

EBEN-WLP HOLISTISCHE EBENHEITSBETRACHTUNG STRASSE

Das Projekt Eben-WLP schafft die Grundlagen für eine verbesserte Bewertung der Längsebenheit sowohl von neu hergestellten Fahrbahnabschnitten, als auch im Bereich des Erhaltungsmanagements bereits bestehender Strecken.

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Bereits abgeschlossene Forschungsprojekte haben gezeigt, dass das bewertete Längsprofil (WLP, weighted longitudinal profile) ein guter Indikator zur Beurteilung der Längsebenheit von Fahrbahnen ist. Dem gegenüber steht das derzeit zur Abnahmeprüfung Längsebenheit verwendete Verfahren „Planograph“. Dieses Verfahren kann prinzipbedingt (fixe Länge von 4 m) viele Phänomene der Längsebenheit, die sich negativ auf die Lebensdauer der Fahrbahn und den Fahrkomfort auswirken, nicht beurteilen.

Im Projekt Eben-WLP wurden die notwendigen Untersuchungen durchgeführt, um eine Entscheidungsgrundlage für die Einführung des WLP als Abnahmemethode für die Längsebenheit zu erhalten. Ebenso wurden die Auswirkungen dieser Maßnahme auf das Asset Management System der ASFINAG untersucht.

Anhand der im Jahr 2013 am ASFINAG-Netz neu hergestellten Streckenabschnitte wurden die Ergebnisse der Planographenmessung und WLP verglichen und ein Vorschlag für einen Abnahmegrenzwert für das Verfahren WLP erarbeitet. Anschließend wurde eine Abzugsformel entwickelt, mit der Überschreitungen des WLP-Grenzwertes pönalisiert werden können. Diese Abzugsformel orientiert sich an den bereits im Gebrauch befindlichen Formeln für andere Abnahmekriterien.

Für die Integration des WLP in das Asset Management System wurden die Ergebnisse der netzweiten Zustandserfassungen der Jahre 2004 bis 2014 untersucht. Daraus wurden Verhaltensfunktionen für die Entwicklung des WLP auf verschiedenen Oberbautypen entwickelt, die direkt in das vorhandene Asset Management System übernommen werden können.

Facts:

- Laufzeit: 06/2013-01/2015
- Forschungskonsortium:
AIT Austrian Institute of Technology
GmbH
PMS Consult

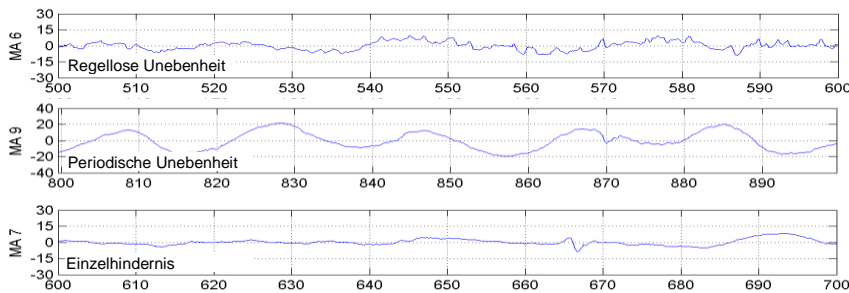


ABB 1. Typische Längsebenheitsprobleme

Kurzzusammenfassung

Problem

Das derzeit verwendete Verfahren zur Abnahme der Längsebenheit auf neu hergestellten Fahrbahnen am ASFINAG-Netz (Planograph) weist Schwächen auf, die dazu führen, dass nicht alle auftretenden Unebenheiten bewertet werden.

Gewählte Methodik

Mit dem neu entwickelten Parameter "WLP – bewertetes Längsprofil" wurden alle 2013 neu hergestellten Abschnitte des ASFINAG-Netzes untersucht und bewertet. Die Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen der Planographenprüfung verglichen und hinsichtlich Ebenheitsprobleme analysiert.

Ergebnisse

Es wurde ein Vorschlag für einen Abnahmegrenzwert für das Verfahren WLP erarbeitet. Anschließend wurde eine Abzugsformel entwickelt, mit der Überschreitungen des WLP-Grenzwertes pönalisiert werden können. Schließlich wurde eine Verhaltensfunktion für das WLP zur Verwendung in Asset Management Systemen entwickelt.

Schlussfolgerungen

Der Grenzwertvorschlag für das WLP kann als Grundlage für die Einführung dieses Bewertungsverfahrens dienen. Die Integration des Verfahrens WLP in das Asset Management System ist mit den entwickelten Verhaltensfunktionen einfach möglich.

English Abstract

The Planograph, which is currently used for new work approval of evenness on Austrian motorways, neglects many unevenness phenomena. The weighted longitudinal profile (WLP) is able to rate these phenomena adequately. The project Eben-WLP analysed the consequences of a possible change of the new work approval method to WLP. Recommendations for the introduction and its impact on asset management were derived from direct comparison of the two methods.

Impressum:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

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

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

ÖBB-Infrastruktur AG

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

ASFINAG

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

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

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

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

01, 2015

Holistische Ebenheitsbetrachtung Straße-WLP EbenWLP

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2012
(VIF2012)

Jänner 2015



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

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



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



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



Für den Inhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Donau-City-Straße 1
1220 Wien



Programmmanagement:

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



Holistische Ebenheitsbetrachtung Straße-WLP EbenWLP

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2012)

Autoren:

DI Roland SPIELHOFER
DI Dr. Alfred WENINGER-VYCUDIL

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.....	6
1.1	Problemstellung und Projektziele.....	7
1.2	Methodik.....	7
1.3	Zeitlicher Ablauf des Projektes.....	8
2	Messung der Längsebenheit im Zuge der Griffigkeitsabnahmeprüfung.....	9
3	Analyse der Abnahmeprüfung WLP und Planographenmessungen.....	10
3.1	Aufbereitung Messergebnisse der Abnahmeprüfungen mit dem Planograph.....	10
3.2	Aufbereitung Messergebnisse RoadSTAR-Messungen.....	11
3.3	Analyse der Abschnitte hinsichtlich Unebenheit.....	12
3.4	Entwicklung Planographensimulation.....	14
4	Ableitung von Grenzwerten für σ_{WLP} und Δ_{WLP}	18
4.1	Abzugsformel für Pönalisierung von Überschreitungen.....	20
5	Auswirkungen der Einführung des WLP auf das Asset Management System der ASFiNAG.....	23
5.1	Einleitung.....	23
5.2	Straßenzustandsprognose Längsebenheit.....	23
5.2.1	Zustandsprognosemodelle Längsebenheit in Österreich.....	23
5.3	Kalibrierung empirischer Zustandsprognosemodelle.....	25
5.4	Pavement Management System der ASFiNAG.....	25
5.5	Statistische Auswertung WLP-Daten.....	26
5.5.1	Vorgehensweise.....	26
5.5.2	Datenaufbereitung.....	26
5.5.3	Statistische Kennwerte.....	27

5.6	Zeitliche Veränderung der Kennwerte der Längsebenheit (Änderungsrate)	28
5.7	Regressionsanalyse Δ_{WLP} und σ_{WLP}	28
5.7.1	Abhängigkeitsanalyse Δ_{WLP} und σ_{WLP} zu IRI.....	30
6	Zustandsprognose WLP	37
6.1	Verhaltensfunktionen Längsebenheit (Zustandsgrößen).....	37
6.2	Grenzwertdiskussion (Warn- und Schwellenwert).....	38
6.3	Einbeziehung Verhaltensfunktion in das PMS der ASFINAG	40
7	Referenzen	41
8	Anhang 1 – Liste der Abnahmeprüfungsabschnitte auf den Hauptfahrbahnen des ASFINAG-Netzes 2013.....	41
9	Anhang 2 – Beispiele der anwendung der grenzwerte von WLP	44
9.1	A2 Vösendorf, Fahrtrichtung Süd, km 1,700 – 7,221.....	44
9.2	A14 Pfändertunnel, km 8,730 – km 1,736	52
9.2.1	Längsprofil und Planographenüberschreitungen.....	52

1 EINLEITUNG

Die Beurteilung der Längsebenheit erfolgt in Österreich am hochrangigen Straßennetz derzeit mit zwei unterschiedlichen Methoden. In der netzweiten Zustandserfassung wird das sogenannte wahre Höhenlängsprofil mit einem schnellfahrenden Messfahrzeug im fließenden Verkehr erhoben. Auf dem berechneten Höhenlängsprofil setzt eine Vielzahl von Bewertungsmethoden auf; derzeit ist im Pavement Management der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen der Parameter „International Roughness Index“ (IRI) in Verwendung. Dieser Parameter weist eine Reihe von Problemen im gegenständlichen Anwendungsbereich auf, die in internationalen Forschungsprojekten dokumentiert wurden. So ist zum Beispiel die Bewertung von periodischen Unebenheiten mit dem IRI nicht möglich, obwohl periodische Unebenheiten bei LKW-Überfahrten zu Anregungen führen, die die Straßenschädigung deutlich beschleunigen bzw. erhöhen.

Um eine bessere Bewertung für die netzweite Betrachtung zu finden, wurden in letzter Zeit verschiedene Forschungsprojekte durchgeführt. Dabei wurde das „Bewertete Längsprofil“ (Weighted Longitudinal Profile, WLP) entwickelt, das keine der erwähnten Schwächen besitzt und die adäquate Bewertung der verschiedenen Längsunebenheitsphänomene erlaubt. Derzeit wird in verschiedenen europäischen Ländern an der Integration des WLP in Asset Management Systems gearbeitet.

Die zweite Methode der Längsebenheitsbewertung, die in Österreich Anwendung findet, ist das Planographen-Verfahren (vgl. [5]). Dabei wird ein vier Meter langer Rahmen, der auf zehn Rädern gelagert ist, in Schrittgeschwindigkeit über die Fahrbahn gezogen, das Unebenheitsmaß stellt die vertikale Bewegung des beweglich gelagerten elften Rades in der Mitte dar. Diese Form der Beurteilung der Längsebenheit wird nur zu Abnahmeprüfungen eingesetzt und ist für netzweite Zustandserfassungen nicht praktikabel (Schrittgeschwindigkeit, Fahrstreifensperre notwendig, etc.).

Dieses Verfahren weist mehrere Schwachpunkte auf:

- Das Ergebnis ist ein gerätespezifischer Wert, d.h. durch die Bauart des Geräts bedingt.
- Mit dem Planograph ist es bauartbedingt nicht möglich, die für die Ebenheit definierten Wellenlängenbereiche zu erfassen.
- Auf Strecken mit hohem Baustandard (typischerweise Autobahnen) werden Ebenheitsprobleme nicht mehr detektiert, d.h. das Gerät kann aufgrund seiner Konstruktion periodische Unebenheiten nicht beurteilen.
- Die Messung mit dem Planograph erfolgt in Schrittgeschwindigkeit, was einen hohen Zeitaufwand und die Sperre eines Fahrstreifens bedeutet. Dies widerspricht dem Ziel eine Maximierung der Netzverfügbarkeit.
- Es ist mit dem Planograph keine Aussage über den Charakter von Unebenheiten möglich (periodisch, regellos, Einzelhindernis), wodurch es nicht möglich ist, adäquate Sanierungsmaßnahmen abzuleiten.
- Mit dem Planograph sind keine Aussagen über den Fahrkomfort einer Strecke möglich.

1.1 Problemstellung und Projektziele

Im Zuge von Vorprojekten hat sich gezeigt, dass das bewertete Längsprofil ein gut geeigneter Indikator zur Beurteilung der Ebenheit von Fahrbahnen ist. Insbesondere werden periodische Unebenheiten und Einzelhindernisse adäquat bewertet. Diese Arten der Unebenheit haben einen entscheidenden Einfluss auf die Schädigung der Straße aufgrund von dynamisch erhöhten Achslasten. Diese Bewertung ist mit den bisher verwendeten Parametern in dieser Qualität nicht möglich.

Mit dem bewerteten Längsprofil steht ein Bewertungsparameter zur Verfügung, der auf der Messung des wahren Höhenprofils mit schnellfahrenden Messsystemen aufbaut. Die Auswirkungen im Bereich der routinemäßigen Zustandserfassung wurden bereits untersucht, mit dem Ergebnis, dass nun erstmals eine umfassende Bewertung der Längsebenheit möglich ist.

Es sind folgende Problemstellungen zu bearbeiten:

- Erfassung des Höhenlängsprofils zum Abnahmezeitpunkt auf den neu hergestellten Fahrbahndecken des ASFINAG-Netzes.
- Entwicklung einer Planographensimulation auf den berechneten Höhenlängsprofilen.
- Vergleich der Ergebnisse der Simulation mit der Planographenmessung vor Ort.
- Analyse der aus dem Höhenlängsprofil abgeleiteten Ebenheitscharakteristik und Überprüfung der Bewertung mit Planograph und WLP.
- Entwicklung von Abzugsformeln für die Pönalisierung von Abnahmegrenzwert-Überschreitungen der beiden WLP-Parameter.
- Aussagen über die Auswirkungen der Einführung des WLP als Abnahmekriterium.
- Darstellung der Auswirkungen auf das Asset Management der ASFINAG.

Ziel des Projekts ist es, den Parameter „Bewertetes Längsprofil“ aus der netzweiten Zustandserfassung in die Verwendung zur Abnahmeprüfung überzuführen. Weiteres Ziel ist die Abschätzung der Auswirkungen der Einführung des Bewerteten Längsprofils als Abnahmetechnik auf das Asset Management System der ASFINAG.

1.2 Methodik

Der Lösungsansatz baut auf dem direkten Vergleich von WLP (berechnet vom wahren Höhenlängsprofil) und Planographenmessungen auf. Wie weiter unten angeführt, wird auch eine Planographensimulation entwickelt, um ein möglichst großes Messstreckenkollektiv zur Verfügung zu haben, auch wenn nicht für alle Strecken Planographenmessungen vorliegen sollten. Im Einzelnen wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

Messung des Höhenlängsprofils im Zuge der Abnahmeprüfung Griffigkeit

Im Zuge der Abnahmeprüfung Griffigkeit wird das sogenannte wahre Höhenlängsprofil erhoben. Die Messung erfolgt mit dem HRM-Profilometer mit vier Lasersensoren, die eine geschwindigkeitsunabhängige Erfassung des Profils nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung erlauben.

Planographensimulation

Für die Planographensimulation ist ein Berechnungsalgorithmus zu entwickeln, der die physikalischen Eigenschaften des Planographen auf Grundlage des wahren Höhenlängsprofils abbildet. Unterschiede, wie das diskrete 10 cm-Samplingintervall des berechneten

Höhenlängsprofils im Unterschied zur kontinuierlichen Messung des Planographs sowie die Filterwirkung der Radaufstandsfläche des Planographen im Vergleich zur Spotgröße des Laserpunktes bei der Höhenprofilmessung, sind zu berücksichtigen.

Die Planographensimulation ist einerseits notwendig, um auch diejenigen Strecken beurteilen zu können, für die keine Planographenschriebe vorliegen, andererseits um auch in Zukunft – sollte das WLP als Abnahmekriterium eingeführt werden – einen Bezug zu früheren Ergebnissen herstellen zu können.

Vergleich und Analyse der Ergebnisse der Planographenmessung vor Ort mit der Planographensimulation und den Ergebnissen der WLP-Berechnung

Die Ergebnisse der Planographensimulation, die für die Strecken der Abnahmeprüfung Griffigkeit durchgeführt wurden, müssen mit den Planographenschrieb der Vor-Ort-Messung verglichen werden. Dabei ist ein gemeinsamer Ortsbezug herzustellen. Anschließend werden die Profile analysiert hinsichtlich Ebenheitscharakteristik und das WLP berechnet. Die Ergebnisse der WLP-Berechnung werden den Planographen-Ergebnissen gegenübergestellt und überprüft, in wieweit die Ebenheitscharakteristik mit den beiden Verfahren beurteilt wird. Daraus werden Empfehlungen für die mögliche Einführung des WLP als Abnahmekriterium abgeleitet sowie Abzugsformeln entwickelt.

Darstellung der Auswirkungen der möglichen Einführung des WLP als Abnahmekriterium auf das Asset Management System der ASFINAG

Für die Durchführung der Aufgaben wird auf die Software VIAPMS zurückgegriffen, die es ermöglicht, die Änderungen zu quantifizieren. Dabei wird die auf der Grundlage der im Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 definierten Systemkonfiguration eine entsprechende Anpassung und Erweiterung vorgenommen und ein erster PMS-Prototyp erstellt. Dieser Prototyp wird für die Vergleichsrechnungen herangezogen und auch der ASFiNAG für die praktische Anwendung des WLP übergeben.

1.3 Zeitlicher Ablauf des Projektes

In Abbildung 1 ist der zeitliche Ablauf der Arbeitspakete des Projektes dargestellt. In Absprache mit dem Auftraggeber wurde das Projekt um zwei Monate verlängert, um die im Jahr 2014 am ersten Fahrstreifen des ASFINAG-Netzes erhobenen Daten in die Auswertung mit einzubeziehen. Das Projektende wurde mit Ende Jänner 2015 festgelegt.

AP	Titel	Monat																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		2013												2014								2015
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	
1	Messung der Längsebenheit im Zuge der Griffigkeitsabnahmeprüfung	M1				M2																
2	Analyse der Abnahmeprüfung WLP und Planographenmessungen															M3						
3	Auswirkungen der Einführung der des WLP auf das Asset Management System der ASFINAG																				M4	
P	Projektmanagement																				M5	

Abbildung 1: Zeitlicher Ablauf des Projektes

2 MESSUNG DER LÄNGSEBENHEIT IM ZUGE DER GRIFFIGKEITSABNAHMEPRÜFUNG

Im Zuge der Abnahmeprüfungen Griffigkeit wurden am ASFINAG-Netz im Jahr 2013 zusätzlich zur Griffigkeit auch die Längsebenheit der Abnahmestrecken erhoben. Die Messungen fanden in österreichweiten Messrundfahrten im 4- bis 6-Wochen-Rhythmus statt, beginnend im April bis in den Oktober. Die zu prüfenden Abschnitte wurden von den zuständigen Bauleitern der ASFINAG gemeldet. Anschließend erfolgte die Zusammenstellung des Messprogramms für die jeweilige Messrundfahrt und die Erfassung der Daten. Die Liste der erhobenen Abschnitte ist in Kapitel 8, angeführt, eine Übersichtskarte der Abnahmestrecken zeigt Abbildung 2.

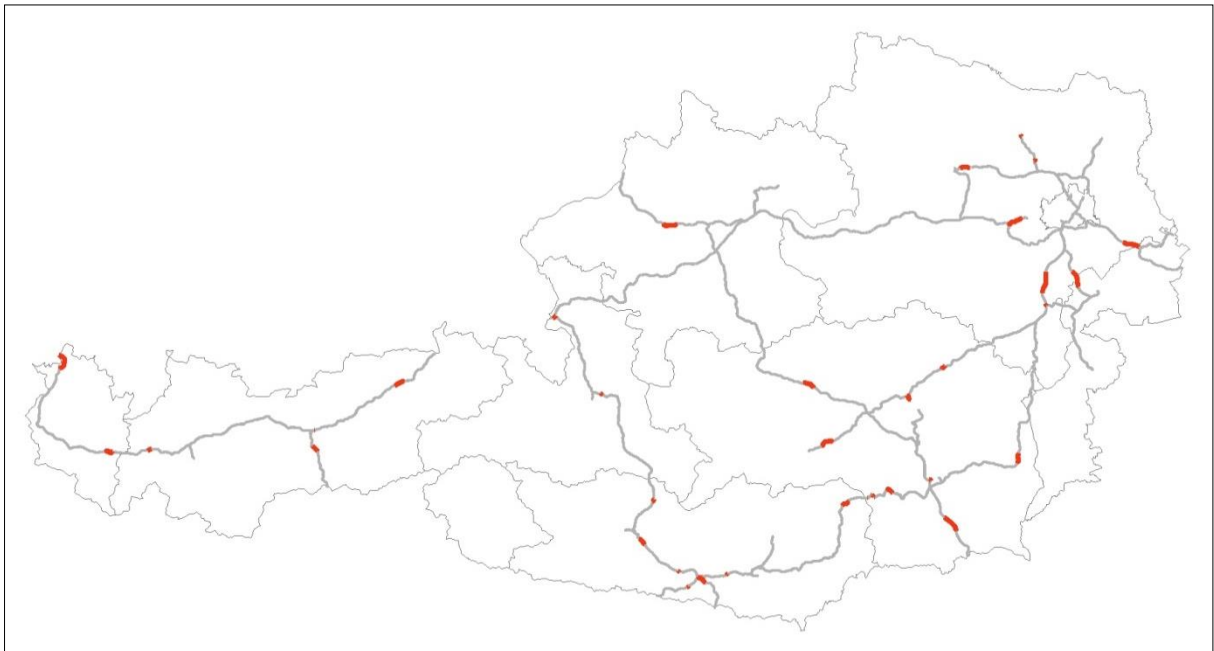


Abbildung 2: Abnahmeprüfungsstrecken auf den Hauptfahrbahnen am ASFINAG-Netz 2013 (rot markiert)

Die kontinuierliche Messung der Längsebenheit mit dem Straßenzustandserfassungsgerät RoadSTAR erfolgte mit Hilfe eines im Bereich der rechten Radspur am RoadSTAR angebrachten Messbalkens mit vier Lasersensoren der Laserklasse 3a (Ausgangsleistung unter 5 mW, Leistungsdichte unter 25 W/m²) mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,1$ mm. Diese Sensoren sind auf einem 2 m langen Messbalken montiert. Für die Messung wird der Transportrahmen mit den vier Sensoren aus der Transportstellung in die Messstellung geklappt und die Sensoren eingeschaltet. Solange die Sensoren nicht in der Messstellung arretiert sind, werden die Lasersensoren aus Sicherheitsgründen nicht in Betrieb genommen.

Die Messwerte der Längsprofilsensoren werden in einem Abstand von 5 mm als temporäre Rohwerte erfasst, über jeweils 10 Messwerte gemittelt und als Messwertefolge im 50 mm-Raster gespeichert. Zur Filterung von Störspitzen wird eine Medianfilterung durchge-

führt. Durch Überlagerung des symmetrischen und des asymmetrischen Profils erfolgt die Rekonstruktion des wahren Höhenprofils. Abschließend erfolgt eine Filterung mit den Grenzwellenlängen von 0,5 sowie 50 m. Das vorliegende Profil entspricht somit den Spezifikationen von prEN13036-5 [8].

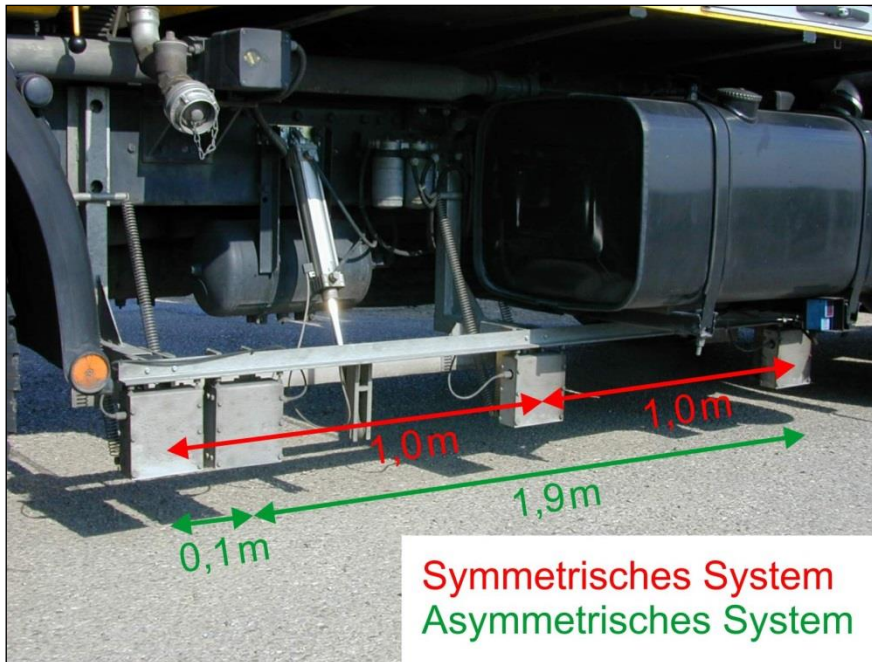


Abbildung 2-3: Messeinrichtung Längsebenheit

3 ANALYSE DER ABNAHMEPRÜFUNG WLP UND PLANOGRAPHENMESSUNGEN

3.1 Aufbereitung Messergebnisse der Abnahmeprüfungen mit dem Planograph

In enger Kooperation und mit Unterstützung durch die Zentrale der ASFINAG Service GmbH (Herr DI Karl Gragger) wurden die Regionalleiter der ASFINAG Baumanagement GmbH angeschrieben und um Übermittlung der Prüfberichte der auf den Neubaustrecken durchgeführten Planographenmessungen gebeten. Die Prüfberichte wurden im Regelfall als PDF-Dokumente übermittelt und weiter aufbereitet.

Es wurden – soweit möglich – die in Tabelle 1 angeführten Merkmale aus allen zur Verfügung stehenden Prüfberichten extrahiert.

Tabelle 1: Liste der erhobenen Merkmale pro Abnahmeprüfungs-Abschnitt

Merkmal	Erklärung
Nummer	Fortlaufende Nummer
Autobahn	Bezeichnung der Autobahn oder Schnellstraße
RFB	Richtungsfahrbahn
von km	Beginn des Prüfabschnittes gemäß Messung RoadSTAR

bis km	Ende des Prüfabschnittes gemäß Messung RoadSTAR
Fahrstreifen	geprüfter Fahrstreifen
Verkehrsfreigabe	Datum der Verkehrsfreigabe
Länge [km]	Länge des Prüfabschnittes
BMG MA	Zuständiger Mitarbeiter der ASFINAG Bau-Management GmbH
Rückmeldung?	Rückmeldung ja/nein
Datum	Datum der Rückmeldung
Datum Messung	Datum der Planographen-Messung
Messung von	Beginn Messung Planograph
Messung bis	Ende Messung Planograph
Überschreitungen	Wurden Überschreitungen festgestellt (ja/nein)
Mischgut	Verwendetes Mischgut am Prüfabschnitt
mittlere Einbaubreite [m]	Mittlere Einbaubreite des Prüfabschnittes
Labor	Ausführendes Prüflabor
Anmerkungen	Anmerkungen

Die Tabelle wurde anschließend um die Merkmale „Berichtsnummer AIT“ und „Dateiname Messung“ erweitert. Insgesamt konnten für 94 Streckenabschnitte Planographenmessungen und RoadSTAR-Messungen erhoben werden. Anschließend wurden die in den Prüfberichten festgestellten Planographen-Überschreitungen in eine separate Tabelle aufgenommen, jeweils mit Höhe der Überschreitung, Örtlichkeit und Anmerkungen. Kapitel 8, Anhang 1 zeigt die vollständige Liste der Abnahmeprüfungsabschnitte auf den Hauptfahrbahnen des ASFINAG-Netzes 2013.

Insgesamt wurde 120 Prüfungen mit einer Gesamtlänge von 328 km im Jahr 2013 mit dem RoadSTAR auf Hauptfahrbahnen durchgeführt. Für alle Prüfungen wurden Rückmeldungen seitens der ASFINAG erhalten. Auf 308 km wurden Planographenmessung durchgeführt, auf 20 km erfolgte keine Planographenmessung. Es muss jedoch festgehalten werden, dass Messbeginn und Messende der RoadSTAR-Messung und der zugehörigen Planographenmessung nicht immer ident waren. Auf insgesamt 234 km Prüfstrecke wurden Überschreitungen des Planographenmessung festgestellt, auf 74,17 km wurde der Planographengrenzwert nicht überschritten. Die Angaben „Überschreitungen“ bzw. „keine Überschreitungen“ beziehen sich jeweils auf eine ganze Strecke – d.h. die vorher genannte Summe ist die Summe jener Strecken, auf denen mindestens eine Überschreitung festgestellt wurde.

3.2 Aufbereitung Messergebnisse RoadSTAR-Messungen

Aus den RoadSTAR-Messungen wurden anschließend die Sensordaten des Längsebenenmesssystems extrahiert und die entsprechenden Längsprofile berechnet. Anschließend erfolgte die Berechnung des Bewerteten Längsprofils (WLP) für alle Strecken. Dazu wurde die Berechnungssoftware auf den aktualisierten Normenvorschlag der EN 13036-5 [8] angepasst. In diesem Vorschlag wurde die Berechnung des WLP dahingehend geändert, dass vor der Rücktransformation der einzelnen Oktavbänder für jedes Band eine Filterung mittels Butterworth-Filter 4. Ordnung erfolgt. In den Vorgängerversionen wurden die nicht zu transformierenden Bänder auf Null gesetzt, was bei bestimmten Profilen mit

dominanten Wellenlängen an genau den Oktavgrenzen zu Verzerrungen geführt hat. Der Einfluss des veränderten Berechnungsvorganges ist bei realen Profilen allerdings vernachlässigbar gering. Um die volle Länge des Abschnittes zu bewerten, wurde analog zu [1] ein Vor- bzw. Nachlauf von entsprechender Länge eingefügt.

3.3 Analyse der Abschnitte hinsichtlich Unebenheit

Aus den vorhandenen Messergebnissen der RoadSTAR-Befahrung und den vorhandenen Planographen-Prüfberichten ergaben sich schlussendlich 94 Strecken, für die beide Datenquellen vorlagen und die weiter untersucht wurden.

Auf den mit dem RoadSTAR gemessenen Strecken wurde wie oben beschrieben für alle 50 m-Abschnitte σ_{WLP} bzw. Δ_{WLP} berechnet. Dies ergab 6.175 50 m-Abschnitte. Für alle Abschnitte wurde untersucht, ob im Abschnitt zumindest eine Planographen-Überschreitung aufgetreten ist. Die Überschreitung wird messtechnisch nur punktuell festgestellt, lässt sich aber so nicht mit dem immer als Abschnitt mit einer bestimmten Länge vorliegenden WLP-Ergebnis vergleichen. Somit wurde für jeden Abschnitt untersucht, ob Überschreitungen in diesem Bereich vorliegen und dieser Abschnitt dann als „negativ“ markiert.

Insgesamt wurden in 276 Abschnitten Überschreitungen festgestellt, was einem Anteil von 4,5 % aller Abschnitte entspricht. Der Anteil der 50 m-Abschnitte mit Planographen-Überschreitungen reichte pro Strecke von 0,0 % bis 55,6 %.

In der RVS 08.16.01 wird als Anforderung an die Ebenheit eine maximale Abweichung von 4 mm definiert. Für den Bereich von 5 bis 12 mm ist ein Qualitätsabzug möglich. Über 12 mm erfolgt keine Übernahme, hier sind Maßnahmen des Auftragnehmers notwendig. Für Fahrbahnübergangskonstruktionen und Einbauten können im Bauvertrag zulässige Überhöhungen definiert sein. Diese werden üblicherweise mit 2 m- oder 4 m-Latte bestimmt und vom Messwert zusätzlich zum Toleranzwert abgezogen. Für den verbleibenden Wert (mit „p“ bezeichnet) wird anschließend der Qualitätsabzug berechnet.

Zur Berechnung des Qualitätsabzugs sind folgende Informationen notwendig:

- Einheitspreis der Deckschicht (EP)
- Einbaubreite der Schicht (M)
- Schichtdicke ($f = 4/d_s$)
- Überschreitung (p^2)

Aus diesen Angaben wurde der Qualitätsabzug nach folgender Formel berechnet:

$$A = \sum_{i=1}^n (p_i^2 \cdot EP \cdot M_i \cdot f_i)$$

Für 42 Strecken (entsprechend einer Gesamtlänge von 114 km) waren die Einbaubreite und die Überschreitungen aus dem Prüfbericht ersichtlich. Das entspricht sowohl circa einem Drittel der Gesamtlänge, die im Jahr 2013 abgenommen wurde, als auch ungefähr einem Drittel der Anzahl der Strecken des Jahres 2013. Die Schichtdicke und der Einheitspreis sind in keinem Prüfbericht vermerkt. Zur Abschätzung der derzeitigen Abzüge wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt (Werte übernommen aus den Berechnungsbeispielen der RVS 11.03.21 [4] für SMA 11 bzw. AC8 deck):

- Einheitspreis: 7 EUR/m²
- Schichtdicke der obersten Schicht: 3 cm

Es zeigt sich, dass für die meisten Strecken die berechneten Qualitätsabzüge gering ausfallen (vgl. Abbildung 4). Für 80 % der Strecken liegt der Qualitätsabzug unter 1.700 EUR.

Abbildung 5 zeigt die Verteilung bezogen auf den Kilometer Messstrecke.

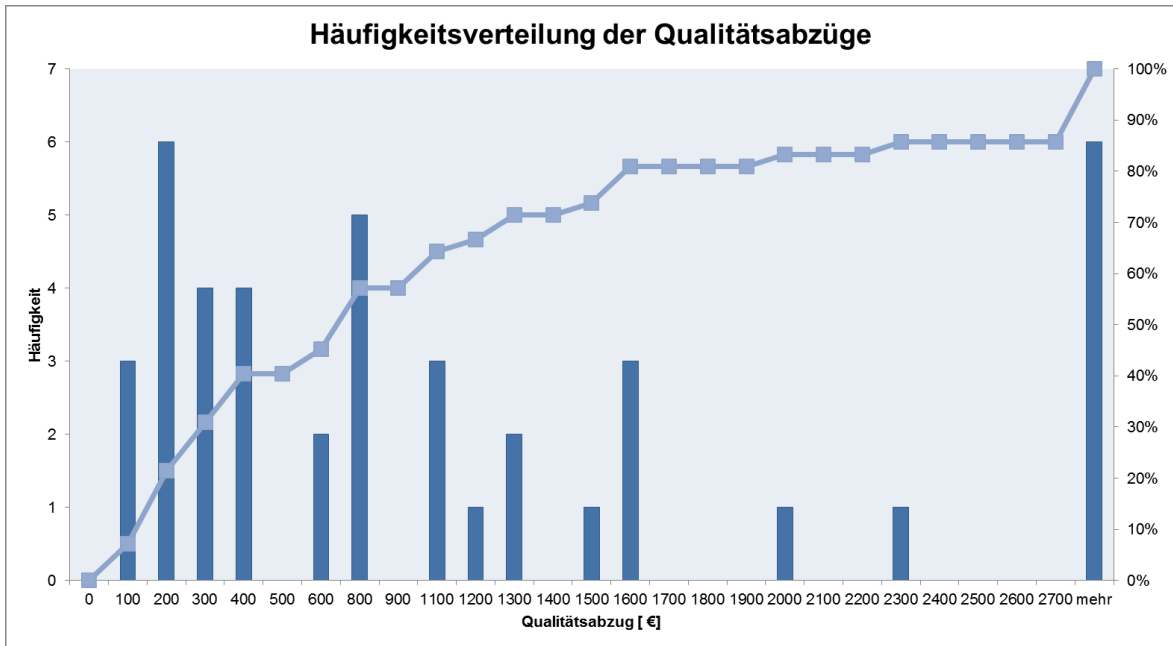


Abbildung 4: Überblick über die Verteilung der Qualitätsabzüge für Abnahmestrecken im Jahr 2013

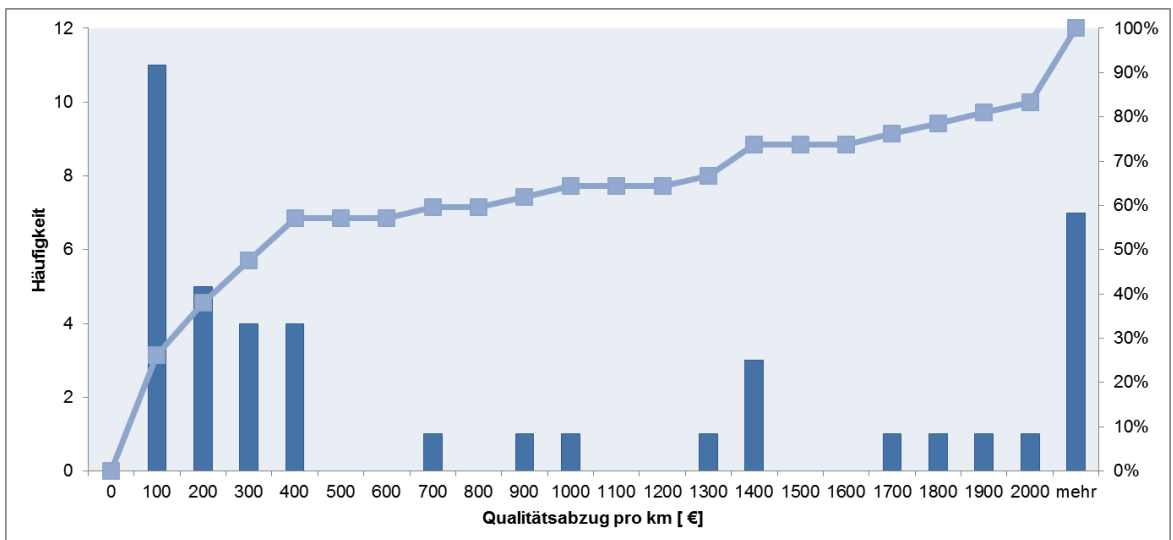


Abbildung 5: Verteilung der Qualitätsabzüge pro km Messstrecken für Abnahmestrecken im Jahr 2013

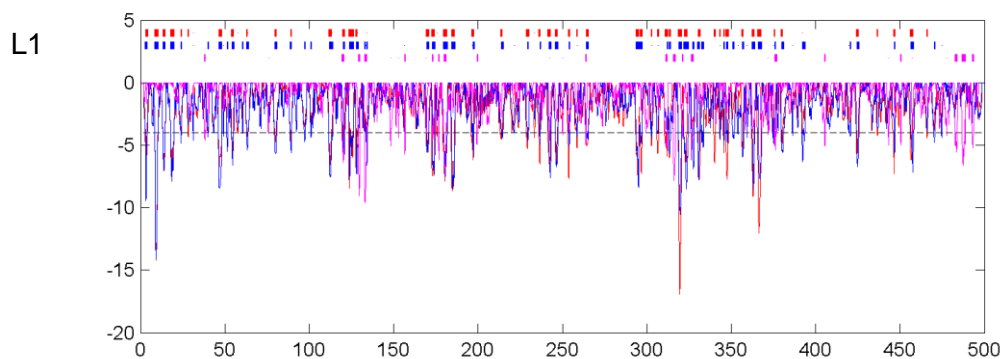
Es lässt sich ableiten, dass die derzeitigen Qualitätsabzüge im Vergleich zu den Baukosten gering ausfallen, oft sind die Kosten für die Prüfung höher als der Qualitätsabzug. Aus Sicht des Auftragnehmers stellt das derzeitige Kriterium also eher keine „Hürde“ dar.

3.4 Entwicklung Planographensimulation

Zum Vergleich zwischen den Planographen-Messungen, die über die Prüfberichte zugänglich waren und den mit dem RoadSTAR erhobenen Längsprofilen wurde eine Simulation einer Planographenüberfahrt über das gemessene Längsprofil entwickelt. Dazu wird der Planograph als 4 m langer Balken angenähert. Der Balken wird in der Simulation auf das Profil abgesenkt und die Abstandspunkte berechnet. Anschließend wird die Distanz zwischen Balken und Profil in der Mitte des Balkens bestimmt, was dem Wert des Planographenschriebes gleichkommt. Anschließend wird der Balken hochgehoben, um 10 cm in Fahrtrichtung weiterbewegt und wieder auf das Profil abgesenkt. Es folgen die bereits beschriebenen Schritte. Dieser Vorgang wird so lange fortgesetzt, bis das Ende des Profils erreicht ist.

Zur Evaluierung der Simulation wurden 4 Straßenabschnitte mit jeweils 500 m Länge mit einem Planographen und dem RoadSTAR befahren jeweils zweimal befahren. Anschließend wurde aus den RoadSTAR-Daten das Längsprofil extrahiert und die Planographensimulation durchgeführt. Der Vergleich Planographenschrieb - Planographensimulation zeigt deutliche Unterschiede bei der Abweichung bzw. Höhe. Das wirkt sich auf die Anzahl und Höhe der Überschreitungen aus.

In Abbildung 7 und Abbildung 7 sind die Ergebnisse von Planographenschrieb und Planographensimulation gegenübergestellt. Die blaue bzw. rote Kurve zeigen die Abweichungen aus der Simulation, die lila/purpurne Kurve zeigt die Abweichung der Planographenmessung. Über den Kurven sind jeweils die Bereiche markiert, in denen es zu einer Überschreitung der 4 mm-Grenze kommt.



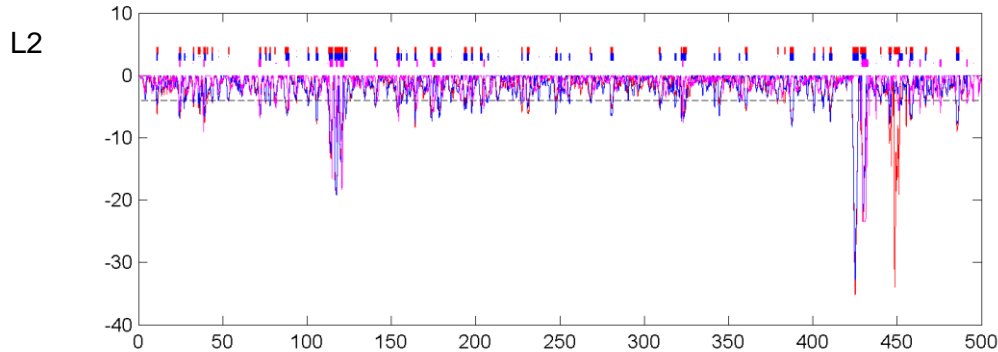


Abbildung 6: Vergleich der Planographenmessung (lila) mit der Planographensimulation (rot: 1. Messung, blau: 2. Messung) der Messstrecken L1 und L2. Im oberen Bereich der Graphen sind Bereiche mit Überschreitungen des derzeitigen Abnahmegrenzwert (4 mm) markiert.

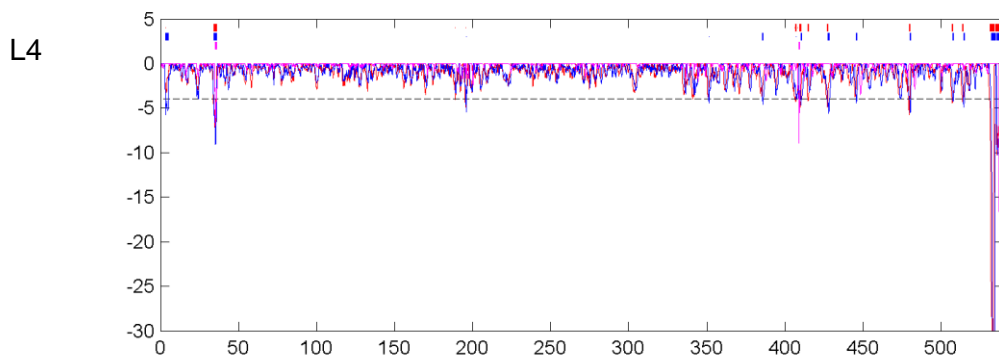
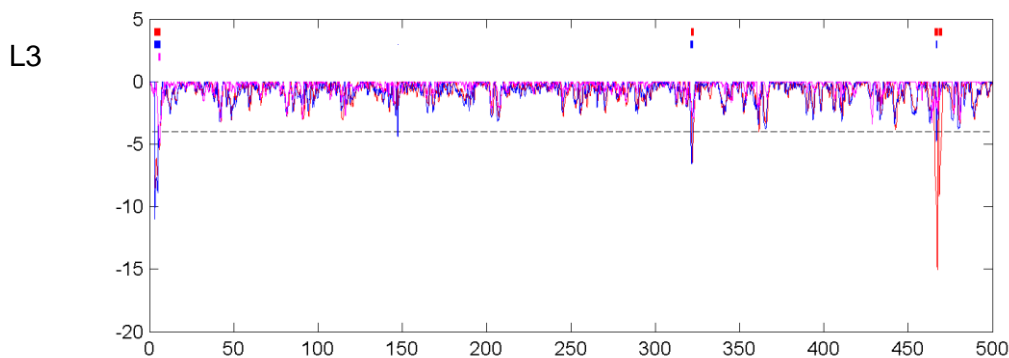


Abbildung 7: Vergleich der Planographenmessung (lila) mit der Planographensimulation (rot: 1. Messung, blau: 2. Messung) der Messstrecken L3 und L4. Im oberen Bereich der Graphen sind Bereiche mit Überschreitungen des derzeitigen Abnahmegrenzwert (4 mm) markiert.

Zu Vergleichszwecken wurde ein weiterer Datensatz aus Deutschland herangezogen. Dabei wurden ebenso mittels Planograph bzw. schnellfahrendem Messfahrzeug 6 Streckenabschnitte befahren. Die Längen der Strecken betragen zwischen 5.100 m und 5.400 m. Wiederum erfolgte die Simulation der gleitenden 4 m-Latte auf dem Profil und

ein Vergleich. Auch bei diesen Messungen zeigt sich, dass die Simulation zu höheren Werten als die Messung führt (vgl. Tabelle 2).

Nachdem die Daten aus Deutschland mit einem anderen Messfahrzeug aufgenommen wurden, ist hier von einer systematischen Differenz auszugehen. Es zeigt sich bei beiden Vergleichen, dass die Simulation eine größere Anzahl der Überschreitungen feststellt. Der Mittelwert der Abweichungen der Simulation liegt ebenfalls deutlich über der Messung (30,5 bis 87,8 % Erhöhung).

Tabelle 2: Vergleich Planographenmessung und Planographensimulation.

Strecke	Anzahl Überschreitungen Planograph	Anzahl Überschreitungen Simulation	Mittelwert Planograph [mm]	Mittelwert Simulation [mm]	Differenz Simulation-Planograph in %
1	24	23	0,51	0,68	35,1%
2	24	23	0,51	0,66	30,5%
3	24	32	0,47	0,85	80,2%
4	24	26	0,47	0,84	77,0%
5	7	8	0,40	0,76	88,4%
6	7	10	0,40	0,76	87,8%

Es wurden weitere Untersuchungen vorgenommen, um eine bessere Übereinstimmung der Simulation mit der Messung zu erhalten. Nachdem die Aufstandsfläche der Räder des Planograph größer ist als die Laser-Spotgröße, mit der das Profil gemessen wird, kann man von einer Abrundung des Profils durch das Planographenrad ausgehen (sog. Latsch). Mathematisch würde das einer Bandpass-Filterung entsprechen. Das Profil wurde somit gefiltert und die untere Grenzwellenlänge schrittweise erhöht. Dazu wurde ein Bereich von 0,5 m (Standardgrenzwellenlänge) bis 2 m untersucht. Die beste Übereinstimmung des Mittelwertes zwischen Simulation und Messung konnte bei einer Wellenlänge von 1,8 m erzielt werden. Gleichzeitig nahm aber auch die Anzahl der Überschreitungen mit steigender Grenzwellenlänge ab, sodass die beim 1,8 m Wellenlänge nun wesentlich weniger Überschreitungen als bei der Messung vorhanden waren. Schlussendlich konnte keine befriedigende Übereinstimmung von Simulation und Messung erzielt werden.

Für alle Abnahmestrecken, für die Planographenmessungen vorlagen, wurde auch die Planographensimulation berechnet und die Ergebnisse gegenübergestellt. Obwohl auf einigen Strecken gute Übereinstimmungen erzielt werden konnten, ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse generell nicht gegeben. In den folgenden Abbildung 8 und Abbildung 9 sind beispielhaft Vergleiche zwischen Planographenmessung und –simulation dargestellt. Dabei sind Überschreitungen der Messung in grün, die Überschreitungen der Simulation in rot, dargestellt. Die blaue Linie zeigt die Simulation des Planographen, die grünen Kreise zeigen die Größe der Überschreitung der Messung.

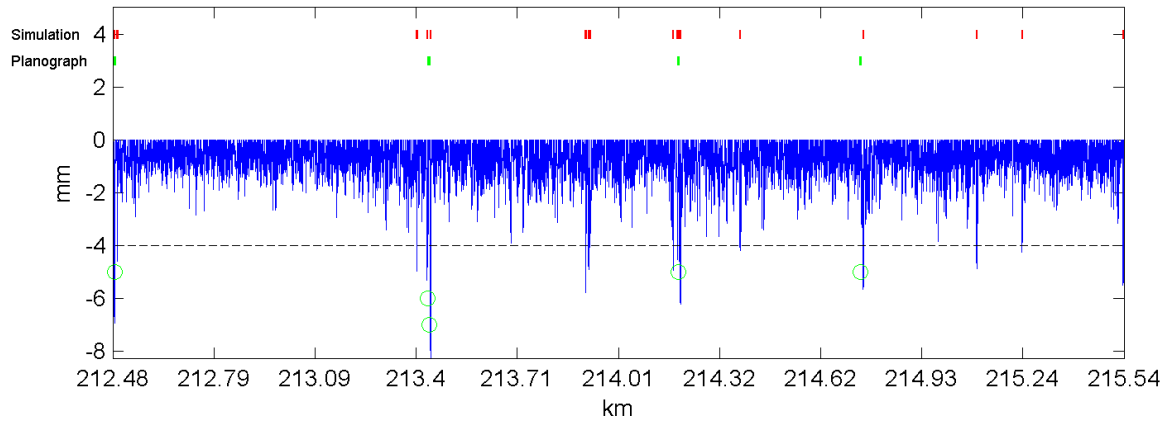


Abbildung 8: Abnahmeprüfung 21, A2 RFB Italien, km 212,48 - km 215,54

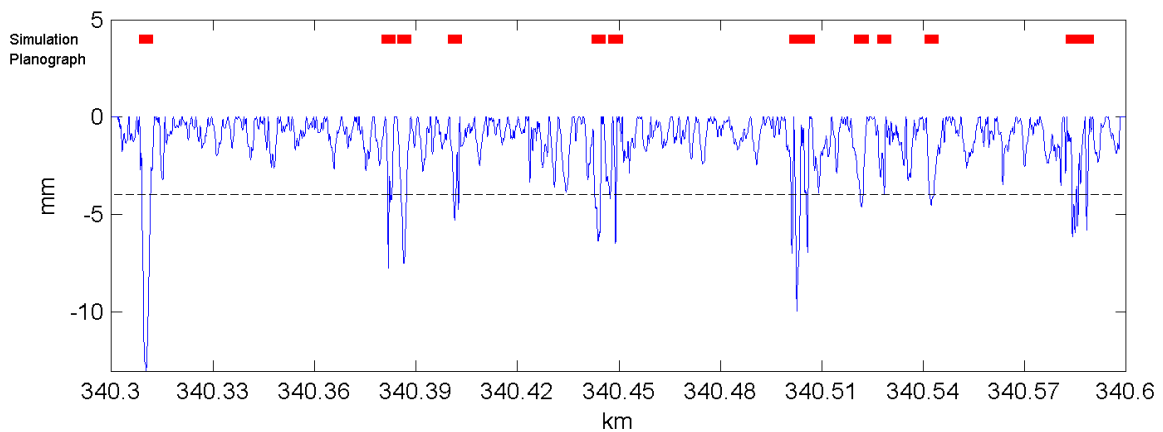


Abbildung 9: Abnahmeprüfung 23, A2 RFB Italien, km 340,3 - km 340,6

Während im oberen Beispiel eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung erzielt wurde, sind im unteren Beispiel deutliche Überschreitungen in der Simulation zu sehen, aber keine einzige Überschreitung in der Messung.

Alle Strecken wurden visuell bezüglich der Übereinstimmung Planographenmessung/Planographensimulation beurteilt. Es wurde eine dreistufige Skala (Sehr gute Übereinstimmung, einige Übereinstimmungen, kaum/keine Übereinstimmungen) verwendet. Das Ergebnis ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Bewertung der Übereinstimmung Planographenmessung/Planographensimulation auf Abnahmestrecken 2013

Bewertung	Anzahl Strecken	Anzahl Strecken relativ
Bewertung 1: Sehr Gut	22	23,4 %
Bewertung 2: einige Übereinstimmungen	22	23,4 %
Bewertung 3: kaum/keine Übereinstimmung	50	53,2 %
Gesamt	94	100,0 %

Insgesamt muss festgehalten werden, dass die Simulation auf dem berechneten Längsprofil nicht geeignet ist, die tatsächliche Messung mit dem Planograph zu ersetzen.

4 ABLEITUNG VON GRENZWERTEN FÜR σ_{WLP} UND Δ_{WLP}

Bereits im Bericht zum Straßenforschungsprojekt 3.301 wurde ein Vorschlag für einen Bewertungshintergrund für die Hauptfahrbahnen des Autobahnnetzes erarbeitet. Die Grenzwerte für σ_{WLP} bzw. Δ_{WLP} wurden dabei aus einem Zusammenhang mit dem in Deutschland verwendeten Parameter AUN bzw. der spektralen Leistungsdichte abgeleitet. σ_{WLP} ist die Fläche unter der spektralen Leistungsdichte, deren linearisiertes Spektrum durch AUN, Welligkeit w (entspricht der Steigung des linearisierten Spektrums) sowie der unteren und oberen Grenzwellenlänge bestimmt wird. Die Welligkeit wurde mit $w=2,6$ festgelegt, die Grenzwellenlängen ergeben sich aus der Definition der Längsebenheit mit $L_{min} = 0,5$ m sowie $L_{max} = 50$ m. Somit bleibt der AUN als zu verändernde Größe, er bestimmt den Flächeninhalt unter der Kurve.

Der derzeit in Deutschland verwendete Bewertungshintergrund sieht Zielwert, Schwellwert und Warnwert für den AUN vor. Es ist kein Abnahmewert definiert, das Abnahmekriterium ist so wie in Österreich derzeit der Planograph.

Folgende Werte werden in Deutschland verwendet:

$$AUN_{Zielwert} = 1 \text{ cm}^3$$

$$AUN_{Warnwert} = 3 \text{ cm}^3$$

$$AUN_{Schwellenwert} = 9 \text{ cm}^3$$

Für die Festlegung der Spannweite Δ_{WLP} wird die dreifache Standardabweichung verwendet, die 99,7 % der Werte (unter Annahme einer Normalverteilung) enthält.

$$\Delta_{BLP} = 2 \cdot 3 \cdot \sigma_{BLP}$$

Daraus ergeben sich für σ_{WLP} und Δ_{WLP} die in Tabelle 4 angegebenen Werte.

Tabelle 4: Aus AUN abgeleiteter Bewertungshintergrund des bewerteten Längsprofils [1].

	σ_{WLP} [mm]	Δ_{WLP} [mm]
Zielwert	4,2	25,2
Warnwert	7,2	43,2
Schwellenwert	12,5	75,0

Als Abnahmegrenzwert wurde ein Wert zwischen Zielwert und Warnwert basierend auf $AUN = 2 \text{ cm}^3$ vorgeschlagen, womit sich die Abnahmewerte für das bewertete Längsprofil mit

$\sigma_{WLP_Abnahme} = 5,9$ mm sowie $\Delta_{WLP_Abnahme} = 35,4$ mm ergeben.

Zur Überprüfung wurde nun das gesamte Kollektiv der Abnahmestrecken mit verschiedenen Werten für σ_{WLP} (und sich daraus ergebende Δ_{WLP}) untersucht und die Anteile der 50 m-Abschnitte berechnet, bei denen der Grenzwert nicht eingehalten worden wäre. Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen.

Die Verringerung (=Verschärfung) des Grenzwertes zeigt erwartungsgemäß ein Ansteigen der Abschnitte mit negativer Bewertung. Bei $\sigma_{WLP} = 5,7$ mm liegen die Anteile der negativen Abschnitte in etwa gleichauf mit dem des Planographen.

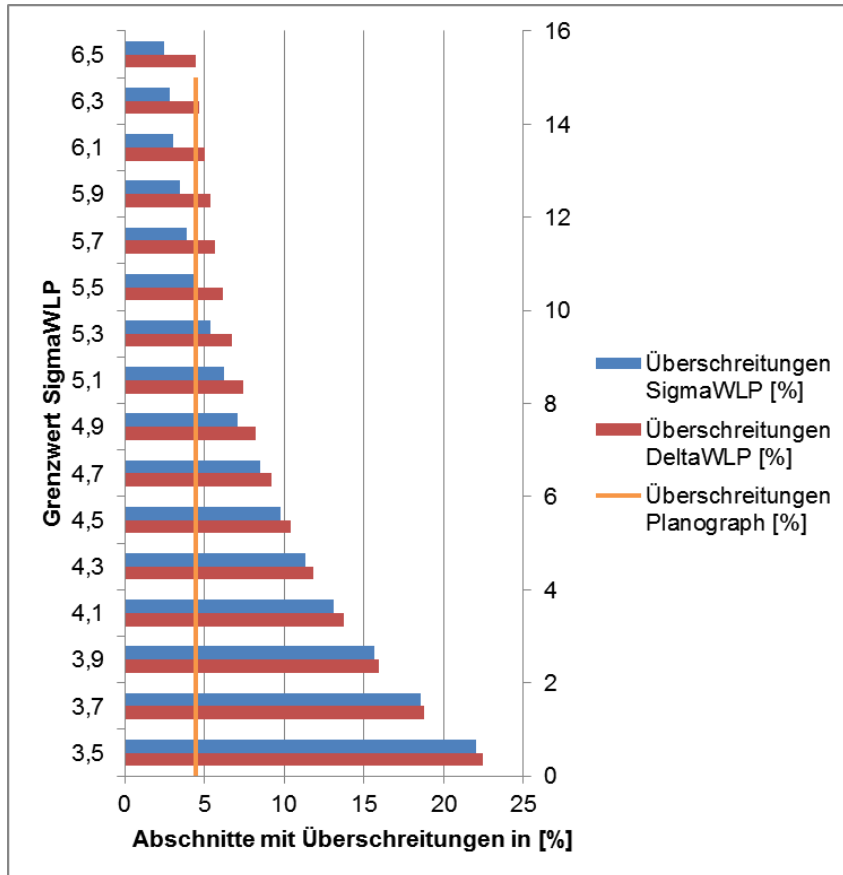


Abbildung 10: Anteil der Überschreitungen des Grenzwertes für σ_{WLP} bei Abnahmeprüfungen im Jahr 2013

A ≈m Planograph
 nicht alle Formen der Unebenheit erfasst und bewertet werden, die vom Straßennutzer als störend wahrgenommen werden. Von dieser Überlegung ausgehend muss angenommen werden, dass ein höherer Anteil als die 4,5 % vom Planograph negativ beurteilter Abschnitte existieren muss, der nicht den Anforderungen entspricht. Zum Vergleich wird der Parameter Griffigkeit herangezogen, für den seit 2003 Anforderungen an neu hergestellte Fahrbahndecken gelten. Bei Einführung des Abnahmegrenzwertes waren ca. 30 % der geprüften Abschnitte mangelhaft. In der Zwischenzeit hat sich dieser Anteil auf ca. 5 % - 7 % deutlich reduziert [9]. Aus dieser Überlegung scheint ein niedrigeres, weitaus „schärferes“ Kriterium, gerechtfertigt.

Mit Blick auf die Geschichte kann festgehalten werden, dass Ausführungsmängel auf bestimmten Abschnitten am ASFINAG-Netz, die aufgrund ihrer hohen Verkehrsbedeutung im besonderen Blickpunkt der Öffentlichkeit standen, das Interesse auf die korrekte Ausführung der Längsebenheit gelenkt haben. Als Beispiel sei hier die Sanierung der A2 Südautobahn im Bereich Stadtgrenze Wien in Fahrtrichtung Vösendorf genannt. Aufgrund eines defekten Betonfertigers wurde eine kurzweilige Unebenheit in die Fahrbahn einge-

bracht, die bei der dort vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h als sehr störend vom Benutzer wahrgenommen wird. Bei PKW mit härterer Fahrwerksabstimmung beginnt auf diesem Abschnitt z.B. die Hutablage zu klappern, allgemein wird vom Benutzer eine unangenehme Vibration wahrgenommen. Für einen neu hergestellten Abschnitt ist dieses Ergebnis für den Benutzer unverständlich, entsprechende Medienberichterstattung sowie Nutzerbeschwerden waren die Folge. Die Abnahme mittels Planograph wies allerdings keine Mängel auf – die kurzweiligen Anregungen wurden vom Planograph bauartbedingt nicht aufgezeichnet bzw. bewertet. Diese oder ähnliche Probleme existieren auch auf anderen Abschnitten im ASFINAG-Netz.

Es liegt also im Interesse des Bauherrn, den Abnahmegrenzwert so anzusetzen, dass solche Unebenheitsprobleme negativ bewertet werden. Umgekehrt soll der Grenzwert so angesetzt werden, dass er bei korrekter Bauausführung auch eingehalten werden kann.

Es wird daher ein Grenzwert von $\sigma_{WLP_Abnahme} = 4,1$ mm sowie $\Delta_{WLP_Abnahme} = 24,6$ mm vorgeschlagen. Bei Durchsicht der Abnahmestrecken zeigt sich, dass dieses Kriterium bei guter Bauausführung deutlich unterschritten werden kann, andererseits unerwünschte Unebenheiten sicher erkannt und negativ bewertet werden. So wurde zum Vergleich der oben erwähnte Abschnitt A2 Vösendorf bewertet. Die Messung des Längsprofils erfolgte unmittelbar nach der Verkehrsfreigabe und entspricht somit dem Neubauzustand. Es zeigt sich, dass im Neubaubereich die Grenzwerte öfter überschritten wird, während die unmittelbar anschließende Bestandsstrecke – zum damaligen Zeitpunkt ein Jahr alt – die Grenzwerte großteils eingehalten bzw. deutlich unterschritten wurden. Als weiteres Beispiel ist die Betonfahrbahn im Pfändertunnel angeführt, die eine deutliche Periodizität aufweist. Hier treten bei σ_{WLP} auf dem Großteil der Strecke Überschreitungen auf, während vom Planograph nur vereinzelt Stellen negativ beurteilt werden. Eine detaillierte Darstellung der beiden Strecken mit Längsprofil, Planographenüberschreitungen sowie einem Vergleich von WLP und Planograph sind in Anhang 2 dargestellt.

Bei Anwendung der vorgeschlagenen Grenzwerte hätten im Jahr 2013 13,1 % (σ_{WLP}) bzw. 13,7 % (Δ_{WLP}) der 50 m-Abschnitte das Kriterium nicht erfüllt. Danach wurde überprüft, in wieweit die Abschnitte, in denen mit dem Planograph Überschreitungen gemessen wurden, auch die Grenzwerte von $\sigma_{WLP_Abnahme}$ und $\Delta_{WLP_Abnahme}$ überschritten wurden. Bei 98,2 % der Abschnitte liegt eine Übereinstimmung von Planograph und σ_{WLP} vor, bei 98,3 % der Abschnitte eine Übereinstimmung von Planograph und Δ_{WLP} . Damit ist sichergestellt, dass bei Anwendung des WLP keine Abschnitte „übersehen“ werden, die bei der Prüfung mit dem Planograph über dem Grenzwert liegen. Es ist bei diesem Vergleich jedoch zu berücksichtigen, dass die Position der Messspur in Querrichtung bei Planograph und WLP unterschiedlich ist – die Planographenmessung erfolgt üblicherweise in Fahrstreifenmitte, während das Längsprofil für die WLP-Berechnung in der rechten Radspur ermittelt wird. So würde z.B. ein zu tief eingesetzter Kanaldeckel in der Fahrbahnmitte vom Planograph bewertet, nicht jedoch vom WLP.

4.1 Abzugsformel für Pönalisierung von Überschreitungen

Bei der Entwicklung der Abzugsformel wurde versucht, dem derzeit gängigen System der RVS 11.03.21 bzw. RVS 08.17.02 zu folgen. In beiden Richtlinien werden die betroffene Fläche, der Einheitspreis sowie die prozentuelle Überschreitung, für gewöhnlich quadriert, angesetzt, sowie ein Gewichtungsfaktor. Anders als die Abzugsformel für die Planographenmessung wird für die entwickelte WLP-Abzugsformel die betroffene Fläche ange-

setzt, da es sich um einen 50 m-Wert handelt. Analog zu den Abzugsformeln für Griffigkeit wird eine Obergrenze vorgeschlagen, bei deren Überschreiten keine Übernahme erfolgt. Nachdem beim WLP zwei kennzeichnende Größen zur Verfügung stehen, wird vorgeschlagen, die Abzüge für σ_{WLP} und Δ_{WLP} getrennt zu berechnen und den höheren der beiden Abzüge anzusetzen.

Die Formel lautet somit:

$$A = \max\left(\sum_{i=1}^n p_{i,\Delta_{WLP}}^2 \times EP \times F \times f, \sum_{i=1}^n p_{i,\sigma_{WLP}}^2 \times EP \times F \times f\right)$$

- mit A Abzug für Überschreitungen [0,01 €]
 p (Grenzwert – Messergebnis) * 100 : Grenzwert
 EP.... Einheitspreis [€/m²]
 F betroffene Fläche [0,01 m²]
 f Gewichtungsfaktor 0,01

Bei Überschreitung des Wertes von $\sigma_{WLP} = 7,2$ mm sowie $\Delta_{WLP} = 43,2$ mm erfolgt keine Übernahme und der Auftragnehmer hat geeignete Maßnahmen zur Verbesserung vorzunehmen.

Für alle vorhandenen Abnahmeprüfungen des Jahres 2013 wurde die oben genannte Formel angewandt und die Abzüge berechnet (vgl. Tabelle 5). Als Einheitspreis wurde wie in Kapitel 3.3 ein Wert von EP = 7 EUR/m², als Einbaubreite zur Ermittlung der betroffenen Fläche die Fahrstreifenbreite von 3,75 m angesetzt. Weiters wurden für alle Strecken die Abzüge pro Kilometer Messstrecke berechnet (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 5: Statistik zur Berechnung der Qualitätsabzüge gemäß Formel oben - pro Messstrecke gesamt

Mittelwert	5.206,19	EUR
Median	2.555,19	EUR
Minimum	0,00	EUR
Maximum	37.304,07	EUR

Tabelle 6: Statistik zur Berechnung der Qualitätsabzüge gemäß Formel oben - pro km Messstrecke

Mittelwert	2.633,68	EUR
Median	1.542,79	EUR
Minimum	0,00	EUR
Maximum	25.011,15	EUR

In Abbildung 11 ist die Verteilung der Abzüge pro Messstrecke dargestellt. Es zeigt sich, dass bei 50 % der Strecken Abzüge geringer als 5.000 EUR sind, bei 80 % der Strecken sind es weniger als 17.250 EUR. In Abbildung 12 sind die Abzüge wiederum bezogen auf den km Messstrecke dargestellt. 99 % der Werte liegen unter 8.000 EUR Abzug pro km Messstrecke. Eine Justierung der Abzüge ist einfach über eine Änderung des Gewichtungsfaktors möglich.

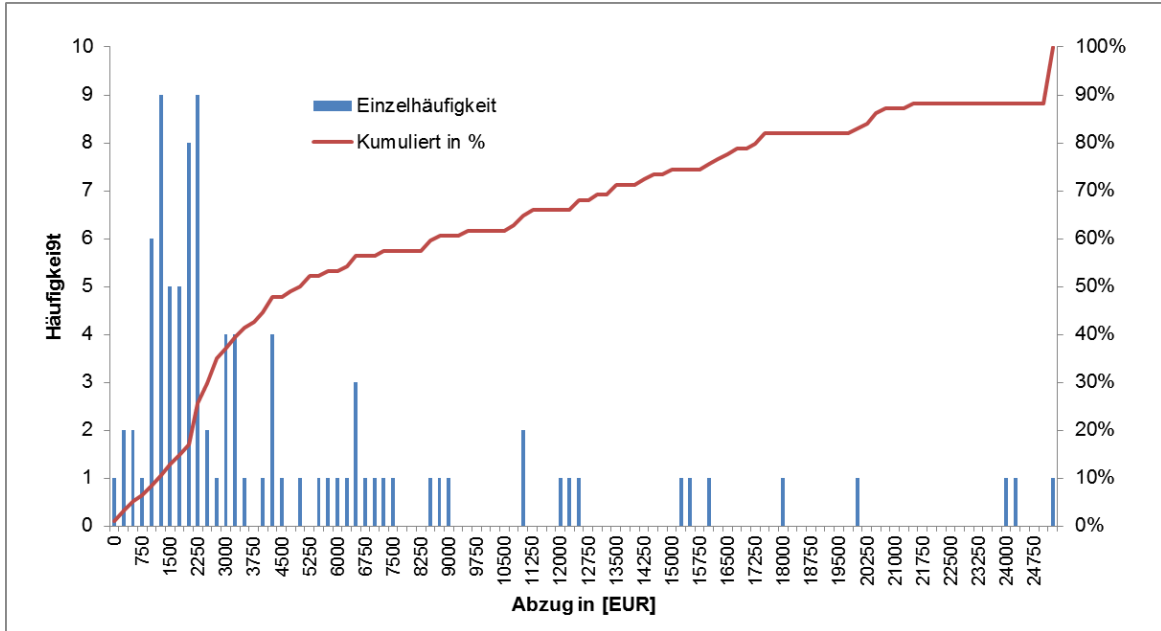


Abbildung 11: Einzel- und Summenhäufigkeit der Qualitätsabzüge pro Messstrecke.

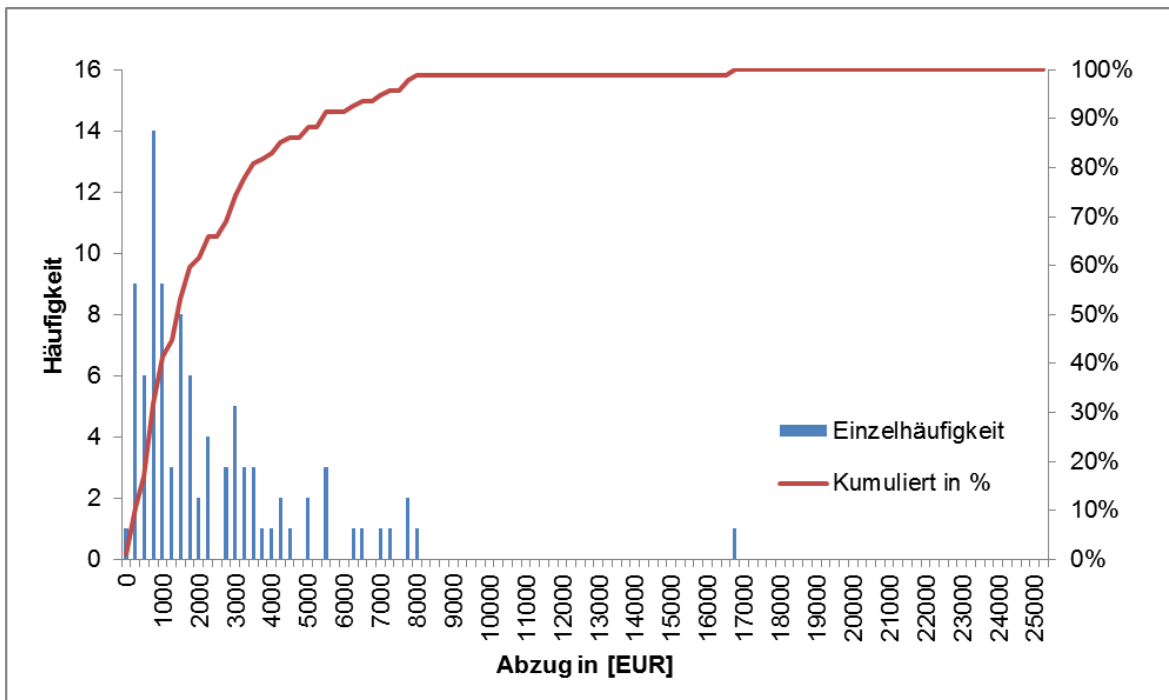


Abbildung 12: Einzel- und Summenhäufigkeit der Qualitätsabzüge pro Kilometer Messstrecke.

5 AUSWIRKUNGEN DER EINFÜHRUNG DES WLP AUF DAS ASSET MANAGEMENT SYSTEM DER ASFINAG

5.1 Einleitung

Die folgende statistische Auswertung der WLP-Daten, welche in den letzten Jahren auf dem ASFiNAG-Netz erhoben wurden, dient zur Abschätzung der Entwicklung von WLP-Parametern (Δ_{WLP} und σ_{WLP}) über die Zeit bzw. Verkehrsbelastung und somit als Grundlage für die Straßenzustandsprognose im PMS (Pavement Management System) der ASFiNAG.

Jedes moderne PMS, welches auf die Methodik der Lebenszyklusanalyse zurückgreift, benötigt Modelle, die die zeitliche Veränderung von bestimmten (technischen) Eigenschaften beschreiben. Die Aussagegenauigkeit einer solchen Analyse hängt dabei wesentlich von den verwendeten Prognosemodellen ab. Im Bereich des Pavement Managements sprechen wir von sogenannten Zustandsprognosemodellen oder Verhaltensfunktionen, die bestimmte Eigenschaften des Straßenoberbaus – in diesem Fall des Fahrbahnzustandes – über eine bestimmte Periode vorhersagen. Je genauer diese Modelle sind, desto genauer können auch Erhaltungsmaßnahmen und die damit verbundenen Auswirkungen vorhergesagt werden, wobei die Auswirkungen in Form von monetären oder nicht-monetären Größen letztendlich die Entscheidungen des Straßenerhalters, der ASFiNAG bzw. des BMVIT, nachhaltig beeinflussen.

5.2 Straßenzustandsprognose Längsebenheit

5.2.1 Zustandsprognosemodelle Längsebenheit in Österreich

Unter Heranziehung der erstmals in 1990er Jahren systematisch erfassten Straßenzustands- und Oberbauinformationen wurden im Rahmen des Straßenforschungsprojektes **Statistische Methoden zur Auswertung von Straßenzustandsdaten** [10] vom Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien (Prof. J. Litzka, Dr. C. Molzer und Dr. A. Weninger-Vycudil) gemeinsam mit dem Institut für Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie der TU-Wien (Prof. K. Felsenstein, Prof. R. Viertl) empirische Straßenzustandsprognosemodelle für das PMS im Jahr 2000 entwickelt. Diese Modelle wurden unter Heranziehung aktueller Zustandsdaten der bundesweiten Zustandserfassungen 1999 bis 2002 im Auftrag des BMVIT und der ASFiNAG im Jahr 2002 nochmals aktualisiert (siehe hierzu [11]) und stellen somit die Basis für die Zustandsprognose im PMS dar.

Da es sich bei diesen Modellen ausschließlich um Verhaltensfunktionen handelt, die auf empirischen Daten basieren, kann hier von empirischen Zustandsprognosemodellen gesprochen werden, die in ihrer Formulierung die österreichische Situation (Art und Eigenschaft der erklärenden Variablen bzw. Eingangsparameter) abbilden. Die Entwicklung der Modelle erfolgte auf der Basis eines semi-probabilistischen Ansatzes (Bayes-Verfahren), wobei die Modelle als deterministische Funktionen im PMS der ASFiNAG (VIAPMS-ASFiNAG) zur Anwendung gelangen.

Das Ergebnis der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Österreich ist die nachfolgend dargestellte Verhaltensfunktion für die Längsebenheit (siehe **Abbildung 13**) unter Heranziehung des International Roughness Index (IRI):

Verhaltensfunktion Längsebenheit

$$ZG_{LE,g} = a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} + \frac{b \cdot \text{NLW}_{\text{kum}}}{100000}$$

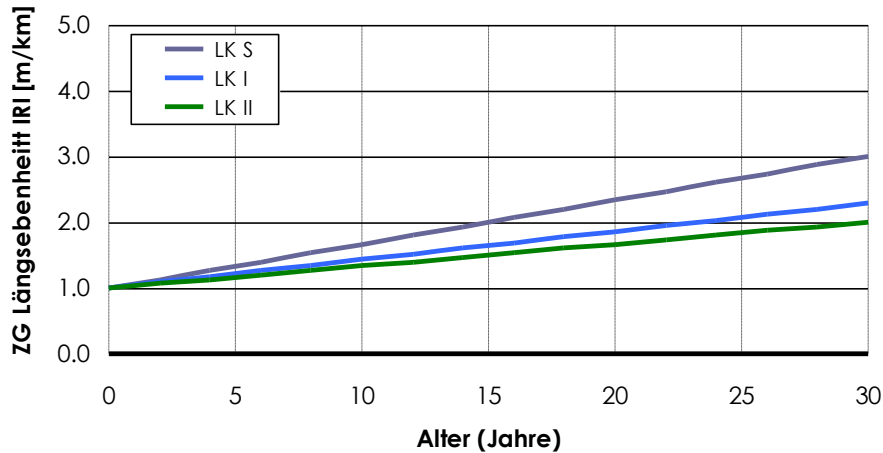


Abbildung 13: Verhaltensfunktion Längsebenheit Bautype BT14_N (Asphalt, Neubau, Bundesstraßen) nach [13]

Alter_{Decke} Alter der Decke

NLW_{kum} kumulierte Lastwechsel

a, b Modellparameter (siehe Tabelle 7 für Bundesstraßen)

Die Auswahl der entsprechenden Parameter a und b erfolgt in Abhängigkeit von der Oberbaukonstruktion sowie dem jeweiligen Anwendungsbereich (Bundesstraßen oder Landesstraßen). Für das Bundesstraßennetz können die Werte der nachfolgende Tabelle 7 entnommen werden.

Bautype	Längsebenheit	
	a	b
BT14_N	0,0603	0,0032
BT14_N_DD	0,0770	0,0032
BT14_V	0,0603	0,0032
BT14_V_DD	0,0770	0,0032
BT14_D	0,0770	0,0032
BT14_D_DD	0,0770	0,0032
BT56_N	0,0437	0,0032
BT56_N_D	0,0687	0,0032
BT56_D_D	0,0603	0,0032

Tabelle 7: Modellparameter Verhaltensfunktionen für Bundesstraßen

5.3 Kalibrierung empirischer Zustandsprognosemodelle

Für eine Verbesserung der Aussagegenauigkeit ist zumindest eine abschnittsbezogene Kalibrierung unter Heranziehung der lokalen Einflussgrößen und des auf dem Abschnitt vorzufindenden Straßenzustandes unausweichlich. Das Verfahren für diese 1. Stufe der Kalibrierung wurde auch in Österreich entwickelt (siehe hierzu Handbuch Pavement Managen in Österreich 2009 [12]) und stellt den Stand der Technik für die praktische Anwendung von empirischen Zustandsprognosemodellen im PMS der ASFiNAG dar.

Das Ziel dieser abschnittsbezogenen Kalibrierung liegt in der Definition einer abschnittsbezogenen Verhaltensfunktion. Aus diesem Grund muss das Zustandsprognosemodell mit den abschnittsbezogenen Informationen verknüpft werden. Dies geschieht einerseits durch die Eingabe der Werte der erklärenden Variablen und Modellparameter in das Modell und andererseits durch eine Anpassung des Verlaufs der Funktion unter Verwendung von auf diesem Abschnitt gemessenen evtl. gemittelten Zustandsgrößen. Nach [13] kann die „Adjustierung“ der Verhaltensfunktion an die abschnittsbezogene Zustandsgröße durch eine

- Änderung des Funktionsverlaufs mit Hilfe eines **Kalibrierfaktors** (Änderung der Krümmung) oder durch eine
- Verschiebung der Verhaltensfunktion mit Hilfe eines **Kalibriervektors**

durchgeführt werden. Welche Methode verwendet wird, hängt von den zu beachtenden Randbedingungen des Zustandsmerkmals sowie von der Verhaltensfunktion selbst ab (Details siehe hierzu Handbuch Pavement Managen in Österreich 2009 [12]). Für die Längsebenheit in Form des International Roughness Index (IRI) wird ein Kalibriervektor verwendet, der die Funktion in den Ausgangswert für die Prognose vertikal verschiebt.

5.4 Pavement Management System der ASFiNAG

Das PMS der ASFiNAG mit der Bezeichnung VIAPMS-ASFiNAG liefert derzeit wesentliche Grundlagen für die Festlegung von Erhaltungsmaßnahmen auf technischer Ebene. Durch die systematische Anwendung des PMS ist es seit mehr als 14 Jahren möglich, eine relativ genaue Prognose des Straßenzustandes für unterschiedliche RVS-konforme Zustandsmerkmale (Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit, Risse und Oberflächenschäden) durchzuführen und unter Berücksichtigung von budgetären Grenzwerten die optimalen Erhaltungsmaßnahmen auf jedem untersuchten Streckenabschnitt abzuschätzen. Die als Randbedingung definierten jährlichen Erhaltungsbudgets werden im Zuge einer Kostenwirksamkeitsanalyse und einer darauf basierenden heuristischen Optimierung bestmöglich eingesetzt, sodass von einer (betriebs)wirtschaftlich optimierten Lösung gesprochen werden kann.

Methodisch kann bei der Anwendung von VIAPMS-ASFiNAG von einer erweiterten Lebenszyklusbewertung bzw. Lebenszykluskostenanalyse (LCCA) gesprochen werden. Das PMS untersucht dabei unterschiedliche Maßnahmenstrategien (für jeden einzelnen Untersuchungsabschnitt) in Form einer Gegenüberstellung der Kosten und des Nutzens und versucht unter Berücksichtigung der monetären Vorgaben die optimale Lösung über das gesamte untersuchte Straßennetz durch die Anwendung eines heuristischen Optimierungsansatzes zu ermitteln. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik kann dem Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [12] entnommen werden.

Die praktische Anwendung des PMS erfolgt durch die kommerzielle Software VIAPMS™ (kanadischer Originalname dTIMS CT™), welche neben der ASFiNAG von einer Vielzahl

von öffentlichen und privaten Straßenverwaltungen in Österreich und auf der ganzen Welt verwendet wird.

5.5 Statistische Auswertung WLP-Daten

5.5.1 Vorgehensweise

Wie bereits erwähnt, wurden die in den Jahren 2009 und 2014 erhobenen WLP-Daten (Δ_{WLP} und σ_{WLP}) einer statistischen Auswertung unterzogen. Hierfür wurden die in Form von 50m-Werten vorliegenden Daten in das PMS der ASFiNAG (VIAPMS-ASFiNAG) implementiert und mit anderen erhaltungsrelevanten Daten (Oberbau, Alters- und Verkehrsdaten) verknüpft.

Die darauf aufbauende statistische Analyse unter Heranziehung des Statistikprogrammes SPSSTM diente zur Ermittlung einer zeitabhängigen Veränderung der WLP-Merkmale in Abhängigkeit von unterschiedlichen erklärenden Variablen. Dazu wurden neben deskriptiven Statistiken auch Kurvenanpassungen in Form von Regressionsanalysen durchgeführt.

5.5.2 Datenaufbereitung

Für die statistischen Analysen müssen die Daten so aufbereitet werden, dass sie in Form von Datentabellen die zu berücksichtigenden Informationen beinhalten. Für die gegenständliche statistische Analyse wurden folgende Parameter herangezogen:

Kennwerte der Längsebenheit

- Δ_{WLP} aus Erfassung 2009 und 2014
- σ_{WLP} aus Erfassung 2009 und 2014
- IRI (International Roughness Index) aus Erfassung 2009 und 2014
- Quotient aus $\Delta_{WLP} / \sigma_{WLP}$
- Jährliche Änderungsrate Δ_J von Δ_{WLP} , σ_{WLP} und $\Delta_{WLP} / \sigma_{WLP}$ (aus Vergleich zwischen 2014 und 2009)

Abschnittskennwerte

- Abschnittslänge, für Längengewichtung der Daten

Oberbaukennwerte

- Alter Decke als Ganzzahl und als Kategorisierung in 6 Altersklassen (A: 0-10 Jahre, B: 11-15 Jahre, C: 16-20 Jahre, D: 21-25 Jahre, E: 26-30 Jahre, F: > 30 Jahre)
- Bautype bzw. Bauweise in 3 Kategorien (Asphaltbauweise, Betonbauweise, Betonbauweise mit Asphaltdecke)

Verkehrsbelastung bzw. -beanspruchung

- Gesamtverkehrsbelastung JDTV und JDTLV

Bei den in Form von homogenen Abschnitten zusammengeführten Daten handelt es sich um ca. 240.000 Rohdatensätze. Die Datensätze beziehen sich auf unterschiedliche Abschnittslängen und wurden daher bei der Analyse mit einer Längengewichtung versehen. Datensätze, die nicht vollständig zur Verfügung standen wurden vor der Analyse automatisiert ausgefiltert.

5.5.3 Statistische Kennwerte

Für die Beurteilung der Dateneigenschaften und des Verhaltens bzw. der zeitabhängigen Änderungen der oben aufgelisteten Kennwerte der Längsebenheit wurden folgende statistische Kennzahlen herangezogen:

Deskriptive Statistik

- Mittelwert
- 95% Konfidenzintervall des Mittelwertes
- Median
- Varianz
- Standardabweichung
- Minimum
- Maximum
- Spannweite
- Perzentile (5, 10, 25, 50, 75 und 95%)

Modelle Regressionsanalysen (Kurvenanpassung)

- Linear $y=b_0+b_1 \cdot x$
- Quadratisch $y=b_0+b_1 \cdot x+b_2 \cdot x^2$
- Logarithmisch $y=b_0+b_1 \cdot \ln(x)$
- Invers $y=b_0+b_1/x$
- Kubisch $y=b_0+b_1 \cdot x+b_2 \cdot x^2+b_3 \cdot x^3$
- Produkt $y=b_0 \cdot b_1^x$
- Potentiell $y=b_0 \cdot x^{b_1}$
- Exponentiell $y=b_0 \cdot e^{(b_1 \cdot x)}$
- Wachstum $y=e^{(b_0+b_1 \cdot x)}$ bzw. $y=e^{(b_0+b_1/x)}$

Die erklärende (unabhängige) Variable x nimmt zunächst das Alter und anschließend die Verkehrsbelastung (JDTV und JDTLV) ein. Auf eine Regressionsanalyse mit mehreren erklärenden Variablen wird erst auf der Grundlage der Ergebnisse der einfachen Regressionsanalysen näher eingegangen (schrittweise Vorgehensweise).

5.6 Zeitliche Veränderung der Kennwerte der Längsebenheit (Änderungsrate)

Als erste Analyse wurde die zeitabhängige Veränderung der Kennwerte der Längsebenheit (siehe 5.5.2) untersucht. Dabei wurde jede Alterskategorie (A bis F, siehe 5.5.2) und jede der 3 Bautypenkategorie (Asphalt, Beton, Asphaltdecke auf Beton) individuell einer Analyse unterzogen, um festzustellen, ob die jährlichen Veränderungen (Änderungsraten) Δ_j in den unterschiedlichen Kategorien zu einer signifikanten Änderung führen. Diese Vorgehensweise wird bei der Beurteilung von Zustandsdaten empfohlen bzw. häufig verwendet (siehe [14]) und ermöglicht auch eine rasche Aussage, ob eine Alters- bzw. Beanspruchungsabhängigkeit vorliegt.

Anhand der Ergebnisse ist es möglich, in einem weiteren Schritt zusätzliche Abhängigkeiten festzustellen und ein Prognosemodell auf der Grundlage einer jährlichen Änderungsrate zu formulieren.

Unter Heranziehung der Ergebnisse der Analyse der jährlichen Änderungsraten Δ_j (siehe nachfolgende **Tabelle 8**) lassen sich für die unterschiedlichen Kategorien bzw. Klassifizierungen keine Aussagen ableiten. Die 50%-Perzentile zeigt für alle Bauweisen Schwankungen um den 0-Wert, die sich mit zunehmendem Alter nicht erkennbar verändern. Dies bedeutet, dass für alle 3 Bautypen praktisch keine Änderungen der jährlichen Änderungsrate Δ_j in Abhängigkeit vom Alter erkennbar sind und die Definition eines empirischen Zustandsprognosemodells auf der Grundlage einer jährlichen Änderungsrate nicht zielführend ist.

5.7 Regressionsanalyse Δ_{WLP} und σ_{WLP}

In einem nächsten Schritt wurde für die aufbereiteten Datensätze eine Regressionsanalyse (Kurvenanpassung) unter Heranziehung der oben beschriebenen Modelle vorgenommen. Als unabhängige Variable wurden das Alter (der Decke), der JDTV und der JDTLV-Wert herangezogen. Die Analyse wurde getrennt für alle 3 Bautypen durchgeführt.

Bei keinem der ausgewählten Modelle konnte ein funktionaler Zusammenhang ermittelt werden. Die Bestimmtheitsmaße (R^2) der beurteilten Modelle zeigen in fast allen Fällen keine Erklärungen (Bestimmtheitsmaß $R^2=0$ oder $R^2<0.1$). Die höchsten Bestimmtheitsmaße ($R^2=0.11$, Betonbauweise, Modell $y=b_0*b_1^x$) konnte noch bei den Betondecken unter Heranziehung des Alters der Decke als unabhängige Variable erzielt werden. Die Verkehrsbelastungen zeigen hingegen in allen Fällen keine Abhängigkeiten und ermöglichen somit keine Ableitung eines Prognosemodells.

Da sowohl das Alter als auch die Verkehrsbelastung die maßgebenden altersabhängigen Variablen auf der Beanspruchungsseite darstellen, ist eine Verhaltensfunktion ohne zumindest eine dieser Variablen für das PMS derzeit nicht anwendbar. Aus diesem Grund kann auf eine weiterführende Regressionsanalyse mit mehreren unabhängigen Variablen bei dieser Analyse verzichtet werden.

Kategorie A (0-10 Jahre)		Perzentile						
Kennzahl	Kategorie Bauweise	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Δ_y für Δ_{WLP}	Asphalt	-4.19	-2.01	-0.73	-0.13	0.48	2.26	4.99
	Beton	-2.94	-1.70	-0.78	-0.13	0.48	2.12	6.51
	Beton mit Asphalt	-5.97	-3.83	-1.31	-0.33	0.32	1.71	4.71
Δ_y für σ_{WLP}	Asphalt	-0.34	-0.20	-0.08	-0.02	0.06	0.24	0.52
	Beton	-0.30	-0.20	-0.08	-0.02	0.04	0.16	0.55
	Beton mit Asphalt	-0.48	-0.30	-0.14	-0.05	0.02	0.15	0.42
Δ_y für $\Delta_{WLP}/\sigma_{WLP}$	Asphalt	-0.12	-0.08	-0.04	0.00	0.02	0.08	0.14
	Beton	-0.12	-0.08	-0.04	-0.02	0.02	0.06	0.12
	Beton mit Asphalt	-0.17	-0.11	-0.06	-0.02	0.02	0.06	0.12

Kategorie B (11-15 Jahre)		Perzentile						
Kennzahl	Kategorie Bauweise	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Δ_y für Δ_{WLP}	Asphalt	-4.92	-2.64	-0.86	-0.08	0.63	2.66	4.91
	Beton	-4.00	-2.16	-0.93	-0.16	0.59	3.22	6.98
	Beton mit Asphalt	-7.05	-4.32	-1.53	-0.20	1.38	6.12	.
Δ_y für σ_{WLP}	Asphalt	-0.41	-0.24	-0.10	-0.02	0.08	0.28	0.48
	Beton	-0.32	-0.23	-0.10	-0.02	0.06	0.25	0.71
	Beton mit Asphalt	-0.62	-0.35	-0.13	-0.03	0.13	0.57	.
Δ_y für $\Delta_{WLP}/\sigma_{WLP}$	Asphalt	-0.14	-0.10	-0.04	0.00	0.02	0.08	0.14
	Beton	-0.14	-0.10	-0.04	-0.02	0.02	0.06	0.14
	Beton mit Asphalt	-0.18	-0.12	-0.05	-0.01	0.05	0.15	.

Kategorie C (16-20 Jahre)		Perzentile						
Kennzahl	Kategorie Bauweise	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Δ_y für Δ_{WLP}	Asphalt	-6.76	-4.03	-1.17	-0.12	0.66	2.80	5.21
	Beton	-5.70	-3.21	-1.22	-0.23	0.57	1.83	3.49
	Beton mit Asphalt	-4.41	-2.30	-0.76	0.21	1.47	.	.
Δ_y für σ_{WLP}	Asphalt	-0.56	-0.36	-0.14	-0.02	0.07	0.26	0.47
	Beton	-0.43	-0.30	-0.14	-0.04	0.04	0.16	0.26
	Beton mit Asphalt	-0.41	-0.26	-0.06	0.02	0.14	.	.
Δ_y für $\Delta_{WLP}/\sigma_{WLP}$	Asphalt	-0.18	-0.12	-0.04	-0.02	0.02	0.08	0.14
	Beton	-0.15	-0.10	-0.06	-0.02	0.02	0.07	0.10
	Beton mit Asphalt	-0.12	-0.08	-0.03	0.00	0.06	.	.

Kategorie D (21-25 Jahre)		Perzentile						
Kennzahl	Kategorie Bauweise	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Δ_y für Δ_{WLP}	Asphalt	-5.82	-3.06	-0.86	-0.08	0.73	3.19	5.71
	Beton	-6.39	-3.66	-1.30	-0.33	0.43	1.60	3.56
	Beton mit Asphalt	-8.09	-4.35	-1.30	-0.06	1.65	6.77	.
Δ_y für σ_{WLP}	Asphalt	-0.42	-0.26	-0.10	-0.02	0.08	0.31	0.52
	Beton	-0.46	-0.30	-0.16	-0.04	0.04	0.14	0.22
	Beton mit Asphalt	-0.52	-0.31	-0.14	-0.03	0.10	0.62	.
Δ_y für $\Delta_{WLP}/\sigma_{WLP}$	Asphalt	-0.14	-0.09	-0.04	0.00	0.04	0.10	0.15
	Beton	-0.16	-0.12	-0.06	-0.02	0.02	0.06	0.08
	Beton mit Asphalt	-0.17	-0.12	-0.06	-0.02	0.04	0.17	.

Kategorie E (26-30 Jahre)		Perzentile						
Kennzahl	Kategorie Bauweise	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Δ_y für Δ_{WLP}	Asphalt	-4.78	-2.73	-0.98	-0.16	0.49	3.33	26.06
	Beton	-7.08	-4.21	-1.21	-0.27	0.44	1.69	3.69
	Beton mit Asphalt	-1.83	-0.97	-0.35	.	.	.	.
Δ_y für σ_{WLP}	Asphalt	-0.45	-0.26	-0.11	-0.02	0.04	0.26	1.53
	Beton	-0.62	-0.39	-0.14	-0.04	0.04	0.13	0.28
	Beton mit Asphalt	-0.17	-0.13	-0.07	.	.	.	.
Δ_y für $\Delta_{WLP}/\sigma_{WLP}$	Asphalt	-0.15	-0.09	-0.04	-0.01	0.02	0.07	0.28
	Beton	-0.25	-0.16	-0.06	-0.02	0.02	0.05	0.08
	Beton mit Asphalt	-0.10	-0.07	-0.04	.	.	.	.

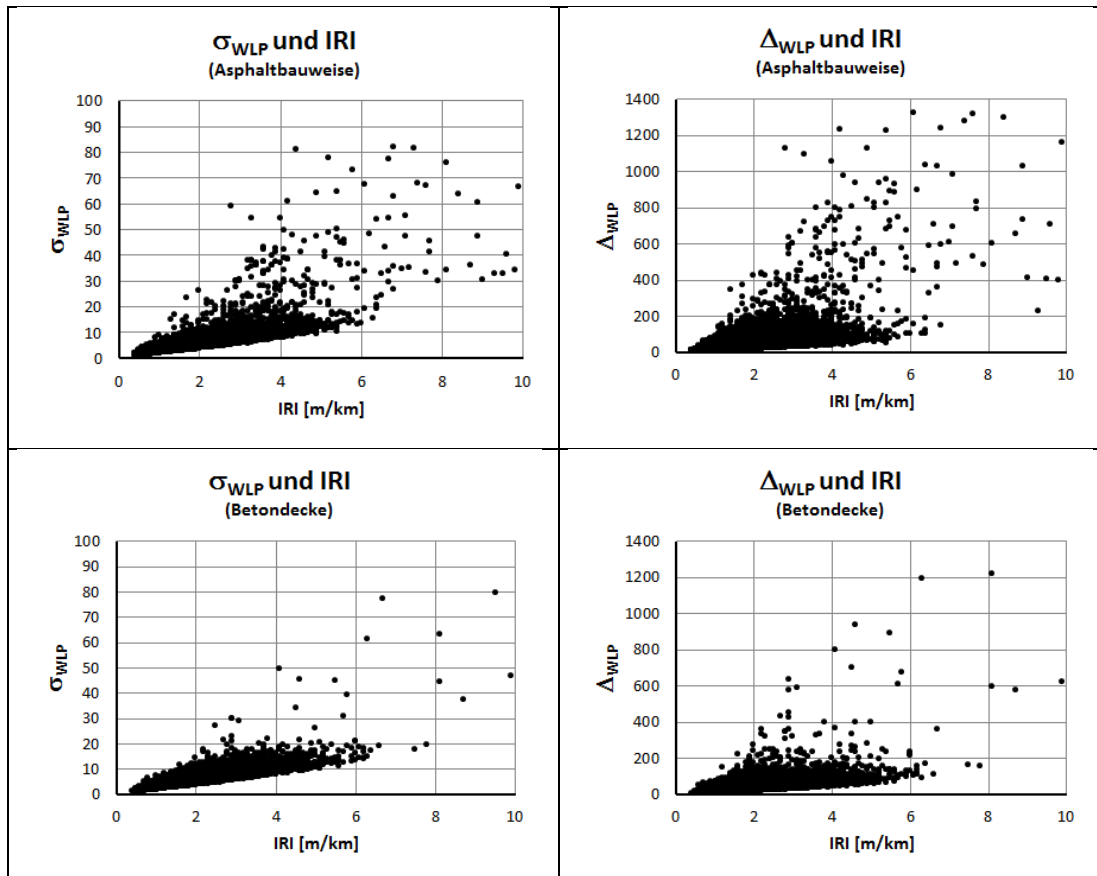
Kategorie F (> Jahre)		Perzentile						
Kennzahl	Kategorie Bauweise	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Δ_y für Δ_{WLP}	Asphalt	-2.74	-1.63	-0.60	-0.12	0.43	5.13	.
	Beton	-5.43	-2.93	-1.11	-0.17	0.90	3.31	5.70
	Beton mit Asphalt	-9.92	-3.12	-0.87	.	.	.	.
Δ_y für σ_{WLP}	Asphalt	-0.30	-0.17	-0.09	-0.04	0.03	0.44	.
	Beton	-0.44	-0.29	-0.14	-0.04	0.06	0.29	0.56
	Beton mit Asphalt	-0.43	-0.33	-0.16	.	.	.	.
Δ_y für $\Delta_{WLP}/\sigma_{WLP}$	Asphalt	-0.12	-0.08	-0.04	-0.02	0.00	0.16	.
	Beton	-0.16	-0.10	-0.06	-0.02	0.03	0.12	0.22
	Beton mit Asphalt	-0.21	-0.15	-0.11	.	.	.	.

Tabelle 8: Ergebnisse deskriptive Statistik (Perzentile) jährliche Änderungsraten

5.7.1 Abhängigkeitsanalyse Δ_{WLP} und σ_{WLP} zu IRI

In einem weiteren Schritt wurden die Abhängigkeiten zwischen Δ_{WLP} , σ_{WLP} und $\Delta_{WLP} / \sigma_{WLP}$ zum IRI (International Roughness Index) untersucht. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da für den IRI ein statistisch abgesichertes Zustandsprognosemodell zur Verfügung steht und bei erkennbaren Abhängigkeiten auch eine Prognose von Δ_{WLP} und σ_{WLP} bzw. $\Delta_{WLP} / \sigma_{WLP}$ möglich wäre.

In der nachfolgenden **Tabelle 9** sind zunächst die graphischen Auswertungen der zu beurteilenden Abhängigkeiten für Δ_{WLP} und σ_{WLP} im Überblick dargestellt. Ein ähnlicher kausaler Zusammenhang zu $\Delta_{WLP} / \sigma_{WLP}$ war nicht erkennbar und ist daher in **Tabelle 9** auch nicht aufgelistet. In weiterer Folge wird auf diesen Quotienten im Zuge der Auswertung verzichtet.



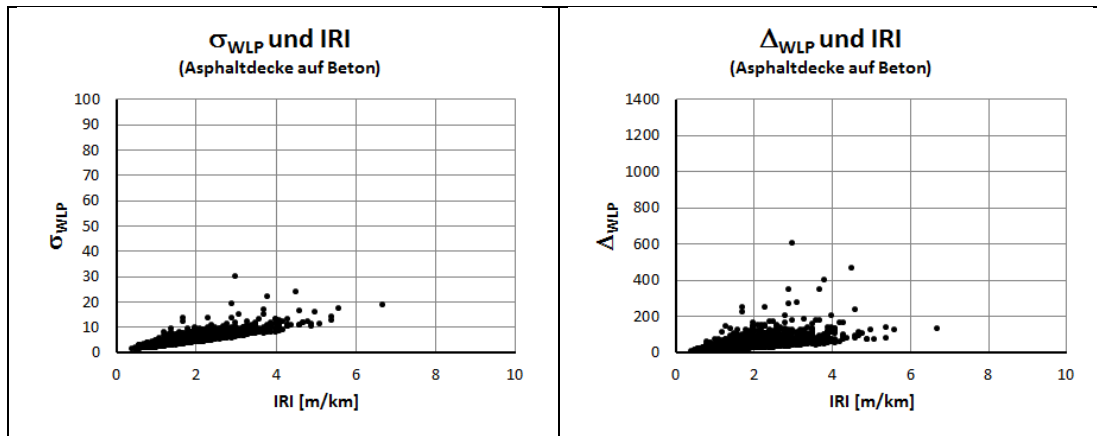


Tabelle 9: Graphische Darstellung Abhängigkeiten σ_{WLP} und Δ_{WLP} zum IRI

Die durchgeführten Regressionsanalysen bestätigen die in **Tabelle 9** erkennbaren Abhängigkeiten, wobei die nachfolgenden Tabellen die Ergebnisse der Analyse im Überblick darstellen.

Asphaltbauweise					
σ_{WLP}	R^2	b_0	b_1	b_2	b_3
Linear $y=b_0+b_1*x$	0.682	-0.652	3.108		
Logarithmisch $y=b_0+b_1*\ln(x)$	0.483	2.570	4.375		
Invers $y=b_0+b_1/x$	0.340	7.512	-4.632		
Quadratisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2$	0.695	-0.243	2.698	0.066	
Kubisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3$	0.724	0.806	1.362	0.441	-0.013
Produkt $y=b_0*b_1^x$	0.750	1.539	1.731		
Potentiell $y=b_0*x^{b_1}$	0.821	2.603	0.961		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1/x)}$	0.729	2.147	-1.141		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1*x)}$	0.750	0.431	0.549		
Exponentiell $y=b_0*e^{(b_1*x)}$	0.750	1.539	0.549		
Δ_{WLP}	R^2	b_0	b_1	b_2	b_3
Linear $y=b_0+b_1*x$	0.362	-20.417	33.461		
Logarithmisch $y=b_0+b_1*\ln(x)$	0.220	15.072	43.657		
Invers $y=b_0+b_1/x$	0.139	62.262	-43.711		
Quadratisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2$	0.374	-14.476	27.502	0.964	
Kubisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3$	0.442	9.101	-2.523	9.377	-0.300
Produkt $y=b_0*b_1^x$	0.604	8.401	1.927		
Potentiell $y=b_0*x^{b_1}$	0.648	15.780	1.137		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1/x)}$	0.564	4.157	-1.338		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1*x)}$	0.604	2.128	0.656		
Exponentiell $y=b_0*e^{(b_1*x)}$	0.604	8.401	0.656		

Tabelle 10: Ergebnisse Regressionsanalyse Asphaltbauweise

Betondecke					
σ_{WLP}	R^2	b_0	b_1	b_2	b_3
Linear $y=b_0+b_1*x$	0.754	-0.299	2.722		
Logarithmisch $y=b_0+b_1*\ln(x)$	0.559	2.397	4.210		
Invers $y=b_0+b_1/x$	0.413	7.621	-4.964		
Quadratisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2$	0.760	-0.064	2.514	0.029	
Kubisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3$	0.789	0.879	1.424	0.309	-0.008
Produkt $y=b_0*b_1^x$	0.763	1.674	1.635		
Potentiell $y=b_0*x^{b_1}$	0.839	2.572	0.926		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1/x)}$	0.750	2.176	-1.201		
Wachstum $y=e^{(b_0*b_1*x)}$	0.763	0.515	0.492		
Exponentiell $y=b_0*e^{(b_1*x)}$	0.763	1.674	0.492		
Δ_{WLP}	R^2	b_0	b_1	b_2	b_3
Linear $y=b_0+b_1*x$	0.403	-9.692	24.382		
Logarithmisch $y=b_0+b_1*\ln(x)$	0.273	15.051	36.025		
Invers $y=b_0+b_1/x$	0.192	58.957	-41.437		
Quadratisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2$	0.409	-6.891	21.910	0.349	
Kubisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3$	0.462	8.632	3.949	4.957	-0.130
Produkt $y=b_0*b_1^x$	0.571	10.317	1.725		
Potentiell $y=b_0*x^{b_1}$	0.628	16.605	1.027		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1/x)}$	0.563	4.177	-1.334		
Wachstum $y=e^{(b_0*b_1*x)}$	0.571	2.334	0.545		
Exponentiell $y=b_0*e^{(b_1*x)}$	0.571	10.317	0.545		

Tabelle 11: Ergebnisse Regressionsanalyse Betondecke

Asphaltdecke auf Beton					
σ_{WLP}	R^2	b_0	b_1	b_2	b_3
Linear $y=b_0+b_1*x$	0.727	-0.273	2.744		
Logarithmisch $y=b_0+b_1*\ln(x)$	0.592	2.475	4.177		
Invers $y=b_0+b_1/x$	0.457	7.682	-4.975		
Quadratisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2$	0.812	1.658	0.530	0.516	
Kubisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3$	0.851	-0.584	3.740	-0.675	0.106
Produkt $y=b_0*b_1^x$	0.814	1.535	1.735		
Potentiell $y=b_0*x^{b_1}$	0.848	2.576	0.948		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1/x)}$	0.765	2.200	-1.221		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1*x)}$	0.814	0.429	0.551		
Exponentiell $y=b_0*e^{(b_1*x)}$	0.814	1.535	0.551		
Δ_{WLP}	R^2	b_0	b_1	b_2	b_3
Linear $y=b_0+b_1*x$	0.387	-14.096	28.757		
Logarithmisch $y=b_0+b_1*\ln(x)$	0.280	15.508	41.250		
Invers $y=b_0+b_1/x$	0.202	65.674	-47.528		
Quadratisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2$	0.551	24.354	-15.301	10.266	
Kubisch $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3$	0.623	-19.526	47.503	-13.036	2.068
Produkt $y=b_0*b_1^x$	0.607	9.012	1.920		
Potentiell $y=b_0*x^{b_1}$	0.625	16.666	1.116		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1/x)}$	0.557	4.282	-1.428		
Wachstum $y=e^{(b_0+b_1*x)}$	0.607	2.199	0.652		
Exponentiell $y=b_0*e^{(b_1*x)}$	0.607	9.012	0.652		

Tabelle 12: Ergebnisse Regressionsanalyse Asphaltdecke auf Beton

Fast alle Modelle zeigen ein Bestimmtheitsmaß von mehr als 0.5. In einigen Fällen liegt R^2 sogar über einen Wert von 0.8. Eine gute Annäherung liefern in erster Linie das potentielle Modell $y=b_0*x^{b_1}$ sowie die kubische Funktion $y=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3$. Auch die Wachstumsfunktionen, die quadratische Kurve und das exponentielle Modell zeigen eine gute Annäherung.

Neben dem Bestimmtheitsmaß R^2 ist auch der Verlauf der Funktion bzw. der ausgewählten Modelle von wesentlicher Bedeutung. Vor allem bei hohen IRI-Werten, die zwar nur sehr selten vorkommen, könnte eine dieser Funktionen zu unplausiblen Resultaten führen. In den nachfolgenden Abbildungen sind die bevorzugten Modelle für Δ_{WLP} und σ_{WLP} für alle 3 Bautypen im Überblick dargestellt.

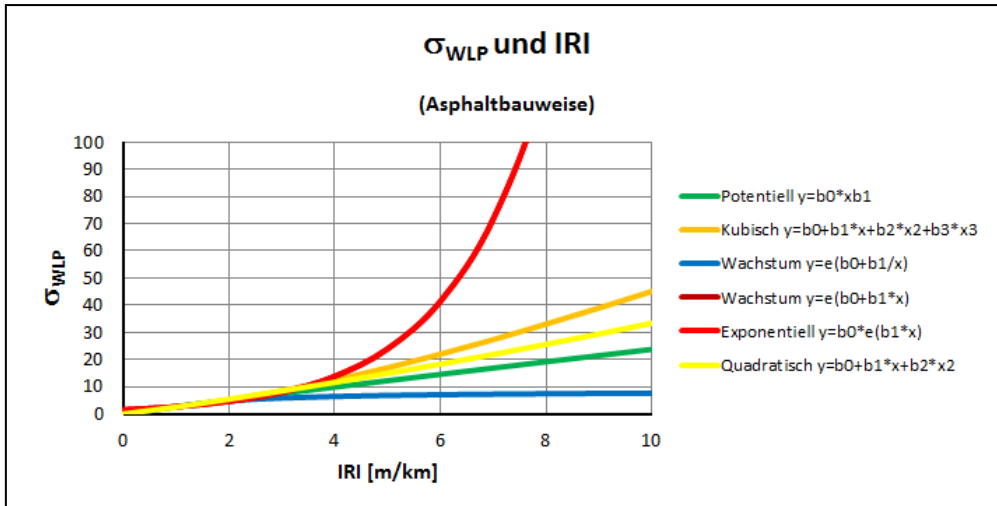


Abbildung 14: Zusammenhang σ_{WLP} und IRI (Regressionslinien), Asphaltbauweise

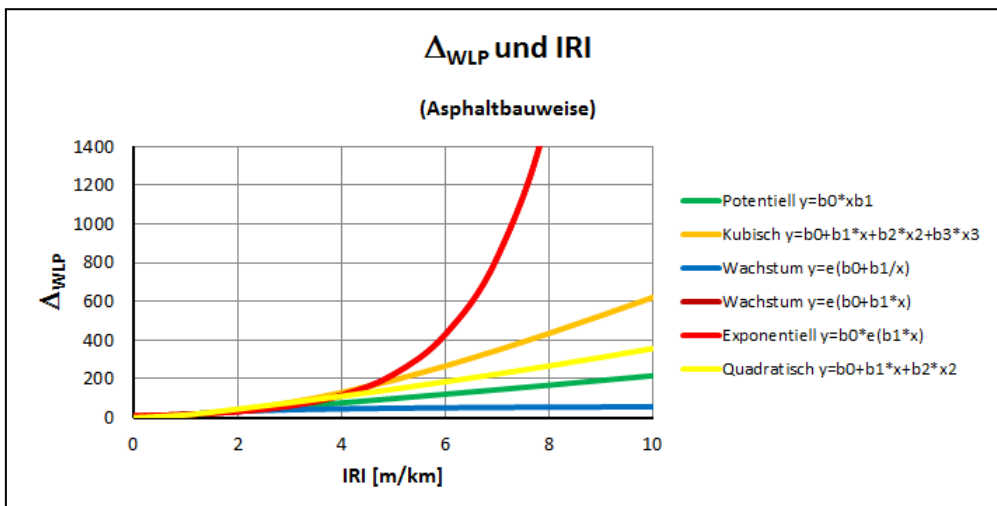


Abbildung 15: Zusammenhang Δ_{WLP} und IRI (Regressionslinien), Asphaltbauweise

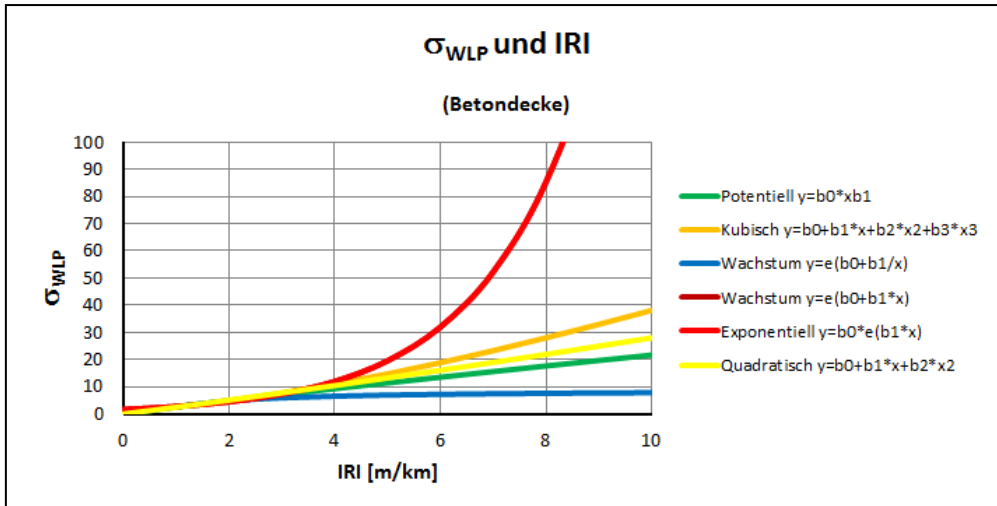


Abbildung 16: Zusammenhang σ_{WLP} und IRI (Regressionslinien), Betondecke

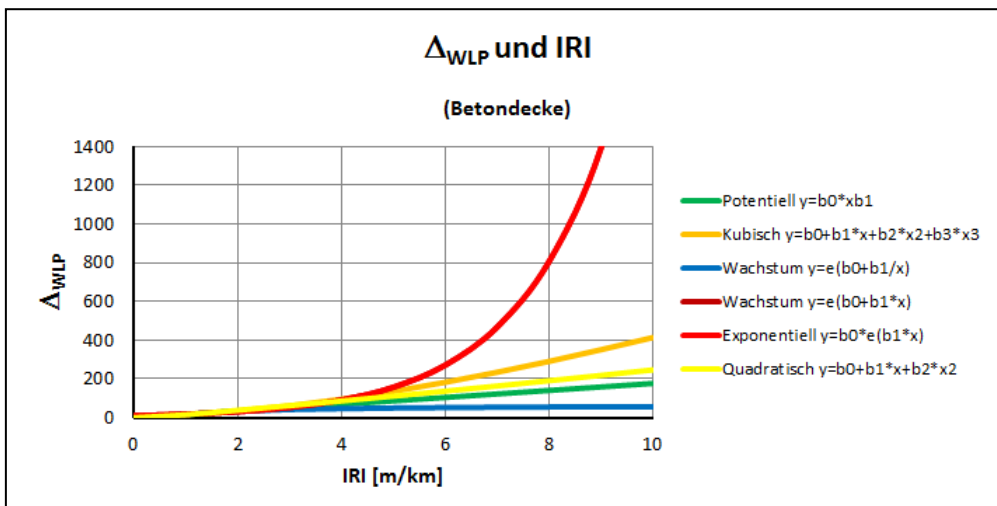


Abbildung 17: Zusammenhang Δ_{WLP} und IRI (Regressionslinien), Betondecke

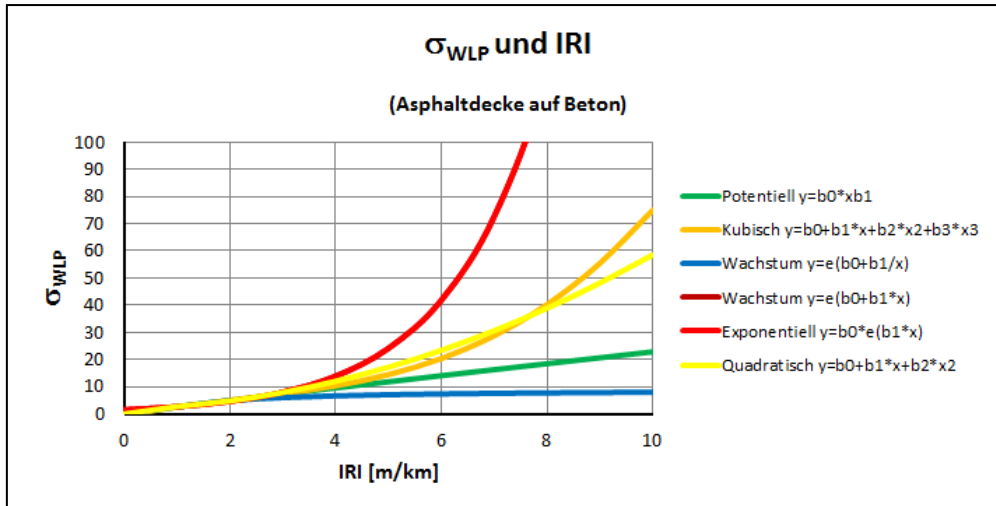


Abbildung 18: Zusammenhang σ_{WLP} und IRI (Regressionslinien), Asphaltdecke auf Beton

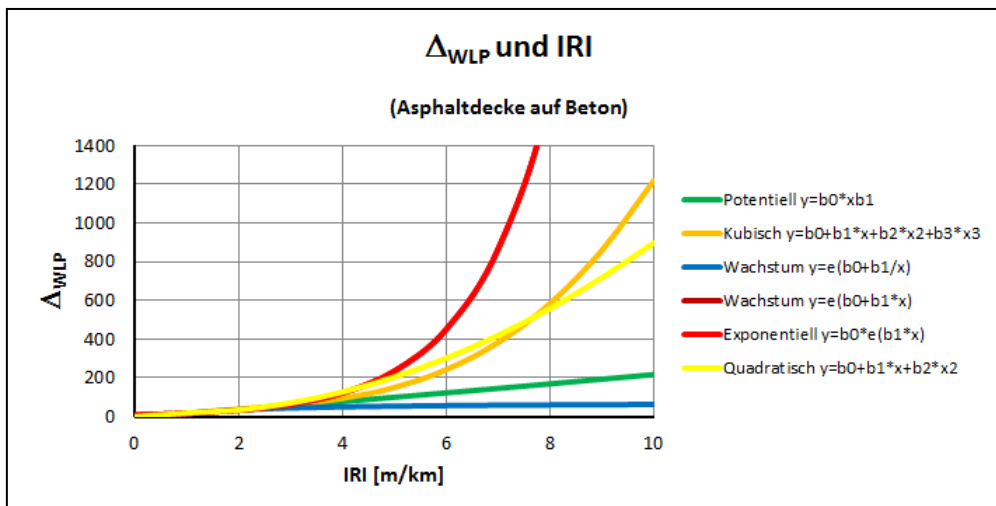


Abbildung 19: Zusammenhang Δ_{WLP} und IRI (Regressionslinien), Asphaltdecke auf Beton

Die in den Abbildungen dargestellten Modelle zeigen bis zu einem IRI-Wert von ca. 4.0 m/km einen annähernd gleichen Verlauf, was auf die Mehrheit der Daten(punkte) in einem IRI-Wertebereich zwischen 0 und 4 m/km zurückzuführen ist. Ab einem Wert von 4.0 m/km streuen die Modelle sehr stark, was jedoch aufgrund der geringen Datenmenge kaum einen Einfluss auf das Bestimmtheitsmaß hat. Die beste Annäherung liefert, wie bereits erwähnt, in den meisten Fällen die potentielle Funktion $y=b_0 \cdot x^{b_1}$ (grüne Linie in den Grafiken), sodass zumindest eine progressive Entwicklung eine geringere Wahrscheinlichkeit aufweist.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Regressionsanalyse sowie der ingenieurmäßigen Beurteilung der Funktionsverläufe wird daher der potentielle Funktion $y=b_0 \cdot x^{b_1}$ für die Verwendung im Prognosemodell der Vorzug gegeben.

6 ZUSTANDSPROGNOSE WLP

6.1 Verhaltensfunktionen Längsebenheit (Zustandsgrößen)

Wie bereits erwähnt, ist es unter Heranziehung der derzeit in Verwendung befindlichen Verhaltensfunktion und der in Kapitel 5.7.1 beschriebenen Zusammenhänge zwischen σ_{WLP} und IRI sowie zwischen Δ_{WLP} und IRI möglich, eine kombinierte Verhaltensfunktion zu definieren. Dies bedeutet, dass jedem IRI-Prognosewert auch ein Wert für σ_{WLP} und für Δ_{WLP} zugeordnet werden kann. Somit ergibt sich für beide WLP-Werte eine vom IRI abhängige Prognosefunktion. Die mathematische Formulierung ist wie folgt:

$$\sigma_{WLP,g} = c \cdot ZG_{IRI,g}^d$$

$$\Delta_{WLP,g} = f \cdot ZG_{IRI,g}^g$$

mit

$$ZG_{IRI,g} = a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} + \frac{b \cdot \text{NLW}_{\text{kum}}}{100000}$$

und

$\text{Alter}_{\text{Decke}}$ Alter der Decke

NLW_{kum} kumulierte Lastwechsel

a, b, c, d, f, g Modellparameter (siehe Tabelle 13 für Bundesstraßen)

Bautype	Längsebenheit					
	a	b	c	d	f	g
BT14_N	0.0603	0.0032	2.603	0.961	15.7799	1.1374
BT14_N_DD	0.0770	0.0032	2.603	0.961	15.7799	1.1374
BT14_V	0.0603	0.0032	2.603	0.961	15.7799	1.1374
BT14_V_DD	0.0770	0.0032	2.603	0.961	15.7799	1.1374
BT14_D	0.0770	0.0032	2.603	0.961	15.7799	1.1374
BT14_D_DD	0.0770	0.0032	2.603	0.961	15.7799	1.1374
BT56_N	0.0437	0.0032	2.572	0.926	16.605	1.027
BT56_N_D	0.0687	0.0032	2.576	0.948	16.666	1.116
BT56_D_D	0.0603	0.0032	2.576	0.948	16.666	1.116

Tabelle 13: Modellparameter Verhaltensfunktionen für Bundesstraßen

In Tabelle 13 sind die Modellparameter aller 3 Funktionsverläufe für die unterschiedlichen Bautypen nach [12] zusammengestellt. Es kann somit für jede Oberbautype eine individuelle Funktion gewählt werden, die in gleicher Art und Weise auch durch die Anwendung eines auf den Messdaten basierenden Verschiebungsvektor einer abschnittsbezogenen Kalibrierung unterzogen werden kann.

Die oben definierten Funktionsverläufe können für die Bautype BT14_N (Lastklasse S) mit einem Anfangswert von 1.0 m/km auch der nachfolgenden Abbildung 20 beispielhaft entnommen werden. Aufgrund der Exponenten mit Werten um 1.0 stellen sich die Verläufe von σ_{WLP} und Δ_{WLP} als nahezu lineare Funktionen dar, wobei der Anstieg beim Δ_{WLP} deutlich größer ausfällt.

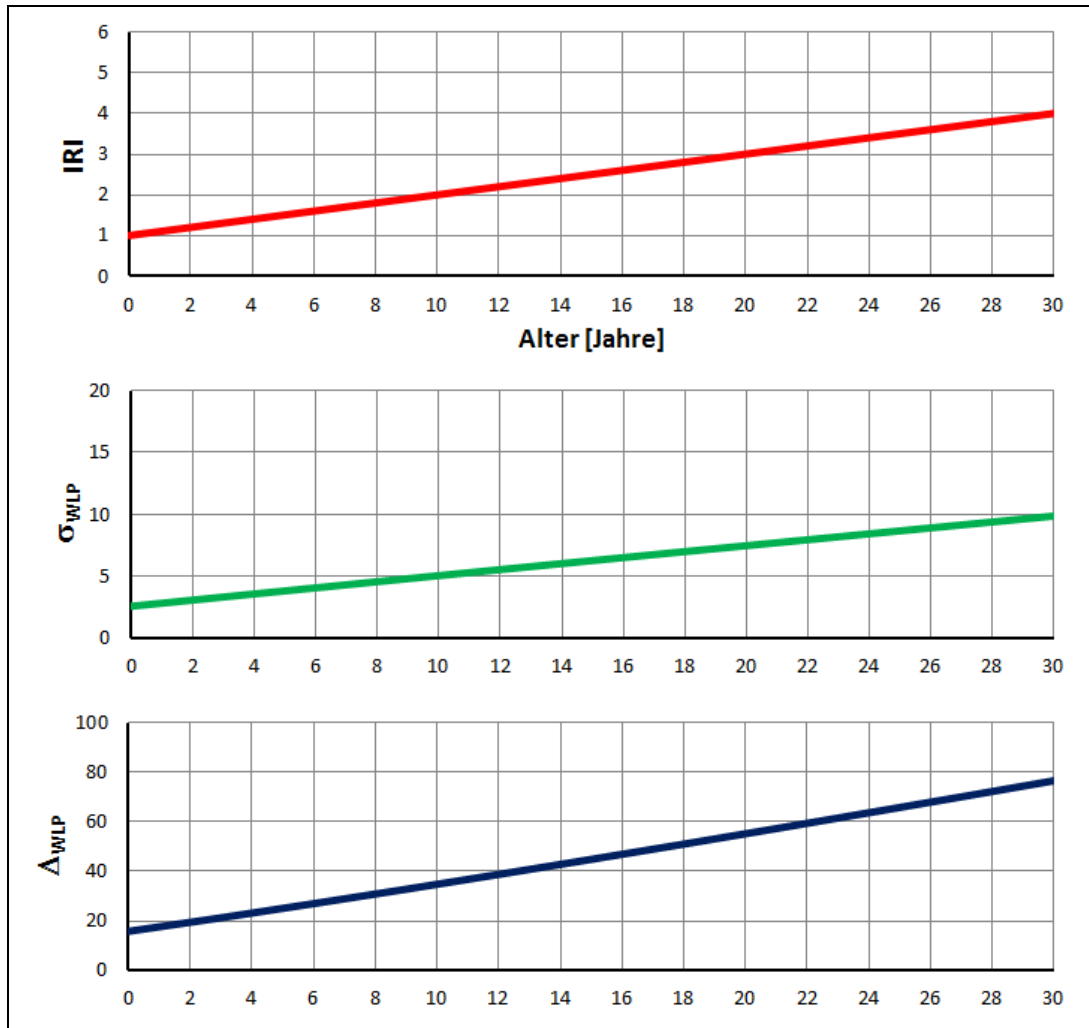


Abbildung 20: Verhaltensfunktionen WLP (Asphaltbauweise BT14_N, LK S)

6.2 Grenzwertdiskussion (Warn- und Schwellenwert)

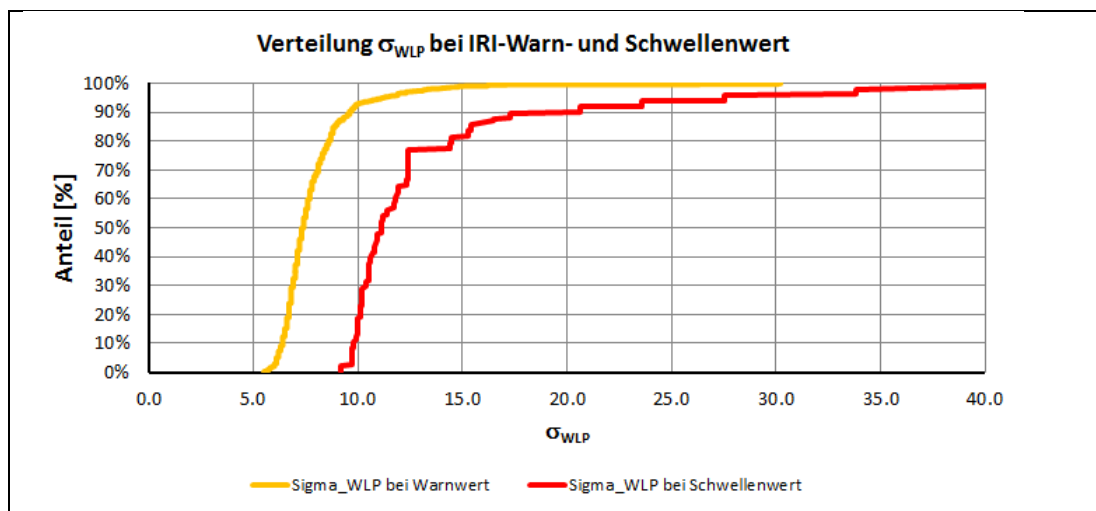
Die in **Abbildung 20** dargestellten Zustandsverläufe über eine Periode von 30 Jahren lassen erkennen, dass auch mit den WLP-Kennzahlen σ_{WLP} und Δ_{WLP} bei einer hohen Verkehrsbelastung keine umfangreichen Erhaltungsmaßnahmen die Folge sind (bei einem Anfangswert von 1.0 m/km). Eine wesentliche Grundlage ist jedoch die Verteilung der beiden WLP-Werte bei einem IRI von 4.5 m/km (Schwellenwert, Übergang von Zustandsklasse 4 auf 5 gem. RVS 13.01.16) und einem IRI von 3.0 m/km (Warnwert, Übergang von Zustandsklasse 3 auf 4 gem. RVS 13.01.16) einerseits für die Definition einer

Normierungsfunktion und andererseits für die Festlegung von Anwendungsgrenzen bestimmter Erhaltungsmaßnahmen.

In der nachfolgenden Abbildung 21 sind die Summenhäufigkeiten von σ_{WLP} und Δ_{WLP} für die beiden IRI-Werte 3.0 und 4.5 m/km dargestellt.

Bei Betrachtung der 50%-Perzentile ergibt sich folgende Grundlage für die Festlegung von Anwendungsgrenzen bzw. von WLP-Schwellen- und WLP-Warnwerten (siehe Tabelle 14). Diese Werte können letztendlich auch für die Definition einer Normierungsfunktion herangezogen werden, wobei dies im Zusammenhang mit der Festlegung von möglichen Abnahmewerten erfolgen sollte.

Bereits in [1] wurde ein Bewertungshintergrund für Δ_{WLP} und σ_{WLP} vorgeschlagen, der für σ_{WLP} aus dem in Deutschland verwendeten AUN und der spektralen Leistungsdichte hergeleitet wurde. Ein Vergleich mit diesem Bewertungshintergrund zeigt eine weitgehende Übereinstimmung, für den Warnwert wurde damals $\sigma_{WLP} = 7,2$ mm, für den Schwellenwert $\sigma_{WLP} = 12,5$ mm vorgeschlagen. Für Δ_{WLP} fielen die damaligen Werte etwas strenger aus, bereits bei $\Delta_{WLP} = 43,2$ mm wurde der Warnwert erreicht, der Schwellenwert bei $\Delta_{WLP} = 75,0$ mm. Die Grenzen für Δ_{WLP} wurden mit der 3-fachen Standardabweichung (entspricht $6 \times \sigma_{WLP}$) angesetzt.



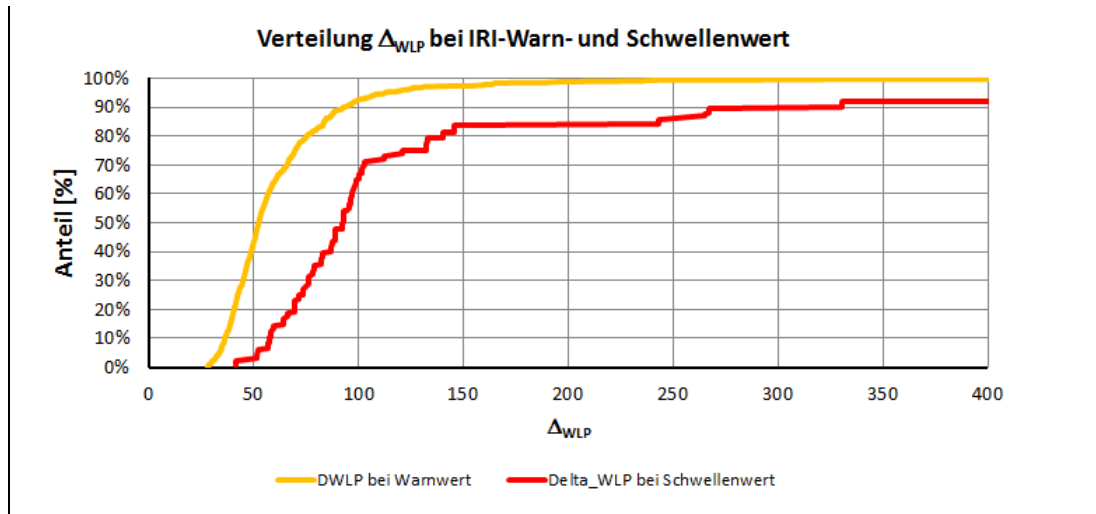


Abbildung 21: Summenhäufigkeiten σ_{WLP} und Δ_{WLP} für IRI-Wert 3.0 m/km (Warnwert) und IRI-Wert 4.5 m/km (Schwellenwert)

Grenzwerte [Zustandswert]	IRI* [m/km]	WLP-Kennwerte	
		σ_{WLP} [mm]	Δ_{WLP} [mm]
Warnwert [3.5]	3.0	7.4	52
Schwellenwert [4.5]	4.5	11.1	92

*) gem. RVS 13.01.16

Tabelle 14: Mögliche Warn- und Schwellenwerte für WLP-Kennzahlen

6.3 Einbeziehung Verhaltensfunktion in das PMS der ASFiNAG

Aufgrund der Beibehaltung der Basisverhaltensfunktion des IRI-Wertes und einer darauf aufbauenden Beziehung zwischen dem IRI und den WLP-Werten σ_{WLP} und Δ_{WLP} können beide Kennzahlen ohne größeren Aufwand direkt in das PMS der ASFiNAG übernommen werden.

7 REFERENZEN

- [1] Spielhofer R., Brožek B., Maurer P., Fruhmann G., Reinalter W.: Entwicklung eines Parameters zur Beurteilung der Längsebenheit; Straßenforschung Heft 582, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2009
- [2] Technische Prüfvorschriften für die Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührungslose Messungen; FGSV, Köln, 2009
- [3] RVS 08.16.01. Anforderungen an Asphalt-schichten, FSV, Wien, 2010
- [4] RVS 11.03.21. Asphalt und Asphalt-schichten, Prüfung und Abrechnung, Abrechnungsbeispiele, FSV, Wien, 2015
- [5] RVS 11.06.62. Ebenheitsmessungen, FSV, Wien, 2012
- [6] RVS 08.17.02. Betondecken – Deckenherstellung, FSV, Wien, 2007
- [7] Ueckermann A.: Ein geometrisch basiertes Verfahren zur Lokalisierung und Bewertung einzelner, periodischer und regelloser Unebenheiten im Straßenlängsprofil. Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Heft 44, Institut für Straßenwesen, Aachen, 2004
- [8] prEN 13036-5:2006. Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen — Prüfverfahren — Teil 5: Bestimmung der Längsunebenheitsindizes). ÖNORM, Wien, 2006
- [9] Telefonische Auskunft von Herrn DI Karl Gragger, ASFINAG, 20.05.2015
- [10] Molzer C., Felsenstein K., Viertl R., Litzka J. und Vycudil A.: Statistische Methoden zur Auswertung von Straßenzustandsdaten. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 499, Wien, 2000
- [11] Molzer C., Felsenstein K., Weninger-Vycudil A., Litzka J. und Simanek P.: Statistische Auswertung der Zustandsdaten der messtechnischen Zustandserfassung 1999 und der visuellen Zustandserfassung 2000 auf dem ASFINAG-Netz. Auftrag der ASFINAG, Schlussbericht (unveröffentlicht), November 2002
- [12] [Weninger-Vycudil A., Simanek P., Rohringer T. und Haberl J.: Handbuch Pavement Management in Österreich 2009. Straßenforschung im Auftrag der ASFINAG und des BMVIT, Heft 584, Wien 2010
- [13] Weninger-Vycudil A.: Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches PMS. Dissertation, ausgeführt am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, 2001
- [14] Hinsch K., Krause G., Maerschalk G. & Rübensam J.: Katalogisierung von beschreibenden Größen für das Gebrauchsverhalten von Fahrbahnbefestigungen und die Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 915, Bundesminister für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn, BRD, 2005.

8 ANHANG 1 – LISTE DER ABNAHMEPRÜFUNGSABSCHNITTE AUF DEN HAUPTFAHRBAHNEN DES ASFINAG-NETZES 2013

Nummer	Auto-bahn	RFB	von km	bis km	Fahrstreifen	Länge [km]

1	A01	RFB Salzburg (Staatsgrenze)	22,27	25,22	R1	2,95
2	A01	RFB Salzburg (Staatsgrenze)	25,22	30,63	R1	5,41
3	A01	RFB Salzburg (Staatsgrenze)	22,27	25,22	R2	2,95
4	A01	RFB Salzburg (Staatsgrenze)	25,22	30,63	R2	5,41
5	A01	RFB Wien	299,34	297,66	L1	1,68
6	A02	RFB Italien	340,3	340,6	R1	0,3
7	A02	RFB Italien	45,44	46,14	R1	0,7
8	A02	RFB Italien	45,44	46,14	R2	0,7
9	A02	RFB Italien	45,44	46,14	R3	0,7
12	A02	RFB Italien	212,48	215,5	R1	3,02
13	A02	RFB Italien	212,48	215,5	R2	3,02
14	A02	RFB Italien	29,39	29,76	R2	0,37
15	A02	RFB Italien	29,76	38,14	R2	8,38
16	A02	RFB Italien	38,14	38,93	R2	0,79
17	A02	RFB Italien	38,93	39,94	R2	1,01
18	A02	RFB Italien	29,38	29,76	R3	0,38
19	A02	RFB Italien	29,76	38,14	R3	8,38
20	A02	RFB Italien	38,14	38,93	R3	0,79
21	A02	RFB Italien	38,93	39,93	R3	1
22	A02	RFB Wien	136,52	131,5	L1	5,02
24	A02	RFB Wien	242,47	239,23	L1	3,24
25	A02	RFB Wien	242,47	239,23	L3	3,24
26	A02	RFB Wien	362,73	362,1	L1	0,63
27	A02	RFB Wien	362,73	362,1	L2	0,63
28	A02	RFB Wien	228,22	227,83	L1	0,39
30	A02	RFB Wien	225,82	225,46	L1	0,36
32	A02	RFB Wien	225,15	224,85	L1	0,3
34	A02	RFB Wien	224	223,66	L1	0,34
36	A03	RFB Eisenstadt	25,79	29,2	R1	3,41
37	A03	RFB Eisenstadt	25,79	29,2	R2	3,41
38	A03	RFB Kn. Guntramsdorf	29,19	12,8	L1	7,850 ^{*)}
39	A03	RFB Kn. Guntramsdorf	13,5	12,7	L2	0,8
40	A03	RFB Kn. Guntramsdorf	29,19	12,8	L2	7,850 ^{*)}
41	A04	RFB Ungarn	29,62	37,25	R1	7,63
42	A04	RFB Ungarn	29,62	37,25	R2	7,63
43	A04	RFB Wien	37,3	29,63	L1	7,67
44	A04	RFB Wien	37,3	29,63	L2	7,67
45	A08	RFB Kn. Voralpenkreuz	38	31	L1	7

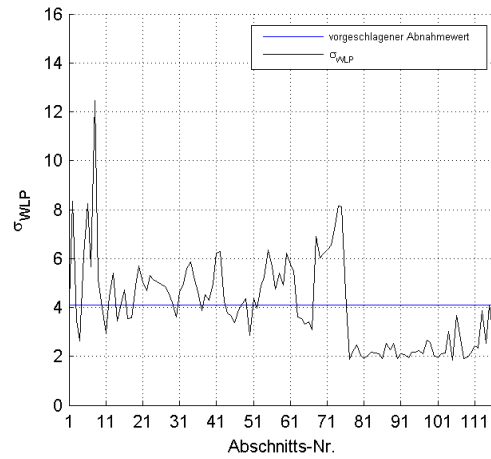
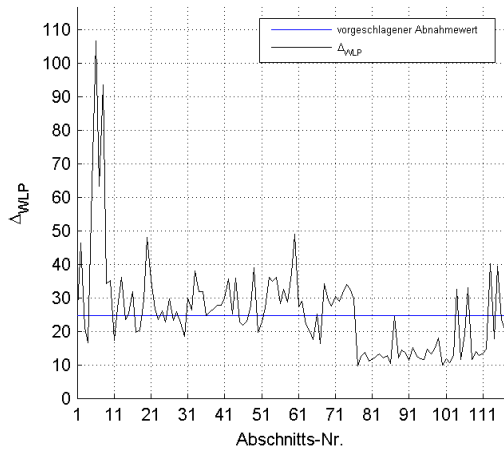
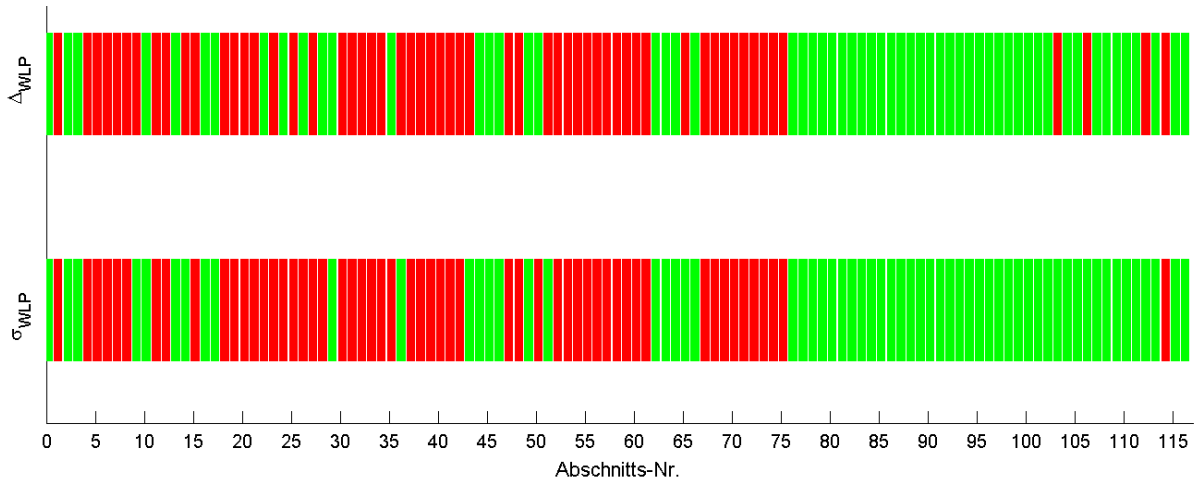
46	A08	RFB Passau	30,99	38,03	R1	7,04
47	A08	RFB Passau	30,99	38,03	R2	7,04
48	A09	RFB Kn. Voralpenkreuz	100,92	99,1	L1	1,82
49	A09	RFB Kn. Voralpenkreuz	100,92	99,1	L2	1,82
50	A09	RFB Slowenien	184,89	185,45	R1	0,56
51	A09	RFB Slowenien	206,53	214,93	R1	8,4
52	A09	RFB Slowenien	206,53	214,93	R2	8,4
53	A09	RFB Slowenien	95,75	100,93	R1	5,18
54	A09	RFB Slowenien	95,08	100,84	R2	5,76
55	A09	RFB Slowenien	184,89	185,45	R2	0,56
56	A09	RFB Kn. Voralpenkreuz	214,91	206,25	L1	8,66
57	A09	RFB Kn. Voralpenkreuz	185,58	184,93	L1	0,65
58	A09	RFB Kn. Voralpenkreuz	185,58	184,93	L2	0,65
59	A10	RFB Salzburg	120,85	119,87	L1	0,98
65	A10	RFB Salzburg	120,85	119,87	L2	0,98
68	A10	RFB Villach	119,86	120,86	R1	1
69	A10	RFB Villach	171,48	171,86	R1	0,38
75	A10	RFB Villach	171,48	171,86	R2	0,38
77	A11	RFB Slowenien	0,58	4,61	R1	4,03
78	A11	RFB Slowenien	0	4,61	R2	4,61
79	A11	RFB Villach	4,61	0,09	L1	4,52
80	A11	RFB Villach	4,61	0,09	L2	4,52
81	A12	RFB Kufstein	75,25	74,79	L1	0,46
82	A12	RFB Kufstein	26,82	22	L1	4,82
84	A12	RFB Kufstein	26,85	22	L2	4,85
85	A12	RFB Landeck	22	26,82	R1	4,82
86	A12	RFB Landeck	22	26,82	R2	4,82
87	A13	RFB Brenner	10,98	14,17	R1	3,19
88	A13	RFB Brenner	10,98	14,17	R2	3,19
89	A13	RFB Innsbruck	14,16	10,95	L1	3,21
90	A13	RFB Innsbruck	14,16	10,95	L2	3,21
91	A14	RFB Bludenz	0	2	R1	2
92	A14	RFB Bludenz	0	2	R2	2
93	A14	RFB Deutschland (Staatsgr.)	1,74	0	L1	1,74
94	A14	RFB Deutschland (Staatsgr.)	1,74	0	L2	1,74
95	A14	RFB Deutschland (Staatsgr.)	8,73	1,736	L1	6,994
96	S03	RFB Prag	6,18	6,53	R1	0,35
97	S03	RFB Prag	20,39	21	R1	0,61

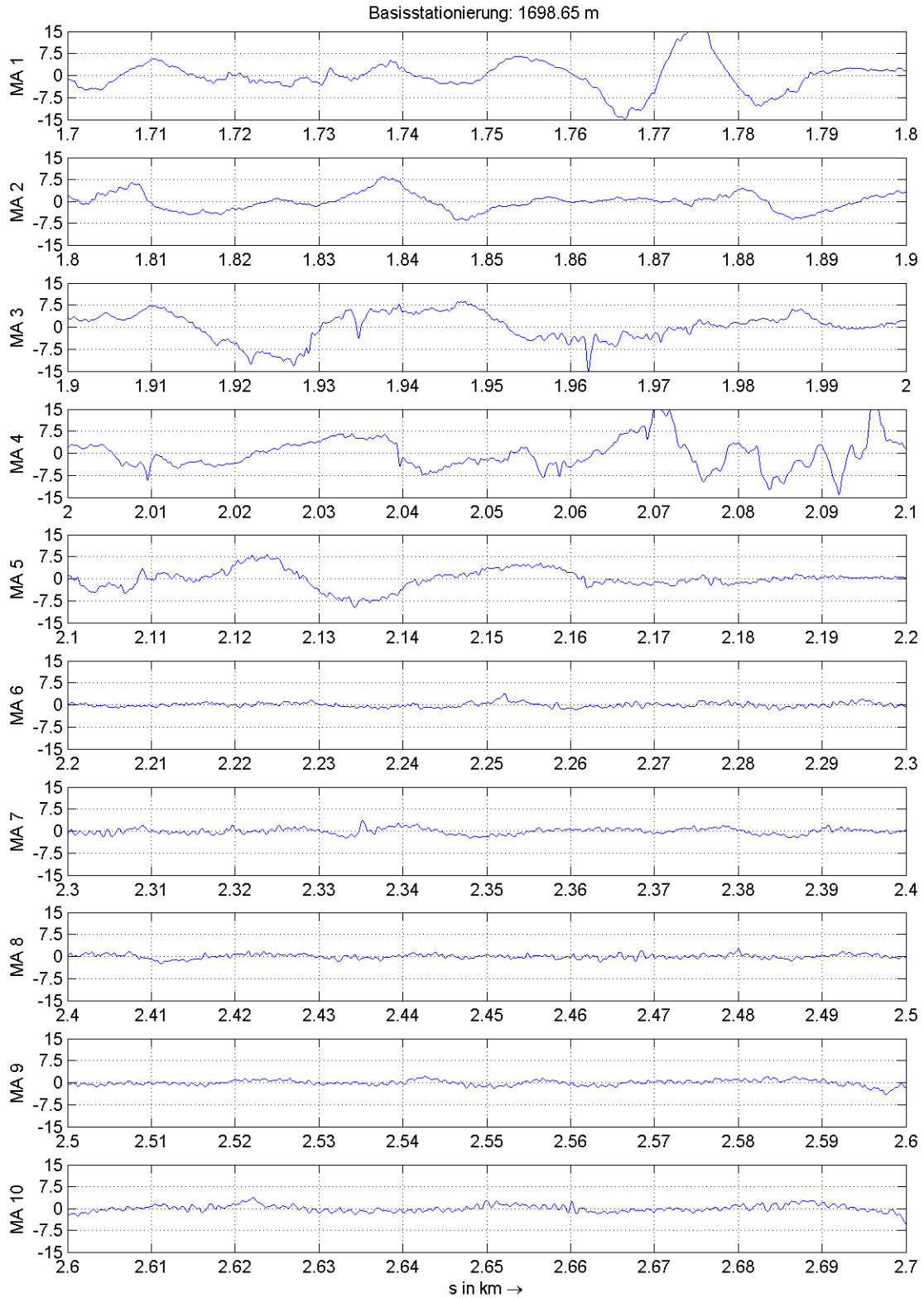
98	S03	RFB Prag	5,92	6,15	R1	0,23
99	S03	RFB Wien	6,52	5,92	L1	0,6
101	S05	RFB Kn. Stockerau	108,53	103,68	L1	4,85
102	S05	RFB Krems	103,64	108,53	R1	4,9
107	S16	RFB Bludenz	39,88	43,9	R1	4,02
108	S16	RFB Bludenz	39,88	43,76	R2	3,88
109	S16	RFB Bludenz	19,74	21,74	R1	2
110	S16	RFB Bludenz	21,09	21,74	R2	0,65
111	S16	RFB Landeck	43,88	39,88	L1	4
112	S16	RFB Landeck	43,9	39,88	L2	4,02
113	S16	RFB Landeck	21,74	19,74	L1	2
114	S16	RFB Landeck	21,74	19,74	L2	2
115	S35	RFB Bruck/Mur	4,13	0,11	L1	4,02
116	S35	RFB Bruck/Mur	4,13	0,11	L2	4,02
117	S35	RFB Graz	0,1	4,13	R1	4,03
118	S35	RFB Graz	0,22	4,13	R2	3,91
119	S36	RFB St. Michael	30,07	23,67	L1	6,4
120	S36	RFB St. Michael	30,07	23,67	L2	6,4

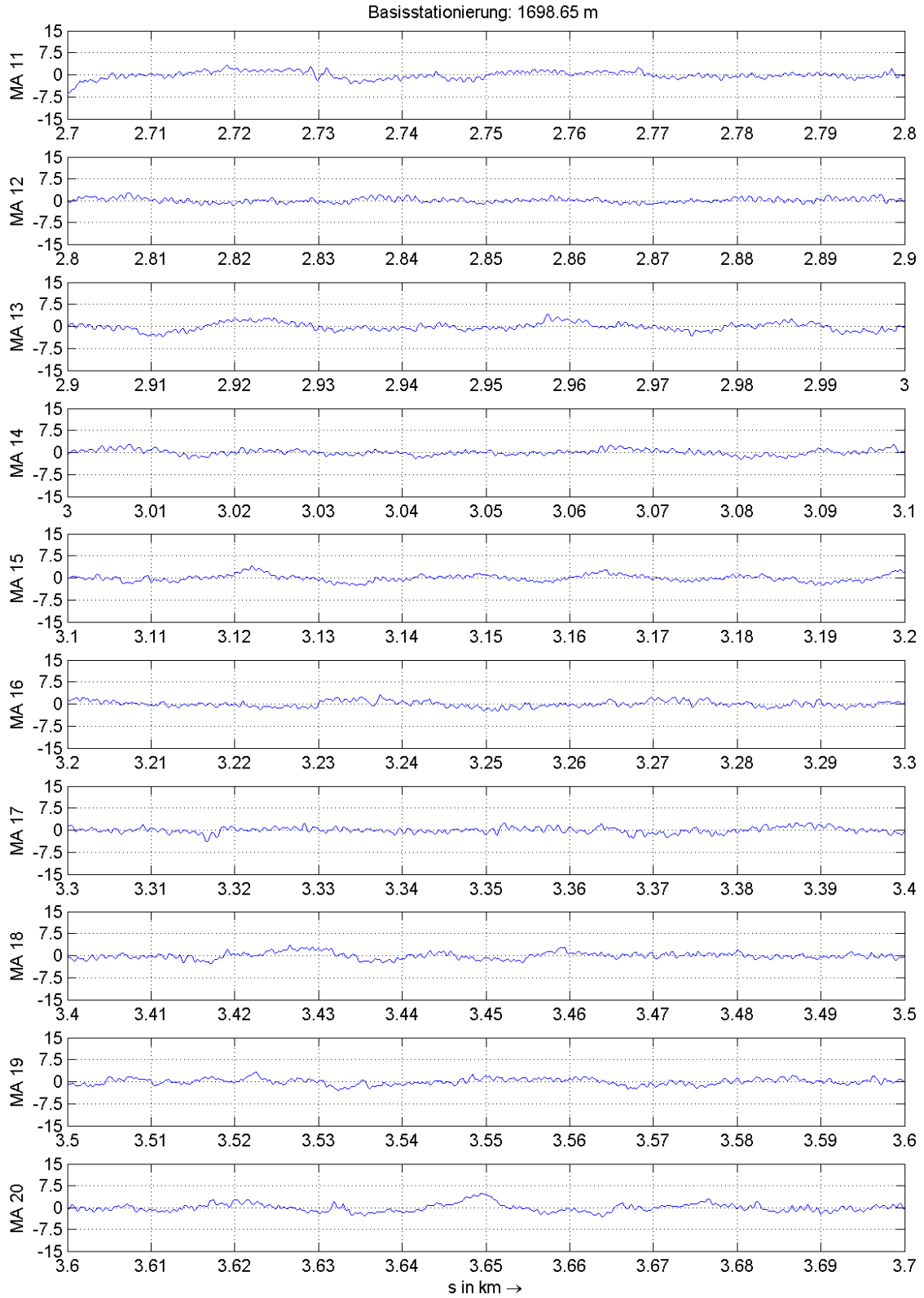
9 ANHANG 2 – BEISPIELE DER ANWENDUNG DER GRENZWERTE VON WLP

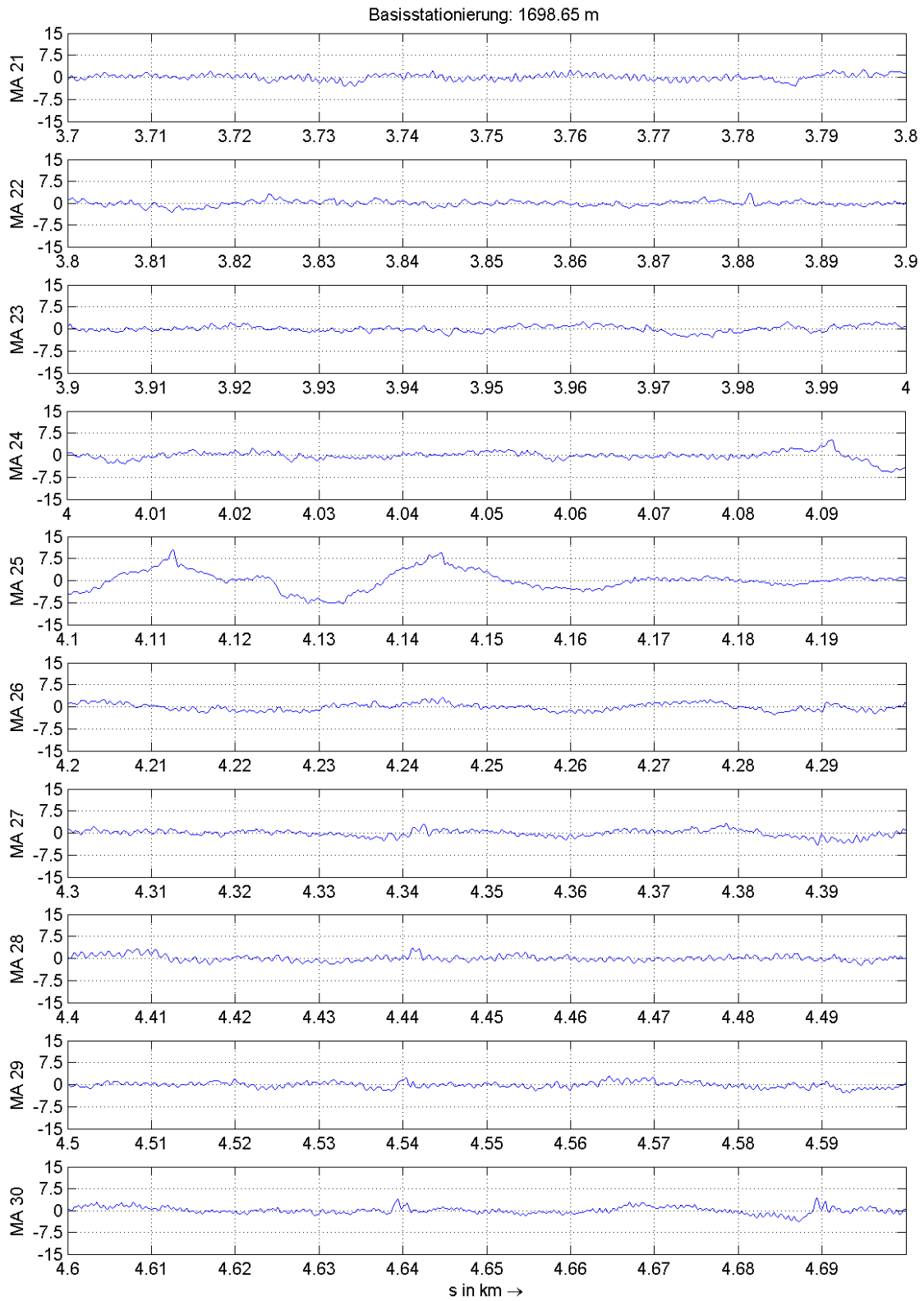
9.1 A2 Vösendorf, Fahrtrichtung Süd, km 1,700 – 7,221

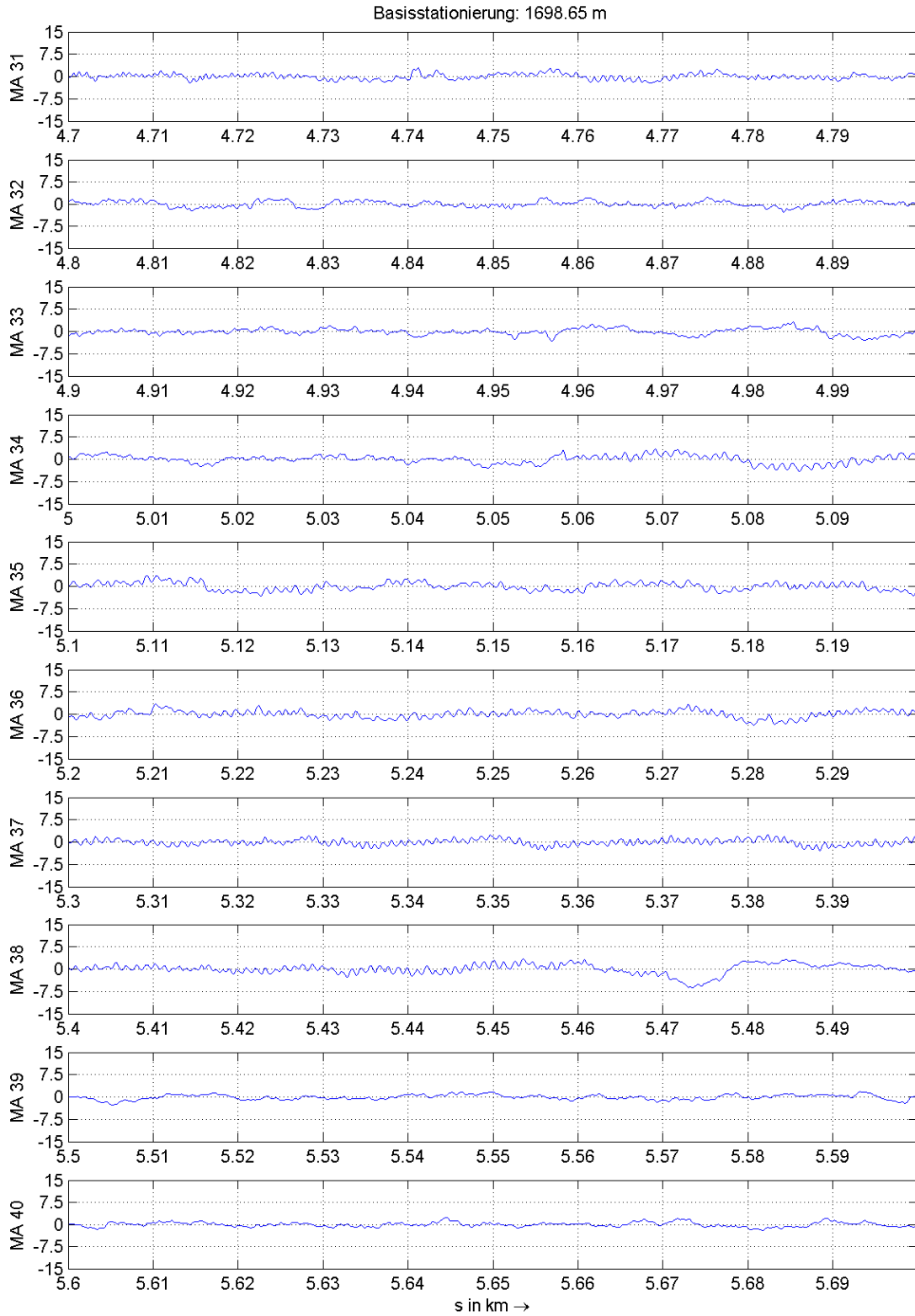
Die Strecke wurde bis Sommer 2009 generalsaniert und besteht aus Waschbeton. Beim Einbau kam ein offensichtlich defekter Fertiger zum Einsatz, wodurch sich eine kurzweilige periodische Unebenheit einstellte.. In der unteren Grafik ist der Verlauf σ_{WLP} bzw. Δ_{WLP} dargestellt. Es zeigt sich mit fortschreitendem Verlauf eine Verschlechterung der Werte. In den Diagrammen ab der nächsten Seite ist das Höhenlängsprofil für den gesamten Abschnitt dargestellt. Ab Abschnitt 78 ist die ein Jahr ältere Bestandsstrecke – ebenfalls Waschbeton - dargestellt, die deutlich bessere Ebenheit aufweist.

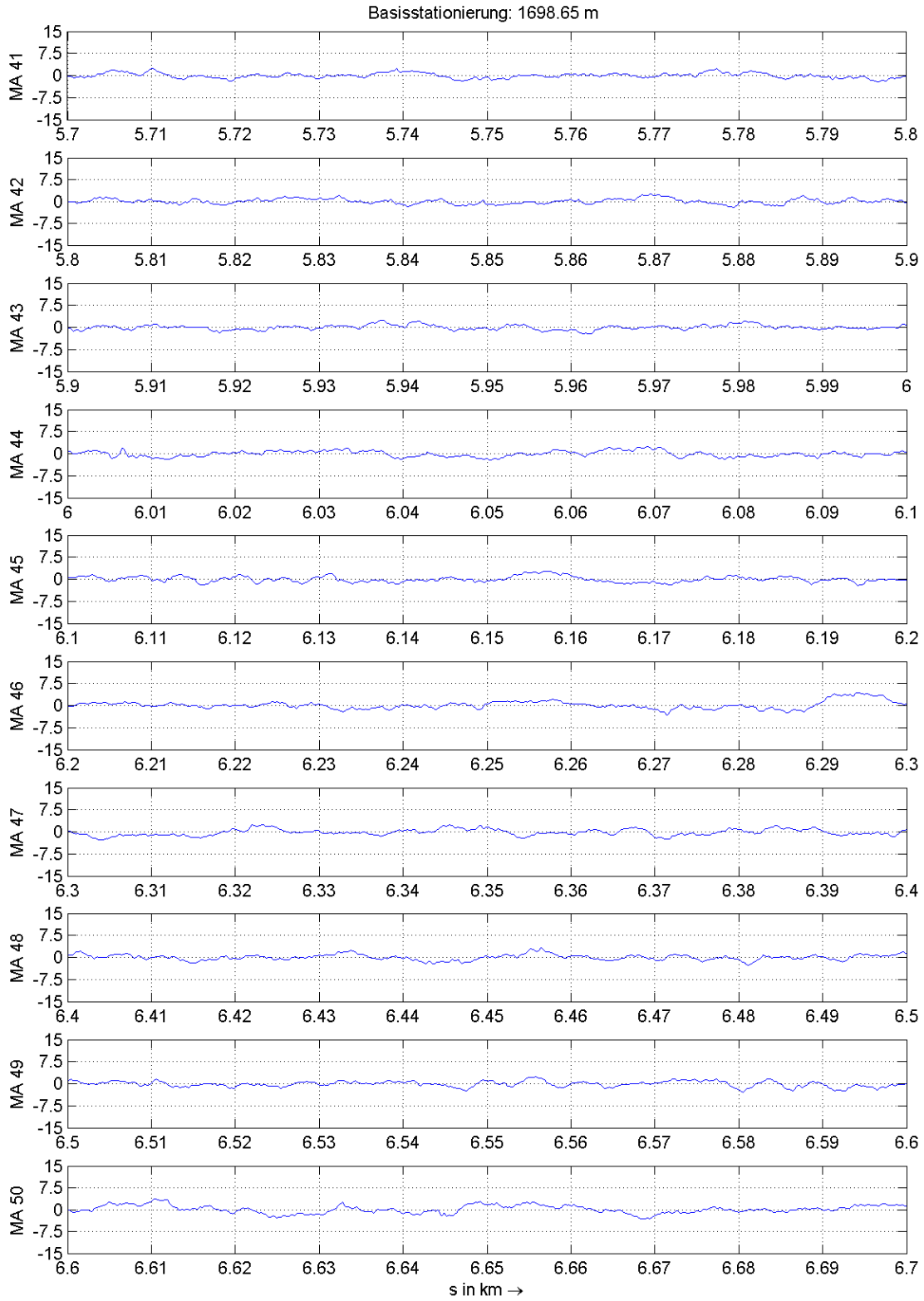


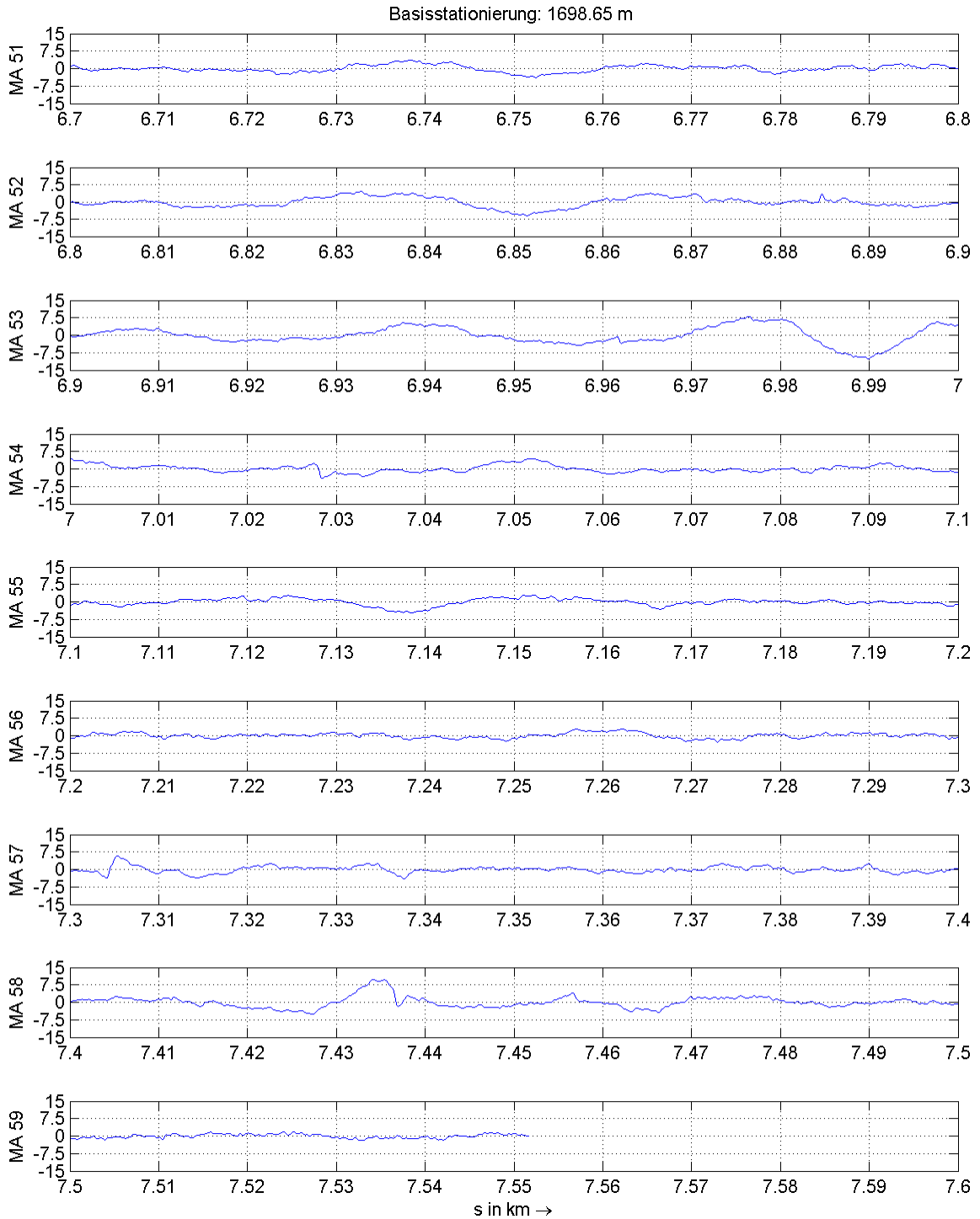












9.2 A14 Pfändertunnel, km 8,730 – km 1,736

9.2.1 Längsprofil und Planographenüberschreitungen

Bei der Strecke handelt es sich um eine Betonfahrbahn. Im ersten Diagramm sind die Abschnitte mit Grenzwertüberschreitungen für Planograph, und dargestellt. Aufgrund der periodischen Unebenheiten reagiert besonders σ_{WLP} . In der unteren Grafik ist der Verlauf von σ_{WLP} bzw. Δ_{WLP} dargestellt. Es zeigt sich mit fortschreitendem Verlauf eine Verschlechterung der Werte. In den Diagrammen ab der nächsten Seite ist das Höhenlängsprofil für den gesamten Abschnitt dargestellt. Blaue Markierungen am oberen Rand der Diagramme (z.B. im Abschnitt 1) kennzeichnen Örtlichkeiten, an denen der Planographengrenzwert überschritten wurde. Die periodischen Unebenheiten sind deutlich erkennbar.

