

## Überprüfung der Temperaturkorrektur für das SRT-Pendel

FA 89.186/07

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen (isac) (Prof. Dr.-Ing. B. Steinauer)

Bearbeiter: Scharnigg, K.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: November 2009

### 1 Aufgabenstellung

Die Ergebnisse von verschiedenen regelmäßig durchgeführten Messungen mit dem SRT-Pendel auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen geben Anlass zu der Annahme, dass die in [3] und [4] dargestellten Temperaturkorrekturen für den SRT-Gleitkörper in den höheren Temperaturbereichen einer Überprüfung bedürfen.

So zeigten sich beispielsweise bei wiederholten Messungen mit dem SRT-Pendel auf Fahrbahnoberflächen bei verschiedenen Temperaturen (10 °C bis ca. 40 °C) erhebliche Differenzen in den temperaturkorrigierten SRT-Werten, die zurzeit nicht anders erklärbar wären. Die bei der Bezugstemperatur (20 °C) sowie die bei der unteren Grenze der zulässigen Temperatur (10 °C) gemessenen Werte ergeben nach der derzeit gültigen Temperaturkorrektur gemäß den TP Griff-StB (SRT) [3] wesentlich höhere SRT-Werte, als die nach erfolgter Temperaturkorrektur gemessenen Werte an der oberen Grenze. Der Oberfläche wird somit je nach vorhandener Temperatur und durchgeführter Korrektur eine unterschiedliche Griffigkeit bei der Bezugstemperatur von 20 °C attestiert. Daher wird es für notwendig erachtet, die derzeitige Korrekturfunktion anzupassen. Die derzeit gültige Temperaturkorrekturfunktion für Messungen mit dem SRT-Pendel wurde 1964 in Großbritannien entwickelt [7]. Diese Korrekturfunktion wurde in alle weiteren, für das Messverfahren relevanten Vorschriften, Regelwerke sowie Normen übernommen. Hier erfolgte auch erstmals eine genaue Definition der Eigenschaften des eingesetzten Gleitkörpers hinsichtlich der Härte (Shore A) und der Elastizität (elastischer Rückprall). Die kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessung, bestehend aus der Messung mit dem SRT-Pendel und der Bestimmung der Ausflusszeit mit dem Ausflussmesser nach Moore, kann gemäß den ZTV Asphalt-StB 07 [1] und den ZTV Beton-StB 07 [2] im Rahmen der Kontrollprüfung eingesetzt werden. Wenn sowohl für den SRT-Wert als auch für die Ausflusszeit die Richtwerte aus [1] bzw. [2] erfüllt werden, kann auf die Messung mit dem SKM (Seitenkraftmessverfahren) verzichtet werden. Da dieses kombinierte Verfahren im Vergleich zum SKM einfach, schnell und kostengünstig einsetzbar ist, wird das kombinierte Messverfahren bei Ländern und Gemeinden vor allem auf kleineren Messflächen häufig eingesetzt. Aufgrund dessen ist die Sicherstellung einer korrekten Temperaturkorrektur der SRT-Werte notwendig.

### 2 Stand der Technik

Zwischen der Europäischen Norm und den in Deutschland herausgegebenen Technischen Prüfvorschriften [3] gibt es Unterschiede hinsichtlich konstruktiver Vorgaben, die das SRT-Gerät betreffen, hinsichtlich des Messverfahrens sowie in der Messdurchführung. Die Technischen Prüfvorschriften [3] stellen die Umsetzung der DIN EN 13036-4 [4] einschließlich der genehmigten A-Abweichung in Deutschland dar. Die A-Abweichung ist die nationale Abweichung, bedingt durch Bestimmungen, deren Abänderung derzeit nicht in der Zuständigkeit der CEN/CENELEC liegt. Die aufgrund der genehmigten A-Abweichung zulässigen Veränderungen beeinflussen die Messmethode nicht, können aber den Messablauf beschleunigen

und die Qualität der Messergebnisse verbessern. Im Folgenden werden diese Unterschiede nur dargestellt, aber nicht näher erläutert. Konstruktive Unterschiede:

- Ausbildung der Füße,
- größere Libelle zur waagerechten Ausrichtung des Basisgestells,
- Zusatzgewicht,
- Gleitkörper (Gummieigenschaften und Abmessungen),

Unterschiede im Messverfahren bzw. der Messdurchführung:

- Einstellung der Reiblänge, Reiblängenmaßstab,
- Probenanzahl bzw. Verteilung der Messpunkte bei in situ-Messungen.

Da man bei Messungen mit dem Pendelgerät nur sehr selten in der Lage ist, unterschiedliche Messbedingungen zu vermeiden (dies ist besonders bei in situ-Messungen der Fall), ist es wichtig, den Einfluss der jeweiligen veränderlichen Messbedingungen zu kennen und gegebenenfalls soweit wie möglich die Veränderung der Messbedingungen zu vermeiden. Des Weiteren müssen aber auch die Einflüsse bekannt sein, um die ermittelten Ergebnisse gegenüber vorhandenen Messergebnissen einschätzen zu können und Vergleiche zu ziehen. Die Ergebnisse beim SRT-Messverfahren werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Dazu gehören beispielsweise die Genauigkeit der Reiblängeneinstellung, die Veränderungen am Gleitkörper, die Temperatur des Gleitkörpers und auch das Bedienpersonal. Die Einflussfaktoren auf die Griffigkeitsmessergebnisse, wie witterungsbedingte Schwankungen und die Ungleichmäßigkeit von Straßenoberflächen, werden in diesem Zusammenhang nicht betrachtet, da diese Faktoren nicht messsystemspezifisch sind. Bei der Zusammenstellung der verschiedenen Einflussfaktoren wird allerdings davon ausgegangen, dass die jeweiligen Prüfvorschriften hinsichtlich der Messungen beachtet werden und ein funktionstüchtiges sowie kalibriertes Prüfgerät, welches die Bedingungen der Vorschriften erfüllt, eingesetzt wird. Als mögliche Einflussfaktoren auf das Messergebnis wurden die folgenden wesentlichen Punkte identifiziert:

- Genauigkeit der Reiblängeneinstellung,
- Veränderungen am Gleitkörper,
- Temperatur des Gleitkörpers sowie
- Bedienpersonal.

### 3 Untersuchungsmethodik

Die durchgeführten Untersuchungen teilten sich in Labor- und in situ-Messungen auf. Im Rahmen dieses Projekts wurden die folgenden Einflussfaktoren im Laboratorium näher untersucht:

- Temperatur (speziell: Gleitkörpertemperatur) – im Bereich von 5 bis 40 °C in Stufen von 3 - 5 K (insgesamt 11 Temperaturstufen),
- Gleitkörper – 5 unterschiedliche Gleitkörper,
- Wassertemperatur – 3 verschiedene Temperaturen,
- Bedienpersonal – 5 verschiedene Personen.

Des Weiteren wurden auch die Texturkenndaten der Probekörper für die nähere Betrachtung des Einflusses herangezogen. In der folgenden Tabelle 1 sind die im Rahmen der Labormessungen untersuchten Einflussfaktoren zusammengestellt.

Tabelle 1: Messbedingungen in Abhängigkeit von den untersuchten Einflussfaktoren (Labormessungen)

Einflussfaktoren	Messbedingungen			
	Probenanzahl	Temperaturbereich	Temperaturstufen	Wassertemperatur
Gleitkörpertemperatur	52	5-40 °C	11	= Luft- bzw. Gleitkörpertemperatur
Gleitkörper (5 Stück)	30	5-40 °C	8	= Luft- bzw. Gleitkörpertemperatur
Wassertemperatur	30 (bzw. 24)	20-40 °C	5, 4, 2	10 °C, 20 °C, 30 °C
Bedienpersonal (5 Personen)	30	10-40 °C	4	= Luft- bzw. Gleitkörpertemperatur

Die Proben für die Labormessungen wurden aus bestehenden Straßenbefestigungen entnommen oder im Labor hergestellt. Letztere Proben wurden vor der Untersuchung einer Polierbeanspruchung unterzogen, um den vorhandenen Bitumenfilm an der Oberfläche zu entfernen. Dadurch ist gewährleistet, dass bei den Messungen die Zusammensetzung des Mischguts (z. B. verwendetes Größtkorn und Gestein) und die praxisnahe Textur die Messwerte beeinflusst und nicht der auf den Gesteinen vorhandene Bindemittelfilm. Bei der Auswahl der Probekörper wurde darauf geachtet, dass neben Asphalt- und Betonoberflächen die Proben die verschiedenen, in der Praxis vorkommenden Oberflächenarten bzw. -strukturen repräsentieren. Mit den 52 Proben lagen bei Doppelbestimmung somit 26 verschiedene Oberflächen vor.

Die in situ-Messungen erfolgten an insgesamt 8 unterschiedlichen Oberflächen. Um bei den Labormessungen bei einem Vergleich der Messergebnisse bei verschiedenen Temperaturen und unterschiedlichen Probekörpern gewährleisten zu können, dass die Messungen immer an derselben Stelle des Probekörpers durchgeführt wurden, um Einflüsse infolge unterschiedlicher Messbereiche auszuschließen, wurden alle Proben jeweils ausgerichtet auf eine Platte geklebt und auf dem Messtisch Schienen zur genauen Positionierung der Proben angebracht (vgl. 1).



Bild 1: Messtisch mit Probenpositionierung

Im Rahmen der in situ-Messungen erfolgten an den einzelnen Messstellen die SRT-Messungen gemäß [3] an 5 Messpunkten im Abstand von jeweils 6,25 m. Diese Messpunkte wurden bei den ersten Messungen so eingemessen und entsprechend markiert, dass bei den folgenden Messungen ein entsprechendes Wiederfinden der Messpunkte sowie genaues Positionieren des SRT-Pendels problemlos möglich war.

## 4 Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Einfluss der Gleitkörpertemperatur

In 2 sind die gemittelten SRT-Messwerte für jeden untersuchten Probekörper in Abhängigkeit von der Gleitkörper-/ Oberflächen-/ Luft- bzw. Wassertemperatur dargestellt. Die im Diagramm eingefügte Trendlinie soll den erwarteten linearen Zusammenhang der untersuchten Parameter verdeutlichen.

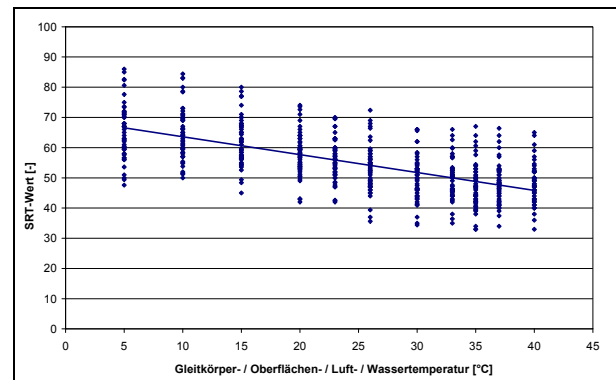


Bild 2: Einfluss der Gleitkörpertemperatur – Mittelwerte der untersuchten Proben

Mithilfe der erfassten bzw. berechneten Texturkennwerte MPD (mean profile depth) und ETD (estimated texture depth) wurde auch der Einfluss dieser Texturkennwerte auf die Temperaturabhängigkeit der gemessenen SRT-Werte näher betrachtet. Dabei konnte festgestellt werden, dass eine von den beiden Texturkennwerten beeinflusste Temperaturabhängigkeit der Messwerte weitestgehend ausgeschlossen werden kann.

### 4.2 Einfluss des Gleitkörpers

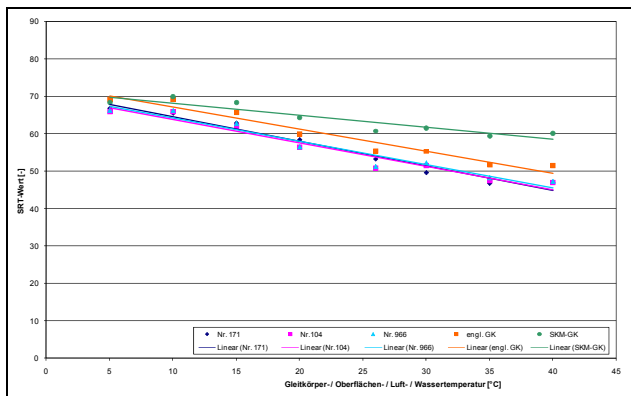
Von den untersuchten fünf Gleitkörpern wurden drei von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) hergestellt (unterschiedliche Herstellchargen), einer wurde aus Großbritannien bezogen und bei einem weiteren Gleitkörper wurde ein Gummi aufvulkanisiert, der identisch mit dem der SKM-Messreifen ist.

Im Rahmen der statistischen Auswertungen zeigten sich bei der durchgeführten Varianzanalyse Unterschiede hinsichtlich der Signifikanz des Messgummieinflusses in Abhängigkeit von den verschiedenen Temperaturen. Allerdings ist nur von Interesse, ob sich die Gleitkörper der BAM (Nr. 171, Nr. 104 und Nr. 966) signifikant unterscheiden und ob signifikante Unterschiede zwischen diesen Gleitkörpern und den beiden

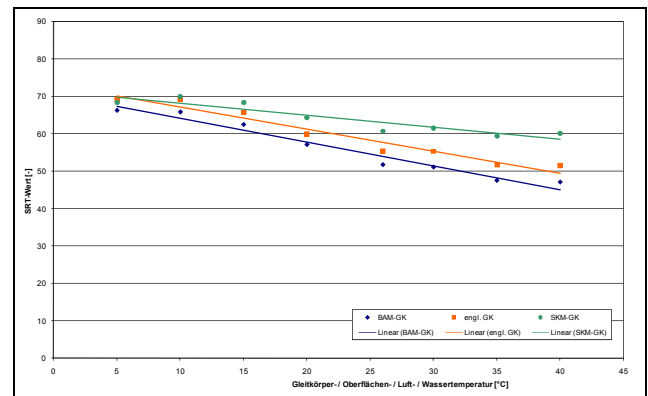
anderen (englischer Gleitkörper und SKM-Gleitkörper) festzustellen sind. Unabhängig von der Temperatur wurden zwischen den Gleitkörpern der BAM keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Während gegenüber dem englischen Gleitkörper signifikante Unterschiede ab ca. 26 °C und dem SKM-Gleitkörper bereits ab ca. 10 - 15 °C festgestellt wurden.

In Bild 3 werden die Unterschiede in den Messwerten noch einmal grafisch für die fünf eingesetzten Gleitkörper und in Bild 4 für die drei Gleitkörpersorten (BAM-Gleitkörper, englischen Gleitkörper, SKM-Gleitkörper) verdeutlicht. In Bild 3 und Bild 4 ist das unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Gleitkörper anhand von eingefügten Trendlinien kenntlich gemacht. Dabei wird deutlich, dass der temperaturabhängige Verlauf der BAM-Gleitkörper und des englischen

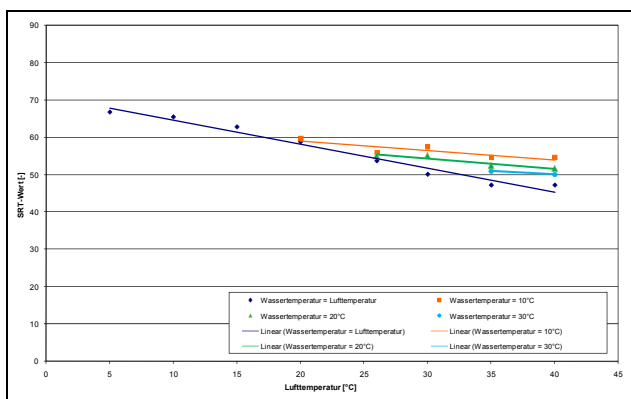
Gleitkörpers nahezu identisch ist, wobei die Messwerte des englischen Gleitkörpers ca. 2,5 bis 3 SRT-Einheiten höher als die Messwerte der BAM-Gleitkörper liegen. Der Gleitkörper mit dem SKM-Gummi zeigt im Vergleich zu den anderen vier Gleitkörpern eine geringere Temperaturabhängigkeit. Die für die einzelnen Gleitkörper dargestellten Werte sind Mittelwerte der 30 untersuchten Probekörper. Es kann somit gezeigt werden, dass signifikante Einflüsse auf das Messergebnis durch den Einsatz von BAM-Gleitkörpern unterschiedlicher Herstellchargen nicht festgestellt werden konnten, während im Vergleich dazu die Verwendung anderer Gleitkörper einen signifikanten Einfluss auf das Messergebnis hat.



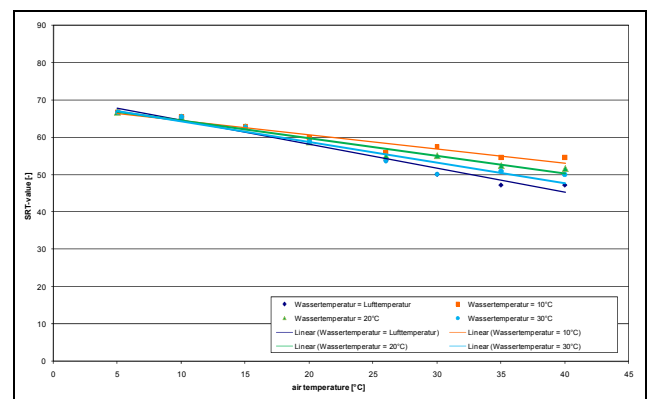
**Bild 3: Einfluss des Gleitkörpers – Ergebnisse der 5 verwendeten Gleitkörper**



**Bild 4: Einfluss des Gleitkörpers – Ergebnisse der 3 Gleitkörpersorten**



**Bild 5: Einfluss der Wassertemperatur – Mittelwerte**



**Bild 6: Einfluss der Wassertemperatur – Mittelwerte ( $T_{\text{Wasser}} = 10\text{ °C} - T_{\text{Luft}} < 20\text{ °C}$ ;  $T_{\text{Wasser}} = 20\text{ °C} - T_{\text{Luft}} < 26\text{ °C}$ ;  $T_{\text{Wasser}} = 30\text{ °C} - T_{\text{Luft}} < 35\text{ °C}$ )**

### 4.3 Einfluss der Wassertemperatur

Der Einfluss der Wassertemperatur auf das Messergebnis wurde in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (10, 20 und 30 °C) nur in bestimmten Temperaturbereichen (Lufttemperatur), in Schritten von 5 K untersucht. Dazu wurde die Wassertemperatur abweichend von den anderen Messungen (Wassertemperatur = Lufttemperatur) konstant bei 10, 20 bzw. 30 °C unabhängig von der Lufttemperatur, gehalten. Dabei zeigten sich bei der statistischen Auswertung ab einer

Temperatur von 30 °C Unterschiede bei den Messwerten, die bei den unterschiedlichen Wassertemperaturen erfasst wurden. In Bild 5 und Bild 6 sind die Messwerte in Abhängigkeit von den Messbedingungen zusammengestellt, wobei in Bild 5 nur die Messwerte ab 20 °C für den Einflussfaktor „Wassertemperatur = 10 °C“ bzw. ab 26 °C für den Einflussfaktor „Wassertemperatur = 20 °C“ und ab 35 °C für den Einflussfaktor „Wassertemperatur = 30 °C“ dargestellt sind. Die Messwerte für die Randbedingung „Wassertemperatur = Lufttemperatur“ werden in diesem Bild im Bereich zwischen 5

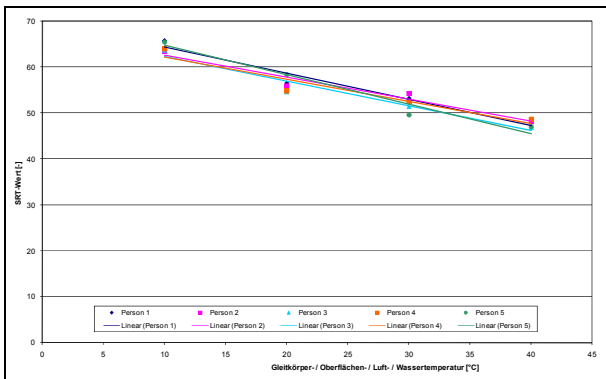
und 40 °C dargestellt. Bei einer Lufttemperatur von 40 °C beträgt der Unterschied in den gemessenen SRT-Werten bei der Wassertemperatur von 10 °C und der Wassertemperatur von 40 °C ca. 7 SRT-Einheiten. Im Bild 6 wurden für den Einflussfaktor „Wassertemperatur = 10 °C“, „Wassertemperatur = 20 °C“ und „Wassertemperatur = 30 °C“ die Messwerte für die Temperaturstufen 5, 10 und 15 °C bei der „Wassertemperatur = 10 °C“ sowie 5, 10, 15 und 20 °C bei der „Wassertemperatur = 20 °C“ als auch 5, 10, 15, 20, 26 und 30 °C bei der „Wassertemperatur = 30 °C“ den Werten des Einflussfaktors „Wassertemperatur = Lufttemperatur“ gleichgesetzt, da hierbei der Einfluss der Wassertemperatur als gering beurteilt wird.

Dadurch lässt sich der Einfluss des Faktors „Wassertemperatur“ besser durch Trendlinien beschreiben und vergleichen. Anhand der Messwerte als auch der statistischen Auswertung wird deutlich, dass der Einfluss der Wassertemperatur, besonders wenn große Unterschiede zwischen der Luft- und der Wassertemperatur auftreten, nicht zu vernachlässigen ist und gegebenenfalls in Zukunft in die Auswertungen miteinbezogen werden sollte.

## 4.4 Einfluss des Bedienpersonals

Bei den Ergebnissen hinsichtlich der Überprüfung des Einflusses des Bedienpersonals zeigte sich im Rahmen der statistischen Auswertung, dass zwischen den einzelnen Personen kein signifikanter Unterschied bezüglich der gemessenen SRT-Werte bei den vier Temperaturstufen festgestellt werden kann. Dieser Sachverhalt wird in Bild grafisch verdeutlicht.

Allerdings muss hierbei berücksichtigt werden, dass die Personen, die im Rahmen der Untersuchung die Messungen durchgeführt haben, schon über jahrelange Erfahrung im Umgang mit dem SRT-Pendel verfügen.

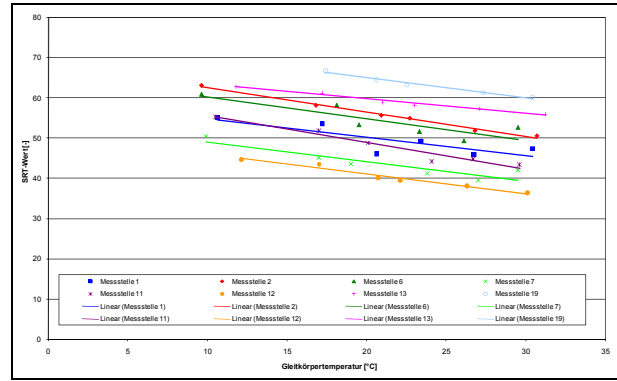


**Bild 7: Einfluss des Bedienpersonals – einzelne Personen (Mittelwerte der untersuchten Proben)**

## 4.5 In situ-Messungen

Bei den in situ-Messungen lagen die Steigungen der Trendlinien für die Ermittlung des Einflusses der Gleitkörpertemperatur im Bereich von 0,36 (Messstelle 13) bis 0,67 (Messstelle 11), (vgl. Bild). Die mittlere Steigung der Trendlinie lag für alle Messstellen bei 0,42.

Bei den Labormessungen lagen die Steigungen der Trendlinien in Abhängigkeit vom Mischgut bzw. der Oberflächenstruktur im Bereich von 0,40 (Laborprobe Asphaltbeton) bis 0,78 (Bohrkern Gussasphalt). Die mittlere Steigung der Trendlinie ergab für alle Messergebnisse aus den Labormessungen 0,60.



**Bild 8: Einfluss der Gleitkörpertemperatur auf die SRT-Messwerte bei in situ-Messungen – Messstellen einzeln dargestellt**

## 5 Beurteilung der Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten wird ausschließlich der Vorschlag zu einer neuen Temperaturkorrekturfunktion für die SRT-Messwerte dargestellt.

Des Weiteren werden anhand einer Beispielauswertung die Temperaturkorrekturfunktion gemäß den Technischen Prüfvorschriften [3] und die entwickelten Korrekturfunktionen einander gegenübergestellt sowie mit einigen weiteren, aus der Literatur ([6] Burth, 1962) und ([19] Bazlamit, u.a., 2005) bekannten Funktionen verglichen.

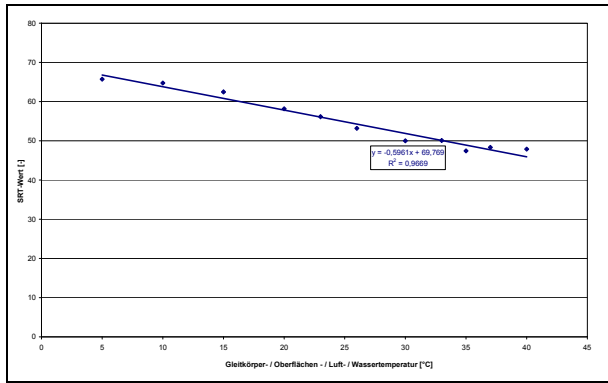
Die bisher verwendete Temperaturkorrekturfunktion wurde 1964 in England entwickelt [7] und seitdem in allen Beschreibungen des Pendelgeräts wieder aufgegriffen sowie in die aktuelle Fassung der DIN EN 13036-4 [4] und in den Technischen Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: SRT [3] aufgenommen.

### 5.1 Neue Temperaturkorrekturfunktionen

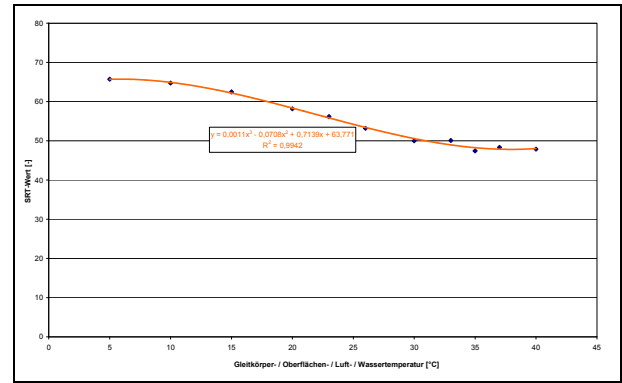
Anhand der vorliegenden Ergebnisse von SRT-Messungen auf insgesamt 52 Probekörpern mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen bei 11 Temperaturstufen in einem Temperaturbereich von 5 bis 40 °C können zwei verschiedene Regressionsfunktionen als geeignet für die Temperaturkorrektur, unabhängig von der untersuchten Oberfläche, angegeben werden. Neben einer linearen Korrekturfunktion zeigte sich auch ein „Polynom 3. Grades“ als geeignet, den Einfluss der Gleitkörpertemperatur zu korrigieren.

Allerdings muss hierbei angemerkt werden, dass die Temperaturkorrekturfunktionen bezüglich der Gleitkörpertemperatur mit Messwerten ermittelt wurden, die unter idealisierten Bedingungen (Gleitkörper- = Luft- = Oberflächen- = Wassertemperatur) im Labor gemessen wurden.

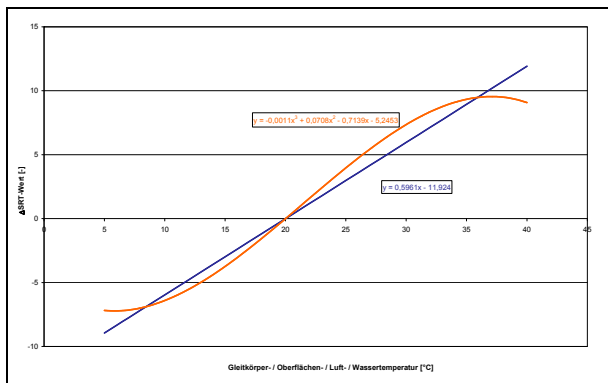
Während es sich bei der linearen Funktion um eine einfache, in der Praxis leicht anzuwendende Funktion handelt, die mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,96$  schon einen sehr guten Zusammenhang zwischen der Gleitkörpertemperatur und den Messwerten erkennen lässt (vgl. Bild 9), werden die vorhandenen Wertepaare noch besser durch ein Polynom 3. Grades beschrieben (vgl. Bild 10). Aus den beiden Regressionsfunktionen (Bild 9 und Bild 10) lassen sich die beiden möglichen Korrekturfunktionen für eine Referenztemperatur von 20 °C ermitteln (vgl. Bild 11).



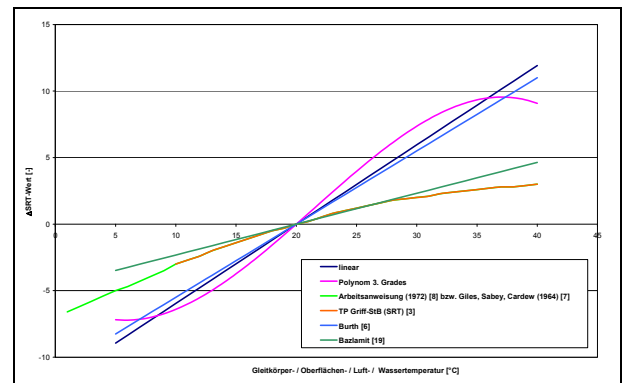
**Bild 9: Einfluss der Temperatur – Korrektur durch lineare Funktion**



**Bild 10: Einfluss der Temperatur – Korrektur durch ein Polynom 3. Grades**



**Bild 11: Mögliche Temperaturkorrekturfunktionen**



**Bild 12: Unterschiedliche Temperaturkorrekturfunktionen**

## 5.2 Unterschiede zwischen neuer und alter Temperaturkorrekturfunktion

In Bild 12 sind die beiden entwickelten Temperaturkorrekturfunktionen zusammen mit bereits aus Vorschriften, Normen/Regelwerken [3], [7], [8], [14] und Literatur [6], [19] bekannten Korrekturfunktionen grafisch dargestellt. Dabei werden vor allem die Unterschiede hinsichtlich des zu berücksichtigenden Korrekturfaktors zwischen den einzelnen Funktionen deutlich.

Auffallend ist die Übereinstimmung der Korrekturfunktion aus [3], [7] bzw. und [8] mit der aus [19] im mittleren Temperaturbereich von 15 °C bis ca. 28 °C. Während die "lineare Korrekturfunktion" und die in [6] ermittelte ebenfalls lineare Funktion einen ähnlichen Verlauf aufweisen.

## 5.3 Beispielauswertung

Im Rahmen dieser Beispielauswertung werden für eine repräsentative Oberfläche (SMA) anhand der fünf unterschiedlichen Korrekturfunktionen die ermittelten Messwerte bei den verschiedenen Temperaturen auf die Bezugstemperatur von 20 °C korrigiert. Die Ergebnisse dieser Beispielauswertung sind in Tabelle 2 für die fünf unterschiedliche Korrekturfunktionen ("linear", "Polynom 3. Grades", TP Griff-StB (SRT) Burth [6], Bazlamit [19]) zusammengestellt.

Des Weiteren sind in Tabelle 2 die maximalen Spannweiten zwischen den Messwerten sowie die maximalen Abweichungen nach "oben" und "unten" bezogen auf den Referenzwert bei 20 °C angegeben. Dadurch kann auch die Genauigkeit sowie die Robustheit der Korrekturfunktion beurteilt werden.

Bei dieser Tabelle wurde die Referenz- bzw. Bezugstemperatur von 20 °C gelb sowie die funktionsbedingten Ab- bzw. Zunahmen der Korrekturwerte bei dem Polynom 3. Grades grau hinterlegt.

Tabelle 2: Anwendung der Korrekturfunktionen – Splittmastixasphalt (Probe 25)

Temperatur [°C]	Messwert	Korrekturfunktion – auf Bezugstemperatur korrigierte Werte				
		linear	Polynom 3. Grades	TP Griff-StB (SRT) 0	Burth [6]	Bazlamit [19]
5	86,0	77,1	78,8	-	77,8	82,5
10	84,4	78,4	78,0	81,4	78,9	82,1
15	80,0	77,0	76,3	78,6	77,3	78,8
20	73,6	73,6	73,6	73,6	73,6	73,6
23	69,6	71,4	72,0	70,4	71,3	70,3
26	72,4	76,0	77,1	73,8	75,7	73,8
30	66,0	72,0	73,4	68,0	71,5	68,3
33	66,0	73,7	74,8	68,4	73,2	69,0
35	67,0	75,9	76,3	69,6	75,3	70,5
37	66,4	76,5	75,9	69,2	75,8	70,3
40	65,0	76,9	74,1	68,0	76,0	69,6
<b>Spannweite</b>		<b>7,1</b>	<b>6,8</b>	<b>13,4</b>	<b>7,7</b>	<b>14,2</b>
<b>Abweichung vom Referenzwert</b>		+	<b>4,8</b>	<b>5,2</b>	<b>7,8</b>	<b>8,9</b>
		-	<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>5,6</b>	<b>5,3</b>

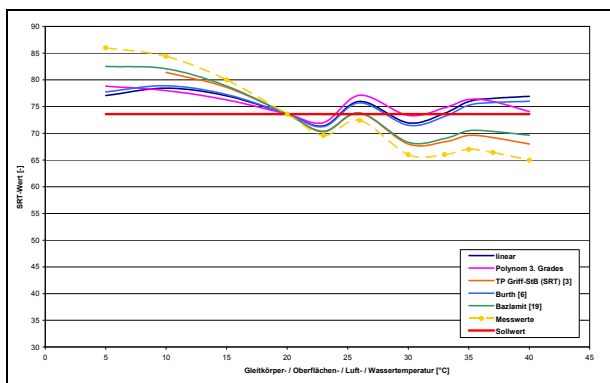


Bild 13: Anwendung der Korrekturfunktionen – Splittmastixasphalt (Probe 25)

In Bild 13 sind die Ergebnisse der Beispielauswertung (Messwerte, korrigierte Messwerte mithilfe der 5 Korrekturfunktionen sowie Sollwerte (= Messwerte bei 20 °C)) grafisch dargestellt.

Anhand der Beispielauswertung kann man gut erkennen, dass unabhängig von der untersuchten Oberfläche und dem vorhandenen Messniveau sowohl die lineare Korrekturfunktion, die Korrekturfunktion mit dem Polynom 3.

Grades als auch die Korrekturfunktion von Burth [6] näher an dem Sollwert (Messwert bei 20 °C) liegen sowie geringere Spannweiten zwischen dem Minimum und dem Maximum aufweisen als die Korrekturfunktionen gemäß [3] und [19]

Sie erscheinen somit geeigneter für die Korrektur der Messwerte. Von den drei Korrekturfunktionen wird für den Einsatz in der Praxis allerdings die Korrekturfunktion von Burth [6] aus den 60er Jahren aufgrund ihrer "Einfachheit" vorge schlagen.

Bei Anwendung der Korrekturfunktion nach Burth [6] erfolgt eine Korrektur der gemessenen SRT-Werte in Abhängigkeit von der Gleitkörpertemperatur ( $T_G$ ) gemäß der Gleichung 1 immer bezogen auf die Referenztemperatur ( $T_R$ ) von 20 °C. Dabei entspricht  $\Delta T = T_G - T_R$ .

$$\Delta SRT = 0,55 \cdot \Delta T \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (\text{Gleichung 1})$$

In Bild 14 sind die Korrekturwerte nach den TP Griff-StB (SRT) als auch die "neuen" Korrekturwerte nach Burth [6] dargestellt. Dabei sind sehr gut die großen Unterschiede der Korrekturwerte bei hohen Temperaturen (ca. 30 °C bis 40 °C) ersichtlich, die wesentlich größer sind, als bei Temperaturen < 20 °C.

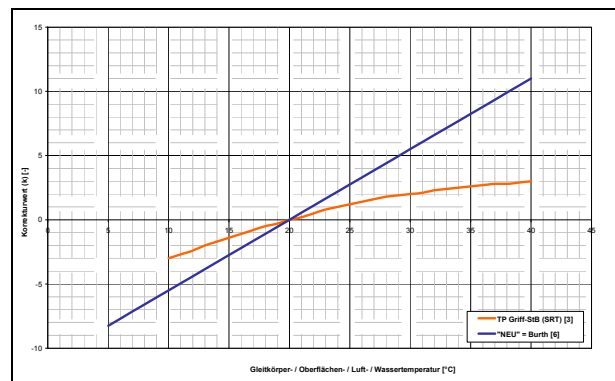


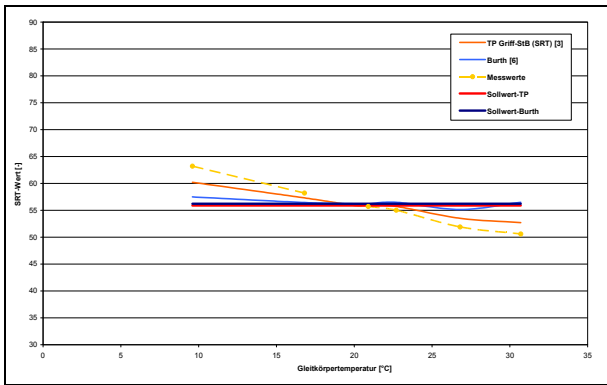
Bild 14: Korrekturwerte nach TP Griff-StB (SRT) und "NEUE" Korrekturwerte Burth [6]

## 5.4 In situ-Messergebnisse

Um den Nachweis der Praxistauglichkeit der "neuen" Korrekturfunktion nach Burth [6] zu erbringen, wird diese Korrekturfunktion auf die im Rahmen der in situ-Messungen erfassten Messwerte angewendet.

Da bei den in situ-Messungen nur Werte bei Gleitkörpertemperaturen von ca. 10 °C bis 30 °C erfasst werden konnten, erfolgt auch nur in diesem Bereich die Korrektur. Des Weiteren erfolgt die Korrektur auch nur für die jeweiligen Gleitkörpertemperaturen, die sich von Messstelle zu Messstelle unterscheiden.

Für die Referenztemperatur von 20 °C wurde für jede Messstelle der Wert bezogen auf die nächstgelegene Temperatur entsprechend der beiden unterschiedlichen Korrekturwerte berechnet. Dadurch unterscheiden sich auch die Werte der Bezugstemperatur bei beiden Funktionen.



**Bild 15: Anwendung der Korrekturfunktionen auf die Messwerte der in situ-Messungen – Messstelle 2**

Im Bild 15 ist die Anwendung der beiden Korrekturfunktionen für die in situ-Messwerte der Messstelle 2 dargestellt. Anhand der Ergebnisse hinsichtlich der Anwendung der beiden Korrekturfunktionen auf die in situ-erfassten Messwerte ist festzustellen, dass im Gegensatz zu den Ergebnissen der Labormessungen die Unterschiede zwischen den beiden Funktionen nicht mehr so groß sind, aber dennoch die neue Korrekturfunktion nach Burth [6] geeignet ist.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Projekts wurde der Einfluss der Gleitkörpertemperatur auf die Messergebnisse mit dem SRT-Pendel untersucht. Dabei sollte die derzeit bestehende und bereits in den 60er Jahren entwickelte Temperaturkorrekturkurve überprüft und gegebenenfalls Vorschläge für eine Modifizierung der Kurve gemacht werden, damit die Beurteilung von Oberflächen mit dem SRT-Pendel unabhängig von der jeweiligen Temperatur zu vergleichbaren Ergebnissen führt.

Des Weiteren wurden auch Einflüsse untersucht, von denen bekannt war oder vermutet wurde, dass sie einen Einfluss auf das Messergebnis haben. Dazu gehört neben dem Gleitkörper (Zusammensetzung der Gummimischung) und der Wassertemperatur auch das Bedienpersonal.

Bei der vorgeschalteten Literaturrecherche wurden die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die SRT-Werte zusammengestellt und analysiert. Ebenso wurden die, in verschiedenen Literaturstellen vorhandenen, unterschiedlichen Temperaturkorrekturkurven hinsichtlich ihres Ursprungs näher betrachtet und bei Beispielauswertungen im Rahmen der Entwicklung einer neuen Temperaturkorrekturfunktion mitberücksichtigt.

Durch die Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der Einfluss der Gleitkörpertemperatur auf die SRT-Messergebnisse signifikant ist und sinnvollerweise durch eine andere Korrekturfunktion, als die bisher nach den TP Griff-StB (SRT) [3] sowie der DIN EN 13036-4 [4] verwendete Korrekturfunktion, berücksichtigt werden sollte.

Durch Beispielauswertungen für die aus der Literatur bekannten und die beiden neuen Temperaturkorrekturfunktionen ("linear" und "Polynom 3. Grades"), die anhand der vorliegenden SRT-Werte auf unterschiedlichen Oberflächen entwickelt wurden, konnte nachgewiesen werden, dass die Abweichungen zwischen dem jeweiligen Referenzwert bzw. Sollwert bei 20 °C und den korrigierten Messwerten bei den derzeit verwendeten Korrekturformeln größer sind als bei den neuen Korrekturfunktionen ("linear" und "Polynom 3. Grades") sowie der bereits aus Burth [6] bekannten Funktion. Für den Einsatz in der Praxis wird aufgrund der einfachen

Anwendung die Korrekturfunktion von Burth 0 (Burth, 1962) empfohlen.

$$SRT_k = SRT_g + \Delta SRT \quad (\text{Gleichung 2})$$

$$\Delta SRT = 0,55 \cdot \Delta T \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (\text{Gleichung 3})$$

mit:

$SRT_k$ : temperaturkorrigierter SRT-Wert

$SRT_g$ : gemessener SRT-Wert

$\Delta T$ : Temperaturdifferenz, bezogen auf 20 °C ( $\Delta T = T_G - T_R$ )

$T_R$ : Referenztemperatur (20 °C)

$T_G$ : Gleitkörpertemperatur bei der Messung des SRT-Werts

Hinsichtlich der an den Proben erfassten bzw. ermittelten Texturkennwerte, wie. z. B. MPD und ETD, konnte festgestellt werden, dass diese Werte die Temperaturabhängigkeit der gemessenen SRT-Werte nicht wesentlich beeinflussen.

Zur Beurteilung des Gleitkörpereinflusses wurden insgesamt 5 Gleitkörper in die Untersuchungen einbezogen, von denen drei von der BAM (unterschiedliche Chargen) hergestellt wurden. Ein Gleitkörper wurde direkt aus Großbritannien bezogen und soll somit den direkten Vergleich hinsichtlich Temperaturabhängigkeit und Messniveau zwischen einem DIN EN 13036-4 konformen Gleitkörper und dem BAM-Gleitkörper, der in der A-Abweichung der Norm verankert ist, ermöglichen. Bei einem weiteren Gleitkörper, der nur zu Vergleichszwecken mit untersucht wurde, wurde der Gummi des SKM-Messreifens auf die Trägerplatte aufvulkanisiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bereits bei einer Temperatur von 10 – 15 °C signifikante Unterschiede zwischen den deutschen Gleitkörpern und dem mit dem SKM-Gummi zeigen. Ab einer Temperatur von 26 °C sind signifikante Unterschiede zwischen den drei BAM-Gleitkörpern und dem englischen Gleitkörper feststellbar. Trotz der unterschiedlichen Herstellchargen und somit unterschiedlichen Haltbarkeiten der BAM-Gleitkörper ist zwischen den Messwerten der drei BAM-Gleitkörper kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Hinsichtlich des Einflusses der Gleitkörper bleibt weiterhin festzustellen, dass die Werte des englischen Gleitkörpers stets ca. 2,5 - 3 SRT-Einheiten höher als die der BAM-Gleitkörper liegen, aber die Temperaturabhängigkeit ähnlich ist.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Wassertemperatur zeigte sich, dass diese bei größeren Temperaturdifferenzen zwischen der Lufttemperatur und der Wassertemperatur einen erheblichen Einfluss auf die gemessenen Werte hat und demzufolge bei Messungen mitefassen werden sollte. In Anlehnung an die Korrekturformel beim Seitenkraftmessverfahren (SKM), bei der sowohl die Fahrbahn- als auch die Wassertemperatur berücksichtigt wird, sollte gegebenenfalls auch bei Messungen mit dem SRT-Pendel der Wassertemperatureinfluss durch eine Korrektur berücksichtigt werden.

Dafür sind allerdings weitere Untersuchungen notwendig, bei denen die Temperatur des Wassers variiert wird. Unabhängig davon wird aber angeregt, bei den SRT-Messungen neben der Luft-, Fahrbahn- und Gleitkörpertemperatur auch die Temperatur des verwendeten Wassers zu erfassen und aufzuzeichnen, da in der Praxis die "Anpassung" der Wassertemperatur an die Lufttemperatur, vor allem wenn die Messung mit kaltem Wasser begonnen wird, kontinuierlich während der Messung erfolgt und somit nur schwer manuell

“richtig“ erfasst werden kann, um eine Korrektur des Wassertemperatureinflusses durch eine Formel vorzunehmen. Daher erscheint es sinnvoller, eine zulässige Abweichung zwischen der Luft- und der Wassertemperatur festzulegen, um Einflüsse infolge zu großer Differenzen zwischen den beiden Messwerten auszuschließen. Als eine praktikable Spanne zwischen der Luft- und der Wassertemperatur wird eine Differenz zwischen 10 K bis 15 K angesehen.

Der untersuchte Einfluss des Bedienpersonals stellte sich als nicht signifikant heraus. Allerdings wurden im Rahmen dieses Projekts nur Messungen von Personen durchgeführt, die schon über jahrelange Erfahrung im Umgang mit dem Gerät verfügen, sodass nicht zwischen Personen die Erfahrungen bzw. keine Erfahrung im Umgang mit diesem Messgerät haben, unterschieden werden kann.

Im Rahmen von weiterer Forschung sollte der Aspekt der Erfahrung im Umgang mit dem Messgerät näher betrachtet werden, wobei der Schwerpunkt dann auf den Vergleich zwischen unerfahrenen geschulten und unerfahrenen ungeschulten Personen gelegt werden sollte. Auch die durchgeführten in situ-Messungen unter realen Messbedingungen belegen, dass die neue Korrekturfunktion gemäß Burth [6] Vorteile hinsichtlich der Gleichmäßigkeit der korrigierten Messwerte über den gesamten Temperaturbereich gegenüber der aus den TP Griff-StB (SRT) [3] sowie der DIN EN 13036-4 [4] zeigt und somit in der Zukunft Anwendung finden sollte.

## 7 Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2008): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt: ZTV Asphalt-StB 07, Köln.
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2008): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton: ZTV Beton-StB 07, Köln.
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2004): Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SRT (TP Griff-StB (SRT)), Köln.
- [4] Deutsches Institut für Normung (DIN) (2003): DIN EN 13036-4: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen, Prüfverfahren, Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest, Berlin.
- [5] Road Research Laboratory (1960): Instructions for using the portable Skid-Resistance Tester, Road Note No. 27, 1st Edition, London.
- [6] Burth, K. (1962): Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen mit Pendelgeräten, in: Straße und Verkehr, Heft 10 (1962), S. 502-507.
- [7] Giles, C.G. ; Sabey, B. E. ; Cardew, K. H. F. (1964): Development and Performance of the Portable Skid-Resistance Tester (Road Research Technical Paper ; 66).
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1972): Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflussmesser, Köln.
- [9] Deutsches Institut für Normung (DIN) (2004): DIN EN ISO 13473-1: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe, Berlin.
- [10] Relative à l'adherence des chouches de roulement neufs et au contrôle de la macrotexture, circulaire n. 2002-39 du mai (2002).
- [11] Huschek, S. (u.a.) (2006): Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens - Teil 1 und 2, Berlin, Schlussbericht FE 04.192/2003/CRB.
- [12] Michel Gothié, LCPC (2005).
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2004): Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten (M BgA), Köln.
- [14] Do, M.-T. (2004): Contribution de échelles de texture routière à l'adherence des chaussées, Paris.
- [15] Deutsches Institut für Normung (DIN) (1998): DIN EN ISO 4287: Geometrische Produktspezifikationen (GPS), Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren, Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, Berlin.
- [16] Morgans, R. ; Lackovic, S. ; Cobbold, P. (1999): Understanding the IRHD and Shore Methods used in Rubber Harness Testing, Vortrag auf einer Tagung der Rubber Division der American Chemical Society, Paper No. 131, Orlando (Florida).
- [17] Briscoe, B. J. ; Sebastian, K. S. (1999): Rubber Chemistry and Technology.
- [18] Cerni, G. ; Bocci, M. (2000): Relationship between superficial and structural characteristics of pavements: the binder rheological contribution in the friction phenomenon; 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Book I, S. 111-121, Barcelona.
- [19] Bazlamit, S. M. ; REZA, F. (2005): Changes in Asphalt Pavement Friction Components and Adjustment of Skid Number for Temperature, in: Journal of Transportation Engineering, Heft 6 (2005), S. 470-476