Einfluss von verschiedenen Erodierstrukturen auf den Reibwert von Kunststoff-Kunststoff Paarungen

Dipl.-Ing. André Bergmann

Technische Universität Chemnitz, Institut für Fördertechnik und Kunststoffe

Abstract

Im Beitrag werden bei verschiedenen Lastkollektiven und zwei Reibgeschwindigkeiten die Erodierstrukturen K27, K36, K42 und die Ätzstruktur K36 mit glatten Probekörpern hinsichtlich des Reibwertes und des Verschleißverhaltens untersucht. Als strukturierte Probekörper kommen die Kunststoffe POM und PA und als Gegenkörper zwei verschiedene PE-UHMW´s zum Einsatz.

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Abhängigkeit des Reibwertes von der Oberflächenstruktur der Probekörper, jedoch ist die Senkung des Reibwertes stark von den Belastungsparametern Normalkraft und Reibgeschwindigkeit abhängig.

1 Einleitung

Die Reduktion von Reibwerten und Verschleiß durch strukturierte Kunststoffoberflächen konnte bereits in mehreren Veröffentlichungen nachgewiesen werden [Ber13, Sch11]. Die Profile der Strukturen können dabei grundlegend in zwei Arten unterteilt werden (Abbildung 1):

- aperiodische Profile mit ungerichteten Strukturen
- periodische Profile mit geometrisch definierten Strukturen

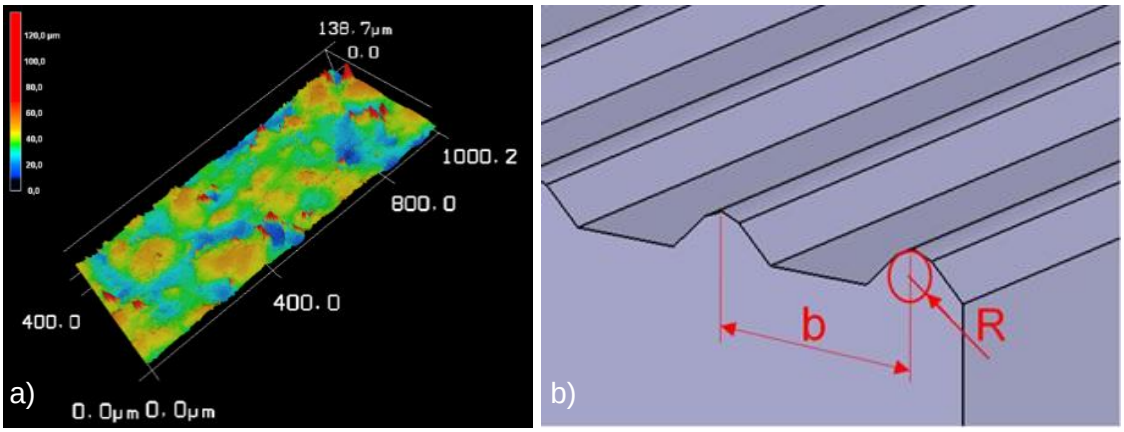


Abbildung 1: Oberflächenstruktur von POM Kunststoffproben mit
a) aperiodische Erodierstruktur K36; b) periodischer Struktur „Stege“

Die Herstellung der Kunststoffproben erfolgt dabei jeweils durch das Spritzgussverfahren, wobei das Werkzeug die entsprechende invertierte Struktur besitzt. Die periodischen Profile können z. B. durch Mikrofräsen eingebracht werden, womit je nach Miniaturisierung der Struktur ein hoher Fertigungsaufwand vorliegt.

Zur Anfertigung aperiodischer Profile wird häufig auf das im Werkzeug- und Formenbau etablierte Fertigungsverfahren der Funkenerosion zurückgegriffen. Die Richtlinie VDI 3400 [VDI75] beschreibt hierzu grobe Bearbeitungsparameter wie Abtragrate und Verweildauer der Elektrode in Abhängigkeit des Stahlwerkstoffs. Die benannten Kenngrößen zur Klassifizierung einer solchen Oberfläche sind R_a und R_{max}, welche es gestatten, die erzeugten Oberflächen in verschiedene „K-Klassen“ einzuteilen. Die Herstellung der Ätzstrukturen erfolgt durch Aufbringen verschiedener Säuren, die je nach Werkstoff und Legierungselementen des Spritzgusswerkzeuges zu einem oberflächigen Abtrag führen.

In [Ber13] wurde beobachtet, dass am Beispiel der Erodierstruktur K36 der Reibwert gegen PE-UHMW nahezu halbiert werden kann (siehe Abbildung 2). Eine detaillierte Untersuchung bezüglich der Variation der Struktur, Normalkraft und Geschwindigkeit) wurde dabei nicht durchgeführt.

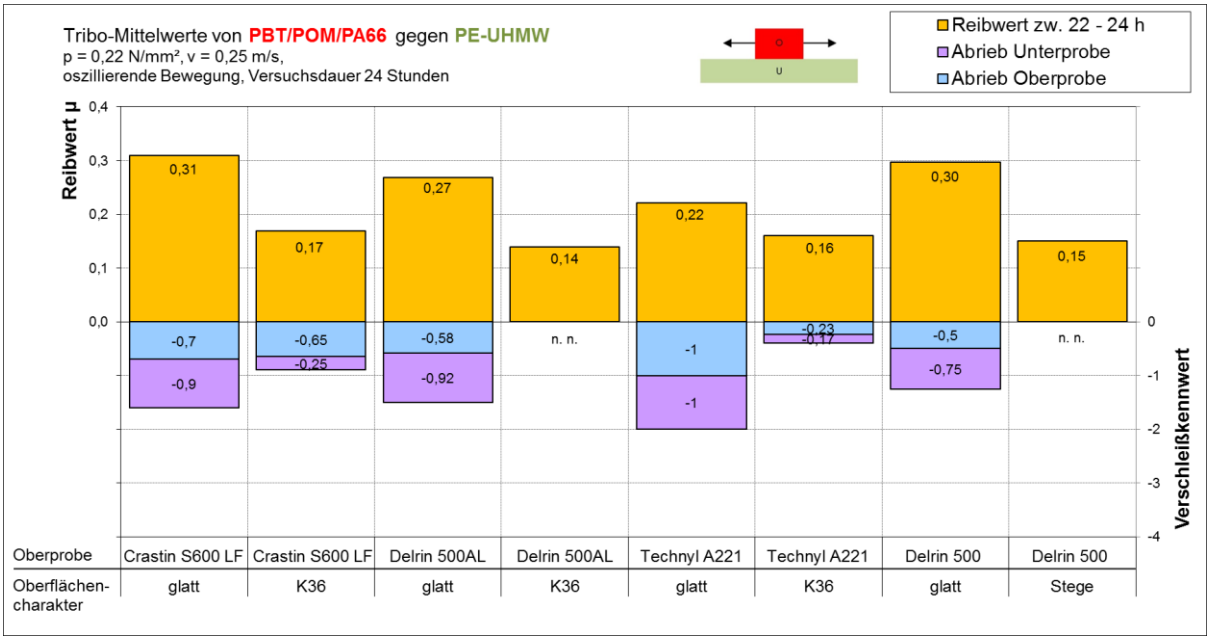


Abbildung 2: Reduktion des Reibwertes durch Mikrostrukturierung der Oberfläche aus [Ber13]

Aufbauend auf den genannten Erkenntnissen, werden in dieser Arbeit weiterführende Untersuchungen zu aperiodischen Oberflächenstrukturen vorgestellt. Anhand von drei verschiedenen Erodierstrukturen und einer Ätzstruktur werden die Parameter nominelle Flächenpressung, Gleitgeschwindigkeit und Werkstoffpaarung betrachtet.

2 Versuchsaufbau

Der auf dem Prüfsystem Platte-Platte basierende Prüfstand wurde am Institut für Fördertechnik und Kunststoffe der TU Chemnitz konzipiert und in [Sum11] umfassend vorgestellt.

Beim Test wird eine Oberprobe (10x15 mm) mit einer Normalkraft beaufschlagt und über eine ruhende Unterprobe bewegt (siehe Abbildung 3). Diese befindet sich auf einem reibungsfrei gelagerten Messtisch, welcher durch zwei senkrecht angeordnete Federbleche mit dem Gestell verbunden ist. Die durch die Bewegung resultierende Reibkraft führt zur Auslenkung des Messtisches, wobei sich die über einen Wegsensor erfasste Tischbewegung (im Messbereich) proportional zur Reibkraft verhält.

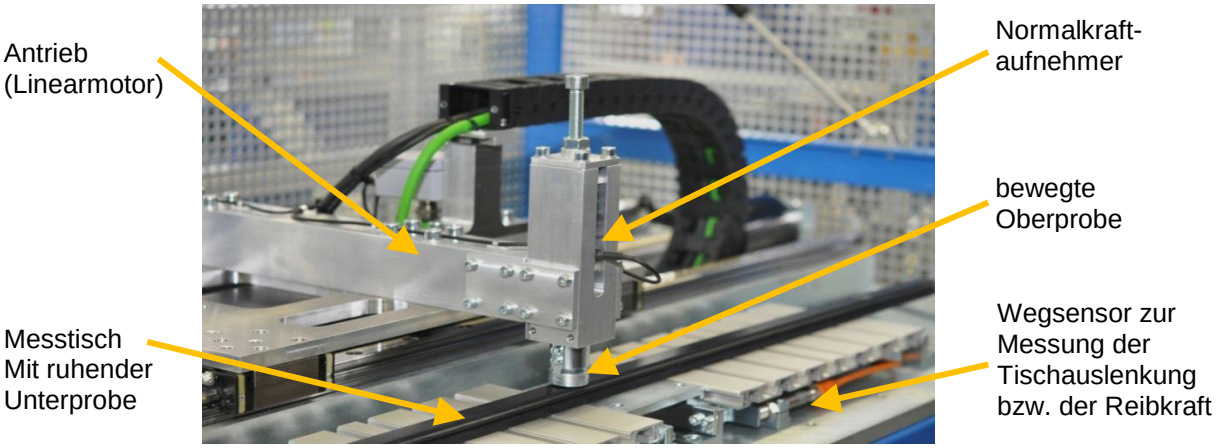


Abbildung 3: Detailaufnahme eines Messplatzes am Reibungs- und Verschleißprüfstand

Der Versuchsstand erlaubt eine Konfiguration der Reibpaarung hinsichtlich der Eingriffsdauer der Reibpartner. So befindet sich die Oberprobe während des Versuchs im Dauereinsatz, wohingegen die Unterprobe, in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Hub, einer wechselseitigen Be- und Entlastung unterliegt.

Die Versuchsparameter für die durchgeführten Untersuchungen sind:

- Mittlere Geschwindigkeit v = 0,1 - 0,25 m/s
- Normalkraft: 20 – 75 N (entspricht einer nominellen Flächenpressung p = 0,13 - 0,5 N/mm²)
- Versuchsdauer t = 24 h
- Hub: s = 100 mm
- Anzahl der Versuche pro Paarung: mind. 2

Die gewählte Versuchsdauer von 24 h stellt einen Mindestwert für tribologische Untersuchungen an Kunststoff-Kunststoffpaarungen dar. Diese besitzen ein ausgeprägtes Einlaufverhalten und zeigen zu Beginn der Ermittlung meist sehr niedrige Reibwerte ($\mu \approx 0{,}1$). Üblicherweise folgt danach ein Anstieg über mehrere Stunden, bis hin zur Sättigung auf ein repräsentatives (Langzeit-) Reibwertniveau.

3 Werkstoffe und ausgewählte Mikrostrukturen

Als Werkstoffe für die strukturierten Proben wurden ein PA66 (Firma BASF Ultramid®A3W), POM-H (Firma DuPont Delrin®511P) und POM-C (Firma Celanese Hostaform®C9021) untersucht.

Die dafür gewählten Strukturen sind:

- Strichpolitur (Kurzbezeichnung glatt)
- Erodierstruktur K27 (nicht bei Ultramid®A3W verfügbar, Kurzbezeichnung K27)
- Erodierstruktur K36 (Kurzbezeichnung K36)
- Erodierstruktur K42 (Kurzbezeichnung K42)
- Ätzstruktur K36 (Kurzbezeichnung Ätz K36)

Die Gegenkörper gehören beide der Werkstoffgruppe PE-UHMW an und unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Additivierung. Das Polystone® M-Natur der Firma Röchling ist ein Standardprodukt ohne Gleitadditive und Werkstoff "S" ® Schwarz der Firma Murtfeldt ist ein mit Graphit versetztes PE-UHMW. Dieses wird im folgenden Text mit „S-Schwarz“ abgekürzt.

4 Ergebnisse

4.1 Unterschied Oberprobe und Unterprobe strukturiert

Zu Beginn der gesamten Versuchsreihe sollte untersucht werden, welchen Einfluss die Wahl der Belastungsart der Proben am Prüfstand hat. Werden die strukturierten Proben als bewegte Oberprobe eingesetzt, sind sie im permanenten Eingriff und haben keine Entlastungszeit. Erfolgt die Verwendung als Unterprobe unterliegt die Probe nur beim Überfahren der Oberprobe einer lokalen Belastung und kann danach abkühlen bzw. retardieren.

In Abbildung 4 ist die Paarung Delrin®511P gegen S-Schwarz anhand von drei verschiedenen Rauigkeiten aufgeführt. Die blauen Balken zeigen die Verwendung des Delrin®511P als Unterprobe und die roten Balken die Verwendung als Oberprobe.

Ein deutlicher Unterschied in der Höhe des Reibwertes liegt beim Tausch der Proben nicht vor. Tendenziell ist der Reibwert bei Verwendung der strukturierten Probe als Oberprobe etwas niedriger.

Die Ergebnisse zeigen jedoch ein Sinken des Reibwertes mit zunehmender Rauigkeit der Erodierstruktur.

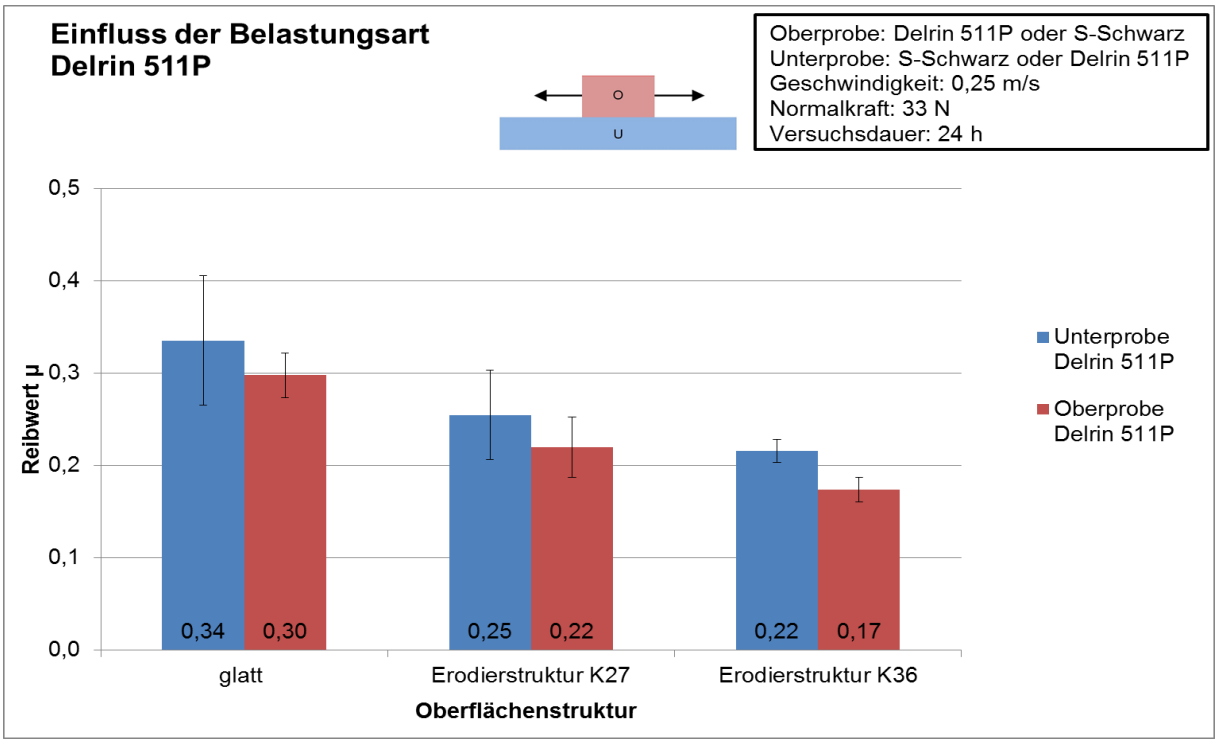


Abbildung 4: Vergleich zum Einfluss der Probekörperwahl Ober- und Unterprobe anhand der Paarung Delrin®511P – S-Schwarz

Abbildung 5 zeigt die Paarung Hostaform®C9021 gegen S-Schwarz anhand der drei gleichen Rauigkeiten. Ein deutlicher Unterschied zwischen der Verwendung als Ober- oder Unterprobe ist ebenfalls nicht ersichtlich. Grundsätzlich sinkt der Reibwert aber auch bei dieser Paarung mit zunehmender Rauigkeit.

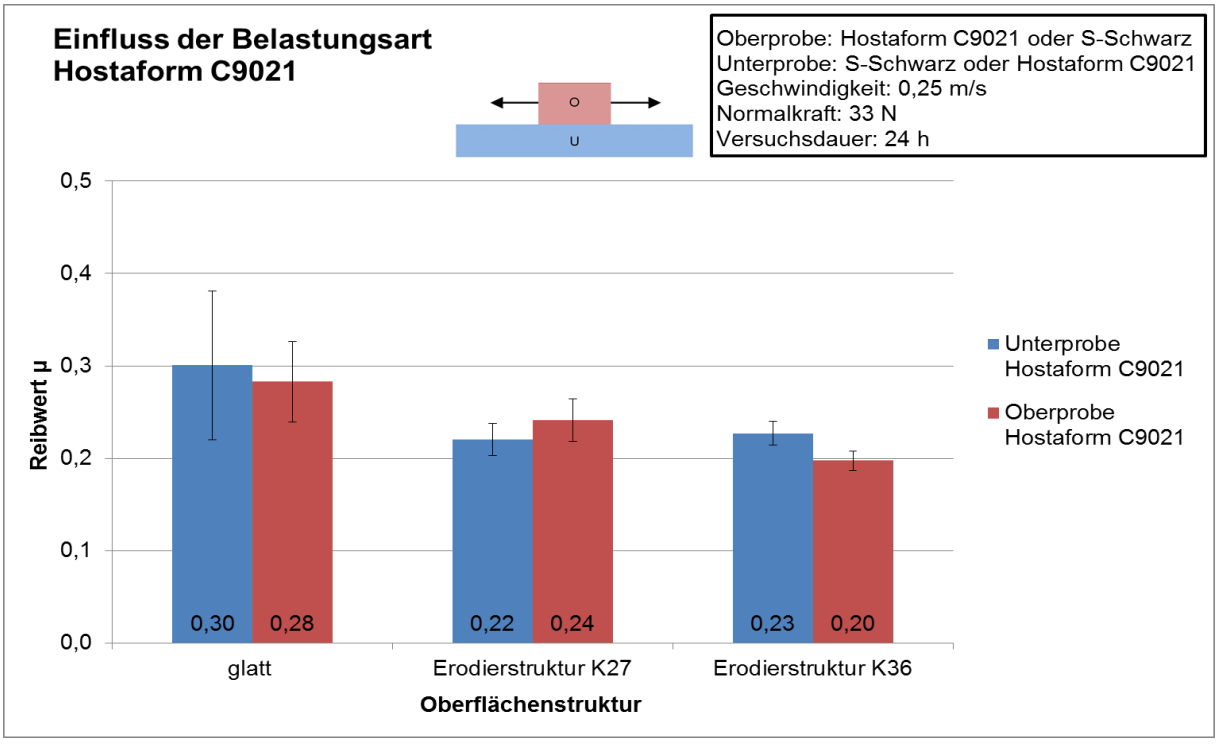


Abbildung 5: Vergleich zum Einfluss der Probekörperwahl Ober- und Unterprobe anhand der Paarung Hostaform®C9021 – S-Schwarz

4.2 Abhängigkeit des Reibwertes von der Normalkraft anhand einer Struktur

In folgender Abbildung 6 ist für die Paarung Delrin®511P gegen S-Schwarz eine Variation der Normalkraft dargestellt. Diese wurde anhand zweier verschiedener Oberflächenstrukturen, glatt und Erodierstruktur K36, durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen prinzipiell eine Senkung des Reibwertes durch die Verwendung der Erodierstruktur K36 über den gesamten untersuchten Normalkraftbereich. Dabei ist die Höhe der Reduktion stark kraft- und somit pressungsabhängig. Betrachtet man die glatten Proben, so durchlaufen diese bei F_N = 33 N ein Reibwertmaximum, wohingegen die erodierten Proben zwischen F_N = 15 N und 33 N kaum Unterschiede aufweisen und bei hoher Normalkraft ein Maximum im Reibwert besitzen.

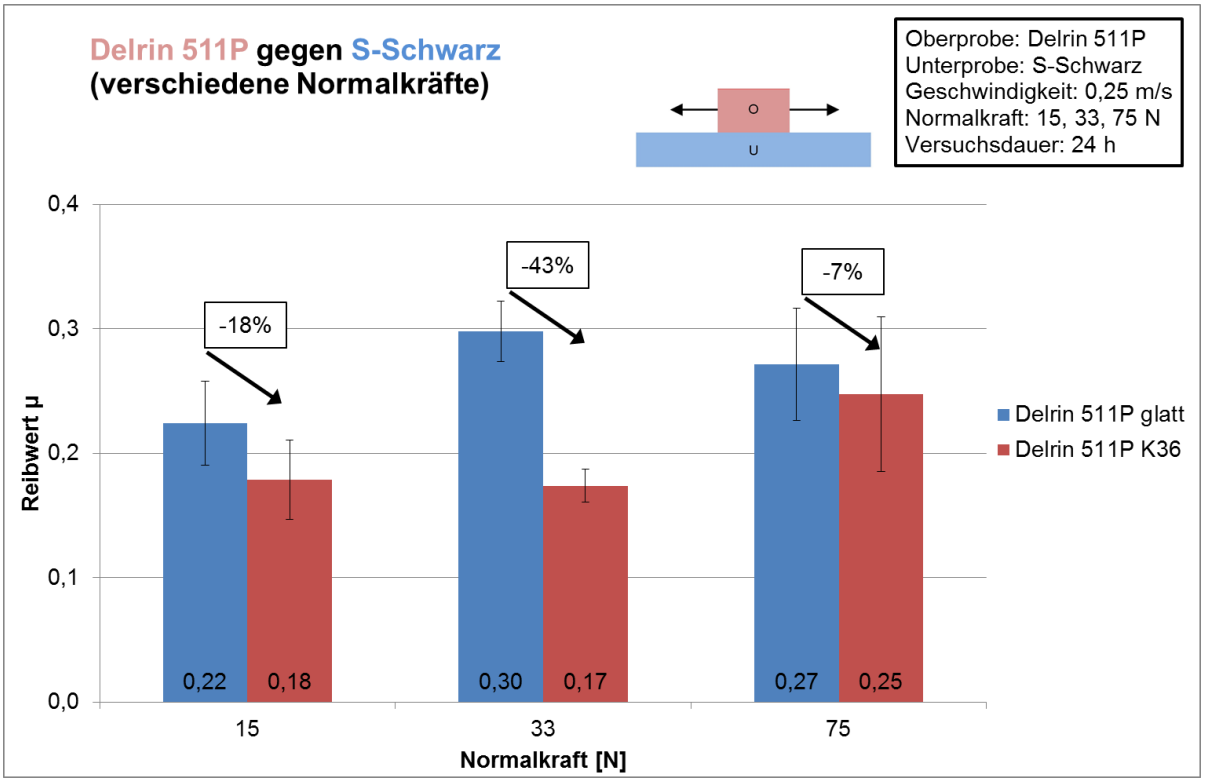


Abbildung 6: Variation der Normalkraft anhand der Paarung Delrin®511P – S-Schwarz (glatt und Erodierstruktur K36)

Das gleiche Verhalten konnte mit der Paarung Hostaform®C9021 gegen S-Schwarz (Abbildung 7) aufgezeigt werden. Hier liegt der größte prozentuale Unterschied im Reibwert ebenso bei der mittleren Belastung vor. Das Reibwertmaximum der glatten Proben liegt bei mittlerer Normalkraft und das Maximum der Erodierstruktur bei höchster Normalkraft vor.

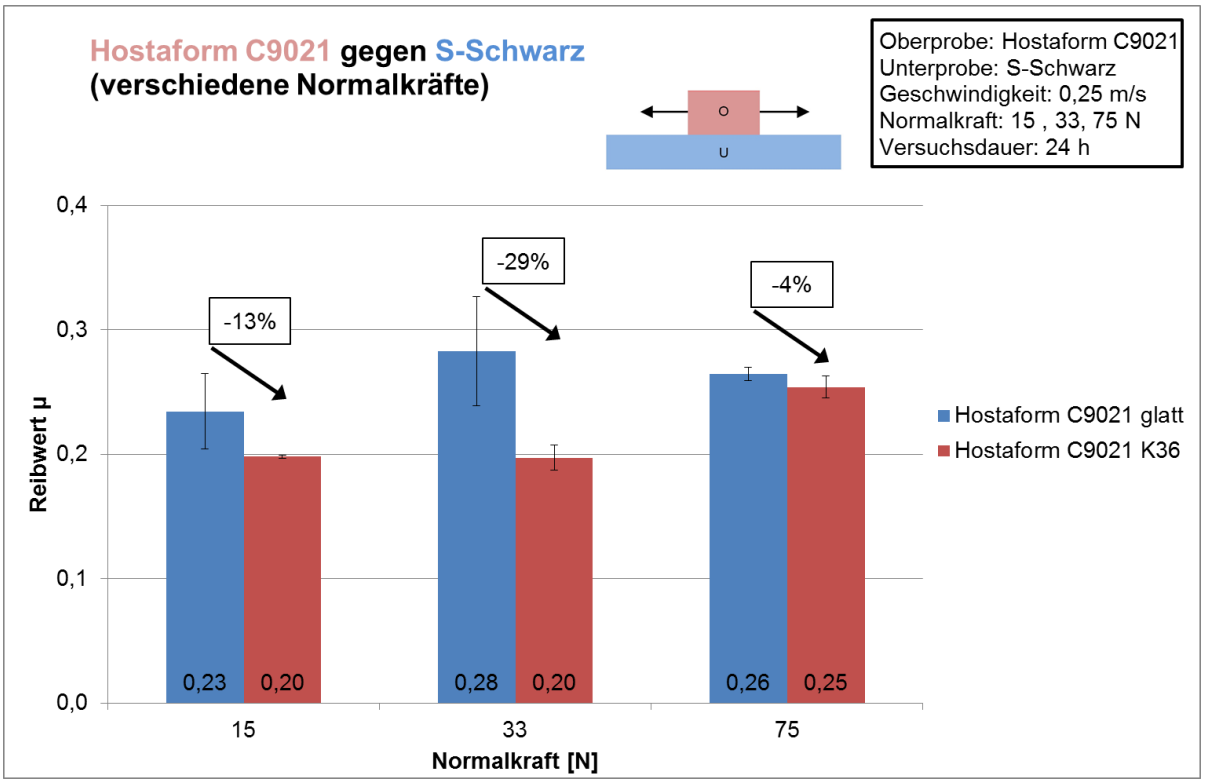


Abbildung 7: Variation der Normalkraft anhand der Paarung Hostaform®C9021 – S-Schwarz (glatt und Erodierstruktur K36)

4.3 Untersuchung von verschiedenen Strukturen

In folgenden Versuchsreihen wurden verschiedene Erodierstrukturen und eine Ätzstruktur mit glatten Probekörpern verglichen. Der erste Teil der Versuche wurde bei einer Geschwindigkeit von 0,1 m/s und bei zwei Normalkräften (F_N = 20 und 70 N) durchgeführt. Die zweite Versuchsreihe wurde bei v = 0,25 m/s und F_N = 33 N realisiert.

Anhand einer additiverten (S-Schwarz) und einer nichtaddivierten (Polystone®M-Natur) PE-UHMW Type, welche als Unterprobe verwendet wurden, soll der Einfluss von Gleitzusätzen bzw. Wechselwirkungen mit den Oberflächenstrukturen betrachtet werden.

4.3.1 POM-H gegen PE-UHMW bei 0,1 m/s

Abbildung 8 zeigt den Vergleich von Delrin®511P gegen das nichtaddivierte PE-UHMW Polystone®M-Natur.

Zunächst fällt der Unterschied im Reibwert der glatten Proben auf. Bei erhöhter Normalkraft liegt eine Reibwertsteigerung von 100% im Vergleich zur niedrigen Normalkraft vor. Dieser deutliche Unterschied kann bei den strukturierten nicht beobachtet werden. Mit Steigerung der Rauigkeit wird bei den Erodierstrukturen der Reibwert kontinuierlich gesenkt. Bei

F_N = 20 N liegt allerdings nur die raueste Erodierstruktur K42 unter dem Reibwert einer glatten Probe. Zwischen der Erodierstruktur K36 und der vergleichbaren Ätzstruktur K36 liegen keine Unterschiede im Reibwert vor.

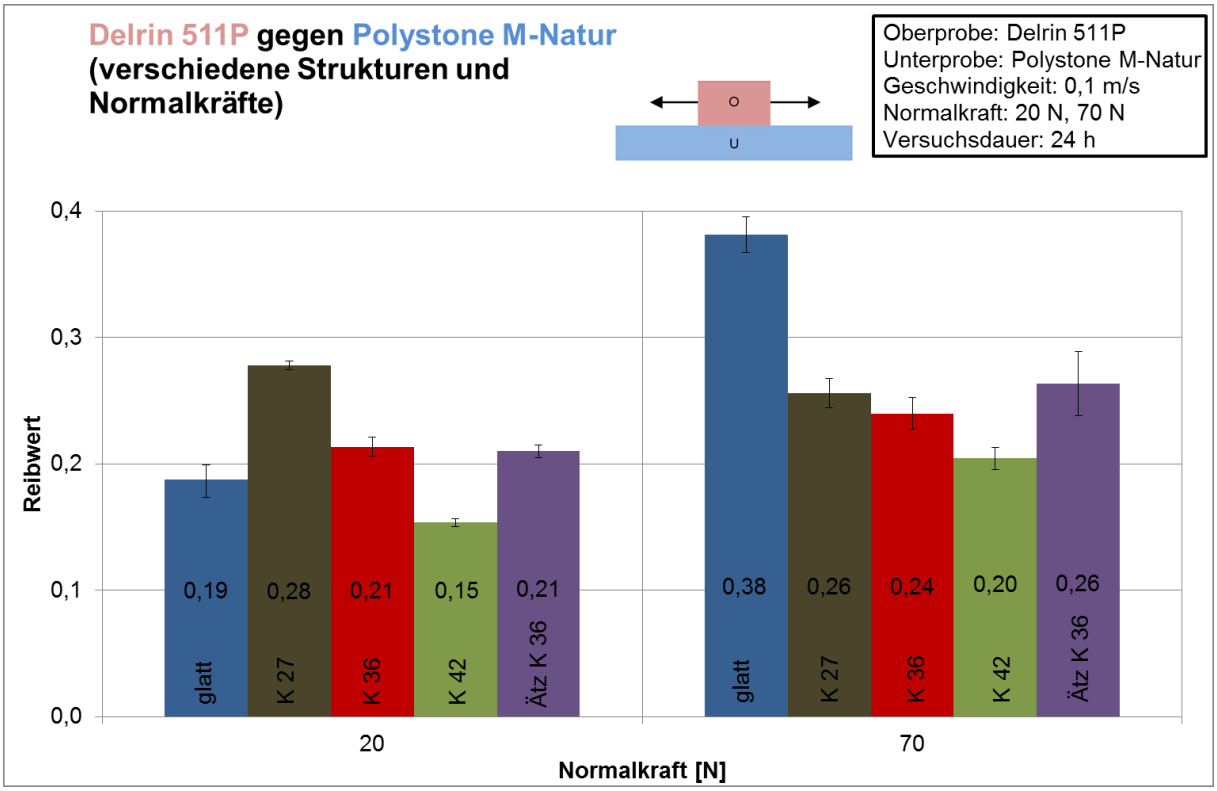


Abbildung 8: Delrin®511P gegen Polystone®M-Natur unter Variation der Oberflächenstruktur und Normalkraft

Die gleiche Untersuchung, nur unter Verwendung eines geschmierten PE-UHMW (S-Schwarz), ist in Abbildung 9 dargestellt. Generell ist der Reibwert aller Proben dabei niedriger als bei der Untersuchung gegen das nichtadditivierte Polystone®M-Natur. Tendenziell sind bei geringer Normalkraft die Reibwerte reduziert. Eindeutige Unterschiede bei den Erodierstrukturen sind nicht ersichtlich. Bei geringer Normalkraft könnte man auf eine Senkung des Reibwertes bei Erhöhung der Rauigkeit schließen, allerdings liegt bei Erodierstruktur K42 eine große Streuung vor. Die Ätzstruktur K36 zeigt bei beiden Normalkräften jeweils den höchsten Reibwert und liegt damit noch über dem der glatten Proben.

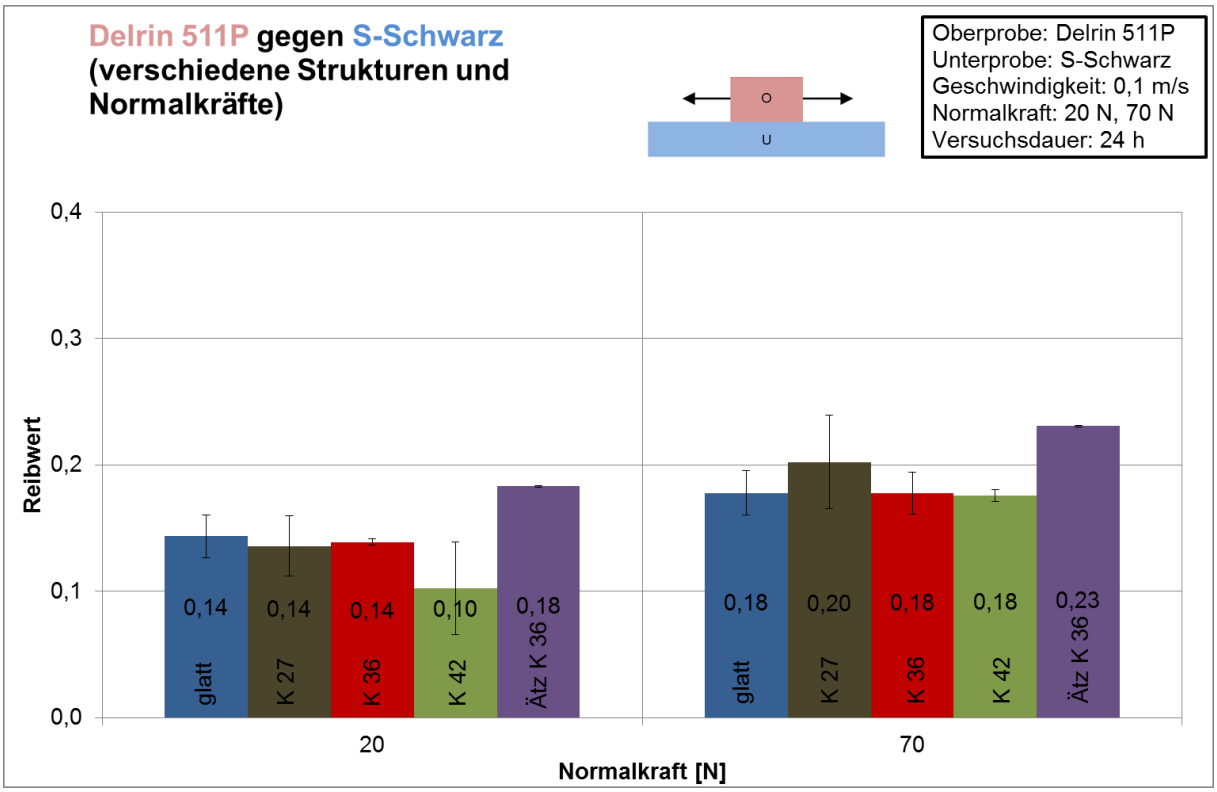


Abbildung 9: Delrin®511P gegen S-Schwarz unter Variation der Oberflächenstruktur und Normalkraft

4.3.2 PA66 gegen PE-UHMW bei 0,1 m/s

Folgende Abbildung 10 zeigt den Vergleich der Paarung Ultramid®A3W gegen ein nichtaddiviertes PE-UHMW Polystone®M-Natur.

Alle Proben zeigen dabei bei F_N = 70 N einen höheren Reibwert als bei niedriger Normalkraft. Mit steigender Rauigkeit fällt der Reibwert kontinuierlich, wobei sich die Ätzstruktur K36 und Erodierstruktur K36 jeweils kaum unterscheiden. Der niedrigste Reibwert wird bei Verwendung von Erodierstruktur K42 erzielt.

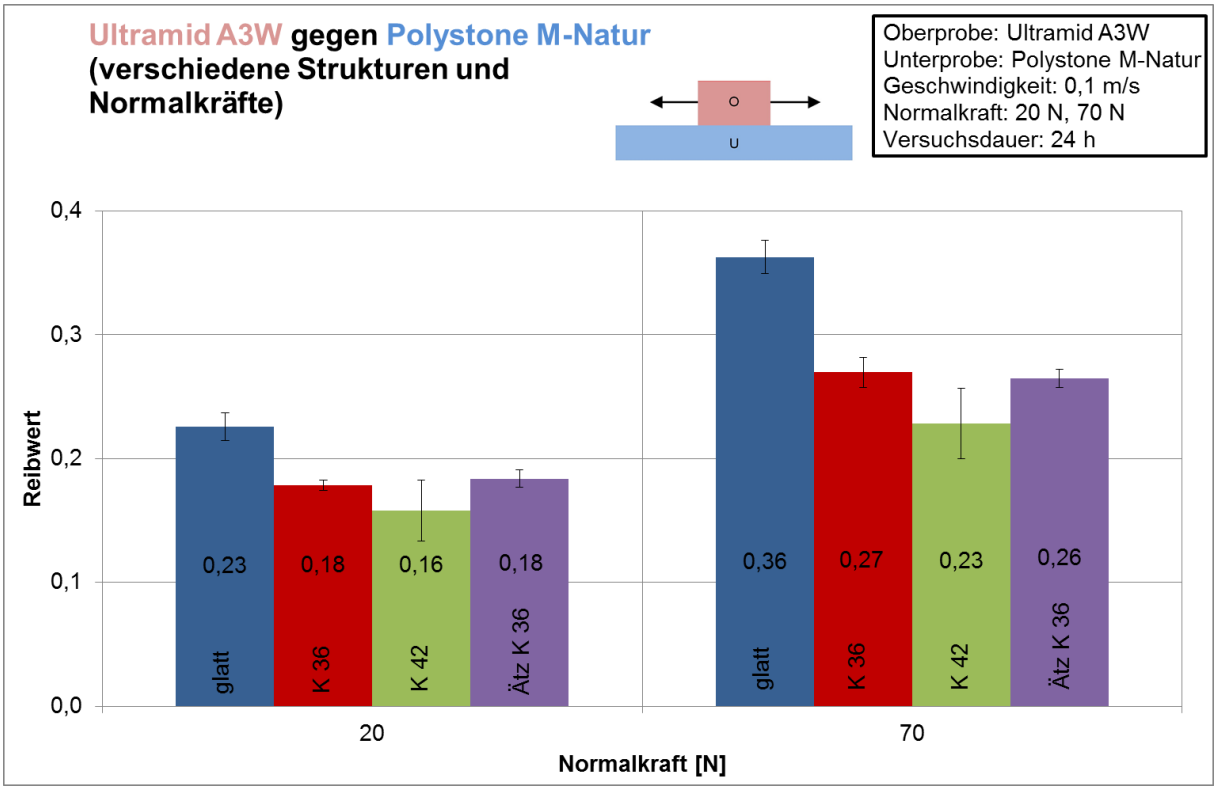


Abbildung 10: Ultramid®A3W gegen Polystone®M-Natur unter Variation der Oberflächenstruktur und Normalkraft

In folgender Abbildung 11 sind die Ergebnisse der Paarung Ultramid®A3W gegen ein addiviertes PE-UHMW S-Schwarz dargestellt.

Die Gleitadditive im PE-UHMW führen zu einer generellen Reduktion der Reibwerte gegenüber einem Standard PE-UHMW. Insbesondere bei hohen Normalkräften wird der Unterschied anhand der glatten Probekörper deutlich.

Bei F_N = 20 N ist nahezu kein Unterschied im Reibwert bei verschiedenen Strukturen ersichtlich. Mit Erhöhung der Rauigkeit steigt dieser sogar leicht an. Bei F_N = 70 N ist hingegen eine Reduktion des Reibwertes bei Erhöhung der Rauigkeit sichtbar.

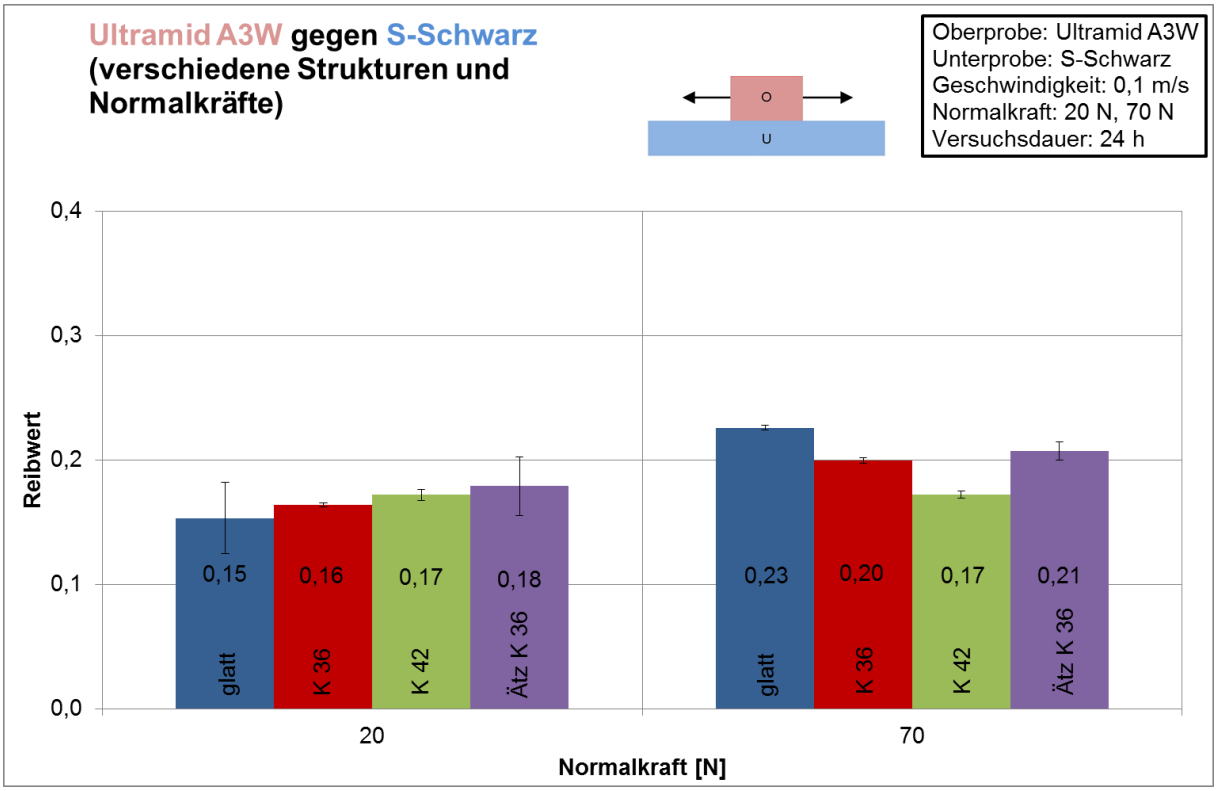


Abbildung 11: Ultramid®A3W gegen S-Schwarz unter Variation der Oberflächenstruktur und Normalkraft

4.3.3 POM-H, POM-C und PA66 gegen PE-UHMW bei 0,25 m/s

In der abschließenden Untersuchung wurden alle Werkstoffe im, wie in Abschnitt 4.2 beschriebenen, günstigen Lastbereich von F_N = 33 N und mittlerer Gleitgeschwindigkeit von 0,25 m/s untersucht. Alle vorliegenden Strukturen wurden gegen das nichtadditivierte und additivierte PE-UHMW getestet.

In Abbildung 12 sind die strukturierten Werkstoffe gegen Polystone®M-Natur aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass mit zunehmender Rauigkeit der Reibwert sinkt. Erodierstruktur K42 hat dabei bei allen Werkstoffen den niedrigsten Reibwert. Die Ätzstruktur K36 lässt sich im Bereich der Erodierstruktur K36 anordnen.

Der Unterschied zwischen den verschiedenen Werkstoffen fällt dabei sehr gering aus.

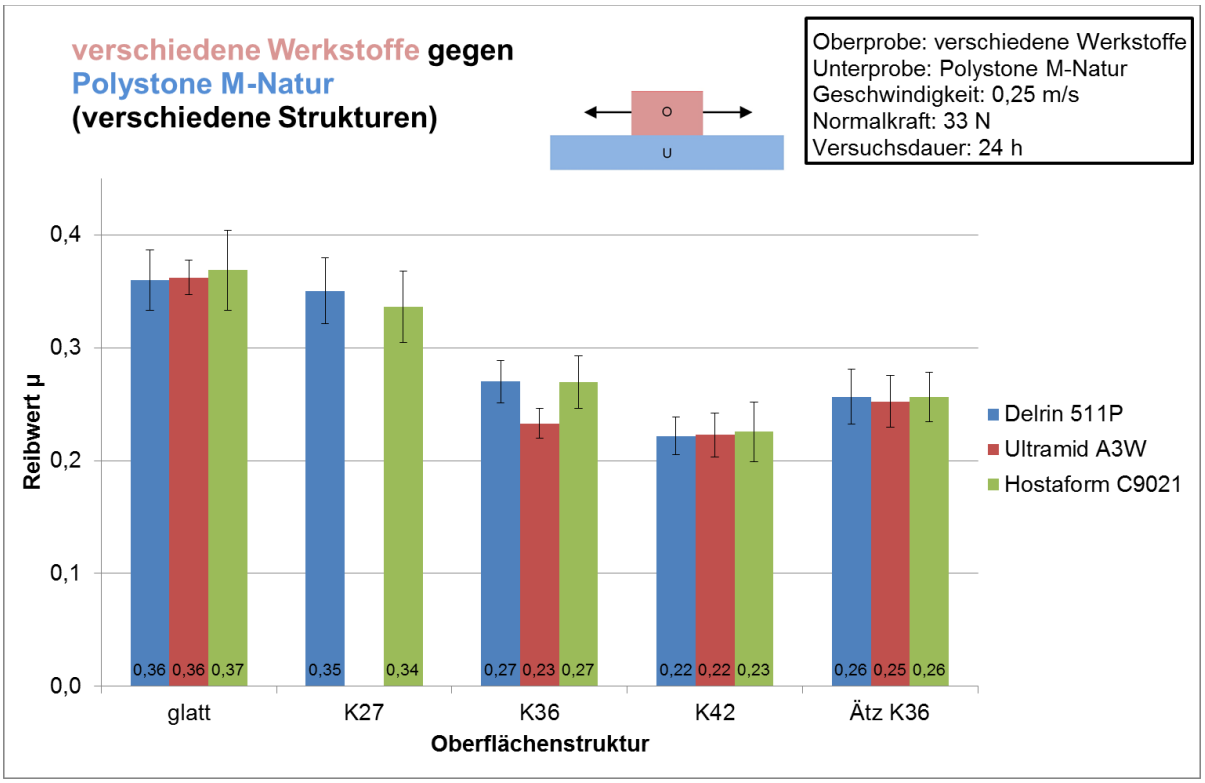


Abbildung 12: Werkstoffe Delrin®511P, Hostaform®C9021 und Ultramid®A3W gegen Polystone®M-Natur unter Variation der Oberflächenstruktur

Die in Abbildung 13 dargestellte Versuchsreihe gegen S-Schwarz lässt ähnliche Tendenzen erkennen. Der Reibwert sinkt mit zunehmender Rauigkeit der Struktur und der niedrigste Reibwert wird bei Erodierstruktur K42 erzielt. Einzige Ausnahme bildet der Werkstoff Delrin®511P, der bereits bei Erodierstruktur K36 sein Reibwertminimum hat.

Generell sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Strukturen geringer ausgeprägt als bei Verwendung des nichtadditivierten Polystone®M-Natur.

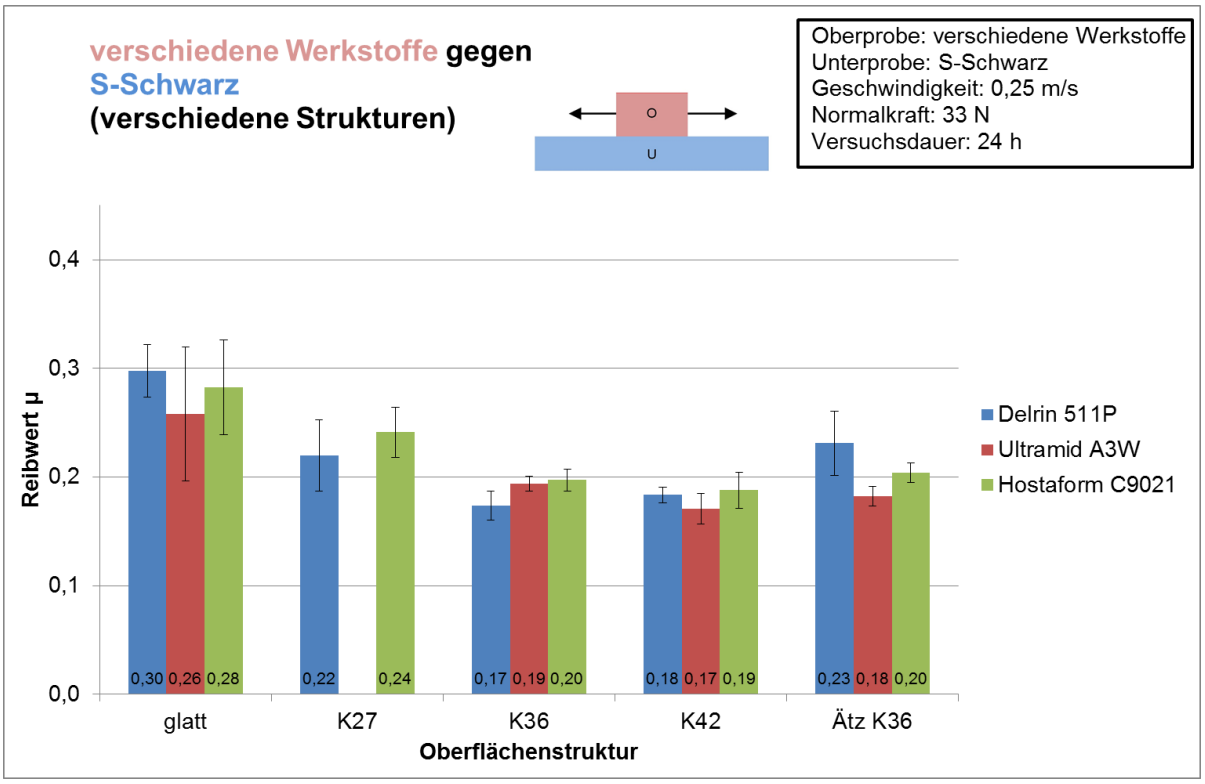


Abbildung 13: Werkstoffe Delrin®511P, Hostaform®C9021 und Ultramid®A3W gegen S-Schwarz unter Variation der Oberflächenstruktur

4.4 Verschleißbetrachtung

Über die gesamte Versuchsreihe fällt der Verschleiß sehr gering aus. In seltenen Fällen liegt minimaler Partikelabrieb vor oder lokale Aufschmelzungen an den PE-UHMW Probekörpern sind sichtbar. Exemplarisch ist in Abbildung 14 ein Versuch mit verhältnismäßig starkem Verschleiß abgebildet. Bei der Paarung handelt es sich um einen glatten Probekörper unter Wirkung einer hohen Normalkraft von F_N = 75 N. Die PE-Probe zeigt deutliche Aufschmelzerscheinungen, was auf eine starke Erwärmung infolge von Reibung zurückzuführen ist. In Abbildung 15 ist der Temperaturverlauf während des Reibtests angetragen und die Temperatur steigt demnach bereits zu Beginn auf 130 °C. Diese liegt merklich über der Dauergebrauchstemperatur von 80 °C und sorgt für ein Erweichen des Werkstoffes. Der Reibwert unterliegt im weiteren Verlauf auch starken Sprüngen, was ebenfalls auf die Temperaturschwankungen zurückgeführt werden kann.

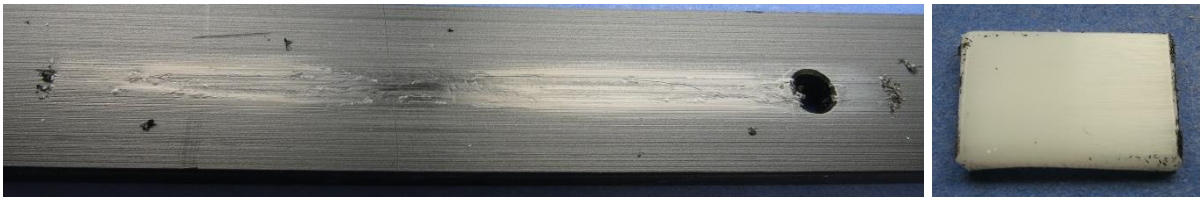


Abbildung 14: Probekörper nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 75 N
links) Gleitschiene S-Schwarz
rechts) Delrin®511P glatt

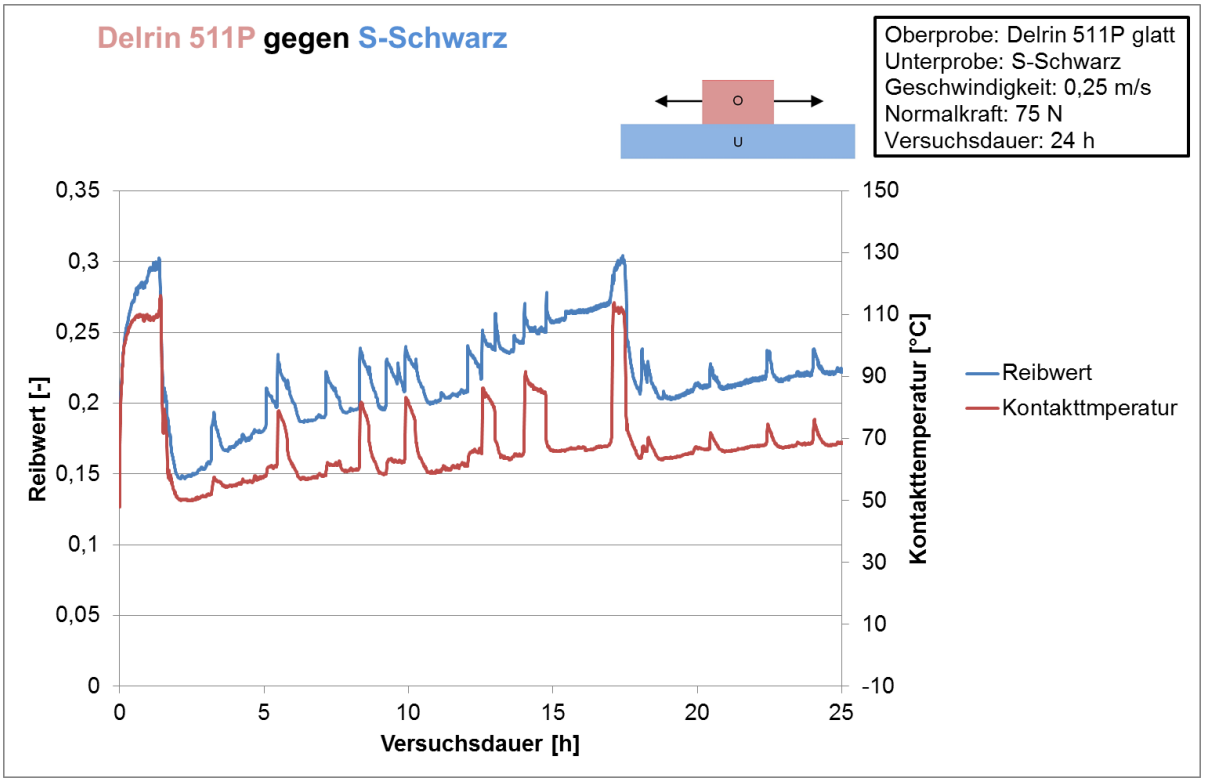


Abbildung 15: Reibwert- und Temperaturverlauf der Paarung
Delrin®511P glatt – S-Schwarz

Im ideal wirkenden Lastbereich der Erodierstrukturen bei F_N = 33 N und v = 0,25 m/s sind die Verschleißerscheinungen minimal. Folgende Abbildung 16 zeigt exemplarisch die nur leichten Glanzunterschiede an den PE-Proben. Die Oberfläche ist dabei minimal geglättet und Abrieb ist nicht sichtbar. Die erodierte Probe weist keine sichtbaren Verschleißerscheinungen auf. Betrachtet man den Reibwert- und Temperaturverlauf in Abbildung 17 wird der geringe Verschleiß durch sehr niedrige Reibtemperaturen von max. 37 °C und einem sehr stabilen und wenig schwankenden Reibwert über der Zeit begleitet.



Abbildung 16: Probekörper nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 75 N
links) Gleitschiene S-Schwarz mit markiertem Laufbereich
rechts) Hostaform®C9021 Erodierstruktur K42

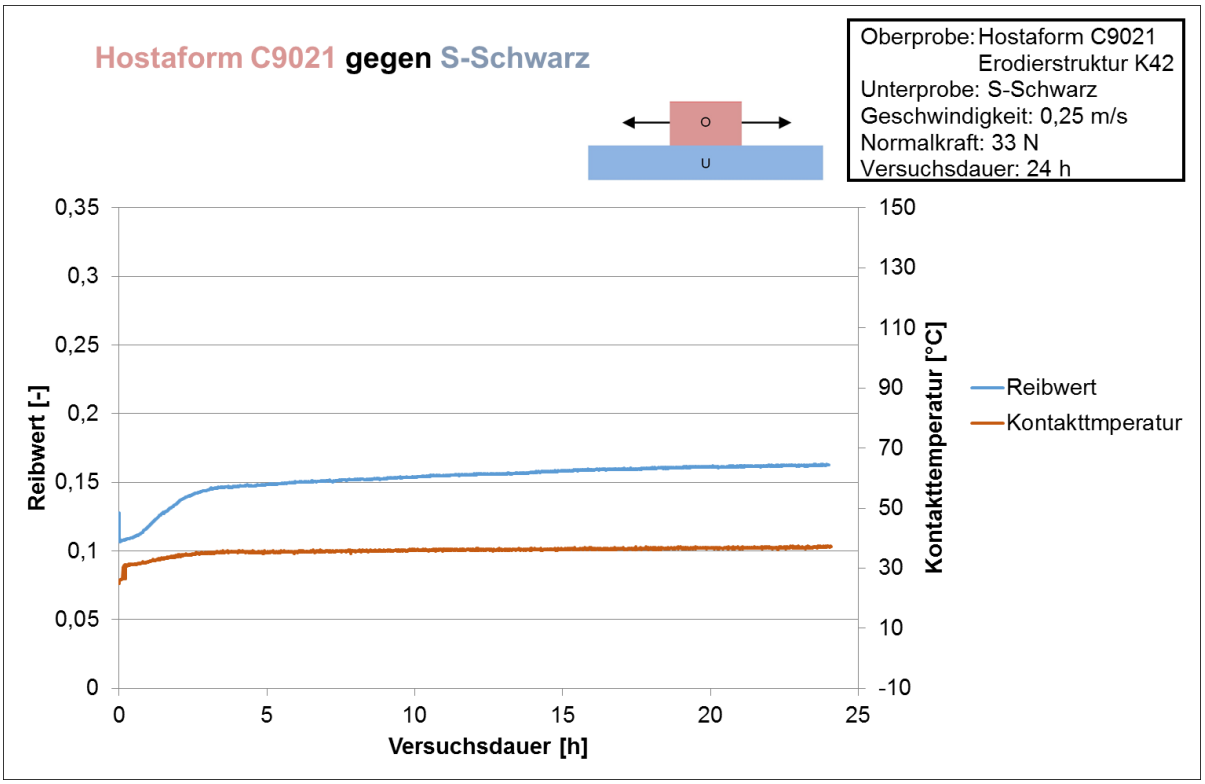


Abbildung 17: Reibwert- und Temperaturverlauf der Paarung
Hostaform®C9021 Erodierstruktur K42 – S-Schwarz

Aufgrund des sehr geringen Verschleißes an den strukturierten Proben wurden mithilfe eines Laserscan Mikroskops Keyence VK-9710 3D Aufnahmen mit einer 400-fachen Vergrößerung angefertigt. In Abbildung 18 ist am Beispiel der Probe Delrin®511P mit Erodierstruktur K36 eine ungelaufene und eine Probe nach einem 24 h Reibversuch dargestellt. Aufgrund der hohen Normalkraft von F_N = 75 N und der hohen Reibgeschwindigkeit von v = 0,25 m/s sind

Verschleißerscheinungen erkennbar. Im Vergleich zur ungelaufenen Probe ist anhand des 3D-Bildes der gelaufenen Probe eine deutliche Plateaubildung einzelner Hügelbereiche sichtbar. Diese Zonen repräsentieren die reale Kontaktzone während der Reibversuche.

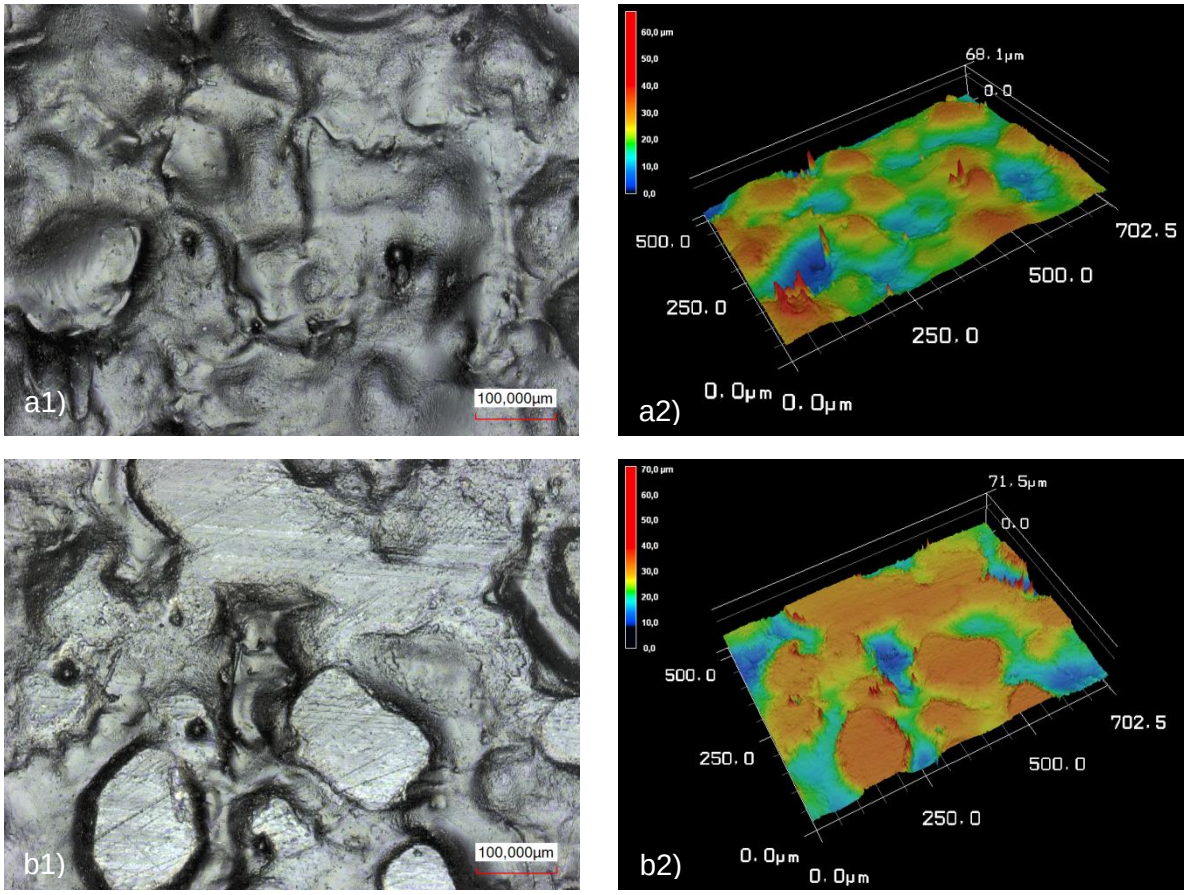


Abbildung 18: Detailaufnahmen von Delrin®511P mit Erodierstruktur K36
a1 und a2) im Originalzustand
b1 und b2) nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 75 N

Bei geringen Normalkräften von F_N = 33 N hingegen tritt der Verschleiß weniger ausgeprägt auf. Folgende Abbildungen zeigen den Werkstoff Hostaform®C9021 mit verschiedenen Strukturen im Originalzustand und nach einem 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 33 N. Eine Zusammenfassung der Rauigkeitskenngrößen befindet sich in Abbildung 24.

Der glatte Probekörper (Abbildung 19) weist im Originalzustand leichte Rillen und Kratzer auf, welche durch die Abformung der Oberfläche des Spritzgusswerkzeuges entstanden. Die gelaufene Probe zeigt hingegen deutlich mehr feinere Kratzer, welche enger beieinander liegen. So nimmt der arithmetischer Mittenrauwert R_a von 0,8 auf 0,5 µm ab und die gemittelte Rautiefe R_Z wird von 9,4 auf 4,5 µm halbiert. Beide Parameter lassen auf einen Abtrag der Rauigkeitsspitzen infolge von Reibung schließen.

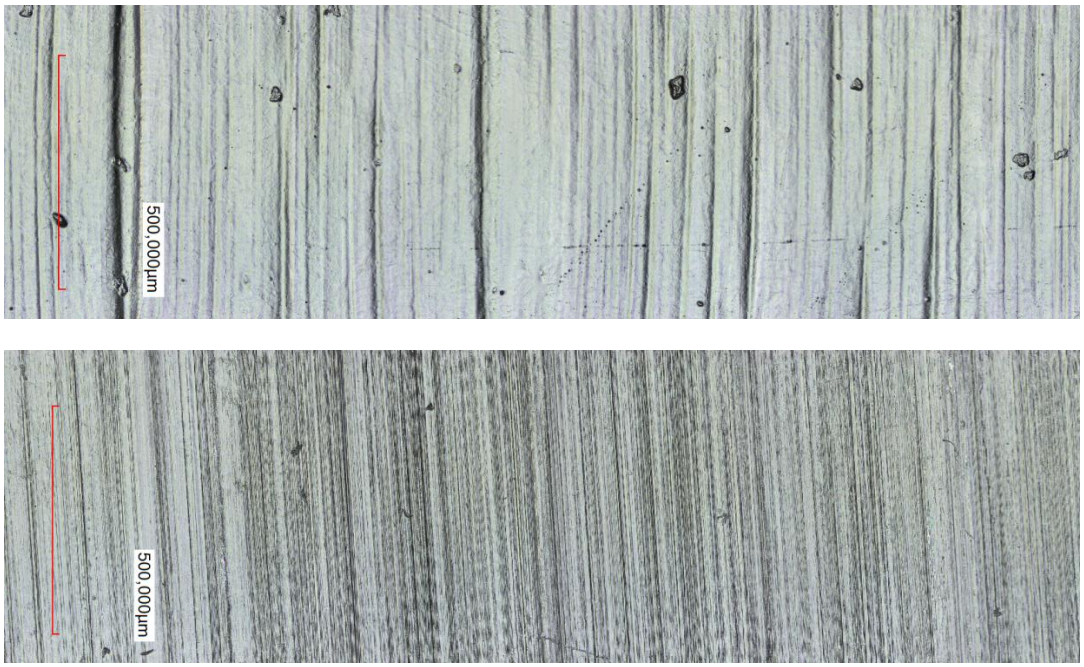


Abbildung 19: Detailaufnahme Hostaform®C9021 glatt; ungelaufen und gelaufen nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 33 N

Die in Abbildung 20 dargestellte Erodierstruktur K27 zeichnet sich durch eine zerklüftete Oberfläche mit vielen abgerundeten Erhebungen aus. Infolge von Reibung werden die erhabenen Stellen teilweise abgetragen und es kommt zur Ausbildung von lokalen Plateaus, die die Kontaktfläche zum Gegenkörper bilden. Die Rauigkeitskenngrößen R_a und R_Z verändern sich dabei kaum (gelaufen R_a = 2,0 µm; R_Z = 20,4 µm).

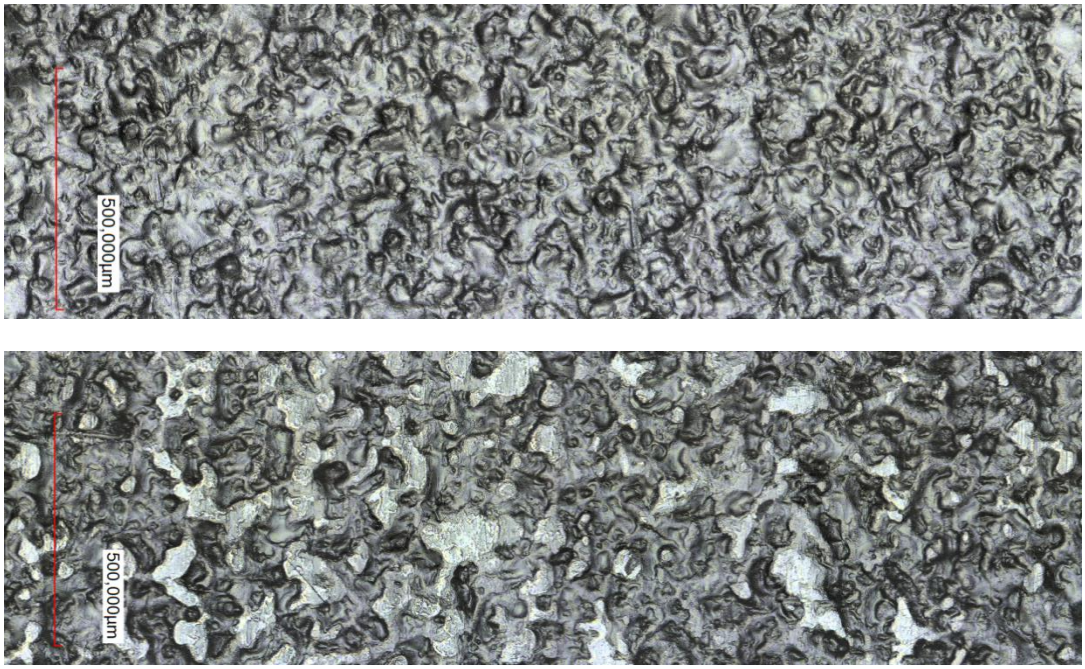


Abbildung 20: Detailaufnahme Hostaform®C9021 Erodierstruktur K27; ungelaufen und gelaufen nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 33 N

Wie in folgender Abbildung 22 erkennbar wird die Strukturtiefe mit zunehmender K-Klasse größer. So steigen die Rauigkeitskenngrößen bei Erodierstruktur K36 auf R_a = 5,1 µm und

R_Z = 40,9 µm. Infolge der Reibung werden nur wenige Bereiche abgerieben und nur die gemittelte Rautiefe R_Z erfährt eine merkliche Reduktion auf R_Z = 34,4 µm.

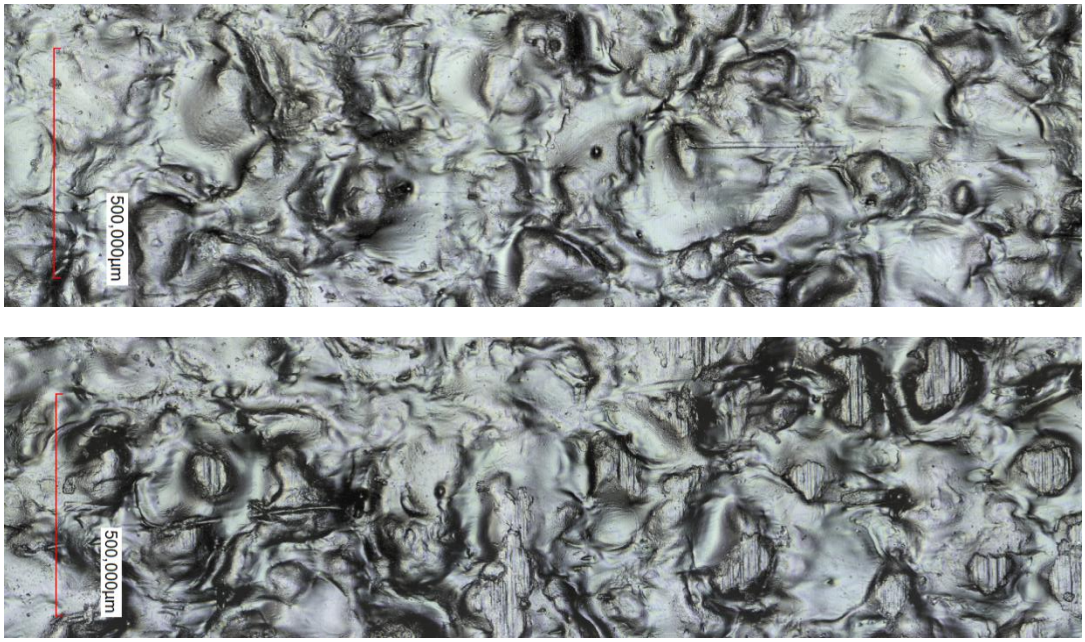


Abbildung 21: Detailaufnahme Hostaform®C9021 Erodierstruktur K36; ungelaufen und gelaufen nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 33 N

Mit Erodierstruktur K42 liegt die raueste Struktur der Versuchsreihe vor (Abbildung 22). Im Vergleich zu K36 ist R_a = 16,5 µm und R_Z = 116,6 µm um ca. Faktor 3 höher. Die sich ausbildenden Plateaus liegen nur in geringer Zahl vor, dafür nimmt deren Größe zu. Nach dem Reibversuch liegen R_a = 14,9 µm und R_Z = 97,7 µm vor, was auf einen Abrieb der größten Erhebungen zurückzuführen ist.

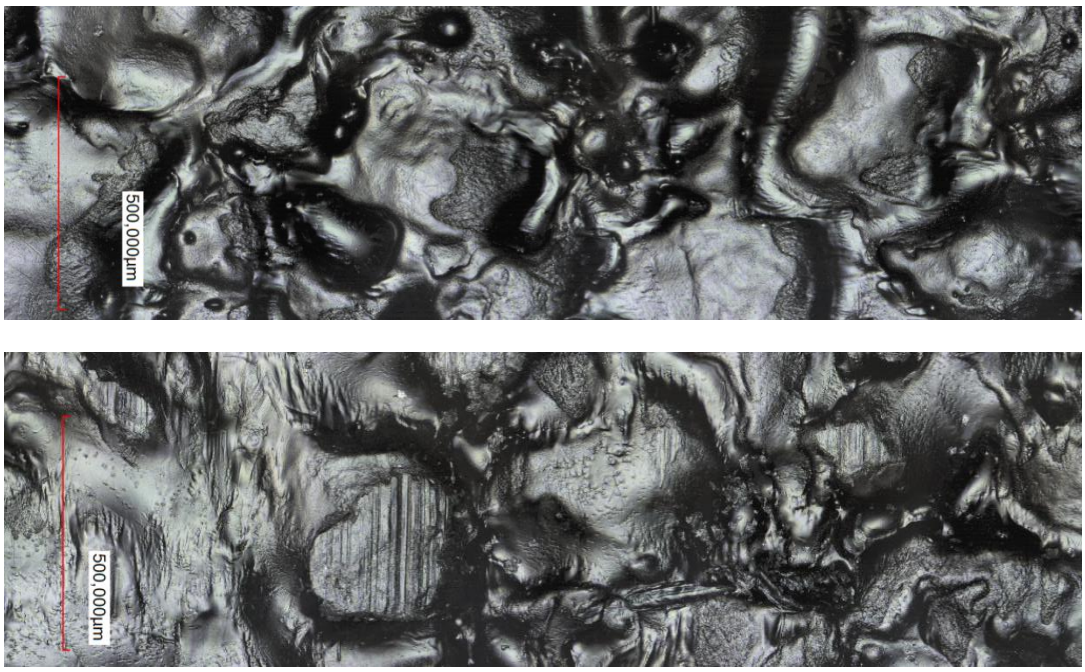


Abbildung 22: Detailaufnahme Hostaform®C9021 Erodierstruktur K42; ungelaufen und gelaufen nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 33 N

Bereits der haptische Vergleich zwischen Ätz- und Erodierstruktur ergibt deutliche Unterschiede. Die Ätzstruktur vermittelt einen wesentlich griffigeren Eindruck, wohingegen die Erodierstruktur durch die abgerundeten Erhebungen weniger „verhakend“ wirkt.

Die Ätzstruktur K36 zeichnet sich durch eine Überlagerung aus grober Struktur mit ausgeprägten Vertiefungen und einer engmaschigen feinen richtungsgebundenen Struktur aus. Hinzu kommt eine Mikrorauigkeit mit kleinen Unebenheiten, welche bei den Erodierstrukturen nicht vorliegen. Die Rauigkeitskenngrößen im ungelaufenem Zustand liegen demzufolge mit R_a = 7,6 µm und R_Z = 64,7 µm auch deutlich über denen von Erodierstruktur K36. Die Verschleißbereiche der gelaufenen Probekörper beschränken sich ebenfalls nur auf wenige Rauigkeitserhebungen, weshalb bei den gelaufenen Proben nur R_Z auf 48,9 µm deutlich sinkt.

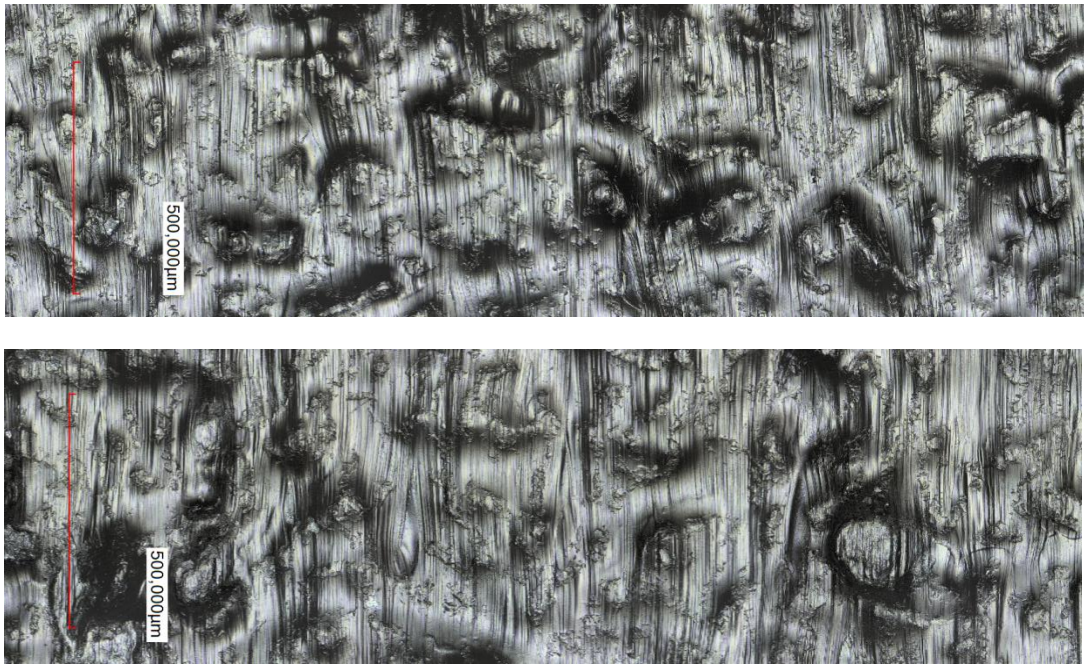


Abbildung 23: Detailaufnahme Hostaform®C9021 Ätzstruktur K36; ungelaufen und gelaufen nach 24 h Reibversuch mit v = 0,25 m/s und F_N = 33 N

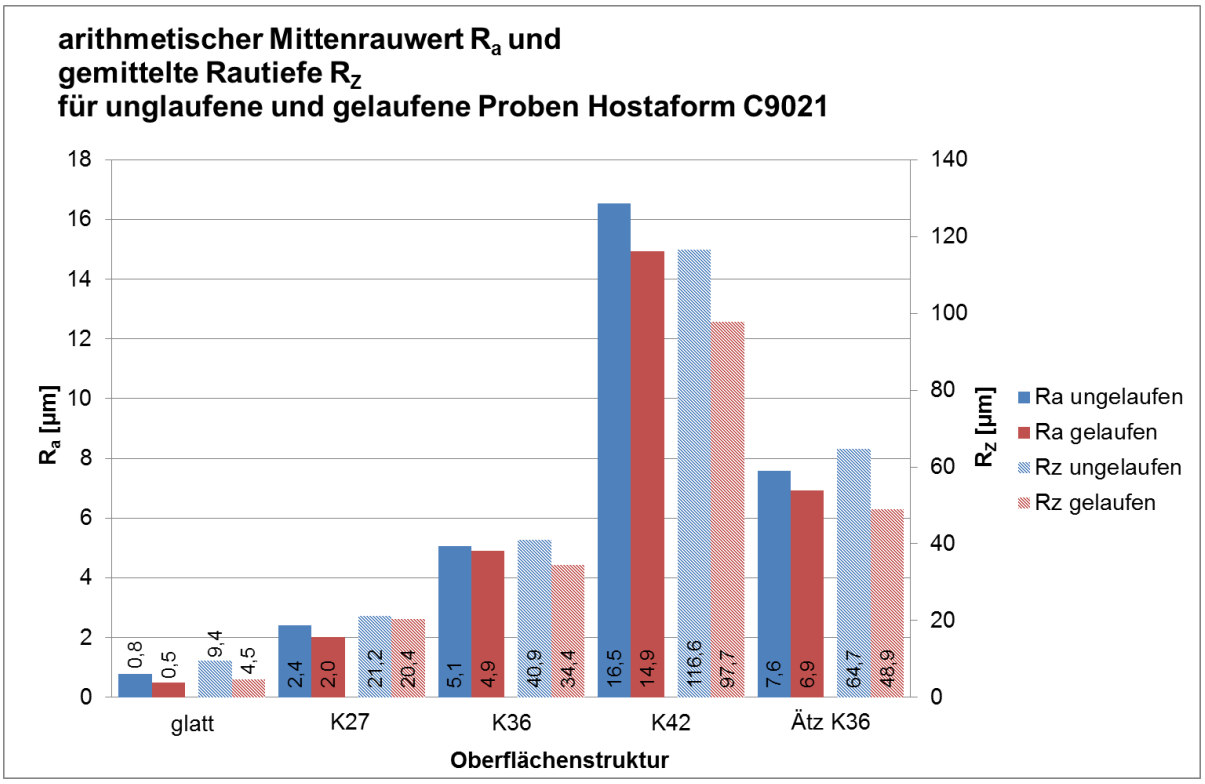


Abbildung 24: arithmetischer Mittenrauwert R_a und gemittelte Rautiefe R_Z von Hostaform®C9021 Proben mit verschiedenen Oberflächenstrukturen

Zusammengefasst kann der Verschleiß an den verschiedenen Strukturen als relativ gering eingeschätzt werden. Anhand der Werte in Abbildung 24 ist besonders bei den raueren Strukturen ein Absinken von R_Z ersichtlich, was auf einen Abtrag der Rauigkeitsspitzen zurückzuführen ist.

5 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Untersuchung sollten die Wechselwirkung zwischen Oberflächenstruktur und deren Auswirkung auf Reibwert und Verschleiß betrachtet werden.

Anhand von verschiedenen Polymerwerkstoffpaarungen mit Erodier- und einer Ätzstruktur sowie der Variation der Parameter Belastungszustand (Dauereingriff, Wechselbelastung), Gleitgeschwindigkeit und Normalkraft wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt.

Zusammengefasst wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

1) Die Reibwertunterschiede hinsichtlich der *Belastungsart*, also die Verwendung der strukturierten Proben im Dauereingriff oder unter wechselnder Belastung, fallen sehr gering aus. Die reibreduzierende Wirkung der Strukturen konnte unter beiden Beanspruchungen nachgewiesen werden.
2) Durch die *Verwendung von Strukturen* kann der Reibwert im Vergleich zu glatten Proben deutlich gesenkt werden. In Ausnahmefällen, vor allem bei Gleitgeschwindigkeiten von

v = 0,1 m/s, liegt allerdings keine Reduktion vor. So steigt z. B. bei der Paarung Ultramid®A3W gegen S-Schwarz der Reibwert kontinuierlich mit der Rauigkeit der Struktur an.

3) Liegt eine Reduktion des Reibwertes durch Strukturen vor, dann ist diese rauigkeitsabhängig und nimmt mit zunehmender Strukturtiefe zu. Somit besitzt die raueste Erodierstruktur K42 immer den *niedrigsten Reibwert*.
4) Eine Abhängigkeit des Reibwertes von der *Normkraft* wurde gefunden. Grundlegend steigt der Reibwert bei den untersuchten Werkstoffpaarungen mit Erhöhung der Normalkraft an. Teils existieren aber lokale Minima wie z. B. bei v = 0,25 m/s und F_N = 33 N.
5) Der Einfluss der *Reibgeschwindigkeit* konnte anhand des Vergleichs von v = 0,1 und 0,25 m/s aufgezeigt werden. Bei geringer Geschwindigkeit von v = 0,1 m/s sind die Reibwerte deutlich niedriger als bei v = 0,25 m/s.
6) Durch Verwendung der additivierten *PE-UHMW* Type S-Schwarz konnten durchweg niedrigere Reibwerte als mit der Standardtype Polystone®M-Natur erzielt werden. Die Reduktion liegt im Durchschnitt bei 20%.
7) Der *Verschleiß* an den Strukturen ist durch einen geringen Abtrag lokaler Rauigkeitsspitzen gekennzeichnet. Nach den Versuchen kann mit Hilfe der Rauigkeitsparameter R_a und R_Z eine leichte Glättung festgestellt werden, wobei die gemittelte Rautiefe R_Z deutlicher abnimmt.

Die Ergebnisse stellen damit weitere Ansatzpunkte bezüglich der reibreduzierenden Wirkung von Erodier- und Ätzstrukturen dar. Allerdings zeigen die teils konträren Resultate auch, dass weitere Untersuchungen für die Erstellung eines validen Vorhersagemodells zur Reibwertentwicklung benötigt werden.

So sind weitere Untersuchungen, insbesondere zur Veränderung der Rauigkeit der Strukturen infolge von Reibung, angedacht. Dazu sollen neben den Kenngrößen R_a und R_Z weitere Parameter wie die Materialanteilskurve (Abbott-Kurve) betrachtet werden. Diese lässt Rückschlüsse über die Verteilung der Spitzen und Täler einer Oberfläche zu und die daraus abgeleiteten Parameter R_{VK} (reduzierte Riefentiefe) und R_{PK} (reduzierte Spitzenhöhe) erlauben die Unterscheidung in eine eher plateauartige Oberfläche mit einzelnen Vertiefungen oder eine mit vielen herausragenden Rauigkeitsspitzen.

Die sich ausbildenden Kontaktfläche in Form von Plateaus wird als wichtiger Parameter für die Adhäsion der Reibpartner und damit für die Höhe des Reibwertes erachtet.

Literatur

[Ber13] Bergmann, A.; Sumpf, J.; Bartsch, R.; Weise, S.; Faust, K.; Illek, R.: Tribologische Untersuchung und Beurteilung fördertechnisch relevanter polymerer Werkstoffe. Technomer 2013, 23. Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung von Polymeren. Chemnitz, 2013. ISBN 978-3-939382-11-9.

[Sch11] Schumann, A; Weise, S.; Sumpf, J.; Nendel, K.: Oberflächenstrukturen zur Reibungs- und Verschleißreduzierung von Kunststoff-Kunststoff-Reibpaarungen in Förderanlagen. Tagungsband zur 52. Tribologie-Fachtagung (26.-28.09.2011) der Gesellschaft für Tribologie in Göttingen, Band 1, S. 5/1-5/13, ISBN 978-3-00-035439-7.

[Sum11] Sumpf, J.; Schumann, A; Weise, S.; Nendel, K.; Eichhorn, S.: Neues Prüfverfahren zur Reibungs- und Verschleißbewertung von Kunststoff-Gleitpaarungen. Tribologie und Schmierungstechnik 58 (2011), Heft 4, S. 47-50.

[VDI75] Richtlinie VDI 3400: Elektroerosive Bearbeitung; Begriffe, Verfahren, Anwendung; Düsseldorf, 1975