



Catharina Schilp, M.Sc.

Analyse und Vorhersage von Degradationsprozessen an Werkzeug / Kunststoffgrenzflächen in Kunststoffverarbeitungsprozessen

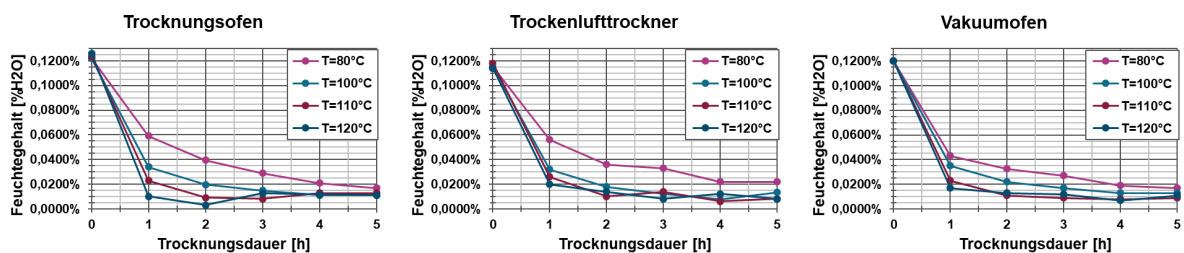
Bei der Herstellung von Kunststoffformteilen in Extrusions- und Spritzgießprozessen ist die Qualität der Bauteile von wesentlicher Bedeutung. Dies gilt in besonderer Weise für Bauteile aus technischen Kunststoffen, wie beispielsweise Polycarbonat (PC). Bei diesem Werkstoff muss die Reinheit des hergestellten Produktes sichergestellt werden. Jedoch ergibt sich bei der Verarbeitung von Polycarbonat bei langen Kontaktzeiten mit metallischen Oberflächen eine wechselseitige, oberflächennahe Degradation. Dabei werden sowohl die metallischen Oberflächen wie auch die Kunststoffoberflächen geschädigt. Die daraus resultierenden Beschädigungen können neben einer Reduzierung der Standzeiten von Werkzeugen und Schnecken auch zu einer Erhöhung der produzierten Ausschussteile führen. Weiterhin können durch Degradation der eingesetzten Kunststoffe in Form eines molekularen Abbaus die Beschaffenheit der produzierten Bauteile hinsichtlich optischer Reinheit und mechanischer Eigenschaften beeinträchtigt werden.

Bei der Degradation von Kunststoffen wird allgemein zwischen chemischer und physikalischer Alterung unterschieden. Das bezieht sich dabei sowohl auf den Verarbeitungsprozess als auch auf das fertige und im Gebrauch befindliche Formteil. Physikalische Alterung liegt dabei in thermodynamisch instabilen Zuständen des Materials begründet und resultiert bspw. in dem Abbau von Eigenspannungen, Nachkristallisation etc. Bei der chemischen Alterung kommt es zu einer Veränderung des chemischen Aufbaus der Kunststoffe, bspw. einer Verkürzung von Molekülketten. Ein Faktor für den chemischen Abbau ist der Wassergehalt bzw. das Wasseraufnahmevermögen des Kunststoffes. Im Falle von PC ist der Sättigungszustand bei einer rel. Luftfeuchte von 100 % und Raumtemperatur (23 °C) bei ca. 0,3 Gew.-% erreicht. Wird das enthaltende Wasser vor der Verarbeitung nicht entfernt, so führt dies bei den erhöhten Temperaturen und Drücken während der Plastifizierung zu einer Degradation der Molekülketten.

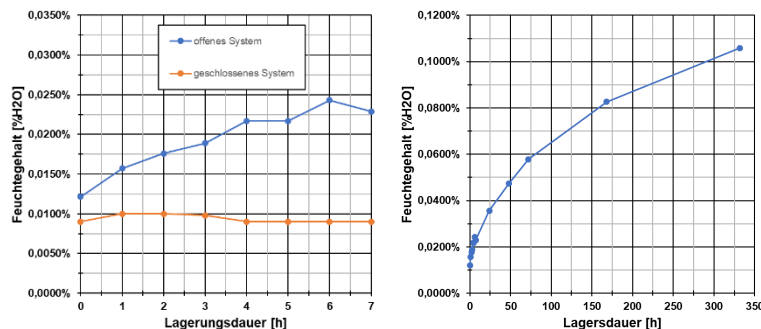
Folglich ist das vorrangige Ziel in diesem Forschungsprojekt das Erlangen von Verständnis über die Degradationsprozesse bei der Verarbeitung von Polycarbonat unter besonderer Fokussierung auf den wechselseitigen Einfluss zwischen dem Polymer und dem Werkzeugmaterial. Es werden dabei der Wassergehalt des verarbeiteten Polymers und dessen Einfluss auf die Degradation besonders berücksichtigt. Dies geschieht sowohl auf einer molekularen Ebene auf Basis von Grundlagenuntersuchungen als auch auf der makroskopischen Ebene im Verarbeitungsprozess.

Die am Lehrstuhl für Technische und Makromolekulare Chemie (TMC) eingesetzten Methoden, um einen detaillierten Einblick über die grenzflächennahen Abbaumechanismen und -kinetiken zwischen Polymer und metallischen Werkzeugs zu erhalten, werden mit den experimentellen Ansätzen der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) kombiniert, um den Anwendungsfall ganzheitlich zu beschreiben.

Zu der Analyse der Degradationsmechanismen ist die Betrachtung der Feuchtezustände in der vollständigen Prozesskette des Granulats relevant. Hierzu wird analysiert, unter welchen Vorbereitungs- und Verarbeitungsbedingungen welcher Feuchtewert vorliegt. Am KTP wurden dafür die Feuchtegehalte nach definierten Lagerungs- und Vortrocknungsbedingungen in Trockenluft-, Vakuumtrockner und Wärmeschränken sowie Inline im Extrusionsprozess ermittelt und miteinander verglichen.

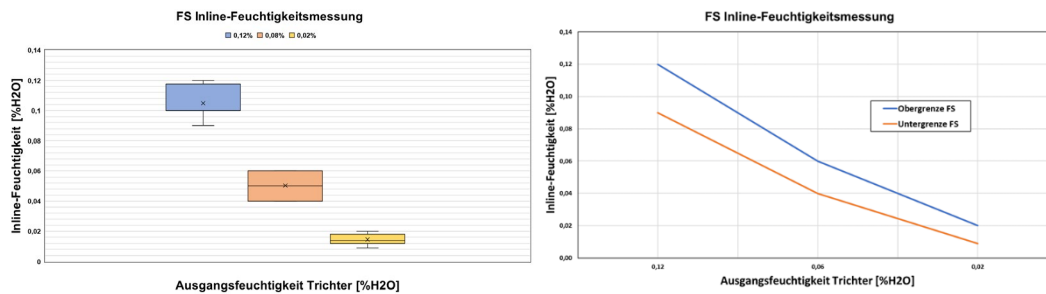


Trocknungsverläufe in den Trocknungsverfahren (Ofen, Lufttrockner und Vakuumofen, v.l.n.r) bei unterschiedlichen Trocknungstemperaturen und -Dauer



Trocknungsverläufe während der Lagerung im offenen und geschlossenen System

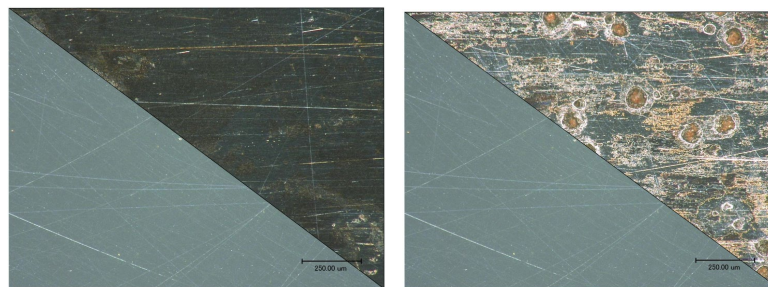
Für die Messung des Feuchtegehalts in der strömenden Schmelze wurde ein Werkzeugkopf mit integrierten NIR-Spektroskopsensoren eingesetzt. Hierzu wurden drei Ausgangszustände des Granulats definiert: 0,12 Gew.-%H₂O, 0,08 Gew.-%H₂O und 0,02 Gew.-%H₂O. Die Sensorik im Werkzeugkopf ermittelte den Feuchtegehalt über das Absorptionsspektrum der strömenden Schmelze. Bei einer Wellenlänge von 1900 nm lassen sich über den Absorptionsgrad eine Aussage über den Wassergehalt tätigen, wodurch sich die unten dargestellten Ergebnisse der einzelnen Feuchtegehalte ergaben.



Inline-Feuchtigkeitswerte für die Ausgangswerte 0,12 Gew.-%, 0,08 Gew.-% und 0,02 Gew.-% (links) und die jeweiligen Ober- und Untergrenzen der Messungen

Mithilfe dieser Ergebnisse ist eine Anpassung der Trocknungsdauer und -Temperatur umsetzbar. Folglich wird PC-Granulat energieeffizienter und materialschonender vorbehandelt und ermöglicht weitere Prozessoptimierungspotentiale.

Neben der Abbildung des Feuchtegehalts im Vorbereitungs- und Verarbeitungsprozess wurde die Auswirkungen der Degradation im Langzeitprüfstand unter realitätsnahen Verarbeitungsbedingungen untersucht. Dabei wird ein Zylinder mit Probekörper bestückt und in einem Schmelzbad gedreht. Aufgrund der Rotationsbewegung der Probekörper wird durch die Relativbewegung der Schmelze eine Scherbeanspruchung an den Probekörpern erzeugt, die für realitätsnahe Degradationsbedingungen sorgt. Während des Betriebs des Rotationsprüfstandes werden für den Extrusions- und Spritzgießprozess übliche Bedingungen eingestellt und die Prüfkörper wurden nach 24 Stunden demontiert und untersucht. Am KTP wurden u. a. Mikroskope, das REM und Rauigkeitsmessgeräte verwendet, um den Vorher- und Nachherzustand der Probekörper abzubilden. Bei den Probekörpern handelt es sich um die Stahltypen 1.2343 und 1.2083, jeweils mit rauer und mit Hochglossoberfläche.



Belastung Stahl 1.2343 mit Hochglossoberfläche mit getrocknetem (links) und feuchtem Kunststoff (rechts) 24h belastet (Vorher/Nachher-Vergleich)

In Kombination mit den Untersuchungsmethoden vom TMC werden am Ende der Forschungsarbeit Handlungsempfehlungen zur Vorbehandlung und Verwendung des PC generiert und der Industrie zur Verfügung gestellt.

Danksagung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) (IGF-Nr.21213 N) für die finanzielle Förderung der Arbeiten, die aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erfolgt. Zudem bedanken wir uns für die Unterstützung der Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss.