

MAGMA - MONITORING ABTRAGENDER GRIFFIGKEITSVERBESSERNDER MASSNAHMEN

Das Projekt MAGMA beleuchtet wirtschaftlich bedeutende abtragende Sanierungsverfahren zur nachhaltigen Griffigkeitserhöhung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrbahndecken.

Zusammenfassung der Projektergebnisse

Zur Beseitigung von Griffigkeitsmängeln auf Fahrbahnen kommt Überbauen oder Ersetzen der Deckschichte zur Anwendung. Eine weitere Möglichkeit ist die Anwendung abtragender griffigkeitsverbessernder Maßnahmen, bei denen die oberste Fahrbahndeckschichte teilweise entfernt wird. Im Rahmen des Forschungsprojektes MAGMA wurden jene abtragenden Verfahren beleuchtet, welche kurzfristig und kostengünstiger ohne längere Behinderungen des Verkehrs eingesetzt werden können.

Im Projekt konnte die Entwicklung der Griffigkeit von 5 unterschiedlichen Verfahren zur Griffigkeitssteigerung auf 12 Testabschnitten mit unterschiedlichen Deckschichten evaluiert werden. Bei Betrachtung der Kurzzeitentwicklung der Griffigkeit nach einem Jahr zeigte besonders die Hochdruckwasserstrahlung eine rasche Abnahme der initialen Griffigkeitserhöhung. Zur Abschätzung des Langzeitverhaltens bis zum Erreichen der Lebensdauer einer Maßnahme, wurden die Messreihen unter Annahme einer linearen Griffigkeitsabnahme extrapoliert und den geltenden Grenzwerten des österreichischen Regelwerkes gegenübergestellt.

Auf den untersuchten Rampenanlagen erzielte das Schlagsternverfahren im Vergleich zu Hochdruckwasserstrahlen und Kugelstrahlverfahren die besten Ergebnisse. Auf den Testabschnitten im Tunnel zeigten Grinding und Kugelstrahlen die gleiche prognostizierte Lebensdauer von etwa 6 Jahren, das Rotationsfräsen sogar von fast 8 Jahren. Auf einer zweiten vergleichbaren Teststrecke zeigte Grinding eine nachhaltigere Wirkung in der Prognose. Das Kugelstrahlen hingegen fiel im Vergleich ab, die prognostizierte Lebensdauer war um 1,5 Jahre kürzer.

Facts:

- Laufzeit: 06/2013-05/2017
- Forschungskonsortium:
AIT Austrian Institute of
Technology GmbH



ABB 1. Fräswerkzeuge des Schlagsternverfahrens und der Rotationsfräsung

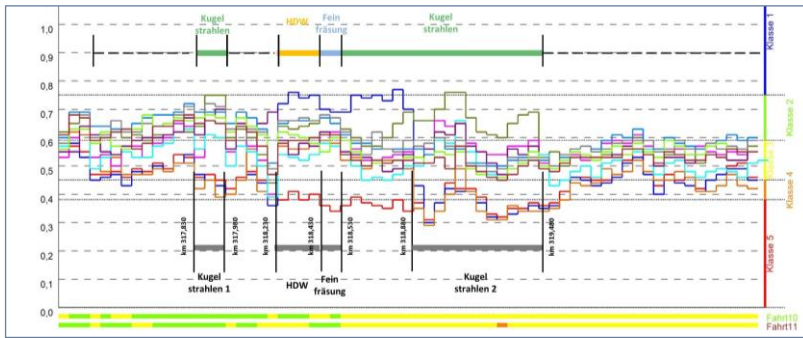


ABB 2. Verlaufsdarstellung der Griffigkeitsentwicklung

Kurzzusammenfassung

Problem

Zur kurzfristigen und kostengünstigen Behebung von Griffigkeitsmängeln der Fahrbahndecke ohne längere Behinderung des Verkehrs, werden "abtragende griffigkeitsverbessernde Baumaßnahmen angewendet. Über die Griffigkeitsentwicklung liegen jedoch keine Erfahrungen vor.

Gewählte Methodik

Auf 12 Autobahnabschnitten und Rampenanlagen mit unterschiedlichen Fahrbahndecken wurden fünf unterschiedliche abtragende Verfahren angewendet. Mittels eines intensiven Griffigkeitsmonitorings wurde die initiale Griffigkeitserhöhung sowie die Griffigkeitsentwicklung in Zeitreihen erfasst. Mittels einer Prognoserechnung wurde die Lebensdauer jeder Maßnahme abgeschätzt.

Ergebnisse

Hochdruckwasserstrahlen zeigte generell eine rasche Abnahme der initialen Griffigkeitserhöhung. Das Schlagsternverfahren erzielte auf den untersuchten Rampen im Vergleich zu Hochdruckwasserstrahlen und Kugelstrahlverfahren die besten Ergebnisse. Auf den Testabschnitten der Hauptfahrbahn zeigte Grinding und Rotationsfräsen eine prognostizierte Lebensdauer von mehr als 5 Jahren. Im Vergleich zeigt Kugelstrahlen eine eher schwankende Prognose in der Lebensdauer zwischen 4 und 6 Jahren.

Schlussfolgerungen

Zur Absicherung der Ergebnisse würde ein größeres Messstreckenkollektiv bzw. mehr Strecken, auf denen ein direkter Vergleich der Verfahren möglich ist, beitragen. Im Projekt war dies nur auf zwei Strecken möglich.

English Abstract

Efficient and cost-effective strategies to maintain a sufficient level of skid resistance depend on many impacts. The project MAGMA identified interdependencies and analysed the changes of the skid resistance on the basis of a monitoring scheme over a period of several years. The project MAGMA delivered valuable data concerning the development of skid resistance over time for different removal treatments which were employed to increase skid resistance. These data can be used as a decision aid when selecting appropriate measures and also play an important role in prediction models for skid resistance.

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, SAE
Streckenmanagement und
Anlagenentwicklung
Stab LCM und Innovationen
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 Forschungsförderungsgesellschaft mbH

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

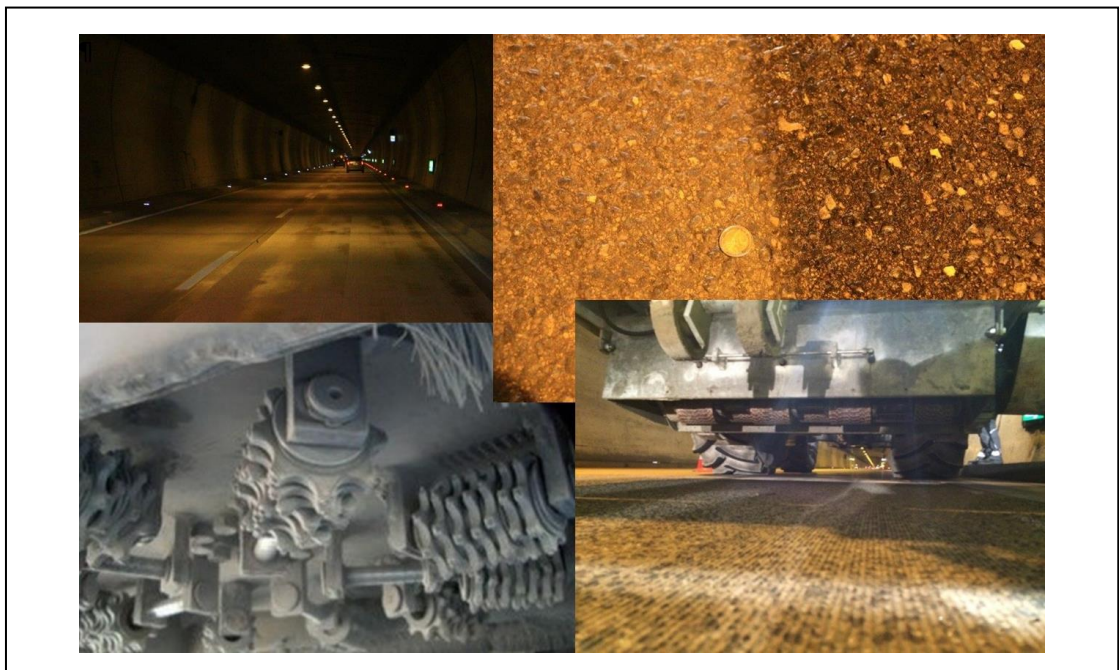
Mai, 2017

Monitoring abragender griffigkeitsverbes- sernder Maßnahmen

MAGMA

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2012
(VIF2012)

Mai 2017



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien

Radetzkystraße 2

A – 1030 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG

Nordbahnstraße 50

A – 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft

Rotenturmstraße 5-9

A – 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Donau-City-Straße 1

1220 Wien



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

Thematische Programme

Sensengasse 1

A – 1090 Wien



Monitoring abtragender griffigkeitsverbessernder Maßnahmen

MAGMA

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2012)

Autoren:

DI Johannes GRUBER

DI Roland SPIELHOFER

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Problemstellung und Projektziele	5
1.2	Methodik und zeitlicher Ablauf des Projektes	5
2	Auswahl der Untersuchungsstrecken	6
2.1	Vorauswahl, Streckenvorschläge, aktuelles Griffigkeitsniveau	6
2.2	Detailauswahl.....	7
3	Auswahl und Durchführung der gvM	8
4	Griffigkeitsmonitoring.....	12
4.1	Untersuchungsstrecke Nr. 1: A02; Knoten Vösendorf, Rampe 6	14
4.2	Untersuchungsstrecke Nr. 2: A02; Knoten Vösendorf, Rampe 8	17
4.3	Untersuchungsstrecke Nr. 3 und Nr. 4: A06, Knoten Bruckneudorf, Rampe 1 und 4	20
4.4	Untersuchungsstrecke Nr. 5: A04L1, km11,500-km10,500.....	24
4.5	Untersuchungsstrecke Nr. 6: A02; Ehrentalerbergtunnel, Rfb. Italien	26
4.6	Untersuchungsstrecke Nr. 7: A22, Kaisermühlentunnel.....	29
4.7	Untersuchungsstrecke Nr. 8: A09, R1, Plabutschunnel, Rfb. Spielfeld	31
4.8	Untersuchungsstrecke Nr. 9: A09, L1, Plabutschunnel, Rfb. Voralpenkreuz.....	34
5	Evaluierung, Kosten-Nutzen-Analyse, Anmerkungen	36
5.1	Evaluierung der Griffigkeitsentwicklung - Kurzzeitverhalten.....	36
5.2	Evaluierung der Griffigkeitsentwicklung - Langzeitverhalten	38
5.3	Kosten – Nutzen-Analyse	43
5.4	Baupraktische Anmerkungen	44

1 EINLEITUNG

Effektive und kostenwirksame Erhaltungsstrategien zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Griffigkeit sind vielseitigen Abhängigkeiten ausgesetzt. Das Projekt MAGMA identifiziert Wechselwirkungen und analysiert die Griffigkeitsentwicklung anhand eines intelligenten Monitorings über mehrere Jahre.

1.1 Problemstellung und Projektziele

Die ASFINAG hat als Straßenerhalter eine Gesamtnetzlänge von etwa 10.000 Fahrstreifenkilometern zu betreuen. Auf die Griffigkeit, als unfallkausaler Parameter, ist im Rahmen der Erhaltung zu achten. Demzufolge führt die ASFINAG, durch die vorliegende erhöhte Haftungspflicht, regelmäßige Zustandserfassungen (Intervall: 5 Jahre) sowie Griffigkeitsprüfungen zum Zeitpunkt der Abnahme und vor Ende der Gewährleistung durch.

Griffigkeitsmängel, die bereits zum Zeitpunkt der Abnahme auftreten, sind meist durch Bindemittel- bzw. Mörtelanreicherung bedingt, es liegt noch keine Polierwirkung durch den Verkehr vor. Im Projekt wurden nur Strecken mit längerer Liegedauer (≥ 5 Jahre auf Hauptfahrbahnen) untersucht, die Schlussfolgerungen beziehen sich also nur auf Bestandsstrecken.

Bei festgestellten Griffigkeitsmängeln ist der Erhalter oftmals mit der Fragestellung konfrontiert: Wie kann das Griffigkeitsniveau dauerhaft angehoben werden? Ist das Ende der Lebensdauer der Straße noch nicht erreicht und somit eine Komplettanierung nicht anzudenken, kommen griffigkeitsverbessernde Maßnahmen (gvM) zum Einsatz. Eine Möglichkeit zur Beseitigung von Griffigkeitsmängeln ist das Überbauen oder Ersetzen der Deckschichte oder die Anwendung "abtragender gvM", bei denen die oberste Fahrbahndeckschichte teilweise abgetragen wird. Im Vergleich zu den abtragenden Verfahren sind die erstgenannten Verfahren sicher nachhaltiger, jedoch auch zeit-, arbeits- und daher kostenintensiver. Im Rahmen des Forschungsprojektes sollen die abtragenden Verfahren beleuchtet werden, welche kurzfristig und kostengünstiger ohne längere Behinderungen des Verkehrs eingesetzt werden können. Ein besonderes Augenmerk kommt der Prognose der Nachhaltigkeit dieser Verfahren in Zusammenhang mit dem Fahrbahnbelag zu.

1.2 Methodik und zeitlicher Ablauf des Projektes

In Tabelle 1-1 sind die Arbeitspakete sowie der finale zeitliche Ablauf des Projektes dargestellt. Auf Grund erheblicher Schwierigkeiten bei der Streckenfindung und Umsetzung der Baumaßnahmen kam es zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen. Die letzten gvM konnten in Kooperation mit der ASFINAG erst Ende 2014 verwirklicht werden. Um auch auf diesen Strecken ein Griffigkeitsmonitoring über einen Zeitraum von mindestens 2 Jahren durchführen zu können, wurde einer Projektverlängerung vom Auftraggeber zugestimmt. Das Projektende wurde von 2015 auf Ende Mai 2017 verlegt, ohne Erhöhung des Forschungsbudgets.

Tabelle 1-1: Arbeitspakete und zeitlicher Ablauf des Projektes

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
		Anf.	Ende	Anf.	Ende	
0	Projektmanagement	06/13	05/15	06/13	05/17	laufend, Verlängerung der Vertragslaufzeit bis 31.05.2017
1	Auswahl der Versuchsstrecken	06/13	07/13	06/13	05/14	Im Nov. 2014 wurden die gvM im Plabutschunnel seitens der ASFINAG durchgeführt. Nur auf 2-3 Strecken konnten aktiv gvM innerhalb des Projektzeitraums gesetzt werden.
2	Auswahl der gvM	07/13	08/13	07/13	10/14	
3	Durchführung der gvM	08/13	08/13	03/15	11/14	
4	Griffigkeitsmonitoring	08/13	03/15	07/13	11/16	Das Griffigkeitsmonitoring auf den Untersuchungsstrecken wurde gemäß dem erweiterten Zeitplan durchgeführt.

5	Evaluierung	04/15	05/15	04/15	05/17	Gespräche mit Firmen, welche aktiv gvM durchgeführt haben. Gegenüberstellung der Griffigkeitsverläufe. Detaillierte Informationen zur Zusammensetzung der Fahrbahnbeläge sind nicht verfügbar.
---	-------------	-------	-------	-------	-------	--

Tabelle 4-1 zeigt die Zeittafel des aufwendigen Griffigkeitsmonitorings auf Grund der unterschiedlichen Herstellungszeitpunkte der gvM.

2 AUSWAHL DER UNTERSUCHUNGSTRECKEN

2.1 Vorauswahl, Streckenvorschläge, aktuelles Griffigkeitsniveau

In einem ersten Schritt zur Streckenvorauswahl wurden die vorhandenen netzweiten Griffigkeitsdaten des 1. Fahrstreifens aus der Messkampagne 2009 analysiert. Gesucht wurde nach Streckenabschnitten mit schlechter bzw. sehr schlechter Griffigkeit gepaart mit einem möglichst homogenen Griffigkeitsverlauf. Da die Überstellkosten des Messfahrzeuges einen wesentlichen Kostenfaktor darstellen, wurden in Hinblick auf das zukünftige Monitoring Streckenabschnitte im östlichen Straßennetz bevorzugt. Begrenzt wurde dieses Untersuchungsgebiet in etwa durch die Autobahnen A2, A9 und A1. Das Ergebnis war eine Streckenauswahl von 22 Streckenabschnitten (vgl. Abbildung 2-1).

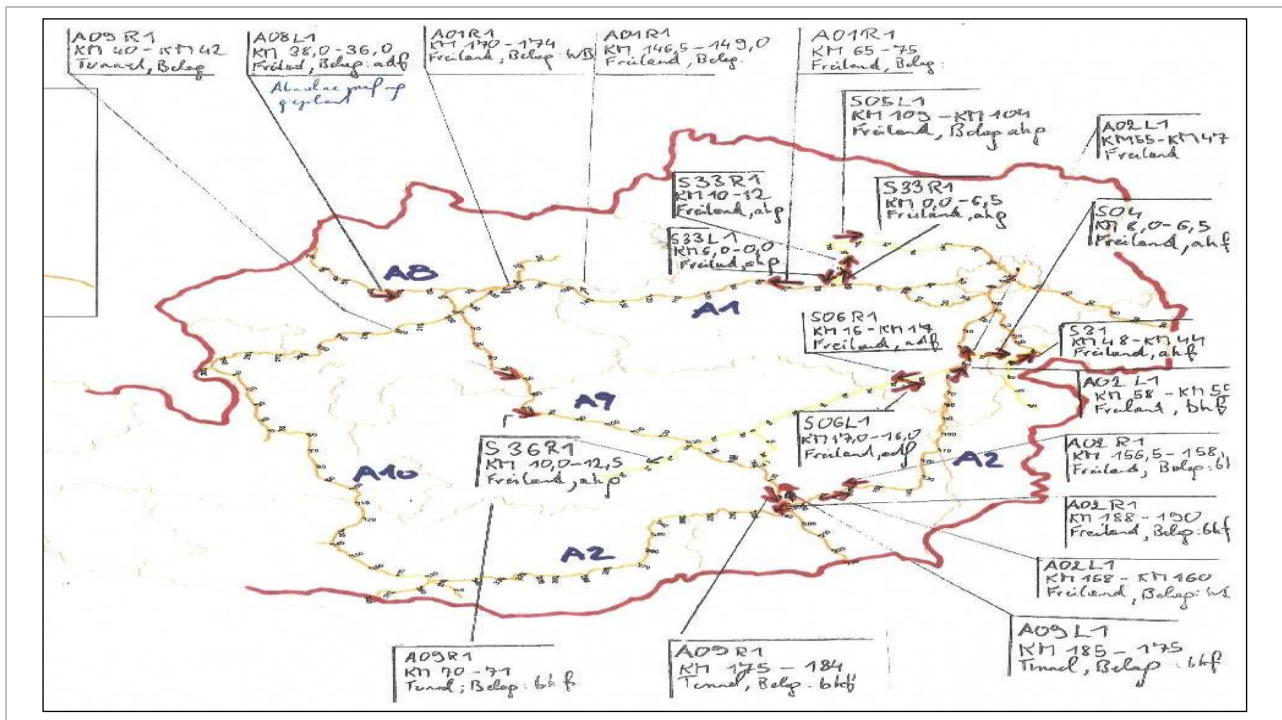


Abbildung 2-1 Überblick über die Streckenvorauswahl

Im Zuge einer Messrundfahrt mit dem RoadSTAR im Juni 2013 wurde auf den selektierten Streckenabschnitten die aktuelle Griffigkeit gemäß RVS 11.06.65 erfasst. Ein Streckenabschnitt stellte sich bereits während der Befahrung als ungeeignet heraus (zweistreifig mit Gegenverkehrsführung). Im Rahmen von Gewährleistungsprüfungen der Griffigkeit im Sommer 2013 konnten 5 weitere Streckenabschnitte der Voruntersuchung zugeführt werden. Zu diesem Pool von 26 Strecken wurden die Oberbaudaten aus der Oberbaudatenbank VIABASE erhoben.

Auf Wunsch der ASFINAG wurden die Ergebnisse aller Gewährleistungsprüfungen der Griffigkeit im Zeitraum 2009-2013 gesichtet. Zu Streckenabschnitten mit Griffigkeitsmängeln wurde analysiert, ob auch nachgeschaltete Abnahmeprüfungen infolge griffigkeitserhöhender Maßnahmen existieren. Das Ergebnis der Untersuchung blieb hinter den Erwartungen zurück und lieferte keine weiteren möglichen Untersuchungsstrecken.

2.2 Detailauswahl

Anhand des Vergleiches zwischen alten (2009) und aktuellen (Juni 2013) Griffigkeitsdaten und unter Berücksichtigung der Deckenart sowie der Lage (Tunnel, Freiland) der Autobahnabschnitte wurde im Konsens mit der ASFINAG eine Auswahl von 8 Detailstrecken getroffen. Den zuständigen Regionalleitern der ASFINAG wurde ein Fragebogen mit folgenden Fragestellungen zugesandt:

- Angaben zur Fahrbahndecke (Alter, Herstellung, Gesteinszusammensetzung, etc.)
- Wurden griffigkeitsverbessernde Maßnahmen im betreffenden Abschnitt seit der letzten Messkampagne 2009 durchgeführt? Falls ja, welche Methode wurde angewendet?
- Sind im betreffenden Abschnitt griffigkeitsverbessernde Maßnahmen im Jahr 2013 geplant?
- Gibt es in Ihrem Verantwortungsbereich weitere Streckenabschnitte, auf denen in den letzten 3-5 Jahren abtragende griffigkeitsverbessernde Maßnahmen durchgeführt wurden?

Aus den erhaltenen Informationen konnten lediglich die Untersuchungsabschnitte A6, Bruckneudorf und A2, Ehrentalerbergtunnel fixiert werden. Die gvM wurden auf diesen Strecken bereits vor Projektbeginn durchgeführt.

Die Recherche nach weiteren Untersuchungsstrecken gestaltete sich weiterhin schwierig und sehr zeitaufwendig. Angestrebt wurde ein Portfolio an Untersuchungsstrecken in Asphalt- und Betonbauweise sowie Freiland als auch in Tunnelobjekten. Nach Zusage von Baumaßnahmen zur Griffigkeitserhöhung im Plabutschtunnel, konnte das finale Streckenportfolio im Frühsommer 2014 festgelegt werden (siehe Tabelle 2-1). GvM wurden hierbei auf der A4, Freilandabschnitt; A22, Tunnel Kaisermühlen und A9, Plabutschtunnel innerhalb der Projektlaufzeit durchgeführt.

Tabelle 2-1: Finale Streckenmatrix Frühsommer 2014

	Freilandstrecken	Tunnelstrecken
Asphalt	A2, Kn. Vösendorf, Rampe 6 A2, Kn. Vösendorf, Rampe 8 A6, ASt. Bruckneudorf, Rampe 1 A6, ASt. Bruckneudorf, Rampe 4	A2, Ehrentalerberg Tunnel A22, Tunnel Kaisermühlen*)
Beton	A4, km 11,0 – km 10,0, RFB Wien*)	A9, Plabutsch Tunnel L1 *) A9, Plabutsch Tunnel R1 *)

*) GvM wurde aktiv im Projekt umgesetzt

Streckenbegehung

Geplant war eine Begehung der Streckenabschnitte, an der ein Vertreter des Straßenerhalters, des Forschungsnehmers und optional ein Firmenvertreter der ausführenden Unternehmen der gvM teilnehmen sollten. Dabei sollten mögliche Schadensarten für schlechte Griffigkeit wie "Mörtelanreicherung", "Polierte Kornoberfläche" bzw. "Verschmutzung" in Tunnelabschnitten vor Ort erkundet werden. In Anbetracht der begrenzten Zahl von verfügbaren Versuchsstrecken und der verstrichenen Zeit zur Streckenauswahl musste von der Streckenbegehung abgesehen werden.

3 AUSWAHL UND DURCHFÜHRUNG DER gvM

Ziel der Verfahrensauswahl war es, auf jeder Teststrecke zwei unterschiedliche Verfahren zur Verbesserung der Griffigkeit anzuwenden um die Nachhaltigkeit der Maßnahmen unmittelbar miteinander vergleichen zu können. Weiters wurde eine möglichst breite Palette umgesetzter gvM angestrebt. Tabelle 3-1 zeigt eine Zusammenstellung der Kurzbezeichnungen der angewendeten gvM.

Tabelle 3-1: Legende zur Kurzbezeichnung der gvM

Kurzform	Bezeichnung der gvM
HDW	Hochdruckwasserstrahlung
SSV	Schlagsternverfahren (Trimix)
GR	Grinding
KGS	Kugelstrahlung
RF	Rotationsfräsung
FF	Feinfräsung

Im Projekt konnte bei der Verfahrensauswahl für die Untersuchungsabschnitte in den beiden Röhren des Plabutschunnels mitgestaltet werden. Die gvM Grinding, Rotationsfräsung und Kugelstrahlen wurden jeweils am 1. Fahrstreifen unmittelbar hintereinander angeordnet. Die behandelte Streckenlänge beträgt je Verfahren etwa einen Kilometer.

Auf der A22, Kaisermühlentunnel war seitens der ASFINAG im Zuge der Sanierung des Tunnels das Verfahren Kugelstrahlen für alle Fahrstreifen ausgeschrieben. Kurz vor der Umsetzung der gvM erklärte sich die ausführende Firma bereit für das Projekt MAGMA am 2. Fahrstreifen einen 300 m langen Abschnitt mit HDW zu behandeln.

Auf der Teststrecke der A4, wurde das Verfahren Grinding vom Gerätehersteller demonstriert. In erster Linie sollte gezeigt werden, wie das Verfahren zur Verbesserung der Längsebenheit beitragen kann, welche sich durch Schüsselung der Betonplatten im Laufe der Zeit verschlechtert hat. AIT wurde kurzfristig über das Vorhaben informiert und es konnte eine Nullmessung für das Griffigkeitsmonitoring durchgeführt werden.

Auf den 4 untersuchten Rampenabschnitten der A2 und A6 waren die gvM bereits vor Projektstart umgesetzt. Es handelt sich hierbei um die Verfahren HDW-Strahlung (A2) und Schlagsternverfahren (A6). Historische Griffigkeitsdaten über den Nullzustand vor der Maßnahme konnten recherchiert werden.

Eine Besonderheit stellt die Strecke A2, Ehrentalerbergtunnel dar. Auf diesem Abschnitt wurden unterschiedliche Baumaßnahmen zur Griffigkeitserhöhung bereits in den Jahren 2008/2009 durchgeführt. Für die Verfahren HDW-Strahlung, Kugelstrahlung, Feinfräsung lag bereits eine Zeitreihe an Griffigkeitsdaten vor, welche weitergeführt werden konnte.

Die nachfolgende Zusammenstellung in Tabelle 3-2 gibt einen gesamtheitlichen Überblick über die untersuchten Strecken und die darauf angewendeten gvM.

Tabelle 3-2: Zusammenstellung Untersuchungsabschnitte, Deckenalter, Baumaßnahme

Nr.	Abschnitt	FS	Tunnel / Freiland	Decke	Baujahr der FB-Decke	Zeitpunkt der gvM	gvM
1	A02, KN Vösendorf, Rampe 6	FS1	FL	Asphalt	k.A.	06/2013	HDW-Strahlung
2	A02, KN Vösendorf, Rampe 8	FS1	FL	Asphalt	k.A.	07/2014	HDW-Strahlung
3	A06, KN Bruckneudorf, Rampe 1	FS1	FL	Asphalt	2007	11/2012	Schlagsternverfahren (Trimix)
4	A06, KN Bruckneudorf, Rampe 4	FS1	FL	Asphalt	2007	11/2012	Schlagsternverfahren (Trimix)
5	A04, km 11,5-km 10,5; RFB Wien	FS1	FL	Beton	1994	04/2014	Grinding
6	A02, km317,1-km320,5; Ehrentalerbergtunnel, RFB Italien	FS1	TU	Asphalt	1995	11/2008 und 05/2010	HDW-Strahlung, Kugelstrahlung, Feinfräsung
7	A22, km1,5-km4,0; Kaisermühlentunnel, RFB Stockerau	FS2	TU	Asphalt	2009	03/2014	HDW-Strahlung, Kugelstrahlung
8	A09, km174,5-km185,0; Plabutschunnel, RFB Spielfeld	FS1	TU	Beton	2003	10 u.11/2014	Grinding, Rotationsfräsung, Kugelstrahlung
9	A09, km185,0-km174,5; Plabutschunnel, RFB Voralpenkreuz	FS1	TU	Beton	2003	10 u.11/2014	Grinding, Kugelstrahlung

Beschreibung der angewendeten Verfahren zur Griffigkeitsverbesserung

Hochdruckwasserstrahlung (HDW):

Bei der Hochdruckwasserstrahlung wird die Fahrbahnoberfläche mittels Wasserstrahlen aus bewegten Düsen und einem Betriebsdruck von bis zu 2500 bar (Höchstdruckwasserstrahlung) behandelt. Einfluss auf das Arbeitsergebnis haben die Fortschrittsgeschwindigkeit des Fahrzeuges, der Wasserdruck sowie Abstand und Ausrichtung der Düsen zur Fahrbahn. Mittels der Wasserstrahlung wird die Bitumenmatrix an der Oberfläche der Fahrbahn verringert und die Einzelkörner angeritzt. Die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt bei 1800 bar in etwa 18 m/min.



Foto 3-1: Hochdruckwasserstrahlung

Schlagsternverfahren (Trimix-Verfahren):

Bei der Verbesserung der Griffigkeit durch das Schlagsternverfahren wird die Oberflächenstruktur des Fahrbahnbelages mittels Schlagsternlamellen aufgeraut und das anfallende Material abgesaugt.



Foto 3-2: Schlagsternverfahren (Trimix-Verfahren)

Grinding:

Bei diesem Verfahren werden mittels einer Walze die mit Diamantscheiben besetzt ist, Rillen in Längsrichtung der Fahrbahndecke geschnitten. Das abgeschliffene Material wird aufgesaugt und entsorgt. Standardmäßig wird laut ausführender Firma (Possehl), das Fräsprofil mit einer Stegbreite von 2 mm, Rillenbreite von 3,2 mm und einer Rillentiefe von 2-3 mm angewendet. Durch die auf diese Weise erhaltene neue Oberflächentextur kann die Griffigkeit positiv beeinflusst werden.

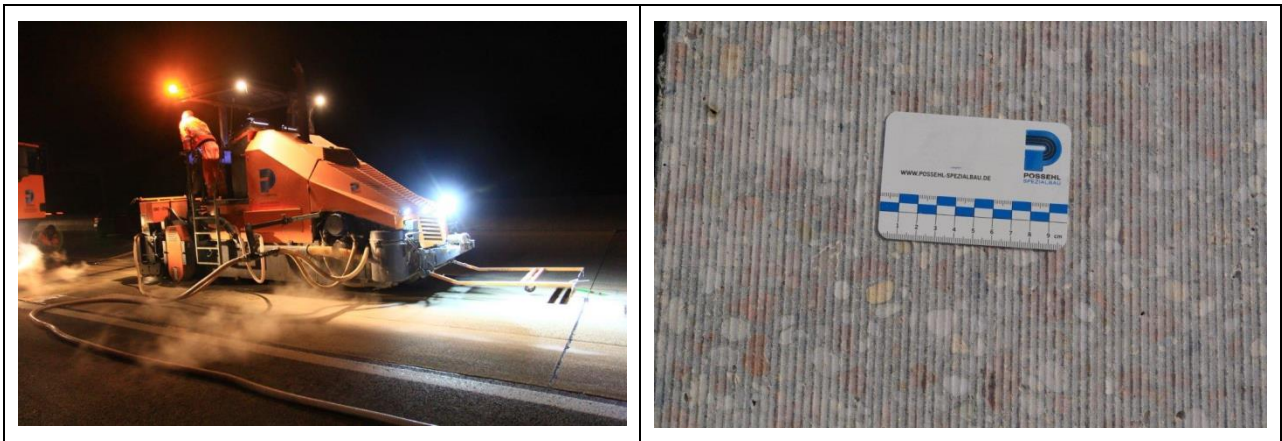


Foto 3-3: Verfahren Grinding

Kugelstrahlung:

Beim Kugelstrahlen werden Stahlkugeln mit hoher Geschwindigkeit auf die Fahrbahnoberfläche geschleudert. Beim Auftreffen der Kugeln wird eine neue Mikrotextur an der Fahrbahnoberfläche erzeugt. Danach werden die Stahlkugeln und das gelöste Material aufgesaugt und voneinander getrennt. Die Stahlkugeln können danach wiederverwendet werden.



Foto 3-4: Kugelstrahlung

Rotationsfräsung:

Im Zuge der Rotationsfräsung wird die Fahrbahndeckschichte mittels diamantbesetzten rotierenden Walzen mit möglichst geringer Frästiefe abgetragen. Die Fahrbahn wird danach mittels Kehrmaschine vom Fräsgut gesäubert.



Foto 3-5: Rotationsfräsung

Feinfräsung:

Bei der Feinfräsung werden Asphaltsschichten teilweise abgetragen. Neben der Griffigkeitserhöhung wird das Verfahren auch zur Behebung von Ebenheitsmängeln eingesetzt. Im Anschluss wird das Fräsgut geladen und die Fahrbahn gesäubert. Im Unterschied zu Grinding ist die Frästiefe geringer und der Schnittlinienabstand ist größer und beträgt bis zu 8 mm.

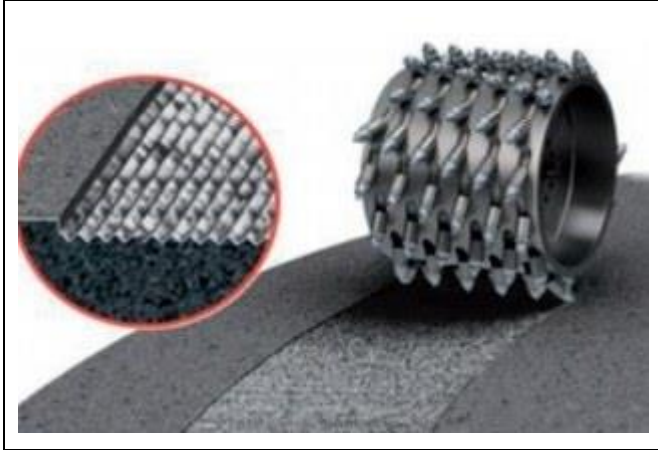


Foto 3-6: Feinfräsung

4 GRIFFIGKEITSMONITORING

Die Erfassung der Griffigkeitsentwicklung war über einen Zeitraum von 20 Monaten geplant. Auf Grund der Projektentwicklung wurde der Beobachtungszeitraum nach Möglichkeit verlängert. Von Interesse ist einerseits die Anhebung des Griffigkeitsniveaus infolge der Aufräumung sowie die Nachhaltigkeit der durchgeführten Griffigkeitserhöhungen. Die Griffigkeitsmessungen erfolgten auf den Versuchstrecken gemäß RVS 11.06.65. Hierbei wird die Griffigkeit mit 18% Schlupf bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h in der rechten Radspur ohne Behinderung des fließenden Verkehrs ermittelt. Eine Absicherung der Messstrecken war hierzu nicht erforderlich.

Das Griffigkeitsmonitoring begann bereits vor der Anwendung der gvM mit einer Nullmessung. Diese Messungen erfolgten möglichst zeitnahe vor Beginn der Baumaßnahmen. Die Erstmessung wurde zeitnah nach Umsetzung der gvM durchgeführt, um die Griffigkeitserhöhung durch die Maßnahme beurteilen zu können und etwaige äußere Einflüsse auf die Griffigkeit (Starkregen, Verschmutzung, Tunnelreinigung, etc.) auszuschließen. Für die Zweit- und Folgemessungen vergrößerte sich das Beobachtungsintervall von 1 auf 4 Monate. In den Wintermonaten Dezember bis März wurde witterungsbedingt das Griffigkeitsmonitoring ausgesetzt. Tabelle 4-1 zeigt eine Zeittafel der durchgeführten Griffigkeitsmessungen. Zu erkennen sind die unterschiedlichen Zeitpunkte der Maßnahmenumsetzung auf den Untersuchungsstrecken, was zu einem erheblichen Mehraufwand an RoadSTAR-Einsätzen geführt hat. Speziell betroffen davon waren die Einzelanfahrten für Null-, Erst- und Zweitmessungen.

Zusätzlich zu den Prüfabschnitten mit Belagsmaßnahmen wurde die Griffigkeit auf einem unbehandelten Bereich des Fahrstreifens miterfasst und dokumentiert. Diese Griffigkeitsdaten geben im Falle einer bedeutenden Änderung im Griffigkeitsniveau Auskunft darüber, ob eine Veränderung auf das angewendete Verfahren zurückzuführen ist oder durch äußere Einflüsse (beispielsweise Starkregenereignis, Verschmutzung, etc.) bedingt ist.

Tabelle 4-1: Zeittafel des durchgeführten Griffigkeitsmonitorings

Strecke	2008	2009	2010	2011	2012	2013						2014											
						Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
A2, Kn. Vösendorf R6						17.05		31.07	27.08			08.11	18.03	24.04		02.06		18.08		28.10			
A2, Kn. Vösendorf R8																27.06	25.07	18.08		28.10			
A6, Kn. Bruckneudorf					28.08				04.09		15.11	18.03	24.04	23.05			18.08		30.10				
A4, km11,500_km10,500													07.04	11.04		02.06		18.08		30.10			
A2, Ehrentalerbergtunnel R1	03.11	07.10	17.05	25.05	23.10			22.07				13.11		23.04	20.05	11.06		19.08					
A22, Kaisermühlentunnel R2													14.03	21.03	24.04	07.05		18.08		30.10			
A9, Plabutschunnel R1																				20.10	27.10	19.11	05.12
A9, Plabutschunnel L1																				20.10	27.10	19.11	05.12

Strecke	2015												2016											
	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez				
A2, Kn. Vösendorf R6	27.03				09.07	11.09			04.11		04.04			13.07					11.11					
A2, Kn. Vösendorf R8	27.03				09.07				04.11		04.04			13.07					11.11					
A6, Kn. Bruckneudorf	27.03				09.07				03.11		04.04			13.06		17.10								
A4, km11,500_km10,500	27.03				09.07				03.11		04.04			13.07		17.10								
A2, Ehrentalerbergtunnel R1																								
A22, Kaisermühlentunnel R2	27.03				14.07				09.11		04.04													
A9, Plabutschunnel R1	26.03				10.07				04.11		06.04			12.07					07.11					
A9, Plabutschunnel L1	26.03				10.07				04.11		06.04			12.07					07.11					

	Nullmessung
	Erstmessung (nach Maßnahme)
	Monitoring
	Messung vor MAGMA
	Baustelle, Messung nicht möglich
	geplante Messung

In noch folgenden Kapiteln sind die Eckdaten und Ergebnisse des Griffigkeitsmonitorings auf den einzelnen Untersuchungsabschnitten dokumentiert. Keine Früchte trugen die Nachforschungen nach den bei der Deckenherstellung verwendeten Materialien.

Die Dokumentation der Ergebnisse des Griffigkeitsmonitorings erfolgte in einem ersten Schritt durch eine Überlagerung der Griffigkeitsverläufe der einzelnen Griffigkeitsmessfahrten. Das Mittelungsintervall der Griffigkeit beträgt 50 m. In einem weiteren Auswerteschritt wurde die mittlere Griffigkeit auf den behandelten Fahrbahnabschnitten je Bauverfahren sowie auf den Referenzstrecken bestimmt. Diese Abschnittsmittelwerte sind in Zeitdiagrammen grafisch dargestellt, anhand dessen die Griffigkeitsentwicklung abgelesen werden kann.

4.1 Untersuchungsstrecke Nr. 1: A02; Knoten Vösendorf, Rampe 6

Bei der Rampe 6 des Knoten Vösendorf handelt es sich, wie in Abbildung 4-1 ersichtlich, um die Relation A2, Rfb. Wien nach A21, Rfb. Steinhäusl.

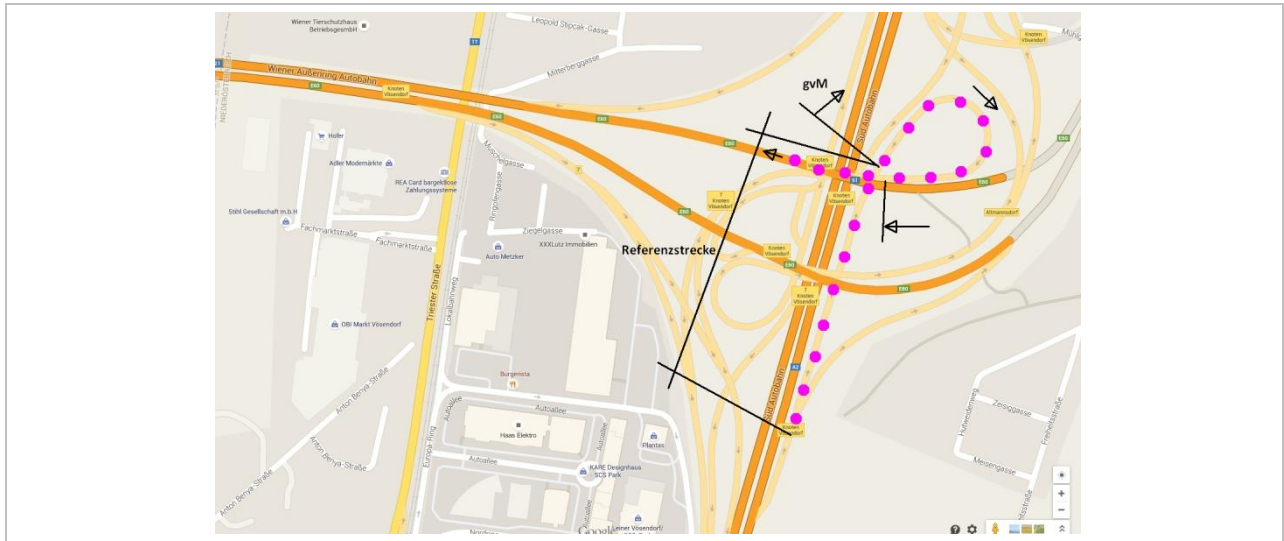


Abbildung 4-1 Lageskizze: A02; Knoten Vösendorf, Rampe 6 - [Quelle: Google Maps]

Streckenauswahl: Auf diesen Streckenabschnitt wurde man im Zuge der Abnahmeprüfung Griffigkeit (31.07.2013) aufmerksam, da als Baumaßnahme Hochdruckwasserstrahlung gemeldet wurde. Ins Untersuchungsprogramm konnte die Strecke aufgenommen werden, da bereits zu einem früheren Zeitpunkt (17.05.2013) eine Kontrollprüfung der Griffigkeit auf diesem Streckenabschnitt durchgeführt wurde und diese Griffigkeitsdaten zur Bestimmung des Nullniveaus herangezogen werden konnten.

Fahrbahnbelag: Asphalt (SMA)

Verkehrsstärke: k.A.

Maßnahme: HDW-Strahlung mit 2500 bar am 26.06.2013; Kugelstrahlen 10/2015.

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen des Streckenabschnittes Kn. Vösendorf, Rampe 6 sind Abbildung 4-2 zu entnehmen. In Abbildung 4-4 sind die Mittelwerte der einzelnen Messergebnisse aufgeführt.

Hochdruckwasserstrahlung:

-1	2013-05-17_Nullmessung	0	2013-06-26_HDW-Strahlung
+1	2013-07-31_1. Monitoring (2013-16AP)	+2	2013-08-27_2. Monitoring
+5	2013-11-08_3. Monitoring	+9	2014-03-18_4. Monitoring
+10	2014-04-24_5. Monitoring	+12	2014-06-02_6. Monitoring
+14	2014-08-18_7. Monitoring	+16	2014-10-28_8. Monitoring
+21	2015-03-27_9. Monitoring	+25	2015-07-09_10. Monitoring
+27	2015-09-11_11. Monitoring (= Nullmessung für KGS)		
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gVM.		

Kugelstrahlung:

0	2015-10_Griffigkeitsverbesserung durch Kugelstrahlung (KGS)	+1	2015-11-04_1. Monitoring (KGS)
+5	2016-04-04_2. Monitoring (KGS)	+8	2016-07-13_3. Monitoring (KGS)
+12	2016-11-11_4. Monitoring (KGS)		
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM.		

Griffigkeitsentwicklung:

Die Erstmessung (07/2013) zeigt einen Anstieg der Griffigkeit von etwa $\Delta\mu=0,23$, ausgehend von einem Griffigkeitsniveau $\mu=0,51$ vor der Baumaßnahme. Etwa 8 Monate nach der 1. Messung zeigt die 4. Messung im März 2014 bereits nahezu das Ausgangsniveau der Griffigkeit. Im Anschluss verhält sich die Griffigkeitsentwicklung ähnlich wie die unbehandelte Referenzstrecke. Nach 25 Monaten fällt das Griffigkeitsniveau unter jenes der Nullmessung. Durch eine nachfolgende Griffigkeitserhöhung durch Kugelstrahlung konnte das Griffigkeitsniveau wieder auf jenes nach der HDW-Strahlung von $\mu=0,7$ gehoben werden. Die anschließende Griffigkeitsabnahme beträgt im nachfolgenden Monitoringzeitraum im Laufe eines Jahres etwa $0,12\mu$.

Die Referenzstrecke zeigt von Beginn des Beobachtungszeitraumes ein wesentlich höheres Griffigkeitsniveau. Dies ist vermutlich dadurch bedingt, dass die Referenzstrecke den Charakter einer Geraden aufweist und die gvM im Bereich der gekrümmten Rampe gesetzt wurden, wo eine wesentlich höhere Polierleistung durch Brems- und Fliehkräfte vorhanden ist.

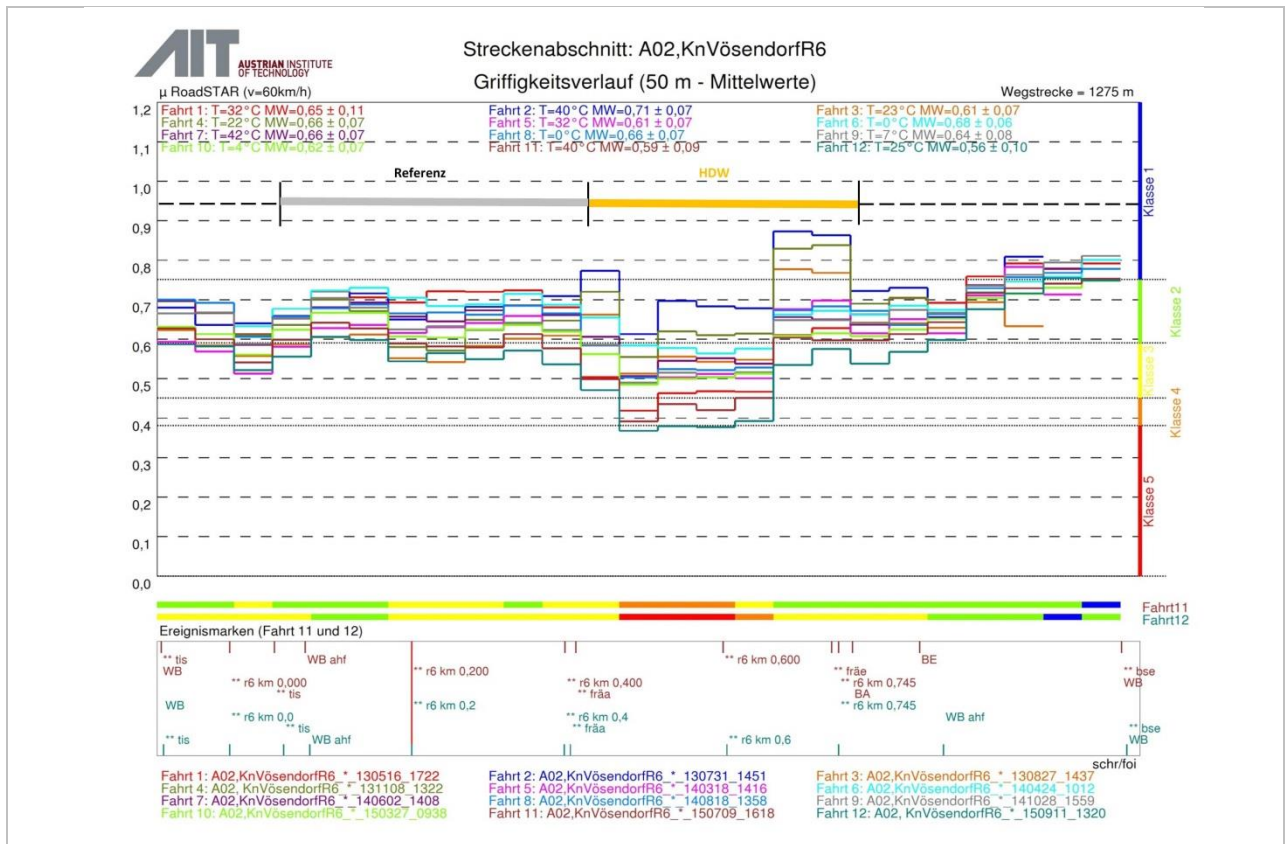


Abbildung 4-2 A02; Kn. Vösendorf; R6; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen (HDW)

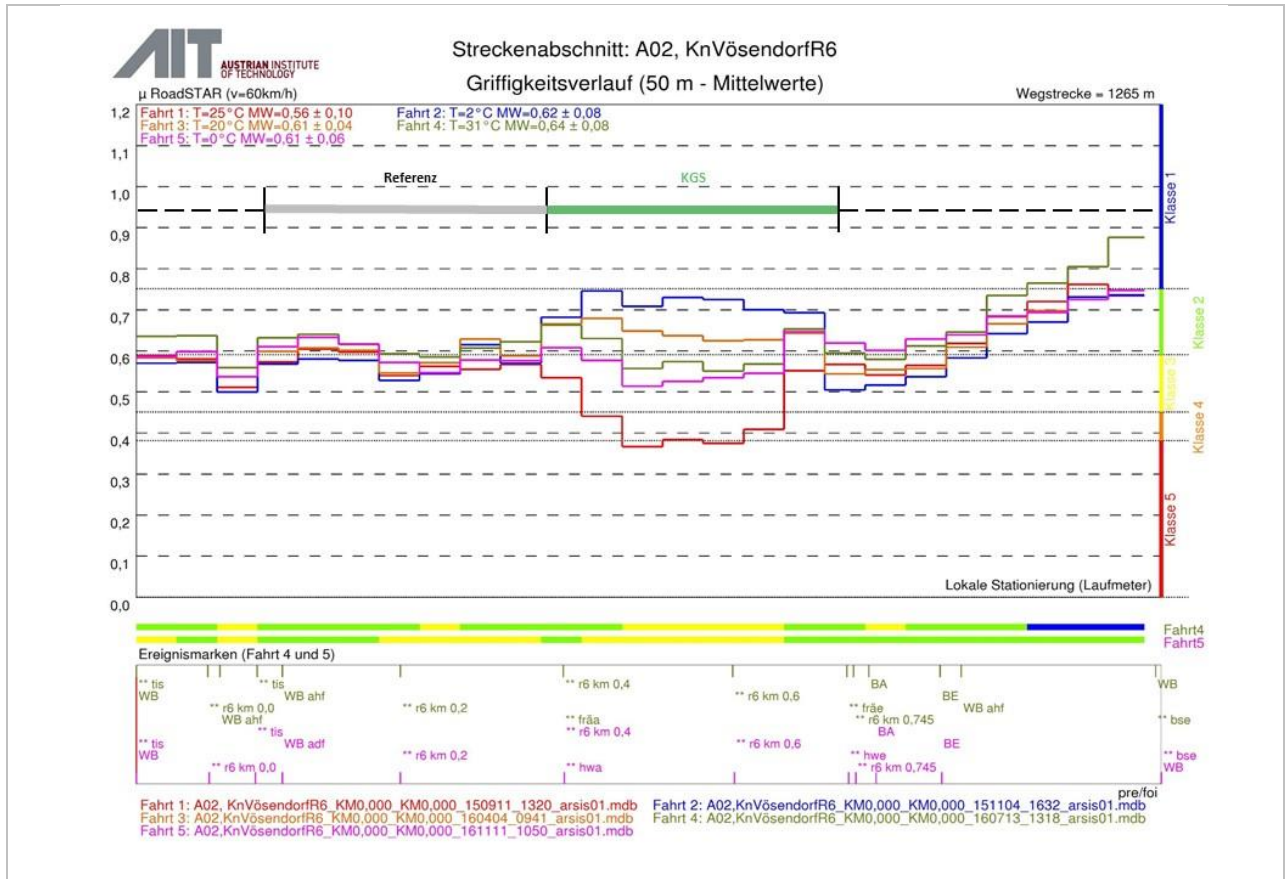


Abbildung 4-3 A02; Kn. Vösendorf; R6; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen (KGS)

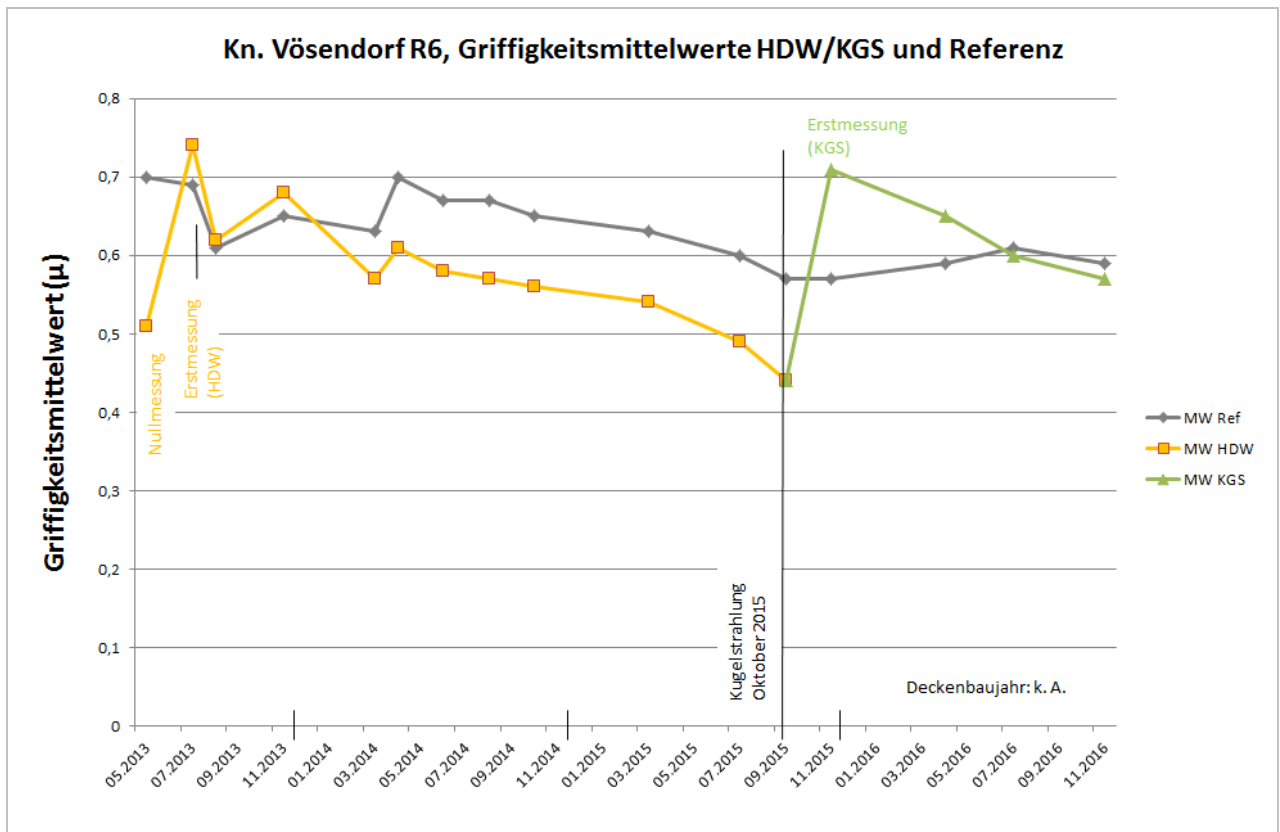


Abbildung 4-4 A02; Kn. Vösendorf; R6; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken (HDW und KGS)

4.2 Untersuchungsstrecke Nr. 2: A02; Knoten Vösendorf, Rampe 8

Bei der Rampe 8 des Knoten Vösendorf handelt es sich um die Relation A21, Rbf. Vösendorf nach A2, Rbf. Wien, siehe auch Abbildung 4-5.

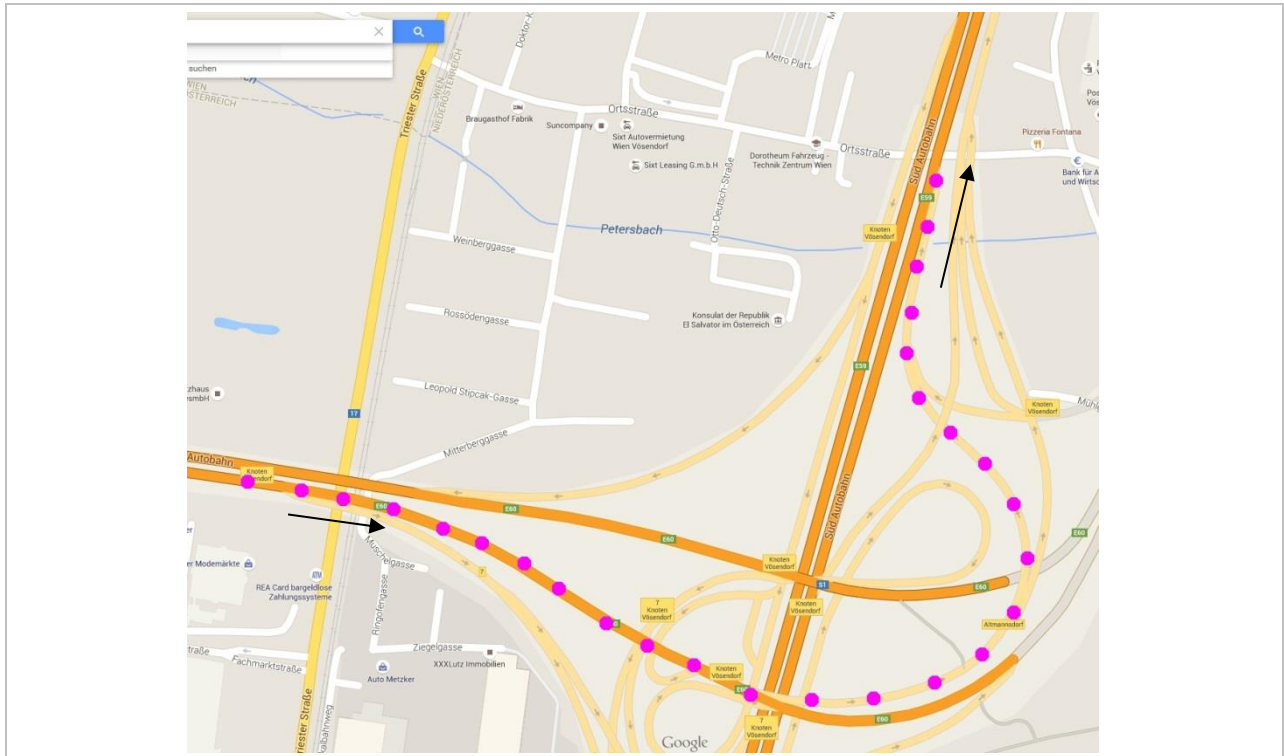


Abbildung 4-5 Lageskizze: A02; Knoten Vösendorf, Rampe 8 - [Quelle: Google Maps]

Streckenauswahl: Eine Kontrollprüfung der Griffigkeit am 27.06.2014 zeigte Mindergriffigkeiten auf der gegenständlichen Rampe (Nullmessung). Daraufhin wurde am 15.07.2014 eine Hochdruckwasserstrahlung auf den Problemabschnitten der Rampe durchgeführt. Am 25.07.2014 begann das Griffigkeitsmonitoring der gvM auf diesem Prüfabschnitt.

Fahrbahnbelag: Asphalt (SMA)

Verkehrsstärke: k.A.

Maßnahme: HDW–Strahlung am 15.07.2016.

Auch hier wurde das zuvor für Rampe 6 beschriebene Verfahren der Hochdruckwasserstrahlung angewendet.

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen des Streckenabschnittes Kn. Vösendorf, Rampe 8 sind Abbildung 4-6 zu entnehmen. In Abbildung 4-7 sind die Mittelwerte der einzelnen Messergebnisse aufgeführt.

-1	2014-06-27_Nullmessung	0	2014-07-15_HDW-Strahlung
+0,5	2014-07-25_1. Monitoring (2014-17AP)	+1	2014-08-18_2. Monitoring
+3	2014-10-28_3. Monitoring	+8	2015-03-27_4. Monitoring
+12	2015-07-09_5. Monitoring	+16	2015-11-04_6. Monitoring
+21	2016-04-04_7. Monitoring	+24	2016-07-13_8. Monitoring
+28	2016-11-11_9. Monitoring		
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM.		

Griffigkeitsentwicklung:

Ausgehend von einem Griffigkeitsniveau von $\mu=0,51$ der Nullmessung wurde durch die HDW-Strahlung eine Griffigkeitserhöhung um etwa $\Delta\mu = 0,2$ erreicht. Nach etwa 8 Monaten Liegezeit hat sich die Griffigkeitserhöhung beinahe um die Hälfte reduziert. Das Griffigkeitsniveau auf dem Referenzabschnitt ist nahezu konstant geblieben. Auffällig ist der idente Verlauf des Griffigkeitsniveaus am Untersuchungsabschnitt und der unbehandelten Referenzstrecke ab dem 8. Monat nach der Behandlung. Das Ende der griffigkeitsverbessernden Wirkung der HDW-Strahlung scheint ab diesem Zeitpunkt erreicht.

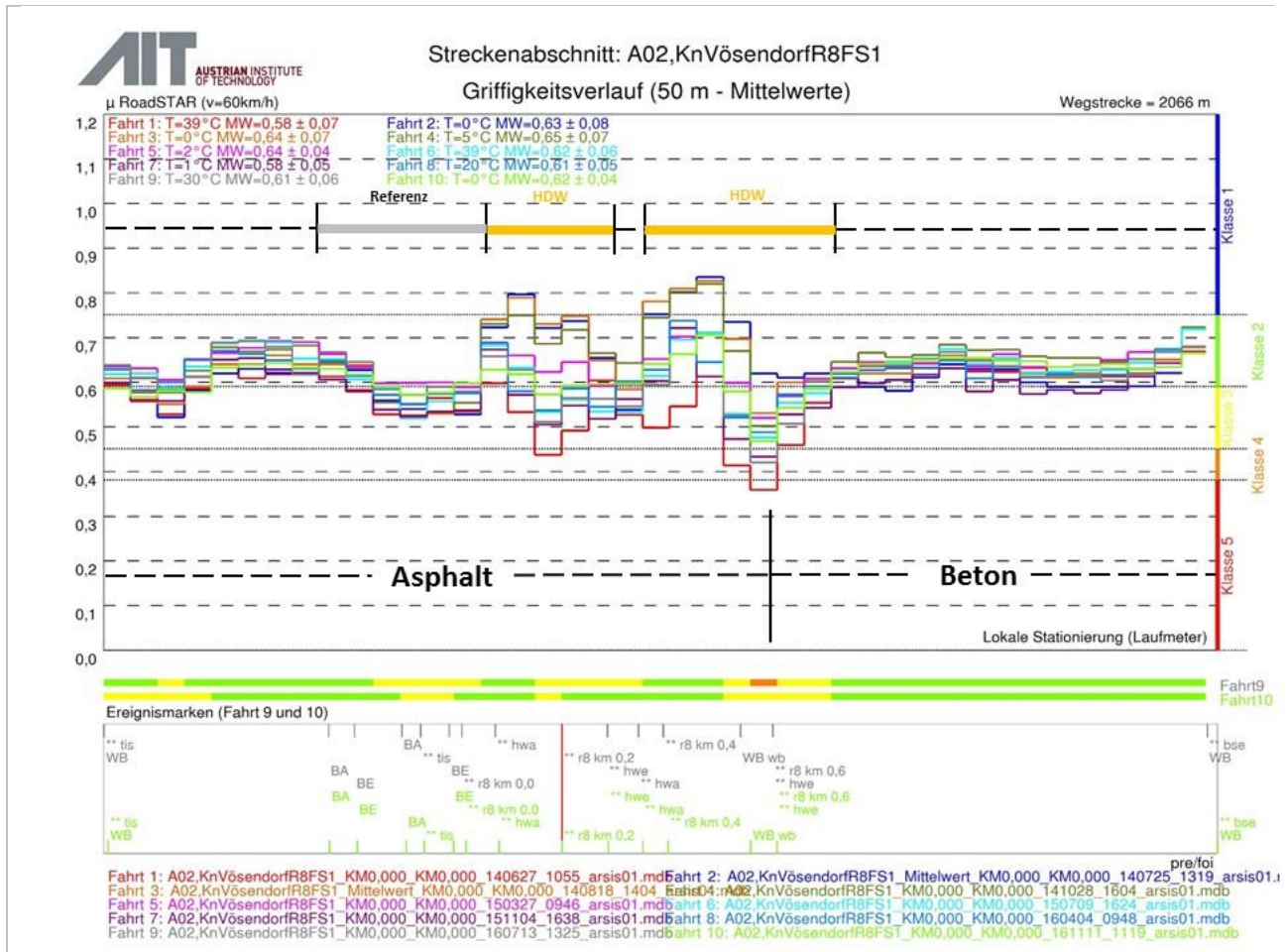


Abbildung 4-6 A02; Kn. Vösendorf; R8; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

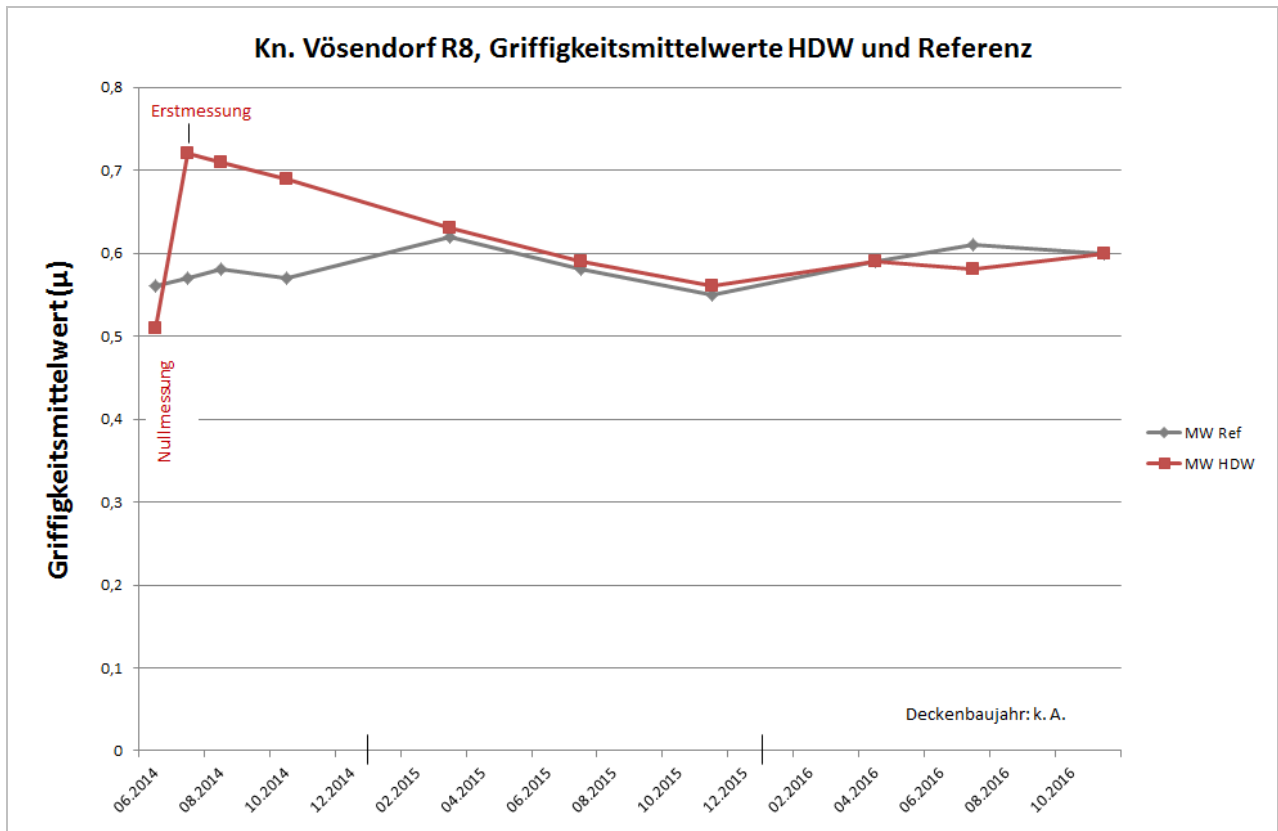


Abbildung 4-7 A02; Kn. Vösendorf; R8; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

4.3 Untersuchungsstrecke Nr. 3 und Nr. 4: A06, Knoten Bruckneudorf, Rampe 1 und 4

Bei den untersuchten Rampen des Knoten Bruckneudorf handelt es sich bei Rampe 1 um die Relation A4, Rfb. Nickelsdorf / A6, Rfb. Kittsee und bei Rampe 4 um die Relation A6 / A4, Rfb. Wien, siehe auch Abbildung 4-8.

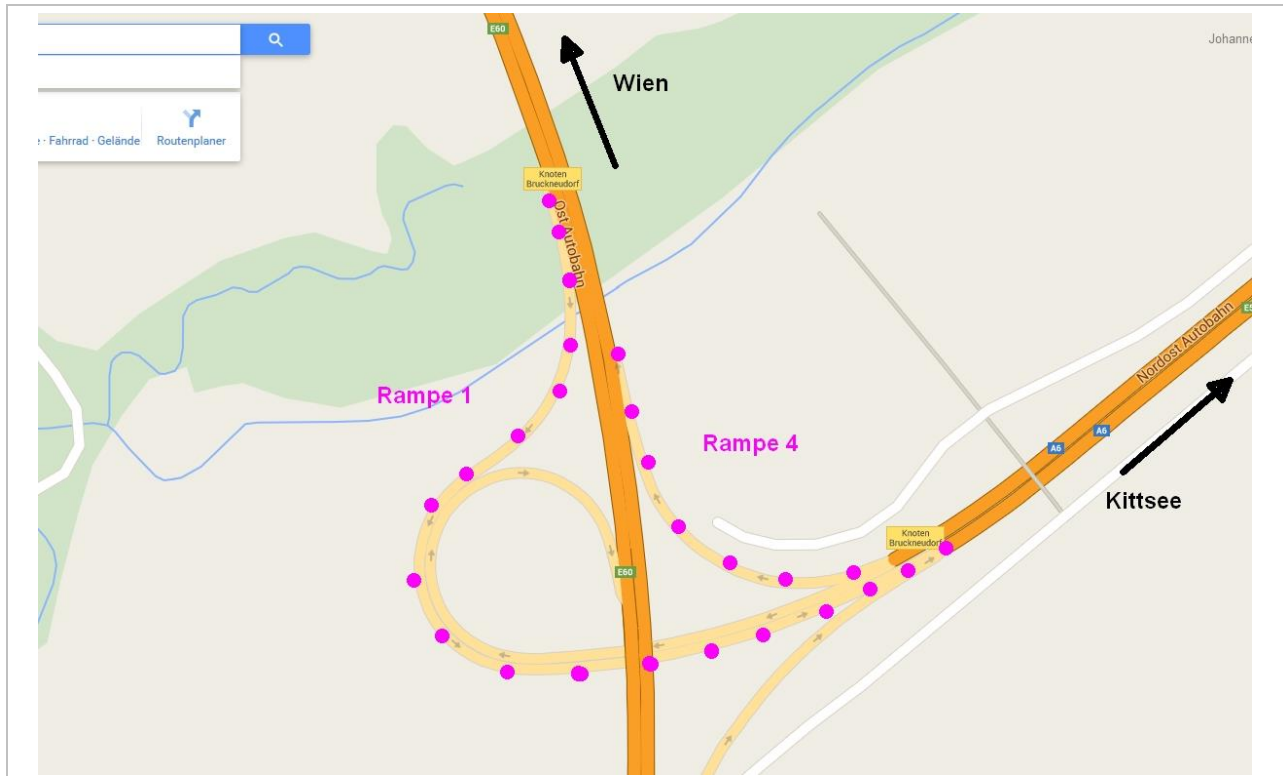


Abbildung 4-8 Lageskizze: A04/A06; Knoten Bruckneudorf, Rampe 1 und 4 - [Quelle: Google Maps]

Streckenauswahl: Im Juli 2013 wurde der Forschungsnehmer über gvM im Bereich des Knotens Bruckneudorf informiert. Aufgrund von Mindergriffigkeiten im Rahmen der Gewährleistungsprüfung 08/2012 (Prüfberichtsnummer GP2012-17b) wurde seitens der ARGE Alpine/Strabag als Sanierungskonzept das Schlagsternverfahren (Trimix-Verfahren) vorgeschlagen. Im November desselben Jahres wurde die Baumaßnahme zur Erhöhung der Griffigkeit umgesetzt. Das Griffigkeitsmonitoring startete im September 2013 (10 Monate nach der gvM) auf den Rampen 1 und 4 der Anschlussstelle Bruckneudorf.

Fahrbahnbelag: SMA 11PmB 45/80-65, S2, G1; Herstellungsdatum 2007; ARGE A6

Verkehrsstärke: k.A. (Stand zum Deckenbaujahr 2007)

Maßnahme: Schlagsternverfahren (SSV, Trimix-Verfahren)

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen auf den beiden Rampenanlagen sind Abbildung 4-9 und Abbildung 4-11 zu entnehmen. In Abbildung 4-10 und Abbildung 4-12 sind die Mittelwerte der einzelnen Messergebnisse aufgeführt. Auf Rampe 1 wurde nach der Frühjahrsmessung 2016 ein neuer Fahrbahnbelag aufgebracht und somit das Griffigkeitsmonitoring auf dieser Rampe beendet.

-3	2012-08-28_Messung (GP2012-17b)	0	2012-11-19_Trimix-Verfahren
10	2013-09-04_1. Monitoring	12	2013-11-15_2. Monitoring
16	2014-03-18_3. Monitoring	17	2014-04-24_4. Monitoring
18	2014-05-23_5. Monitoring	21	2014-08-18_6. Monitoring
23	2014-10-30_7. Monitoring	28	2015-03-27_8. Monitoring
32	2015-07-09_9. Monitoring	36	2015-11-03_10. Monitoring
41	2016-04-04_11. Monitoring	43	2016-06-13_12. Monitoring (nur Rampe 4)
47	2016-10-17_13. Monitoring (nur Rampe 4)		
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM.		

Griffigkeitsentwicklung:

Die Entwicklung der Griffigkeit zeigt auf den beiden untersuchten Rampen ein ähnliches Bild. Zum Zeitpunkt der Gewährleistungsprüfung (Nullmessung) lag das Griffigkeitsniveau unterhalb des Grenzwertes vor Ablauf der Gewährleistung ($\mu \leq 0,55$ abzgl. Toleranz). Durch das angewendete Schlagsternverfahren wurde das Griffigkeitsniveau deutlich erhöht und befand sich zum Zeitpunkt der Erstmessung am oberen Bereich der Griffigkeitsklasse 2. Die Vermutung, dass sich das Griffigkeitsniveau nach 28 Monaten Liegedauer auf den Untersuchungsabschnitten auf etwa $\mu = 0,6$ konsolidiert hat, bestätigten die Folgemessungen nicht. Das Griffigkeitsniveau sank stetig nahezu auf das Nullniveau ab.

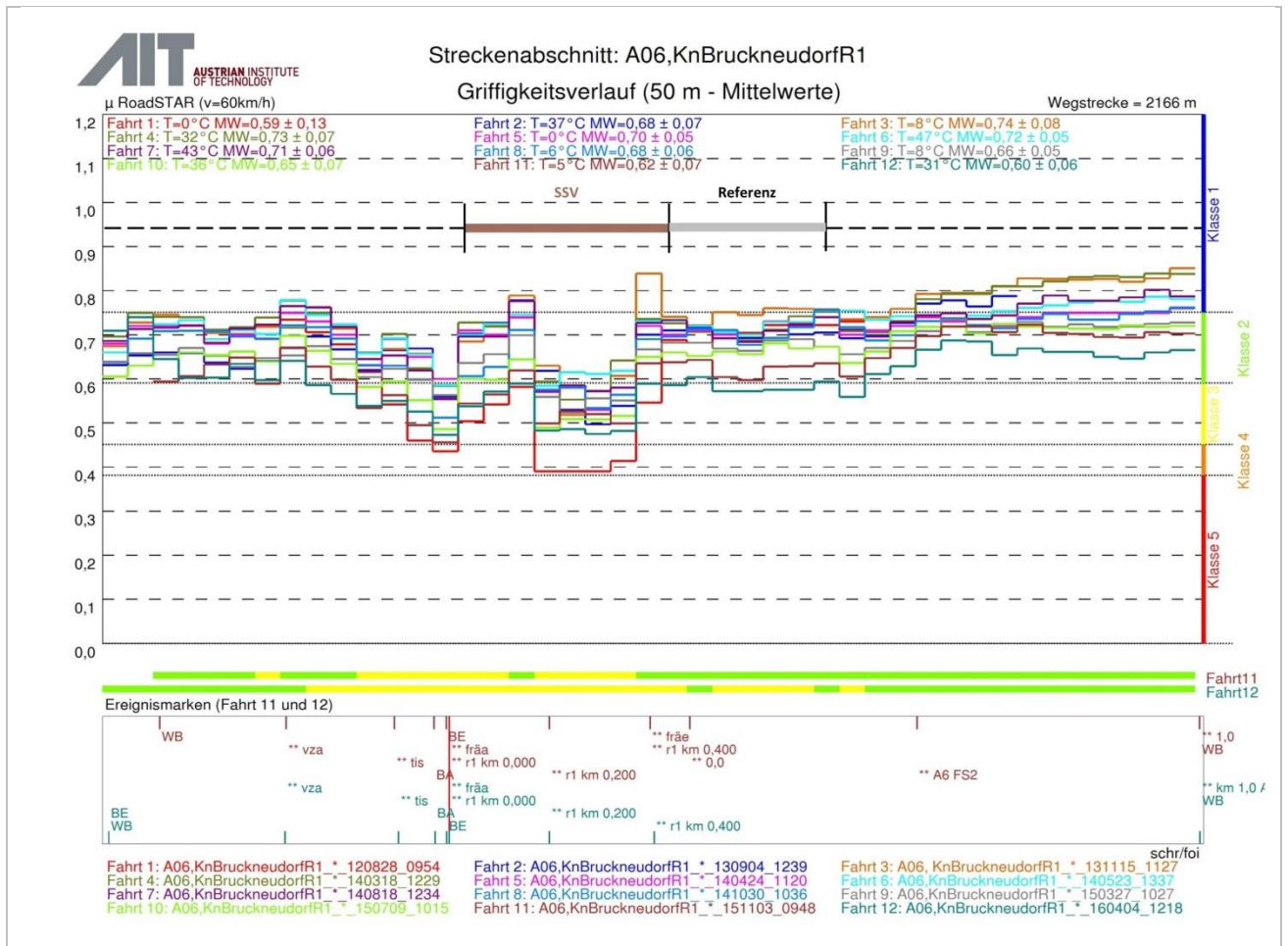


Abbildung 4-9 A06; Kn. Bruckneudorf Rampe 1; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

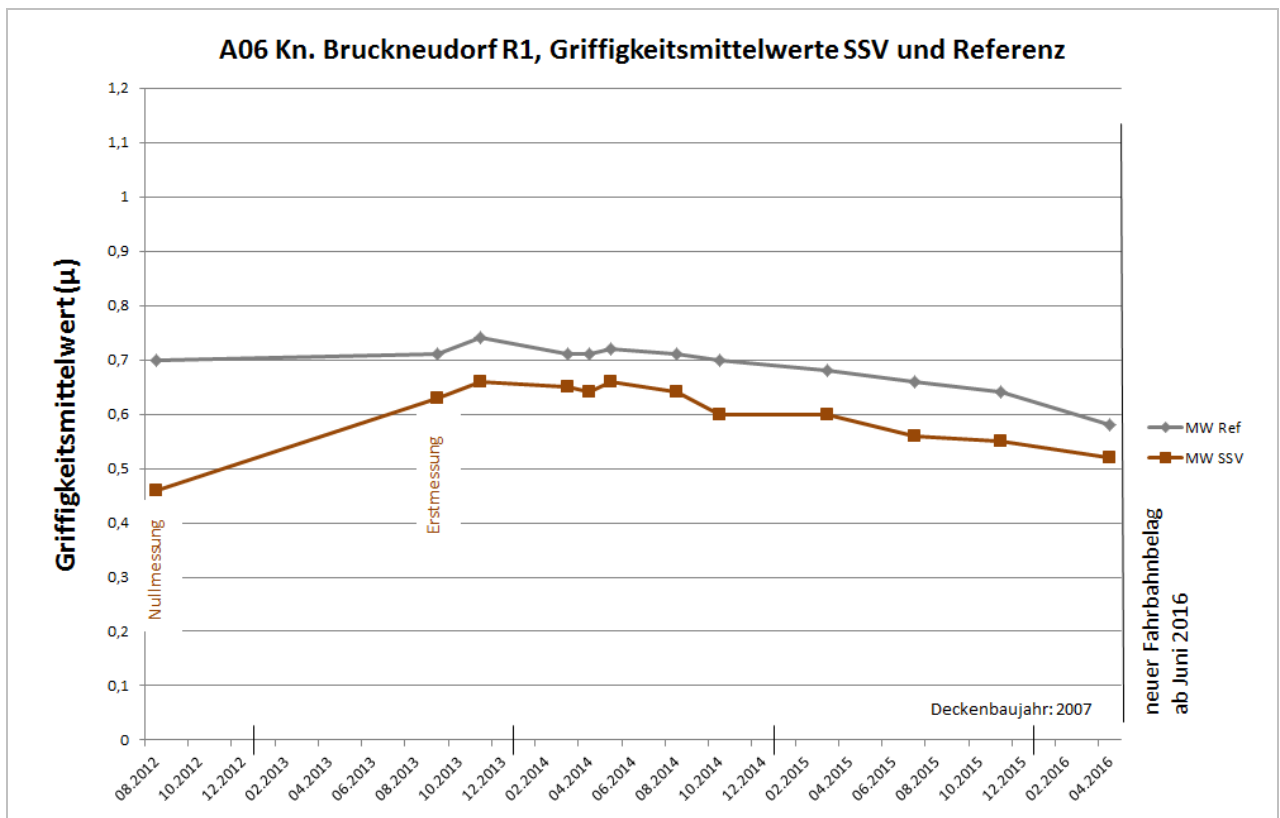


Abbildung 4-10 A06; Kn. Bruckneudorf Rampe 1; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

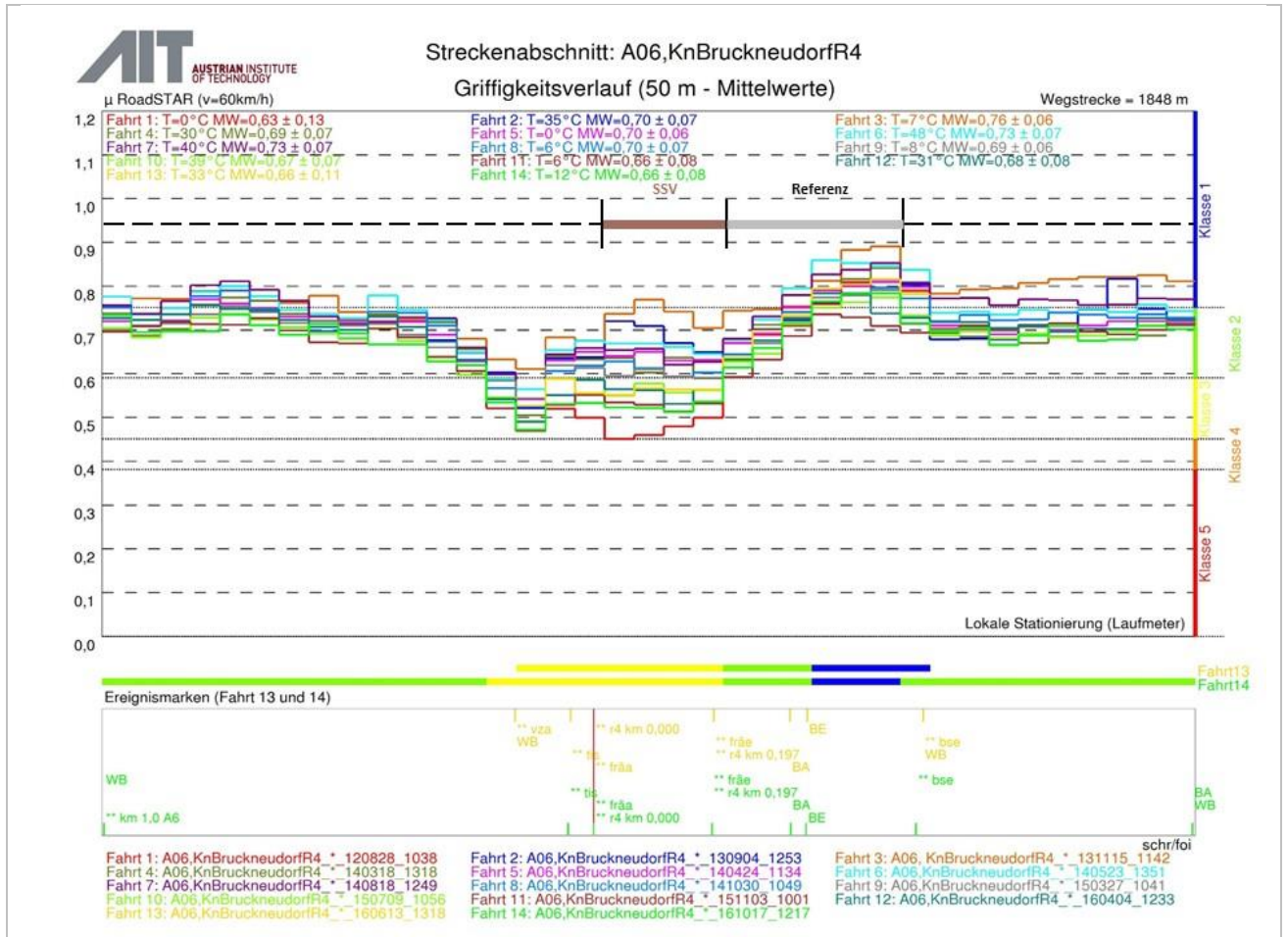


Abbildung 4-11 A06; Kn. Bruckneudorf Rampe 4; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

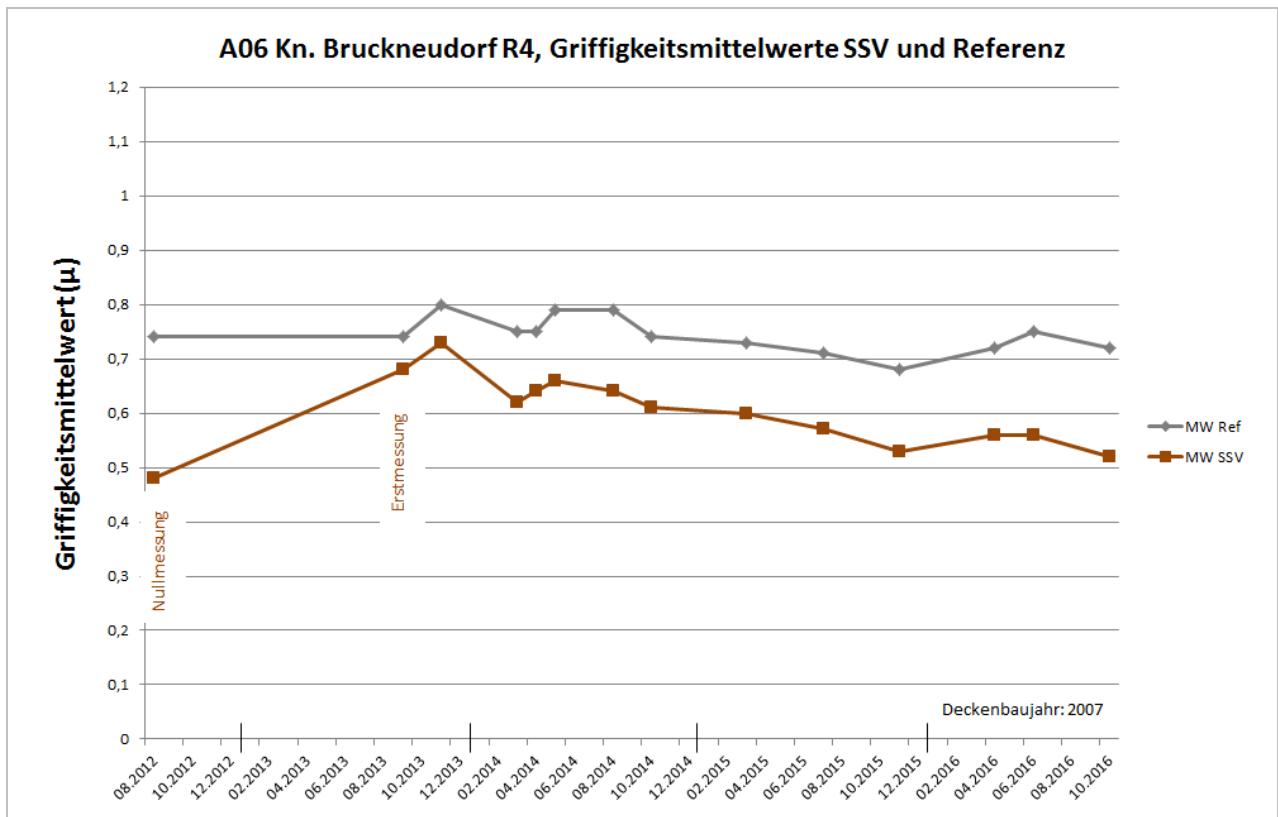


Abbildung 4-12 A06; Kn. Bruckneudorf Rampe 4; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

4.4 Untersuchungsstrecke Nr. 5: A04L1, km11,500-km10,500

Streckenauswahl: Mit Vorlauf von wenigen Tagen wurde der Forschungsnehmer von der Durchführung des Verfahrens Grinding auf dem Abschnitt A04, km11,500 - km10,500 in Kenntnis gesetzt. Im Vordergrund der Baumaßnahme stand die Beseitigung von Längsunebenheiten (Bump Cutting), die aufgrund der Wölbung der Betonplattenenden nach oben (Schüsselung) in Längsrichtung entstanden waren und den Fahrkomfort beeinträchtigten. Da das Verfahren Grinding auch als gvM eingesetzt wird, wurde die Strecke ins Untersuchungsprogramm aufgenommen.

Fahrbahnbelag: Beton

Verkehrsstärke: JDTV/SV = 46.000/4.200 (Stand zum Deckenbaujahr 1994)

Maßnahme: Verfahren Grinding (Bump Cutter)

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen auf den Untersuchungsabschnitt A04, km11,500-km10,500 sind Abbildung 4-13 zu entnehmen. In Abbildung 4-14 sind die Mittelwerte der einzelnen Messergebnisse aufgeführt.

-0	2014-04-07_Nullmessung	0	2014-04-10_Grinding
+0	2014-04-11_1. Monitoring	+1	2014-05-08_2. Monitoring
+2	2014-06-02_3. Monitoring	+4	2014-08-18_4. Monitoring
+6	2014-10-30_5. Monitoring	+11	2015-03-27_6. Monitoring
+15	2015-07-09_7. Monitoring	+19	2015-11-03_8. Monitoring
+24	2016-04-04_9. Monitoring	+30	2016-10-17_10. Monitoring
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM.		

Griffigkeitsentwicklung:

Wie aus der Nullmessung ersichtlich, gab es keinen Handlungsbedarf für eine Baumaßnahme aus Sicht der Fahrbahngriffigkeit. Maßgebende Zustandsgröße für die Anwendung von Bump Cutting (Grinding) war die Längsunebenheit und deren Verbesserung. Interessant ist, dass das Griffigkeitsniveau sich nach der Maßnahme nur leicht gegenüber dem Ausgangszustand erhöhte und nach 2 Monaten sich das Niveau vor der Baumaßnahme wieder einstellte. Dieses Griffigkeitsniveau blieb über den gesamten Monitoringzeitraum von 30 Monaten unverändert gleich hoch.

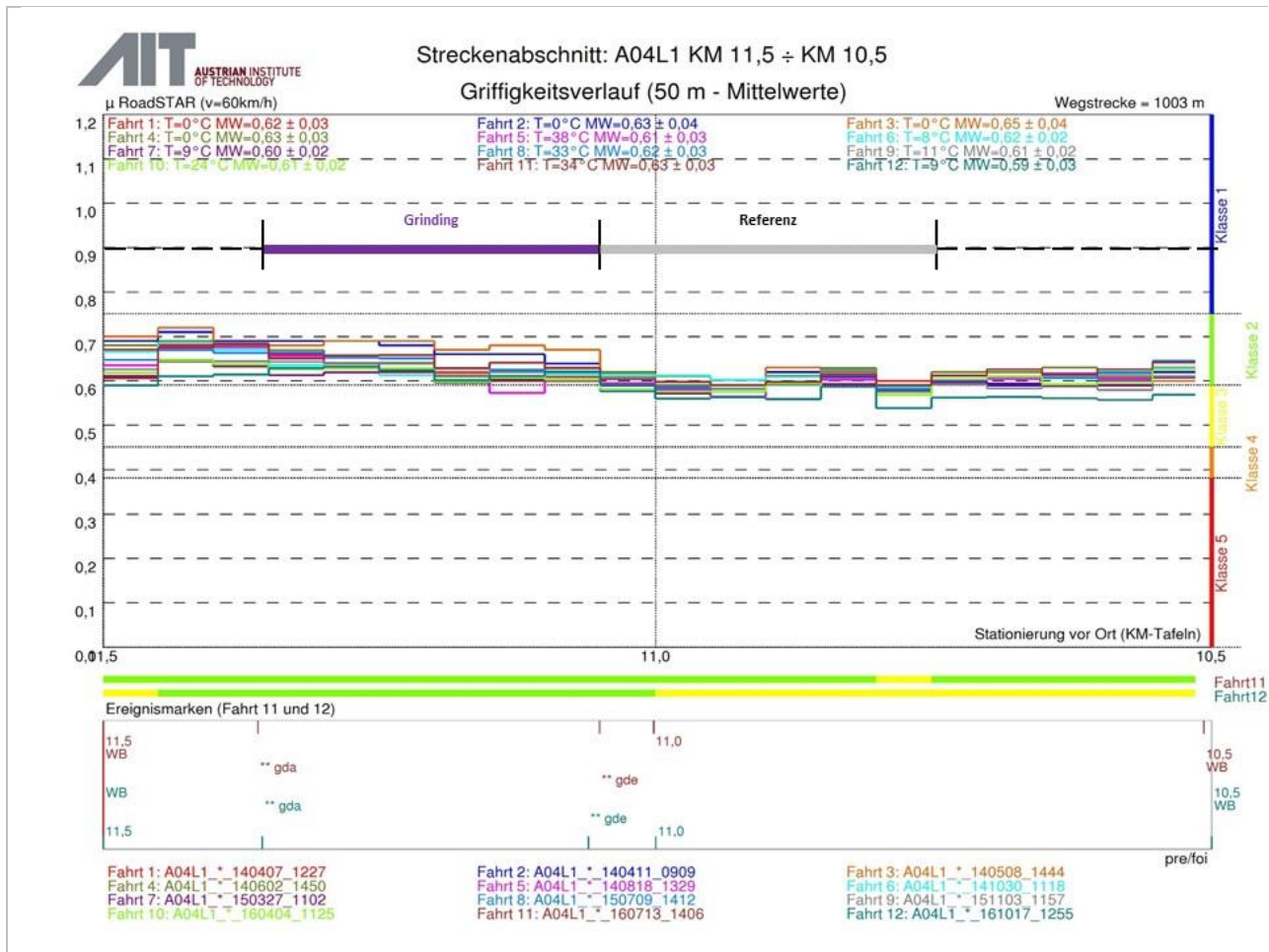


Abbildung 4-13 A04, km11,500-km10,500; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

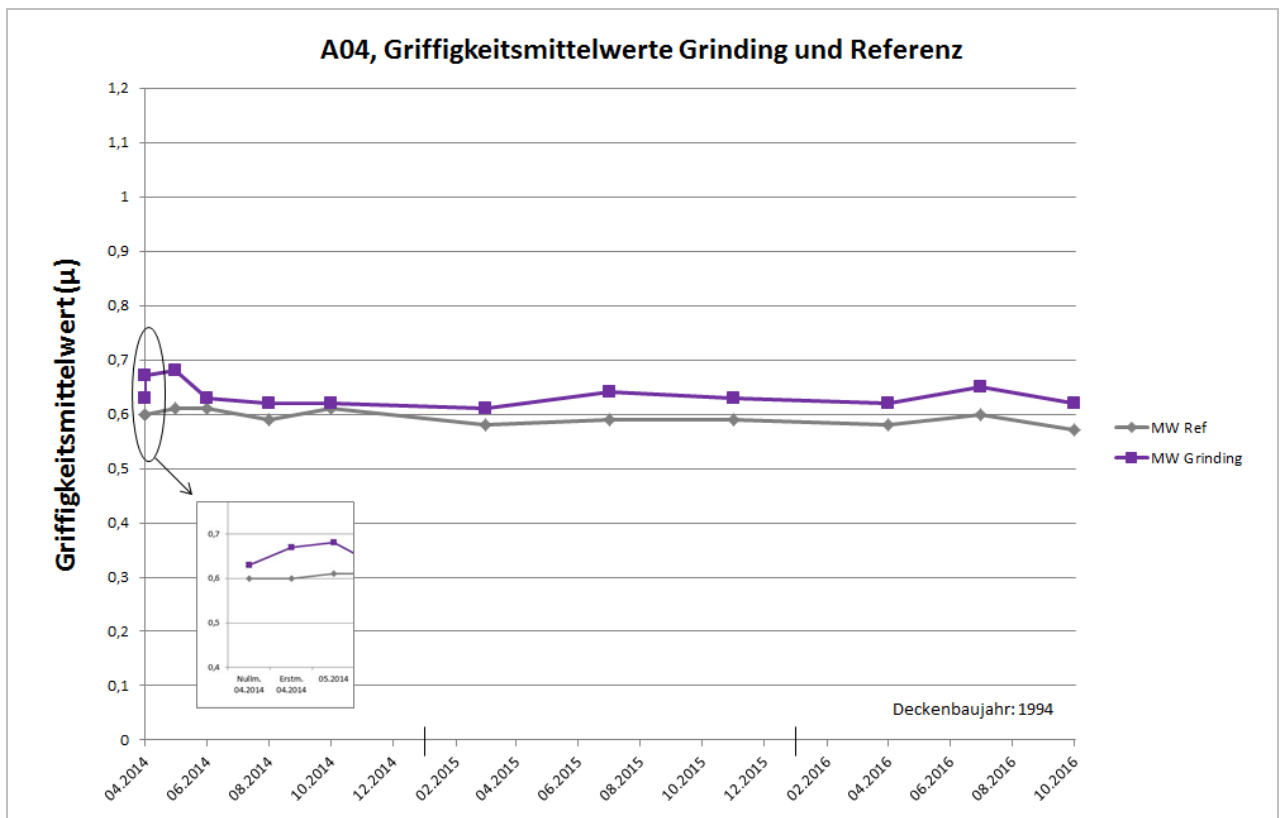


Abbildung 4-14 A04, km11,500-km10,500; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

4.5 Untersuchungsstrecke Nr. 6: A02; Ehrentalerbergtunnel, Rfb. Italien

Streckenauswahl: Der Tunnelabschnitt Ehrentalerberg in Richtung Italien wurde, im Zuge der Suche nach Untersuchungsstrecken, aus Kärnten gemeldet (05.07.2013). Auf diesem Autobahnabschnitt wurden bereits im Jahr 2008 unterschiedliche gvM (HDW-Strahlung, Kugelstrahlung KGS und Feinfräsung FF) angewendet und es lag bereits eine Zeitreihe an Griffigkeitsmessungen vor. Diese Zeitreihe der Griffigkeit sollte im Projekt MAGMA weitergeführt und die Griffigkeitsentwicklung über einen langjährigen Zeitraum (etwa 5 Jahre) beobachtet und analysiert werden.

Fahrbahnbelag: Asphalt (keine genaueren Angaben möglich)

Verkehrsstärke: JDTV/SV = 11.000/1.300 (Stand zum Deckenbaujahr 1995)

Maßnahme: Im Jahr 2008 wurde auf jeweils einem Abschnitt HDW-Strahlung (Fa. Sodian, Okt. 2008) und Feinfräsung (Fa. KAB, Okt. 2008) durchgeführt. Auf zwei weiteren Abschnitten wurde Ende 2009 das Verfahren Kugelstrahlung (Fa. Possehl, Nov./Dez. 2009) angewendet.

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen auf den Untersuchungsabschnitt A2, Ehrentalerbergtunnel sind Abbildung 4-15 zu entnehmen. In Abbildung 4-16 sind die Mittelwerte der einzelnen Messergebnisse aufgeführt. Im Herbst 2013 wurde mit der Sanierung der Nordumfahrung Klagenfurt auf der Richtungsfahrbahn Wien begonnen und in der gegenständlichen Tunnelröhre Richtung Italien ein Gegenverkehrsbereich eingerichtet. Im Sommer des Jahres 2014 wurde die Tunnelröhre für den Verkehr gänzlich gesperrt und generalsaniert. Dabei wurde auch der Fahrbahnbelag erneuert, demnach endet das Griffigkeitsmonitoring zu diesem Zeitpunkt.



Foto 4-1: Ehrentalerberg Tunnel – Gegenverkehrsbereich mit Fahrbahnteiler

-2/-	2008-09-15_Messung (512-02)	0/-	2008-11-03_Messung (512-02) Erstmessung nach HDW und FF
+11/-	2009-10-07_Messung (512-20)	+18/0	2010-05-17_Messung (2010-25) Erstmessung nach KGS
+30/+12	2011-05-25_Messung (657-05)	+47/+29	2012-10-23_Messung (873-16)
+56/+38	2013-07-22_Monitoring	+65/+47	2014-04-23_Monitoring
+66/+48	2014-05-20_Monitoring	+67/+49	2014-06-11_Monitoring
+69/+51	2014-08-19_Monitoring	---	Generalsanierung der Tunnelröhre
# / #	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM (HDW&FF / KGS).		

Griffigkeitsentwicklung – Hochdruckwasserstrahlung, Feinfräsung und 2 x Kugelstrahlen

Das Ausgangsniveau der Griffigkeit vor Anwendung der griffigkeitsverbessernden Verfahren lag auf allen Abschnitten im Bereich der Klasse 4 bis 5 also "schlecht bis sehr schlecht" gemäß RVS 13.01.15. (siehe auch Tabelle 5-2). Die Erstmessungen der Griffigkeit nach Umsetzung der Maßnahmen zeigten eine deutliche Griffigkeitssteigerung um etwa $\Delta\mu=0,3$ (absolut auf etwa $\mu=0,7$) für jedes Verfahren. Betrachtet man die Griffigkeitsentwicklung der Hochdruckwasserstrahlung (HDW) und Feinfräsung (FF) weiter, so zeigt sich eine Griffigkeitsabnahme von etwa $\Delta\mu=0,1$ im ersten Jahr. Die weitere Griffigkeitsentwicklung erscheint ungewöhnlich, da es nach 5 Monaten Liegedauer wieder zu einem deutlichen Anstieg der Griffigkeit kommt. Über einen Zeitraum von 2,5 Jahren sinkt die Griffigkeit wieder um etwa $\mu=0,1$ ab, gefolgt von einem leichten Anstieg. Auch die Griffigkeitsentwicklung der beiden Testabschnitte HDW folgen diesem Verhalten. Nach Einrichtung des Gegenverkehrsberreiches mit Fahrbahnteiler zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Griffigkeitsprozess. Während auf den Abschnitten HDW, FF und KGS1 die Griffigkeit nahezu auf das Ausgangsniveau nach Baumaßnahme ansteigt und sich nachfolgend sehr sprunghaft verhält, sinkt die Griffigkeit im Bereich KGS2 stetig ab.

Die scheinbar sprunghafte Griffigkeitsverhalten auf den Abschnitten HDW, FF und KGS1 ist vermutlich auf die kurzen Behandlungsabschnitte zurückzuführen. Die Abschnittslängen betragen nur 100 m bis 200 m demnach gelangen nur sehr wenig 50-Mittelwerte zur Berechnung des Abschnittsmittels. Gerade Tunnelabschnitte neigen, aufgrund geringer Spurvariation des Verkehrs im Vergleich zum Freiland, zum verstärkten Polieren der Radspuren. Auch das Griffigkeitsmessrad unterliegt einer gewissen Spurvariation demnach ergeben sich auf solchen Strecken sehr inhomogene Messergebnisse. Dieser Effekt wurde augenscheinlich durch die Einrichtung des Gegenverkehrsberreiches und die dadurch verbundene optische Querschnittseinengung verstärkt. Aufgrund der Abschnittslänge von 950 m verhält sich der Testabschnitt KGS2 deutlich stabiler und plausibler in seiner Griffigkeitsentwicklung.

Aufgrund der angeführten Ergebnisse der Ursachenanalyse für den sprunghaften Verlauf der mittleren Griffigkeit auf den Abschnitten HDW, FF und KGS1, müssen diese aus der weiteren Untersuchung genommen werden.

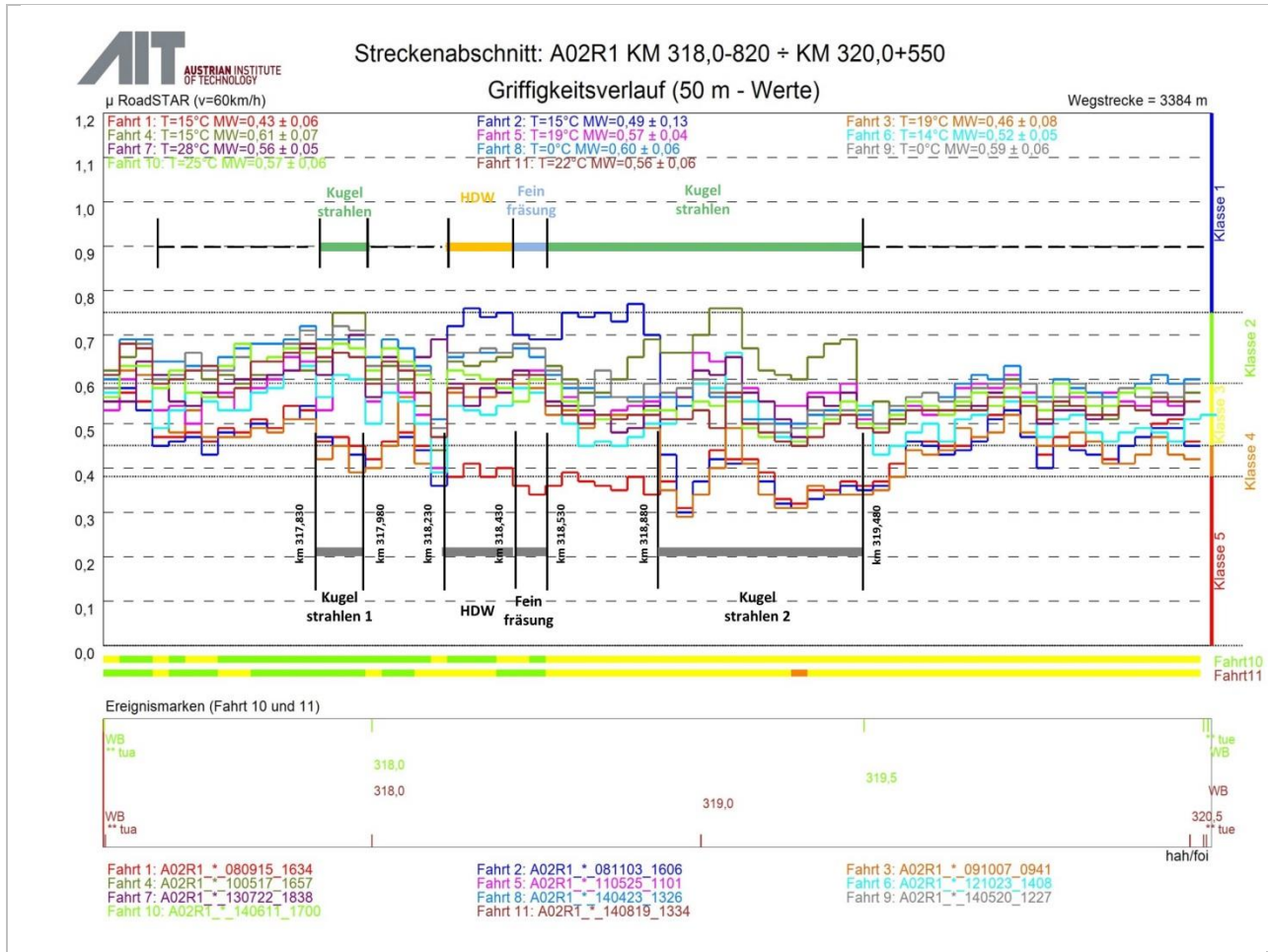


Abbildung 4-15 A02; Ehrentalerbergtunnel; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

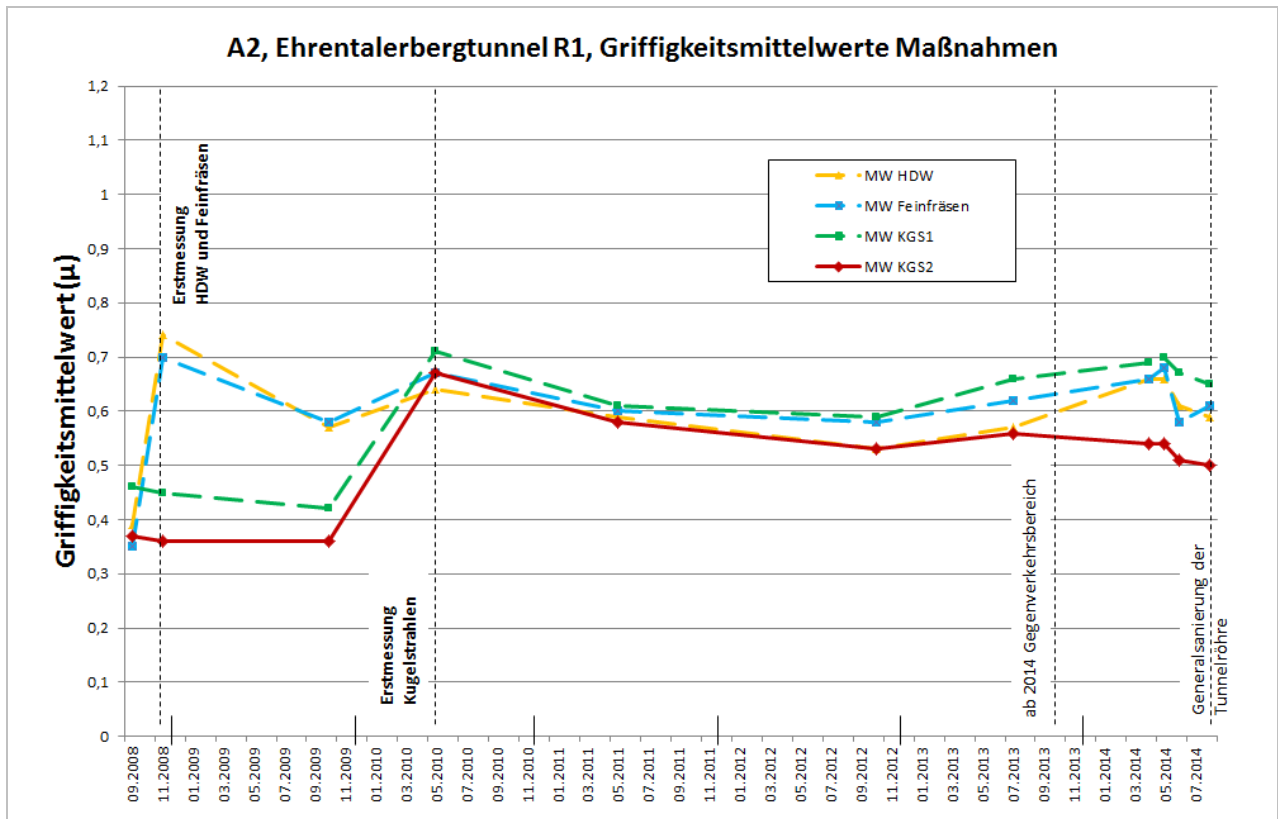


Abbildung 4-16 A02; Ehrentalerbergtunnel; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

4.6 Untersuchungsstrecke Nr. 7: A22, Kaisermühlentunnel

Streckenauswahl: Im Anschluss an die Sanierung des Tunnelportals Kaisermühlen, war seitens der ASFINAG eine Fahrbahnaufräumung am 1. und 2. Fahrstreifen, Richtung Stockerau, mit Kugelstrahlverfahren auf nahezu der gesamten Tunnellänge geplant. Um die Nachhaltigkeit einer weiteren Maßnahme im direkten Vergleich beurteilen zu können, konnte für das Projekt MAGMA ein 300 m langer Abschnitt festgelegt werden, der mit HDW-Strahlung behandelt wurde. Die Finanzierung erfolgte aus dem Forschungsbudget.

Fahrbahnbelag: Asphalt

Verkehrsstärke: JDTV/SV = 53.200/2.300 (Stand zum Deckenbaujahr 2009/2010)

Maßnahme: Kugelstrahlung (KGS) und Hochdruckwasser-Strahlung (HDW) ausgeführt durch die Fa. Junger.

Die Streckenlänge für die HDW-Behandlung wurde u.a. durch das Fassungsvermögen des LKWs, der das Schmutzwasser aufnahm, begrenzt, da eine Entsorgung des Brauchwassers zu Nachtstunden nicht möglich war. Ab Tunnelportal Ost blieb ein 500 m langer Fahrstreifenabschnitt unbehandelt, der als Referenzstrecke diente.

Anmerkung: Andere abtragende Verfahren zur Griffigkeitserhöhung, die mehrere Arbeitsschritte erfordern, wie beispielsweise Fräsen, konnten aufgrund der Situierung des Autobahnabschnittes im Ballungsraum und dem damit verbundenen Verkehrsaufkommen nicht angedacht werden.

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen auf dem Untersuchungsabschnitt A22, Kaisermühlentunnel, Rfb. Stockerau sind Abbildung 4-17 zu entnehmen. In Abbildung 4-18 sind die Mittelwerte der einzelnen Messabschnitte angeführt. Ab Herbst 2015 begannen die Bauarbeiten zur Sanierung der Tunnelröhren mit geänderter Verkehrsführung und das Monitoring konnte nicht weitergeführt werden.

-0	2014-03-14_Nullmessung	0	2014-03-18_KGS und HDW
+0	2014-03-21_1. Monitoring (AP 2014-17)	+1	2014-04-24_2. Monitoring
+1,5	2014-05-07_3. Monitoring	+2	2014-05-23_4. Monitoring
+5	2014-08-18_5. Monitoring	+7	2014-10-30_6. Monitoring
+12	2015-03-27_7. Monitoring	+16	2015-07-10_8. Monitoring
	2015-09-01_Beginn der Bauarbeiten zur Tunnelsanierung		
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM.		

Griffigkeitsentwicklung

Vergleicht man die beiden gvM, so zeigt sich nach Durchführung der Aufräumungen bei KGS eine Griffigkeitssteigerung um etwa $\Delta\mu = 0,3$, die doppelt so hoch ist wie jene bei HDW ausgehend vom etwa gleichen Griffigkeitsniveau. Ein Jahr nach der Maßnahme zeigt sich bei KGS etwa eine Halbierung des ursprünglichen Griffigkeitsanstieges mit einer stetigen Griffigkeitsabnahme. In den anschließenden 4 Monaten bis zum baustellenbedingten Ende des Monitoring bleibt das Griffigkeitsniveau konstant.

Bei HDW konnte das erhöhte Griffigkeitsniveau über einen Zeitraum von etwa 5 Monaten gehalten werden und ist nach einem Jahr Liegedauer nahezu am Ausgangsniveau vor der Maßnahme angelangt. Die unbehandelte Referenzstrecke zeigt keine außergewöhnlichen Griffigkeitsveränderungen.

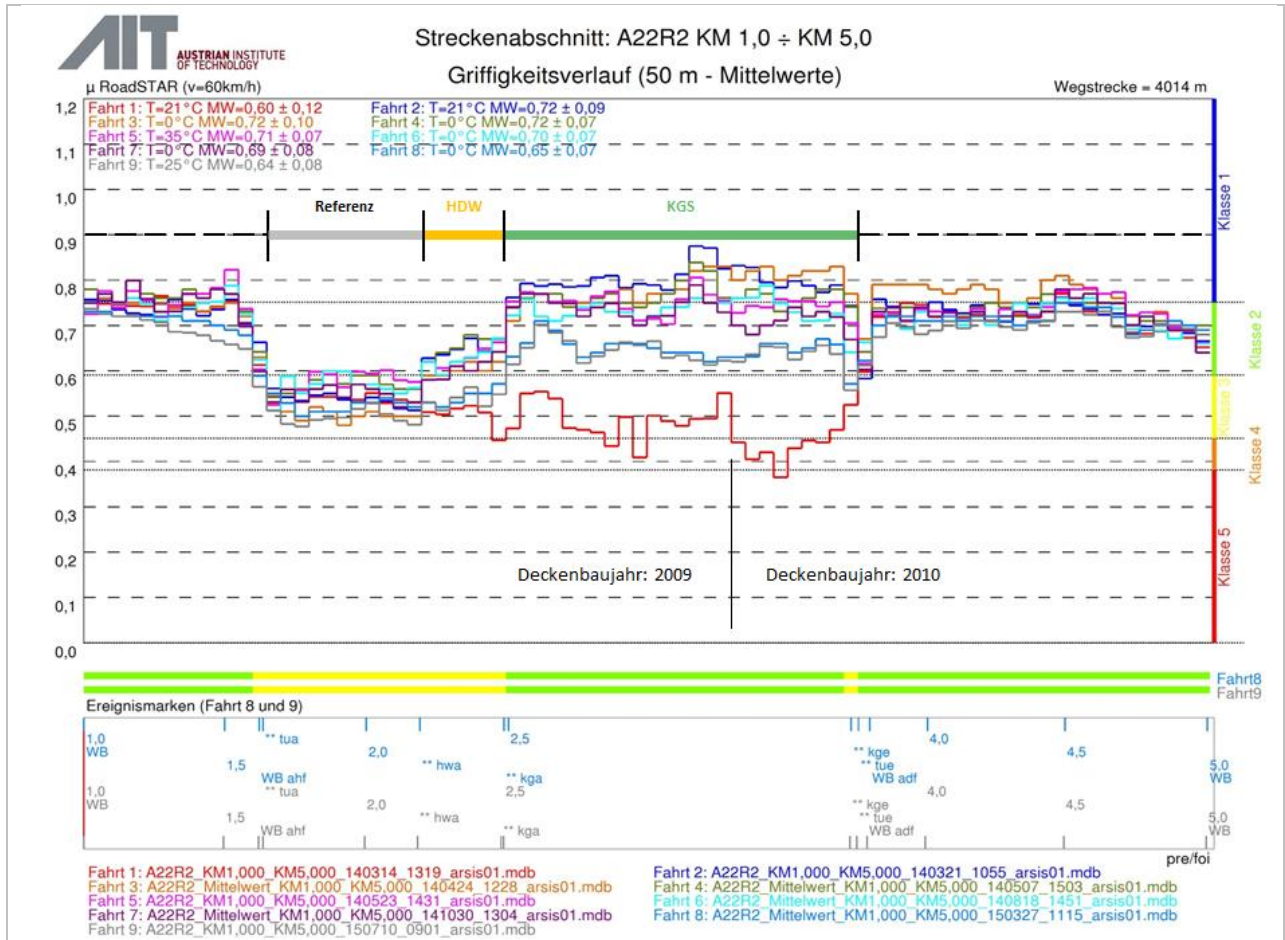


Abbildung 4-17 A22; Kaisermühlentunnel; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

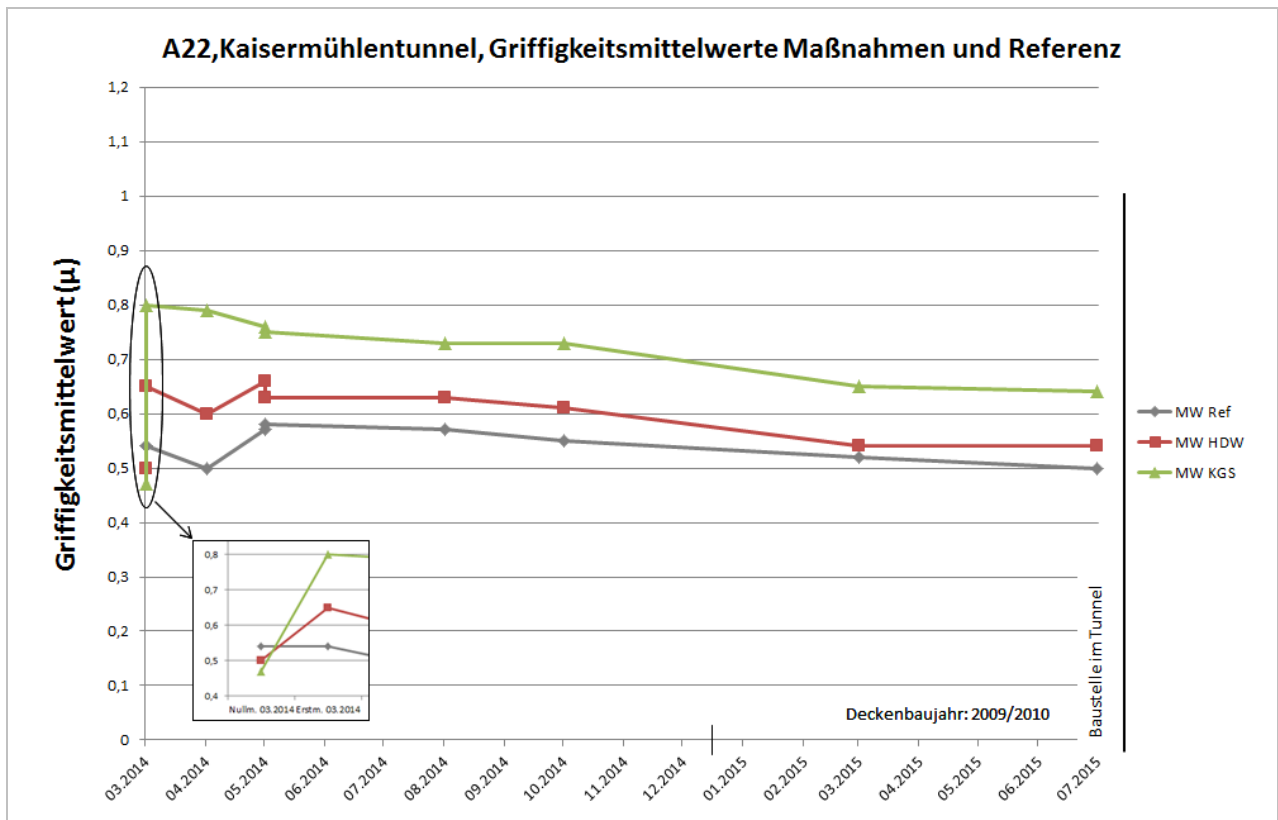


Abbildung 4-18 A22; Kaisermühlentunnel; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

4.7 Untersuchungsstrecke Nr. 8: A09, R1, Plabutschtunnel, Rfb. Spielfeld

Streckenauswahl: Die Analyse der Griffigkeitsdaten aus der Messkampagne 2009 wiesen schlechte Griffigkeitswerte im Bereich der beiden Röhren des Plabutschtunnel auf. Die Sondierungsmessungen zu Beginn des Projektes MAGMA bestätigten das niedrige Griffigkeitsniveau, daher wurde angestrebt die beiden Tunnelröhren des Plabutschtunnel als Untersuchungsstrecken ins Projekt aufzunehmen.

Fahrbahnbelag: Beton (kein Waschbeton)

Verkehrsstärke: JDTV/SV = 17.000/2.300 (Stand zum Deckenbaujahr 2003)

Maßnahme: Nach einem Planungszeitraum von 1,5 Jahren wurden im November 2014 unterschiedliche gvM im Plabutschtunnel seitens der ASFINAG umgesetzt. Ein kleiner Teil der Baukosten wurde dabei aus dem Forschungsbudget finanziert. Am 1. FS der Weströhre wurden die Verfahren Grinding (GR; Fa. Possehl, 22. und 23.10.2014), Rotationsfräsung (RF; Fa. Junger, 12. und 13.11.2014) und Kugelstrahlen (KGS; Fa. Junger, 11.11.2014) auf unmittelbar hintereinander liegenden Testabschnitten durchgeführt. Im Anschluss an die Untersuchungsabschnitte blieb die Fahrbahn unbehandelt, auf welcher eine 1 km lange Referenzstrecke mitgemessen wurde.

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen auf dem Untersuchungsabschnitt A9, Plabutschtunnel, Rfb. Spielfeld sind Abbildung 4-19 zu entnehmen. In Abbildung 4-20 sind die Mittelwerte der einzelnen Messergebnisse aufgeführt.

-0	2014-10-20_Nullmessung	0	2014-10-27_1. Monitoring (AP 2014-47) => Erstmessung Grinding
0	2014-11-19_2. Monitoring => Erstmessung RF und KGS	+1	2014-12-05_3. Monitoring
+4	2015-03-26_4. Monitoring	+8	2015-07-14_5. Monitoring
+12	2015-11-04_6. Monitoring	+17	2016-04-06_7. Monitoring
+20	2016-07-12_8. Monitoring	+24	2016-11-07_9. Monitoring
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM.		

Griffigkeitsentwicklung

Bei den beiden Verfahren RF und KGS zeigt sich eine deutliche Griffigkeitssteigerung um $\Delta\mu = 0,30$ gegenüber dem Nullniveau der Klasse 4 bis 5. Die Griffigkeitsverbesserung durch Grinding ist ebenfalls deutlich, jedoch nicht so ausgeprägt wie bei den beiden anderen Verfahren bei etwa gleichem Ausgangsniveau (siehe auch nachfolgende Anmerkung). Nach 2 Jahren Liegedauer beträgt die Griffigkeitsabnahme bei allen 3 angewendeten Verfahren etwa $\Delta\mu = 0,1$. Über den gesamten Monitoringzeitraum liegt das absolute Griffigkeitsniveau des Grinding-Abschnittes etwa $\Delta\mu=0,05$ unter jenem der Fräsung und etwa $\Delta\mu=0,1$ unter dem Niveau der Kugelstrahlung.

Das Griffigkeitsniveau auf der unbehandelten Referenzstrecke blieb nahezu unverändert, somit können ungewollte Einflüsse auf das Griffigkeitsmonitoring ausgeschlossen werden.

Anmerkung: Bei der Durchführung der beiden gvM GR und RF haben sich bei der Baudurchführung Schwierigkeiten durch das Vorhandensein von Spurrinnen ergeben. Die Abtragung des Fahrbahnbelages konnte großteils nicht bis auf die Spurrinnensohle erfolgen, da Einlaufschächte im Bereich des Fahrstreifens diesen Vorgang behinderten. Ein tiefergehendes Grinding hätte auch zu einer höheren Stufe zum 2. Fahrstreifen geführt, die verkehrssicherheitstechnisch problematisch gewesen wäre. In der Folge blieb die Fahrbahn in den Fahrspuren und im Bereich von Einlaufschächten unbehandelt (siehe Fotos). Mit dem Verfahren Kugelstrahlen konnte der Fahrstreifen, trotz der Spurrinnen, vollflächig behandelt werden.



Foto 4-2: Unbehandelte Bereiche nach dem Grinding aufgrund vorhandener Einbauten und Spurrinnen.

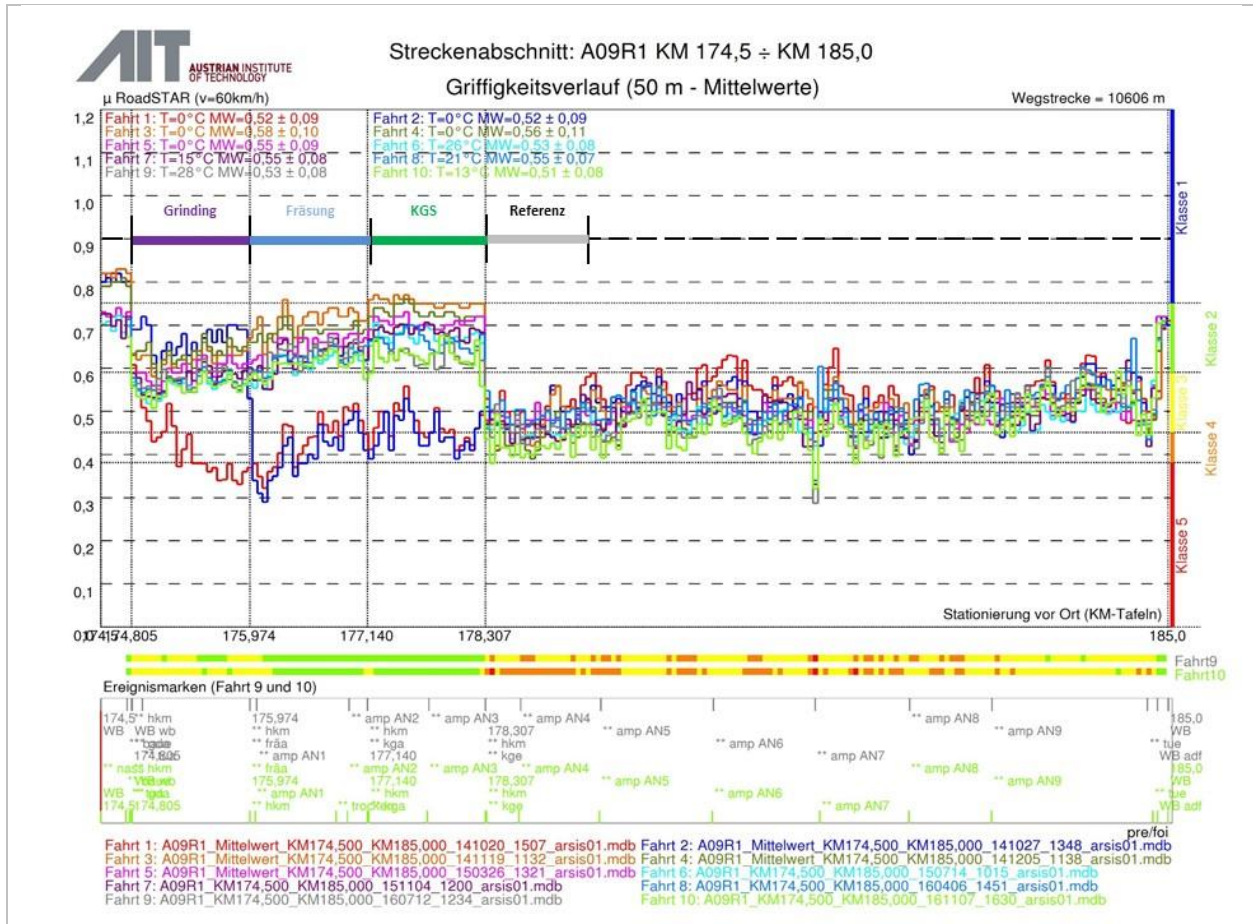


Abbildung 4-19 A09; Plabutschunnel, R1; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

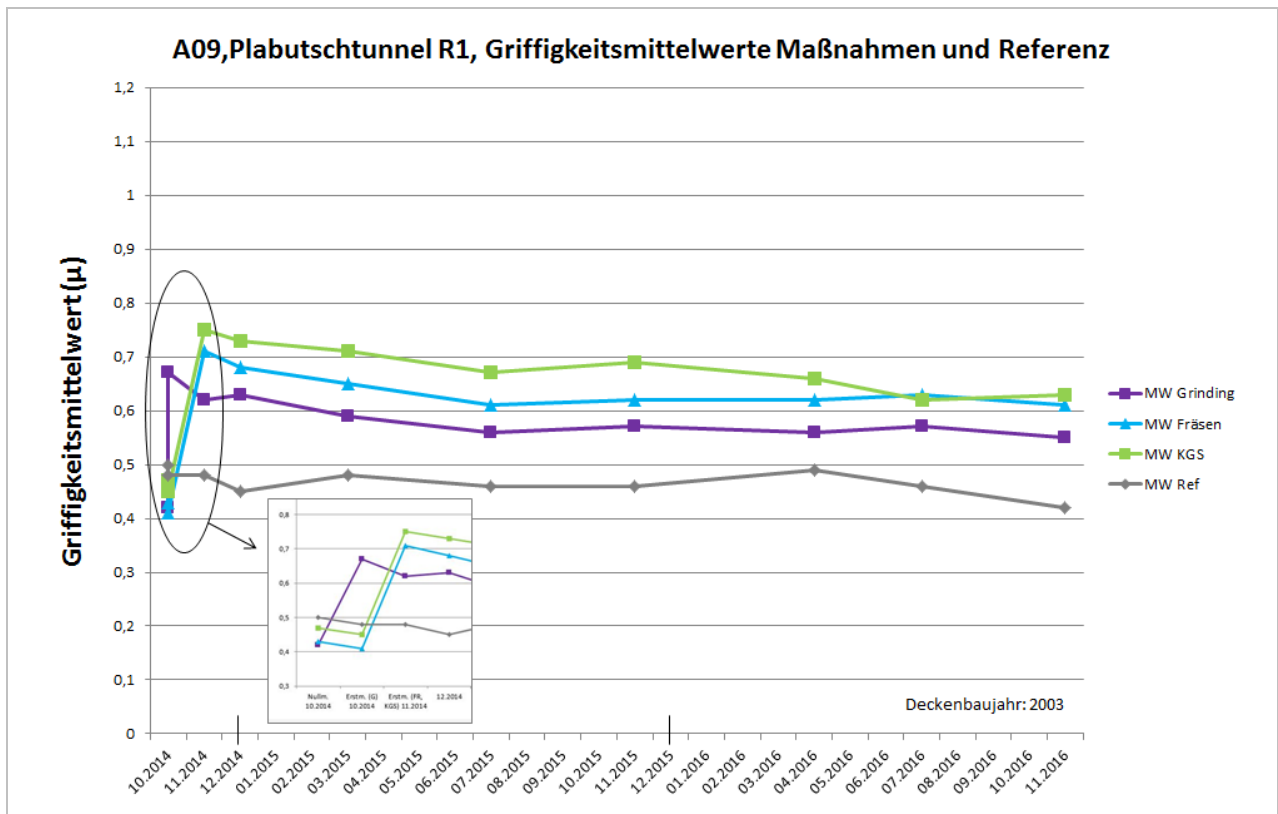


Abbildung 4-20 A09; Plabutschunnel, R1; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

4.8 Untersuchungsstrecke Nr. 9: A09, L1, Plabutschtunnel, Rfb. Voralpenkreuz

Streckenauswahl: Siehe Untersuchungsstrecke Nr. 8: A09, R1, Plabutschtunnel, Rfb. Spielfeld.

Fahrbahnbelag: Beton (kein Waschbeton)

Verkehrsstärke: JDTV/SV = 17.000/2.300 (Stand zum Deckenbaujahr 2003)

Maßnahme: Die gvM am 1. FS der Oströhre des Plabutschunnels wurden im Zuge der Maßnahmen in der Weströhre hergestellt. Das Verfahren Grinding (GR; Fa. Possehl, 23.10.2014) und Kugelstrahlen (KGS; Fa. Junger, 11.11.2014) wurde auf 2 aufeinander folgenden Abschnitten am Beginn des Tunnels hergestellt. Im Anschluss an die behandelten Abschnitte wurde eine 1 km lange Referenzstrecke festgelegt und die Griffigkeitsentwicklung beobachtet.

Griffigkeitsmonitoring:

Die Ergebnisse der RoadSTAR-Messungen auf dem Untersuchungsabschnitt A9, Plabutschtunnel, Rfb. Voralpenkreuz sind Abbildung 4-21 zu entnehmen. In Abbildung 4-22 sind die Mittelwerte der einzelnen Messergebnisse aufgeführt.

-0	2014-10-20_Nullmessung	0	2014-10-27_1. Monitoring (AP 2014-47) => Erstmessung Grinding
0	2014-11-19_2. Monitoring => Erstmessung KGS	+1	2014-12-05_3. Monitoring
+4	2015-03-26_4. Monitoring	+8	2015-07-14_5. Monitoring
+12	2015-11-04_6. Monitoring	+17	2016-04-06_7. Monitoring
##	Anzahl der Monate bezogen auf den Zeitpunkt der gvM.		

Griffigkeitsentwicklung

Die Entwicklung der Griffigkeit auf den Testabschnitten der Oströhre zeigt nahezu das gleiche Bild wie in der Tunnelröhre der entgegengesetzten Richtungsfahrbahn. Das Griffigkeitsniveau durch Grinding wird auf etwa $\mu=0,6$ angehoben und nimmt innerhalb von 2 Jahren auf etwa $\mu=0,55$ ab. Dies entspricht dem Griffigkeitsniveau der Grindingstrecke in der Weströhre am Ende des Monitoringzeitraumes. Das Verfahren KGS hebt die Griffigkeit auf den Wert $\mu=0,75$, wie in der Weströhre. Auch das Griffigkeitsniveau der letzten Griffigkeitsmessung entspricht der Gegenrichtung und liegt etwa bei $\mu=0,6$.

Auf der unbehandelten Referenzstrecke zeigt sich durchwegs ein weitestgehend konstantes Griffigkeitsniveau. Durch die vorhandenen Spurrinnen, ergaben sich auch hier, bei der Durchführung des Grindings, die zuvor anhand der Weströhre genannten Schwierigkeiten. Auch hier verblieben optisch erkennbare unbehandelte Stellen in den Fahrspuren.

Anmerkung: Im Abschnitt KGS zeigt sich sowohl im Ausgangszustand als auch nach der Oberflächenbehandlung der Fahrbahn eine abrupte Griffigkeitsabnahme in Abbildung 4-21 auf einer Länge von etwa 100 m. In diesem Bereich befindet sich eine permanente Nassstelle auf der Fahrbahn durch Wassereintritt in den Tunnel. Interessant ist zu beobachten, dass der Griffigkeitsverlauf nach der Kugelstrahlung parallel zum Ausgangsniveau verläuft. Demnach wird die Griffigkeit offensichtlich relativ zum Ausgangsniveau angehoben.

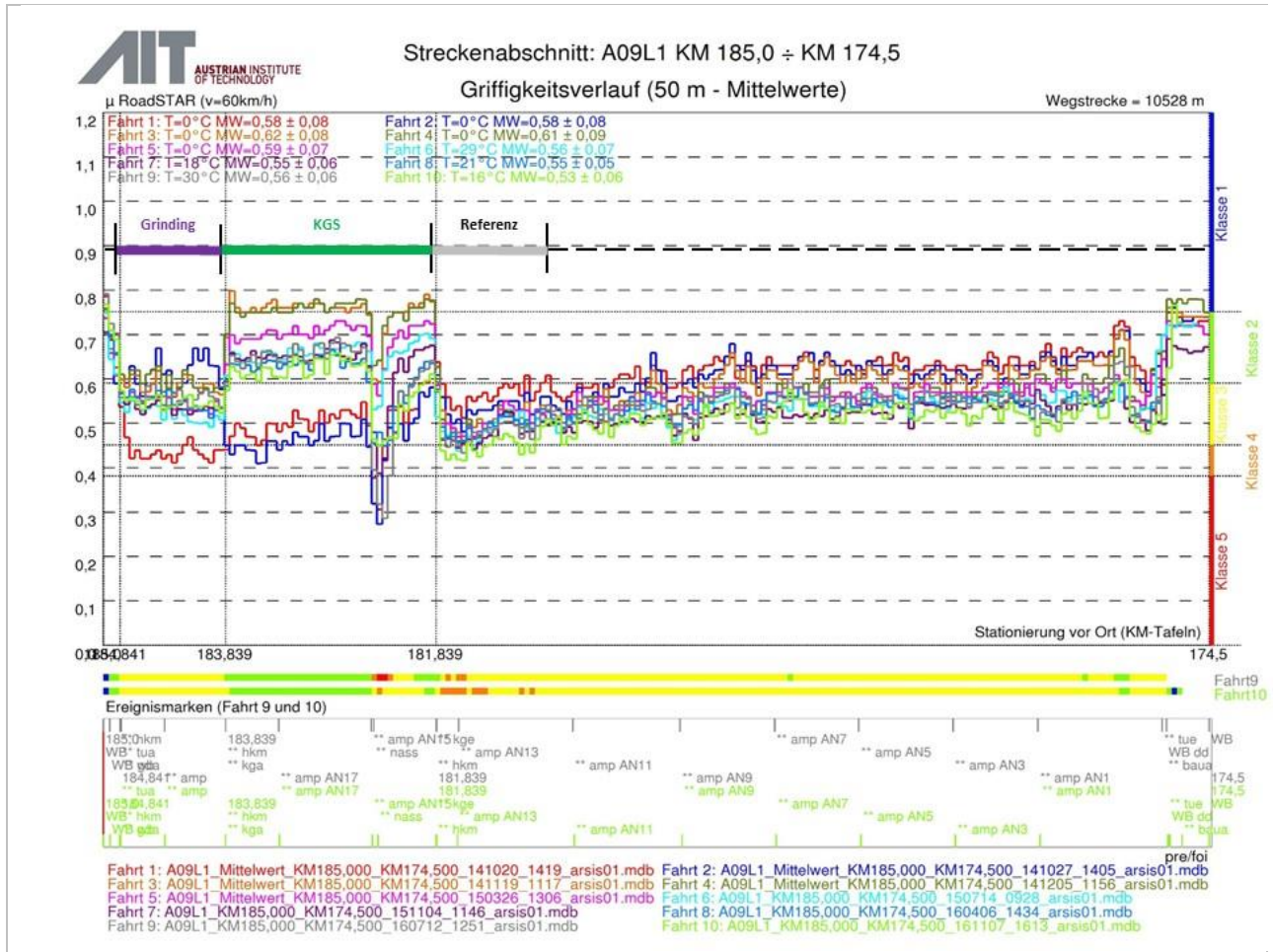


Abbildung 4-21 A09; Plabutschtunnel, L1; Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen

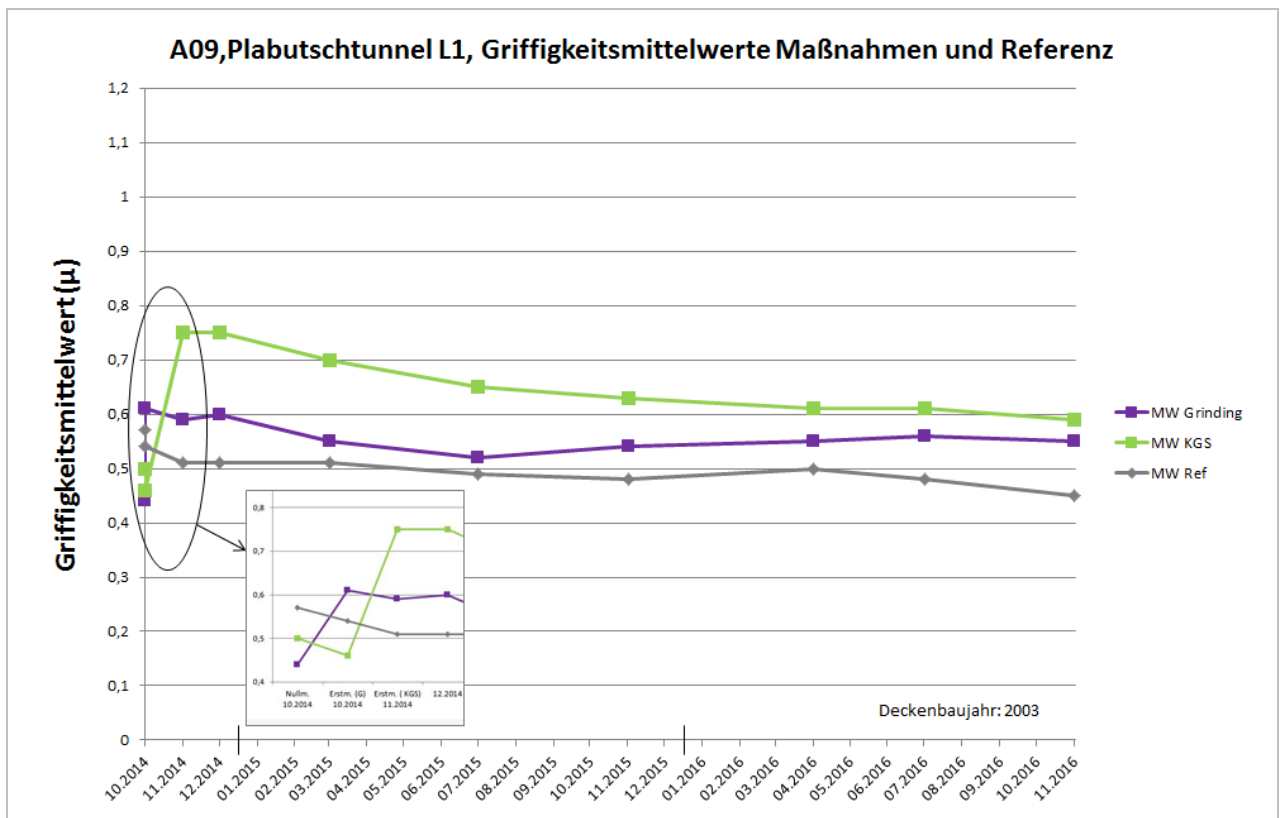


Abbildung 4-22 A09; Plabutschtunnel, L1; Griffigkeitsmittelwerte der Messstrecken

5 EVALUIERUNG, KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE, ANMERKUNGEN

5.1 Evaluierung der Griffigkeitsentwicklung - Kurzzeitverhalten

Über die kurzzeitige Entwicklung der Griffigkeit nach einer Maßnahme lagen bis zum Start des gegenständlichen Monitorings, keine Erfahrungswerte vor. Aus diesem Grund wurden die Monitoringzeitpunkte im ersten Jahr nach der Maßnahme enger gestaffelt. Angestrebt wurden Beobachtungszeitpunkte für die Griffigkeit nach der Erstmessung von 1-2, 6-8, und 11-12 Monate nach Durchführung der Griffigkeitsverbesserung.

In Tabelle 5-1 sind die aggregierten Griffigkeiten der Untersuchungsstrecken im ersten Messjahr angeführt. Weiters wurde die zeitliche Griffigkeitsänderung abhängig von der Griffigkeitserhöhung normiert berechnet und in den Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 getrennt nach Rampenanlagen und Hauptfahrbahn (Tunnelabschnitt) grafisch dargestellt. Eine Unterscheidung zwischen Rampen und Hauptfahrbahn erscheint sinnvoll, da die Polierwirkung des Verkehrs auf Rampenfahrbahnen aufgrund des engen Kurvenradius auch in Radialrichtung wirkt. Im Gegensatz dazu wirkt diese Komponente bei der Überrollung auf der Geraden oder in gestreckten Kurven der Hauptfahrbahn kaum.

Tabelle 5-1: Griffigkeitsentwicklung im 1. Jahr nach der gvM

Streckennr.	Abschnitt	FS	Tunnel / Freiland	Decke	Art der gvM	Griffigkeitsniveau vor gvM / nach gvM		Griffigkeits-erhöhung durch gvM		Anteil der vorhandenen Griffigkeitserhöhung durch gvM					
						μ	μ	Δμ	[%]	nach 1-2 Mo		nach 6-8 Mo		nach 1 Jahr	
										μ	[%]	μ	[%]	μ	[%]
GvM auf Rampenanlagen															
1a	A02, KN Vösendorf, Rampe 6	FS1	Fr	Asphalt	HDW	0,51	0,74	0,23	100%	0,62	48%	0,57	26%	0,57	26%
1b	A02, KN Vösendorf, Rampe 6	FS1	Fr	Asphalt	KGS	0,44	0,71	0,27	100%	-	-	0,65	78%	0,57	48%
2	A02, KN Vösendorf, Rampe 8	FS1	Fr	Asphalt	HDW	0,51	0,72	0,21	100%	0,70	90%	0,63	57%	0,59	38%
3	A06, KN Bruckneudorf, Rampe 1	FS1	Fr	Asphalt	SSV	0,46	0,63	0,17	100%	0,66	118%	0,64	106%	0,60	82%
4	A06, KN Bruckneudorf, Rampe 4	FS1	Fr	Asphalt	SSV	0,48	0,68	0,20	100%	0,73	125%	0,64	80%	0,61	65%
GvM im Ehrentalerbergtunnel															
6	A2, Ehrentalerberg Tunnel RFB Italien	FS1	Tu	Asphalt	KGS2	0,36	0,67	0,31	100%	-	-	-	-	0,58	71%
GvM im Tunnel Kaisermühlen															
7a	A22, Kaisermühlentunnel, RFB Stockerau	FS2	Tu	Asphalt	HDW	0,50	0,65	0,15	100%	0,60	67%	0,61	73%	0,54	27%
7b	A22, Kaisermühlentunnel, RFB Stockerau	FS2	Tu	Asphalt	KGS	0,47	0,80	0,33	100%	0,79	97%	0,73	79%	0,65	55%
GvM im Plabutschunnel R1															
8a	A09, Plabutschunnel, RFB Spielfeld	FS1	Tu	Beton	Grinding	0,42	0,67	0,25	100%	0,63	84%	0,56	56%	0,57	60%
8b	A09, Plabutschunnel, RFB Spielfeld	FS1	Tu	Beton	Fräsen	0,43	0,71	0,28	100%	0,68	89%	0,61	64%	0,62	68%
8c	A09, Plabutschunnel, RFB Spielfeld	FS1	Tu	Beton	KGS	0,45	0,75	0,30	100%	0,73	93%	0,67	73%	0,69	80%
GvM im Plabutschunnel L1															
9a	A09, Plabutschunnel, RFB Voralpenkreuz	FS1	Tu	Beton	Grinding	0,44	0,61	0,17	100%	0,59	88%	0,52	47%	0,54	59%
9b	A09, Plabutschunnel, RFB Voralpenkreuz	FS1	Tu	Beton	KGS	0,46	0,75	0,29	100%	0,75	100%	0,65	66%	0,63	59%

Betrachtet man die Griffigkeitsverläufe auf Rampen in Abbildung 5-1 im Detail, so zeigt sich Folgendes. Auf den beiden Rampen mit Schlagsternverfahren kommt es in den ersten 2 Monaten nach der Maßnahme zu einer weiteren Griffigkeitssteigerung. Danach nimmt die Griffigkeit nahezu linear ab. Am Ende des 1. Jahres nach der Maßnahme sind auf Strecke 3 noch 82 % der anfänglichen Griffigkeitserhöhung erhalten und auf Strecke 4 noch etwa 60 %

Interessant sind die beiden Griffigkeitsverläufe auf Strecke 1, anhand dessen sich die beiden Verfahren HDW und KGS direkt vergleichen lassen. Die zu Beginn angewendete HDW verliert in den ersten Monaten mehr als 50% ihrer griffigkeitserhöhenden Wirkung und besitzt nach einem halben Jahr nur noch 25% davon. Das auf dem gleichen Streckenabschnitt nachgeschaltete KGS zeigt dazu eine unterschiedliche Wirkung. Die Griffigkeitsabnahme erfolgt über das 1. Monitoringjahr nahezu linear und besitzt am Ende noch etwa 50% der aufrauhenden Wirkung.

Die HDW auf Strecke 2 zeigt nicht den rapiden Abfall der HDW auf Strecke 1a, nach 12 Monaten ist die Griffigkeitserhöhung auf 38% gesunken.

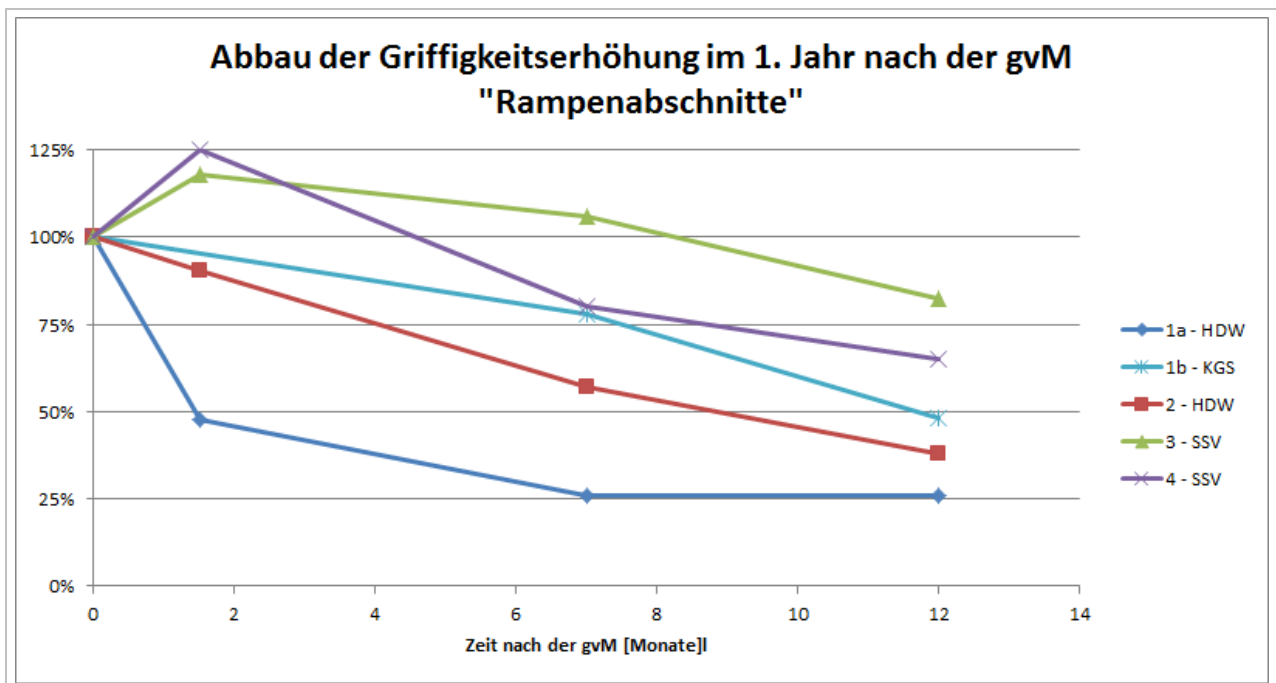


Abbildung 5-1 Griffigkeitsentwicklung im 1. Jahr nach der gvM – "Rampenabschnitte"

Die Griffigkeitsverläufe der auf den Hauptfahrbahnen angewendeten gvM in Abbildung 5-2, mit Ausnahme der Strecke 7a-HDW, zeigen ein sehr homogenes Bild. Am Ende des ersten Beobachtungsjahres liegt die griffigkeitserhöhende Wirkung noch immer zwischen 50% und 75% der Erstmessung.

Die Strecke 7 betrifft den Kaisermühlentunnel, in dem die beiden Verfahren HDW und KGS auf hintereinanderliegenden Streckenabschnitten eines Fahrstreifens durchgeführt wurden. Von gleichem Fahrbahnbelag und Verkehrsbelastung kann bei der weiteren Betrachtung ausgegangen werden. Die Griffigkeit im Abschnitt 7a-HDW nimmt anfänglich rasch um mehr als 25% ab und besitzt am Ende des 1. Jahres nur noch 27% der Griffigkeitsverbesserung. Im Vergleich dazu sind im Abschnitt 7b mit KGS-Verfahren noch 71% der Aufrauhung vorhanden.

Die Abschnitte 8 und 9 liegen im Bereich der Tunnelröhren des Plabutschunnels. Auch hier kann auf den jeweiligen Unterabschnitten vom gleichen Fahrbahnbelag, sowie von der gleichen Verkehrsbelastung ausgegangen werden. Das Kurzzeitverhalten der Griffigkeit nach den Maßnahmen zeigt hier jedoch keine markanten Unterschiede.

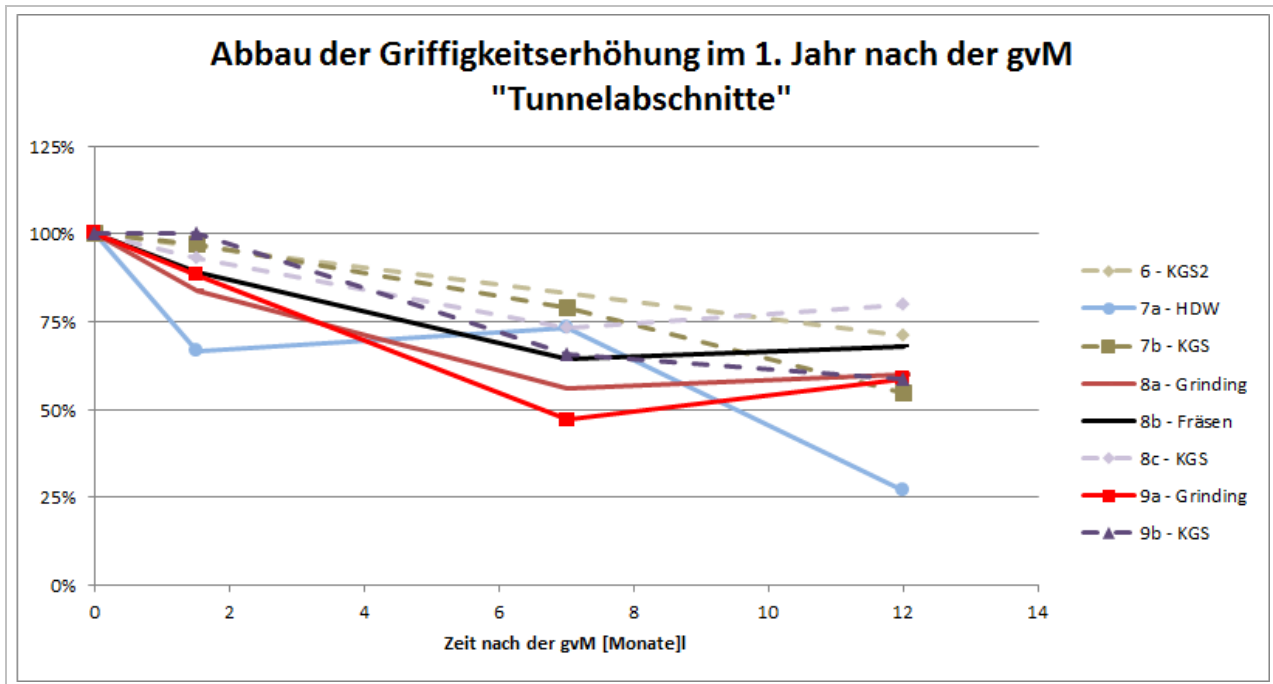


Abbildung 5-2 Griffigkeitsentwicklung im 1. Jahr nach der gvM – "Tunnelabschnitte"

Die Betrachtung der Griffigkeitsentwicklung im ersten Jahr nach Herstellung der gvM hat gezeigt, dass die HDW deutlich an ihrer aufrauhenden Wirkung verliert. Auf den untersuchten Rampenanlage als auch in Tunnelabschnitten ist nach einem Liegejahr nur noch nahezu 1/3 bis 1/4 der initialen Griffigkeitserhöhung vorhanden. Bei den übrigen Maßnahmen beträgt die Griffigkeitsabnahme bis zu 50 %.

5.2 Evaluierung der Griffigkeitsentwicklung - Langzeitverhalten

Für den Straßenerhalter ist die nachhaltige Wirkung einer gvM, je nach Anwendungsfall, über einen Zeitraum von mehreren Jahren entscheidend bei der Auswahl eines Verfahrens. Um hierzu die Nachhaltigkeit der angewendeten gvM, auch über den Monitoringzeitraum hinaus, evaluieren zu können, wurden die Messreihen der Griffigkeit extrapoliert.

Tabelle 5-3 zeigt das Ausgangsniveau der Griffigkeit sowie die Stichproben im Monitoringzeitraum als Eingangsgrößen für die lineare Regressionsrechnung. Als Ergebnisse der statistischen Berechnung enthält die Tabelle die Regressionskoeffizienten (R^2) sowie die Parameter der Regressionsgeraden (k , d).

Um die Auswirkungen der gemessenen Griffigkeitswerte auf den Straßennutzer bewerten zu können, werden im Pavement Management die Zustandsgrößen über eine Normierung in Zustandsklassen umgewandelt. Tabelle 5-2 zeigt diese 5-teilige Notenskala.

Tabelle 5-2: Einteilung der Zustandsklassen der Griffigkeit in Anlehnung an die RVS 13.01.15

Griffigkeit μ [-]				
	Zielwert		Warnwert	Schwellenwert
	0,75		0,45	0,38
Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
$\mu > 0,75$	$0,75 \geq \mu > 0,59$	$0,59 \geq \mu > 0,45$	$0,45 \geq \mu > 0,38$	$\mu \leq 0,38$

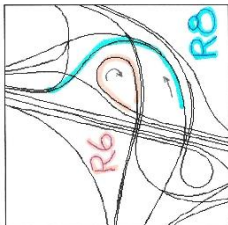
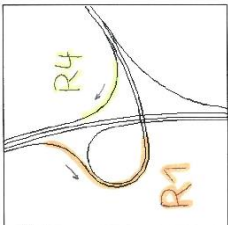
Die Grenze zwischen Klasse 3 und 4 wird als Warnwert bezeichnet. Dies bedeutet, dass die Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme in Erwägung gezogen werden sollte. Die Grenze zwischen Zustandsklasse entspricht dem Schwellenwert, der den Übergang in einen kritischen Zustand darstellt. Insbesondere bei sicherheitsrelevanten Oberflächeneigenschaften, wie der Griffigkeit, sind bei Erreichen dieses Wertes sofortige verkehrsbeschränkende Maßnahmen beispielsweise Geschwindigkeitsreduktion und kurzfristige Erhaltungsmaßnahmen vorzunehmen.

In Tabelle 5-4 sind die Ergebnis der Griffigkeitsprognose bei Annahme einer linearen Griffigkeitsabnahme zusammengefasst. Einerseits kann die Liegedauer bis zur Erreichung eines bestimmten Griffigkeitsniveaus (Nullmessung, Warnwert, Schwellenwert) abgelesen werden. Andererseits ist das prognostizierte Griffigkeitsniveau nach 3, 4 und 5 Jahren nach Herstellung der Griffigkeitserhöhung ausgewiesen. Die farbliche Kennzeichnung bewertet die Nachhaltigkeit der gvM auf dem Testabschnitt gemäß Warn- und Schwellenwert der Tabelle 5-2.

Anmerkung: Bei der Interpretation der extrapolierten Griffigkeitsentwicklung und der daraus abgeleiteten Lebensdauer oder Nachhaltigkeit einer Maßnahme, muss auch die Robustheit des Systems betrachtet werden. Diese wird ausgedrückt durch den "Anstieg der Regressionsgeraden" bzw. die "Griffigkeitsabnahme pro Jahr". Aufgrund schleifender Schnitte, führen geringe Neigungsänderungen der Regressionsgeraden bei kleinen Anstiegen zu großen Änderungen in der Lebensdauer einer Maßnahme. Diese Systeme sind weniger robust als jene mit größeren Anstiegen.

Tabelle 5-4: Evaluierung – Griffigkeitsprognose

	GVM auf Rampenanlagen				GVM im Ehrenalbertertunnel				GVM im Tunnel Kaiserwühlen				GVM im Plabutschunnel R1				GVM im Plabutschunnel L1											
	1a - HDW	1b - KGS	2 - HDW	3 - SSV	4 - SSV	6 - KGS2	7a - HDW	7b - KGS	8a - GR	8b - RF	8c - KGS	9a - GR	9b - KGS	1a - HDW	1b - KGS	2 - HDW	3 - SSV	4 - SSV	6 - KGS2	7a - HDW	7b - KGS	8a - GR	8b - RF	8c - KGS	9a - GR	9b - KGS		
	A02, KN Vösendorf, Rampe 6	A02, KN Vösendorf, Rampe 6	A02, KN Vösendorf, Rampe 8	A06, KN Bruckendorf, Rampe 1	A06, KN Bruckendorf, Rampe 4	A2, Ehrenalbertertunnel RFB Italien	A22, Kaiserwühlentunnel, RFB Stockerau	A09, Plabutschunnel, RFB Spiefeld	A09, Plabutschunnel, RFB Spiefeld	A09, Plabutschunnel, RFB Spiefeld	A09, Plabutschunnel, RFB Spiefeld	A09, Plabutschunnel, RFB Voralpenkreuz	A09, Plabutschunnel, RFB Voralpenkreuz															
	1,7	1,9	3,1	3,7	3,6	9,4	1,7	2,6	4,8	7,1	4,9	6,3	3,4	2,3	1,8	4,1	3,9	4,2	6,4	2,3	2,8	4,1	6,0	4,9	5,9	3,5		
	2,9	2,3	5,3	5,2	5,4	8,7	3,2	3,4	5,7	7,9	6,1	8,9	4,4	2,9	2,3	5,3	5,2	5,4	8,7	3,2	3,4	5,7	7,9	6,1	8,9	4,4		
Griffigkeitsniveau erreicht in # Jahren:																												
Griffigkeitsprognose bei Annahme einer linearen Griffigkeitsabnahme																												
Griffigkeitsniveau in # Jahren:																												
Griffigkeitsabnahme pro Jahr	-0,10	-0,14	-0,06	-0,06	-0,06	-0,03	-0,08	-0,12	-0,04	-0,04	-0,06	-0,02	-0,08															
Prognostizierter Reibungsbeiwert μ nach																												
3 Jahren	0,37	0,27	0,51	0,50	0,52	0,55	0,39	0,43	0,50	0,56	0,56	0,51	0,49															
Prognostizierter Reibungsbeiwert μ nach																												
4 Jahren	0,27	0,13	0,46	0,44	0,46	0,52	0,31	0,31	0,46	0,52	0,50	0,49	0,41															
Prognostizierter Reibungsbeiwert μ nach																												
5 Jahren	0,17	0	0,40	0,39	0,40	0,49	0,22	0,19	0,41	0,49	0,44	0,47	0,33															
Prognostizierter Reibungsbeiwert μ nach																												
Bewertung der Nachhaltigkeit der gVM auf dem Testabschnitt nach # Jahren:																												



Skizzenmaßstab ident:

Folgende Auffälligkeiten konnten bei der Langzeitbetrachtung bzw. Prognosen der Nachhaltigkeit der Wirkung der gvM festgestellt werden:

- Kn. Vösendorf (Asphalt):

Die beiden auf der Rampe 6 angewendeten Verfahren HDW und KGS erreichen bereits etwa 2 Jahre nach Herstellung den Warnwert der Griffigkeit entsprechend dem Ausgangsniveau. Auf Rampe 8 zeigt die HDW im Vergleich eine nachhaltigere Griffigkeitswirkung. Hochgerechnet ist nach 5 Jahren Liegedauer der Schwellenwert noch nicht erreicht, nach 3 Jahren stellt sich jedoch das Ausgangsniveau der Griffigkeit ein.

Zwei wesentliche Merkmale, welche u.a. einen Einfluss auf die Griffigkeitsentwicklung haben können, unterscheiden die beiden Rampenanlagen. Der Kurvenradius der Rampe 6 ($R \geq 50$ m) ist wesentlich kleiner als jener der Rampe 8 ($R \geq 120$ m; siehe auch die Skizzen in der Tabelle 5-4). Somit ist die polierende Wirkung des Verkehrs auf Grund der Seitenführungskräfte in radialer Richtung auf Rampe 6 wesentlich höher, auch ohne Bremsvorgänge. Des Weiteren ist die Rampe 6 nur einstreifig befahrbar, während sich der Verkehr auf Rampe 8 auf zwei Fahrstreifen verteilt.

- Kn. Bruckneudorf (Asphalt):

Die untersuchte Rampe 1 im Bereich des Kn. Bruckneudorf weist an der Stelle der stärksten Krümmung einen Radius von $R=75$ m auf und die Rampe 4 von etwa $R=120$ m. Das SSV zeigt auf beiden Rampen eine nachhaltige Griffigkeitsentwicklung. Auf beiden Rampen wird das Nullniveau nach etwa 3,5 Jahren erreicht. Nach 5 Jahren liegt das Griffigkeitsniveau noch immer über dem Schwellenwert. Trotz der unterschiedlichen Geometrien der beiden Rampen zeigt sich eine nahezu gleiche Griffigkeitsentwicklung.

- Ehrentalerberg Tunnel (Asphalt):

Der Untersuchungsabschnitt KGS2 im Bereich des Ehrentalerbergtunnels weist eine hohe Nachhaltigkeit der Griffigkeitsbehandlung auf. Die prognostizierte Lebensdauer der Maßnahme bis zum Erreichen des Schwellenwertes erstreckt sich beinahe über 9 Jahre. Nach 5 Jahren liegt das Griffigkeitsniveau oberhalb des Warnwertes. Mit 1.300 LKW pro Tag und Richtungsfahrbahn ist die Schwerverkehrsbelastung in etwa halb so hoch wie vergleichsweise jene im Plabutschunnel.

- Tunnel Kaisermühlen (Asphalt):

Die Anfangsgriffigkeit nach den Baumaßnahmen ist auf den vergleichbaren Abschnitten beim KGS um etwa $\mu=0,15$ höher als beim HDW. Die Griffigkeitsniveaus nivellieren sich jedoch nach etwa 2,5 Jahren. Nach bereits 2 Jahren ist bei beiden Verfahren das Nullniveau erreicht. Nach etwa 3 Jahren kommt es in der Prognose bereits zur Unterschreitung des Schwellenwertes auf beiden Versuchsabschnitten und eine neue Baumaßnahme müsste gesetzt werden. Berücksichtigt man den Umstand, dass die beiden gvM am 2. Fahrstreifen durchgeführt wurden und der Schwerverkehrsanteil somit sehr gering ist, ist davon auszugehen, dass sich die prognostizierte Lebensdauer der Maßnahmen bei Anordnung am 1. Fahrstreifen deutlich reduzieren würde.

- Plabutschunnel R1 (Beton):
Die Anordnung der Testabschnitte im Zuge eines Fahrstreifens lassen einen direkten Vergleich der 3 Maßnahmen GR, RF, und KGS, zu. Es zeigt sich bei allen 3 gvM eine prognostizierte Lebensdauer von mindestens 5 Jahren.
- Plabutschunnel L1 (Beton):
Wie in der Tunnelröhre R1 konnten auch hier die gvM vergleichbar hintereinander angeordnet werden. Während die Aufrauung durch GR gemäß Prognose mehr als 5 Jahre wirkt, nimmt die Wirkung der KGS nach 3,5 Jahren auf das Nullniveau ab. Nach gut 4 Jahren kommt es zur Schwellenwertüberschreitung der Griffigkeit bei der KGS-Methode.

5.3 Kosten – Nutzen-Analyse

Zur Kostenanalyse der gvM wurden Preisinformationen bei Mitarbeitern der Asfinag als auch bei den Baufirmen und Gerätebetreibern eingeholt. Erwartungsgemäß waren die erhaltenen Preisangaben aus der Privatwirtschaft sehr vage und überschaubar. Die genannten Einheitspreise der Bauleiter seitens der ASFINAG waren im Gegensatz dazu konkreter. Eine Analyse der Preisinformationen ließ eine starke Spreizung erkennen. Für das gleiche Verfahren wurden Einheitspreise mit einer Preisspanne von 200-300% angeführt. Für die großen Preisunterschiede konnten folgende Punkte identifiziert werden.

- Der Preis ist erheblich von der Tiefe der gvM abhängig, beispielsweise Grinding.
- Die Leistung wurde auf Regiestundenbasis abgerechnet, keine m²-Preise.
- Preisangabe mit/ohne Anfahrt des Gerätes.
- Preisangabe mit/ohne Baustelleneinrichtung.
- Die Preisbildung ist überproportional mengenabhängig.

Auf Basis der vorliegenden Preisangaben und der beschriebenen Schwierigkeiten konnten Kosten und Nutzen der angewendeten gvM nicht belegbar verglichen werden.

5.4 Baupraktische Anmerkungen

Im Zuge der Maßnahmendurchführung als auch in Gesprächen mit Baufachleuten konnten wertvolle Informationen über die baupraktische Umsetzung gesammelt werden.

A02, Kn. Vösendorf:

Bei der Griffigkeitserhöhung auf den Rampen im Bereich Kn. Vösendorf wurde der Behandlung der Fahrbahn mit Hochdruckwasserstrahlung gegenüber beispielsweise Schlagsternverfahren oder Feinfräsung der Vorzug gegeben. Laut Angaben der Bauleiters wird durch HDW die Auffettung durch Bitumen entfernt und das Korn "angeritzt" aber nicht gebrochen. In gebrochenes Korn dringt Wasser ein und sprengt das Korn in der Winterperiode. Ein Vorteil der HDW-Strahlung liegt in der Baudurchführung. Es befindet sich nur ein Fahrzeug im Bereich der Baustelle. Bei Staugefahr kann der LKW seitlich geparkt werden und der Fahrstreifen freigemacht werden.

A06, Kn. Bruckneudorf:

Zur Mängelbehebung vor Ablauf der Gewährleistung wurde seitens der ARGE das Schlagsternverfahren vorgeschlagen. Dabei wird die Oberflächenstruktur durch rotierende Wellen mit Sternlamellen aufgeraut und das anfallende Material sofort abgesaugt. Dadurch wird die Griffigkeit erhöht und die Fahrbahn ist hinter dem Aufräumungsgerät sofort wieder benutzbar.

A2, Ehrentalerberg Tunnel:

Die Durchführung der aufräumenden Maßnahmen erfolgte lang vor Projektbeginn, demnach liegen keine Informationen über die Baudurchführung vor.

A22, Kaisermühlentunnel:

GvM sind am hochrangigen Straßennetz im urbanen Raum aufgrund der geforderten hohen Straßenverfügbarkeit nahezu nur in Nachtarbeit umzusetzen. Im Kaisermühlentunnel ergab sich bei der Durchführung der HDW-Strahlung die Problematik der Schmutzwasserentsorgung. Kein Entsorgungsbetrieb hatte nach 22:00 Uhr geöffnet. Mangels einer Möglichkeit zur Schmutzwasserentsorgung, war man bei der Behandlung der Fahrbahnoberfläche auf einige 100 m beschränkt. Diese Restriktion besitzt das Verfahren KGS nicht. Die Arbeitsgeschwindigkeit von HDW und KGS ist in etwa gleich. Zeitverlust bei HDW ergibt sich, je nach Entfernung zur Entsorgungsstelle, bei der Schmutzwasserentsorgung und Neuwasserfüllung. Kostenintensive Alternative zum Umgang mit dem Schmutzwasser wäre die Anmietung eines Containers oder Absetzbeckens zur Zwischenlagerung mit anschließendem Abspumpen und Entsorgung auf einer Deponie.

Durch die Anwendung des KGS konnte eine deutliche Aufhellung der Fahrbahn und somit des Tunnels beobachtet werden. Diese Wirkung ließ nach einigen Monaten unter Verkehr wieder nach.

A09, Plabutsch Tunnel:

Im Plabutsch Tunnel wurden 3 verschiedene Verfahren angewendet. Unabhängig von der griffigkeitsverbessernden Wirkung konnten Vor- und Nachteile der Verfahren beobachtet werden. Während Unebenheiten durch Spurrinnen für KGS kein Problem darstellten, entstanden bei GR und RF unbehandelte Stellen in den Radspuren des Fahrstreifens ("Glatzen"). Auf Grund des Umstandes, dass nur der 1. Fahrstreifen (FS1) behandelt wurde, konnte nicht tiefer gefräst werden, wegen der sich sonst ausbildenden Stufe zwischen FS1 und FS2. Im Bereich von Kanalgittern musste GR und RF ausgesetzt werden. Das Verfahren der RF setzt trockene Witterung voraus, um ein Verkleben des Fräsgutes zu verhindern. Betrachtet man den Arbeitsfortschritt, so ist KGS dreimal so schnell im Vergleich zu GR. Das Verfahren GR schont hingegen die Betonfugen.

5.5 Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung der angeführten Einschränkungen wird versucht, die Untersuchungsabschnitte in gleichartige Bauweisen (Rampen bzw. Tunnel) zu gruppieren und für jede dieser Gruppen Schlussfolgerungen abzuleiten.

Auf den **Rampen** kamen die gvM Kugelstrahlen, Hochdruckwasserstrahlen sowie Schlagsternverfahren zum Einsatz. Letzteres dürfte eine insgesamt gröbere Textur erzielen als die beiden anderen. Dies wirkt sich auf Rampen, auf denen die Polierbeanspruchung im Vergleich zur geraden Hauptfahrbahn erhöht ist, günstig auf die Lebensdauer der Maßnahme aus. Am Kn. Bruckneudorf konnte eine Lebensdauer von 3 bzw. 4 Jahren prognostiziert werden (= Griffigkeit bleibt über dem Warnwert). Es liegen jedoch keine Daten für das Schlagsternverfahren für Radien <75 m vor.

Bei den Untersuchungen auf Rampe R6 am Kn. Vösendorf (Radius etwa 50 m) zeigten die dort angewendeten Verfahren nur die Hälfte der Lebensdauer des Schlagsternverfahrens. Es bleibt jedoch offen, inwieweit der sehr geringe Radius der Rampe R6 am Kn. Vösendorf einen „Sonderfall“ hinsichtlich der Polierwirkung darstellt, nachdem dort innerhalb kurzer Zeit (zwei Jahre) zwei gvM notwendig wurden. Beide Maßnahmen konnten ein hohes Griffigkeitsniveau herstellen ($\mu > 0,7$), bei beiden Maßnahmen zeigt sich die gleiche Tendenz der raschen Abnahme. Hier wäre die Anwendung des Schlagsternverfahrens überlegenswert.

Auf den **Tunnelabschnitten** konnte im Kaisermühlentunnel (A21, Asphalt) und im Plabutschunnel (A9, Beton) ein direkter Vergleich von zwei bzw. drei Methoden von gvM durchgeführt werden.

Im Kaisermühlentunnel zeigte die Anwendung des Kugelstrahlverfahrens eine wesentlich größere Anhebung der Griffigkeit im Vergleich zum Hochdruckwasserstrahlen. Die Abnahme der Griffigkeit über die Zeit ist allerdings ebenfalls höher, sodass bei beiden Verfahren laut Prognoserechnung bereits nach etwa 2,5 Jahren der Warnwert unterschritten und eine weitere Maßnahme notwendig wird.

Im Plabutschunnel wurden in beiden Röhren Maßnahmen gesetzt; beide Röhren haben das gleiche Verkehrsaufkommen und sind bezüglich Deckenart und –alter vergleichbar. In der Weströhre (R1) wurden drei Verfahren angewandt. Alle drei Verfahren (Grinding, Rotationsfräsung und Kugelstrahlen) zeigen eine vergleichbare Wirksamkeit, die anfängliche Anhebung ist bei Rotationsfräsung und Kugelstrahlen geringfügig höher als beim Grinding, die Prognoserechnung zeigt beim Grinding und Kugelstrahlen die gleiche prognostizierte Lebensdauer von ca. 6 Jahren, beim Rotationsfräsen sogar von fast 8 Jahren. Es war im Projekt allerdings nur die Herstellung eines einzelnen Abschnittes möglich. Eine weitere Anwendung und Untersuchung wäre notwendig, um die festgestellte Wirkung zu verifizieren.

In der Oströhre (L1) wurden zwei Verfahren angewandt. Das Grinding zeigt im Vergleich zur Weströhre eine nachhaltigere Wirkung in der Prognose. Das Kugelstrahlverfahren hingegen fällt im Vergleich zur Weströhre ab, die prognostizierte Lebensdauer ist hier um 1,5 Jahre kürzer.

5.6 Resümee und Ausblick

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die untersuchten Strecken eine Gruppe von Einzelfällen darstellen, bei der jede Strecke für sich genommen einer Vielzahl von unterschiedlichen Randbedingungen ausgesetzt war. Damit ist eine pauschale Ableitung der Eignung eines bestimmten Verfahrens nur bedingt möglich. Die Auswahl der Untersuchungsabschnitte ergab sich „peu-à-peu“; einerseits aus vor Projektbeginn durchgeführten gvM, andererseits aus dem laufenden Bauprogramm und kurzfristig notwendig gewordenen Maßnahmen zur Beseitigung von Griffigkeitsmängeln. Damit konnte auch die Auswahl der gvM keiner vorab festgelegten Systematik folgen - nur im Kaisermühltunnel und im Plabutschunnel war es möglich, in geringem Umfang direkte Vergleiche zwischen Verfahren am gleichen Fahrbelag und damit gleichen Randbedingungen durchzuführen. Es zeigt sich jedoch, dass auch hier deutliche Unterschiede beim selben Verfahren auftreten und die Ergebnisse der Prognoserechnung variieren. Einschränkend muss hier angemerkt werden, dass aufgrund der vorliegenden Daten die Prognose nicht als sehr robust zu bezeichnen ist. Zusätzlich sollte die Anwendbarkeit bzw. Einschränkungen der Verfahren bei Vorhandensein von Spurrinnen und Einbauten berücksichtigt werden.

Es wird festgehalten, dass mit Projektende bereits ein Teil der Testabschnitte mit neuem Fahrbelag versehen wurden und für weitere Untersuchungen nicht mehr zur Verfügung stehen. Für die verbleibenden Abschnitte, für die eine Prognoserechnung vorliegt, wird empfohlen, das Monitoring weiterzuführen, um die prognostizierte Lebensdauer zu verifizieren. Hier werden zwei Griffigkeitsmessungen pro Jahr als sinnvoll erachtet.

Aus den obigen Ausführungen ergibt sich, dass sich eine eindeutige Anleitung zur Maßnahmenauswahl nicht ableiten lässt. Grund dafür ist die geringe Anzahl an Untersuchungsabschnitten bei gleichzeitig großer Menge der angewendeten Verfahren. Bessere Aufschlüsse würde ein größeres Messstreckenkollektiv bzw. mehr Strecken, auf denen ein direkter Vergleich der Verfahren möglich ist, bringen. Im Projekt war dies nur auf zwei Strecken möglich.

Auffällig war die kurzzeitige Griffigkeitserhöhung durch Hochdruckwasserstrahlen, sowohl auf Rampenanlagen als auch auf der Hauptfahrbahn auf Strecken längerer Liegedauer. Hier wird empfohlen, ein Jahr nach der Herstellung eine Überprüfung der noch vorhandenen Griffigkeitserhöhung durchzuführen.