

## Wenn es im Material feucht wird

*In enger kooperativer Zusammenarbeit erforscht der Lehrstuhl Kunststofftechnik Paderborn mit dem Lehrstuhl der Technischen und Makromolekularen Chemie die makro- und mikroskopischen wechselseitigen Zusammenhänge der Degradationsreaktionen und entwickelt, zusammen mit mehreren Industriepartnern, Handlungsempfehlungen für die Werkstoffauswahl und Verarbeitungsbedingungen.*

Seit 40 Jahren begleitet das KTP die Forschungslandschaft im Bereich der Kunststoffe, entwickelt und verbessert spannende Verarbeitungsprozesse und arbeitet an neuartigen Technologien. Aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften gelten Kunststoffe zu Recht als der Werkstoff des 21. Jahrhunderts. Dabei ist bei der Verarbeitung und Herstellung von Kunststoffformteilen in Extrusions- und Spritzgießprozessen die Qualität der Bauteile von zentraler Bedeutung. Dies gilt in besonderer Weise für Bauteile aus technischen Kunststoffen wie beispielweise Polycarbonat (PC). Dieses Material wird aufgrund der guten Eigenschaften für eine große Vielzahl von Produkten eingesetzt, die in vielen Lebensbereichen Anwendung finden. In Europa wurden ca. 0,8 Millionen Tonnen PC zu verschiedensten Produkten verarbeitet, wobei die Branchen Elektroindustrie, Baugewerbe und Automobilindustrie die größten Abnehmer waren [1].

Häufig kommt es jedoch zu Produktionsausfällen und Qualitätsbeeinträchtigungen u.a. beim Spritzgießen aufgrund von Belag- und Stippenbildung. Insbesondere bei der Herstellung von optischen Bauteilen aus PC lassen sich lange Verweilzeiten der Schmelze in den formgebenden Werkzeugen und Plastifiziereinheiten nicht immer vermeiden [2]. Neben der reinen Verweilzeit bei hoher Temperatur ist bei der Verarbeitung von PC eine Wechselwirkung mit dem Stählen für Maschine und Werkzeug festzustellen. Diese führt zu einer wechselseitigen oberflächennahen Degradation der beteiligten Werkstoffe. 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 kann durch Degradation der eingesetzten Kunststoffe in Form eines molekularen Abbaus die Beschaffenheit der produzierten Bauteile hinsichtlich optischer Reinheit und mechanischer Eigenschaften beeinträchtigt

werden. Der Anwenderkreis aus PC-verarbeitenden Unternehmen, Werkzeugbauern und Materialhersteller sieht sich dabei den vergleichsweise hohen Preisen für PC-Granulat sowie gleichzeitig hohen Qualitätsanforderungen der Endkunden gegenübergestellt [3]. Zur Sicherstellung dieser Anforderungen und zur Vermeidung von teuren Fehlproduktionen müssen die Betriebe die Einflüsse und Störgrößen bei der Verarbeitung von PC kennen, u.a. wie die bereits erwähnte Degradation von metallischen Oberflächen und dem Polycarbonat.

Obwohl dieses Problem seit Langem bekannt ist, ist es bisher nicht systematisch untersucht worden. Frühere Ansätze verfolgten die Strategie, Degradationseffekte in Form von Belägen im "Trial & Error"-Verfahren zu vermeiden. Ein tiefgreifendes Verständnis der Vorgänge die zum Degradationsprozess führen, gab es bisher nur wenig.

### Synergetische Kompetenzen

Im Rahmen des Forschungsprojekt **"Analyse und Vorhersagen von Degradationsprozessen an Werkzeug / Kunststoffgrenzflächen in Kunststoffverarbeitungsprozessen"** erarbeitet der Lehrstuhl Kunststofftechnik Paderborn (KTP) in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl für Technische und Makromolekulare Chemie (TMC) die theoretischen Zusammenhänge der Degradationsreaktionen und entwickelt Handlungsempfehlungen für die Werkstoffauswahl und Verarbeitungsbedingungen zur Minimierung der Degradation bei der Verarbeitung von PC. Das Ziel des Projektes ist somit das Erlangen von Verständnis über die Degradationsprozesse bei der Verarbeitung von PC 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 der molekularen Ebene auf Basis von

Grundlagenuntersuchungen als auch auf der makroskopischen Ebene im Verarbeitungsprozess. Die am Lehrstuhl für TMC eingesetzten Oberflächenuntersuchungsmethoden erlauben in Kombination mit den geplanten in-situ Grundlagenuntersuchungen einen detaillierten Einblick über die grenzflächennahen Abbaumechanismen und -kinetiken sowohl auf Seiten des Polymers als auch des metallischen Werkzeugs. Gleichzeitig werden die Methoden des TMC mit den experimentellen Ansätzen des KTP kombiniert, um den Anwendungsfall ganzheitlich zu beschreiben. Die Untersuchungen von Kunststoffschmelzen in verschiedenen Prüfaubauten (z. B. Rotationsprüfstand, u.a. (Abbildung 1) vom KTP erlauben eine realitätsnahe Einschätzung der Einflüsse und Auswirkungen der Degradationsmechanismen von Metall und Kunststoff.

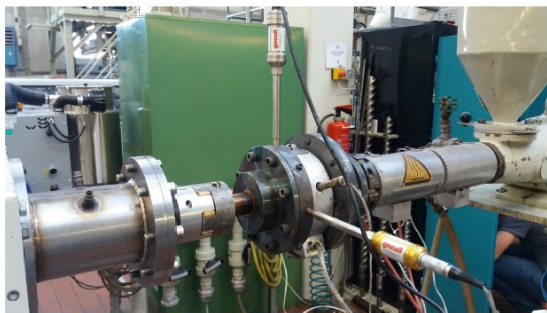


Abbildung 1 Untersuchung zum Wassergehalt im Rotationsprüfstand

## Feuchtigkeit im Material

Als ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Degradation von PC wird der Feuchtegehalt des Werkstoffes genannt. Hierzu wird am KTP analysiert, welche Feuchtezustände nach welchen Vorbereitungs- und Verarbeitungsbedingungen vorliegen. Dies beinhaltet die Messung der Feuchte nach definierten Lagerungs- und Vortrocknungsbedingungen sowie die Messung des Feuchteanteils bei der Verarbeitung des Materials.

Die Untersuchungen während des Verarbeitungsprozesses sind hierbei von zentralem Interesse, weil der Wasseranteil zusammen mit dem aufgeschmolzenen Granulat zur Schnecken Spitze gelangt. Dort entweicht die Feuchtigkeit im Falle der Extrusion aus dem Werkzeug oder wird im Falle des Spritzgießens mit in das Werkzeug injiziert. Dies betrifft somit die Plastifiziereinheit sowie die

formgebende Werkzeuginheit bei Spritzgieß- und Extrusionsprozessen.

Am KTP werden diesbezüglich mehrere Prüfaubauten verwendet, die nachfolgend kurz erläutert werden.

## Realitätsnahe Bedingungen

Um den Wasseranteil innerhalb der plastifizierten Schmelze bestimmen zu können, wird ein spezieller Aufbau konstruiert. An einer Plastifiziereinheit in einem Einschneckenextruder wird ein beheizter Vorsatz angeflanscht, in dem der Wassergehalt der strömenden Schmelze in-line gemessen werden kann (Abbildung 2). Hierfür wird ein NIR-Spektroskop eingesetzt, das über Lichtleiter in den Schmelzestrom Strahlung einkoppelt und auf der Gegenseite wiederum zum Detektor zurückleitet.

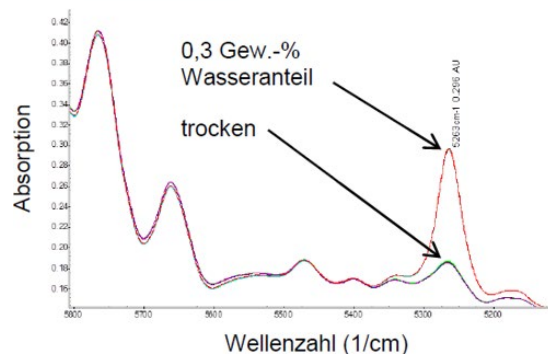
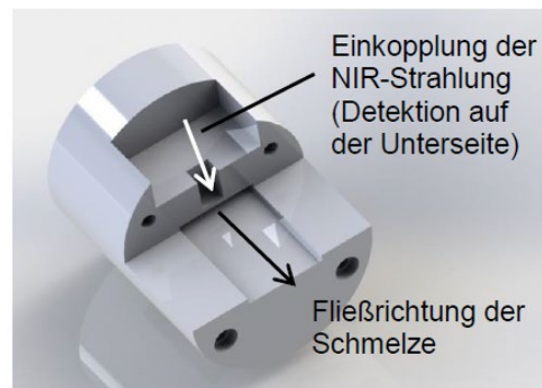


Abbildung 2 Einkopplung der NIR-Strahlung in einem Werkzeugkopf zur Untersuchung der Materialfeuchte während des Verarbeitungsprozesses

Des Weiteren, um Langzeituntersuchungen zur Degradation von Kunststoff und Stahl unter realitätsnahen Verarbeitungsbedingungen durchzuführen, werden am KTP Untersuchungen mit dem sogenannten Langzeitrotationsprüfstand umgesetzt. Der Prüfstand besteht aus einer Prüfkammer, in der sich der auf einer Rotationswelle montierte Prüfzylinder, versehen mit den zu untersuchenden Stahlproben, befindet. Diese

Kammer ist einerseits mit dem Extruder, der diese mit Kunststoffschmelze befüllt, und andererseits mit dem Motor, der den Prüfzylinder in der Kammer rotieren lässt, verbunden. Über die Rotationsbewegung des Zylinders soll eine verarbeitungsähnliche Schergeschwindigkeit an den Stahlprobenoberflächen erzeugt werden, sodass realitätsnahe Degradationsbedingungen gewährleistet werden können. Gleichzeitig ermöglicht der Prüfstand definierte Verweilzeiten der Schmelze unter den extrusions- oder spritzgießprozess üblichen Bedingungen, wodurch der Degradationseffekt begünstigt wird.

Um die Auswirkungen der Werkstoffdegradation in einem Spritzgießprozess einzuschätzen, werden Probekörper aus PC hergestellt. Hierzu wird ein Spritzgießwerkzeug eingesetzt, bei dem die Kavitätinnenflächen durch wechselbare Einsätze ausgetauscht und somit verschiedene Stähle verwendet werden können. Die hergestellten Bauteile werden anschließend auf ihre mechanischen und optischen Eigenschaften hin untersucht. Gleichzeitig erfolgt die mikroskopische Untersuchung der Werkzeugeinsatzoberflächen.

## Fazit

Die Kombination dieser verschiedenen Prüfaufbauten zusammen mit den molekularen Ergebnissen vom TMC ermöglicht es, die Wechselwirkungen zwischen Stahl und Kunststoff besser einschätzen zu können. Damit werden die Kompetenzen der Lehrstühle synergetisch genutzt, um gemeinsam das Forschungsziel zu erreichen.

Die in diesem Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse werden in einer Handlungsempfehlung für PC-verarbeitenden Betrieb zusammengeführt, die sich auf Empfehlungen zur Vortrocknung von PC und zur Vermeidung von Degradationsprozessen an Plastifiziereinheit, Werkzeug und dem Kunststoff selbst beziehen. Des Weiteren beinhaltet dies eine gezielte Auswahl von Stählen sowie Empfehlungen für Maschinenparameter (wie. z. B. Zylinder- und Werkzeugtemperaturen, Verweilzeiten, etc.), die eine Verringerung der Degradationsneigung bewirken. Zusätzlich sollen die Auswirkungen der Degradation auf Stahl und Kunststoff sowie der zu erwartenden Degradationsfortschritt in Abhängigkeit von verschiedenen Prozessgrößen beschrieben werden, um es den Anwendern zu erlauben, die Degradation für ihre jeweiligen Produkte und Prozesse einschätzen und so vermeiden zu können.

Bei dem Projekt handelt es sich um das IGF-Vorhaben 21213 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Verfahrens-Technik e.V. (GVT). Über die AiF besteht eine Förderung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Das Projekt ist bereits gestartet, läuft bis April 2022 und wird durch vierzehn Industrievertreter unterstützt. Für weitere Informationen kann Kontakt mit Catharina Schilp, M.Sc., aufgenommen werden: [catharina.schilp@ktp.upb.de](mailto:catharina.schilp@ktp.upb.de), +49 (0)5251 60 3814.

---

## Literatur

- [1] PlasticsEurope Deutschland e.V.: Plastics – the Facts 2016: An analysis of European plastics production, demand and waste data, Unter: <http://www.plasticseurope.de/Document/plastics---the-facts-2016-15787.aspx?FolID=2>, 2017
- [2] Wiesing, M.; de los Acros, T.; Grundmeier, G.: Analysis of the inhibition of thermal degradation of molten polycarbonate at tool steel interfaces by thin TiAlN coatings, Journal of Polymer Degradation and Stability, Vol. 143, 2017
- [3] Plasticker – the home of plastics, Rohstoffe & Preise, Unter: [http://plasticker.de/preise/preise\\_monat\\_single.php](http://plasticker.de/preise/preise_monat_single.php), 2017