

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Report, Published Version

**Gabrys, Ulrike**

## **Modellversuche zum Einsatz von Gleitpaarungen im Stahlwasserbau. FuE-Abschlussbericht A39510210239**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107001>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

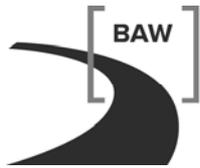
Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2010): Modellversuche zum Einsatz von Gleitpaarungen im Stahlwasserbau. FuE-Abschlussbericht A39510210239. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

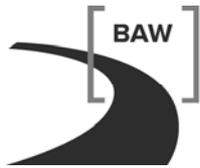
Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Abschlussbericht**  
**Modellversuche zum Einsatz**  
**von Gleitpaarungen im Stahlwasserbau**

**A39510210239**



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Abschlussbericht  
Modellversuche zum Einsatz  
von Gleitpaarungen im Stahlwasserbau**

Auftraggeber: Bundesanstalt für Wasserbau

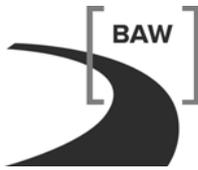
Auftrag vom: , Az.:

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A39510210239

Aufgestellt von: Abteilung: Bautechnik  
Referat: B2  
Bearbeiter: Ulrike Gabrys  
Institut für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern

Karlsruhe, 10.06.2010

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



## Zusammenfassung

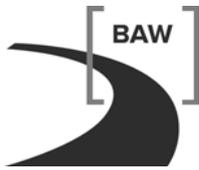
Durch den kombinierten Einsatz von nichtrostendem Stahl und unlegiertem Stahl kam es in den letzten Jahren an einigen Stahlwasserbaukonstruktionen zu nicht unerheblichen Korrosionsschäden. Als Ersatzmaterial erscheint Kunststoff durchaus geeignet. Um jedoch einen sicheren Betrieb der Stahlwasserbauverschlüsse zu garantieren, ist es erforderlich, dass die jeweiligen Reibbeiwerte unter realen Bedingungen bestimmt werden und Erkenntnisse zum Verschleißverhalten der Gleitpaarungen vorliegen. Auch zur Berechnung der Antriebsleistung ist der exakte Reibbeiwert zwingend erforderlich.

Zukünftig sollen an Verschlüsse im Stahlwasserbau die Dichtungsschleifflächen aus geeigneten Kunststoffmaterialien hergestellt werden, um damit auf den Einsatz von nichtrostendem Stahl weitestgehend verzichten zu können. Im Rahmen von Modellversuchen sollen die beim Betrieb der Verschlüsse auftretenden Situationen möglichst praxisnah nachgebildet werden.

Über die Gleitbewegung eines Konstruktionselementes (Dichtung oder Gleitkufe) auf einer Kunststofffläche (Fixteil) soll das Verschleißverhalten untersucht und der Reibbeiwert bestimmt werden. Alle Versuche sollen unter Wasser ausgeführt werden.

Mit den ersten Voruntersuchungen begann das Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) in Kaiserslautern im November 2007. Auf Grundlage dieser Voruntersuchungen wurden zehn Materialien ausgewählt, die im Jahr 2008 zuerst in Kurzzeitversuchen beprobt worden sind. Im Juni 2008 legte das IVW der BAW den Zwischenbericht vor. Anhand der Ergebnisse des Zwischenberichts wählte die BAW die Werkstoffe PVC-U, PE-UHMW, POM-C und zu Vergleichszwecken einen Edelstahl zur weiteren Beprobung aus. Im März 2009 konnten die tribologischen Untersuchungen der Partner Elastomer/Kunststoff nach Vorlage des Abschlussberichts beendet werden. Die Ergebnisse der Langzeittests zeigten, dass die beprobten Kunststoffe einen geringfügig günstigeren Reibbeiwert aufwiesen als der parallel mit untersuchte nichtrostende Stahl. Im Mittel liegt der Reibbeiwert von „Elastomer auf Kunststoff“ bei  $\mu = 0,61$ .

In 2009 stellte sich die Notwendigkeit heraus, weitere Versuche zu planen und auch durchzuführen, um auch Reibbeiwerte für „Kunststoff auf Kunststoff“ zu ermitteln. Anhand dieser Versuche sollen Reibbeiwerte bestimmt werden um zukünftig auch die bisher verwendeten Gleitschienen für Gleitschütze aus nichtrostendem Stahl durch Gleitschienen aus Kunststoff zu ersetzen. Das IVW hat diese Versuche ebenfalls, als Fortführung der bisherigen Versuchsreihe, durchgeführt. Die Versuche wurden in 2009 beauftragt und mit Vorlage des Abschlußberichts im Mai 2009 auch beendet. Auch bei diesen Versuchen zeigten sich günstige Reibbeiwerte für die Kombination „Kunststoff auf Kunststoff“. Eine erste Anwendung finden die Ergebnisse dieser Versuche beim Neubau der Schleuse Wusterwitz.



## Inhaltsverzeichnis

## Seite

1	Problemdarstellung und Ziel	1
1.1	Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens	1
1.2	Bedeutung für die WSV	1
1.3	Untersuchungsziel	1
2	Untersuchungsmethoden	1
3	Ergebnisse	2
4	Arbeitsprogramm und Zeitplan	4
5	Literatur	4

## **Bildverzeichnis**

## **Seite**

Bild 1:	Versuchsaufbau, Block-auf-Ring-Tribometer (Quelle: IVW, Kaiserslautern)	2
Bild 2:	Ergebnisse der Versuche an drei Kunststoffen im Vergleich zum nichtrostenden Stahl, Versuchsdauer 96 h [1]	3
Bild 3:	Ergebnisse der Versuche an drei Kunststoffen [2]	3

## **1 Problemdarstellung und Ziel**

### **1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens**

Durch den kombinierten Einsatz von nichtrostendem Stahl und unlegiertem Stahl kam es in den letzten Jahren an einigen Stahlwasserbaukonstruktionen zu nicht unerheblichen Korrosionsschäden. Diese Schäden entstanden überwiegend infolge elektrochemischer Korrosion (Bimetallkorrosion). Auf Grund dieser Schäden ist es zwingend erforderlich geeignete Ersatzmaterialien zu finden.

Als Ersatzmaterial erscheint Kunststoff durchaus geeignet. Auf einige vorhandene Materialkennwerte für Kunststoffe kann zurückgegriffen werden. Bei den Reibbeiwerten zeigte sich, dass entsprechende Werte durch z. B. Materialhersteller angegeben werden, diese jedoch auf den geplanten Anwendungsfall nicht übertragbar sind. Um jedoch einen sicheren Betrieb der Stahlwasserbauverschlüsse zu garantieren, ist es erforderlich, dass die jeweiligen Reibbeiwerte unter realistischen Bedingungen bestimmt werden und Erkenntnisse zum Verschleißverhalten der Gleitpaarungen vorliegen. Auch zur Berechnung der Antriebsleistung ist der exakte Reibbeiwert zwingend erforderlich.

### **1.2 Bedeutung für die WSV**

Aufgrund der Korrosionsschäden an Stahlwasserbauten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV), die nur zeit- und kostenintensiv behoben werden können, ist es erforderlich geeignete Ersatzmaterialien insbesondere für die Schleifflächen zu finden.

### **1.3 Untersuchungsziel**

Zukünftig sollen an Verschlüsse im Stahlwasserbau die Dichtungsschleifflächen, Dichtungsanschlätze und ggf. auch weitere Gleitflächen aus geeigneten Kunststoffmaterialien hergestellt werden, um damit auf den Einsatz von nichtrostendem Stahl weitestgehend verzichten zu können. Eingesetzt werden solche Schleifflächen z. B. bei Längskanal- / Umlaufkanalverschlüssen, Sparbeckenverschlüssen und bei Schleusen- und Wehrverschlüssen von Stauanlagen. Im Rahmen von Modellversuchen sollen die beim Betrieb der Verschlüsse auftretenden Situationen möglichst praxisnah nachgebildet werden.

## **2 Untersuchungsmethoden**

Über die Gleitbewegung eines Konstruktionselementes (Dichtung oder Gleitkufe) auf einer Kunststofffläche (Fixteil) soll Folgendes untersucht werden:

- Verschleißverhalten der Kunststoffe (Abriebfestigkeit der Oberflächen, Rautiefe des Gleitpartners nach dem Versuch)
- Reibbeiwerte (Gleitreibungszahl  $\mu$ ) für die Ermittlung der Dichtungsreibung bzw. Gleitreibung (bei Gleitkufen) nach DIN 19704 "Stahlwasserbauten, Teil 1: Berechnungsgrundlagen", Mai 1998 für verschiedene Kunststoffe (Probe: Elastomer auf Gegenkörper: Kunststoff; Probe: Kunststoff auf Ring: Kunststoff)

Alle Versuche sollen unter Wasser ausgeführt werden bzw. es sollen Bedingungen gegeben sein, die dem Zustand „wasserbenetzt“ (vgl. DIN 19704-1, 05/1998, Tab. 3) entsprechen. Bild 1 zeigt den Versuchsaufbau zur Bestimmung des Reibbeiwertes.

### Prüfprinzip:

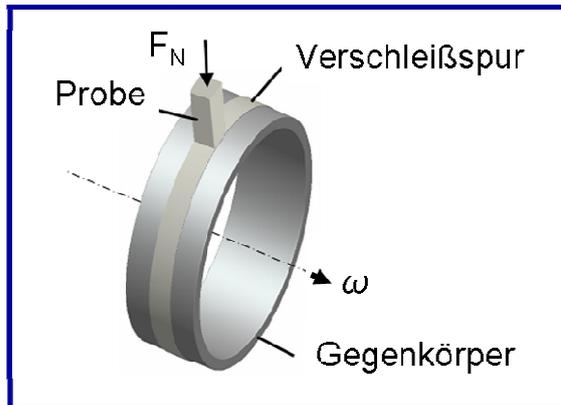


Bild 1: Versuchsaufbau, Block-auf-Ring-Tribometer (Quelle: IVW, Kaiserslautern)

## 3 Ergebnisse

Mit den ersten Voruntersuchungen begann das Institut für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern (Auftragnehmer) im November 2007. Auf Grundlage dieser Voruntersuchungen wurden 10 Materialien ausgewählt, die im Jahr 2008 zuerst in Kurzzeitversuchen (20 h) beprobt worden sind. Im Juni 2008 legte das Institut für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern der BAW den Zwischenbericht vor. Anhand der Ergebnisse des Zwischenberichts wählte die BAW die Werkstoffe PVC-U, PE-UHMW, POM-C und zu Vergleichszwecken einen Edelstahl zur weiteren Beprobung aus. Im März 2009 konnten die tribologischen Untersuchungen der Partner Elastomer/Kunststoff nach Vorlage des Abschlussberichts beendet werden.

Die Ergebnisse der Langzeittests zeigten, dass die beprobten Kunststoffe einen geringfügig günstigeren Reibbeiwert aufwiesen als der parallel mit untersuchte nichtrostende Stahl (Bild 2). Im Mittel liegt der Reibbeiwert von „Elastomer auf Kunststoff“ bei  $\mu = 0,61$ .

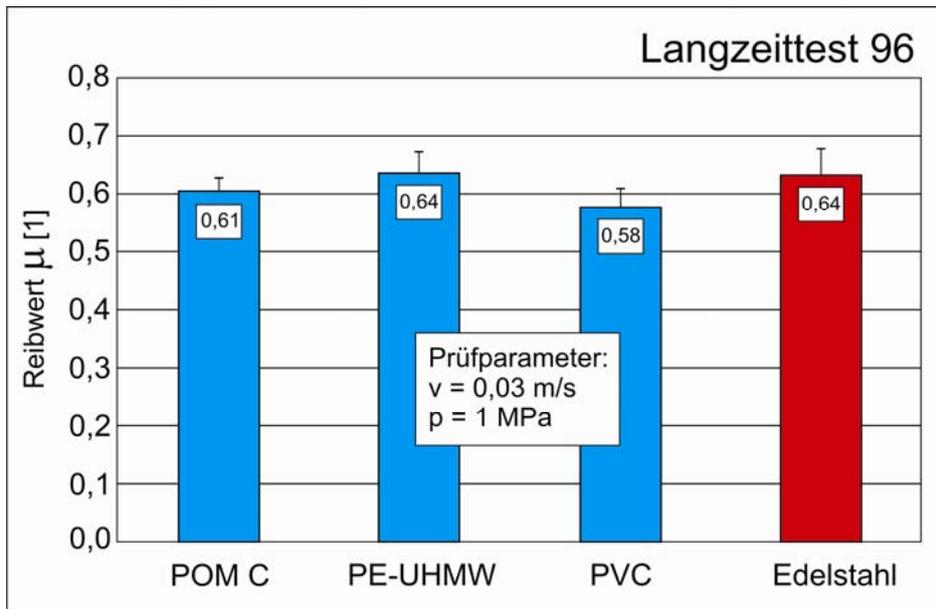


Bild 2: Ergebnisse der Versuche an drei Kunststoffen im Vergleich zum nichtrostenden Stahl, Versuchsdauer 96 h [1]

In 2009 stellte sich die Notwendigkeit heraus, weitere Versuche zu planen und auch durchzuführen, um auch Reibbeiwerte für „Kunststoff auf Kunststoff“ zu ermitteln. Anhand dieser Versuche sollen Reibbeiwerte bestimmt werden um zukünftig auch die bisher verwendeten Gleitschienen für Gleitschütze (Gleitkufe sind ebenfalls aus Kunststoff) aus nichtrostendem Stahl durch Gleitschienen aus Kunststoff zu ersetzen. Das Institut für Verbundwerkstoffe hat diese Versuche ebenfalls, als Fortführung der bisherigen Versuchsreihe, durchgeführt. Die Versuche wurden in 2009 beauftragt und mit Vorlage des Abschlußberichts im Mai 2009 auch beendet. Auch bei diesen Versuchen zeigten sich günstige Reibbeiwerte (Bild 3) für die Kombination Kunststoff auf Kunststoff. Eine erste Anwendung finden die Ergebnisse dieser Versuche beim Neubau der Schleuse Wusterwitz.

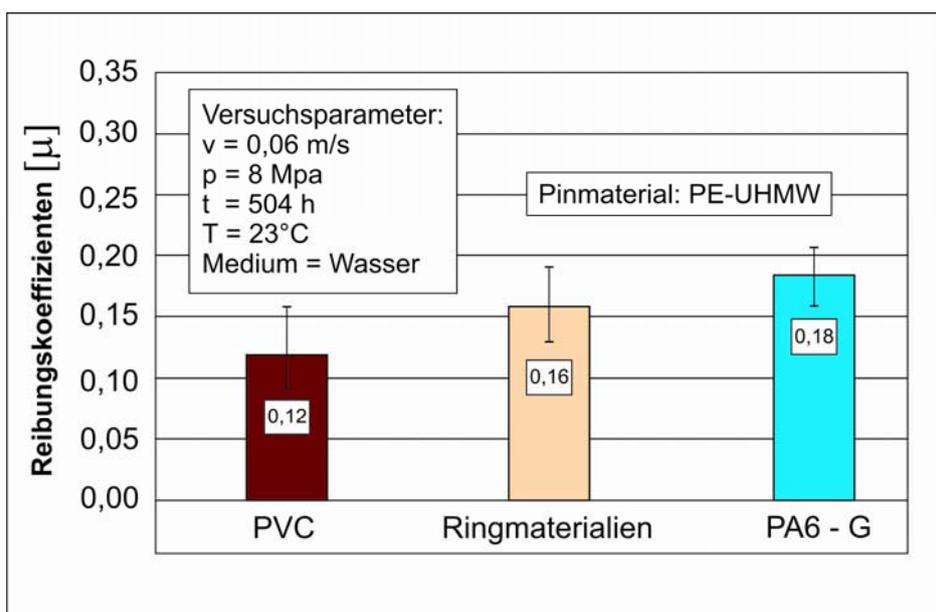
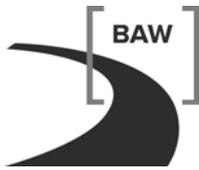


Bild 3: Ergebnisse der Versuche an drei Kunststoffen [2]



#### **4 Arbeitsprogramm und Zeitplan**

Das Vorhaben wurde in 2010 abgeschlossen. Im Forschungskolloquium der Bundesanstalt für Wasserbau im März 2010 sind die Ergebnisse durch das Institut für Verbundwerkstoffe, Kaiserslautern vorgestellt und im Tagungsband publiziert worden.

#### **5 Literatur**

- [1] Abschlussbericht 1 "Ermittlung tribologischer Kennwerte von Kunststoffen für den Einsatz als Alternativwerkstoffe im Stahlwasserbau" des Instituts für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern März 2009, unveröffentlicht. (Elstomer auf Kunststoff)
- [2] Abschlussbericht 2 "Ermittlung tribologischer Kennwerte von Kunststoffen für den Einsatz als Alternativwerkstoffe im Stahlwasserbau" des Instituts für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern Mai 2010, unveröffentlicht. (Kunststoff auf Kunststoff)



---

09.03.2009

## **ABSCHLUSSBERICHT**

---

### **Ermittlung tribologischer Kennwerte von Kunststoffen für den Einsatz als Alternativwerkstoffe im Stahlwasserbau**

Angebot Nr. 2007-1022

---

#### **Auftraggeber:**

Bundesanstalt für Wasserbau  
Kußmaulstraße 17  
76187 Karlsruhe

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH  
Dr. rer. nat. T. Burkhart  
Erwin-Schrödinger-Strasse  
Technische Universität Kaiserslautern, Gebäude 58  
67663 Kaiserslautern  
Telefon: +49 (0)631 2017-0  
Fax: +49 (0)631 2017-199

Ansprechpartner  
H.-P. Feldner -244

## Inhalt

1	Kurzfassung .....	3
2	Experimentelles .....	4
2.1	Untersuchte Kunststoff-Materialien .....	4
2.2	Gleitverschleißprüfung Block-auf Ring-Prüfprinzip .....	5
2.3	Probenentnahme/-präparation der Gummiprobe .....	6
3	Ergebnisse und Diskussion .....	8
3.1	Kurzzeitversuche (Prüfdauer 20 h) .....	8
3.1.1	Spezifische Verschleißrate .....	8
3.1.2	Reibwert .....	11
3.2	Langzeitversuch (Prüfdauer 96 h) mit vier ausgewählten Gegenkörpermaterialien .....	13
3.2.1	Spezifische Verschleißrate .....	13
3.2.2	Reibwert .....	14
3.3	Versuche mit Spurwechsel (Prüfdauer 3 x 1,5 h) mit vier ausgewählten Gegenkörpermaterialien .....	15
3.3.1	Spezifische Verschleißrate .....	16
3.3.2	Reibwert .....	17
3.4	Ausgewählten Werkstoffpaarungen (POM C, PE-UHMW, PVC und Edelstahl) bei unterschiedlichen Testbedingungen im Vergleich .....	18
4	Zusammenfassung .....	21

## 1 Kurzfassung

Nach Vorauswahl der zu untersuchenden Materialien in Abstimmung mit der BAW in Teilprojekt 1 (TP1) und Modifikation des Block-auf-Ring Medienprüfstands In Teilprojekt 2 (TP2) wurden zunächst mit zehn ausgewählten, kommerziell erhältlichen Kunststoffen Kurzeitversuche (Versuchsdauer 20 h) auf diesem Prüfstand durchgeführt. Die tribologische Prüfung erfolgte mit einer Pressung von 1 MPa und einer Gleitgeschwindigkeit von 0,03 m/s in Leitungswasser (RT) gegen ein von der BAW geliefertes Dichtungsgummi. Die tribologische Charakterisierung erfolgte anhand der Bestimmung der linearen Verschleißrate des Dichtungsgummis und über den über die Laufzeit erfassten Reibwert.

Im Modellprüfsystem konnten im Vergleich zum Edelstahl für die untersuchten Kunststoffe deutlich niedrigere Verschleißraten aber auch geringere Reibwerte nachgewiesen werden. Deutliche Unterschiede im Verschleißverhalten waren auch unter den in der Werkstoffauswahl befindlichen unverstärkten Kunststoffen (POM, PA6, PVC, Epoxidharz) festzustellen. Dass mit einer Werkstoffmodifizierung die Verschleißrate beeinflusst werden kann, konnte mit PA 6 und PA 6 mod1 gezeigt werden. Ein Modifizierungseinfluss auf den Reibwert war am gewählten Beispiel nicht zu erkennen.

Mit 4 ausgewählten Materialien (POM C, PE-UHMW, PVC und Edelstahl) wurden am gleichen Prüfstand noch Langzeitversuche mit einer Prüfdauer von 96 Stunden und Versuche mit Spurwechsel (3 x 1,5 Stunden) aber sonst identischen Versuchsparametern durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen dass mit zunehmender Versuchsdauer die Verschleißrate bei allen Tribopaarungen abnimmt. Nicht lineare Verschleißverläufe und Einfluss des Tribofilms auf die tribologischen Kennwerte konnten durch den Versuch mit Spurwechsel (3 x 1,5 Stunden) nachgewiesen werden. Das mit Abstand beste Verschleißverhalten konnte im angewendeten Modellprüfsystem für die Tribopaarung PVC/Dichtgummi gefunden werden.

## 2 Experimentelles

### 2.1 Untersuchte Kunststoff-Materialien

Die durchgeführte Literaturrecherche und die Befragung von Lieferanten und Compoundhersteller führte zu dem Resultat, dass für die Werkstoffpaarung Elastomer/Kunststoff für Gleitanwendungen unter Wasserbenetzung bisher keine Erfahrungswerte vorliegen. In Absprache mit der BAW wurden die in Tabelle 1 aufgelisteten Materialien herangezogen.

**Tabelle 1:** Untersuchte Kunststoffe

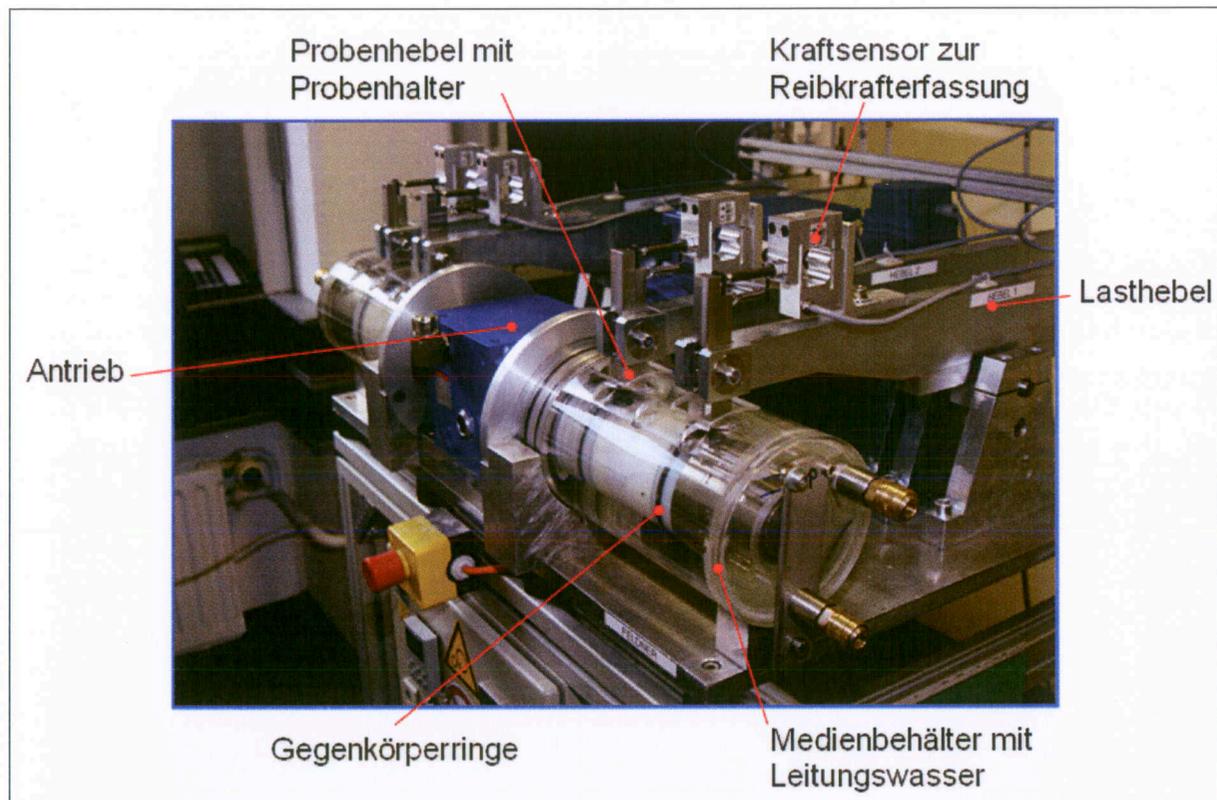
NR.	Material (benutzte Bezeichnung)	Modifizierung	Farbe	Lieferantenbezeichnung	Lieferant
1	PA 6	ohne	opak/weiß	TECAMID 6	Uni/Ensinger
2	PA 6 mod1	Molybdändisulfid	schwarz	TECAM 6 MO	UNI
3	PA 6 mod2	Wachs/Öl	grün	TECAGLIDE grün	Ensinger
4	PA 6 G	ohne	opak/gelblich	TECAST L	Ensinger
5	PA 6 G mod1	Molybdändisulfid	grau/schwarz	TECAST TM	Ensinger
6	POM	ohne	weiß	ULTRAFORM BASF	UNI
7	POM C	UV- Farbstoff	schwarz	TECAFORM AH	Ensinger
8	PE-UHMD	UV- Farbstoff	schwarz	POLYSTONE M-schwarz	Röchling (Ticona)
9	PVC	ohne	grau	PVC-U, Vinidur	UNI
10	PEEK	CF, PTFE, Graphit	grau/schwarz	TECAPEEK PVX	Ensinger
11	EPOXIDHARZ	ohne	transparent	DER 331,	IVW
12	Edelstahl	1.457			UNI

Neben kommerziell erhältlichen technischen Kunststoffen wurden auch tribologisch modifizierte Kunststoffe in das Untersuchungsprogramm mit aufgenommen. Hier wurde aus Kostengründen hauptsächlich auf Produkte der Ensinger GmbH zurückgegriffen, da Ensinger ein enormes Produktportfolio tribologisch modifizierter Kunststoffe kommerziell bereitstellt. Die Beschaffung von Materialien über Sonderbeauftragung bei anderen Compoundeuren/Anbietern wurde aufgrund der geringen Chargenmenge, der dabei anfallenden Kosten und des derzeitigen Stand der Kenntnisse als nicht sinnvoll erachtet. Aus den gelieferten Halbzeugen (Rohre bzw. Rundmaterialien) wurden Gegenkörper-Ringe der Breite 25 mm, mit einem Innendurchmesser von 50 mm und einem Außendurchmesser von 60 mm hergestellt. Mit Schleifpapier wurde eine mittlere Rauhtiefe von  $R_a \sim 1,6 \mu\text{m}$  eingestellt. Die Rauhtiefe wurde mit einem nach dem Tastschnittprinzip arbeitenden Phertometer SP5 von Mahr Perthen gemessen und dokumentiert.

Die Datenblätter der untersuchten Kunststoffe mit den wichtigsten Eigenschaften sind im Anhang zusammengestellt.

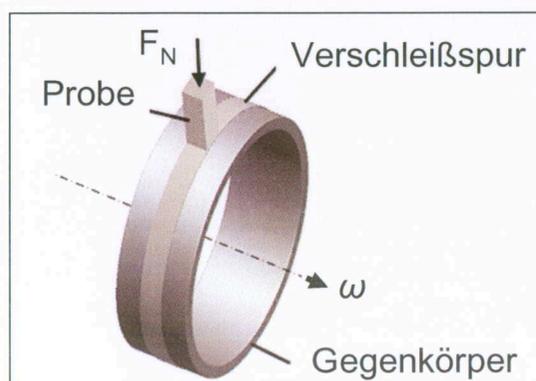
## 2.2 Gleitverschleißprüfung Block-auf-Ring-Prüfprinzip

In Bild 1 ist der im Rahmen des Projektes modifizierte Medienprüfstand zu sehen.



**Bild 1:** Modifizierter Block-auf-Ring Medienprüfstand

Unter der über den Lasthebel eingeleiteten Anpresskraft wird der im Probenhalter eingespannte Gummipin gegen die im Medienbehälter rotierenden Gegenkörperringe gepresst. Bild 2 zeigt vereinfacht das Prüfprinzip des verwendeten Block-auf-Ring Tribometers.



**Bild 2:** Prüfprinzip des verwendeten Block-auf-Ring Tribometers

Der fest eingespannte Gummi-Probepin gleitet unter der Pressung von 1 MPa auf dem mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 0,03 m/s rotierenden Kunststoffring (Mittenrauhwert  $R_a \sim 1,6 \mu\text{m}$ ). Der Versuch wird vollständig unter Wasser (Leitungswasser bei RT) durchgeführt. Während des Versuchs wird die Reibkraft aufgezeichnet.

Die spezifische Verschleißrate berechnet sich aus dem über Differenzwägung gemessenen Masseverlust nach:

$$w_s = \frac{\Delta m}{s * \rho * F_N} \quad (1)$$

mit

$w_s$ :	=	spezifische Verschleißrate [ $\text{mm}^3/\text{Nm}$ ]
$\Delta m$ :	=	Massenabnahme des Prüfkörpers [g]
$s$ :	=	Gleitweg [m]
$\rho$ :	=	Dichte [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]
$F_N$ :	=	Normalkraft [N]

Aus der Normal- und Reibkraft berechnet sich der Reibungskoeffizient  $\mu$  nach:

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad (2)$$

mit

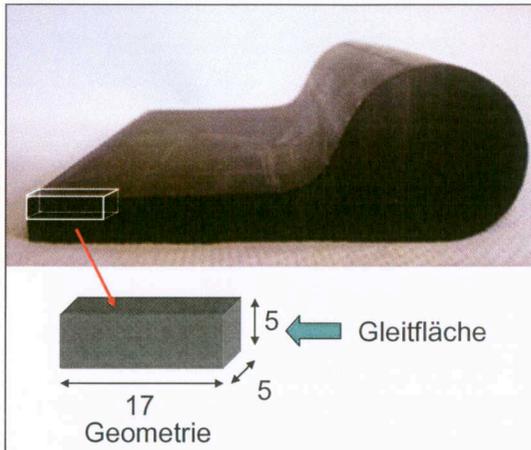
$F_N$ :	=	Normalkraft [N]
$F_R$ :	=	Reibkraft [N]

Für die gesamte Messung steht aufgrund der geringen Einspannhöhe des Prüfpins nur eine maximale Verschleißhöhe von ca. 1,6 mm zur Verfügung. Für die Kurzzeitversuche von 20 h erwies sich dies als ausreichend.

### 2.3 Probenentnahme/-präparation der Gummiprobe

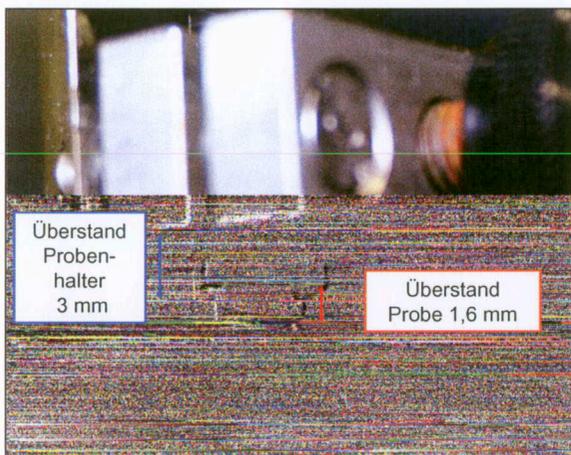
Aus dem von der BAW zur Verfügung gestellten Dichtlippe (Notenprofil) wurden prüffähige Probepins (17 x 5 x 5 mm) an den in Bild 3 ersichtlichen Positionen entnommen. Die über das Archimedes Prinzip ermittelte Dichte des Materials beträgt  $1,11 \text{ g}/\text{cm}^3$ .

Die Prüfung erfolgte nach Abstimmung mit der BAW auf den Schnittflächen für die eine mittlere Shore A Härte von 67 gemessen wurde.



**Bild 3:** Entnahmeposition der Prüfpins

Die Gleitfläche wurde möglichst planparallel auf der Bandsäge geschnitten und mit Isopropanol gereinigt. Unmittelbar vor der Prüfung erfolgte die Wägung und Vermessung der Prüfpins. Bild 4 zeigt den mit einem Probenhalter eingespannten Gummi-Prüfpin.



**Bild 4:** Mit Probenhalter eingespannter Prüfpin

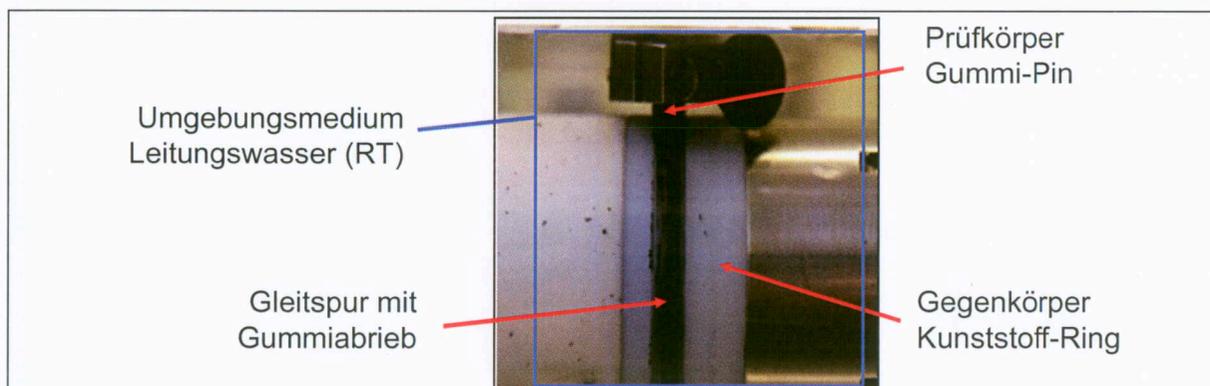
Zur Fixierung und Stabilisierung der elastischen Gummiprüfproben war die Verwendung einer Probenhalterung erforderlich. Eine definierte Einspannung ist dabei wie in Bild 3 dargestellt durch den Überstand des Probenhalters (3 mm) und den Probenüberstand (1,6 mm) gegeben. Auch wird ein Nachschieben der Proben für die Langzeitversuche ermöglicht.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Kurzzeitversuche (Prüfdauer 20 h)

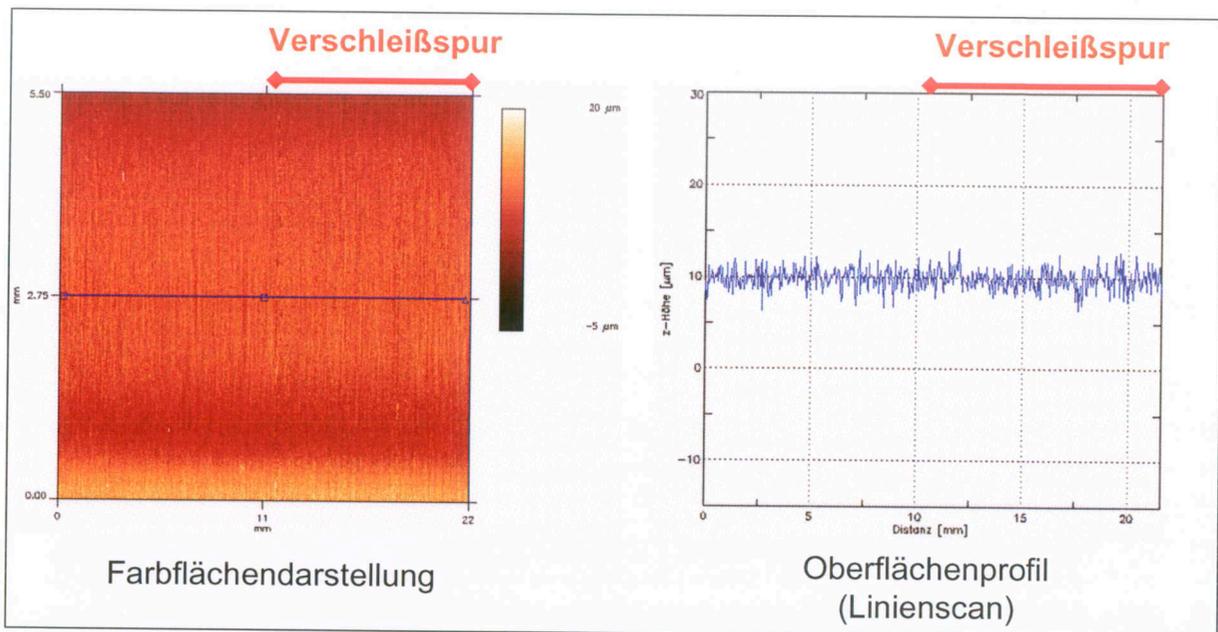
##### 3.1.1 Spezifische Verschleißrate

Die spezifische Verschleißrate einer Tribopaarung kann prinzipiell für Prüfkörper und /oder Gegenkörper ermittelt werden. Im Angebot zu diesem Projekt war vorgesehen, die spezifischen Verschleißraten der zehn Kunststoffe zu ermitteln, die hier in Form der Kunststoffringe als Gegenkörper zum Dichtungsgummiprüfpin eingesetzt wurden. Wie sich im Laufe der Versuchsdurchführung jedoch herausstellte, spielt bei dieser Reibpaarung der Verschleißmechanismus Adhäsion offensichtlich eine dominierende Rolle. Der Abrieb des Gummiwerkstoffs haftet, wie in Bild 5 zu sehen, an der Kunststoffoberfläche an und bildet einen Gleitfilm aus.



**Bild 5:** Betrachtetes Tribosystem mit Gleitspur/Verschleißspur am PA 6 -Ring nach 20 h Prüfdauer

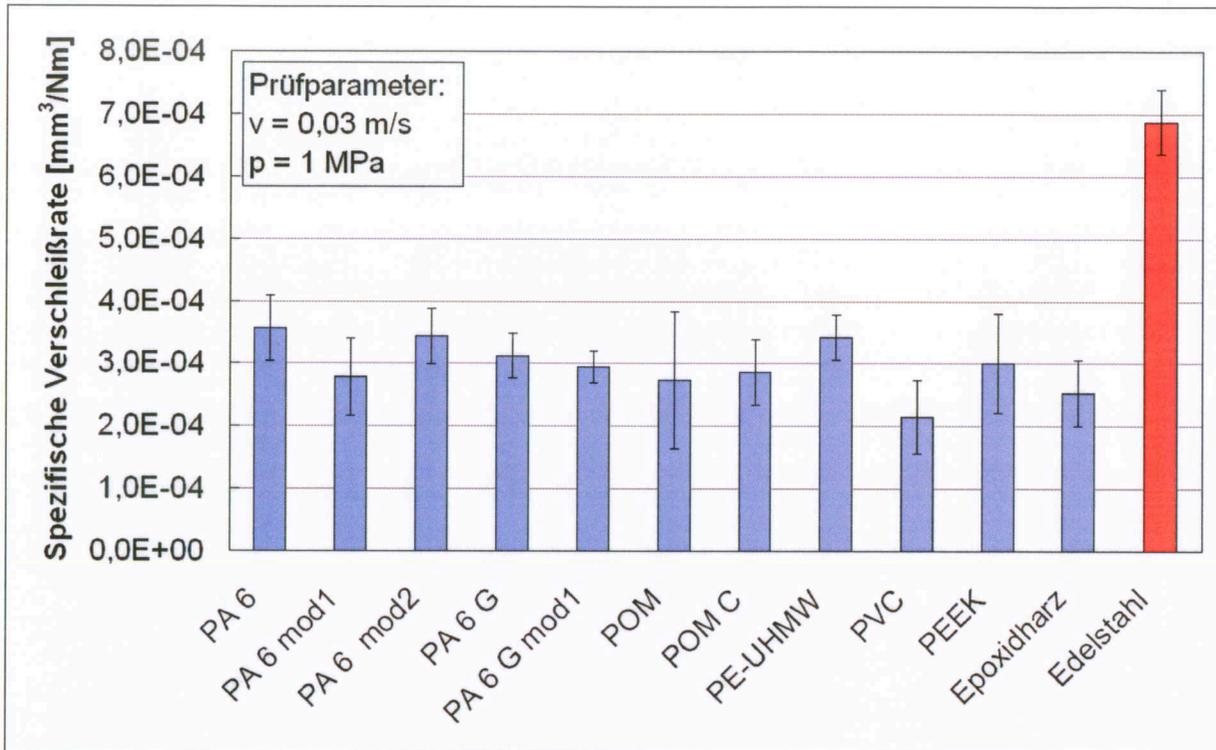
Dieser Mechanismus war bei allen Kunststoffringen mehr oder weniger ausgeprägt festzustellen (siehe hierzu Dokumentation der Ringoberflächen nach der Prüfung im Anhang). Eine Ermittlung der spezifischen Verschleißrate über den Masseverlust am Kunststoffring ist damit nicht möglich, da offensichtlich nur der Dichtungsgummipin verschleißt. Auch die in Bild 6 dargestellte Untersuchung der Kunststoffringoberfläche mittels Weißlichtprofilometrie bestätigt diese Beobachtung.



**Bild 6:** Über Weißlichtprofilometer ermittelte Farbflächendarstellung links und Oberflächenprofil (Linienscan) rechts eines PA 6-Ringes nach 20 h Prüfdauer.

Sowohl in der Farbflächendarstellung Links, als auch im Oberflächenprofil (Linienscan) Rechts sind keine auswertbaren Veränderungen des Oberflächenprofils des PA 6-Ringes zu erkennen. Es ist auch hier kein relevanter Verschleiß der Kunststoffringe festzustellen. Eine Bestimmung der Verschleißrate ist am Kunststoffring bei den Kurzzeitversuchen damit nicht möglich, sondern konnte für die einzelnen Tribopaarungen nur über die Massenabnahme der Gummiprobe erfolgen.

In Bild 7 sind die ermittelten spezifischen Verschleißraten der Tribopaarungen gegenübergestellt.



**Bild 7:** Spezifische Verschleißrate des Dichtungsgummis bei Paarung mit unterschiedlichen Gegenkörperwerkstoffen

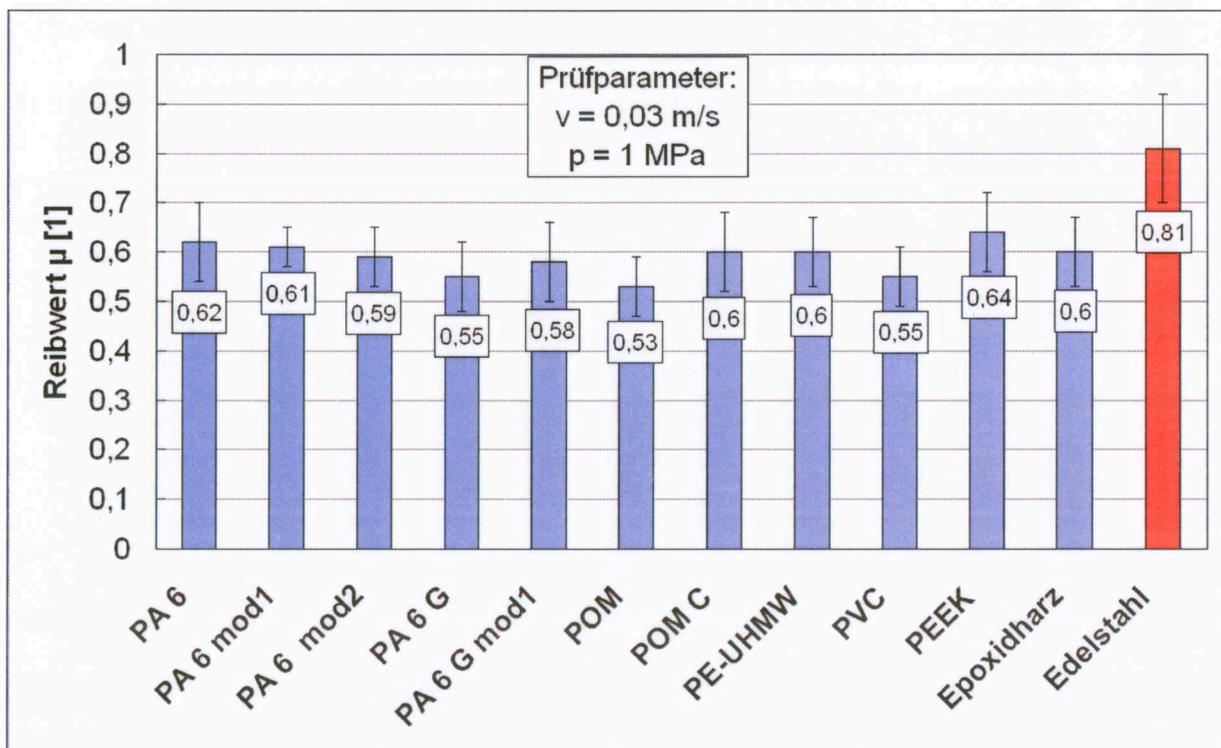
Im Vergleich zum Gegenkörper Edelstahl 1.457 wurde für alle Kunststoffmaterialien eine um mindestens 50% geringere Verschleißrate gemessen. Die geringsten Verschleißraten zeigen PVC mit  $2,14E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  und Epoxidharz mit  $2,53E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Die Höchsten wurden für PA 6 mit  $3,56E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , PA 6 mod2 mit  $3,44E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  und für das PE-UHMD mit  $3,42E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  gefunden. Für die übrigen Kunststoffe sind aufgrund der aufgetretenen Streubreiten keine signifikanten Unterschiede bei der spezifischen Verschleißrate auszumachen. Sie streuen mehr oder weniger um das Niveau  $3,0E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Die PA 6G-Werkstoffe fallen dabei durch geringe Streuungen, der POM-Werkstoff durch extrem hohe Streuung um den Mittelwert auf.

Bei den unterschiedlichen, nicht modifizierten Kunststoffen wie PA 6, PA 6 G, POM, PVC und Epoxidharz sind Unterschiede bei der Verschleißrate in der Größenordnung von maximal 30% festzustellen.

Der Vergleich von reinem PA 6, mit den beiden modifizierten Typen PA 6 mod1 und PA 6 mod2 zeigt, dass auch hier durch Modifizierung die Verschleißrate verändert werden kann. Während die Modifizierung mit MoS<sub>2</sub> eine Verringerung der Verschleißrate um 20 % bewirkt, konnte für die Modifizierung mit Öl/Wachs bei PA6 mod2 keine signifikante Veränderung festgestellt werden.

### 3.1.2 Reibwert

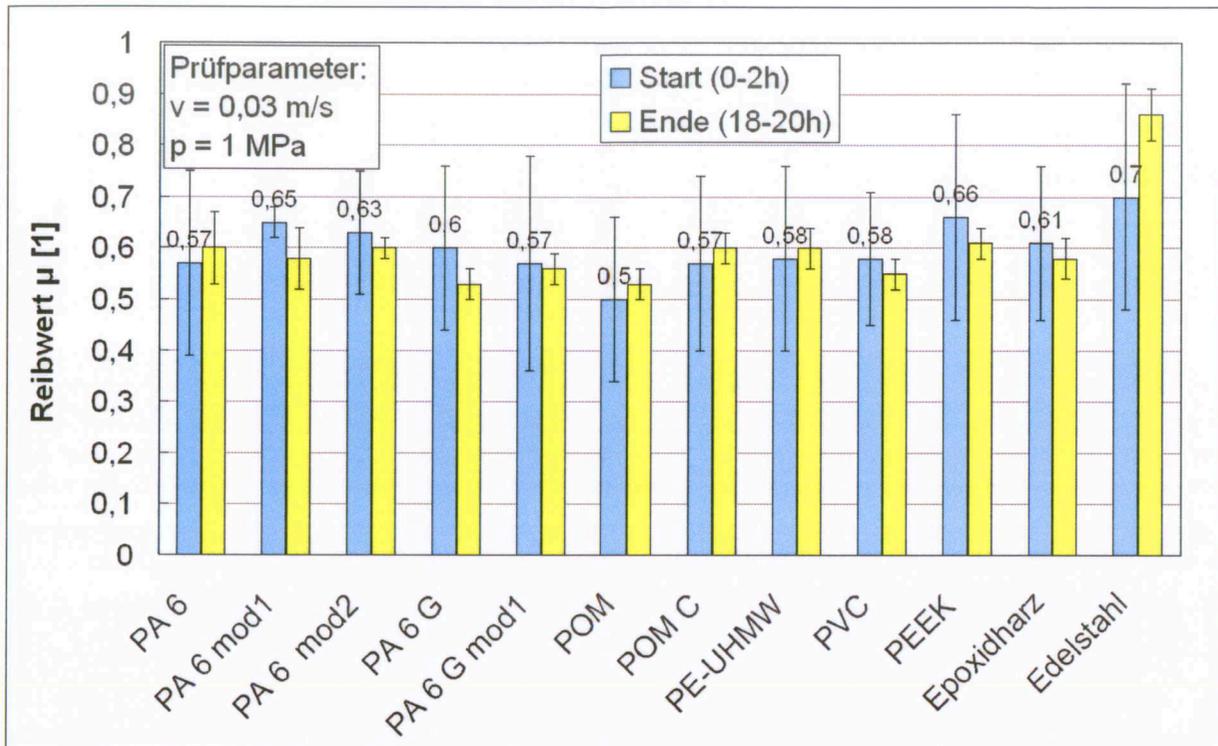
In Bild 8 sind die Mittelwerte der Reibwerte über die Versuchsdauer von 20 Stunden gegenübergestellt.



**Bild 8:** Über Gesamtlaufzeit gemittelte Reibwerte  $\mu$  der untersuchten Gleitpaarungen

Im Vergleich zum Reibwert gegen Edelstahl mit  $\mu=0,81$  bewegen sich alle Reibwerte gegen die untersuchten Kunststoffe auf deutlich geringerem Niveau in der Größenordnung um  $\mu=0,6$ . Bei den Kunststoffen wurde für POM mit  $\mu=0,53$  der kleinste, für den modifizierten PEEK-Compound mit  $\mu=0,64$  der größte Reibwert gefunden.

Betrachtet man in Bild 9 die Darstellung der Mittelwerte der gemessenen Reibwerte für die Startphase ( $\leq 2h$ ) und die Endphase ( $\geq 18h$ ) getrennt voneinander, so ergibt sich folgendes Bild (Bild 9).



**Bild 9:** Gemittelte Reibwerte  $\mu$  zu Beginn (0-2h) und am Ende (18-20h) der Prüfung

Für nahezu alle Gleitpaarungen mit Ausnahme von PA6 mod 1 kann in der Einlaufphase eine signifikant höhere Streuung der Reibwerte festgestellt werden. In dieser Phase des Versuchs ist die mehr oder minder schnell die Ausbildung eines Gleitfilms (Gummiabrieb) auf den Gegenkörpern zu beobachten. Die Reibwerte streuen hier in der Größenordnung bis zu  $\pm 30\%$  um ihren Mittelwert. Übliche Einlaufvorgänge und die gerade zu Versuchsbeginn relative Instabilität und Variabilität der Kontaktgeometrie (maximaler Probenüberstand von 1,6 mm der elastischen Gummiprobe) sind hier aus unseren Erfahrungen als Ursache zu nennen. In der Endphase des Versuchs verkleinert sich diese Streuung sehr deutlich auf einen Wert zwischen fünf und zehn Prozent. Der durch fortgeschrittenen Verschleiß verkürzte Probenüberstand (stabiler Kontaktgeometrie) und die Ausbildung des Abriebfilms auf der Gegenkörperoberfläche führen offensichtlich zu stabileren Reibungszuständen.

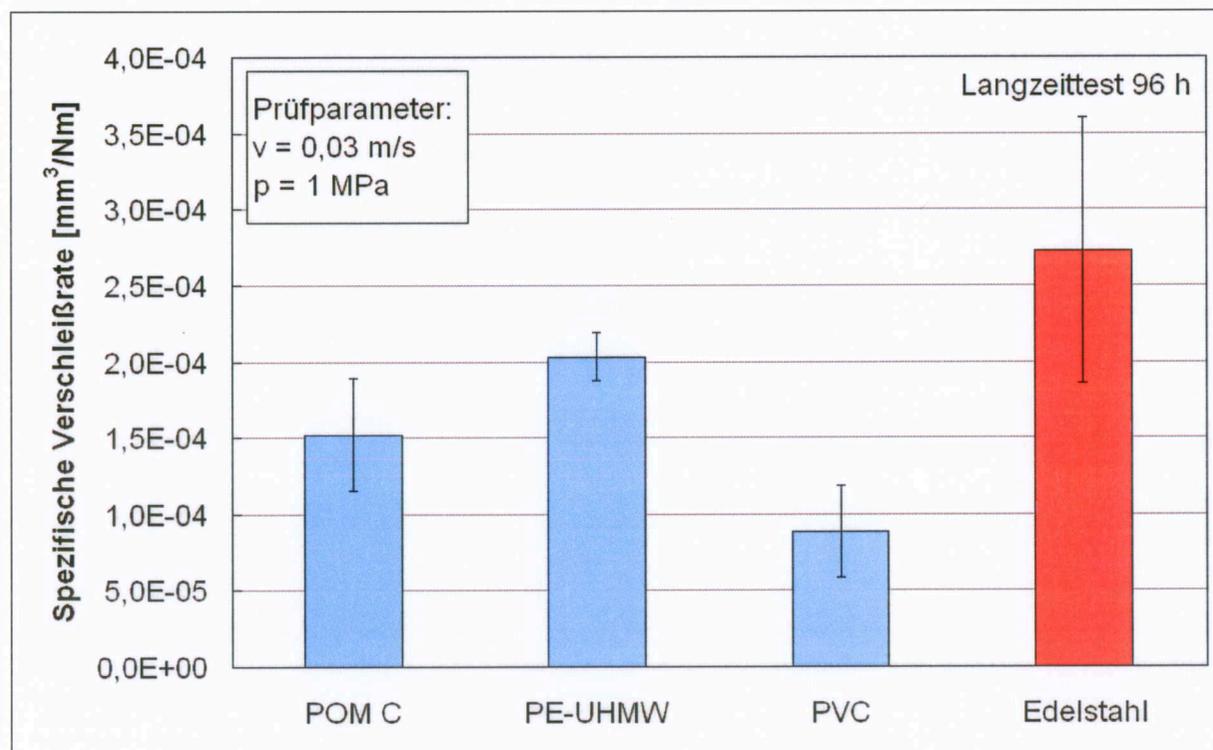
Liegt die Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen mittleren Reibwert bei den Kunststoffen zu Versuchsbeginn bei 0,16 so verringert sich diese Differenz zum Ende des Versuches auf die Hälfte. Mit fortschreitender Versuchsdauer ist damit eine Abnahme der Reibwertunterschiede bei den untersuchten Kunststoffen festzustellen.

Während für den untersuchten Edelstahl eine deutliche Steigerung des Reibwertes um ca. 20% feststellbar ist, zeigen die Kunststoffe entweder abnehmende oder einen deutlich geringeren Anstieg des mittleren Reibwertes am Ende des Versuches.

### 3.2 Langzeitversuch (Prüfdauer 96 h) mit vier ausgewählten Gegenkörpermaterialien

#### 3.2.1 Spezifische Verschleißrate

In Bild 10 sind die ermittelten spezifischen Verschleißraten der vier im Langzeittest (96h) untersuchten Tribopaarungen mit POM C, PE-UHMW, PVC und Edelstahl gegenübergestellt.



**Bild 10:** Spezifische Verschleißrate des Dichtungsgummis bei Paarung mit unterschiedlichen Gegenkörperwerkstoffen im Langzeittest (96h)

Im Langzeittest über 96 Stunden wurden die Ergebnisse der 20h-Prüfung dahingehend bestätigt, dass die Paarung gegen Edelstahl die deutlich größte Verschleißrate zeigt. Gleichzeitig kann eine enorme Streuung der Verschleißwerte beobachtet werden. Aufgrund dieser Streuungen wurde der Versuch wiederholt. Die ge-

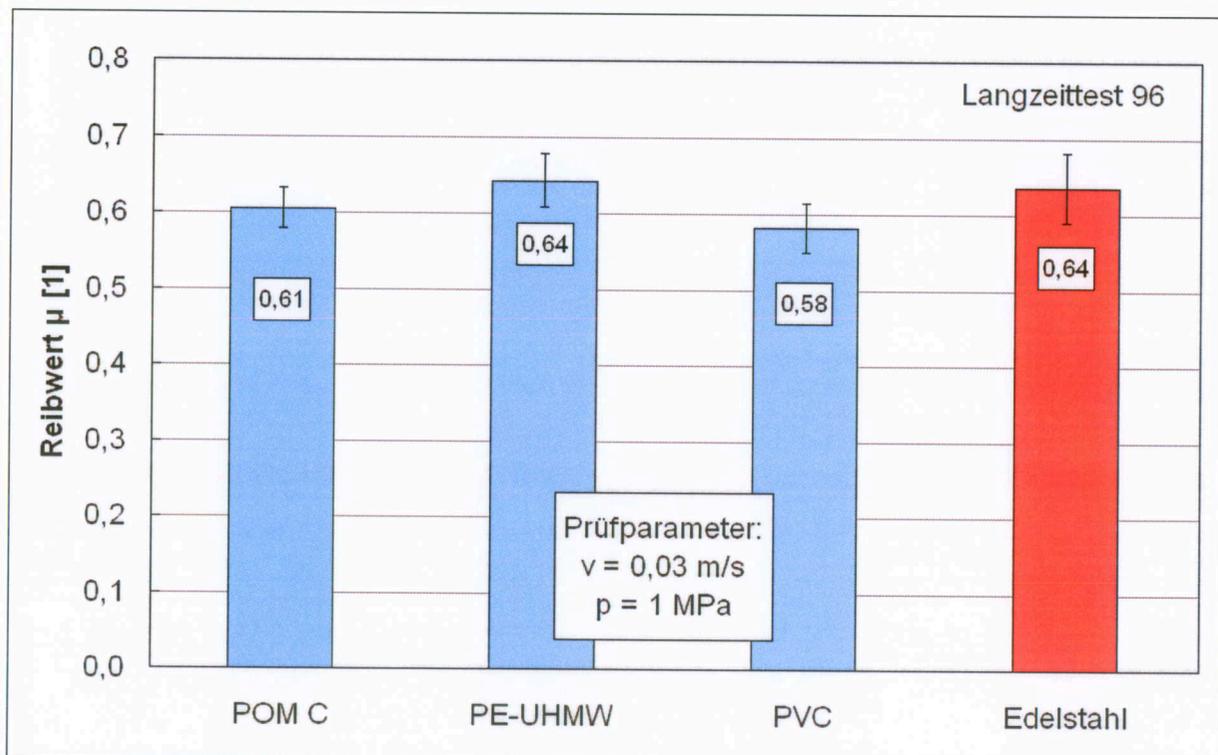
fundenen Ergebnisse wurden aber auch hier bestätigt. Ursächlich hierfür kann der während der Versuchsdurchführung festzustellende Auf- und Abbau eines inhomogenen Tribofilms (siehe Anlage) sein.

Auch die im Vergleich zum Gegenkörper Edelstahl 1.4571 um nahezu 50% geringere Verschleißrate von POM C und die um fast 70% kleinere Verschleißrate von PVC decken sich mit den im Kurzzeitversuch (20h) gefundenen Ergebnissen.

PE-UHMW hingegen zeigt im Langzeitversuch eine deutlich höhere Verschleißrate und liegt damit nur noch um etwa 25% unter der gegen Edelstahl gemessenen.

### 3.2.2 Reibwert

Bei Betrachtung der in Bild 11 gezeigte Gegenüberstellung der gemittelten Reibwerte der vier ausgewählten Materialien im Langzeittest können kaum mehr Unterschiede bei den Reibwerten wahrgenommen werden.



**Bild 11:** Gemittelte Reibwerte  $\mu$  des Dichtungsgummis bei Paarung mit unterschiedlichen Gegenkörperwerkstoffen im Langzeittest (96h)

Der kleinste Reibwert mit  $\mu = 0,58$  wurde für PVC, der Größte mit  $\mu = 0,64$  für PE-UHMW und Edelstahl gefunden. Da jedoch eine deutliche Überschneidung der

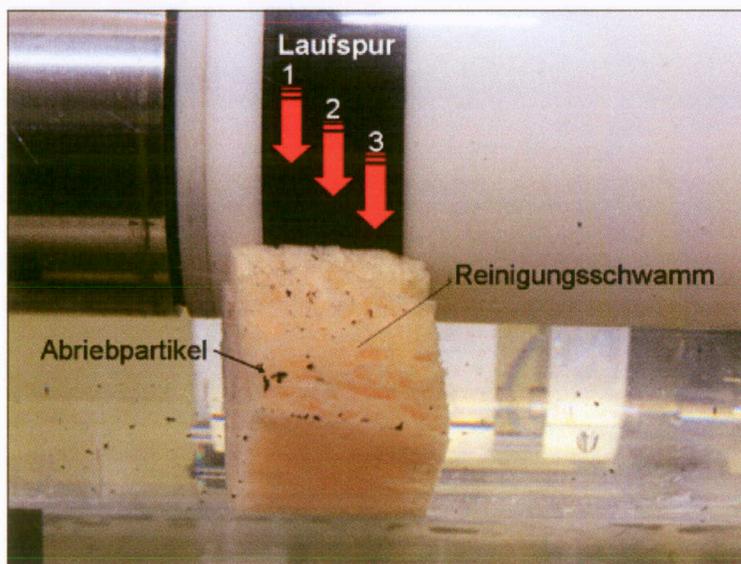
Streubereiche festzustellen ist, sind im Langzeitversuch kaum mehr Unterschiede bei den gefundenen Reibwerten auszumachen. Sie liegen alle in der Größenordnung von  $\mu=0,6 \pm 0,05$ .

### 3.3 Versuche mit Spurwechsel (Prüfdauer 3 x 1,5 h) mit vier ausgewählten Gegenkörpermaterialien

Mit Hilfe dieser zusätzlichen Versuchreihe sollen Erkenntnisse über das Verschleißverhalten des Dichtungsgummis auf den originären (nicht mit Abriebfilm behafteten) Oberflächen der vier ausgewählten Materialien gewonnen werden.

Bereits bei den 20h-Versuchen war die Ausbildung eines Transferfilmes (Bild 5) auf den Kunststoff-Ringen zu beobachten. Auch ergab die differenzierte Betrachtung der ermittelten Reibwerte zu Beginn und zum Ende der 20h-Prüfungen (Bild 9) bereits Hinweise auf einen Einfluss des Transferfilms auf die tribologischen Kennwerte.

In der Prüfzeit von 4,5 h erfolgt jeweils nach 1,5 h -durch Verstellung der Gegenkörperposition auf dem Antriebswelle - der Wechsel auf eine neue unbenutzte Gegenkörperoberfläche. Der Versuch muss dazu unterbrochen werden. Zusätzlich wird im Medienbehälter ein Abriebschwamm positioniert, mit dem versucht wird, den Gummiabrieb vom Gegenkörper zu lösen. In Bild 12 ist die Versuchsdurchführung an einer Prüfzelle dargestellt.



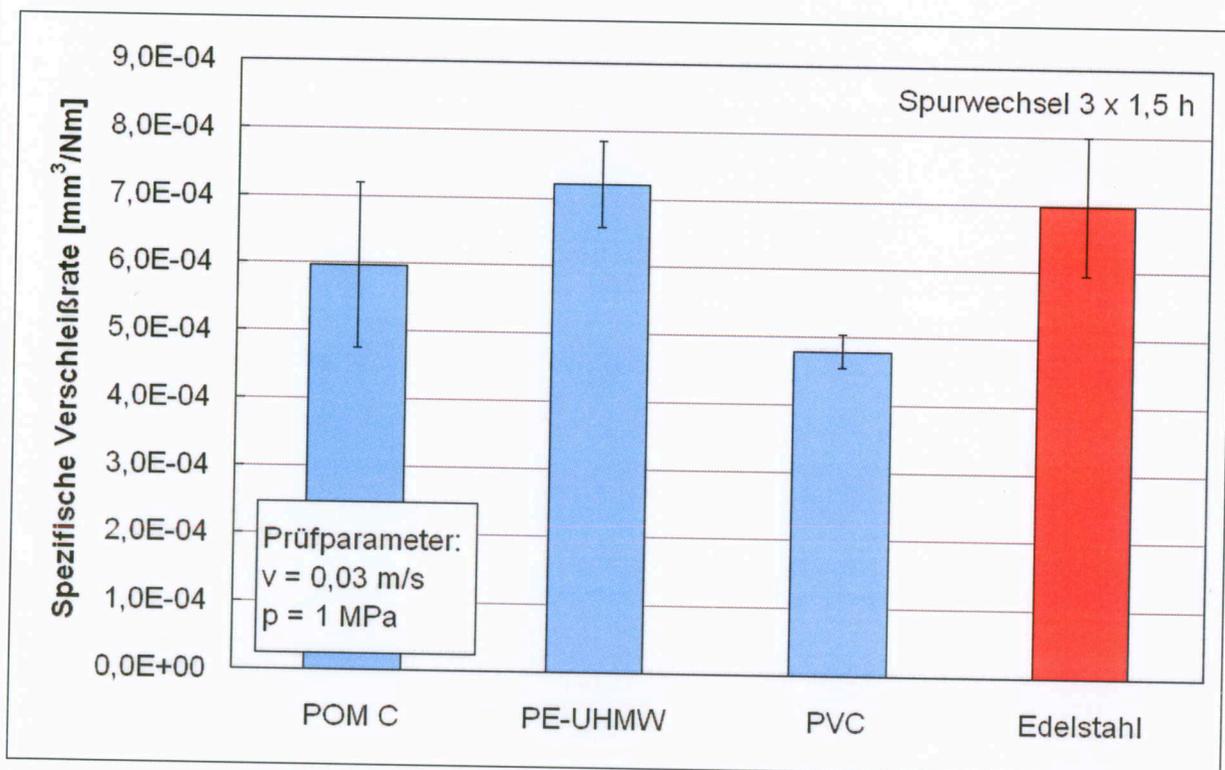
**Bild 12:** Prüfaufbau mit Reinigungsschwamm und angedeuteten Laufspuren bei Kurzzeitversuch mit 3 x 1,5 h Prüfdauer.

Durch den Schwamm konnten nur lose Abriebpartikel von den Ringen abgestreift werden. Die Loslösung des sehr gut anhaftenden Transferfilms ist leider nicht gelungen.

Der Prüfpin wurde dabei nicht gewechselt und die Differenzwägung erfolgte erst nach Abschluss der Gesamtlaufzeit von 4,5 h.

### 3.3.1 Spezifische Verschleißrate

In Bild 13 sind die ermittelten Verschleißraten der vier untersuchten Gegenkörpermaterialien gegenübergestellt.

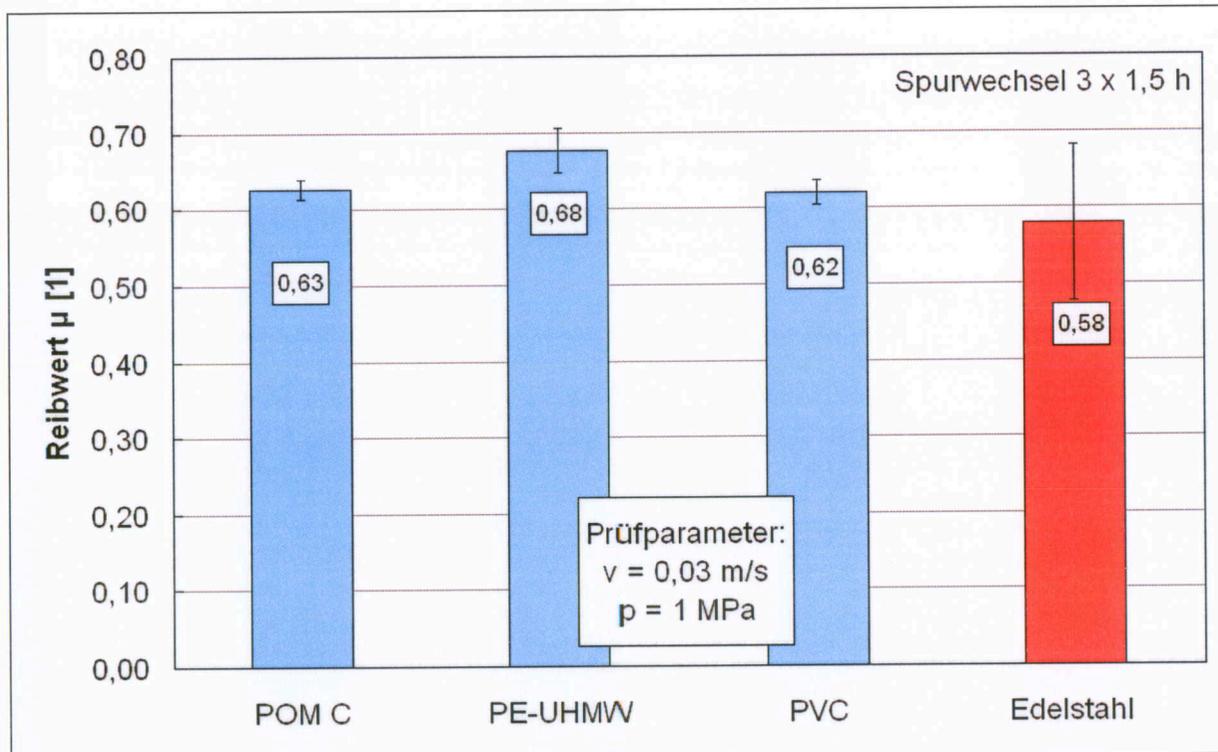


**Bild 13:** Spezifische Verschleißrate des Dichtungsgummis bei Paarung mit unterschiedlichen Gegenkörperwerkstoffen im 3x1,5 Stunden-Test

Die höchste Verschleißrate wurde mit  $7,24E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  für PE-UHMW gefunden. Während sich Edelstahl mit  $7,0E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  nur unwesentlich von PE-UHMW unterscheidet wurden für POM mit  $6,0E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  und vor allem für PVC mit  $4,8E-04 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  kleinere Verschleißraten ermittelt. Auffällig ist die geringe Streuung der gefundenen Werte für PVC.

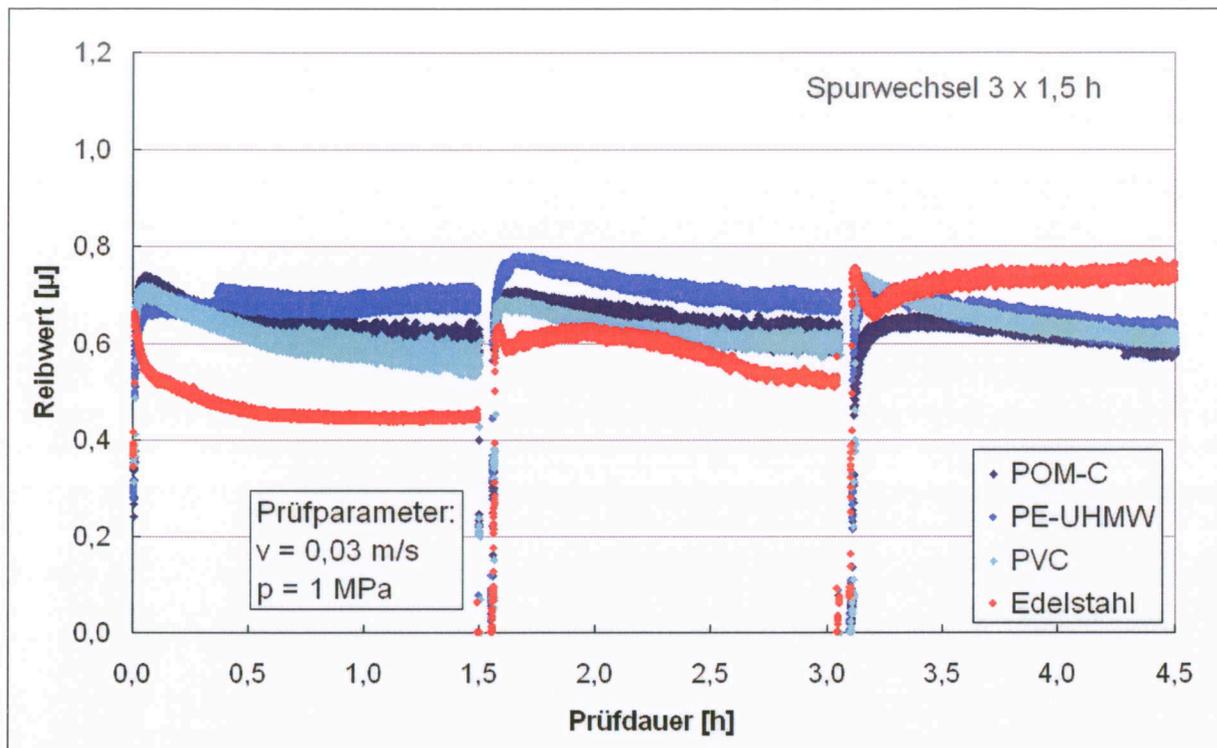
### 3.3.2 Reibwert

Wie im nachfolgenden Diagramm (Bild 14) zu erkennen ist, liegen die gemittelten Reibwerte für die Paarungen gegen die Kunststoffe POM C und PVC sehr nahe beieinander ( $\mu=0,63$  bzw.  $\mu=0,62$ ). Für PE-UHMW wurde mit  $\mu=0,68$  der größte Reibwert gemessen.



**Bild 14:** Gemittelte Reibwerte  $\mu$  der untersuchten Gegenkörperpaarungen im 3x1,5 Stunden-Test

Der gemittelte Reibwert  $\mu=0,58$  für Edelstahl ist zwar der kleinste in dieser Messreihe, zeigt aber auch enorme Streuungen. Aus den in Bild 15 dargestellten Reibwertverläufen (Mittelwerte aus 4 Messungen) werden die Unterschiede deutlich.

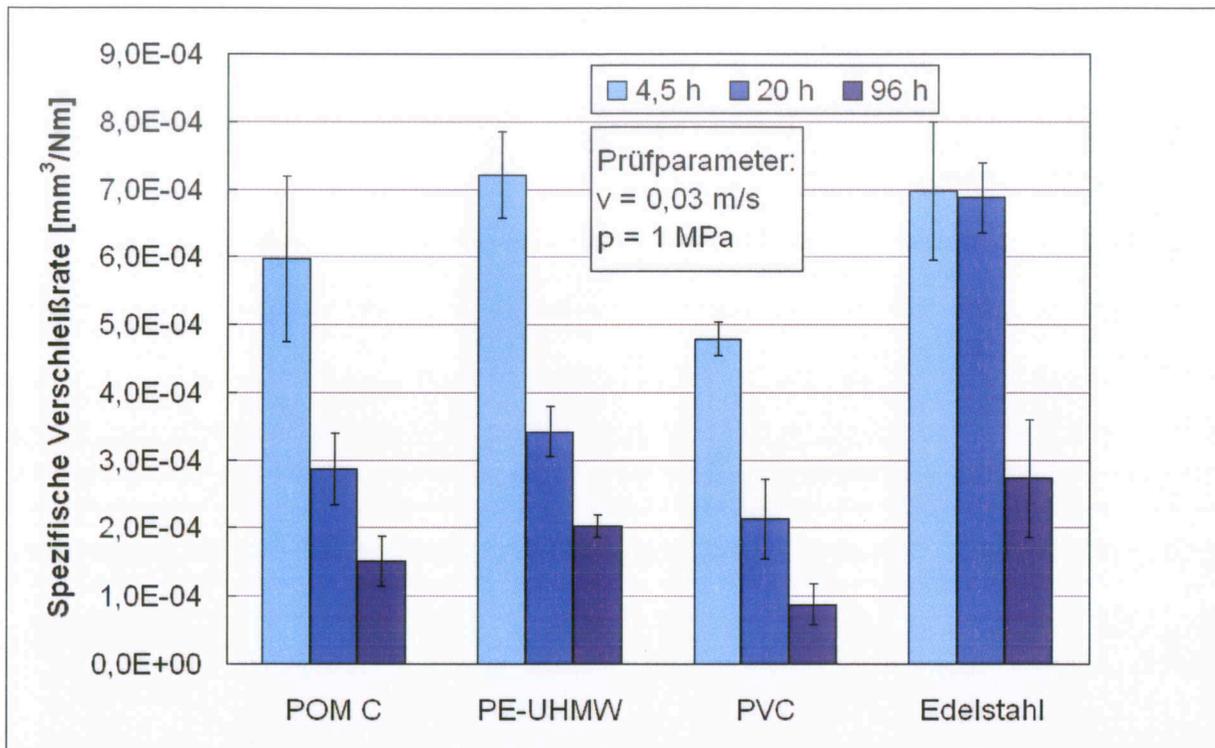


**Bild 15:** Gemittelter Reibwertverlauf der untersuchten Gegenkörperpaarungen im 3x1,5 Stunden-Test

Beim Verstellen der Laufspur nach jeweils 1,5 Stunden Laufzeit ist bei allen Tribopaarungen eine Vergrößerung des Reibwertes festzustellen. Während bei den drei Kunststoffen mit Ausbildung des Transferfilmes ein leichtes Absinken des Reibwertes auf  $\mu=0,6$  festzustellen ist, steigt der Reibwert gegen Edelstahl doch deutlich um jeweils 25% an.

### 3.4 Ausgewählten Werkstoffpaarungen (POM C, PE-UHMW, PVC und Edelstahl) bei unterschiedlichen Testbedingungen im Vergleich

Zur Vereinfachung der Darstellung werden die drei durchgeführten Testreihen in Bild 16 und 17 lediglich mit den jeweiligen Laufzeiten benannt.



**Bild 16:** Bei unterschiedlichen Testbedingungen ermittelte Spezifische Verschleißrate untersuchter Gleitpaarungen im Vergleich.

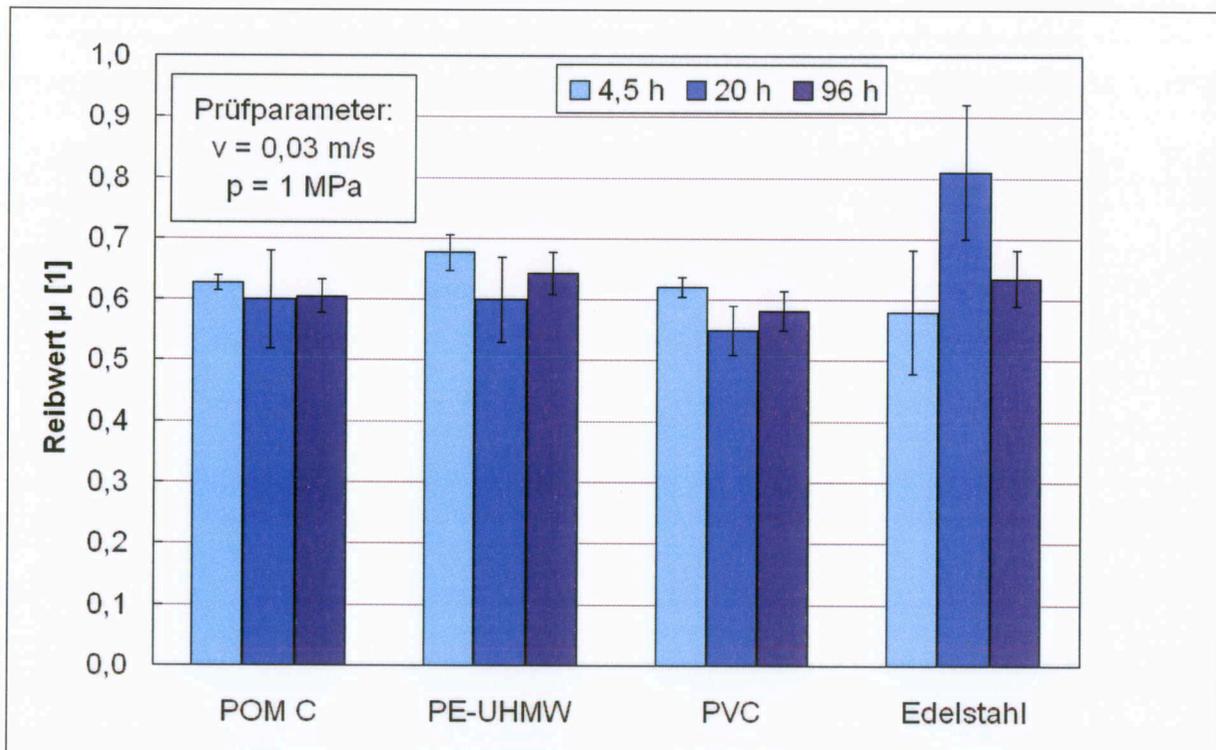
Bei allen Kunststoffen konnte eine sinkende Verschleißrate bei Zunahme der Versuchsdauer festgestellt werden. Ebenso wurden im 4,5 Stunden Test mit Spurwechsel mehr als doppelt so hohe Verschleißraten als in der 20 Stunden Prüfung gemessen. Damit ist bei den Kunststoffen ein deutlich nichtlinearer Verschleiß über die Versuchszeit festzustellen. Im Kurzzeitversuch (4,5 Stunden) mit Spurwechsel -und damit auch prinzipiell zu Versuchsbeginn- ist die Verschleißrate sehr viel höher als im weiteren Versuchsverlauf. Die Verschleißraten von PE-UHMW und POM C unterscheiden sich also vor Ausbildung des Transferfilms nur unwesentlich von der gegen Edelstahl.

Auch bei Prüfzeiten über 20 Stunden wurden weitere Abnahmen der Verschleißraten gefunden. Das Ranking in Bezug auf die Verschleißrate bleibt bei den geprüften Kunststoffen über allen Versuchsreihen unverändert. PVC zeigt in allen Versuchen die geringsten, PE-UHMW die größten Verschleißraten.

Für Edelstahl wurde im 4,5 Stunden Test mit Spurwechsel und im 20 Stunden Test gleiche Verschleißraten gefunden. Bei Edelstahl ist also für den Bereich zwischen 0 und 20 Stunden ein lineareres Verschleißverhalten festzustellen. Erst bei Prüfzeiten

über 20 Stunden wurde auch hier eine kleinere Verschleißrate ermittelt. Offensichtlich setzt die Ausbildung eines/einer verschleißmindernden Transferfilms /Oberflächenveränderung erst sehr viel später als bei den Kunststoffringen ein.

Die in Bild 17 gegenübergestellten Reibwerte zeigen bei allen Kunststoffen geringfügig größere Reibwerte im 4,5 Stunden Test, also auch zu Versuchsbeginn vor Ausbildung des Abriebfilms (siehe Bild 15). Die Unterschiede in Bezug auf den Reibwert nehmen mit zunehmender Versuchsdauer eher ab. Für PVC wurden durchgängig die kleinsten Reibwerte gefunden.



**Bild 17:** Bei unterschiedlichen Testbedingungen ermittelte Reibwerte  $\mu$  (Mittelwerte) der untersuchten Gegenkörperpaarungen

Für die Tribopaarung mit Edelstahl wurden in den verschiedenen Messreihen unterschiedliche Reibwerte ermittelt, die zudem auch eine deutlich höhere Streubreite aufweisen. Die Tribopaarung Dichtgummi/Edelstahl zeigt insgesamt ein viel instabileres Verschleißverhalten. Während des Versuches konnten Auf- und Abbau von anhaftenden Abriebfilmen beobachtet werden. Wiederholungen von Messreihen brachten aber keine anderen Ergebnisse sondern bestätigten dies.

## 4 Zusammenfassung

Es wurden 11 Kunststoffe und ein rostfreier Edelstahl auf einem modifizierten Block-auf-Ring Medienprüfstand in Leitungswasser (RT) gegen ein Dichtungsgummi getestet. Mit Hilfe der Differenzwägung wurde die Verschleißrate der jeweiligen Gleitpaarung über die Massenabnahme des Gummiprüfpins bestimmt. Die digital aufgezeichneten Reibwerte wurden über die Versuchszeit gemittelt.

Bei allen untersuchten Kunststoffen wurden im 20-Stunden Versuch Verschleißraten kleiner bzw. gleich 50 % der Verschleißrate von Edelstahl gefunden. Für PVC und Epoxidharz wurden die kleinsten, für PA 6, PA6 G mod1 und PE-UHMW die größten spezifischen Verschleißraten gemessen. Im Vergleich zum Edelstahl mit  $\mu=0,8$  wurden für die Kunststoffe mittlere Reibwerte um  $\mu=0,6$  ermittelt. Die kleinsten mittleren Reibwerte wurden für POM ( $\mu=0,5$ ), PA 6 G und PVC (jeweils  $\mu=0,55$ ) gefunden, der größte mittlere Reibwert von  $\mu=0,64$  wurde mit der Paarung gegen PEEK gemessen.

Hinsichtlich der Verschleißrate sind bei den untersuchten, nicht modifizierten Kunststoffen wie z.B. PA 6 und PVC Unterschiede von maximal 30% festzustellen. In Bezug auf den gemittelten Reibwert hebt sich nur POM mit  $\mu=0,5$  deutlich vom übrigen Feld der untersuchten Kunststoffe ab, deren mittlere Reibwerte nur unwesentlich vom Wert  $\mu=0,6$  abweichen.

Am Beispiel PA 6 konnte der Einfluss einer Werkstoffmodifizierung mit  $\text{MoS}_2$  auf die spezifische Verschleißrate nachgewiesen werden. Im Vergleich zum nicht modifizierten PA 6 wurde für die  $\text{MoS}_2$ -Type eine um 22 % kleinere Verschleißrate gemessen.

Eine Beeinflussung des Reibwertes über die Modifizierung konnte an den gewählten Beispiel von PA 6, PA6 mod1 und PA6 mod2 nicht festgestellt werden.

Bei mit POM C, PE-UHMW, PVC und Edelstahl durchgeführten Langzeittests (96 Stunden) werden die Ergebnisse aus der 20 Stunden Prüfung weitestgehend bestätigt. Allerdings werden die Abstände zwischen dem Edelstahl und den untersuchten Kunststoffen sowohl hinsichtlich der Verschleißrate als auch bei den Reibwerten kleiner. Mit fortschreitender Versuchsdauer nehmen die Verschleißraten bei allen untersuchten Materialien ab. Für den untersuchten Edelstahl konnten aber erst für Prüfzeiten > 20 Stunden deutliche Verringerungen der Verschleißrate festgestellt werden.

Die Kurzzeitversuche mit Spurwechsel (3 x 1,5 h) haben die vermutete Abhängigkeit der tribologischen Kennwerte von der beobachteten Ausbildung des Tribofilms auf den Kunststoffringen bestätigt. Der Transferfilm führt zu einer deutlichen Verringerung von Verschleißrate und auch zu geringfügig kleineren Reibwerten.

Da die Ausbildung dieses offensichtlich verschleißrelevanten Tribofilms von Adhäsions- und tribochemischen Mechanismen abhängig ist, werden Veränderungen am Tribosystem wie z.B. Wasserverschmutzungen, Wasserzusammensetzungen ( z.B. Härtegrad, Mikroorganismen) und/oder Oberflächenbeläge an Tribopartnern das System mit hoher Wahrscheinlichkeit nachhaltig beeinflussen. Damit würde erst die Überprüfung auch solcher Einflüsse eine abschließende Bewertung für den Einsatz als Alternativwerkstoffe im Stahlwasserbau zulassen.

## 1 Anhang

### 1.1 Probendokumentation Kurzeitversuche (20 Stunden)

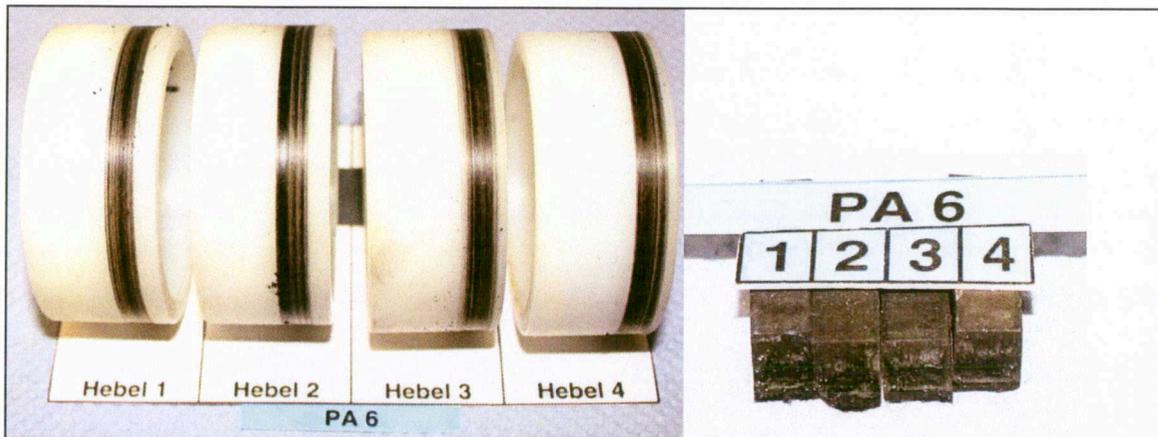


Bild A1: PA 6-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

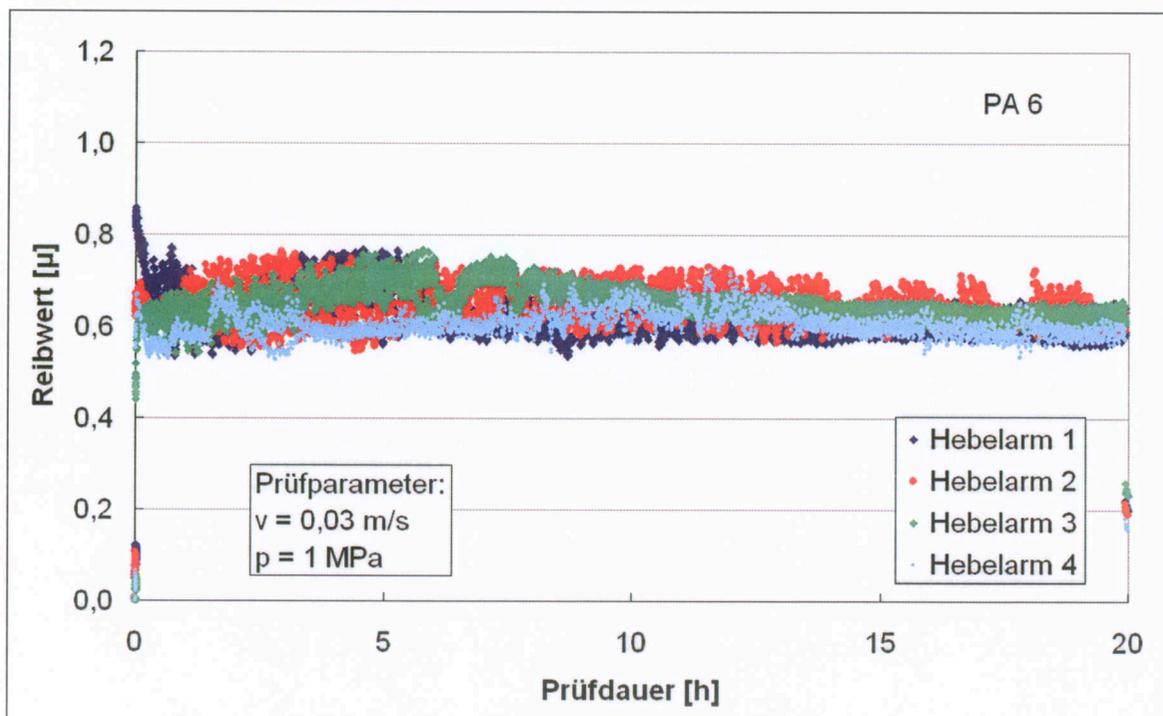


Bild A2: Reibwerte über die Prüfzeit bei PA 6

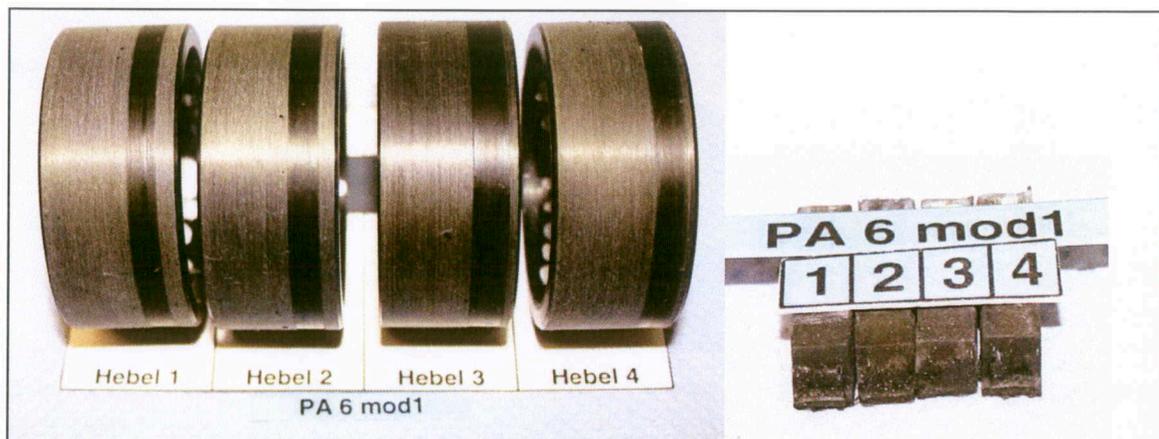


Bild A3: PA 6 mod1-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

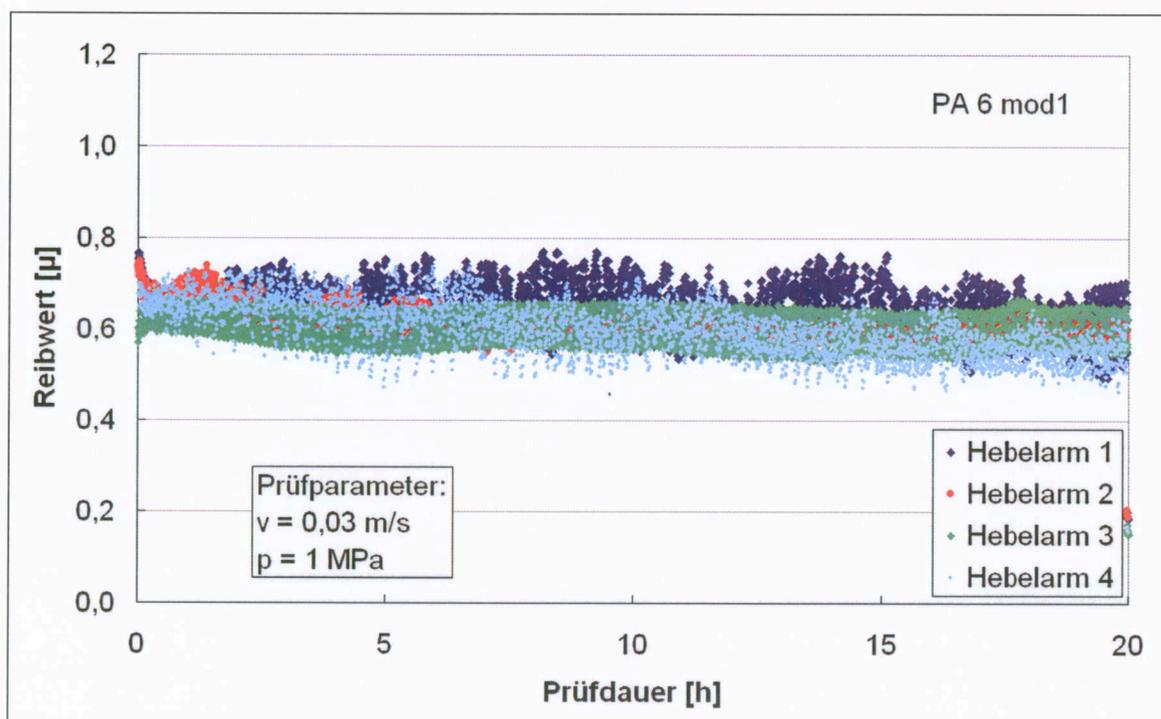


Bild A4: Reibwerte über die Prüfzeit bei PA 6 mod1

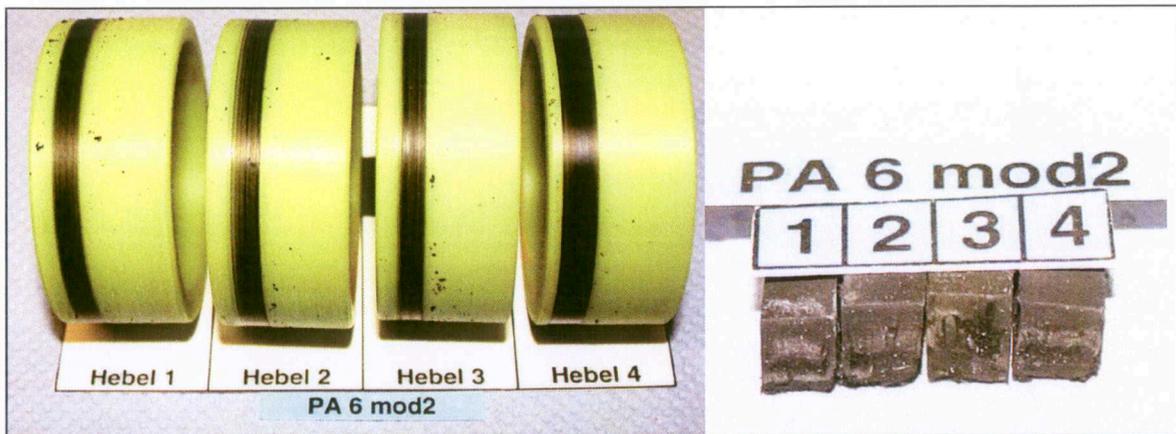


Bild A5: PA 6 mod2-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

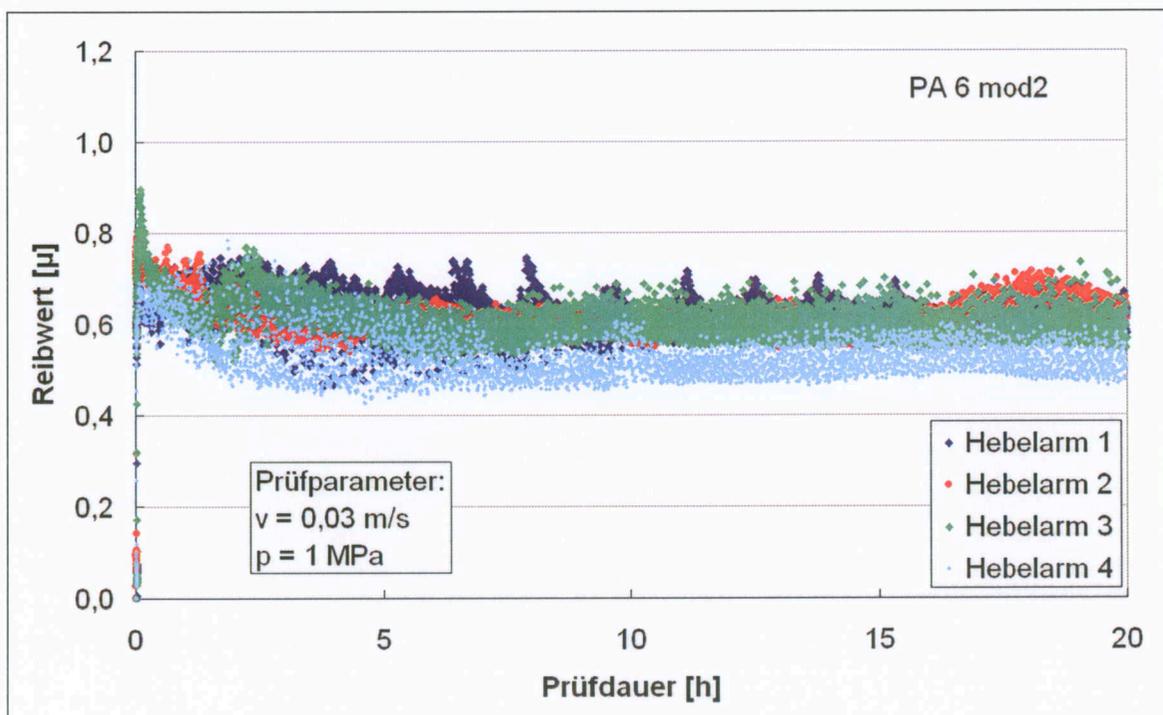
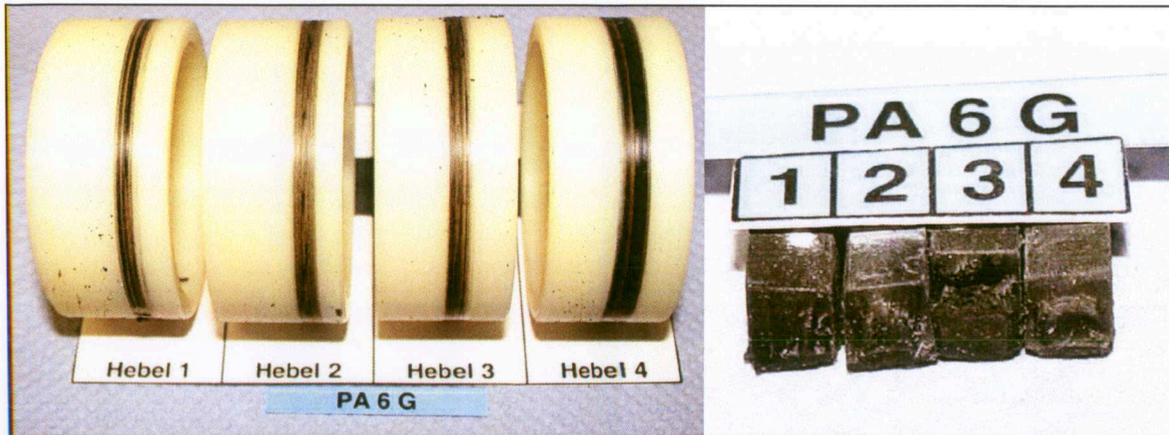
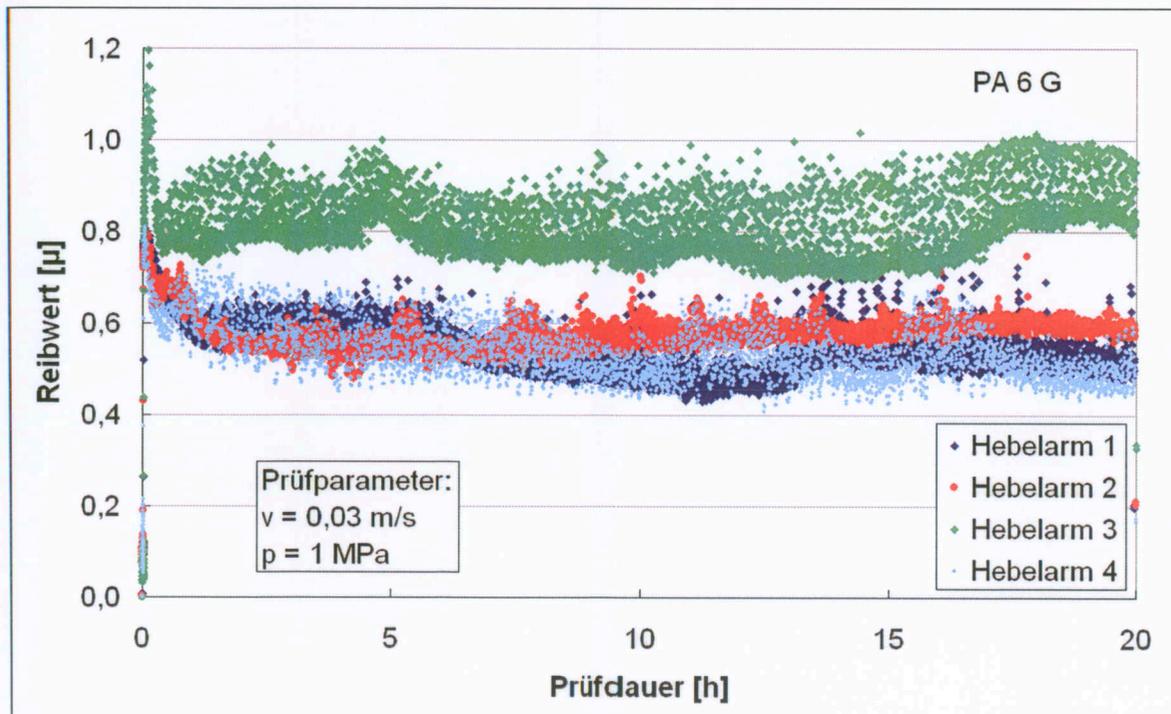


Bild A6: Reibwerte über die Prüfzeit bei PA 6 mod2



**Bild A7:** PA 6 G-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit



**Bild A8:** Reibwerte über die Prüfzeit bei PA 6 G

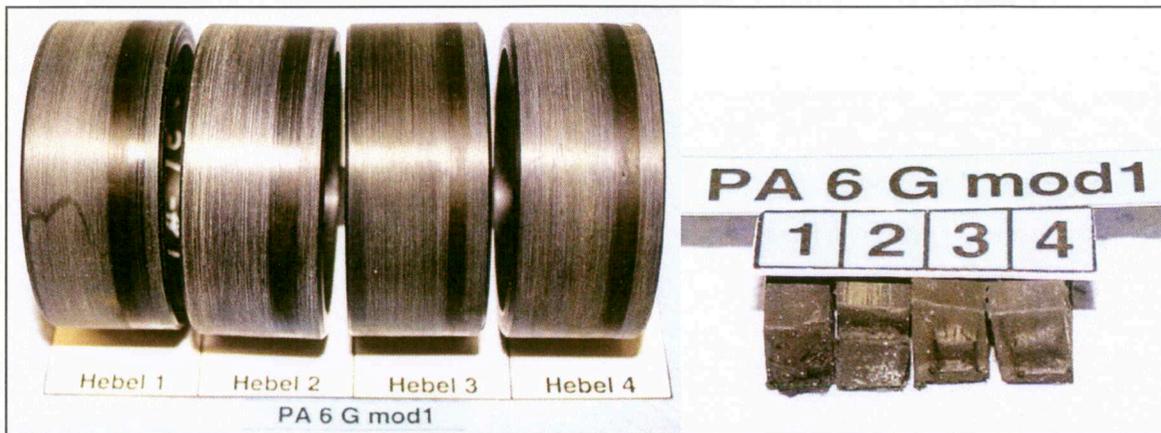


Bild A9: PA 6 G mod1-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

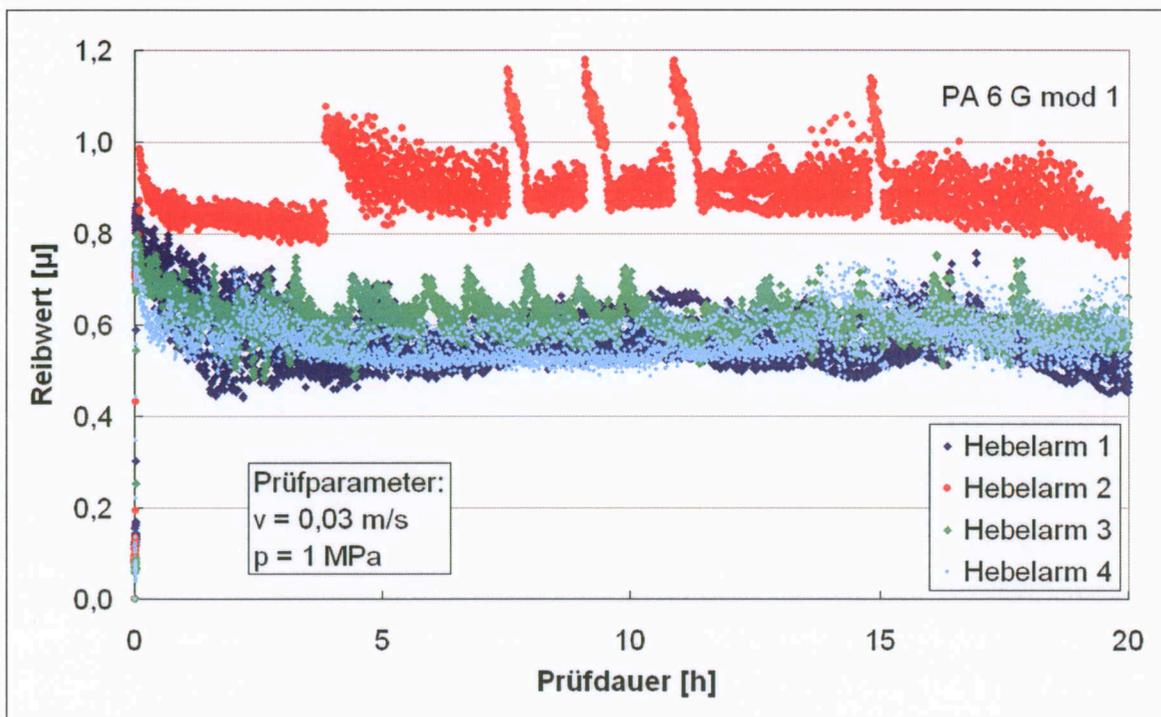


Bild A10: Reibwerte über die Prüfzeit bei PA 6 G mod1

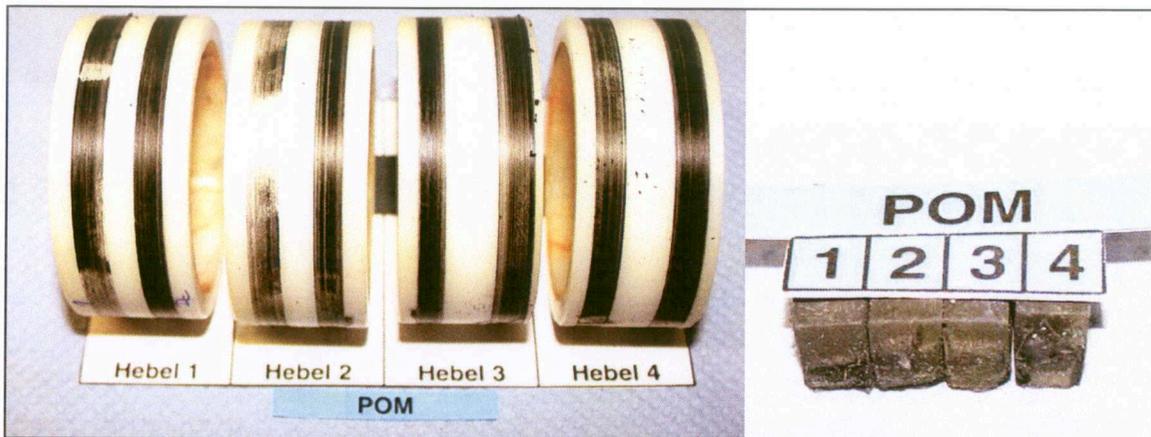


Bild A11: POM-Ringe (hier jeweils rechte Spur) und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

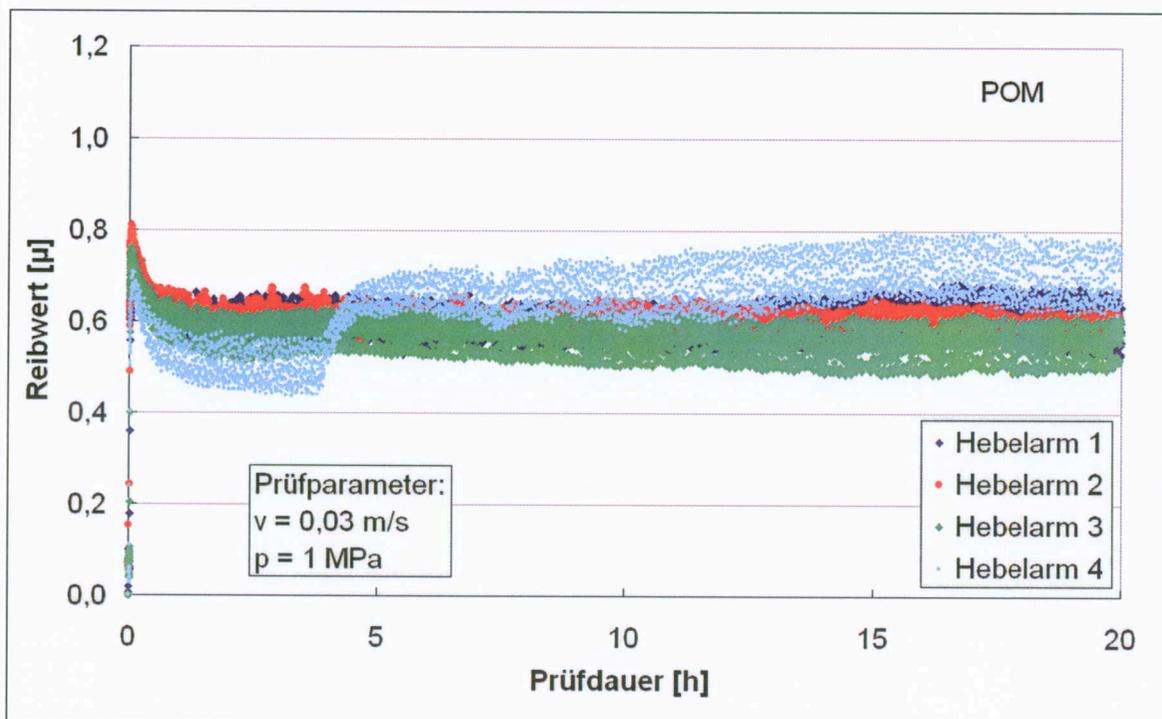
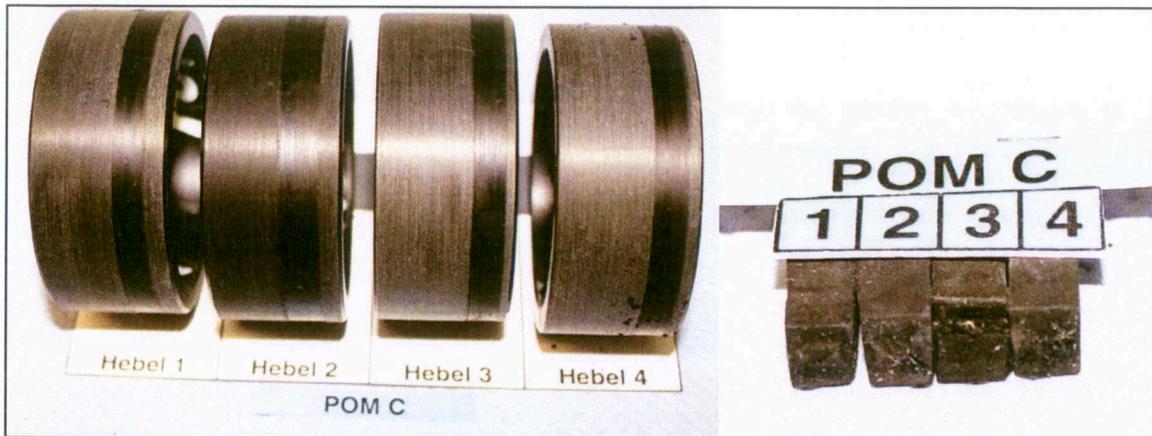
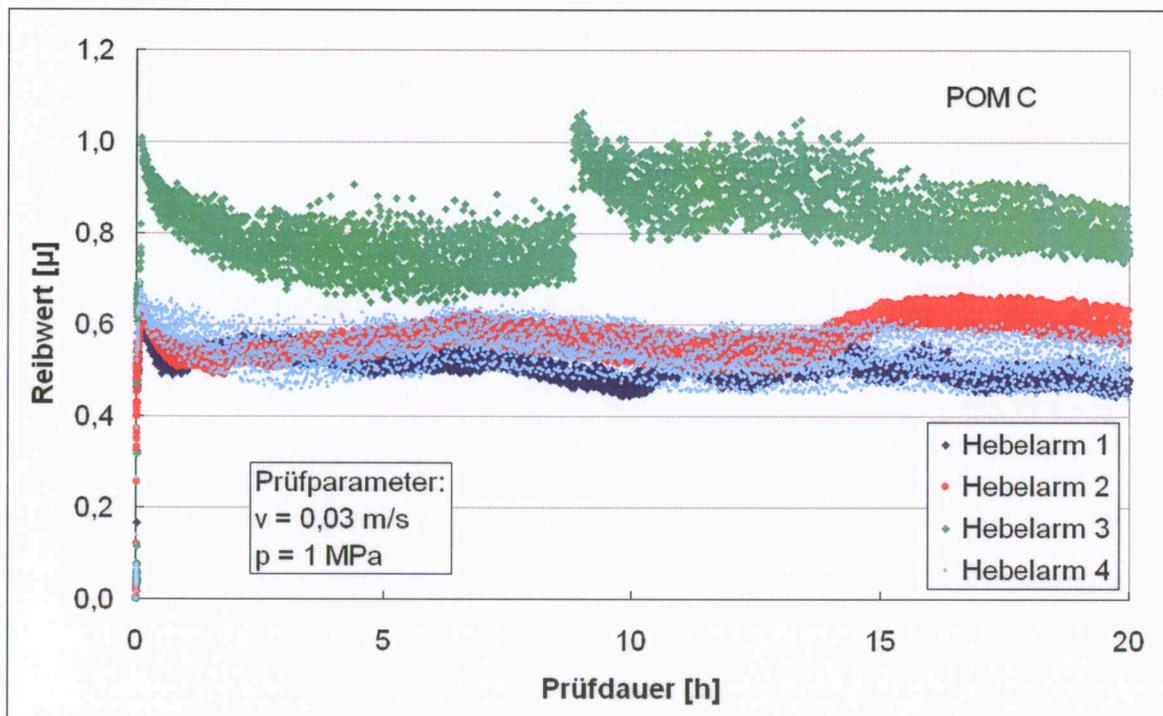


Bild A12: Reibwerte über die Prüfzeit bei POM



**Bild A13:** POM C-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit



**Bild A14:** Reibwerte über die Prüfzeit bei POM C

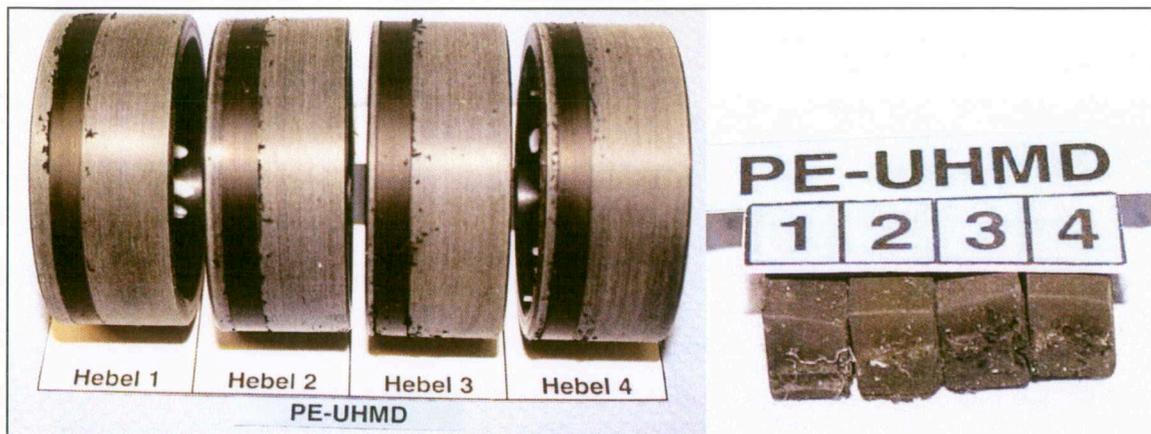


Bild A15: PE UHMW-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

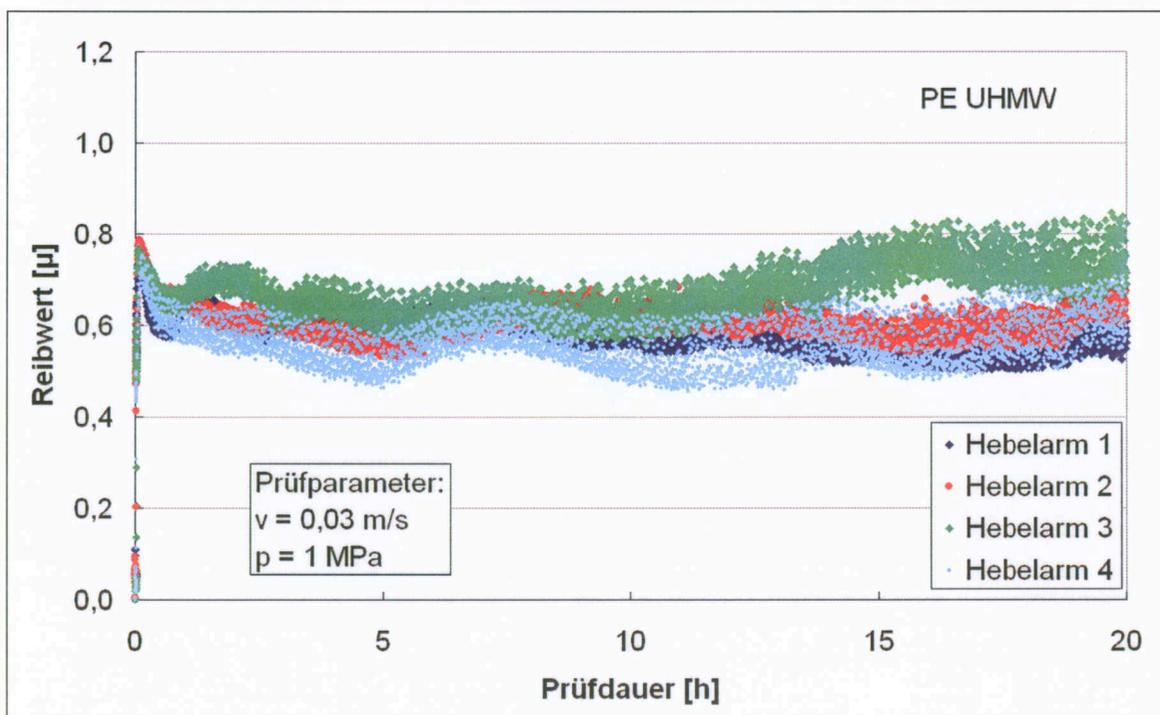


Bild A16: Reibwerte über die Prüfzeit bei POM

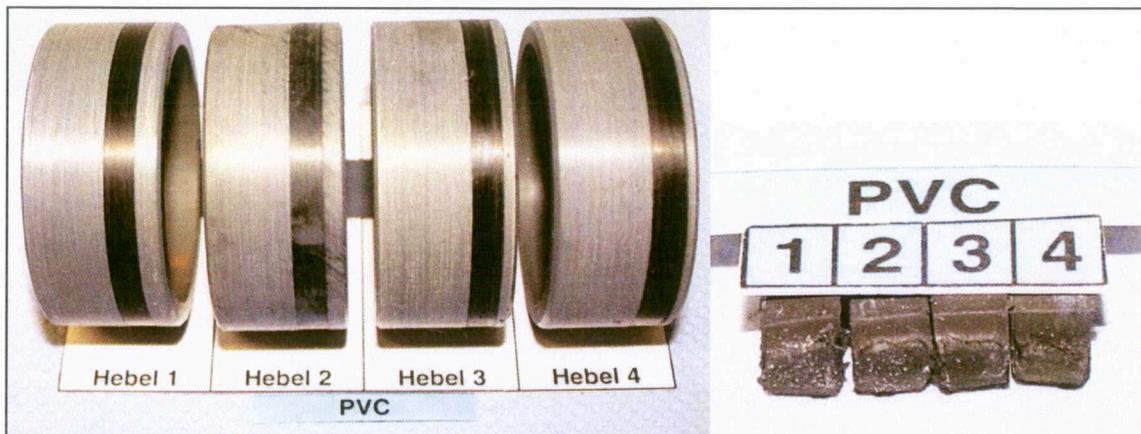


Bild A17: PVC-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

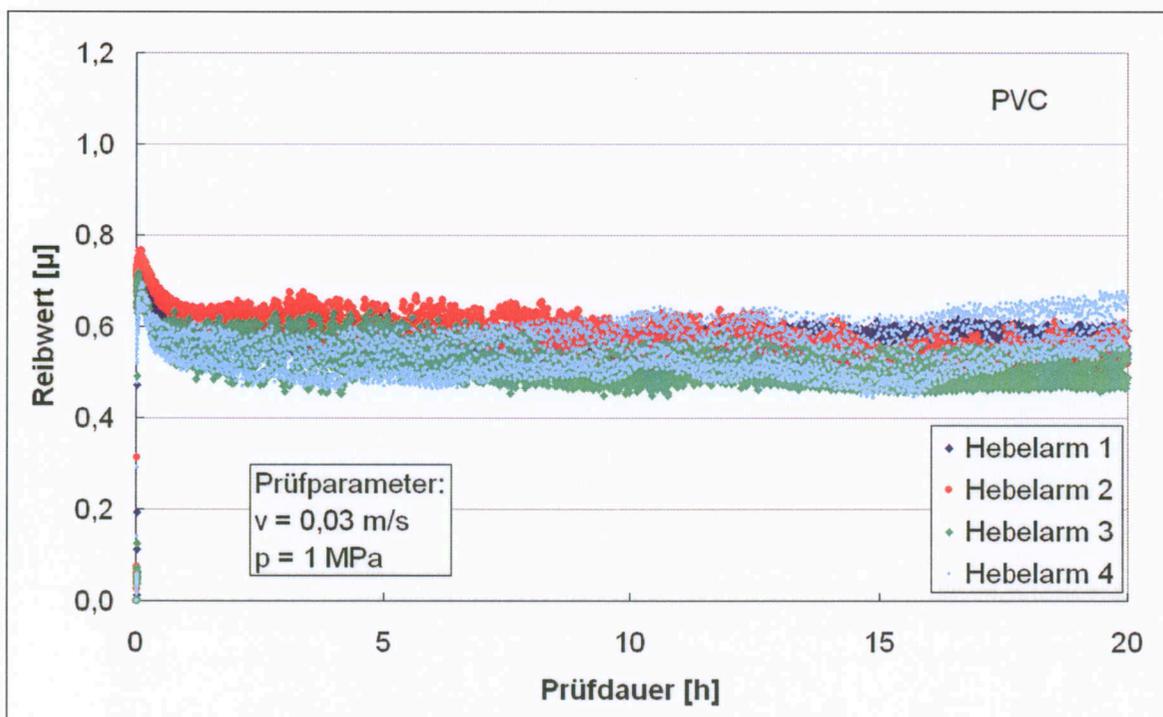


Bild A18: Reibwerte über die Prüfzeit bei POM



Bild A19: PEEK PVX-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

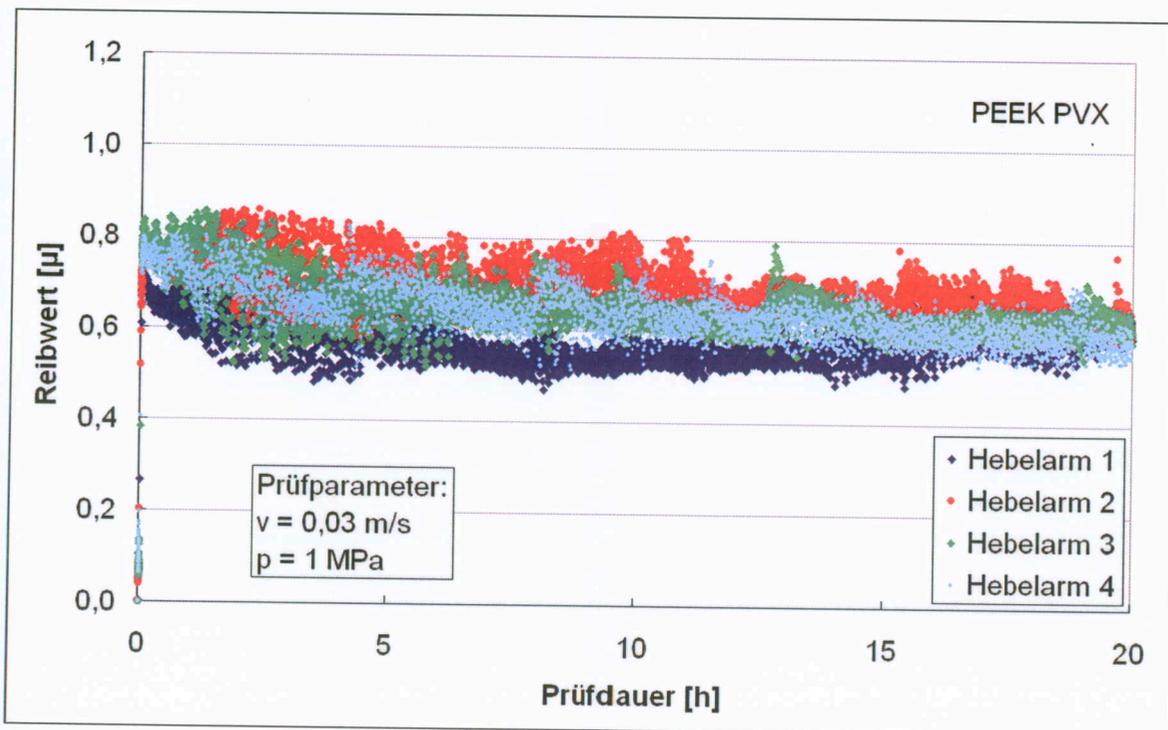
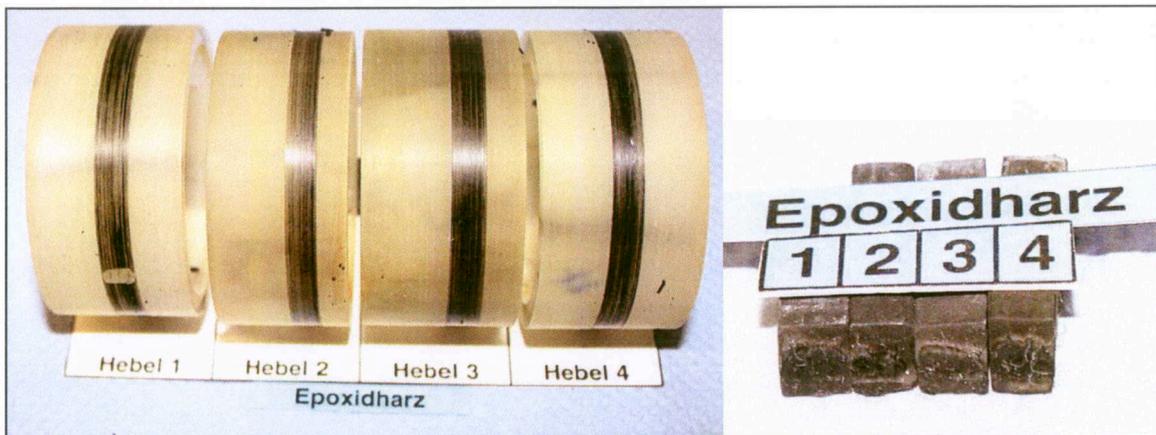
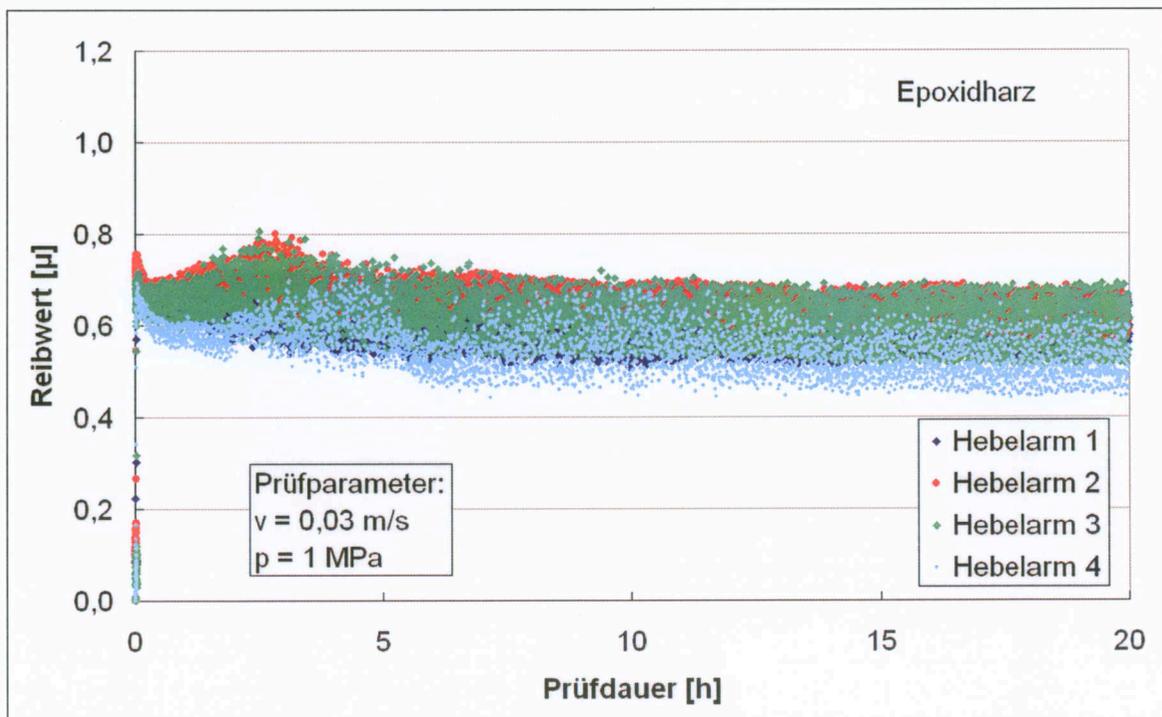


Bild A20: Reibwerte über die Prüfzeit bei PEEK PVX



**Bild A21:** Epoxidharz-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit



**Bild A22:** Reibwerte über die Prüfzeit bei Epoxidharz

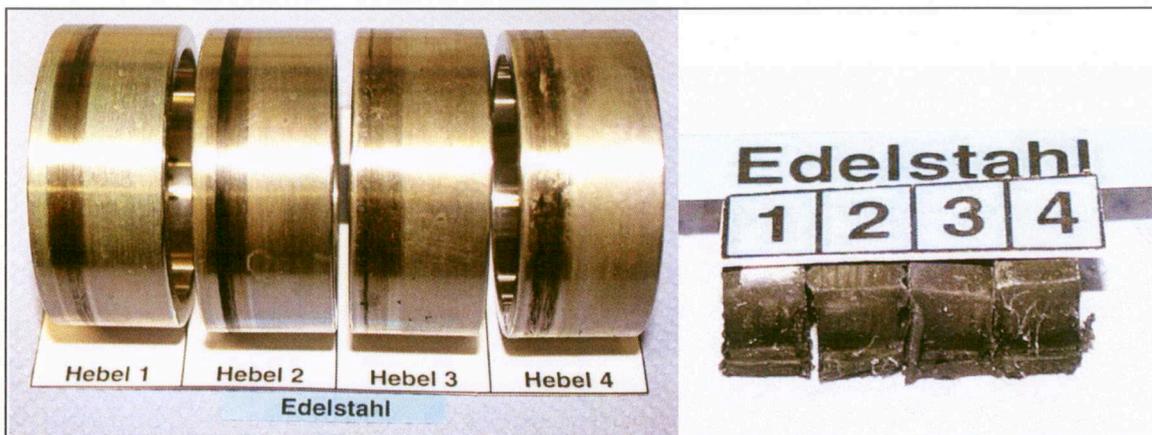


Bild A23: Edelstahl-Ringe und Prüfpins nach 20 h Prüfzeit

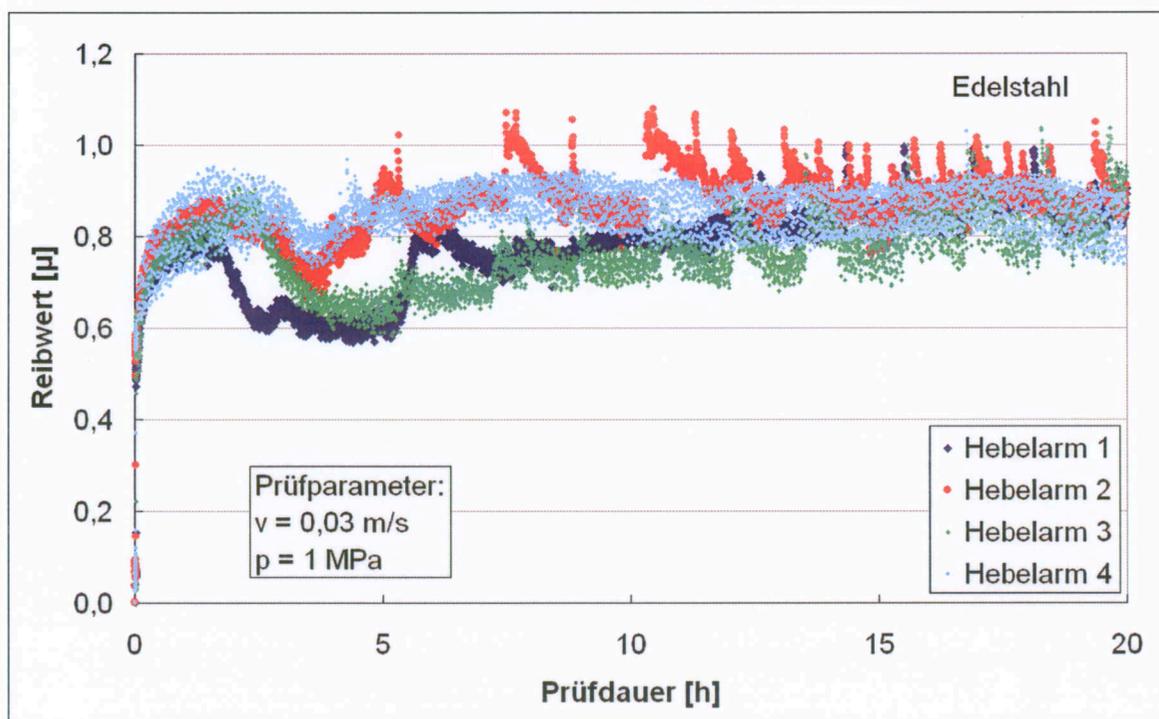
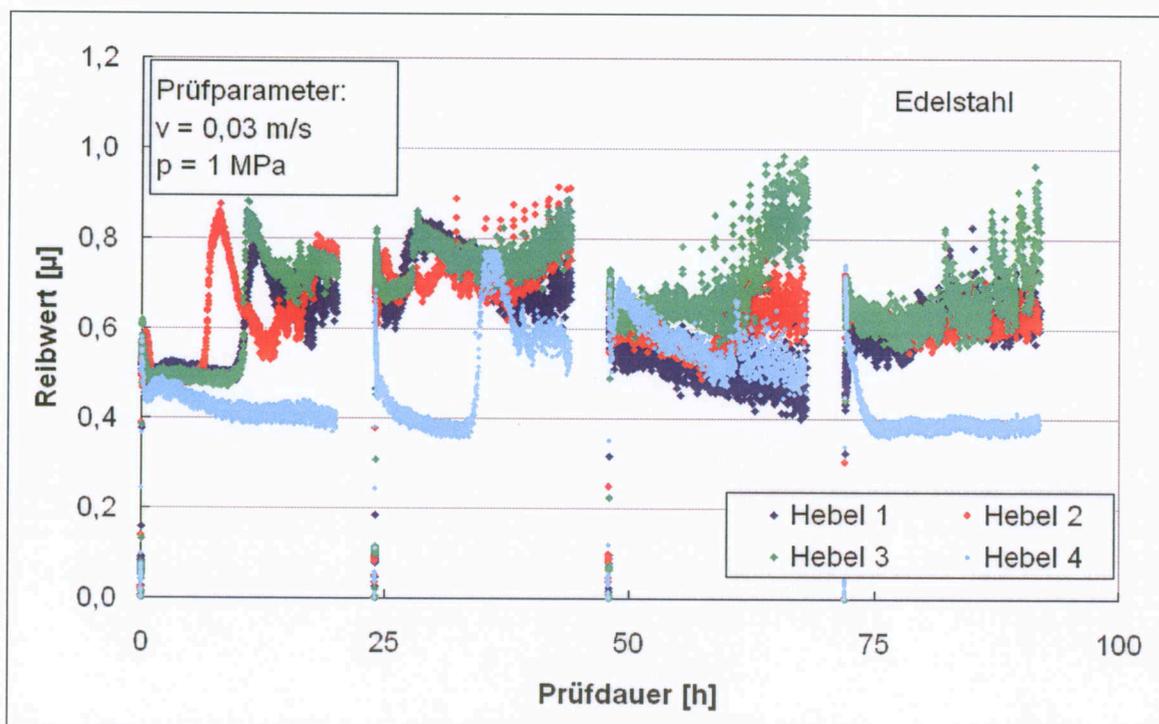


Bild A24: Reibwerte über die Prüfzeit bei Edelstahl

## 1.2 Probendokumentation Langzeitversuche (96 Stunden)



**Bild A25:** Edelstahl-Ringe und Prüfpins nach 96 h Prüfzeit



**Bild A26:** Reibwerte über die Prüfzeit beim Langzeitversuch (96 h) gegen Edelstahl.

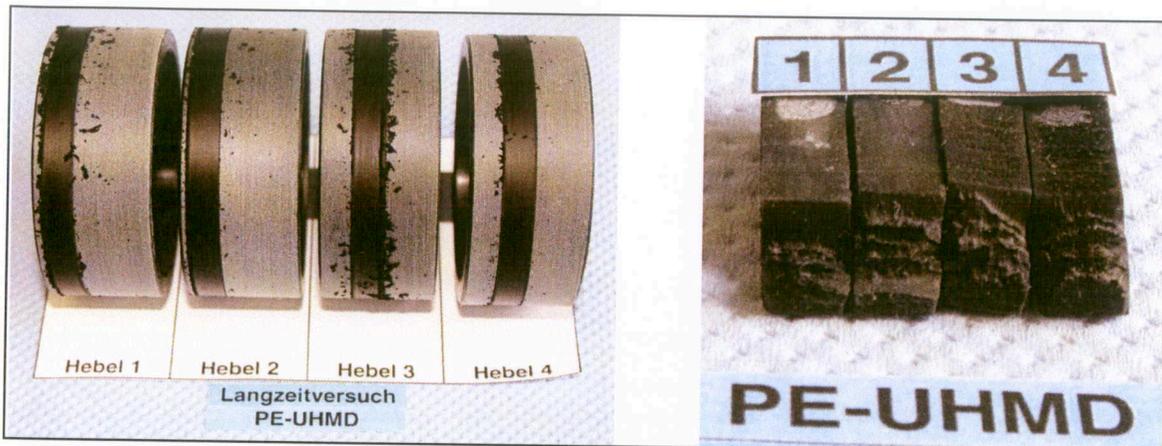


Bild A27: PE UHMW-Ringe und Prüfpins nach 96 h Prüfzeit

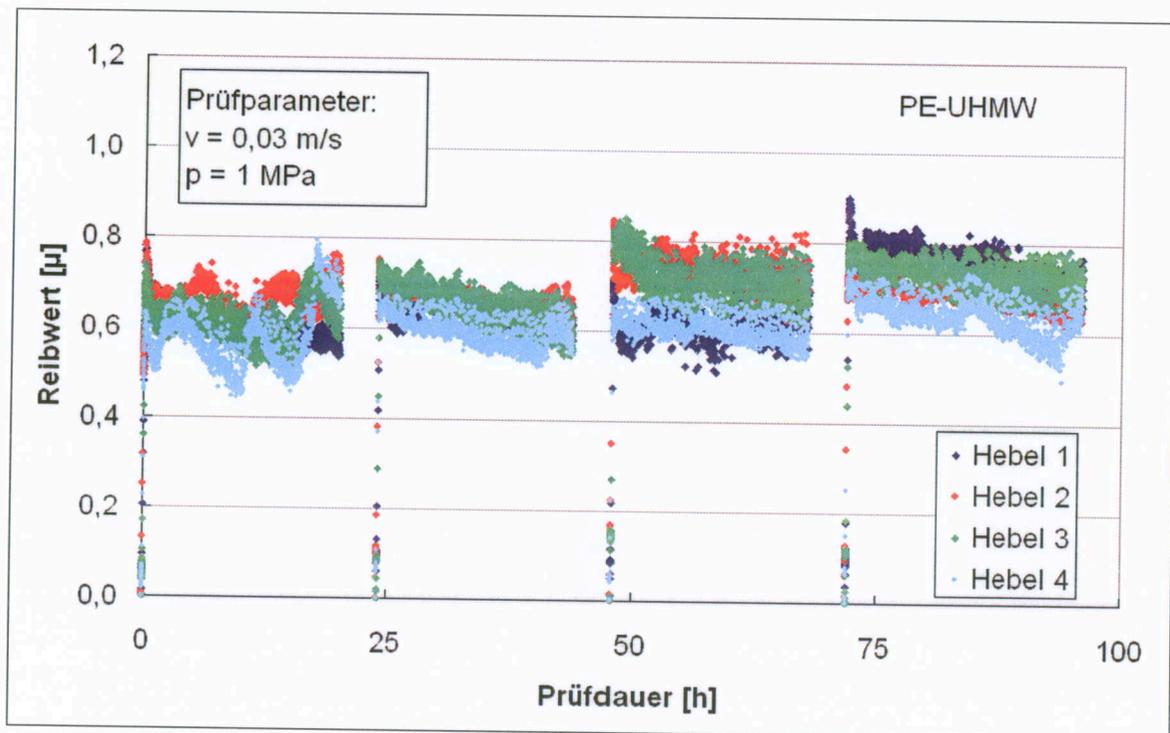


Bild A28: Reibwerte über die Prüfzeit beim Langzeitversuch (96 h) gegen PE-UHMW

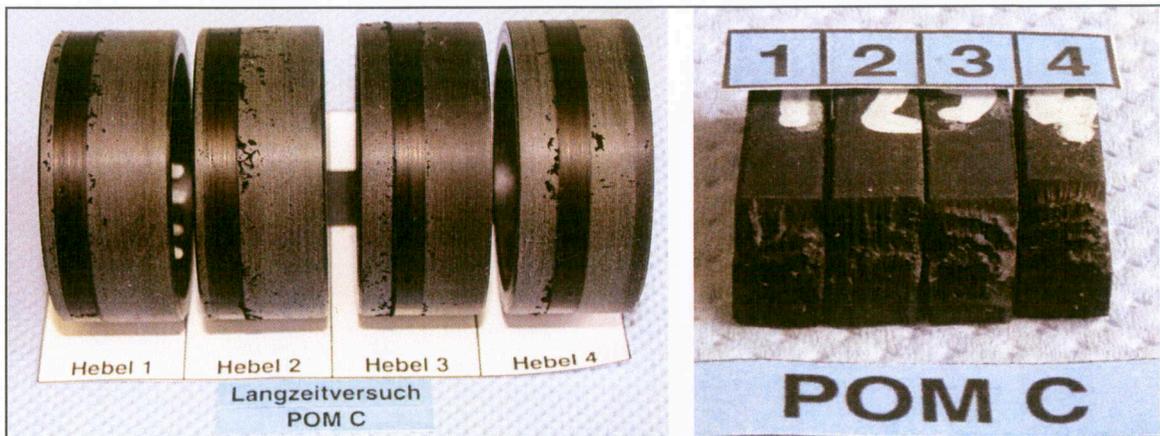


Bild A29: POM C-Ringe und Prüfpins nach 96 h Prüfzeit

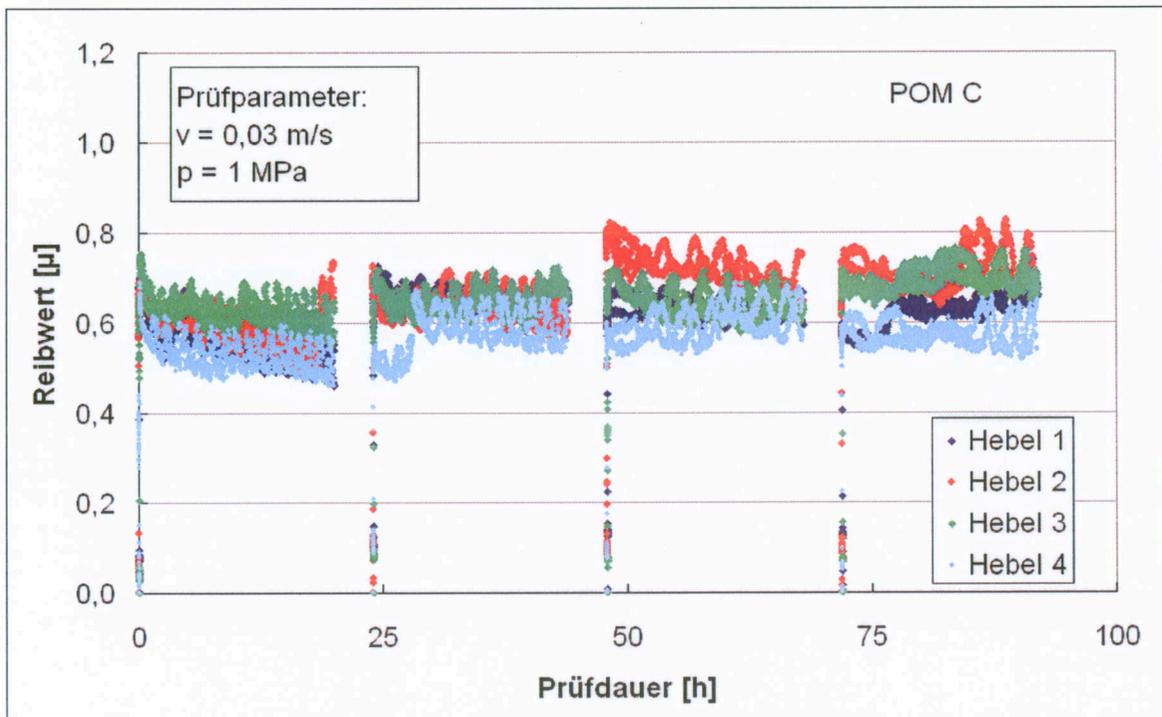
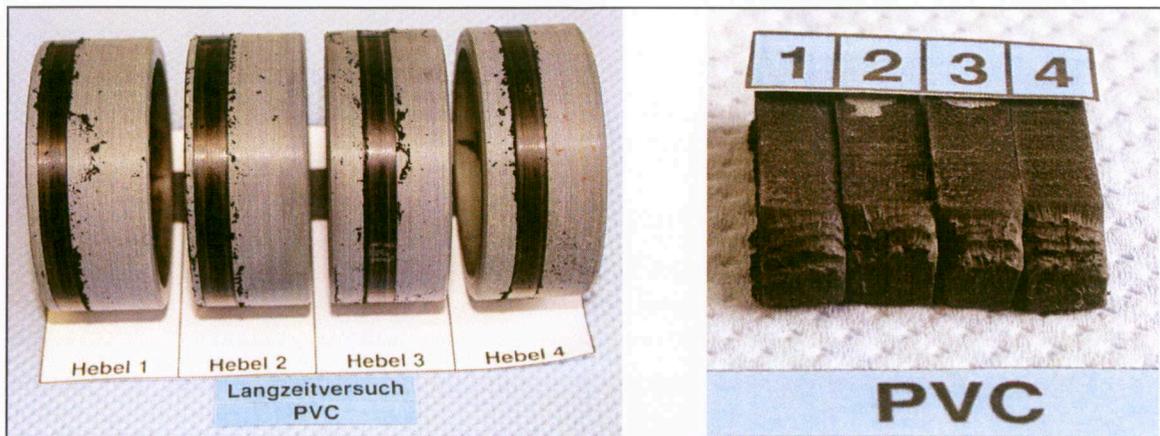
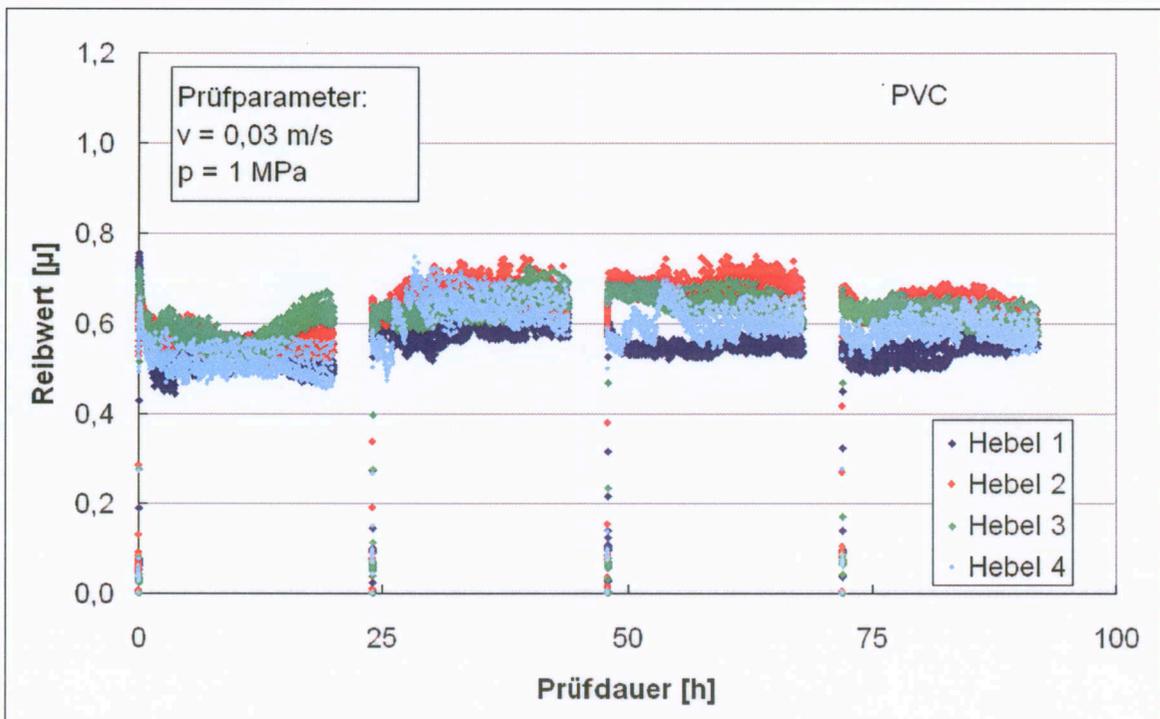


Bild A30: Reibwerte über die Prüfzeit beim Langzeitversuch (96 h) gegen POM C



**Bild A31:** PVC-Ringe und Prüfpins nach 96 h Prüfzeit



**Bild A32:** Reibwerte über die Prüfzeit beim Langzeitversuch (96 h) gegen PVC

### 1.3 Probendokumentation Versuche mit Spurwechsel (3 X 1,5 Stunden)

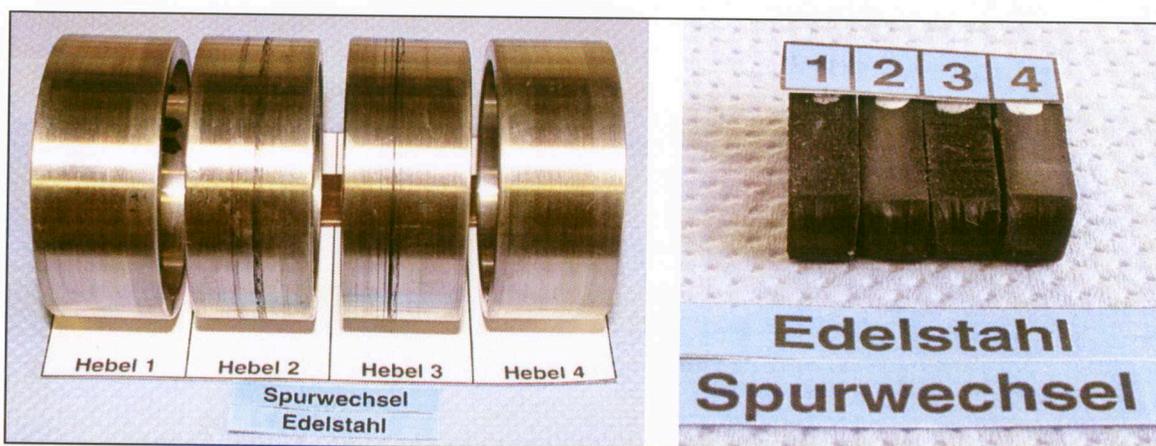


Bild A33: Edelstahl-Ringe und Prüfpins nach 3 x 1,5 h Prüfzeit

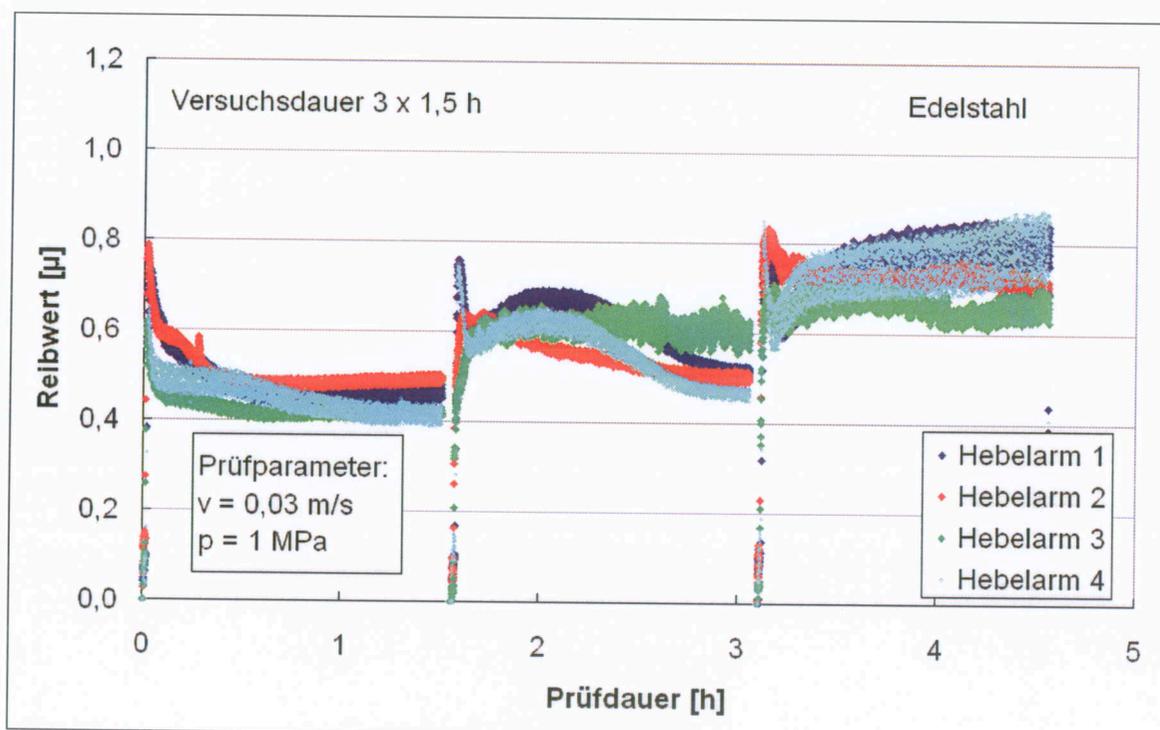


Bild A34: Reibwerte über die Prüfzeit beim Versuch mit Spurwechsel gegen Edelstahl.

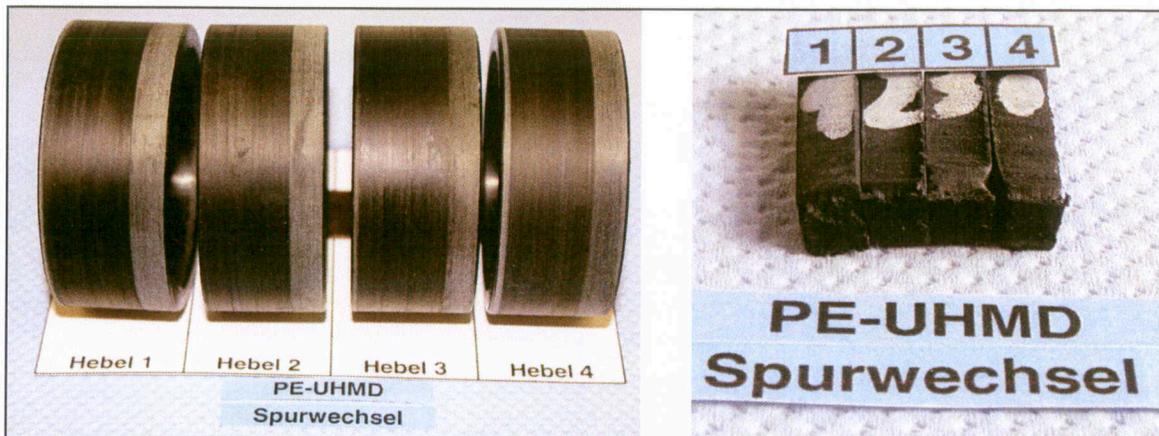


Bild A35: PE UHMW-Ringe und Prüfpins nach 3 x 1,5 h Prüfzeit

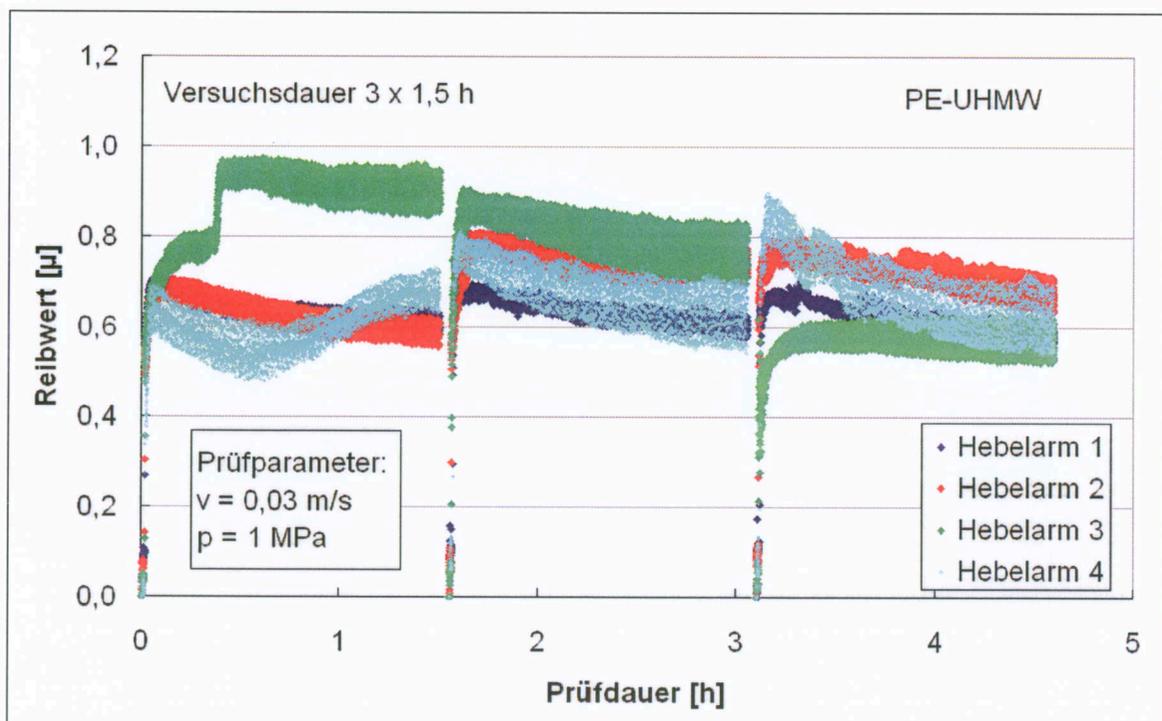


Bild A36: Reibwerte über die Prüfzeit beim Versuch mit Spurwechsel gegen PE-UHMW.

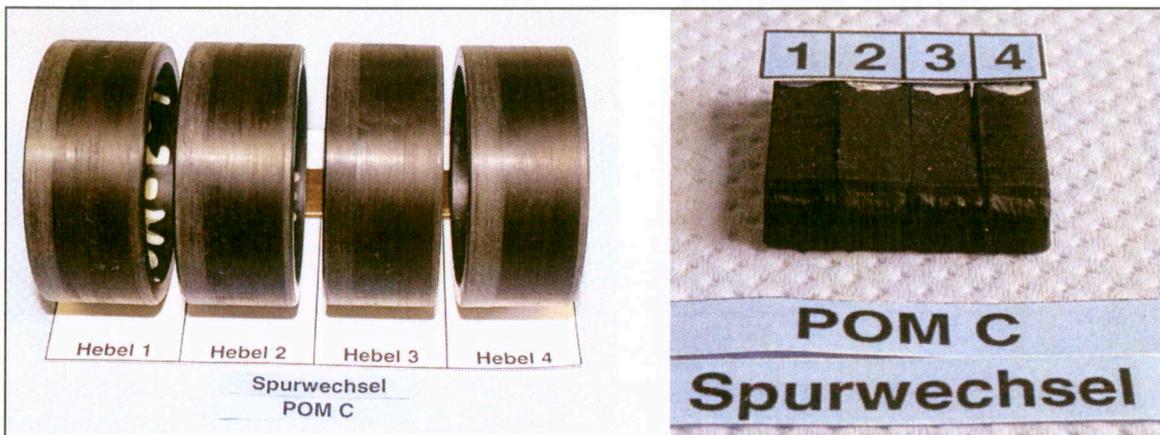


Bild A37: POM C-Ringe und Prüfpins nach 3 x 1,5 h Prüfzeit

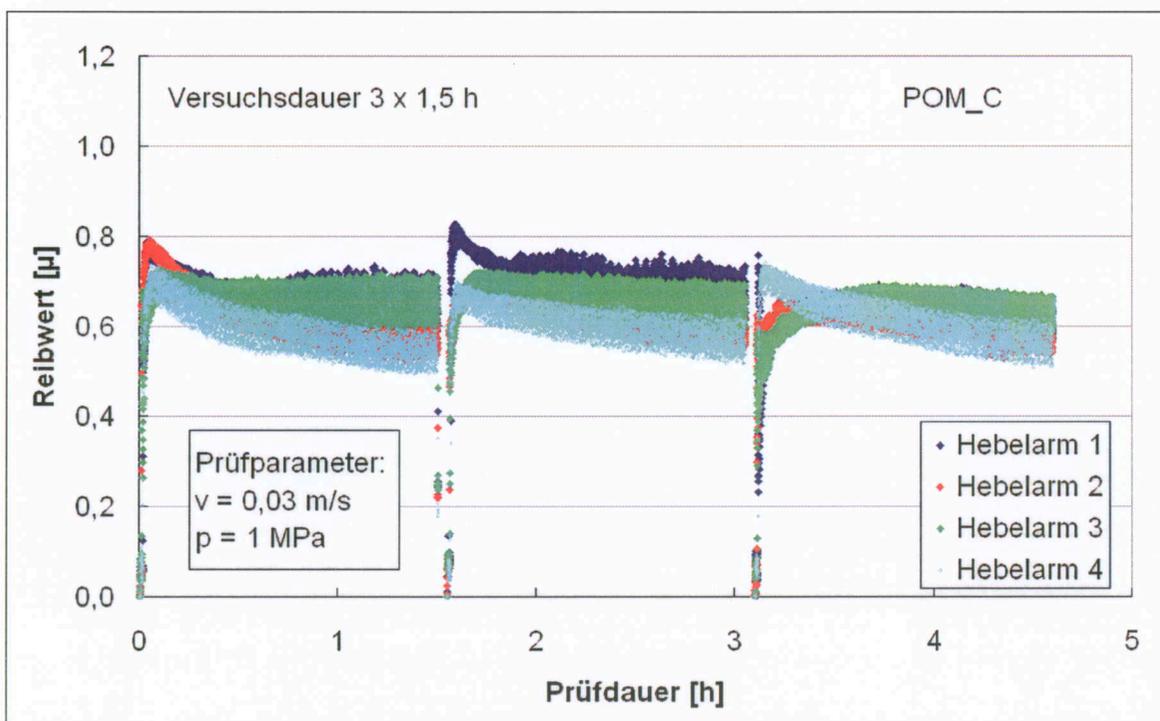


Bild A38: Reibwerte über die Prüfzeit beim Versuch mit Spurwechsel gegen POM C.

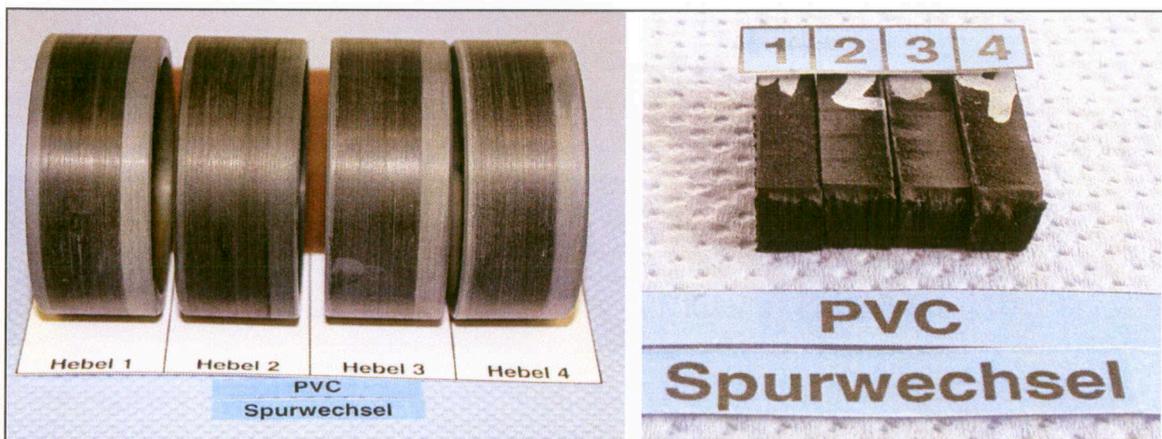


Bild A39: PVC-Ringe und Prüfpins nach 3 x 1,5 h Prüfzeit

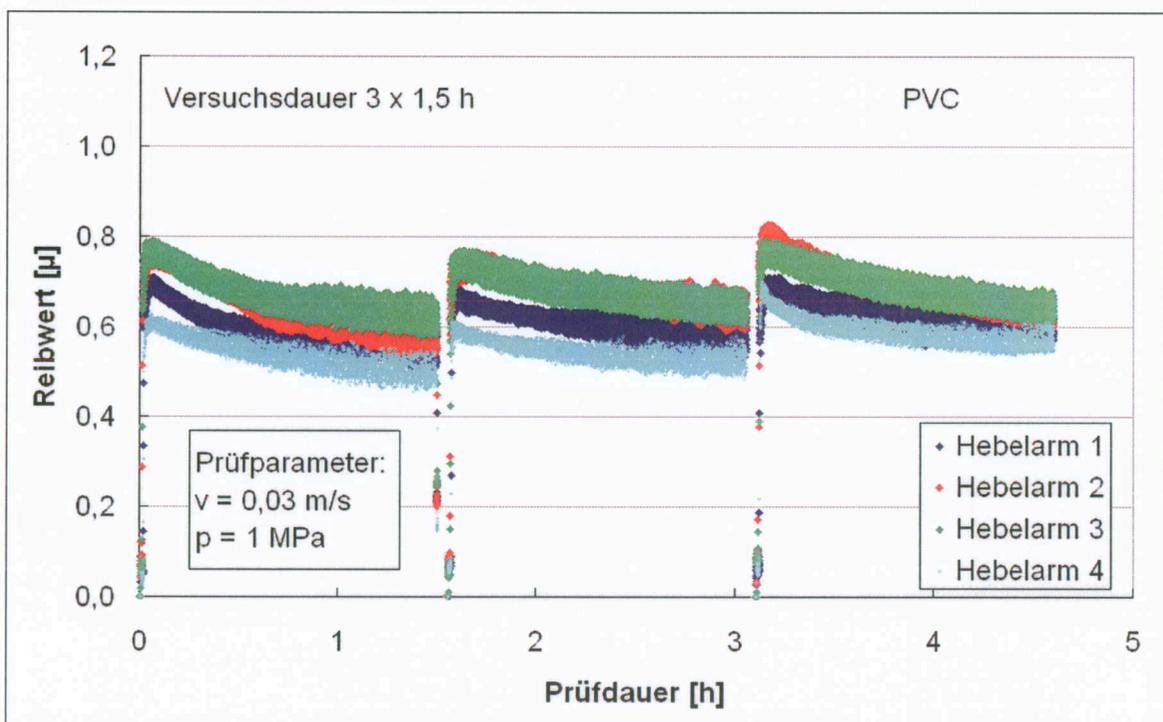


Bild A40: Reibwerte über die Prüfzeit beim Versuch mit Spurwechsel gegen PVC.

#### 1.4 Datenblätter der untersuchten Materialien



**Werkstoffdatenblatt, Stand: Februar 2009**

---

## TECAST TM

Chemische Bezeichnung:	Gusspolyamid 6
DIN-Kurzzeichen:	PA 6 G
Farbe, Zusätze:	schwarz, Molybdädisulfid

---

### Hauptmerkmale

verschleißfest	gut dämpfend
nicht elektrisch isolierend	gute Gleit-/Reibeigenschaften, auch im Trockenlauf
hohe Zähigkeit	hohe Festigkeit
beständig gegen viele Öle und Fette	verbesserte Oberflächenhärte
UV-/witterungsbeständig	sehr gut zerspanbar

---

### Anwendungen

Maschinenbau	Automobilindustrie
Transport- und Fördertechnik	Getriebe-, Kupplungs- und Triebwerksbau
Textilverarbeitung	Verpackungs- und Papiermaschinen
Baumaschinen	Landmaschinen
Druckmaschinen	

---

### Beispiele

Gleitlager, Gleitschienen, Zahnräder, Laufrollen, Abstreifer, Seilrollen, Kettenräder, Dichtungsringe, Kolbenringe

---

## Datenblatt

### Eigenschaften

---

Werkstoffdatenblatt

TECAST TM

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Streckspannung	75	MPa	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	40 / 60*	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	3200	MPa	DIN EN ISO 527
Härte	145		DIN 53 456 (Kugeldruckhärte)
Schlagzähigkeit 23° C	n.b.	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Charpy)

---

Werkstoffdatenblatt

TECAST TM

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Kristallitschmelzpunkt	210	°C	DIN 53 765
Glasübergangstemperatur	40 / 5	°C	DIN 53 765
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	170	°C	
dauernd	100	°C	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23–55° C)	9,5	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

---

## Datenblatt

Werkstoffdatenblatt

TECAST TM

### Elektrisch

trocken /  
feucht

Norm

Werkstoffdatenblatt

TECAST TM

### Sonstige

trocken /  
feucht

Norm

Dichte

1,15

g/cm<sup>3</sup>

DIN 53 479

Feuchtigkeitsaufnahme  
im NK bis zur Sättigung

2,5

%

DIN EN ISO 62

Wasseraufnahme bis zur Sättigung

6

%

DIN 53 495

Brennbarkeit nach UL- Standard 94

HB

Beständigkeit gegen heiss.  
Wasser/Lauge:

(+)

Verhalten bei Freibewitterung

+

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.



## Polystone® M (UHMW-PE)

Polystone® M Selection Guide	Material Description	Standard Color
Virgin Natural	Standard UHMW-PE, FDA/USDA approved	Opaque white
Virgin Colors	Available in standard and custom colors	Assorted
Reprocessed	Economical benefit in non-food applications	Black, Green
XL Crosslinked	Improved wear resistance and reduced thermal expansion	Grey
MPG Glass Filled	Superior wear resistance and dimensional stability	Blue
M-Slide	Dry Lubricants to significantly reduce the coefficient of friction	Dark Grey
Oil Filled	Reduced coefficient of friction, FDA/USDA approved	Grey
U.V. Stabilized	Life can be extended up to 5 times in outdoor applications	Black
Anti-Static	Electrically conductive to reduce static build-up	Black
Rubber Backed	.060" rubber backing allows the use of adhesives	Opaque white
Flame Retardant	MSHA approved for underground mining	White

Other grades and colors available upon request

### POLYSTONE® M (UHMW-PE) Sheet

Standard Dimensions: 48" X 120"

Standard Range: 1/32" - 7"

Non-standard Range: Oversized widths and lengths available

Planed sheets available

### POLYSTONE® M (UHMW-PE) Rod

Standard Dimensions: \*\* - 6 1/2": 5' and 10' lengths. 7"-10" diameter: 1 foot increments

Standard Range: \*\* -10" diameter

Non-standard Range: Ground rod, Special lengths.

### POLYSTONE® M (UHMW-PE) Tube

Standard Dimensions: 120" lengths

Standard Range: 2" - 7 1/8" outer diameter

Non-standard Range: Special lengths

### POLYSTONE® M (UHMW-PE) Wear Strip & Cut-To-Size

Standard Dimensions: Cut from 48" X 120" sheets

Standard Range: 1/32" - 4" thick

Non-standard Range: Close tolerance, welded lengths

### POLYSTONE® M (UHMW-PE) Thick Cut Blocks

Standard Dimensions: 48" X 120", 40" x 80" sheets

Standard Range: 5", 6" and 7" thick

### POLYSTONE® M (UHMW-PE) Profiles

Standard Dimensions: Various shapes and designs

Standard Range: Call for availability

Non-standard Range: Custom profiles quoted on request



## UHMW - Polyethylene



### Polystone® M (UHMW-PE)

A tough, wear resistant formulation that combines a very low coefficient of friction with broad temperature and chemical resistance. This self-lubricating polymer has been engineered to achieve an extremely high impact strength so that it will not break or shatter.

**Available in:** SHEET, ROD, TUBE, WEAR STRIPS & CUT TO SIZE, THICK CUT BLOCKS, PROFILES

**Applications:**

Liners, Wear Strips, Chain Guides, Bearings, Gears, Bushings, Valve Seats, Rollers, Sprockets, Pulleys, Suction Box Covers, Star Wheels.

Polystone® M						
Physical Properties			Polystone® M (UHMW-PE)			
Property	Units Test	ASTM	Natural	XL Cross linked	MPG Glass filled	Reprocessed
Density	gm/cm <sup>3</sup>	D792	.930	.932	.96	.935
Tensile strength @ yield 73°F	psi	D638	3100	2900	2700	3000
Elongation 73°F	%	D638	350	330	265	290
*Relative volumetric abrasion loss	*	*	100	85	75	90
Coefficient of friction 73°F on steel	–	–	Static .15-.20 Dynamic.10-.20	.15-.20 .08-.18	.15-.20 .10-.20	.17-.20 .10-.20
IZOD impact strength 73°F	KJ/m <sup>2</sup>	D4020-96	125	120	110	96
Hardness 73°F	–	D785	ShoreD 62-66	D 62-66	D 63-67	D 63-69
Melting point	°F	D789	275°-280°	275°-280°	275°-280°	275°-280°
Coefficient of linear thermal expansion	1/K	D696	2.0 x 10 <sup>-4</sup>	1.0 x 10 <sup>-4</sup>	1.0 x 10 <sup>-4</sup>	1.9 x 10 <sup>-4</sup>
Continuous service temperature in air (max)	°F	–	180	180	180	180
Volume resistivity	Ohm/cm	D257	>1015	>1015	>1015	>1015
Dielectric constant (10 <sup>7</sup> Hz)	–	D150	2.3	2.3	2.3	–
Dielectric strength	KV/mm	D149	900	900	900	900

\* Industry standard testing method using slurry of 60% aluminum oxide and 40% water at a rotation speed of 1750 rpm for 2 hours. Results indicate the ability of each material, in relation to Natural(=100), to resist abrasion under typical UHMW-PE applications.  
A lower number indicates better abrasion resistance.

## Polyvinylchlorid (PVC-U)

	spezielle Eigenschaften
	chemische Beständigkeit
	Beschreibungstext
	data sheet in english

Wir verarbeiten diesen Werkstoff in den Verfahren:

Werkstoffnummer		2690	
Dichte	ISO 1183	1,38	g/cm <sup>3</sup>

### Mechanische Eigenschaften

Streckspannung	ISO 527	58	MPa
Reißdehnung	ISO 527	15	%
Zug-E-Modul	ISO 527	3000	MPa
Kugeldruckhärte	ISO 2039-1	130	MPa
Norm für Kugeldruckhärte		H358/30	
Izod-Kerbschlagzähigkeit bei 23 °C	ISO 180/1A	5,0	KJ/m <sup>2</sup>

### Elektrische Eigenschaften

Dielektrizitätszahl bei 50 Hz	IEC 60250	3,5	-
Dielektrizitätszahl bei 1 MHz	IEC 60250	3,0	-
Dielektrischer Verlustfaktor bei 50 Hz	IEC 60250	120	1E-4
Dielektrischer Verlustfaktor bei 1 MHz	IEC 60250	300	1E-4
Durchschlagfestigkeit	IEC 60243-1	40	KV/mm
Dicke für Durchschlagfestigkeit		0,6	mm
Spezifischer Durchgangswiderstand	IEC 60093	10 <sup>13</sup>	Ohm · m
Oberflächenwiderstand	IEC 60093	10 <sup>13</sup>	Ohm
Kriechstromfestigkeit CTI	IEC 60112	600	-

### Thermische Eigenschaften

Wärmeleitfähigkeit	DIN 52 612	0,15	W/K m
Längenausdehnung längs quer zur Fließrichtung	ISO 11359	80	10 <sup>-6</sup> /K
Schmelz- bzw. Glasübergangstemperatur	ISO 11357	80	°C
Wärmeformbeständigkeit A	ISO 75 HDT/A (1,8 MPa)	61	°C
Wärmeformbeständigkeit B	ISO 75 HDT/B (0,45 MPa)	69	°C
max. Temperatur kurzzeitig		70	°C
max. Temperatur dauernd		60	°C
min. Anwendungstemperatur		-30	°C

# Polyvinylchlorid (PVC-U)

## Spezielle Eigenschaften

Zug-Kriechmodul (0,5% 1000h)	ISO 899-1	2000	MPa
Biegefestigkeit	ISO 178	85	MPa
Biegewechselfestigkeit (1E7 Lastwechsel)	ASTM D671	13	MPa
Izod-Schlagzähigkeit bei 23 °C	ISO 180/1C	80	KJ/m <sup>2</sup>
Izod-Kerbschlagzähigkeit bei 23 °C	ISO 180/4A	40	J/m
Gleitkoeffizient gegen Stahl im Trockenlauf		0,6	-
Gleitverschleiß relativ zur Flächenpressung		112	(µm/km)/MPa
Spezifische Wärmekapazität	IEC 1006	0,85	J/g K
Sauerstoffindex LOI	ISO 4589	47	%

## Chemische Beständigkeiten

mineralische Schmierstoffe	+ beständig
aliphatische Kohlenwasserstoffe	+ beständig
aromatische Kohlenwasserstoffe	- unbeständig
Benzin	- unbeständig
schwache Mineralsäuren	+ beständig
starke Mineralsäuren	+ beständig
schwache organische Säuren	+ beständig
starke organische Säuren	+ beständig
oxidierende Säuren	⊕ bedingt beständig
schwache Laugen	+ beständig
starke Laugen	+ beständig
Trichlorethylen	- unbeständig
Perchlorethylen	- unbeständig
Aceton	- unbeständig
Alkohole	⊕ bedingt beständig
heißes Wasser (Hydrolysebeständigkeit)	- unbeständig
UV-Licht und Witterung	⊕ bedingt beständig

## Sonstige Eigenschaften

Wasseraufnahme bei Wasserlagerung	ISO 62	1,6	%
Brennverhalten nach UL 94	IEC 60695-11-10	V-0	-
Transparenz (opak/transluzent/klarsichtig)		opak	

Dieses Datenblatt ist ein Ausdruck der Werkstoffdatenbank RIWETA 4.1 und nur für Ihren persönlichen Gebrauch bestimmt.

In diesem Datenausdruck sind Richtwerte angegeben. Diese Werte sind beeinflussbar durch Verarbeitungsbedingungen, Modifikationen, Werkstoffzusätze und Umgebungseinflüsse und befreien den Anwender nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Sie sind aufgrund der gegenwärtigen Erfahrungen und Kenntnisse zusammengestellt. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder der Eignung für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden.

Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Empfänger unserer Produkte in eigener Verantwortung zu beachten.

Kern GmbH  
 Technische Kunststoffteile  
 Clemens-Kern-Straße 1  
 D-56276 Großmaischeid

## TECAFLON PVDF

Chemische Bezeichnung:	Polyvinylidenfluorid
DIN-Kurzzeichen:	PVDF
Farbe, Zusätze:	opak

---

### Hauptmerkmale

sehr gute Chemikalienbeständigkeit	sehr gute elektrische Isolation
inhärent flammwidrig (UL94 V-0)	sehr gute Gleit-/Reibeigenschaften
Dauergebrauchstemperatur bis 150°C	sehr gute UV-Resistenz
sehr gut schweißbar	gutes Rückstellvermögen

---

### Anwendungen

Chemieanlagenbau	Maschinenbau
Transport- und Fördertechnik	Pumpen- und Armaturenbau
Elektrotechnik	Solaranlagen
Elektronik	Lebensmitteltechnik
Medizintechnik	

---

### Beispiele

Pumpengehäuse, Filterplatten, Ventilgehäuse, Stecker, Behälterauskleidungen, Isolatoren, Flansche, Walzen, Gleitteile, Rühr- und Knetelemente, Dichtungen, Rohrleitungen

---

## Eigenschaften

Mechanisch	trocken / feucht		Norm
Streckspannung	50	MPa	DIN EN ISO 527
Streckdehnung		%	
Reißfestigkeit		MPa	
Reißdehnung	> 30	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	2000	MPa	DIN EN ISO 527
Biege-E-Modul	2000	MPa	DIN EN ISO 178
Härte	80		DIN 53 456 (Kugeldruckhärte)
Schlagzähigkeit 23° C	n.b.	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Charpy)
Zeitstandfestigkeit nach 1000 h bei stat. Belastung	34	MPa	
Zeitdehnspannung für 1% Dehnung nach 1000 h	3	MPa	
Gleitreibungskoeffizient p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,3		
Gleitreibungsverschleiß p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen		µm/km	

Thermisch	trocken / feucht		Norm
Kristallitschmelzpunkt		°C	
Glasübergangstemperatur	-41 - -37	°C	DIN 53 765
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren A	95	°C	ISO-R 75 Verfahren A (DIN 53 461)
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren B	140	°C	ISO-R 75 Verfahren B (DIN 53 461)
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	150	°C	
dauernd	150	°C	
Wärmeleitzahl (23° C)	0,11	W/(K·m)	
Spez. Wärmekapazität (23° C)	1,2	J/g·K	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23-55° C)	13	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

## Eigenschaften

---

Elektrisch	trocken / feucht		Norm
Dielektrizitätszahl ( $10^6$ Hz)	8		DIN 53 483, IEC-250
Dielekt. Verlustfaktor ( $10^6$ Hz)	0,06		DIN 53 483, IEC-250
Spezifischer Durchgangswiderstand	$10^{14}$	$\Omega \cdot \text{cm}$	DIN IEC 60093
Oberflächenwiderstand	$10^{13}$	$\Omega$	DIN IEC 60093
Durchschlagsfestigkeit	10–60	kV/mm	DIN 53 481, IEC-243, VDE 0303 Teil 2
Kriechstromfestigkeit	KA 1		DIN 53 480, VDE 0303 Teil 1

---

Sonstige	trocken / feucht		Norm
Dichte	1,78	$\text{g/cm}^3$	DIN 53 479
Feuchtigkeitsaufnahme im NK bis zur Sättigung	< 0,05	%	DIN EN ISO 62
Wasseraufnahme bis zur Sättigung		%	DIN EN ISO 62
Brennbarkeit nach UL- Standard 94	V0		

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.

---

# Polyvinylchlorid (PVC-U)

## Spezielle Eigenschaften

Zug-Kriechmodul (0,5% 1000h)	ISO 899-1	2000	MPa
Biegefestigkeit	ISO 178	85	MPa
Biegewechselfestigkeit (1E7 Lastwechsel)	ASTM D671	13	MPa
Izod-Schlagzähigkeit bei 23 °C	ISO 180/1C	80	KJ/m <sup>2</sup>
Izod-Kerbschlagzähigkeit bei 23 °C	ISO 180/4A	40	J/m
Gleitkoeffizient gegen Stahl im Trockenlauf		0,6	-
Gleitverschleiß relativ zur Flächenpressung		112	(µm/km)/MPa
Spezifische Wärmekapazität	IEC 1006	0,85	J/g K
Sauerstoffindex LOI	ISO 4589	47	%

## Chemische Beständigkeiten

mineralische Schmierstoffe	+ beständig
aliphatische Kohlenwasserstoffe	+ beständig
aromatische Kohlenwasserstoffe	- unbeständig
Benzin	- unbeständig
schwache Mineralsäuren	+ beständig
starke Mineralsäuren	+ beständig
schwache organische Säuren	+ beständig
starke organische Säuren	+ beständig
oxidierende Säuren	⊕ bedingt beständig
schwache Laugen	+ beständig
starke Laugen	+ beständig
Trichlorethylen	- unbeständig
Perchlorethylen	- unbeständig
Aceton	- unbeständig
Alkohole	⊕ bedingt beständig
heißes Wasser (Hydrolysebeständigkeit)	- unbeständig
UV-Licht und Witterung	⊕ bedingt beständig

## Sonstige Eigenschaften

Wasseraufnahme bei Wasserlagerung	ISO 62	1,6	%
Brennverhalten nach UL 94	IEC 60695-11-10	V-0	-
Transparenz (opak/transluzent/klarsichtig)		opak	

Dieses Datenblatt ist ein Ausdruck der Werkstoffdatenbank RIWETA 4.1 und nur für Ihren persönlichen Gebrauch bestimmt.

In diesem Datenausdruck sind Richtwerte angegeben. Diese Werte sind beeinflussbar durch Verarbeitungsbedingungen, Modifikationen, Werkstoffzusätze und Umgebungseinflüsse und befreien den Anwender nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Sie sind aufgrund der gegenwärtigen Erfahrungen und Kenntnisse zusammengestellt. Eine rechtlich verbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften oder der Eignung für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden.

Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Empfänger unserer Produkte in eigener Verantwortung zu beachten.

Kern GmbH  
 Technische Kunststoffteile  
 Clemens-Kern-Straße 1  
 D-56276 Großmaischeid

## TECAFLON PVDF

Chemische Bezeichnung:	Polyvinylidenfluorid
DIN-Kurzzeichen:	PVDF
Farbe, Zusätze:	opak

---

### Hauptmerkmale

sehr gute Chemikalienbeständigkeit	sehr gute elektrische Isolation
inhärent flammwidrig (UL94 V-0)	sehr gute Gleit-/Reibeigenschaften
Dauergebrauchstemperatur bis 150°C	sehr gute UV-Resistenz
sehr gut schweißbar	gutes Rückstellvermögen

---

### Anwendungen

Chemieanlagenbau	Maschinenbau
Transport- und Fördertechnik	Pumpen- und Armaturenbau
Elektrotechnik	Solaranlagen
Elektronik	Lebensmitteltechnik
Medizintechnik	

---

### Beispiele

Pumpengehäuse, Filterplatten, Ventilgehäuse, Stecker, Behälterauskleidungen, Isolatoren, Flansche, Walzen, Gleitteile, Rühr- und Knetelemente, Dichtungen, Rohrleitungen

---

## Eigenschaften

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Streckspannung	50	MPa	DIN EN ISO 527
Streckdehnung		%	
Reißfestigkeit		MPa	
Reißdehnung	> 30	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	2000	MPa	DIN EN ISO 527
Biege-E-Modul	2000	MPa	DIN EN ISO 178
Härte	80		DIN 53 456 (Kugeldruckhärte)
Schlagzähigkeit 23° C	n.b.	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Charpy)
Zeitstandfestigkeit nach 1000 h bei stat. Belastung	34	MPa	
Zeitdehnspannung für 1% Dehnung nach 1000 h	3	MPa	
Gleitreibungskoeffizient p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,3		
Gleitreibungsverschleiß p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen		µm/km	

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Kristallitschmelzpunkt		°C	
Glasübergangstemperatur	-41 – -37	°C	DIN 53 765
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren A	95	°C	ISO-R 75 Verfahren A (DIN 53 461)
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren B	140	°C	ISO-R 75 Verfahren B (DIN 53 461)
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	150	°C	
dauernd	150	°C	
Wärmeleitzahl (23° C)	0,11	W/(K·m)	
Spez. Wärmekapazität (23° C)	1,2	J/g·K	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23–55° C)	13	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

## Eigenschaften

---

Elektrisch	trocken / feucht		Norm
Dielektrizitätszahl ( $10^6$ Hz)	8		DIN 53 483, IEC-250
Dielekt. Verlustfaktor ( $10^6$ Hz)	0,06		DIN 53 483, IEC-250
Spezifischer Durchgangswiderstand	$10^{14}$	$\Omega \cdot \text{cm}$	DIN IEC 60093
Oberflächenwiderstand	$10^{13}$	$\Omega$	DIN IEC 60093
Durchschlagsfestigkeit	10–60	kV/mm	DIN 53 481, IEC-243, VDE 0303 Teil 2
Kriechstromfestigkeit	KA 1		DIN 53 480, VDE 0303 Teil 1

---

Sonstige	trocken / feucht		Norm
Dichte	1,78	$\text{g/cm}^3$	DIN 53 479
Feuchtigkeitsaufnahme im NK bis zur Sättigung	< 0,05	%	DIN EN ISO 62
Wasseraufnahme bis zur Sättigung		%	DIN EN ISO 62
Brennbarkeit nach UL- Standard 94	V0		

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.

---



Werkstoffdatenblatt, Stand: Februar 2009

---

## TECAFORM AH natur

Chemische Bezeichnung:	Polyoxymethylen (Copolymer)
DIN-Kurzzeichen:	POM-C
Farbe, Zusätze:	opak

---

### Hauptmerkmale

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| gute Festigkeit                  | steif                                    |
| zäh                              | gute Gleit-/Reibeigenschaften            |
| beständig gegen Reinigungsmittel | beständig gegen zahlreiche Lösungsmittel |
| sehr gut elektrisch isolierend   | nur schwer verklebbar                    |
| gut zerspanbar                   | gut polierbar                            |
- 

### Anwendungen

- |                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| Maschinenbau                 | Automobilindustrie |
| Transport- und Fördertechnik | Elektrotechnik     |
| Feinwerktechnik              | Haushaltsgeräte    |
| Lebensmitteltechnik          | Medizintechnik     |
- 

### Beispiele

Gleitlager, Gleitleisten, Zahnräder, Stecker, Werkstückträger, Isolatoren, Gehäuseteile, Rühr- und Knetelemente, Walzen, Dichtungen

---

## Datenblatt

### Eigenschaften

Werkstoffdatenblatt

TECAFORM AH natur

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Streckspannung	62	MPa	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	30	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	2700	MPa	DIN EN ISO 527
Härte	145		DIN 53 456 (Kugeldruckhärte)
Schlagzähigkeit 23° C	n.b.	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Charpy)
Zeitstandfestigkeit nach 1000 h bei stat. Belastung	40	MPa	
Zeitdehnspannung für 1% Dehnung nach 1000 h	13	MPa	
Gleitreibungskoeffizient p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,32		
Gleitreibungsverschleiß p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	8,9	µm/km	

Werkstoffdatenblatt

TECAFORM AH natur

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Glasübergangstemperatur	-60	°C	DIN 53 765
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren A	110	°C	ISO-R 75 Verfahren A (DIN 53 461)
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren B	160	°C	ISO-R 75 Verfahren B (DIN 53 461)
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	140	°C	
dauernd	100	°C	
Wärmeleitzahl (23° C)	0,31	W/(K·m)	
Spez. Wärmekapazität (23° C)	1,5	J/g·K	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23-55° C)	10	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

## Datenblatt

Werkstoffdatenblatt

TECAFORM AH natur

Elektrisch	trocken / feucht		Norm
Dielektrizitätszahl ( $10^6$ Hz)	3,5		DIN 53 483, IEC-250
Dielekt. Verlustfaktor ( $10^6$ Hz)	0,003		DIN 53 483, IEC-250
Spezifischer Durchgangswiderstand	$10^{14}$	$\Omega \cdot \text{cm}$	DIN IEC 60093
Oberflächenwiderstand	$10^{14}$	$\Omega$	DIN IEC 60093
Durchschlagsfestigkeit	>50	kV/mm	DIN 53 481, IEC-243, VDE 0303 Teil 2
Kriechstromfestigkeit	KA 3c		DIN 53 480, VDE 0303 Teil 1

Werkstoffdatenblatt

TECAFORM AH natur

Sonstige	trocken / feucht		Norm
Dichte	1,41	$\text{g/cm}^3$	DIN 53 479
Feuchtigkeitsaufnahme im NK bis zur Sättigung		%	DIN EN ISO 62
Wasseraufnahme bis zur Sättigung	0,5	%	DIN EN ISO 62
Brennbarkeit nach UL- Standard 94	HB		
Beständigkeit gegen heiss. Wasser/Lauge:	(+)		
Verhalten bei Freibewitterung	-		

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.



Werkstoffdatenblatt, Stand: Februar 2009

---

## TECAGLIDE grün

Chemische Bezeichnung:

Polyamid 6

DIN-Kurzzeichen:

PA 6 G

Farbe, Zusätze:

grün, Festschmierstoff

---

### Hauptmerkmale

- | gute Gleit-/Reibeigenschaften, auch im Trockenlauf
  - | beständig gegen viele Öle, Fette und Kraftstoffe
  - | hoch thermisch belastbar
  - | gut zerspanbar
  - | verschleißfest
  - | zäh
  - | elektrisch isolierend
- 

### Anwendungen

- | Maschinenbau
  - | Verpackungs- und Papiermaschinen
  - | Bergbau
  - | Transport- und Fördertechnik
  - | Antriebstechnik
  - | Textilverarbeitung
- 

### Beispiele

Zahnräder, Gleitlager, Gleitleisten, Förderschnecken, Buchsen, Spindelmuttern, Nockenscheiben, Seilrollen, Laufrollen

---

## Datenblatt

### Eigenschaften

---

Werkstoffdatenblatt

TECAGLIDE grün

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Reißfestigkeit	84 / 64	MPa	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	40	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	3400	MPa	DIN EN ISO 527
Biege-E-Modul	3010	MPa	DIN EN ISO 178
Härte	80–85		ISO 868 (Shore Härte D)
Schlagzähigkeit 23° C	7,3	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Kerbschlagzähigkeit Charpy)
Gleitreibungskoeffizient p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,12		
Gleitreibungsverschleiß p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	< 0,1	µm/km	

---

Werkstoffdatenblatt

TECAGLIDE grün

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Kristallitschmelzpunkt	> 216	°C	DIN 53 765
Glasübergangstemperatur	40 / 5	°C	DIN 53 736
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	150	°C	
dauernd	100	°C	
Wärmeleitfähigkeit (23° C)	0,24	W/(K·m)	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23–55° C)	9	10 <sup>-5</sup> 1/K	

---

## Datenblatt

Werkstoffdatenblatt

TECAGLIDE grün

<b>Elektrisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Dielekt. Verlustfaktor ( $10^6$ Hz)	3,7		DIN 53 483, IEC-250
Spezifischer Durchgangswiderstand	$5 \cdot 10^{14}$ / $5 \cdot 10^{12}$	$\Omega \cdot \text{cm}$	DIN IEC 60093

Werkstoffdatenblatt

TECAGLIDE grün

<b>Sonstige</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Dichte	1,13	$\text{g/cm}^3$	DIN 53 479
Wasseraufnahme bis zur Sättigung	6	%	DIN EN ISO 62
Beständigkeit gegen heiss. Wasser/Lauge:	(+)		
Verhalten bei Freibewitterung	-		

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.



Werkstoffdatenblatt, Stand: Februar 2009

---

## TECAM 6 MO

Chemische Bezeichnung:

Polyamid 6

DIN-Kurzzeichen:

PA 6

Farbe, Zusätze:

schwarz, Molibdädisulfid

---

### Hauptmerkmale

- | gute Gleit-/Reibeigenschaften, auch im Trockenlauf
  - | UV/witterungsbeständig
  - | hohe Zähigkeit
  - | gut zerspanbar
  - | sehr verschleißfest
  - | beständig gegen viele Öle, Fette und Kraftstoffe
  - | nicht elektrisch isolierend
  - | verbesserte Oberflächenhärte
- 

### Anwendungen

- | Maschinenbau
  - | Transport- und Fördertechnik
  - | Textilverarbeitung
  - | Druckmaschinen
  - | Elektrowerkzeuge
  - | Automobilindustrie
  - | Getriebe-, Kupplungs- und Triebwerksbau
  - | Verpackungs- und Papiermaschinen
  - | Feinwerktechnik
  - | Landmaschinen
- 

### Beispiele

diverse Maschinenteile, Gleitlager, Gleitleisten, Zahnräder, Laufrollen, Abstreifer, Seilrollen, Kettenräder, Prell- und Schlagdämpfer

---

## Datenblatt

### Eigenschaften

Werkstoffdatenblatt

TECAM 6 MO

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Streckspannung	75	MPa	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	> 25	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	2700	MPa	
Härte	107 / 85		ISO 2039/1 (Kugeldruck-Härte, 358N)
Schlagzähigkeit 23° C	n.b.	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Charpy)
Zeitdehnspannung für 1% Dehnung nach 1000 h	5	MPa	
Gleitreibungskoeffizient p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,32–0,37		
Gleitreibungsverschleiß p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,16	µm/km	

Werkstoffdatenblatt

TECAM 6 MO

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Glasübergangstemperatur	40	°C	DIN 53 765
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren A	100	°C	ISO-R 75 Verfahren A (DIN 53 461)
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren B	195	°C	ISO-R 75 Verfahren B (DIN 53 461)
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	160	°C	
dauernd	100	°C	
Wärmeleitzahl (23° C)	0,23	W/(K·m)	
Spez. Wärmekapazität (23° C)	1,7	J/g.K	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23–55° C)	18	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

## Datenblatt

Werkstoffdatenblatt

TECAM 6 MO

<b>Elektrisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Spezifischer Durchgangswiderstand	$6 \cdot 10^{13}$	$\Omega \cdot \text{cm}$	DIN IEC 60093
Oberflächenwiderstand	$3 \cdot 10^{13}$	$\Omega$	DIN IEC 60093

Werkstoffdatenblatt

TECAM 6 MO

<b>Sonstige</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Dichte	1,14	$\text{g/cm}^3$	DIN 53 479
Feuchtigkeitsaufnahme im NK bis zur Sättigung	3	%	DIN EN ISO 62
Wasseraufnahme bis zur Sättigung	8–9	%	DIN EN ISO 62
Brennbarkeit nach UL– Standard 94	HB		
Beständigkeit gegen heiss. Wasser/Lauge:	(+)		
Verhalten bei Freibewitterung	+		

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.



**Werkstoffdatenblatt, Stand: Februar 2009**

---

## TECAMID 6

Chemische Bezeichnung:

Polyamid 6

DIN-Kurzzeichen:

PA 6

Farbe, Zusätze:

opak

---

### Hauptmerkmale

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| sehr zäh   | gute Gleit-/Reibeigenschaften |
| beständig gegen viele Öle, Fette und Kraftstoffe | gute Festigkeit               |
| elektrisch isolierend                            | gut zerspanbar                |
| gut schweißbar                                   | gut klebbar                   |
| verschleißfest                                   |                               |

---

### Anwendungen

- |                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| Maschinenbau                     | Automobilindustrie |
| Transport- und Fördertechnik     | Textilverarbeitung |
| Verpackungs- und Papiermaschinen | Druckmaschinen     |
| Getränkeabfüllmaschinen          | Haushaltsgeräte    |
| Elektrotechnik                   | Baumaschinen       |
| Landmaschinen                    |                    |

---

### Beispiele

Zahnräder, Gleitlager, Gleitleisten, Förderschnecken, Buchsen, Spindelmuttern, Nockenscheiben, Seilrollen, Laufrollen, Prellschutz, Rammenschutz

---

## Datenblatt

### Eigenschaften

Werkstoffdatenblatt

TECAMID 6

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Streckspannung	85 / 60	MPa	DIN EN ISO 527
Streckdehnung	4	%	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	70 / 200	%	DIN 53 455
Zug-E-Modul	3000 / 1800	MPa	DIN EN ISO 527
Härte	160 / 70		DIN 53 456 (Kugeldruckhärte)
Schlagzähigkeit 23° C	n.b.	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Charpy)
Zeitstandfestigkeit nach 1000 h bei stat. Belastung	45	MPa	
Zeitdehnspannung für 1% Dehnung nach 1000 h	4,5	MPa	
Gleitreibungskoeffizient p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,38–0,45		
Gleitreibungsverschleiß p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,23	µm/km	

Werkstoffdatenblatt

TECAMID 6

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Glasübergangstemperatur	60 / 5	°C	DIN 53 765
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren A	75	°C	ISO-R 75 Verfahren A (DIN 53 461)
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren B	190	°C	ISO-R 75 Verfahren B (DIN 53 461)
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	160	°C	
dauernd	100	°C	
Wärmeleitzahl (23° C)	0,23	W/(K·m)	
Spez. Wärmekapazität (23° C)	1,7	J/g.K	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23–55° C)	8	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

## Datenblatt

Werkstoffdatenblatt

TECAMID 6

<b>Elektrisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Dielektrizitätszahl ( $10^6$ Hz)	3,7–7		DIN 53 483, IEC–250
Dielekt. Verlustfaktor ( $10^6$ Hz)	0,031–0,3		DIN 53 483, IEC–250
Spezifischer Durchgangswiderstand	$10^{13}$	$\Omega \cdot \text{cm}$	DIN IEC 60093
Oberflächenwiderstand	$10^{12}$	$\Omega$	DIN IEC 60093
Durchschlagsfestigkeit	20–50	kV/mm	DIN 53 481, IEC–243, VDE 0303 Teil 2
Kriechstromfestigkeit	CTI 600		DIN 53 480, VDE 0303 Teil 1

Werkstoffdatenblatt

TECAMID 6

<b>Sonstige</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Dichte	1,13	$\text{g/cm}^3$	DIN 53 479
Feuchtigkeitsaufnahme im NK bis zur Sättigung	3	%	DIN EN ISO 62
Wasseraufnahme bis zur Sättigung	9,5	%	DIN EN ISO 62
Brennbarkeit nach UL– Standard 94	HB		
Beständigkeit gegen heiss. Wasser/Lauge:	(+)		
Verhalten bei Freibewitterung	–		

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.



Werkstoffdatenblatt, Stand: Februar 2009

---

## TECAPEEK PVX

Chemische Bezeichnung:

Polyetheretherketon

DIN-Kurzzeichen:

PEEK

Farbe, Zusätze:

schwarz, Kohlefasern, PTFE und Grafit

---

### Hauptmerkmale

- |                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| hoch thermisch-mechanisch belastbar | sehr verschleißfest                |
| gut zerspanbar                      | selbstverlöschend nach UL94 V-O    |
| hohe Kriechfestigkeit               | sehr gut chemisch beständig        |
| hydrolyse- und heißdampfbeständig   | sehr gute Gleit-/Reibeigenschaften |
- 

### Anwendungen

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| Maschinenbau                     | Automobilindustrie       |
| Transport- und Fördertechnik     | Textilverarbeitung       |
| Verpackungs- und Papiermaschinen | Feinwerktechnik          |
| Chemietechnik                    | Luft- und Raumfahrt      |
| Anlagenbau                       | Pumpen- und Armaturenbau |
- 

### Beispiele

Gleitlager, Gleitleisten, statisch/dynamisch hoch belastete Bauteile, Zahnräder, Anlaufscheiben, Gleitschuhe, Kugelhahndichtungen, Kettenbuchsen, Gleitringe, Dichtringe, Kolben-/ringe, Pumpengehäuse/-teile, Ventilgehäuse/-teile

---

## Datenblatt

### Eigenschaften

Werkstoffdatenblatt

TECAPEEK PVX

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Reißfestigkeit	130	MPa	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	1,5	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	9500	MPa	DIN EN ISO 527
Biege-E-Modul	8100	MPa	DIN EN ISO 178
Härte	208		DIN 53 456 (Kugeldruckhärte, 961N)
Schlagzähigkeit 23° C	30	KJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179 (Charpy)
Gleitreibungskoeffizient p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> v=0,6 m/s gegen Stahl gehärtet und geschliffen	0,11		

Werkstoffdatenblatt

TECAPEEK PVX

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Kristallitschmelzpunkt	343	°C	
Glasübergangstemperatur	143	°C	DIN 53 765
Formbeständigkeitstemperatur HDT, Verfahren A	277	°C	ISO-R 75 Verfahren A (DIN 53 461)
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	300	°C	
dauernd	260	°C	
Wärmeleitzahl (23° C)	0,24	W/(K·m)	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23–55° C)	2,2	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

## Datenblatt

Werkstoffdatenblatt

TECAPEEK PVX

<b>Elektrisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Spezifischer Durchgangswiderstand	3*10 <sup>5</sup>	$\Omega$ *cm	DIN IEC 60093
Oberflächenwiderstand	5*10 <sup>6</sup>	$\Omega$	DIN IEC 60093

Werkstoffdatenblatt

TECAPEEK PVX

<b>Sonstige</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Dichte	1,48	g/cm <sup>3</sup>	DIN 53 479
Feuchtigkeitsaufnahme im NK bis zur Sättigung	0,1	%	DIN EN ISO 62
Wasseraufnahme bis zur Sättigung	0,1	%	DIN EN ISO 62
Brennbarkeit nach UL- Standard 94	V0		
Beständigkeit gegen heiss. Wasser/Lauge:	+		
Verhalten bei Freibewitterung	+		

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.



Werkstoffdatenblatt, Stand: Februar 2009

---

## TECAST L

Chemische Bezeichnung:  
DIN-Kurzzeichen:  
Farbe, Zusätze:

Gusspolyamid 6  
PA 6 G  
opak/ gelblich, Gleitmittel

---

### Hauptmerkmale

- | gute Gleit-/Reibeigenschaften, auch im Trockenlauf
- | verschleißfest
- | zäh
- | gut elektrisch isolierend
- | gutes Stick-Slip Verhalten
- | beständig gegen viele Öle, Fette und Kraftstoffe
- | gute thermische Beständigkeit
- | gut zerspanbar

---

### Anwendungen

- | Maschinenbau
- | Transport- und Fördertechnik
- | Verpackungs- und Papiermaschinen
- | Druckmaschinen
- | Automobilindustrie
- | Getriebe-, Kupplungs- und Triebwerksbau
- | Landmaschinen

---

### Beispiele

Gleitlager, Gleitschienen, Zahnräder, Laufrollen, Abstreifer, Seilrollen, Kettenräder, Kalandervalzen, Kettenführungen

---

## Datenblatt

### Eigenschaften

---

Werkstoffdatenblatt

TECAST L

<b>Mechanisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Streckspannung	70	MPa	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	50	%	DIN EN ISO 527
Zug-E-Modul	3200	MPa	DIN EN ISO 527
Härte	125		DIN 53 456 (Kugeldruckhärte)
Schlagzähigkeit 23° C	n.b.	kJ/m2	DIN EN ISO 179 (Charpy)

---

Werkstoffdatenblatt

TECAST L

<b>Thermisch</b>	<b>trocken / feucht</b>		<b>Norm</b>
Kristallitschmelzpunkt	220	°C	DIN 53 765
Glasübergangstemperatur	40 / 5	°C	DIN 53 765
Maximale Anwendungstemperatur			
kurzzeitig	180	°C	
dauernd	100	°C	
lin. therm. Längenausd.koeff. (23–55° C)	9	10 <sup>-5</sup> 1/K	DIN 53 752

---

## Datenblatt

Werkstoffdatenblatt

TECAST L

**Elektrisch**

**trocken /  
feucht**

**Norm**

Werkstoffdatenblatt

TECAST L

**Sonstige**

**trocken /  
feucht**

**Norm**

Dichte

1,15

g/cm<sup>3</sup>

DIN 53 479

Wasseraufnahme bis zur Sättigung

6

%

DIN 53 495

Brennbarkeit nach UL- Standard 94

HB

Beständigkeit gegen heiss.  
Wasser/Lauge:

(+)

Verhalten bei Freibewitterung

-

(1) Geprüft an Halbzeug

Unsere Informationen und Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, die chemische Beständigkeit, die Beschaffenheit der Produkte und die Handelsfähigkeit rechtlich verbindlich zuzusichern oder zu garantieren. Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt. Etwa bestehende gewerbliche Schutzrechte sind zu berücksichtigen. Sofern nicht anders vermerkt, wurden die Werte an spritzgegossenen Prüfkörpern in "spritzfrischem" Zustand ermittelt. Technische Änderungen vorbehalten.

## Ultraform® N2770 K | POM | BASF

## Produkttext

Spritzgussmarke mit verbessertem Verschleißverhalten für Gleitelemente.

Abgekürzte Bezeichnung gemäß ISO 1043: POM

Bezeichnung gemäß ISO 9988-1: POM-K, M-GNRS2, 03-002

Rheologische Eigenschaften	Value	Unit	Test Standard
<b>CAMPUS/ISO Data</b>			
Schmelzevolumenrate	7.5	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Temperatur	190	°C	ISO 1133
Belastung	2.16	kg	ISO 1133
Verarbeitungsschwindigkeit parallel	2.1	%	ISO 2577, 294-4
Verarbeitungsschwindigkeit senkrecht	2.1	%	ISO 2577, 294-4

Mechanische Eigenschaften	Value	Unit	Test Standard
<b>CAMPUS/ISO Data</b>			
Zug-Modul	2800	MPa	ISO 527-1/-2
Streckspannung	63	MPa	ISO 527-1/-2
Streckdehnung	8.5	%	ISO 527-1/-2
Nominelle Bruchdehnung	26	%	ISO 527-1/-2
Zug-Kriechmodul (1h)	1900	MPa	ISO 899-1
Zug-Kriechmodul (1000h)	1400	MPa	ISO 899-1
Charpy-Schlagzähigkeit (+23°C)	150	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy-Schlagzähigkeit (-30°C)	150	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy-Kerbschlagzähigkeit (+23°C)	4	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy-Kerbschlagzähigkeit (-30°C)	3.5	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA

Thermische Eigenschaften	Value	Unit	Test Standard
<b>CAMPUS/ISO Data</b>			
Schmelztemperatur (10°C/min)	166	°C	ISO 11357-1/-3
Formbeständigkeitstemperatur (1.8 MPa)	95	°C	ISO 75-1/-2
Vicat-Erweichungstemperatur (50°C/h 50N)	150	°C	ISO 306
Längenausdehnungskoeffizient (parallel)	1.1	E-4/°C	ISO 11359-1/-2
Brennbarkeit bei nominal 1.5mm	HB	class	IEC 60695-11-10
geprüfte Probekörperdicke	1.6	mm	IEC 60695-11-10

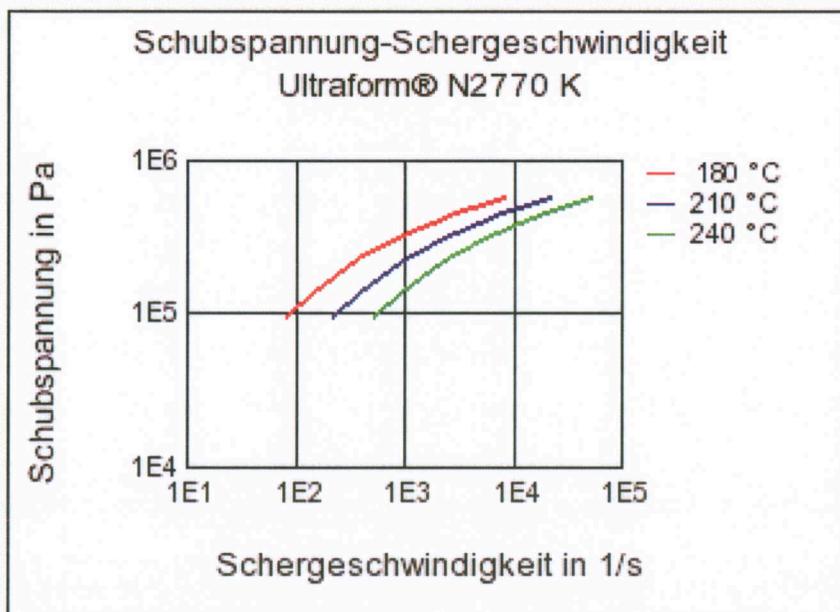
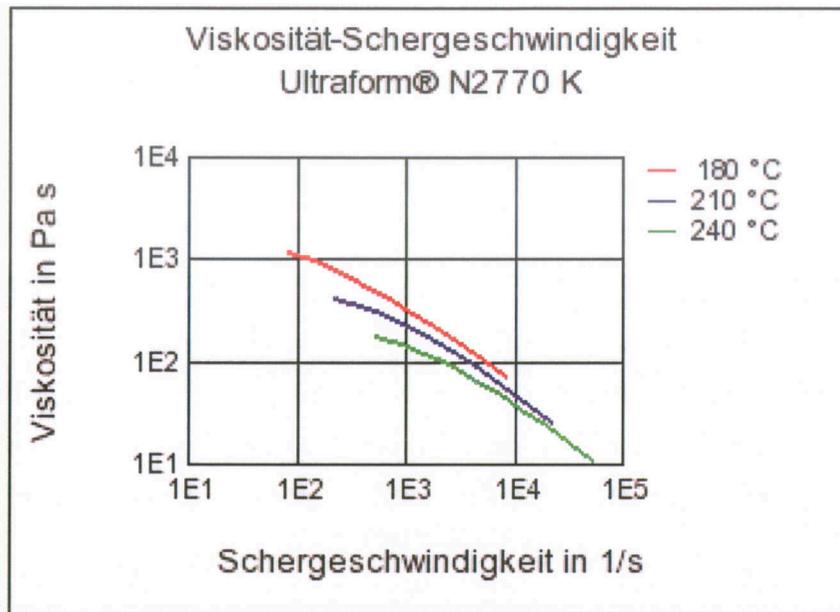
UL Registrierung	<b>UL</b>	-	-
Brennbarkeit bei Dicke h	<b>HB</b>	class	IEC 60695-11-10
geprüfte Probekörperdicke	<b>0.8</b>	mm	IEC 60695-11-10
UL Registrierung	<b>UL</b>	-	-

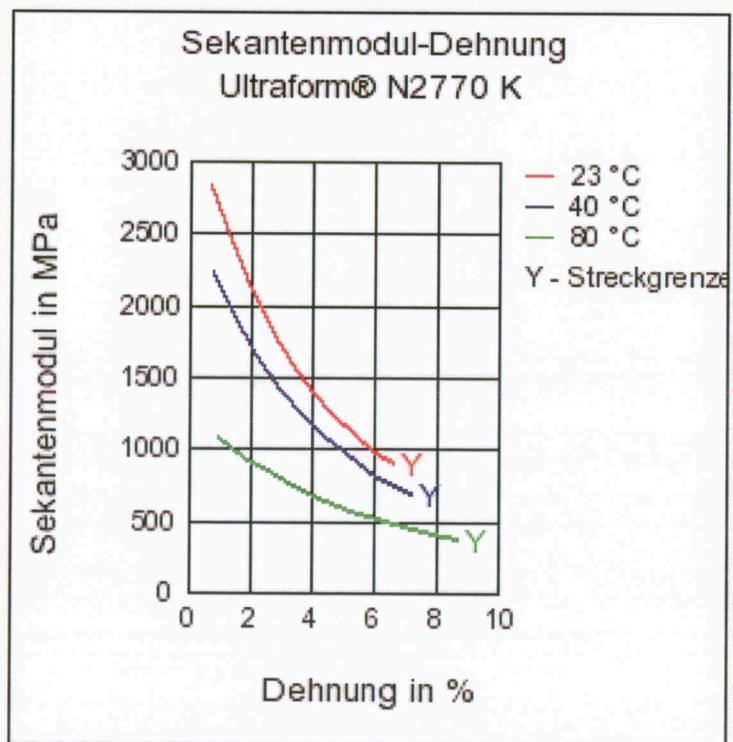
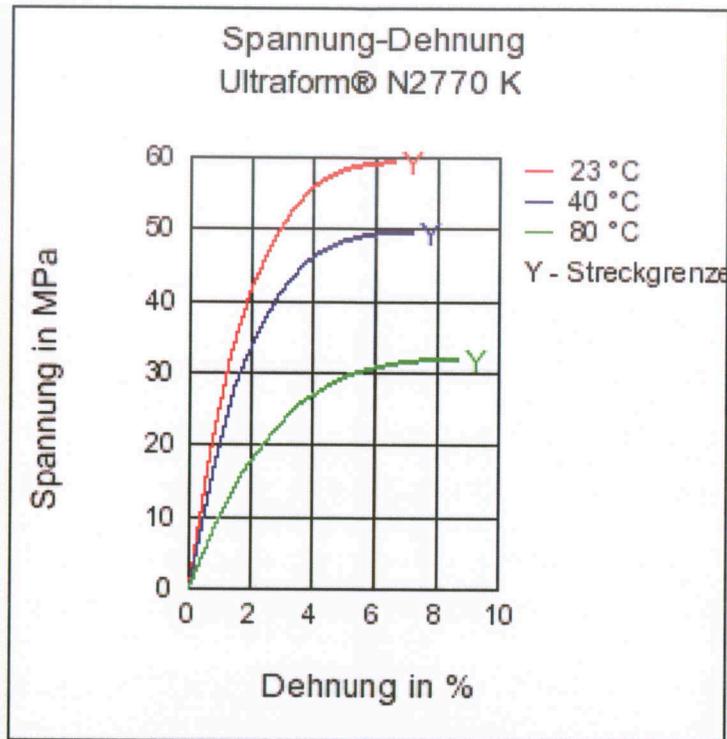
Elektrische Eigenschaften	Value	Unit	Test Standard
<b>CAMPUS/ISO Data</b>			
Dielektrizitätszahl (100Hz)	<b>3.8</b>	-	IEC 60250
Dielektrizitätszahl (1 MHz)	<b>3.8</b>	-	IEC 60250
Dielektr. Verlustfaktor (100Hz)	<b>10</b>	E-4	IEC 60250
Dielektr. Verlustfaktor (1 MHz)	<b>50</b>	E-4	IEC 60250
Spezifischer Durchgangswiderstand	<b>1E13</b>	Ohm*m	IEC 60093
Spezifischer Oberflächenwiderstand	<b>1E13</b>	Ohm	IEC 60093
Elektrische Durchschlagfestigkeit	<b>40</b>	kV/mm	IEC 60243-1
Vergleichszahl der Kriechwegbildung	<b>600</b>	-	IEC 60112

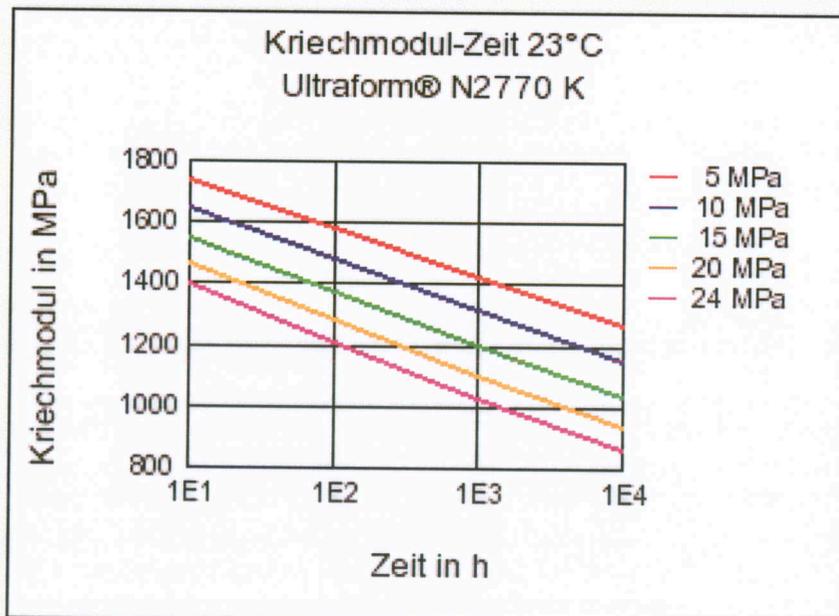
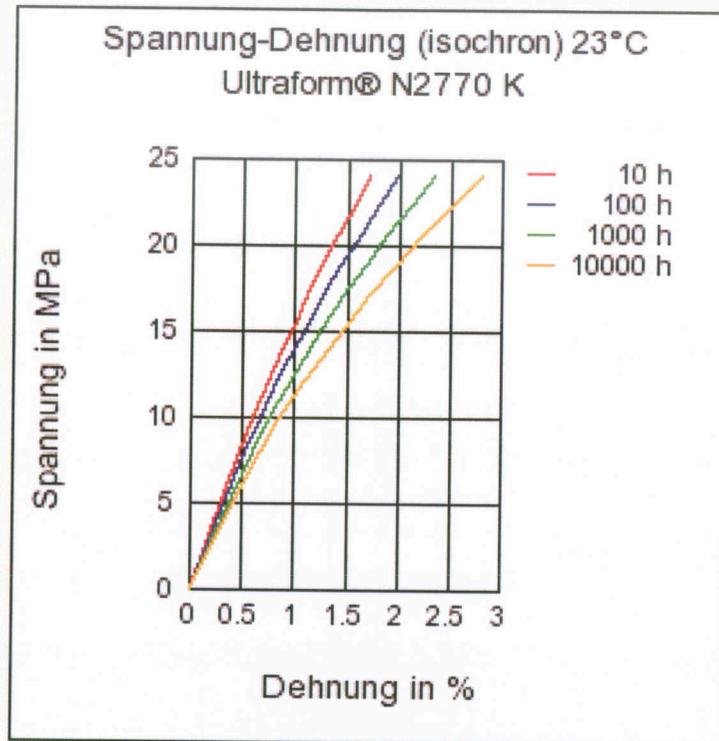
Andere Eigenschaften	Value	Unit	Test Standard
<b>CAMPUS/ISO Data</b>			
Wasseraufnahme	<b>0.8</b>	%	Ähnlich ISO 62
Feuchtigkeitsaufnahme	<b>0.2</b>	%	Ähnlich ISO 62
Dichte	<b>1420</b>	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

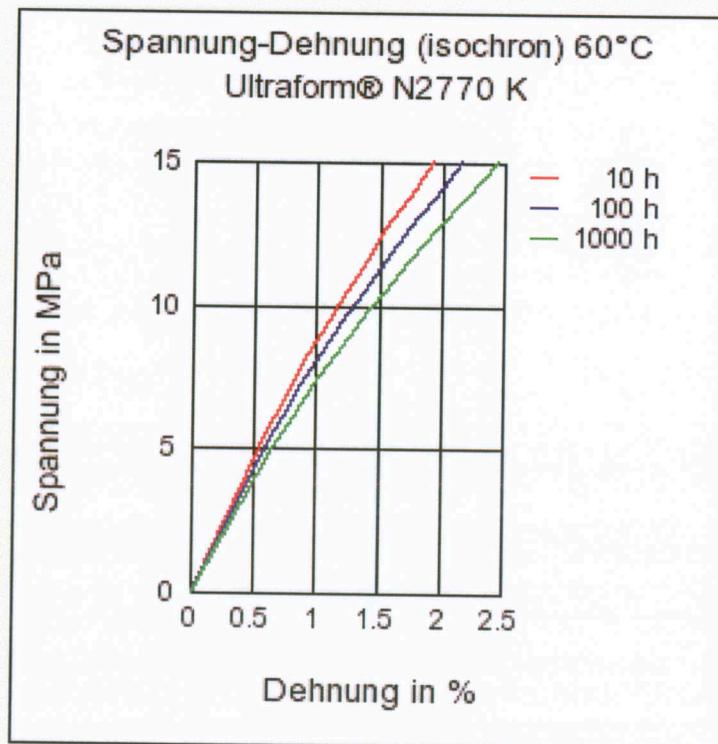
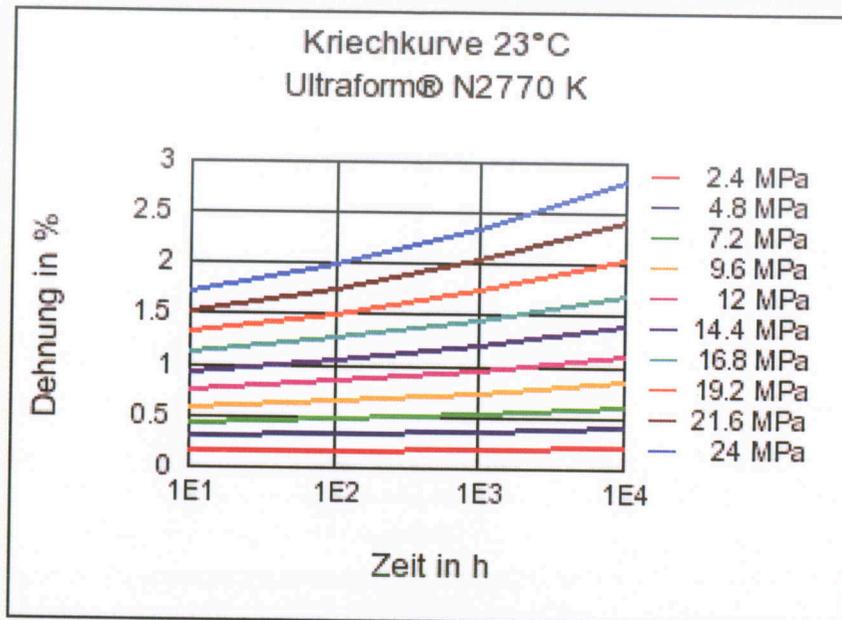
Probekörper Herstellbedingungen	Value	Unit	Test Standard
<b>CAMPUS/ISO Data</b>			
Spritzgießen Massetemperatur	<b>200</b>	°C	ISO 294
Werkzeugtemperatur	<b>90</b>	°C	ISO 10724
Spritzgeschwindigkeit	<b>200</b>	mm/s	ISO 294

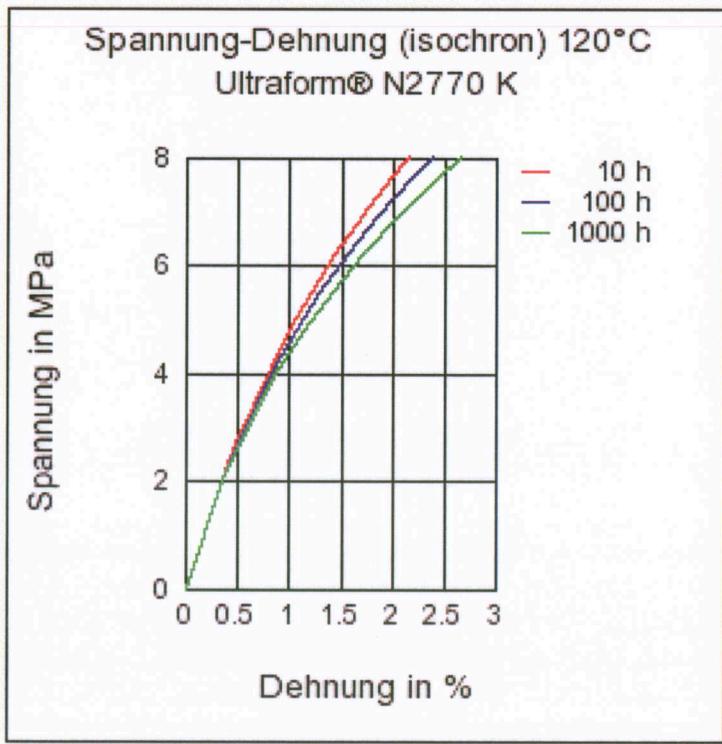
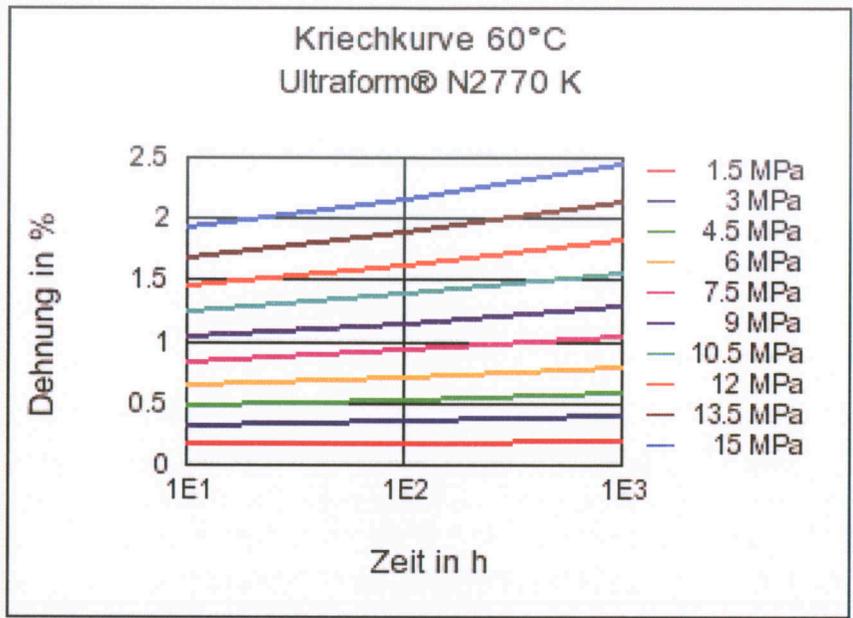
### Multi-point data

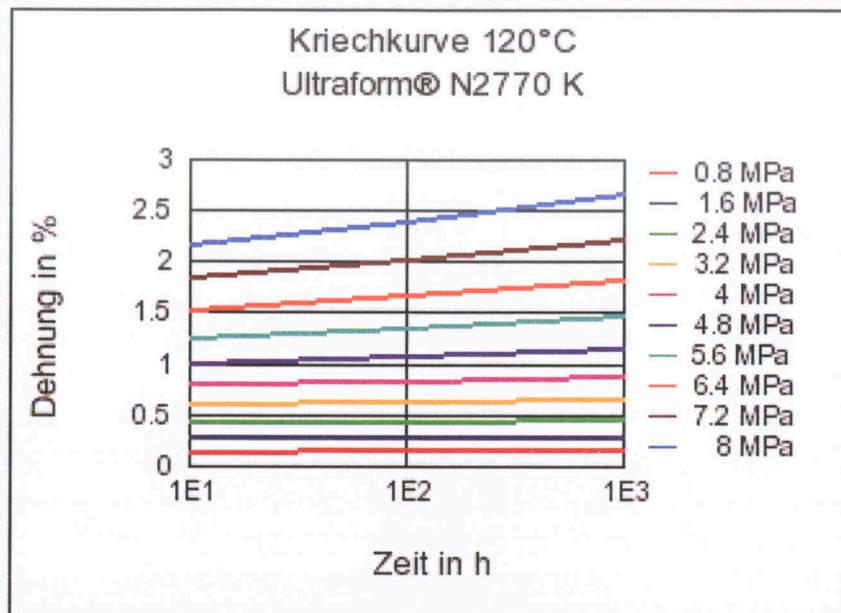












## Merkmale

### Regional Availability

[Nordamerika](#), [Europa](#), [Asien/Pazifik](#), [Süd und Zentral-Amerika](#), [Nahost/Afrika](#), [Indien](#)

### Verarbeitungsmethoden

Spritzgießen

### Lieferform

Granulat

### Additive

Gleit- und Schmiermittel, Entformungshilfsmittel

## Verarbeitungsmethoden

### Spritzgießen

#### VERARBEITUNG

Spritzgießen Massetemperatur: 190 - 230 °C  
 Spritzgießen empf. Massetemperatur: 200 °C  
 Spritzgießen Werkzeugtemperatur: 60 - 100 °C  
 Spritzgießen empf. Werkzeugtemperatur: 90 °C

#### Verarbeitung

Für die Spritzgießverarbeitung von Ultraform eignen sich die üblichen gängigen

Dreizonenschnecken mit einer wirksamen Schneckenlänge von mindestens 15 D, besser 20 - 23 D.

#### Vorbehandlung

Das originalverpackte Granulat kann ohne besondere Vorbehandlung verarbeitet werden. Durch längere oder unsachgemäße Lagerung (z.B. durch Kondenswasserbildung) feucht gewordenes Granulat muss in Trockenluft- oder Umlufttrocknern bei ca. 100 - 110 °C etwa 3 Stunden lang getrocknet werden. Der Wassergehalt sollte 0.2 % nicht überschreiten.

#### Nachbehandlung

Wenn Teile bei relativ niedriger Werkzeugtemperatur hergestellt wurden (z.B. zur Erreichung kurzer Zykluszeiten) und sich im späteren Einsatz maßlich nicht mehr verändern dürfen, kann eine thermische Nachbehandlung, die eine Maßveränderung durch Nachkristallisation bewirkt, erforderlich sein. Hier empfiehlt sich eine Lagerung in einem Umluft- Wärmeschrank bei Temperaturen von 100 - 130 °C, bis sich die Maße nicht mehr signifikant verändern. Die hierfür benötigte Zeit ist experimentell zu ermitteln.

#### Disclaimer

Copyright M-Base Engineering+Software GmbH, all information is subject to the disclaimer text, which was confirmed when starting the software.



# **Ermittlung tribologischer Kennwerte von Kunststoffen für den Einsatz als Alternativwerkstoffe im Stahlwasserbau**

Joachim Stephan, Hans-Peter Feldner, Thomas Burkhart

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH  
Erwin-Schrödinger-Str. 58  
67663 Kaiserslautern  
Germany  
[www.ivw.uni-kl.de](http://www.ivw.uni-kl.de)

- Ausgewählte Materialien der BAW für die Langzeitversuche
- Ergebnisse der Langzeitversuche
  - Verschleißrate
  - Reibwerte
- Anhang

## Auswahl der 4 Materialien für Langzeitversuche

### A) Ringmaterialien

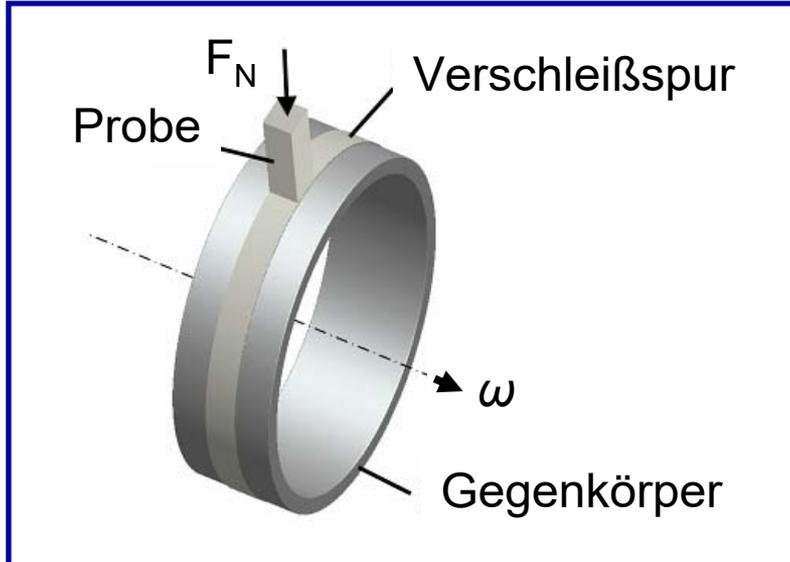
NR	Material (benutzte Bezeichnung)	Modifizierung	Farbe	Lieferbezeichnung	Lieferant
1	PA6-G	ohne	opak/gelblich	Tecast-L	Ensinger
2	PVC	ohne	grau		Uni-KI
3	POM	ohne	weiß		Uni-KI

### B) Pinmaterial

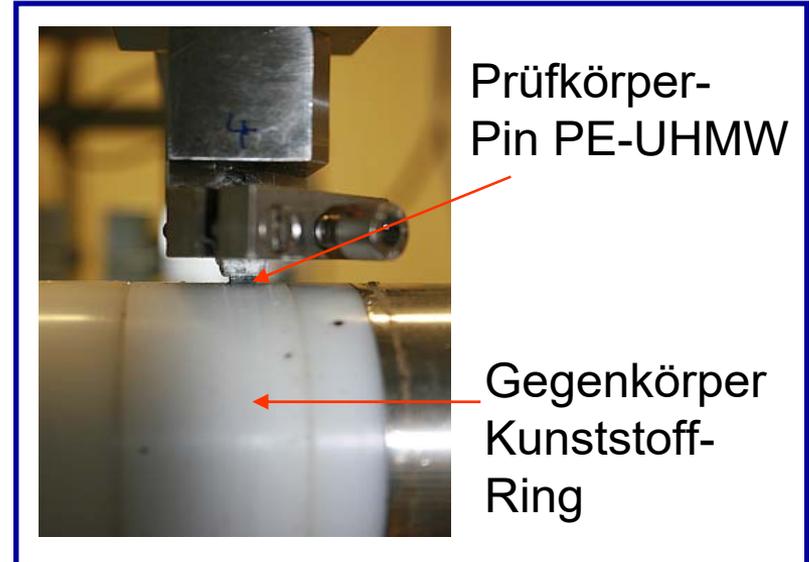
NR	Material (benutzte Bezeichnung)	Modifizierung	Farbe	Lieferbezeichnung	Lieferant
1	PE-UHMW	UV-Farbstoffe	Schwarz	Polystone M-schwarz	Röchling

# Block-auf-Ring Modellprüfung im Medium Wasser

Prüfprinzip:



Prüfung unter Wasser:



Verschleißkenngrößen:

Spezifische Verschleißrate:

$$W_s = \frac{\Delta m}{L \cdot \rho \cdot F_N}$$

mit:  $\Delta m$  = Massenverlust  
 $L$  = Gleitweg  
 $\rho$  = Dichte  
 $F_N$  = Normalkraft

Reibwert:

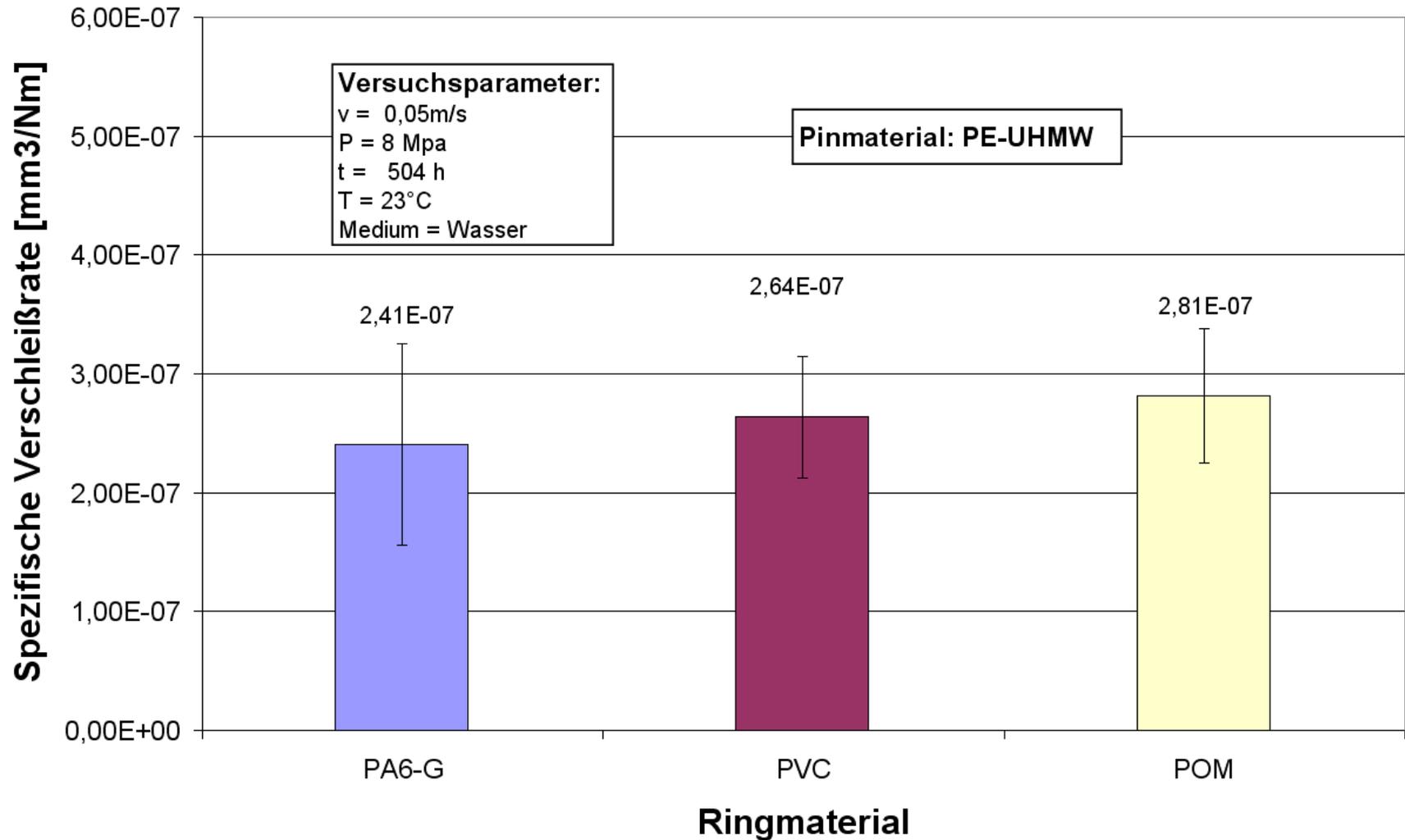
$$\mu = \frac{F_R}{F_N}$$

mit:  $F_R$  = Reibkraft  
 $F_N$  = Normalkraft



Festgelegte Prüfparameter:  $p = 8 \text{ MPa}$ ,  $v = 0.05 \text{ m/s}$ ,  $t = 504 \text{ h}$

# Spezifische Verschleißraten der PE-UHMW Pins bei Paarung gegen verschiedene Ringmaterialien



# Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zur Spez. Verschleißrate an den Pins.

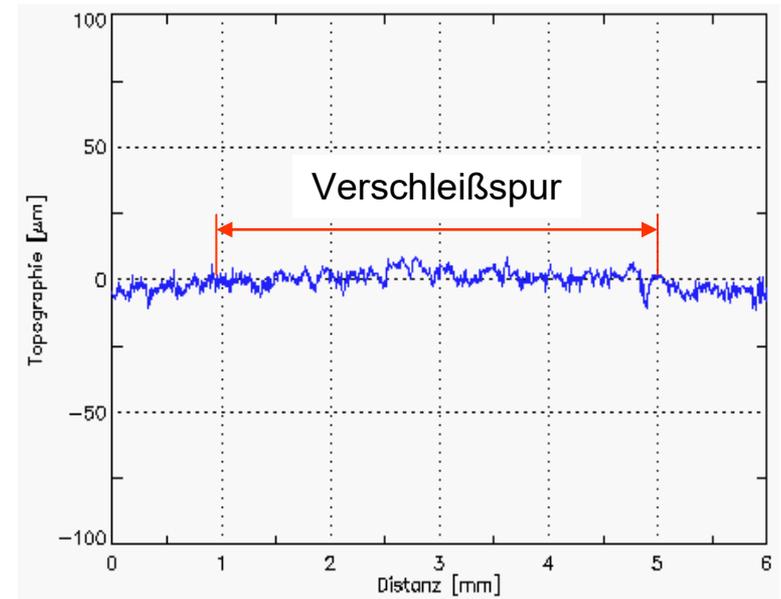
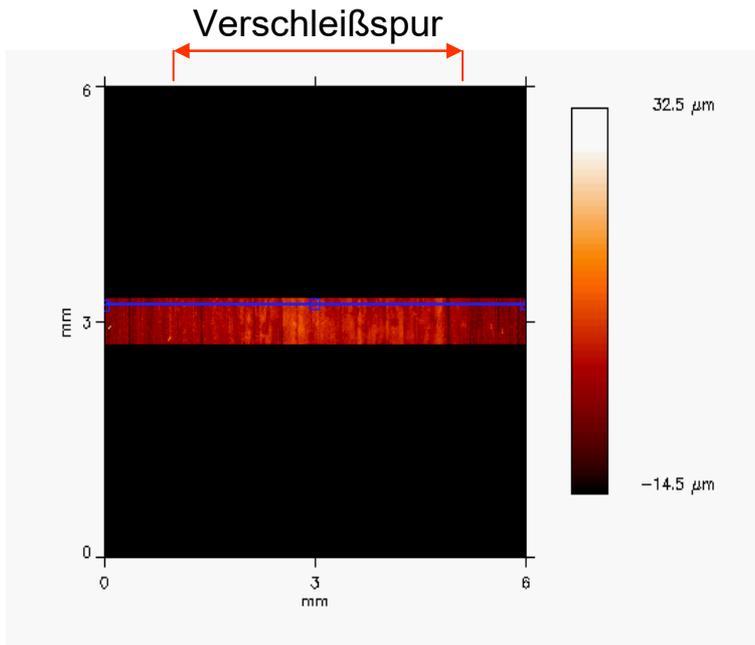
- Bei den jeweiligen Gleitpaarungen (Ringmaterial PA6-G, PVC bzw. POM vs. PE-UHMW) gibt es keine großen Unterschiede was die Verschleißrate anbelangt. Die Verschleißrate des Pinwerkstoffs PE-UHMW liegt zwischen  $2,46E-07$  und  $2,81 E-07$ .
- Den niedrigsten Verschleißwert mit  $2,41E-07\text{mm}^3/\text{Nm}$  zeigt PE-UHMW gegenüber dem Gegenkörper aus PA6-G, was aber aufgrund der Streubreite keinen signifikanten Unterschied zu PVC und POM darstellt.
- Bei allen Versuchen bildete sich ein fadenähnlicher und gallertartiger Abrieb, welcher nach IR-Spektroskopie-Analyse aus PE-UHMW besteht. (Siehe Bilder 1 bis 3 im Anhang, Folie 12).

- Eine gravimetrische Ermittlung der Verschleißwerte war nicht möglich, da die Wasseraufnahme über 3 Wochen wesentlich höher lag als der Massenverlust durch den Verschleiß. Teilweise war ein Transferfilm (z.B. bei POM) auf den Ringen zu erkennen. Auch eine optische Vermessung des Verschleißes mittels Weißlichtprofilometrie war aufgrund der hohen Rauheit des Gegenkörpers ( $R_a=1,6\mu\text{m}$ ) bzw. der fehlenden Verschleißspurvertiefung (Folie 9) nicht möglich.
- Beispiel: Tabelle über die Masse der POM-Ringe.

Hebel NR	Material (benutzte Bezeichnung)	Masse Vorher Ring [g]	Masse Nacher Ring [g]	Differenz Ring [g]
1	POM	29,86147	29,94790	-0,08643
2	POM	29,75966	29,85465	-0,09499
3	POM	29,43886	29,55234	-0,11348
4	POM	29,90635	30,01600	-0,10965

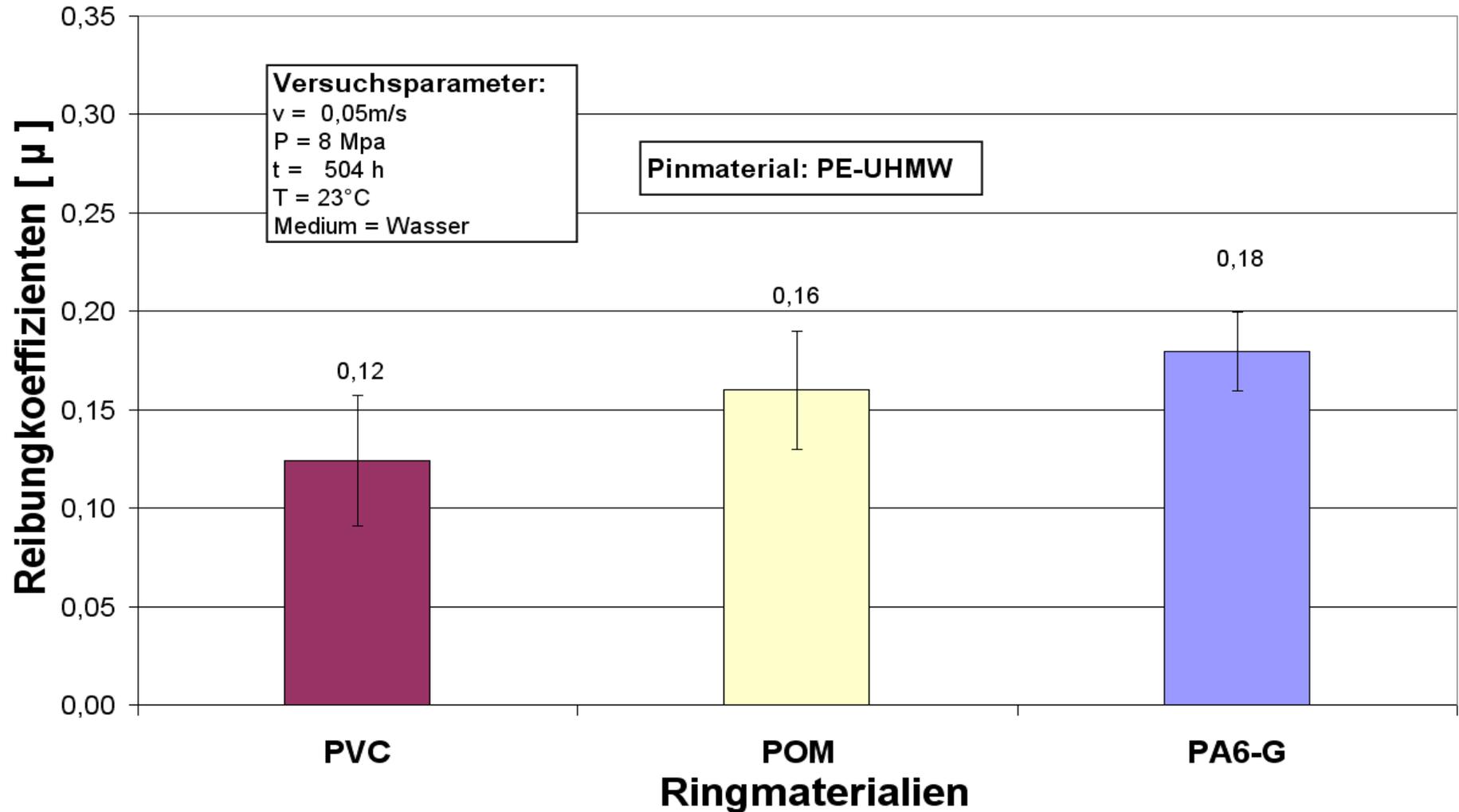
# Verschleißermittlung am Gegenkörpererring (Kunststoffring) mit Weißlichtprofilometrie

Relevanter Verschleiß am Kunststoffring (POM) muss am Oberflächenprofil erkennbar sein.



**Verschleißbestimmung am Kunststoffring nicht möglich !**

# Reibwert $\mu$ der untersuchten Kunststoff/Kunststoff-Paarungen



# Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zum Reibwert $\mu$

- Alle drei Werkstoffe zeigten nach der Einlaufphase homogene Reibwerte, die bis zu 300 Stunden anhielten. Danach kam es bei allen Werkstoffen zu einer Erhöhung der Streubreite ihrer Werte, die sich zum Ende der Versuchszeit teilweise wieder reduzierten (siehe Reibwertdiagramme im Anhang).
- Als Ursache für die Streuung ab ca. 300 Stunden könnte der sich bildende Abriebfilm am Pin bzw. die Abriebpartikel an den Ringoberflächen gesehen werden, welche nach einer gewissen Zeit in die Reibfläche wieder eingezogen werden, um somit den Reibwert  $\mu$  wieder zu erhöhen.
- Die gemessenen Reibwerte liegen zwischen  $\mu=0,12$  (PVC) und  $\mu=0,18$  (PA6-G).

# Bildung des gallertartigen Abriebfadens über Versuchsfortschritt am Beispiel Lauf gegen POM-Ring



Bild 1  
PE-UHMW-Pin / POM-Ring  
nach der ersten Woche



Bild 2  
PE-UHMW-Pin / POM-Ring  
nach der zweiten Woche

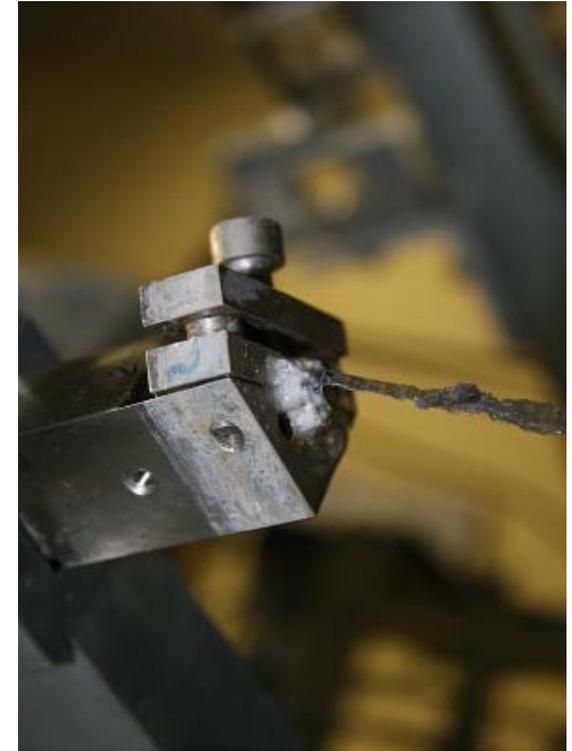


Bild 3  
PE-UHMW-Pin / POM-Ring  
nach der dritten Woche

# Bilder über Versuchsverlauf mit Abriebbildung Pin gegen PVC-Ring

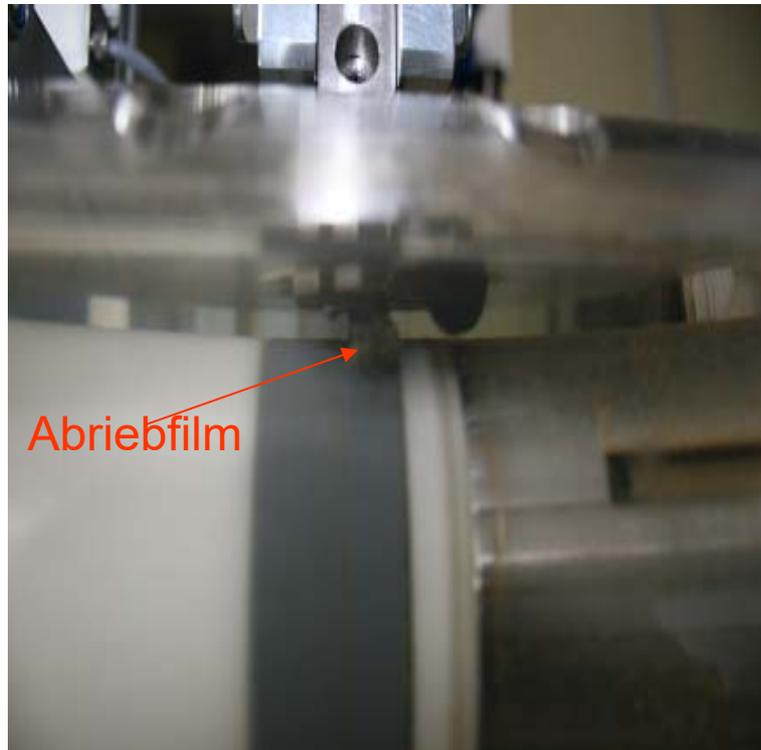


Bild 4  
PE-UHMW-Pin / PVC-Ring + Abriebfilm



Bild 5  
PE-UHMW-Pin / PVC-Ringe nach 3 Wochen

# Bilder über Versuchsverlauf mit Abriebbildung Pin gegen POM-Ring

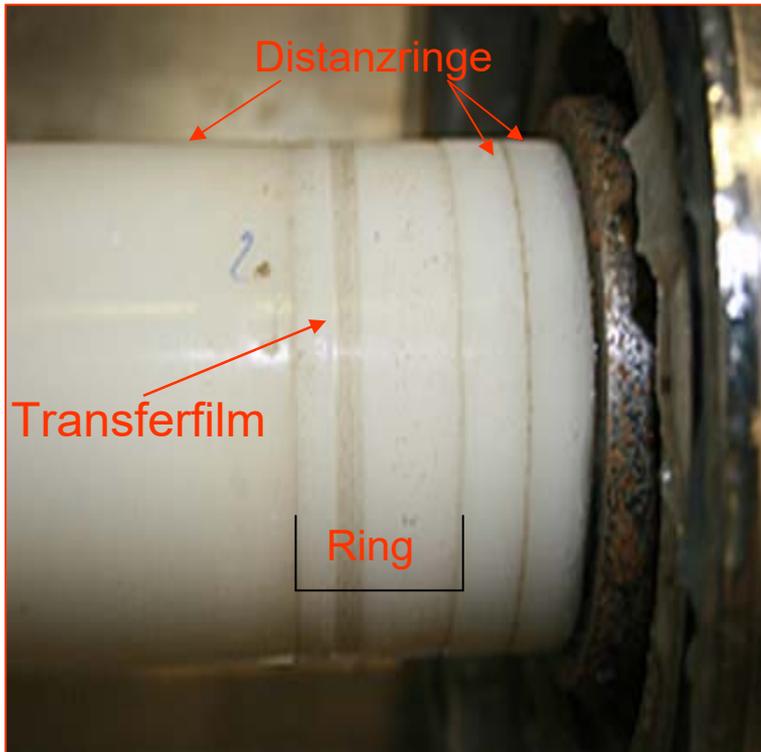


Bild 6  
PE-UHMW-Pin / POM-Ring

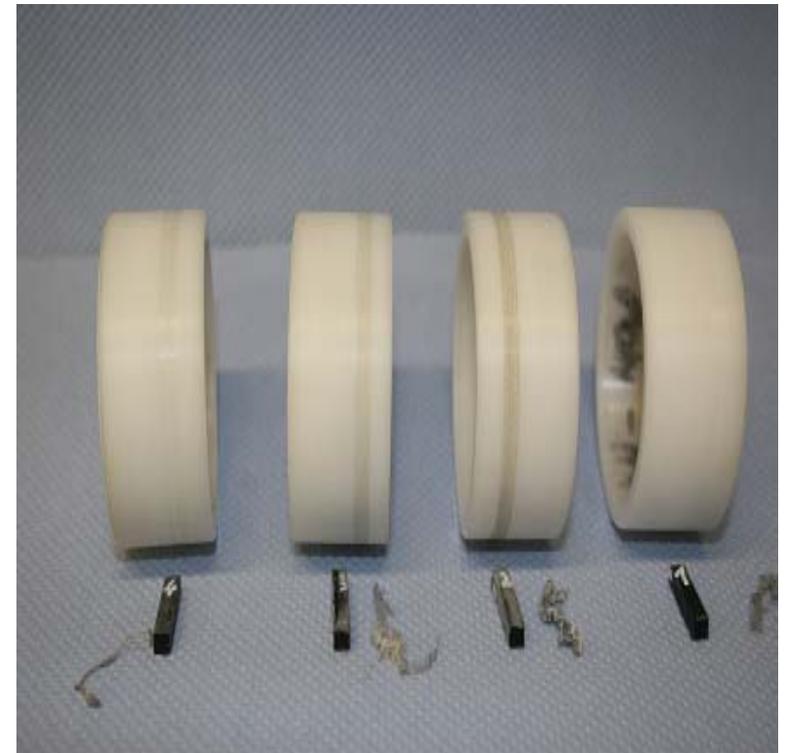


Bild 7  
PE-UHMW-Pin / POM-Ringe nach 3 Wochen

# Bilder über Versuchsverlauf mit Abriebbildung Pin gegen PA6-G-Ring

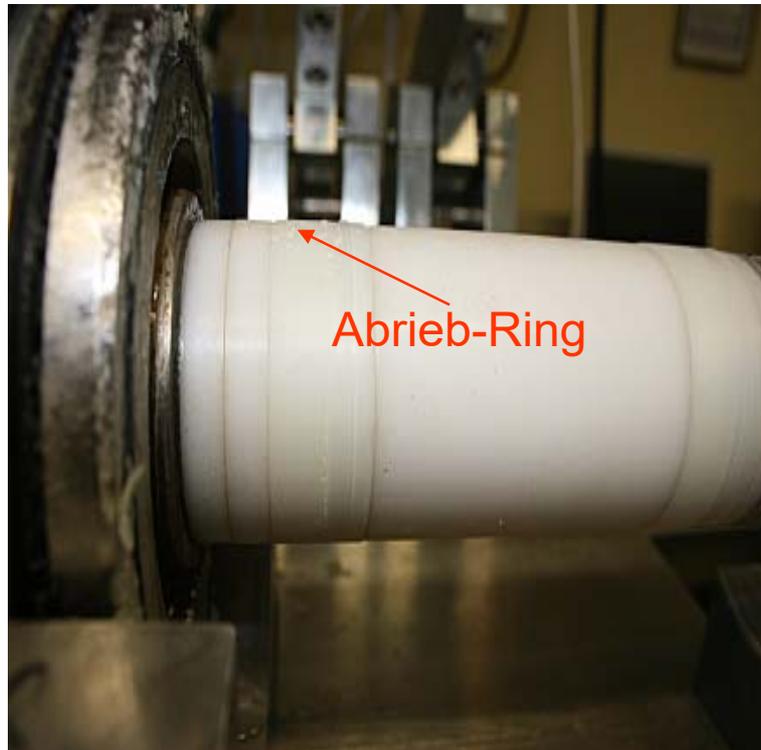


Bild 8  
PE-UHMW-Pin / PA6-G-Ring + Abrieb



Bild 9  
PE-UHMW-Pin+ Abrieb / PA6-G-Ringe  
nach 3 Wochen

# Reibwertverlauf der PVC-Ringe

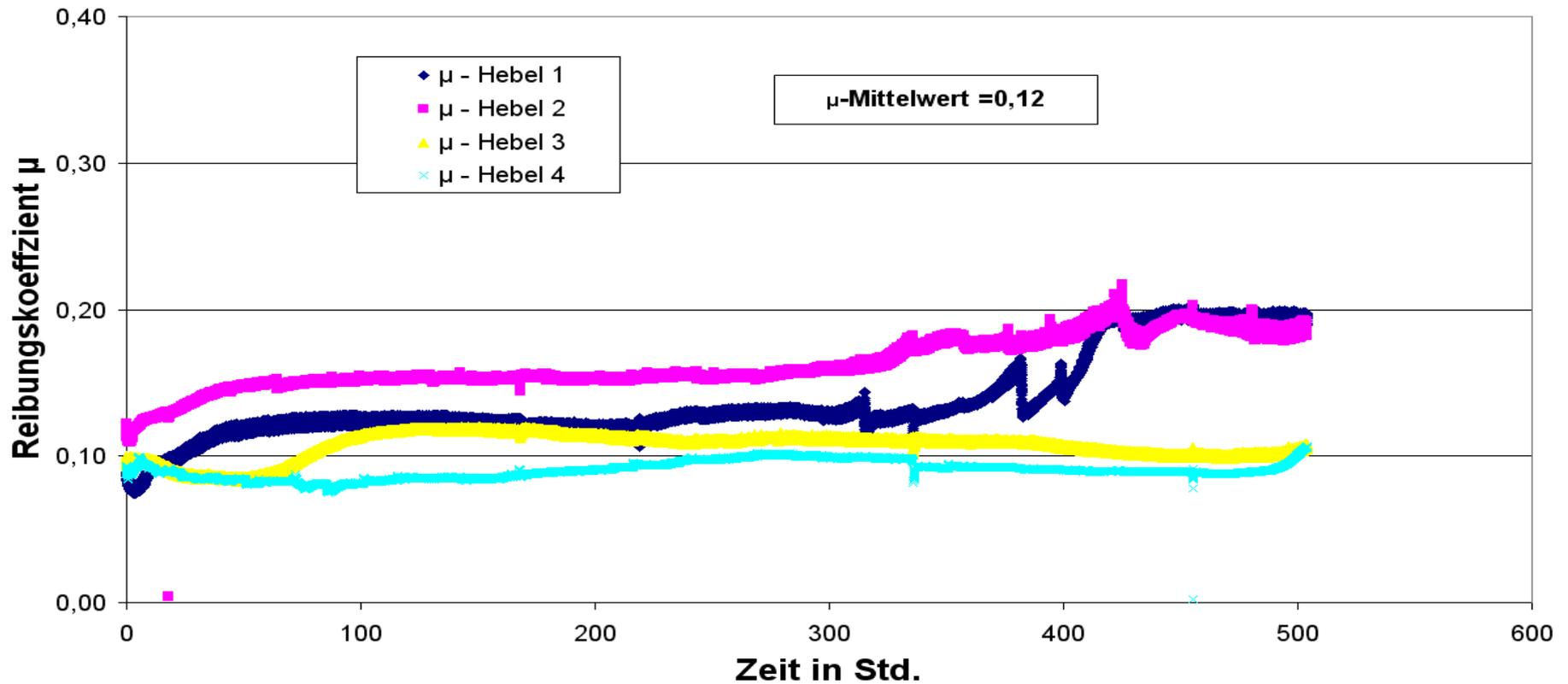


Bild 10  
PE-UHMW-Pin / PVC-Ring

# Reibwertverlauf der POM-Ringe

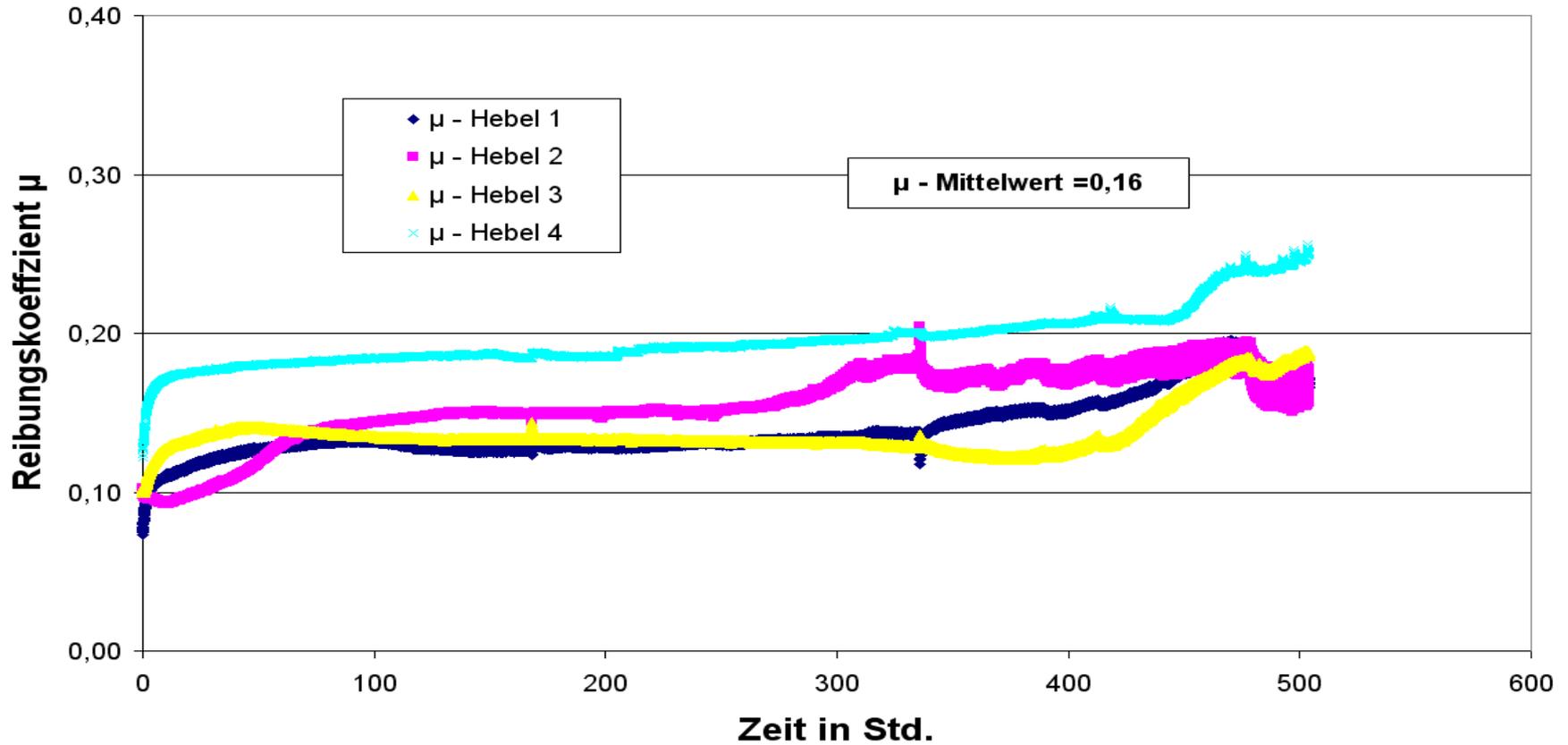


Bild 11  
PE-UHMW-Pin / POM -Ring

# Reibwertverlauf der PA6-G-Ringe

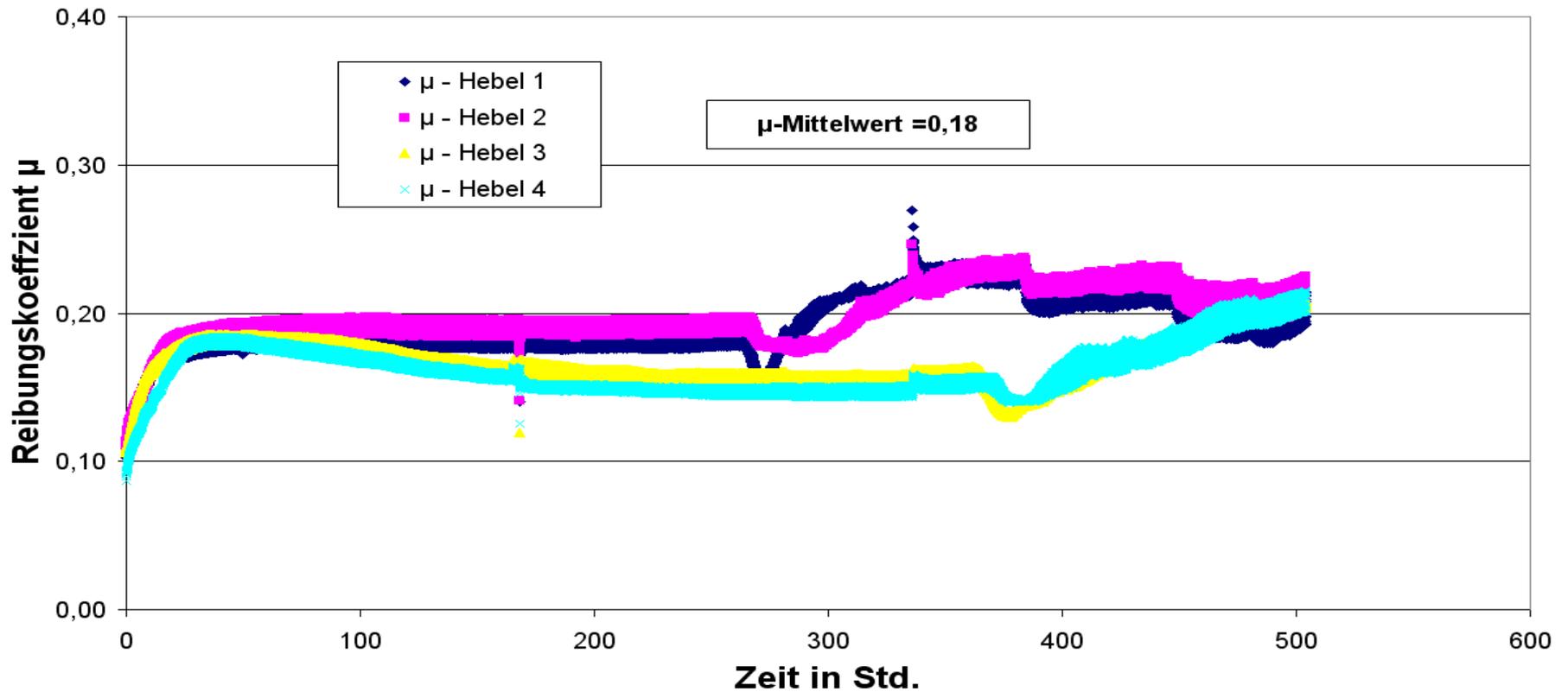


Bild 12  
PE-UHMW-Pin / PA6-G -Ring