

Qualitätskontrolle PWS

Wehner/Schulze
Quality Control

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 82

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Qualitätskontrolle PWS

Wehner/Schulze Quality Control

**Teil 1
Auswertung der Kenndaten
der PWS Prüfung**

**Teil 2
Auswertung von
Vergleichsuntersuchungen
zur Prüfung der Poliereinheit
mittels Schleifpapier**

**Part 1
Evaluating the characteristic
data of the PWS testing device**

**Part 2
Evaluating comparative studies
for checking the polishing unit
by means of sandpaper**

von/by

Dirk Jansen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 82

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, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt F1100.3211001:
Qualitätskontrolle PWS**

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293

ISBN 978-3-95606-095-3

Bergisch Gladbach, Mai 2014

Kurzfassung – Abstract

Qualitätskontrolle PWS

Die Prüfeinrichtung Wehner/Schulze der zweiten Generation, damit ist der Nachbau der von WEHNER und SCHULZE gebauten Berliner Maschine ab dem Jahr 2002 gemeint, wird inzwischen in einigen europäischen Ländern eingesetzt. Die Gerätebeschreibung und die Prognoseprüfung für Asphaltoberflächen sollen nun in das europäische Regelwerk übernommen werden. Ein Entwurf für die EN 12697-49 wird derzeit bearbeitet.

Obwohl die Prüfeinrichtung derzeit nur von dem Prüfgerätehersteller hergestellt und vertrieben wird, ist die Festlegung von Maschinenparametern und Toleranzen bei der Beschreibung der Prüfeinrichtung nicht unproblematisch. Viele Parameter können durch die maschinenbautechnische Seite beschrieben werden, bspw. Maßtoleranzen der Bauteile, andere werden allerdings erst durch die vielfache Anwendung definiert. Als Beispiel sei die Temperaturverteilung des Wasser-Quarzmehl-Gemisches genannt: Es wurde eine maximale Temperatur definiert, die durch ein Kühlsystem kontrolliert wird. Die tatsächliche Temperaturverteilung unterhalb der maximalen Temperatur und die Toleranzen ergeben sich allerdings erst durch den Messbetrieb und die Laborbedingungen selbst.

Um die bei der BAST gewonnenen Erfahrungen mit der Prüfeinrichtung Wehner/Schulze systematisch auszuwerten und festzuhalten, wurden die neben der Prüfgröße μ_{PWS} aufgezeichneten Daten ausgewertet. Es wurde zudem ein Vorschlag ausgearbeitet, der dem Bediener der Prüfeinrichtung online die Einhaltung der erforderlichen Parameter anzeigt.

Hinsichtlich der Präzision und Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse wird in den zuständigen Fachgremien diskutiert. Hintergrund ist vor allem ein teilweise unterschiedlicher Ausbaustand der Prüfeinrichtungen (wobei die Modifikationen in der Regel die Bedienbarkeit betreffen) sowie die nur eingeschränkten Möglichkeiten, die Prüfeinrichtung auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Für die Überprüfung der Messeinrichtung werden regelmäßig Messungen auf einer texturierten Glasplatte durchgeführt. Für die Überprüfung der Poliereinrichtung existiert jedoch keine Prüfoberfläche. Im vorliegenden Projekt wurde daher die Möglichkeit des Einsatzes von Schleifpapieren als Kontrollmedium untersucht.

PWS quality control

The second generation Wehner/Schulze Testing Device (PWS) – i.e. the redesigned machine originally developed by WEHNER and SCHULZE in Berlin in 2002 – is now in use in several countries in Europe. Both the device description and the prognostic test for asphalt surfacing are now to be adopted into the European set of regulations. A draft for the EN 12697-49 standard is currently being drawn up.

Although the testing device at present is only manufactured and sold by the one manufacturer of the testing device, the determination of the machine parameters and tolerances is not a trivial problem when describing the machine. While many of the parameters can be described from a mechanical engineering perspective – these include the dimensional tolerances of the components, other parameters, such as the temperature distribution of the water / quartz powder mixture, can only be defined as a result of frequent use. Although a maximum temperature has been defined – controllable by means of a cooling system, the actual temperature distribution below the maximum temperature as well as the tolerances, however, can only be obtained as a result of the measurement process and the laboratory conditions themselves.

For the purpose of systematically evaluating and recording the experiences gained at BAST with the Wehner/Schulze Testing Device, the data recorded together with the μ_{PWS} quantity was analysed. In addition, a proposal was drawn up to display the adherence of the required parameters to the operator of the testing device online.

Discussions are ongoing in the responsible committees regarding the precision and comparability of the test results. This is primarily due to a partly varying degree of development in the testing devices (whereby the modifications undertaken generally concern the operability) as well as the only limited possibilities available to check the functional capability of the testing device. Measurements were conducted on a regular basis on a textured glass plate to check the measuring device. However, no testing surface exists to test the polishing device. This project was therefore concerned with the possibility of using sandpapers as a control medium.

Inhalt

Teil 1:		Teil 2:	
Auswertung der Kenndaten der PWS-Prüfung		Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapierplatten	
1	Einleitung	7	
2	Aufbereitung der Kenndaten	7	1 Veranlassung
3	Beschreibung der Datenbasis	8	2 Ansätze zur Problemlösung
4	Kenndaten des Poliervorgangs	8	3 Voruntersuchungen
4.1	Anforderungen	8	3.1 Allgemeines zu Schleifpapier
4.2	Temperaturverteilung des Wasser-Quarzmehl-Gemisches	8	3.2 Auswahl von Schleifpapier und Kleber
4.3	Bahngeschwindigkeit und Drehzahl des Rollenkopfes	9	3.3 Versuchsprogramm
4.4	Poliermoment	9	3.4 Ergebnisse
5	Kenndaten des Messvorgangs	11	3.5 Zwischenfazit
5.1	Anforderungen	11	4 Erste Vergleichsuntersuchung
5.2	Temperatur des Prüfwassers	11	4.1 Vorgehen
5.3	Glasplatte	11	4.2 Prüfstellen
5.4	Interpolation des Reibwertes und Verlauf der Messkurve	12	4.3 Proben
6	Fazit	13	4.4 Messwerte
7	Direkte Kontrolle der Kenndaten	13	4.5 Poliermomente
			4.6 Offen Fragen
			5 Zweite Vergleichsuntersuchung
			5.1 Vorgehen
			5.2 Prüfstellen
			5.3 Proben
			5.4 Messwerte
			5.5 Poliermomente
			5.6 Zwischenfazit
			6 Ausblick und Fazit
			32

Contents

Part 1: Evaluating the characteristic data of the PWS testing device

1	Introduction	35
2	Preparing the characteristic data ...	35
3	Description of the database	36
4	Characteristic data of the polishing process	36
4.1	Requirements	36
4.2	Temperature distribution of the water / quartz powder mixture	36
4.3	Path speed and rotational speed of the roller head	37
4.4	Polishing torque	37
5	Characteristic data of the measuring process	39
5.1	Requirements	39
5.2	Temperature of the test water	39
5.3	Glass plate	39
5.4	Interpolation of the friction coefficient and shape of the measuring curve	40
6	Conclusion	41
7	Direct control of the characteristic data	41

Part 2: Evaluating comparative studies for checking the polishing unit by means of sandpaper

1	Instigation	45
2	Problem-solving approaches	45
3	Preliminary investigations	46
3.1	General information on sandpaper	46
3.2	Selecting the sandpaper and adhesive	46
3.3	Trial programme	46
3.4	Results	46
3.5	Interim conclusion	47
4	First comparative study	48
4.1	Approach	48
4.2	Testing laboratories	48
4.3	Samples	48
4.4	Measurements readings	48
4.5	Polishing torques	50
4.6	Outstanding questions	53
5	Second comparative study	53
5.1	Approach	53
5.2	Testing laboratories	54
5.3	Samples	54
5.4	Measurements readings	54
5.5	Polishing torques	57
5.6	Interim conclusion	60
6	Outlook and conclusion	60

Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS-Prüfung

1 Einleitung

Die Prüfeinrichtung Wehner/Schulze der zweiten Generation, damit ist der Nachbau der von WEHNER und SCHULZE gebauten Berliner Maschine ab dem Jahr 2002 gemeint, wird inzwischen in einigen europäischen Ländern eingesetzt. Die Gerätebeschreibung und die Prognoseprüfung für Asphaltoberflächen sollen nun in das europäische Regelwerk übernommen werden. Ein Entwurf für die EN 12697-49 wird derzeit bearbeitet.

Obwohl die Prüfeinrichtung derzeit nur von dem Prüfgerätehersteller Baustoff-Prüfsysteme Wennigsen, ehemals Maschinen- und Gerätebau Josef Freundl, hergestellt und vertrieben wird, ist die Festlegung von Maschinenparametern und Toleranzen bei der Beschreibung der Prüfeinrichtung nicht unproblematisch. Viele Parameter können durch die maschinenbautechnische Seite beschrieben werden, bspw. Maßtoleranzen der Bauteile, andere werden allerdings erst durch die vielfache Anwendung definiert. Als Beispiel sei die Temperaturverteilung des Wasser-Quarzmehl-Gemisches genannt: Es wurde eine maximale Temperatur definiert, die durch ein Kühlsystem kontrolliert wird. Die tatsächliche Temperaturverteilung unterhalb der maximalen Temperatur und die Toleranzen ergeben sich allerdings erst durch den Messbetrieb und die Laborbedingungen selbst.

Um die bei der BAST gewonnenen Erfahrungen mit der Prüfeinrichtung Wehner/Schulze systematisch auszuwerten und festzuhalten, wurden die neben der Prüfgröße μ_{PWS} aufgezeichneten Daten ausgewertet. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse sind im Folgenden beschrieben.

Hinsichtlich der Präzision und Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse wird in den zuständigen Fachgremien diskutiert. Hintergrund ist vor allem ein teilweise unterschiedlicher Ausbaustand der Prüfeinrichtungen (wobei die Modifikationen in der Regel die Bedienbarkeit betreffen) sowie die nur eingeschränkten Möglichkeiten, die Prüfeinrichtung auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Für die Überprüfung der Messeinrichtung werden zwar regelmäßig Messungen auf einer texturierten Glas-

platte durchgeführt, diese erzielt jedoch einen nur sehr geringen Reibwert, der nicht repräsentativ für die meisten Prüfoberflächen ist. Derzeit wird an anderer Stelle nach geeigneten Alternativen gesucht. Für die Überprüfung der Poliereinrichtung existiert jedoch keine Prüfoberfläche. Als Möglichkeit wird derzeit der Einsatz von Schleifpapieren als Kontrollmedium untersucht.

Die vorgestellten Erkenntnisse und Ergebnisse wurden im Rahmen des FGSV-Arbeitskreises „Polierprüfung und Polierresistenz“ sowie in einer zugehörigen Bearbeitergruppe zur Kommentierung des europäischen Normenentwurfs vorgestellt und diskutiert.

2 Aufbereitung der Kenndaten

Die Kenndaten werden während der PWS-Prüfung in einer Microsoft-Excel-Datei gespeichert. Zudem werden noch Textdateien erzeugt, welche die umfassenden Kenndaten der Vorgänge Polieren – Kalibrieren – Prüfen beinhalten. Für die Datensammlung sind die in Excel abgespeicherten Daten ungeeignet, da Excel nicht für die Verarbeitung großer Datenmengen geeignet ist. Hierfür bieten sich Datenbankprogramme wie beispielsweise Microsoft-Access an. Der Import von Daten aus Excel nach Access ist leider teilweise problematisch und aufwändig. Es wurden daher die in den Textdateien gespeicherten Daten importiert.

Hierzu wurden zunächst alle vorhandenen Textdateien in einem Verzeichnis gesammelt. Mit Hilfe eines Access-VBA-Makros, vgl. Tabelle 3, wurden die einzelnen Textdateien ausgelesen und einer Access-Tabelle übergeben.

Die Messdateien und somit die Access-Tabelle bestehen aus den folgenden Datenfeldern:

- Datum und Uhrzeit,
- Station (Polieren/Messen) + Belastungsstufe (fortlaufend),
- Gesamt-Polierüberrollungen,
- Teil-Polierüberrollungen,
- Drehzahl [1/min],
- Drehmoment [Nm],
- Temperatur (Quarzmehl bzw. Prüfwasser) [°C],
- Pumpleistung [%],

- Bahngeschwindigkeit [km/h],
- PWS-Reibwert μ ,
- Bahnlänge [m],
- Gesamtpolierleistung der Anlage (Total Polieren) [Überrollungen],
- Gesamtprüfleistung der Anlage (Total Prüfen) [Prüfungen],
- Wasserdüsenabstand d_s [mm],
- externer Aufnehmer (Wartungszwecke),
- Identifikationsnummer der Anlage,
- Versuchsdauer ab Versuchsstart [s],
- interpolierter Reibwert μ für Diagramme (nur in Excel-Datei).

Die Gruppierung der Datensätze ist über den aufgezeichneten Wert „Total Prüfen“ möglich, der jedem Prüfvorgang der Prüfmaschine eine eindeutige fortlaufende Nummer zuordnet. D. h., jeder Prüfvorgang, bestehend aus Polieren und Messen, kann somit eindeutig identifiziert werden.

Die statistische Auswertung der Datenbasis nach der Sammlung und Gruppierung in Access erfolge sowohl in Access wie auch in Excel und im Statistikprogramm IBM SPSS Statistics.

3 Beschreibung der Datenbasis

Die Datenbasis wird in drei Gruppen eingeteilt. Die Verteilung der Anzahl der Datensätze N ist wie folgt:

1. Kenndaten Polierstufe ... $N = 2.246.605$,
2. Kenndaten Kalibrierstufe ... $N = 4.547.832$,
3. Kenndaten Prüfstufe ... $N = 16.711.369$.

Die Kalibrierstufe bezeichnet dabei die Messung auf der texturierten Glasplatte. Die Anzahl N beinhaltet jeweils alle Einzelwerte des Polier- bzw. Messvorgangs, d. h. zum Beispiel im Falle der Prüfstufe die gesamte Aufzeichnung des Bremsvorgangs zwischen 100 und 0 km/h Bahngeschwindigkeit. Das Aufzeichnungsintervall der Polierstufe beträgt 1,024 Sekunden, das der Kalibrier- und Prüfstufe 0,008 Sekunden. Insgesamt beinhaltet die Datenbasis 1.352 Prüfvorgänge (Messvorgänge ohne Kalibriermessung).

Der PWS-Messwert als Ergebnis der Prüfung bei 60 km/h Bahngeschwindigkeit wird nicht direkt aus

den Rohdaten ausgelesen, sondern wird anhand der Regression der Messwerte im Bereich von 95 bis 5 km/h mit einem Polynom 6. Grades gebildet. Die so geglättete Messwertkurve wird nur in dem Excel-Messprotokoll gespeichert und konnte somit nicht in die Datenbasis übernommen werden. Alternativ wird für die folgenden Auswertungen der PWS-Wert aus dem Mittelwert der Messdaten zwischen 59 und 61 km/h gebildet. Aufgrund der hohen Stichprobenzahl kann diese Vorgehensweise für eine Abschätzung mit einer zufriedenstellenden Genauigkeit, vgl. hierzu auch Kapitel 5.4, herangezogen werden. Der so ermittelte PWS-Wert wird hier als μ^*_{PWS} bezeichnet.

4 Kenndaten des Poliervorgangs

4.1 Anforderungen

Der Poliervorgang wird neben der Anzahl der Überrollungen durch die Temperatur des Wasser-Quarzmehl-Gemisches, die Bahngeschwindigkeit bzw. die Drehzahl des Rollenkopfes und das unterhalb der Probe gemessene Drehmoment charakterisiert. Anforderungen an die Kenndaten werden in den TP Gestein, Teil 5.4.2 sowie im Entwurf der EN 12697-49 gestellt.

4.2 Temperaturverteilung des Wasser-Quarzmehl-Gemisches

Das Wasser-Quarzmehl-Gemisch soll eine Temperatur von 25 °C nicht überschreiten.

Die Rohdaten wurden nach Polierstufen gruppiert und für jede Polierstufe wurde der Mittelwert der aufgezeichneten Wasser-Quarzmehl-Gemisch-Temperaturen berechnet. Die so berechneten Mittelwerte wurden mit einer Klassenbreite von 1 K klassiert und statistisch ausgewertet.

In Tabelle 1 sind die statistischen Kenndaten zusammengefasst. Das Temperaturspektrum reicht

N [Anz.]	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel- wert	Standard- abweichung
	[°C]			
1.352	13,5	29,2	19,9	2,4
Anzahl Werte über 25 °C: 52 bzw. 4 %				

Tab. 1: Kenndaten zur Temperaturverteilung des Wasser-Quarzmehl-Gemisches

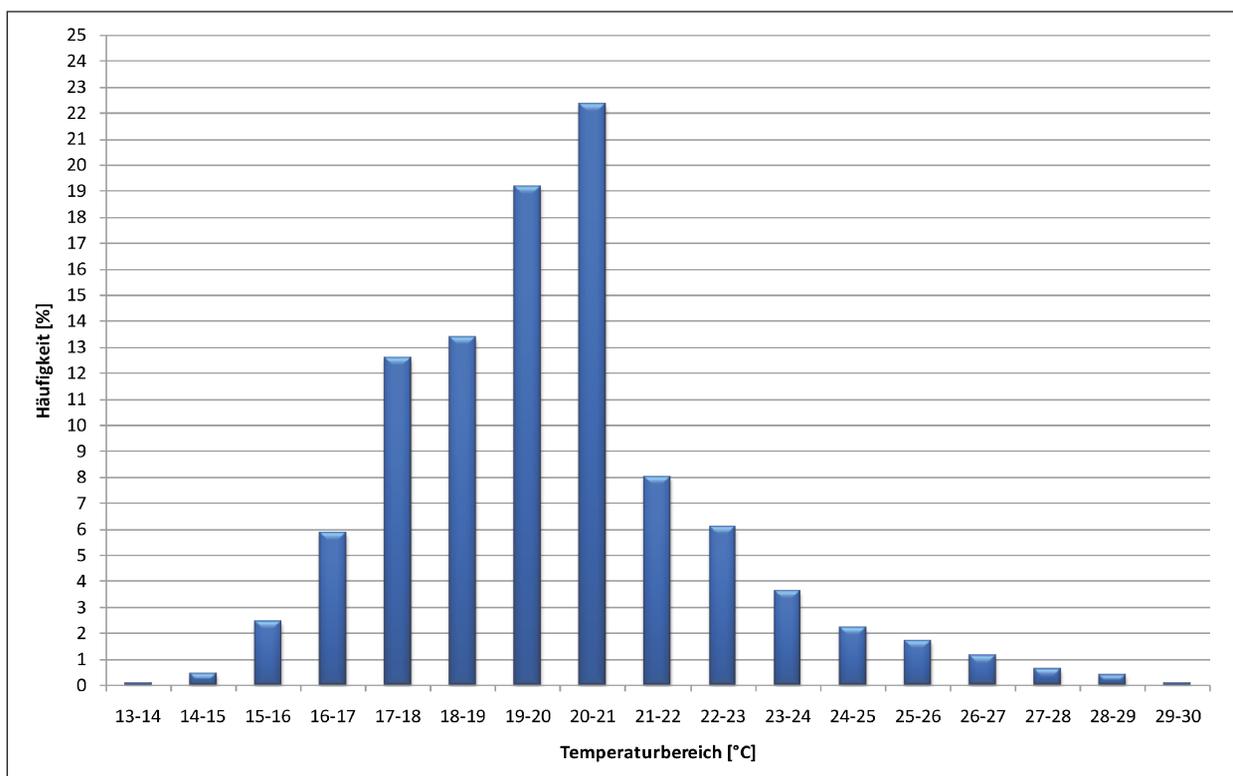


Bild 1: Temperaturverteilung Wasser-Quarzmehl-Gemisch

von rund 13 bis 29 °C bei einem Mittelwert von rund 20 °C. Bild 1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der klassierten Werte.

Die gesetzte Anforderung kann demnach in 96 % der Fälle erfüllt werden und ist somit praxistauglich. Prüfungen mit nicht erfüllten Anforderungen sind von der Auswertung auszuschließen.

4.3 Bahngeschwindigkeit und Drehzahl des Rollenkopfes

Die Bahngeschwindigkeit soll circa 17 km/h erreichen. Dies bedingt eine Drehzahl von 500 U/min, das heißt 90.000 Überrollungen pro Stunde. Der Entwurf der EN 12697-49 sieht als Anforderungswert 500 U/min \pm 5 U/min vor.

Es wurden 2.246.605 Werte ausgewertet. 94,4 % der Werte für die Bahngeschwindigkeit liegen zwischen 16 und 18 km/h. 1,7 % der Werte sind dem Beschleunigungsvorgang bzw. dem Auslauf bei Versuchsende zuzuordnen. Die zu 100 % verbleibenden 3,9 % beschreiben den Stillstand des Rollenkopfes zu Versuchsbeginn und -ende.

Im Falle der Auswertung der Umdrehungszahl liegen 94,2 % der Werte im Bereich von 490 bis

510 U/min. Die restlichen Werte sind wie die der Bahngeschwindigkeit dem Versuchsanfang und -ende zuzuordnen. Die genauere Betrachtung des o. g. Bereiches von 490 bis 510 U/min zeigt, dass die Anforderung \pm 5U/min ausgeschöpft und vereinzelt überschritten wird, vgl. Bild 2. Beeinflusst wird die Umdrehungszahl u. a. durch die Ebenheit der Oberfläche. Zufällig ausgewählte Auswertungen an einzelnen Prüfvorgängen verdeutlichen dies, vgl. Bild 3.

Die gesetzten Anforderungen an die Bahngeschwindigkeit und an die Umdrehungszahl können demnach erfüllt werden und sind somit praxistauglich.

4.4 Poliermoment

Quantitative Anforderungen an das Poliermoment bzw. den Poliermomentverlauf werden nicht gestellt. Der Hersteller gibt vor, dass auf einen gleichmäßigen Verlauf des Drehmomentverlaufes zu achten ist. Im österreichischen Regelwerk RVS ist diese Anforderung beispielsweise durch überhöhte Beispielkurven aufgenommen worden. Das Poliermoment wird unterhalb des Probentisches gemessen, d. h., es wird unter anderem beeinflusst von der Rotation des Polierkopfes, der Reibung (Schlupf)

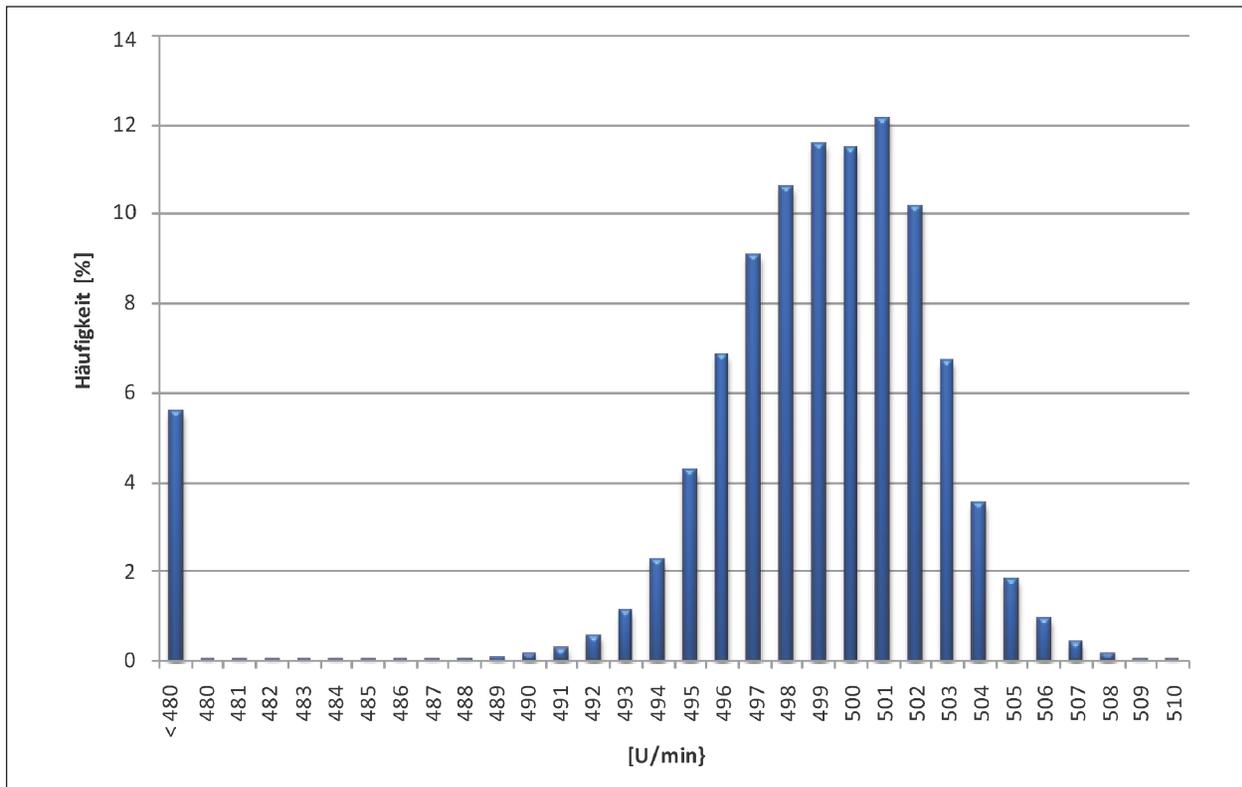


Bild 2: Verteilung der Umdrehungszahl im Bereich über 480 Umdrehungen pro Minute

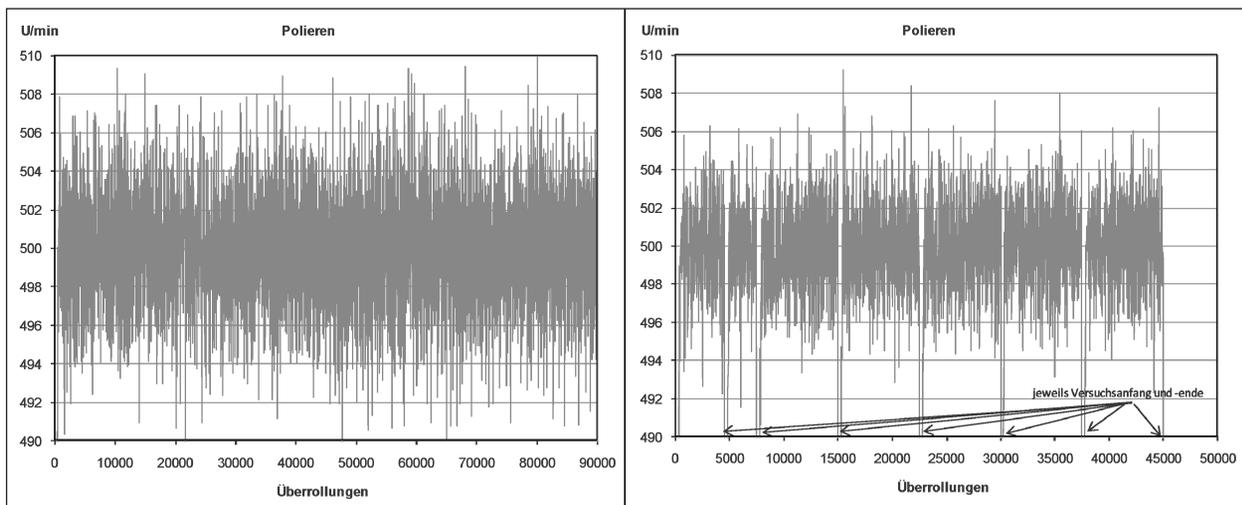


Bild 3: Beispiele für die Verteilung der Umdrehungszahl während des Versuches

der Polierrollen, der Reibung zwischen Polierrollen und Probekörperoberflächen und der Massenträgheit des Probekörpers. Eine klare physikalische oder rechnerische Trennung der verschiedenen Einflüsse ist nicht möglich. Die Verwendung des Poliermomentes, um Rückschlüsse auf bspw. den Schlupf der Polierrollen abzuleiten, ist daher nicht möglich.

Die aufgezeichneten Poliermomente wurden über die einzelnen Polierstufen gruppiert und gemittelt (vergleiche auch Vorgehensweise unter Kapitel 2).

Um die Daten des Versuchsbeginns und -endes auszuschließen, wurden die Datensätze mit einer Bahngeschwindigkeit unter 490 U/min von der Auswertung ausgenommen. Es stehen somit 1.319 Datensätze für die Auswertung zur Verfügung.

In Bild 4 ist die Häufigkeitsverteilung der Poliermomente bei einer Klassenbreite von 0,5 Nm dargestellt. Rund 82 % der Werte liegen im Bereich von 2,5 bis 3,5 Nm und rund 99 % im Bereich von 2 bis 4 Nm. Diese Werte können zum Beispiel als An-

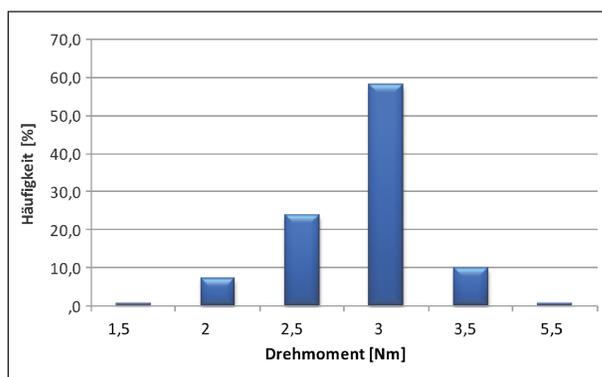


Bild 4: Häufigkeitsverteilung der Poliermomente

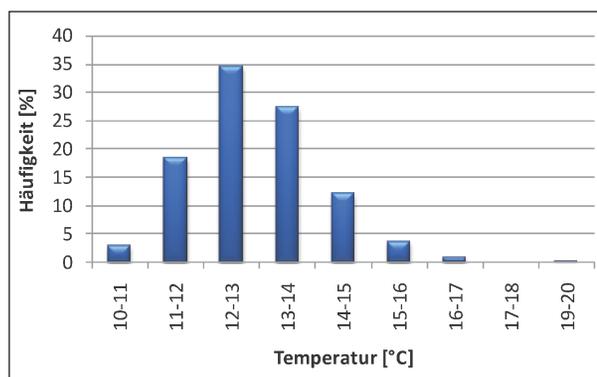


Bild 6: Häufigkeitsverteilung der Prüfwassertemperatur

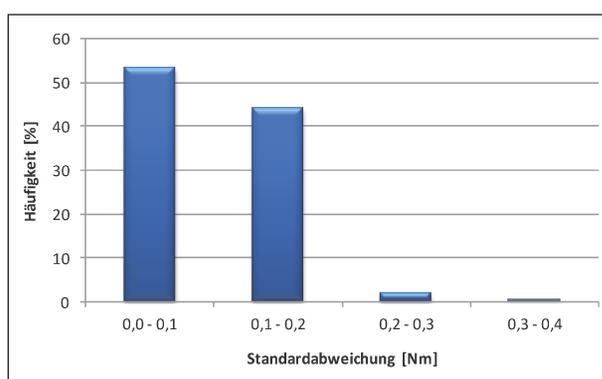


Bild 5: Häufigkeitsverteilung der Standardabweichungen der Poliermomente

haltswerte bei der Überprüfung des Poliervorganges im Labor angenommen werden.

Die Standardabweichungen der einzelnen Poliervorgänge (bei Umdrehungsgeschwindigkeiten von 490 bis 510 U/min) als statistisches Maß für die Gleichmäßigkeit des Poliervorganges liegen im Bereich bis zu 0,2 Nm, in Einzelfällen bis 0,4 Nm, vgl. Bild 5.

5 Kenndaten des Messvorgangs

5.1 Anforderungen

Während des Messvorgangs wird neben den für die Beurteilung der Griffigkeit wichtigen Kenndaten noch die Temperatur des Prüfwassers aufgezeichnet. Anforderungen werden an diese Temperatur und an den Messwert auf der Kontrollplatte (Glasplatte) gestellt.

5.2 Temperatur des Prüfwassers

Das für die Annäherung der Probenoberfläche benötigte Wasser soll in einem Temperaturbereich von 8 bis 16 °C liegen.

Ausgewertet wurde die während des Messvorgangs auf Probekörpern aufgezeichnete Wassertemperatur. Da vor dem 24.6.2009 an der Prüfeinrichtung der BAST das Kühlaggregat nicht zuverlässig arbeitete, der Fehler durch den Hersteller aber behoben wurde, wurden hier nur die Daten ab diesem Zeitpunkt ausgewertet.

Es wurde jeweils der Mittelwert pro Messvorgang ermittelt. Insgesamt wurden 710 Werte ausgewertet. 99 % der Werte liegen innerhalb der Anforderungswerte. 1 % der Werte liegen über dem Anforderungswert von maximal 16 °C (Maximum 22,6 °C), eine Unterschreitung des minimalen Anforderungswertes ist nicht zu beobachten. Die Ergebnisse sind in Bild 6 dargestellt.

Die Anforderungswerte können demnach mit der vorhandenen Kühltechnik erfüllt werden, die Beobachtung und Kontrolle der Temperatureaufzeichnung sind allerdings, besonders in den Sommermonaten, notwendig.

5.3 Glasplatte

Das Ergebnis der Messung auf der Kontrollplatte darf vom Sollwert um nicht mehr als 10 % abweichen. Der Sollwert ist nicht definiert und sollte daher als labortypischer Wert angesehen werden. Zur Orientierung wird vom Hersteller ein Bereich von 0,090 bis 0,115 μ_{PWS} angegeben.

Es wurden 1.647 Messwerte über fünf Jahre hinweg ausgewertet. Die Datenbasis enthält auch Messergebnisse, die außerhalb des Anforderungsbereiches liegen und zum Austausch oder Regenerieren der Messgummis geführt haben. Messungen mit nach optischen Gesichtspunkten stark beschädigten Messgummis wurden in der Regel nicht durchgeführt. Der Mittelwert für die bei der BAST

verwendeten Glasplatte liegt bei $0,113 \mu_{PWS}$, der zulässige Bereich somit zwischen $0,125 \mu_{PWS}$ und $0,102 \mu_{PWS}$.

5.4 Interpolation des Reibwertes und Verlauf der Messkurve

Der PWS-Reibwert wird als der Reibwert definiert, der bei einer Geschwindigkeit des Messkopfes von 60 km/h abgelesen wird. Da die aufgetragene Kurve der Reibwerte zur Geschwindigkeit systembedingt unstetig verläuft, wird eine geglättete Messkurve gebildet. Diese wird durch ein Polynom 6. Grades im Geschwindigkeitsbereich von 95 bis 5 km/h angenähert. Die ungeglättete Messkurve wird weder im Messprotokoll ausgegeben noch dem Laboranten während der Prüfung angezeigt. Bild 7 zeigt für eine zufällig ausgewählte Messung den geglätteten Verlauf der Messkurve und die tatsächliche Messkurve sowie in Vergrößerung den Bereich zwischen 50 und 70 km/h.

Für fünf zufällig ausgewählte Prüfungen auf verschiedenen Oberflächen wurde das Bestimmtheits-

maß R^2 für die polynomische Funktion bestimmt, vgl. Tabelle 2. Zudem wurden der Mittelwert der Rohdaten im Geschwindigkeitsbereich $\pm 0,5$ km/h um 60 km/h sowie die Spannweite der Werte in diesem Bereich berechnet und dem im Protokoll angegebenen Wert gegenübergestellt.

Ergebnis dieser Auswertung ist, dass die durch das Polynom 6. Grades angepassten Werte in der Regel gut mit den gemittelten Rohdaten übereinstimmen, jedoch die Interpretation der Messergeb-

Oberfläche	R^2	Rohdaten ^{1, 2}	delta min/max ²	Protokollwert ³
Schleifpapier	0,88	0,649	0,031	0,656
OPA	0,43	0,494	0,049	0,492
OPA	0,91	0,251	0,060	0,256
Waschbeton	0,36	0,428	0,100	0,426
Sand	0,40	0,509	0,037	0,509

1 Mittelwert
2 für den Geschwindigkeitsbereich 59,5 bis 60,5 km/h
3 Interpolierter Wert aus geglätteter Kurve

Tab. 2: Vergleich der Interpretation der Messkurve

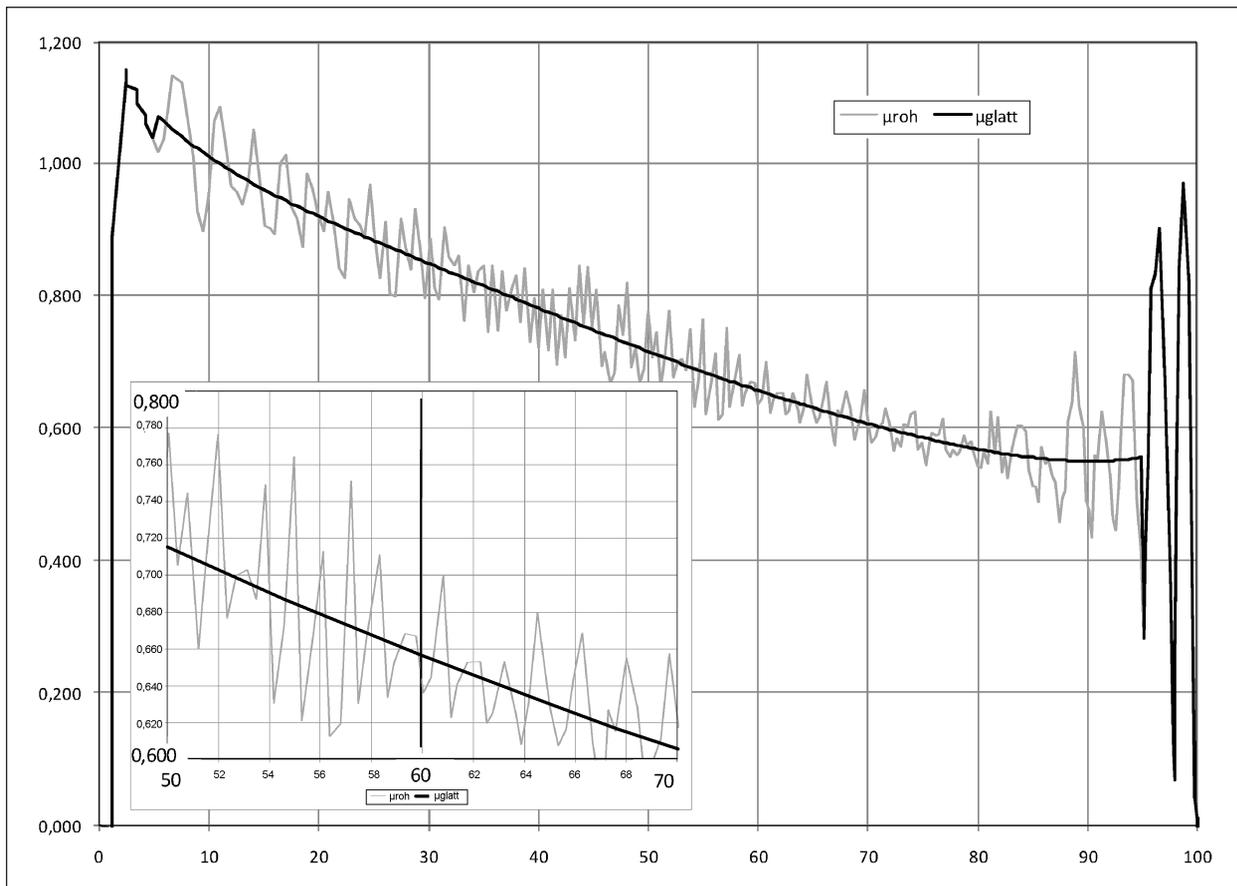


Bild 7: Ungeglättete (μ_{roh}) und geglättete Messkurve (μ_{glatt})

nisse im Bereich der dritten Dezimalstelle jeweils kritisch zu hinterfragen ist. Hilfreich für die Interpretation ist auch die Betrachtung des tatsächlichen Verlaufs der Messkurve (Rohdaten). So ist daraus beispielsweise erkennbar, ob der Messkopf während der Messung gut auf der Probenoberfläche aufgesessen ist oder sich, z. B. im Falle sehr unebener Oberflächen oder sehr hoher Verzögerungen, von der Probenoberfläche abgelöst hat.

6 Fazit

Es wird eine Vielzahl von Kenndaten während des Poliervorgangs und des Messvorgangs aufgezeichnet. Anhand dieser Werte konnte gezeigt werden, dass die vorhandenen und geplanten Anforderungen an die Prüfeinrichtung erfüllbar sind.

Die Kenndaten des Poliervorgangs und der Messung werden dem Bediener der Prüfeinrichtung während der Bedienung nur teilweise angezeigt. Warnmeldungen, beispielsweise bei Überschreitung der zulässigen Temperatur des Prüfwassers, werden nicht ausgegeben.

Ebenso werden im Prüfprotokoll nur wenige Werte ausgegeben, die über die Qualität der Prüfung Auskunft geben. Konkret werden neben den Messwer-

ten auf der Probe und der Glasplatte nur der Verlauf der Umdrehungszahl und der Drehmomentverlauf grafisch ausgegeben. Die für die genauere Qualitätskontrolle notwendigen Daten sind in den Messdateien protokolliert, müssen jedoch erst aufbereitet werden.

Zur Beseitigung dieser Unzulänglichkeiten wird im Folgenden eine Möglichkeit der direkten Kontrolle der Kenndaten vorgestellt.

7 Direkte Kontrolle der Kenndaten

Wie vorangegangen erläutert, werden zahlreiche Kenndaten während des Prüfvorganges erfasst, jedoch dem Prüf- und Auswertepersonal nicht direkt angezeigt. Die Kenndaten werden in kurzen Zeitabständen zwischen der Prozessorsteuerung der PWS-Prüfeinrichtung und dem daran angeschlossenen PC ausgetauscht. Dies ermöglicht eine Online-Kontrolle des Prüfvorgangs, die dann zur Entscheidung der Annahme oder des Verwerfens der Prüfung bzw. des Prüfergebnisses herangezogen werden kann.

Möglich wird dies durch die Kontrolle der Prüfeinrichtung und Ausgabe der Prüfwerte bzw. Kenn-

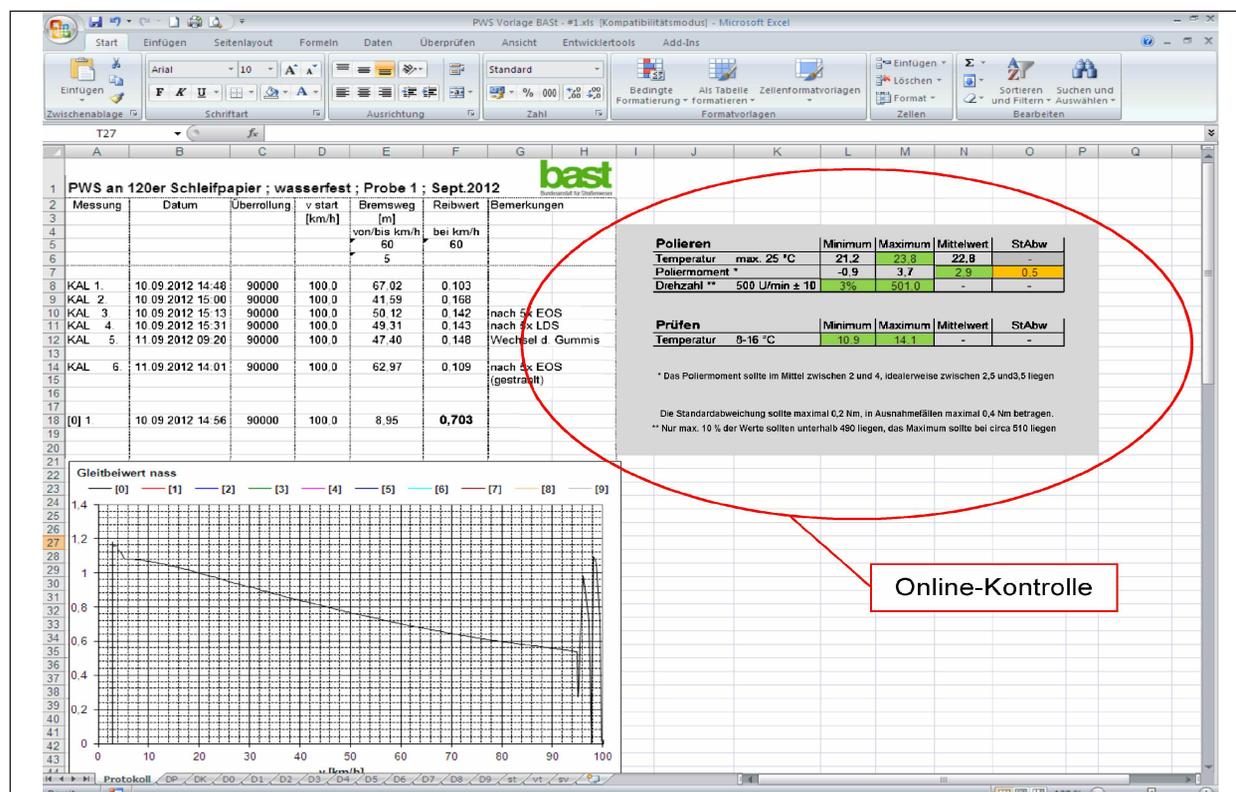


Bild 8: Beispiel für die Online-Kontrolle

MS Access VBA-Makro (Modul) zum Import von mehreren *.txt Dateien in eine Access-Datenbank

Voraussetzung: Alle zu importierenden Dateien befinden sich im gleichen Verzeichnis, hier im Verzeichnis „D:\Import“

In Access ist eine Tabelle definiert, welche die notwendige Struktur (Anzahl Felder/Spalten) enthält. Der Name der Tabelle ist frei wählbar, hier „Daten“.

```
Option Compare Database
Option Explicit

Sub MehrereDateienImportierenV1()
' Startverzeichnis für die Suche angeben
Const SuchVerzeichnis = "D:\Import"
Const DatTyp = "*.txt"
' Zieltabelle, an welche die Daten angefügt werden sollen
Const ZielTab = "Daten"
Dim i As Integer
Dim AktDatei As String

AktDatei = Dir(SuchVerzeichnis & "\* & DatTyp)
While Len(AktDatei) > 0
    Debug.Print AktDatei
    EineTXTDateiEinlinkenUndAnfügen SuchVerzeichnis & "\* & AktDatei, ZielTab
    AktDatei = Dir
Wend
End Sub

Sub EineTXTDateiEinlinkenUndAnfügen(AktDatFullNam As String, _
    ZielTab As String)
Const TmpLink = "TabtmpLink"
Const ImportSpez = "PWS_Import"

On Error Resume Next
DoCmd.DeleteObject acTable, TmpLink
On Error GoTo 0
DoCmd.TransferText acLinkDelim, ImportSpez, TmpLink, AktDatFullNam
CurrentDb.Execute "INSERT INTO " & ZielTab & _
    " SELECT " & TmpLink & ".*" & _
    " FROM " & TmpLink & ";"
End Sub
```

Quelle: http://www.office-loesung.de/ftopic67562_0_0_asc.php#272150

daten in einer Microsoft-Excel-Umgebung. Die vorhandene Excel-Vorlage kann nach Belieben angepasst werden. Da systemrelevante Komponenten (VBA-Programmierung) durch den Hersteller gesperrt sind und da die eigentliche Steuerung der Prüfeinrichtung über eine vom PC entkoppelte Prozessorsteuerung erfolgt, besteht nur eine geringe Gefahr, „schädliche“ Eingriffe zu erzeugen. Zur Sicherheit sollte jedoch bei Änderungen der Excel-Vorlage stets mit einer Sicherheitskopie gearbeitet werden.

Ein Beispiel, wie diese Online-Kontrolle umgesetzt werden kann, ist in Bild 8 gegeben. Die Daten werden während der Prüfung kontinuierlich fortgeschrieben. Die Daten zum Schluss der Prüfung werden zudem mit in der Datei abgespeichert, so dass auch durch das Auswertepersonal eine rückblickende Kontrolle zur Annahme oder Verwerfung der Prüfung erfolgen kann.

Im folgenden Abschnitt „Erstellung der Online-Kontrolle in der PWS-Vorlage“ wird eine Beschreibung zur Erstellung dieser Visualisierung gegeben.

Erstellung der Online-Kontrolle in der PWS-Vorlage

Die Online-Kontrolle kann an beliebiger Position innerhalb der PWS-Vorlage platziert werden. Die Position sollte jedoch so erfolgen, dass die Online-Kontrolle während des Polier- und Messvorgangs für den Maschinenbediener sichtbar ist. Soll die Online-Kontrolle zudem noch im gedruckten Prüfprotokoll erscheinen, so ist der Druckbereich entsprechend anzupassen.

Für die Online-Kontrolle werden lediglich Tabellenfunktionen verwendet. Eine Programmierung in VBA ist nicht notwendig und aufgrund der Sperrung der Vorlage auch nicht möglich.

In folgender Tabelle ist die fertige Online-Kontrolle mit Kenndaten dargestellt:

Polieren	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 25 °C	21,2	23,8	22,8	-
Poliermoment*	-0,9	3,7	2,9	0,5
Drehzahl** 500 U/min ± 10	3 %	501,0	-	-
Prüfen	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 8-16 °C	10,9	14,1	-	-
* Das Poliermoment sollte im Mittel zwischen 2 und 4, idealerweise zwischen 2,5 und 3,5 liegen Die Standardabweichung sollte maximal 0,2 Nm, in Ausnahmefällen maximal 0,4 Nm betragen. ** Nur max. 10 % der Werte sollte unterhalb 490 liegen, das Maximum sollte bei circa 510 liegen				

Hier hinter verbergen sich folgenden Tabellenfunktionen (Zuordnung über Buchstaben A bis K):

Polieren	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 25 °C	A	B	C	-
Poliermoment*	D	E	F	G
Drehzahl** 500 U/min ± 10	H	I	-	-
Prüfen	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 8-16 °C	J	K	-	-
* Das Poliermoment sollte im Mittel zwischen 2 und 4, idealerweise zwischen 2,5 und 3,5 liegen Die Standardabweichung sollte maximal 0,2 Nm, in Ausnahmefällen maximal 0,4 Nm betragen. ** Nur max. 10 % der Werte sollte unterhalb 490 liegen, das Maximum sollte bei circa 510 liegen				

A = MIN(DP!G:G)

B = MAX(DP!G:G)

C = MITTELWERT(DP!G:G)

D = MIN(DP!F:F)

E = MAX(DP!F:F)

F = MITTELWERT(DP!F:F)

G = STABW(DP!F:F)

H = ZÄHLENWENN(DP!E:E;"<490")/ZÄHLENWENN(DP!E:E;">0") (Zahlenformat %)

I = MAX(DP!E:E)

J = MIN(D0!G:G;'D1!G:G;'D2!G:G;'D3!G:G;'D4!G:G;'D5!G:G;'D6!G:G;'D7!G:G;'D8!G:G;'D9!G:G;DK!G:G)

K = MAX(D0!G:G;'D1!G:G;'D2!G:G;'D3!G:G;'D4!G:G;'D5!G:G;'D6!G:G;'D7!G:G;'D8!G:G;'D9!G:G;DK!G:G)

Des Weiteren werden die Felder B, F, G, H, I, J und K noch mit bedingten Formatierungen (Registertkarte „Start“ – Befehl „Bedingte Formatierung“) belegt:

	Wenn ...	dann ...
B	Zellwert <= 25 Zellwert > 25	Zellfarbe Grün Zellfarbe Rot
F	Zellwert nicht zwischen 2 und 4 Zellwert zwischen 2,5 und 3,5 Zellwert zwischen 2 und 4	Zellfarbe Orange Zellfarbe Grün Zellfarbe Hellgrün
G	Zellwert > 0,9 Zellwert > 0,2 Zellwert <= 0,2	Zellfarbe Rot Zellfarbe Orange Zellfarbe Grün
H	Zellwert <= 0,1 Zellwert > 0,1	Zellfarbe Grün Zellfarbe Rot
I	Zellwert <= 510 Zellwert > 515 Zellwert > 510	Zellfarbe Grün Zellfarbe Rot Zellfarbe Orange
J	Zellwert < 8 Zellwert >= 8	Zellfarbe Rot Zellfarbe Grün
K	Zellwert > 16 Zellwert <= 16	Zellfarbe Rot Zellfarbe Grün

Teil 2:

Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapierplatten

1 Veranlassung

Das Polierverfahren nach WEHNER/SCHULZE (PWS) oder auch FAP (Friction after Polishing) wird für die Prüfung der Polierresistenz von Gesteinskörnungen und zur Griffigkeitsprognose von Oberflächen aus beispielsweise Asphalt oder Beton verwendet. Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Poliereinheit und einer Messeinheit. Für die Annahme der Prüfung müssen gemäß den Prüfvorschriften TP Gestein-StB, Teil 5.4.2 und prEN 12697-49 bestimmte Parameter während des Poliervorganges und der Messung eingehalten werden. Diese Parameter sind im Wesentlichen die Temperaturen und die Durchflussmengen des verwendeten Wassers. Zur Überprüfung der Messeinheit sind vor einer Messung auf einem Probekörper die Messgummis mittels einer Messung auf einer texturierten Glasplatte zu überprüfen. Liegt diese Messung in einem definierten Toleranzbereich um den für das Labor, respektive für die Maschine, typischen Wert, so wird davon ausgegangen, dass die Messeinheit korrekt funktioniert und die Messgummis für die Prüfung verwendet werden können.

Eine gleichwertige Prüfung der Poliereinheit existiert bislang nicht. Die Überprüfung erfolgt lediglich im Rahmen der laboreigenen Eigenüberwachung, d. h. Kontrolle des Wasser-Quarzmehl-Durchflusses und manuelle/visuelle Kontrolle des Zustandes der Polierkontrolle und der Leichtgängigkeit des Polierrollenlagers. Die Sicherstellung und Feststellung der vollen Funktionstüchtigkeit der Anlage obliegen somit dem subjektiv geprägten Urteil des Bedieners der Prüfeinrichtung. Ein Abgleich zu Prüfeinrichtungen in anderen Laboren erfolgt dabei nicht.

Es ist daher das Ziel, eine Prüfmethode oder ein Prüfmedium zu entwickeln, das eine objektive, laborunabhängige Beurteilung der Funktionstüchtigkeit der Poliereinrichtung erlaubt.

2 Ansätze zur Problemlösung

Eine erste Idee war die Kontrolle der durch die Poliereinheit gemessenen und aufgezeichneten Poliermomente. Das Poliermoment ist das Moment, welches unterhalb der Messprobe durch radiale Verschiebung der Messprobe während des Poliervorgangs gemessen wird, vgl. Bild 9. Erste Auswertungen zeigten jedoch, dass dieses Moment deutlich von der Struktur der zu prüfenden Oberfläche abhängig ist und daher für eine absolute Auswertung und Bewertung nicht geeignet ist. Dennoch konnte festgestellt werden, dass eine qualitative und visuelle Bewertung des Verlaufes des Poliermomentes hilft, grundlegende Defekte der Poliereinheit, wie zum Beispiel ein defektes Polierrollenlager, zu erkennen.

Eine weitere Idee war, eine polierbare Oberfläche zu verwenden, die beispielsweise durch industrielle Fertigung eine gleichbleibende Qualität bzw. Polierresistenz aufweist. Grundsätzlich kann dies jedwede Oberfläche sein, die sich in die Prüfeinrichtung einbauen lässt. Einschränkende Aspekte sind beispielsweise die Handhabung, das Gewicht, der Preis oder ein hoher Platzbedarf bei der Lagerung größerer Stückzahlen für periodisch durchzuführende Kontrollen der Poliereinrichtung. Als Ergebnis dieser Vorüberlegungen wurden beispielsweise Gehwegplatten als Kontrollmedium bei den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

Für den hier gezeigten Ansatz wurde herkömmliches Schleifpapier aus Baumärkten verwendet. Aufgrund der industriellen Fertigung, des niedrigen Preises, der unproblematischen Beschaffung und Lagerung größerer Mengen sowie aufgrund der großen Ähnlichkeit zu den typischerweise in der PWS-Prüfeinrichtung zu polierenden Oberflächen kann zunächst von einer Eignung als Kontrollmedium ausgegangen werden.

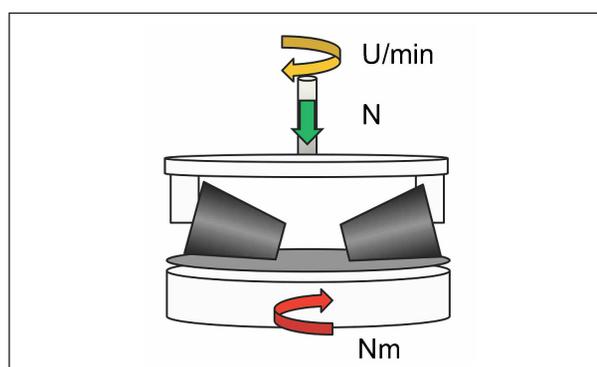


Bild 9: Prinzipskizze zur Messung des Poliermoments

3 Voruntersuchungen

3.1 Allgemeines zu Schleifpapier

BASSt-intern wurden zunächst Voruntersuchungen durchgeführt, welche die generelle Eignung und Auswahl eines Schleifpapiers sowie die Möglichkeiten der Befestigung des Schleifpapiers auf einer Trägerplatte feststellen sollten.

Es wird zwischen Schleifpapier und Schleifleinen unterschieden. Grundsätzlicher Unterschied ist dabei das Trägermedium Papier oder Gewebe. Schleifleinen (Gewebe) ist zwar für höher beanspruchte Anwendung konzipiert, da das Gewebe im Vergleich zu Papier weniger reißt, jedoch wird ein nicht-wasserfester Klebstoff verwendet, um das Schleifmittel auf der Oberfläche zu befestigen. Im Falle von Schleifpapier ist zudem zwischen Trocken- und Nassschleifpapier zu unterscheiden. Die Angabe der Körnung ist ein Maß für die Feinheit der Körnung und deren Dichte auf dem Schleifpapier. Je höher die Zahl, desto feiner ist die Körnung. In der Regel werden als Schleifmittel synthetische Korunde, bspw. Aluminiumoxide, verwendet. Normen zu Schleifpapier werden durch die FEPA (Federation of European Producers of Abrasives) erstellt.

3.2 Auswahl von Schleifpapier und Kleber

Für erste Tastversuche wurden zwei Nassschleifpapiere mit einer Körnung von 120, ein Nassschleifpapier mit einer Körnung von 180 und ein Schleifleinen aus den Baumärkten OBI und BAUHAUS verwendet. Hierbei handelte es sich um Eigenmarken der Baumarktketten. Die Schleifpapiere wurden per Hand in Form geschnitten und auf eine runde Trägerplatte, Durchmesser 225 mm, aus Sperrholz geklebt. Es kamen drei verschiedene Klebstoffe zum Einsatz: UHU 2-Komponentenkleber (Hersteller: Henkel), Kleiberit 2-Komponentenkleber (Hersteller: Kleiberit) und Epoxidharz L1100 (Hersteller R & G). Die Sperrholzplatten wurden vorab mit den jeweiligen Klebstoffen zur Versiegelung bestrichen.

3.3 Versuchsprogramm

Es wurden für diverse Kombinationen, vgl. Tabelle 3, jeweils zwei Schleifpapierplatten hergestellt.

Nach dem Austrocknen des Klebstoffes wurden die Schleifpapierplatten mit jeweils 90.000 Überrollungen in der PWS-Prüfeinrichtung belastet und der Reibwert jeweils doppelt bestimmt.

3.4 Ergebnisse

Der Versuch 1, vgl. Tabelle 3, zeigte, dass Schleifleinen ungeeignet ist, da die Körnung mit nicht-wasserfestem Klebstoff auf dem Gewebe befestigt ist. Nach Abschluss der Polierprüfung war keine Körnung mehr auf dem Schleifleinen vorhanden.

Im Versuch 2, vgl. Tabelle 3, überstand das Schleifpapier die Polier- und Messbeanspruchung. Auf der ersten Platte wurden jedoch ein Einreißen des Papiers und eine Blasenbildung beobachtet, vgl. Bild 10. Die Reibwerte, vgl. Tabelle 4, beider Platten liegen mit 0,634 und 0,629 (erste Messung) sehr nah beieinander. Die Differenz von 0,005 liegt deutlich unterhalb der bei PWS-Messungen in der Regel anzunehmenden Wiederholpräzision von 0,03 Einheiten.

Im Versuch 3, vgl. Tabelle 3, überstand das Schleifpapier grundsätzlich die Polier- und Messbeanspruchung, es waren jedoch mehr Rissansätze u. Ä. festzustellen als im Versuch 2. Die Reibwerte, vgl. Tabelle 4, beider Platten liegen mit 0,683 und 0,663 (erste Messung) nah beieinander. Die Differenz von 0,020 liegt unterhalb der bei PWS-Messungen in der Regel anzunehmenden Wiederholpräzision von 0,03 Einheiten.

Im Versuch 4, vgl. Tabelle 3, übersteht das Schleifpapier die Polier- und Messbeanspruchung. Mit den Reibwerten 0,540 und 0,501 ergab sich bei diesem Tastversuch jedoch eine große Differenz zwischen den beiden Schleifpapierplatten.

Versuch Nr.	Schleifpapier	Kleber
1	120er Schleifleinen OBI-Eigenmarke Lux	UHU 2-K
2	120er Nassschleifpapier OBI-Eigenmarke Lux	UHU 2-K
3	120er Nassschleifpapier BAUHAUS-Eigenmarke	Kleiberit 2-K
4	180er Nassschleifpapier OBI-Eigenmarke Lux	Kleiberit 2-K
5	120er Nassschleifpapier OBI-Eigenmarke Lux	L1100 2-K

Tab. 3: Versuchsprogramm der Voruntersuchungen



Bild 10: Intakte (links) und gerissene (rechts) Schleifpapierplatte

Versuch Nr.	Reibwert 1. Messung	Reibwert 2. Messung	Schäden am Schleifpapier durch Polier- und Messvorgang	Geeignet für weitere Untersuchungen
	Platte 1 Platte 2 Platte 3 Mittelwert	Platte 1 Platte 2 Platte 3 Mittelwert		
1	- - -	- - -	ja	nein
2	0,634 0,629 - 0,632	0,594 0,620 - 0,607	ja	nein
3	0,683 0,663 - 0,673	0,646 0,642 - 0,644	ja	nein
4	0,540 0,501 - 0,521	0,519 0,504 - 0,512	nein	ja
5	0,656 0,624 0,639 0,640	0,643 0,608 0,639 0,630	nein	ja

Tab. 4: Auswertung der Voruntersuchungen

Im Versuch 5, vgl. Tabelle 3, wurden drei Schleifpapierplatten untersucht. Alle Schleifpapierplatten überstanden die Polier- und Messbeanspruchung. Die Reibwerte, vgl. Tabelle 4, der Platten lagen mit 0,656, 0,624 und 0,639 (erste Messung) nah beieinander. Die maximale Differenz von 0,032 liegt im Bereich der bei PWS-Messungen in der Regel anzunehmenden Wiederholpräzision von 0,03 Einheiten.

3.5 Zwischenfazit

Entscheidend für die Anwendbarkeit ist die Wahl des Schleifpapiers in Kombination mit dem Kleb-

stoff. In den ersten Tastversuchen hat sich die Kombination „120er Nassschleifpapier OBI-Eigenmarke Lux mit Epoxidharzkleber L1100 2-K“ bewährt. Mit einer Körnung von 120 wurden Messwerte im Bereich von 0,64 erzielt. Bei Verwendung eines Schleifpapiers mit einer Körnung von 180 wurden Messwerte im Bereich 0,52 erzielt.

Insbesondere aufgrund der relativ niedrigen Streuungen, die im Bereich der üblich anzunehmenden Wiederholpräzision des Prüfverfahrens liegen, scheint die Vorgehensweise für weitere Untersuchungen zur Definition eines Prüfmittels geeignet zu sein.

4 Erste Vergleichsuntersuchung

4.1 Vorgehen

Als Ergebnis der oben genannten Voruntersuchungen wurden Vergleichsuntersuchungen an drei PWS-Prüfeinrichtungen, einschließlich der Prüfeinrichtung der BAST durchgeführt.

Es wurden Schleifpapierplatten durch die BAST gefertigt und versendet. Die teilnehmenden Prüfstellen bekamen die Aufgabe, die Schleifpapierplatten mit 90.000 Überrollungen zu polieren und anschließend den Griffigkeitswert zweimal (sofern möglich) zu messen. Bei allen Messungen sollte zudem die standardmäßige Messung auf der texturierten Glasplatte erfolgen. Im Anschluss daran wurden die Schleifpapierplatten für eine Nachmessung zur BAST zurückgeschickt.

4.2 Prüfstellen

Die teilnehmenden Prüfinstitute, mit Ausnahme der BAST, werden im Folgenden mit dem Kürzel „A“ und „B“ anonymisiert benannt. Die BAST trägt bei den folgenden Auswertungen das Kürzel „Z“.

Die teilnehmenden Prüfinstitute verfügen über langjährige Erfahrungen mit der Prüfeinrichtung PWS und den notwendigen wissenschaftlichen bzw. ingenieurtechnischen Sachverstand.

4.3 Proben

Die Schleifpapierplatten wurden aus 120er Nassschleifpapier, OBI-Eigenmarke Lux und Epoxidharzkleber L1100 2-K gefertigt.

Von Prüfinstitut A wurden drei Schleifpapierplatten, benannt mit A1, A2 und A3, geprüft.

Prüfinstitut B hat zweimal drei Schleifpapierplatten geprüft: B1, B2 und B3 wurden mit alten, benutzten (Herstellung 5/2005) Polierrollen poliert; B4, B5 und B6 wurden mit neuen (eingefahrenen) Polierrollen poliert.

Prüfinstitut Z hat die Schleifpapierplatten Z1, Z2, Z3 und Z4 geprüft. Im Anschluss an die Prüfung von Z1, Z2 und Z3 stellte sich heraus, dass eins von drei Polierrollenlagern defekt war. Daraufhin wurden alle drei Polierrollenlager getauscht und die Schleifpapierplatte Z4 geprüft.

4.4 Messwerte

In Tabelle 5 sind die Mittelwerte und Standardabweichung der jeweils 1. und 2. Messung (A und Z4: keine 2. Messung) dargestellt. Deutlich zu erkennen sind das hohe Niveau der Werte A, das niedrige Niveau der Werte B1-B3 (alte Polierrollen) und das ähnliche Niveau der Werte B4-B6 und Z. Auffällig ist die hohe Standardabweichung der Messungen B4-B6. Bild 11 verdeutlicht die Ergebnisse und verlangt eine Einzelwertauswertung der Werte von Prüfinstitut B.

Die deutlich spreizenden Ergebnisse B4 bis B6 spiegeln sich teilweise in den Messwerten auf der Glasplatte (Kalibrierwert) wider, vgl. Bild 12. Prüfinstitut B hat als einziges Prüfinstitut die Messgummis zwischen den Messungen nicht auf anderen Oberflächen „regeneriert“, was im Versuchsprogramm auch nicht gefordert war. In der zeitlichen Abfolge wurde B5 vor B4 und B6 geprüft. Wenn der Wert B5 als Vergleichswert verwendet wird (siehe auch Vergleich der Kalibrierwerte), so liegen die Werte von Prüfinstitut B deutlich unter den anderen Messwerten.

Auffällig bei der Auswertung der Messwerte ist, dass bei den Prüfinstituten A und B eine un stetige

Probe	Reibwert Messung 1 Mittelwert	Reibwert Messung 1 Standardabweichung	Reibwert Messung 2 Mittelwert	Reibwert Messung 2 Standardabweichung
A – (A4-A6)	0,762	0,011	-	-
B – (B1-B3)	0,529	0,014	0,500	0,005
B – (B4-B6)	0,656	0,118	0,648	0,052
Z – (Z1-Z3)	0,640	0,016	0,630	0,009
Z – (Z4)	0,659	-	-	-

Tab. 5: Reibwerte – Vergleichsuntersuchungen 1

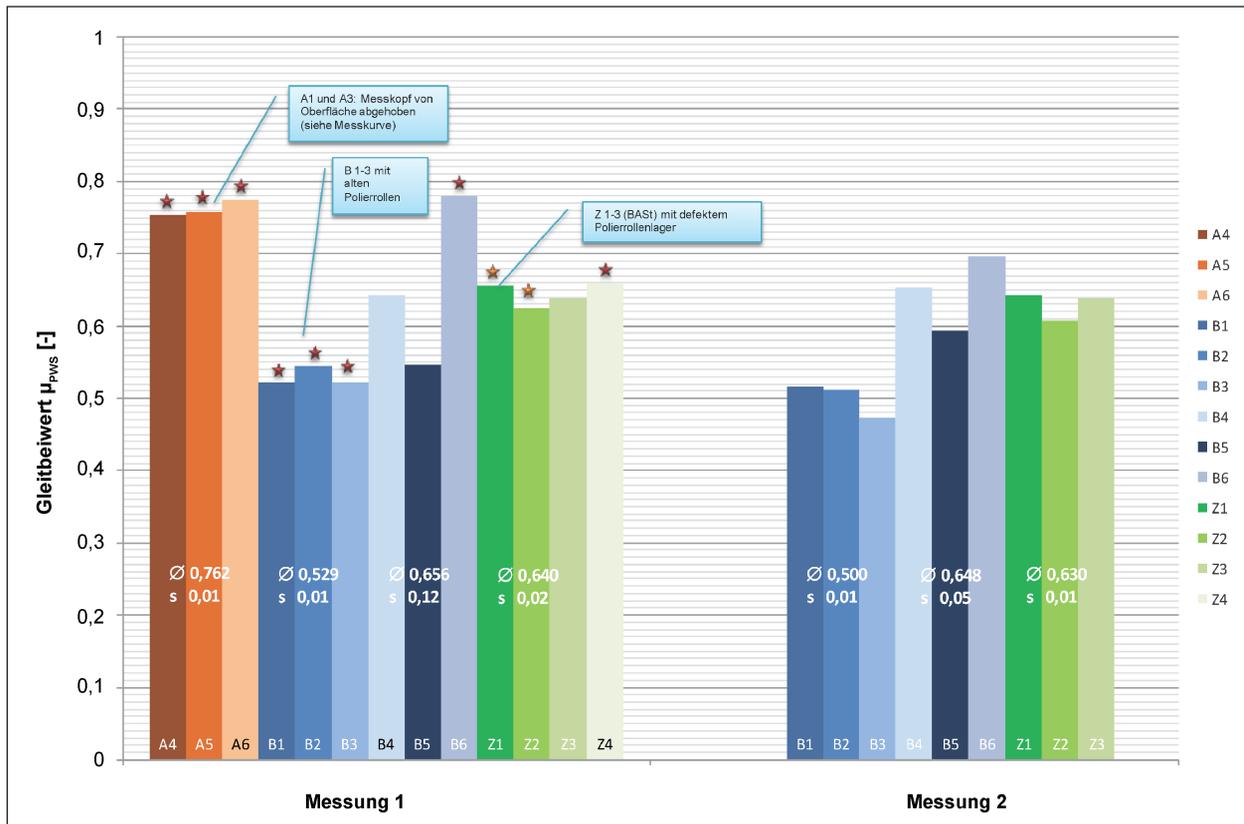


Bild 11: Reibwerte – Vergleichsuntersuchungen 1

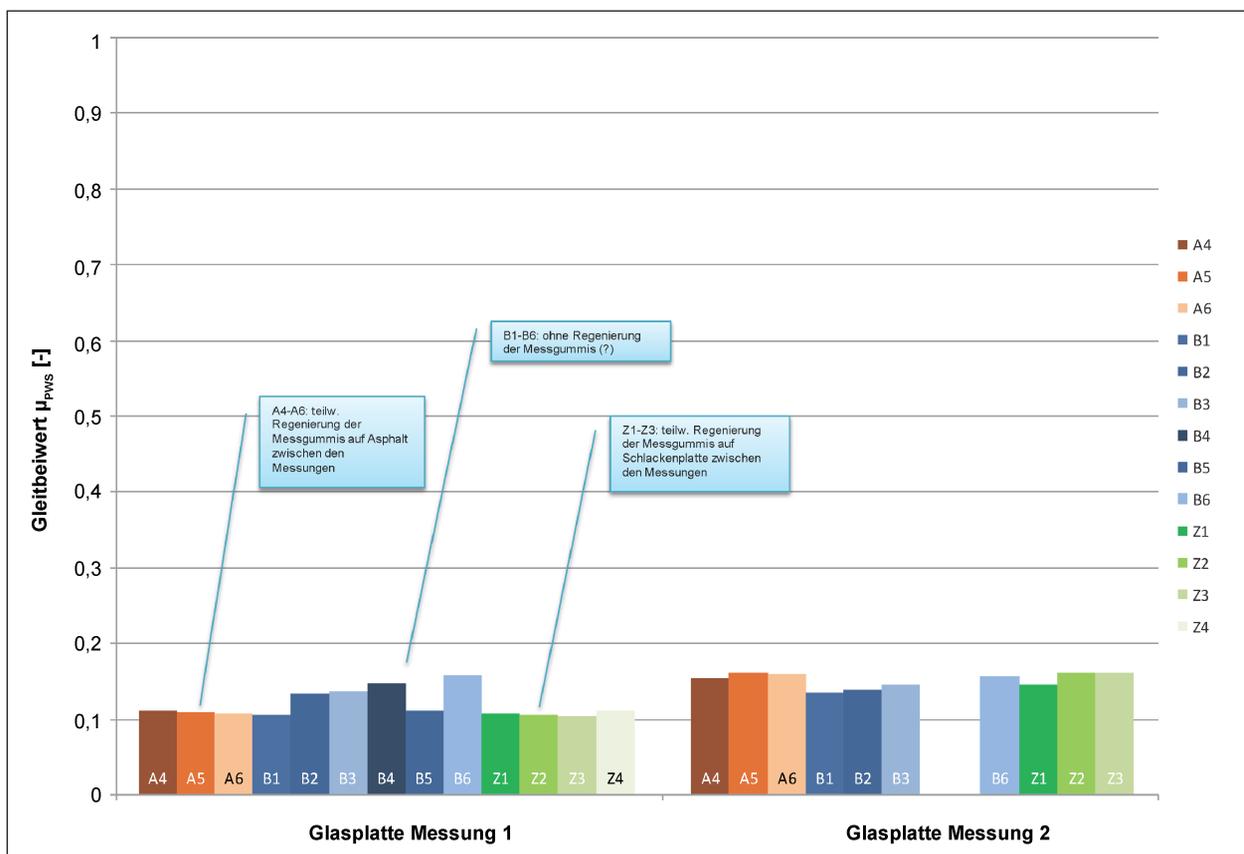


Bild 12: Kalibrierwerte – Vergleichsuntersuchungen 1

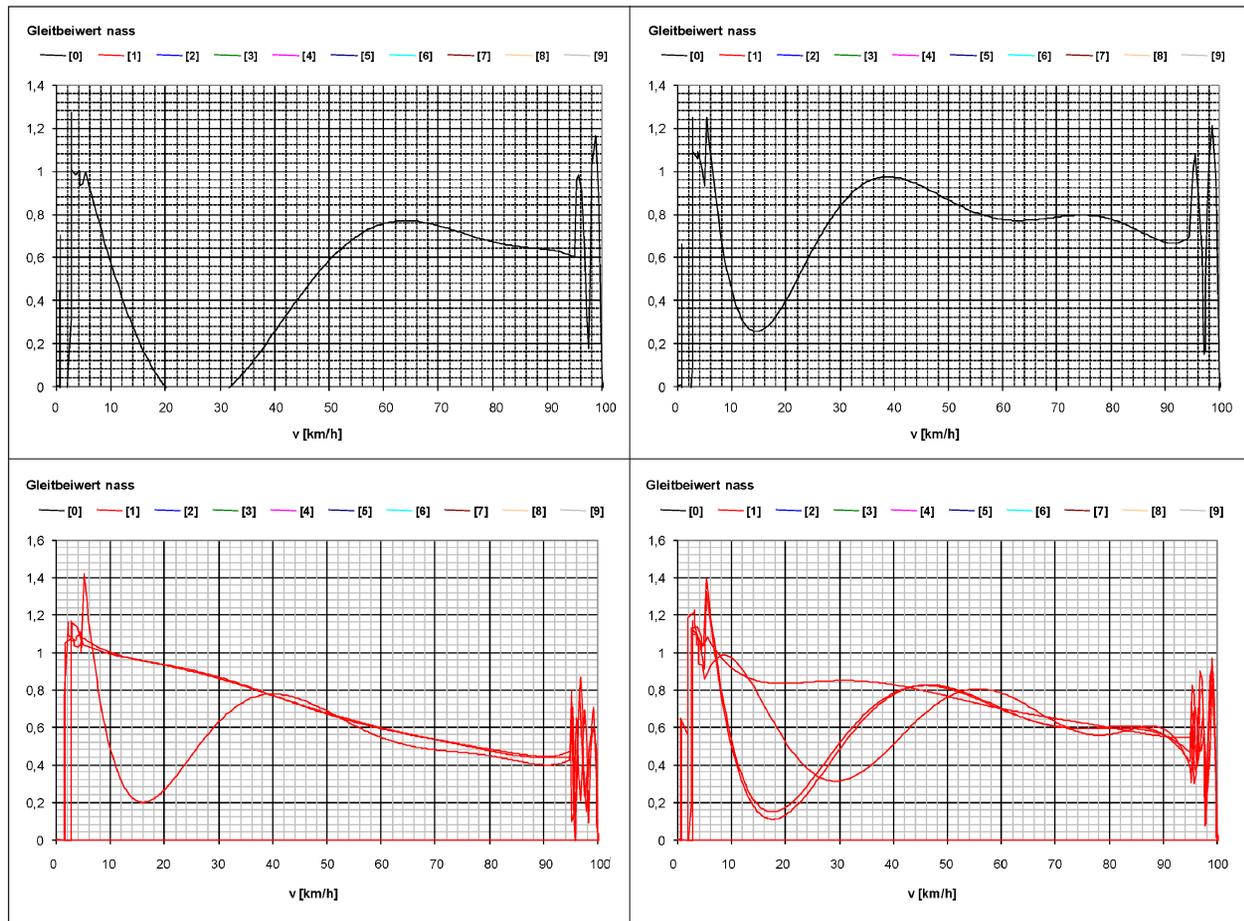


Bild 13: Messkurven A4, A6, B5 und B6 (in Leserichtung) – Vergleichsuntersuchungen 1

Messkurve (Reibwert über die Geschwindigkeit) festzustellen ist. Bild 13 zeigt die Beobachtungen bei A4, A6, B5 und B6 (in Leserichtung).

Von Prüfinstitut A wurden deutliche Vibrationen während der Messung beobachtet und vermutet, dass die Messeinheit im Bereich der Eigenfrequenz angeregt wird (Resonanz), sodass kein kontinuierlicher Kontakt zwischen Messgummi und Probeoberfläche bestand.

Prüfinstitut B gibt an, dass ein geringes Spiel ($< 1/1.000$ mm) in der Messeinrichtung vorhanden ist, sodass bei Messungen hoher Griffigkeiten sich Resonanzen einstellen können.

Eine weitere Ursache könnte im Bereich der Probeneinspannung, also in der Ebenheit, zu suchen sein.

4.5 Poliermomente

Tabelle 6 stellt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Poliermomente dar. Ausgewertet wurde jeweils nur der Bereich ab einer Überrollungszahl von 500 und bis zu dem Zeitpunkt am Versuchsende, an dem die Geschwindigkeit des Polierrollenkopfs unter 500 U/min fällt.

Deutlich zu erkennen sind die hohen Mittelwerte der Proben B1 bis B3 (alte Polierrollen). Des Weiteren fallen die Werte mit Standardabweichungen größer 0,2 auf. Bild 14 verdeutlichen die Beobachtungen.

In Bild 11 sind die Proben mit Sternchen markiert, die Poliermomente mit niedriger Streuung (StaAbw $< 0,10$ (bzw. $< 0,15$ bei Z2)) aufweisen.

Bild 14 zeigt die Poliermomente Z1 bis Z3. Wenige Tage nach dem Versuch ließ sich ein Polierrollenlager nicht mehr drehen. Es wurden alle drei Polierrollenlager ausgetauscht. Die Abbildung zeigt den Verlauf des Poliermomentes Z4 mit neuen

Probe	Poliermoment					
	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 1	Probe 2	Probe 3
	Mittelwert (ab 500 Ü)			StaAbw (ab 500 Ü)		
A – (A4-A6)	3,28	3,25	3,22	0,10	0,06	0,07
B – (B1-B3)	4,19	4,64	3,97	0,07	0,08	0,07
B – (B4-B6)	3,59	3,63	3,54	0,21	0,23	0,18
Z – (Z1-Z3)	3,35	3,34	3,04	0,08	0,14	0,29
Z – (Z4)	3,09	-	-	0,08	-	-

Tab. 6: Poliermomente – Vergleichsuntersuchungen 1

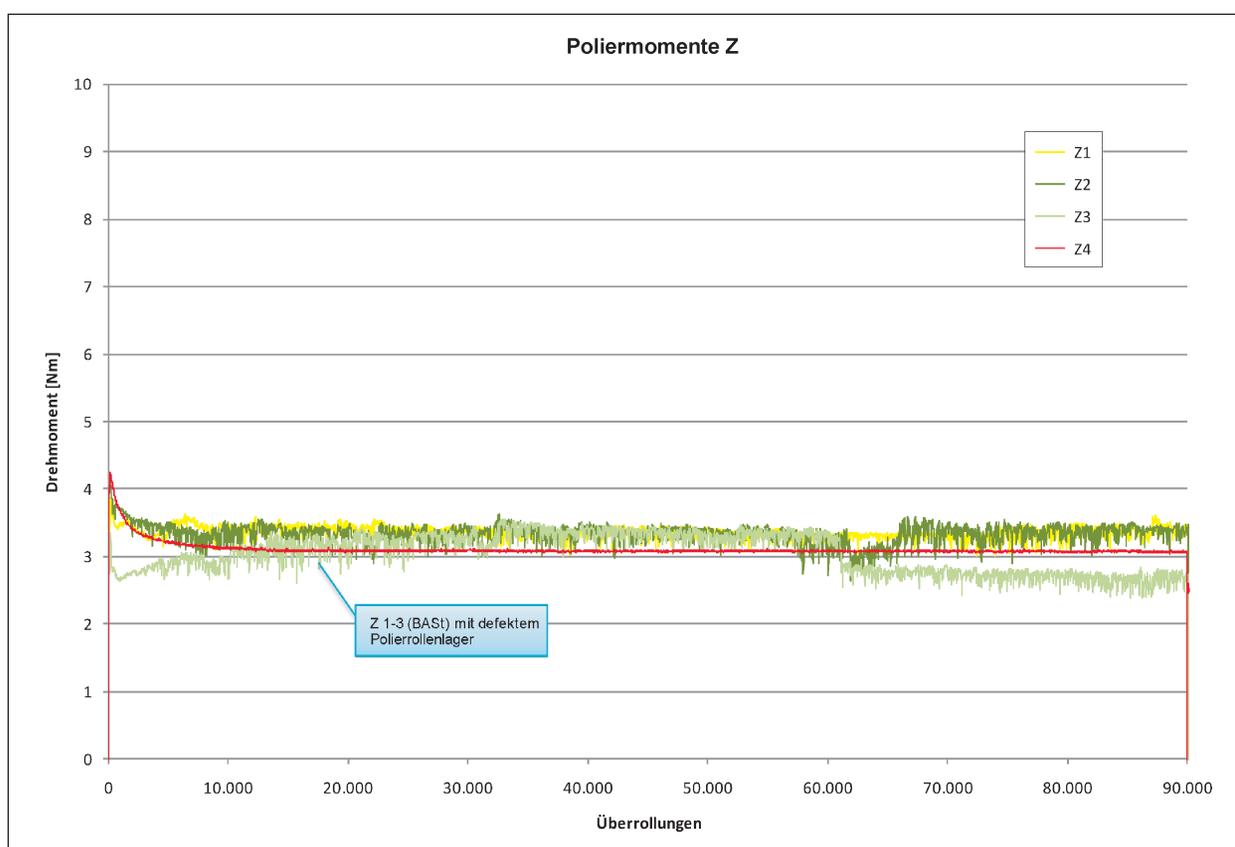


Bild 14: Poliermomente Z1 bis Z4 – Vergleichsuntersuchungen 1

Polierrollenlagern. Der Einfluss des Zustandes der Polierrollenlager ist deutlich zu erkennen.

Bild 15 zeigt die Poliermomente des Prüfinstituts B. Die blauen Kurven sind B1 bis B3 zuzuordnen. Der Verlauf ist relativ gleichmäßig, die Kurven liegen aber auf einem deutlich hohen Niveau und sind sehr unterschiedlich. Die Kurven B4 bis B5 (rötlich) liegen deutlich niedriger, B4 und B5 verlaufen aber sehr ungleichmäßig.

Bild 16 zeigt die Poliermomente des Prüfinstituts A. Diese verlaufen alle sehr gleichmäßig und ohne Auffälligkeiten.

Bild 17 zeigt alle Poliermomente im Vergleich. Es sind die Niveauunterschiede zu erkennen: B1-B3 sehr hoch, B4-B6 hoch, die restlichen überlagern sich im Bereich 3,0 bis 3,5 Nm.

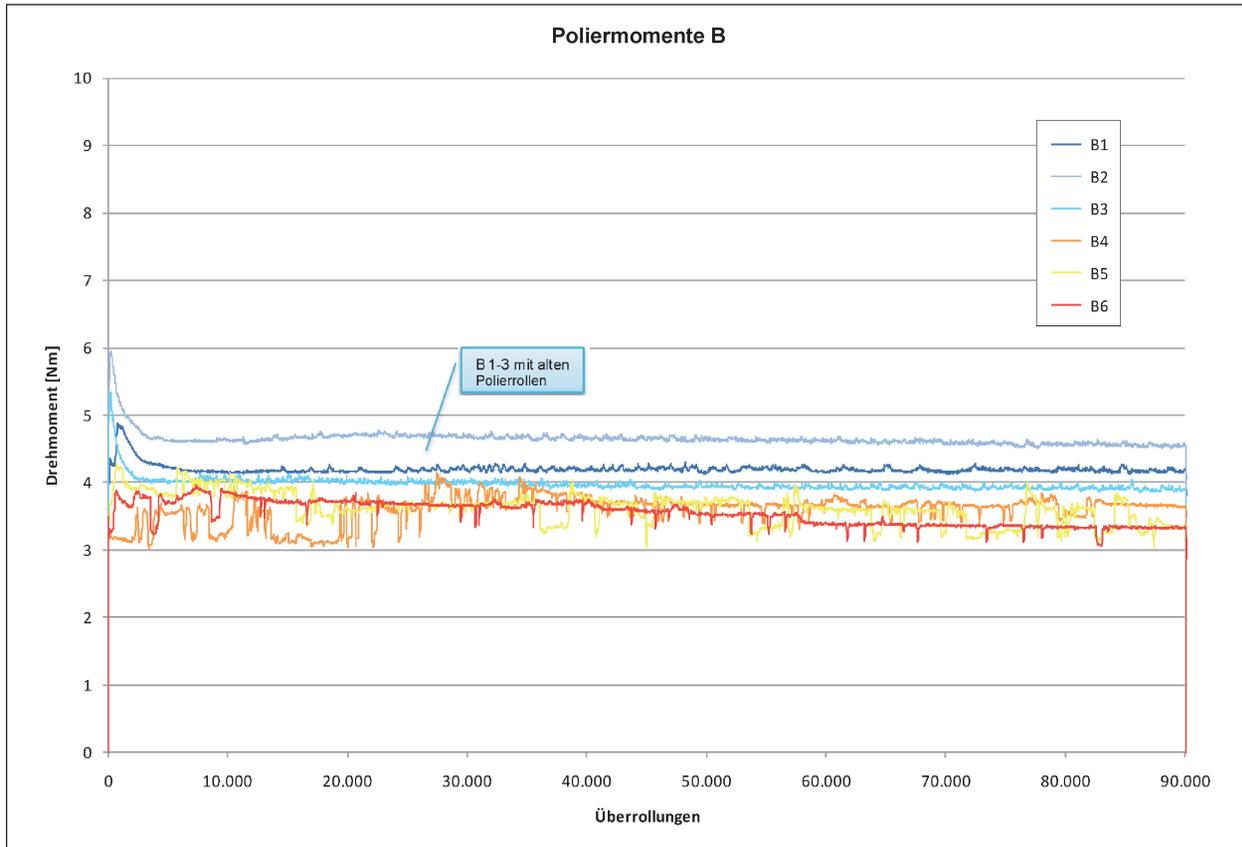


Bild 15: Poliermomente B1 bis B6 – Vergleichsuntersuchungen 1

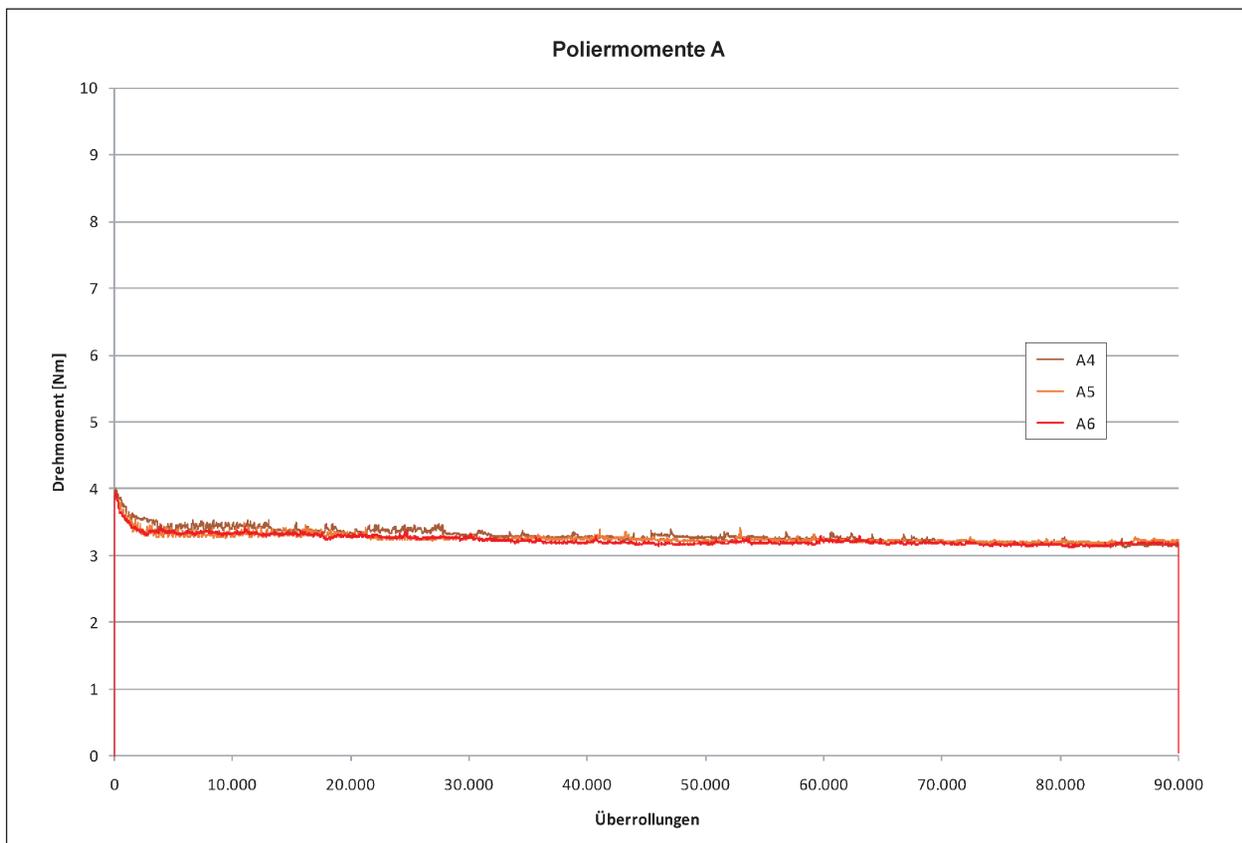


Bild 16: Poliermomente A1 bis A3 – Vergleichsuntersuchungen 1

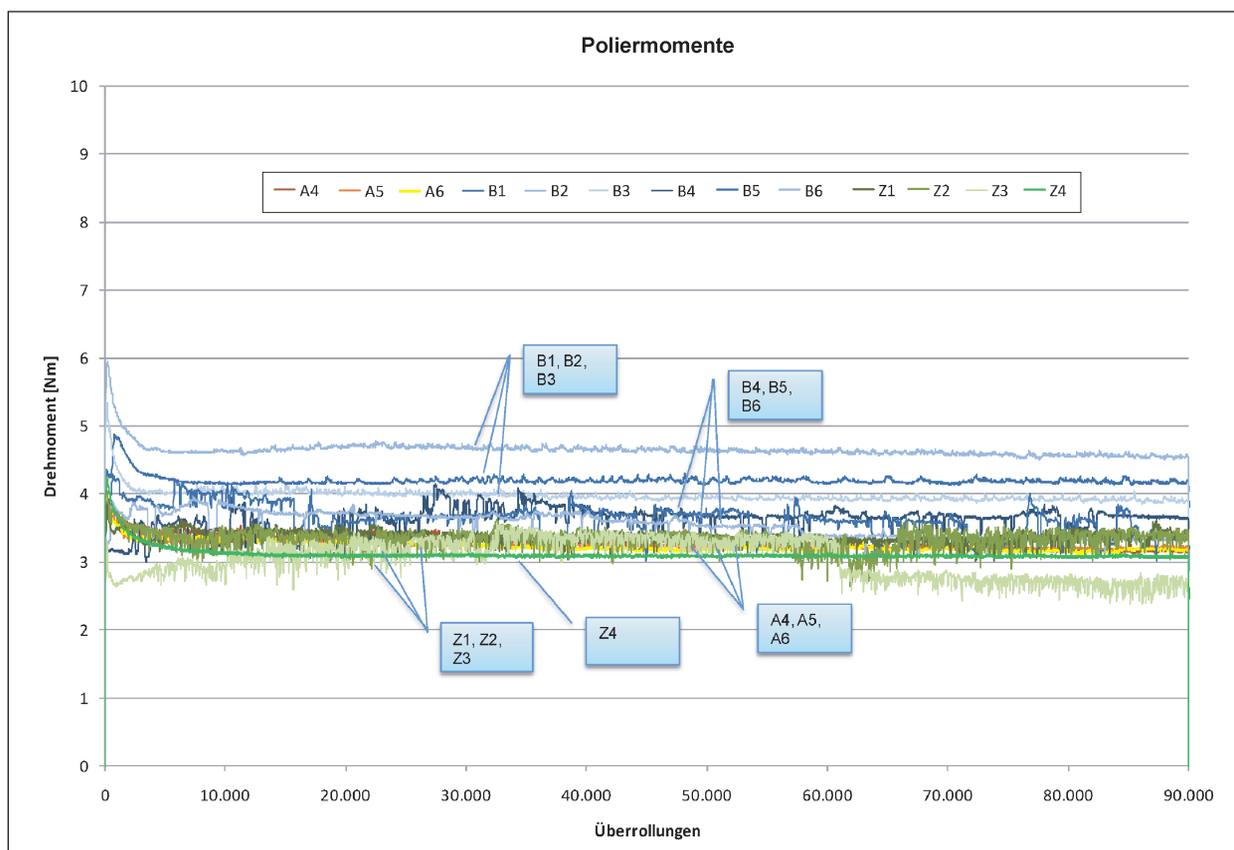


Bild 17: Vergleich aller Poliermomente – Vergleichsuntersuchungen 1

4.6 Offene Fragen

Die Werte lassen vermuten, dass jedes Prüfinstitut ein eigenes Mess-/Polierniveau besitzt. Ursächlich können sein:

- Die Schleifpapierplatten sind nicht vergleichbar/geeignet.

Dagegen spricht, dass die jeweils drei Messwerte eines Institutes vergleichbar sind (Ausnahme B4-B6).

- Die einzelnen Maschinen messen verschieden.
- Die einzelnen Maschinen polieren verschieden.

Die Ergebnisse (Einzelwerte) werden deutlich beeinflusst von dem Zustand der Messgummis.

5 Zweite Vergleichsuntersuchung

Aufgrund der Ergebnisse und der sich daraus ergebenden Fragestellungen wurde eine zweite Vergleichsuntersuchung veranlasst. Durch die Verwen-

dung desselben Polierrollensatzes und die jeweilige Erstmessung in derselben Prüfeinrichtung sollten die unter Kapitel 4.6 genannten Ursachen weitestgehend ausgeschlossen werden.

5.1 Vorgehen

Es kamen vier PWS-Prüfeinrichtungen, einschließlich der Prüfeinrichtung der BAST, zum Einsatz. Hierzu wurden jeweils drei Schleifpapierplatten durch die BAST gefertigt und versendet. Zudem wurde durch die BAST ein Satz neuer, aber eingefahrener Polierrollen zur Verfügung gestellt, der von Prüfstellung zu Prüfstellung weitergereicht wurde. Die jeweiligen Gerätebetreiber bekamen die Aufgabe, alle drei Schleifpapierplatten mit 90.000 Überrollungen und den zur Verfügung gestellten Polierrollen zu polieren und anschließend an einer Schleifpapierplatte den Griffigkeitswert zu messen. Die Griffigkeitswerte der beiden weiteren Schleifpapierplatten wurden im Anschluss in der BAST-Prüfeinrichtung gemessen. Zudem erfolgte eine Nachmessung der jeweils ersten polierten und gemessenen Schleifpapierplatten in der BAST-Prüfeinrichtung. Die Messungen mit der BAST-Prüfeinrichtung wur-

den dabei zusammenhängend am Ende des Versuchsprogramms durchgeführt.

5.2 Prüfstellen

Die teilnehmenden Prüfinstitute, mit Ausnahme der BAST, werden im Folgenden mit dem Kürzel „A“, „B“ und „C“ anonymisiert benannt. Die BAST trägt bei den folgenden Auswertungen das Kürzel „Z“.

Die teilnehmenden Prüfinstitute verfügen über langjährige Erfahrungen mit der Prüfeinrichtung PWS und den notwendigen wissenschaftlichen bzw. ingenieurtechnischen Sachverstand. Bei den Prüfinstituten A und B handelt es sich um dieselben Prüfinstitute wie bei der ersten Vergleichsuntersuchung.

5.3 Proben

Die Schleifpapierplatten wurden aus 120er Nassschleifpapier, OBI-Eigenmarke Lux und Epoxidharzkleber L1100 2-K gefertigt. Die Holzträgerplatten wurden vorab mit Bootslack versiegelt.

Von Prüfinstitut A wurden drei Schleifpapierplatten, benannt mit A01, A02 und A03, poliert. An Platte A01 wurde zudem der Reibwert durch das Prüfinstitut bestimmt.

Von Prüfinstitut B wurden vier Schleifpapierplatten, benannt mit B01, B02, B03 und B04, poliert. Die Platte B04 wurde während der Vergleichsuntersuchungen nachgeliefert und in das Versuchsprogramm aufgenommen, da an Platte B02 eine deutliche Blasenbildung beobachtet worden ist. An Platte B01 wurde zudem der Reibwert durch das Prüfinstitut bestimmt.

Von Prüfinstitut C wurden drei Schleifpapierplatten, benannt mit C01, C02 und C03, poliert. An Platte C01 wurde zudem der Reibwert durch das Prüfinstitut bestimmt.

Von Prüfinstitut Z wurden drei Schleifpapierplatten, benannt mit Z01, Z02 und Z03, poliert. Z01 und Z02 wurden im gleichen Zeitraum hergestellt, Z03 wurde mehrere Monate später hergestellt.

Die Proben wurden in folgender Reihenfolge poliert: Z01, Z02, C..., B..., A..., Z03.

5.4 Messwerte

In Tabelle 7 sind die Einzelwerte (vgl. auch Bild 18), Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizient der Messungen dargestellt, die in der BAST durchgeführt worden sind. In der Tabelle sind zudem die Vergleichswerte über alle Prüfinstitute zu den ersten Vergleichsuntersuchungen dargestellt.

Probe	Reibwert	Reibwert Mittelwert Standardabweichung/VarKoeff max. delta	Reibwert Mittelwert Standardabweichung/VarKoeff max. delta	
A02	0,696	0,719 0,033/5 %	Vergleichsuntersuchung 1: 0,728 0,031/4 % 0,081 0,647 0,100/16 % 0,259	
A03	0,742	0,046		
B03	0,777	0,747 0,043/6 %		
B04	0,716	0,061		
C02	0,722	0,745 0,032/4 %		
C03	0,767	0,045		
Z01	0,703	0,702 0,001/0 %		
Z02	0,701	0,002		
Z03	0,619	0,674 0,084/7 % 0,084		0,716 0,046/6 % 0,158

Tab. 7: Reibwerte – Vergleichsuntersuchungen 2

Die Werte für die Schleifpapierplatte Z03 sind separat dargestellt, da der Messwert deutlich unterhalb des Niveaus der anderen Werte liegt. Auch durch die separate Herstellung der Platte Z03 kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hierbei um einen Ausreißer handelt. Von den folgenden Auswertungen wird die Platte Z03 daher ausgenommen.

Es ist zu erkennen, dass der mittlere Reibwert höher als bei der Vergleichsuntersuchung 1 ist. Gleichzeitig sind für die Vergleichsuntersuchung 2 die Standardabweichung und die Spreizung über alle Werte geringer. Hieraus lässt sich der deutliche Einfluss der Polierrollen ableiten. Die Streuung bei Verwendung desselben Polierrollensatzes hat demnach deutlich abgenommen.

Werden jeweils die Werte der Prüfinstitute A, B und C betrachtet, so ist zu beobachten, dass die Werte für die Streuung und Standardabweichung die üblicherweise angenommene Wiederholpräzision für das PWS-Verfahren übersteigen.

In Tabelle 8 sind die Messwerte an den jeweils ersten Platten dargestellt. Diese Platten wurden im jeweiligen Prüfinstitut poliert und gemessen. In der BAST erfolgte eine Nachmessung. Es zeigt sich, dass unter Berücksichtigung der Präzision des Verfahrens und der polierenden Effekte einer Messung die Werte vergleichbar sind. Im Falle der Prüfinstitute A und B ist der angegebene Reibwert der zweite gemessene Reibwert auf der Platte, d. h., der in der BAST gemessene Wert ist die dritte Messung auf der Platte. Ein Vergleich zu den in Tabelle 7 und Bild 18 genannten Werten ist daher nicht zielführend.

Probe	Reibwert Prüfinstitut	Reibwert BAST	Delta abs./rel.
A01	0,612	0,669	+0,05/+9 %
B01	0,749*	0,709	-0,04/-5 %
C01	0,779*	0,733	-0,05/-6 %

* Doppelmessung (2. Messwert)

Tab. 8: Nachmessungen – Vergleichsuntersuchungen 2

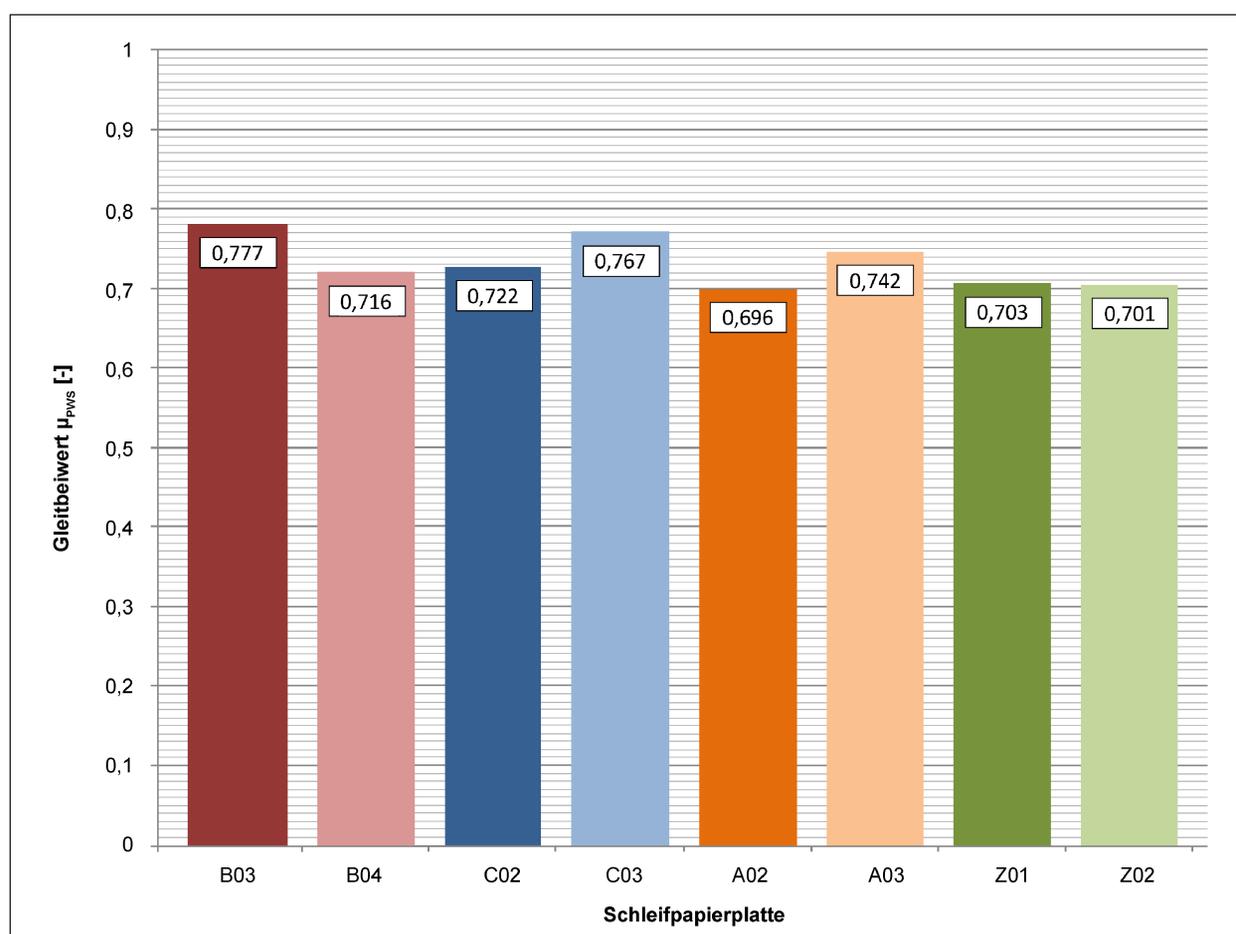


Bild 18: Reibwerte – Vergleichsuntersuchungen 2

Prüfinstitut	Reibwerte	Reibwert Mittelwert Standardabweichung/VarKoeff max. delta	Reibwert Mittelwert Standardabweichung/VarKoeff max. delta
A	0,590	0,676	0,728 0,060/8 % 0,227 Vergleichsuntersuchung 1: 0,647 0,100/16 % 0,259
	0,696	0,078/12 %	
	0,742	0,152	
B	0,817	0,770	
	0,777	0,051/7 %	
	0,716	0,101	
C	0,779	0,756	
	0,722	0,030/4 %	
	0,767	0,057	
Z	0,703	0,702	
	0,701	0,001/0 %	
		0,002	

Tab. 9: Statistische Kennzahlen aller Prüfungen – Vergleichsuntersuchungen 2

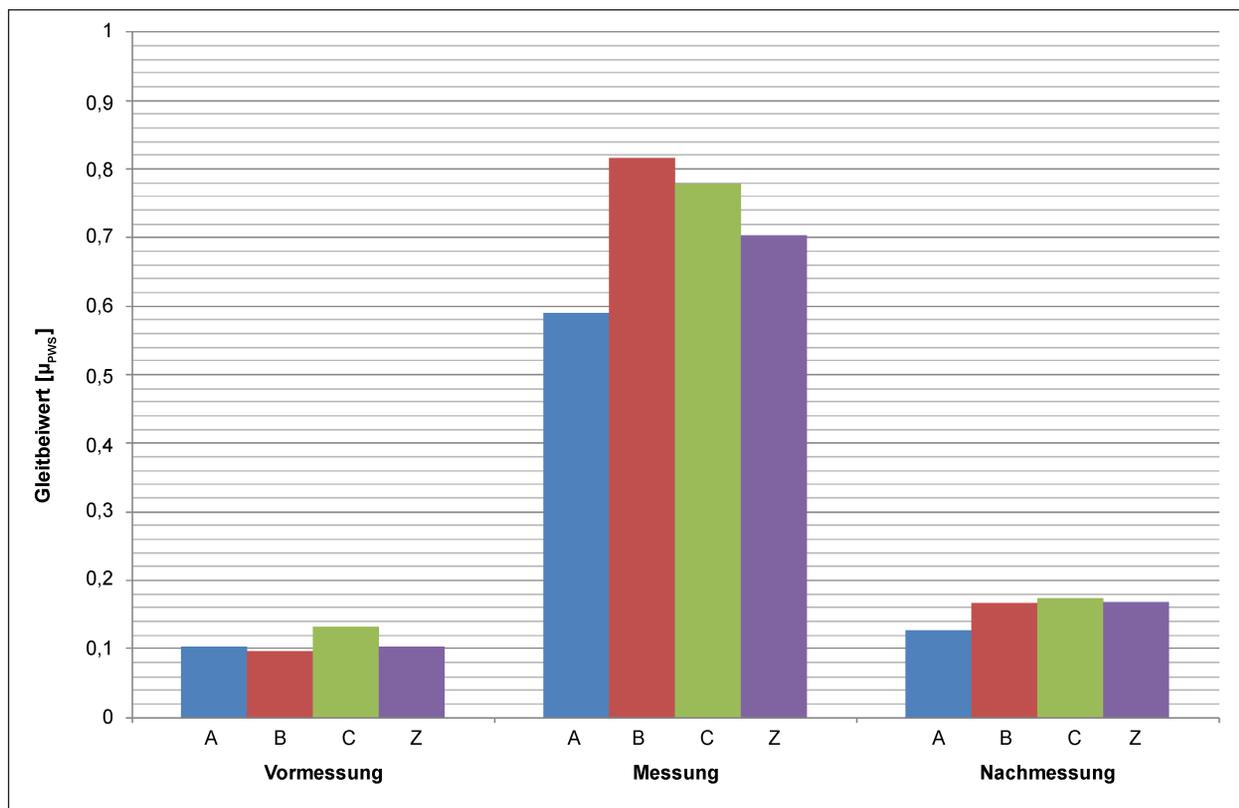


Bild 19: Reibwerte auf der Glasplatte vor (Vormessung) und nach (Nachmessung) der Messung auf der Schleifpapierplatte (Messung)

In Tabelle 9 sind die statistischen Kennzahlen aus Tabelle 7 durch die jeweiligen Erstmessungen an den ersten Platten (im Prüfinstitut poliert und gemessen) dargestellt. Erwartungsgemäß nehmen die Standardabweichung, der Variationskoeffizient und die Streuung zu. Der Mittelwert über alle Mes-

sungen bleibt jedoch erhalten. Zu beachten ist, dass Einflüsse aus dem Transport der Proben nicht ausgeschlossen werden können.

Zur Information sind in Bild 19 die jeweils vor und nach der Messung auf der Schleifpapierplatte ge-

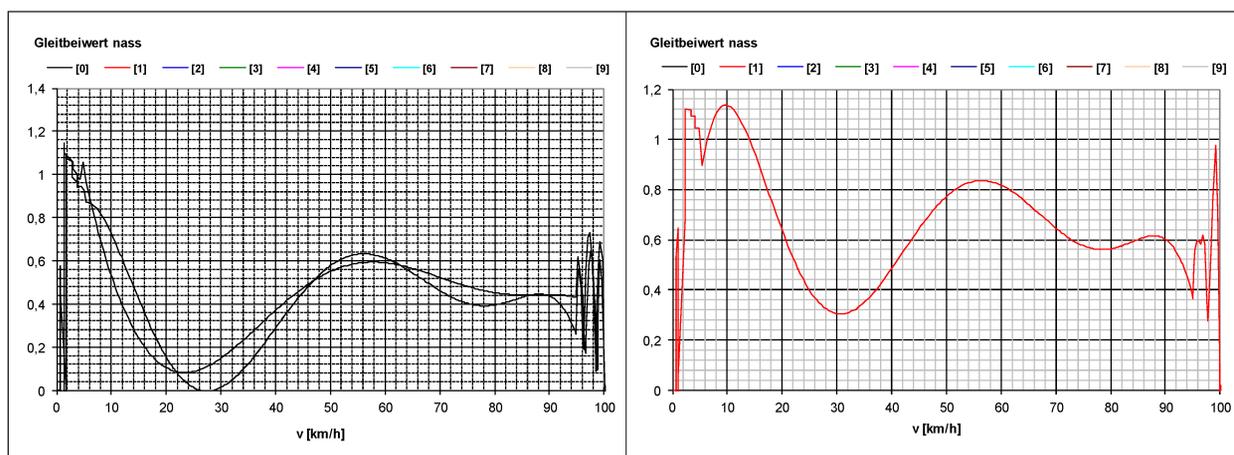


Bild 20: Messkurven (springender Messkopf) – Institut A (links) und B (rechts)

Probe	Poliermoment							
	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
	Mittelwert (ab 500 Ü)				StaAbw (ab 500 Ü)			
A – (A01)	3,39	-	-	-	0,07	-	-	-
B – (B01-B03)	2,84	3,33	3,12	3,18	0,05	0,08	0,10	0,29
C – (C01-C03)	3,17	3,21	3,32	-	0,32	0,33	0,33	-
Z – (Z01-Z03)	2,92	2,92	2,83	-	0,08	0,09	0,11	-

Anm.: Bei Prüfinstitut A wurden die Daten des Poliervorgangs nur für eine Schleifpapierplatte aufgezeichnet

Tab. 10: Poliermomente – Vergleichsuntersuchungen 2

messenen Reibwerte auf der Glasplatte dargestellt. Direkte Zusammenhänge sind nicht erkennbar.

Bereits bei den ersten Vergleichsuntersuchungen wurde berichtet, dass die hohen Reibwerte der Schleifpapierplatten zu deutlichen Vibrationen der Prüfeinrichtung und Springen des Messkopfes geführt haben. Dies wird auch deutlich bei der Auswertung der Messkurven, vgl. Bild 20. Interessant ist, dass dieser Effekt noch nicht bei Prüfeinrichtung der BAST aufgetreten ist, die sowohl für die zahlreichen Voruntersuchungen als auch für die Nachmessungen der Schleifpapierplatten beider Vergleichsuntersuchungen verwendet worden ist.

5.5 Poliermomente

In Tabelle 10 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Poliermomente dargestellt. Ausgewertet wurde jeweils nur der Bereich ab einer Über-

rollungszahl von 500 und bis zu dem Zeitpunkt am Versuchsende, an dem die Geschwindigkeit des Polierrollenkopfes unter 500 U/min fällt.

Es ist zu erkennen, dass die mittleren Poliermomente bei allen Prüfeinrichtungen rund 3 Nm betragen. Zudem ist zu erkennen, dass die Standardabweichungen der Poliermomente bei den Prüfinstituten A, B und Z rund 0,10 Nm betragen. Im Falle des Prüfinstituts C und Probe 4 des Prüfinstituts B nimmt dieser Wert das rund Dreifache an und liegt somit auch deutlich über dem BAST-Erfahrungswert von 0,20 Nm.

Bild 21 bis Bild 24 zeigen die Poliermomente der verschiedenen Prüfinstitute. Die Gründe für die hohe Standardabweichung bei Prüfinstitut C und Probe 4 des Prüfinstituts B sind erkennbar. Ursächlich hierfür können die Schleifpapierplatten selbst sein oder die Prüfeinrichtung. Anhand weiterer Proben ist zu überprüfen, ob ein systematischer Fehler auftritt, was ein Indiz für einen Maschinendefekt sein kann.

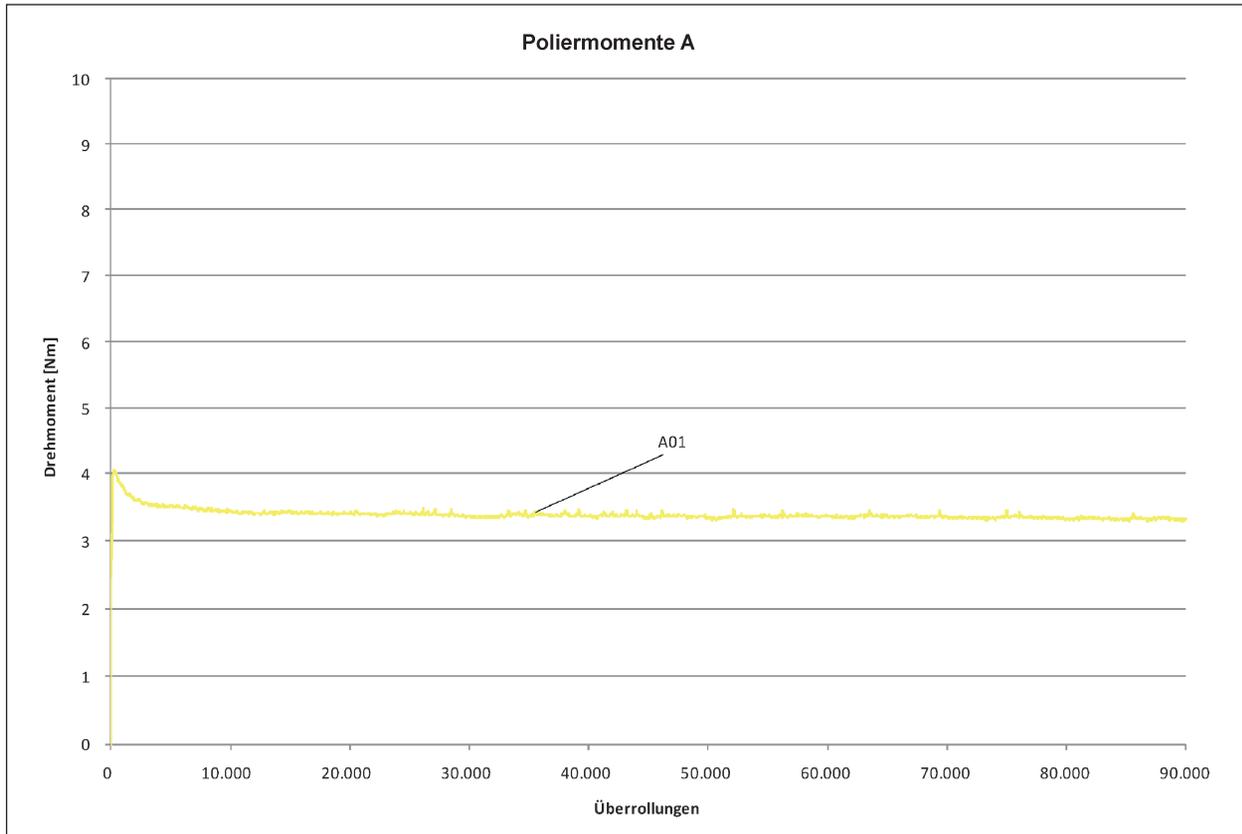


Bild 21: Poliermomente Prüfinstitut A – Vergleichsuntersuchungen 2

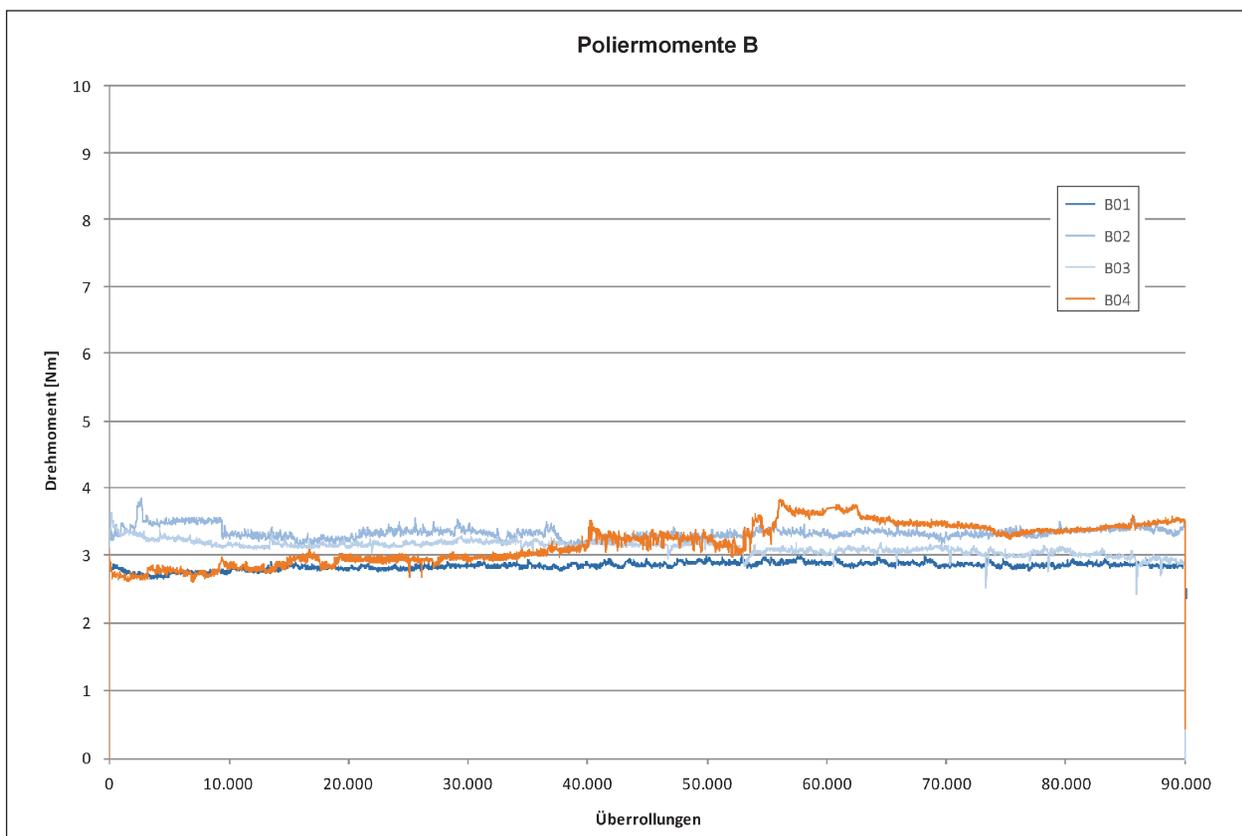


Bild 22: Poliermomente Prüfinstitut B – Vergleichsuntersuchungen 2

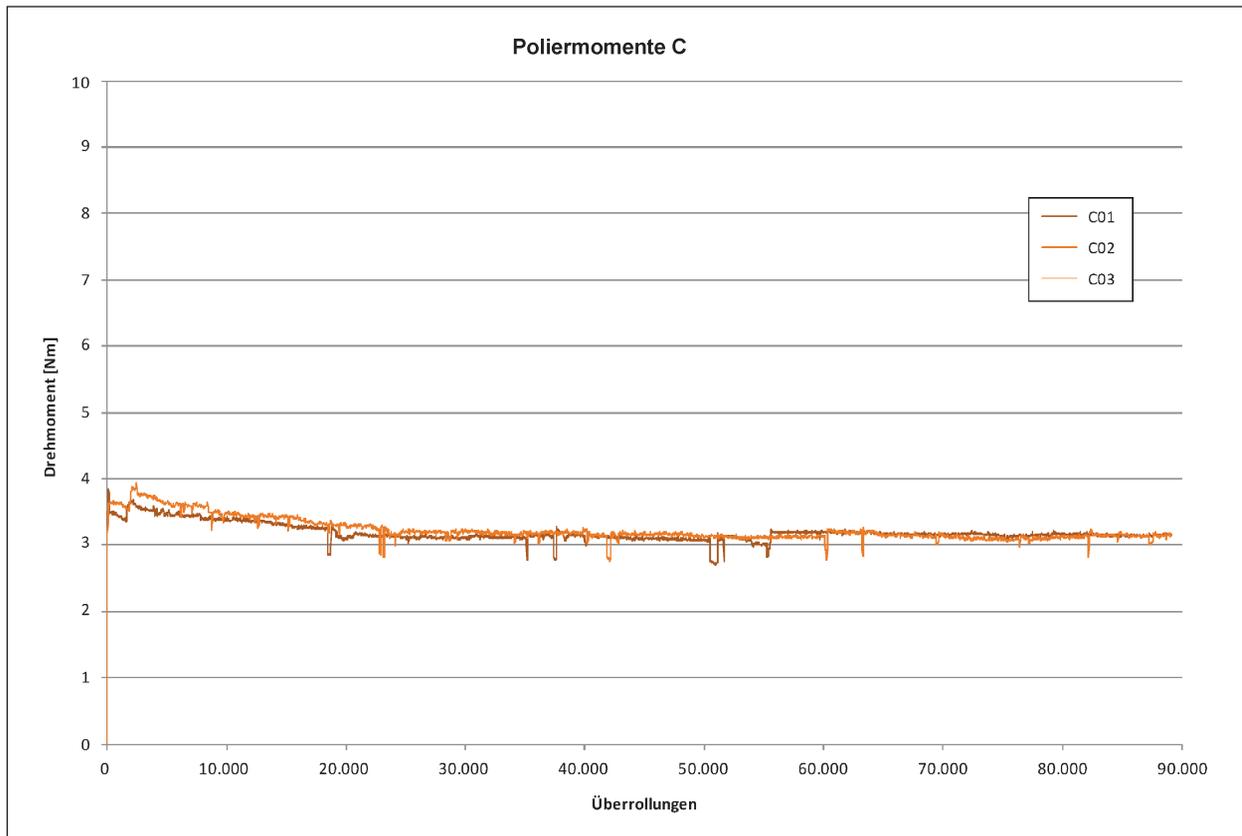


Bild 23: Poliermomente Prüfinstitut C – Vergleichsuntersuchungen 2

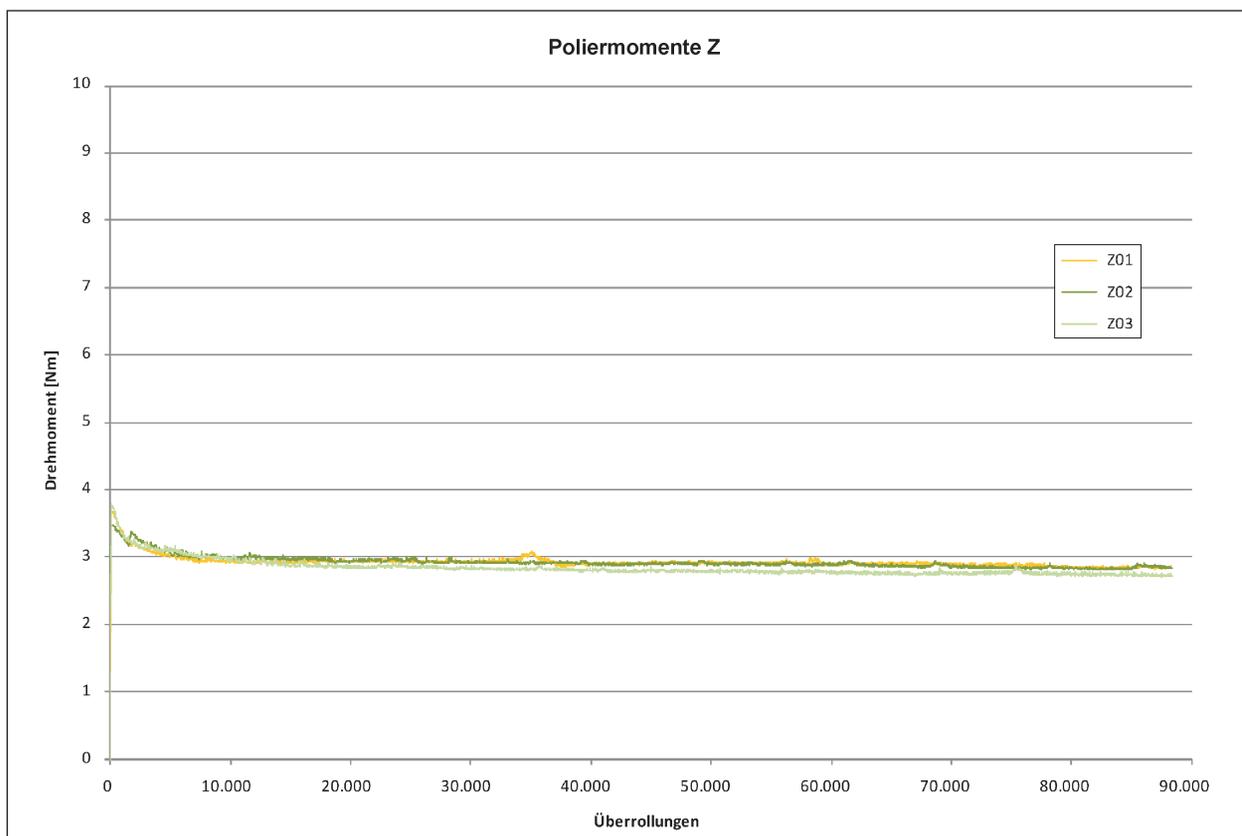


Bild 24: Poliermomente Prüfinstitut Z – Vergleichsuntersuchungen 2

5.6 Zwischenfazit

Für die Bewertung werden zunächst nur die Auswertungen der in den Prüfinstituten nur polierten und dann in der BASt gemessenen Schleifpapierplatten herangezogen.

Da im Falle der Prüfinstitute A, B und C die ausgewerteten Standardabweichungen und Variationskoeffizienten derselben Größenordnung entsprechen wie die gleichen statistischen Kennzahlen über alle Institute hinweg, kann angenommen werden, dass dies der erzielbaren Präzision bei Verwendung und Vergleich der Schleifpapierplatten entspricht. Da die Standardabweichung der bekannten Wiederholpräzision entspricht, kann weiter gefolgert werden, dass die Schleifpapierplatten zur Überprüfung der Poliereinrichtung verwendet werden können.

Die Steigerung der Vergleichbarkeit gegenüber den ersten Vergleichsuntersuchungen dürfte der Verwendung desselben Polierrollensatzes geschuldet sein. Die Bedeutung der Kontrolle des Zustandes und der rechtzeitige Wechsel der Polierrollen werden hierdurch hervorgehoben.

Der überraschend niedrige Messwert der separat hergestellten Schleifpapierplatte Z03 zeigt jedoch, dass noch Unsicherheiten vorhanden sind. Die Prüfung einer einzelnen Platte ist somit nicht zielführend.

Die Streuungen der Werte zeigen jedoch auch, dass zu empfehlen ist, im Rahmen von vertragsrelevanten Prüfungen mindestens zwei Probekörper zu untersuchen.

6 Ausblick und Fazit

Die im Rahmen der Vergleichsuntersuchungen festgestellten hohen Reibwerte können unter Umständen eine hohe Belastung für die Prüfeinrichtung und einen erhöhten Verschleiß von Messgummis darstellen. Die festgestellten Vibrationen, das teilweise zu beobachtende Springen des Messkopfes und die hohen Messwerte auf der Glasplatte nach der Messung auf der Schleifpapierplatte sind deutlich Indizien hierfür. Es wurden daher weitere Schleifpapierkörnungen untersucht, um das Niveau der Messwerte etwas zu senken. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt. Demnach wird für weitergehende Untersuchungen zunächst eine Schleifpapierkörnung von 180 empfohlen.

Schleifpapier	Reibwert Mittelwert nach 90.000 Überrollungen
120er Nassschleifpapier OBI-Eigenmarke Lux	0,73
180er Nassschleifpapier OBI-Eigenmarke Lux	0,55
240er Nassschleifpapier OBI-Eigenmarke Lux	0,43

Tab. 11: Test von weiteren Schleifpapierkörnungen

Die Kombination aus versiegelter Sperrholzplatte, Epoxidharzkleber und Nassschleifpapier (Eigenmarke OBI) hat sich im Rahmen der Vor- und Vergleichsuntersuchungen in den meisten Fällen bewährt. Auch bei sorgsamster Herstellung der Schleifpapierplatten ist in manchen Fällen ein teilweises Ablösen oder auch Reißen des Schleifpapiers beim Polieren zu beobachten. Die Ursachen hierfür konnten noch nicht geklärt werden. Eventuell ist die erzielbare Ebenheit mit einer Sperrholzplatte als Trägermedium ursächlich. Die Verwendung dickerer Platten oder einer Metallplatte könnte zielführend sein.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Grundlagen für ein Kontrollmedium für die Poliereinrichtung geschaffen worden sind. Die erzielbare Genauigkeit liegt dabei im Rahmen der bekannten Präzision der Prüfeinrichtung. Dieses Ergebnis ist jedoch auf eine breitere Datenbasis zu stellen und es sollte das Ziel sein, die Präzision durch beispielsweise noch präzisere Fertigung der Schleifpapierplatten zu steigern. Das Kontrollmedium und die Prüfung damit sind weitestgehend von subjektiven Einflüssen bereinigt. Für eine standardmäßige Prüfung ist der Typ des Schleifpapiers genauestens zu definieren und nach Möglichkeit eine größere Charge bereitzustellen.

Für Schleifpapier (Eigenmarke OBI) mit der Körnung 120 kann somit ein Kontrollwert/Reibwert von $0,728 \pm 4 \%$ angenommen werden. Ein weiteres Kontrollinstrument ist die Auswertung des Poliermomentes in rechnerischer (Mittelwert und Standardabweichung) und grafischer Form.

Part 1

Evaluating the characteristic data of the PWS testing device

Part 2

**Evaluating comparative studies for
hecking the polishing unit by means of sandpaper**

Part 1: Evaluating the characteristic data of the PWS testing device

1 Introduction

The second generation WEHNER/SCHULZE Testing Device (PWS) – i.e. the redesigned machine originally developed by WEHNER and SCHULZE in Berlin in 2002 – is now in use in several countries in Europe. Both the device description and the prognostic test for asphalt surfacing are now to be adopted into the European set of regulations. A draft for the EN 12697-49 standard is currently being drawn up.

Although the testing device at present is only manufactured and sold by the manufacturer "Baustoff-Prüfsysteme Wennigsen" (the former 'Josef Freundl Maschinen- und Gerätebau' Company), the determination of the machine parameters and tolerances is not a trivial problem when describing the machine. While many of the parameters can be described from a mechanical engineering perspective – these include the dimensional tolerances of the components, other parameters, such as the temperature distribution of the water / quartz powder mixture, can only be defined as a result of frequent use. Although a maximum temperature has been defined - controllable by means of a cooling system, the actual temperature distribution below the maximum temperature as well as the tolerances, however, can only be obtained as a result of the measurement process and the laboratory conditions themselves.

For the purpose of systematically evaluating and recording the experiences gained at BAST with the WEHNER/SCHULZE Testing Device, the data recorded together with the μ_{PWS} quantity was analysed. The method and the results are described in the following text.

Discussions are ongoing in the responsible committees regarding the precision and comparability of the test results. This is primarily due to a partly varying degree of development in the testing devices (whereby the modifications undertaken generally concern the operability) as well as the only limited possibilities available to check the functional capability of the testing device.

Although measurements were conducted on a regular basis on a textured glass plate to check the measuring device, these, however, only achieve a very low friction coefficient, which is not representative for most of the surfaces to be tested. Work is currently being undertaken elsewhere to find suitable alternatives. However, no testing surface exists to test the polishing device. The possibility of using sandpapers as a control medium is currently being investigated.

The knowledge and results obtained have been presented and discussed both as part of the "Polishing test and polishing resistance" working group of the Transportation Research Association (FGSV) and an associated operating group for the annotation of the European Draft Standard.

2 Preparing the characteristic data

The characteristic data have been saved during the PWS testing in a Microsoft Excel file. Furthermore, text files were also created, which contain the comprehensive characteristic data of the 'polishing - calibrating - testing' processes. The data stored in the Excel file is not suitable for the data collection, because Excel files are not suitable for the processing of large volumes of data. For this purpose, database programs such as Microsoft Access are available. Unfortunately, the importing of data from Excel files to Access is rather problematic and work-intensive. For this reason, the data stored in the text files were imported instead.

First of all, all existing text files were compiled in a separate directory, from where the individual text files were read out and transferred to an Access table by means of an Access VBA macro (cf. Attachment 1).

The measurement files (and hence the Access table) consists of the following data fields:

- Date and time,
- Station (polishing/measuring) + load level (continuous),
- Total number of polishing rollovers,
- Part polishing rollovers,
- Rotational speed [1/min],

- Torque [Nm] ,
- Temperature (quartz powder or test water) [°C],
- Pump output [%] ,
- Path speed [km/h] ,
- PWS friction coefficient μ ,
- Path length [m],
- Polishing performance of the system (total polishing) [rollovers],
- Total testing capacity of the system (total testing) [tests],
- Water nozzle distance d_s [mm],
- External interface (for maintenance purposes),
- Identification number of system,
- Duration of test from starting the test [s],
- Interpolated friction coefficient (μ) for diagrams (in Excel file only).

Grouping of the data records is possible via the recorded "total testing" value, which assigns a unique serial number to each test process undertaken by the testing machine. This means that each test process – consisting of polishing and measuring – can thus be uniquely identified.

Following the compiling and grouping in Access, the statistical analysis of the database ensues not only in Access itself, but also in Excel as well as the IBM SPSS Statistics Program.

3 Description of the data base

The data base is divided into three groups. The distribution of the number of data records (N) is as follows:

1. Polishing step characteristic data ... N = 2,246,605
2. Calibrating step characteristic data ... N = 4,547,832
3. Testing step characteristic data ... N = 16,711,369

In this regard, the calibrating step refers to the measurements undertaken on the textured glass plate. The number N includes all the individual values of the polishing/measuring process, i.e. in the case of the testing step, for example, the total

recording of the braking process with a path speed between 100 and 0 km/h. The recording interval for the polishing step is 1.024 seconds, and for the calibrating and testing steps is 0.008 seconds. In total, the database contains 1,352 test events (measurement processes without calibration measurements).

The PWS measurement for the result of the test at a path speed of 60 km/h is not directly read from the raw data but based on the regression of the measurements in the range from 95 to 5 km/h using a 6th degree polynomial instead. The smoothed curve thus obtained is only saved in the Excel measurement log and therefore cannot be adopted into the database. Alternatively, the PWS value is formed from the mean value of the measurement data at a path speed between 59 and 61 km/h for the subsequent evaluations. Due to the high number of random samples, this approach can be made use of for an evaluation with satisfactory accuracy – refer to Section 5.4 in this regard. The PWS value determined by this means is referred to as μ^*_{PWS} .

4 Characteristic data of the polishing process

4.1 Requirements

The polishing process is characterised not only by the number of rollovers but also by the temperature of the water / quartz powder mixture, the path speed (or alternatively, the rotary speed of the roller head) as well as the torque measured underneath the sample. Requirements for the characteristic data are laid down in the Technical Test Regulations TP Gestein, Part 5.4.2 as well as in the draft of EN 12697-49.

4.2 Temperature distribution of the water / quartz powder mixture

The water / quartz powder mixture should not exceed a temperature of 25°C.

The raw data is grouped by polishing step and the mean value of the water / quartz powder mixture temperatures recorded is calculated for each polishing step. The mean values thus calculated were classified and statistically evaluated with class width of 1 K.

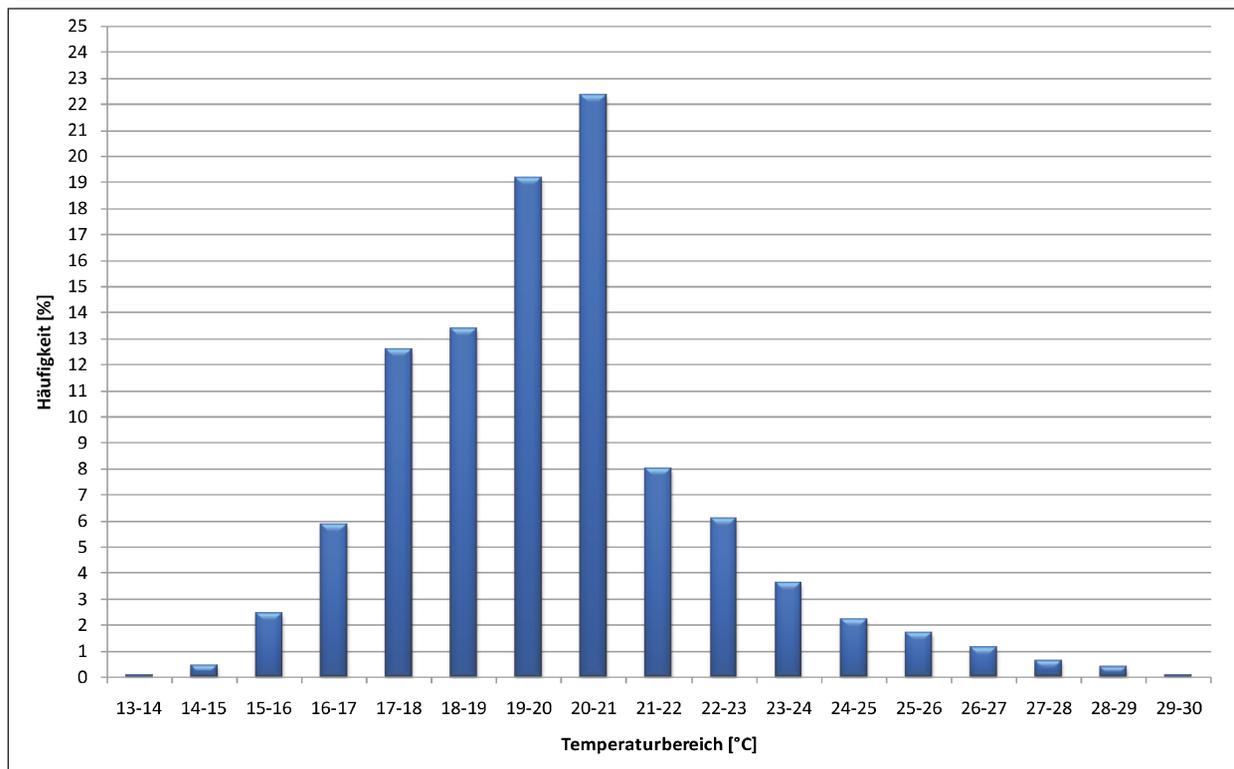


Fig. 1: Temperature distribution of the water / quartz powder mixture

N [Qty.]	Mini- mum	Maxi- mum	Mean value	Standard deviation
	[°C]			
1352	13.5	29.2	19.9	2.4
Number of values above 25 °C: 52 (4%)				

Tab. 1: Characteristic data of the temperature distribution of the water / quartz powder mixture

The statistical characteristic data are summarised in Table 1. The temperature spectrum ranges from about 13 to 29 °C with a mean value of around 20 °C. Figure 1 depicts the frequency distribution of the classical values.

The set requirement is thus fulfilled in 96% of the cases and is therefore workable in practice. Tests undertaken not complying with the requirements are to be excluded from the evaluation.

4.3 Path speed and rotational speed of the roller head

The path speed is intended to reach ca. 17 km/h. This implies a rotational speed of 500 rev/min – i.e. 90,000 rollovers per hour. The EN 12697-49 draft envisages 500 rev/min (± 5 rev/min) as a requirement.

A total of 2,246,605 values were analysed, of which 94.4% for the path speed lie between 16 and 18 km/h. 1.7% of the values are ascribable to the acceleration process and the coasting at the end of the test. The remaining 3.9% describe the standstill of the roller head at the beginning and end of the test.

In the case of evaluating the rotational speed, 94.2% of the values lie in the range from 490 to 510 rev/min. The remaining values are ascribable to the beginning and end of the test – as in the case of the path speed. A closer inspection of the aforementioned range (490 to 510 rev/min) reveals that the tolerance requirement of ± 5 rev/min is used up and occasionally exceeded – cf. Figure 2. Amongst other things, the rotational speed is affected by the evenness of the surface. This is illustrated by randomly selected evaluations of individual testing processes, cf. Figure 3.

Thus the set requirements both on the path speed and the rotational speed are fulfillable and are therefore workable in practice.

4.4 Polishing torque

No quantitative requirements on the polishing torque or its development have been laid down. The

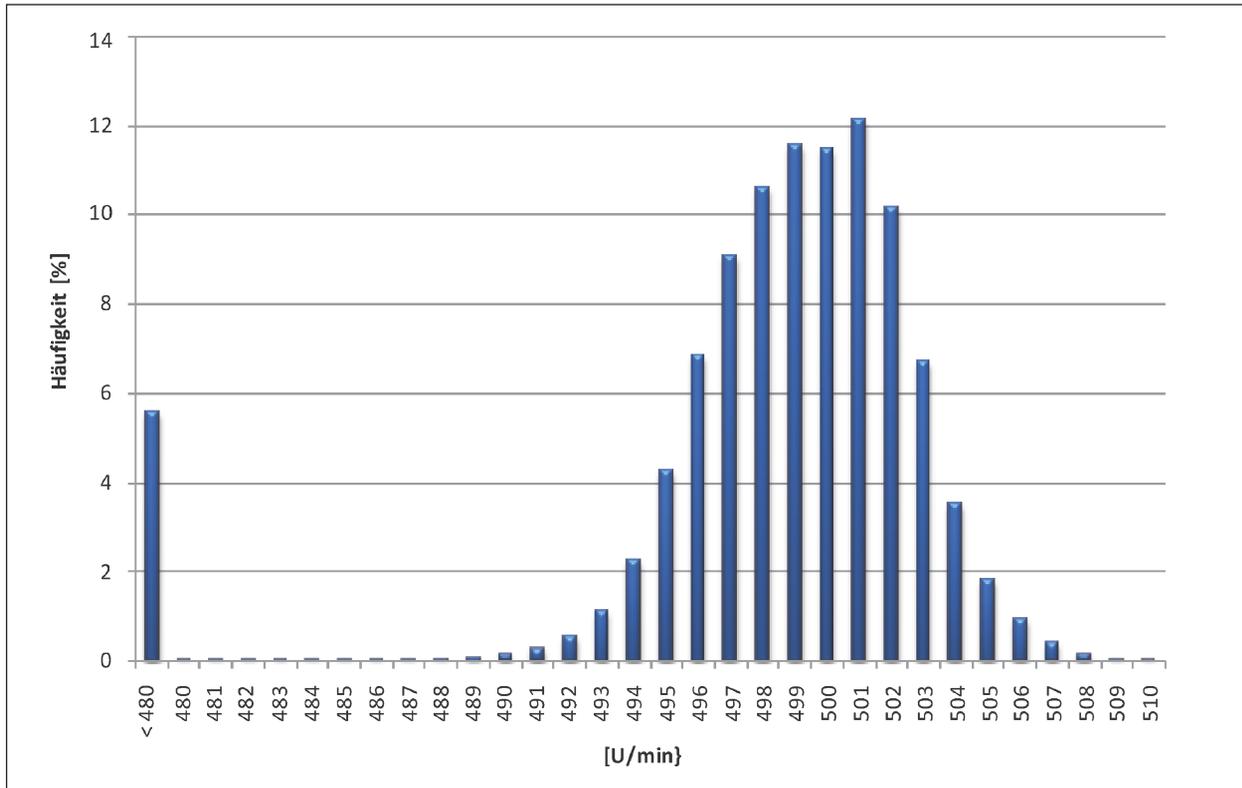


Fig. 2: Distribution of the rotational speed in the range above 480 revolutions per minute

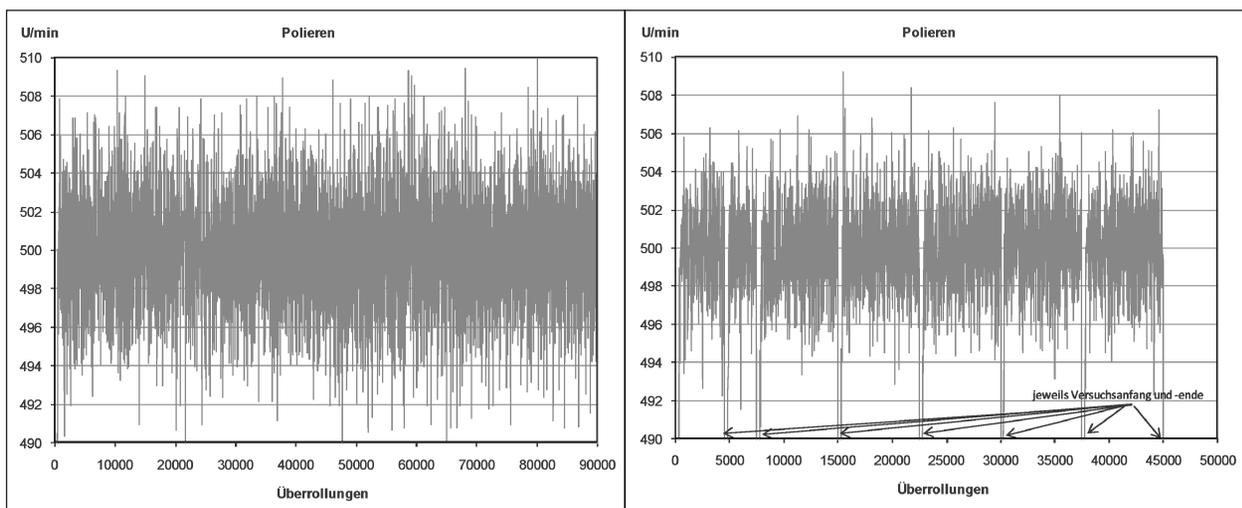


Fig. 3: Examples for the distribution of the rotational speed during the test

manufacturer specifies that the development of the rotational torque should be uniform and regular. This requirement has been adopted in the Austrian Guidelines and Regulations for Road Infrastructure (RVS) in the form of exaggerated example curves. The polishing torque is measured beneath the sample table, i.e., it is influenced by factors such as the rotation of the polishing head, the friction (slippage) of the polishing rollers, the friction between polishing rollers and sample surfaces as well as the inertia of the sample. A clear physical or

computational separation of the various influences at work is not possible. For this reason, the application of the polishing torques for the purpose of deriving any conclusions regarding, say, the polishing roller slippage is also not possible.

The polishing torques recorded were grouped across the individual polishing steps and averaged (refer to the approach under Section 2). In order to exclude the data relating to the beginning and end of the test, the data records with a path speed

under 490 rev/min were excluded from the evaluation. A total of 1,319 data records are therefore available for the evaluation.

The frequency distribution of the polishing torques for a class width of 0.5 Nm are depicted in Figure 4. Around 82% of the values lie in the range from 2.5 to 3.5 Nm, while about 99% lie in the range from 2 to 4 Nm. These values can, say, be adopted as reference values when checking the polishing process in the laboratory.

As a statistical measure for the evenness of the polishing process, the standard deviations of the individual polishing processes (for rotational speeds in the range from 490 to 510 rev/min) lie in the range up to 0.2 Nm – and up to 0.4 Nm in individual cases, cf. Figure 5.

5 Characteristic data of the measuring process

5.1 Requirements

During the measurement process, the temperature of the test water is recorded as well as important characteristic data required for the evaluation of the skid resistance. Requirements are applied to this test water temperature as well as the measurement on the control plate (glass plate).

5.2 Temperature of the test water

The water required for soaking the surface of the sample should lie in a temperature range from 8 to 16 °C.

The water temperature recorded on samples is evaluated during the measurement process. As the cooling unit used in the BAST testing device did not function reliably until the defect was rectified by the manufacturer on 24th June 2009, only the data obtained since that date was evaluated.

The mean value per measuring process was thereby determined. A total of 710 values were analysed, of which 99% lie within the specification range. Only 1% of the values lie above the specification range (maximum 22,6 °C) with a maximum value of 16 °C determined. No temperature was observed below the minimum temperature specification. The results are depicted in Figure 6.

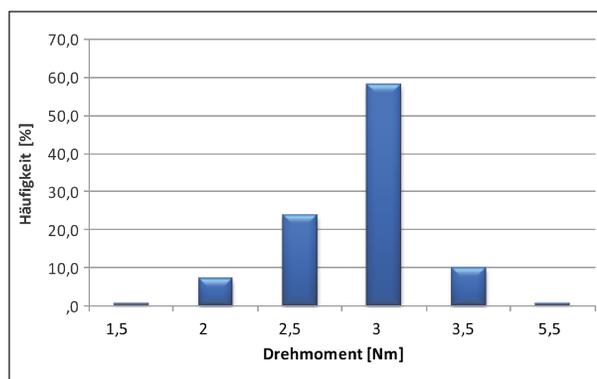


Fig. 4: Frequency distribution of the polishing torques

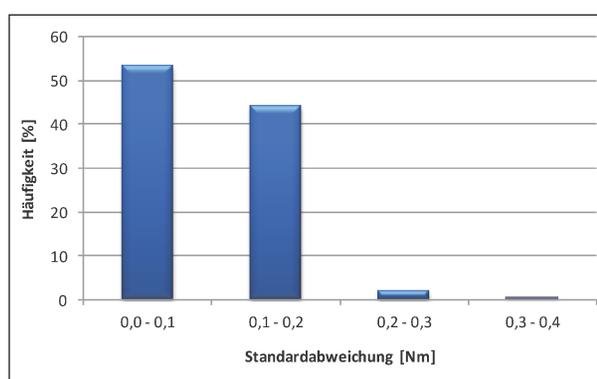


Fig. 5: Frequency distribution of the polishing torques standard deviations

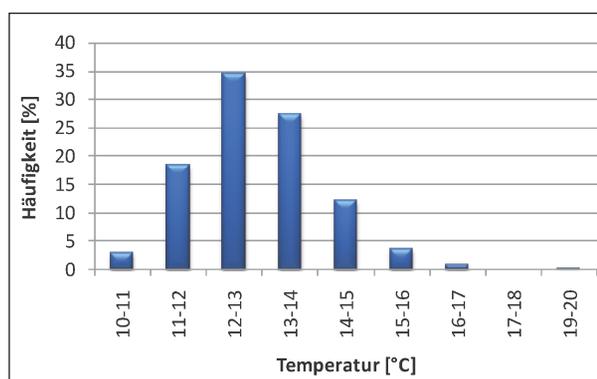


Fig. 6: Frequency distribution of the test water temperature

Although the specification range was therefore adhered to using the available cooling technology, monitoring and control of the temperature recording is still necessary – particularly in the summer months.

5.3 Glass plate

The result of the measurement on the control plate may not deviate more than 10% from the setpoint value. The setpoint value is not defined and should therefore be regarded as a typical laboratory value.

For orientation purposes, a range of 0.090 to 0.115 μ_{PWS} is specified by the manufacturer.

Over a period of 5 years, a total of 1,647 measurements were evaluated. The data base also includes measurement results that lie outside the specification range – this resulted in the measuring rubbers being replaced or regenerated. As a general rule, no measurements were carried out with measuring rubbers that displayed serious damage from an optical perspective. The mean value for the glass plate used by BAST is 0.113 μ_{PWS} , i.e. within the permissible range of 0.102 μ_{PWS} to 0.125 μ_{PWS} .

5.4 Interpolation of the friction coefficient and shape of the measuring curve

The PWS friction coefficient is defined as the friction coefficient read at a measuring head speed of 60 km/h. As the friction coefficient curve develops unevenly with respect to the speed – due to the system, a smoothed measuring curve is generated. This is approximated to by a 6th degree polynomial

in the 95 to 5 km/h speed range. The unsmoothed measurement graph is neither output in the measurement log nor displayed during the test. Figure 7 depicts both the smoothed measurement graph and the actual measurement graph – as well as the range between 50 and 70 km/h – in an enlarged form for a randomly selected measurement.

The coefficient of determination R^2 was ascertained for the polynomial function for five randomly selected tests on various surfaces (refer to Table 2).

Surface	R ²	Raw data ^{1, 2}	delta min/max ²	Control log value ³
Sandpaper	0.88	0.649	0.031	0.656
OPA	0.43	0.494	0.049	0.492
OPA	0.91	0.251	0.060	0.256
Exposed concrete aggregate	0.36	0.428	0.100	0.426
Sand	0.40	0.509	0.037	0.509

1 Mean value
 2 for the speed range 59.5 to 60.5 km/h
 3 Interpolated value from the smoothed curve

Tab. 2: Comparison of the interpretation of the measurement graph

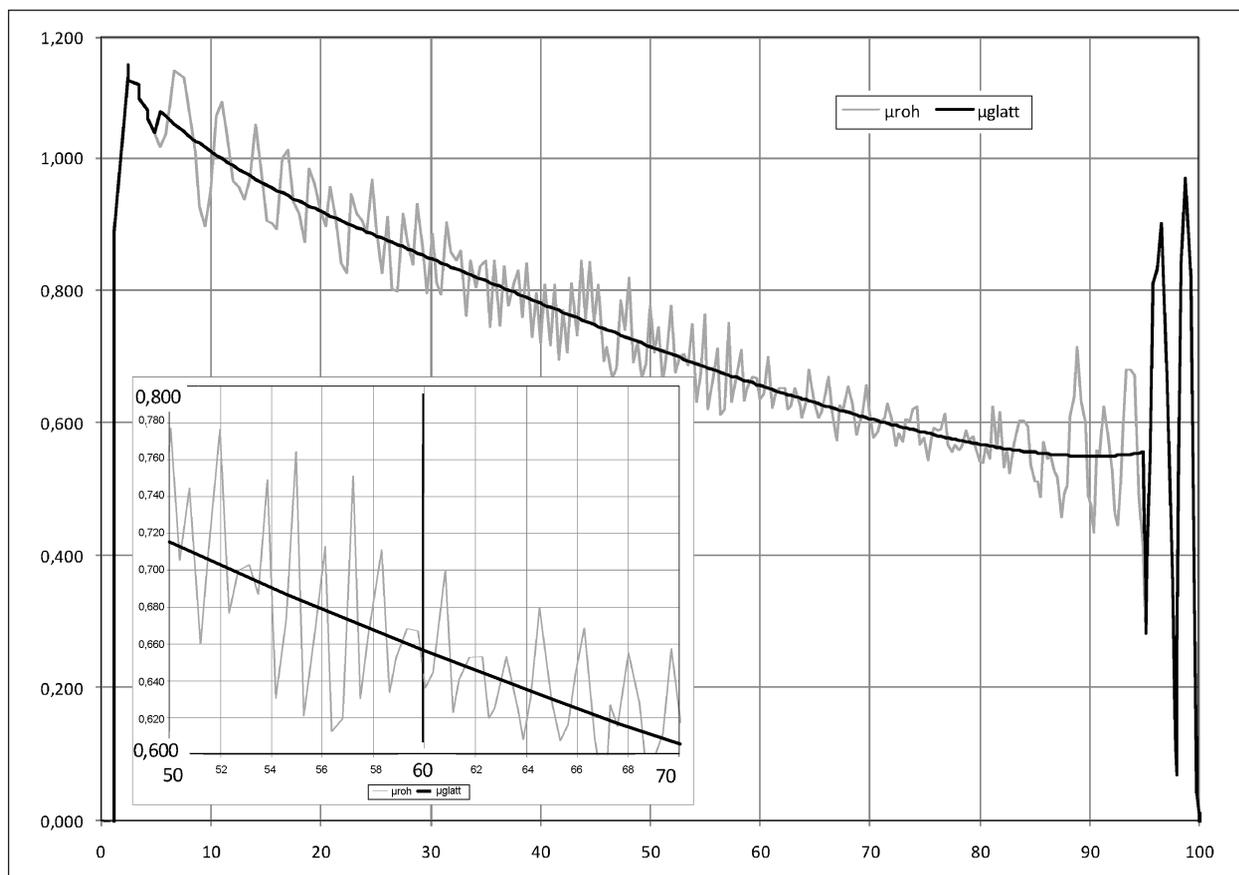


Fig. 7: Unsmoothed (μ_{raw}) and smoothed (μ_{smooth}) measuring graphs

Furthermore, the mean value of the raw data was calculated in the speed range around 60 km/h ($\pm 0,5$ km/h) as well as the range of values in the area, and contrasted with the value specified in the log.

This evaluation reveals that the although values adjusted by the 6th degree polynomial generally agrees well with the averaged raw data, the interpretation of the measurement results in the area of the third decimal place must nevertheless be critically examined. In this regard, consideration of the actual shape of the measurement graph (raw data) is useful for the interpretation. For example, it can be recognised whether during the measurement the measuring head was properly positioned on the sample surface or – in the case of extremely uneven surfaces or a high degree of lag time – became detached from the surface.

6 Conclusion

A large number of characteristic data were recorded during the polishing process and the measurement process. On the basis of these values, it proved possible to show that the existing and planned requirements for the testing device are achievable.

The polishing process and measurement characteristic data are only partially displayed to the operator of the testing device during operation. Warning messages, such as those occurring when the permissible temperature of the test water is exceeded, are not output.

Similarly, the test log includes only a few values that provide information on the quality of the test itself. Specifically, only the rotational speed curve and the torque curve – together with the measurement readings on the sample and glass plate – are graphically displayed. Although the data required for the more precise quality control is logged in the measurement files, it first of all, however, has to be prepared.

To remedy these shortcomings, a possibility of directly controlling the characteristic data is presented in the following text.

7 Direct control of the characteristic data

As explained above, a large number of characteristic data are recorded during the testing process but not directly displayed to the testing and

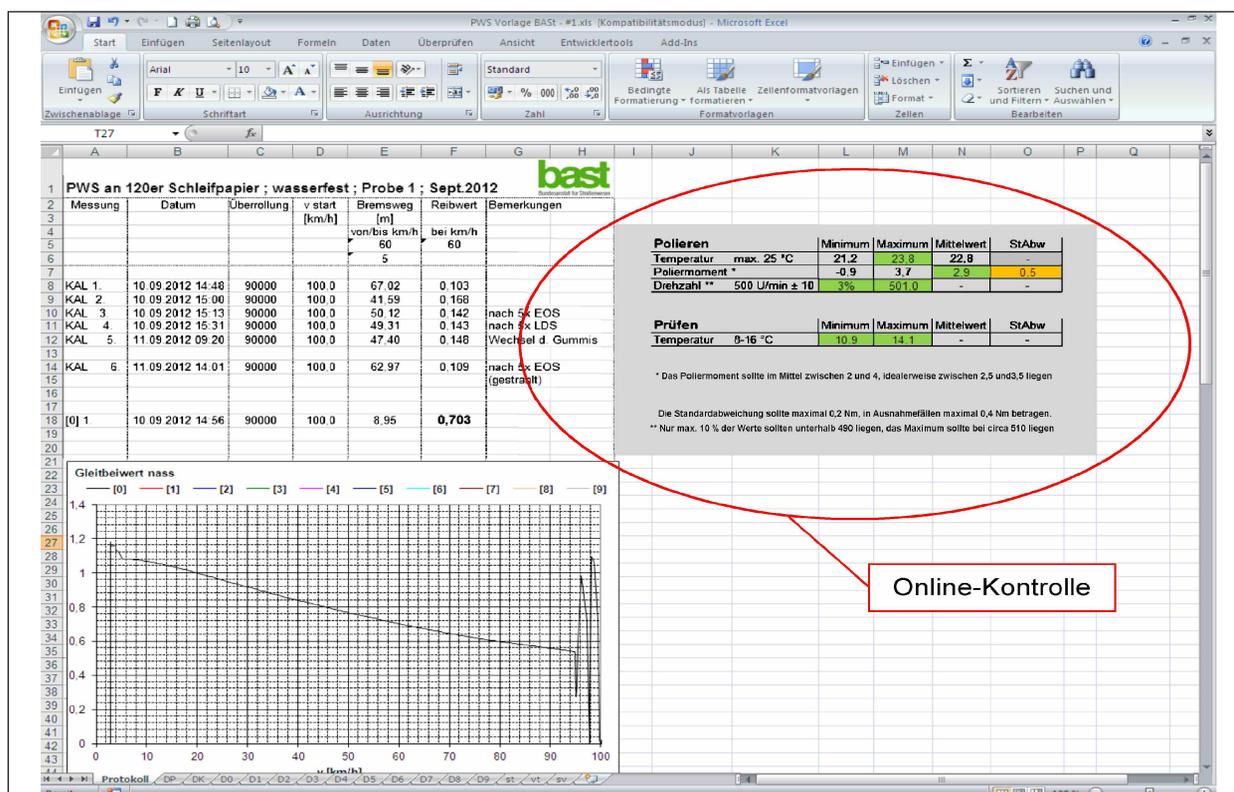


Fig. 8: Example of online control

MS Access VBA macro (module) for importing several *.txt files into an Access database

Requirement: All files to be imported are located in the same directory - in this case in the directory "D:\Import" -----

A table has been defined in Access, which contains the necessary structure (number of fields/columns)
The name of the table is freely selectable, in this case "Data". -----

```
Option Compare Database
Option Explicit

Sub InputMultipleFilesV1()
    'Specifying the start directory for the search
    Const SearchDirectory = "D:\Import"
    Const DataType = "*.txt"
    'Target table to append the data to
    Const TargetTab = "Data"
    Dim i As Integer
    Dim CurrentFile As String

    CurrentFile = Dir(SearchDirectory & "\*" & DataType)
    While Len(CurrentFile) > 0
        Debug.Print CurrentFile
        LinkAndAppendOneTXTFile SearchDirectory & "\*" & CurrentFile, TargetTab
        CurrentFile = Dir
    Wend
End Sub

Sub LinkAndAppendOneTXTFile(CurrentDataFullNam As String, _
    TargetTab As String)
    Const TmpLink = "TabtmpLink"
    Const ImportSpec = "PWS_Import"

    On Error Resume Next
    DoCmd.DeleteObject acTable, TmpLink
    On Error GoTo 0
    DoCmd.TransferText acLinkDelim, ImportSpec, TmpLink, CurrentDataFullNam
    CurrentDb.Execute "INSERT INTO " & TargetTab & _
        " SELECT " & TmpLink & ".*" & _
        " FROM " & TmpLink & ";"
End Sub
```

Source: http://www.office-loesung.de/ftopic67562_0_0_asc.php#272150

evaluating personnel. The characteristic data is exchanged between the processor control unit of the PWS testing device and the PC connected to it. This allows an 'online' control of the testing process, which can then be used to decide on the acceptance or rejection of the test or test result.

This is possible due to the control of the testing device and output of the test data / characteristics in a Microsoft Excel environment. The existing Excel template can be modified according to need. As the system-relevant components (VBA programming) are blocked by the manufacturer and the actual control of the testing device ensues by means of a processor control unit decoupled from the PC, there exists only a low risk of harmful software attacks. For security reasons, however, a backup copy should always be used when making modifications to the Excel template.

An example of how this online control can be implemented is provided in Figure 8: Example of online control. The data is continually being updated during the test. At the end of the test, the data is additionally saved in the file to enable a retrospective control on the part of the evaluation personnel to either accept or reject the test results.

A description of how to produce this visualisation is provided in the following text section.

Producing the online control in the PWS template

The online control can be placed in any position within the PWS template. However, the position should ensue in such a way that the online control is visible to the machine operator during the polishing and measurement processes. In the event

that the online control is also to appear in the printed test log, then the print area has to be modified accordingly.

Only table functions are used for the online control. Programming in VBA is not necessary and in any case – due to the blocking of the template – not possible.

The following figure shows the finished online control together with characteristics.

Polieren	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 25 °C	21,2	23,8	22,8	-
Poliermoment*	-0,9	3,7	2,9	0,5
Drehzahl** 500 U/min ± 10	3 %	501,0	-	-
Prüfen	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 8-16 °C	10,9	14,1	-	-
* Das Poliermoment sollte im Mittel zwischen 2 und 4, idealerweise zwischen 2,5 und 3,5 liegen Die Standardabweichung sollte maximal 0,2 Nm, in Ausnahmefällen maximal 0,4 Nm betragen. ** Nur max. 10 % der Werte sollte unterhalb 490 liegen, das Maximum sollte bei circa 510 liegen				

This data is based on the following table functions (assigned via the letters A to K).

Polieren	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 25 °C	A	B	C	-
Poliermoment*	D	E	F	G
Drehzahl** 500 U/min ± 10	H	I	-	-
Prüfen	Minimum	Maximum	Mittelwert	StAbw
Temperatur max. 8-16 °C	J	K	-	-
* Das Poliermoment sollte im Mittel zwischen 2 und 4, idealerweise zwischen 2,5 und 3,5 liegen Die Standardabweichung sollte maximal 0,2 Nm, in Ausnahmefällen maximal 0,4 Nm betragen. ** Nur max. 10 % der Werte sollte unterhalb 490 liegen, das Maximum sollte bei circa 510 liegen				

- A = MIN(DP!G:G)
- B = MAX(DP!G:G)
- C = MITTELWERT(DP!G:G) (MEAN VALUE)
- D = MIN(DP!F:F)
- E = MAX(DP!F:F)
- F = MITTELWERT(DP!F:F) (MEAN VALUE)
- G = STABW(DP!F:F) (STANDARD DEVIATION)
- H = ZÄHLENWENN(DP!E:E;"<490")/ZÄHLENWENN(DP!E:E;">0") (number format %)
- I = MAX(DP!E:E)
- J = MIN(D0!G:G;'D1!G:G;'D2!G:G;'D3!G:G;'D4!G:G;'D5!G:G;'D6!G:G;'D7!G:G;'D8!G:G;'D9!G:G;DK!G:G)
- K = MAX(D0!G:G;'D1!G:G;'D2!G:G;'D3!G:G;'D4!G:G;'D5!G:G;'D6!G:G;'D7!G:G;'D8!G:G;'D9!G:G;DK!G:G)

In addition, the fields B, F, G, H, I, J and K will still be populated with conditional formattings ('Start' tab – 'Conditioned formatting')

	If ...	then ...
B	Zellwert <= 25	Zellfarbe Grün
	Zellwert > 25	Zellfarbe Rot
F	Cell value not between 2 and 4	Cell colour orange
	Cell value between 2.5 and 3.5	Cell colour green
	Cell value between 2 and 4	Cell colour light green
G	Cell value > 0.9	Cell colour red
	Cell value > 0.2	Cell colour orange
	Cell value <= 0.2	Cell colour green
H	Cell value <= 0.1	Cell colour green
	Cell value > 0.1	Cell colour red
I	Cell value <= 510	Cell colour green
	Cell value > 515	Cell colour red
	Cell value > 510	Cell colour orange
J	Cell value < 8	Cell colour red
	Cell value >= 8	Cell colour green
K	Cell value > 16	Cell colour red
	Cell value <= 16	Cell colour green

Part 2: Evaluating comparative studies for checking the polishing unit by means of sandpaper

1 Instigation

The polishing method based on the WEHNER/SCHULZE testing device (PWS), or also FAP (Friction after Polishing) is used for checking the polishing resistance of aggregates and to provide the gripping prognosis of surfaces consisting of, say, asphalt or concrete. The testing device consists of a polishing unit and a measuring unit. Specific parameters must be complied with during the polishing and measurement process for the test to be accepted in accordance with the Technical Test Regulations for Stone/Rock Aggregates StB, Part 5.4.2 and prEN 12697-49. These parameters are essentially the temperatures and the flow rates of the water used. For the purpose of testing the measuring unit, the measuring rubbers must be checked by means of a measurement on a textured glass plate before the measuring on a sample ensues. If this measurement lies in a defined tolerance range around the typical value for the laboratory, respective for the machine, then it is assumed that the measuring unit is working properly and that the measuring rubbers may be used for the test.

An equivalent test of the polishing unit does not exist to date. The test ensues solely as part of the laboratory self-monitoring, i.e. controlling the water / quartz powder flow rate plus manual/visual control of the status of the polishing control and the free movement of the polishing roller bearing. Establishing and ensuring the full functional capability of the system is therefore incumbent upon the subjectively influenced assessment of the person operating the testing device. No comparison ensues with testing devices in other laboratories.

The aim therefore is the development of a testing method (or test medium) that allows an objective, laboratory-independent assessment of the functional capability of the polishing device.

2 Problem-solving approaches

An initial idea was the control of the polishing torques measured and recorded by the polishing device. The polishing torque is the torque measured underneath the test sample by the radial shifting of the sample during the polishing process, cf. Figure 9. Initial evaluations, however, reveal that this torque significantly depends on the structure of the surface to be tested, and is thus not suitable for an absolute analysis and evaluation. Nevertheless, it was possible to establish that a qualitative and visual assessment of the development of the polishing torque is, in fact, useful in detecting basis defects in the polishing unit, such as a defective polishing roller bearing.

A further idea was to use a polishable surface, which exhibits, say, a consistent quality or polishing resistance as a result of industrial-scale manufacture. As a matter of principle, this can be any surface that can be installed into the testing device. Limitations in this regard include the handling, the weight, the price and a high space requirement in storing large quantities for periodical checks of the polishing unit to be carried out. One result of these preliminary considerations was the exclusion of walkway slabs as a control medium in the further deliberations.

Conventional sandpaper obtained from DIY stores was used for the approach illustrated here. Initially, the suitability of sandpaper as a control medium can be assumed due to its industrial-scale manufacture, its low price, the unproblematic procurement and storage of large quantities as well as major similarities to the surfaces to be typically polished in the PWS testing device.

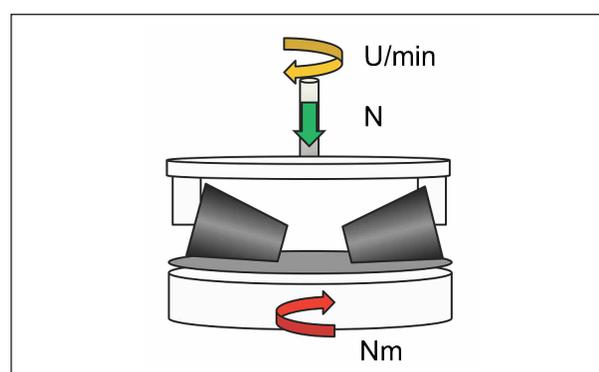


Fig. 9: Schematic diagram of the measuring of the polishing torque

3 Preliminary investigations

3.1 General information on sandpaper

Preliminary investigations to determine the general suitability and selection of a sandpaper as well as the possibilities of attaching the sandpaper to a carrier plate were initially undertaken by BAST internally.

A distinction is made between sandpaper and abrasive cloth. The basic difference in this regard is the carrier medium – paper or fabric. Although abrasive cloth (fabric) is designed for more demanding applications because the fabric is more tear-resistant in comparison to paper, a non-waterproof adhesive is nevertheless used to attach the abrading medium to the surface. In the case of sandpaper, it is additionally necessary to distinguish between dry and wet sandpaper. The details of the grain are a measure for the grain fineness and its thickness on the sandpaper. The higher the grain number, the higher is the grain's fineness. Synthetic corundum (e.g. aluminium oxide) is usually used as an abrasive medium. The Federation of European Producers of Abrasives (FEPA) is responsible for producing standards on sandpaper.

3.2 Selecting the sandpaper and adhesive

For initial tentative tests, two wet sandpapers with a grain fineness of 120, one wet sandpaper with a grain fineness of 180 and an abrasive cloth obtained from the OBI and BAUHAUS DIY stores (own brands) were used. The sandpapers were cut to size by hand and glued to a circular plywood carrier plate (with a diameter of 225 mm). Three different adhesives were used to attach the sandpapers. Uhu 2-component adhesive (manufacturer: Henkel), Kleiberit 2-component adhesive (manufacturer: Kleiberit) and L1100 epoxy resin (manufacturer R&G). The plywood plates were coated beforehand with the respective adhesives for sealing purposes.

3.3 Trial programme

In each case, two sandpaper plates were produced for diverse combinations (cf. Table 3). Once the adhesive glue had dried, in each case the

sandpaper plates were subjected to load in the PWS testing device with 90,000 rollovers and the friction coefficient determined twice.

3.4 Results

Test 1 (cf. Table 3) revealed that abrasive cloth is an unsuitable medium, because the grain is attached to the fabric with non-waterproof adhesive. After the polishing test, there was no grain left on the abrasive cloth.

In Test 2 (cf. Table 3), the sandpaper withstood the effects of the polishing and measuring processes. On the first plate, however, a tear in the paper and the formation of blisters was observed, cf. Figure 10. The friction coefficients (cf. Table 4), of both plates lie very close together – 0.634 and 0.629 (first measurement). The difference (0.005) lies significantly below the repeatability of 0.03 units generally accepted in PWS measurements.

In Test 3 (cf. Table 3), although the sandpaper basically withstood the effects of the polishing and measuring processes, more tears (and similar effects) were noticed than in Test 2. The friction coefficients (cf. Table 4), of both plates lie very close together – 0.683 and 0.663 (first measurement). The difference (0.020) lies significantly below the repeatability of 0.03 units generally accepted in PWS measurements.

In Test 4 (cf. Table 3), the sandpaper withstands the effects of the polishing and measuring processes. The friction coefficients of 0.540 and 0.501 resulting in this tentative test, however, revealed a big difference between the two sandpaper plates.

Test No.	Sandpaper	Adhesive
1	Abrasive cloth (No. 120) OBI Lux (own brand)	UHU 2-K
2	Wet sandpaper (No. 120) OBI Lux (own brand)	UHU 2-K
3	Wet sandpaper (No. 120) BAUHAUS (own brand)	Kleiberit 2-K
4	Wet sandpaper (No. 180) OBI Lux (own brand)	Kleiberit 2-K
5	Wet sandpaper (No. 120) OBI Lux (own brand)	L1100 2-K

Tab. 3: Preliminary investigation test programme



Fig. 10: Intact (left side) and torn (right side) sandpaper plate

Test No.	Friction coefficient 1 st measurement	Friction coefficient 2 nd measurement	Damage caused to the sandpaper by the polishing and measuring process	Suitable for further investigations
	Plate 1 Plate 2 Plate 3 <i>Mean value</i>	Plate 1 Plate 2 Plate 3 <i>Mean value</i>		
1	- - - -	- - - -	yes	no
2	0,634 0,629 - <i>0,632</i>	0,594 0,620 - <i>0,607</i>	yes	no
3	0,683 0,663 - <i>0,673</i>	0,646 0,642 - <i>0,644</i>	yes	no
4	0,540 0,501 - <i>0,521</i>	0,519 0,504 - <i>0,512</i>	no	yes
5	0,656 0,624 0,639 <i>0,640</i>	0,643 0,608 0,639 <i>0,630</i>	no	yes

Tab. 4: Evaluating the preliminary investigations

In Test 5 (cf. Table 3), three sandpaper plates were examined. All of them withstood the effects of the polishing and measuring processes. The friction coefficients (cf. Table 4) of the plates – 0.656, 0.624 and 0.639 (first measurement) were grouped close together. The maximum difference (0.032) lies within the repeatability of 0.03 units generally accepted in PWS measurements.

3.5 Interim conclusion

The decisive factor for applicability is the choice of sandpaper in combination with the adhesive. In the

first tentative tests, the combination of "OBI own brand Lux No. 120 wet sandpaper with L1100 2-K epoxy resin adhesive" proved to be a success. Measurement readings in the range of 0.64 were achieved with a No. 120 grain. For sandpaper with a No. 180 grain, measurement readings in the range of 0.52 were achieved.

This approach appears to be suitable for further investigation into defining a test medium – particularly due to the relatively low statistical spread lying within the range of the normally acceptable repeatability of the testing method.

4 First comparative study

4.1 Approach

As a result of the aforementioned preliminary investigations, comparative studies were carried out on three PWS testing devices, including the BAST testing device.

For this purpose, sandpaper plates were manufactured and supplied by BAST. The technical testing laboratories were assigned the task of polishing the sandpaper plates with 90,000 rollovers and subsequently measuring the skid resistance twice (as far as possible). In addition, the standard measurement on the glass plate should take place for all measurements. Following this, the sandpaper plates were returned to BAST for a final measurement.

4.2 Testing laboratories

The testing institutions taking part – with the exception of BAST – have been anonymised in the following text with the letters "A" and "B". BAST is denoted by the letter "Z" in the following evaluations.

The testing institutions taking part possess both long-standing experience with the PWS testing device and the necessary scientific, engineering and technical expertise.

4.3 Samples

The sandpaper plates were manufactured from No. 120 wet sandpaper, OBI Lux (own brand) and L1100 2-K epoxy resin adhesive.

Three sandpaper plates (denoted by A1, A2 and A3) were tested by testing institute A.

Testing institute B had two lots of three sandpaper plates to test: B1, B2 and B3 were polished with old, used polishing rollers (manufacture date 5/2005); B4, B5 and B6 were polished with new (run-in) polishing rollers.

Testing institute Z tested the sandpaper plates Z1, Z2, Z3 and Z4. Following the testing of Z1, Z2 and Z3 it was established that one of the three polishing roller bearings was defective. Thereupon all three polishing roller bearings were replaced and sandpaper plate Z4 tested.

4.4 Measurement readings

Table 5 shows the mean values and standard deviation of the first and second measurement (A and Z4: no 2nd measurement). Clearly visible is the high level of the A values, the low level of the B1-B3 readings (old polishing rollers) and the similar level of the B4-B6 and Z readings. The high standard deviation of the B4-B6 readings is conspicuous. Figure 11 illustrates these results and requires an individual evaluation of the readings obtained from testing institute B.

The clear statistical spread of the results from B4 to B6 are partly reflected in the measurements on the glass plate (calibration value), cf. Figure 12. Testing institute B was the only testing institute not to "regenerate" the measuring rubbers between the measurements on other surfaces – which was also not required in the test programme. B5 was tested before B4 and B6. When the B5 reading is used as a reference value (refer to the comparison of the calibration values), then the readings from testing institute B lie clearly below the other measurement values.

A discontinuous measurement graph (friction coefficient / speed) is conspicuous, when

Sample	Friction coefficient measurement 1 mean value	Friction coefficient measurement 1 standard deviation	Friction coefficient measurement 1 mean value	Friction coefficient measurement 1 standard deviation
A – (A4-A6)	0,762	0,011	-	-
B – (B1-B3)	0,529	0,014	0,500	0,005
B – (B4-B6)	0,656	0,118	0,648	0,052
Z – (Z1-Z3)	0,640	0,016	0,630	0,009
Z – (Z4)	0,659	-	-	-

Tab. 5: Friction coefficients – comparative studies 1

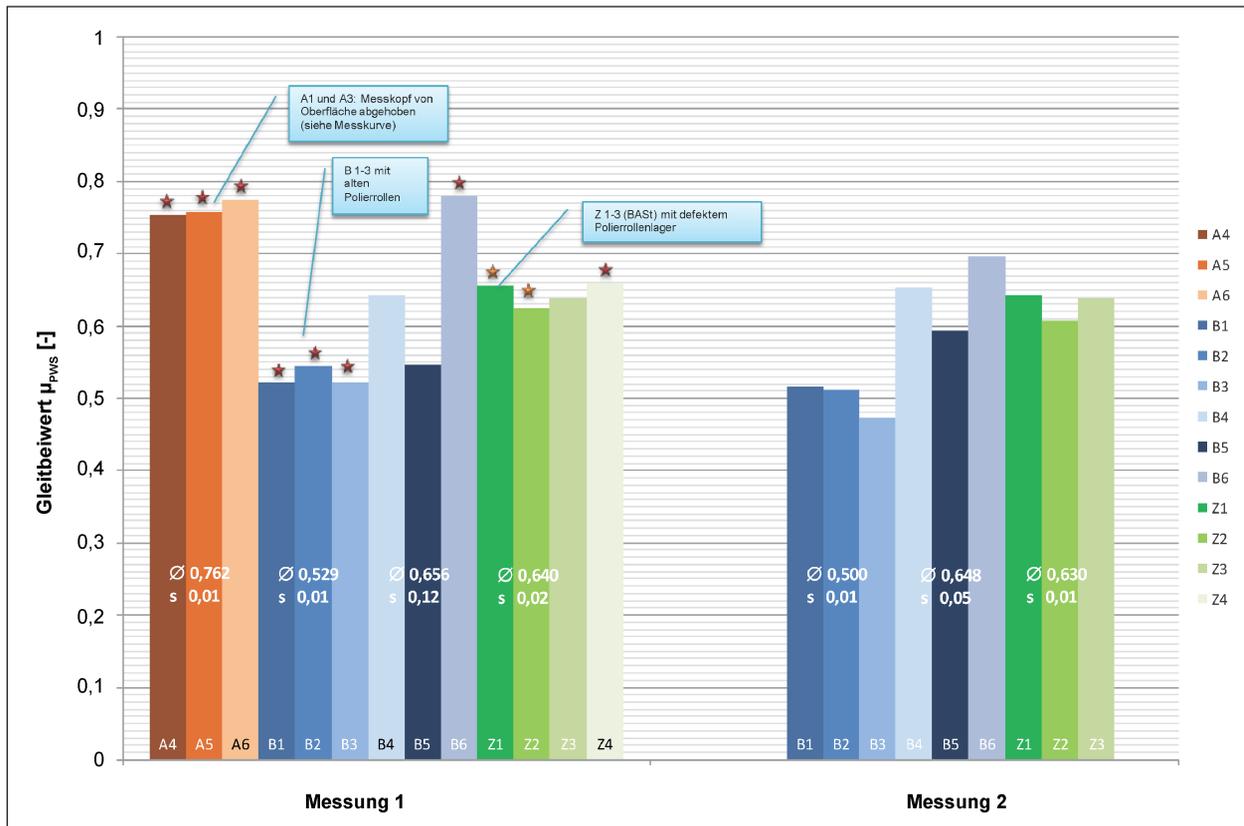


Fig. 11: Friction coefficients – comparative studies 1

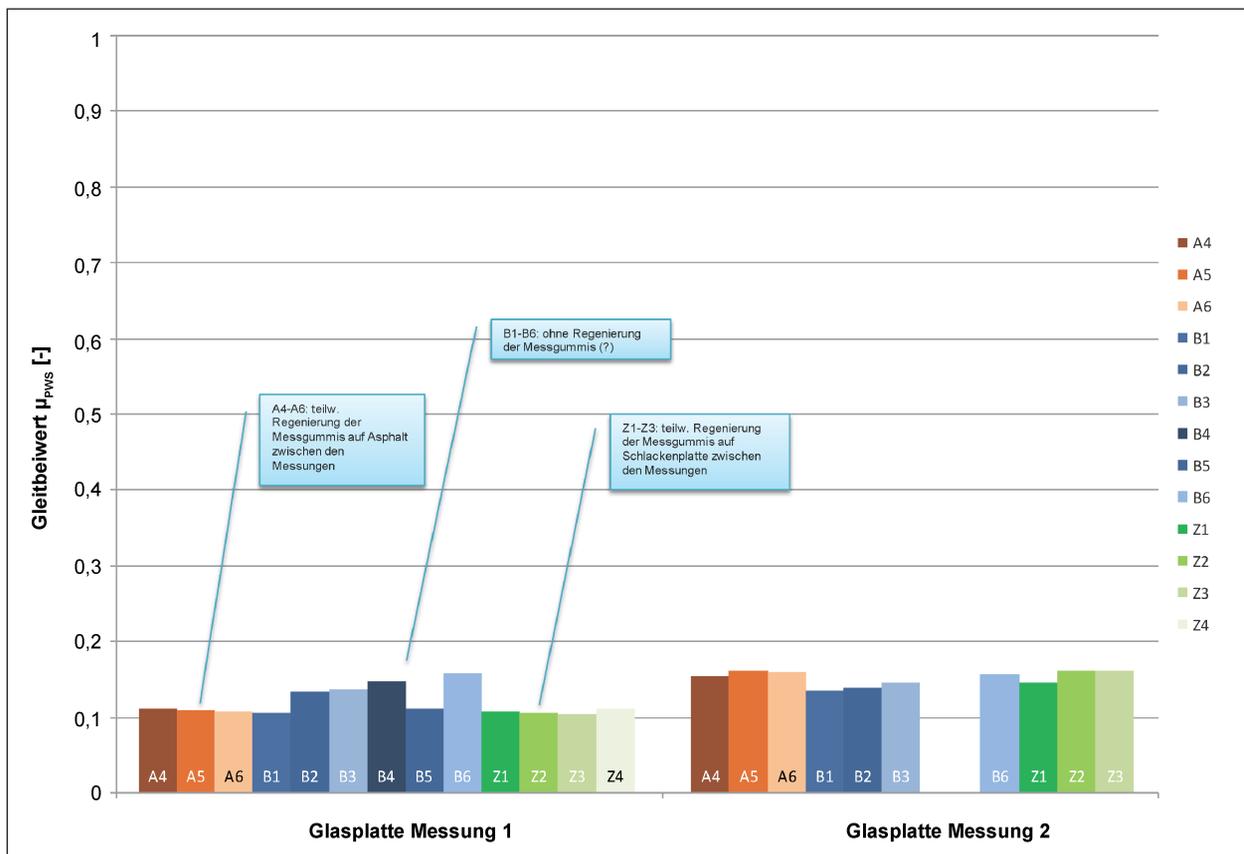


Fig. 12: Calibration values – comparative studies 1

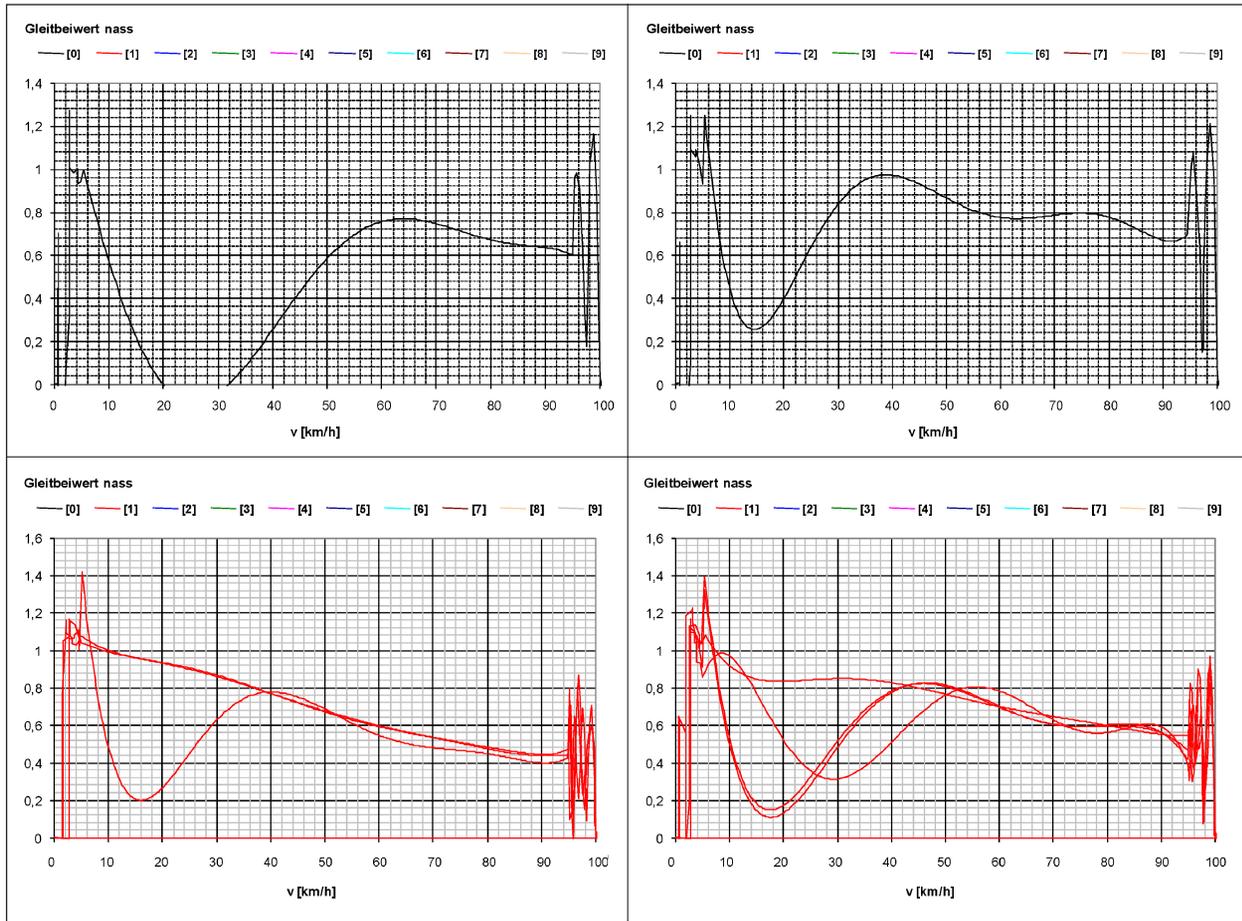


Fig. 13: Measurement graphs A4, A6, B5 and B6 (in the direction of reading) – comparative studies 1

evaluating the measurement values of testing institutes A and B. Figure 13 (below) shows the observations made for A4, A6, B5 and B6 (in the direction of reading).

Clear vibrations were observed during the measurements at testing institute A, whereby it is assumed that the measuring unit is triggered in the range of its own frequency (resonance), so that no continual contact existed between rubber measuring unit and sample surface.

Testing institute B states that there exists a slight clearance ($< 1/1,000$ mm) in the direction of measurement, thus allowing resonances to set in at measurements of high gripping.

A further cause could be sought in the area of the sample restraint, i.e. the evenness.

4.5 Polishing torques

Table 6 depicts the mean values and standard deviations of the polishing torques. In each case, only the area covered by a rollover quantity of 500 and up to the time at the end of the test – when the rotational speed of the polishing roller head drops below 500 rev/min – was evaluated.

The high mean values of samples B1 to B3 (old polishing rollers) are clearly visible. Furthermore, the readings with standard deviations greater than 0.2 are also conspicuous. The following figures illustrate the observations.

In Figure 11 (see above), the samples marked with an asterisk exhibit the polishing torques with a low statistical spread (standard deviation < 0.10 (or < 0.15 for Z2)).

Figure 14 depicts the polishing torque Z1 to Z3. A few days after the test, it was no longer possible to rotate one of the polishing roller bearings. All three polishing roller bearings were then replaced. Figure

Sample	Poliermoment					
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3
	Mean value (from 500 rollovers)			Standard deviation (from 500 rollovers)		
A – (A4-A6)	3,28	3,25	3,22	0,10	0,06	0,07
B – (B1-B3)	4,19	4,64	3,97	0,07	0,08	0,07
B – (B4-B6)	3,59	3,63	3,54	0,21	0,23	0,18
Z – (Z1-Z3)	3,35	3,34	3,04	0,08	0,14	0,29
Z – (Z4)	3,09	-	-	0,08	-	-

Tab. 6: Polishing torques – comparative studies 1

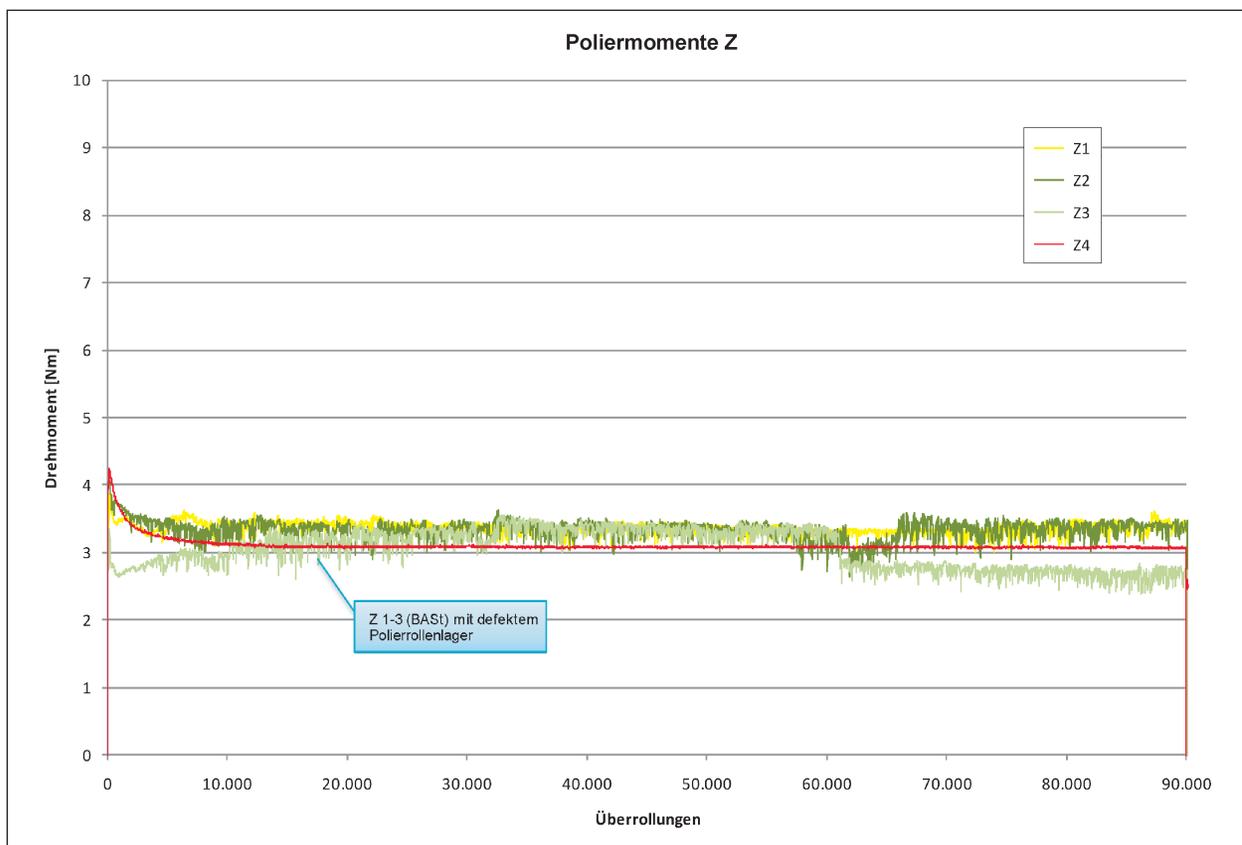


Fig. 14: Polishing torques Z1 to Z4 – comparative studies 1

14 shows the curve of the Z4 polishing torque with new polishing roller bearings. This well illustrates the effect of the condition of the polishing roller bearings.

Figure 15 depicts the polishing torques of testing institute B. The blue curves are attributable to B1 to B3. Although they run relatively uniformly, the curves lie at a significantly high level and are extremely different. Curves B4 to B5 (reddish) lie considerably lower; but B4 and B5 run very irregularly.

Figure 16 shows the polishing torques from testing institute A. These all run extremely uniformly with no conspicuous features.

Figure 17 depicts all the polishing torques in comparison. The differences in levels are readily noticeable: B1-B3 extremely high, B4-B6 high, while the others overlap in the range of 3.0 to 3.5 Nm.

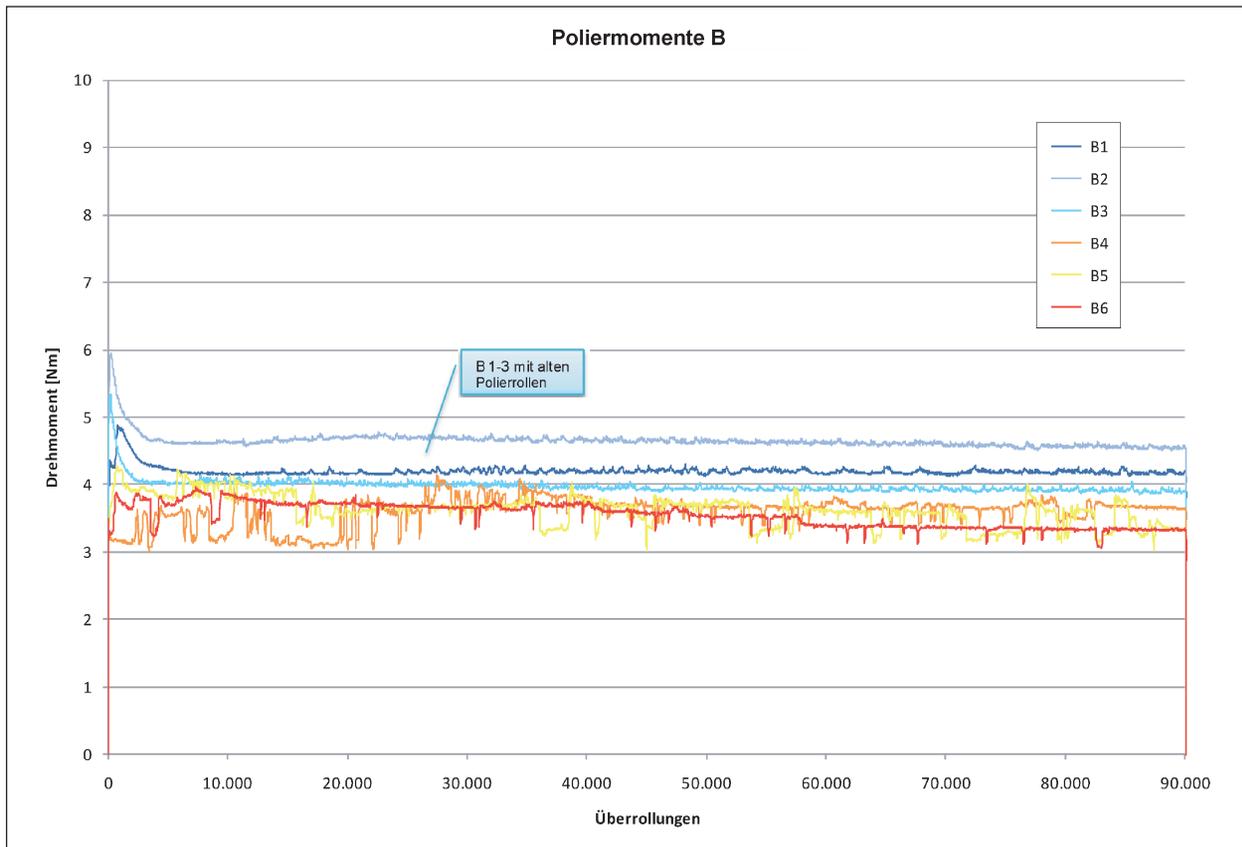


Fig. 15: Polishing torques B1 to B6 – comparative studies 1

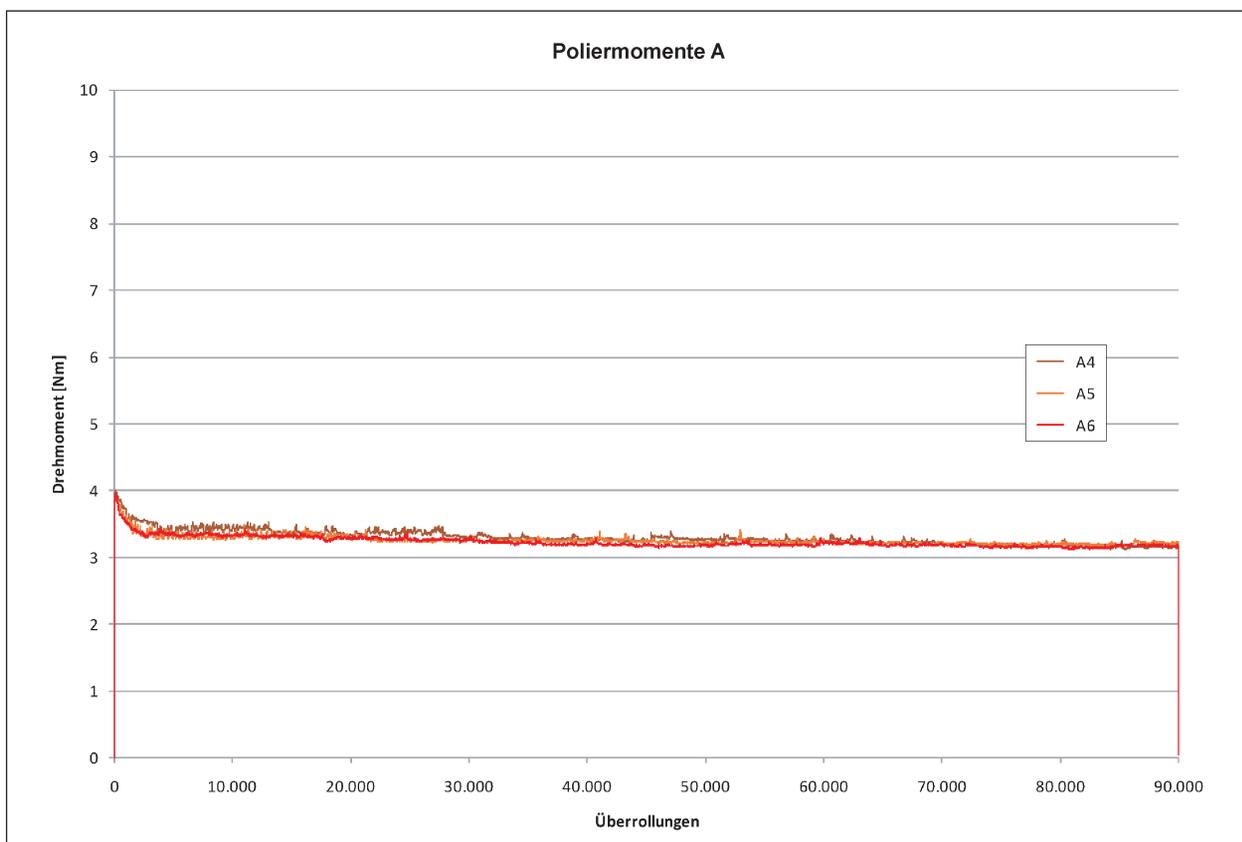


Fig. 16: Polishing torques A1 to A3 – comparative studies 1

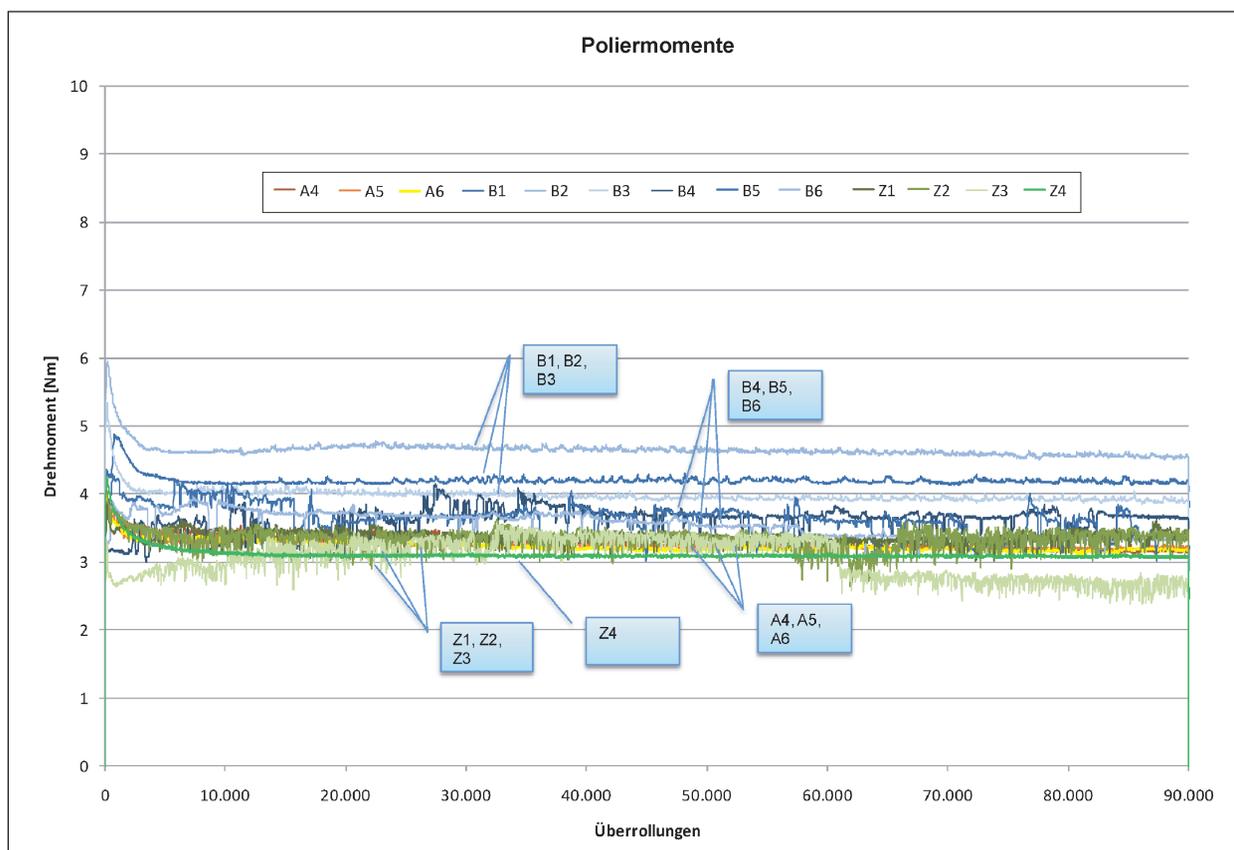


Fig. 17: Comparison of all polishing torques – comparative studies 1

4.6 Outstanding questions

It may be assumed from the readings that each testing institute possesses its own measuring/polishing level. The reasons for this may be due to:

- The sandpaper plates are not comparable/suitable.
A contrary indication is the fact that three measurement values of an institute are in each case comparable (an exception here are B4-B6).
- The individual machines measure differently.
- The individual machines polish differently.

The results (individual readings) are clearly affected by the condition of the measuring rubbers.

5 Second comparative study

Due to the results of the first comparative study and the resulting questions, a second comparative study was conducted. The intention was to exclude

as far as possible the causes specified in Section 4.6 by using the same polishing roller set and the first reading in the same testing device in each case.

5.1 Approach

Four PWS testing devices, including the BAST testing device, were used. For this purpose, three sandpaper plates were manufactured and supplied by BAST in each case. In addition, a set of new (but run-in) polishing rollers was made available by BAST, which was passed on from one testing laboratory to the next. In each case, the operators of the device received the task of polishing all three sandpaper plates (with 90,000 rollovers) as well as the polishing rolls provided, and then measuring the sandpaper plate skid resistance. The skid resistance of the two other sandpaper plates was subsequently measured with BAST testing device. In addition, a final measurement of the first polished and measured sandpaper plates in each case was carried out in the BAST. The measurements with the BAST testing device were contiguously made at the end of the test programme.

5.2 Testing laboratories

The testing institutions taking part – with the exception of BAST – have been anonymised in the following text with the letters "A", "B" and "C". BAST is denoted by the letter "Z" in the following evaluations.

The testing institutions taking part possess both long-standing experience with the PWS testing device and the necessary scientific, engineering and technical expertise. The testing institutes denoted by A and B are the same testing institutes used in the first comparative study.

5.3 Samples

The sandpaper plates were manufactured from No. 120 wet sandpaper, OBI Lux (own brand) and L1100 2-K epoxy resin adhesive. The wooden carrier plates were sealed with boat varnish.

Three sandpaper plates (denoted by A01, A02 and A03) were tested by testing institute A. In addition, the friction coefficient for plate A01 was determined by the institute.

Four sandpaper plates, denoted by B01, B02, B03 and B04 were polished by institute B. Plate B04 was delivered at a later stage in the course of the

comparative studies and included in the test programme, because discernible blister formation had been observed on plate B02. In addition, the friction coefficient for plate A01 was determined by the institute.

Three sandpaper plates (denoted by C01, C02 and C03) were polished by testing institute C. In addition, the friction coefficient for plate C01 was determined by the institute.

Three sandpaper plates (denoted by Z01, Z02 and Z03) were tested by testing institute Z. Z01 and Z02 were manufactured in the same period, while Z03 was produced several months later.

The samples were polished in the following sequence: Z01, Z02, C..., B..., A..., Z03.

5.4 Measurement readings

Table 7 depicts the individual readings (cf. Figure 18), mean values, standard deviations and the variation coefficient of the readings carried out in BAST. The reference values from all the testing institutes performing the first comparative studies are also shown.

The readings for sandpaper plate Z03 are depicted separately since the measurement value lies clearly below the level of the other values. Moreover, due

Sample	Friction coefficient	Friction coefficient mean value <i>standard deviation / var. coeff.</i> max. delta	Friction coefficient mean value <i>standard deviation / var. coeff.</i> max. delta
A02	0,696	0,719	Comparative study 1: 0,647 0,100/16 % 0,259
A03	0,742	0,033/5 % 0,046	
B03	0,777	0,747	
B04	0,716	0,043/6 % 0,061	
C02	0,722	0,745	
C03	0,767	0,032/4 % 0,045	
Z01	0,703	0,702	
Z02	0,701	0,001/0 % 0,002	
Z03	0,619	0,674	
		0,084/7 % 0,084	

Tab. 7: Friction coefficients – comparative studies 2

to the separate manufacture of plate Z03, it cannot be assumed that this is just a rogue result. Plate Z03 is therefore excluded from the following evaluations.

It can be seen that the mean friction coefficient is higher than was the case in comparative study 1. At the same time, both the standard deviation and the statistical spread is lower for all values in comparative study 2. This indicates the clear impact of the polishing rollers. The use of the same polishing roller set has thus resulted in a significant decrease of the statistical spread.

If the values of testing institutes A, B and C are considered in each case, then it can be seen that the values for the statistical spread and standard deviation exceed the generally accepted repeatability for the PWS procedure.

Table 8 depicts the measurement values for the first plates in each case. These plates were polished and measured in the respective testing institute. A final measurement was carried out in the BAST. It is found that when the precision of the method

and the polishing effects of a measurement are taken into account, the readings are comparable. In the case of testing institutes A and B, the friction coefficient specified is the second friction coefficient measured on the plate, i.e., the value measured in the BAST is the third measurement made on the plate. For this reason, a comparison with the values depicted in Table 7 and Figure 18 is not expedient.

Table 9 shows the statistical characteristics of Table 7 from the first respective measurements

Sample	Friction coefficient testing institute	Friction coefficient BAST	delta bs./rel.
A01	0,612	0,669	+0,05/+9 %
B01	0,749*	0,709	-0,04/-5 %
C01	0,779*	0,733	-0,05/-6 %

* Double measurement (2nd measurement reading)

Tab. 8: Final measurements – comparative studies 2

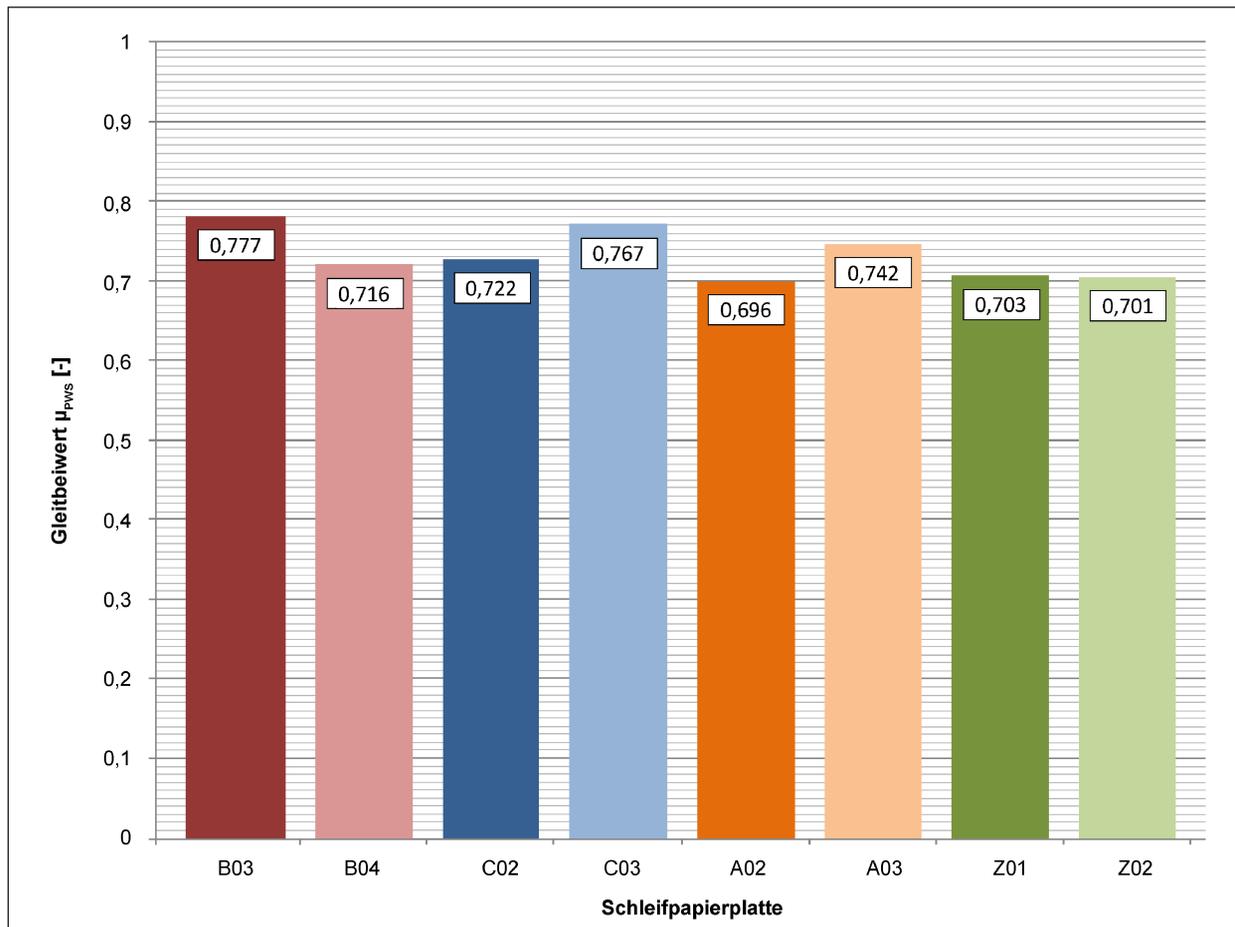


Fig. 18: Friction coefficients – comparative studies 2

Testing institute	Friction coefficient	Friction coefficient mean value <i>standard deviation / var. coeff.</i> max. delta	Friction coefficient mean value <i>standard deviation / var. coeff.</i> max. delta
A	0,590	0,676	0,728 0,060/8 % 0,227 Comparative study 1: 0,647 0,100/16 % 0,259
	0,696	0,078/12 %	
	0,742	0,152	
B	0,817	0,770	
	0,777	0,051/7 %	
C	0,716	0,101	
	0,779	0,756	
	0,722	0,030/4 %	
Z	0,767	0,057	
	0,703	0,702	
	0,701	0,001/0 %	
		0,002	

Tab. 9: Statistical characteristics of all tests – comparative studies 2

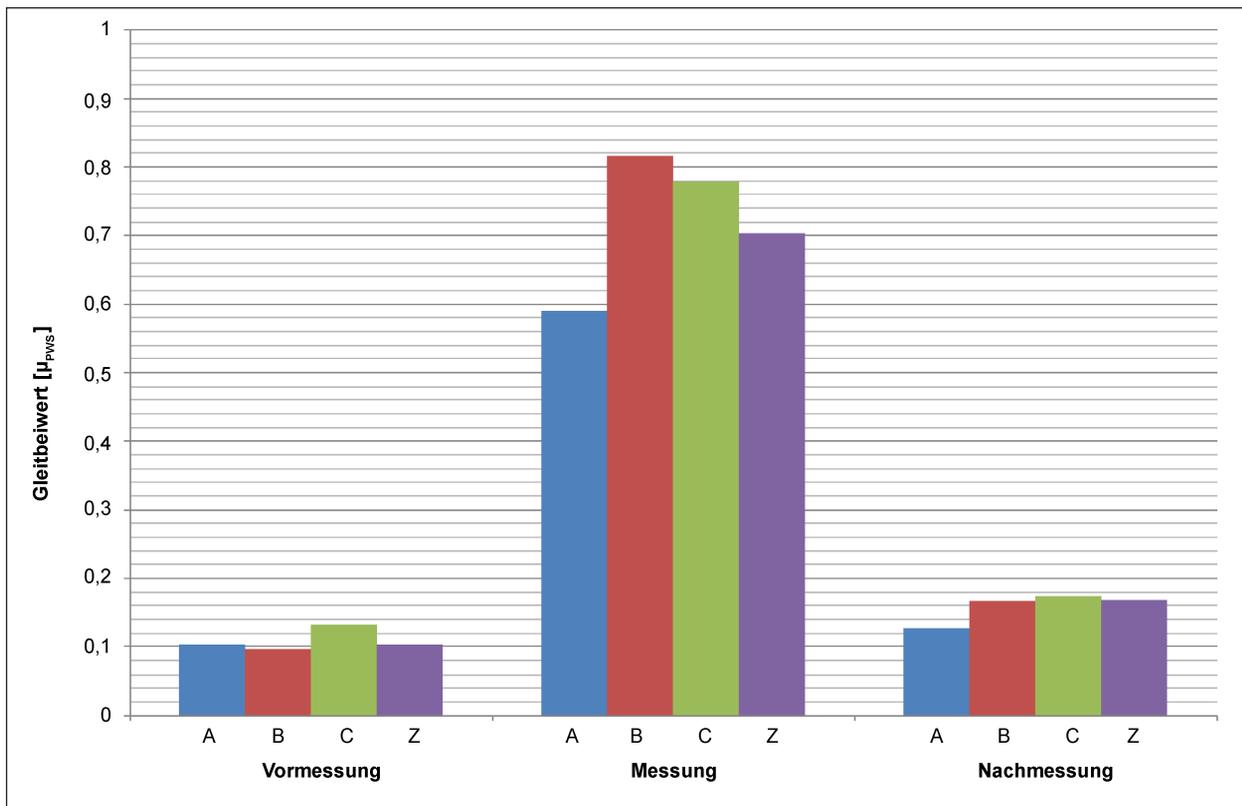


Fig. 19: Friction coefficients on the glass plate before (preliminary reading) and after (final reading) the measurement on the sandpaper plate (measurement)

on the first plates (polished and measured in the testing institute). As expected, this shows an increase in the standard deviation, the variation coefficient and the statistical spread. The mean value over all measurements, however, remains unchanged. One point worthy of note is that it is not

possible to exclude effects arising from the transports of the samples.

The respective friction coefficients measured on the glass plate before and after the measurement on the sandpaper plate are shown in Figure 19

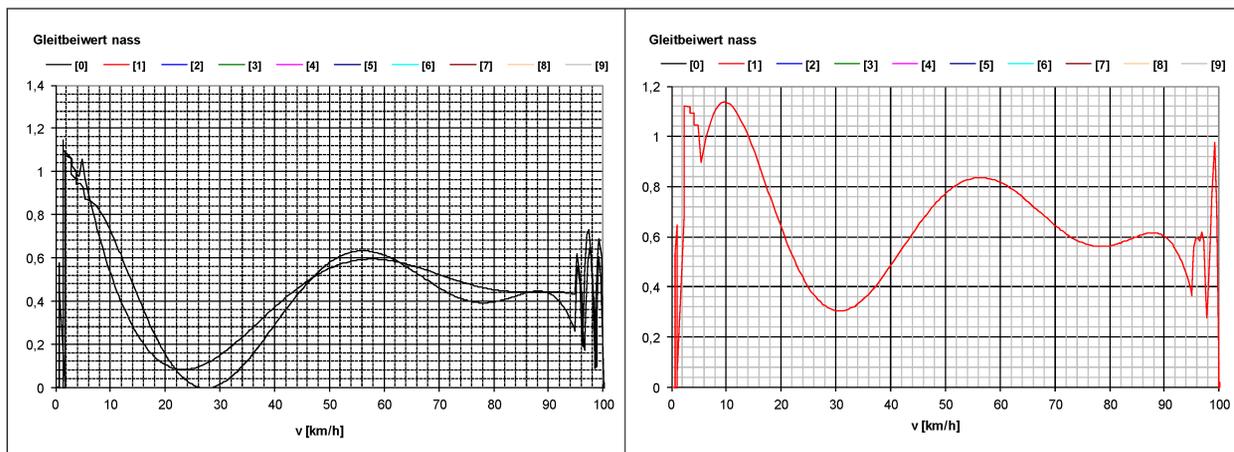


Fig. 20: Measurement curves (jumping measuring head) – institute A (left side) and B (right side)

Sample	Polishing torque							
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
	Mean value (from 500 rollovers)				Standard deviation (from 500 rollovers)			
A – (A01)	3,39	-	-	-	0,07	-	-	-
B – (B01-B03)	2,84	3,33	3,12	3,18	0,05	0,08	0,10	0,29
C – (C01-C03)	3,17	3,21	3,32	-	0,32	0,33	0,33	-
Z – (Z01-Z03)	2,92	2,92	2,83	-	0,08	0,09	0,11	-

Remark: at testing institute A, the data from the polishing process was only recorded for one sandpaper plate

Tab. 10: Polishing torques – comparative studies 2

for information. No direct correlations are observed.

For the first comparative studies, it has been already reported that the high friction coefficients of the sandpaper plates resulted in both clear vibrations of the testing device and jumping of the measuring head. This is also marked in the evaluation of the measurement curves, cf. Figure 20. The interesting fact in this regard is that this effect has not yet occurred in the BAST testing device, which has been used not only for the numerous preliminary investigations but also for the final measurements of the sandpaper plates used in both comparative studies.

5.5 Polishing torques

Table 10 depicts the mean values and standard deviations of the polishing torques. Only the range from a rollover quantity from 500 – and up to the

time at the end of the test when the speed of the polishing roller head drops below 500 rev/min – are included in the evaluation.

It can be seen that the mean polishing torques for all testing devices is about 3 Nm. It can also be seen that the standard deviations of the polishing torques for testing institutes A, B and Z is about 0.10 Nm. In the case of testing institute C and sample 4 of testing institute B, this value is three times as great and thus lies clearly above the BAST empirical value of 0.20 Nm.

Figure 21 to Figure 24 depict the polishing torques for the various testing institutes. The reasons for the high standard deviation at testing institute C and sample 4 at testing institute B are identifiable, possibly being due to the sandpaper plates themselves or the testing device. Other samples should be used to check whether a systematic error occurs, which could be indicative for a defect in the machine.

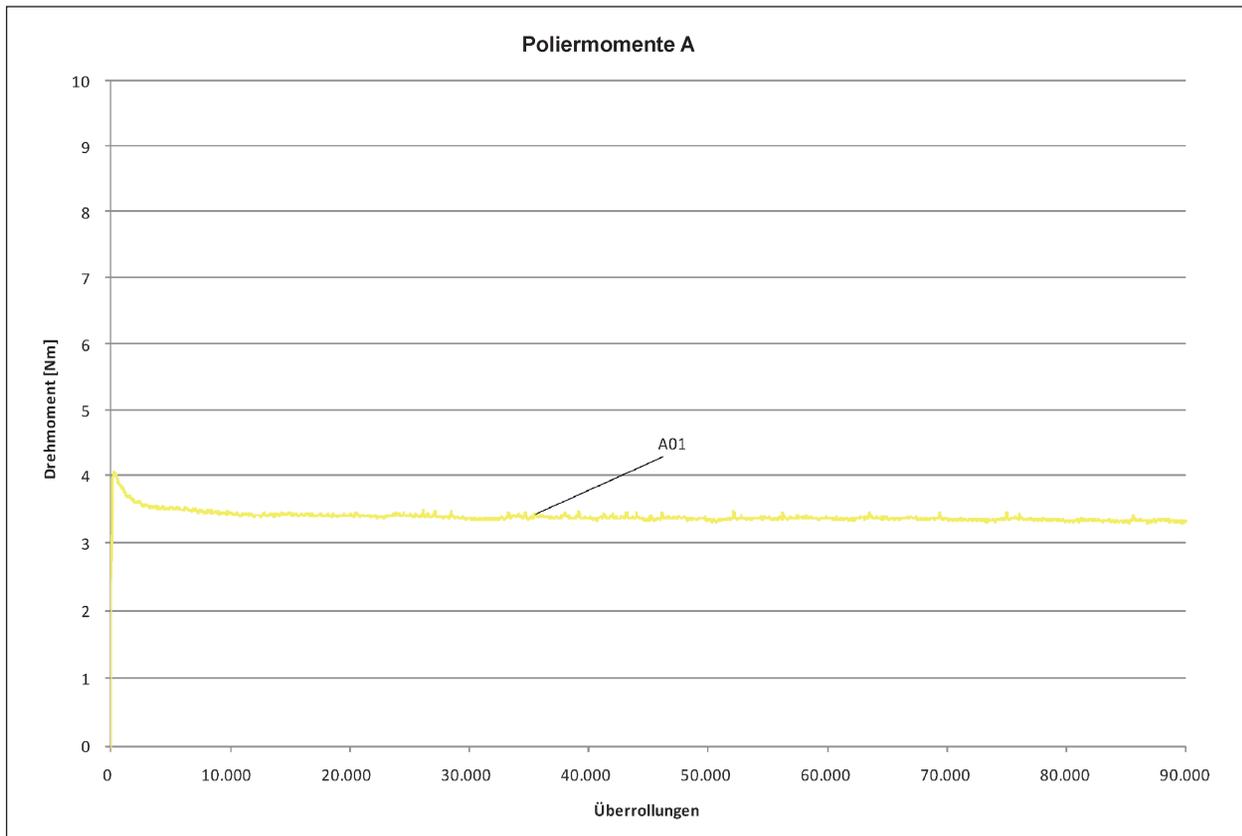


Fig. 21: Polishing torques at testing institute A – comparative studies 2

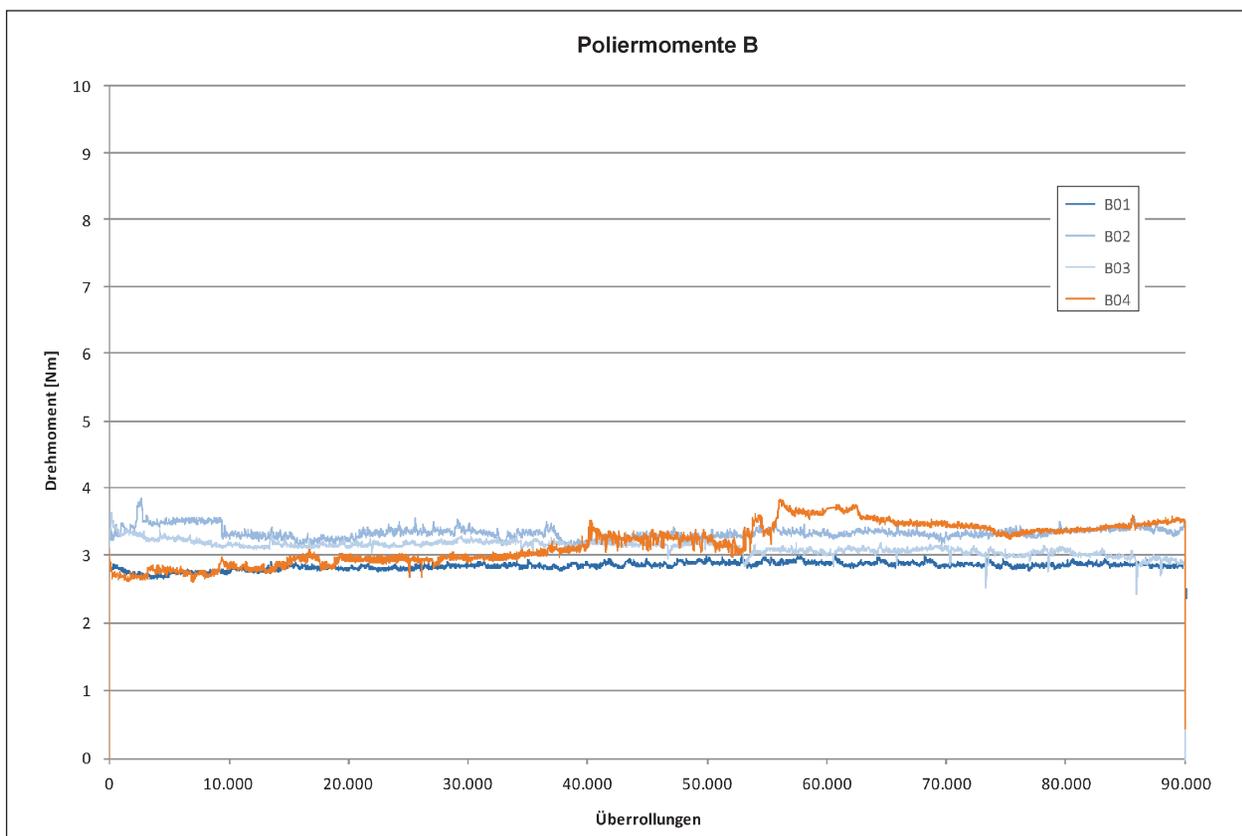


Fig. 22: Polishing torques at testing institute B – comparative studies 2

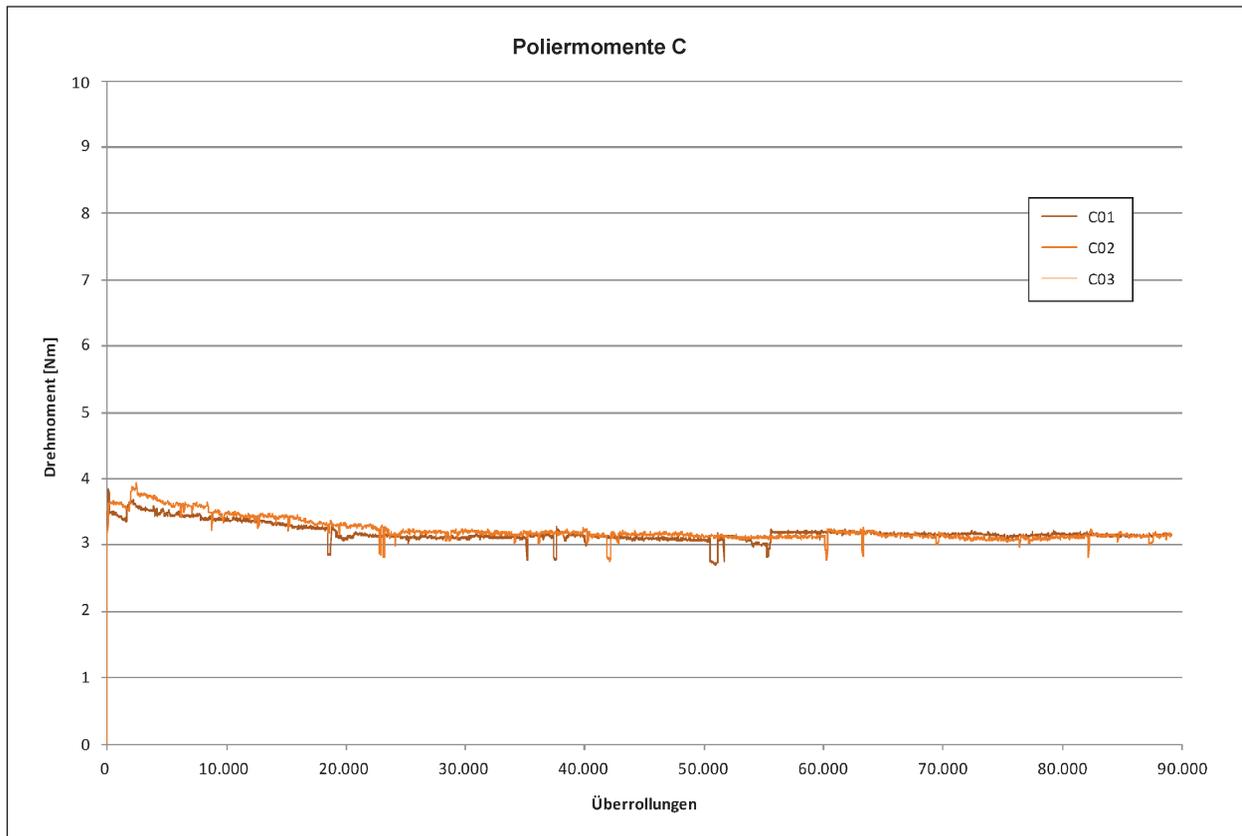


Fig. 23: Polishing torques at testing institute C – comparative studies 2

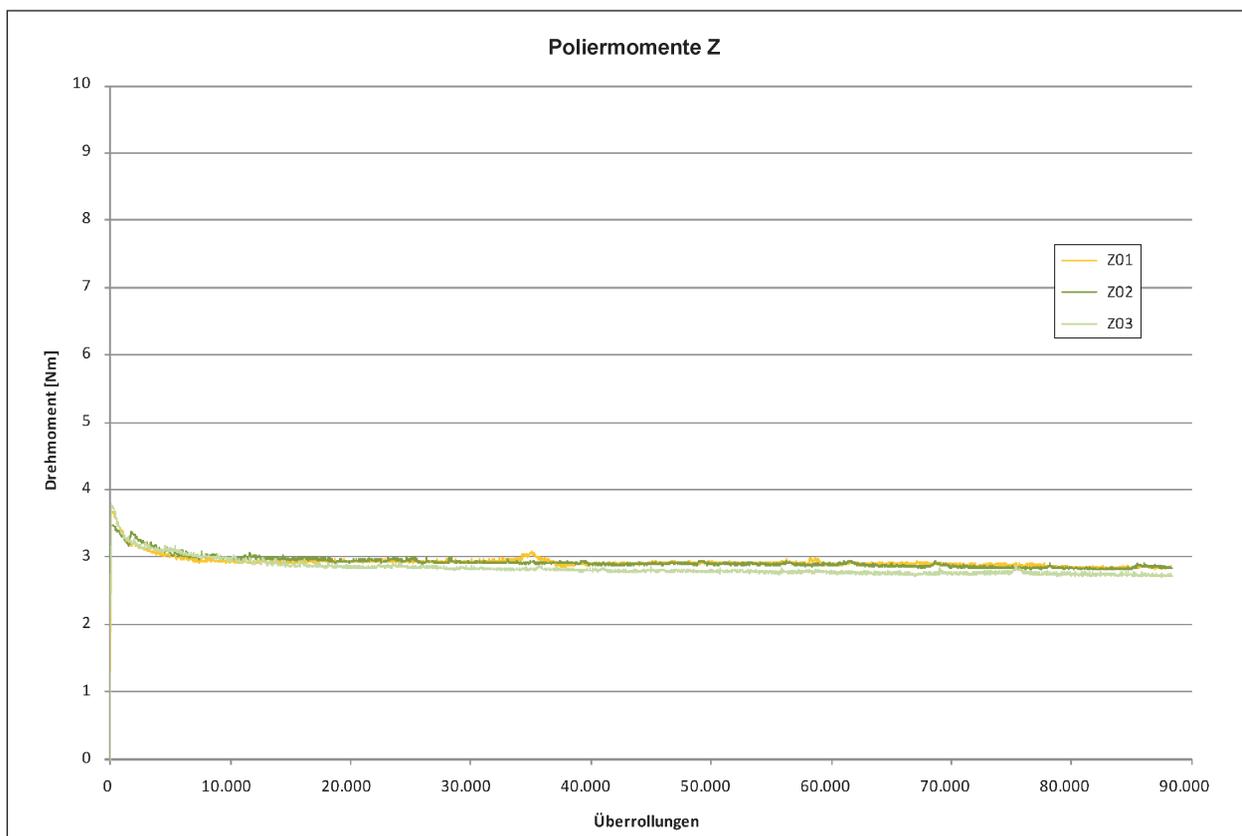


Fig. 24: Polishing torques at testing institute Z – comparative studies 2

5.6 Interim conclusion

For the assessment, only the evaluations of the sandpaper plates were initially used, which were only polished in the testing institutes and subsequently measured at BAST.

Since in the cases of testing institutes A, B and C the analysed standard deviations and variation coefficients correspond to the same order of magnitude as the same statistical characteristics over all the institutes, it may be assumed that this corresponds to the precision achievable when using and comparing the sandpaper plates. As the standard deviation accords to the known repeatability, it is possible to further conclude that the sandpaper plates can be used to check the polishing device.

The improvement in the comparability vis-à-vis the first comparative studies may be due to the use of the same polishing roller set. This highlights the significance of controlling the condition and the prompt replacing of the polishing roles.

The surprisingly low measurement value of the separately manufactured sandpaper plate Z03, however, shows the continuing presence of uncertainties. Checking one individual plate is thus not expedient.

However, the statistical spread of the values also shows that the investigation of at least two samples is recommended for contract-relevant testing.

6 Outlook and conclusion

The high friction coefficients determined as part of the comparative studies may possibly represent a high burden for the testing device as well as increased wear of the measuring rubbers. The vibrations detected, the intermittent jumping of the measuring head observed and the high measurement values on the glass plate following the measurement on the sandpaper plate are clear indicators in this regard. For this reason, other sandpaper grains were investigated for the purpose of lowering the level of the measurement values. The results are depicted in Table 11. As a result of this, a No. 180 sandpaper grain is initially recommended for further investigations.

Sandpaper	Friction coefficient mean value after 90,000 rollovers
Wet sandpaper (No. 120) OBI Lux (own brand)	0,73
Wet sandpaper (No. 180) OBI Lux (own brand)	0,55
Wet sandpaper (No. 240) OBI Lux (own brand)	0,43

Tab. 11: Test with other sandpaper grains

The combination of a sealed plywood plate, epoxy resin adhesive and wet sandpaper (OBI own brand) proved successful within the framework of the preliminary and comparative studies in most cases. Even with the most careful manufacture of the sandpaper plates, a partial detachment or tearing of the sandpaper was observed during the polishing process in some cases. As yet, it has not been possible to clarify the reasons for this. One reason may be the evenness achievable with a plywood plate as the carrier medium. The use of thicker plates or a metal plate might prove expedient.

In conclusion, it may be stated that the principles for a control medium for the polishing device have been created. The accuracy achievable in the process lies within the known precision of the testing device. This result, however, must be set in a wider context and the aim should be to increase the accuracy by, say, the even more precise manufacture of sandpaper plates. As far as possible, subjective influences must be ironed out of the control medium and (with it) the test. For a standard test, the type of sandpaper must be exactly defined and – as far as possible – a larger batch supplied.

A control value / friction coefficient of $0.728 \pm 4\%$ can therefore be assumed for OBI own-brand sandpaper with No. 120 grain. A further control instrument is the evaluation of the polishing torque in a calculational (mean value and standard deviation) and graphic form.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2003

S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00

S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50

S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00

S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken € 13,50

2004

S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System € 19,50

S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues
Golkowski € 13,50

S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50

S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50

S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2005

S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50

S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2006

S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50

S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50

S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50

S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00

S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2007

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00

S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50

S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2008

S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50

S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50

S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50

S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50

S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00

S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offener Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50

S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmessmethode
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

2010

S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2009 in Bonn € 15,50

S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes
Wolf, Fielenbach € 16,50

S 62: 41. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 18,50

S 63: Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten
Blume € 16,00

S 64: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)
Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Ripke, Zöller, Pöppel-Decker € 23,00

S 65: Untersuchungen von Dübellagen zur Optimierung des Betondeckenbaus
Freudenstein, Birmann € 14,00

2011

S 66: Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen
Breitenbücher, Youn € 14,50

S 67: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalserkennung im Rahmen des TP3
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Canzler, Winkler € 16,50

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Ripke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50

S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de](http://bast.opus.hbz-nrw.de) heruntergeladen werden.
Jansen, Kurz € 16,00

S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ im September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

S 73: Längsebenenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ – Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

2012

S 74: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr 2“ – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr 2“ € 30,50

S 75: Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen
Krauter, Kumerics, Feuerbach, Lauterbach € 15,50

S 76: 42. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

S 77: Netzplanung – Netzbildung – Netzbereinigung
Durner € 16,50

S 78: Untersuchung des Einflusses der Grobtextur auf Messergebnisse mit dem SKM-Verfahren
Bürckert, Gauterin, Unrau € 16,50

2013

S 79: Gussasphalt ohne Abstreuerung
Ripke € 9,00

S 80: Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden
Vogt, Birle, Heyer, Etz € 17,50

S 81: Das straßenrechtliche Nutzungsregime im Umbruch – Aktuelle Fragen des Planungsrechts
Durner € 15,00

2014

S 82: Qualitätskontrolle PWS – Wehner/Schulze Quality Control
Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS Prüfung
Teil 2: Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapier
Jansen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.