

Tribologische Struktur-Eigenschaftsbeziehungen für Poly(vinyl alkohol) Kryogele

Cécile Boudot², Christof Koplin¹, Julien Courseau¹, Raimund Jaeger¹

¹ Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM Freiburg, Wöhlerstraße 11, 79108 Freiburg

² Karlsruher Institut für Technologie KIT, Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

raimund.jaeger@iwf.fraunhofer.de

Fragestellung

Das Reibverhalten von Hydrogelen zeigt in einigen Aspekten Ähnlichkeiten mit dem Reibverhalten des Knorpels, weswegen Hydrogele als potentielle Knorpelersatzmaterialien diskutiert werden. Da Hydrogele ein komplexes tribologisches Verhalten aufweisen¹, ist ein Verständnis der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen für ihre Bewertung und Optimierung wichtig.

Material und Methode

Unterschiedliche Chargen von Poly(vinyl alkohol) (PVA) Kryogelen wurden durch Variation der Anzahl von Einfrier-Auftau-Zyklen erzeugt. Der Quellungsgrad der Kryogele wurde gravimetrisch ermittelt. In tribologischen Versuchen (Basalt Biotester, Tetra GmbH) mit einer Ring-Scheibe-Geometrie (Edelstahl gegen PVA, Versuche in Wasser) wurde die Geschwindigkeits- und Pressungsabhängigkeit des Reibwerts μ ermittelt.

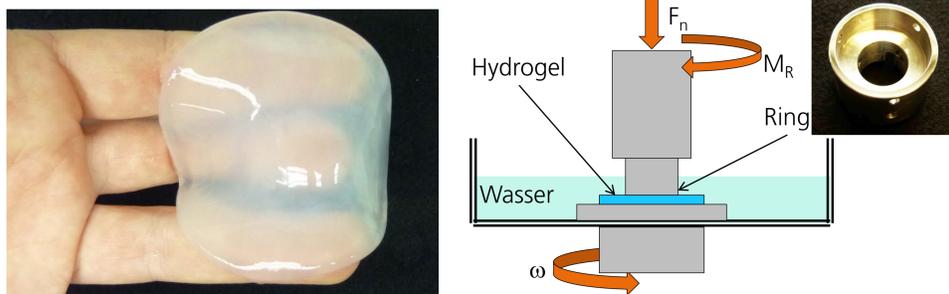


Abb. 1: PVA-Kryogel, ein Einfrier-Auftau-Zyklus

Abb. 2: Schematische Darstellung des Tribometers und Reibpartner (Edelstahlring)

Ergebnisse

Der Quellungsgrad $Q = (W_s - W_d)/W_d$ (W : Gewicht, s : gesättigt; d : trocken) der PVA-Kryogele hängt neben dem Molekulargewicht des Polymers von der Anzahl der Einfrier-Auftau-Zyklen ab: mit zunehmender Anzahl der Zyklen nimmt der Quellungsgrad ab. Aus dem Quellungsgrad der Kryogele lässt sich mittels der Flory-Huggins-Theorie deren Maschengröße ξ ermitteln².

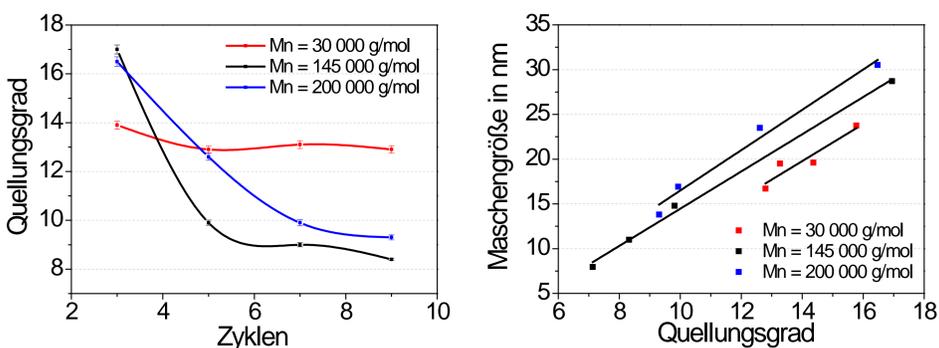


Abb. 3: Quellungsgrad der PVA Kryogele in Abhängigkeit der Einfrier-Auftau-Zyklen

Abb. 4: Maschengröße der PVA Kryogele in Abhängigkeit der Einfrier-Auftau-Zyklen

In Reibversuchen gegen einen Stahlring zeigen die PVA-Kryogele die Charakteristik eines »adhäsiven« Hydrogels: Der Reibwert μ durchläuft als Funktion der Relativgeschwindigkeit ein Maximum (siehe Abb. 5).

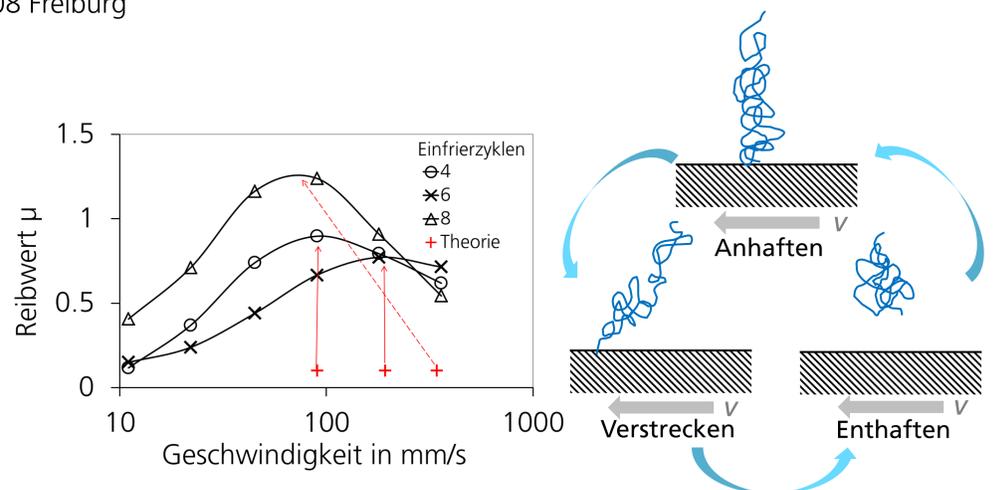


Abb. 5: Reibwert des PVA-Kryogels ($M_n = 145000$ g/mol) für $F_n = 1$ N in Abhängigkeit der Relativgeschwindigkeit

Abb. 6: Modell für den Ursprung der Reibung eines adhäsiven Hydrogels

Zur Erklärung der Reibung eines adhäsiven Hydrogels geht man davon aus, dass die Polymerketten temporär am Reibpartner anhaften. Durch die Relativbewegung von Hydrogel und Reibpartner werden die Ketten verstreckt. Die Rückstellkraft der Ketten resultiert im gemessenen Reibwert μ . Stärkere Verstreckungen der Ketten bei höheren Relativgeschwindigkeiten führen zu einer Verringerung der mittleren Adhäsionsdauer der Ketten am Reibpartner: Der Reibwert nimmt ab. Mittels Schallamachs Theorie der Elastomerreibung lässt sich die »charakteristische Geschwindigkeit« v_f , bei der der maximale Reibwerts μ auftritt, ermitteln¹:

$$v_f \propto \frac{T}{\eta \cdot R_F^2}$$

T : Temperatur, η : Viskosität Wasser, R_F : Flory-Radius der Polymerkette
 Für wenige Einfrier-Auftau-Zyklen ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment, wenn für R_F die experimentell ermittelte Maschenweite ξ angenommen wird.

Diskussion

Bei der Herstellung von PVA Kryogelen entstehen durch die Bildung von Eiskristallen Mikroporen, die durch ein vernetztes PVA-Hydrogel begrenzt werden. Die Netzwerkstruktur dieses Hydrogels kann durch die Maschenweite ξ charakterisiert werden, die dem Abstand zwischen zwei Netzwerkpunkten entspricht. Quellungsmessungen zur Bestimmung der Maschenweite ξ und tribologische Versuche zur Ermittlung der charakteristischen Geschwindigkeit v_f ergeben, dass das tribologische Verhalten der PVA-Kryogele bei moderater Vernetzung durch die Maschenweite ξ beschrieben werden kann. Abweichungen zu den Vorhersagen der Theorie von Gong treten für stärker vernetzte PVA Kryogele auf. Möglicherweise ist für diese Kryogele die aus den Bulkeigenschaften ermittelte Maschenweite ξ nicht mehr repräsentativ für die die Oberflächenstruktur des Kryogels, die die Reibeigenschaften prägt

Literatur

- [1] JP Gong, Friction and Lubrication of Hydrogels—it's Richness and Complexity. *Soft Matter* 2006; 2, 544-52
 [2] NA Peppas, EW Merrill, Crosslinked Poly(vinyl alcohol) Hydrogels as Swollen Elastic Networks. *J. Appl. Polym. Sci.* 1977; 21, 1763-70