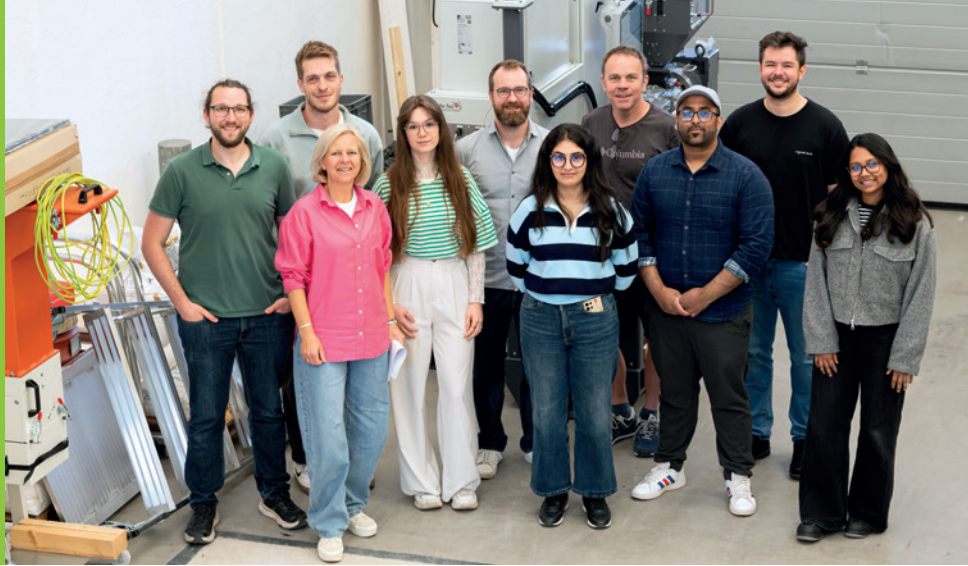




15. Tanz der Polymere – Warum der Takt von Polymeren wichtig für das Recycling von Kunststoffen ist

Prof. Dr.-Ing. Johannes Krückel, Tim Schüle M. Eng.

Ein kleiner Ausblick, wie das Technologietransferzentrum Haßfurt, das Recycling von Kunststoffen untersucht

Die Interpreten – die Randbedingungen

Das **Technologietransferzentrum Haßfurt (TTZ-HAS)** beschäftigt sich mit smarten, polymeren Lösungen rund um das Kunststoffrohr. Ein zentraler Aspekt der Forschung stellt das Kunststoffrecycling dar. Ein Forschungsvorhaben aus diesem Bereich wird in diesem Überblicksartikel erläutert. Interessierte finden die dazugehörige, ausführliche Veröffentlichung „**Thermo-Mechanical Degradation Kinetics of a High-Density Poly(Ethylene) Using a Closed-Cavity Rheometer**“ im Journal for Applied Polymer Science aus dem Jahr 2025 [1].

Intro – die Ausgangssituation

Für eine nachhaltige und umweltschonende Kunststoffindustrie müssen Kunststoffe häufiger und besser wiederverwendet werden. Ein wichtiges Konzept dafür ist die sogenannte Kreislaufwirtschaft: Materialien sollen nicht nach einmaligem Gebrauch entsorgt, sondern möglichst oft erneut genutzt werden [2].

Eine der effektivsten Methoden dafür ist das mechanische Recycling, wie es auch in der Rohrindustrie von hoher Wichtigkeit ist. Dabei werden Kunststoffprodukte zerkleinert, gereinigt, aufgeschmolzen und neu verarbeitet. Doch dieser Prozess hat einen Haken: Während der Verarbeitung in Maschinen wie beispielsweise Extrudern wird der Kunststoff bei jedem Verarbeitungsschritt sehr stark beansprucht. Es treten dabei z. B. hohe Temperaturen und Scherkräfte auf. Diese Kombination kann die langen Molekülketten des Kunststoffs beschädigen und dadurch die Eigenschaften des Kunststoffes verschlechtern.

Abbildung 1: Einflusskette von der Größe des Polymers über die Kristallisation hin zu den mechanischen Eigenschaften des Materials



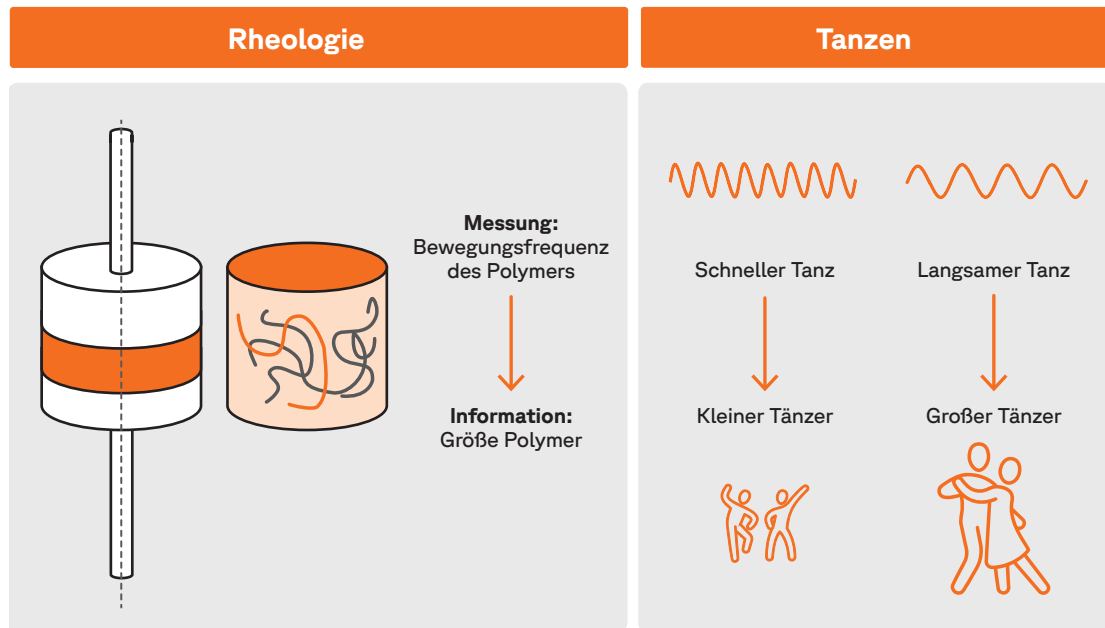


Abbildung 2: Vergleich der Analyse von Polymeren mittels Rheologie hinsichtlich ihrer Größe mit dem Tanzen und der Größe der Tänzer

Kunststoffe bestehen aus sehr langen Molekülketten, den sogenannten Polymeren. Unter hohen Temperaturen und mechanischen Kräften brechen diese Ketten auf und werden kürzer. Dadurch verändert sich das Polymer und die damit zusammenhängenden Eigenschaften. Strukturelle Besonderheiten des Polymers, aber auch die jeweiligen Bedingungen während der Verarbeitung spielen dabei eine wichtige Rolle, wie stark und auf welche Weise der Kunststoff beim Recycling geschädigt wird [3–5]. Diese Veränderung des Polymers haben (in bestimmten Fällen) z. B. Auswirkungen auf die Kristallisation der Polymere beim Abkühlen. Das wiederum beeinflusst direkt die mechanischen Eigenschaften, wie es in Abb. 1 zu sehen ist. Anhand dieser Eigenschaften kann entschieden werden, wo und wie das Polymer schließlich eingesetzt werden kann. Deshalb ist diese Forschung auch in der Rohrindustrie von hoher Relevanz.

Aus diesen Gründen muss untersucht werden, welche Faktoren die Veränderung beim Recycling beeinflussen. Die Messmethode der Rheologie ist gleichzeitig in der Lage, die Verarbeitungsbedingungen zu simulieren und so das Polymer zu schädigen, aber auch zu analysieren, auf welche Weise Scherkräfte und Temperaturen sich auf den Abbauprozess auswirken.

Instrumente – Methoden und Theorie

Zur Bestimmung der Auswirkung des Kunststoffrecyclings ist die Bestimmung der Größe eines Polymers (fachlich: Molekulargewicht) essenziell. Diese Größe kann mit Hilfe der oszillierenden Scherrheologie indirekt bestimmt werden. Hier wird die Antwort des Polymers auf eine schneller werdende oszillierende Verformung

gemessen (0,1 Hz bis 100 Hz). Je höher die Frequenz ist, die das Polymer noch mitgehen kann, desto kleiner ist das jeweilige Polymer. Dementsprechend weisen große Polymere nur eine niedrige Frequenz auf, die sie mitgehen können. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 2 dargestellt [6]. Hier kann der Vergleich mit einem Tänzer gezogen werden, der in Abhängigkeit seiner Größe nur bestimmte Tänze mittanzen kann. Ist er sehr groß, kann er dem hohen Takt des schnellen Tanzes nicht mehr folgen.

Diese Analysemethode kann dazu verwendet werden, die Auswirkungen des Recyclings zu bestimmen. Während der Verarbeitung treten hohe Temperaturen und hohe Scherkräfte auf. Diese Bedingungen schädigen das Polymer. In der Theorie, wie sie in Abb. 3 zu sehen ist, greifen diese Kräfte das Polymer an, wodurch es in einzelne Teile zerrissen wird. Die Folge ist, dass durch das Recycling mehrere, kleinere Polymere entstehen.

Kleinere Polymere unterscheiden sich deutlich in ihren verschiedensten Eigenschaften von größeren. Im Fall von Polyolefinen (z. B. HDPE oder PP) wirkt sich die Größe auf die Geschwindigkeit und den Grad an Kristallisation aus. Das wiederum verändert die praxisrelevanten mechanischen Eigenschaften. Diese sind zum Beispiel in der Rohrproduktion und -anwendung wichtig.

Die Herausforderung der Untersuchung des Recyclings ist es, material- und zeitsparsam die verschiedenen Polymertypen individuell zu untersuchen. Eine untersuchte Möglichkeit besteht darin, ein konventionelles Rheometer einzusetzen, um das Material bei hoher Scherkraft und Temperatur zu schädigen.

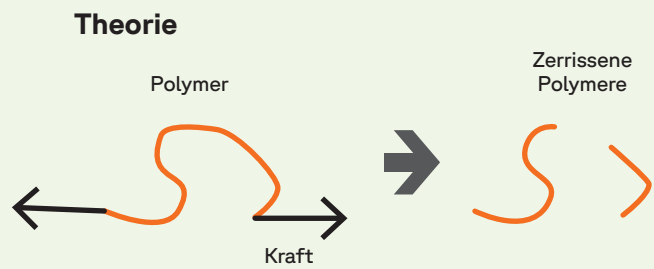


Abbildung 3:
Theoretische Auswirkung von Scherkraft und Temperatur auf die Veränderung der Größe der Polymere

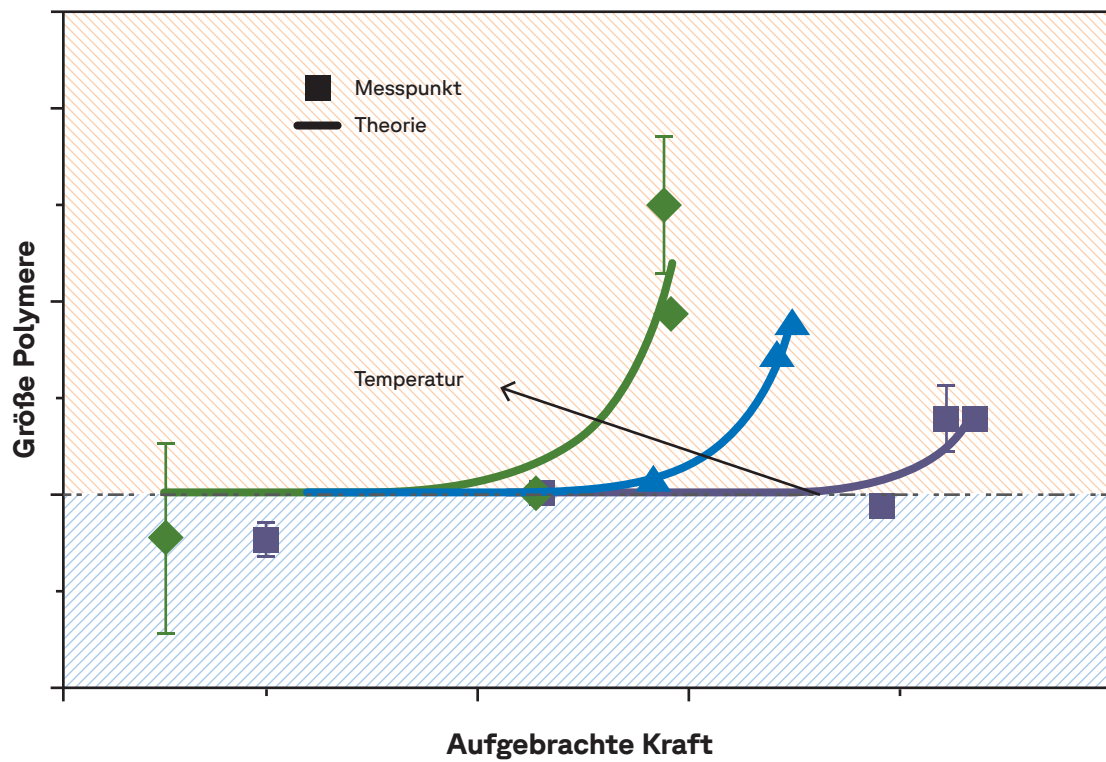
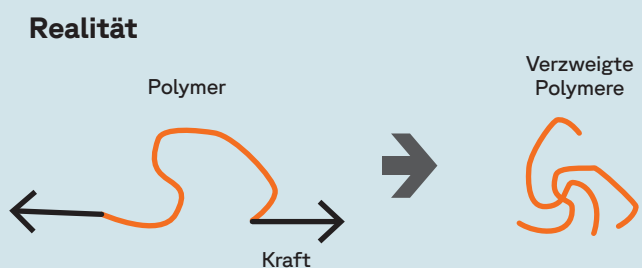


Abbildung 4: Einfluss der aufgebrachten Kraft auf die Größe der Polymere

Abbildung 5:
Reale Auswirkung von Scherkraft und Temperatur auf die Veränderung der Größe der Polymere



Dafür wurde das Rheometer SIS V50 der Firma TA-Instruments verwendet, das eine geschlossene Kavität und genutete, konische Platten besitzt.

Dieses Rheometer wurde verwendet, um ein bestimmtes Polymer verschiedenen Scherkräften und Temperaturen auszusetzen.

Ergebnisse und Hypothesen

Für das untersuchte Polymer zeigt sich, dass sich das Polymer in Abhängigkeit von aufgebrachter Scherkraft und Temperatur unterschiedlich verhält. Das Polymer zeigt einen Anstieg in seiner Größe. Dabei führte eine höhere Temperatur und/oder höhere Scherkraft zu größeren Veränderungen (siehe Abb. 4). Dieses Verhalten unterscheidet sich von der oben beschriebenen Theorie.

Diese Änderung in der Größe der Polymere kann auch mit Hilfe von weiteren Methoden nachgewiesen werden, um etwaige systematische Effekte auszuschließen. Das Verhalten für das untersuchte Polymer ist in Abb. 5 gezeigt. Die Hypothese dafür ist, dass die

gebildeten kleineren Polymerteile als Radikale mit bestimmten Gruppen (sog. Vinylgruppen) auf den Polymeren reagieren.

Diese Hypothese kann in ein mathematisches Modell formuliert werden. Damit kann die Veränderung der Größe der Polymere anhand von wenigen Faktoren vorhergesagt werden. Das sollte die Einschätzung der Auswirkungen des mechanischen Recyclings vereinfachen.

Fazit und Ausblick

Recycling kann nur in der Praxis umgesetzt werden, wenn die Konsequenzen abgeschätzt werden können. Die Auswirkungen des Recyclings auf das Polymer sind dabei ein wichtiger Faktor. Mit der Forschung am Technologietransferzentrum Haßfurt (TTZ-HAS) wird ein Beitrag dazu geleistet. Durch die Verbindung von Theorie und Praxis, von Labor zu Produktionshalle, vom Molekül zum Rohr können Zusammenhänge grundsätzlich verstanden werden und dadurch nachhaltige und ganzheitliche Lösungen gefunden werden. Das hier beschriebene Beispiel zeigt, wie tiefgehend, aber auch trotzdem praxisrelevant die Forschung hier angelegt ist.

Short Facts:

Thema

Smart Polymer Pipe Solutions

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Johannes Krüchel

(Spezial-)gebiete

**Kunststoffmaterialien
und deren Prozessierung**

Standort & Kontakt

**Hofheimer Str. 14–18
97457 Haßfurt
ttz-has@thws.de**