Griffigkeitsprognose von Autobahnen – das „Wiener Modell"

Im Rahmen des Projekts PROGRIP ist es erstmals gelungen, einen Zusammenhang zwischen Griffigkeitsverlust durch realen Verkehr und Poliersimulation im Labor herzustellen. Dafür wurden an 14 Strecken des österreichischen Autobahnnetzes (SMA 11 und WB 8) Bohrkerne aus der Rollspur des rechten Fahrstreifens sowie vergleichend aus wenig befahrenen Bereichen (Pannenstreifen oder Mitte des Fahrstreifens) derselben Deckschicht entnommen. Grundsätzliches Ziel dabei war es, die (im Idealfall) unbefahrenen Bohrkerne solange mit einem eigens optimierten Verfahren im Labor zu polieren, bis diese das aktuelle Griffigkeitsniveau der korrespondierenden Bohrkerne aus der Rollspur aufwiesen. Auf diese Weise konnten die erforderlichen Laborbeanspruchungen, ermittelt durch die Prüfanlage nach Wehner/Schulze (PWS), den bekannten realen Verkehrsbelastungen gegenübergestellt werden. Voraussetzung dafür war die Schaffung eines künstlichen und wiederholbar herzustellenden Startniveaus für die anschließende Poliersimulation. Dies konnte durch definiertes Sandstrahlen mit Korund bis zu einer probenspezifischen Maximalgriffigkeit (μ_{max}) erreicht werden. Weiters wurden die Straßengriffigkeiten der Bohrkerne sämtlicher Streckenabschnitte, die einen Griffigkeitsbereich von $0{,}52 \leq \mu \leq 0{,}97$ umfassten und mittels österreichischem Griffigkeitsmesssystem RoadSTAR gemessen wurden, mit den Laborgriffigkeiten (PWS) korreliert, woraus Laborgrenzwerte abgeleitet werden konnten. Das vorgestellte Griffigkeitsprognoseverfahren „Wiener Modell" erlaubt es, für nahezu beliebige Zeiträume bereits im Planungsstadium Griffigkeitsprognosen an Labormischungen durchzuführen oder aber auch die Restnutzungsdauer bestehender Autobahnen hinsichtlich der Griffigkeit abzuschätzen.

An important outcome of the research project PROGRIP was that a correlation between evolution of skid resistance under traffic load in the field and polishing simulation in the lab could be determined in Austria for the first time. From 14 motorway sections (SMA 11 and EACS 8) cores had been taken from both the (polished) wheel path of the right lane and from the (nearly unpolished) hard shoulder (alternatively from the middle of the right lane) of the same surface next to it. The aim was to polish the cores from the hard shoulder according to a modified PROGRIP lab procedure carried out by PWS (polishing device according to Wehner/Schulze) until the skid resistance level of the wheel path had been reached. Proceeding this way, the required polishing passes were linked to the known cumulated traffic volume in order to be able to predict the evolution of skid resistance depending on traffic load. As a precondition an artificial and reproducible starting level of skid resistance for subsequent polishing had to be established. This could be achieved by defined sandblasting with corundum until a material-specific level of skid resistance could not be exceeded any further (maximum level of skid resistance, μ_{max}). Furthermore, the skid resistances of all sections and cores respectively, covering $0{,}52 \leq \mu \leq 0{,}97$ and measured by the Austrian RoadSTAR, have been correlated with the laboratory skid resistances measured by PWS. Based on these data, specifications for the lab skid resistance could be derived. The introduced "Viennese model" enables predictions for almost any time period using either laboratory mixtures in the design period or estimating the remaining service life of existing surfaces regarding skid resistance by sampling cores.

1 Problemstellung

Die Griffigkeit ist besonders auf Autobahnen, auf denen hohe Geschwindigkeiten zugelassen werden, von zentraler Relevanz für die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer. Sobald die Griffigkeit festgelegte Werteniveaus unterschreitet (Warnwert und Schwellenwert gemäß RVS 13.01.15), sind die Organe der Straßenerhaltung verpflichtet, im Extremfall entsprechend teure Instandsetzungs- oder Sanierungsmaßnahmen zu setzen. Daher kommt der Prognose der Griffigkeit aus sicherheitstechnischer, aber auch finanzieller Sicht entsprechend hohe Bedeutung zu.

Auf Basis der österreichischen Anforderungen (ÖN B 3580-1 (2009), RVS 08.17.02 (2011), RVS 08.97.05 (2010), ÖN B 3131 (2010)) muss bzw. kann zur Vorhersage der Griffigkeit von hochrangigen Fahrbahndecken nur der PSV-Wert für die grobe Gesteinskörnung gem. EN 1097-8 (2011) bzw. der PWS-Wert für die feine Gesteinskörnung herangezogen werden. Beide Prüfergebnisse geben einen Hinweis auf die Polierresistenz der geprüften Kornklasse des Gesteins. Dadurch sind zwar unterschiedliche Gesteine miteinander vergleichbar, jedoch kann keine

■ Verfasser

DI Dr. Hannes Kugler,
hannes.kugler@tpaqi.com,
TPA Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH,
Polgarstraße 30, A-1220 Wien,

DI Roland Spielhofer,
roland.spielhofer@ait.ac.at,
AIT Austrian Institute of Technology,
Donau-City-Straße 1,
A-1220 Wien,

Ass.-Prof. DI Dr. Bernhard Hofko,
bernhard.hofko@tuwien.ac.at,
Technische Universität Wien, Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich für Straßenwesen (IVWS),
Gußhausstraße 28/E230-3,
A-1040 Wien,

Proj.-Ass. DI Georgi Chankov,
georgi.chankov@tuwien.ac.at,
Technische Universität Wien, Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich für Straßenwesen (IVWS),
Gußhausstraße 28/E230-3,
A-1040 Wien

Bild 1: Typische ausgewählte Strecke

Aussage darüber getroffen werden, welche Verkehrsbelastung (bzw. welcher Nutzungszeitraum) mit dieser Polierprüfung eigentlich simuliert wird. Besonders aber wird außer Acht gelassen, dass es sich bei Betrachtung der Griffigkeit einer Deckschicht um ein Gesamtsystem aus materialtechnischen sowie mikro- und makrotexturellen Eigenschaften handelt. Wesentliche Einflussgrößen wie Hohlraumgehalt, Spitzenabstände oder Kantenschärfe von Gesteinskörnern werden nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Demzufolge kann sich eine seriöse Prognose der Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche auch nur auf dieses Gesamtsystem beziehen.

Diesbezüglich wurden bereits mehrere Versuche unternommen, allen voran von Huschek (2002), der im „Berliner Modell" die Griffigkeit einer Autobahndecke nach der Gewährleistung im Labor prognostizierte. Das Prognosemodell hat jedoch den entscheidenden Nachteil, dass lediglich Aussagen für einen festgelegten Zeitraum getroffen werden können.

Daher wurde in Österreich im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2012 ein Projekt zur Entwicklung eines Laborverfahrens zur Griffigkeitsprognose (kurz: PROGRIP) über einen Zeitraum von fast 3 Jahren durchgeführt (Kugler et al. 2015).

2 Ziele

Generalziel einer Griffigkeitsprognose sollte sein, beliebige Zeiträume hinsichtlich der Griffigkeitsentwicklung einer Straßendecke in Abhängigkeit vom erwarteten Verkehr simulieren zu können.

Dazu bedurfte es einerseits der Entwicklung eines spezifischen Laborverfahrens und andererseits einer Kalibrierung der im Labor simulierten Polierbeanspruchungen an tatsächlich erfolgten Verkehrsbelastungen.

Darüber hinaus wurden die im Labor ermittelten Griffigkeiten jenen auf der Straße gegenübergestellt, um die Resultate der unterschiedlichen Messsysteme miteinander zu korrelieren und letztlich Laborgrenzwerte für die Griffigkeit ableiten zu können.

Tabelle 1: Strecken (blau WB 8, grau SMA 11) und relevante Verkehrsdaten

Strecken-Kürzel	JDTV [Kfz]	JDTLV [Lkw]	Jahres-Verkehr bis 2013 [Mio Kfz]	Gesamt-Verkehr bis 2013 [Mio Kfz]	Anzahl Fahrstreifen	Breite Fahrstreifen [m]	Anteil Kfz rechter Fahrstreifen [%] (Sammer et al. 1999)
2	27.379	4.117	9	90	3	4,92	34
7	25.926	3.968	14	132	2	5,63	53
29	48.214	3.416	6	106	4	4,50	31
42	26.186	4.096	6	57	3	4,08	33
51	19.416	3.474	9	64	2	5,75	57
63	40.234	5.024	19	279	3	4,92	29
65	24.119	4.290	10	88	3	4,92	34
67	28.560	4.690	1	10	3	4,92	34
67a	28.560	4.690	1	10	3	4,92	36
68	23.174	4.038	13	110	3	4,92	34
77	24.168	4.206	7	62	3	4,92	34
108	17.403	3.107	15	95	2	5,50	64
109	19.951	3.632	6	44	2	5,75	59
110	19.951	3632	6	44	2	5,75	57

3 Geräte und Methodik

3.1 Zentrale Projektidee

Voraussetzung für eine Griffigkeitsprognose für beliebige Zeiträume ist es, reale Verkehrsverhältnisse, die zu aktuellen Griffigkeitszuständen in der Rollspur (bzw. Radspur) eines Fahrstreifens geführt haben, im Labor zu simulieren. Dafür sind grundsätzlich Probekörper erforderlich, welche der Rollspur zum Zeitpunkt des Einbaus völlig gleichen. Nachdem zumeist die exakte Rezeptur nicht bekannt bzw. das gleiche Gestein (oder Rückstellproben) nicht mehr vorhanden sind, müssen Bereiche der Straße ausfindig gemacht werden, die trotz mehrjähriger Liegedauer dem originalen Ausgangszustand möglichst nahekommen. Dieser Umstand trifft z. B. auf den Pannenstreifen (bzw. Standstreifen) zu, der gleichzeitig probenahmetechnisch günstig neben dem rechten Fahrstreifen gelegen ist.

Die zentrale Idee zur Umsetzung einer Griffigkeitsprognose für beliebige Zeiträume war nun, bei gleicher Straßendecke den Pannenstreifen als Repräsentanten des Originalzustandes zu beproben und so lange im Labor zu polieren, bis dieser das gleiche Griffigkeitsniveau aufweist wie in der Rollspur des rechten Fahrstreifens unmittelbar daneben. Bei bekannter kumulierter Verkehrsbelastung der Rollspur (z. B. $\Sigma\ Kfz_{Rollspur,\ i}$ [Mio]) kann diese dann der entsprechenden Laborbeanspruchung am Pannenstreifen (z. B. Labor-Überrollungen$_{Pannenstreifen}$, i [Mio]) gegenübergestellt werden, die notwendig gewesen ist, um das Griffigkeitsniveau der Rollspur zu erreichen. Dadurch sollte eine Kalibrierung der Laborbeanspruchung an realer Verkehrsbelastung als Basis für eine Laborprognose von Verkehr ermöglicht werden.

3.2 Probenahmen und Kalibrierung der Laborbeanspruchung

Der Arbeitshypothese folgend, dass es einen intensitätsabhängigen Zusammenhang zwischen realer Verkehrsbelastung und Laborbeanspruchung unabhängig von der Bauweise und dem verwendeten Gestein gibt, sollten auf diese Weise mehrere Strecken unterschiedlicher Verkehrsbelastung miteinander verglichen werden, um einen eventuellen regressiven Zusammenhang zu ermitteln.

Im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel wurden daher aus ca. 4.000 dokumentierten Streckenabschnitten 14 Strecken (7 Strecken Splitt-Mastix-Asphalt SMA 11, 7 Strecken Waschbeton WB 8) unter Einhaltung folgender Kriterien gewählt:

- Beschränkung der Probenahme auf den Raum Linz – Wien – Graz aus klimatischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Gründen,
- Hinsichtlich der Gesamtheit der gewählten Straßen möglichst gleichmäßige Verteilung der Liegedauer und damit der kumulierten Verkehrsbelastungen,
- Bauweise SMA 11 und WB 8,
- Hohe Verkehrslast (JDTV > ca. 25.000 Fahrzeuge),
- Lkw-Anteil > 14 %,
- Geradlinigkeit,
- Minimale Abweichungen in der Längs- und Querebenheit,
- Steigung 0 % ± max. 1 %,
- Verfügbarkeit von Griffigkeitsmessdaten mittels RoadSTAR (dem in Österreich üblichen Messsystem zur Erfassung der Griffigkeit),
- Auswahl von Homogenbereichen, innerhalb derer sich die RoadSTAR-Griffigkeiten nur minimal ändern, um die Gefahr von lokalen Ausreißern hinsichtlich Griffigkeitsniveau zu verringern.

Ein typisches Beispiel einer Strecke, die alle obigen Kriterien erfüllt, ist in Bild 1 dargestellt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den gewählten Strecken und den verfügbaren relevanten Verkehrsdaten als Grundlage zur späteren Korrelation mit Laborbeanspruchungen.

Die Verkehrsbelastungen beruhen auf Daten der ASFINAG und sind als richtungsfahrbahn-bezogene Kennwerte für definierte Streckenabschnitte öffentlich zugänglich (ASFINAG 2015). Aus diesen wurde für die entsprechenden Streckenabschnitte die Verkehrsentwicklung zwischen 2009 und 2014 extrahiert, um auf angenäherte Verkehrsaufkommen seit Verkehrsfreigabe extrapolieren und damit eine realistischere Gesamtsumme berechnen zu können (Tabelle 1).

Bild 2: Bohrkernentnahme auf einem Pannenstreifen aus SMA 11

Zur Kalibrierung der erforderlichen Laborbeanspruchung an der Verkehrslast war es notwendig, sowohl aus der Rollspur als auch aus dem Pannenstreifen Bohrkerne (225 mm Durchmesser) zu ziehen (Bild 2). Die Bohrkerne der Rollspur wurden nur hinsichtlich aktueller Griffigkeit geprüft, die Bohrkerne aus dem Pannenstreifen sollten mit dem auszuarbeitenden Laborverfahren (s. Abschnitt 3.3) so lange beansprucht werden, bis das Griffigkeitsniveau der korrespondierenden Rollspur erreicht wurde. Durch Gegenüberstellung der erforderlichen Polierleistung im Labor mit der summarischen Verkehrsbelastung bis zum Zeitpunkt der Probennahme sollte ein regressiver Zusammenhang zwischen realem Verkehr und Laborbeanspruchung hergestellt werden können (Kalibrierung).

Ungünstigerweise standen zu wenige Strecken entsprechend den Kriterien gem. Abschnitt 3.1 zur Verfügung, die sowohl in der Rollspur als auch im Pannenstreifen in gleicher Deckschicht ausgeführt waren. Dieser Umstand führte dazu, dass als Ersatz für die nicht vorhandenen Pannenstreifen die Mitte des rechten Fahrstreifens beprobt wurde.

Von jedem der ausgewählten Streckenabschnitte wurden jeweils vier Bohrkerne in der Rollspur und vier Bohrkerne im korrespondierenden Pannenstreifen daneben (bzw. alternativ in der Fahrbahnmitte des rechten Fahrstreifens) in einem Abstand von rund 5 m zueinander gezogen (Bild 3).

Die Fahrbahnmitte stellte sich nach Prüfung der Griffigkeit als merklich poliert und als nicht vergleichbar mit dem realitätsnahen

Bild 3: Schematische Darstellung der Bohrkernentnahme in der Rollspur (rot) sowie im korrespondierenden Abschnitt des Pannenstreifens (grün)

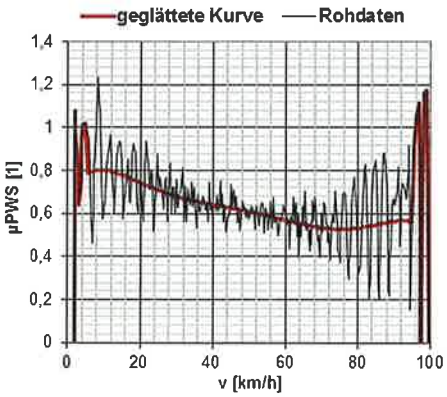

Bild 4: Links Prüfanlage nach Wehner/Schulze (PWS: links die Polierstation, rechts die Prüfstation) Rechts die erfassten Messwerte, der Schnittpunkt der geglätteten Kurve mit der 60-km/h-Linie = µPWS

Pannenstreifen heraus. Daher mussten Überlegungen zur Schaffung eines vergleichbaren künstlichen Originalzustandes angestellt werden. Dieser sollte durch Sandstrahlen erzeugt werden, eine Vorgehensweise, die bereits bisher routinemäßig zur Entfernung des Bindemittelfilms nach Herstellung eines Laborprüfkörpers eingesetzt wurde. Zur Generierung eines wiederholbar herzustellenden Referenzzustandes bedurfte es allerdings einer Modifikation dieser Sandstrahlprozedur (vgl. Abschnitt 3.3).

3.3 Entwicklung eines modifizierten Laborverfahrens

Zur Simulation von Verkehr im Labor wurde die Prüfanlage nach Wehner/Schulze (PWS) verwendet (Bild 4). Dieses bereits seit mehreren Jahrzehnten in leicht abgewandelter Ausführung existierende Gerät dient einerseits der Poliersimulation und andererseits der darauffolgenden Messung der dadurch veränderten Griffigkeit. 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 PWS erlaubt es somit, Bohrkerne (Durchmesser 225 mm) oder auch rechteckige Prüfkörper 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 abgebremst (Simulation Aquaplaning). 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 Reibwert µPWS wird auf der geglätteten Kurve bei 60 km/h abgelesen (s. Bild 4, rechts). Prüf- und maschinentechnische Details sind in RVS 11.06.23 und in prEN 12697-49 angeführt.

3.3.1 Einfluss der Quarzmehlsuspension

Ein wesentlicher Aspekt, den es im Vorfeld eines standardisierten modifizierten Laborverfahrens zu untersuchen galt, war der Einfluss des Quarzmehls auf die Polierleistung im Labor. Da die bisher übliche Konzentration an Quarzmehl in der Suspension (2,4 kg Quarz in 40 l Wasser) bereits nach kurzer Polierbeanspruchung zu Griffigkeiten führt, die unterhalb realer Griffigkeiten auf Autobahnen nach mehrjährigem Verkehr liegen, wurden die Suspensionen bis zur Verwendung reinen Wassers verdünnt. In Bild 5 werden die Griffigkeitsverläufe auf SMA 11 in Abhängigkeit von vier verschiedenen Verdünnungsstufen gezeigt (0/0, 24/0,8/2,4 kg Quarz in 40 l Wasser).

Dabei hat sich die Mischung 0,24 kg Quarz in 40 l Wasser (1:10 Verdünnung im Verhältnis zu üblicher Konzentration) als praktikabel hinsichtlich zu erwartender Messwerte sowie als vorteilhaft in der Laborpraxis herausgestellt (geringerer Quarzverbrauch, leichtere Suspendierung etc.).

Um gleichzeitig eine bessere regressive Angleichung und Interpolierbarkeit der Polierkurven zu gewährleisten, wurden mehrere Polierstufen in solcher Weise gewählt, dass die Griffigkeitsverluste bei Verwendung einer 1:10 verdünnten Quarzmehl-Suspension nach jeder Stufe in relativ gleichmäßigem Ausmaß erfolgten (Bild 6). Die verwendeten Polierstufen sind in Abschnitt 3.3.3 angeführt.

3.3.2 Einfluss des Sandstrahlens

Nach Verkehrsfreigabe einer neu errichteten Straße ist sowohl bei Asphalt als auch bei Beton häufig zu beobachten, dass die Griffigkeit zunächst ansteigt. Dies ist auf zunehmenden Verlust des Bindemittelfilms zurückzuführen, der anfänglich noch griffigkeitsrelevante mikrotexturelle Unebenheiten bedeckt und nivelliert. In Abhängigkeit von Verkehrsbelastung und klimatischen (besonders jahreszeitlich bedingten) Verhältnissen werden diese Bindemittelanteile aber sukzessive abgetragen, sodass sich die maximale Griffigkeitswirkung entfalten und zu kurzfristig höherer Griffigkeit als unmittelbar nach Verkehrsfreigabe führen kann. Danach wird schließlich auch die freigelegte Gesteinskörnung vom Polieren der Reifen voll erfasst und die Griffigkeit des Gesamtsystems verringert. Erfahrungswerte von Messungen der Straßengriffigkeit und Laborversuche mit künstlichen Asphalt- oder

Betonoberflächen zeigen, dass dieser Prozess der Bindemittelbefreiung von den Oberflächen der Gesteinskörnung sehr variabel verläuft und im Labor durch einfaches Polieren nicht reproduzierbar nachzubilden ist.

Aus diesem Grund sowie auch aus zeitlichen Überlegungen wird im Labor üblicherweise der oberflächliche Bindemittelfilm vor dem Polieren künstlich durch Sandstrahlen entfernt. Dieser Prozess, der auf der Straße im Zuge von Wochen und Monaten abläuft, kann im Labor durch Sandstrahlen zeitraffend angenähert werden. Ein diesbezüglich relevantes Regelwerk (ÖN EN 12697-49 (2014) regelt die dafür wichtigsten Geräteparameter, um vergleichbares Strahlen zu gewährleisten. Dennoch bestand Bedarf an weitergehenden Festlegungen bezüglich der Eigenschaften des Strahlkorunds, der anzuwendenden Strahlintensität und besonders im Hinblick auf die Qualität der sandgestrahlten Oberfläche. Gleichzeitig entstand in Ermangelung für alle Strecken zur Verfügung stehender Pannenstreifen gleicher Deckschicht wie am rechten Fahrstreifen die Notwendigkeit, Untersuchungen zur Schaffung eines künstlichen Originalzustandes durchzuführen, der probenspezifisch wiederholbar herzustellen ist.

Daher wurden zahlreiche Vorversuche mit großindustriell hergestellten, handelsüblichen mineralischen Oberflächen sowie mit realitätsnahen Asphalt-Laborprüfkörpern durchgeführt. Einerseits wurde der Einfluss unterschiedlicher Sandstrahlintensitäten untersucht, andererseits wurde geprüft, ob und wann sich ein maximales Griffigkeitsniveau einstellt, das als probenspezifischer Referenzwert herangezogen werden könnte.

Bei Vorversuchen an sehr homogenen feinkörnigen und polierten Granitfliesen zeigten sich folgende Phänomene (Bild 7):

- Spätestens nach 4 Standard-Strahldurchgängen (mit anschließenden geringen Polierleistungen) kann eine ursprünglich polierte ebene Steinoberfläche auf ein Griffigkeitsniveau gehoben werden, das bei weiteren Strahldurchgängen nicht mehr (relevant) überschritten wird.
- Danach ist bei geringen Polierleistungen von insgesamt ca. 15.000 Überrollungen ein einziger nachfolgender Standard-Strahldurchgang ausreichend, um das zuvor erreichte Griffigkeitsniveau wiederzuerlangen.
- Die Differenzen zwischen den Griffigkeitsniveaus nach Sandstrahlen und nach den jeweiligen Polierstufen sind ab Erreichen einer Maximalgriffigkeit sehr konstant, woraus eine deutliche Abhängigkeit der Griffigkeit nach Polieren von der Ausgangsgriffigkeit nach Sandstrahlen abzuleiten ist (visualisiert durch annähernd parallel laufende horizontale Verbindungen der einzelnen Griffigkeitsniveaus in Bild 7). Versuche, ein probenspezifisches maxima-

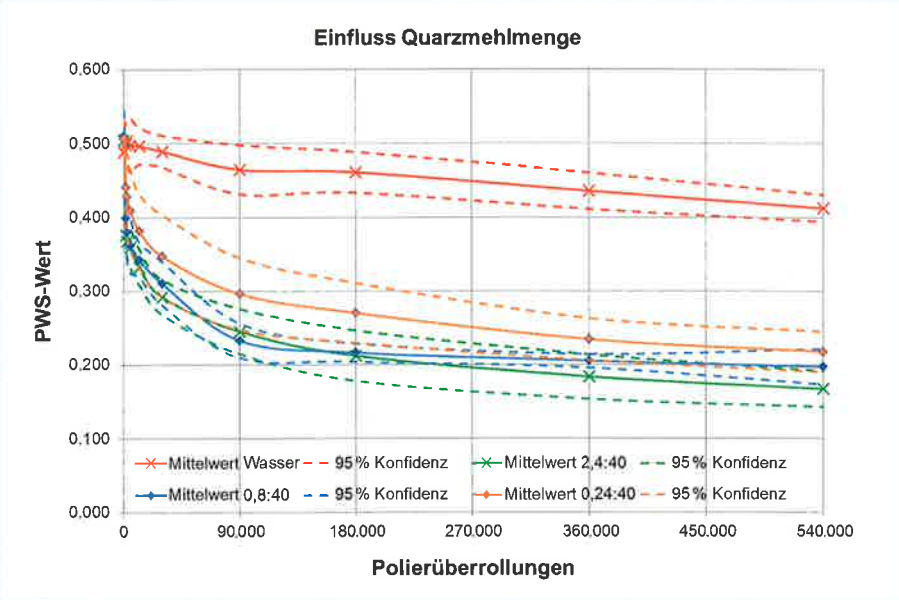

Bild 5: Einfluss der Quarzmehlmenge in der Suspension auf die Polierleistung auf Labor-Prüfkörper des Mischguts SMA 11 PmB 45/80-65, S3, GS

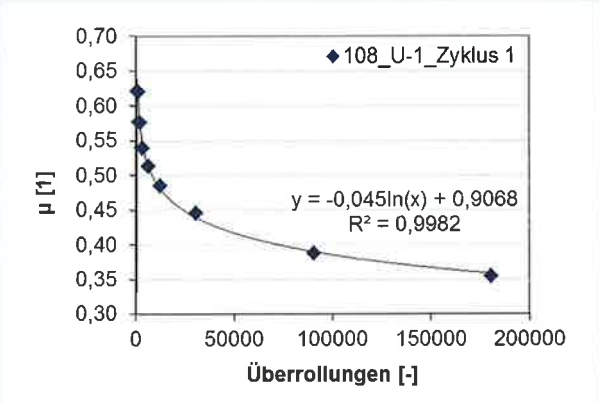

Bild 6: Regressiv hochsignifikante logarithmische Angleichbarkeit einer Polierkurve (exemplarisch) bei Verwendung einer 1:10 verdünnten Quarzmehlsuspension

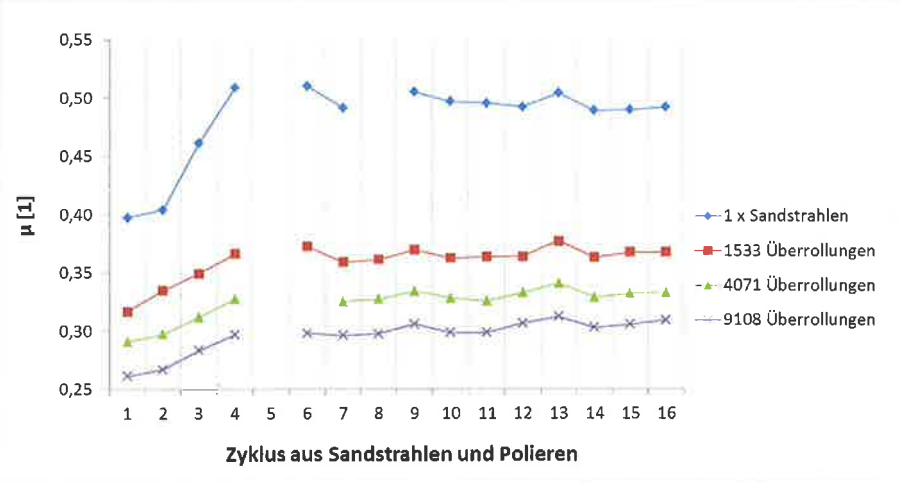

Bild 7: Messwerte von 16 Zyklen aus Sandstrahl- und Polierdurchgängen an einer polierten Granitfliese (alle Punkte untereinander gehören jeweils einem Zyklus an). Die Griffigkeitsmessungen erfolgten jeweils nach dem Sandstrahlen sowie nach 1.533, 4.071 und 9.108 Überrollungen. Fehlende Messwerte sind durch bekannte versuchstechnische oder softwarebedingte Fehler exkludiert.

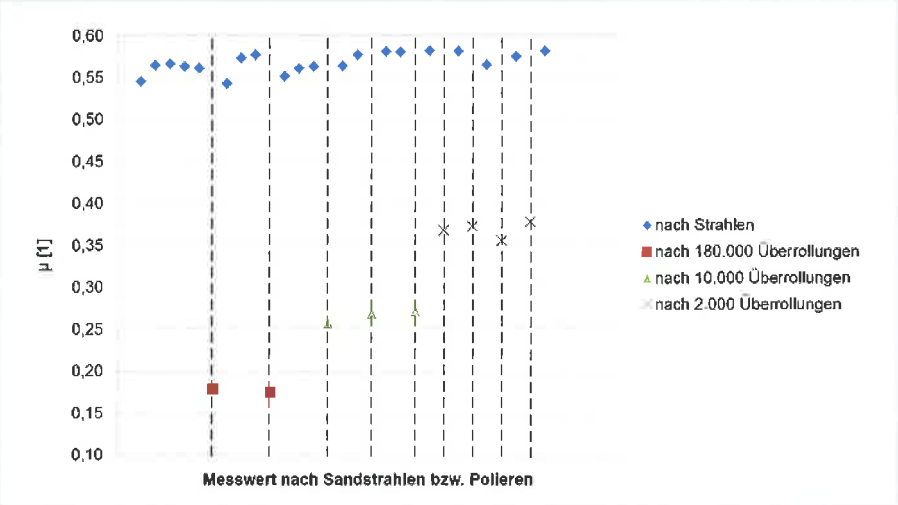

Bild 8: Griffigkeitsmesswerte an einem Labor-PK (SMA) nach Sandstrahldurchgängen (blau) bzw. nach unterschiedlichen Polierstufen. Die Abszisse zeigt die Messwerte in chronologischer Reihenfolge von links nach rechts. Die strichlierten Linien markieren die Zeitpunkte aufgebrachter Polierleistung, dazwischen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

Tabelle 2: Überblick zur Gesamtprognose an jedem Bohrkern. Nacheinander durchgeführte Prognosezyklen mit den entsprechend festgelegten Strahldurchgängen

Prognosezyklus	Anzahl Strahldurchgänge
Zyklus 1	1
Zyklus 2	3
Zyklus 3	bis μ_{max}

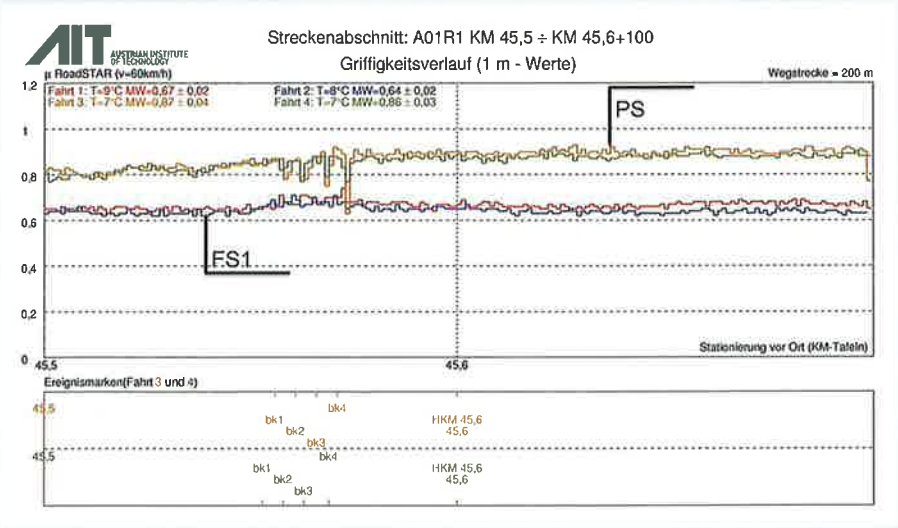

Bild 9: Erfassen der Straßengriffigkeit (mit Wiederholung) mit dem RoadSTAR auf dem rechten Fahrstreifen (FS1) und auf dem Pannenstreifen (PS). Beispiel für Spitzen im Griffigkeitsverlauf im Bereich der Bohrkerne (bk1 bis bk4 markieren die Positionen der Bohrkernentnahmen)

les Griffigkeitsniveau zu erreichen, wurden schließlich anhand von SMA-Prüfkörpern wiederholt. Dabei bestätigte sich, dass es unter den gegebenen, konstanten Geräteparametern der verwendeten Sandstrahlkabine der Fa. Freundl tatsächlich ein maximales Griffigkeitsniveau zu geben scheint, das als „μ_{max}" bezeichnet wird. Dieses kann auf realitätsnahen Laborprüfkörpern je nach applizierter Polierleistung nach einem einzelnen, spätestens jedoch nach 3–5 Strahldurchgängen wiedererlangt werden (Bild 8). Dies bedeutet, dass Prüfkörper (in begrenztem Maße) regeneriert werden können. Erfolgreiche Versuche zur Regenerierung wurden bereits von Lindner (1982) durchgeführt, allerdings an im Mosaikverfahren eingelegten Splittkörnern und mit nur jeweils einem Sandstrahldurchgang zwischen den Polierzyklen. Auf Basis der eigenen Vorversuche wurde das Sandstrahlen tiefgreifender als in den bisherigen Regelwerken standardisiert und in erweiterter Form – besonders vor dem Hintergrund der erforderlichen Schaffung eines künstlichen Ausgangszustandes – in das Laborprognoseverfahren implementiert.

3.3.3 Laborverfahren „Wiener Modell"

Grundsätzlich ist ein Prognosezyklus durch initiales Sandstrahlen und darauffolgende Polierbeanspruchung gekennzeichnet, wobei sowohl nach Sandstrahlen als auch nach jeder Polierstufe die Griffigkeit erfasst wird. Aufgrund der Regenerierbarkeit von Prüfkörpern sowie der Notwendigkeit der Schaffung vergleichbarer künstlicher Startniveaus (in Ermangelung ausreichend geeigneter Pannenstreifen) wurden an jedem einzelnen Bohrkern aus dem Pannenstreifen oder der Fahrstreifenmitte obligatorisch 3 Prognosezyklen nacheinander durchgeführt (Tabelle 2), die sich durch die am Beginn jedes Prognosezyklus stehende Sandstrahlintensität unterscheiden. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um den Einfluss unterschiedlicher Strahlleistungen auf den Zusammenhang mit den erforderlichen Überrollungen (um das Griffigkeitsniveau der Rollspur zu erreichen) zu überprüfen.

Nach den zyklusabhängigen Strahldurchgängen wurden in jedem Zyklus folgende Polierstufen (Überrollungen PWS) mit jeweils anschließender Prüfung in angeführter Sequenz appliziert: 500, 1.000, 1.500, 3.000, 6.000, 18.000, 60.000, 90.000 sowie weitere Stufen zu je 90.000 nach Bedarf (wenn der Reibbeiwert der Rollspur noch nicht erreicht worden war).

Die wesentlichen Details dieses spezifischen Laborverfahrens sind wie folgt:

- Grundsätzlich sind vor jeder Prüfung Prüfkörper und montierte Prüfgummis in eingespanntem Zustand in der Prüfstation 5 min lang mittels 10 °C ± 0,5 °C kaltem Prüfwasser zu kühlen. Sofern die Prüfung unmittelbar nach einem Spülvorgang nach Polieren erfolgt, kann der Vorgang auf 3 min reduziert werden.
- Strahlprogramm für einen einzelnen Strahldurchgang: Automatisches Strahlprogramm 4/Strahlkabine Fa. Freundl (Winkel Strahldüse 75°, Strahldauer 110 s, Arbeitsdruck 5 ± 0,2 bar, Abstand Strahldüse – Probenoberfläche 63 ± 5 mm).
- Das Verfahren und die Kriterien für die Ermittlung der Maximalgriffigkeit μ_{max}

(ab Zyklus 3) werden folgendermaßen festgelegt:

- Prüfkörper-Oberfläche vor dem ersten Sandstrahlen bei unbeanspruchten SMA-Prüfkörpern auf 0 ± 2 °C bringen. Vor den weiteren Strahlvorgängen auf Raumtemperatur belassen und dabei trocknen. Die Abkühlung vor dem ersten Sandstrahlen kann bei WB entfallen.
- Mindestens 5 Strahldurchgänge durchführen, nach jedem Strahlvorgang ist die Griffigkeit zu erfassen.
- 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 als auch die Standardabweichung der letzten 3 Werte unter 0,015 liegen. Die Maximalgriffigkeit entspricht dann der zuletzt gemessenen Griffigkeit, der Prüfkörper kann nun der Polierbeanspruchung unterzogen werden. Korund (27,5 kg) wird nach dem Prognoseverfahren eines jeden Bohrkernes erneuert.
- Poliervorgang: Das Verhältnis Quarzmehl/Wasser muss 0,24 kg/40 l betragen. Die Quarzmehlsuspension ist nach spätestens 180.000 Überrollungen routinemäßig zu tauschen (Verringerung des Problems verschlissener Quarzkörner nach mehreren Prognosezyklen). Eine Zugabe zur Kompensation von Verlusten erfolgt laborspezifisch nach 90.000 Überrollungen.

3.4 Laborsimulation von Verkehrsbelastungen

Die Polierleistung des über Jahre auf der Straße rollenden Verkehrs wird im Labor durch Polierüberrollungen mittels PWS an durch Sandstrahlen regenerierten Bohrkernen desselben Straßenabschnitts zeitraffend nachgebildet. Ziel ist kurzgefasst die Übersetzung von Verkehr (z. B. [Mio. Kfz]) in Labor-Überrollungen mittels PWS.

Zur Simulation von realen Verkehrsbelastungen im Labor bedarf es der Gegenüberstellung von jenen Laborbeanspruchungen (gem. Laborverfahren aus Abschnitt 3.3.3) und jenen Verkehrsbelastungen, die beide zur gleichen Griffigkeit im selben Streckenabschnitt geführt haben.

	Streckenkürzel	μ_{RS}	μ_{PWS}	Standardabweichung μ_{PWS}
Bohrkerne aus Rollspur	2	0,57	0,32	0,011
	7	0,54	0,33	0,012
	29	0,74	0,39	0,006
	42	0,66	0,38	0,002
	51	0,64	0,38	0,006
	63	0,52	0,26	0,006
	65	0,58	0,34	0,007
	67	0,75	0,42	0,006
	67a	0,67	0,43	0,011
	68	0,58	0,35	0,004
	77	0,61	0,37	0,016
	108	0,64	0,36	0,018
	109	0,67	0,40	0,009
	110	0,64	0,38	0,002
Bohrkerne aus Pannenstreifen (grün) oder Fahrstreifenmitte (rot)	2u	0,69	0,44	0,009
	7u	0,77	0,49	0,003
	29u	0,75	0,45	0,008
	42u	0,85	0,54	0,026
	51u	0,89	0,61	0,009
	63u	0,59	0,34	0,005
	65u	0,69	0,45	0,001
	67u	0,83	0,53	0,017
	67au	0,81	0,62	0,015
	68u	0,64	0,42	0,019
	77u	0,63	0,43	0,018
	108u	0,90	0,62	0,013
	109u	0,97	0,60	0,047
	110u	0,94	0,71	0,033

Tabelle 3: Sämtliche ermittelten Straßengriffigkeiten (μ_{RS}) sowie Laborgriffigkeiten (μ_{PWS}) von Bohrkernen derselben Streckenabschnitte

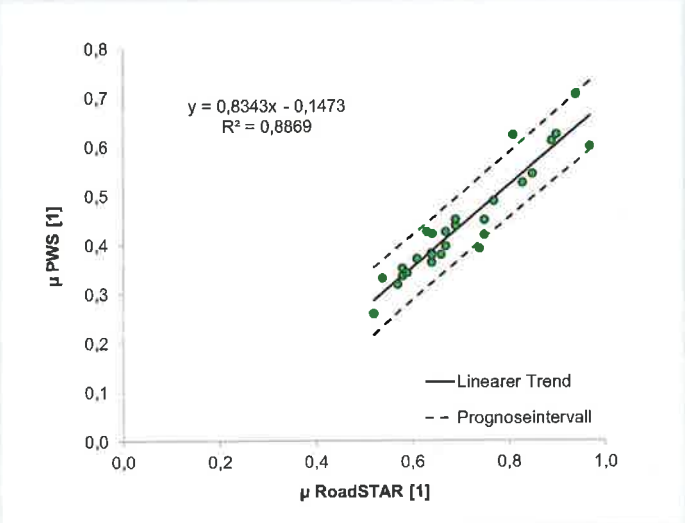

Bild 10: Korrelation μ_{RS}/μ_{PWS} bez. Wertebereich $0{,}52 \leq \mu_{RS} \leq 0{,}97$ mit oberem und unterem 95-%-Prognoseintervall

3.5 Messung der Straßengriffigkeit und Ableitung von Laborgrenzwerten

Trotz des saisonal späten Termins konnte die in RVS 11.06.65 (2004) vorgegebene Fahrbahn-Mindesttemperatur von 5 °C für die Messung mittels RoadSTAR eingehalten werden. Um Messfehler auszuschließen, wurden alle Streckenabschnitte zumindest zweimal erfasst. Dabei wurde immer die rechte Radspur des ersten (rechten) Fahrstreifens und – abhängig von der Vorauswahl – der Pannenstreifen oder die Mitte des ersten Fahrstreifens erfasst (Bild 9).

Zur Übertragung des Bewertungshintergrundes der Griffigkeit der Straße auf die Laborgriffigkeit wurden exakt jene Homogenbereiche mit dem RoadSTAR gemessen, aus denen Bohrkerne zur Erfassung der Labor-Griffigkeiten mittels PWS gezogen wurden. Durch Gegenüberstellung sollte ein regressiver Zusammenhang ermittelt und daraus ein Bewertungshintergrund für die Laborgriffigkeit (PWS) abgeleitet werden.

μ_{RS}	Zustandswert	Regelwerk	μ_{PWS} Regression	Mindestwert μ_{PWS} bei Prognosewahrsch.:		
				95 %	90 %	80 %
0,38	Schwellenwert	RVS 13.01.15	-	-	-	-
0,45	Warnwert	RVS 13.01.15	-	-	-	-
0,52	keine Übernahme	RVS 08.16.01	0,287	0,354	0,339	0,321
0,59	Sollwert	RVS 08.16.01	0,345	0,411	0,396	0,378
0,75	Zielwert	RVS 13.01.15	0,478	0,544	0,529	0,511

Tabelle 4: Ableitung von Laborgrenzwerten (μ_{PWS}) aus Grenzwerten für die Straßengriffigkeit (μ_{RS}) für relevante österreichische Zustandswerte gemäß Regression (1) und in Abhängigkeit von der gewählten Prognosewahrscheinlichkeit

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	147.780	167.030	159.333	158.048	157.405	163.182
7	0,333	263.006	165.711	149.962	192.893	214.358	157.836
29	0,393	46.322	31.612	27.863	35.266	38.967	29.738
42	0,380	56.132	33.781	25.761	38.558	44.957	29.771
51	0,383	60.662	44.259	87.985	64.302	52.461	66.122
63	0,258	592.842	764.414	880.320	745.858	678.628	822.367
65	0,337	318.454	312.374	288.430	306.420	315.414	300.402
67	0,420	10.029	35.128	36.000	27.052	22.578	35.564
67a	0,426	42.869	26.406	10.016	26.430	34.637	18.211
68	0,352	372.421	298.988	231.335	300.914	335.704	265.161
77	0,371	260.342	161.047	135.639	185.676	210.695	148.343
108	0,364	192.637	143.307	127.674	154.539	167.972	135.491
109	0,397	35.706	79.230	203.376	106.104	57.468	141.303
110	0,379	61.944	101.070	103.264	88.759	81.507	102.167

Tabelle 5: Erforderliche Überrollungen mittels PWS bis zum Erreichen der mittleren Griffigkeit der rechten Fahrspur des rechten Fahrstreifens, differenziert nach Prognosezyklen gem. PROGRIP

4 Ergebnisse und Fazit

4.1 Ableitung von Laborgrenzwerten für die Griffigkeit

Die Gegenüberstellung der Straßengriffigkeiten (μ_{RS}) mit den Laborgriffigkeiten (μ_{PWS}) von Bohrkernen derselben Streckenabschnitte (Tabelle 3) erbrachte den in Bild 10 dargestellten Zusammenhang.

Bild 10: Korrelation μ_{RS}/μ_{PWS} bez. Wertebereich $0{,}52 \leq \mu_{RS} \leq 0{,}97$ mit oberem und unterem 95-%-Prognoseintervall

Die erhaltene lineare Regressionsfunktion (1) weist mit einem $R^2 \sim 0{,}89$ eine hohe Signifikanz auf und ist aufgrund der relativ gleichmäßigen Werteverteilung sehr stabil gegenüber Veränderung einzelner Punkte.

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

Die Regression umfasst den gesamten Messbereich von $0{,}52 \leq \mu_{RS} \leq 0{,}97$ und ist korrekterweise nur für diesen gültig. Angesichts von österreichischen Grenzwerten, die z. T. niedriger liegen, bedarf es daher weiterer Gegenüberstellungen auf niedrigerem Griffigkeitsniveau. Angesichts des vorausschauenden Erhaltungsmanagements der ASFINAG in Form griffigkeitsverbessernder Maßnahmen oder Sanierung bzw. Neubau, zumeist lange bevor Grenzwerte unterschritten werden, konnten im Rahmen dieses Projekts vorerst keine adäquaten Strecken ausfindig gemacht werden. Daher wurden als näherungsweise Übergangslösung Extrapolationen unter Integrationen des Nullpunktes vorgeschlagen (Kugler et al. 2015).

Der Ableitung von Laborgrenzwerten aus der Regression der Laborgriffigkeit mit der Straßengriffigkeit wurden verschiedene Vorhersagewahrscheinlichkeiten zugrunde gelegt. In Bild 10 sind exemplarisch die 95-%-Prognoseintervalle dargestellt, anhand derer die Mindestwerte von μ_{PWS} abzuleiten sind, um mit 95 % Wahrscheinlichkeit die korrespondierenden μ_{RS}-Werte prognostizieren zu können. Tabelle 4 gibt einen Überblick zu analog abgeleiteten Laborgrenzwerten (auf Basis des bisher untersuchten Griffigkeitsspektrums) für wesentliche Zustandswerte gemäß österreichischer Regelwerke unter Berücksichtigung von 80, 90 und 95 % Prognosewahrscheinlichkeit.

4.2 Laborsimulation von Verkehrsbelastungen

Die erforderlichen Laborbeanspruchungen an den unbefahrenen Bohrkernen bis zum Erreichen des Niveaus der Rollspur wurden entsprechend des festgelegten Laborprognoseverfahrens (vgl. Abschnitt 3.3.3) in Form von (zumindest) 3 aufeinanderfolgenden Prognosezyklen an jedem Bohrkern eruiert. Von jeder Strecke wurden 3 (– 4) Bohrkerne diesen Prognosezyklen unterzogen, auf Ausreißer geprüft und die erforderlichen Überrollungen für jeden Zyklus gemittelt.

Im Endeffekt standen 6 Laborparameter (gemittelte erforderliche Überrollungen aus den Zyklen 1, 2, 3, 1-2, 2-3 und 1-3) für Korrelationen zur Verfügung (Tabelle 5).

Die mittleren erforderlichen Überrollungen wurden schließlich mit folgenden Verkehrsparametern [Mio] basierend auf den zur Verfügung stehenden Daten (Tabelle 1) korreliert (zeitlicher Bezug zu Griffigkeitsmessungen und Bohrkernentnahmen 2013):

- Gesamt-Kfz bis 2013
- Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV [%]/10.000
- Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen
- Gesamt-Kfz bis 2013 am rechten Fahrstreifen_gewichtet um JDTLV [%]/10.000
- Gesamt-Lkw-Verkehr bis 2013
- Gesamt-Lkw-Verkehr bis 2013_gewichtet um Pkw-Anteil [%] am rechten Fahrstreifen/10.000

Von den 14 untersuchten Strecken mussten 2 Strecken als Ausreißer klassifiziert werden: im einen Fall wegen starker Varianzen und ungewöhnlichen Verhaltens der einzelnen Bohrkerne, im anderen Fall wegen unklarer Verkehrsverhältnisse (besonders angesichts einer nahen Rampe und einer 4-streifigen Fahrbahn). Im Zuge einer Überprüfung

wurde nachgewiesen, dass eine Berücksichtigung der beiden Ausreißer zu vernachlässigbar kleiner Veränderung der Regressionsgeraden bzw. der abgeleiteten μ_{PWS}-Werten aus Verkehrsdaten führen würde (vgl. Kugler et al. 2015).

Bei allen Korrelationen besteht das Problem, dass nur eine passende Strecke mit hohem Alter bzw. Gesamtverkehrsaufkommen beprobt werden konnte (Strecke 63, 19 Jahre Liegedauer). Dem großen Abstand dieses Gesamtverkehrsaufkommens zu jenen der restlichen Strecken ist es geschuldet, dass im Punktdiagramm diese Strecke fernab der restlichen Punkteschar zu liegen kommt und dadurch einen hoch signifikanten Zusammenhang vortäuscht. Aus diesem Grunde wurden zur Prüfung der Stabilität der Regressionen sämtliche Gegenüberstellungen auch ohne Strecke 63 dargestellt. Hervorstechend ist dabei die Korrelation zwischen dem um den Lkw-Anteil [%] gewichteten Gesamt-Kfz-Verkehr seit Verkehrsfreigabe mit den erforderlichen Überrollungen unter Mittelung der Zyklen 1–3. Die Regressionssteigungen mit/ohne Strecke 63 sind praktisch ident (Bild 11, links), darüber hinaus ist derselbe Zusammenhang unter Berücksichtigung der nur 3-streifigen Strecken fast gleich (Bild 11, rechts). Der Zusammenhang erscheint also stabil und plausibel.

Wie ursprünglich beabsichtigt, wurden auch die mittleren erforderlichen Überrollungen der einzelnen Zyklen bzw. der Mittelwerte anderer Zyklen mit Verkehrsparametern korreliert. Dabei konnte vorläufig kein eindeutiger Trend abgelesen werden, aus dem eine Bevorzugung eines Zyklus bzw. einer Sandstrahlintensität vor der Laborpolierung abzuleiten wäre.

Grundsätzlich fiel auf, dass Korrelationen unter Berücksichtigung des Lkw-Anteils tendenziell höhere Bestimmtheitsmaße aufwiesen, der Schwerlastverkehr somit auffällig relevanten Einfluss auf die Griffigkeitsentwicklung auszuüben scheint.

Für die Regression aller Strecken (ohne Ausreißer) aus Bild 11 (links) wurden die Prognoseintervalle für 95 %, 90 % und 80 % Wahrscheinlichkeit berechnet. Exemplarisch ist die Prognosekurve für 95 % Vorhersagewahrscheinlichkeit in Bild 12 dargestellt.

Für die oberen Prognoseintervalle, die für die abzuleitenden erforderlichen Überrollungen relevant sind, lassen sich folgende polynomischen Funktionen ableiten:

(5) bei 95 % Prognosewahrscheinlichkeit:

$$y = 3{,}21 \cdot 2 + 5133x + 113530$$

(6) bei 90 % Prognosewahrscheinlichkeit:

$$y = 2{,}43 \cdot 2 + 5187x + 84713$$

(7) bei 80 % Prognosewahrscheinlichkeit:

$$y = 1{,}56 \cdot 2 + 5248x + 52437$$

y ... erforderliche Überrollungen mittels PWS (Mittel aus Zyklen 1 bis 3)

x ... kumulierter Gesamt-Verkehr ab Verkehrsfreigabe gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio]

Je nach gewünschter Vorhersagewahrscheinlichkeit können somit aus den zu erwartenden Verkehrsbelastungen für einen wählbaren Zeitraum die erforderlichen Labor-Überrollungen abgeleitet werden, mit denen Bohrkerne oder Labor-Prüfkörper mittels PWS nach dem „Wiener Modell" (zumindest) zu beanspruchen sind.

Der resultierende (aus allen Zyklen gemittelte) μ_{PWS}-Prognosewert kann dann in einen μ_{RS}-Wert zur Vorhersage der mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zu erwartenden Straßengriffigkeit übersetzt werden (vgl. Abschnitt 4.1).

Die Prognoseprüfungen haben auf Basis der untersuchten Strecken grundsätzlich Gültigkeit für stark befahrene geradlinige Autobahnen ohne relevante Längsneigung bis zu einem kumulierten Gesamtverkehr ab Verkehrsfreigabe bis zu 279 Mio. Kfz (bzw. max. 19 Jahren). Ergänzend muss hinzugefügt werden, dass auf Basis der Untersuchungen von Kugler et al. (2015) rund 30.000 Labor-Überrollungen mittels PWS als Richtwert für eine Mindestanzahl an Überrollungen gelten, unterhalb derer der Zusammenhang zwischen Labor und Realität nicht gegeben ist. Dies ist auf die unterschiedlichen Startzustände auf der Straße (oberflächlicher

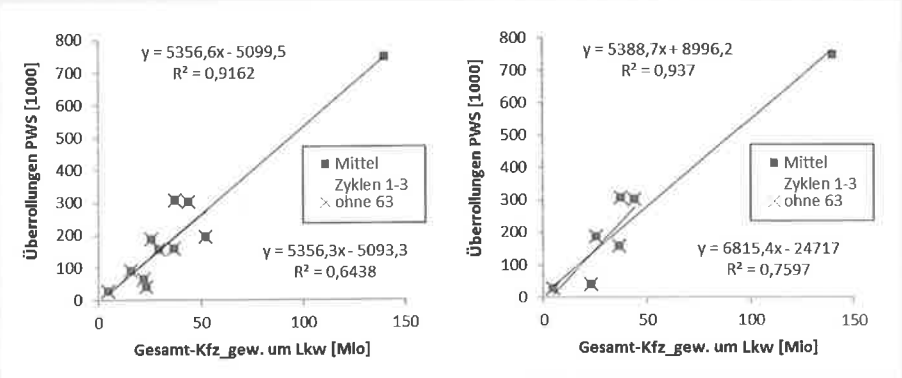

Bild 11: Korrelation Überrollungen PWS (gemittelte Zyklen 1–3)/Kfz = Gesamt-Kfz bis 2013_gewichtet um JDTLV/10.000 [Mio]. Links: ohne Strecken 29 und 109, rechts: nur 3-streifige Strecken (ebenfalls ohne Strecken 29 und 109)

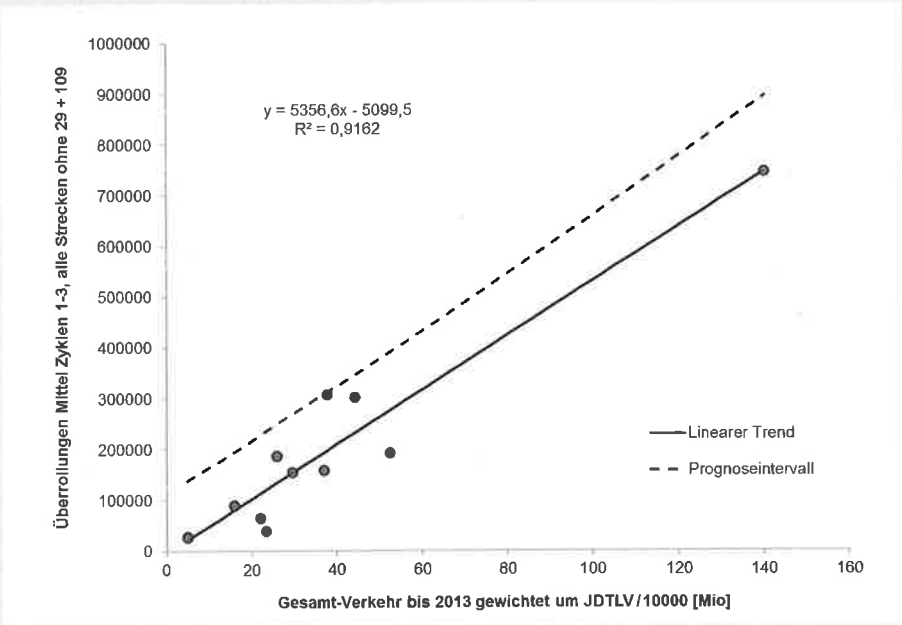

Bild 12: Regression aller Strecken (ohne Ausreißer 29 und 109) mit oberem 95%-Prognoseintervall.

Bindemittelfilm) und auf Laborprüfkörpern vor Start der Polierbeanspruchung (sandgestrahlter Zustand) zurückzuführen. 30.000 Labor-Überrollungen nach dem „Wiener Modell" sind mit ungefähr 10 Mio. Kfz auf Autobahnen gleichzusetzen, was üblicherweise bereits nach spätestens einem Jahr erreicht wird. Von Prognosen unterhalb dieser Richtwerte ist nach derzeitigem Stand Abstand zu nehmen, gleichzeitig wird dieser kurze Zeitraum ohnehin kaum von prognostischem Interesse sein.

5 Fazit und Ausblick

Erstmals ist es in Österreich gelungen, einen brauchbaren, statisch abgesicherten Zusammenhang zwischen Verkehrsbelastungen auf Autobahnen und griffigkeitsverändernden Simulationen im Labor herzustellen. Diese erlauben es, reale Griffigkeitsverläufe auf der Straße für nahezu beliebige Zeiträume im Labor zu simulieren. Durch eine signifikante Korrelation von Straßengriffigkeiten (RoadSTAR) mit Laborgriffigkeiten (PWS) konnten weiters Laborgrenzwerte bzw. der Aufbau eines Bewertungshintergrundes für erhaltene Laborprognosewerte abgeleitet werden.

Neben verfahrenstechnischen Optimierungen ist besonders die wiederholbare Regenerierung von Prüfkörpern durch Schaffung eines künstlichen maximalen Griffigkeitsniveaus μmax hervorzuheben. Dieses wiederholbar erreichbare künstliche Startniveau für die darauffolgende Poliersimulation erlaubt es, dieselben Prüfkörper mehrmals hintereinander Prognosen zu unterziehen. Gleichzeitig eröffnen sich dadurch Chancen, bereits seit Jahren unter Verkehr stehende Autobahnen durch Bohrkerne zu beproben, diese im Labor zu regenerieren und ebenfalls Polierprognosen zur Ermittlung der Restnutzungsdauer hinsichtlich Griffigkeit anzuwenden. Obwohl noch keine eindeutigen Belege vorliegen, dass μmax als Startniveau für die anschließende Polierprognose geeigneter ist als die Resultate anderer getesteter Sandstrahlintensitäten, so spricht doch Einiges dafür, diesen Ansatz weiterzuverfolgen. Im Vordergrund steht dabei die Überlegung, dass eine Griffigkeitserhöhung durch Sandstrahlen maßgeblich vom aktuellen Griffigkeitszustand abhängt. Ein bisher in der Laborpraxis gehandhabtes Sandstrahlen mit konstanter Intensität führt daher je nach Polierzustand des Prüfkörpers zu unterschiedlichen Griffigkeiten nach Strahlen und das wiederum zwangsläufig zu unterschiedlichen Prognoseprüfungen nach Polieren. Vergleichbare Startzustände sowie wiederholbares Regenerieren und Polieren können daher nur durch μmax gewährleistet werden, weshalb dieser Ansatz weiterverfolgt werden wird.

Aufgrund von zeitlichen und finanziellen Einschränkungen konzentrierten sich die bisherigen Untersuchungen in erster Linie auf geradlinige Autobahnstrecken ohne relevante Längs- und Querneigungen. Eine Anwendung des „Wiener Modells" ist aber in analoger Weise auf andere Streckenabschnitte, z. B. Kurven und Rampen oder sonstige Verkehrsflächen, anwendbar. Voraussetzung dafür wären wiederum spezifische Kalibrierungen entsprechend dem in dieser Arbeit präsentierten Modell.

Danksagung

Die Hauptfinanziers des Projekts PROGRIP im Rahmen der von der FFG (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) abgewickelten Initiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2012 waren das BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) sowie die ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-AG). Zusätzliche Finanzierung zur Untersuchung einer größeren Anzahl an Strecken erfolgte durch Gestrata (Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt), ÖBA (Österreichische Betondecken Ausbau GmbH), ÖBV (Österreichische Bautechnik Vereinigung) und VÖZ (Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie). Besonderer Dank gilt DI Mario Krmek/ASFINAG, der durch sein persönliches Engagement das Zustandekommen des Projektes entscheidend mitgetragen sowie die Bohrkernentnahmen ermöglicht hat.

Literaturverzeichnis

ASFINAG (2015): http://www.asfinag.at/unterwegs/dauerzaehlstellen

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

Kugler, H.; Hofko, B.; Spielhofer, R. (2015): Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen - Entwicklung eines Labor-Verfahrens PROGRIP. Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF2012). Wien, 2015

Lindner, J. (1982): Erweiterung der Möglichkeiten für die Beurteilung von Mineralstoffen für die Polierbarkeit. Schlussbericht zum Forschungsvertrag F. A. 4.037 G 76 C, TU Berlin, Inst. f. Verkehrsplanung und Verkehrswegebau, Fachgebiet Straßenbau, Berlin Dez. 1982

ÖN B 3131 (2010): Gesteinskörnungen für Beton – Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12620. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Aug. 2010

ÖN B 3580-1 (2009): Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen – Asphaltbeton – Teil 1: Empirischer Ansatz – Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13108-1, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Dez. 2009

ÖN EN 1097-8 (2011): Prüfverfahren für mechanische und pysikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Bestimmung des Polierwertes (konsolidierte Fassung). Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Jän. 2011

ÖN EN 12697-49 (2014): Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt. Teil 49: Messung der Griffigkeit nach Polierung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Mai 2014

RVS 08.17.02 (2011): Technische Vertragsbedingungen. Betondecken. Deckenherstellung. Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr FSV, April 2011

RVS 08.97.05 (2010): Technische Vertragsbedingungen. Baustoffe. Anforderungen an Asphaltmischgut, Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr FSV, Feb. 2010

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

RVS 11.06.65 (2004): Baudurchführung. Grundlagen. Prüfverfahren. Feldprüfungen. Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr FSV, Nov. 2004

RVS 13.01.15 (2006): Bauliche Straßenerhaltung. Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Mai 2006

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