

Verschleißquantifizierungsverfahren für Polymer-Polymer-Gleitpaarungen

Dipl.-Ing.(FH) Rene Illek, Frank Pohli, Stefan Kellner, Prof. Dr.-Ing. Karsten Faust
Fakultät Maschinenbau, Bereich Kunststofftechnik, Produktentwicklung und Tribologie
Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt

Aktuelle wissenschaftliche Forschungsarbeiten des Fachbereiches befassen sich u.a. mit der Verschleißquantifizierung von Kunststoff-Kunststoff-Gleitpaarungen in tribotechnischen Systemen (TTS) aus dem Bereich der Fördertechnik. Im ersten Schritt wurden, aufbauend auf durchgeführten Marktrecherchen, verschiedene Analyse- und Messverfahren anhand von Testmessungen detailliert betrachtet, bewertet und ggf. validiert. Im Weiteren wurde ein gravimetrisches Verschleißquantifizierungsverfahren für Polymer-Polymer-Gleitpaarungen ausgearbeitet. Zur Validitätsprüfung wurden die Einflussfaktoren/Störgrößen dieses Verfahrens ermittelt, bewertet und ggf. durch entsprechende Abhilfemaßnahmen oder Korrekturfaktoren berücksichtigt. Ein exemplarischer Überblick, zur gravimetrischen Verschleißquantifizierung, soll die neuen Möglichkeiten und Grenzen dieses Verschleißanalyseverfahrens aufzeigen.

Kategorie und Themenbeschreibung: Polymertribologie und -analyse

Zusätzliche Schlüsselwörter: Verschleiß, Verschleißquantifizierung, Polymere, Tribologie, Fördertechnik, Kunststofftechnik

1 EINLEITUNG

Die Verschleißbewertung und die Beurteilung der tribologischen Eignung von Polymeren in Kunststoff-Kunststoff Gleitpaarungen wird bisher mit dem an der TU Chemnitz entwickelten Verschleißbewertungsverfahren durch Verschleißkennwerte KV und dem Tribokennwert KT durchgeführt [Sum11]. Hierbei werden die Verschleißkennwerte der tribologischen Probekörper anhand der vorliegenden Verschleißerscheinungsformen visuell begutachtet und durch subjektive Zuordnung, anhand von Referenzbildern, in bewertete Kategorien klassifiziert. Je nach Kategorie der Verschleißintensität wird den einzelnen Probekörpern (Grundkörper und Gegenkörper) ein Verschleißkennwert KV zugeordnet. Anhand dieses Kennwertes wird der Verschleiß der Polymere charakterisiert. Der Tribokennwert vereint den Verschleißkennwert und den Reibungskoeffizienten μ mittels mathematischer Operatoren zur Beurteilung der Gleitpaarungseignung [Sum11]. Diese Vorgehensweise kann nicht als Ersatz für eine Verschleißmessung durch physikalische Größen herangezogen werden. Die subjektive Einteilung des Verschleißes durch den Verschleißkennwert KV entspricht einem

Autoren: Dipl.-Ing.(FH) R. Illek, F. Pohli, S. Kellner, Prof. Dr.-Ing. K. Faust
Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt
Fakultät Maschinenbau, Ignaz-Schön-Straße 11, 97421 Schweinfurt, Bayern, Deutschland
E-Mail: rene.illek@fhws.de, karsten.faust@fhws.de
Telefon: 09721 940-9940, Fax: 09721 940 900, Website: www.fhws.de

Die Erlaubnis zur Kopie in digitaler Form oder Papierform eines Teils oder aller dieser Arbeit für persönlichen oder pädagogischen Gebrauch wird ohne Gebühr zur Verfügung gestellt. Voraussetzung ist, dass die Kopien nicht zum Profit oder kommerziellen Vorteil gemacht werden und diese Mitteilung auf der ersten Seite oder dem Einstiegsbild als vollständiges Zitat erscheint. Copyrights für Komponenten dieser Arbeit durch Andere als FHWS müssen beachtet werden. Die Wiederverwendung unter Namensnennung ist gestattet. Es andererseits zu kopieren, zu veröffentlichen, auf anderen Servern zu verteilen oder eine Komponente dieser Arbeit in anderen Werken zu verwenden, bedarf der vorherigen ausdrücklichen Erlaubnis.

Verschleißbewertungsverfahren und keinem Verschleißmessverfahren. Dennoch können durch dieses Bewertungsverfahren, vorzugsweise bei höheren und/oder deutlich differenten Verschleißintensitäten, die vorliegenden Tendenzen valide berücksichtigt und aufgezeigt werden. Nach [Gre13] und [Fein13] werden Verschleißmessmethoden in drei Hauptgruppen eingeteilt. Innerhalb der Vorabrecherchen und ersten Testmessungen im Rahmen eines Industrieprojektes wurden die Verschleißmessverfahren dieser einzelnen Gruppierungen erfasst und bewertet. Aufgrund der hieraus generierten Ergebnisse wurde der Fokus für detailliertere Betrachtungen auf die Verfahren der Hauptgruppe I (Erfassung der verschleißbedingten Maß- und/oder Gewichtsänderungen von Bauteilen/Prüfkörpern) gerichtet. Innerhalb der Recherchen wurden Offline- und Online-Verschleißmessverfahren betrachtet. Im Weiteren wurden allerdings potentielle Online-Messverfahren verworfen, da diese gerade bei Polymer-Polymer-Gleitpaarungen eine Vielzahl von unzureichenden Schwächen aufweisen. Wesentlich sind hierbei vor allem, dass sich dem Online-Verschleißsignal zahlreiche Störgrößen überlagern, wie beispielsweise Wärmeausdehnungen, Materialübertragung und Kriechvorgänge der Polymere. Diese Störgrößen sind messtechnisch und in der späteren Auswertung nicht voneinander zu differenzieren ([GfT11], [Gre13], [Fein13]). Zentral ist auch die Thematik, dass bei einer Online-Verschleißmessung nur der Systemverschleiß im Gesamten oder der eines Reibpartners (Voraussetzung: Vernachlässigbarer Verschleiß eines Reibpartners) quantifiziert werden können. Zur Verschleißanalyse eines TTS ist es nach [Czi10] erforderlich den Verschleiß des Grund- und Gegenkörpers explizit zur erfassen und zu bewerten (Ganzheitliche Systembetrachtung). Gerade aufgrund der Systemeigenschaften von tribologischen Kenngrößen ist dies notwendig, um Werkstoffpaarungen und speziell Polymer-Polymer-Paarungen im Gesamten tribologisch beurteilen zu können.

2 ALLGEMEINE VERSCHLEIßQUANTIFIZIERUNGSVERFAHREN

Im Vordergrund der Verfahrensrecherchen standen Messverfahren zur Erfassung direkter Verschleißmessgrößen an gleitmodifizierten und / oder faserverstärkten Polymeren in Kunststoff-Kunststoff-Gleitpaarungen, an den Probekörpern des eingesetzten Tribometers (TriboSPEEDSTER 2.0). Die direkten und bezogenen Verschleißmessgrößen bzw. Verschleißkennwerte wurde in Anlehnung an das Arbeitsblatt Nr. 7 der Gesellschaft für Tribologie [DFS02] und [Czi10] definiert und benannt. Als direkte Verschleißmessgrößen wurden somit der massenmäßige Verschleißbetrag W_m [kg] und der volumetrischen Verschleißbetrag W_v [m³] herangezogen. Aus diesen wurden im Anschluss, unter Einbeziehung der Versuchsparameter, die bezogenen Verschleißkenngrößen abgeleitet. Im Fokus standen hierbei die spezifische Verschleißintensität W_s [m³/Nm], die volumetrische Verschleißgeschwindigkeit W_{vt} [m³/h] sowie das volumetrische Verschleiß-Weg-Verhältnis W_{vs} [m³/m].

Innerhalb einer detaillierten Marktanalyse wurden die potentiell geeigneten Verfahren zur Verschleißquantifizierung nach Art und Ausführung der Messinstrumente in die Kategorien Mikroskopie, Sensorik, Spektroskopie, Massenspektroskopie, Indirekte Messverfahren (Analyse mechanischer, physikalischer und elektrischer Eigenschaften) sowie sonstige Verfahren strukturiert. Zusätzlich wurden die Verfahren hinsichtlich der analysierbaren Werkstoffe gekennzeichnet. Die Spezifikationen der einzelnen Messinstrumente wurden im Bezug zur Aufgabenstellung methodisch beurteilt und zusammengestellt. Hierbei haben sich die Messverfahren der Mikroskopie, Sensorik sowie eine gravimetrische Verschleißquantifizierung durchgesetzt und wurden zur vollständigen Erfüllung der Zielvorgabe nochmals detaillierter gegenübergestellt und bewertet. Die Weiteren Methoden wurden als ungeeignet eingestuft, da eine Erfassung der verschleißbedingten Maß- oder Masseänderungen zur Generierung direkter Verschleißmessgrößen nicht oder nur durch einen erheblichen Zusatzaufwand durchführbar

ist. Dies erfordert beispielsweise bei indirekten Verschleißmessmethoden (Hauptgruppe III nach [Gre13] und [Fein13]) Referenzskalen/Kennlinien zur Umrechnung der physikalischen Messgrößen. In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Marktrecherchen der Kategorien Mikroskopie und Sensorik exemplarisch dargestellt.

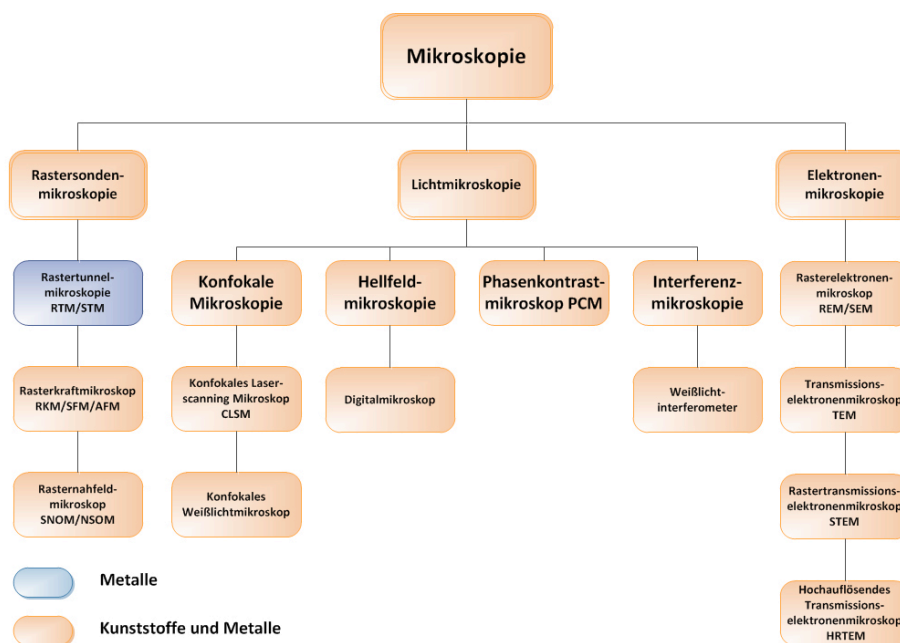


Abbildung 1: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Marktanalyse - Mikroskopie

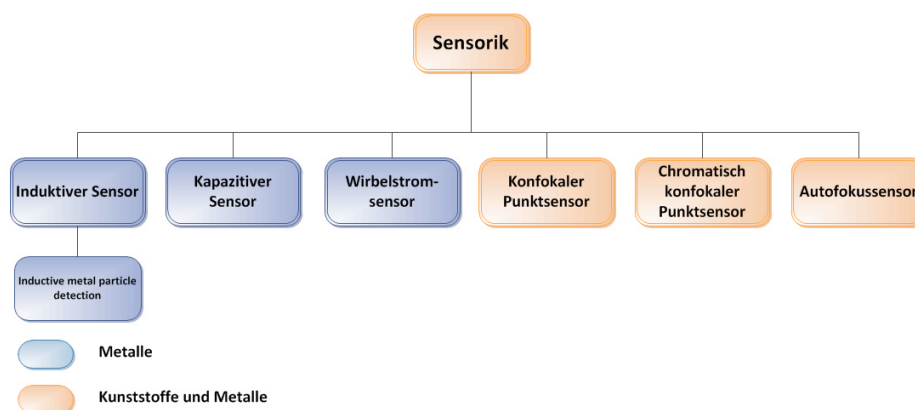


Abbildung 2: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Marktanalyse - Sensorik

Eine detaillierte Bewertung der ausgewählten Verfahren anhand der Systematik und Werkzeuge eines Produktentwicklungsprozesses reduzierten die potentiellen Lösungsmöglichkeiten auf eine optische, taktile oder gravimetrische Verschleißquantifizierung [VDI97], [Con10]. Zu den optischen Messinstrumenten zählten hierbei optisch, konfokale Multisensorsysteme mit konfokalen oder chromatisch-konfokalen Punktsensoren und/oder optisch, konfokale Mikroskope mit entsprechender Objektivausstattung. Als taktiles Verfahren wurde ein hochauflösendes Profilometer mit unterschiedlichen Tastarmperipherien herangezogen. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern und Fachbereichen für optische und taktile Messsysteme

wurden praxisbezogene Messungen durchgeführt und Testberichte zusammengestellt. Die Probemessungen resultierten in einer konkreten, anwendungsorientierten Ermittlung der direkten Verschleißmessgrößen. Dies beinhaltet sowohl den Einsatz der in der Praxis zu analysierenden Probekörper als auch eine Bewertung von Störgrößen auf das Messergebnis einer optischen und taktilen Verschleißquantifizierung. Zu den Störgrößen zählen hierbei Einflussfaktoren aus der direkten Umgebung, wie beispielweise Vibrationen sowie geometrische und werkstoffspezifische Störgrößen der Probekörper, wie Formabweichungen (Verzug, Quellung) oder Inhomogenitäten. Die gravimetrische Verschleißquantifizierung wurde durch eine Semimikrowaage umgesetzt und unter Berücksichtigung von Auslösung, Reproduzierbarkeit, Handhabung und Störgrößen detailliert analysiert und ausgearbeitet.

3 GRAVIMETRISCHE VERSCHLEIßQUANTIFIZIERUNG

Im nachfolgenden wird die Methodik der gravimetrischen Verschleißquantifizierung an Polymer-Polymer-Gleitpaarungen durch eine Semimikrowaage mit integriertem Ionisator in Auszügen dargestellt und erläutert. Die im Gesamten untersuchten Polymere wurden aus zuvor durchgeführten Polymerwerkstoffrecherchen in fördertechnischen Anwendungen (Förderketten, Gleitschienen und Kettenrädern) gezielt ausgewählt. Zur Validierung des gravimetrischen Verfahrens wurden umfangreiche Testwägungen an den polymeren Probekörpern sowie zahlreiche Literaturrecherchen zu potentielle Einflussfaktoren auf das Messergebnis durchgeführt. Diese unterteilten sich in Einflussfaktoren aus der direkten Umgebung des Messinstrumentes und aus den werkstoffspezifischen Eigenschaften der Probekörper. Die Auftriebseinflüsse der Umgebungsluft und deren Schwankungen durch Änderungen der Umgebungsbedingungen (relative Feuchtigkeit und Temperatur der Umgebungsluft) oder externe Schwingungen wurden den Einflussfaktoren aus der direkten Umgebung zugeordnet [Mett08]. Die werkstoffspezifischen Einflussfaktoren der Probekörper beinhalten eine positive bzw. negative elektrostatische Aufladung, Materialübertragungen, Feuchtigkeitsaufnahme (Hygroskopie) bzw. Feuchtigkeitsabgabe und die Diffusion von Additiven [Sart13]. Die Ermittlung reproduzierbarer und valider Verschleißmessergebnisse bei Polymerwerkstoffen erforderte die Generierung von Korrekturfaktoren für die jeweiligen Einflussfaktoren. In der nachfolgenden Abbildung 3 sind die Einflussfaktoren/Störgrößen der gravimetrischen Verschleißquantifizierung von Polymer-Polymer-Paarungen zusammenfassend dargestellt.



Abbildung 3: Einflussfaktoren/Störgrößen bei der gravimetrischen Verschleißquantifizierung

Die Korrekturfaktoren $\Delta m_{\text{rel. Luftfeuchtigkeit}}$ und $\Delta m_{\text{Lufttemperatur}}$, welche die Auftriebskräfte bei der Wägung durch die Umgebungsbedingungen berücksichtigen, wurden anhand eines Berechnungsschemas für die Umgebungsbedingungen am Standort der Waage quantifiziert, beurteilt und zu einem Korrekturfaktor $\Delta m_{\text{Auftrieb}}$ zusammengefasst. Die Korrekturfaktoren der elektrostatischen Aufladung $\Delta m_{\text{E+}}$ bzw. $\Delta m_{\text{E-}}$ wurden aus der waagenspezifischen Fachliteratur übernommen und durch eigene Messungen eingehend untersucht [Sart02]. Die Neutralisierung einer elektrostatischen Aufladung der Probekörper mithilfe des in der Waage integrierten Ionisators wurde an verschiedenen POM-C und POM-H sowie einer PE-UHMW Type untersucht. In Kooperation mit dem Waagenhersteller wurden hierbei die benötigten Einstellparameter Intensität und Einwirkdauer einer Ionisatorbetätigung festgelegt. Auf Basis dieser Parameter wurden im Weiteren die benötigten Betätigungsintervalle des Ionisators durch explizite Messreihen an den verschiedenen Polymerwerkstoffen ermittelt. Die Standardabweichung der Messreihen konnte durch den gezielten Einsatz des Ionisators bei jedem Polymerwerkstoff um bis zu 200% (bezogen auf die Standardabweichung ohne Ionisator) reduziert werden. Die Korrekturfaktoren $\Delta m_{\text{H+}}$ bzw. $\Delta m_{\text{H-}}$ einer Feuchtigkeitsaufnahme bzw. Feuchtigkeitsabgabe sowie der Korrekturfaktor für Diffusionsvorgänge von Additiven Δm_{Diff} wurden anhand von mehrwöchigen Wägungen der Probekörper für die jeweilige Polymertypen quantifiziert und werden während der tribologischen Prüfung durch Referenzprobekörper erfasst. Durch die Wäageergebnisse konnte der Effekt einer Feuchtigkeitsaufnahme (Hygroskopie) sowie Feuchtigkeitsabgabe und Diffusion der Probekörper im Austausch mit der Umgebungsluft nachgewiesen werden. Zudem hat sich herausgestellt, dass sich eine Trocknung der Probekörper vor dem tribologischen Versuch kontraproduktiv auf die Ermittlung aussagekräftiger und reproduzierbarer Wäageergebnisse auswirkt. Des Weiteren wurde bewiesen, dass die Generierung von einheitlichen Korrekturfaktoren $\Delta m_{\text{H+}}$ bzw. $\Delta m_{\text{H-}}$ und Δm_{Diff} nicht valide ist und diese demnach für jede Polymertypen und Prüfkörpergeometrie explizit ermittelt werden müssen. Im Rahmen der Testmessungen stellte sich heraus, dass die Diffusion von Additiven die Standardabweichungen der Messreihen der Vorher-Wägungen erheblich beeinflusst. Durch eine sondierte Lagerung der einzelnen Probekörper konnten dieser Effekt reduziert und gleichzeitig die Standardabweichungen verbessert werden.

Die Validierung des gravimetrischen Lösungskonzeptes erforderte die Erstellung eines detaillierten, chronologischen Versuchsablaufplans zur gravimetrischen Verschleißquantifizierung. Dieser beinhaltet die Versuchsvorbereitung, den Versuchsablauf sowie die einzelnen Arbeitsschritte der Vorher- und Nachher-Wägungen. Zusätzlich wurden potentielle Fehlerquellen ermittelt, Abhilfemaßnahmen und Hilfsmittel getestet und ggf. umgesetzt. Der Korrekturfaktor $\Delta m_{\text{Auftrieb}}$ konnte aufgrund konstanter Umgebungsbedingungen vernachlässigt werden. Dieser kann aber bei entsprechenden Gegebenheiten mit berücksichtigt werden. Die Neutralisation der elektrostatischen Aufladung wird, innerhalb des gravimetrischen Messablaufes, durch den Einsatz des Ionisators mit den zuvor ermittelten Parametern für Intensität, Wirkdauer und Einschaltintervall sichergestellt. Zur Ermittlung der Korrekturfaktoren $\Delta m_{\text{H+}}$ bzw. $\Delta m_{\text{H-}}$ und Δm_{Diff} werden, parallel zur Verschleißphase der tribologischen Probekörper, Referenzprobekörper herangezogen. Diese bilden den Raumprozess durch Feuchteinfluss und Diffusionsvorgänge ab, wobei sich die Feuchtigkeitseinflüsse und Diffusionsvorgänge stets überlagern und nicht getrennt erfasst werden können. Es hat sich innerhalb der Untersuchungen herausgestellt, dass die Haupteinflussfaktoren der gravimetrischen Verschleißquantifizierung die Hygroskopie, Feuchtigkeitsabgabe und überlagerte Diffusionsvorgänge der Additive darstellen. Folglich sind diese zwingend durch die Referenzprobekörper und Probenkörperkonditionierungen zu erfassen und in Form der vorgestellten Korrekturfaktoren zu berücksichtigen.

In Abbildung 4 ist der Einfluss eines Massenverlustes infolge von Feuchtigkeitsabgabe oder Diffusion auf die Ermittlung des massenmäßigen Verschleißbetrages W_m sowie die Berechnung des korrigierten massenmäßigen Verschleißbetrages $W_{m/K}$ allgemein dargestellt. Analog ist hierzu in Abbildung 5 der Einfluss einer Massenzunahme infolge von Feuchtigkeitsaufnahme auf die Ermittlung des massenmäßigen Verschleißbetrages W_m sowie die Berechnung des korrigierten massenmäßigen Verschleißbetrages $W_{m/K}$ allgemein dargestellt.

Einfluss einer Feuchtigkeitsabgabe oder Diffusion auf den massenmäßigen Verschleißbetrag

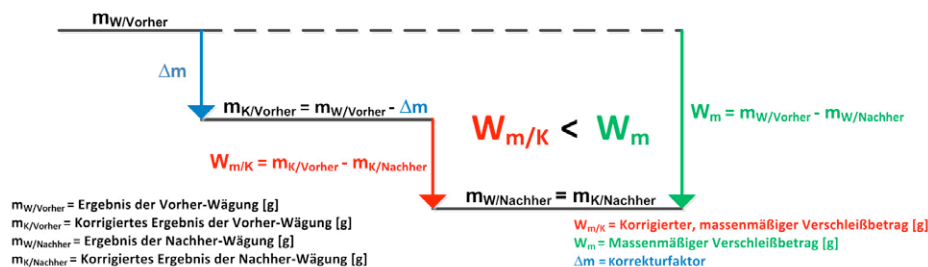


Abbildung 4: Einfluss und Korrektur der Feuchtigkeitsabgabe oder Diffusion

Einfluss einer Feuchtigkeitsaufnahme auf den massenmäßigen Verschleißbetrag

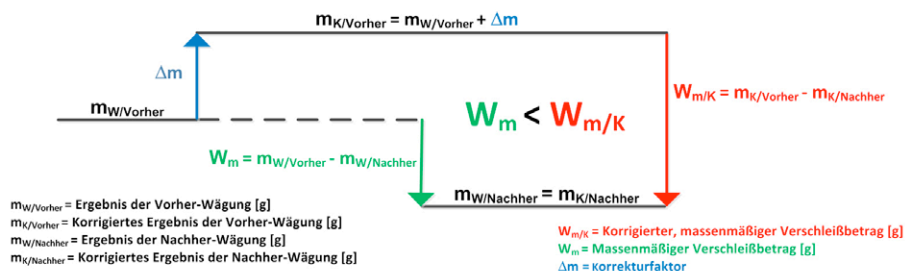


Abbildung 5: Einfluss und Korrektur der Hygroskopie (Feuchtigkeitsaufnahme)

Zur weiteren Validierung des Messkonzeptes wurden umfangreiche Versuchsreihen mit verschiedenen Grundpolymertypen (POM-C, POM-H, PP, PE-UHMW) und mit Modifizierungen (Inkorporierte Schmierstoffe oder Fasern) in verschiedenen Gleitpaarungen durchgeführt. Die Versuchsdurchführung orientierte sich konkret an dem zuvor generierten Versuchsplan. In Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Ergebnisse (Indirekte Verschleißkenngrößen) der gravimetrischen Verschleißquantifizierung durch ein exemplarisches Auswertungsbeispiel dargestellt. Bei diesen Abbildungen wurde, aufgrund der beispielhaften Darstellung, auf eine Angabe der konkreten Versuchsparameter verzichtet. In den Abbildungen sind u.a. die Verschleißkenngrößen der vier Messbahnen (Laufbahnen), welche am tribologischen Prüfstand immer parallel getestet werden, ersichtlich. Diese abgeglichenen Messwerte dienen anschließend der statistischen Auswertung der generierten Ergebnisse. Als Kriterien zur Validitätsprüfung des ausgearbeiteten Verfahrens wurde u.a. die Vergleichbarkeit der vier Messbahnen sowie ein Abgleich durch in Reihe geschaltete, gleichartige Versuche herangezogen.

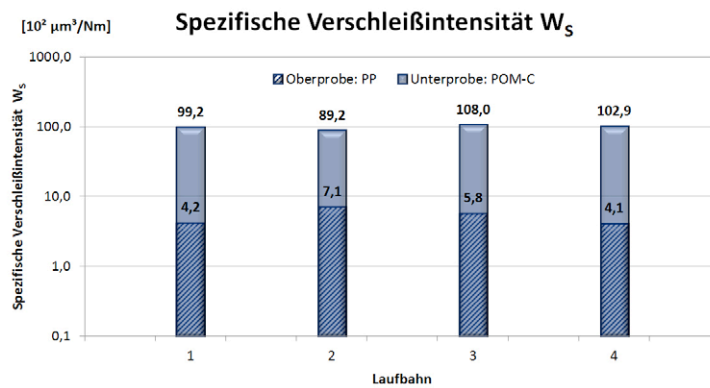


Abbildung 6: Auswertungsbeispiel - Spezifische Verschleißintensität W_s

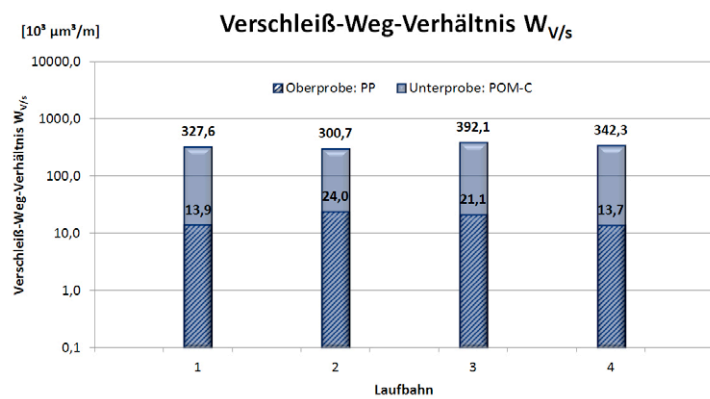


Abbildung 7: Auswertungsbeispiel - Verschleiß-Weg-Verhältnis $W_{V/s}$

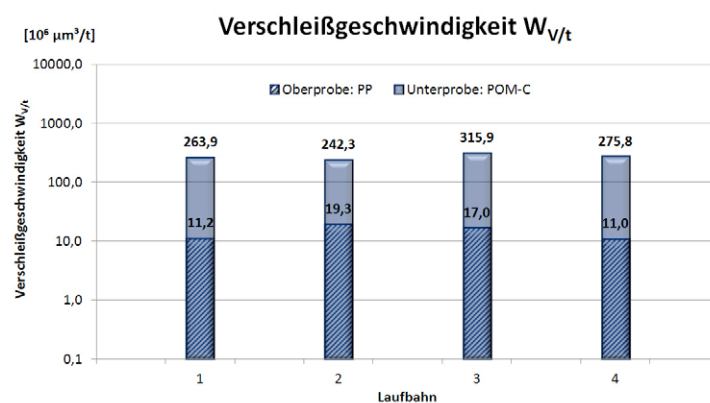


Abbildung 8: Auswertungsbeispiel - Verschleißgeschwindigkeit $W_{V/t}$

Die Versuchsreihen zur Validierung des Messkonzeptes lieferten für die getesteten Polymere reproduzierbare, valide und aussagekräftige Ergebnisse. Bei Werkstoffen mit einer stärker ausgeprägten Hygroskopie oder Feuchtigkeitsabgabe, wie beispielsweise bei Polyamiden (PA), ist

diese Messmethode nur bedingt valide anwendbar und bedarf einer detaillierteren Betrachtung in Form von mehreren Referenzproben zur ausführlichen Betrachtung und Ermittlung der Korrekturfaktoren. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren für derartige Kunststoffe weniger praktikabel und die Korrekturfaktoren bzw. Verschleißkennwerte weisen deutlich größere Messunsicherheiten auf. Vorzugsweise sollte das Verfahren hier nur bei höheren Verschleißintensitäten herangezogen werden, wobei sichergestellt werden sollte, dass der Verschleißbetrag größer ist als die Feuchtigkeitsaufnahme/-abgabe bzw. diese valide durch die Referenzproben erfasst und anschließend durch die Korrekturfaktoren berücksichtigt werden. In jedem Fall können aber sogenannte „Worst-Case-Statements“ zum Verschleißverhalten getroffen werden. Die vorzugsweise anzuwendende Verschleißquantifizierungsmethode (gravimetrisch, taktil oder optisch) sollte anhand des spezifischen Eigenschaftsprofils des zu analysierenden Polymers und dem zu erwartenden Verschleißbetrag ausgewählt werden. Bei sehr geringen Verschleißbeträgen und/oder hoher Feuchtigkeitsaufnahme/-abgabe sollten eine taktile oder optische Verschleißquantifizierung Anwendung finden. Hier liegt der wesentliche Vorteil einer optischen oder taktilen Verschleißquantifizierung durch eine hohe und variable Volumenauflösung. Zur direkten Gegenüberstellung der umsetzbaren räumlichen Auflösungen wurde das Kriterium der Verschleißvolumenauflösung eingeführt. Dieses stellt den kleinsten, messbaren Volumenunterschied der Messinstrumente dar. Die Verschleißvolumenauflösung eines optischen Verfahrens mittels eines chromatisch-konfokalen Punktsensors ist im Vergleich zur Semimikrowaage um einen Auflösungsfaktor von ca. 6.000.000 größer. Ein weiterer zentraler Vorteil eines optischen und taktilen Verfahrens ist die Unabhängigkeit der Verschleißvolumenauflösung von der Dichte des Werkstoffes, da bei diesen Verfahren der volumetrische Verschleißbetrag W_v direkt ermittelt wird. Durch das gravimetrische Verfahren können stets nur der Gesamtverschleiß der Probekörper erfasst werden, wobei durch optisch oder taktile Methoden auch Analysen von einzelnen Teilbereichen und ggf. Verschleißpartikeln durchführbar sind. Allerdings stellt dies gleichermaßen einen Vorteil des gravimetrischen Verfahrens bei Probekörper mit einem Eingriffsverhältnis von $\epsilon = 1$ (kontinuierlicher Eingriff) dar, da hier keine vom Verschleiß unbehafte Referenzflächen, zur Verschleißvolumenermittlung mittels optischem oder taktilem Messverfahren, vorhanden sind. Demnach erfordert dies einen Vorher-Nachher-Scan derartiger Prüfkörper, was wiederum mit zusätzlichen Störgrößen verbunden ist. Dennoch ist ein wesentlicher Nachteil des gravimetrischen Verfahrens gegenüber einer taktilen oder optischen Verschleißquantifizierung der mannigfaltige Einfluss der zahlreichen Störgrößen sowie der erhöhte Bedienerinfluss (Handling) auf das Messergebnis. Die hohen Anschaffungskosten eines optischen oder taktilen Messinstrumentes stellen den wesentlichen Nachteil dieser Messmittel gegenüber dem gravimetrischen Verfahren dar.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde eine Methode der gravimetrischen Verschleißquantifizierung zur Ermittlung des Verschleißes an Polymeren in Kunststoff-Kunststoff-Gleitpaarungen erarbeitet, umgesetzt und validiert. Dies beinhaltet eine vorangestellte Ermittlung potentiell geeigneter Messverfahren und Methoden zur Verschleißquantifizierung, als auch eine methodische Bewertung der einzelnen Varianten. Innerhalb der Ausarbeitung und Umsetzung der gravimetrischen Verschleißquantifizierung wurden Korrekturfaktoren für die zuvor ermittelten Störeinflüsse generiert und in einen Ablaufplan zur Versuchsdurchführung und das abschließende Auswertungsschema integriert. Das neue Verschleißquantifizierungsverfahren bildet die Grundlage zur Analyse und Entwicklung verschleißoptimierter Polymerwerkstoffe, zur Ermittlung von Verschleißkennlinien sowie zur Untersuchung der Korrelationen zwischen Verschleiß und verschiedenen Materialeigenschaften oder anderen Ausführungen von Tribometern und

Bauteilprüfständen. Abschließend können systemspezifische Verschleißkenngrößen, durch eine kombinierte Betrachtung der Verschleiß-Messgrößen und Verschleißerscheinungsformen, definiert und beschrieben werden. Verschleiß-Kennlinien aus Modelversuchen und Verschleiß-Versagens-Diagramme stellen einen ersten Ansatz zur Festlegung von verschleißbedingten Wartungsintervallen und Lebensdauerprognosen von fördertechnischen Bauteilen dar. Im Weiteren werden verschiedene taktile und optische Verfahren mit höherer Verschleißvolumenauflösung detaillierter ausgearbeitet und validiert. Außerdem werden unterschiedliche Konzepte zur Ermittlung von Verschleißkennlinien an Modellprüfkörpern auf Basis der vorgestellten Verschleißquantifizierungsverfahren untersucht und umgesetzt.

REFERENZEN

- [Sum11] Sumpf J.; Schuhmann A.; Weise S.; Nendel K.; Eichhorn S.: Neues Prüfverfahren zur Reibungs- und Verschleißbewertung von Kunststoff-Gleitpaarungen: Institut für Fördertechnik und Kunststoffe (ifk) - TU Chemnitz, Tribologie + Schmierung, 58. Jahrgang, 2011.
- [Gre13] Grebe M.: Fachseminar - Tribometrie: Technische Akademie Esslingen (TAE), Ostfildern - Nellingen, 2013.
- [GfT11] GfT: 52. Tribologie-Fachtagung - Reibung, Schmierung und Verschleiß - Forschung und praktische Anwendungen: Gesellschaft für Tribologie e.V. (GfT), Göttingen, 2011.
- [Fein13] Feinle P.: Fachseminar - Tribologie der Kunststoffe: Technische Akademie Esslingen (TAE), Ostfildern - Nellingen, 2013.
- [Czi10] Czichos Horst: Tribologie-Handbuch - Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik: Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 3. Auflage, 2010.
- [DFS02] Deters, Ludger; Fischer, Alfons; Santer, Erich; Stolz Ulrich: Gesellschaft für Tribologie: Arbeitsblatt 7, 2002.
- [VDI97] Verein Deutscher Ingenieure: VDI2222, Konstruktionsmethodik- Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, Beuth Verlag, Berlin, Ausgabe 06/1997.
- [Con10] Conrad, Klaus-Jörg: Grundlagen der Konstruktionslehre – Methoden und Beispiele für den Maschinenbau, Hanser Verlag München, Auflage 5, 2010.
- [Mett08] Mettler-Toledo AG (Hrsg.): Wägebibel, Schweiz, 2008.
- [Sart13] Sartorius Weighing Technology GmbH (Hrsg.): Correct Use and Handling of Analytical and Microbalances, Publication No.: W-0135-a11064, Order No.: 98648-014-11, o.O., 2013. [Sart02] Sartorius Weighing Technology GmbH (Hrsg.): WägeRaum Nr.4, Göttingen, Ausgabe 4, 2002.