

Glättebildung durch Überfrieren

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 36

bast

Glättebildung durch Überfrieren

Schwellwerte der Oberflächenfeuchte auf Fahrbahnen

von

Jean-Peter Nicolas

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 36

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 94 730:
Bestimmung von Schwellwerten der Oberflächenfeuchte von Fahrbahnen im Zusammenhang mit der Glättebildung bei Überfrachten für die Anforderungen an Glättemeldeanlagen

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (02204) 43 - 0
Telefax (02204) 43 - 674

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (0471) 9 45 44 - 0
Telefax (0471) 9 45 44 88

ISSN 0943-9331
ISBN 3-89429-794-8

Bergisch Gladbach, November 1996

Kurzfassung · Abstract · Résumé

Glättebildung durch Überfrieren - Schwellwerte der Oberflächenfeuchte auf Fahrbahnen

Im Rahmen des Projektes „Praxisgerechte Anforderungen an Glättemeldeanlagen“ stellte die Beschreibung des Feuchtezustandes der Straßenoberfläche ein besonderes Problem dar. Aussagen wie „feucht“ und „naß“ sind wegen ihrer nicht definierten quantitativen Grenzen ungeeignete Beschreibungsformen. Es sollten deshalb Feuchteschwellwerte gesucht werden, deren Überschreiten bei Minustemperaturen zu gefährlicher Eisglätte führen.

Dazu wurden Proben von Straßendecken in einer Klimakammer unterschiedlich stark befeuchtet. Die Griffigkeit der mit einem Eisfilm überzogenen Proben wurden mit dem SRT-Gerät (Portable Skid Resistance Tester) ermittelt. Für die Abhängigkeit der Griffigkeit von der aufgetragenen Wassermenge ergab sich eine exponentielle Abhängigkeit. Nach einem relativ schnellen Abfall der Griffigkeit stellte sich bei etwa 25 SRT-Einheiten ein Grenzwert ein, der auch bei weiter steigenden Wasserfilmdicken nicht mehr unterschritten wurde.

Als Grenzwert für gefährliche Glätte wurden 50 SRT-Einheiten festgelegt. Dieser Grenzwert wurde bei den untersuchten Proben bereits bei Wasserfilmdicken zwischen 0,03 bis 0,06 mm erreicht. Ob dieser Schwellwertbereich für alle Straßendeckenarten zutrifft, kann erst nach Durchführung weiterer Meßreihen an Proben definierter Oberfläche bewertet werden.

Die Verwendung von Schwellwerten bei der Festlegung von Forderungen an Glättemeldeanlagen ist sinnvoll. Dabei sind allerdings zusätzlich die vielfältigen Randbedingungen des realen Verkehrs gegenüber den unbeeinflussten Labormessungen zu berücksichtigen, die eventuell noch Verschiebungen dieser Schwellwerte bewirken können.

Slippery road surfaces caused by freezing over - surface moisture thresholds on carriageways

One of the particular problems posed by the project „Practical requirements of ice warning systems“ was how to describe the moisture condition of the road surface. Definitions such as ‘moist’ and ‘wet’ are unsuitable forms of description because they do not involve defined quantitative

limits. It was therefore necessary to find moisture threshold values which, if exceeded at minus temperatures, lead to dangerous black ice.

To this end, samples of road surfaces were subjected to differing moisture levels in a climatic chamber. The skidding resistance of the samples covered with a film of ice was determined using the SRT device (Portable Skid Resistance Tester). An exponential correlation was determined between the amount of water applied and the skid resistance. Following a fairly rapid fall in skid resistance, a limit value was determined at approximately 25 SRT units. At this point, a further fall in skid resistance did not occur even with an increase in the thickness of the ice film.

The threshold value for dangerous slippery surfaces was determined to be 50 SRT units. This threshold was reached for the samples tested at water film thicknesses of 0.03 to 0.06 mm. Whether or not this can be applied to all road surface types can only be evaluated after further test series have been completed on samples of defined surfaces.

The application of threshold values to determine the requirements for ice warning systems is useful. However the numerous additional factors pertaining to real traffic as opposed to the uninfluenced laboratory measurements must be taken into consideration. These may cause the threshold values to be altered.

Risque de glissance en raison d'une mince couche de glace - valeurs seuil de l'humidité superficielle sur chaussées

Dans le cadre du projet „Exigences pratiques vis-à-vis des avertisseurs de verglas“, la description de l'humidité de la surface de la chaussée posait un problème particulier. Des notions comme „humide“ ou „mouillé“ ne sont pas propres à décrire l'état de la chaussée parce qu'elles manquent de limites quantitatives bien définies. On a donc cherché à déterminer des valeurs seuil pour l'humidité dont le dépassement lors de températures en dessous de zéro conduit à la formation de verglas dangereux.

A cet effet, des essais furent effectués dans une chambre climatique, en soumettant des échantil-

lons de revêtements routiers à de différents degrés d'humidité. L'adhérence présentée par les échantillons couverts d'une mince couche de glace fut déterminée à l'aide de l'appareil SRT (Portable Skid Resistance Tester). Il se montra une corrélation exponentielle entre l'adhérence et la quantité d'eau appliquée sur l'échantillon. Suite à une baisse relativement rapide des valeurs d'adhérence, une valeur seuil fut atteinte à environ 25 unités SRT. Cette valeur ne descendait plus même si les couches d'eau devenaient plus épaisses.

La valeur limite de 50 unités SRT fut définie pour qualifier le verglas comme dangereux. L'étude des échantillons a fait ressortir que cette valeur limite fut déjà atteinte avec une couche d'eau de 0,03 à 0,06 mm d'épaisseur. D'autres séries de mesures avec des échantillons de surfaces définies seraient nécessaires pour évaluer si cette fourchette s'applique à tous les types de revêtement.

Il est opportun d'appuyer la définition des exigences vis-à-vis des détecteurs de verglas sur des valeurs seuil. Mais il faut aussi prendre en considération que les conditions de la circulation réelle sont à bien des égards différentes des conditions non influencées régnant dans un laboratoire d'essai. Les valeurs de seuil peuvent donc encore changer en réalité.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Allgemeine Begriffsbestimmung	7
2.1	Glättebildung	7
2.2	Oberflächeneigenschaften der Fahrbahn	8
2.3	Feuchtezustände von Fahrbahnen	8
2.4	Schwellwerte	10
3	Versuche zur Schwellwert- ermittlung	11
3.1	Klimakammer	11
3.2	SRT-Pendelgerät, Pendeltisch	14
3.3	Probestücke	14
3.4	Versuchsdurchführung	16
3.4.1	Klimatisierung und Befeuchtung der Proben	16
3.4.2	Reibbeiwertermittlung mit dem SRT-Pendelgerät	16
4	Auswertung der Messungen	18
4.1	Meßergebnisse	18
4.2	Bewertung der Meßergebnisse	20
5	Schlußfolgerungen	24
6	Literatur	24

1 Einleitung

Im Zusammenhang mit der weiteren Einführung und Verbesserung des Straßenzustands und Wetterinformationssystemen (SWIS) werden im Straßennetz Glättemeldeanlagen (GMA) installiert. Diese Anlagen dienen der Erfassung des Straßenwetters und des Fahrbahnzustandes in kleineren territorialen Bereichen. Die Verknüpfung der jeweiligen örtlichen Daten mit den Kenntnissen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) über die großräumige Wetterlage soll die Straßenbauverwaltungen in die Lage versetzen, einen optimalen Winterdienst im Straßennetz durchzuführen, um auch bei winterlichen Bedingungen die Sicherheit im Straßenverkehr sowie die Leistungsfähigkeit des Straßennetzes aufrechtzuerhalten. Dies soll umweltfreundlich bei kostengünstigem Einsatz von Personal, Technik sowie Streu und Taumitteln erfolgen.

Die an Glättemeldeanlagen zu stellenden Forderungen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes 92 715 „Praxisgerechte Anforderungen an Glättemeldeanlagen (GMA)“ untersucht. Dabei wurden die Ergebnisse von vier verschiedenen Glättemeldeanlagen, die in einem Fahrbahnabschnitt mit hochgradig gleichen Bedingungen installiert waren, sowohl untereinander als auch mit parallel am Meßfeld durchgeführten Wetterbeobachtungen verglichen. Die festgestellten Differenzen waren teilweise erheblich. Bedingt war dies anscheinend durch die unterschiedlichen Meßverfahren für gleiche Kenngrößen, als auch durch die verschiedenartigen Vorhersagemodelle der einzelnen Hersteller der Glättemeldeanlagen. Wenn bei der Ermittlung der Kenngrößen des Straßenwetters und des Fahrbahnzustandes zwischen den Meßwerten und den wirklich vorhandenen Werten der einzelnen Kenngrößen Abweichungen auftreten, besteht die Gefahr von nicht rechtzeitiger Auslösung des Winterdienstes und damit von Unfallkosten und Verkehrsbehinderungen oder aber durch Fehlalarme von vermeidbaren Betriebskosten. Die Darstellung und Bewertung der Ergebnisse ist dem entsprechenden Schlußbericht [1] zu entnehmen.

Die divergierenden Ergebnisse der einzelnen Anlagen waren Ausgangspunkt für weitere Überlegungen zur Erfassung der Kenngrößen, insbesondere der Kenngrößen Temperatur und Feuchte der Fahrbahn. Auch erscheint es als äußerst wünschenswert, Glättemeldeanlagen an ihrem jeweiligen Einsatzort auf der Grundlage der konkreten Randbedingungen kalibrieren zu können. Dies setzt mög-

lichst genaue Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen der Griffigkeit der Fahrbahn bei Feuchteeinwirkung am oder unterhalb des Gefrierpunktes voraus. Damit entstand die Frage nach der möglichen Existenz von Schwellwerten der Oberflächenfeuchte von Fahrbahnen im Zusammenhang mit der Glättebildung.

2 Allgemeine Begriffsbestimmung

2.1 Glättebildung

Feuchte auf Straßendecken führt zu einer Verminderung des Reibbeiwertes. Der Verlust an Griffigkeit durch unterschiedlich dicke Wasserfilme wurde in einer Reihe von Forschungsvorhaben untersucht. Im Vordergrund standen dabei Probleme des aquaplaning.

Alle diese Untersuchungen beziehen sich auf Glätteerscheinungen durch Feuchte bei Witterungsverhältnissen oberhalb des Gefrierpunktes. Für die Veränderung der Griffigkeit von Straßendecken durch Feuchte bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes konnten entsprechende Untersuchungen nicht ermittelt werden. Aber gerade dieser Temperaturbereich ist für den Einsatz von Glättemeldeanlagen von großer Bedeutung.

Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich deshalb nur auf winterliche Glätte. Bei der winterlichen Glätte sind mehrere Erscheinungsformen zu unterscheiden:

- Glatteis
Auf eine Fahrbahn mit einer Fahrbahntemperatur kleiner oder gleich der Gefrierpunkttemperatur trifft Niederschlag aus der flüssigen Phase des Wassers d.h. Regen, Niesel oder Nebel. Die flüssige Phase wird durch Entzug von Wärmeenergie in die feste Phase, Eis, überführt.
- Reifglätte
Diese Form der Glätte entsteht, wenn mit Wasserdampf ungesättigte Luft abkühlt und der Reifpunkt unterschritten wird. Der Wechsel des Aggregatzustandes erfolgt direkt durch Sublimation von der gasförmigen in die feste Phase.
- Schneeglätte
Schneeglätte bildet sich bei Niederschlag aus der festen Phase auf die Fahrbahn, wenn die Fahrbahn eine Temperatur gleich oder unter der Gefrierpunkttemperatur hat.

Die häufig vorhandene Übergangsphase von der festen in die flüssige Phase oder umgekehrt, d.h. das Vorliegen von Schneematsch, wird ebenfalls als Schneeglätte bezeichnet.

- Eisglätte

Bei dieser Glätteform gefriert eine feuchte/nasse Fahrbahn durch Absinken der Fahrbahntemperatur auf oder unter die Gefrierpunktemperatur.

Welche Formen der winterlichen Glätte auftreten, ist zum einen abhängig von den vorhandenen Temperaturverhältnissen. Diese wiederum werden von den Energieströmen am jeweiligen konkreten Meßort bestimmt, wobei Energie sowohl zugeführt als auch abgeführt werden und damit die Temperatur steigen oder fallen kann. Es kann sich auch ein Gleichgewicht ohne Temperaturveränderung einstellen. Im letzteren Fall ist das vorhandene Energieniveau entscheidend für die Entstehung oder Vermeidung von winterlicher Glätte.

Die zweite Bedingung zur Entstehung von winterlicher Glätte ist das Vorhandensein von Wasser in einem seiner drei Aggregatzustände.

Die Verknüpfung der verschiedensten Bedingungen bezüglich Temperatur und Feuchte können dann zur Bildung von winterlicher Glätte in einer der genannten vier Formen führen.

Eine zusätzliche Beeinflussung dieses Prozesses kann noch durch den Einsatz von Taumitteln erfolgen, durch deren Wirkung die Gefrierpunktemperatur abgesenkt wird.

2.2 Oberflächeneigenschaften der Fahrbahn

In einer Studie zur Optimierung von Fahrbahnoberflächeneigenschaften [2] wird dargestellt, welche Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche primärer Natur sind und welche Eigenschaften sich von diesen ableiten lassen.

Dabei wird die Griffigkeit als Sekundäreigenschaft bezeichnet. Im wesentlichen wird sie von den Primäreigenschaften Rauheit, Ebenheit und auch Profillage bestimmt, wobei die Rauheit eine zentrale Funktion einnimmt. Bei der Rauheit werden Makrorauheit und Mikrorauheit unterschieden. In neueren Untersuchungen [3] wird auch noch eine Megarauheit definiert. Neben anderem wirkt sich die Rauheit, insbesondere die Mikrorauheit, entsprechend auf die Griffigkeit und Eisbildung aus.

Die Mikrorauheit hat mit Rauheitselementen von 0,005 bis 0,5 mm eine grundlegende Bedeutung für die Griffigkeit bei Nässe. Der wesentliche Einfluß geht von Größen um 0,05 mm aus. Diese Feststellungen waren notwendigerweise Ausgangspunkt für die Frage nach der Dicke von Wasserfilmen oder Niederschlagsmengen, die zu Glatteis bzw. Eisglätte führen können.

2.3 Feuchtezustände von Fahrbahnen

Die Definition von Fahrbahnfeuchtezuständen kann z.B. nach optischen Kriterien erfolgen [4]. Sie basiert auf den unterschiedlichen Reflexionsverhältnissen der Fahrbahn bei verschiedenen Feuchtezuständen. Diese Zustände werden auch zur Abgrenzung vom definierten Feuchtezustand „feucht“ als Humiditätszustände bezeichnet.

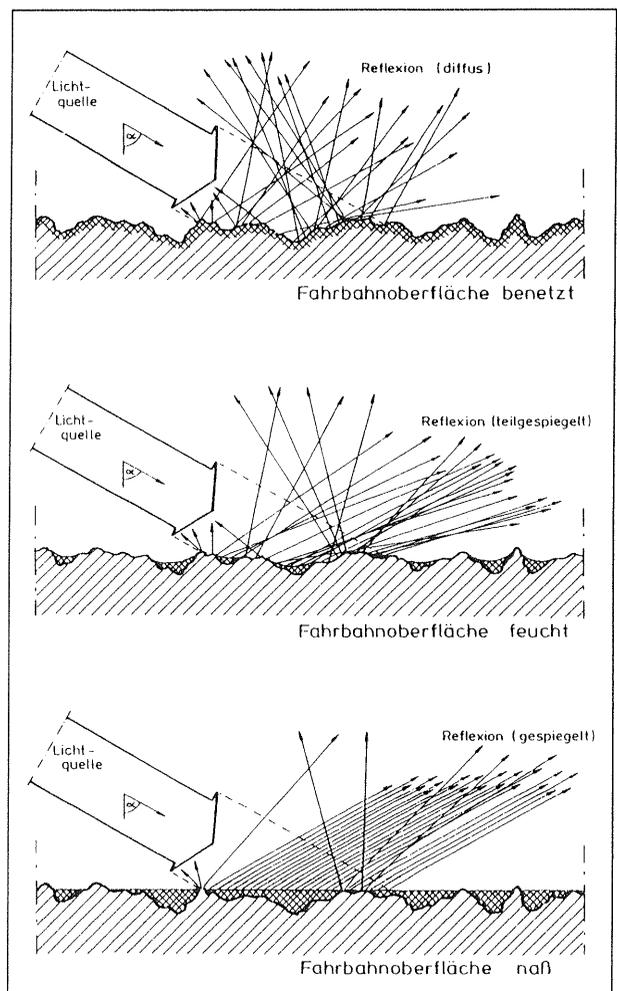


Bild 1: Reflexionsverhältnisse bei unterschiedlichen Humiditätszuständen von Fahrbahnoberflächen (Krebs/ Böllinger [4])

Die Grundzustände

- benetzt
- feucht
- naß

stellen eine relativ grobe Einteilung dar. Nach [4] sind die folgenden Differenzierungen möglich:

- trocken
kein Wasser auf der Oberfläche erkennbar,
- benetzt
Zwischenstadium bei der Annässung durch Niederschlag bis zur Bildung eines zusammenhängenden Wasserfilmes,
- partiell-feucht
Zwischenstadium beim Abtrocknen zwischen feucht und trocken, wenn nebeneinander sowohl trockene als auch feuchte Zonen existieren,
- feucht
Wasser ausschließlich durch Adhäsion und Kapillarwirkung an der Oberfläche gebunden; dabei ist die Oberfläche vollständig mit einem dünnen Wasserfilm überzogen,
- naß-feucht
Wasserspiegel unterhalb der Rauhsitzen, wobei in den Rauhtiefen freies, nicht durch Oberflächenkräfte gebundenes Wasser vorhanden ist,
- naß
Wasserspiegel oberhalb der Rauhsitzen.

Die „optischen“ Zustandsbeschreibungen sind, zumindest teilweise, für den Kraftfahrer gut erkennbar und für das Fahrverhalten umsetzbar. Sie ermöglichen jedoch keine quantitative Abgrenzung der Feuchtezustände.

Der quantitativen Abgrenzung von Feuchtezuständen sind die Wasserfilmdicke und ein Bezugsniveau zu Grunde zu legen. In den Veröffentlichungen zu Fragen des Oberflächenabflusses von Wasserfilmen auf Fahrbahnoberflächen werden als Bezugsgrößen genannt:

- Rauheitsspitzen
- Rauheitsvertiefungen
- Kugelhüllfläche
- ausgelitertes Niveau

Bei der Betrachtung des Kraftschlusses zwischen Reifen und Fahrbahn ist der Wasserfilm oberhalb

der Rauheitsspitzen als Kontaktebene zwischen Reifen und Fahrbahn entscheidend. Dieser Wasserfilm ist auch entscheidend für das Reflexionsverhalten.

Deshalb wurde in [6] als Bezugsebene für die Wasserfilmdickenmessung die Oberkante der Rauheitsspitzen festgelegt. Damit lassen sich offene Wasserfilme (negatives Vorzeichen) und geschlossene Wasserfilme (positives Vorzeichen) unterscheiden.

Sofern Fragestellungen auftreten, bei denen die absolute Menge des Wassers je Flächeneinheit der Fahrbahn interessant ist, wie z.B. für Warnmeldungen von Glättemeldeanlagen, bietet sich zur Definition der Fahrbahnfeuchte die rechnerische Wasserfilmdicke an. Sie ist der Quotient aus aufgebrachtener Wassermenge und benetzter Grundfläche und hat die Einheit mm. Entsprechend Bild 3 ist jedoch zu beachten, daß von gleichen Wassermengen in Abhängigkeit von der Struktur der Fahrbahnoberfläche unterschiedliche Fahrbahnzustände erzeugt werden.

Wie bereits ausgeführt, werden verschiedene Gebrauchseigenschaften der Straße wie Griffigkeit, Reflexionsverhalten und Sprühhahnenbildung in hohem Maße durch die auf der Fahrbahn befindliche Wassermenge beeinflusst. Sie erreichen bei unterschiedlichen Stadien der Befeuchtung ihren kritischen Zustand.

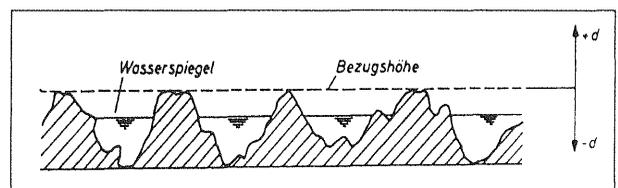


Bild 2: Definition der bezogenen Wasserfilmdicke h_b (Höcker [6])

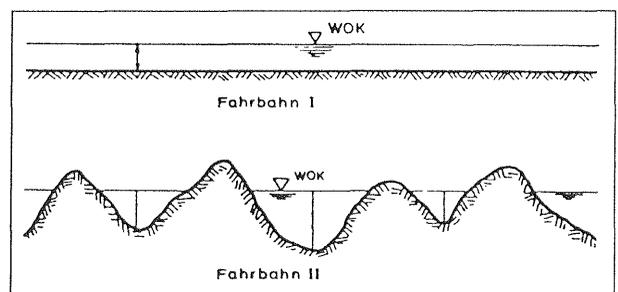


Bild 3: Zwei Fahrbahnen mit unterschiedlicher Makrostruktur bei gleicher rechnerischer Wasserfilmdicke

In Bild 4 sind Feuchtezustände dargestellt und sogenannten Feuchteklassen zugeordnet.

Die Feuchteklassen (Fks) sind gegeneinander wie folgt abgegrenzt

Feuchtekategorie 0: Fahrbahn trocken

Feuchtekategorie 1: Fahrbahn benetzt

Feuchtekategorie 2: Fahrbahn feucht; das Wasser ist durch Adhäsion und Kapillarwirkung an der Oberfläche gebunden; Rauhtiefen füllen sich auf bis zum Beginn des Abflusses

Feuchtekategorie 3: Fahrbahn naßfeucht; der Wasserspiegel befindet sich noch unterhalb der Rauhschneidkanten; ein Abfluß unterhalb der Rauhschneidkanten hat begonnen

Feuchtekategorie 4: Fahrbahn naß; oberhalb der Rauhschneidkanten bildet sich ein geschlossener Wasserfilm aus

Die gegenseitige Abgrenzung der Feuchteklassen kann durch eine Wassermengenbetrachtung erfolgen.

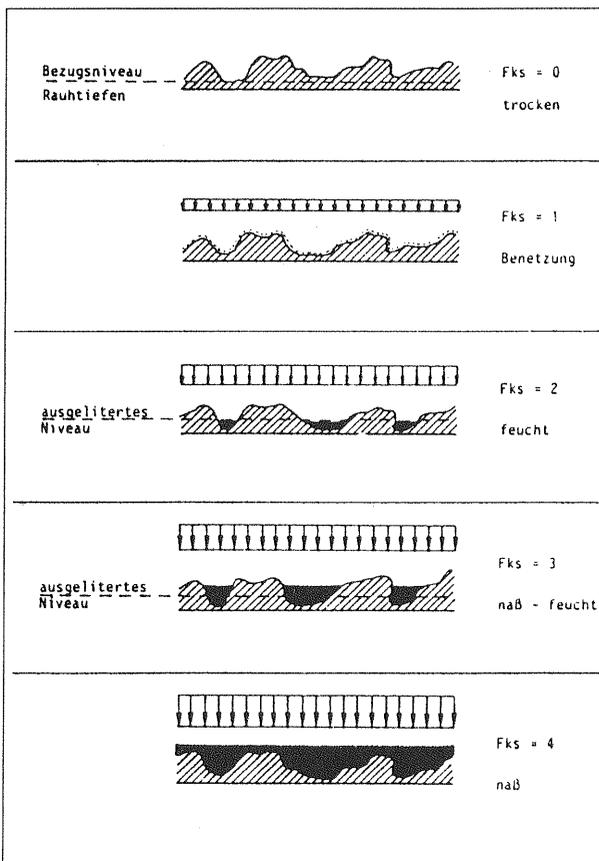


Bild 4: Darstellung von Feuchteklassen (Fks)

Wie aufgezeigt erfolgt die Darstellung der Feuchtezustände von Straßenoberflächen nach unterschiedlichen Gesichtspunkten. Für die Fragestellung „Schwellwerte der Oberflächenfeuchte von Fahrbahnen bei Überfrieren“ wurde der Zustand zu Grunde gelegt, bei dem Wasser ausschließlich durch Adhäsion und Kapillarwirkung an der Oberfläche gebunden ist. Ab diesem Zustand und mit steigender Wassermenge in allen weiteren Feuchteklassen kann in der kalten Jahreszeit winterliche Glätte entstehen.

Entscheidend ist die Frage ab welcher Wassermenge ein Wasser/Eisfilm entsteht, der die Griffigkeit auf einen unzulässigen, gefährlichen Wert senkt.

Entsprechend der Auswertung der Beobachtungen der Fahrbahnzustände am Testfeld für die Glättemeldeanlagen [1] waren sehr geringe Wassermengen ausreichend, um die Fahrbahn bei winterlichen Temperaturen glatt werden zu lassen. Die Wassermengen waren so gering, daß keine sichtbaren Wasseransammlungen in den Rauhtiefen entstanden oder etwa sogar ein Abfluß des Oberflächenwassers auftrat.

Diese Beobachtungen standen in Übereinstimmung mit den Feststellungen in [7] zur berührungslosen Messung von Feuchtezuständen mittels Mikrowellen. Mit diesem Verfahren wurden Wasserfilme von wenigen Hunderstel mm detektiert. Die Messung erfolgt über eine Fläche von einigen Quadratmetern. Dabei wird das Signal an der Fahrbahn reflektiert und durch die unterschiedliche Dicke des Wasserfilmes gedämpft. Das Ergebnis kann mit der Feuchtedefinition der rechnerischen Wasserfilmdicke verglichen werden und ist ein Maß für den vorhandenen Wasserfilm.

2.4 Schwellwerte

Als Schwellwerte der Feuchte für die winterliche Glättebildung wird die rechnerische Wasserfilmdicke definiert, bei deren Überschreiten ein festgelegter Reibbeiwert nicht mehr erreicht wird.

Für die quantitative Festlegung dieses Reibbeiwertes werden die Erkenntnisse zu Griffigkeiten nasser Fahrbahnen zu Grunde gelegt. In diesem Zusammenhang ist auf das Merkblatt der FGSV [8] zu verweisen. Neuere Erkenntnisse und die bevorstehende Neufassung dieses Merkblattes werden in [9] erläutert. Im Entwurf vom August 1995 für die

Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe [10] sind sowohl für die fahrenden Meßgeräte Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) und Sideway force coefficient routine investigation maschine (SCRIM) als auch für die stationären Meßgeräte Portable Skid Resistance Tester (SRT) und Ausflußmesser (AM) Festlegungen enthalten.

Für die stationären Meßgeräte wurden in den Entwurf folgende Werte aufgenommen.

Beurteilungswert	SRT-Wert	Ausflußzeit s
Warnwert	55	60
Schwellwert	50	120

Der Warnwert gilt als Mindestwert für die Abnahme neuer, erneuerter oder instandgesetzter Fahrbahnoberflächen. Beim Erreichen oder Unterschreiten des Schwellwertes sind Sofortmaßnahmen zur Verkehrssicherung, wie Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit bei Nässe, zu treffen.

Aus diesem Schwellwert des Reibbeiwertes, der entscheidend ist für die Verkehrssicherheit, wird der Schwellwert für eine Wasserfilmdicke bei winterlicher Glätte abgeleitet. Bei weiter steigenden rechnerischen Wasserfilmdicken stellt sich für den Reibbeiwert ein Grenzwert ein, der dann auch bei weiterer Erhöhung des Wasser bzw. Eisfilmes nicht mehr unterschritten wird. Also bestand die Aufgabe zu untersuchen, ob es so einen Schwellwert gibt und wo er ggf. liegt. Die Untersuchungen werden im Abschnitt 3 beschrieben.

3 Versuche zur Schwellwertermittlung

Für die Durchführung von Versuchen zur Schwellwertermittlung waren folgende Details zu klären:

- Temperatur
Da es sich nicht um Fragen der Glättebildung durch Feuchte allgemein, sondern um den besonderen Fall der winterlichen Glätte handelt, mußte als Bedingung die Temperaturführung im Bereich $\leq 0^{\circ}\text{C}$ geklärt werden. Damit war es erforderlich, die Versuche in einer Klimakammer durchzuführen.

- Versuchseinrichtung
Zur sicheren Durchführung von Pendelversuchen an Probekörpern mit dem SRT-Pendelgerät wird eine Haltevorrichtung benötigt. Diese war mit bestimmten Vorgaben zu konstruieren und herzustellen.
- Probekörper
Für die Ermittlung von Reibbeiwerten bei winterlicher Glätte wurden Probekörper benötigt. Über die Verwendung von Probekörpern aus vorhandenen Straßendecken und/oder von gesondert hergestellten Probekörpern war zu entscheiden.
- Befeuchtung
Für die Befeuchtung der Proben war ein Verfahren zu entwickeln, welches Aussagen über die Menge des aufgetragenen Wassers und damit letztlich über die vorhandene Wasser/Eisfilmdicke zuläßt.

3.1 Klimakammer

Die Klimakammer zur Durchführung der Versuche zur Ermittlung von Schwellwerten für die winterliche Glätte mußte von ihrer Größe her sowohl Platz zum Durchführen der Pendelversuche zur Reibbeiwertbestimmung mit dem SRT-Pendelgerät, als auch zum Aufstellen und Vorbereiten der Prüfkörper geeignet sein. Für die Durchführung dieser Arbeiten stand die Klimakammer der Außenstelle der BAST in Inzell zur Verfügung. Mit ca. 40 m² Grundfläche bot dieser Raum ausreichend Platz für alle Arbeiten.

Da die Kammer nicht mit einer Befeuchtungsanlage ausgerüstet ist, konnten Versuche nur bei den sich maximal einstellenden relativen Luftfeuchten von 75 - 80 % durchgeführt werden. Zur Ermittlung des möglichen Einflusses der Luftfeuchte sowie der Luftströmungen in der Klimakammer wurden Versuche mit Probekörpern durchgeführt, um die Verdunstung abschätzen zu können. Dazu wurden Probekörper befeuchtet und über einen Zeitraum bis zu 10 Stunden beobachtet. In diesem Zeitraum wurden der Temperaturverlauf und die Luftfeuchte in der Klimakammer sowie die Masseänderung der befeuchteten Probekörper aufgezeichnet. Die Werte für die Temperatur und Luftfeuchte in der Klimakammer sowie die Masseänderung der befeuchteten Prüfkörper sind in den Bildern 5 bis 7 dargestellt.

In Bild 7 ist erkennbar, daß die Masseänderung durch Verdunstung des Flüssigkeits/Eisfilmes zumindest in den ersten 2 bis 3 Stunden relativ konstant ist. Erst bei Annäherung an den Zustand „trocken“ verringert sich die Verdunstungsgeschwindigkeit von Eisresten in den Rauhtiefen. Aus Bild 7 ist die Differenz der Masse des benetzten Prüfkörpers zwischen den Zeitpunkten der Befeuchtung und der Reibbeiwertmessung zu ermitteln. Sie kann damit für die Bestimmung der rechnerischen Wasserfilmdicke als ein systematischer Fehleranteil berücksichtigt werden.

Entsprechend Bild 7 nimmt die Verdunstungsgeschwindigkeit bei aufgebrauchten Wassermengen unterhalb 0,5 g ab. Um daraus folgende Fehler auszuschließen, waren für die Reibbeiwertermittlung Wassermengen oberhalb dieses „Grenz“-wertes aufzubringen.

Im Rahmen dieser Versuche konnte auch gut der Zustand der Oberfläche „Partiellfeucht“ nach der Definition in Abschnitt 2.3 beobachtet werden. Die Abtrocknung bzw. Verdunstung beginnt sichtbar vom Rand und den höchsten Rauhsitzen.

Sie setzt sich dann bis in die Rauhtiefen fort, bis auch dort kein Resteis mehr erkennbar ist. Dieser Zustand ist jedoch für die Schwellwertbestimmung nicht mehr relevant.

Die Temperatur in der Klimakammer schwankte teilweise bei Beginn der Arbeiten kurzzeitig um 0,3 °C, danach jedoch nur noch um 0,1 °C um den Sollwert von $\approx -3,1$ °C. Auswirkungen dieser Schwankungen auf die Eisfilme der Proben konnten jedoch nicht festgestellt werden. Insoweit waren diese Schwankungen vernachlässigbar.

Die relative Luftfeuchte erreichte maximale Werte von 80 - 81 %. Mit Beginn der Arbeiten in der Klimakammer sank sie auf 75 - 78 %. Ein kurzzeitiges Absinken der relativen Luftfeuchte um ca. 10 % trat immer nach etwa 3,5 h Versuchszeit auf. Die Ursachen für dieses Absinken konnten nicht ermittelt werden. Eine Veränderung der Verdunstungsgeschwindigkeit auf den Probekörpern und damit auch Auswirkungen auf die Eisfilmdicke konnten nicht festgestellt werden. Deshalb wurden diese Schwankungen in den weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt.

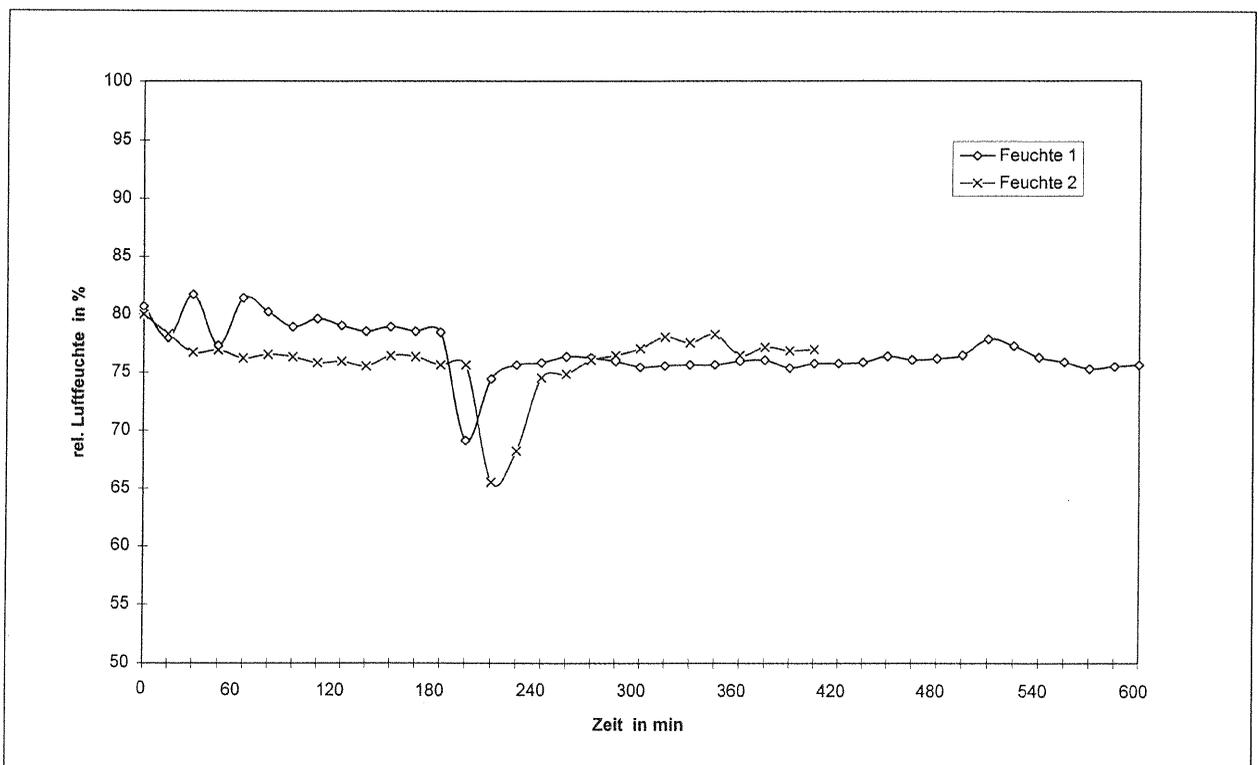


Bild 5: Zeitliche Veränderung der relativen Luftfeuchte

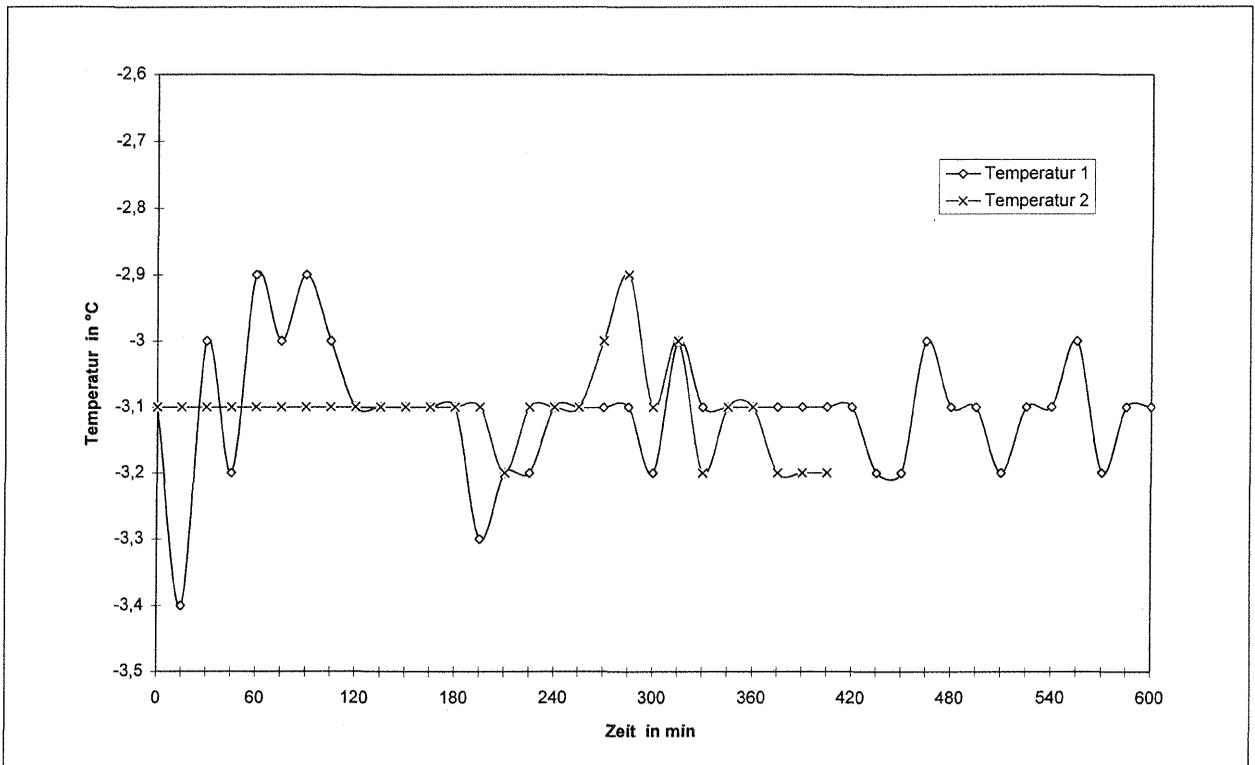


Bild 6: Zeitliche Veränderung der Temperaturen

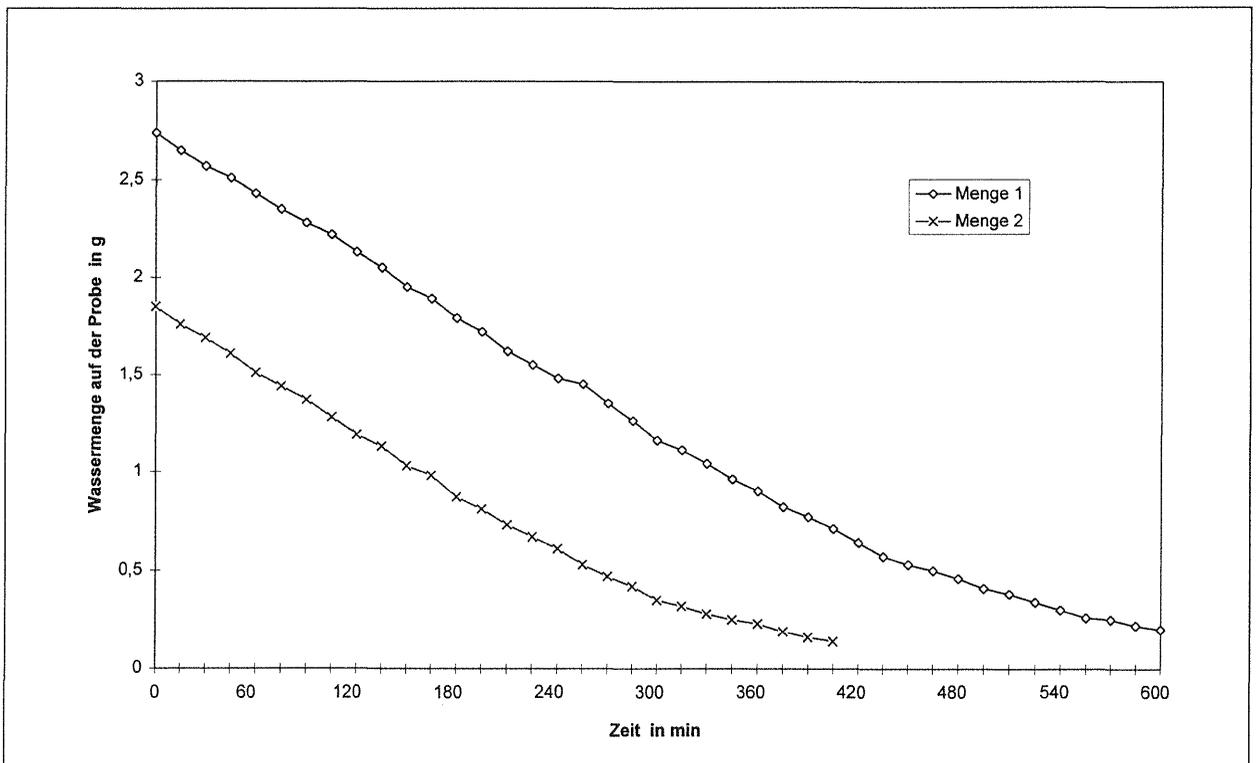


Bild 7: Veränderung der aufgebrauchten Wassermenge durch Verdunstung

3.2 SRT-Pendelgerät, Pendeltisch

Für das Ermitteln von Reibbeiwerten an Probekörpern wird eine Vorrichtung (Pendeltisch) benötigt. Sie muß das parallele Einstellen der zu messenden Oberfläche der Prüfkörper mit der Aufstellenebene des SRT-Pendelgerätes ermöglichen. Dies ist grundlegende Voraussetzung für Arbeiten mit dem Pendelgerät.

Der „Pendeltisch“ mußte weiterhin folgenden Bedingungen genügen:

- Festlegung einer solchen Arbeitshöhe, die sowohl ein leichtes Einstellen der Reiblänge auch unter der besonderen Bedingungen in der Klimakammer gewährleistet, als auch zum einfachen Ablesen der Anzeige des Schleppzeigers geeignet ist,
- leichtgängige Einspannung der Prüfkörper, die gleichartig eine möglichst genau Voreinstellung der Reiblänge ermöglicht,
- Einspannbereich wählbar für unterschiedliche Prüfkörper innerhalb eines vorgegebenen geometrischen Maßbereiches,

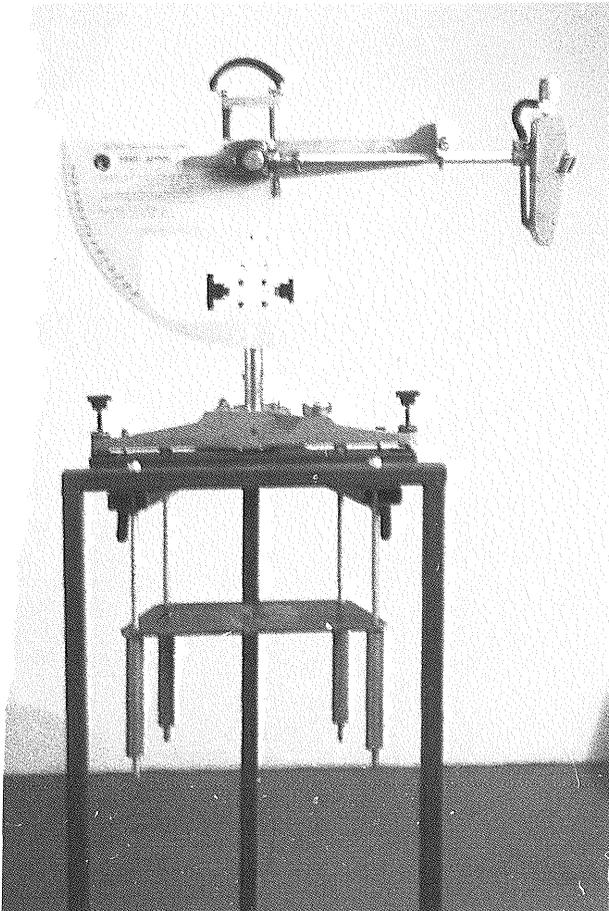


Bild 8: SRT-Pendelgerät auf Pendeltisch

- hohe Standfestigkeit und Kippsicherheit zur Vermeidung von Unfällen, insbesondere bei fehlerhaften Pendelversuchen,
- geringe Masse, um für eventuelle Pendelversuche an Proben außerhalb der Klimakammer einen leichten Transport zu ermöglichen.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Forderungen wurde eine Vorrichtung entworfen und gebaut, siehe Bild 8. Dieser Pendeltisch ist mit wenigen Handgriffen zerlegbar und kann bequem auf der Ladefläche eines Pkw-Kombi transportiert werden.

3.3 Probestücke

Für die Ermittlung von Reibbeiwerten bei winterlicher Glätte waren Probestücke erforderlich, da die Versuche nur im Laborverfahren erfolgen konnten. Zur Herstellung der Probestücke gab es zwei Möglichkeiten. Zum einen konnten Probestücke gesondert hergestellt werden, ggf. mit definierten Oberflächenstrukturen. Zum anderen konnten Probestücke aus Straßendecken gewonnen werden. Wegen der direkten Verknüpfung mit dem Forschungsprojekt „Glättemeldeanlagen“ [1] wurden Probekörper aus vorhandenen Straßendecken gewählt. Dies auch, weil im Vordergrund der Untersuchungen die Frage nach einem Verfahren der Schwellwertermittlung zu beantworten war. Insofern wurden Probekörper mit bekannten Oberflächenrauheiten auch nicht benötigt.

Für die Versuche zur Schwellwertbestimmung wurden Probestücke von drei verschiedenen Straßendeckenarten verwendet:

- Probestücke aus dem Testfeld für Glättemeldeanlagen.
Das Testfeld befand sich in einer Betonfahrbahn mit Besenstrich quer zur Fahrbahn. Hier wurden vor Ort folgende Reibbeiwerte mit Temperaturkorrektur auf 20° C ermittelt:
 - in der Rollspur des 1. Fahrstreifens
längs $\mu = 70,0$ SRT-Einheiten
 - zwischen den Rollspuren des 1. Fahrstreifens
längs $\mu = 80,4$ SRT-Einheiten

Die Probestücke, siehe Bild 9, wurden der Rollspur entnommen, in der auch die Sensoren für die Glättemeldeanlagen eingebaut waren.

- Probestücke aus einer ca. 50 Jahre liegenden Betondecke.

Diese Probestücke wurden im Bereich des Autobahnkreuzes Schönefeld entnommen. Die Oberflächenstruktur ist gegenüber den Proben aus dem Testfeld wesentlich anders. Polierte Bestandteile der Zuschlagsstoffe bestimmen die Oberfläche dieser Proben, siehe Bild 10.

- Probestücke aus Asphaltaufbruchmaterial

Die Probestücke aus den Betonfahrbahnen wurden aus Bohrkernen gewonnen. Die Bohrkern hatten einen Durchmesser von 160 mm. Beim Ziehen der Bohrkern war besonders auf eine randscharfe Oberfläche zu achten, d.h. Aus- und Abplatzungen waren unbedingt zu vermeiden. Dies gelang nicht in jedem Fall, so daß einige der insgesamt 15 Bohrkern nicht verwendet werden konnten.

Aus dem Asphaltaufbruchmaterial wurden 5 Probestücke mit den Maßen $(148 \times 148) \text{ mm}^2$ gewonnen, siehe Bild 11.

Die Probestücke aus jeweils einer Deckart können als hochgradig gleich betrachtet werden, so daß eine Unterscheidung innerhalb der drei Probenarten nicht erforderlich war.

Die Bohrkern bzw. Asphaltstücke wurden so in Scheiben geschnitten, daß Proben mit einer Masse von etwa 1,5 kg vorlagen, die gut zu handhaben waren und eine genaue Wägung ermöglichten. Für eine exakte Einspannung der Proben im Pendeltisch war auf die Parallelität der zu prüfenden Oberfläche mit der Schnittfläche zu achten. Besonders mußte beim Herstellen der Probekörper auch auf eine möglichst randscharfe Ausbildung der Schnittkante geachtet werden. Ab- und Ausplatzungen waren zu vermeiden, um bei der späteren Ermittlung der rechnerischen Wasserfilmdicke Fehler weitgehend auszuschließen bzw. gering zu halten. Die Probestücke aus Beton hatten bei der Bohrkernentnahme eine Kennzeichnung erhalten, um bei der späteren Reibbeiwertermittlung die Pendelungen entsprechend der Vorschrift in Fahrtrichtung durchführen zu können.

Die Bilder 9 bis 11 lassen deutlich die Struktur der Oberflächen erkennen.

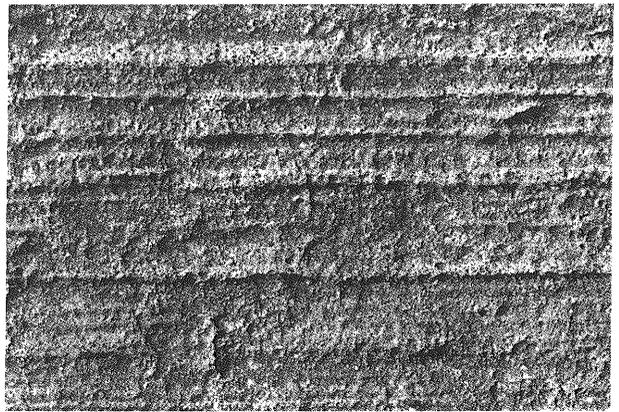


Bild 9: Probe aus dem GMA-Testfeld

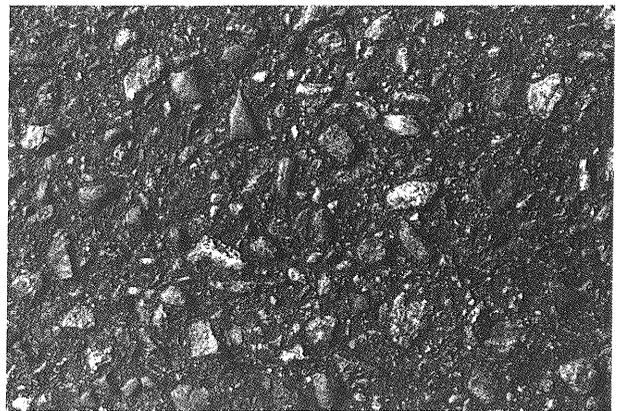


Bild 10: Probe aus dem Bereich Autobahnkreuz Schönefeld

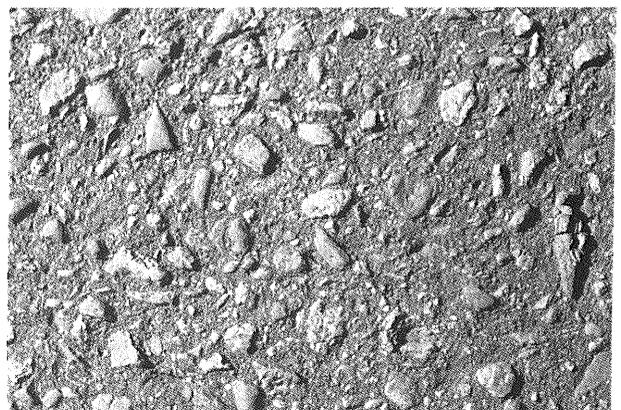


Bild 11: Probe aus Asphaltaufbruchmaterial

3.4 Versuchsdurchführung

3.4.1 Klimatisierung und Befeuchtung der Proben

Die Proben wurden in der Klimakammer bis zur Temperaturkonstanz gelagert. Dann wurde die Masse der Proben mit einer elektronischen Einschalenwaage mit einem zulässigen Maximalgewicht von 2 kg ermittelt. Die Wägung erfolgte mit einer Genauigkeit von einem Hundertstel Gramm. Die Oberfläche der Proben wurden mit Wasser von 0°C benetzt. Es war darauf zu achten, daß kein Wasser am Rand der Proben abließ bzw. zu Eis wurde. Die Benetzung der Proben stellte ein besonderes Problem dar. Wichtig war das Aufbringen definierter Wassermengen auf die Oberfläche, um Aussagen zum Feuchtezustand der Probenoberflächen treffen zu können. Das Aufbringen von dosierten Wassermengen auf die zu untersuchende Oberfläche der Probestücke bei gleichmäßiger Verteilung über die Fläche gelang z.B. durch Sprühen nicht. Verluste traten an den Rändern auf, weil Teile der Flüssigkeit nicht auf die Oberfläche sondern auf die Seitenflächen der Prüfkörper traf oder diesen überhaupt nicht erreichte. Nach umfangreichen Versuchen die Genauigkeit entscheidend zu verbessern wurde eine andere Variante der Benetzung erprobt und letztlich auch angewendet. Die Oberfläche der Probestücke wurde mittels eines feuchten Schwammes mit einer nicht vorher definierten Wassermenge benetzt. Der Durchmesser des Schwammes war etwas kleiner als der der Probestücke, so daß kein Wasser über den Rand von der Oberfläche „ablaufen“ konnte. Nach entsprechenden Versuchen gelang es, eine gleichmäßige Benetzung der Oberfläche zu erreichen. Die aufgebrachte Wassermenge konnte durch erneute Wägung der befeuchteten Probe ermittelt werden. Die Massedifferenz der trockenen und feuchten Probe entsprach der aufgebrachten Wassermenge. Sie wurde der Berechnung der rechnerischen Wasserfilmdicke zu Grunde gelegt.

Nach der jeweiligen Ermittlung des Reibbeiwertes der einzelnen Probe wurde diese getrocknet und dann in der Klimakammer erneut bis zur Temperaturkonstanz gelagert, um für weitere Messungen verwendet werden zu können. Die benetzten Proben wurden so aufgestellt, daß die mit der Klimatisierung des Raumes verbundene Luftbewegung einen geringen Einfluß auf sie hatte und so die Verdunstung des Eisfilmes auf der Oberfläche der

Probe auf Werte entsprechend Abschnitt 3.1 begrenzt war.

3.4.2 Reibbeiwertermittlung mit dem SRT-Pendelgerät

Die Ermittlung des Reibbeiwertes erfolgte entsprechend der Arbeitsanweisung der FGSV [9]. Die Reiblänge des Gleitkörpers auf der Prüboberfläche bestimmt wesentlich das Meßergebnis. Deshalb war bei der Einstellung der Reiblänge besondere Sorgfalt erforderlich. Erschwerend wirkte sich dabei die Arbeitstemperatur unter 0°C aus. Daher waren die Arbeiten mit hohem Zeitaufwand verbunden.

Die Aufstellung des Pendeltisches mit dem SRT-Pendelgerät wurde so vorgenommen, daß der Standort möglichst dicht an der Meßstelle für die Klimaanlage der Kammer lag und auch während des Pendelns der Abtrag an der Eisschicht durch Verdunstung gering gehalten wurden. Die Pendelungen der einzelnen Proben wurden zwischen 30 min und 60 min nach Benetzung der Oberfläche der Proben durchgeführt. Jeweils vor der Messung der einzelnen Proben wurde die Justierung der Nullanzeige des Schleppzeigers überprüft. Eine Nachjustierung war teilweise erforderlich.

Für die Reibbeiwertermittlung bei Temperaturen, die von der Bezugstemperatur abweichen, sind in [9] Korrekturbeträge angegeben.

Den Zusammenhang zwischen der Fahrbahntemperatur und dem zugehörigen Korrekturbetrag zeigt Bild 12. Für den vorliegenden Meßbereich unter 0°C sind keine Werte angegeben. Der Korrekturbetrag wurde deshalb aus der dargestellten Kurve abgeleitet und mit -8,2 ermittelt, siehe Bild 13.

Ein Zyklus, d.h. Benetzung einer Probe, Ausbildung des Eisfilmes, Messung des Reibbeiwertes, Trocknung und erneute Klimatisierung, ist mit ca. 6 bis 7 Stunden anzusetzen. Trotz teilweiser Überlagerung einzelner Arbeitsgänge ist unter Berücksichtigung der möglichen ununterbrochenen Arbeitszeiten in der Klimakammer die Anzahl der Versuche pro Tag beschränkt.

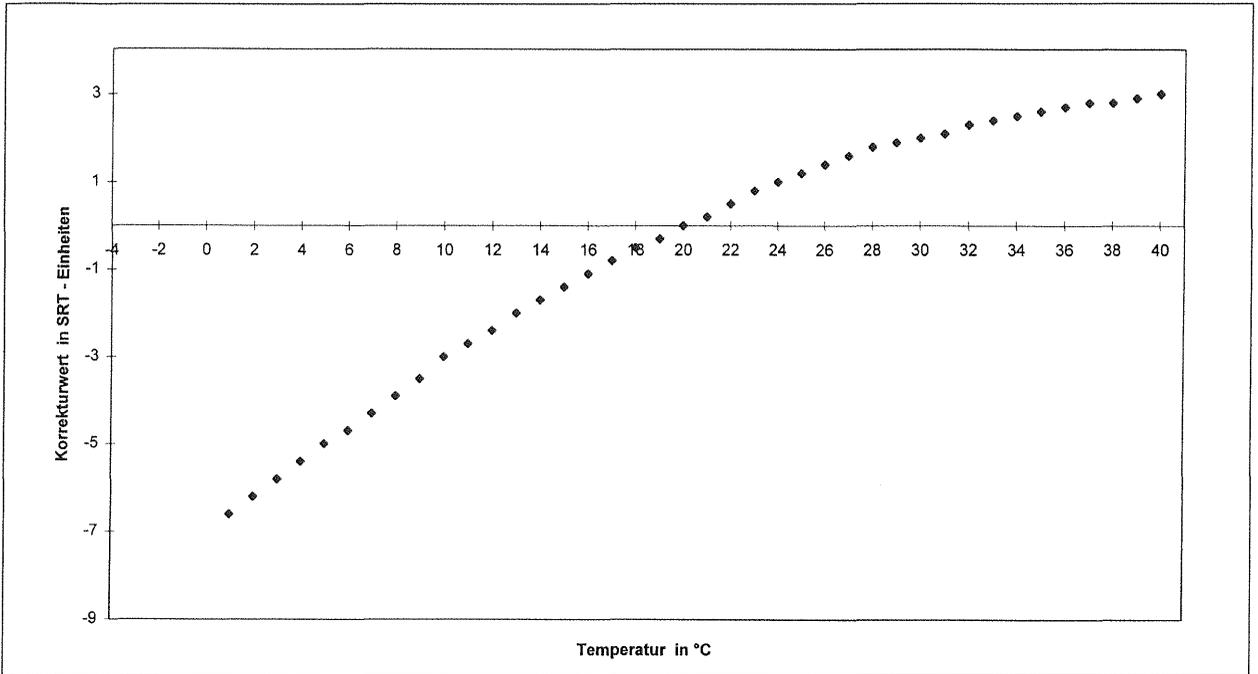


Bild 12: Temperaturkorrektur für die Meßergebnisse des SRT-Pendelgerätes

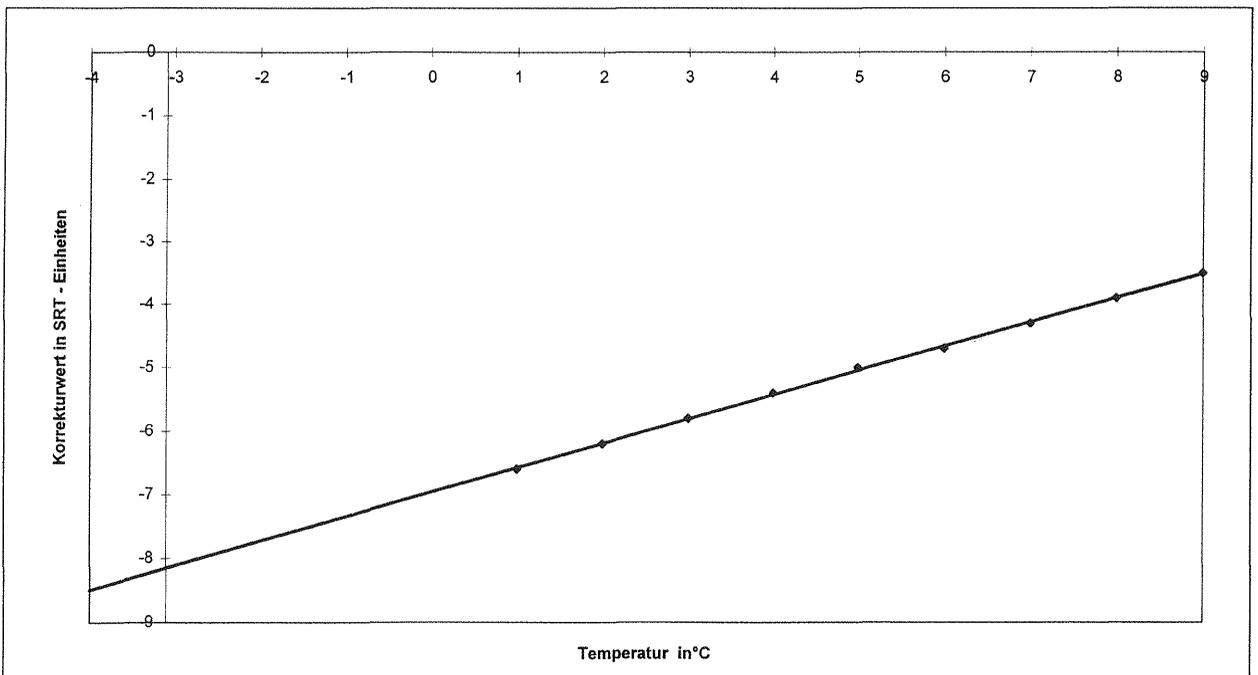


Bild 13: Temperaturkorrektur für die Meßergebnisse des SRT-Pendelgerätes bei Versuchstemperaturen

4 Auswertung der Messungen

4.1 Meßergebnisse

Für die 3 verschiedenen Probearten wurden folgende Bezeichnungen festgelegt:

- Betonproben neu - Betonproben aus dem Bereich des Testfeldes für Glättemeldeanlagen auf der BAB 10
- Betonproben alt - Betonproben aus dem Bereich des Kreuzes Schönefeld der BAB 10
- Asphaltproben - Proben aus Asphaltaufbruchmaterial

Je Probeart stand eine unterschiedliche Anzahl von Proben zur Verfügung. Damit ergeben sich auch für die Probenarten unterschiedliche Mengen an Meßwerten. Mit einer Anzahl von 42 liegen die meisten Meßwerte für die Betonproben neu vor. Sie weisen aber auch die größten Differenzen bei etwa gleichen rechnerischen Wasserfilmdicken auf. Bei den Betonproben alt liegen 25 und bei den Asphaltproben 23 Meßwerte vor.

Die Meßergebnisse sind in den Bildern 14 bis 16 dargestellt.

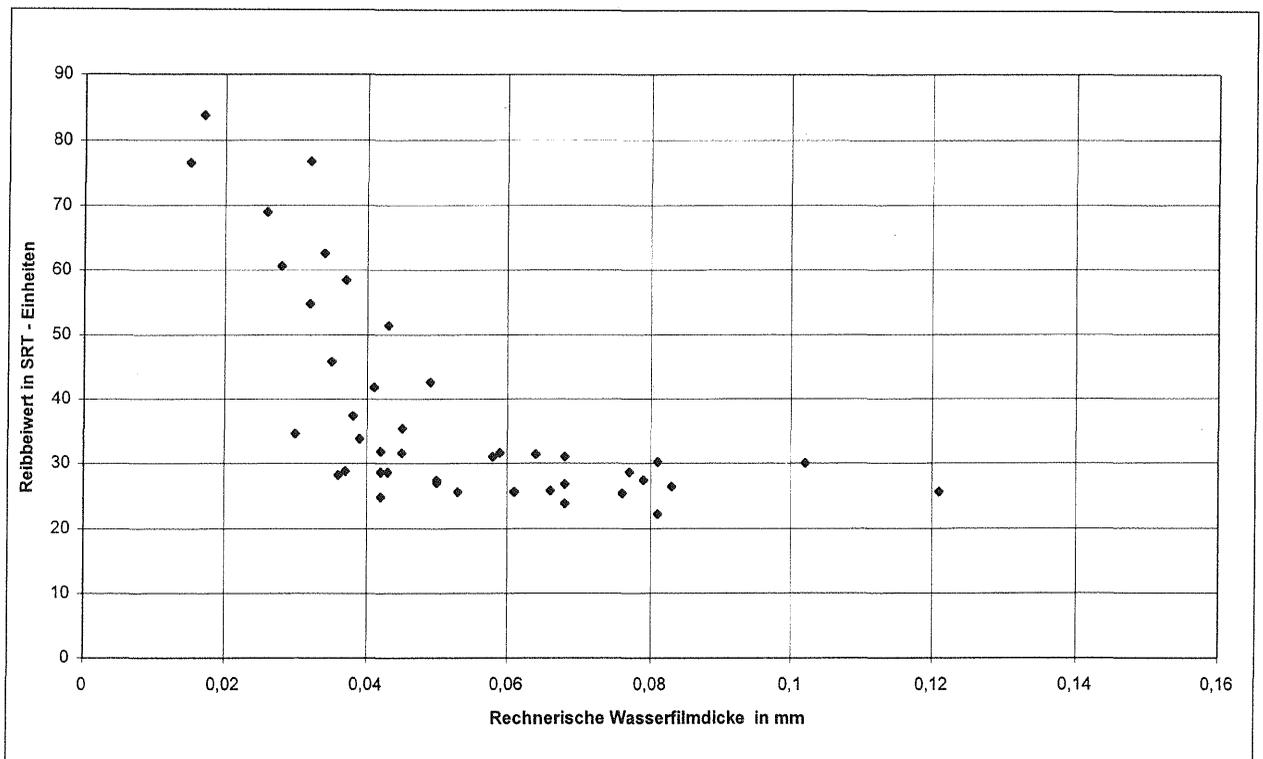


Bild 14: SRT-Werte für Betonproben neu

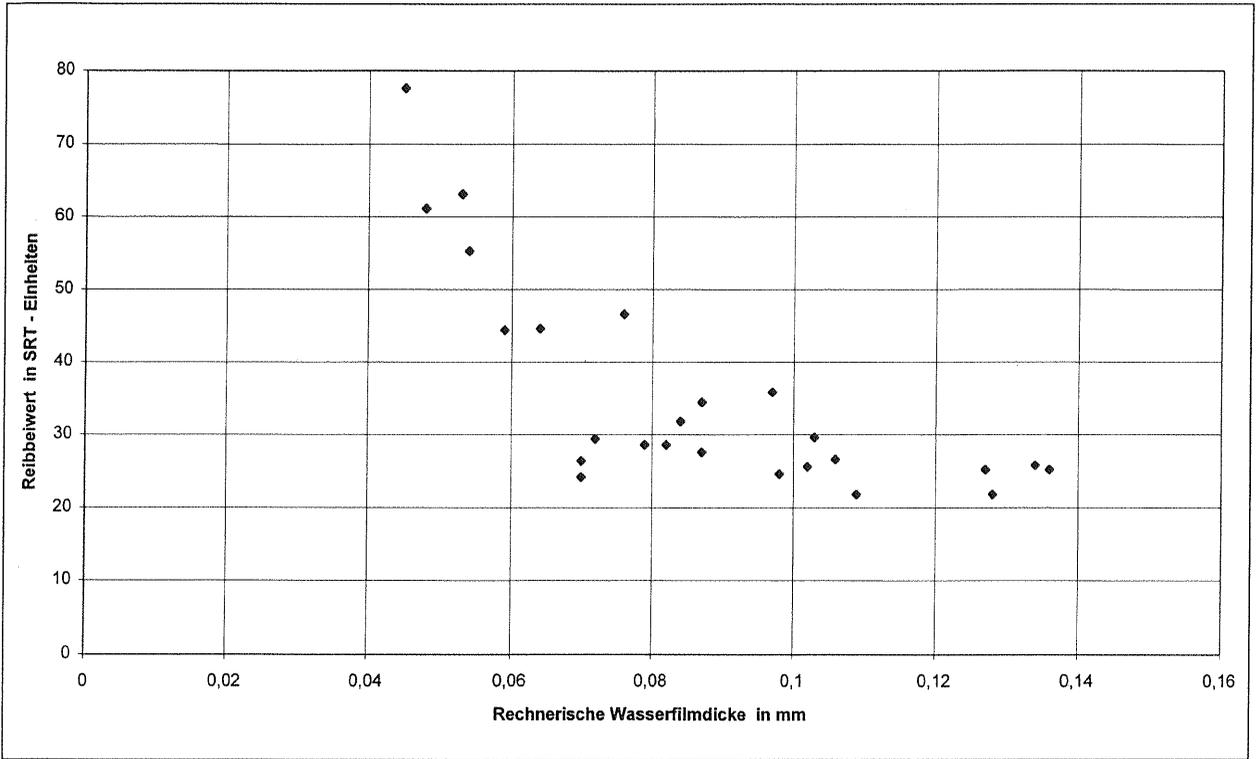


Bild 15: SRT-Werte für Betonproben alt

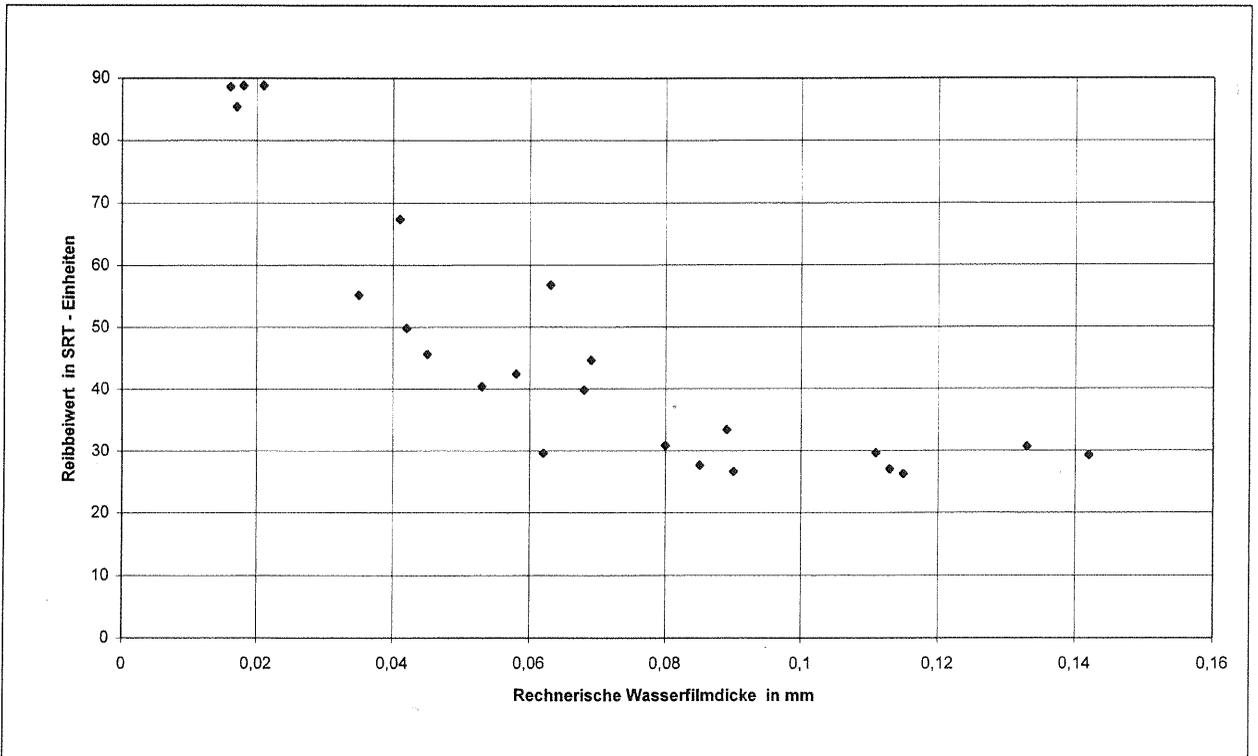


Bild 16: SRT-Werte für Asphaltproben

4.2 Bewertung der Meßergebnisse

Die Abhängigkeit der Reibbeiwerte von der rechnerischen Wasserfilmdicke ist für alle 3 Probenarten gleichartig. Mit steigender Wasserfilmdicke nimmt der Reibbeiwert relativ schnell ab. Im Bereich zwischen 20 und 30 SRT-Einheiten stellt sich dann ein konstanter Endwert ein. Eine weitere Erhöhung der Wasserfilmdicke beeinflusst diesen Wert nicht mehr.

Unterschiede sind hinsichtlich der Wasserfilmdicken erkennbar, bei denen der Abfall des Reibbeiwertes auftritt. Dies wird deutlich beim Vergleich der Proben Beton neu und Beton alt. Während bei „Beton neu“ der Reibbeiwert bereits im Bereich von etwa 0,03 mm bis 0,05 mm in den Gefährdungsbereich abfällt, erfolgt dies bei „Beton alt“ erst im Bereich von etwa 0,05 mm bis 0,07 mm.

Eine Erklärung dafür ist in der Oberflächenstruktur zu suchen. Nach Bild 10 ist die Oberfläche der Betonproben alt „poröser“, d.h. es sind zahlreiche kleine Löcher enthalten, in die das aufgebrachte Wasser eindringen kann und damit für die Bildung der Eisschicht nicht zur Verfügung steht. Bei der wesentlich dichteren Struktur der Betonproben neu tritt dies nicht auf. Die aufgebrachte Wassermenge führt bereits bei geringerer rechnerischer Wasserfilmdicke zur Überdeckung der Mikrostruktur und damit zum raschen Abfall des Reibbeiwertes.

Für den Vergleich der drei Probenarten wurde mit der nicht linearen Regression für die Meßwerte die günstigste Funktion ermittelt.

Der Verlauf erfolgt prinzipiell nach einer Funktion der Form $y = a + b \cdot e^{cX}$

Für die Konstanten a, b und c gelten abweichende Parameter.

Den ermittelten Verlauf der unterlegten Funktionen für die drei Probenarten zeigen die Bilder 17 bis 19.

Die zugehörigen Werte der Konstanten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Parameter	Probenart Beton neu	Probenart Beton alt	Probenart Asphalt
a	23,7664	25,4557	25,7629
b	142,8404	966,2566	109,9601
c	-54,6533	-65,4657	-32,4247

Die Güte der Anpassung der gewählten Funktion an die realen Meßwerte wird durch den Korrelationskoeffizienten ausgedrückt. Die berechneten Korrelationskoeffizienten zeigt die folgende Tabelle. Sie enthält außerdem die Standardabweichung der Meßwerte.

Kenngroße	Probenart Beton neu SRT-E	Probenart Beton alt SRT-E	Probenart Asphalt SRT-E
Korrelationskoeffizient	0,8346	0,9286	0,9574
Standardabweichung	9,0171	5,5138	6,3599

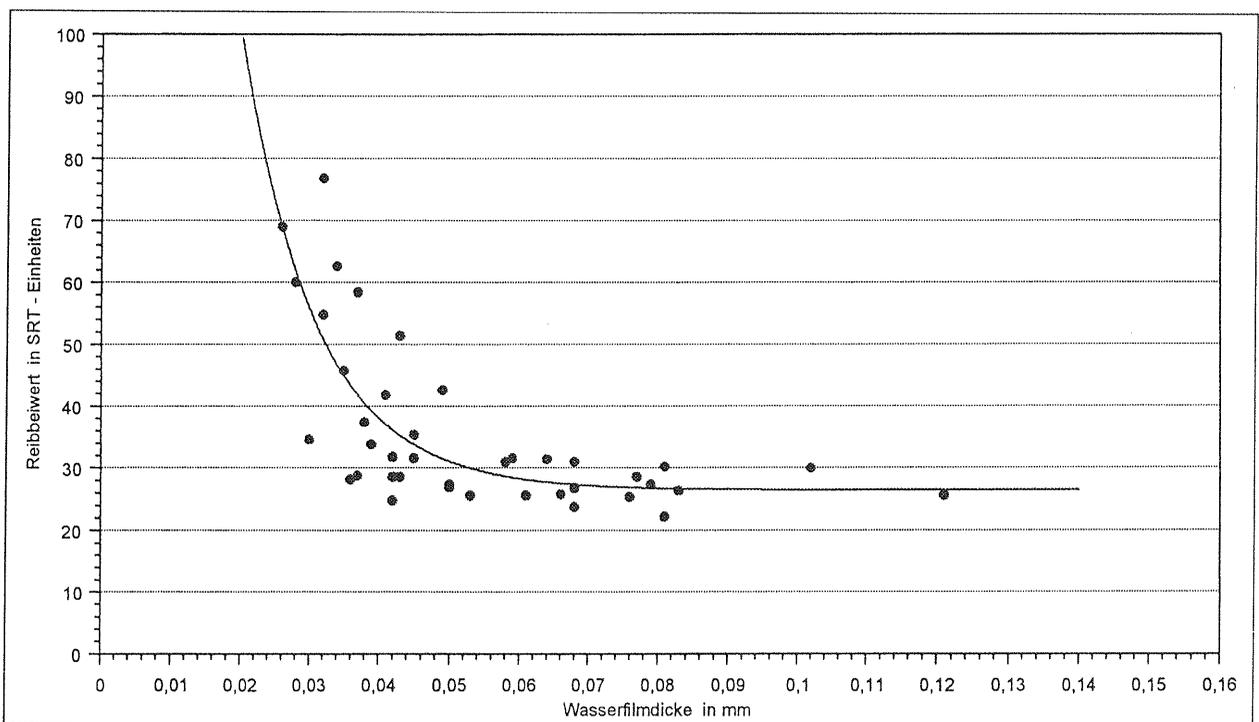


Bild 17: Verlauf der Funktion für Betonproben neu

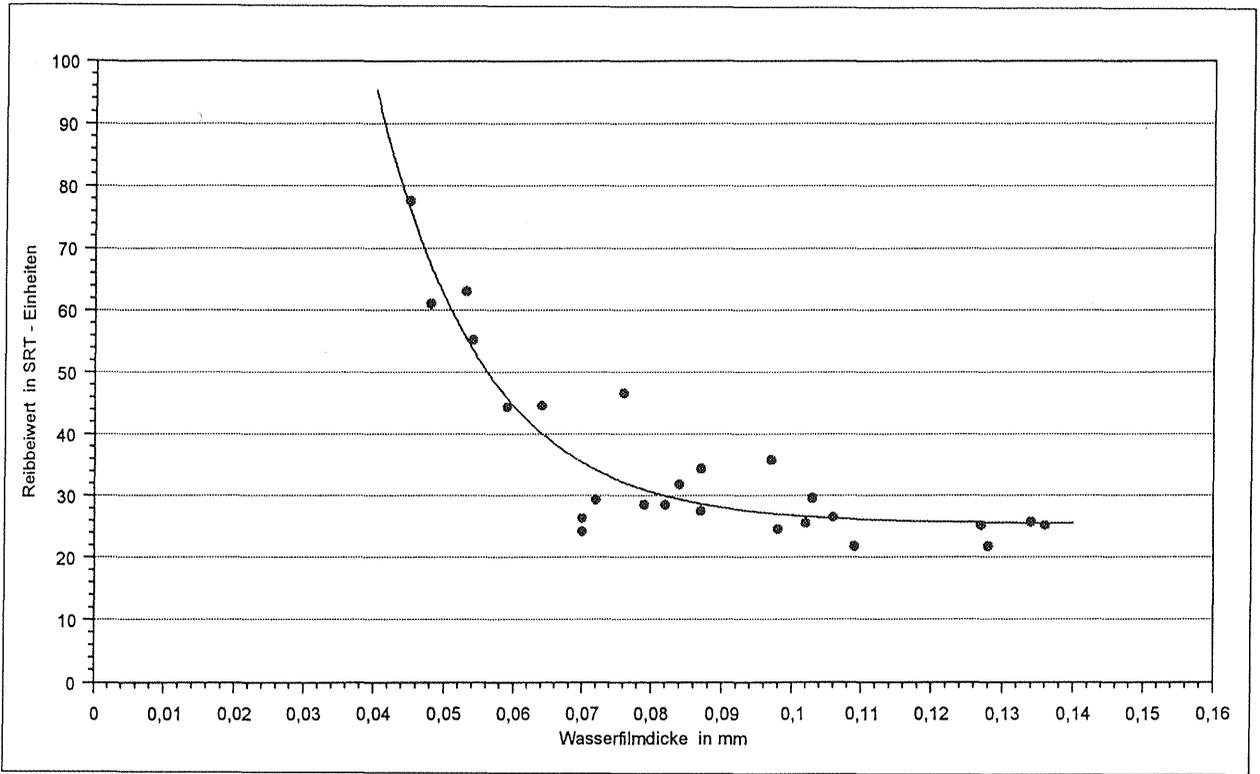


Bild 18: Verlauf der Funktion für Betonproben alt

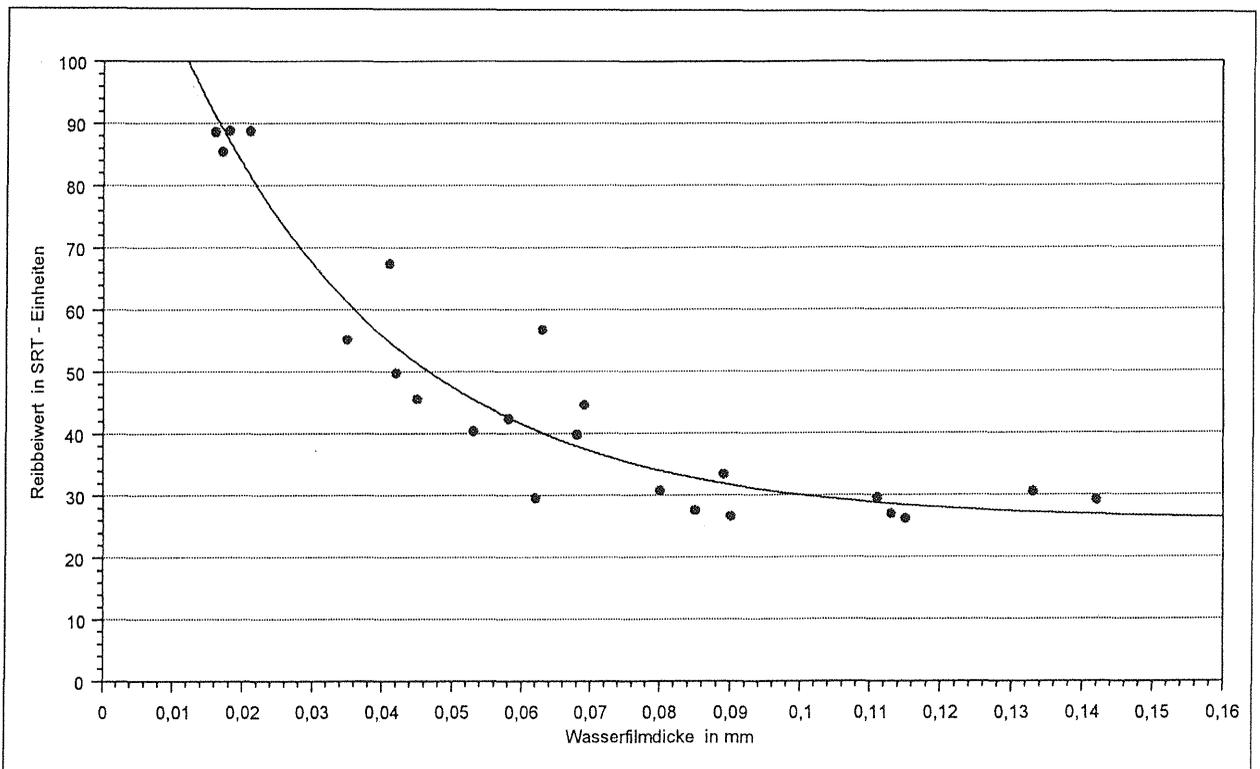


Bild 19: Verlauf der Funktion für Asphaltproben

Die Korrelation zwischen der ermittelten Funktion und den Meßwerten kann, zumindest für die Probenarten Beton alt und Asphalt, als gut bezeichnet werden. Bei der Probenart Beton neu ist der Wert weniger gut. Hier ist auch die Standardabweichung am größten.

Ursachen für stärkere Differenzen der Reibbeiwerte bei etwa gleichen rechnerischen Wasserfilmdicken sind vor allem in der Qualität des Wasserantrages und der gleichmäßigen Verteilung über die gesamte Oberfläche zu suchen. Gerade bei der Struktur der Betonproben neu, d.h. dem Besenstrich, ist eine sichere Benetzung aller Erhebungen der gesamten Fläche mit gleicher Schichtdicke schwer zu erreichen. Teilweise sind Ansammlungen von Flüssigkeit in den Rillen nicht zu verhindern. Diese Unstetigkeiten sind mit großer Wahrscheinlichkeit die Hauptursache für die festgestellten Differenzen. Als weitere Fehlerquellen kommen Erhebungen in der Makrorauheit in Betracht, die sich durch unterschiedlichen Anstellwinkel beim Pendeln verschieden auswirken können. Ursachen für die Differenzen können auch in Veränderungen der Verdunstungsgeschwindigkeiten, siehe Bild 7, und/oder in verschiedenen langen Zeiten zwischen Benetzung und Reibbeiwertermittlung liegen, obwohl letzteres weitgehend ausgeschlossen wurde.

Anliegen der vorliegenden Untersuchung war es, Möglichkeiten der Ermittlung von Schwellwerten der Oberflächenfeuchte bei der Glättebildung aufzuzeigen. Ziel war es nicht, konkrete Werte für einzelne Deckschichtarten zu ermitteln. Deshalb wurden in die Auswertung alle Versuchsergebnisse einbezogen und Ausreißer nicht betrachtet.

Der Verlauf der Abhängigkeit des Reibbeiwertes bei den Probenarten kann als gesichert angesehen werden.

Zur weiteren Bewertung der Meßergebnisse wurden die durch Regression berechneten Funktionen miteinander verglichen. Mit den ermittelten Parametern erhält die Funktion $y = a + b \cdot e^{cx}$ folgende Formen

$$\begin{aligned} \text{Beton neu} & \quad y = 23,7664 + 142,8404 \cdot e^{-54,6533 \cdot x} \\ \text{Beton alt} & \quad y = 25,4557 + 966,2566 \cdot e^{-65,4657 \cdot x} \\ \text{Asphalt} & \quad y = 25,7629 + 109,9601 \cdot e^{-32,4247 \cdot x} \end{aligned}$$

Durch Einsetzen von Wasserfilmdicken entsprechend der in den Versuchen verwendeten Wassermengen erhält man die jeweiligen Kurven, siehe Bild 20. Das unterschiedliche Verhalten der Betonproben gegenüber dem Asphalt ist deutlich erkennbar. Auf mögliche Ursachen für die Unterschiede zwischen Beton neu und alt wurde bereits eingegangen.

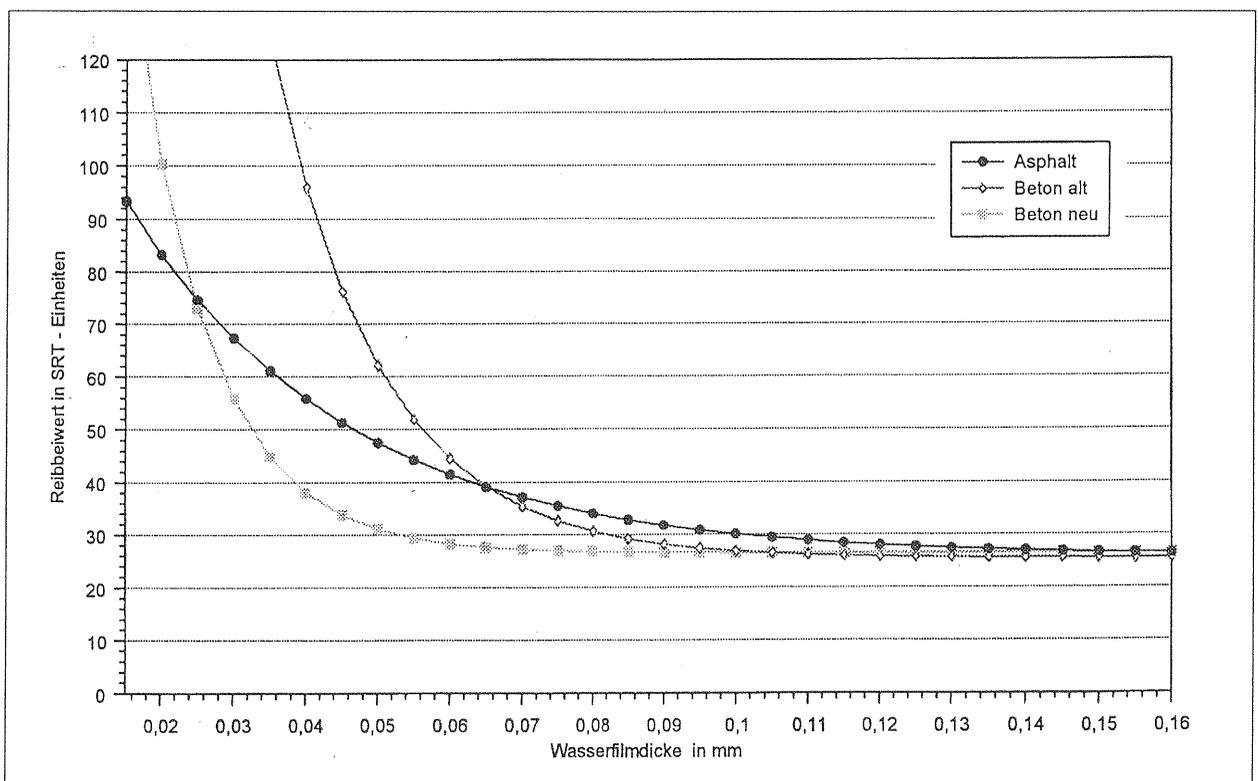


Bild 20: Berechnete Abhängigkeit des Reibbeiwertes von der Wasserfilmdicke

Entsprechend Abschnitt 2.4 wurde als Schwellwert der Oberflächenfeuchte der Wert festgelegt, bei dem der Reibwert von 50 SRT-Einheiten unterschritten wird. Für die untersuchten Proben werden die 50 SRT-Einheiten bei folgenden rechnerischen Wasserfilmdicken erreicht bzw. unterschritten:

Beton neu	0,0323 mm
Beton alt	0,056 mm
Asphalt	0,047 mm

In der Näherung liegen die Schwellwerte also zwischen 3 und 6 Hundertstel Millimetern.

Diese sehr geringen Wasserfilmdicken führen bei Gefrierpunktttemperaturen zum Verlust der für die Verkehrssicherheit notwendigen Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche.

Die genannten Schwellwerte sind reine Laborwerte. Die Übertragbarkeit in die Praxis ist nur bedingt möglich. Die Vielzahl der auf der Straße wirkenden zusätzlichen Einflüsse bewirken ggf. Verschiebungen der Schwellwerte. Die ermittelten Schwellwerte vermitteln jedoch einen Eindruck davon, mit welchen geringen Wassermengen eine griffige Oberfläche unter winterlichen Temperaturen gefährlich werden kann.

Die für die Versuche willkürlich ausgewählten Straßendeckenarten für die Probestücke weisen für den Reibwert 50 SRT Wasserfilmdicken auf, die sich fast um 100 % unterscheiden. Es ist nicht anzunehmen, daß mit den ausgewählten Straßendeckenarten zufällig der obere und untere Grenzwert der möglichen Oberflächenrauheiten erfaßt wurde. Daraus schlußfolgernd ergibt sich die Möglichkeit der Existenz noch größerer Unterschiede für die Schwellwerte der Oberflächenfeuchte.

Die Ermittlung eines Schwellwertbereiches wäre insofern von Bedeutung, als damit der von entsprechenden Sensoren zu fordernde Arbeitsbereich zu beschreiben wäre.

Unter Berücksichtigung der vielen auf einer Straße unter Verkehr wirkenden Einflüsse kann davon ausgegangen werden, daß die Wasserfilme nicht oder nur teilweise so in Glätte verwandelt werden wie bei den durchgeführten Laborversuchen.

Dabei sind als Ursachen insbesondere die nichtatmosphärischen Bedingungen, d.h. die Einflüsse des Verkehrs zu nennen, wie

- Energieeintrag durch die erwärmten Reifen und Fahrzeuge,

- Druckkräfte auf die Fahrbahn,
- Luftverwirbelungen durch die Fahrzeuge,
- Verkehrsstärke.

Ob eine Simulation zumindest einiger Einflußbedingungen möglich ist und eine Änderung der Schwellwerte bewirkt, kann hier noch nicht bewertet werden.

5 Schlußfolgerungen

Die durchgeführten Versuche zeigen, daß die Ermittlung von Schwellwerten der Oberflächenfeuchte für die Glättebildung schwierig aber prinzipiell möglich ist. Der für Labormessungen vorauszusetzende gleichmäßige Wasserauftrag sowie die Reibbeiwertermittlung bei bzw. unter der Gefrierpunktttemperature stellen dabei besondere Anforderungen dar.

Die an drei unterschiedlichen Probenarten ermittelten Schwellwerte sind nur Beispiele. Zweckmäßig wären Untersuchungen von Proben definierter Oberflächenstruktur und damit auch Griffigkeit, um klären zu können, ob Schwellwerte auch außerhalb der hier ermittelten rechnerischen Wasserfilmdicken von ca. 3 bis 6 Hundertstel mm auftreten. Durch Versuchsreihen ließe sich evtl. eine eindeutige Abgrenzung des Schwellwertbereiches finden. Sofern ein Bereich eindeutig abgegrenzt werden kann, wäre eine wichtige Voraussetzung auf dem Weg zur Fixierung konkreter technischer Forderungen an Fahrbahnfeuchtesensoren für Glättemeldeanlagen erfüllt. Offen bleibt jedoch, ob mit den derzeit angebotenen punktförmig messenden Sensoren eine Bestimmung der „wahren“ Oberflächenfeuchte von Fahrbahnen möglich ist. Mit Bezug auf die Differenzen der bei dem Projekt „Glättemeldeanlagen“ ermittelten Werte der Fahrbahnfeuchte ist dies zumindest zweifelhaft. Sofern das bisherige Konzept für Glättemeldeanlagen beibehalten werden soll, sind für die Fahrbahnfeuchte solche Sensoren erforderlich, die eine Erfassung im Sinne der hier verwendeten rechnerischen Wasserfilmdicke gewährleisten, also flächenbezogen arbeiten. Nur wenn dies mit der erforderlichen Genauigkeit erreicht werden kann, wären Arbeiten zur Glättemelde- und -alarmierung im bisherigen Sinne weiterzuführen.

6 Literatur

- [1] BADEL, H.: Praxisgerechte Anforderungen an Glättemeldealagen (GMA). Schlußbericht zum Projekt 92 715 BASt
- [2] POTSCHKA, V.: Die Bedeutung der Straßenoberflächeneigenschaften für die Verkehrssicherheit. Straßen und Tiefbau (1988) H. 10
- [3] HUSCHEK, S.: Zusammenhang zwischen Rauheit und Griffigkeit. Schlußbericht zum Forschungsauftrag des BMV Nr. 04.163G91C
- [4] KREBS, H.G.; BÖLLINGER, G.: Beurteilung und Erfassung von Nässezuständen auf Fahrbahnen. Schlußbericht zum Forschungsauftrag des BMV Nr. 4.075G79G
- [5] HENNES, R.: Zur Optimierung der Textur von Fahrbahnoberflächen unter besonderer Berücksichtigung der Feuchte. RWTH Aachen, 1985
- [6] HÖCKER, H.J.: „Nasse“ Fahrbahnoberflächen Definition und Einflußfaktoren. Straße und Autobahn (1993) Heft 10
- [7] SCHARSCHING, H.: Berührungslose Feststellung des Fahrbahnzustandes. Straße und Autobahn (1993) Heft 4
- [8] Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe. FGSVNr. 401 Ausg. 1968
- [9] HUSCHEK, S.: Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe. Straße und Autobahn (1995) Heft 3
- [10] Richtlinie zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe. FGSVNr. 401 Entwurf 8/1995
- [11] Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser. FGSVNr. 402 Ausg. 1972

Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe "Verkehrstechnik"

- V 1: **Leitfaden Parkraumkonzepte**
von H. P. Appel, R. Baier und A. Wagener
132 Seiten, 2. Auflage, 1993 kostenlos
- V 2: **Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt**
von H.-G. Brod
168 Seiten, 1993 DM 37,00
- V 3: **Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen**
von H. Wirtz und K. Moritz
36 Seiten, 1993 DM 20,00
- V 4: **Sicherheitsbewertung von Querungshilfen für den Fußgängerverkehr**
von K. Füsser, A. Jacobs und J. Steinbrecher
240 Seiten, 1993 DM 46,00
- V 5: **Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen**
von U. Brannolte, H.-B. Barth, R. Schwarzmann, W. Junkers, Y. Liu, H. Sigthorsson und J. Stein
148 Seiten, 1993 DM 34,00
- V 6: **Schutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen**
von R. Schnüll, N. Handke, F. Gause, B. Göcke, P. Patzschke, U. Prenzlów, Th. Schröder, St. Wiesiek und W. Engel
112 Seiten, 1993 DM 30,00
- V 7: **Ortsdurchfahrt Much**
von A. Moritz, E. Rossbander, W. Brilon und H. Blanke
136 Seiten, 1993 DM 32,50
- V 8: **Verkehrssicherheit und modernes Verkehrsmanagement**
Symposium der Deutschen Verkehrswacht am 29. Oktober 1992 in Stuttgart
52 Seiten, 1993 kostenlos
- V 9: **Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen**
von W. Angenendt, J. Bader, Th. Butz, B. Cieslik, W. Draeger, H. Friese, D. Klöckner, M. Lenssen und M. Wilken
96 Seiten, 1993 DM 28,00
- V 10: **Linienbusse im Stadtverkehr**
von I. Birk, O. Kampschulte, H. Luda, M. Schünemann, A. Strauß, B. Wewers und D. Winkler-Hübsch
52 Seiten, 1993 DM 22,50
- V 11: **Digitale Bildverarbeitung zur Verkehrsanalyse**
von H. H. Topp, Th. Horstmann und Chr. Hupfer
36 Seiten, 1993 DM 20,00
- V 12: **Haltestellenformen an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**
von H. H. Topp, M. Haag, Chr. Hupfer und K. Ackermann
144 Seiten, 1993 DM 33,50
- V 13: **Parkleitsysteme - Wirksamkeitsuntersuchung und Konzeptentwicklung**
von H. H. Topp, S. Körntgen, U. Gevatter, A. Theiß und S. Vincenzi
128 Seiten, 1994 DM 31,50
- V 14: **Straßenbeleuchtung und Verkehrssicherheit**
von G. Uschkamp, R. Hecker, H.-U. Thäsler und D. Breuer
196 Seiten, 1994 DM 40,00
- V 15: **Grundlagen für Beschilderung**
von H. Erke, M. Latzel, D. Ellinghaus und K. Seidenstecher
184 Seiten, 1994 DM 38,50
- V 16: **Abwicklung des Lieferverkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**
von A. Hamed
132 Seiten, 1994 DM 32,00
- V 17: **Auswirkungen der Umweltgesetzgebung auf den Straßenbetriebsdienst**
von B. Gallenkemper, M. Fritsche und G. Walter
88 Seiten, 1995 DM 27,00
- V 18: **Entwicklung einer Kenngröße der Winterlichkeit zur Bewertung des Tausalzverbrauchs**
von J. Breitenstein
32 Seiten, 1995 DM 21,50
- V 19: **Straßenverkehrszählung 1990**
Ergebnisse für die Bundesfernstraßen
500 Seiten, 1995 DM 74,50
- V 20: **Verkehrssicherheit an städtischen Knotenpunkten in den neuen Bundesländern**
von R. Schnüll, N. Handke, U. Ebcinoglu, M. Adler, F. Engelman, B. Pott, U. Prenzlów, Th. Schröder, H. Münch, A. Dittmar, C. Graf, F. Wich-Heiter, F. Wellendorf, N. Breyer, G. Geisler, P. Patzschke, R. Rudolph und W. Trinius
20 Seiten, 1995 kostenlos

- V 21: **Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalzen**
von H.-G. Brod
64 Seiten, 1995 DM 25,50
- V 22: **Straßenverkehrszählung 1990**
- Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik
Teil 1: Alte Bundesländer
von N. Lensing
Teil 2: Neue Bundesländer
von Verkehrsanlagen Consult GmbH
104 Seiten, 1995 DM 25,50
- V 23: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1992 und 1993**
- Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
von G. Ionescu und B. Paatz
312 Seiten, 1995 DM 50,50
- V 24: **Straßenverkehrszählung 1993**
- Ergebnisse für die Bundesfernstraßen
540 Seiten, 1995 DM 79,00
- V 25: **Straßenverkehrszählung 1990**
- Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
Teil 1: Alte Bundesländer
von N. Lensing
Teil 2: Neue Bundesländer
von Verkehrsanlagen Consult GmbH
64 Seiten, 1995 DM 25,50
- V 26: **Straßenverkehrszählung 1993**
- Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik
von N. Lensing
54 Seiten, 1995 DM 22,50
- V 27: **Straßenverkehrszählung 1993**
- Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
von N. Lensing
56 Seiten, 1995 DM 23,00
- V 28: **Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen**
von W. Krux und D. Determann
144 Seiten, 1995 DM 35,00
- V 29: **Untersuchungen zur Schnittgutverwertung**
Teil III: Erhebung und Bewertung der anorganischen Schadstoffbelastung
von B. Krieger und J. Breitenstein
128 Seiten, 1996 DM 33,00
- V 30: **Dokumentation Parken**
Materialsammlung zum "Parken in der Stadt"
von R. Huber-Erlor, K.-H. Schäfer, A. Wagener, R. Baier und M. Wacker
120 Seiten, 1996 DM 32,00
- V 31: **German-Japanese Workshop on Intelligent Transport Systems, Highway Traffic Safety and Tunnel Safety**
Reports of the 1994 Workshop December 05-07, 1994 in the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)
204 Seiten, 1996 DM 42,00
- V 32: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1994**
- Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
von G. Ionescu
356 Seiten, 1996 DM 56,00
- V 33: **Entwicklung eines Wirtschaftsverkehrsmodells für Städte**
von H. Sonntag, B. Meimbresse und U. Castendiek
96 Seiten, 1996 DM 29,50
- V 34: **Eignung von Bankettschälgut für Erdbauten**
von B. Gallenkemper, M. Fritsche, A. Sowa und G. Walter
66 Seiten, 1996 DM 25,00
- V 35: **Photovoltaik in der Straßenausstattung**
von D. Heuzeroth
68 Seiten, 1996 DM 25,00
- V 36: **Glättebildung durch Überfrieren**
von J.-P. Nicolas
28 Seiten, 1996 DM 20,50

Zu beziehen durch:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 1 0 1 1 1 0
D-27511 Bremerhaven
Telefon (0471) 9 45 44 - 0, Telefax (0471) 9 45 44 88