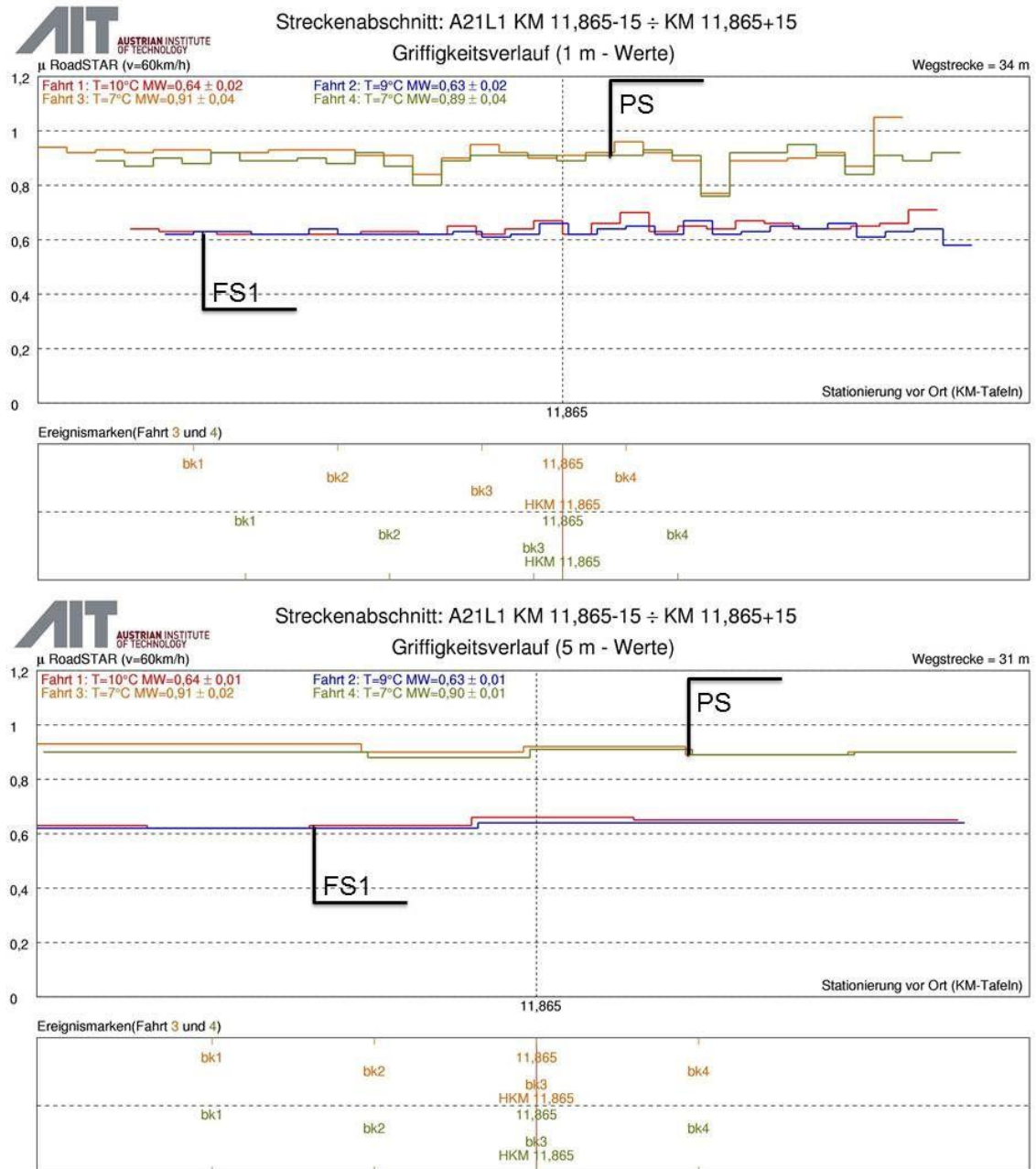


Abb. 37: Strecke 51, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

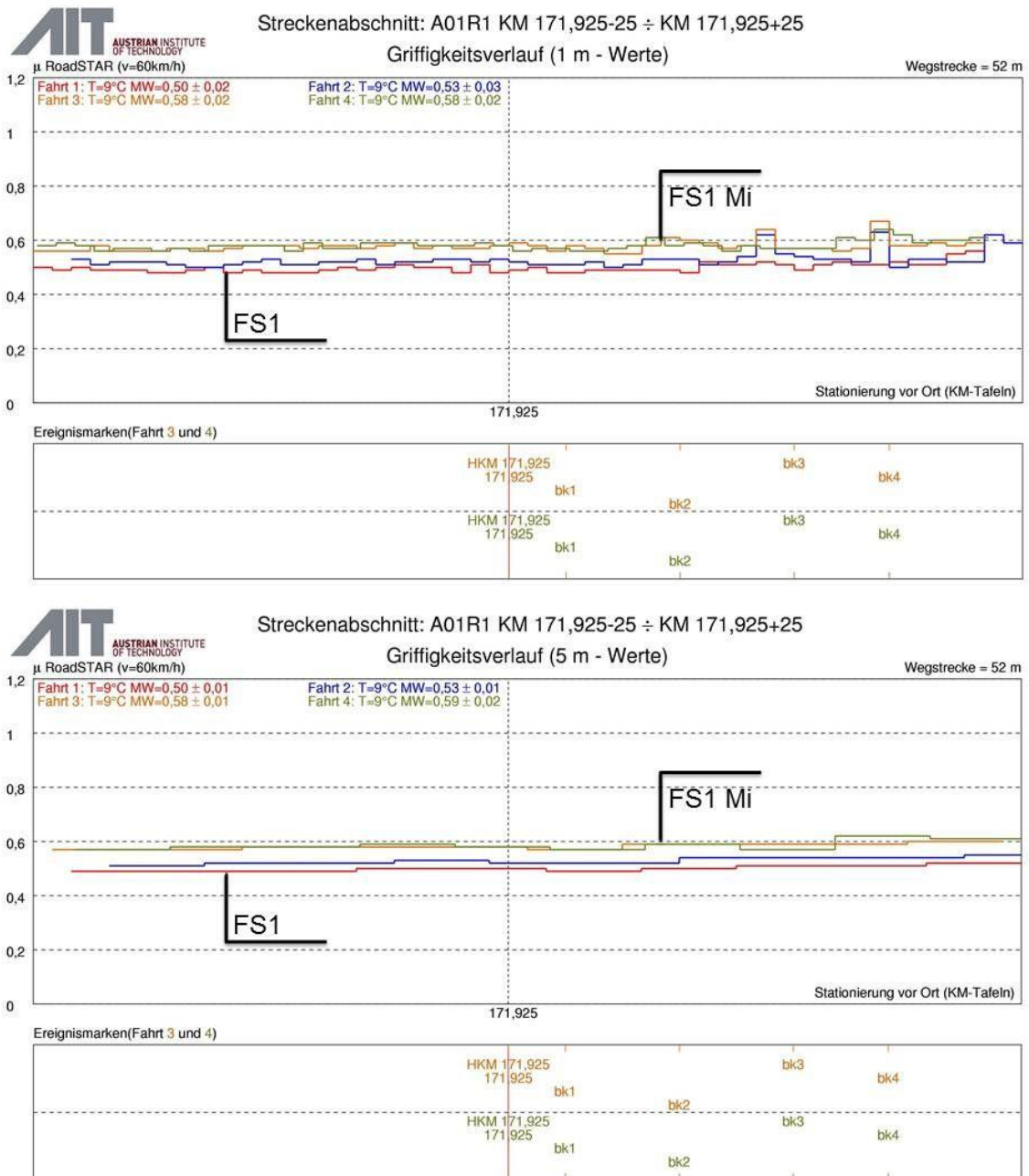


Abb. 38: Strecke 63, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

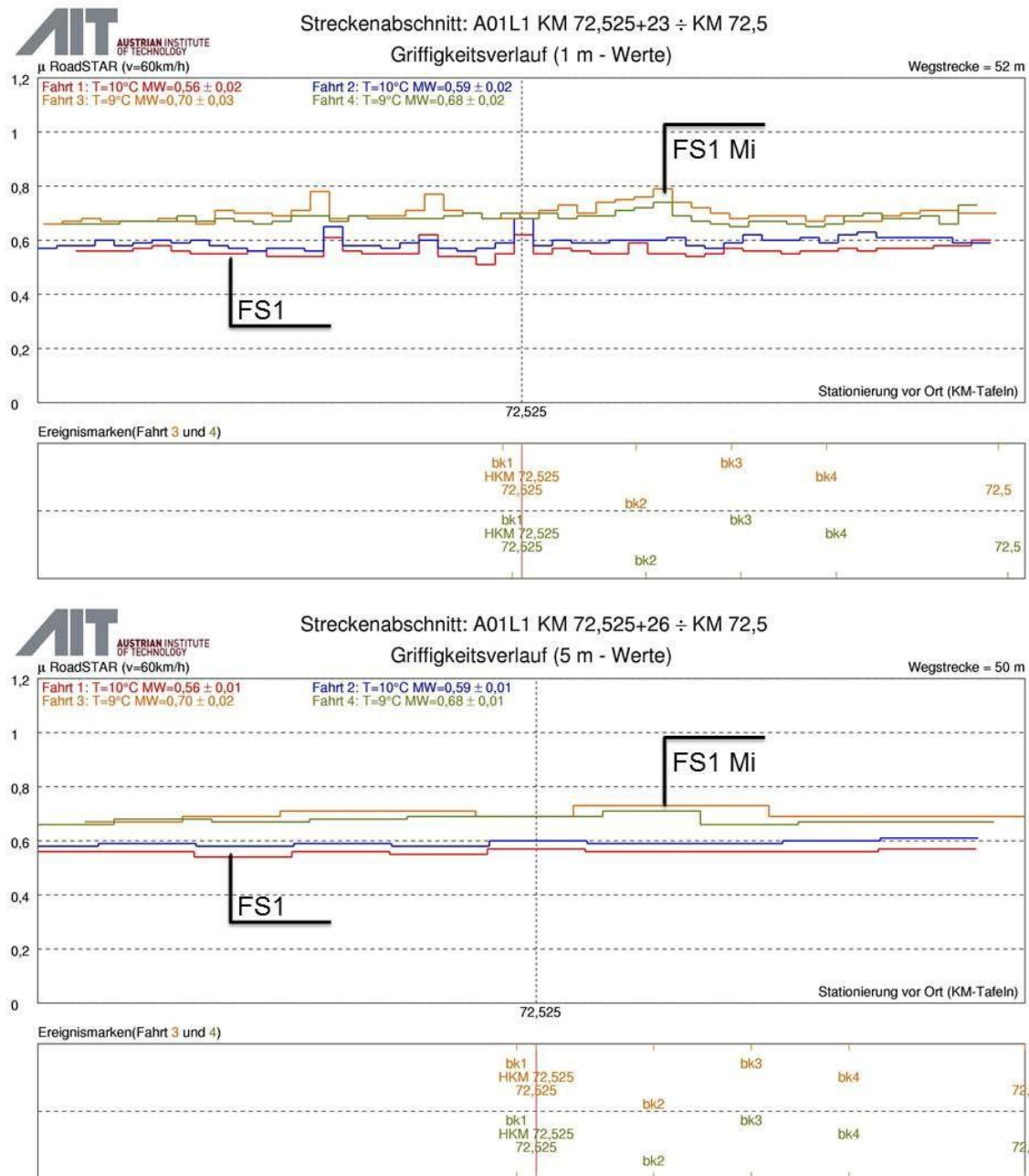


Abb. 39: Strecke 65, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

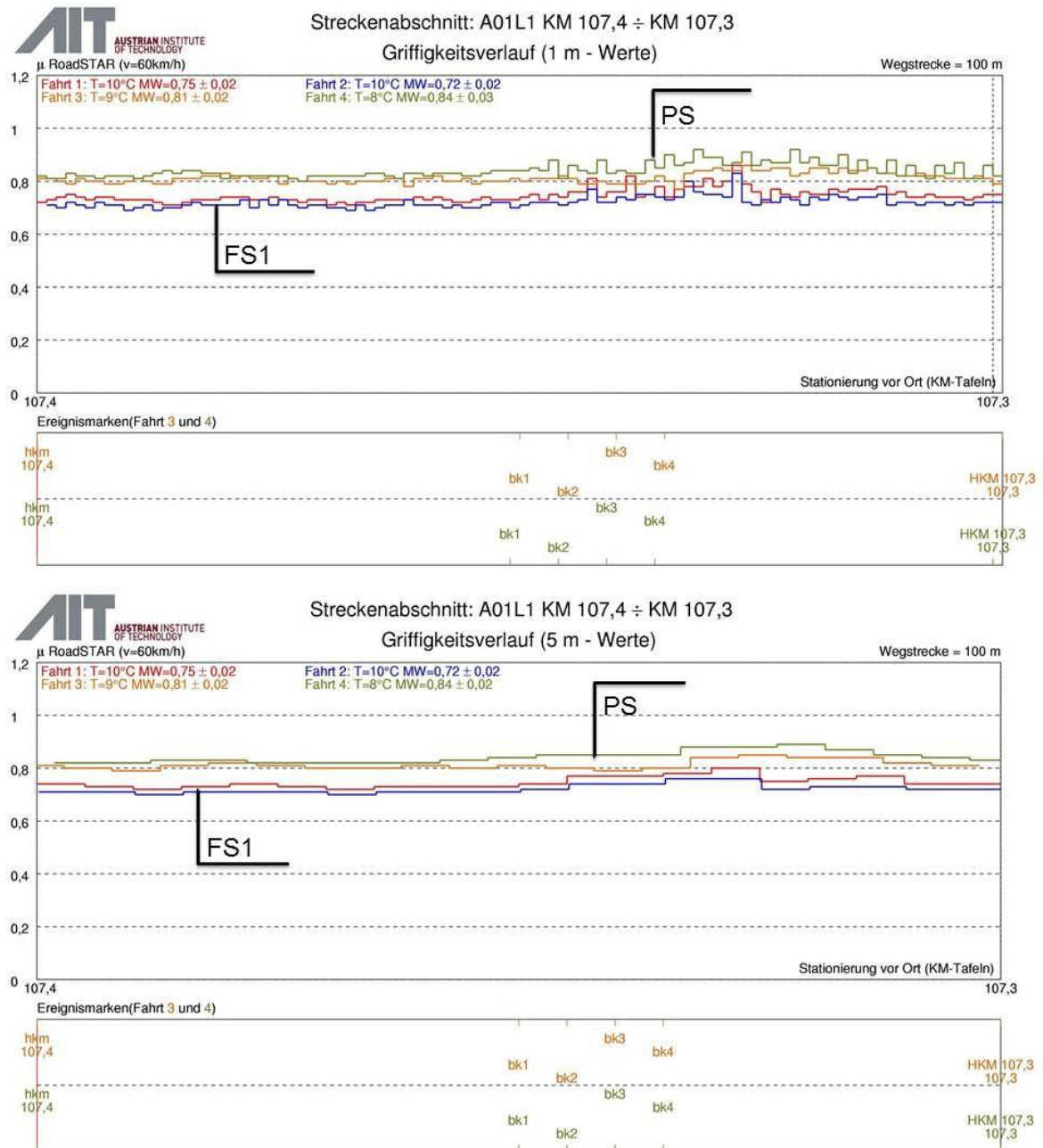


Abb. 40: Strecke 67, Darstellung beider RS-Messungen [μRS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

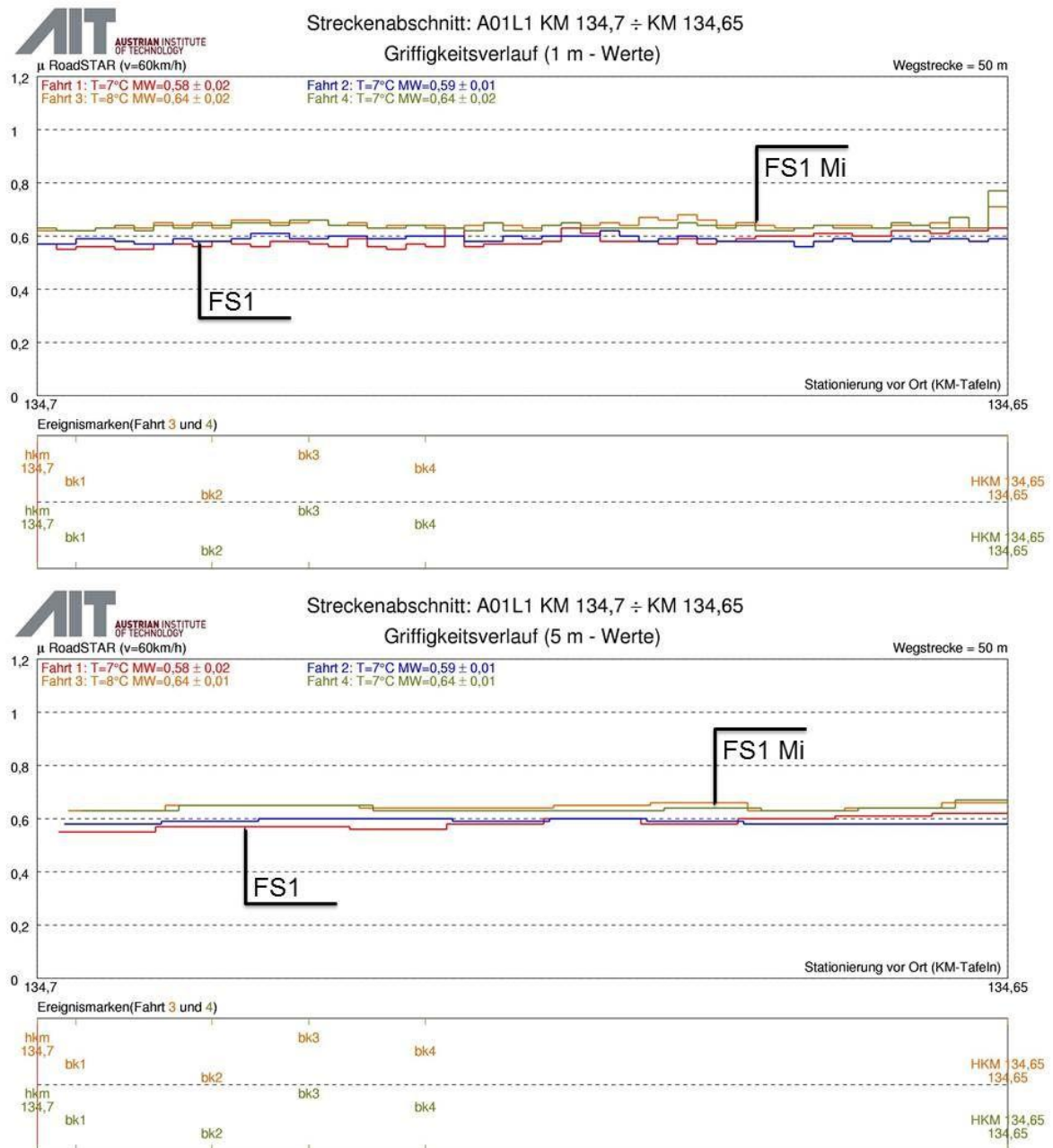


Abb. 42: Strecke 68, Darstellung beider RS-Messungen [μRS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

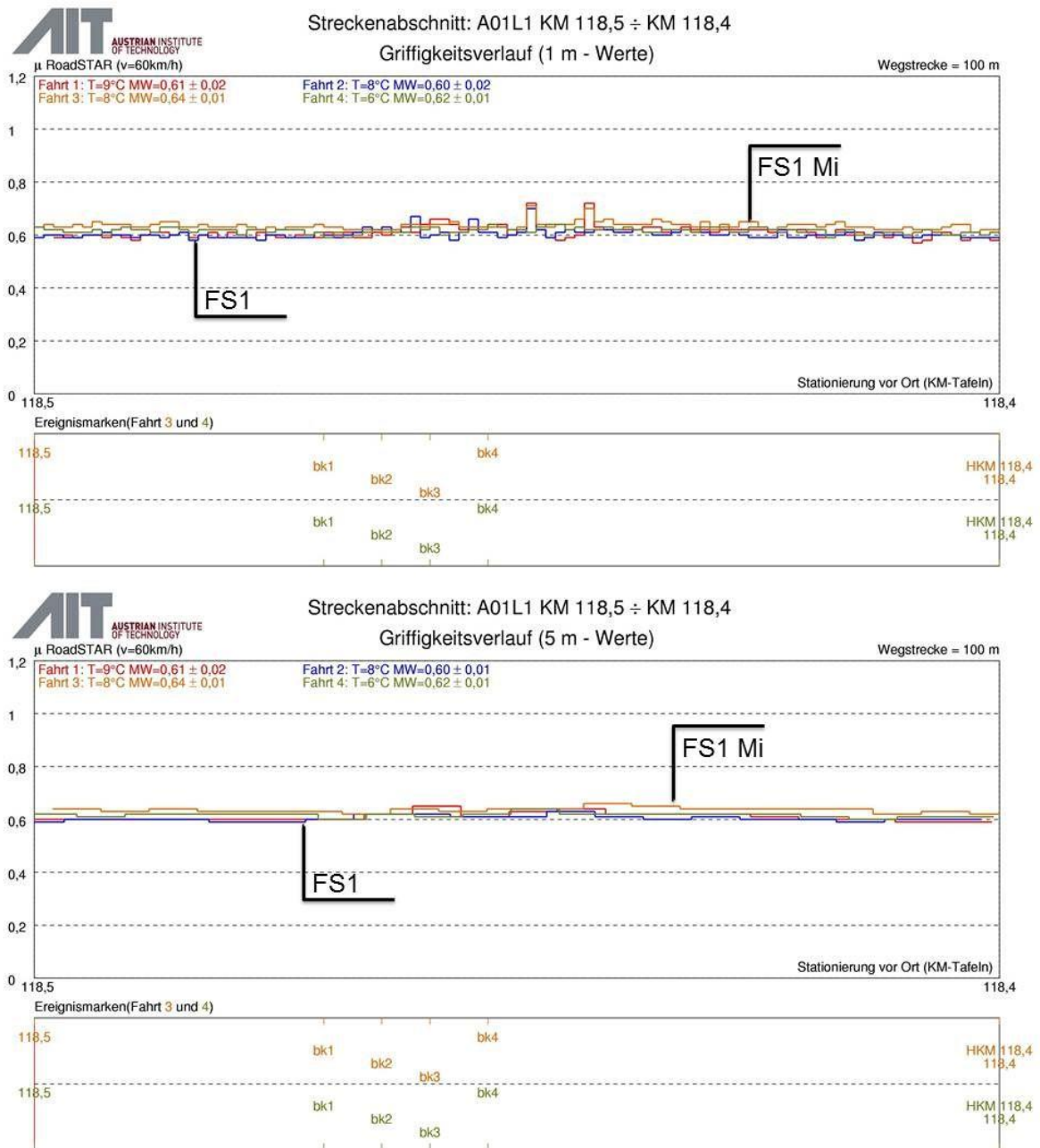


Abb. 43: Strecke 77, Darstellung beider RS-Messungen [μRS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

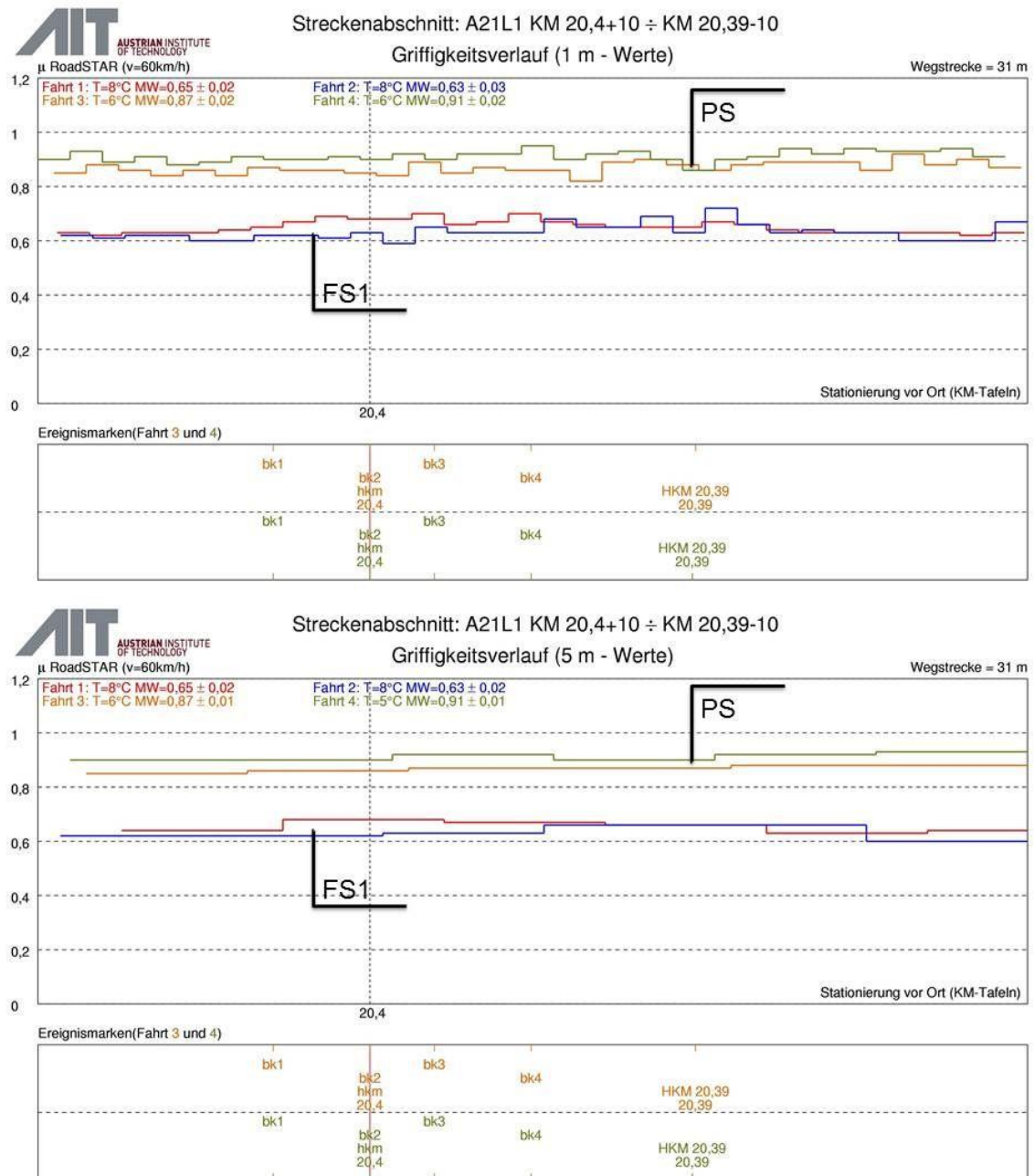


Abb. 44: Strecke 108, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

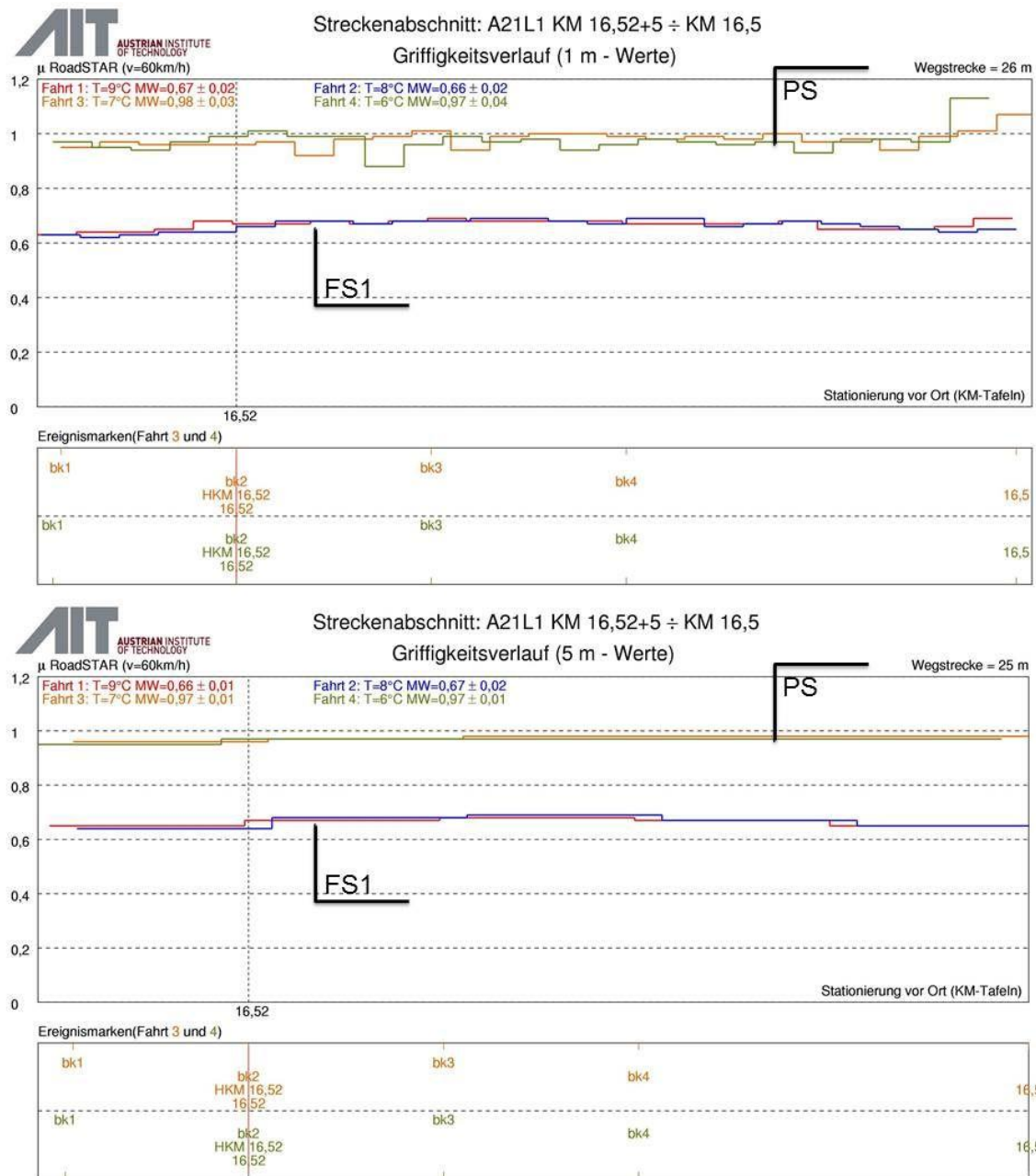


Abb. 45: Strecke 109, Darstellung beider RS-Messungen [μ RS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

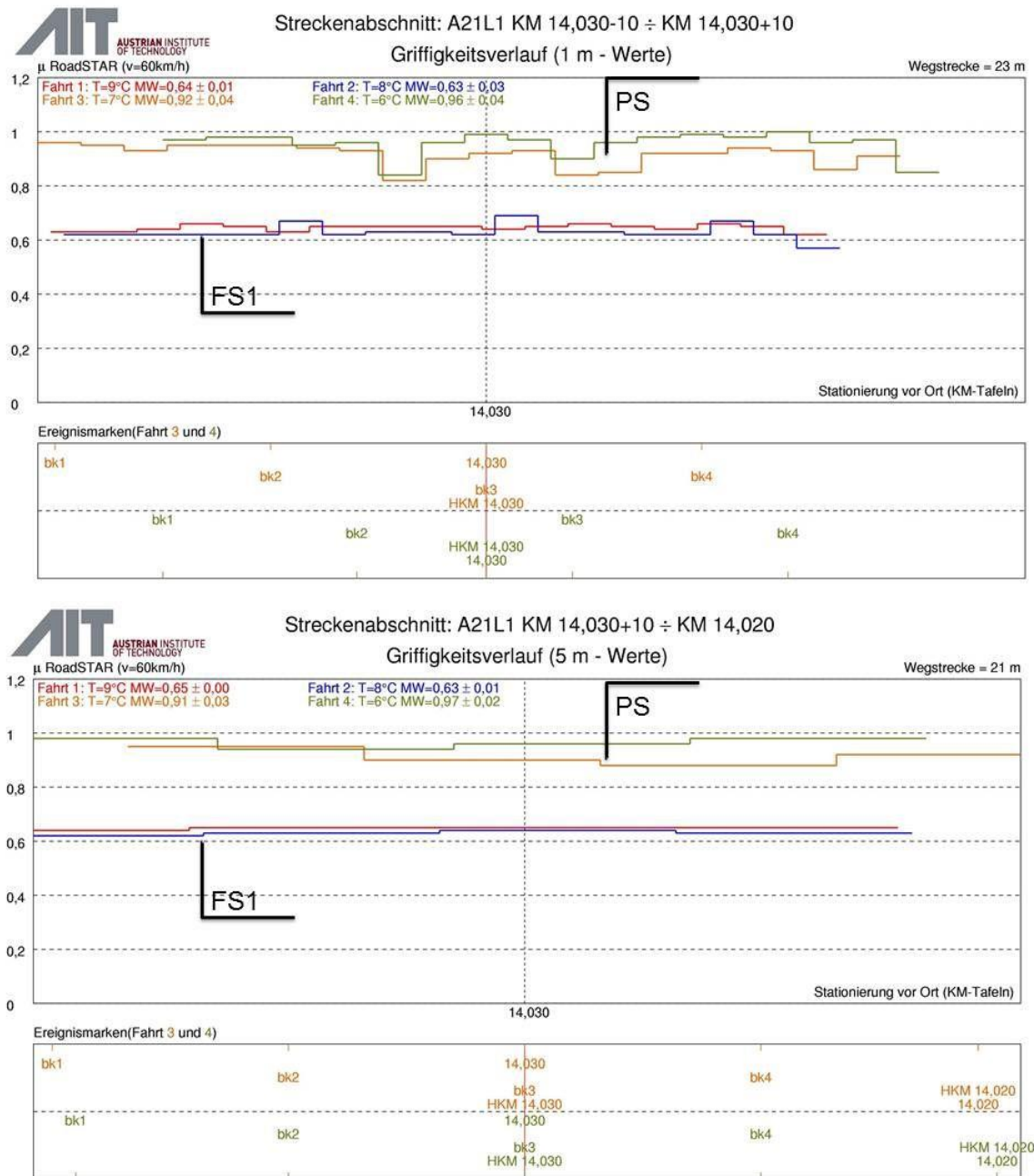


Abb. 46: Strecke 110, Darstellung beider RS-Messungen [μRS] im Verlauf des Streckenabschnitts, jeweils als 1m-Werte (oben) und als 5m-Werte (unten). (PS = Pannestreifen, FS1 = rechter Fahrstreifen, FS1 Mi = Mitte rechter Fahrstreifen, bk1 bis bk 4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

Tabelle 23: PWS-Messwerte (1.- 3. Prüfung) sämtlicher BK aus der Fahrspur. Die Messwerte in roter Schrift markieren Ausreißer der 1. Prüfung, die von der Mittelwertbildung ausgeschlossen wurden.

	2-1	2-2	2-3	2-4	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,327	0,326	0,317	0,304	0,319	0,022	0,011	3,3		
2. Prüfung	0,307	0,308	0,302	0,285	0,301	0,023	0,011	3,6		
3. Prüfung	0,299	0,302	0,294	0,278	0,293	0,023	0,010	3,5		

	7-1	7-2	7-3	7-4	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,339	0,320	0,325	0,346	0,333	0,025	0,012	3,6		
2. Prüfung	0,326	0,311	0,313	0,329	0,320	0,018	0,009	2,8		
3. Prüfung	0,319	0,305	0,305	0,322	0,313	0,016	0,009	2,8		

	29-1	29-2	29-3	29-4	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,389	0,399	0,397	0,385	0,393	0,013	0,006	1,6		
2. Prüfung	0,370	0,379	0,374	0,367	0,373	0,013	0,005	1,5		
3. Prüfung	0,360	0,369	0,363	0,355	0,362	0,014	0,006	1,6		

	42-1	42-2	42-3	42-4	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,382	0,368	0,379	0,379	0,377	0,014	0,006	1,7	0,380	Dean-Dixon
2. Prüfung	0,366	0,352	0,368	0,357	0,361	0,017	0,008	2,2		
3. Prüfung	0,356	0,341	0,358	0,345	0,350	0,018	0,009	2,4		

	51-1	51-2	51-3	51-4	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,375	0,382	0,390	0,384	0,383	0,015	0,006	1,6		
2. Prüfung	0,355	0,360	0,368	0,366	0,362	0,013	0,006	1,7		
3. Prüfung	0,343	0,349	0,357	0,360	0,352	0,018	0,008	2,3		

	63-1	63-2	63-3	63-4	63-5	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,252	0,258	0,256	0,255	0,268	0,258	0,007	0,006	2,4		
2. Prüfung	0,245	0,250	0,246	0,247	0,258	0,249	0,005	0,005	2,2		
3. Prüfung	0,242	0,244	0,242	0,242	0,253	0,245	0,002	0,005	2,0		

	65-1	65-2	65-3	65-4	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,335	0,347	0,334	0,330	0,337	0,017	0,007	2,2		
2. Prüfung	0,322	0,333	0,320	0,317	0,323	0,016	0,007	2,2		
3. Prüfung	0,316	0,325	0,314	0,309	0,316	0,016	0,007	2,1		

	67-1	67-2	67-3	67-4									
1. Prüfung	0,412	0,420	0,427	0,420	Mittel	0,420	0,015	0,006	1,5				
2. Prüfung	0,393	0,401	0,406	0,402						0,400	0,013	0,006	1,4
3. Prüfung	0,384	0,388	0,393	0,390						0,389	0,009	0,004	0,9

	67a-1	67a-2	67a-3	67a-4									
1. Prüfung	0,439	0,429	0,412	0,423	Mittel	0,426	0,026	0,011	2,6				
2. Prüfung	0,418	0,408	0,396	0,402						0,406	0,023	0,010	2,4
3. Prüfung	0,405	0,395	0,384	0,389						0,393	0,021	0,009	2,4

	68-1	68-2	68-3	68-4									
1. Prüfung	0,347	0,355	0,350	0,356	Mittel	0,352	0,009	0,004	1,2				
2. Prüfung	0,335	0,338	0,340	0,343						0,339	0,007	0,003	0,9
3. Prüfung	0,330	0,333	0,335	0,336						0,333	0,006	0,003	0,8

	77-1	77-2	77-3	77-4									
1. Prüfung	0,353	0,364	0,385	0,383	Mittel	0,371	0,033	0,016	4,2				
2. Prüfung	0,339	0,343	0,368	0,366						0,354	0,029	0,015	4,2
3. Prüfung	0,330	0,332	0,359	0,359						0,345	0,029	0,016	4,7

	108-1	108-2	108-3	108-4									
1. Prüfung	0,340	0,382	0,363	0,371	Mittel	0,364	0,042	0,018	4,9				
2. Prüfung	0,321	0,359	0,343	0,352						0,344	0,038	0,017	4,8
3. Prüfung	0,312	0,341	0,336	0,341						0,332	0,029	0,014	4,1

	109-1	109-2	109-3	109-4									
1. Prüfung	0,405	0,388	0,391	0,403	Mittel	0,397	0,018	0,009	2,2				
2. Prüfung	0,382	0,366	0,371	0,380						0,375	0,016	0,008	2,0
3. Prüfung	0,370	0,355	0,359	0,369						0,363	0,015	0,007	2,0

	110-1	110-2	110-3	110-4									
1. Prüfung	0,379	0,378	0,381	0,378	Mittel	0,379	0,004	0,002	0,4				
2. Prüfung	0,358	0,358	0,363	0,358						0,359	0,006	0,003	0,7
3. Prüfung	0,348	0,349	0,353	0,349						0,350	0,005	0,002	0,7

Tabelle 24: PWS-Messwerte (1.- 3. Prüfung) sämtlicher BK aus dem (überwiegend) unbefahrenen Bereich. Die Messwerte in roter Schrift markieren Ausreißer der 1. Prüfung, die von der Mittelwertbildung ausgeschlossen wurden.

	67-1_U	67-2_U	67-3_U	67-4_U	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,462	0,508	0,542	0,527	0,510	0,080	0,035	6,8	0,526	Spanne
2. Prüfung	0,429	0,490	0,516	0,510	0,486	0,088	0,040	8,2		
3. Prüfung	0,412	0,475	0,480	0,489	0,464	0,077	0,035	7,5		

	109_1-U	109_2-U	109_3-U	109_4-U	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
1. Prüfung	0,635	0,570	0,548	0,641	0,599	0,093	0,047	7,8
2. Prüfung	0,592	0,547	0,508	0,582	0,557	0,083	0,038	6,8
3. Prüfung	0,552	0,534	0,459	0,556	0,525	0,097	0,045	8,6

	51-1_U	51-2_U	51-3_U	51-4_U	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw	Mittel ohne Ausreißer	Ausreißer-Kriterium
1. Prüfung	0,613	0,610	0,626	0,611	0,615	0,016	0,007	1,2	0,611	Dean-Dixon
2. Prüfung	0,548	0,544	0,561	0,563	0,554	0,019	0,009	1,7		
3. Prüfung	0,517	0,518	0,527	0,535	0,524	0,019	0,009	1,7		

	2_1U	2_2U	2_3U	2_4U	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
1. Prüfung	0,426	0,442	0,438	0,448	0,439	0,022	0,009	2,2
2. Prüfung	0,398	0,412	0,409	0,416	0,409	0,018	0,008	1,9
3. Prüfung	0,384	0,395	0,393	0,398	0,393	0,015	0,006	1,6

	7_1U	7_2U	7_3U	7_4U	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
1. Prüfung	0,491	0,490	0,485	0,487	0,488	0,006	0,003	0,6
2. Prüfung	0,457	0,453	0,449	0,455	0,454	0,008	0,003	0,7
3. Prüfung	0,437	0,429	0,428	0,432	0,432	0,009	0,004	0,9

	29_1U	29_2U	29_3U	29_4U	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
1. Prüfung	0,453	0,449	0,460	0,441	0,451	0,019	0,008	1,8
2. Prüfung	0,436	0,417	0,427	0,409	0,422	0,027	0,012	2,8
3. Prüfung	0,415	0,399	0,407	0,393	0,403	0,022	0,010	2,4

	63_1U	63_2U	63_3U	63_4U	Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
1. Prüfung	0,349	0,344	0,338	0,340	0,343	0,011	0,005	1,4
2. Prüfung	0,337	0,332	0,327	0,325	0,330	0,012	0,005	1,6
3. Prüfung	0,329	0,324	0,320	0,320	0,323	0,010	0,004	1,4

	65_1U	65_2U	65_3U	65_4U
1. Prüfung	0,451	0,426	0,450	0,452
2. Prüfung	0,426	0,402	0,421	0,425
3. Prüfung	0,409	0,390	0,406	0,414

Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
0,445	0,027	0,013	2,9
0,418	0,023	0,011	2,6
0,405	0,025	0,011	2,6

0,451	Dean-Dixon
-------	------------

	68_1U	68_2U	68_3U	68_4U
1. Prüfung	0,404	0,443	0,409	0,434
2. Prüfung	0,386	0,419	0,387	0,410
3. Prüfung	0,376	0,402	0,375	0,399

Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
0,422	0,039	0,019	4,4
0,401	0,033	0,017	4,1
0,388	0,027	0,015	3,8

	77_1U	77_2U	77_3U	77_4U
1. Prüfung	0,414	0,410	0,448	0,435
2. Prüfung	0,395	0,386	0,430	0,410
3. Prüfung	0,382	0,370	0,418	0,399

Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
0,427	0,038	0,018	4,2
0,405	0,043	0,019	4,7
0,392	0,048	0,021	5,3

	42_1U	42_1U	42_2U	42_3U
1. Prüfung	0,621	0,525	0,534	0,574
2. Prüfung	0,582	0,51	0,514	0,536
3. Prüfung	0,56	0,498	0,498	0,511

Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
0,564	0,096	0,044	7,8
0,536	0,072	0,033	6,2
0,517	0,062	0,029	5,7

0,544	Spanne
-------	--------

	108_1-U	108_2-U	108_3-U	108_4-U
1. Prüfung	0,636	0,624	0,606	0,629
2. Prüfung	0,588	0,573	0,553	0,582
3. Prüfung	0,558	0,545	0,523	0,553

Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
0,624	0,030	0,013	2,1
0,574	0,035	0,015	2,7
0,545	0,035	0,015	2,8

	110_1-U	110_2-U	110_3-U	110_4-U
1. Prüfung	0,736	0,732	0,68	0,674
2. Prüfung	0,676	0,675	0,639	0,635
3. Prüfung	0,641	0,641	0,614	0,611

Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
0,706	0,062	0,033	4,7
0,656	0,041	0,022	3,4
0,627	0,030	0,017	2,6

	67a-1_U	67a-2_U	67a-3_U	67a-4_U
1. Prüfung	0,619	0,639	0,603	0,625
2. Prüfung	0,579	0,594	0,565	0,585
3. Prüfung	0,561	0,572	0,542	0,562

Mittel	Spanne	Stabw	rel Stabw
0,622	0,036	0,015	2,4
0,581	0,029	0,012	2,1
0,559	0,030	0,013	2,2

Tabelle 25: μ RS-Werte und die korrespondierenden μ PWS-Werte in Abh. v. Regressionsbereich und Prognosewahrscheinlichkeit. Grün dargestellt sind jene μ PWS-Werte (mit den jeweiligen Prognosewahrscheinlichkeiten) die zur Prognose der μ RS-Werte herangezogen werden.

		$y = 0,7223x - 0,0659$				$y = 0,603x - 0,0036$				$y = 0,8343x - 0,1473$			
		$0 \leq \mu\text{RS} \leq 0,97$				$0 \leq \mu\text{RS} \leq 0,75$				$0,52 \leq \mu\text{RS} \leq 0,97$			
		Mindestwert μ PWS bei Prognosewahrsch.:				Mindestwert μ PWS bei Prognosewahrsch.:				Mindestwert μ PWS bei Prognosewahrsch.:			
μ RS	μ PWS_Regression	95%	90%	80%	μ PWS_Regression	95%	90%	80%	μ PWS_Regression	95%	90%	80%	
0,38	0,209	0,284	0,267	0,246	0,226	0,277	0,265	0,251	0,170	0,243	0,226	0,206	
0,39	0,216	0,291	0,274	0,254	0,232	0,283	0,271	0,257	0,178	0,251	0,234	0,214	
0,4	0,223	0,298	0,281	0,261	0,238	0,288	0,277	0,263	0,186	0,259	0,242	0,223	
0,41	0,230	0,305	0,288	0,268	0,244	0,294	0,283	0,269	0,195	0,266	0,250	0,231	
0,42	0,237	0,312	0,295	0,275	0,250	0,300	0,288	0,275	0,203	0,274	0,258	0,239	
0,43	0,245	0,319	0,302	0,282	0,256	0,306	0,294	0,281	0,211	0,282	0,266	0,247	
0,44	0,252	0,326	0,309	0,289	0,262	0,312	0,300	0,287	0,220	0,290	0,274	0,255	
0,45	0,259	0,333	0,316	0,296	0,268	0,318	0,306	0,293	0,228	0,298	0,282	0,263	
0,46	0,266	0,340	0,323	0,303	0,274	0,324	0,312	0,299	0,236	0,306	0,290	0,271	
0,47	0,274	0,347	0,330	0,311	0,280	0,329	0,318	0,305	0,245	0,314	0,298	0,280	
0,48	0,281	0,354	0,337	0,318	0,286	0,335	0,324	0,310	0,253	0,322	0,306	0,288	
0,49	0,288	0,361	0,345	0,325	0,292	0,341	0,330	0,316	0,261	0,330	0,315	0,296	
0,5	0,295	0,368	0,352	0,332	0,298	0,347	0,336	0,322	0,270	0,338	0,323	0,304	
0,51	0,302	0,376	0,359	0,339	0,304	0,353	0,342	0,328	0,278	0,346	0,331	0,312	
0,52	0,310	0,383	0,366	0,346	0,310	0,359	0,348	0,334	0,287	0,354	0,339	0,321	
0,53	0,317	0,390	0,373	0,353	0,316	0,365	0,354	0,340	0,295	0,363	0,347	0,329	
0,54	0,324	0,397	0,380	0,361	0,322	0,371	0,360	0,346	0,303	0,371	0,355	0,337	
0,55	0,331	0,404	0,387	0,368	0,328	0,377	0,366	0,352	0,312	0,379	0,363	0,345	
0,56	0,339	0,411	0,395	0,375	0,334	0,383	0,372	0,358	0,320	0,387	0,372	0,353	
0,57	0,346	0,418	0,402	0,382	0,340	0,389	0,378	0,364	0,328	0,395	0,380	0,362	
0,58	0,353	0,425	0,409	0,389	0,346	0,395	0,384	0,370	0,337	0,403	0,388	0,370	
0,59	0,360	0,433	0,416	0,397	0,352	0,401	0,390	0,376	0,345	0,411	0,396	0,378	
0,6	0,367	0,440	0,423	0,404	0,358	0,407	0,396	0,382	0,353	0,419	0,404	0,386	
0,61	0,375	0,447	0,430	0,411	0,364	0,413	0,402	0,388	0,362	0,428	0,413	0,395	
0,62	0,382	0,454	0,438	0,418	0,370	0,419	0,408	0,395	0,370	0,436	0,421	0,403	
0,63	0,389	0,461	0,445	0,425	0,376	0,425	0,414	0,401	0,378	0,444	0,429	0,411	
0,64	0,396	0,468	0,452	0,433	0,382	0,431	0,420	0,407	0,387	0,452	0,437	0,420	
0,65	0,404	0,476	0,459	0,440	0,388	0,437	0,426	0,413	0,395	0,461	0,446	0,428	
0,66	0,411	0,483	0,466	0,447	0,394	0,443	0,432	0,419	0,403	0,469	0,454	0,436	
0,67	0,418	0,490	0,474	0,454	0,400	0,449	0,438	0,425	0,412	0,477	0,462	0,445	
0,68	0,425	0,497	0,481	0,461	0,406	0,455	0,444	0,431	0,420	0,485	0,470	0,453	
0,69	0,432	0,504	0,488	0,469	0,412	0,462	0,450	0,437	0,428	0,494	0,479	0,461	
0,7	0,440	0,512	0,495	0,476	0,418	0,468	0,456	0,443	0,437	0,502	0,487	0,469	
0,71	0,447	0,519	0,502	0,483	0,424	0,474	0,462	0,449	0,445	0,510	0,495	0,478	
0,72	0,454	0,526	0,510	0,490	0,431	0,480	0,468	0,455	0,453	0,519	0,504	0,486	
0,73	0,461	0,533	0,517	0,498	0,437	0,486	0,475	0,461	0,462	0,527	0,512	0,495	
0,74	0,469	0,541	0,524	0,505	0,443	0,492	0,481	0,467	0,470	0,536	0,521	0,503	
0,75	0,476	0,548	0,531	0,512	0,449	0,498	0,487	0,473	0,478	0,544	0,529	0,511	
0,76	0,483	0,555	0,539	0,519	0,455	0,505	0,493	0,479	0,487	0,552	0,537	0,520	
0,77	0,490	0,563	0,546	0,527	0,461	0,511	0,499	0,486	0,495	0,561	0,546	0,528	
0,78	0,497	0,570	0,553	0,534	0,467	0,517	0,505	0,492	0,503	0,569	0,554	0,536	
0,79	0,505	0,577	0,561	0,541	0,473	0,523	0,511	0,498	0,512	0,578	0,563	0,545	
0,8	0,512	0,584	0,568	0,548	0,479	0,529	0,518	0,504	0,520	0,586	0,571	0,553	
0,81	0,519	0,592	0,575	0,556	0,485	0,535	0,524	0,510	0,528	0,595	0,579	0,562	
0,82	0,526	0,599	0,582	0,563	0,491	0,542	0,530	0,516	0,537	0,603	0,588	0,570	
0,83	0,534	0,606	0,590	0,570	0,497	0,548	0,536	0,522	0,545	0,612	0,596	0,579	
0,84	0,541	0,614	0,597	0,577	0,503	0,554	0,542	0,528	0,554	0,620	0,605	0,587	
0,85	0,548	0,621	0,604	0,585	0,509	0,560	0,548	0,535	0,562	0,629	0,613	0,595	
0,86	0,555	0,628	0,612	0,592	0,515	0,567	0,555	0,541	0,570	0,637	0,622	0,604	
0,87	0,562	0,636	0,619	0,599	0,521	0,573	0,561	0,547	0,579	0,646	0,630	0,612	
0,88	0,570	0,643	0,626	0,607	0,527	0,579	0,567	0,553	0,587	0,655	0,639	0,621	
0,89	0,577	0,651	0,634	0,614	0,533	0,586	0,573	0,559	0,595	0,663	0,648	0,629	
0,9	0,584	0,658	0,641	0,621	0,539	0,592	0,580	0,565	0,604	0,672	0,656	0,638	
0,91	0,591	0,665	0,648	0,629	0,545	0,598	0,586	0,571	0,612	0,680	0,665	0,646	
0,92	0,599	0,673	0,656	0,636	0,551	0,604	0,592	0,578	0,620	0,689	0,673	0,655	
0,93	0,606	0,680	0,663	0,643	0,557	0,611	0,598	0,584	0,629	0,698	0,682	0,663	
0,94	0,613	0,688	0,671	0,650	0,563	0,617	0,605	0,590	0,637	0,706	0,690	0,672	
0,95	0,620	0,695	0,678	0,658	0,569	0,623	0,611	0,596	0,645	0,715	0,699	0,680	
0,96	0,627	0,702	0,685	0,665	0,575	0,630	0,617	0,602	0,654	0,724	0,708	0,689	
0,97	0,635	0,710	0,693	0,672	0,581	0,636	0,623	0,609	0,662	0,732	0,716	0,697	

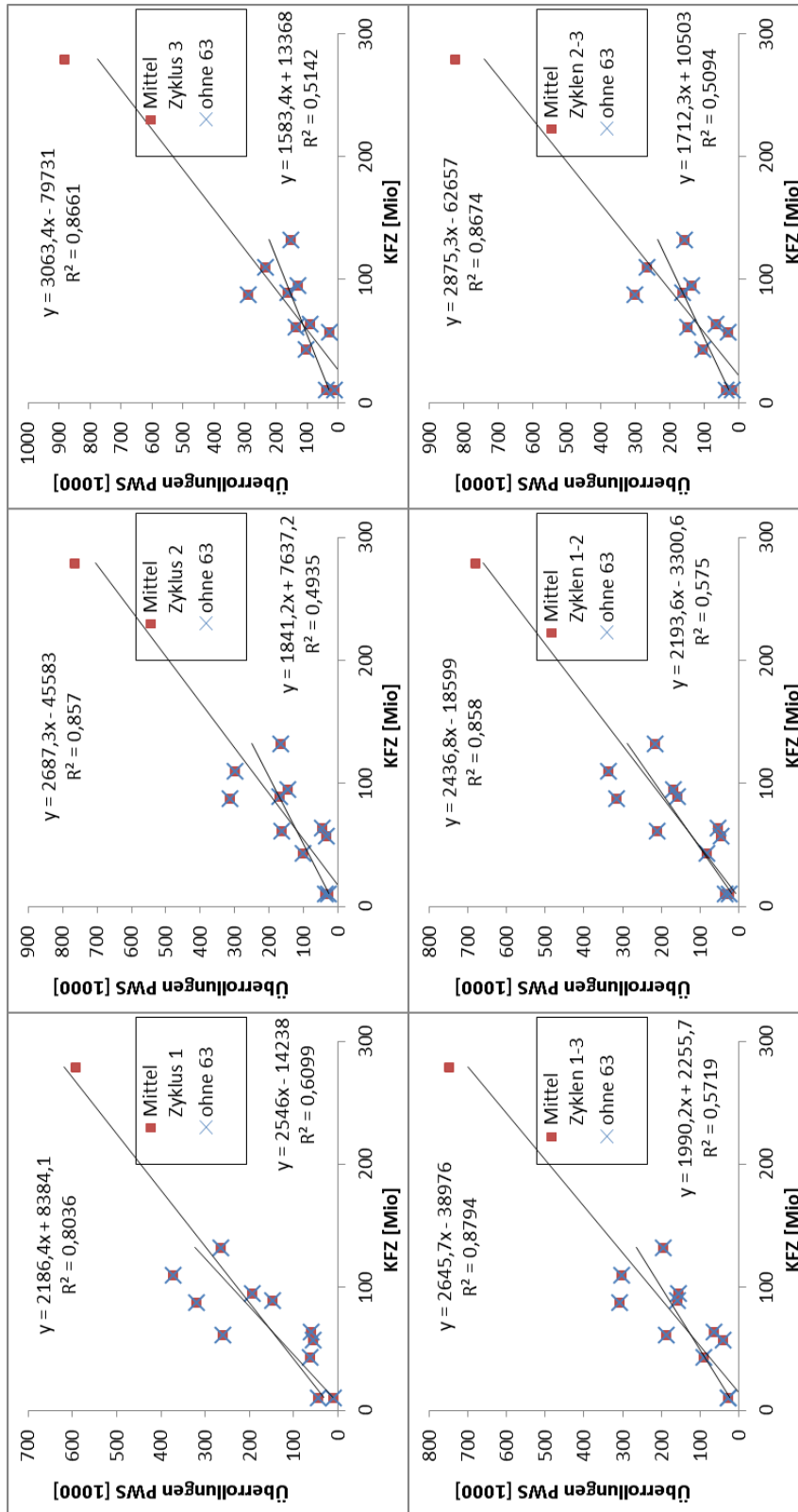


Abb. 47: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

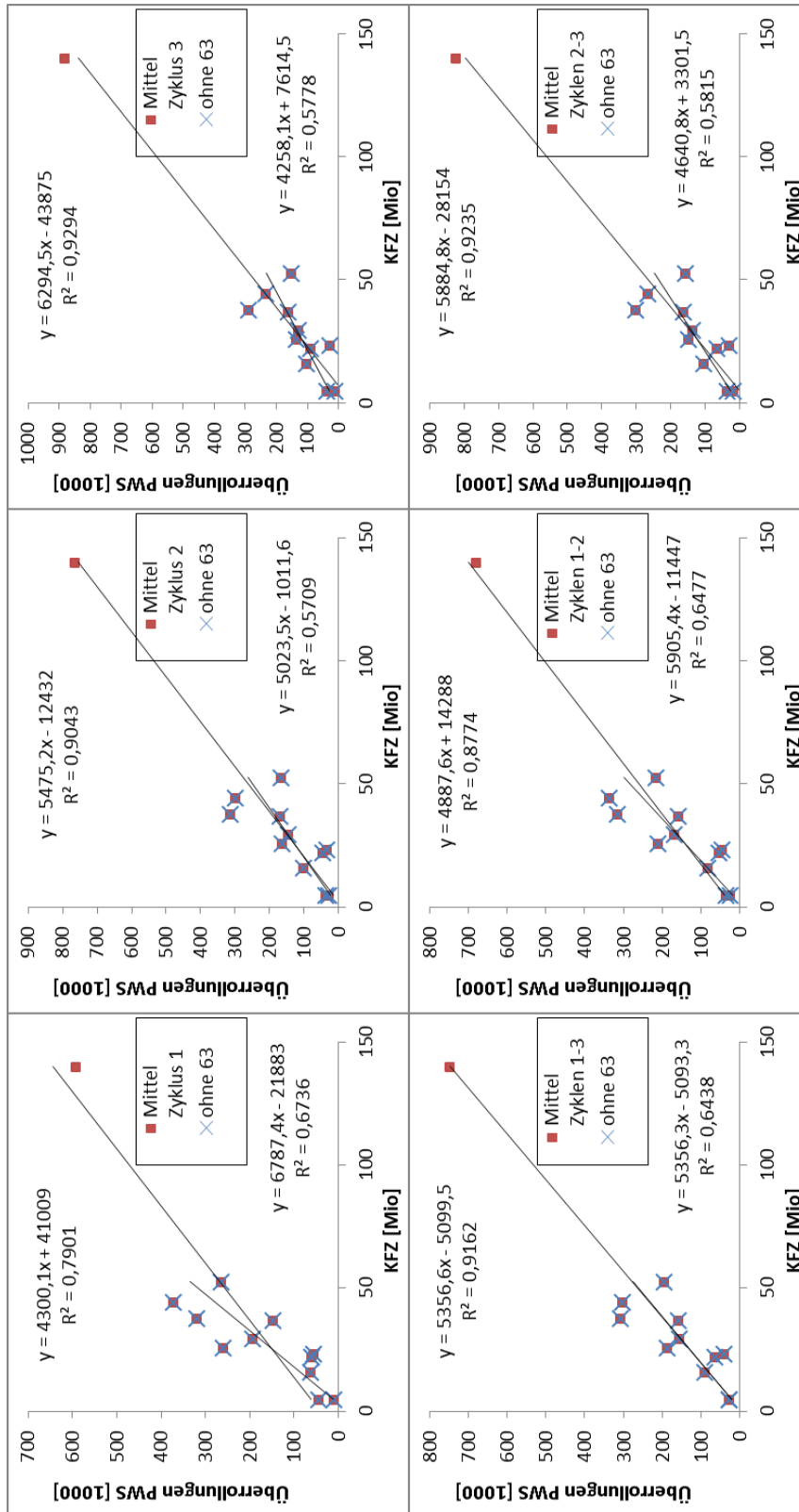


Abb. 48: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

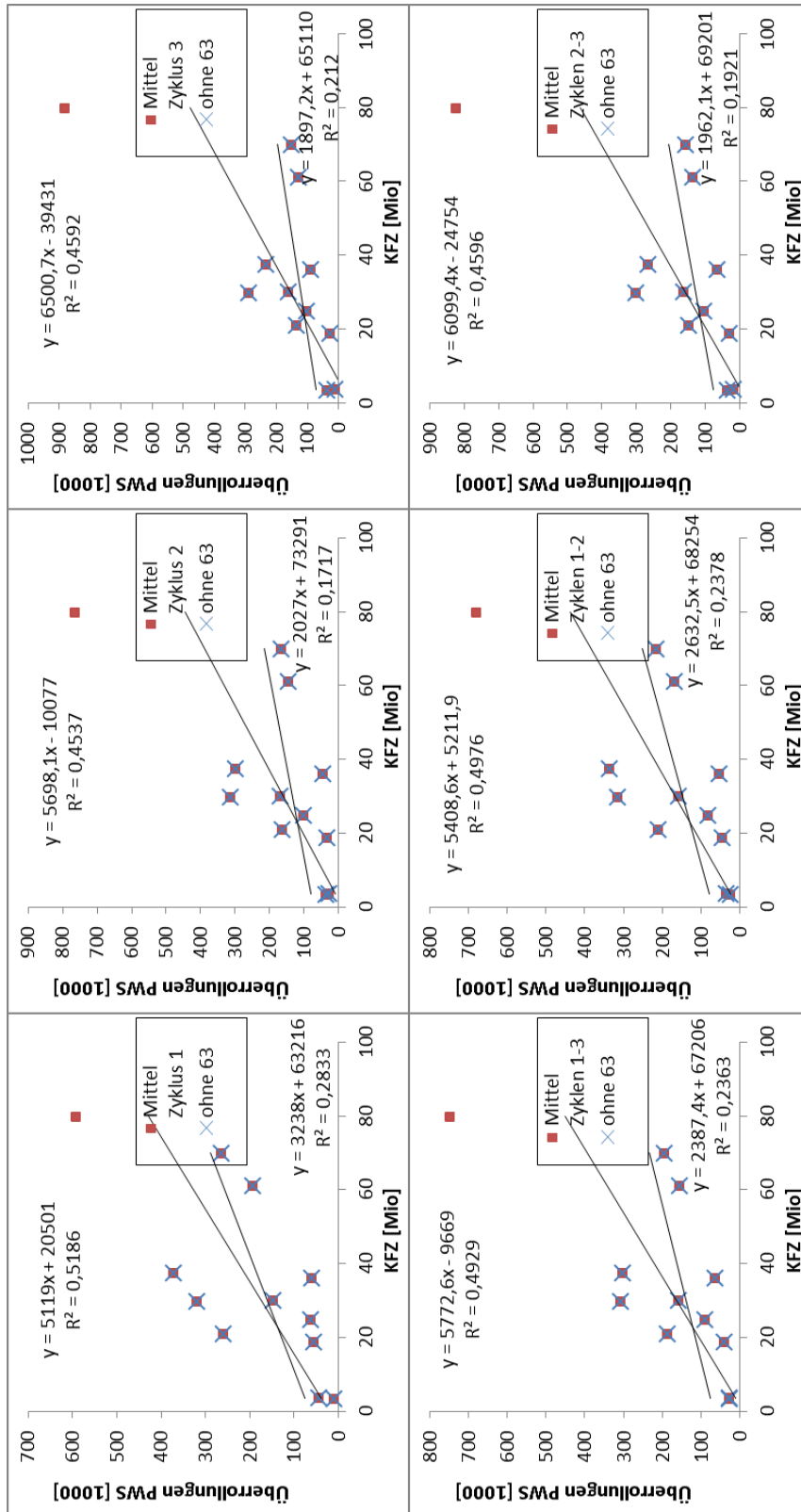


Abb. 49: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

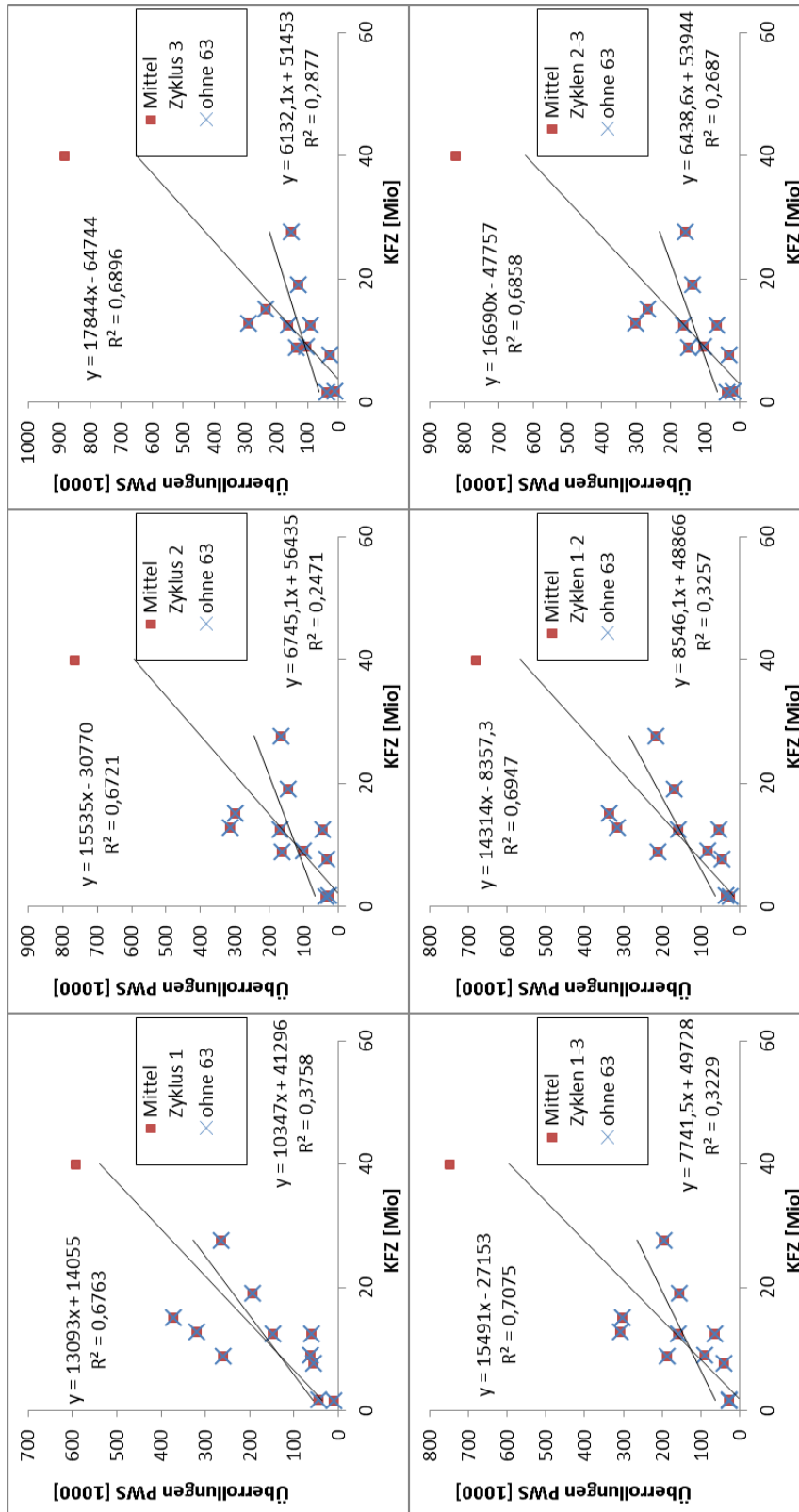


Abb. 50: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen_gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

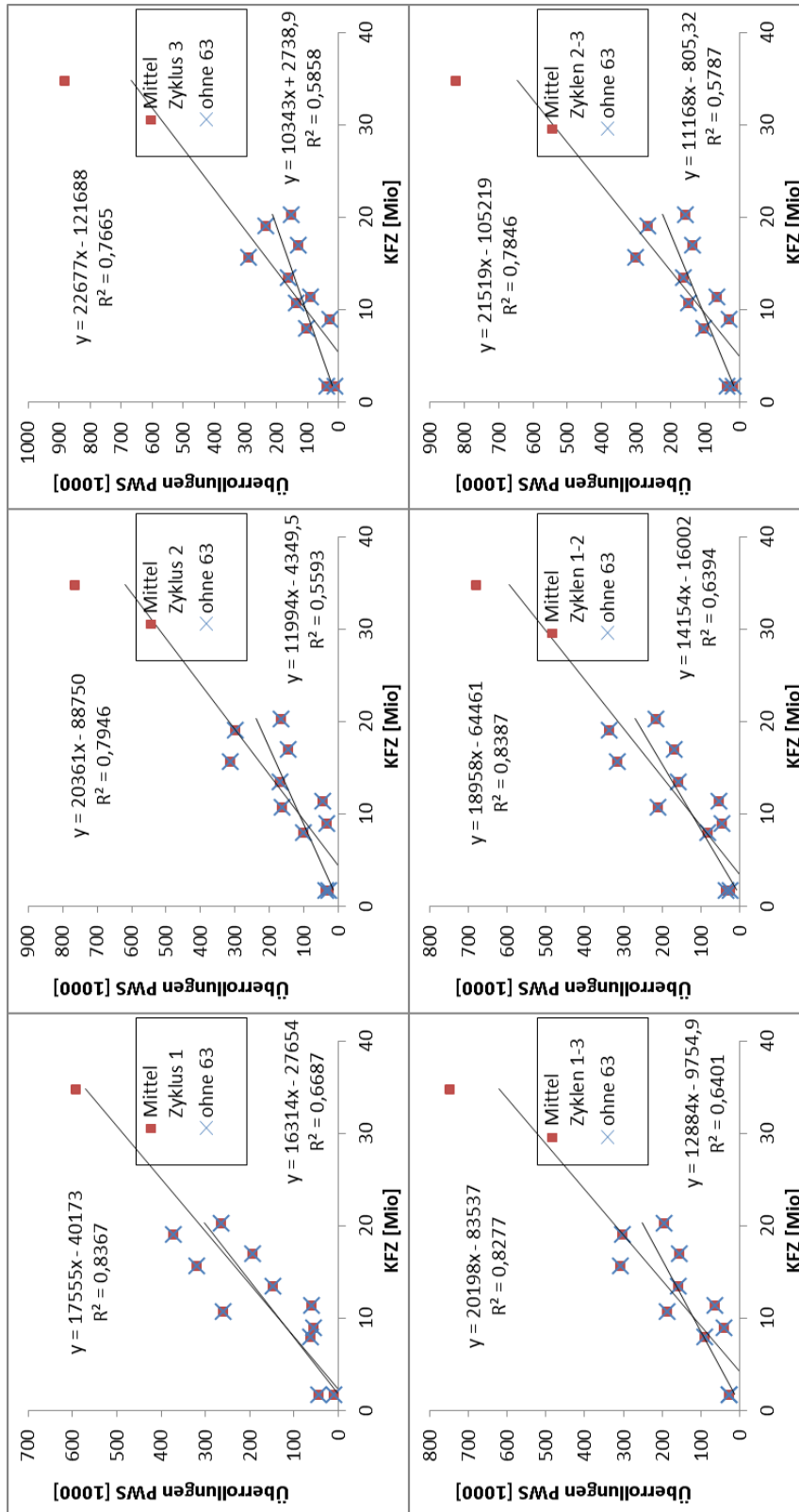


Abb. 51: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013 [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

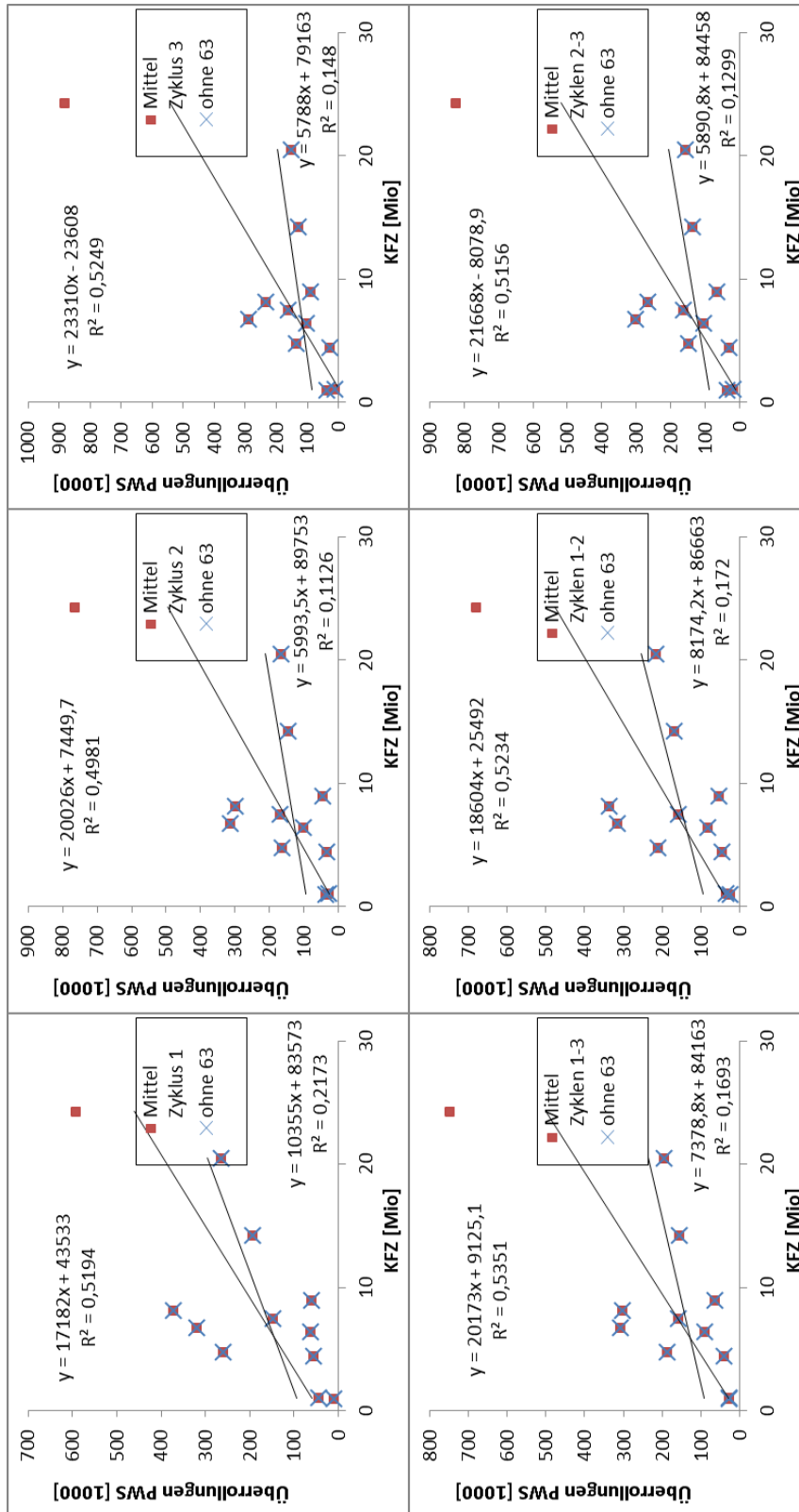


Abb. 52: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000 [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

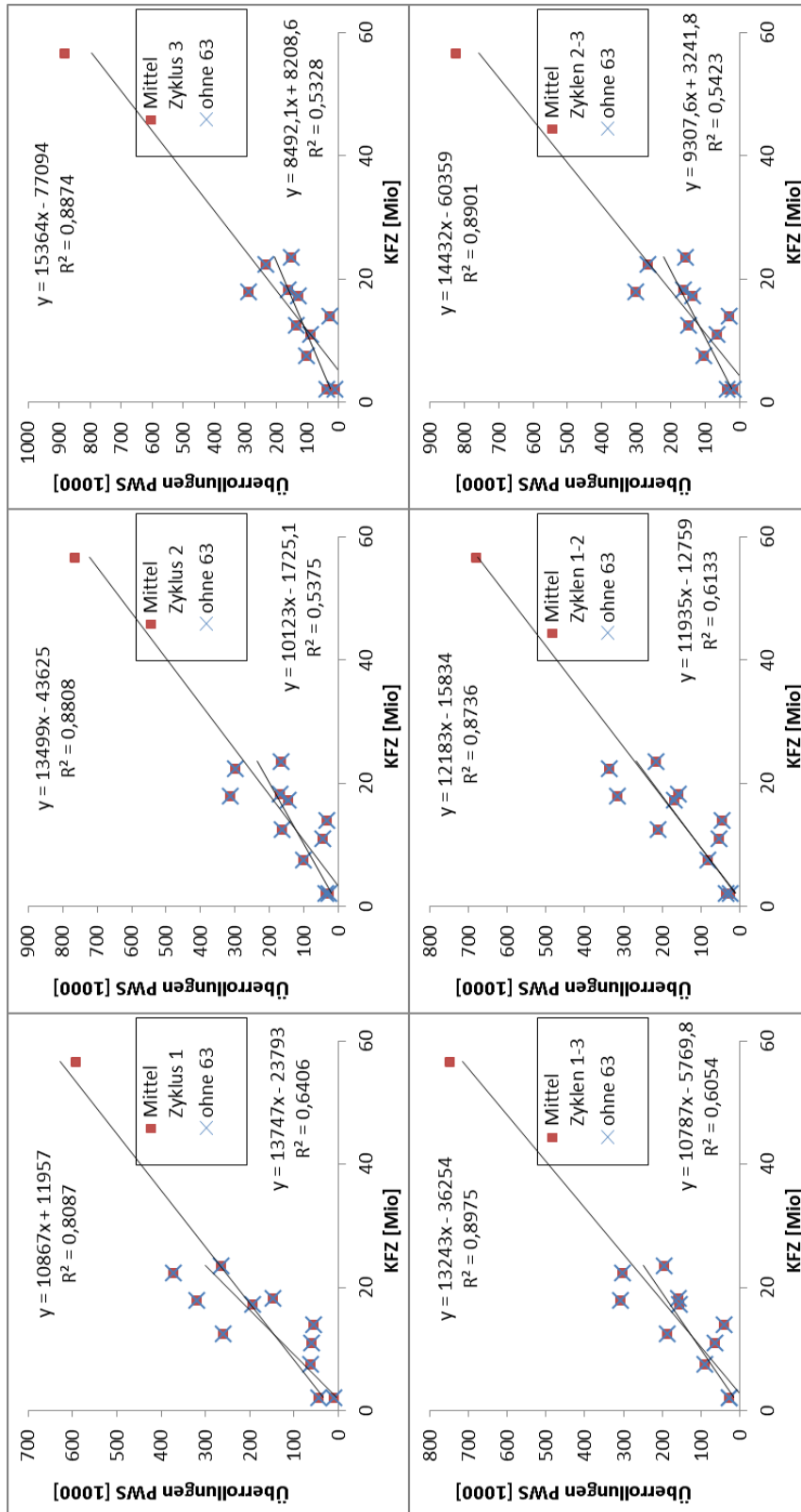


Abb. 53: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

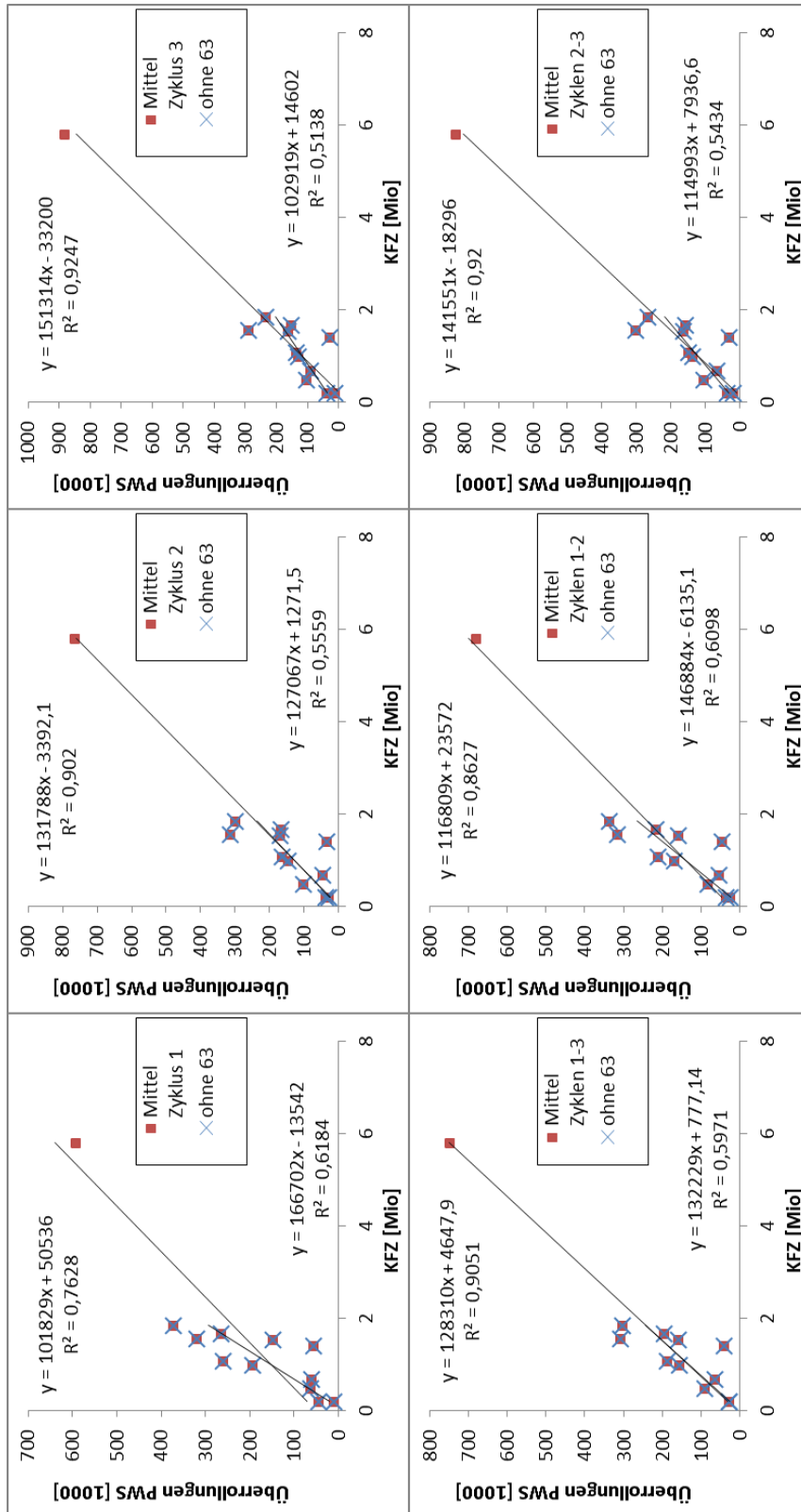


Abb. 54: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV/10.000_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

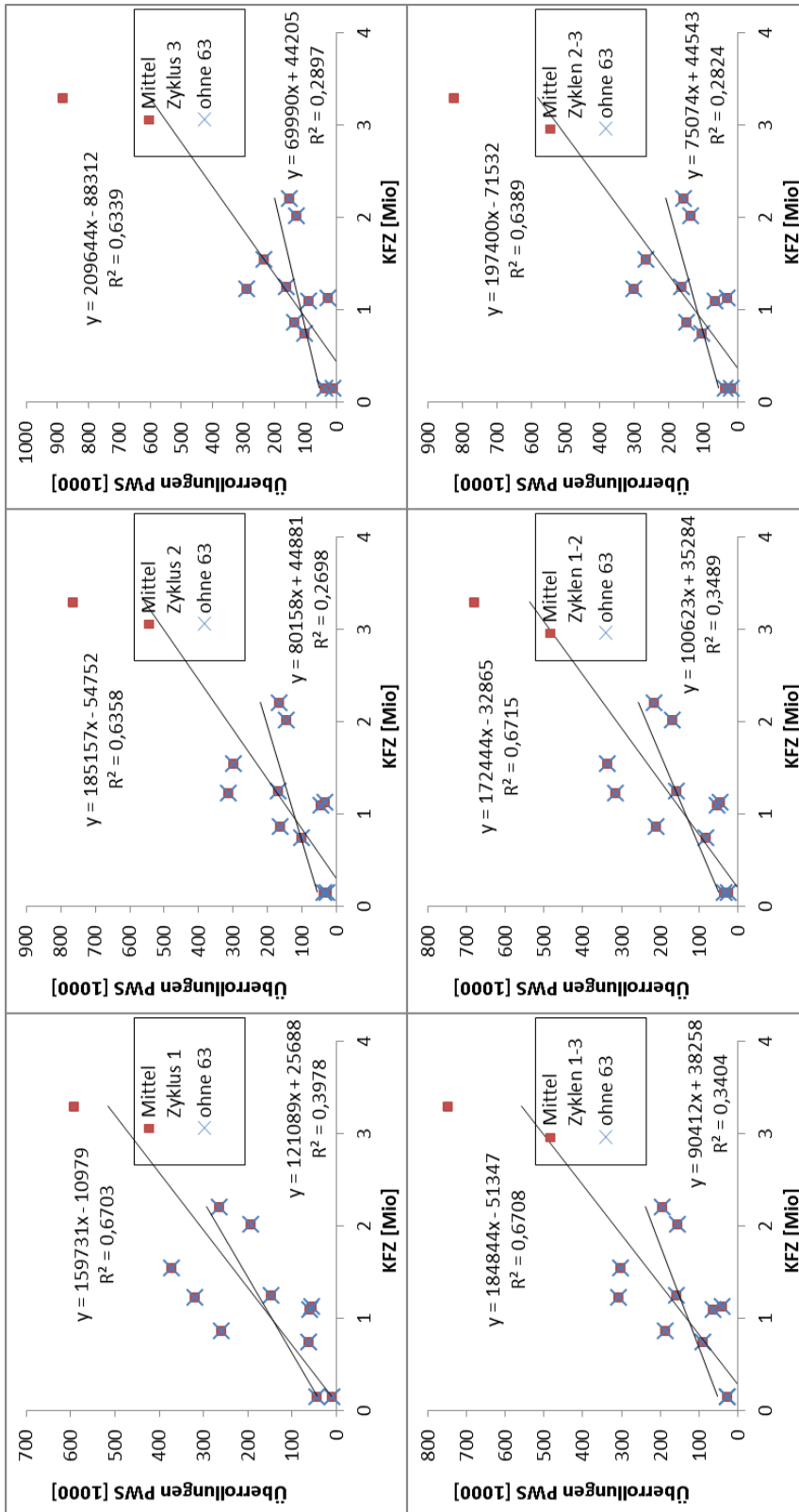


Abb. 55: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

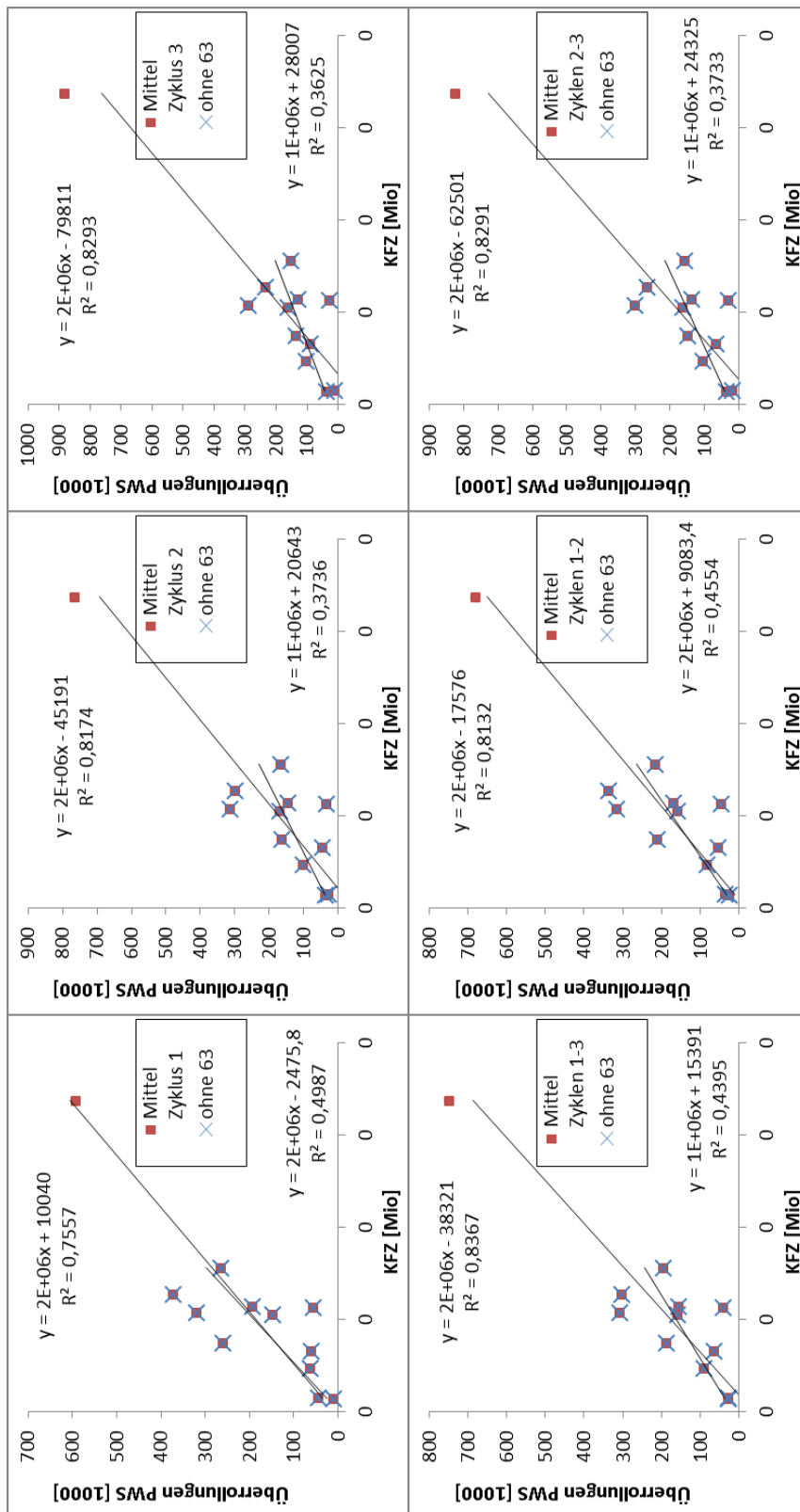


Abb. 56: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen_gewichtet um JDTLV/10.000_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

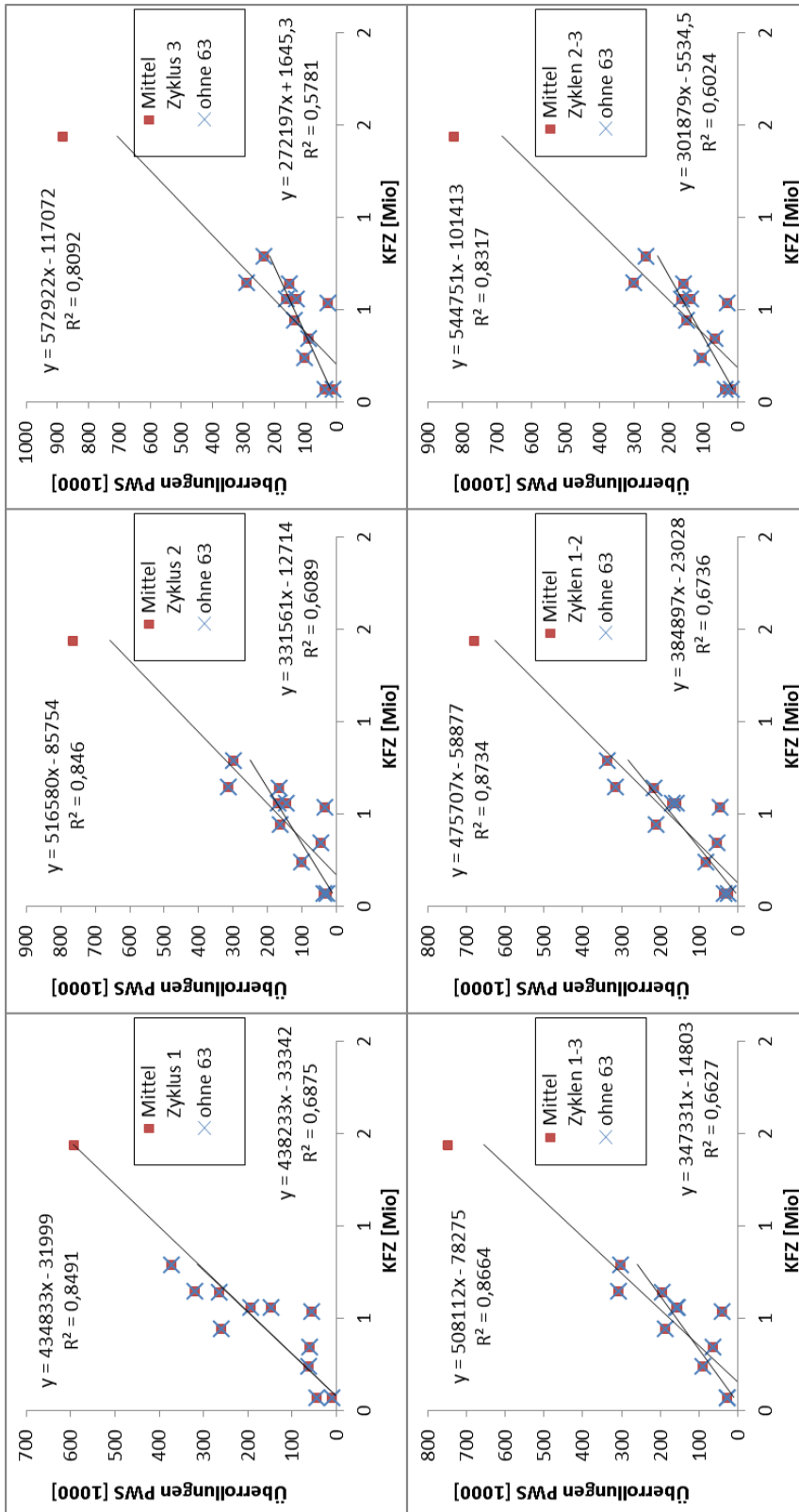


Abb. 57: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

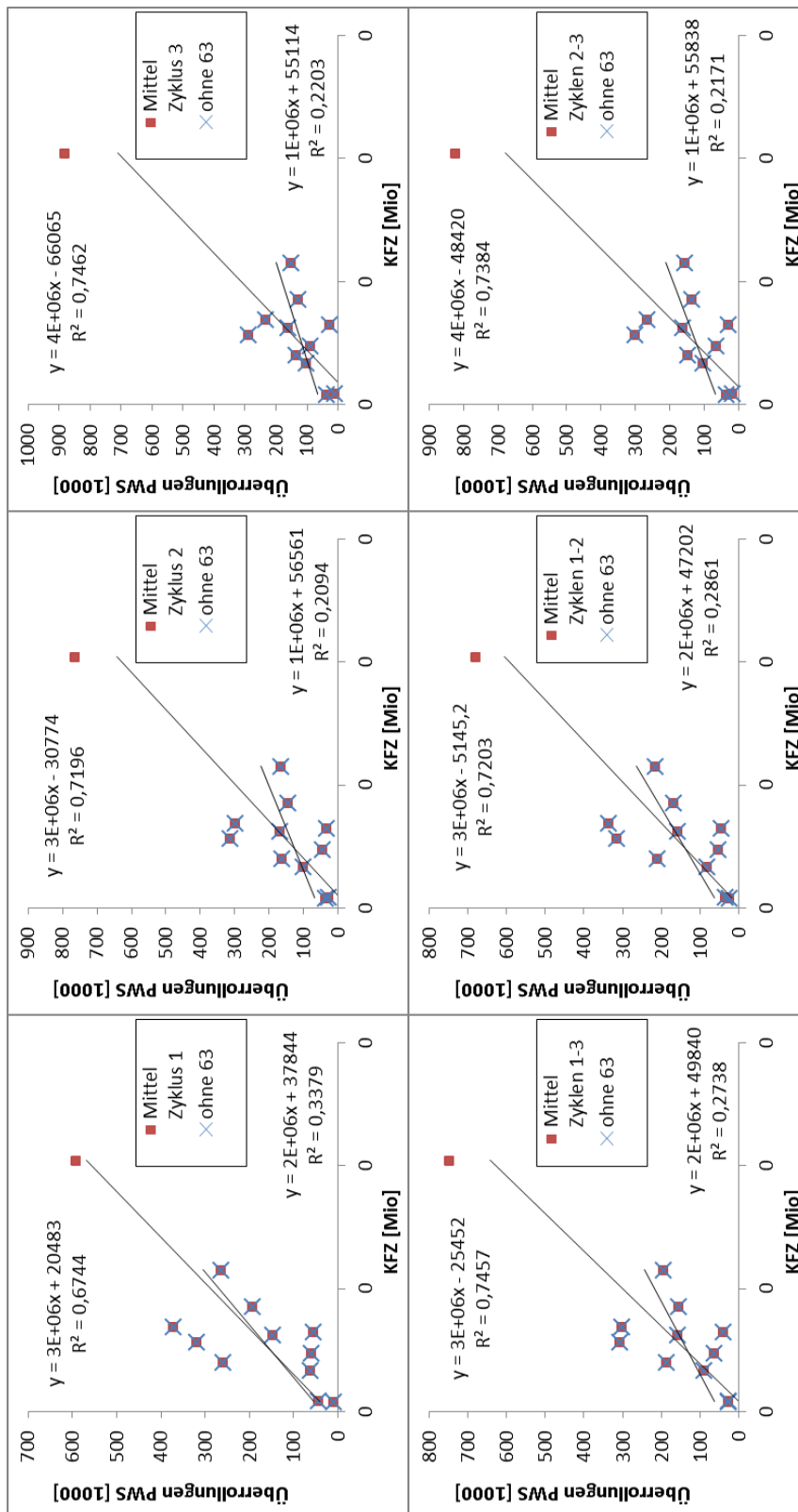


Abb. 58: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013 gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000 gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (ohne Strecken 29 und 109).

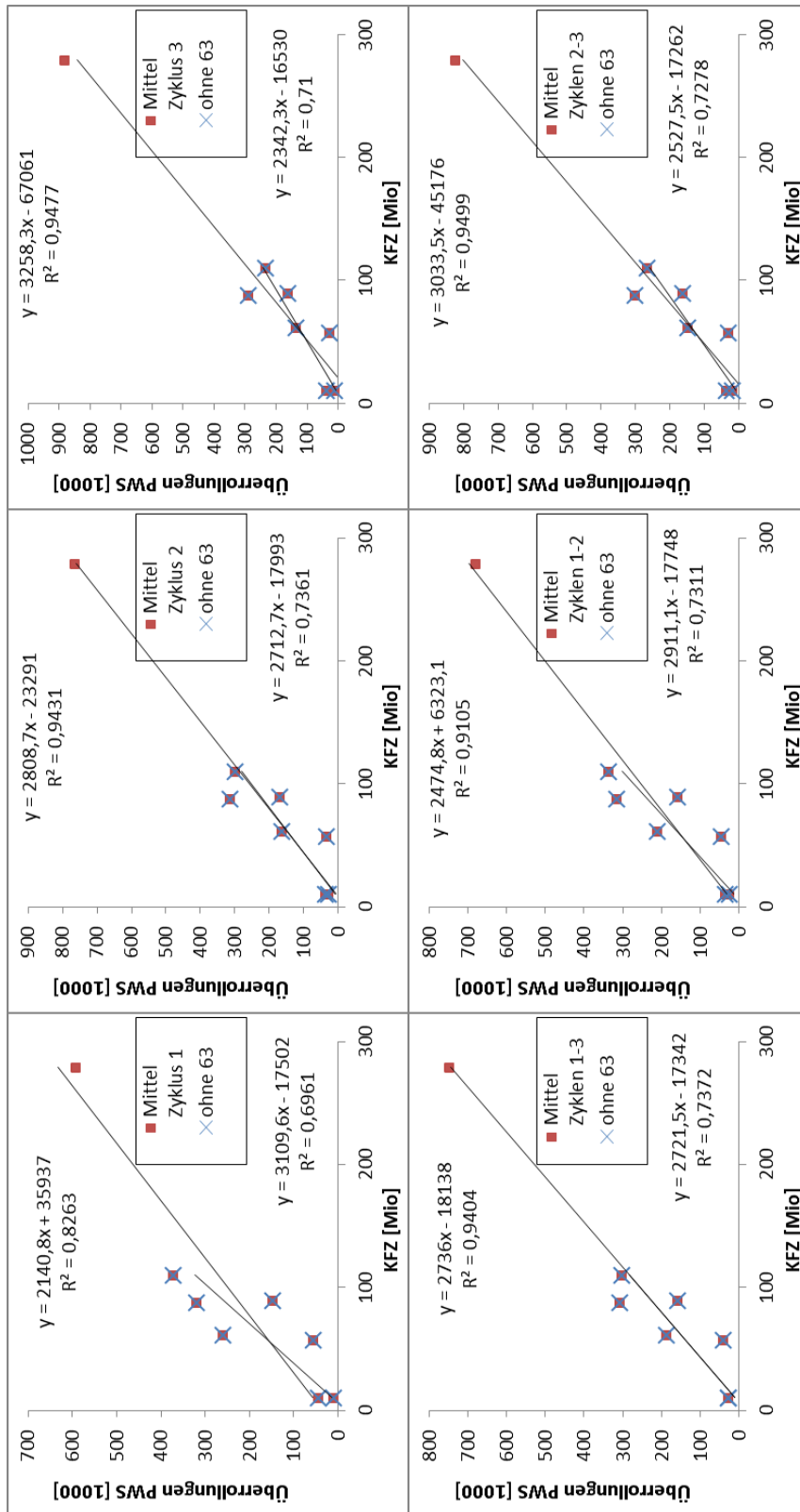


Abb. 59: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

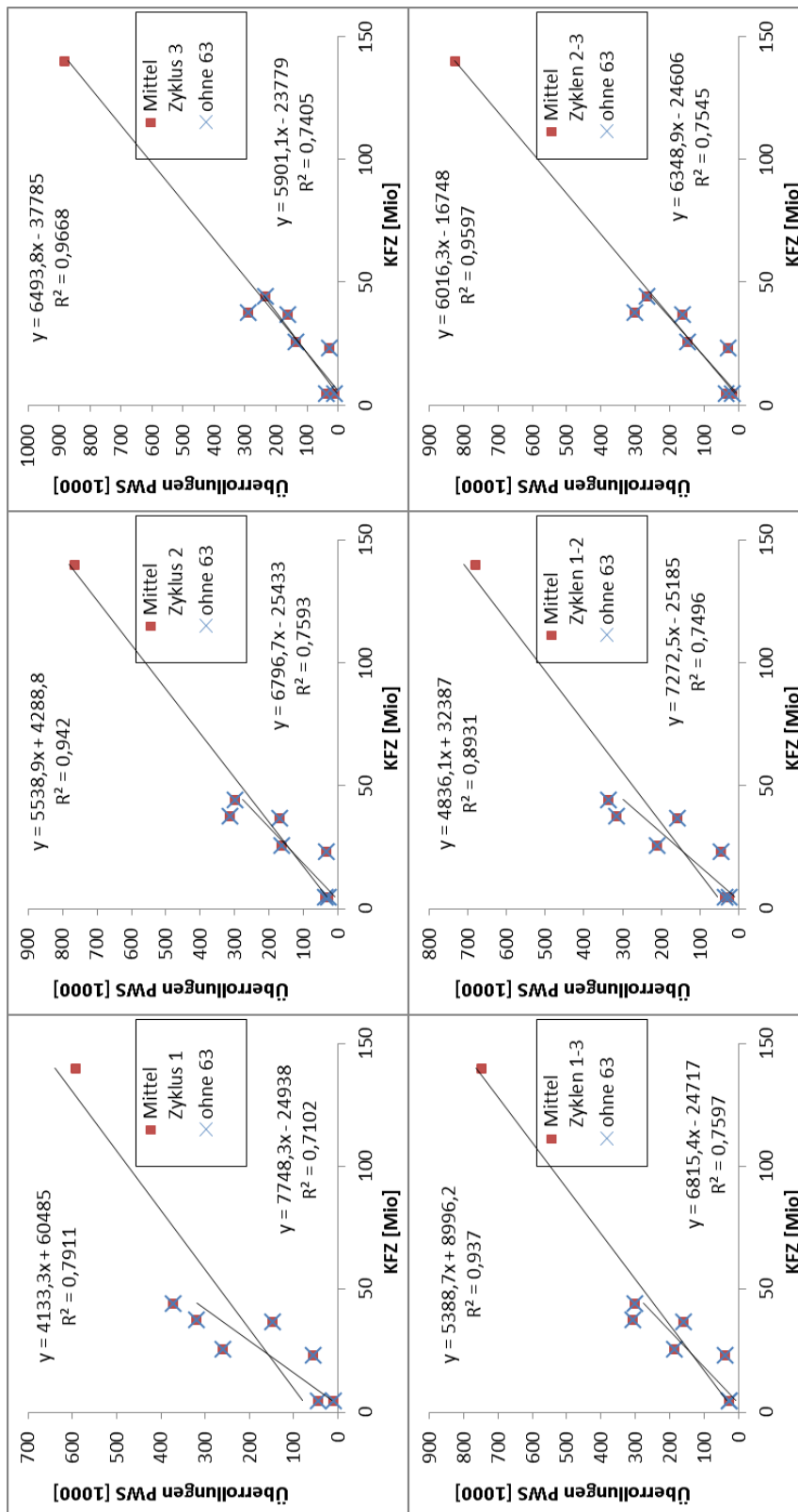


Abb. 60: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

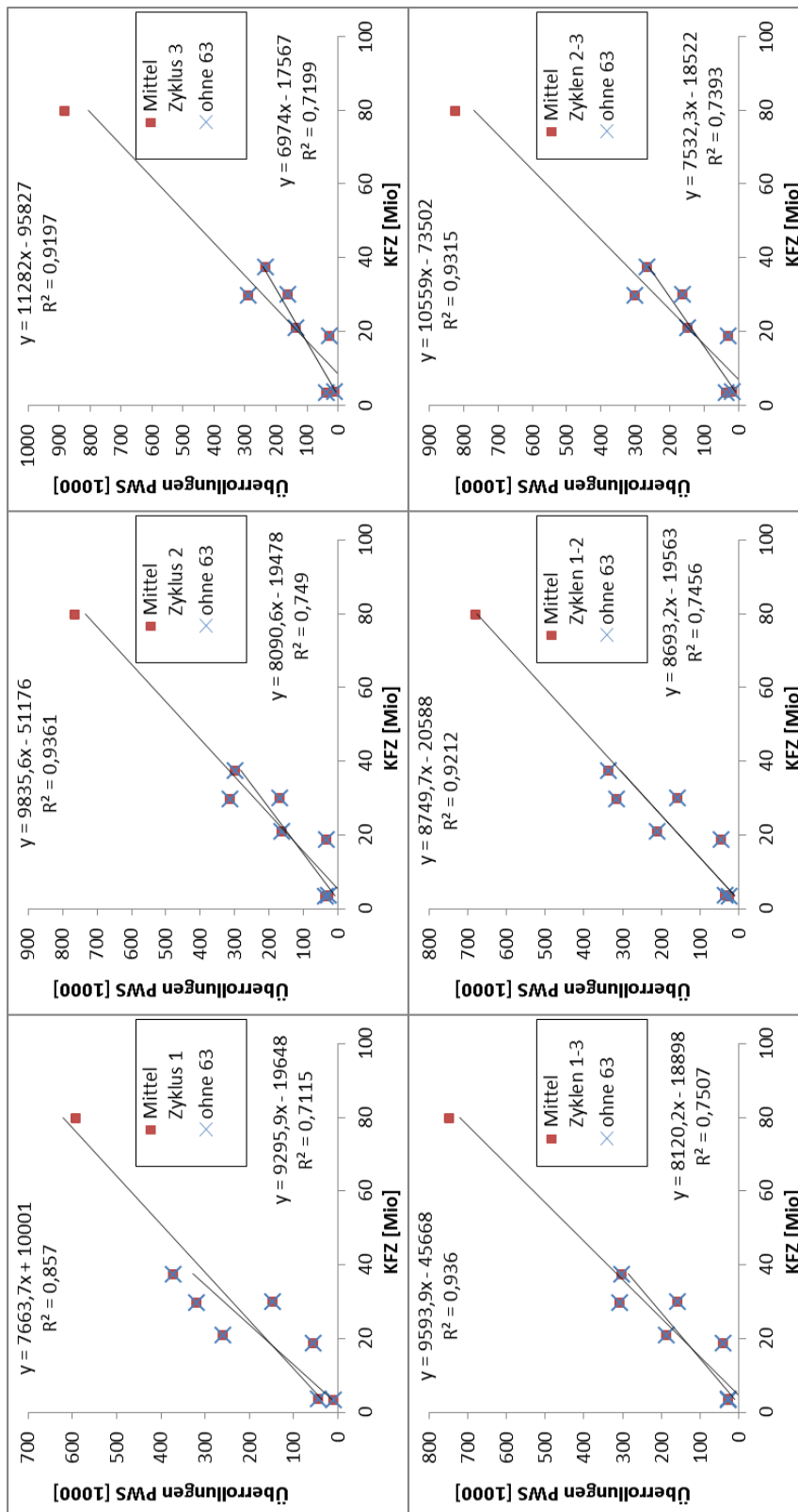


Abb. 61: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

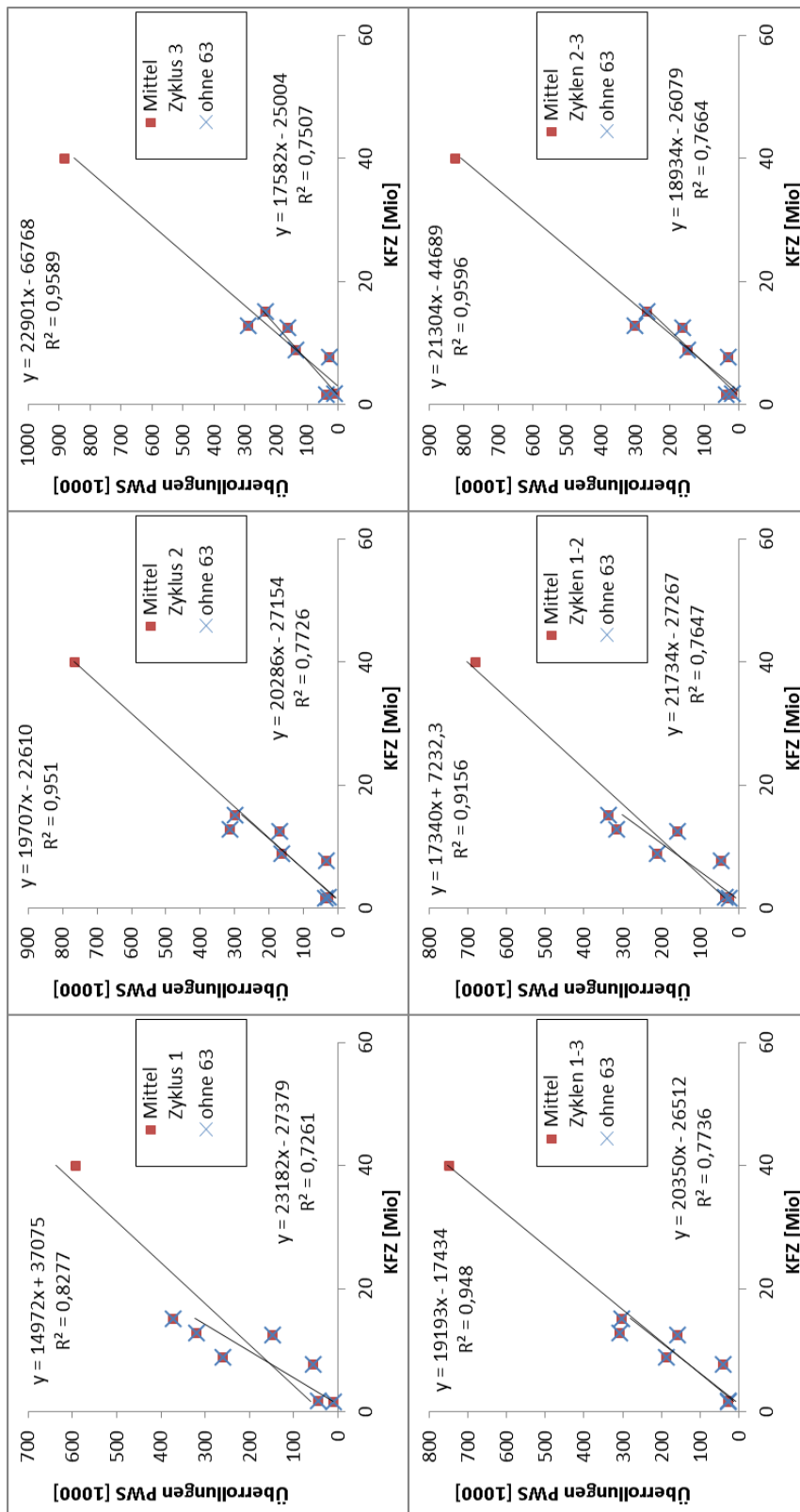


Abb. 62: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen_gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

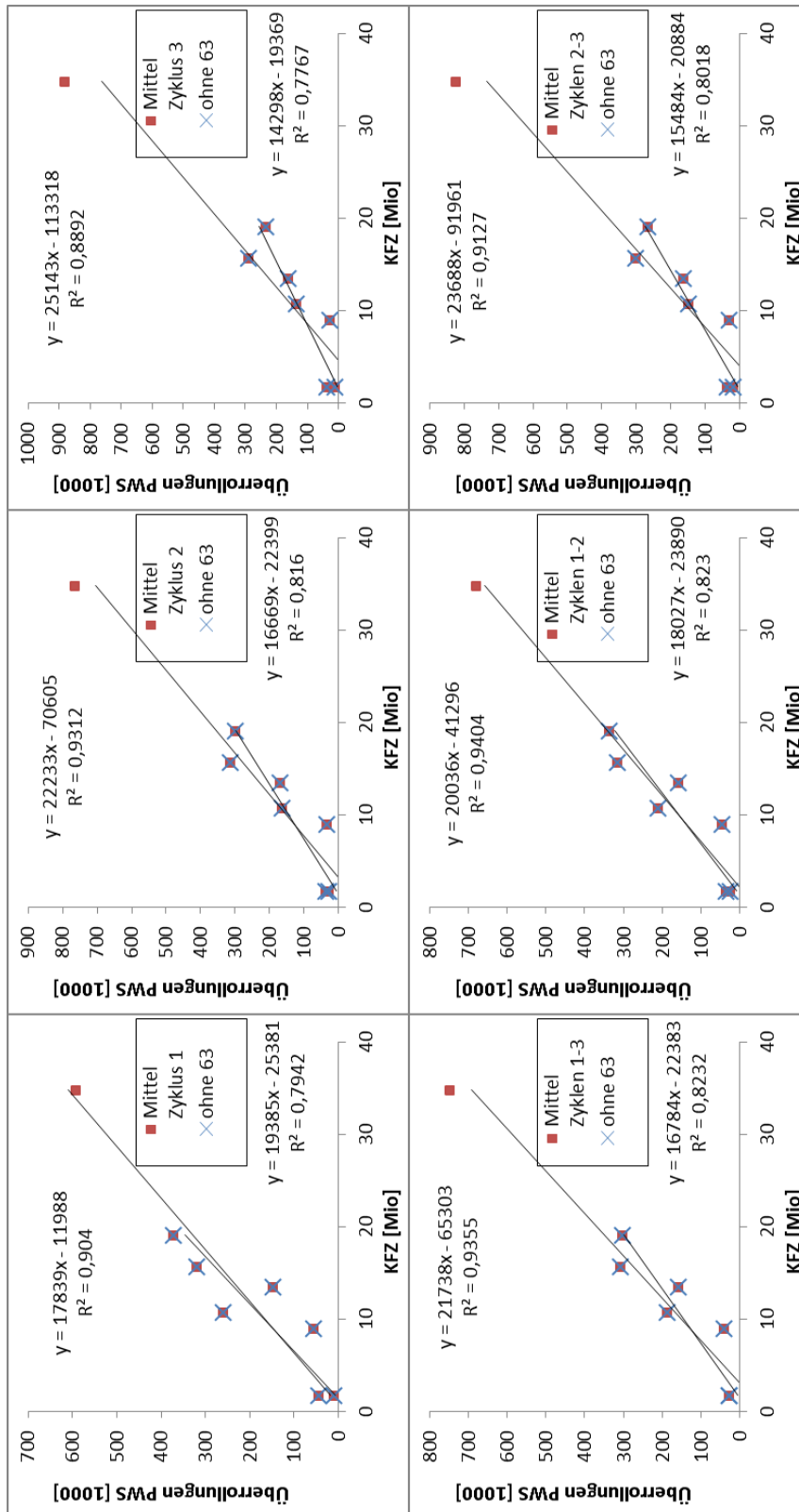


Abb. 63: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013 [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

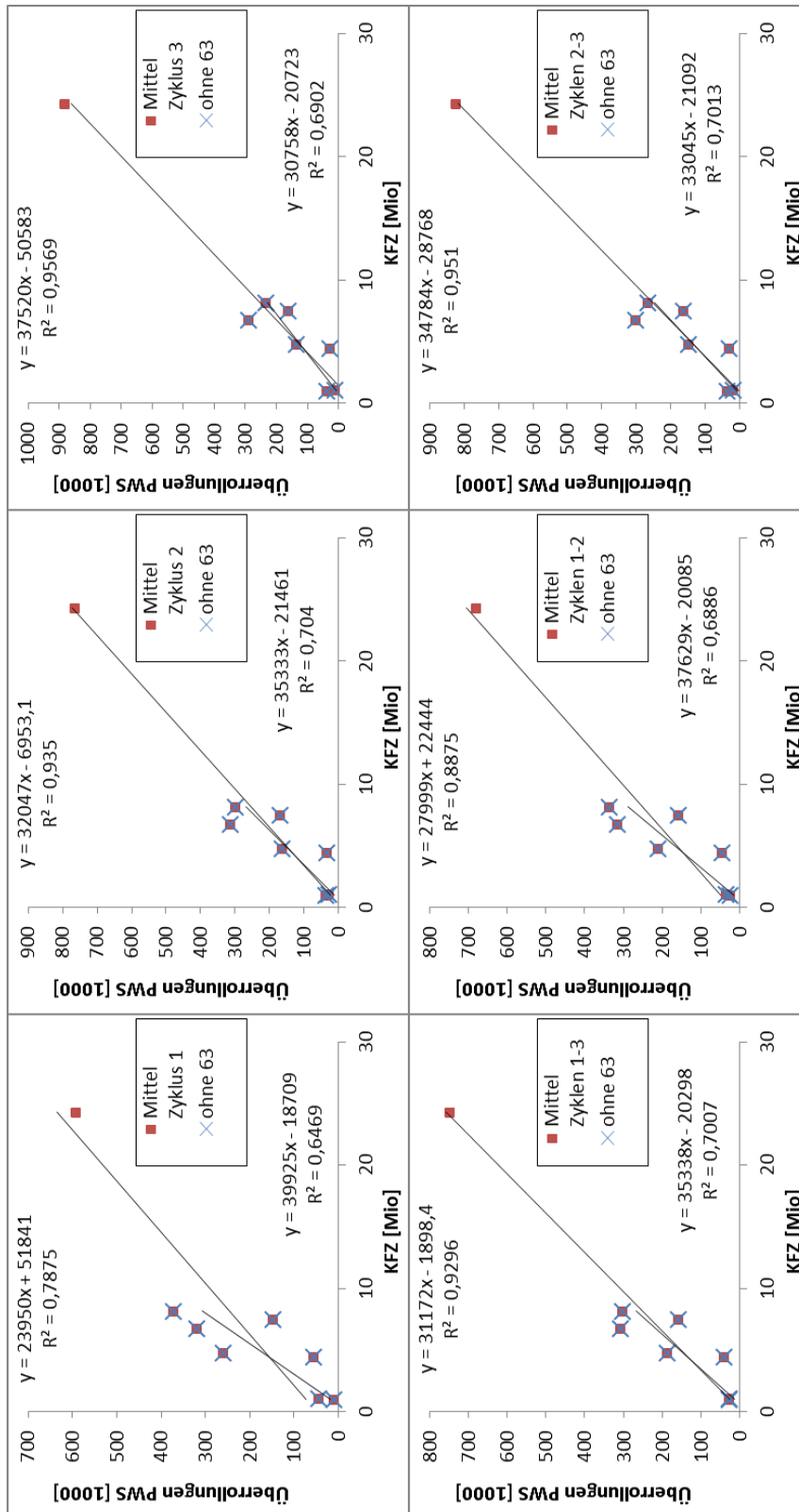


Abb. 64: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000 [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

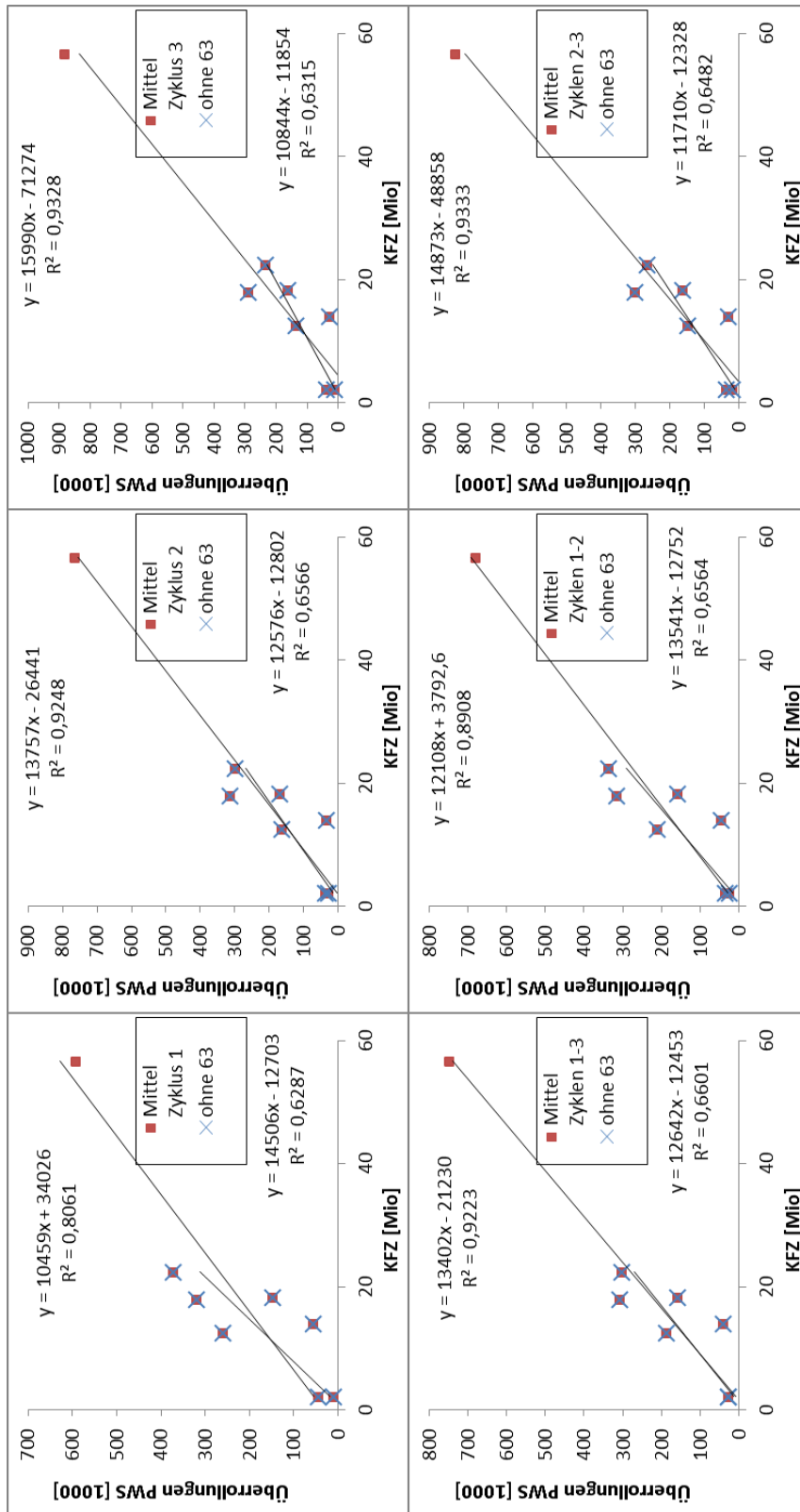


Abb. 65: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

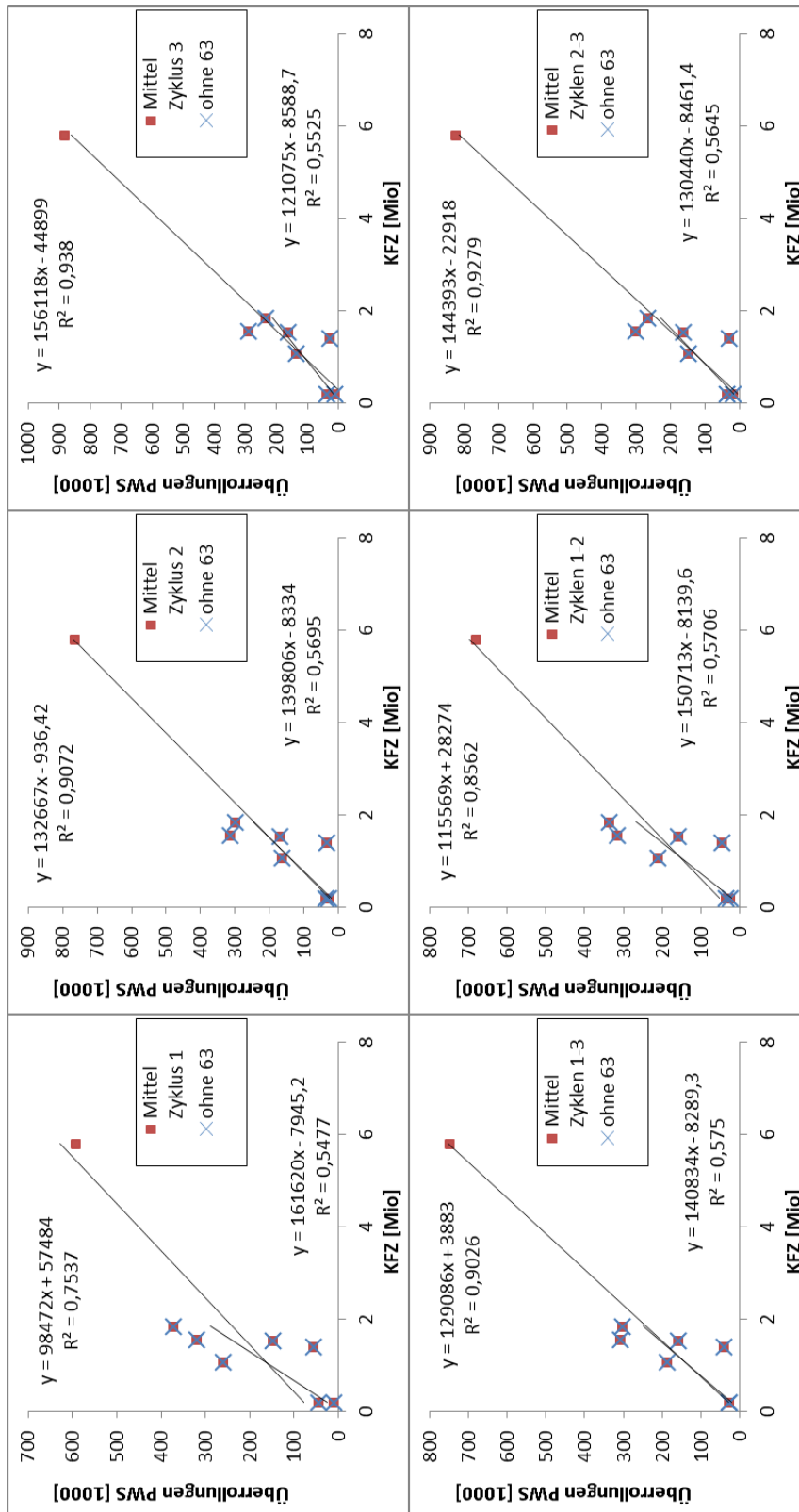


Abb. 66: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV/10.000_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

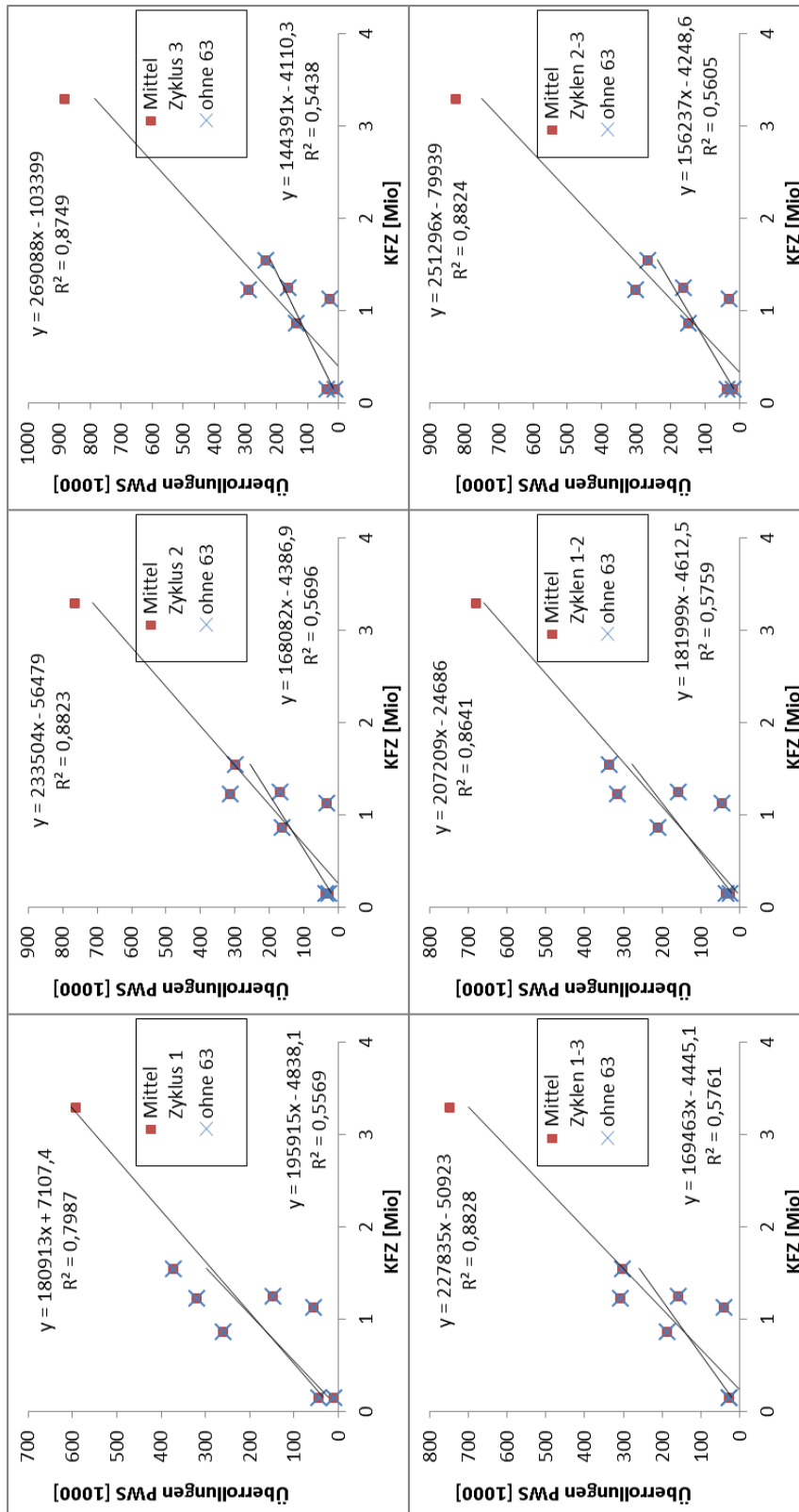


Abb. 67: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

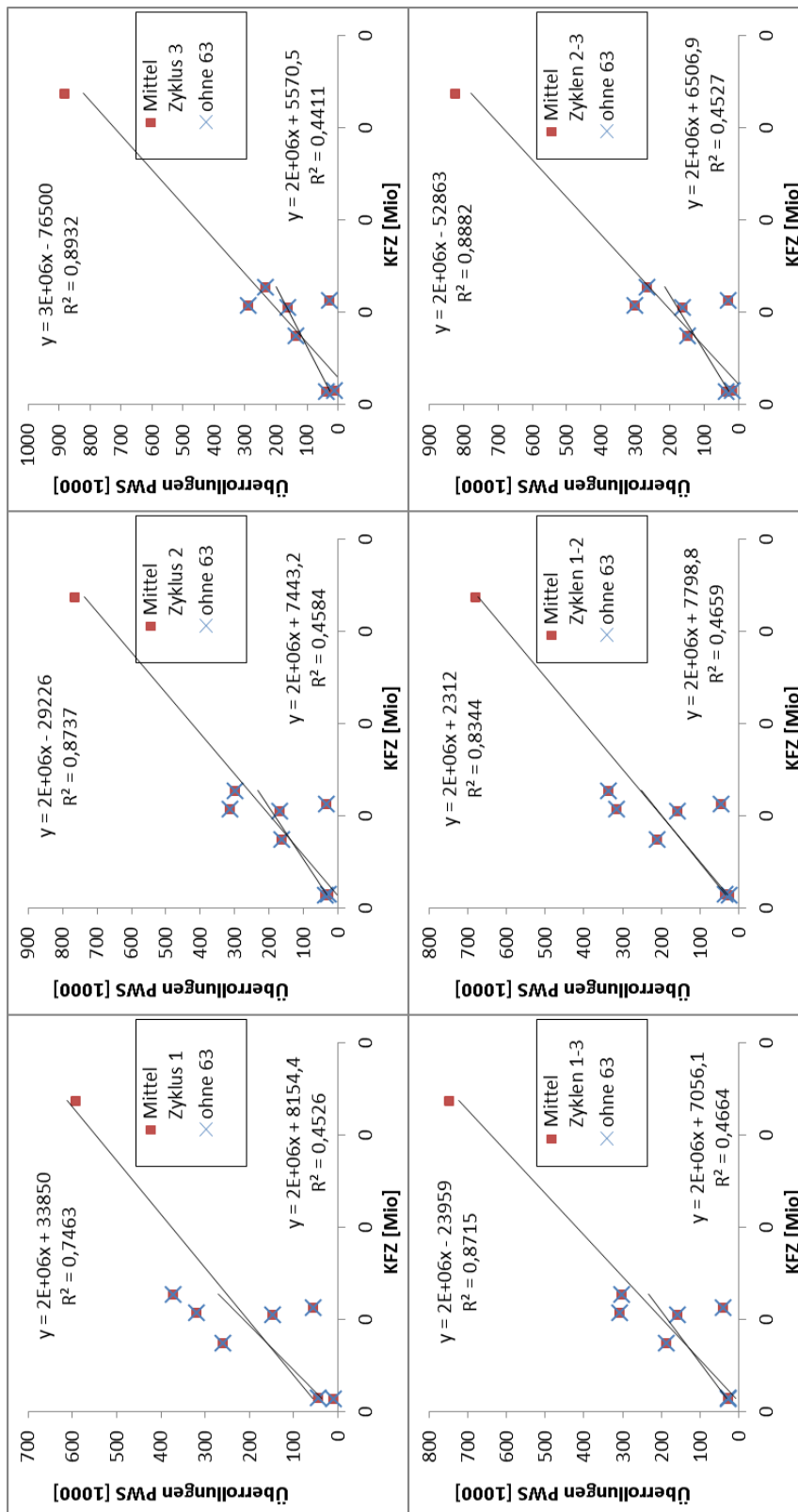


Abb. 68: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen_gewichtet um JDTLV/10.000_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

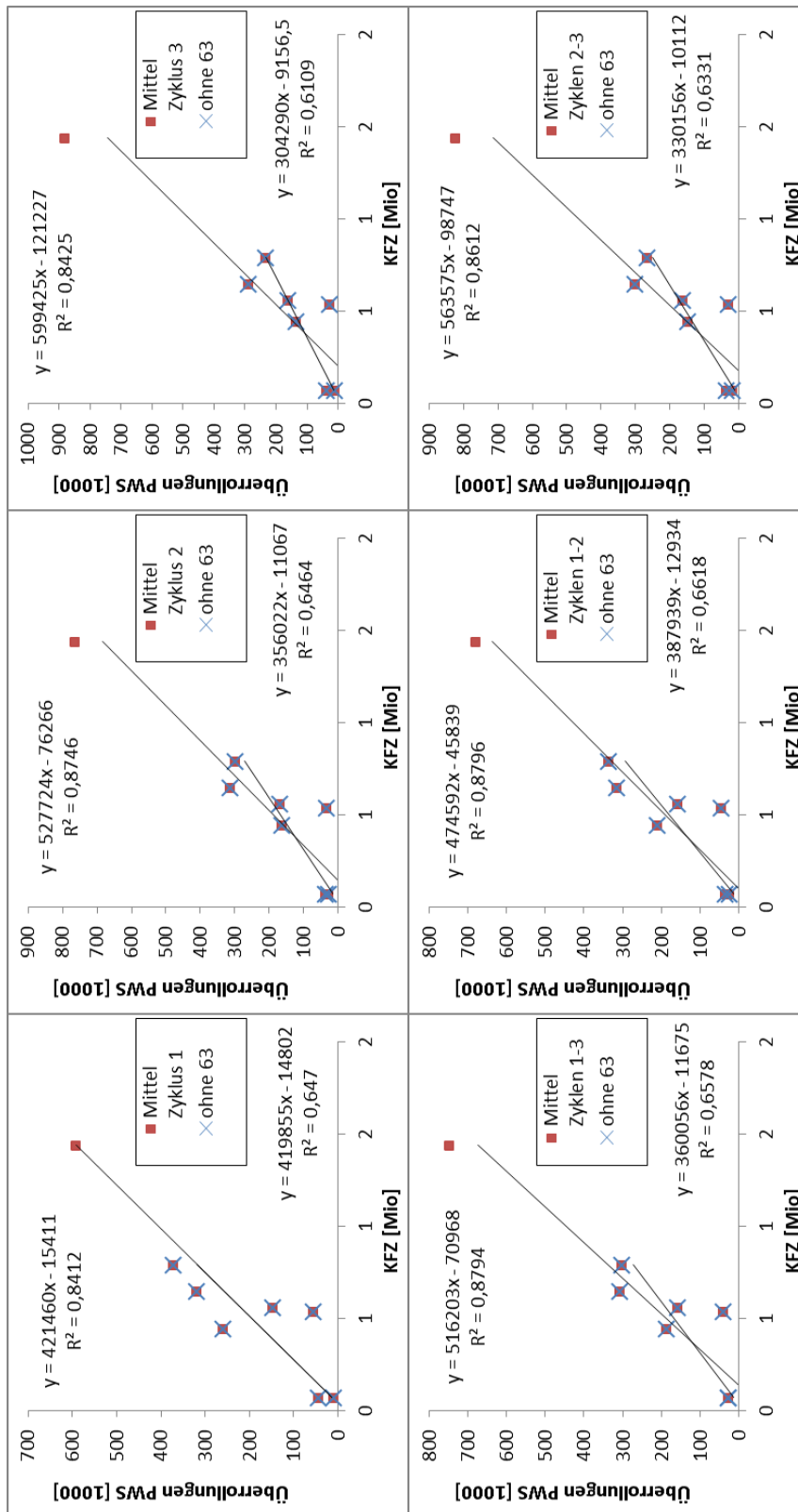


Abb. 69: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

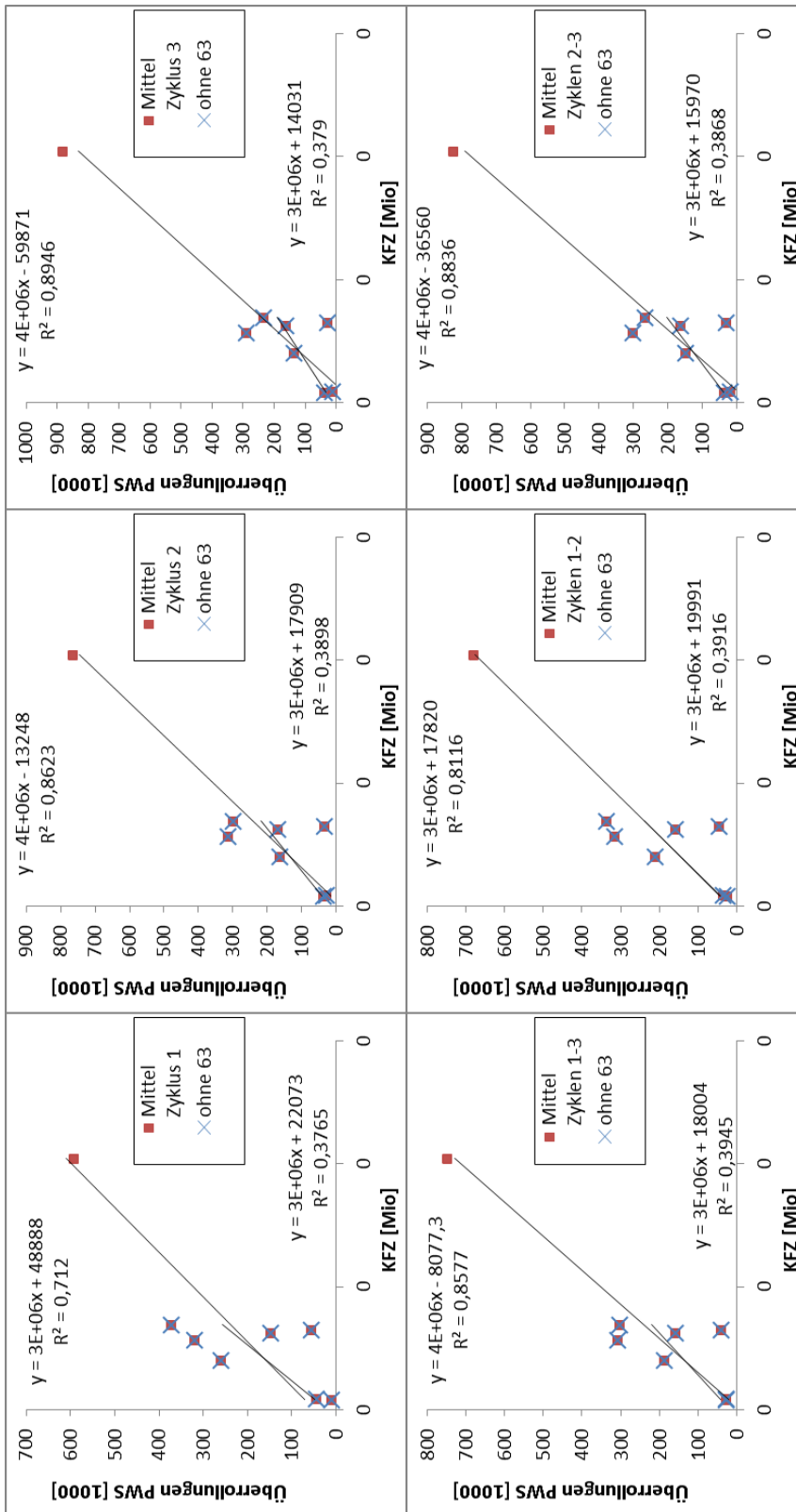


Abb. 70: Korrelationen Überrollungen PWS / Gesamt-LKW Verkehr bis 2013_gewichtet um PKW-Anteil am rechten Fahrstreifen/10.000_gewichtet um Fahrstreifenbreite [Mio] (nur 3-streifige Strecken).

Tabelle 27: Strecke 7u, sämtliche erfassten Messdaten (untere Tabelle) sowie die nach Ausreißereliminierung weiter verwendeten Daten (obere Tabelle).

7u	BK 1 Zy1	BK 2 Zy1	BK 3 Zy1	BK 4 Zy1	BK 1 Zy2	BK 2 Zy2	BK 3 Zy2	BK 4 Zy2	BK 1 Zy3	BK 2 Zy3	BK 3 Zy3	BK 4 Zy3	BK 1 Zy4	BK 2 Zy4	BK 3 Zy4	BK 4 Zy4
										0,572						
										0,584	0,605	0,616				
										0,576	0,624	0,625				
					0,580	0,633	0,638			0,566	0,632	0,620	0,598			
					0,586	0,639	0,648			0,569	0,632	0,620	0,612			
					0,591	0,637	0,639			0,567	0,629	0,617	0,617			
Start	0,635	0,636	0,646							0,492	0,559	0,561	0,554			
500	0,566	0,602	0,583							0,486	0,518	0,513	0,511			
1500	0,512	0,564	0,528							0,465	0,481	0,479	0,476			
3000	0,482	0,527	0,496		0,476	0,482	0,492			0,442	0,450	0,453	0,448			
6000	0,452	0,493	0,474		0,444	0,457	0,468			0,426	0,423	0,432	0,425			
12000	0,434	0,463	0,453		0,425	0,432	0,446			0,399	0,390	0,405	0,385			
30000	0,405	0,427	0,425		0,399	0,398	0,416			0,361	0,344	0,356	0,348			
90000	0,365	0,368	0,383		0,356	0,349	0,366			0,336	0,316	0,325	0,321			
180000	0,341	0,341	0,360		0,328	0,321	0,335									
										0,572						
										0,584	0,605	0,616				
									0,578	0,576	0,624	0,625				
					0,603	0,580	0,633	0,638	0,599	0,566	0,632	0,620	0,598			
					0,613	0,586	0,639	0,648	0,594	0,569	0,632	0,620	0,612			
					0,614	0,591	0,637	0,639	0,600	0,567	0,629	0,617	0,617			
Start	0,605	0,635	0,636	0,646	0,476	0,539	0,569	0,576	0,451	0,492	0,559	0,561	0,554			
500	0,519	0,566	0,602	0,583	0,440	0,505	0,522	0,527	0,404	0,486	0,518	0,513	0,511			
1500	0,465	0,512	0,564	0,528	0,411	0,476	0,482	0,492	0,378	0,465	0,481	0,479	0,476			
3000	0,435	0,482	0,527	0,496	0,388	0,444	0,457	0,468	0,362	0,442	0,450	0,453	0,448			
6000	0,412	0,452	0,493	0,474	0,368	0,425	0,432	0,446	0,341	0,426	0,423	0,432	0,425			
12000	0,385	0,434	0,463	0,453	0,329	0,399	0,398	0,416	0,318	0,399	0,390	0,405	0,385			
30000	0,346	0,405	0,427	0,425	0,297	0,356	0,349	0,366	0,293	0,361	0,344	0,356	0,348			
90000	0,307	0,365	0,368	0,383	0,276	0,328	0,321	0,335	0,275	0,336	0,316	0,325	0,321			
180000	0,287	0,341	0,341	0,360	0,276	0,328	0,321	0,335	0,275	0,336	0,316	0,325	0,321			

Tabelle 31: Strecke 63u, sämtliche erfassten Messdaten (untere Tabelle) sowie die nach Ausreißereliminierung weiter verwendeten Daten (obere Tabelle).

63u	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	
	Zy1	Zy1	Zy1	Zy1	Zy2	Zy2	Zy2	Zy2	Zy3	Zy3	Zy3	Zy3	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	
Start																					
500	0,530	0,598	0,572		0,560	0,581	0,567		0,550	0,559	0,543										
1500	0,474	0,537	0,525		0,510	0,516	0,525		0,502	0,522	0,486										
3000	0,438	0,483	0,482		0,473	0,468	0,485		0,465	0,491	0,448										
6000	0,413	0,453	0,456		0,437	0,440	0,459		0,440	0,465	0,425										
12000	0,385	0,425	0,429		0,413	0,418	0,432		0,417	0,438	0,405										
30000	0,355	0,393	0,400		0,386	0,389	0,408		0,392	0,414	0,374										
90000	0,318	0,352	0,356		0,342	0,348	0,365		0,356	0,371	0,338										
180000	0,302	0,322	0,325		0,317	0,320	0,334		0,331	0,340	0,312										
									0,613	0,627											
									0,625	0,644	0,607	0,621									
									0,621	0,649	0,643	0,627									
					0,625	0,634	0,634	0,618	0,632	0,653	0,642	0,636	0,610								
					0,642	0,645	0,649	0,637	0,624	0,659	0,636	0,634	0,622								
					0,635	0,644	0,652	0,629	0,627	0,661	0,637	0,633	0,624								
Start	0,631	0,623	0,647	0,633					0,579	0,569	0,550	0,559	0,543								
500	0,597	0,530	0,598	0,572	0,586	0,560	0,581	0,567	0,539	0,528	0,502	0,522	0,486								
1500	0,562	0,474	0,537	0,525	0,551	0,510	0,516	0,525	0,513	0,497	0,465	0,491	0,448								
3000	0,533	0,438	0,483	0,482	0,521	0,473	0,468	0,485	0,494	0,468	0,440	0,465	0,425								
6000	0,514	0,413	0,453	0,456	0,496	0,437	0,440	0,459	0,478	0,439	0,417	0,438	0,405								
12000	0,501	0,385	0,425	0,429	0,480	0,413	0,418	0,432	0,454	0,410	0,392	0,414	0,374								
30000	0,483	0,355	0,393	0,400	0,463	0,386	0,389	0,408	0,409	0,375	0,356	0,371	0,338								
90000	0,434	0,318	0,352	0,356	0,423	0,342	0,348	0,365	0,375	0,355	0,331	0,340	0,312								
180000	0,399	0,302	0,322	0,325	0,390	0,317	0,320	0,334	0,375	0,355	0,331	0,340	0,312								
270000																					
360000																					
540000																					
720000																					

Tabelle 34: Strecke 67u, sämtliche erfassten Messdaten (untere Tabelle) sowie die nach Ausreißereliminierung weiter verwendeten Daten (obere Tabelle).

67u	BK 1 Zy1	BK 2 Zy1	BK 3 Zy1	BK 4 Zy1	BK 1 Zy2	BK 2 Zy2	BK 3 Zy2	BK 4 Zy2	BK 1 Zy3	BK 2 Zy3	BK 3 Zy3	BK 4 Zy3	BK 1 Zy4	BK 2 Zy4	BK 3 Zy4	BK 4 Zy4
				0,612								0,639				
				0,611								0,660				0,633
				0,616	0,539			0,641	0,651			0,664		0,530		0,656
				0,628	0,543			0,673	0,643			0,696		0,539		0,651
				0,634	0,550			0,685	0,632			0,684		0,520		0,676
				0,642	0,553			0,688	0,634			0,691		0,523		0,636
Start	0,506															
500	0,477			0,591	0,503			0,619	0,553			0,597		0,502		
1500	0,457			0,556	0,481			0,580	0,519			0,562		0,484		
3000	0,449			0,533	0,452			0,536	0,494			0,518		0,467		
6000	0,433			0,521	0,437			0,494	0,461			0,496		0,457		
12000	0,422			0,502	0,414							0,469		0,444		
30000	0,398			0,472	0,399							0,459		0,426		
90000	0,369			0,444	0,368			0,414	0,371			0,425		0,388		
180000				0,412				0,388				0,389		0,358		
				0,612								0,639				
				0,611						0,508		0,660				0,633
				0,616	0,539			0,641	0,651	0,502	0,540	0,664	0,595	0,530		0,656
				0,628	0,543	0,493	0,517	0,673	0,643	0,471	0,499	0,696	0,621	0,539		0,651
				0,634	0,550	0,480	0,501	0,685	0,632	0,491	0,505	0,684	0,632	0,520		0,676
				0,642	0,553	0,479	0,512	0,688	0,634	0,481	0,505	0,691	0,634	0,523		0,636
Start	0,506	0,489														
500	0,477	0,449	0,518	0,591	0,503	0,410	0,475	0,619	0,553	0,396	0,441	0,597	0,557	0,502		
1500	0,457	0,431	0,499	0,556	0,481	0,388	0,456	0,580	0,519	0,371	0,418	0,562	0,529	0,484		
3000	0,449	0,418	0,489	0,533	0,452	0,372	0,439	0,536	0,494	0,359	0,404	0,518	0,521	0,467		
6000	0,433	0,406	0,476	0,521	0,437	0,368	0,430	0,494	0,461	0,351	0,390	0,496	0,512	0,457		
12000	0,422	0,393	0,461	0,502	0,414	0,346	0,415	0,520	0,476	0,335	0,376	0,469	0,473	0,444		
30000	0,398	0,369	0,439	0,472	0,399	0,326	0,385	0,491	0,443	0,308	0,355	0,459	0,458	0,426		
90000	0,369	0,327	0,393	0,444	0,368	0,295	0,337	0,414	0,371	0,275	0,313	0,425	0,422	0,388		
180000				0,303	0,354	0,270	0,299	0,388	0,367	0,253	0,288	0,389	0,418	0,358		
270000													0,392			

Tabelle 38: Strecke 109u, sämtliche erfassten Messdaten (untere Tabelle) sowie die nach Ausreißereliminierung weiter verwendeten Daten (obere Tabelle).

109u	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	
	Zy1	Zy1	Zy1	Zy1	Zy2	Zy2	Zy2	Zy2	Zy3	Zy3	Zy3	Zy3	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	Zy4	
							0,560				0,687										
							0,577				0,657										
							0,591				0,696										
							0,608				0,673										
							0,611	0,669			0,747	0,722									
			0,561				0,627	0,689			0,733	0,736									
			0,563				0,645	0,700			0,773	0,773									
			0,562	0,675			0,693	0,722			0,778	0,768									
			0,512	0,597			0,686	0,718			0,790	0,757									
Start			0,478	0,544			0,647	0,623			0,711	0,720									
500			0,467	0,519			0,593	0,585			0,636	0,625									
1500			0,448	0,489			0,564	0,530			0,593	0,608									
3000			0,428	0,456			0,536				0,573	0,564									
6000			0,397	0,411			0,499	0,488			0,557	0,531									
12000			0,318	0,352			0,459	0,450			0,513	0,518									
30000			0,243	0,316			0,380	0,395			0,437	0,449									
90000							0,346	0,360			0,386	0,408									
180000							0,560				0,687										
							0,577				0,657										
							0,591				0,696										
							0,608				0,673										
							0,611	0,669			0,747	0,722									
							0,627	0,689			0,733	0,736	0,583								0,790
			0,561				0,645	0,700	0,580		0,773	0,773	0,609								0,838
			0,563				0,693	0,722	0,595		0,778	0,768	0,614								0,833
			0,562	0,675			0,686	0,718	0,592		0,790	0,757	0,610								0,848
Start	0,575		0,512	0,597	0,443		0,647	0,623	0,456		0,711	0,720	0,559								0,751
500	0,448		0,478	0,544	0,397		0,593	0,585	0,410		0,636	0,625	0,519								0,689
1500	0,397		0,467	0,519	0,364		0,564	0,530	0,380		0,593	0,608	0,495								0,644
3000	0,363		0,448	0,489	0,337		0,536	0,494	0,352		0,573	0,564	0,471								0,623
6000	0,334		0,428	0,456	0,304		0,499	0,488	0,321		0,557	0,531	0,444								
12000	0,301		0,397	0,411	0,267		0,459	0,450	0,278		0,513	0,518	0,395								0,526
30000	0,260		0,318	0,352	0,224		0,380	0,395	0,227		0,437	0,449	0,323								0,505
90000	0,216		0,243	0,316	0,198		0,346	0,360	0,201		0,386	0,408	0,279								0,449
180000	0,196																				

Tabelle 40: Statistische Auswertung der um Ausreißer bereinigten Messwerte bzw. PK an den BK der PROGRIP-Strecken (aufgegliedert in Zyklen 1 bis 3) aus Tabelle 26 bis Tabelle 39.

Material	Anzahl PK	BK	Prüfung	Zyklus-Nummer	Anzahl verglichene Zyklen je PK	Anzahl verglichene Polierstufen je PK	Spanne Startniveau [µPWS]	Mittel Start-niveau [µPWS]	Stabwn Start-niveau [µPWS]	Diff Start/ 500Ü [µPWS]	Diff Start/ 30.000Ü [µPWS]	Diff Start/ 180.000Ü [µPWS]	Mittlere Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Stabw der Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Mittlere Stabw der einzelnen Polierstufen [µPWS]
WB	3	2u	Labor B	1	1	8	0,018	0,568	0,008	0,052	0,192	0,256	0,012	0,004	0,005
WB	3	2u	Labor B	2	1	8	0,010	0,592	0,004	0,068	0,213	0,276	0,024	0,004	0,011
WB	3	2u	Labor B	3	1	8	0,026	0,587	0,012	0,080	0,208	0,267	0,036	0,012	0,015
WB	3	7u	Labor B	1	1	8	0,011	0,639	0,005	0,055	0,220	0,291	0,033	0,012	0,014
WB	3	7u	Labor B	2	1	8	0,048	0,622	0,022	0,061	0,218	0,294	0,021	0,007	0,009
WB	3	7u	Labor B	3	1	8	0,062	0,604	0,027	0,067	0,206	0,279	0,024	0,018	0,010
WB	3	29u	Labor B	1	1	8	0,013	0,688	0,006	0,040	0,264	0,391	0,026	0,003	0,011
WB	3	29u	Labor B	2	1	8	0,028	0,692	0,012	0,066	0,295	0,407	0,032	0,004	0,013
WB	3	29u	Labor B	3	1	8	0,025	0,681	0,012	0,075	0,290	0,392	0,031	0,005	0,013
SMA	3	42u	Labor A	1	1	8	0,006	0,606	0,003	0,056	0,205	0,279	0,031	0,013	0,013
SMA	3	42u	Labor A	2	1	8	0,003	0,594	0,001	0,071	0,211	0,280	0,025	0,004	0,011
SMA	3	42u	Labor A	3	1	8	0,026	0,582	0,011	0,074	0,200	0,274	0,014	0,009	0,006
SMA	2	51u	Labor A	1	1	8		0,706		0,111	0,295	0,367	0,015	0,011	
SMA	2	51u	Labor A	2	1	5	0,039	0,691		0,145	0,298	0,352	0,006	0,006	
SMA	2	51u	Labor A	3	1	8	0,002	0,692		0,124	0,267	0,338	0,016	0,005	
WB	3	63u	Labor B	1	1	8	0,024	0,634	0,010	0,068	0,252	0,318	0,046	0,013	0,020
WB	3	63u	Labor B	2	1	8	0,023	0,642	0,009	0,072	0,248	0,318	0,019	0,003	0,008
WB	2	63u	Labor B	3	1	8	0,004	0,635		0,081	0,232	0,300	0,018	0,006	
WB	3	65u	Labor B	1	1	8	0,079	0,586	0,033	0,029	0,150	0,222	0,062	0,012	0,027
WB	3	65u	Labor B	2	1	8	0,052	0,586	0,022	0,045	0,166	0,233	0,030	0,007	0,013
WB	3	65u	Labor B	3	1	8	0,051	0,578	0,021	0,046	0,156	0,221	0,026	0,009	0,012
SMA	3	67au	Labor A	1	1	8	0,116	0,607	0,053	0,064	0,189	0,255	0,087	0,006	0,038
SMA	3	67au	Labor A	2	1	8	0,041	0,587	0,017	0,058	0,167	0,262	0,086	0,010	0,037
SMA	3	67au	Labor A	3	1	8	0,029	0,589	0,012	0,081	0,204	0,279	0,060	0,006	0,027
SMA	2	67u	Labor A	1	1	7	0,136	0,574		0,040	0,139	0,162	0,077	0,032	
SMA	2	67u	Labor A	2	1	6	0,134	0,621		0,060	0,222	0,233	0,050	0,044	
SMA	2	67u	Labor A	3	1	5	0,057	0,663		0,088	0,204	0,274	0,025	0,021	
WB	3	68u	Labor B	1	1	8	0,021	0,627	0,008	0,031	0,176	0,247	0,042	0,009	0,018
WB	3	68u	Labor B	2	1	8	0,022	0,622	0,010	0,051	0,180	0,254	0,034	0,005	0,014
WB	3	68u	Labor B	3	1	8	0,031	0,611	0,014	0,042	0,177	0,246	0,035	0,007	0,015
WB	4	77u	Labor B	1	1	8	0,050	0,595	0,018	0,027	0,140	0,207	0,033	0,008	0,012
WB	4	77u	Labor B	2	1	8	0,059	0,572	0,021	0,030	0,140	0,207	0,039	0,007	0,015
WB	4	77u	Labor B	3	1	8	0,052	0,562	0,020	0,034	0,145	0,207	0,044	0,011	0,017
SMA	3	108u	Labor A	1	1	8	0,160	0,767	0,073	0,103	0,296	0,392	0,048	0,012	0,020
SMA	3	108u	Labor A	2	1	8	0,168	0,749	0,076	0,115	0,301	0,388	0,046	0,021	0,020
SMA	3	108u	Labor A	3	1	8	0,140	0,726	0,066	0,101	0,289	0,360	0,036	0,017	0,015
SMA	2	109u	Labor A	1	1	8	0,113	0,618	0,057	0,064	0,214	0,339	0,049	0,023	0,025
SMA	2	109u	Labor A	2	1	7	0,032	0,702	0,016	0,066	0,247	0,349	0,014	0,010	0,007
SMA	2	109u	Labor A	3	1	8	0,033	0,773	0,016	0,058	0,258	0,376	0,014	0,007	0,007
SMA	2	110u	Labor A	1	1	8	0,015	0,782		0,091	0,358	0,473	0,011	0,006	
SMA	3	110u	Labor A	2	1	8	0,154	0,716	0,071	0,056	0,260	0,382	0,068	0,026	0,030
SMA	3	110u	Labor A	3	1	8	0,170	0,731	0,079	0,080	0,288	0,391	0,065	0,014	0,027

Tabelle 41: Wiederholbarkeiten (Wh.b) und Vergleichbarkeiten (Vgl.b) am gleichen SMA (jeweils gleiche Herstellungsserien von Labor-PK (PK = Prüfkörper)). Rot = Ausreißer.

Wh.b Prognoseprü 1 Labor an untersch. PK einer Serie (Herstellung PK in 1 Labor)														
Material	Art der Herstellung	Herstellung Labor-PK	Anzahl PK	Labor-PK	Prüfung	Zyklus-Nummer	Anzahl vergleichene Zyklen je PK	Anzahl vergleichene Polierstufen je PK	Spanne Start-niveau [µPWS]	Mittel Start-niveau [µPWS]	Stabwn Start-niveau [µPWS]	Mittlere Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Stabw der Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Mittlere Stabw der einzelnen Polierstufen [µPWS]
SMA	WSV	Labor A	2	Platte 1_8,4%_1.Serie=Z069A, Z069B	Labor B	3_2	1	8	0,007	0,610		0,010	0,005	
SMA	WSV	Labor A	2	Platte 4_8,7%_2.Serie, Platte 1_8,6%_2.Serie	Labor A	3_x	2	8	0,006	0,589		0,030	0,001	
SMA	WSV	Labor A	2	Platte 4_8,7%_2.Serie, Platte 1_8,6%_2.Serie	Labor B	3_x	2	8	0,043	0,605		0,027	0,007	
SMA	WSV	Labor A	3	Platte 1,2,4_Serie 2	Labor B	3_x	2-5	8	0,043	0,606	0,018	0,049	0,010	0,020
SMA	WSV	Labor A	4	4 Platten aus Serie 2	Labor A	3_x	2-5	8	0,049	0,591	0,018	0,143	0,029	0,056
SMA	WSV	Labor A	2	2 Platten aus Polierleistgsvgl.	Labor A	3_x	2	7	0,003	0,617	0,001	0,004	0,003	
SMA	WSV	Labor A	3	Herbst 2015, WSV 2,6,7	Labor B	1	1	8	0,020	0,543	0,008	0,009	0,006	0,004
SMA	WSV	Labor A	3	Herbst 2015, WSV 2,6,7	Labor B	2	1	8	0,005	0,626	0,002	0,007	0,006	0,003
SMA	WSV	Labor A	3	Herbst 2015, WSV 2,6,7	Labor B	3	1	8	0,005	0,612	0,002	0,005	0,003	0,003
SMA	BK	Labor A	2	BK 3,5 (Okt. 2013)	Labor A	1	1	8	0,032	0,522		0,027	0,019	
SMA	BK	Labor A	2	BK 3,5 (Okt. 2013)	Labor A	2	1	8	0,003	0,566		0,008	0,003	
SMA	BK	Labor A	2	BK 3,5 (Okt. 2013)	Labor A	3	1	8	0,005	0,594		0,009	0,003	
SMA	WSV	Labor A	2	Herbst 2015, WSV 1,3	Labor A	1	1	8	0,023	0,580		0,017	0,009	
SMA	WSV	Labor A	2	Herbst 2015, WSV 1,3	Labor A	2	1	8	0,001	0,600		0,015	0,002	
SMA	WSV	Labor A	2	Herbst 2015, WSV 1,3	Labor A	3	1	8	0,018	0,598		0,004	0,003	
SMA	WSV	Labor A	2	Herbst 2015, ngWSV 1,2	Labor A	1	1	8	0,121	0,592		0,046	0,044	
SMA	WSV	Labor A	2	Herbst 2015, ngWSV 1,2	Labor A	2	1	8	0,052	0,591		0,004	0,002	
SMA	WSV	Labor A	2	Herbst 2015, ngWSV 1,2	Labor A	3	1	8	0,065	0,606		0,007	0,007	
Wh.b Regeneration														
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 4_8,7%_2.Serie	Labor B	3_x	2	8	0,040	0,626		0,014	0,009	
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 1_8,6%_2.Serie	Labor B	3_x	2	8	0,036	0,583		0,004	0,002	
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 4_8,7%_2.Serie	Labor A	3_x	2	8	0,006	0,586		0,014	0,009	
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 1_8,6%_2.Serie	Labor A	3_x	2	8	0,028	0,592		0,016	0,005	
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 2_8,9%_2.Serie	Labor B	3_x	5	8	0,032	0,610	0,012	0,045	0,018	0,016
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 5_8,5%_2.Serie	Labor A	3_x	3	8	0,021	0,618	0,009	0,017	0,005	0,007
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 9_9,6%_2.Serie	Labor A	3_x	5	8	0,036	0,570	0,012	0,048	0,003	0,018
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 4_8,8%_1.Serie	Labor A	3_x	6	8	0,037	0,543	0,012	0,033	0,003	0,012
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 6_Polierleistgsvgl.	Labor A	3_x	2	7	0,003	0,616		0,003	0,003	
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 3_Polierleistgsvgl.	Labor A	3_x	2	7	0,021	0,619		0,019	0,008	
SMA	WSV	Labor A	1	Platte 3_2_Polierleistgsvgl.	Labor A	3_x	2	7	0,007	0,587		0,010	0,006	
Vgl.b der Prognosen von 2 Labors an versch. PK desgleichen Materials (einer Serie)														
SMA	WSV	Labor A	3/4	Platte 1,2,4_Serie 2 (Mittel)/4 Platten Serie 2	Labor B / A	3_x	2-5	8	0,016	0,599		0,051	0,014	
SMA	WSV	Labor A	2/1	Herbst 2015, Mittel WSV 1,3 / WSV 5	Labor A / B	1	1	8	0,028	0,566		0,005	0,004	
SMA	WSV	Labor A	2/1	Herbst 2015, Mittel WSV 1,3 / WSV 5	Labor A / B	2	1	8	0,006	0,597		0,008	0,005	
SMA	WSV	Labor A	2/1	Herbst 2015, Mittel WSV 1,3 / WSV 5	Labor A / B	3	1	8	0,001	0,598		0,010	0,005	
Vgl.b BK / WSV														
SMA	BK / WSV	Labor A	2/2	BK 3,5 (Okt. 2013) / Herbst 2015, Mittel WSV 1,3	Labor A	1	1	8	0,058	0,551		0,005	0,004	
SMA	BK / WSV	Labor A	2/2	BK 3,5 (Okt. 2013) / Herbst 2015, Mittel WSV 1,3	Labor A	2	1	8	0,034	0,583		0,003	0,002	
SMA	BK / WSV	Labor A	2/2	BK 3,5 (Okt. 2013) / Herbst 2015, Mittel WSV 1,3	Labor A	3	1	8	0,004	0,596		0,004	0,002	

Tabelle 42: Wiederholbarkeiten (Wh.b) und Vergleichbarkeiten (Vgl.b) am gleichen WB (gleiche und versch. Herstellungsserien von WB-PK (PK = Prüfkörper) sowie BK). Die Prognoseprüfungen wurden ohne vorheriges Sandstrahlen durchgeführt. Die obere Hälfte der Tabellen berücksichtigt alle Polierstufen, die untere (blau unterlegt) nur die Polierstufen ab 30.000 Überrollungen.

Wh.b Prognoseprü 1 Labor an untersch. PK einer Serie																	
Material	Art der Herstellung	Herstellung Labor-PK	Anzahl PK	Labor-PK	Prüfung	(Zyklus: nur polieren)	Anzahl verglichene Zyklen je PK	Anzahl verglichene Polierstufen je PK	Spanne Startniveau [µPWS]	Mittel Startniveau [µPWS]	Stabwn Startniveau [µPWS]	Diff Start/ 500Ü [µPWS]	Diff Start/ 30.000Ü [µPWS]	Diff Start/ 180.000Ü [µPWS]	Mittlere Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Stabw der Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Mittlere Stabw der einzelnen Polierstufen [µPWS]
WB BK	Labor B	Labor B	4	BK 6, 7, 9, 11	Labor B		1	8							0,015	0,006	0,006
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 1,2,3 (händisch 6,5 h)	Labor B		1	8	0,059	0,471	0,025	0,058	0,086	0,161	0,009	0,006	0,004
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 16,17,18 (händisch 6 h)	Labor B		1	8							0,020	0,006	0,008
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 4,5,6 (händisch 5,5 h)	Labor B		1	8							0,028	0,008	0,012
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 10,11,12 (Ausbürst 10Ü)	Labor B		1	8							0,012	0,003	0,005
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 13,14,15 (Ausbürst 8Ü)	Labor B		1	8							0,009	0,005	0,004
Vgl.b versch. PK-Serien																	
WB BK	Labor B	Labor B	5	Mittel aller WB-Serien	Labor B		1	8							0,037	0,015	0,016
Vgl.b BK / Labor-PK																	
WB BK / WP-Platten	Labor B	Labor B	5	Mittel aller WB-Serien	Labor B		1	8							0,028	0,016	0,014
Wh.b Prognoseprü 1 Labor an untersch. PK einer Serie																	
Material	Art der Herstellung	Herstellung Labor-PK	Anzahl PK	Labor-PK	Prüfung	(Zyklus: nur polieren)	Anzahl verglichene Zyklen je PK	Anzahl verglichene Polierstufen je PK	Spanne Startniveau [µPWS]	Mittel Startniveau [µPWS]	Stabwn Startniveau [µPWS]	Diff Start/ 500Ü [µPWS]	Diff Start/ 30.000Ü [µPWS]	Diff Start/ 180.000Ü [µPWS]	Mittlere Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Stabw der Spanne der einzelnen Polierstufen [µPWS]	Mittlere Stabw der einzelnen Polierstufen [µPWS]
WB BK	Labor B	Labor B	4	BK 6, 7, 9, 11	Labor B		1	3							0,010	0,005	0,004
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 1,2,3 (händisch 6,5 h)	Labor B		1	3	0,059	0,471	0,025	0,471	0,086	0,161	0,009	0,003	0,004
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 16,17,18 (händisch 6 h)	Labor B		1	3							0,019	0,001	0,008
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 4,5,6 (händisch 5,5 h)	Labor B		1	3							0,029	0,007	0,012
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 10,11,12 (Ausbürst 10Ü)	Labor B		1	3							0,014	0,003	0,006
WB BK	Labor B	Labor B	3	WB 13,14,15 (Ausbürst 8Ü)	Labor B		1	3							0,006	0,002	0,002
Vgl.b versch. PK-Serien																	
WB BK	Labor B	Labor B	5	Mittel aller WB-Serien	Labor B		1	3							0,032	0,001	0,014
Vgl.b BK / Labor-PK																	
WB BK / WP-Platten	Labor B	Labor B	5	Mittel aller WB-Serien	Labor B		1	3							0,013	0,004	0,006

7. ANHANG II

HERSTELLUNG VON WASCHBETONPROBEKÖRPERN IM LABOR

1. Normative Grundlage(n)

Die normative Grundlage dieser Arbeitsanweisung ist die RVS 08.17.02 – Deckenherstellung in der aktuell gültigen Fassung.

Die folgende Arbeitsanweisung beschreibt das Verfahren zur Herstellung von Betonprüfplatten im Labor.

2. Erforderliche Prüfgeräte und Hilfsmittel

Zwangsmischer

Ein Zwangsmischer dient zur schnellen und vollständigen Durchmischung der trockenen, feuchten und nassen Baumaterialien. Das Mischgut wird unmittelbar in den Behälter gegeben und mit der vorgeschriebenen Flüssigkeitsmenge aufbereitet.

Die Prüfmaschine besteht im Wesentlichen aus einem ruhenden Behälter, in dem Mischwerkzeuge die Materialien mischen. Der Trommelinhalt des Prüfgerätes ist 100 l und ist für 60 l Fertigmischgut geeignet. Der Zwangsmischer ist vorgesehen für fein- und grobkörniges Mischgut bis zu einer Korngröße von 16 mm.

Die schnelle Entleerung erfolgt über einen Segmentschieber am Trommelboden. Die nötige Sicherheit bietet dabei den eingebauten Entleerschutzzitter.



Die Ein- und Ausschalten ist erforderlich durch den Hauptschalter, der unter der Trommel sich befindet. Die grüne Taste ist zum Starten der Maschine und die rote Taste ist zum Stoppen.

Rütteltisch

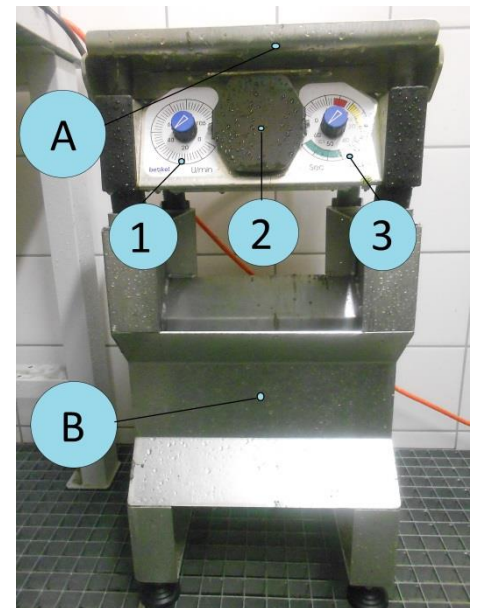
Der Rütteltisch dient zur Verdichtung von Beton oder Schüttgütern. Ebenso werden Rütteltische in bestehende Anlagen integriert um Produkte zu verdichten oder zu verteilen.

Das Prüfgerät besteht grundsätzlich aus zwei Teilen. Der obere Teil ist ein mobiler Rütteltisch (A), der auf einen Ständer (B) mit optimaler Arbeitshöhe 75 cm gestellt ist.

Der Rütteltisch hat eine Formenzentrierung und beidseitiger Tropfkante und ist mit galvanisch verzinktem Korrosionsschutz.

Bestandteile des Rütteltisches:

- (1) Drehzahlregelung
- (2) Großflächiger Ein/Aus-Wippschalter – zum Starten und Stoppen des Geräts
- (3) Zeitschaltwerk – variable Zeiteinstellung von 0 – 60 Sekunden



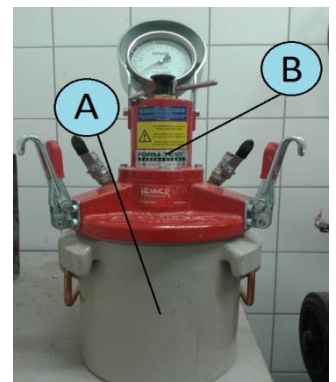
Durch Anwendung des Rütteltisches wird eine vollständige Verdichtung von Beton erzielt. Der Beton ist mit der Probenahmeschaufel so in den Behälter einzufüllen, dass möglichst wenig Luft eingeschlossen wird.

Die Rüttelbehandlung muss mindestens für die Dauer angewendet werden, für die eine vollständige Verdichtung des Betons notwendig ist. Die Schalung mit dem frisch gefüllten Beton sollte vorzugsweise am Tisch befestigt sein oder fest dagegehalten werden.

Zu langes Rütteln, das den Verlust künstlich eingeführter Luftporen bewirken kann, ist zu vermeiden.

Luftgehaltsprüfer

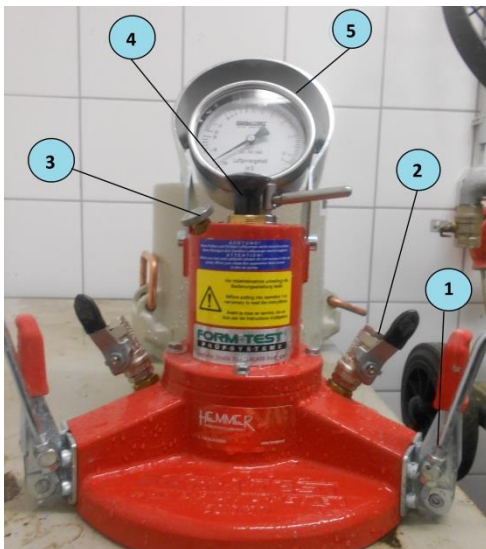
Der Luftgehaltsprüfer dient zur Bestimmung des Luftporengehaltes im Beton. Dieses Prüfgerät arbeitet nach dem Prinzip des Boyle-Mariotteschen-Gesetzes und das Prüfverfahren ist als



Wassersäulenverfahren bezeichnet. Wasser wird über eine verdichtete Betonprobe mit bekanntem Volumen bis auf eine festgelegte Höhe eingefüllt und einen festgelegten Luftdruck über dem Wasser aufgebracht. Die Abnahme des Luftvolumens in der Betonprobe wird durch Beobachten der Verringerung des Wasserpegels gemessen, die Wassersäule ist dabei auf den prozentualen Luftgehalt der Betonprobe kalibriert.

Das Prüfgerät besteht aus zwei Teilen: Behälter (A) und Oberteil (B).

Der Behälter ist ein angeflanshtes zylindrisches Gefäß aus Stahl oder einem anderen harten Metall, das reaktionsträge gegenüber dem Zementleim ist, mit einem Nennvolumen von 8 l. Der Behälter muss wasserdicht sein, Behälter und Verschluss müssen außerdem für einen Prüfdruck von etwa 0,1 MPa (N/mm²) geeignet und ausreichend biegesteif sein, um die Druckausdehnungskonstante e , auf 0,1 % Luftgehalt zu begrenzen.



Das Gerät besteht aus:

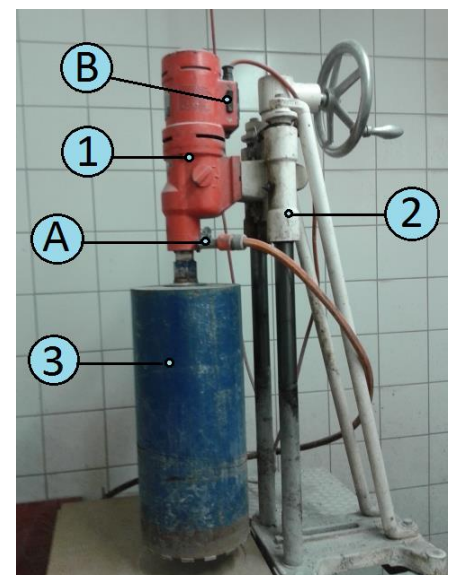
- (1) Klemmverschluss – zur Verspannung zwischen Oberteil und Behälter
- (2) Aufsatzverschluss – mit einer geeigneten Vorrichtung zum Belüften der Luftkammer, einer Rückflusssperre und einem kleinen Ventil zum Ablassen des Wassers.
- (3) Nadelventil mit großer Rändelschraube zur optimalen 0 - Justierung
- (4) Handpumpe – zum Aufbringen des Arbeits- bzw. Prüfdruck
- (5) Manometer mit stabilem Manometerschutz, gleichzeitig als Tragegriff für das Oberteil nutzbar

Kernbohrmaschine

Die Kornbohrmaschine wird bestimmungsgemäß nur zum Bohren von Asphalt, Beton und Mauerwerk verwendet.

Die Bohrkronen, ist ein Hohlbohrer, der mit Diamantsplitttern imprägnierten Segmenten bestückt ist.

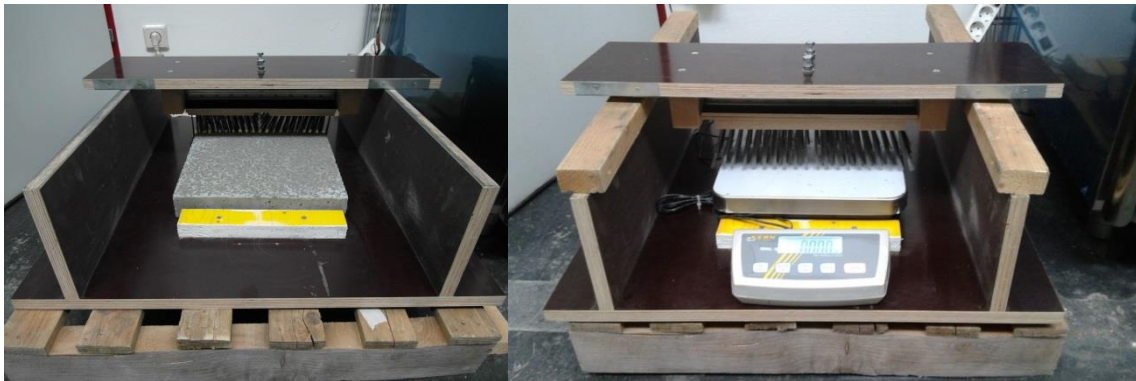
Das Gerät besteht aus:



- (1) Kernbohrmaschine mit Kugelhahn und Stecknippel (A)
- (2) Bohrständer
- (3) Bohrkronen
- (B) Ein- und Ausschalten – Taste

Ausbürstvorrichtung

Nachdem beim händischen Ausbürsten von Waschbetonplatten mit einer Drahtbürste ein gleichmäßiger Handdruck während des gesamten Vorgangs nicht gewährleistet oder überprüft werden kann, wurde eine Ausbürstvorrichtung mit Pendelbesen an der Universität von Weimar entwickelt. Diese Vorrichtung ermöglicht ein praxisnahes Ausbürsten im Labor. Das Ziel ist es, eine ähnliche Rautiefe wie beim maschinellen Ausbürsten auf der Baustelle zu erreichen. Diese Vorrichtung besteht aus einem pendelnd gelagerten Stahlbesen, der auf zwei Schienen geführt wird. Der Besen wird durch das Gewicht des Bearbeiters auf die senkrecht stehenden Fahrschienen gedrückt. Auf diese Weise ist der Druck, mit dem der Besen die Platte belastet, immer gleichmäßig. Wenn der Stahlbesen über die Probe hinweggeschoben wird, pendelt er wieder in seiner Ausgangsstellung. Durch Rückwärtsziehen des Stahlbesens erfolgt das Ausbürsten analog.



Die Ausbürstvorrichtung muss vor jeder Anwendung kalibriert werden. Der Anpressdruck wird mit einer Waage eingestellt, die in der Vorrichtung eingebaut wird. Die Fahrschienen werden durch Zusatzstücke erhöht, damit der Stahlbesen zur Waagenoberfläche die gleiche Höhenposition wie auf den auszubürstenden Platten besitzt. Wenn der Stahlbesen auf den waagrecht stehenden Fahrschienen bewegt wird, belastet er die Waage mit gleicher Kraft wie beim Ausbürsten der Platten. Wenn der Besen die Platte anschlägt, wird er mit einem bestimmten Winkel ausgelenkt. Je steiler der Winkel ist, desto höher

wird der Anpressdruck. Der Anschlag des Stahlbesens kann durch zwei Schrauben variiert werden. Der Stahlbesen muss die Platte mit einer Kraft von 130 ± 5 N belasten.

Andere Prüfgeräte und Hilfsmittel

Laborwaage

Die Laborwaage ist ein Messgerät zur Bestimmung der abgewogenen Masse. Mit der Hilfe der Laborwaage werden die entsprechenden Mengen des Mischgutansatzes bestimmt.

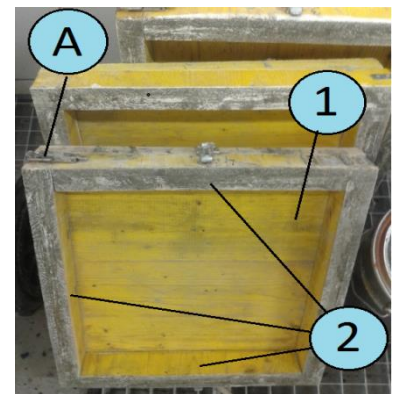
Schalungen

Eine Schalung ist die Gussform, in die der Frischbeton zur Herstellung von Betonplatten eingebracht wird. Nach dem Erhärten des Betons wird die Schalung im Regelfall entfernt.

Zur Herstellung der Probekörper wurden Holzformen mit Maßen 30 cm x 28 cm x 4,5 cm verwendet.

Eine Schalung besteht aus drei Teilen:

- (1) untere Platte, die zum Boden des Probekörpers dient
- (2) zwei Wände, die mit Klemmen (A) verbunden sind.



Glättekelle

Die Glättekelle ist ein Werkzeug, mit dem der Frischbeton geglättet oder strukturiert wird. Durch wenige Striche mit der Glättekelle wird der Beton in die Schalung gleichmäßig verteilt und strukturiert.



Drucksprühflasche

Drucksprühflasche dient zum Sprühen der verschiedenen Flüssigkeiten unter hohem Druck. Die Füllmenge der Flasche ist 1,5 Liter und mit maximalem Betriebsdruck von 3 bar.

Die Drucksprühflasche ist zum Aufsprühen des Verzögerers auf die Oberfläche der Betonplatte geeignet..



3. Betonplattenherstellung

Mischen des Betons

Zur Herstellung des Betons werden getrocknete feine und grobe Gesteinskörnungen verwendet. Die entsprechende Menge für 40 kg Frischbeton gemäß Rezeptur wird mit der Hilfe einer Laborwaage bestimmt.

Zuerst werden die groben Gesteinskörnungen 4/8 und Zement in den Zwangsmischer 20 Sekunden trocken gemischt. Dann sind die feinen Gesteinskörnungen 0/2 zuzugeben und wieder 20 Sekunden trocken zu mischen. Anschließend wird das Anmachwasser mit der Zugabe der entsprechenden Zusatzmittel zugegeben und weitere 5 Minuten gemischt.

Vorgang		Zeit
		[sec]
Einfüllen der Gesteinskörnung		
1	Trockenmischen von grobe Gesteinskörnungen und Zement	20
2	Trockenmischen und Zugabe des feinen Gesteinskörnungen	20
3	Mischen und Zugabe des Wassers (mit FM und LP)	300

Als Zusatzmittel werden ein Fließmittel und ein Luftporenbildnerkonzentrat verwendet. Ins Wasser wird die entsprechende Menge zugegeben und händisch gemischt.

Damit eine höhere Genauigkeit der Zeit erreicht wird, sind diesen Zeitintervallen mit der Hilfe einer Stoppuhr gemessen. Die Herstellung der Betone erfolgt im Labor bei Temperaturen zwischen 18 – 22 °C.



Bestimmung des Luftporengehaltes

Zur Charakterisierung des Frischbetons wird der Luftporengehalt bestimmt. Die Bestimmung des Luftgehaltes erfolgt gemäß ÖNORM EN 12350-7. Die Messungen erfolgen 10 Minuten nach Mischende.

Zu den entsprechenden Messterminen ist der Beton mit Hilfe einer Probenahmeschaufel in den Behälter des Luftgehaltsprüfers einzufüllen, so dass der Behälter bis zum oberen Rand gefüllt wird. Dann wird der Behälter am Rütteltisch befestigt oder fest dageengehalten, um eine völlige Verdichtung zu erzielen. Der Frischbeton wird kurz verdichtet und wenn der Behälter nicht gut befüllt ist, wird er wieder mit Mörtel weitergefüllt und 20 Sekunden verdichtet. Wenn die notwendige Verdichtung erzielt ist, wird der Oberteil an dem Behälter durch Klemmenverschlüsse verspannt. Der Luftgehaltsprüfer wird Wassers gefüllt, damit die Störung des Betons gering gehalten wird. Dann wird mit der Handpumpe Druck aufgebracht und der Luftporengehalt wird auf dem Manometer abgelesen.

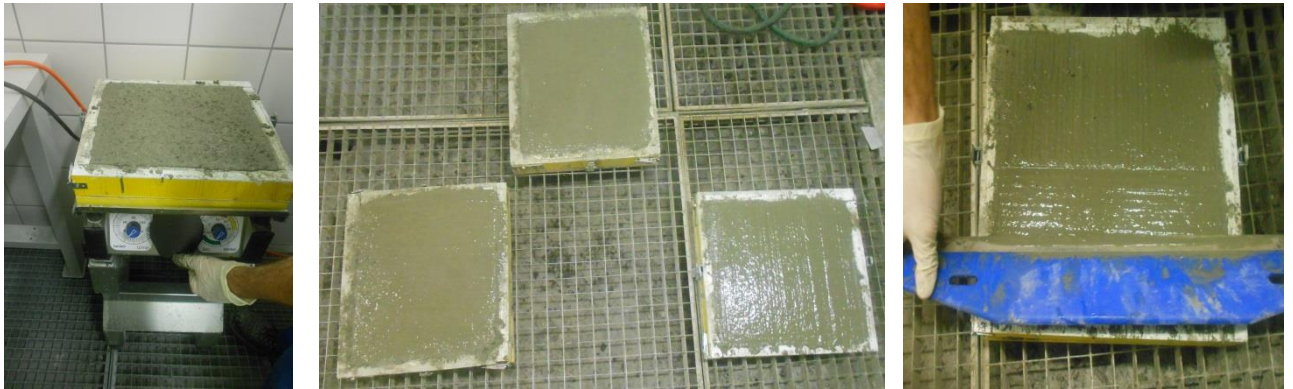


Einschalung, Glättung und Besprühung des Probekörpers

Zur Herstellung von Betonprobekörpern werden drei Holzformen mit den entsprechenden Maßen verwendet. Die Montage der Schalungen kann vorläufig gemacht werden. Das Herstellen der Probekörper erfolgt 10 bis 15 Minuten nach Mischende.

Die notwendige Betonmenge wird vollständig in die Form gefüllt, wobei bereits beim Einfüllen versucht wird, die Ecken der Form mit Beton auszufüllen. Erst nach dem vollständigen Befüllen des Betons wird der Rütteltisch eingeschaltet und solange verdichtet, bis sich der Beton gleichmäßig in der Form verteilt. Nach dem Befüllen und der Verdichtung der Formen, wird mittels der Laborwaage das Gewicht jedes Probekörpers bestimmt.

Durch einige Übergänge mit einer Glättekelle wird die Verteilung des Betons unterstützt und die Ausrichtung der Körner an der Oberfläche begünstigt. Danach erfolgt der Auftrag der Kombinationsmittel mittels einer Drucksprühflasche. Zur Kontrolle der Auftragsmenge werden die Proben auf einer Waage besprüht und durch eine Schablone sichergestellt, dass nur die geglättete Betonoberfläche besprüht wird.

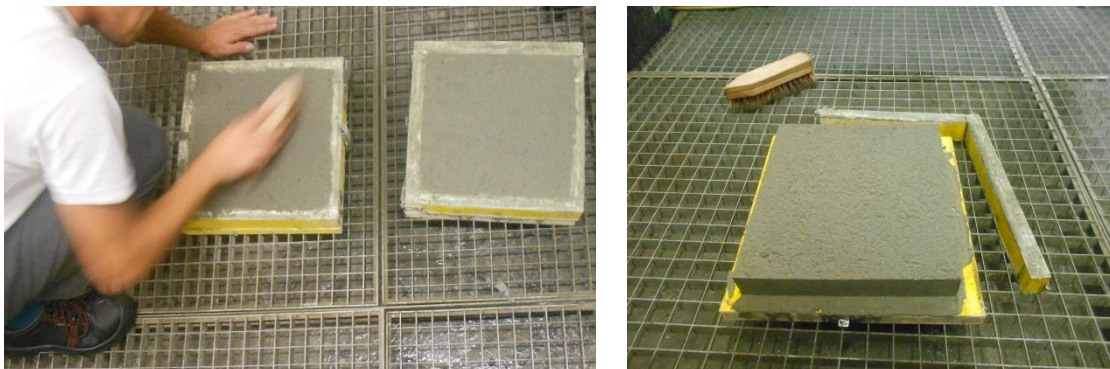


Abbürsten der Platten

Händisches Ausbürsten

Die gewählten Abbürstzeitpunkte variierten je nach Lagerung bzw. in Abhängigkeit des Ausbürstens im Feld. Das Abbürsten der Betonplatten erfolgt mit einer Kunststoffwurzelnbürste, die mit einem Handdruck mehrmals über die Fläche geführt wird, bis kein nennenswerter Materialabtrag mehr auftritt.

Die Drahtbürste soll dazu mit der gesamten Fläche parallel zu den Außenkanten bei gleichmäßigem Druck über die Betonoberfläche geführt werden. Zur Stabilisierung wird die Drahtbürste am Griff und am vorderen Ende gefasst und ohne ein Verkanten über die Fläche geführt. Das Abbürsten erfolgt so lange, bis kein weiterer Abtrag mehr eintritt. Anschließend werden die Probekörper ausgeformt. Damit eine leichtere Ausformung der Betonplatten erreicht wird, können die Schalungen mit Schalungsöl gefettet werden.



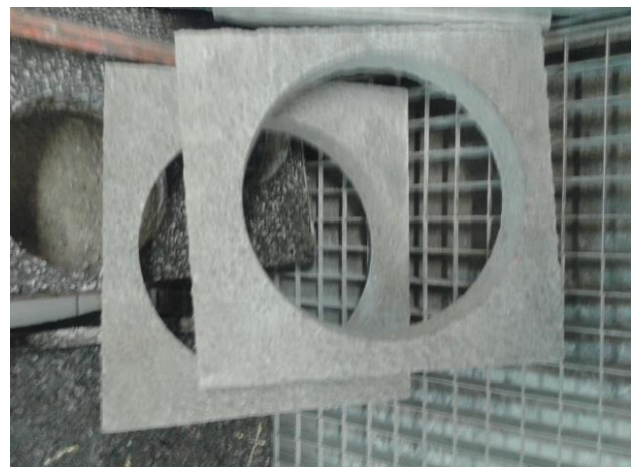
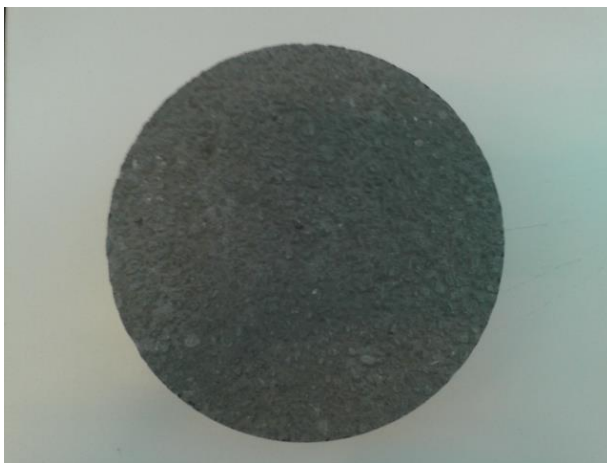
Maschinelles Ausbürsten

Die Funktionsweise von der Ausbürstvorrichtung wurde im Kapitel 0 erläutert. Die Betonplatten werden mit der Ausbürstvorrichtung 8 h nach Auftrag des Verzögerers ausgebürstet. Jede Platte wird in die Vorrichtung gesetzt und der Stahlbesen wird über die Platte 5 Mal vorwärts und rückwärts geführt. Das bedeutet zehn Übergänge des Stahlbesens.

Bohren des Probekörpers

Die Waschbetonprobekörper müssen einen Durchmesser \varnothing 225 mm haben, damit sie in der Prüfanlage nach Wehner / Schulze eingebaut werden können. Zur Herstellung der erforderlichen Probekörper wird die Kernbohrmaschine verwendet.

Die Platte wird unter die Bohrkronen mit Durchmesser \varnothing 225 mm so gelegt, dass sich die Bohrkronen über der Mitte der Betonplatte befindet. Durch Wasserzugabe über den Kugelhahn durch die Bohrkronen wird das abgetragene Material weggespült, und das Werkzeug gekühlt (Nassbohren). Vorzugsweise ist es nur sauberes Leitungswasser zu verwenden, da durch Schmutzwasser der Wärmeübergang an den Kühlflächen erheblich gestört wird, und dadurch am Motor irreparable Schäden entstehen können. Nach dem Bohren muss die Bohrvorrichtung mit Wasser besprüht und gereinigt werden.



Bestimmung der Rautiefe

Bei Betondecken mit Waschbetonstruktur sind die Rautiefe und die Profilspitzenzahl unmittelbar nach der ersten Herstellung zu überprüfen. Die Rautiefe ist gemäß ÖNORM EN 13036-1 und die Anzahl der Profilspitzen (zu zählen sind nur Spitzen, die von Körnern ≥ 4 mm stammen) je Flächeneinheit (Profilspitzenzahl als Mitte aus 3 Teilflächen von je 25 cm^2) zu bestimmen.

In Österreich schreibt die RVS 08.17.02 neben der Rautiefe auch die Anzahl der Profilspitzen (von Körnern ≥ 4 mm) vor. Es wird zudem zwischen Waschbeton mit Größtkorn 8 mm (Splitt 4 – 8 mm) und Waschbeton mit Größtkorn 11 mm (Splitt 4 – 11 mm) unterschieden.

Kenngroße	Waschbeton (GK 8 mm)	Waschbeton (GK 11 mm)
Rautiefe [mm]	0,8 – 1,0	1,0 – 1,3
Profilspitzenanzahl [-] (auf Fläche 5cm x 5 cm) Mittelwert aus 3 Messungen	Richtwert 60	Richtwert 45

Das Verfahren ist so abzustimmen, dass die zulässigen Werte aus der Tabelle oben bzw. die im Feld erzielten Werte erreicht werden. Die Prüfungen sind im Zuge der Arbeiten laufend zu wiederholen, insbesondere bei Änderung der Erscheinungsbilder der Oberfläche der Decke. Die Ursachen allfälliger Mängel sind festzustellen und zur künftigen Fehlervermeidung zu beheben.

Die Bestimmung der Rautiefe ist durch das Sandfleckverfahren möglich. Es ist ein volumetrisches Verfahren, mit dessen Hilfe eine Messung der Makrotexturtiefe der Probekörperoberfläche gemacht wird. Die normative Grundlage dieses Verfahrens ist ÖNORM EN 13036-1.

Das Prinzip des Verfahrens ist, dass eine bestimmte Sandmenge auf einer Probekörperoberfläche ausgebreitet wird. Auf dieser Weise wird der Sand so verteilt, dass er einen kreisförmigen Fleck bildet und dessen Durchmesser wird gemessen. Das Sandvolumen wird durch die bedeckte Fläche dividiert und so wird ein Wert erhalten, der die mittlere Tiefe der Sandschicht darstellt (eine mittlere Texturtiefe).



Die notwendigen Materialien und Geräte sind die folgenden:

- Runde Glaskugeln mit 90% Massenanteil ein Sieb mit 0,25 mm Lochweite
 - Verteilerwerkzeug – eine flache harte Scheibe mit Durchmesser von etwa 65 mm, auf einer Seite mit einer harten Gummiplatte und einer Masse von 305 ± 10 g
 - Zylindrischer Probenbehälter mit bekanntem Rauminhalt von mindestens $25\,000 \pm 150$ mm³
 - Lineal mit einer Länge von 500 mm und mit einem Skalenteilungswert von 1 mm
- Das detaillierte Verfahren ist der ÖNORM EN 13036-1 zu entnehmen

4. Mitgeltende Unterlagen und Normen

ÖNORM EN 197-1: Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

ÖNORM EN 12350-7: Prüfung von Frischbeton – Teil 7: Luftgehalt – Druckverfahren

ÖNORM EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton

ÖNORM EN 13036-1: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens

RVS 08.17.02: Deckenherstellung