



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen

Adhérence sur les chaussées hivernales

Skid resistance of winter road surfaces

ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. H.P. Lindenmann
N. Leemann, dipl. Bau-Ing. ETH

Flughafen Zürich AG, Airfield Maintenance
M. Hubler

Forschungsauftrag ASTRA 2007/012 auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen ASTRA

Mai 2010

1298

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) commissioned by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen

Adhérence sur les chaussées hivernales

Skid resistance of winter road surfaces

**ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Prof. H.P. Lindenmann
N. Leemann, dipl. Bau-Ing. ETH**

**Flughafen Zürich AG, Airfield Maintenance
M. Hubler**

**Forschungsauftrag ASTRA 2007/012 auf Antrag der
Bundesamtes für Strassen ASTRA**

Mai 2010

1298

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Prof. H.P. Lindenmann, IVT ETH Zürich

Mitglieder

N. Leemann, IVT ETH Zürich

M. Hubler, Flughafen Zürich AG. Airfield Maintenance

M. Huber, IVT ETH Zürich

Begleitkommission

Präsident

L. Seiler, ASTRA, Bern

Mitglieder

R. Boschung, Marcel Boschung AG, Schmitten

Dr. M. Caprez, IGT ETH Zürich

R. Knuchel, TBA Kanton Graubünden, Chur

F. Vögeli, TBA Kanton Aargau, Aarau

Antragsteller

Bundesamt für Strassen ASTRA

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung.....	7
Résumé.....	9
Summary	11
1 Einleitung.....	13
1.1 Ausgangslage	13
1.2 Auftrag.....	13
1.3 Forschungsziele.....	13
1.4 Vorgehen.....	14
2 Stand der Forschung.....	15
3 Erhebungsmethodik	16
3.1 Messgeräte	16
3.1.1 Skiddometer BV 11 (Flughafen Zürich AG)	16
3.1.2 C-µ (Coralba)	16
3.2 Untersuchungsparameter	17
3.2.1 Fahrbahnzustände	17
3.2.2 Strassentypen	18
3.2.3 Umgebungsparameter	18
3.3 Kalibrierung.....	18
4 Ergebnisse Griffigkeitsmessungen	19
4.1 Übersicht Erhebungen	19
4.2 Resultate der Erhebungen	20
4.2.1 Kalibrierungsmessung.....	20
4.2.2 Messprogramm	21
5 Auswertung und Analyse.....	37
5.1 Kalibrierungsmessungen	37
5.1.1 Grundsatz und Anforderungen.....	37
5.1.2 Kalibrierungsmessungen auf dem Testgelände St. Stephan.....	37
5.1.3 Ergebnisse der Kalibrierungsmessungen	37
5.2 Griffigkeiten bei verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen	39
5.2.1 Abgrenzungen und Einschränkungen.....	39
5.2.2 Messresultate	39
5.3 Vorläufige Erkenntnisse	42
5.3.1 Fahrbahnzustände bei kalten Bedingungen	42
5.3.2 Fahrbahnzustände bei warmen Bedingungen	43
5.3.3 Weitere Fahrbahnzustände.....	44
6 Folgerungen	46
6.1 Allgemeines	46
6.2 Griffigkeitswerte	46
6.2.1 Messresultate.....	46
6.2.2 Griffigkeitsanforderungen.....	47
6.3 Normung und weiterer Forschungsbedarf	49
6.3.1 Normung	49
6.3.2 Weiterer Forschungsbedarf	49

Anhang	51
Literaturverzeichnis	91
Projektabschluss	93
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen.....	95

Zusammenfassung

Anlass der Untersuchung

Für die Gewährleistung des erforderlichen Sicherheitsniveaus sind in der Schweiz für trockene oder nasse Strassenverhältnisse detaillierte Qualitätsanforderungen für die Fahrbahnoberfläche (SN-Normen Fahrbahngriffigkeit [1], Fahrbahnebenheit [2] und Oberflächenschäden [3]) vorhanden. Für winterliche Fahrbahnzustände fehlen solche Qualitätsstandards, wodurch auch die Beurteilungsmassstäbe für die Quantifizierung des Sicherheitsniveaus fehlen.

Mit einem Messprogramm im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit sollte die Fahrbahngriffigkeit bei verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen in verschiedenen Höhenlagen der Schweiz sowie auf verschiedenen Strassentypen erfasst werden. Daraus sollten vorläufige Bestimmungen von Richtwerten der Fahrbahngriffigkeit bei winterlichen Fahrbahnzuständen zur Gewährleistung eines genügenden Sicherheitsniveaus abgeleitet werden.

Erhebungserfahrungen

Mit dem durchgeführten Messprogramm bei unterschiedlichen Messbedingungen konnte gezeigt werden, dass Messungen der Fahrbahnbedingungen bei winterlichen Fahrbahnzuständen mit einem Verzögerungsmessgerät möglich sind. Diese Geräte müssen jedoch periodisch mit einem Vergleichsmessgerät (z.B. Skiddometer BV11) kalibriert werden. Dies auch um Einflüsse unterschiedlicher Bereifung auszuschliessen.

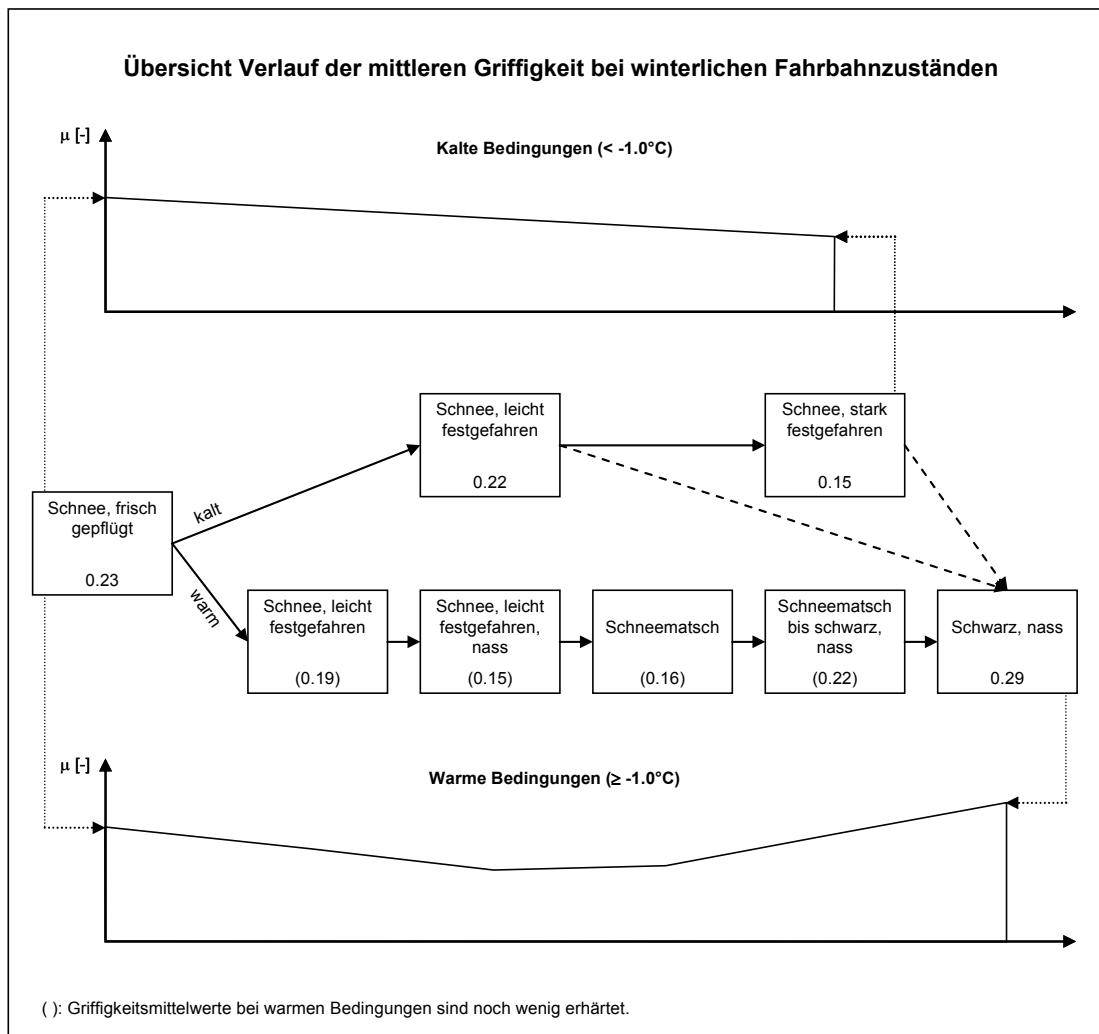
Griffigkeitswerte auf winterlichen Fahrbahnen

Die Messungen bei verschiedenen Fahrbahnzuständen und Wetterbedingungen zeigten, dass für die Beurteilung der Fahrbahngriffigkeit bei winterlichen Verhältnissen zwei Situationen unterschieden werden sollten. Vereinfacht können sie in „kalt“ ($< -1.0^{\circ}\text{C}$) und „warm“ ($\geq -1.0^{\circ}\text{C}$) getrennt werden. Während die Griffigkeit bei der Situation „kalt“ in der Regel über eine gewisse Zeit, insbesondere bei längeren stabilen Wetterverhältnissen, für verschiedene Fahrbahnzustände etwa konstant bleiben, sind bei der Situation „warm“ meistens rasch wechselnde Griffigkeitsniveaus vorhanden. Sie werden nicht nur durch die Temperatur sondern auch wesentlich durch das Befahren der winterlichen Fahrbahn und durch Salzeinsätze beeinflusst.

Für „kalte“ Verhältnisse können aufgrund der durchgeführten Erhebungen im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit folgende Richtwerte für Griffigkeitsniveaus angegeben werden. Diese Richtwerte der Griffigkeitsniveaus lassen sich durch Vergleich mit bekannten Werten aus dem Ausland, z.B. Schweden und Finnland, bestätigen.

- Schnee, frisch gepflügt: $\mu = 0.22 - 0.24$
- Schnee, leicht festgefahren: $\mu = 0.21 - 0.23$
- Schnee stark festgefahren: $\mu = 0.13 - 0.16$

Für „warme“ Verhältnisse, und entsprechend rasch sich verändernde d.h. relativ instabile winterliche Fahrbahnzustände, sind aus der Literatur und der Praxis praktisch keine Erhebungen und Auswertungen bekannt. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gewonnen Erkenntnisse sind neu und noch wenig erhärtet. Es zeigt sich jedoch, dass bei warmen Bedingungen eine Absenkung der Griffigkeit vom Ausgangsniveau bei frisch gepflügtem Schnee erfolgt, wenn die Schneedecke nass wird. Bei leicht festgefahrenem Schnee wurde bei warmen Bedingungen Griffigkeitswerte um 0.19, bei Schneematsch ein Griffigkeitsniveau um 0.16 gemessen. Sobald die nasse Schneedecke beim Bremsvorgang durchbrochen und ein Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche hergestellt werden kann, steigt die Griffigkeit wieder an. Zur Bestätigung und Verfeinerung bedarf es hier weiterer Untersuchungen, vor allem auch Erhebungen zum Einfluss des Salzens.



Résumé

Motif de la recherche

Afin d'assurer le niveau de qualité requis, la Suisse dispose d'exigences de qualité détaillées pour les surfaces des chaussées (normes SN adhérence des chaussées [1], planéité des chaussées [1] et dégradation des surfaces [3]) pour des conditions de chaussées sèches et mouillées. Les standards de qualité pour les états des routes en hiver faisant défaut, il n'existe pas de mesure d'évaluation pour la quantification du niveau de sécurité.

Dans le cadre du présent travail de recherche, le programme de mesures avait pour objectif d'enregistrer l'adhérence des chaussées pour différents états de routes en hiver et à des altitudes diverses en Suisse et sur différents types de route. Ces mesures ont permis par la suite d'établir des valeurs indicatives relatives à l'adhérence des routes pour les états des chaussées en hiver afin d'assurer un niveau de sécurité suffisant.

Expériences acquises lors du recensement

Le programme de mesures mené avec des conditions diverses a montré que des mesures des états des routes en hiver peuvent être effectuées avec un appareil mesurant la décélération. Ce type d'appareil doit toutefois périodiquement être calibré avec un appareil de comparaison (p. ex. skiddomètre BV11), notamment afin d'exclure les influences des différents trains de pneus.

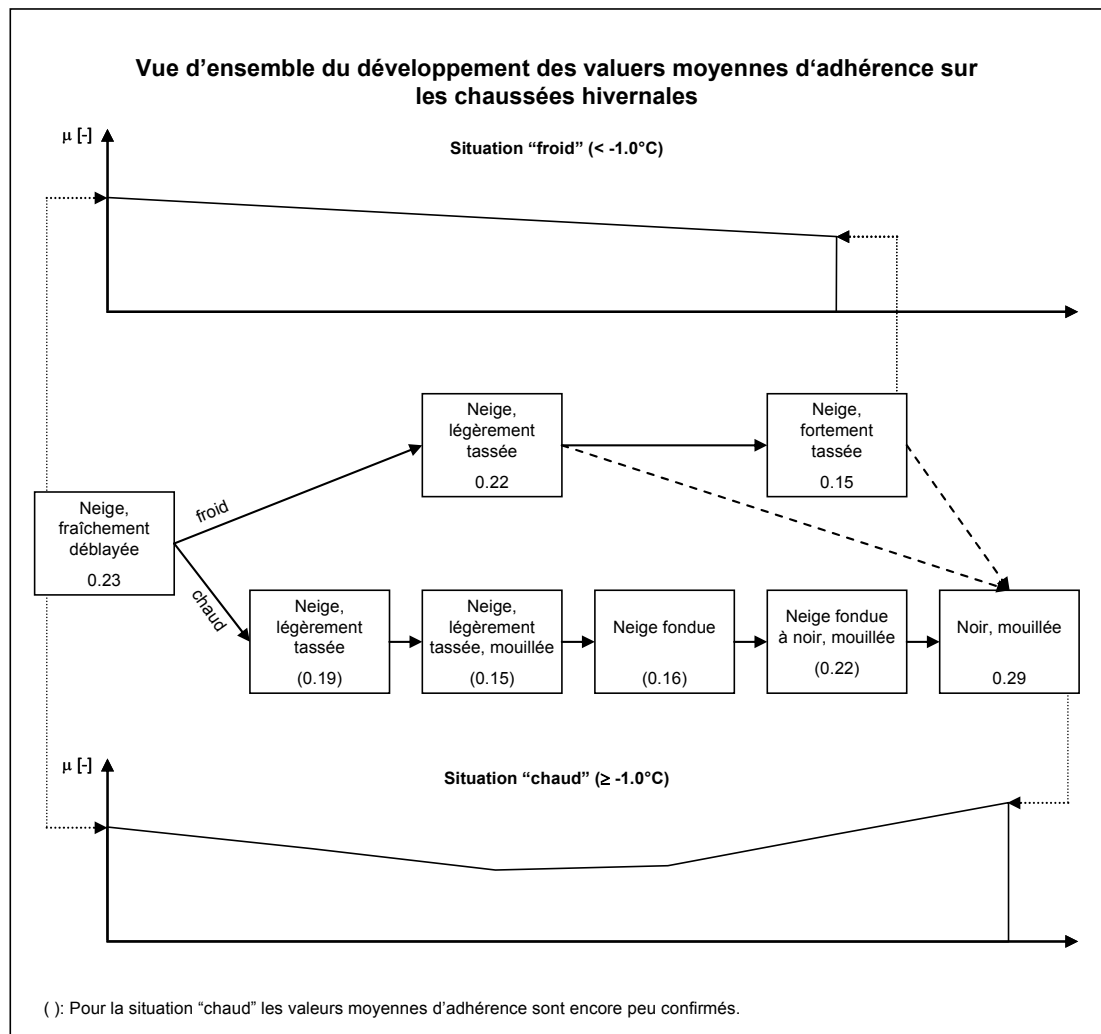
Valeurs d'adhérence sur les chaussées en hiver

Les mesures effectuées sur différents états de chaussées et avec des conditions météorologiques diverses ont mis en évidence qu'il faut distinguer deux situations pour l'évaluation de l'adhérence des routes en hiver. De manière simplifiée, la distinction peut être faite entre «froid» ($< -1.0^{\circ}\text{C}$) et «chaud» ($\geq -1.0^{\circ}\text{C}$). Pour la situation «froid», d'une manière générale et pour un certain temps, en particulier lorsque les conditions météorologiques sont longtemps stables, l'adhérence reste constante pour des états de chaussées divers alors que pour la situation «chaud», des modifications rapides des niveaux d'adhérence sont souvent constatées. Ces dernières ne sont pas uniquement influencées par la température mais également en grande partie par la conduite sur des chaussées avec des conditions hivernales et les salages.

Pour la situation «froid» et sur la base des recensements effectués dans le cadre du présent travail de recherche, les valeurs indicatives suivantes peuvent être établies pour les niveaux d'adhérence. Des comparaisons avec des valeurs connues de l'étranger (p. ex. Suède et Finlande) confirment ces dernières.

- neige, fraîchement déblayée: $\mu = 0.22 - 0.24$
- neige, légèrement tassée: $\mu = 0.21 - 0.23$
- neige, fortement tassée: $\mu = 0.13 - 0.16$

Pour la situation «chaud» et des conditions de chaussées hivernales et assez instables changeant rapidement, presque aucun recensement, ni aucune évaluation issus de la littérature ou de la pratique ne sont connus. Les connaissances acquises lors de la présente recherche sont donc nouvelles et encore peu confirmées. Cependant, quand les conditions météorologiques sont considérées comme «chaudes», une baisse de l'adhérence est constatée par rapport au niveau initial (quand la neige vient d'être déblayée) lorsque la couche de neige devient mouillée. Lorsque la neige est légèrement tassée et les conditions météorologiques sont considérées comme «chaudes», on a enregistré des valeurs d'adhérence de 0.19 et de 0.16 lorsque la neige a fondu. Dès que la couche de neige mouillée peut être traversée en freinant et que les pneus et la surface de la chaussée entre en contact, l'adhérence augmente à nouveau. Des recherches complémentaires doivent menées afin de confirmer et préciser ces résultats et en particulier des évaluations relatives à l'influence du salage.



Summary

Reason for research

In order to ensure the necessary traffic safety level, Switzerland has explicit requirements for dry and wet road surface conditions (SN-Standards "Fahrbahngriffigkeit" [1], "Fahrbahnebenheit" [1] und "Oberflächenschäden" [3]). In contrast, there are no quality requirements for winter road surfaces and also no assessment criteria for the quantification of the safety level.

The measuring program in this research project aimed to record the skid resistance of different winter road surface conditions at various altitudes and on various road types in Switzerland. Based on these measurements preliminary reference values of skid resistance of winter road surfaces should be established.

Experience of measurements

The measurements carried out under various conditions showed that it is possible to measure winter road conditions with a decelerometer. However, this type of measuring system has to be calibrated periodically (for example with a Skiddometer BV11), in particular to exclude the influences of different tires.

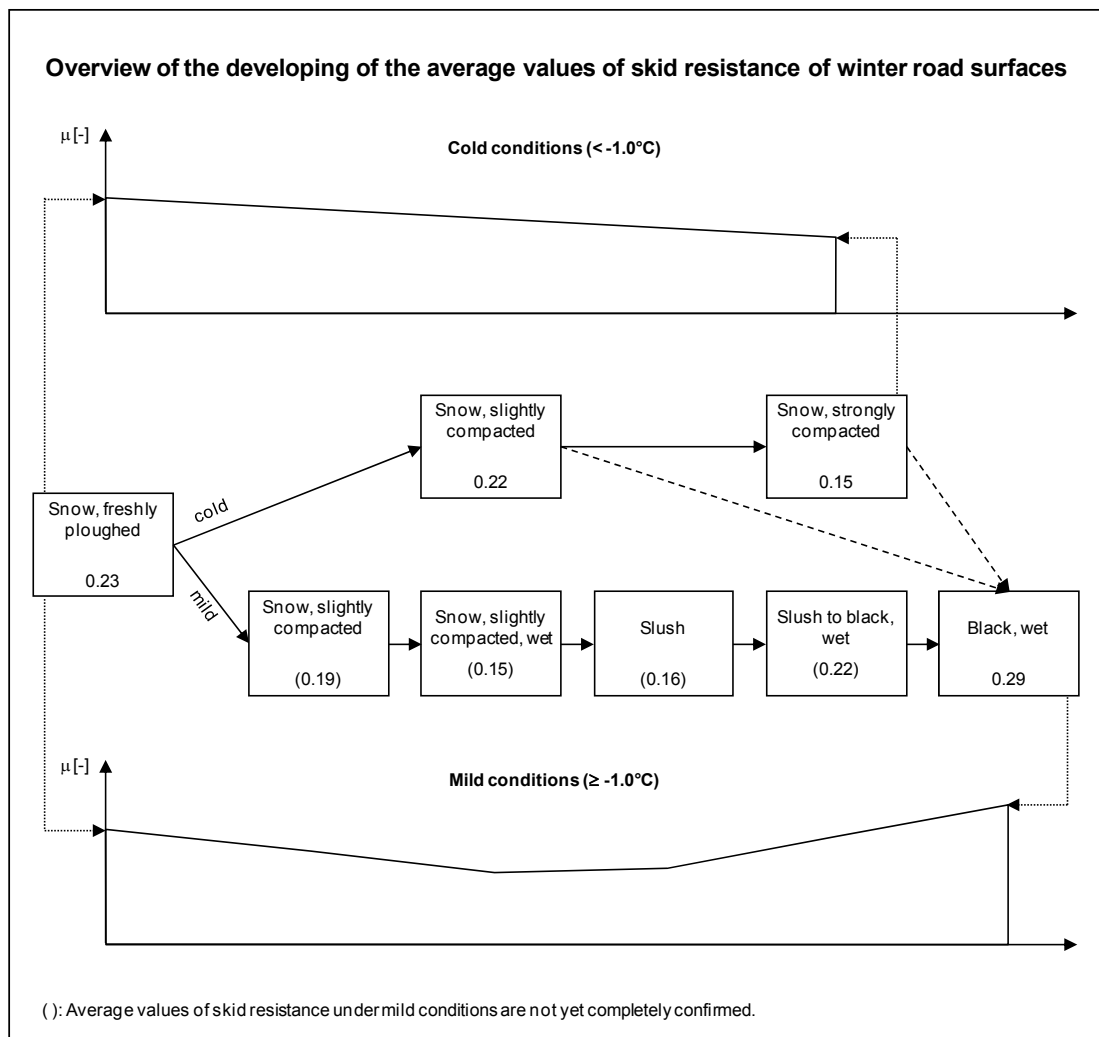
Values of skid resistance of winter road surfaces

The measurements under various road surface and weather conditions showed that it is necessary to define two different situations for the evaluation of the skid resistance of winter road surfaces. In a simplified way, the distinction can be made between "cold" ($< -1.0^{\circ}\text{C}$) and "mild" ($\geq -1.0^{\circ}\text{C}$). Under "cold" conditions the skid resistance generally remains constant for a certain time, particularly under stable weather conditions, whereas under "mild" conditions the value of skid resistance often changes rapidly. These values are not only influenced by the temperature but also mainly by the traffic and the salt spreading.

Based on the measurements which were carried out in the present research project the following reference values of skid resistance can be established. Comparisons with known values from abroad (for example Sweden and Finland) confirm these values.

- Snow, freshly ploughed: $\mu = 0.22 - 0.24$
- Snow, slightly compacted: $\mu = 0.21 - 0.23$
- Snow, strongly compacted: $\mu = 0.13 - 0.16$

For the situation "mild" with varying winter road conditions, almost no evaluation from the literature or the practice is known. The findings of the current research project are thus new and not yet completely confirmed. However, a decrease of skid resistance is noted compared to the initial level (when snow has just been ploughed) when the layer of snow becomes wet. The value of skid resistance of slightly compressed snow under "mild" conditions is about 0.19 and 0.16 when there is slush. As soon as the tyres can break through the wet layer of snow and there is a contact between the road surface and the tyres, the value of skid resistance increases again. In order to confirm and improve these results complementary research is necessary, especially measurements of the influence of salt spreading.



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Bereitstellung von möglichst auch bei winterlichen Verhältnissen benutzbaren Strassenanlagen erfordert das Gewährleisten von Strassenzustandsbedingungen, die ein genügendes Sicherheitsniveau aufweisen. Die Quantifizierung dieser Sicherheitsniveaus für verschiedene Witterungs- und Strassenzustandsbedingungen ist nicht einfach.

In der Schweiz führen die Winterdienste heute ihre Tätigkeit hauptsächlich aufgrund von Informationen (Wetterprognosen, Prognoseentwicklungen, Warnungen) der Meteorologie und eigenen, örtlichen Wetterinformationen (online Informationen aus kantonalen oder kommunalen Stationen) sowie langjährigen Erfahrungen durch. Dazu werden einerseits detaillierte Einsatzpläne für verschiedenste Witterungsverhältnisse und -entwicklungen unter Berücksichtigung der Verkehrsverhältnisse und der Tageszeit verwendet. Andererseits sind speziell ausgebildete und erfahrene Einsatzleiter zur Bewältigung von Einzel- und Extremereignissen vorhanden bzw. abrufbar. Die Bewertung und Beurteilung der vorhandenen Qualität der Fahrbahnzustände erfolgt visuell und qualitativ.

Während für die Beschreibung von Fahrbahnzuständen bei normalen Verhältnissen (trocken, nass) zur Gewährleistung des erforderlichen Sicherheitsniveau in der Schweiz detaillierte Qualitätsstandards vorhanden sind (SN-Normen Fahrbahngriffigkeit [1], Fahrbahnebenheit [2] und Oberflächenschäden [3]) fehlen solche für winterliche Fahrbahnzustände. Damit fehlen auch die Beurteilungsmassstäbe für die Quantifizierung des Sicherheitsniveaus.

Wie aus der langjährigen Erfahrung verschiedener Länder (Finnland, Norwegen, Schweden, Deutschland, Österreich, Japan, Kanada, USA) ersichtlich ist, werden zur Quantifizierung des Sicherheitsniveaus auf winterlichen Fahrbahnen zwei Grössen verwendet:

- Eine genügende Fahrbahngriffigkeit zur Gewährleistung einer sicheren Fahrt ohne Schleudern oder Rutschen bei bestimmter Fahrgeschwindigkeit
- Keine oder begrenzte Schneehöhe (max. Tiefe der Radspuren zur Sicherstellung der Lenkung und Gewährleistung der Antriebsleistung)

An diese Grössen werden für verschiedene winterliche Fahrbahnzustände unterschiedliche (abgestufte) Anforderungen (Qualitätsstandards) gestellt.

In der Schweiz fehlen hierfür die Erkenntnisse (Forschung), Erfahrungen (Praxis) und Festlegungen (Normen). Das vorliegende Forschungsvorhaben dient der Erarbeitung von Grundlagen zur Bewertung von winterlichen Fahrbahnzuständen mittels Griffigkeit und Schneehöhen (Tiefe Radspuren) für verschiedene Fahrbahnverhältnisse.

1.2 Auftrag

Das Bundesamt für Strassen ASTRA erteilt dem IVT ETH Zürich am 14. November 2007 den Forschungsauftrag 2007/012, Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen.

1.3 Forschungsziele

Im Rahmen dieser Untersuchung geht es darum einen ersten realen Feldversuch zur Erfassung und Bewertung der Fahrbahngriffigkeit verschiedener winterlicher Fahrbahnzustände in begrenztem Umfang für schweizerisch typische Verhältnisse durchzuführen.

Mit der Durchführung der Untersuchung werden zwei Ziele verfolgt:

- Erfassung vorhandener Fahrbahngriffigkeiten für verschiedene Fahrbahnzustände wie Vereisung, Schnee, Schneeglätte und Schneematsch in Abhängigkeit von Temperatur und Einsatzart und Zeitpunkt der Schneeräumung bzw. der Glatteisbekämpfung
- Differenzierung der Fahrbahngriffigkeiten nach örtlicher Lage Mittelland und höhere Lagen, nach ausserorts und innerorts sowie nach Strassentypen (HLS, HVS + VS, SS + ES)

Mit der Erarbeitung und Beurteilung dieser Grundlagen werden folgende Zwecke angestrebt:

- Vorläufige Bestimmung von Richtwerten der Fahrbahngriffigkeit bei winterlichen Fahrbahnzuständen zur Gewährleistung eines genügenden Sicherheitsniveaus für die Strassenbenutzer
- Schaffung erster Grundlagen quantifizierter Standards für funktionsorientierte Leistungsbeschriebe im Winterdienst (Leistungsvereinbarungen)
- Bereitstellung von Erkenntnissen für die Normung im Winterdienst (Fachkommission 6, EK 6.02) und Bewertung von Fahrbahnzuständen (Fachkommission 7, EK 7.05)

1.4 Vorgehen

Mit definierten Messserien werden Erfahrungen über die Griffigkeitsniveaus bei verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen, die relevanten Einflüsse auf die Griffigkeit sowie die Genauigkeiten der Messungen gesammelt.

Die Messungen im Rahmen der Messserien liefern weitere Erkenntnisse im Bezug auf die Einsatzmöglichkeiten der Griffigkeitsmesssysteme auf winterlichen Fahrbahnen.

Das Messprogramm richtet sich nach den vorhandenen Fahrbahnzuständen und den Witterungsbedingungen. Dazu sind enge Kontakte mit den örtlichen für den Winterdienst verantwortlichen Behörden, insbesondere Werkhöfen, zwingend erforderlich. Die sich schnell verändernden Fahrbahnzustände verlangen auch spontane Einsätze der Mess-equipen bei geeigneten Messbedingungen.

2 Stand der Forschung

Aus den im Winterdienst erfahrenen Ländern Finnland und Schweden sind Zusammenhänge zwischen dem Strassenzustand und der Griffigkeit bei winterlichen Bedingungen vorhanden (Tab. 2.1 und Tab. 2.2).

Tab. 2.1 Zusammenhang zwischen Griffigkeit und Strassenzustand (Finnland) [4]

Strassenzustand	Nasses Eis	Sauberes Eis	Harter Schnee	Grobkörniges Eis und harter Schnee	Schwarz und nass	Schwarz und trocken
Griffigkeitswert	0.00 – 0.14	0.15 – 0.19	0.20 – 0.24	0.25 – 0.29	0.30 – 0.44	0.45 – 1.00

Tab. 2.2 Zusammenhang zwischen Griffigkeit und Strassenzustand (Schweden) [5]

Strassenzustand	Nasses Eis	Sauberes Eis	Loses Eis auf festgefahretem Schnee	Festgefahrener Schnee	Loser Schnee	Schwarz und nass	Schwarz und trocken
Griffigkeitswert	0.05 – 0.10	0.15 – 0.30	0.15 – 0.25	0.20 – 0.30	0.20 – 0.50	0.7 – 0.8	0.8 – 1.0

Die Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen zeigen die Grössenordnungen, welche bei den einzelnen Fahrbahnzuständen zu erwarten sind. Die Resultate aus Finnland zeigen für eisbedeckte Strassen eine Spannweite der Griffigkeit von 0.0 – 0.2, sowie für Schnee von 0.2 – 0.3. Die Messungen aus Schweden bestätigen die Resultate aus Finnland, wobei z.T. etwas höhere Griffigkeitswerte bestimmt wurden. Zudem wird ein Griffigkeitswert für den Strassenzustand „loser Schnee“ angegeben, welcher bei 0.5 liegt.

Eine detaillierte Literaturzusammenstellung und -auswertung ist in der Pilotstudie Winterdienst Nationalstrassen [6] zu finden.

In der Schweiz sind bisher keine Erfahrungen mit Messungen der Griffigkeit bei solchen Strassenzuständen vorhanden. Aufgrund des unterschiedlichen Klimas ist der Schnee in der Schweiz nicht identisch mit dem Schnee in Skandinavien. Aus diesem Grund kann nicht davon ausgegangen werden, dass die aus Skandinavien bekannten Griffigkeitsniveaus einfach für die Schweiz übernommen werden können.

Im Weiteren existieren in der Schweiz häufig Fahrbahnzustände, welche in Skandinavien weniger bedeutend sind. Zum Beispiel herrschen in der Schweiz vielfach Fahrbahnzustände mit nassem Schnee oder Schneematsch. Für diese Zustände sind bis jetzt keine Erfahrungen mit Griffigkeitswerten vorhanden.

3 Erhebungsmethodik

3.1 Messgeräte

Für die Messungen wurden die bereits in der Pilotstudie Winterdienst [6] eingesetzten Messgeräte BV 11 sowie das Verzögerungsmessgerät C- μ (Coralba) verwendet.

Die Verzögerungsmessungen wurden vom IVT der ETH Zürich durchgeführt. Für die Messungen mit dem Skiddometer BV 11 wurden Fachleute der Flughafen Zürich AG zugezogen.

Gegenüber der Pilotstudie [6] wurden die Verzögerungsmessungen aus zeitlichen Gründen nur mit einem Gerät durchgeführt. Aufgrund des Bedienungskomforts wurde das Gerät C- μ (Coralba) dem Gerät Eltrip vorgezogen. Zudem wurde aufgrund der bisherigen Erfahrungen sowie der Erkenntnissen aus der Literatur auf die Vergleichsmessung der beiden Geräte verzichtet.

3.1.1 Skiddometer BV 11 (Flughafen Zürich AG)

Das dynamische Griffigkeitsmessgerät Skiddometer BV 11 wird zur Erhebung von Griffigkeiten überwiegend auf Flugpisten eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen einachsigen Messanhänger mit drei Rädern. Das mittlere ist das Messrad, bei welchem die entstehende Reibungskraft zwischen Reifen und Kontaktfläche gemessen wird.

Messsystem:

- Messart: 17% Schlupf
- Messgeschwindigkeit: 20 – 160 km/h
- Messreifen: Trelleborg T 49 High Speed 4.00-8 / 71j 6 PR
- Reifeninnendruck: 1.2 bar
- Radlast: 1.1 kN
- Zugfahrzeug: Volvo V70, 4x4



Abb. 3.1 Skiddometer BV 11 mit Zugfahrzeug

3.1.2 C- μ (Coralba)

C- μ (Coralba) ist ein weit verbreitetes Verzögerungsmessgerät zur Bestimmung der Griffigkeit. Der Reibungskoeffizient wird aufgrund der Geschwindigkeitsreduktion bei einer Bremsung während 1 bis 7 s berechnet. Hierfür wird über die gewählte Messgeschwindigkeit hinaus beschleunigt und dann die Geschwindigkeit im Leergang auf die Messgeschwindigkeit zurückgehen gelassen und gebremst. Nach dem Bremsvorgang wird das Fahrzeug im Leergang rollen gelassen bis das Messgerät die Auswertung der Griffigkeit vorgenommen hat. Anschliessend kann wieder beschleunigt und eine nächste Messung durchgeführt werden.

Die Messungenauigkeit des Verzögerungsmessgeräts C- μ (Coralba) wird vom Hersteller mit 0,03% angegeben.

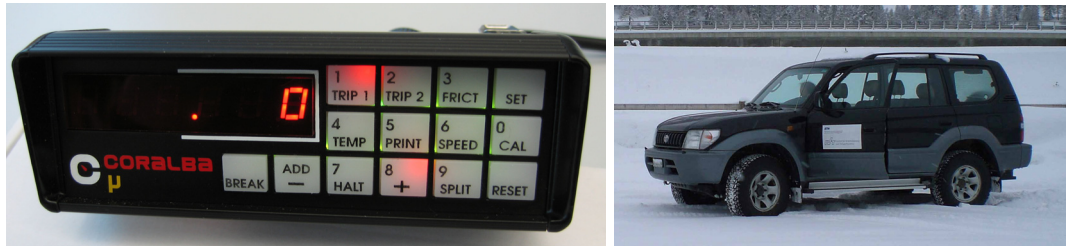


Abb. 3.2 C- μ (Coralba) und Messfahrzeug

Da für die Messung mit einem Verzögerungsmessgerät eine Vollbremsung durchgeführt werden muss, eignen sich diese Geräte speziell für Messungen auf schneebedeckten Fahrbahnen. Für Messungen auf nassen oder gar trockenen Fahrbahnen ohne eine Sperrung der Fahrstreifen sind diese Messgeräte aufgrund der notwendigen Vollbremsung dagegen nicht oder nur beschränkt geeignet.

Um vergleichbare Messresultate zu erhalten müssen Verzögerungsmessgeräte regelmäßig kalibriert werden. Dabei muss beachtet werden, dass die Kalibrierung nur in Kombination mit dem Fahrzeug und den benutzten Pneu gültig ist. Damit sind auch Einflüsse der individuellen Bereifung in den Messwerten eingeschlossen, diese haben aber auf das kalibrierte Messniveau keine Auswirkungen mehr. Für die Messungen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde zur Kalibrierung der Skiddometer BV 11 eingesetzt.

3.2 Untersuchungsparameter

3.2.1 Fahrbahnzustände

Folgende Fahrbahnzustände wurden bei den Messungen unterschieden:

- Schnee, frisch gepflügt
- Schnee, leicht festgefahren
- Schnee, stark festgefahren
- Schnee, leicht festgefahren, nass
- Schneematsch
- Schneematsch bis schwarz, nass
- Schwarz, nass
- Schnee, nass bis Schneematsch (locker)
- Schnee, leicht gekiest
- Schnee, gesalzen
- Eisglätte

Bei den Messungen hat sich gezeigt, dass neben den oben definierten Fahrbahnzuständen weitere Zustände definiert werden müssen, damit alle Zwischenbereiche beschrieben werden können. Vor allem beim Übergang von nassem Schnee zu Schneematsch und der schwarzen, nassen Strasse gibt es Übergangsbereiche, welche zusätzlich definiert wurden. Zudem hat sich gezeigt, dass es Unterschiede bei der Griffigkeit gibt, wie stark die Schneedecke auf der Fahrbahn festgefahren ist.

3.2.2 Strassentypen

Die Messungen wurden auf verschiedenen Strassentypen (HLS, HVS + VS, SS) vorgenommen.

Es wurden im Rahmen von zwei Messserien Erhebungen wie folgt durchgeführt:

- Winter 2007/2008: Mittelland und vor allem Voralpengebiete
- Winter 2008/2009: Mittelland und höhere Lagen (Engadin)

3.2.3 Umgebungsparameter

Um weitere relevante Einflüsse auf die Griffigkeit erkennen zu können, wurden bei den Messungen die folgenden Umgebungsbedingungen erfasst:

- Wetter
- Temperatur Luft
- Temperatur Strassenoberfläche
- Oberflächentemperatur Schnee
- Schneedicke

3.3 Kalibrierung

Vor dem ersten Messeinsatz wurde das Verzögerungsmessgerät C- μ (Coralba) am Skiddometer BV 11 kalibriert. Die Kalibrierungsmessungen wurden auf einer präparierten Messpiste ohne Verkehr durchgeführt.

Für die Kalibrierungsmessungen muss ein repräsentativer Fahrbahnzustand gewählt werden. Das heisst, die Kalibrierung muss auf einem Griffigkeitsniveau gemacht werden, welches bei den eigentlichen Messungen erwartet wird. Im Fall der vorliegenden Forschungsarbeit wurde als repräsentativer Fahrbahnzustand für die Kalibrierung eine schneebedeckte und frisch gepflügte Fahrbahn gewählt.

Für die Kalibrierung mussten die Einstellungen des Messgerätes C- μ (Coralba) derart verändert werden, dass der Mittelwert der Messungen nicht mehr als 0.03 vom Mittelwert der Skiddometermessung abweicht und die Standardabweichung des Messgerätes C- μ (Coralba) kleiner gleich 0.03 beträgt.

4 Ergebnisse Griffigkeitsmessungen

4.1 Übersicht Erhebungen

Im Winter 2007/2008 konnten an vier Messtagen zehn unterschiedliche Messungen durchgeführt werden. Dabei wurde neben dem Hauptmessgerät C- μ (Coralba) auch das Messsystem Skiddometer BV 11 eingesetzt. Die Messung 1 diente zur Kalibrierung des Verzögerungsmessgerätes C- μ (Coralba) mit dem Skiddometer BV 11. Im Winter 2008/2009 wurden weitere 15 Messungen an 5 Tagen mit dem Messgerät C- μ (Coralba) durchgeführt.

Die nachfolgende Tab. 4.3 liefert einen Überblick über die durchgeführten Messungen und die jeweils vorhandenen Fahrbahnzustände.

Tab. 4.3 Übersicht Messungen Wintergriffigkeit Winter 2007/2008

Nr.	Datum	Ort	Fahrbahnzustand	Messgeräte
1	06.03.08	St. Stephan	Schnee, frisch gepflügt	Coralba, Skid. BV 11
2	06.03.08	St. Stephan	Schnee, frisch gepflügt; Schnee, leicht festgefahren, nass; Schneematsch; Schneematsch bis schwarz, nass	Coralba, Skid. BV 11
3	25.03.08	Studen	Schnee, leicht festgefahren; Schneematsch	Coralba
4	25.03.08	Unteriberg	Schnee, stark festgefahren	Coralba
5	25.03.08	Weglosen	Schnee, gesalzen	Coralba
6	25.03.08	Alpthal	Schnee, leicht festgefahren; Schneematsch; Schneematsch bis schwarz, nass	Coralba
7	26.03.08	Wildhaus	Schnee, leicht festgefahren; Schneematsch; Schneematsch bis schwarz, nass	Coralba
8	03.04.08	Gross	Schnee, nass bis Schneematsch	Coralba
9	03.04.08	Studen	Schnee, nicht festgefahren, nass; Schwarz, nass	Coralba
10	03.04.08	Alpthal	Schnee, leicht festgefahren, nass; Schnee, nicht festgefahren, nass	Coralba
11	23.11.08	Oetwil	Schnee, nass bis Schneematsch	Coralba
12	23.11.08	Weiningen	Schnee, gesalzen	Coralba
13	23.11.08	Schlieren	Schnee, leicht festgefahren, nass	Coralba
14	23.11.08	Reppischtal	Schnee, leicht festgefahren, nass	Coralba
15	25.11.08	S-Chanf	Schnee, leicht festgefahren; Schnee, festgefahren Schnee, stark festgefahren; Schnee, stark festgefahren, gepflügt	Coralba
16	25.11.08	Samedan	Schnee, frisch gepflügt; Schnee, leicht festgefahren	Coralba
17	25.11.08	Zuoz	Schnee, leicht gekiest	Coralba
18	25.11.08	Bever	Schnee, leicht festgefahren	Coralba
19	26.11.08	Samedan	Schnee, leicht festgefahren	Coralba
20	26.11.08	S-Chanf	Schnee, leicht festgefahren; Schnee, stark festgefahren; Schwarz, nass	Coralba
21	26.11.08	Zuoz	Schnee, leicht gekiest	Coralba
22	17.12.08	Dietikon	Schneematsch	Coralba
23	18.02.09	Uznach	Schneematsch gefroren	Coralba
24	18.02.09	Höngg	Eisglätte	Coralba
25	18.02.09	Höngg	Eisglätte; Eisglätte, körnige Struktur	Coralba

Eine Messung kann mehrere Messfahrten beinhalten. Für jede Messfahrt wurden jeweils die Umgebungsparameter bestimmt. Die Messresultate aller Messfahrten sind in Anhang I (Kalibrierungsmessung) und Anhang II im Detail zusammengestellt.

4.2 Resultate der Erhebungen

4.2.1 Kalibrierungsmessung

Messung 1, St. Stephan

Auf dem Flugplatz St. Stephan wurde die Kalibrierung des Verzögerungsmessgerätes C- μ (Coralba) am Skiddometer BV 11 durchgeführt. Für diese Kalibrierung wurde eine Messpiste hergerichtet, um die Messfahrten ungestört von fremdem Verkehr und exakt definierten Fahrbahnzuständen durchführen zu können.

Die Kalibrierung wurde wie geplant auf der frisch gepflügten Messpiste vorgenommen. Um die Kalibrierung bei möglichst optimalen Bedingungen durchführen zu können, wurde ein 300 m langes Teilstück der Messpiste ausgewählt, auf welchem die Oberfläche eben und die Bedingungen möglichst konstant waren. Es wurde jeweils die Griffigkeit in beide Fahrtrichtungen bestimmt.

- Messbedingungen:
 - Wetter: Sonnenschein
 - Temperatur Luft: -13°C bis -1°C
 - Temperatur Schnee: -8°C bis -6°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, frisch gepflügt



- Messresultate (Auswahl):

Zur Kalibrierung der Messsysteme wurden acht Messfahrten durchgeführt (siehe Anhang I). Die Abb. 4.3 sowie die Tab. 4.4 zeigen die Messresultate der für die Kalibrierung verwendeten Messfahrt des Skiddometers BV 11.

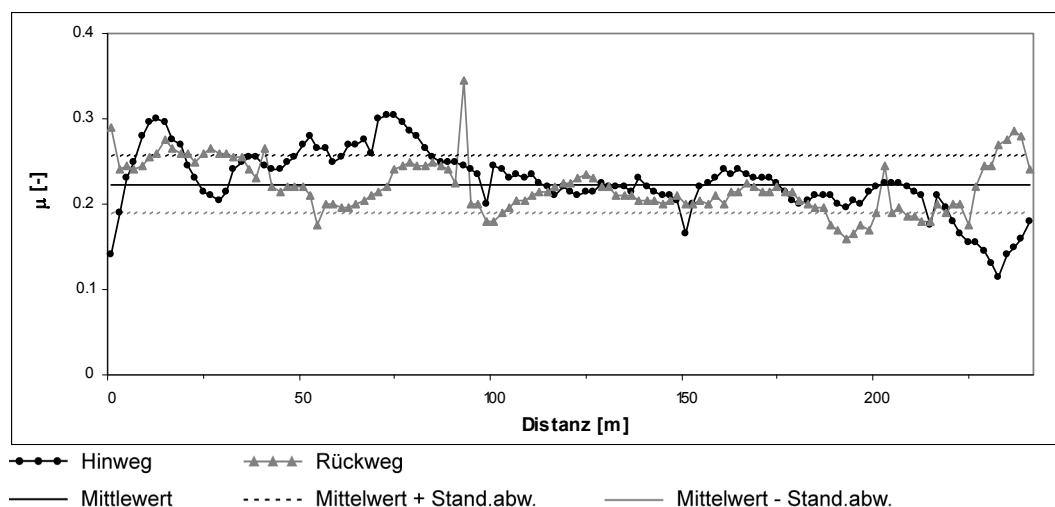


Abb. 4.3 Messresultate Kalibrierungsmessung Skiddometer BV 11 (Messfahrt 5)

Tab. 4.4 Messresultate Kalibrierungsmessung Skiddometer BV 11 (Messfahrt 5)

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
Skiddometer BV 11	65 km/h	0.223	0.027

Mit den gewählten Einstellungen des C- μ (Coralba) wurden folgende (vgl. Tab. 4.5) Griffigkeiten gemessen.

Tab. 4.5 Messresultate Kalibrierungsmessung C- μ (Coralba) (Messfahrt 6 und 8, zusammengefasst)

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.223	0.027

- Kommentar:
 - Mit der gewählten, ersten Einstellung des C- μ (Coralba) wiesen die Messresultate der beiden Messsysteme nur sehr geringe Unterschiede auf.
 - Diese Erkenntnis wird auch durch die zur Kontrolle durchgeführten weiteren Messfahrten bestätigt (vgl. Anhang I).
 - Die Standardabweichung und somit die Schwankung der Einzelmessungen ist bei beiden Messsystemen gering.

4.2.2 Messprogramm

Messung 2, St. Stephan

Anschliessend an die Kalibrierungsmessung wurde in St. Stephan auf der gesamten Messpiste (ca. 1.3 km) Messfahrten mit beiden Messsystemen durchgeführt.

- Messbedingungen:
 - Wetter: Sonnenschein
 - Temperatur Luft: 0°C bis 2°C
 - Temperatur Schnee: 0°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt;
Schnee, leicht festgefahren, nass;
Schneematsch;
Schneematsch bis schwarz, nass



Die Messpiste wies keinen homogenen Zustand mehr auf. Durch den relativ schnellen Temperaturanstieg ergaben sich unterschiedliche Fahrbahnzustände. Auf einem Teilstück der Messpiste hatte sich der Zustand gegenüber der Kalibrierungsmessung (Messung 1) kaum verändert und weitere Messungen auf gepflügtem Schnee waren möglich. Einzelne Stellen sind durch die mehrfachen Überfahrten und Bremsvorgänge der Messfahrzeuge abgefahren und z. T. eisig geworden. An anderen Stellen ist der Schnee durch die Sonneneinstrahlung zu Schneematsch geworden oder sogar ganz geschmolzen.

- Messresultate (Auswahl):

Die Abb. 4.4 und die Tab. 4.6 zeigen die Resultate der Messung mit dem Skiddometer BV 11.

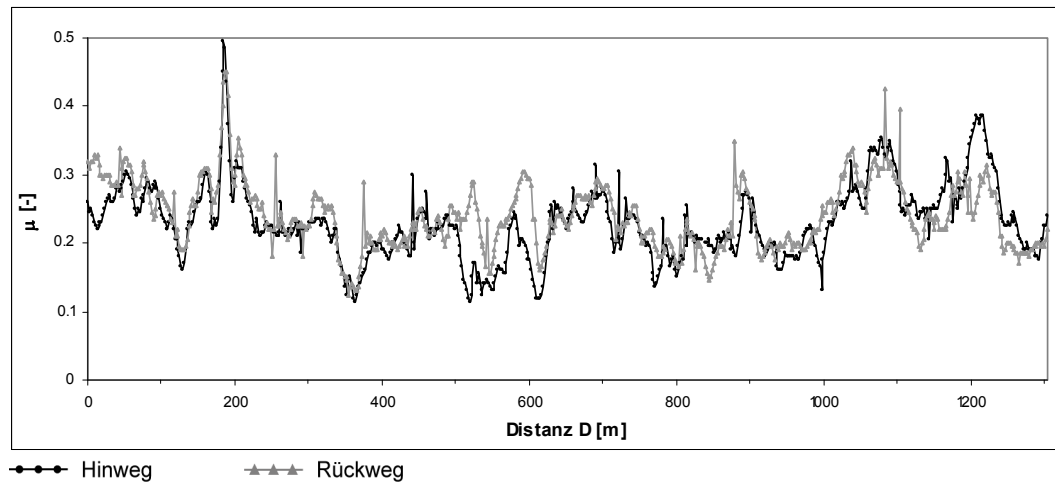


Abb. 4.4 Messresultate Skiddometer BV 11, Messung 2 (Messfahrt 1)

Tab. 4.6 Messresultate Skiddometer BV 11, Messung 2 (Messfahrt 1)

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
Skiddometer BV 11	65 km/h	0.235	0.053

Mit dem Messgerät C-μ (Coralba) wurden die Griffigkeiten bei verschiedenen Fahrbahnzuständen gemessen. Die Einzelmessungen wurden aufgrund visueller Beobachtung der örtlichen Fahrbahnzustände in verschiedene Gruppen eingeteilt. Die Messresultate der Messfahrten 2, 4 und 5 wurden zusammengefasst und für jeden Fahrbahnzustand einzeln ausgewertet. Die folgenden Tabellen (vgl. Tab. 4.7, Tab. 4.8, Tab. 4.9 und Tab. 4.10) geben einen Überblick über die durchschnittlichen Griffigkeitswerte bei den verschiedenen Zuständen.

Tab. 4.7 Messresultate C-μ (Coralba), Messung 2 (zusammengefasst); Schnee, frisch gepflügt

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C-μ (Coralba)	63 km/h	0.227	0.015

Tab. 4.8 Messresultate C-μ (Coralba), Messung 2 (zusammengefasst); Schnee, leicht festgefahren, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C-μ (Coralba)	63 km/h	0.179	0.016

Tab. 4.9 Messresultate C-μ (Coralba), Messung 2 (zusammengefasst); Schneematsch

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C-μ (Coralba)	63 km/h	0.180	0.014

Tab. 4.10 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 2 (zusammengefasst); Schneematsch bis schwarz, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	63 km/h	0.242	0.028

- Kommentar:
 - Die durchschnittlichen Griffigkeitswerte mit dem C- μ (Coralba) bei den verschiedenen Fahrbahnzuständen liegen im Bereich von 0.179 (Schnee, leicht festgefahren, nass) bis 0.242 (Schneematsch bis schwarz, nass).
 - Die Messung mit dem Skiddometer BV 11 weist deutlich mehr Schwankungen auf als bei der Kalibrierung. Dies ist auf die unregelmässige Fahrbahn zurückzuführen, welche aufgrund des relativ schnellen Temperaturanstiegs entstanden ist. Dies bestätigt auch die Unterschiede der Messungen mit dem C- μ (Coralba) bei den verschiedenen Fahrbahnzuständen.
 - Der Mittelwert der Skiddometermessung unterscheidet sich dagegen nur sehr geringfügig vom Mittelwert der Kalibrierungsmessung.
 - Wenn der Schnee beginnt nass zu werden sinkt die Griffigkeit. Mit der Zeit wird die Schneedecke immer dünner und beim Bremsvorgang kommt es zum Kontakt der Reifen mit der Fahrbahnoberfläche. Sofort steigt die Griffigkeit wieder an.

Messung 3, Studen

- Messbedingungen:
 - Wetter: leichter Schneefall
 - Temperatur Luft: -2.0°C bis 0.0°C
 - Temperatur Schnee: -0.5°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren; Schneematsch



- Messresultate:

Tab. 4.11 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 3 (Messfahrt 1); Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.195	0.012

Tab. 4.12 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 3 (zusammengefasst); Schneematsch

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.145	0.019

- Kommentar:
 - Bei schneebedeckter Fahrbahn ergab sich eine homogene Griffigkeit auf dem Niveau von 0.2.
 - Mit zunehmender Dauer (Anstieg Temperatur und Verkehr) wurde der Schnee nass und matschig. Die Griffigkeit sank ab (Mittelwert 0.145) und die Werte streuen stärker.

Messung 4, Unteriberg

- Messbedingungen:
 - Wetter: starker Schneefall
 - Temperatur Luft: -2.0°C
 - Temperatur Schnee: -1.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, stark festgefahren



- Messresultate:

Tab. 4.13 Messresultate $C-\mu$ (Coralba), Messung 4; Schnee, stark festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.152	0.024

- Kommentar:
 - Bei gepflügter aber stark festgefahrener Schneedecke ergibt sich ein durchschnittlicher Griffigkeitswert von 0.152.
 - Der gemessene Wert liegt tiefer als vorangehende Messungen bei vergleichbaren Bedingungen aber einer weniger festgefahrenen Schneedecke (vgl. Messung 3)

Messung 5, Weglosen

- Messbedingungen:
 - Wetter: leichter Schneefall
 - Temperatur Luft: -2.0°C
 - Temperatur Schnee: -1.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, gesalzen (ca. 5 Minuten vor Messung)

- Messresultate:

Tab. 4.14 Messresultate $C-\mu$ (Coralba), Messung 5; Schnee, gesalzen

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.221	0.021

- Kommentar:
 - Schon kurz nach dem Salzen wurde eine relativ hohe Griffigkeit von 0.22 gemessen.
 - Die Fahrbahn weist keinen homogenen Zustand auf, was z. T. zu starken Schwankungen der Einzelmessungen führt.

Messung 6, Alpthal

- Messbedingungen:
 - Wetter: leichter Schneefall
 - Temperatur Luft: 0.0°C
 - Temperatur Schnee: -0.5°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren;
Schneematsch;
Schneematsch bis schwarz, nass



- Messresultate:

Tab. 4.15 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 6; Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.203	0.021

Tab. 4.16 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 6; Schneematsch

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.137	0.015

Tab. 4.17 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 6; Schneematsch bis schwarz, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.187	0.012

- Kommentar:
 - Die drei gemessenen Fahrbahnzustände ergaben deutlich unterschiedliche Griffigkeitsniveaus.
 - Die mit frischem, leicht festgefahrenem Schnee bedeckte Fahrbahn wies eine Griffigkeit von 0.2 auf.
 - Die Griffigkeit sank auf 0.14 ab, als der Schnee nass und matschig wurde.
 - Sobald beim Bremsvorgang teilweise Kontakt zwischen der Fahrbahnoberfläche und dem Reifen hergestellt wurde, stieg die Griffigkeit mit 0.187 wieder an.

Messung 7, Wildhaus

- Messbedingungen:
 - Wetter: bedeckt
 - Temperatur Luft: 1.5°C bis 3.5°C
 - Temperatur Schnee: 0°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren;
Schneematsch;
Schneematsch bis schwarz, nass



- Messresultate:

Tab. 4.18 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 7 (zusammengefasst); Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.178	0.014

Tab. 4.19 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 7 (zusammengefasst); Schneematsch

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.150	0.013

Tab. 4.20 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 7 (zusammengefasst); Schneematsch bis schwarz, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h	0.215	0.035

- Kommentar:

- Mit der Messung 7 können die Erkenntnisse der Messung 6 über die Griffigkeitsniveaus verschiedener Fahrbahnzustände bestätigt werden.
- Wenn die Fahrbahnoberfläche teilweise matschig ist, liegt die Griffigkeit bei 0.150, wenn sie bereits schwarz ist, liegen die Werte bereits wieder höher und beginnen je nach örtlichem Fahrbahnzustand stark zu schwanken,.

Messung 8, Gross

- Messbedingungen:

- Wetter: Starker Schneefall
- Temperatur Luft: -1.0°C
- Temperatur Schnee: 0.0°C
- Fahrbahnzustand: Schnee, nass bis Schneematsch (locker)

- Messresultate:

Tab. 4.21 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 8; Schnee, nass bis Schneematsch (locker)

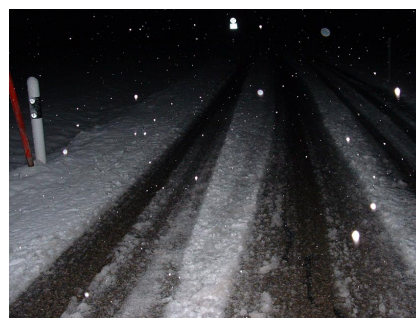
Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	45 km/h	0.206	0.022

- Kommentar:

- Die mittlere Griffigkeit betrug bei der schnee- und schneematschbedeckten Fahrbahn 0.206.
- Zu Beginn war der Schnee sehr nass und die Griffigkeit deutlich tiefer als der Mittelwert in Tab. 4.21. Durch den Verkehr wurde der Schnee matschig und die Griffigkeit erhöhte sich. Der Stichprobenumfang des Zustandes mit ganz frischem Schnee auf der Fahrbahn ist aber zu klein, um eine quantitative Aussage machen zu können.

Messung 9, Studen

- Messbedingungen:
 - Wetter: Leichter Schneefall
 - Temperatur Luft: 2.0°C
 - Temperatur Schnee: 0.0°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, nicht festgefahren, nass;
Schwarz, nass



- Messresultate:

Tab. 4.22 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 9; Schnee, nicht festgefahren (2 – 3 cm), nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	65 km/h	0.296	0.039

Tab. 4.23 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 9; Schwarz, nass, z.T. wenig Schneematsch

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	65 km/h	0.293	0.026

- Kommentar:
 - Die Griffigkeit bei sehr nassem und lockerem Schnee ist mit 0.296 gegenüber allen anderen bisher gemessenen Zuständen schneebedeckter Fahrbahn hoch.
 - Die Griffigkeit auf schwarzer, nasser oder leicht matschiger Fahrbahn weist mit 0.293 erwartungsgemäss ebenfalls ein hohes Griffigkeitsniveau auf.
 - Aufgrund der Resultate lässt sich kein Unterschied zwischen den beiden Fahrbahnzuständen erkennen. Dies lässt darauf schliessen, dass beim Zustand mit nassem, lockerem Schnee wie beim Zustand nass, Schneematsch beim Bremsvorgang die Schneedecke durchbrochen und somit Kontakt zwischen der Fahrbahnoberfläche und den Reifen hergestellt werden kann.

Messung 10, Alpthal

- Messbedingungen:
 - Wetter: Starker Schneefall
 - Temperatur Luft: 0.0°C
 - Temperatur Schnee: 0.0°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, nicht festgefahren, nass
Schnee, leicht festgefahren, nass;



- Messresultate:

Tab. 4.24 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 10; Schnee, nicht festgefahren, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	45 km/h	0.097	0.019

Tab. 4.25 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 10; Schnee, leicht festgefahren, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	45 km/h	0.140	0.028

- Kommentar:

- Die Griffigkeit bei sehr nassem, nicht festgefahrenem Schnee beträgt 0.097. Bei nassem, leicht festgefahrenem Schnee liegt die Griffigkeit bei 0.140.
- Die Griffigkeitswerte bei nassem Schnee liegen im Vergleich zu anderen Fahrbahnzuständen relativ tief. Vor allem der Wert bei nassem, nicht festgefahrenem Schnee bei einer geringen Schneehöhe von ca. 5 cm sehr tief.
- Beim Zustand mit nassem, nicht festgefahrenem Schnee ist die Griffigkeit bei dieser Messung im Vergleich zu Messung 9 deutlich tiefer. Die beiden Zustände unterscheiden sich in der Schneehöhe. Bei der Messung 9 betrug die Schneehöhe 2-3 cm, bei dieser Messung 5 cm. Dies deutet darauf hin, dass hier die Schneehöhe eine entscheidende Rolle spielt. Mehr Schneematsch bedeutet ungünstigere Griffigkeit.

Messung 11, Oetwil

- Messbedingungen:

- Wetter: Schneefall
- Temperatur Luft: 1.0°C
- Temperatur Schnee: 0.0°C
- Fahrbahnzustand: Schnee, nass bis Schneematsch (locker)



- Messresultate:

Tab. 4.26 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 11; Schnee, nass bis Schneematsch (locker)

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	60 km/h	0.193	0.033

- Kommentar:

- Die durchschnittliche Griffigkeit beträgt bei schnee- bis schneematschbedeckter Fahrbahn 0.190.
- Trotz des nassen Schnees und des Schneematsches ist die Griffigkeit verhältnismässig hoch.
- Die relativ hohen Griffigkeitswerte könnten darauf zurückzuführen sein, dass der Schnee nicht festgefahren ist und dadurch keine kompakte Schneedecke bildet. Dadurch wird bei einigen Messpunkten Bodenkontakt hergestellt, was zu hohen

Messwerten (bis 0.24) führt. Bei Messstellen, bei denen die Schneedecke nicht durchbrochen wird, zeigen sich deutlich tiefere Messwerte.

Messung 12, Weiningen

- Messbedingungen:
 - Wetter: Schneefall
 - Temperatur Luft: 1.5°C
 - Temperatur Schnee: 0.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, gesalzen

- Messresultate:

Tab. 4.27 Messresultate C-μ (Coralba), Messung 12; Schnee, gesalzen

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C-μ (Coralba)	60 km/h	0.193	0.037

- Kommentar:
 - Auf der kurz vor der Messung (ca. 3 bis 5 Minuten) gesalzenen Strecke wurde eine durchschnittliche Griffigkeit von 0.193 ermittelt. Dabei wurde bei der Messung an einigen Stellen die Schneedecke bereits durchbrochen.
 - Die Messbedingungen und auch die Messwerte sind mit der vorangehenden Messung 11 vergleichbar.

Messung 13, Schlieren

- Messbedingungen:
 - Wetter: Schneefall
 - Temperatur Luft: 1.5°C
 - Temperatur Schnee: 0.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, leicht festgefahren, nass

- Kommentar:
 - Aufgrund der sehr schnell ändernden Verhältnisse konnten nicht genügend Messungen durchgeführt werden. Die vorhandenen Werte dieser Messung werden nicht weiter berücksichtigt

Messung 14, Reppischtal

- Messbedingungen:
 - Wetter: Schneefall
 - Temperatur Luft: 1.5°C
 - Temperatur Schnee: 0.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, leicht festgefahren, nass

- Messresultate:

Tab. 4.28 Messresultate C-μ (Coralba), Messung 14; Schnee, leicht festgefahren, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C-μ (Coralba)	60 km/h	0.174	0.026

- Kommentar:
 - Die durchschnittliche Griffigkeit beträgt 0.174. Bei Stellen mit einer kompakten und nassen Schneedecke liegen die Messwerte tief (um 0.15). Bei lockerer Schneedecke wurden deutlich höhere Griffigkeitswerte gemessen (bis 0.21).
 - Wie bei den Messungen 11 und 12 zeigen sich eine relativ grosse Streuung der Messwerte, welche wiederum damit begründet werden können, dass an gewissen Stellen bei Bremsvorgang Kontakt zwischen den Reifen und dem Boden entstand.

Messung 15, S-Chanf

- Messbedingungen:
 - Wetter: Sonnenschein
 - Temperatur Luft: -5.0°C
 - Temperatur Schnee: -6.0°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren;
Schnee, festgefahren;
Schnee stark festgefahren;
Schnee stark festgefahren, gepflügt



- Messresultate:

Tab. 4.29 Messresultate $C-\mu$ (Coralba), Messung 15; Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h bzw. 74 km/h	0.207	0.012

Tab. 4.30 Messresultate $C-\mu$ (Coralba), Messung 15; Schnee, festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h bzw. 74 km/h	0.173	0.011

Tab. 4.31 Messresultate $C-\mu$ (Coralba), Messung 15; Schnee, stark festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h bzw. 74 km/h	0.134	0.019

Tab. 4.32 Messresultate $C-\mu$ (Coralba), Messung 15; Schnee, stark festgefahren, gepflügt

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	62 km/h bzw. 74 km/h	0.164	0.010

- Kommentar:

- Auf dieser Messstrecke konnten verschiedene Fahrbahnzustände gemessen und miteinander verglichen werden.
- Zusätzlich war es möglich die Messungen mit unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten durchzuführen. Es zeigten sich aber keine Unterschiede in den Griffigkeitswerten. Deswegen wurde auf eine Unterscheidung verzichtet.
- Bei leicht festgefahretem Schnee ergibt sich erwartungsgemäss mit 0.207 die höchste Griffigkeit. Bei festgefahretem Schnee fallen die Griffigkeitswerte deutlich tiefer aus (0.173 bzw. 0.134).
- Während der Messung wurde die ganze Strecke von einem Pflug vorab abgefahren. Dies hatte auf die stark festgefahrenen Stellen den Einfluss, dass die Oberfläche aufgeraut wurde. Dadurch stieg die Griffigkeit etwas an.

Messung 16, Samedan

- Messbedingungen:

- Wetter: Sonnenschein
- Temperatur Luft: -7.0°C bis 0.0°C
- Temperatur Schnee: -8.5°C bis -7.0°C
- Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt;
Schnee, leicht festgefahren



- Messresultate:

Tab. 4.33 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 16; Schnee, frisch gepflügt

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	72 km/h	0.238	0.011

Tab. 4.34 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 16; Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	60 km/h bzw. 72 km/h	0.217	0.009

- Kommentar:

- Auf der frisch gepflügten Fahrbahn ergibt sich eine relativ hohe Griffigkeit von 0.238.
- Durch die Überfahrten während der Messung wurde die Oberfläche festgefahren und dadurch glatter. Dies äussert sich in etwas tieferen Griffigkeitswerten. Die mittlere Griffigkeit beträgt 0.217.

Messung 17, Zuoz

- Messbedingungen:
 - Wetter: Sonnenschein
 - Temperatur Luft: -5.0°C
 - Temperatur Schnee: -6.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, leicht gekiest



- Messresultate:

Tab. 4.35 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 17; Schnee, leicht gekiest

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	60 km/h	0.206	0.022

- Kommentar:
 - Die Schneedecke wurde durch das schwache Verkehrsaufkommen auf der Strasse leicht festgefahren. Zusätzlich war die Strecke leicht gekiest.
 - Die durchschnittliche Griffigkeit liegt mit 0.206 im Bereich der bisherigen Messungen auf leicht festgefahrenem Schnee.
 - Ein Einfluss durch den Kies kann mit dieser Messung nicht erkannt werden.

Messung 18, Bever

- Messbedingungen:
 - Wetter: Sonnenschein
 - Temperatur Luft: -6.0°C
 - Temperatur Schnee: -7.5°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, leicht festgefahren



- Messresultate:

Tab. 4.36 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 18; Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	80 km/h	0.225	0.014

- Kommentar:
 - Auf dem leicht festgefahrenen Schnee ergibt sich eine relativ hohe Griffigkeit von 0.225.
 - Die gemessene Griffigkeit liegt im Bereich der bisher ermittelten Werte bei vergleichbaren Bedingungen.

Messung 19, Samedan

- Messbedingungen:
 - Wetter: Sonnenschein
 - Temperatur Luft: -15.0°C bis -12.0°C
 - Temperatur Schnee: -14.0°C bis -8.5°C
 - Fahrbahnzustand: Schnee, leicht festgefahren



- Messresultate:

Tab. 4.37 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 19; Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	61 km/h	0.213	0.016

- Kommentar:
 - Die Griffigkeit auf der leicht festgefahrenen Messtrecke liegt bei 0.213.
 - Im Vergleich zum Vortag (Messung 16) lassen sich trotz der kalten Nacht und den immer noch bestehenden kalten Temperaturen kaum Unterschiede erkennen.

Messung 20, S-Chanf

- Messbedingungen:
 - Wetter: Sonnenschein
 - Temperatur Luft: -16.0°C bis -12.0°C
 - Temperatur Schnee: -14.0°C bis -8.5°C
 - Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren;
Schnee stark festgefahren;
Schwarz, nass



- Messresultate:

Tab. 4.38 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 20; Schnee, leicht festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	80 km/h	0.227	0.018

Tab. 4.39 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 20; Schnee, stark festgefahren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	80 km/h	0.157	0.020

Tab. 4.40 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 20; Schwarz, nass

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	80 km/h	0.264	0.038

- Kommentar:

- Die verschiedenen Fahrbahnzustände zeigen hinsichtlich der Griffigkeit Unterschiede, welche aufgrund der bisherigen Messungen erwartet wurden. So liegen die Werte bei leicht festgefahrener Fahrbahn deutlich über den Werten bei stark festgefahrener Schneedecke. Auf der fast schwarzen und nassen Fahrbahn wurden die höchsten Griffigkeitswerte gemessen.
- Im Vergleich zum Vortag (Messung 15) zeigen sich bei den Zuständen mit festgefahrenem Schnee höhere Werte. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Oberfläche am Abend nochmals mit dem Pflug aufgeraut wurde und durch die kalten Temperaturen am Morgen eine harte Struktur auf der Oberfläche vorhanden war. Die Messungen am Vortag wurden dagegen erst am Nachmittag durchgeführt, wo bereit viele Fahrzeuge über die Strecke gefahren waren.

Messung 21, Zuoz

- Messbedingungen:

- Wetter: Sonnenschein
- Temperatur Luft: -16.0°C
- Temperatur Schnee: -11.0°C
- Fahrbahnzustand: Schnee, leicht gekiest

- Messresultate:

Tab. 4.41 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 21; Schnee, leicht festgefahren, leicht gekiest

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	80 km/h	0.192	0.019

- Kommentar:

- Der Mittelwert der Griffigkeit bei leicht festgefahrenem und gekiestem Schnee beträgt 0.192.
- Die Griffigkeit liegt im Bereich der Messung vom Vortag (Messung 17) und auch im Bereich der Messungen auf anderen Fahrbahnen mit leicht festgefahrenem Schnee.

Messung 22, Dietikon

- Messbedingungen:
 - Wetter: Bedeckt
 - Temperatur Luft: 1.0°C
 - Temperatur Schnee: 0.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schneematsch



- Messresultate:

Tab. 4.42 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 22; Schneematsch

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	40 km/h	0.169	0.018

- Kommentar:
 - Der Mittelwert dieser Messung bei Schneematsch bestätigt mit 0.17 die bisherigen Resultate bei diesen Strassenzuständen.

Messung 23, Uznach

- Messbedingungen:
 - Wetter: Bedeckt
 - Temperatur Luft: 1.0°C
 - Temperatur Schnee: -1.0°C
 - Fahrbahnzustand: Schneematsch gefroren



- Messresultate:

Tab. 4.43 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 23; Schneematsch gefroren

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	80 km/h	0.233	0.009

- Kommentar:
 - Bei der Messstrecke handelt es sich um eine Autobahn, welche mit wenig Schneematsch bedeckt ist, der gefriert.
 - Die Griffigkeit liegt mit 0.233 trotz gefrorener Fahrbahn noch relativ hoch. Dies könnte auf die Oberflächenstruktur zurückzuführen sein, welche nicht glatt sondern körnig war.

Messung 24, Höngg

- Messbedingungen:
 - Wetter: Bedeckt
 - Temperatur Luft: -3.0°C
 - Temperatur Schnee: -1.0°C
 - Fahrbahnzustand: Eisglätte

- Messresultate:

Tab. 4.44 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 24; Eisglätte

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	60 km/h	0.189	0.024

- Kommentar:
 - Bei dieser Strecke zeigt sich ein deutlich tieferes Griffigkeitsniveau als bei der Messung 23.
 - In diesem Fall bildet sich aufgrund des vorhandenen Wassers auf der Oberfläche eine relativ glatte Eisschicht.

Messung 25, Höngg

- Messbedingungen:
 - Wetter: Bedeckt
 - Temperatur Luft: -3.0°C
 - Temperatur Schnee: -1.0°C
 - Fahrbahnzustände: Eisglätte;
Eisglätte, körnige
Struktur

- Messresultate:

Tab. 4.45 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 25; Eisglätte

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	40 km/h	0.184	0.025

Tab. 4.46 Messresultate C- μ (Coralba), Messung 25; Eisglätte, körnige Struktur

Messgerät	Geschwindigkeit	Mittelwert	Standardabw.
C- μ (Coralba)	40 km/h	0.243	0.013

- Kommentar:
 - Bei der Messung zeigten sich zwei verschiedene Messbereiche der Griffigkeit. Einerseits ergaben sich Werte um 0.18, andererseits wurden aber auch Griffigkeitswerte um 0.24 gemessen.
 - Bei der Betrachtung der Fahrbahnbedingungen zeigte sich, dass sich die Struktur der Eisschicht auf einer Brücke deutlich vom Rest der Messstrecke unterschied. Auf der Brücke bildete sich keine glatte, sondern eine körnige Oberfläche. Bei diesem Fahrbahnzustand wurden deutlich höhere Griffigkeiten ermittelt.

5 Auswertung und Analyse

5.1 Kalibrierungsmessungen

5.1.1 Grundsatz und Anforderungen

Messgeräte des Typs C- μ (Coralba) bedürfen zu Beginn einer Messserie einer Kalibrierung an einem geeichten, dynamisch erfassenden Messsystem zur Einstellung eines mittleren Griffigkeitsniveaus wie es bei den Messreihen auftreten wird. Dazu wurde das Messsystem BV-11 des IVT der ETH Zürich verwendet.

Grundsätzlich muss infolge der üblicherweise laufend wechselnden äusseren Bedingungen und Fahrbahnzuständen die Kalibrierung iterativ erfolgen. Das Gerät C- μ (Coralba) gilt dann als kalibriert, wenn die Messwerte beider Geräte bei gleichen Bedingungen gleiche Mittelwerte aufweisen bei einer Toleranz von ± 0.03 und die Standardabweichungen gleich und kleiner als 0.03 sind.

5.1.2 Kalibrierungsmessungen auf dem Testgelände St. Stephan

Die Kalibrierungsmessungen erforderten eine Umgebung mit kontrollierbaren äusseren Bedingungen und Fahrbahnzuständen. Solche Bedingungen liessen sich auf dem Flugplatz St. Stephan herrichten bzw. gewährleisten. Die vorgenommene Kalibrierung erfolgte dann über drei Schritte iterativ (vgl. Anhang I). Schliesslich liessen sich die gestellten Anforderungen anhand der Messfahrten 6 und 8 mit dem Gerät C- μ (Coralba) mit dem im Vergleich mit der dazwischen liegenden Skiddometermessfahrt 7, d.h. bei exakt gleicher Temperatur und Fahrbahnbedingung, erreichen.

5.1.3 Ergebnisse der Kalibrierungsmessungen

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der beiden Messfahrten 6 und 8 sowie die zusammengefassten Messergebnisse mit dem Gerät C- μ (Coralba).

Tab. 5.47 Kalibrierungsmessungen C- μ (Coralba), Messfahrten 6 und 8

	Messfahrt 6	Messfahrt 8
Zeit	9.00 Uhr	9.20 Uhr
Temperatur Luft	-3°C	-1°C
Temperatur Schnee	-5°C	-6°C
Fahrbahnzustand	Schnee, frisch gepflügt	Schnee, frisch gepflügt
Messgeschwindigkeit	62 km/h	62 km/h
Einzelmessungen μ	0.20 0.24 0.24 0.22 0.18 0.22 0.24	0.18 0.21 0.24 0.28 0.21 0.25 0.22 0.24
Mittelwert	0.220	0.225
Standardabweichung	0.023	0.031
Mittelwert Messfahrt 6 und 8 zusammengefasst	0.223	
Standardabweichung Messfahrt 6 und 8 zusammengefasst	0.027	

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Skiddometermessfahrt 7 wobei zusätzlich das entsprechende Messprotokoll in der nachstehenden Abbildung (Abb. 5.5) dargestellt ist.

Tab. 5.48 Kalibrierungsmessung Skiddometer BV 11 (Messfahrt 7)

Zeit	9.15 Uhr
Temperatur Luft	-1°C
Temperatur Schnee	-6°C
Fahrbahnzustand	Schnee, frisch gepflügt
Messgeschwindigkeit	65 km/h
Mittelwert	0.214
Standardabweichung	0.023

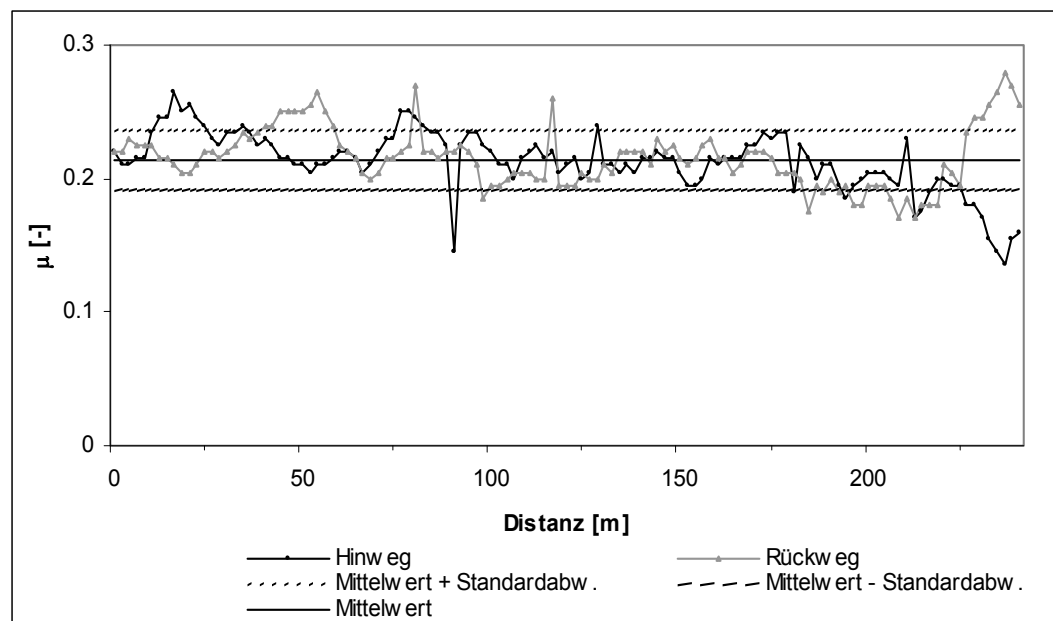


Abb. 5.5 Auswertung Skiddometermessfahrt 7

Die folgenden Gegenüberstellungen zeigen die geforderten Übereinstimmungen der Mittelwerte und Standardabweichungen von C-μ (Coralba) gegenüber dem Skiddometer BV 11.

Tab. 5.49 Kalibrierungsergebnisse

Messgerät	Mittelwert	Standardabw.	Maximum	Minimum
C-μ (Coralba)	0.223	0.027	0.28	0.18
Skiddometer BV 11	0.214	0.023	0.27	0.16

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass sich die Mittelwerte des Griffigkeitsniveaus um 0.009, also sehr geringfügig und kleiner als ± 0.03 unterscheiden. Auch die ermittelten Standardabweichungen, welche die Variabilität der Einzelmesswerte bei beiden Messsystemen angeben, sind ähnlich und kleiner als der Anforderungswert von 0.03. Damit liess sich der Nachweis der Kalibrierung des Messgerätes C-μ (Coralba) erbringen.

5.2 Griffigkeiten bei verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen

5.2.1 Abgrenzungen und Einschränkungen

Zur Erhebung der Griffigkeit auf Strassen bei verschiedenen winterlichen Fahrbahneigenschaften wurden Messungen mit dem Verzögerungsmessgerät C- μ (Coralba) auf verschiedenen Strassentypen in verschiedenen Regionen der Schweiz durchgeführt. Dabei wurden erstmals Messungen bei Fahrbahnzuständen, welche typisch für schweizerische Verhältnisse sind, wie z.B. Schneematsch, durchgeführt. Dadurch konnte eine Lücke zumindest teilweise geschlossen werden, welche auch durch Untersuchungen aus dem Ausland nicht abgedeckt werden konnte.

Die Messserien zeigten, dass Griffigkeitsmessungen auf winterlichen Fahrbahnen bei kalten, stabilen Verhältnissen gut durchführbar sind. Bei warmen Verhältnissen, d.h. bei Temperaturen um 0°C ändern sich die Fahrbahnbedingungen sehr schnell. Dadurch wird die Abgrenzung verschiedener Fahrbahnzustände relativ schwierig und es können bei den einzelnen Fahrbahnzuständen nur wenige Messungen durchgeführt werden. Damit bei warmen Verhältnissen die gleiche Messsicherheit erreicht würde wie bei kalten und stabilen Verhältnissen, wären deutlich mehr Messungen erforderlich. Die vorhandenen Messresultate lassen aber zumindest für kalte Verhältnisse eine Festlegung von Richtwerten des Griffigkeitsniveaus bei verschiedenen Fahrbahnzuständen zu. Für warme Verhältnisse ist das noch nicht möglich.

Die Messserien wurden auf öffentlichen Strassen und unter Einfluss des vorhandenen Verkehrs durchgeführt. Die Messgeschwindigkeit musste daher einerseits den herrschenden Strassenbedingungen, aber andererseits auch dem Verkehrsgeschehen angepasst werden. Aus diesem Grund war es nur vereinzelt möglich auf einer Messstrecke mit verschiedenen Geschwindigkeiten zu messen. Zudem konnte keine gleichmässige Verteilung der Messgeschwindigkeiten erreicht werden. Daher musste auf eine Auswertung der Griffigkeit bei winterlichen Bedingungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit verzichtet werden.

5.2.2 Messresultate

In der folgenden Tabelle (Tab. 5.50) sind die Messresultate der Messungen mit dem Messgerät C- μ (Coralbe) zusammengestellt, wobei sich die Nr. auf die Nummerierung der Messungen im Kapitel 4 bzw. in Anhang II beziehen.

Tab. 5.50 Übersicht Messresultate C- μ (Coralbe)

Nr. Fahrbahnzustand	Temperatur Schnee [°C]	Temperatur Luft [°C]	Messge- schwindigkeit [km/h]	Anzahl Mess- ungen	μ [-]	Stand. abw. [-]
1 Schnee, frisch gepflügt	-8.0 bis -6.0	-13.0 bis -1.0	62	15	0.223	0.027
2 Schnee, frisch gepflügt	0.0	0.0 bis 2.0	63	19	0.227	0.015
2 Schnee, leicht festgefahren, nass	0.0	0.0 bis 2.0	63	7	0.179	0.016
2 Schneematsch	0.0	0.0 bis 2.0	63	4	0.180	0.014
2 Schneematsch bis schwarz, nass	0.0	0.0 bis 2.0	63	5	0.242	0.028
3 Schnee, leicht festgefahren	-0.5	-2.0 bis 0.0	62	8	0.195	0.012
3 Schneematsch	-0.5	-2.0 bis 0.0	62	6	0.145	0.019
4 Schnee, stark festgefahren	-1.0	-2.0	62	5	0.152	0.024
5 Schnee, gesalzen	-1.0	-2.0	62	9	0.221	0.021
6 Schnee, leicht festgefahren	-0.5	0.0	62	4	0.203	0.021
6 Schneematsch	-0.5	0.0	62	3	0.137	0.015
6 Schneematsch bis schwarz, nass	-0.5	0.0	62	3	0.187	0.012
7 Schnee, leicht festgefahren	0.0	1.5 bis 3.5	62	12	0.178	0.014
7 Schneematsch	0.0	1.5 bis 3.5	62	9	0.150	0.013
7 Schneematsch bis schwarz, nass	0.0	1.5 bis 3.5	62	4	0.215	0.035
8 Schnee, nass bis Schneematsch (locker)	0.0	-1.0	45	8	0.206	0.022
9 Schnee, nicht festgefahren, nass	0.0	2.0	65	10	0.296	0.039
9 Schwarz, nass	0.0	2.0	65	9	0.293	0.026
10 Schnee, leicht festgefahren, nass	0.0	0.0	45	26	0.140	0.028
10 Schnee, nicht festgefahren, nass	0.0	0.0	45	6	0.097	0.019
11 Schnee, nass bis Schneematsch (locker)	0.0	1.0	60	6	0.193	0.033
12 Schnee, gesalzen	0.0	1.5	60	8	0.193	0.037
14 Schnee, leicht festgefahren, nass	0.0	1.5	60	7	0.174	0.026
15 Schnee, leicht festgefahren	-6.0	-5.0	62/74*	6	0.207	0.012
15 Schnee, festgefahren	-6.0	-5.0	62/74*	7	0.173	0.011
15 Schnee, stark festgefahren	-6.0	-5.0	62/74*	7	0.134	0.019
15 Schnee, stark festgefahren, gepflügt	-6.0	-5.0	62/74*	12	0.164	0.010
16 Schnee, frisch gepflügt	-8.5 bis -7.0	-7.0 bis 0.0	72	10	0.238	0.011
16 Schnee, leicht festgefahren	-8.5 bis -7.0	-7.0 bis 0.0	60/72*	10	0.217	0.009
17 Schnee, leicht gekiest	-6.0	-5.0	60	10	0.206	0.022
18 Schnee, leicht festgefahren	-7.5	-6.0	80	11	0.225	0.014
19 Schnee, leicht festgefahren	-14.0 bis -8.5	-15.0 bis -12.0	61	45	0.213	0.016
20 Schnee, leicht festgefahren	-14.0 bis -8.5	-15.0 bis -12.0	80	10	0.227	0.018
20 Schnee, stark festgefahren	-14.0 bis -8.5	-15.0 bis -12.0	80	20	0.157	0.020
20 Schwarz, nass	-14.0 bis -8.5	-15.0 bis -12.0	80	5	0.264	0.038
21 Schnee, leicht gekiest	-11.0	-16.0	80	9	0.192	0.019
22 Schneematsch	0.0	1.0	40	12	0.169	0.018
23 Schneematsch gefroren	-1.0	1.0	80	9	0.233	0.009
24 Eisglätte	-1.0	-3.0	60	10	0.189	0.024
25 Eisglätte	-1.0	-3.0	40	8	0.184	0.025
25 Eisglätte, körnige Struktur	-1.0	-3.0	40	4	0.243	0.013

*: zwei verschiedene Messgeschwindigkeiten

Um die Unterschiede der Griffigkeit bei den verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen aufzuzeigen, wurden die Messresultate bei vergleichbaren Fahrbahnzuständen zusammengefasst. Dabei wurden nur jene Fahrbahnzustände berücksichtigt, welche mindestens bei zwei verschiedenen Messungen auftraten.

Es wurden die folgenden Fahrbahnzustände genauer analysiert:

- Schnee, frisch gepflügt
- Schnee, leicht festgefahren
- Schnee, stark festgefahren
- Schnee, leicht festgefahren, nass
- Schneematsch
- Schneematsch bis schwarz, nass
- Schwarz, nass
- Schnee, nass bis Schneematsch (locker)
- Schnee, leicht gekiest
- Schnee, gesalzen
- Eisglätte

Diese Zustände entstehen teilweise bei ganz bestimmten Wettersituationen. Beispielsweise treten Bedingungen mit nassem Schnee bzw. Schneematsch immer bei Temperaturen um oder über dem Gefrierpunkt auf. Dagegen ergeben sich Zustände mit einer harten Schneedecke auf der Fahrbahn nur bei tiefen Temperaturen. In der folgenden Tabelle (Tab. 5.51) wird aus diesem Grund jeweils zwischen warmen ($\geq -1.0^{\circ}\text{C}$) und kalten ($< -1.0^{\circ}\text{C}$) Messbedingungen unterschieden. Dabei ist zu beachten, dass bei einigen Fahrbahnzuständen keine Unterschiede der Griffigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen festgestellt wurden.

Der Zustand „Schnee, nass bis Schneematsch (locker)“ wird weder dem Zustand „Schnee, leicht festgefahren“ noch dem Zustand „Schneematsch“ zugeteilt, sondern eigenständig betrachtet, da bei diesen Messungen der Schnee locker auf der Fahrbahn lag und noch nicht gepflügt wurde.

Die folgende Tabelle (Tab. 5.51) zeigt die Mittelwerte der Griffigkeit bei verschiedenen Fahrbahnzuständen mit Gewichtung der einzelnen Messungen (siehe Tab. 5.50). Für die Fahrbahnzustände, bei welchen mehr als zwei Messserien durchgeführt wurden, ist in der folgenden Tabelle zusätzlich ein Streubereich der Mittelwerte der Griffigkeit der einzelnen Messserien angegeben.

Tab. 5.51 Übersicht Messresultate C- μ (Coralba) nach Fahrbahnzuständen

Fahrbahnzustand	Temp. Schnee	Mittelwert Griffigkeit	Bereich Griffigkeit	Anzahl Messungen	Nummern der Messungen
Schnee, frisch gepflügt	warm / kalt	0.23	0.22 – 0.24	44	1, 2, 16
Schnee, leicht festgefahren	warm	0.19	0.18 – 0.20	24	3, 6, 7
	kalt	0.22	0.21 – 0.23	82	15, 16, 18, 19, 20
Schnee, stark festgefahren	kalt	0.15	0.13 – 0.16	44	4, 15, 20
Schnee, leicht festgefahren, nass	warm	0.15	0.14 – 0.18	40	2, 10, 14
Schneematsch	warm	0.16	0.14 – 0.18	34	2, 3, 6, 7, 22
Schneematsch bis schwarz, nass	warm	0.22	0.19 – 0.24	12	2, 6, 7
Schwarz, nass	warm / kalt	0.29	-	14	9, 20
Schnee, nass bis Schneematsch (locker)	warm	0.20	-	14	8, 11
Schnee, leicht gekiest	kalt	0.20	-	19	17, 21
Schnee, gesalzen	warm	0.21	-	17	5, 12
Eisglätte	warm	0.19	-	18	24, 25

Die folgende Abbildung (Abb. 5.6) verdeutlicht die in der oben dargestellten Tabelle ent-

haltenen Unterschiede der Griffigkeit bei verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen.

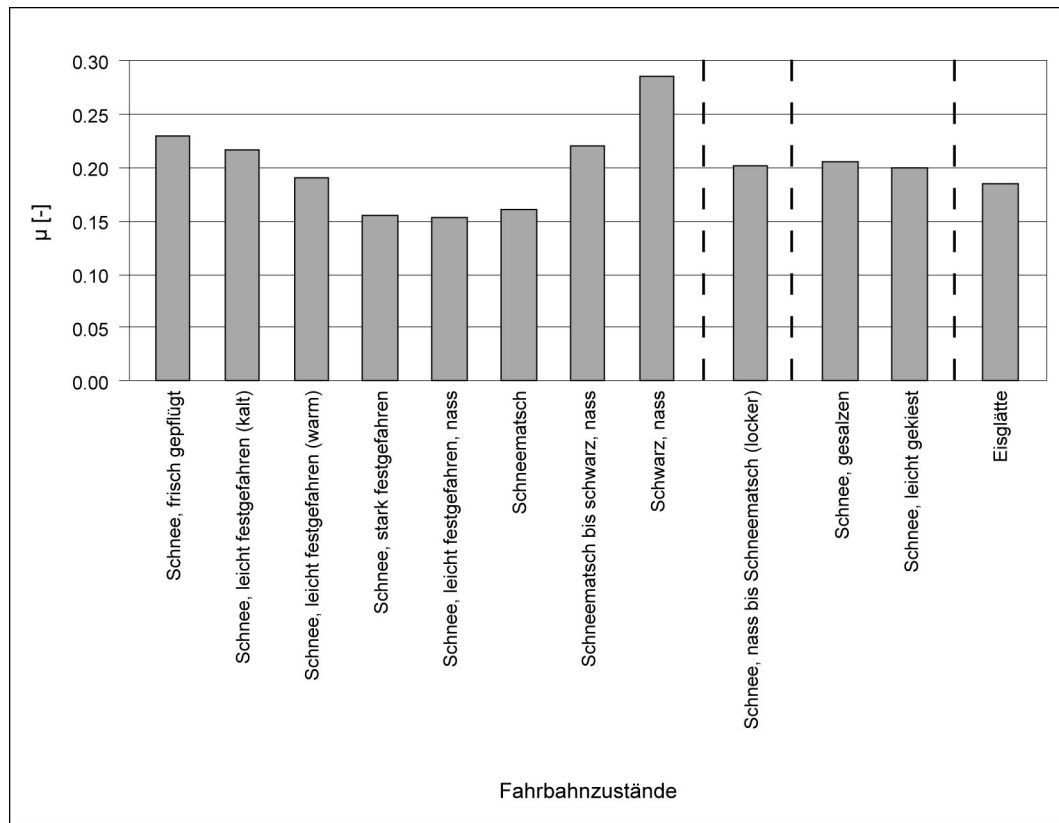


Abb. 5.6 Griffigkeitsmittelwerte für verschiedene Fahrbahnzustände

5.3 Vorläufige Erkenntnisse

Aus den beiden Tabellen (Tab. 5.50, Tab. 5.51) sowie aus der Abb. 5.6 lassen sich erstmals für schweizerische Verhältnisse Erkenntnisse zum Griffigkeitsniveau auf winterlichen Fahrbahnen ableiten. Diese sind in der Folge erläutert. Zuerst sind die Erkenntnisse bei kalten ($< -1.0^{\circ}\text{C}$) sowie warmen ($\geq -1.0^{\circ}\text{C}$) Bedingungen zusammengestellt, anschliessend werden weitere Erkenntnisse einiger spezieller Fahrbahnzustände aufgezeigt.

5.3.1 Fahrbahnzustände bei kalten Bedingungen

Bei frisch gepflügtem Schnee, bei kalten Bedingungen ergibt sich eine mittlere Griffigkeit um 0.23. Die Griffigkeit sinkt aber mit zunehmender Anzahl der Überfahrten von Fahrzeugen, wenn der Schnee zusammengedrückt und die Oberfläche glätter wird. Dieser Effekt zeigt sich einerseits schon während der Messungen bei frisch gepflügtem Schnee, was zu einer relativ grossen Streuung der Griffigkeitswerte führte. Andererseits ist dies auch beim Vergleich der Mittelwerte der Fahrbahnzustände „Schnee, frisch gepflügt“ und „Schnee, leicht festgefahren“ ersichtlich. Das Griffigkeitsniveau beim leicht festgefahrenen Schnee liegt leicht tiefer bei 0.22.

Bei tiefen Temperaturen bleibt die Schneedecke auf der Fahrbahn auch bestehen, wenn sehr viele Fahrzeuge darüber gefahren sind. Dadurch wird die Schneedecke stark abgefahren und beginnt zu vereisen. Mit einer mittleren Griffigkeit von 0.15 wurde bei diesen Fahrbahnzuständen eine deutlich tiefere Griffigkeit gemessen.

Die oben aufgezeigten Erkenntnisse zu den verschiedenen winterlichen Fahrbahnzuständen

ständen bei kalten Bedingungen sind in der Abb. 5.7 nochmals hervorgehoben. Es wird deutlich, wie die Griffigkeit mit zunehmender Zahl der Überfahrten und der damit verbundenen Änderung des Schneesustandes bei kalten Bedingungen abnimmt.

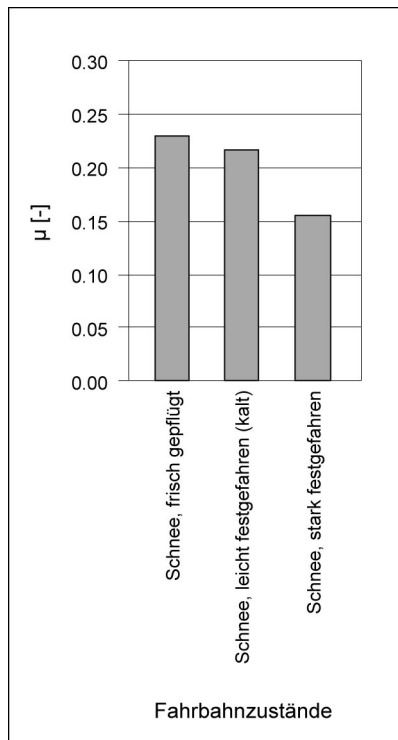


Abb. 5.7 Griffigkeitsmittelwerte nach Fahrbahnzustand, kalte Bedingungen

Die durchgeführten Messungen bei gekiester Fahrbahn lassen keine Aussage über die Griffigkeit und deren Veränderung bei diesem Fahrbahnzustand zu. Einerseits ist die Datenmenge sehr gering und andererseits handelt es sich nicht um eine Vorher-Nacher-Messung an einer Messstelle.

5.3.2 Fahrbahnzustände bei warmen Bedingungen

Die Messungen der Griffigkeit bei frisch gepflügtem Schnee bei warmen Bedingungen ergaben mit einem Griffigkeitsniveau von 0.23 keine Differenzen gegenüber den kalten Bedingungen. Es kann davon ausgegangen werden, dass weniger Temperaturen sondern eher die Oberflächenstruktur der Schneedecke für die Griffigkeit bestimmend ist.

Wie bei kalten Bedingungen, nimmt die Griffigkeit mit der Zahl der Überfahrten ab. Beim Zustand „Schnee, leicht festgefahren“ wurde bei warmen Bedingungen eine mittlere Griffigkeit von 0.19 ermittelt.

Bei warmen Bedingungen wird die Schneedecke mit zunehmenden Überfahrten immer nasser und es entsteht eine „schmierige“ Unterlage. Gleichzeitig mit dieser Veränderung der Schneedecke sinkt die Griffigkeit. Dies zeigt sich bei den Fahrbahnzuständen „Schnee, leicht festgefahren, nass“ und „Schneematsch“ mit mittleren Griffigkeitswerten von 0.15 bzw. 0.16.

Einen Anstieg der Griffigkeit ergibt sich, wenn der Schneematsch durch den Verkehr nicht mehr die gesamte Fahrbahn bedeckt und somit teilweise Kontakt zwischen den Reifen und der Fahrbahnoberfläche hergestellt werden kann. Bei diesem Zustand (Schneematsch bis schwarz, nass) ergibt sich eine mittlere Griffigkeit um 0.22.

Sobald nur noch wenig Schnee die Fahrbahn bedeckt und der Kontakt zwischen den Rei-

fen und der Fahrbahnoberfläche mehrheitlich hergestellt bleibt (schwarz, nass), steigt die Griffigkeit auf einen mittleren Wert von 0.29 an. Dieser Wert ist vergleichbar mit den bekannten Griffigkeitswerten bei nasser Fahrbahn.

Die Datengrundlage für den Zustand, bei welchem während Schneefall kurz vor der Messung gesalzen wurde ist sehr gering und aufgrund der schnell ändernden Bedingungen nach dem Salzen kann der ermittelte Griffigkeitswert von 0.21 lediglich als Anhaltspunkt verwendet werden. Durch das Salzen wird verhindert, dass die Griffigkeit zwischenzeitlich durch das Entstehen einer festgefahrenen Schneedecke deutlich absinkt, weil dann eine „körnige“ Struktur des Schnees vorübergehend erhalten bleibt. Die Griffigkeit bleibt etwa gleich hoch wie bei frisch gepflügtem Schnee und später bei Schneematsch, bis schwarz, nass.

Die Abb. 5.8 zeigt die mittleren Griffigkeitswerte für die typischen Fahrbahnzustände bei warmen Bedingungen. Es ist ersichtlich, wie die Griffigkeit mit zunehmender Zahl der Überfahrten und durch eine immer nässere Schneedecke abnimmt. Dieser Verlauf ändert sich, wenn die Schneedecke nicht mehr durchgehend ist und beim Bremsen Kontakt zwischen Reifen und der Strassenoberfläche hergestellt werden kann.

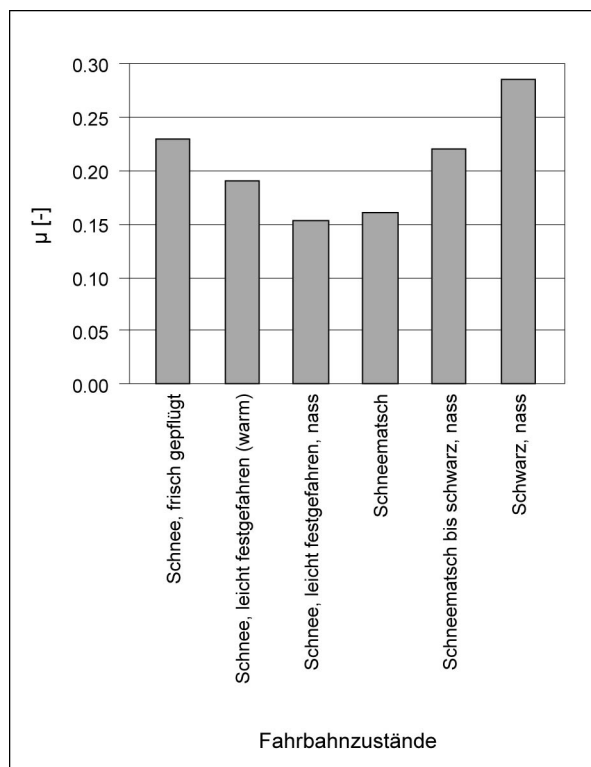


Abb. 5.8 Griffigkeitsmittelwerte nach Fahrbahnzustand, warme Bedingungen

5.3.3 Weitere Fahrbahnzustände

Bei starkem Schneefall und Temperaturen um 0° kann sich schnell eine lockere und nasse Schneedecke auf der Fahrbahn bilden. Dieser Zustand wurde als „Schnee, nass bis Schneematsch (locker)“ definiert. Dieser Zustand wurde aufgrund des lockeren Gefüges der Schneedecke nicht mit den Zuständen „Schnee, leicht festgefahren, nass“ oder „Schneematsch“ zusammengefasst. Die Griffigkeit bei diesem lockeren Schnee ist mit 0.20 deutlich höher als bei den zwei oben erwähnten Zuständen mit 0.15 bzw. 0.16.

Die Messungen bei lockerem, nassem Schnee zeigten zudem, dass die Schneehöhe für die Griffigkeit eine Rolle spielen kann. Bei einer geringen Schneehöhe von etwa 5 cm wurde mit einer Griffigkeit um 0.10 (Messung 10) die tiefste Griffigkeit aller Messungen

festgestellt. Es kann vermutet werden, dass ab einer gewissen Schneehöhe bei lockerer Lagerung eine deutliche Verschlechterung der Griffigkeit eintritt. Die Schneehöhe war mit 5 cm etwa 2 cm höher als bei allen anderen Messungen. Die Datenmenge ist aber zu gering um eine schlüssige Aussage machen zu können.

Für den Zustand „Eisglätte“, d.h. beim Gefrieren einer Wasserschicht auf der Fahrbahnoberfläche wurde eine mittlere Griffigkeit von 0.19 gemessen. Bei den Messungen bei diesem Fahrbahnzustand zeigte sich aber, dass es entscheidend ist, wie die Nässe gefriert. An einer Stelle der Messstrecke bildete sich keine glatte sondern eine körnige Struktur. An dieser Stelle ergab sich mit 0.24 eine deutlich höhere Griffigkeit. Ein ähnlicher Effekt zeigte sich auch bei der Messung auf einer HLS, bei der Schneematsch gefror (Messung 23). Es bildete sich eine körnige Eisstruktur, was zu einem Griffigkeitsniveau um 0.23 führte.

6 Folgerungen

6.1 Allgemeines

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnten erstmals quantitative Angaben zur Griffigkeit verschiedener winterlicher Fahrbahnzustände erhoben werden. Dies ist deshalb von Bedeutung, da in der Schweiz einige Fahrbahnzustände auftreten, welche in den skandinavischen Ländern weniger bekannt sind und somit keine Vergleichswerte vorhanden sind. Es sind dies vor allem Messwerte bei Fahrbahnzuständen bei Temperaturen um 0°C und wärmer.

Mit der Messserie, bei der Messungen bei sehr unterschiedlichen Messbedingungen durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, dass der Einsatz eines Verzögerungsmessgerätes möglich ist. Die Verzögerungsmessgeräte müssen jedoch jährlich an einem Vergleichsmessgerät (z.B. Skidometer BV 11) kalibriert werden.

Die verschiedenen winterlichen Fahrbahnzustände, wie sie auf dem schweizerischen Strassennetz auftreten unterscheiden sich stark. Aus diesem Grund umfasst die vorliegende Forschungsarbeit ein sehr breites Gebiet. Die durchgeführte Messserie reichte nicht aus, um alle möglichen Fahrbahnzustände ausreichend detailliert zu untersuchen. Die durchgeführten Messungen lassen erste Erkenntnisse zum Griffigkeitsniveau, speziell bei kalten und stabilen Temperaturen, zu.

6.2 Griffigkeitswerte

6.2.1 Messresultate

Die durchgeführte Messserie liefert neben den Griffigkeitswerten für die verschiedenen winterlichen Fahrbahnzustände auch Erkenntnisse wie sich diese Griffigkeitswerte an einer Messstelle über die Zeit verändern. Hier zeigt sich, dass die Wettersituation und damit die Temperatur eine entscheidende Rolle spielt. Aus diesem Grund wurde zwischen kalten ($< -1.0^{\circ}\text{C}$) und warmen Bedingungen ($\geq -1.0^{\circ}\text{C}$) unterschieden. Für beide Bedingungen konnte ein typischer Verlauf des Fahrbahnzustandes und damit verbunden der Griffigkeit bestimmt werden.

Bei kalten Bedingungen wird die Schneedecke durch die Überfahrten von Fahrzeugen festgedrückt und immer glatter. Die Griffigkeit nimmt mit diesen Veränderungen der Fahrbahnoberfläche von 0.23 (Schnee, frisch gepflügt) auf 0.15 ab.

Ein anderes Bild zeigt sich auch bei warmen Bedingungen, wo die Griffigkeit ausgehend von frisch gepflügtem Schnee ($\mu = 0.23$) mit zunehmender Zahl der Überfahrten abnimmt. Bei leicht festgefahrenem, nassem Schnee sowie bei Schneematsch ergibt sich eine Griffigkeit um 0.15. Danach steigt die Griffigkeit bei diesen Bedingungen wieder an, sobald die nasse Schneedecke beim Bremsen durchbrochen wird und somit teilweise Kontakt zwischen den Reifen und der Strassenoberfläche hergestellt werden kann.

Dieser Sachverhalt bei kalten und warmen Bedingungen ist in der Abb. 6.9 grafisch dargestellt.

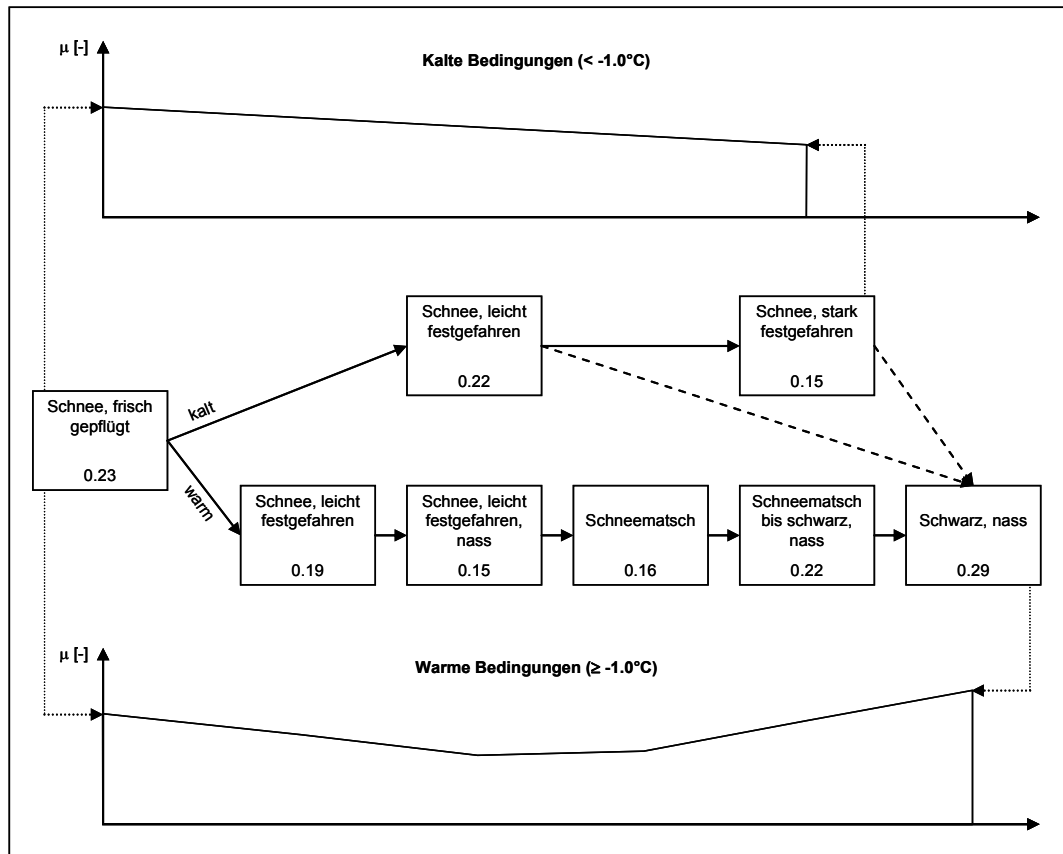


Abb. 6.9 Übersicht Griffigkeitsverläufe bei kalten bzw. warmen Bedingungen

Bei den beiden oben beschriebenen und in Abb. 6.9 dargestellten Verläufen ist zu beachten, dass sich diese unterschiedlich schnell abspielen. Die Zustände bei kalten Bedingungen sind deutlich stabiler und verändern sich nur langsam, so kann der Zustand „Schnee, leicht festgefahren“ je nach Verkehrsmengen zwei Tage anhalten. Bei warmen Bedingungen ändern sich die Zustände hingegen sehr schnell. Innerhalb von einer Stunde kann sich der frisch gepflügte Schnee in Schneematsch verwandelt haben oder bereits zum Teil ganz verschwunden sein.

Durch Temperaturänderungen, z.B. einem deutlichen Temperaturanstieg, können Übergänge zwischen kalten und warmen Bedingungen entstehen. Die in Abb. 6.9 eingetragenen Wechsel vom Zustand Schnee, leicht festgefahren bei kalten Temperaturen zum Zustand „schwarz, nass“ kann durch einen Temperaturanstieg oder z.T. auch durch den Einsatz von Salz entstehen. Eine Veränderung von warmen zu kalten Bedingungen kann zum Beispiel auch durch eine Temperaturabnahme in der Nacht geschehen.

Beim Einsatz von Salzen kann davon ausgegangen werden, dass der Verlauf aus Abb. 6.9 nicht verändert wird, jedoch wird dieser beschleunigt. Dadurch dauern die Zustände mit tiefen Griffigkeitswerten deutlich weniger lang an als ohne Einsatz von Salz.

6.2.2 Griffigkeitsanforderungen

Grundsätzlich müssen bei Massstäben zur Beurteilung der Fahrbahngriffigkeit bei winterlichen Verhältnissen zwei unterschiedliche Situationen auseinandergehalten werden. Vereinfacht können sie in „kalt“ und „warm“ getrennt werden. Während die Griffigkeit bei der Situation „kalt“ in der Regel über eine gewisse Zeit, insbesondere bei längeren stabilen Wetterverhältnissen, für verschiedene Fahrbahnzustände etwa konstant bleiben, sind

bei der Situation „warm“ meistens rasch wechselnde Griffigkeitsniveaus vorhanden. Sie werden nicht nur durch die Temperatur sondern auch wesentlich durch das Befahren der winterlichen Fahrbahn und durch allfällige Salzeinsätze stark beeinflusst.

Für „kalte“ Verhältnisse lassen sich deshalb aufgrund der durchgeführten Erhebungen im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit Richtwerte für Griffigkeitsniveaus angeben (Tab. 6.52). Diese lassen sich mit anderweitig aus dem Ausland bekannten Werten, z.B. Schweden und Finnland, gegenüberstellen und vergleichen. Dabei ist aber der im Rahmen dieser Untersuchung nicht näher geklärte Umstand bezüglich allfälliger Unterschiede in der Beschaffenheit von Schnee sowie bei den Zuständen mit leicht und stark festgefahrenem Schnee, zu beachten.

Tab. 6.52 Vergleich Richtwerte Griffigkeitsniveau „kalte“ Situation mit Anforderungen Schweden [5] und Finnland [4]

Strassenzustand	Schnee, frisch gepflügt	Schnee, leicht festgefahren	Schnee, stark festgefahren
Griffigkeitswert Schweiz	0.22 – 0.24	0.21 – 0.23	0.13 – 0.16
Griffigkeitswert Schweden	-	0.20 – 0.24	0.15 – 0.19
Griffigkeitswert Finnland	0.20 – 0.50	0.20 – 0.30	0.15 – 0.30

Für „warme“ Verhältnisse und entsprechend rasch sich verändernde d.h. relativ instabile winterliche Fahrbahnzustände sind aus der Literatur und der Praxis praktisch keine Erhebungen und Auswertungen bekannt. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gewonnen Erkenntnisse sind neu und noch wenig erhärtet. Dies einerseits aufgrund der geringen Stichprobe und weitgehend fehlender Vergleichswerte aus anderweitigen Untersuchungen. Andererseits aber auch vor allem, infolge der noch vorläufigen und schwierigen Abgrenzungen verschiedener winterlichen Fahrbahnzuständen. Hier bedarf es weiterer Untersuchungen, vor allem auch Erhebungen zum Einfluss des Salzes. Aus den Feststellungen der Erhebungen zu den Fahrbahnzuständen „warm“ resultiert indessen die klare Erkenntnis, dass die Fahrbahnzustände „warm“ zweckmässigerweise in Abhängigkeit der Zeit sowie der Tageszeit beschrieben werden sollten. Im Weiteren wäre abzuklären, ob die fallende Schneemenge als weiterer Parameter bei der Beschreibung der Zustände mitberücksichtigt werden sollte.

Für die funktionsorientierte Beschreibung von Winterdienstleistungen sind Angaben über die Fahrbahnzustände u.a. mittels Griffigkeitswert resp. Griffigkeitsniveaus von grosser Bedeutung, weil damit quantifizierbare Bedingungen durch messbare Grössen verwendet werden können. Gerade aus diesem Grund ist es wichtig nicht nur für die Verhältnisse „kalt“ sondern auch für „warm“ geeignete Richtwerte zu eindeutig definierten Fahrbahnzuständen zur Verfügung zu haben. Der angestrebte Übergang von rein leistungsbezogener zur funktionsorientierten Erbringung von Winterdienstleistungen lässt sich ohne diese Grundlagen kaum in zweckmässiger Weise realisieren.

Die eigentliche Festlegung von Griffigkeitsanforderungen für winterliche Fahrbahnzustände sowohl für kalte wie auch für warme Situationen lässt sich anhand des vorliegenden Forschungsauftrages aus zwei Hauptgründen noch nicht bewerkstelligen.

- Für kalte Situationen können aus den Untersuchungen und Vergleichen Griffigkeitsniveaus (Mittelwerte und Streubereiche) erkannt werden, für warme Situationen fehlen entsprechende, schlüssige Werte. Hier muss eine Auseinanderhaltung vorerst auch mit den Beschreibungen (Definitionen) der verschiedenen Fahrbahnzustände erfolgen.
- Bei späterem Vorliegen der vorhandenen Griffigkeitsniveaus, welche zu diesen entsprechenden Fahrbahnzuständen zugeordnet sind, bedarf es Überlegungen zur Verkehrssicherheit um die Anforderungen schliesslich festzulegen zu können. Die dann anzuwendende Methodik erscheint zurzeit noch weitgehend unbekannt.

6.3 Normung und weiterer Forschungsbedarf

6.3.1 Normung

Im Bereich des Winterdienstes besteht eine Anzahl Normen vor allem für die Durchführung des Winterdienstes (SN 640 750b [7] etc.). Diese werden laufend ergänzt und auf die Bedürfnisse der Praxis angepasst resp. erweitert. Nebst diesem Normungsbereich besteht Bedarf für eine definitionsorientierte Beschreibung vor allem der verschiedenen Fahrbahnzustände bei verschiedenen stabilen („kalt“) und zeitlich rasch wechselnden („warm“) Witterungsbedingungen. Dazu sollte eine eigentliche Begriffsmethodik erarbeitet werden, ähnlich wie solche für das Erhaltungsmanagement (SN 640 900a, Anhang [8]) und für die Verkehrsmanagement (SN 640 781 [9]) bestehen.

Da der Winterdienst gerade auch bei den Nationalstrassen eine wichtige Bedeutung hat und sich durch die Übernahme der Nationalstrassenhoheit durch den Bund neue Anforderungen an Kantone, Gemeinden und Unternehmungen ergaben, steht der funktionsorientierte Leistungsbeschreibungen und dem zugehörigen Controlling (bei Nationalstrassen) eine Vorreiterrolle zu. Schweizerische Normungen in diesem Bereich haben einen breiten Nutzen für die Durchführung des Winterdienstes auch in den Kantonen, Städten und Gemeinden. Ganz wichtig erscheint in diesem Zusammenhang eine zweckmässige Unterscheidung der unterschiedlichen Strassennetzstrukturen (regional, übergeordnet, regional untergeordnet, Agglomeration, städtisch und Citybereichen).

Ein weiterer Bereich des Winterdienstes ist seine Eingliederung und integrale Betrachtung im gesamten betrieblichen Unterhalt der Strassen. In der Regel sind die Betriebsdienste der Unterhaltsregionen (Filialen ASTRA), die kantonalen und kommunalen Unterhaltsdienste verantwortlich für die zweckmässigen Einsätze und Durchführung des Winterdienstes. Hier stellen sich weitere Aufgaben hinsichtlich Koordination (Maschinen, Personal) zur Gesamtoptimierung des betrieblichen Unterhalts unter vollem Einbezug des Bereichs Winterdienst (vgl. [10]).

Unter Berücksichtigung des vorgenannten Normungsbereichs und der vorhandenen Normen zum Winterdienst erscheint auch die Erarbeitung eines Normungskonzeptes für den gesamten Winterdienst als Teil des betrieblichen Unterhaltes als erforderlich (EK 6.02 und Federführung FK 6).

Wie weit ein allfälliger zukünftiger Normungsbereich hinsichtlich Griffigkeitsanforderungen auf winterlichen Fahrbahnen auch in diesem Bereich Eingang finden könnte oder eher Bestandteil der Normgruppe Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen (SN 640 510c [11] etc.) und deshalb zum Bereich Fahrbahngriffigkeit gehört, erscheint offen. In jedem Fall wird eine zweckmässige Koordination notwendig.

6.3.2 Weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Forschungsarbeit hat aufgezeigt wo einerseits die Lücken im Wissen bei den Grundlagen weiterhin bestehen. Es betrifft dies in erster Linie die zeitabhängigen Griffigkeitsniveaus bei warmen (± 0 bis 5°C) Witterungsverhältnissen. Andererseits bestehen Definitionsbedürfnisse zur Beschreibung der verschiedenen winterlichen Fahrbahnzustände sowie allfällige zugehörigen Griffigkeitsanforderungen zur Gewährleistung der Betriebs- und Verkehrssicherheit bei winterlichen Fahrbahnen.

Nach der Durchführung der ersten Forschungsarbeit zum Thema der Griffigkeitsanforderungen auf winterlichen Fahrbahnen und der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen liessen sich konkret die nachfolgenden Bedürfnisse der weiteren Forschung im Bereich winterlicher Fahrbahnen erkennen.

Grundlagen

Während weitere Erhebungen und Analysen zu schneebedeckten Fahrbahnzuständen bei kalten, stabilen Witterungsverhältnissen zur Festigung der hier angeleiteten Griffig-

keitsniveaus nötig erscheinen, drängt sich für die Situationen „warm“ eine weitere zusätzliche, grundlegende Forschungsarbeit auf. Die hier erarbeiteten Erkenntnisse zeigen auf, dass aufgrund der rasch wechselnden Verhältnisse beim Fahrbahnzustand, ohne Berücksichtigung weiterer Parameter wie beispielsweise die Zeit, die Beschreibung und Definition von Griffigkeitsniveaus kaum möglich erscheint. Dazu muss eine ergänzte Erhebungsmethodik erst erarbeitet werden.

Weitere offene Fragen im Bereich der Grundlagen (Griffigkeitsniveaus) sind:

- Einfluss und Veränderung der Fahrbahnzustände durch Salzen inkl. der unterschiedlichen Salzungsmethoden bei schneebedeckten Fahrbahnen
- Einfluss und Veränderung der Fahrbahnzustände durch Splitten inkl. Wirkungsdauer
- Griffigkeitsniveaus bei verschiedenen Zuständen von Eisglätte

Folgeforschungsarbeiten

Nach vorliegen der Grundlagen durch Festlegung von definierten Fahrbahnzuständen und zugehörigen Griffigkeitsniveaus erscheint die Durchführung einer betriebs- und sicherheitsorientierte Analyse der erarbeiteten Grundlagen nötig, mit dem Ziel, Anforderungen an die Griffigkeit bei verschiedenen Fahrbahnzuständen winterlicher Fahrbahnen festzulegen. Diese sollen analog den Festlegungen bei sauberen nassen Fahrbahnen (SN 640 511b [1] bzw. anstehende Revision) später ebenfalls Grundlage für Beurteilungen des sicheren Betriebs von Verkehrsanlagen dienen. In diesem Zusammenhang sollte auch das Messwesen für Erhebungen von Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen normiert werden mit dem Ziel, reproduzierbare Griffigkeitswerte bei unterschiedlichen Messfahrten erzielen zu können (analog der Norm SN 640 511b [1]).

Funktionsorientierte Festlegung von Winterdienstleistungen

Zusammen mit den erarbeiteten Grundlagen liessen sich nun funktionsorientierte Leistungsbeschreibungen erstellen, die Grundlagen für jegliche Vergabe von Winterdienstleistungen darstellen können. Dabei ist auf eine koordinierte bzw. Einheitlichkeit mit den anderen Bereichen des betrieblichen Unterhalts zu achten, so dass der Winterdienst kompatibel zur Gesamtheit des betrieblichen Unterhalts steht.

Zusammenfassung

Eine grobe, vorläufige Beurteilung des weiteren Forschungsbedarfes lässt erkennen, dass im Bereich Winterdienst zwar einige gute und schlüssige Unterlagen (bestehende VSS-Normen) für die Anwendung und Optimierung des Winterdienstes als Teil des betrieblichen Unterhalts heute vorhanden sind, dass aber auch eine ganze Anzahl entscheidender Fragen offen sind. Im Hinblick auf eine funktionsorientierte Leistungserbringungen und Optimierung des Winterdienstes erscheint die Klärung dieser Fragen auch dringend. Die Vielzahl der Fragen und deren Umfang weisen eindeutig auf die Konzipierung und Durchführung eines Forschungspakets hin. Mit einem entsprechenden Initiaiprojekt liessen sich die Fragen konkretisieren und abgrenzen.

Schliesslich soll hier nur noch nebenbei bemerkt werden, dass im Bereich von Fahrbahnzuständen bei „warmen“ Witterungsbedingungen praktisch keine anderweitig durchgeführten Untersuchungen und entsprechende Erkenntnisse vorhanden sind. Es erscheint folglich klar, dass mit diesen Forschungsarbeiten zumindest teilweise Neuland betreten resp. ein bisher kaum beachteter Bereich erstmals näher erfasst werden kann. Wenn solche Ergebnisse und Erkenntnisse auch nicht weltweit gebraucht werden können, sind doch auch zumindest die mitteleuropäischen Länder alle direkt damit konfrontiert.

Anhang

I	Resultate Kalibrierungsmessung.....	52
II	Resultate Messserien	58

I Resultate Kalibrierungsmessung

Messung 1

Ort:	St. Stephan, Kalibrierungsstrecke Flugplatz		
Datum:	06.03.2008		
Zeit:	8.15 bis 9.30 Uhr		
Messbedingungen:	Wetter:	Sonnenschein	
	Temperatur Luft:	-13°C bis -1°C	
	Temperatur Schnee:	-8°C bis -6°C	
Fahrbahnzustände:	Schnee, frisch gepflügt		
Messgeräte:	Skiddometer BV 11 C-μ (Coralba)		
Messvorgehen:	Messfahrt 1:	Skiddometer BV 11	
	Messfahrt 2:	C-m (Coralba)	
	Kalibrierung C-μ (Coralba)		
	Messfahrt 3:	C-m (Coralba)	
	Kalibrierung C-μ (Coralba)		
	Messfahrt 4:	C-μ (Coralba)	
	Überprüfung durch erneute Skiddometer BV 11-Messung		
	Messfahrt 5:	Skiddometer BV 11	
	Kalibrierung C-μ (Coralba)		
	Messfahrt 6:	C-μ (Coralba)	
	Überprüfung durch erneute Skiddometer BV 11-Messung		
	Messfahrt 7:	Skiddometer BV 11	
	Überprüfung durch erneute Skiddometer BV 11-Messung		
	Messfahrt 8:	C-μ (Coralba)	

Messung 1, Messfahrt 1

Zeit: 8.15 Uhr

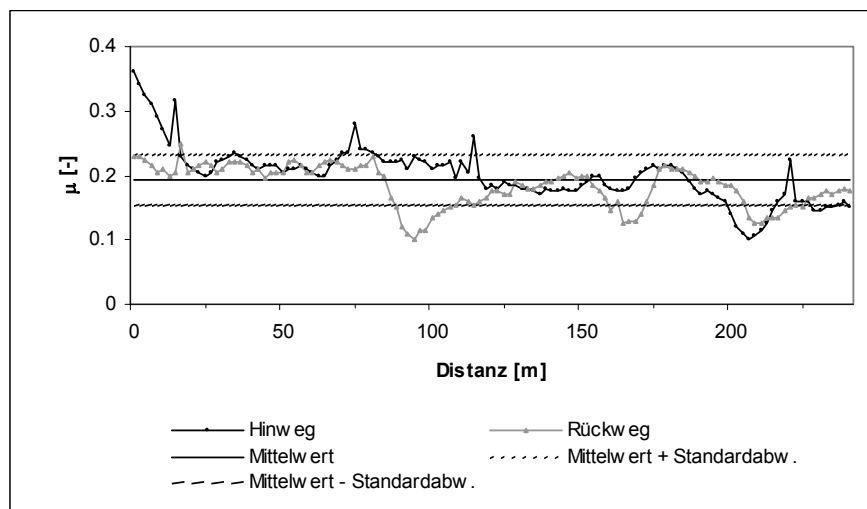
Messbedingungen: Temperatur Luft: -13°C
Temperatur Schnee: -8°C

Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt

Messgeräte: Skiddometer BV 11

Messgeschwindigkeit: 65 km/h

	μ
Mittelwert:	0.192
Standardabweichung:	0.039



Messung 1, Messfahrt 2

Zeit: 8.25 Uhr

Messbedingungen: Temperatur Luft: -13°C
Temperatur Schnee: -8°C

Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt

Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messgeschwindigkeit: 62 km/h

Kalibrierungsfaktor: 0.5

	μ
Einzelmessungen:	0.13
	0.13
	0.15
	0.13
	0.13
	0.15
	0.13
	0.13
Mittelwert:	0.137
Standardabweichung:	0.010

Messwerte C- μ (Coralba) gegenüber Skiddometer BV 11 zu tief.
Kalibrierungsfaktor auf 0.75 erhöhen.

Messung 1, Messfahrt 3

Zeit:	8.35 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-13°C
	Temperatur Schnee:	-8°C
Fahrbahnzustände:	Schnee, frisch gepflügt (stellenweise aufgeraut durch Bremsen)	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	
Kalibrierungsfaktor:	0.75	

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.24
	0.21
Mittelwert:	0.217
Standardabweichung:	0.021

Messwerte C- μ (Coralba) gegenüber Skiddometer BV 11 zu hoch.
Kalibrierungsfaktor auf 0.67 erhöhen.

Messung 1, Messfahrt 4

Zeit:	8.45 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-11°C
	Temperatur Schnee:	-8°C
Fahrbahnzustände:	Schnee, frisch gepflügt (stellenweise aufgeraut durch Bremsen)	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	
Kalibrierungsfaktor:	0.67	

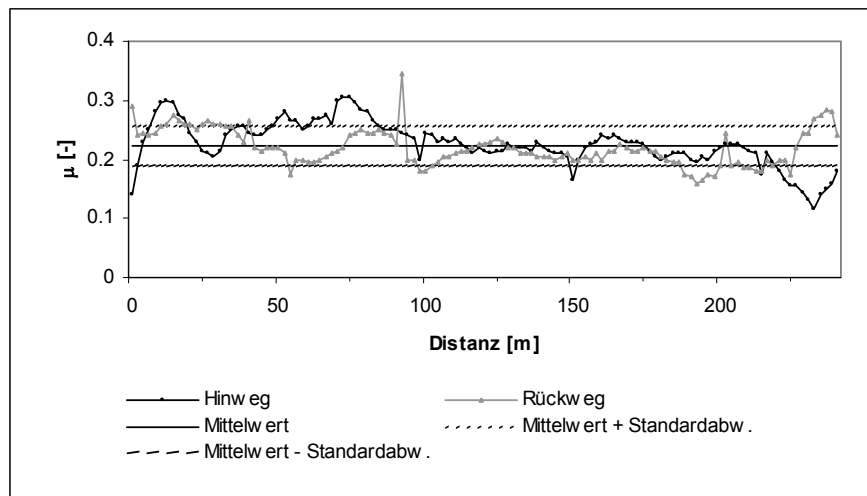
	μ
Einzelmessungen:	0.18
	0.18
	0.19
Mittelwert:	0.183
Standardabweichung:	0.006

Messwerte C- μ (Coralba) gegenüber Messung 1 (Skiddometer BV 11) kalibriert.
Mit Messung 5 wird überprüft, ob sich Bedingungen von Messung 1 bis 4 verändert haben.

Messung 1, Messfahrt 5

Zeit:	8.50 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-11°C
	Temperatur Schnee:	-8°C
Fahrbahnzustände:	Schnee, frisch gepflügt (stellenweise aufgeraut durch Bremsen)	
Messgeräte:	Skiddometer BV 11	
Messgeschwindigkeit:	65 km/h	

	μ
Mittelwert:	0.223
Standardabweichung:	0.034



Messung 5 ergibt gegenüber Messung 1 eine leicht erhöhte Griffigkeit.

Aus diesem Grund wird als Kalibrierungsfaktor 0.75 gewählt.

Mit den Messungen 6 bis 8 wird die Kalibrierung nochmals überprüft.

Messung 1, Messfahrt 6

Zeit:	9.00 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-3°C
	Temperatur Schnee:	-5°C
Fahrbahnzustände:	Schnee, frisch gepflügt (stellenweise aufgeraut durch Bremsen)	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	
Kalibrierungsfaktor:	0.75	

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.24
	0.24
	0.22
	0.18
	0.22
	0.24
Mittelwert:	0.220
Standardabweichung:	0.023

Messung 1, Messfahrt 7

Zeit: 9.15 Uhr

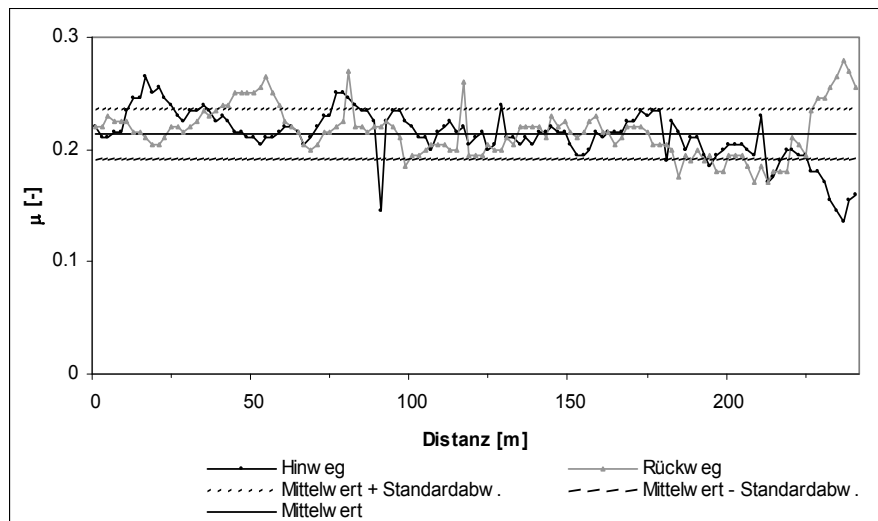
Messbedingungen: Temperatur Luft: -1°C
Temperatur Schnee: -6°C

Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt (stellenweise aufgeraut durch Bremsen)

Messgeräte: Skiddometer BV 11

Messgeschwindigkeit: 65 km/h

	μ
Mittelwert:	0.214
Standardabweichung:	0.023



Messung 1, Messfahrt 8

Zeit: 9.20 Uhr

Messbedingungen: Temperatur Luft: -1°C
Temperatur Schnee: -6°C

Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt (stellenweise aufgeraut durch Bremsen)

Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messgeschwindigkeit: 62 km/h

Kalibrierungsfaktor: 0.75

	μ
Einzelmessungen:	0.18
	0.21
	0.24
	0.28
	0.21
	0.25
	0.22
	0.21
Mittelwert:	0.225
Standardabweichung:	0.031

Messung 1, Messfahrt 6 und 8 zusammengefasst

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.24
	0.24
	0.22
	0.18
	0.22
	0.24
	0.18
	0.21
	0.24
	0.28
	0.21
	0.25
	0.22
	0.21
Mittelwert:	0.223
Standardabweichung:	0.027

Maximum: 0.28

Minimum: 0.18

II Resultate Messserien

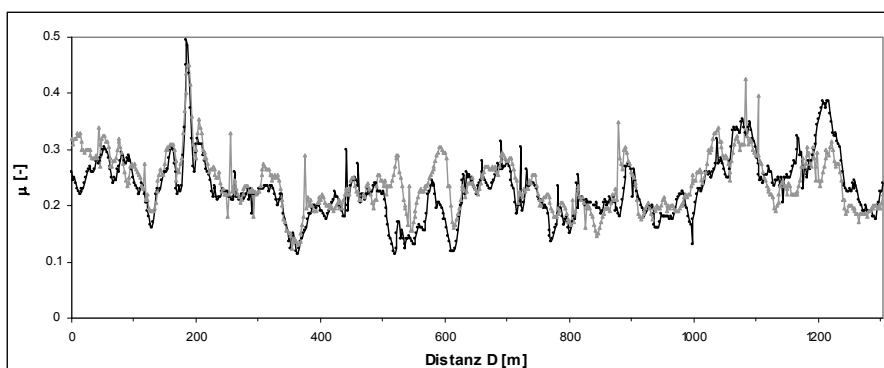
Messung 2

Ort: St. Stephan, Kalibrierungsstrecke Flugplatz
 Datum: 06.03.2008
 Zeit: 10.30 bis 11.30 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Sonnenschein
 Temperatur Luft: 0°C bis 2°C
 Temperatur Schnee: 0°C
 Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt
 Schnee, leicht festgefahren, nass
 Schnee, Eis
 Schneematsch
 Schneematsch bis Schwarz
 Schwarz, nass
 Messgeräte: Skiddometer BV 11
 C- μ (Coralba)

Messung 2, Messfahrt 1

Zeit: 10.30 Uhr
 Messbedingungen: Temperatur Luft: -2°C
 Temperatur Schnee: -0°C
 Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt
 Schnee, leicht festgefahren, nass
 Schnee, Eis
 Messgeräte: Skiddometer BV 11
 Messgeschwindigkeit: 65 km/h

	μ
Mittelwert:	0.235
Standardabweichung:	0.053



Messung 2, Messfahrt 2

Zeit: 10.45 Uhr

Messbedingungen: Temperatur Luft: -2°C
Temperatur Schnee: -0°C

Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt
Schnee, leicht festgefahren, nass
Schnee, Eis

Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messgeschwindigkeit: 63 km/h

Schnee, frisch gepflügt

	μ
Einzelmessungen:	0.23
	0.22
	0.24
	0.20
	0.20
	0.25
	0.24
	0.25
	0.23
Mittelwert:	0.229
Standardabweichung:	0.019

Schnee, leicht festgefahren, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.19
	0.17
Mittelwert:	0.187
Standardabweichung:	0.015

Schnee, Eis

	μ
Einzelmessungen:	0.16
	0.19
Mittelwert:	0.175

Messung 2, Messfahrt 3

Zeit: 10.45 Uhr

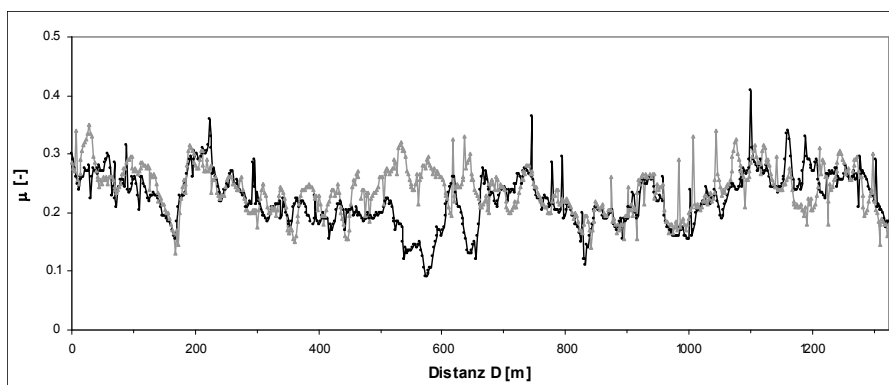
Messbedingungen: Temperatur Luft: -2°C
Temperatur Schnee: -0°C

Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt
Schnee, leicht festgefahren, nass
Schnee, Eis

Messgeräte: Skiddometer BV 11

Messgeschwindigkeit: 65 km/h

	μ
Mittelwert:	0.231
Standardabweichung:	0.043



Messung 2, Messfahrt 4

Zeit:	11.15 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-0°C
	Temperatur Schnee:	-0°C
Fahrbahnzustände:	Schnee, frisch gepflügt	
	Schnee, leicht festgefahren, nass	
	Schneematsch	
	Schneematsch bis Schwarz	
	Schwarz, nass	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	63 km/h	

Schnee, frisch gepflügt

	μ
Einzelmessungen:	0.21
	0.23
	0.24
	0.23
	0.23
	0.21
	0.22
	0.24
	0.22
Mittelwert:	0.226
Standardabweichung:	0.011

Schnee, leicht festgefahren, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.16
	0.16
	0.19
	0.18
Mittelwert:	0.173
Standardabweichung:	0.015

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.17
	0.18
Mittelwert:	0.175

Schneematsch bis Schwarz

	μ
Einzelmessungen:	0.22
	0.25
	0.28
Mittelwert:	0.250
Standardabweichung:	0.030

(nur wenig Schneematsch)

Schwarz, nass

	μ
Einzelmessung:	0.33

Messung 2, Messfahrt 5

Zeit:	11.30 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-0°C
	Temperatur Schnee:	-0°C
Fahrbahnzustände:	Schnee, frisch gepflügt	
	Schneematsch	
	Schneematsch bis Schwarz	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	65 km/h	

Schnee, frisch gepflügt

	μ
Einzelmessung:	0.22

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.17
Mittelwert:	0.185

Schneematsch bis Schwarz

	μ
Einzelmessungen:	0.25
	0.21
Mittelwert:	0.230

Messung 2, Zusammenfassung C- μ (Coralba)

Schnee, frisch gepflügt

	μ
Mittelwert:	0.227
Standardabweichung:	0.015

Schnee, leicht festgefahren, nass

	μ
Mittelwert:	0.179
Standardabweichung:	0.016

Schnee, Eis

	μ
Mittelwert:	0.175

Schneematsch

	μ
Mittelwert:	0.180
Standardabweichung:	0.014

Schneematsch bis Schwarz

	μ
Mittelwert:	0.242
Standardabweichung:	0.028

Schwarz, nass

	μ
Einzelmessung:	0.33

Messung 3

Ort: Studen
 Strasse: VS ausserorts
 Datum: 25.03.2008
 Messbedingungen: Wetter: Bedeckt, leichter Schneefall
 Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messung 3, Messfahrt 1

Zeit: 10.30 Uhr
 Messbedingungen: Temperatur Luft: -2°C
 Temperatur Schnee: -0.5°C
 Schneehöhe: 2 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, nicht gepflügt, leicht festgefahren
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 62 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.18
	0.19
	0.18
	0.15 (stark abgefahrne Stelle)
	0.16 (stark abgefahrne Stelle)
	0.20
	0.21
	0.20
	0.21
	0.19
Mittelwert:	0.187
Standardabweichung:	0.020

Mit Korrektur (stark abgefahrne Stellen weggelassen)

	μ
Einzelmessungen:	0.18
	0.19
	0.18
	0.20
	0.21
	0.20
	0.21
	0.19
Mittelwert:	0.195
Standardabweichung:	0.012

Messung 3, Messfahrt 2

Zeit:	13.30 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-0°C
	Temperatur Schnee:	-0.5°C
	Schneehöhe:	2 cm
Fahrbahnzustände:	Schneematsch	
	Schneematsch bis schwarz, nass	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.17 0.14 0.16 0.13 0.15 0.12
Mittelwert:	0.145
Standardabweichung:	0.019

Schneematsch bis schwarz, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.22 0.20
Mittelwert:	0.210

Messung 4

Ort:	Unteriberg	
Strasse:	VS ausserorts	
Datum:	25.03.2008	
Zeit:	11.00 Uhr	
Messbedingungen:	Wetter:	Bedeckt, starker Schneefall
	Temperatur Luft:	-2°C
	Temperatur Schnee:	-1°C
	Schneehöhe:	3-4 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, stark festgefahren	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	

	μ
Einzelmessungen:	0.15 0.17 0.14 0.18 0.12
Mittelwert:	0.152
Standardabweichung:	0.024

Messung 5

Ort: Weglosen
 Strasse: VS ausserorts
 Datum: 25.03.2008
 Zeit: 11.00 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Bedeckt, leichter Schneefall
 Temperatur Luft: -2°C
 Temperatur Schnee: -1°C
 Schneehöhe: 2 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, gesalzen (ca. 5 bis 10 Minuten vor Messung)
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 62 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.18
	0.22
	0.23
	0.24
	0.24
	0.21
	0.23
	0.20
	0.24
Mittelwert:	0.221
Standardabweichung:	0.021

Messung 6

Ort:	Alpthal	
Strasse:	VS ausserorts	
Datum:	25.03.2008	
Zeit:	10.30 Uhr	
Messbedingungen:	Wetter:	Bedeckt, leichter Schneefall
	Temperatur Luft:	0°C
	Temperatur Schnee:	-0.5°C
	Schneehöhe:	1-2 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, leicht festgefahren	
	Schneematsch	
	Schneematsch bis schwarz, nass	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	

Schnee leicht festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.19 0.22 0.18 0.22
Mittelwert:	0.203
Standardabweichung:	0.021

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.12 0.15 0.14
Mittelwert:	0.137
Standardabweichung:	0.015

Schneematsch bis schwarz, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.18 0.18 0.20
Mittelwert:	0.187
Standardabweichung:	0.012

Messung 7

Ort:	Wildhaus	
Strasse:	VS ausserorts	
Datum:	26.03.2008	
Messbedingungen:	Wetter:	Bedeckt
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	

Messung 7, Messfahrt 1

Zeit:	10.30 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	1.5°C
	Temperatur Schnee:	0°C
	Schneehöhe:	2 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, leicht festgefahren	
	Schneematsch	
	Schneematsch bis schwarz, nass	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	

Schnee, leicht festgefahren (bergauf)

	μ	μ_{corr}
Einzelmessungen:	0.20	0.18
	0.23	0.18
	0.22	0.18
	0.21	0.18
	0.19	0.16
	0.22	0.20
	0.22	0.19
	0.20	0.19
Mittelwert:	0.211	0.183
Standardabweichung:	0.014	0.012

Schnee, leicht festgefahren (bergab)

	μ	μ_{corr}
Einzelmessungen:	0.15	0.15
	0.18	0.18
	0.17	0.17
	0.18	0.17
Mittelwert:	0.170	0.168
Standardabweichung:	0.014	0.013

Schnee, leicht festgefahren (bergauf und bergab zusammengefasst)

	μ	μ_{corr}
Einzelmessungen:	0.20	0.18
	0.23	0.18
	0.22	0.18
	0.15	0.15
	0.18	0.18
	0.21	0.18
	0.19	0.16
	0.17	0.17
	0.18	0.17
	0.22	0.20
	0.22	0.19
	0.20	0.19
Mittelwert:	0.198	0.178
Standardabweichung:	0.024	0.014

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.15
	0.15
	0.15
Mittelwert:	0.150

Schneematsch bis schwarz, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.19
	0.18
Mittelwert:	0.185

Messung 7, Messfahrt 2

Zeit:	11.30 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	3.5°C
	Temperatur Schnee:	0°C
	Schneehöhe:	2 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, nass bis Schneematsch	
	Schneematsch	
	Schneematsch bis schwarz, nass	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h	

Schnee, nass bis Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.17 0.18 0.14
Mittelwert:	0.163
Standardabweichung:	0.021

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.12 0.15 0.16 0.15 0.17 0.15
Mittelwert:	0.150
Standardabweichung:	0.017

Schneematsch bis schwarz, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.24 0.25
Mittelwert:	0.245

Messung 7, Zusammenfassung

Schneematsch

	μ
Mittelwert:	0.150
Standardabweichung:	0.013

Schneematsch bis schwarz, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.19 0.18 0.24 0.25
Mittelwert:	0.215
Standardabweichung:	0.035

Messung 8

Ort: Gross
 Strasse: VS innerorts
 Datum: 03.04.2008
 Zeit: 21.00 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Starker Schneefall
 Temperatur Luft: -1°C
 Temperatur Schnee: 0°C
 Schneehöhe: 1-3 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, nass (Strasse bei Schneefall schneebedeckt)
 Schnee, nass bis Schneematsch (locker)
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 45 km/h

Schnee, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.14 0.15
Mittelwert:	0.145

Schnee, nass bis Schneematsch (locker)

	μ
Einzelmessungen:	0.19 0.19 0.18 0.21 0.19 0.23 0.22 0.24
Mittelwert:	0.206
Standardabweichung:	0.022

Messung 9

Ort:	Studen	
Strasse:	VS ausserorts	
Datum:	03.04.2008	
Zeit:	21.30 Uhr	
Messbedingungen:	Wetter:	Leichter Schneefall
	Temperatur Luft:	2°C
	Temperatur Schnee:	0°C
	Schneehöhe:	2-3 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, nicht festgefahren, nass	
	Schwarz, nass	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	65 km/h	

Schnee, nicht festgefahren, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.26
	0.30
	0.26
	0.26
	0.33
	0.33
	0.25
	0.29
	0.31
	0.37
Mittelwert:	0.296
Standardabweichung:	0.039

Schwarz, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.26
	0.32
	0.27
	0.26
	0.29
	0.33
	0.32
	0.30
	0.29
Mittelwert:	0.293
Standardabweichung:	0.026

Messung 10

Ort:	Alpthal
Strasse:	VS ausserorts
Datum:	03.04.2008
Zeit:	21.45 Uhr
Messbedingungen:	Wetter: Starker Schneefall
	Temperatur Luft: 1°C
	Temperatur Schnee: 0°C
	Schneehöhe: 3-5 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, leicht festgefahren, nass
	Schnee, nicht festgefahren, nass
Messgeräte:	C- μ (Coralba)
Messgeschwindigkeit:	45 km/h

Schnee, leicht festgefahren, nass (bergab)

	μ	μ_{corr}
Einzelmessungen:	0.12	0.12
	0.09	0.10
	0.14	0.14
	0.13	0.12
	0.13	0.13
	0.12	0.12
	0.12	0.12
	0.16	0.17
	0.11	0.11
	0.11	0.11
	0.12	0.12
	0.14	0.13
	0.13	0.13
	0.21	0.21
	0.12	0.11
Mittelwert:	0.130	0.129
Standardabweichung:	0.027	0.028

Schnee, leicht festgefahren, nass (bergauf)

	μ	μ_{corr}
Einzelmessungen:	0.17	0.14
	0.20	0.17
	0.17	0.16
	0.17	0.14
	0.18	0.15
	0.16	0.14
	0.20	0.17
	0.21	0.21
	0.16	0.14
	0.15	0.13
	0.17	0.14
Mittelwert:	0.176	0.154
Standardabweichung:	0.019	0.023

Schnee, leicht festgefahren, nass (bergab und bergauf zusammengefasst)

	μ	μ_{corr}
Mittelwert:	0.150	0.140
Standardabweichung:	0.033	0.028

Schnee, nicht festgefahren, nass

	μ
Einzelmessungen:	0.08
	0.08
	0.11
	0.11
	0.12
	0.08
Mittelwert:	0.097
Standardabweichung:	0.019

Messung 11

Ort:	Oetwil	
Strasse:	VS ausserorts	
Datum:	23.11.2008	
Zeit:	22.30 Uhr	
Messbedingungen:	Wetter:	Schneefall
	Temperatur Luft:	1.5°C
	Temperatur Schnee:	0°C
	Schneehöhe:	2-3 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, nass bis Schneematsch (locker)	
	Schneematsch	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	60 km/h	

Schnee, nass bis Schneematsch (locker)

	μ
Einzelmessungen:	0.23
	0.18
	0.16
	0.18
	0.17
	0.24
Mittelwert:	0.193
Standardabweichung:	0.033

Schnee, nass bis Schneematsch (auf Brücke)

	μ
Einzelmessungen:	0.15
	0.18
	0.14
Mittelwert:	0.157
Standardabweichung:	0.021

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.23
Mittelwert:	0.230

Messung 12

Ort: Weiningen
 Strasse: VS ausserorts
 Datum: 23.11.2008
 Zeit: 22.45 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Schneefall
 Temperatur Luft: 1.5°C
 Temperatur Schnee: 0°C
 Schneehöhe: 1-2 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, gesalzen
 Schwarz, gesalzen (direkt hinter Pflug)
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 60 km/h

Schnee, gesalzen

	μ	
Einzelmessungen:	0.15	
	0.14	
	0.18	(Stelle ohne Fahrspuren)
	0.18	(Stelle ohne Fahrspuren)
	0.25	
	0.21	
	0.21	
	0.22	
Mittelwert:	0.193	
Standardabweichung:	0.037	

Schwarz, gesalzen (direkt hinter Pflug)

	μ
Einzelmessungen:	0.28

Messung 13

Ort: Schlieren
 Strasse: VS ausserorts
 Datum: 23.11.2008
 Zeit: 23.00 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Schneefall
 Temperatur Luft: 1.5°C
 Temperatur Schnee: 0°C
 Schneehöhe: 1-2 cm
 Fahrbahnzustände: Schneematsch, festgefahren
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 60 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.12
	0.14

Messung 14

Ort: Reppischtal
 Strasse: VS ausserorts
 Datum: 23.11.2008
 Zeit: 23.30 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Schneefall
 Temperatur Luft: 1.5°C
 Temperatur Schnee: 0°C
 Schneehöhe: 1-2 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, festgefahren, nass
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 60 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.16
	0.15
	0.14
	0.17
	0.19
	0.20
	0.21
Mittelwert:	0.174
Standardabweichung:	0.026

Messung 15

Ort: S-Chanf
 Strasse: HVS
 Datum: 25.11.2008
 Messbedingungen: Wetter: Sonnenschein
 Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messung 15, Messfahrt 1

Zeit: 11.30 Uhr
 Messbedingungen: Temperatur Luft: -5°C
 Temperatur Schnee: -6°C
 Schneehöhe: 1-3 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren
 Schnee, festgefahren
 Schnee stark festgefahren
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 62 km/h bzw. 73 km/h

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.22
	0.20
	0.22
	0.21
Mittelwert:	0.213
Standardabweichung:	0.010

Schnee, festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.16
	0.16
	0.17
	0.17
	0.19
	0.18
	0.18
Mittelwert:	0.173
Standardabweichung:	0.011

Schnee stark festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.14
	0.14
	0.13
	0.11
	0.13
	0.17
	0.12
Mittelwert:	0.134
Standardabweichung:	0.019

Messung 15, Messfahrt 2

Zeit: 15.00 Uhr

Messbedingungen: Temperatur Luft: -5°C
 Temperatur Schnee: -6°C
 Schneehöhe: 1-3 cm

Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren
 Schnee, festgefahren
 Schnee stark festgefahren, gepflügt

(Zwischen Messfahrt 1 und 2 wurde die Strecke gepflügt. Die harten Stellen wurden dabei leicht aufgeraut.)

Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messgeschwindigkeit: 62 km/h bzw. 73 km/h

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.19
Mittelwert:	0.195

Schnee, festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.19
	0.19
	0.18
Mittelwert:	0.187
Standardabweichung:	0.006

Schnee stark festgefahren, gepflügt

	μ
Einzelmessungen:	0.17
	0.17
	0.17
	0.18
	0.16
	0.17
	0.15
	0.17
	0.16
	0.15
	0.17
	0.15
Mittelwert:	0.164
Standardabweichung:	0.010

Messung 15, Zusammenfassung

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Mittelwert:	0.207
Standardabweichung:	0.012

Schnee, festgefahren

	μ
Mittelwert:	0.177
Standardabweichung:	0.012

Schnee stark festgefahren

	μ
Mittelwert:	0.134
Standardabweichung:	0.019

Schnee stark festgefahren, gepflügt

	μ
Mittelwert:	0.164
Standardabweichung:	0.010

Messung 16

Ort: Samedan
 Strasse: VS
 Datum: 25.11.2008
 Messbedingungen: Wetter: Sonnenschein
 Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messung 16, Messfahrt 1

Zeit: 14.15 Uhr
 Messbedingungen: Temperatur Luft: 0°C
 Temperatur Schnee: -7°C
 Schneehöhe: 3 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, frisch gepflügt
 Schnee, leicht festgefahren
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 60 km/h

Schnee, frisch gepflügt

	μ
Einzelmessungen:	0.24
	0.25
	0.24
	0.24
	0.25
	0.25
	0.23
	0.22
	0.22
	0.24
Mittelwert:	0.238
Standardabweichung:	0.011

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.21
Mittelwert:	0.205

Messung 16, Messfahrt 2

Zeit:	16.30 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-7°C
	Temperatur Schnee:	-8.5°C
	Schneehöhe:	3 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, leicht festgefahren	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	62 km/h bzw. 73 km/h	

	μ
Einzelmessungen:	0.22
	0.21
	0.22
	0.21
	0.23
	0.22
	0.23
	0.22
Mittelwert:	0.220
Standardabweichung:	0.008

Messung 16, Zusammenfassung

Schnee, frisch gepflügt

	μ
Mittelwert:	0.238
Standardabweichung:	0.011

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Mittelwert:	0.217
Standardabweichung:	0.009

Messung 17

Ort: Zuoz

Strasse: VS ausserorts

Datum: 25.11.2008

Zeit: 15.45 Uhr

Messbedingungen: Wetter: Sonnenschein
 Temperatur Luft: -5°C
 Temperatur Schnee: -6°C
 Schneehöhe: 2-3 cm

Fahrbahnzustände: Schnee, leicht gekiest

Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messgeschwindigkeit: 60 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.21
	0.19
	0.20
	0.21
	0.23
	0.22
	0.22
	0.19
	0.16
	0.23
Mittelwert:	0.206
Standardabweichung:	0.022

Messung 18

Ort: Bever

Strasse: VS ausserorts

Datum: 25.11.2008

Zeit: 16.00 Uhr

Messbedingungen: Wetter: Sonnenschein
 Temperatur Luft: -6°C
 Temperatur Schnee: -7.5°C
 Schneehöhe: 3 cm

Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren

Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messgeschwindigkeit: 80 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.21
	0.23
	0.24
	0.24
	0.21
	0.24
	0.24
	0.23
	0.20
	0.22
	0.22
Mittelwert:	0.225
Standardabweichung:	0.014

Messung 19

Ort: Samedan
 Strasse: VS
 Datum: 26.11.2008
 Messbedingungen: Wetter: Sonnenschein
 Messgeräte: C- μ (Coralba)

Messung 19, Messfahrt 1

Zeit: 7.00 Uhr
 Messbedingungen: Temperatur Luft: -15°C
 Temperatur Schnee: -14°C
 Schneehöhe: 3 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, leicht festgefahren
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 61 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.23
	0.21
	0.23
	0.21
	0.21
	0.22
	0.22
	0.23
	0.24
	0.20
	0.22
	0.23
	0.22
	0.20
	0.22
	0.21
	0.23
Mittelwert:	0.219
Standardabweichung:	0.011

Messung 19, Messfahrt 2

Zeit:	10.20 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-12°C
	Temperatur Schnee:	-8.5°C
	Schneehöhe:	3 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, leicht festgefahren	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	61 km/h	

	μ
Einzelmessungen:	0.19
	0.21
	0.20
	0.19
	0.21
	0.23
	0.24
	0.23
	0.23
	0.23
	0.19
	0.20
	0.20
	0.21
	0.22
	0.20
	0.19
	0.21
	0.19
	0.20
	0.21
	0.21
	0.19
	0.21
	0.19
	0.22
	0.25
	0.22
Mittelwert:	0.210
Standardabweichung:	0.017

Messung 19, Zusammenfassung

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Mittelwert:	0.213
Standardabweichung:	0.016

Messung 20

Ort:	S-Chanf	
Strasse:	HVS	
Datum:	26.11.2008	
Messbedingungen:	Wetter:	Sonnenschein
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	

Messung 20, Messfahrt 1

Zeit:	7.20 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-16°C
	Temperatur Schnee:	-14°C
	Schneehöhe:	1-2 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, stark festgefahren	
Messgeräte:	C-μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	80 km/h	

	μ
Einzelmessungen:	0.14 0.16 0.12
Mittelwert:	0.140
Standardabweichung:	0.020

Messung 20, Messfahrt 2

Zeit:	7.30 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-16°C
	Temperatur Schnee:	-14°C
	Schneehöhe:	1-2 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, leicht festgefahren Schnee, stark festgefahren Schnee, stark festgefahren, leicht gekiest Schwarz, nass (gesalzen)	
Messgeräte:	C-μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	80 km/h	

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.26 0.21 0.23 0.24 0.24 0.24
Mittelwert:	0.237
Standardabweichung:	0.016

Schnee, stark festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.17 0.15 0.16
Mittelwert:	0.160
Standardabweichung:	0.010

Schnee, stark festgefahren, leicht gekiest

	μ
Einzelmessungen:	0.21 0.22
Mittelwert:	0.215

Schwarz, nass (gesalzen)

	μ
Einzelmessungen:	0.31

Messung 20, Messfahrt 3

Zeit:	8.10 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-16°C
	Temperatur Schnee:	-14°C
	Schneehöhe:	1-2 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, stark festgefahren	
	Schwarz, nass (gesalzen)	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	80 km/h	

Schnee, stark festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.15
	0.17
	0.21
	0.16
	0.12
	0.15
	0.18
	0.16
	0.18
Mittelwert:	0.164
Standardabweichung:	0.025

Schwarz, nass (gesalzen)

	μ
Einzelmessungen:	0.21
	0.25
	0.29
	0.26
Mittelwert:	0.253
Standardabweichung:	0.033

Messung 20, Messfahrt 4

Zeit:	10.45 Uhr	
Messbedingungen:	Temperatur Luft:	-12°C
	Temperatur Schnee:	-8.5°C
	Schneehöhe:	1-2 cm
Fahrbahnzustände:	Schnee, leicht festgefahren	
	Schnee, stark festgefahren	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	80 km/h	

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.20 0.22 0.21 0.22
Mittelwert:	0.213
Standardabweichung:	0.010

Schnee, stark festgefahren

	μ
Einzelmessungen:	0.16 0.16 0.16 0.15 0.13 0.15 0.16 0.14
Mittelwert:	0.151
Standardabweichung:	0.011

Messung 20, Zusammenfassung

Schnee, leicht festgefahren

	μ
Mittelwert:	0.227
Standardabweichung:	0.018

Schnee, stark festgefahren

	μ
Mittelwert:	0.156
Standardabweichung:	0.020

Schwarz, gesalzen

	μ
Mittelwert:	0.264
Standardabweichung:	0.038

Messung 21

Ort: Zuoz
 Strasse: VS ausserorts
 Datum: 26.11.2008
 Zeit: 8.00 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Sonnenschein
 Temperatur Luft: -16°C
 Temperatur Schnee: -11°C
 Schneehöhe: 2-3 cm
 Fahrbahnzustände: Schnee, leicht gekiest
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 80 km/h

	μ
Einzelmessungen:	0.23
	0.20
	0.18
	0.17
	0.17
	0.19
	0.19
	0.19
	0.21
Mittelwert:	0.192
Standardabweichung:	0.019

Messung 22

Ort: Dietikon
 Strasse: VS innerorts
 Datum: 17.12.2008
 Zeit: 9.40 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Bedeckt
 Temperatur Luft: 1°C
 Temperatur Schnee: 0°C
 Schneehöhe: 1-2 cm
 Fahrbahnzustände: Schneematsch
 Schneematsch bis schwarz (nach Salzen)
 Messgeräte: C- μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 40 km/h

Schneematsch

	μ
Einzelmessungen:	0.18
	0.15
	0.18
	0.12
	0.18
	0.17
	0.17
	0.17
	0.18
	0.18
	0.17
Mittelwert:	0.169
Standardabweichung:	0.018

Schneematsch bis schwarz (nach Salzen)

	μ
Einzelmessungen:	0.20
	0.21
Mittelwert:	0.205

Messung 23

Ort:	Uznach	
Strasse:	HLS	
Datum:	18.02.2009	
Zeit:	0.15 Uhr	
Messbedingungen:	Wetter:	Bedeckt
	Temperatur Luft:	1°C
	Temperatur Schnee:	-1°C
	Schneehöhe:	1 cm
Fahrbahnzustände:	Schneematsch, gefroren	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	80 km/h	

	μ
Einzelmessungen:	0.22
	0.23
	0.23
	0.24
	0.23
	0.25
	0.24
	0.23
	0.23
Mittelwert:	0.233
Standardabweichung:	0.009

Messung 24

Ort:	Höngg	
Strasse:	VS	
Datum:	18.02.2009	
Zeit:	1.00 Uhr	
Messbedingungen:	Wetter:	Bedeckt
	Temperatur Luft:	-3°C
	Temperatur Schnee:	-1°C
Fahrbahnzustände:	Eisglätte	
Messgeräte:	C- μ (Coralba)	
Messgeschwindigkeit:	60 km/h	

	μ
Einzelmessungen:	0.23
	0.19
	0.19
	0.19
	0.19
	0.15
	0.20
	0.15
	0.19
	0.21
Mittelwert:	0.189
Standardabweichung:	0.024

Messung 25

Ort: Höngg
 Strasse: VS
 Datum: 18.02.2009
 Zeit: 1.15 Uhr
 Messbedingungen: Wetter: Bedeckt
 Temperatur Luft: -3°C
 Temperatur Schnee: -1°C
 Fahrbahnzustände: Eisglätte
 Eisglätte, körnige Struktur
 Messgeräte: C-μ (Coralba)
 Messgeschwindigkeit: 40 km/h

Eisglätte

	μ
Einzelmessungen:	0.19
	0.16
	0.23
	0.18
	0.16
	0.17
	0.21
	0.17
Mittelwert:	0.184
Standardabweichung:	0.025

Eisglätte, körnige Struktur

	μ
Einzelmessungen:	0.24
	0.23
	0.24
	0.26
Mittelwert:	0.243
Standardabweichung:	0.013

Literaturverzeichnis

[1]	Schweizer Norm SN 640 511b, Griffigkeit, Bewertung, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 1984
[2]	Schweizer Norm SN 640 521c, Ebenheit, Qualitätsanforderungen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2003
[3]	Schweizer Norm SN 640 925b, Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF), Zustandserhebung und Indexbewertung, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2003
[4]	Finish Road Administration, Winter road maintenance, policy 2001, Helsinki, 2001
[5]	Wallmann, C.-G., Åström, H., Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety, A literature review, Swedish National Road and Transport Research Institute
[6]	Lindenmann, H.P., Leemann, N., Seiler, L., Pilotstudie Winterdienst Nationalstrassen, Bundesamt für Strassen ASTRA, 2007
[7]	Schweizer Norm SN 640 750b, Winterdienst, Grundnorm, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2007
[8]	Schweizer Norm SN 640 900, Erhaltungsmanagement, Grundnorm, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2004
[9]	Schweizer Norm SN 640 781, Verkehrsmanagement, Begriffssystematik, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2005
[10]	Girmscheid, G., Dreyer, J., Lindenmann, H.P., Schiffmann, F., Kommunale Strassennetze in der Schweiz: Formen neuer Public Private Partnership (PPP) – Kooperationen für den Unterhalt, Schriftenreihe 1226, Schlussbericht ASTRA 2003/007, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern, 2008
[11]	Schweizer Norm SN 640 510c, Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen, Grundnorm, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Zürich, 2007

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 28.05.2010

Grunddaten

Projekt-Nr.: ASTRA 2007/012

Projekttitel: Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen

Enddatum: Mai 2010

Texte:

Zusammenfassung der
Projektergebnisse:

Die Messungen bei verschiedenen Fahrbahnzuständen und Wetterbedingungen zeigten, dass für die Beurteilung der Fahrbahngriffigkeit bei winterlichen Verhältnissen zwei Situationen unterschieden werden sollten. Vereinfacht können sie in „kalt“ ($< -1.0^{\circ}\text{C}$) und „warm“ ($\geq -1.0^{\circ}\text{C}$) getrennt werden.

Für „kalte“ Verhältnisse lassen sich aufgrund der durchgeführten Erhebungen im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit folgende Richtwerte für Griffigkeitsniveaus angeben.

- Schnee, frisch gepflügt: $\mu = 0.22 - 0.24$
- Schnee, leicht festgefahren: $\mu = 0.21 - 0.23$
- Schnee stark festgefahren: $\mu = 0.13 - 0.16$

Für „warme“ Verhältnisse und entsprechend rasch sich verändernde d.h. relativ instabile winterliche Fahrbahnzustände sind aus der Literatur und der Praxis praktisch keine Erhebungen und Auswertungen bekannt. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gewonnen Erkenntnisse sind neu und noch wenig erhärtet. Bei leicht festgefahrenem Schnee wurde bei warmen Bedingungen Griffigkeitswerte um 0.19, bei Schneematsch ein Griffigkeitsniveau um 0.16 gemessen.

Zielerreichung:

Das Ziel im realen Feldversuch die vorhandenen Griffigkeiten auf winterlichen Fahrbahnen bei verschiedenen Fahrbahnzuständen zu erfassen und zu beurteilen wurde nur teilweise erreicht. Immerhin liessen sich Beurteilungen sowohl für kalte als auch warme Verhältnisse vornehmen. Diese sind aber nur für kalte Verhältnisse recht schlüssig und noch unzureichend für warme Verhältnisse. Bei den warmen Verhältnissen bedarf es einer weiteren Differenzierung und zusätzlicher zeit- und temperaturabhängiger Untersuchungen.

Eine exakte Festlegung von Richtwerten im Zusammenhang mit den Sicherheitsanforderungen ist noch nicht möglich.

Folgerungen und
Empfehlungen:

Für „kalte“ Verhältnisse lassen sich deshalb aufgrund der durchgeführten Erhebungen im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit Richtwerte für Griffigkeitsniveaus angeben.

Für „warme“ Verhältnisse und entsprechend rasch sich verändernde d.h. relativ instabile winterliche Fahrbahnzustände sind aus der Literatur und der Praxis praktisch keine Erhebungen und Auswertungen bekannt. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung gewonnen Erkenntnisse sind neu und noch wenig erhärtet. Zur Bestätigung und Verfeinerung bedarf es hier weiterer Untersuchungen, vor allem auch Erhebungen zum Einfluss des Salzens.

Publikationen:

Lindenmann H.P., Leemann N. (2010) Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen, Schlussbericht ASTRA 2007/012, Schriftreihe, Nr. noch offen, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:	Die Untersuchung hat wertvolle Resultate zum Griffigkeitsniveau auf winterlichen Fahrbahnen hervor- gebracht. Griffigkeitsmessungen auf winterlichen Fahrbahnen sind bisher in der Schweiz noch kaum durchgeführt worden. Deshalb sind hier neue Erkenntnisse gewonnen worden. Während für die Verhält- nisse „kalt“ einigermaßen gesicherte Griffigkeitsniveaus erkannt und auch durch ähnliche ausländische Erkenntnisse bestätigt werden konnten, liess sich dies für „warme“ Verhältnisse nicht bewerkstelligen.
Umsetzung:	Obwohl die Resultate für kalte Verhältnisse recht schlüssig sind, erscheint eine Umsetzung in eine Norm deshalb verfrüht, weil die weitgehend noch offenen Niveaus für warme Verhältnisse in direktem Zusammenhang mit den Niveaus für kalte Verhältnisse stehen.
weitergehender Forschungsbedarf:	Wie aus den Ergebnissen und Folgerungen der Forschungsarbeit hervorgeht, wird eine Folgeforschung zur Vertiefung, Bestätigung und Verfeinerung der hier als vorläufige Resultate erkannten Griffigkeitsniveaus für „warme“ Verhältnisse vorgeschlagen. Der Vorschlag wird unterstützt mit der Erweiterung, dass auch die Frage der Wirkung des Salzens miteinbezogen werden sollte.
Einfluss auf Normenwerk:	- Die gewonnen Erkenntnisse werden zur Bearbeitung den entsprechenden Expertenkommissionen zugeführt. - Es erscheint möglich, Ergänzungen zu erarbeiten, welche Angaben zur Erfassung (Messung) der Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen und zu den Griffigkeitsniveaus verschiedener Fahrbahnzustände bei kalten und stabilen Verhältnissen machen.

Präsident Begleitkommission:

Name:	Seiler	Vorname:	Luzia
Amt, Firma, Institut:	Bundesamt für Strassen		
Strasse, Nr.:	Mühlegasse 2		
PLZ:	3063	Email:	luzia.seiler@astra.admin.ch
Ort:	Ittigen	Telefon:	031 322 94 43
Kanton, Land:	Bern, Schweiz	Fax:	031 323 23 03

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

31.5.2010

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Datum
1227	VSS 2004/601	Umweltbauabnahme (UBA) <i>Réception environnementale des travaux (RET)</i>	2008
1228	SVI 2001/508	Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner – eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030? <i>Mobilité des futurs retraités – un défi pour le système des transport en 2030?</i>	2008
1229	SVI 2004/081	Modal Split Funktionen im Güterverkehr <i>Fonctions de répartition modale pour le trafic de marchandises</i>	2008
1230	SVI 2004/090	Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen <i>Monitoring et controlling de l'ensemble du trafic dans les agglomérations</i>	2008
1231	SVI 2004/045	Mobilitätsmanagement in Betrieben – Motive und Wirksamkeit <i>Gestion de la mobilité dans les entreprises – motifs et efficacité</i>	2008
1232	ASTRA 2005/008	Low Power Wireless Sensor Network for Monitoring Civil Infrastructure <i>Drahtloses Sensornetzwerk zur Infrastrukturüberwachung</i>	2009
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten <i>Components durables des couches bitumineux</i>	2009
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen Standardisierte Erhaltungsmassnahmen <i>Mesures d'entretiens standardisées</i>	2008
1236	ASTRA 2008/008_7	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR <i>Analyse Comparative des accents stratégiques et des champs d'action prioritaires de l'OFROU et de l'AIPCR</i>	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz <i>Bases pour eCall en Suisse</i>	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen <i>Sécurité routière pour chantiers de courte durée et aux jonctions dans la zone d'un chantier de route à grand débit</i>	2008
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen <i>Bases de dimensionnement pour le renforcement par géosynthétiques</i>	2009

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.	Titel	Datum
1240	ASTRA 2002/010 & 2005/009	L'acceptabilité du péage de congestion: Résultats et analyse de l'enquête réalisée en Suisse <i>Die Akzeptanz von Gebühren zur Vermeidung von Stau auf Strassen: Resultate und Analysen von Untersuchungen in der Schweiz</i>	2009
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests <i>Amélioration des informations fournies par l'essai d'orniérage LCPC</i>	2009
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: Initialprojekt <i>Recyclage des matériaux bitumeux de démolition dans les enrobés à chaud: projet initial</i>	2007
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen <i>Les coûts de l'entretien courant des routes</i>	2008
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen <i>Bénéfice total - rapport avantages / coûts des mesures d'entretien standardisées</i>	2008
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert <i>Influences et interactions de l'état de surface et de la portance sur la valeur intrinsèque et la valeur d'usage</i>	2009
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen <i>Exigences à l'équipement routier pour l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence</i>	2009
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen <i>Facteurs d'influence sur la résistance au feu de structures en béton</i>	2009
1250	VSS 2005/502	Strassenabwasser Filterschacht <i>Traitement des eaux de routes dans des chambres avec sac en géotextile</i>	2007
1251	VSS 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumeux <i>Auswirkung der gerundeten oder teilweise gerundeten Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit des Asphaltbetons</i>	2008