

Auf den Kompost, statt in den Müll

Lassen sich auch chemisch modifizierte PLA-Schäume biologisch abbauen?

Bioabbaubare Kunststoffe werden als nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen angepriesen. Für ihren Abbau sind allerdings häufig ganz bestimmte Bedingungen notwendig. Welche das konkret sind und wie sich verschiedene Verarbeitungsarten sowie chemische Veränderungen auswirken, ist noch nicht hinreichend erforscht. In einem Forschungsprojekt wurde das nun für geschäumtes und ungeschäumtes chemisch modifiziertes Polylactid (PLA) untersucht.



Wie sich die Modifizierung von PLA auf die Bioabbaubarkeit des Polymers auswirkt, war bisher noch nicht ausreichend untersucht © IKT

Schaumstoffe sind Kunststoffe mit einer zellulären Struktur, was zu charakteristischen Eigenschaften wie einer sehr geringen Dichte sowie einem guten Dämm- und Dämpfungsverhalten führt. Der wohl bekannteste Vertreter von Polymerschäumen ist Polystyrol (PS) mit den Hauptanwendungsbereichen im Bauwesen und für Verpackungen. In Zeiten des stetig wachsenden Umweltbewusstseins wird angestrebt, das aus fossilen Rohstof-

fen hergestellte PS durch einen biobasierten und zugleich bioabbaubaren Kunststoff zu ersetzen. Eine solche Alternative ist Polylactid (PLA). Bei PLA handelt es sich um einen biobasierten Polyester, der bei bestimmten Bedingungen biologisch abbaubar, für den Einsatz in der Lebensmittelindustrie zugelassen und zu wettbewerbsfähigen Preisen erhältlich ist sowie ähnliche mechanische Eigenschaften wie PS aufweist.

Reines PLA ist allerdings nur schwer schäumbar [1, 2]. Gegenwärtig auf dem Markt befindliche geschäumte PLA-Produkte sind deshalb oft chemisch modifiziert und besitzen vernetzte oder verzweigte Ketten. Der Abbau von linearem, unmodifiziertem PLA wurde bereits in verschiedenen Untersuchungen überprüft [3, 4]. Die Ergebnisse lassen sich allerdings nicht ohne Weiteres auf modifiziertes PLA übertragen. Um die Ab- »

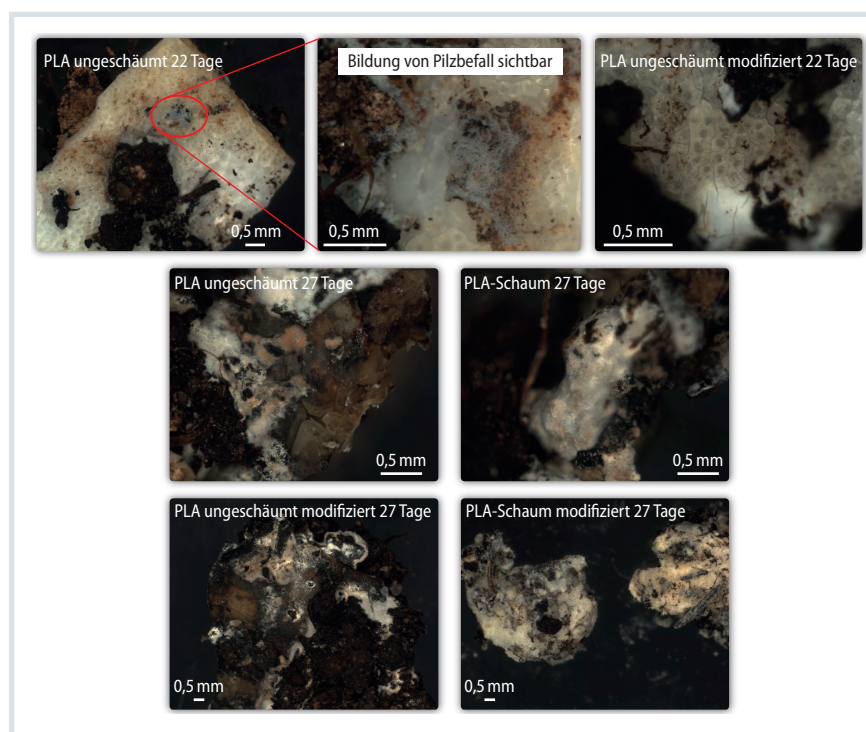


Bild 1. Mikroskopische Beobachtung des Abbaus von PLA unter einem Lichtmikroskop nach 22 und 27 Tagen im Prüfbehälter Quelle: IKT; Grafik: © Hanser

Die Autoren

M.Sc. Julia Dreier ist seit 2019 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Werkstofftechnik des Instituts für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT); julia.dreier@ikt.uni-stuttgart.de

M.Sc. Svenja Murillo Castellón war bis Januar 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Werkstofftechnik des IKT. Seit Februar 2020 arbeitet sie als Forschungsingenieurin bei der Syntegon Technology GmbH, Waiblingen.

M.Sc. Tobias Standau ist seit 2020 Oberingenieur am Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe der Universität Bayreuth.

Prof. Volker Altstädt leitet seit 2000 den Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe der Universität Bayreuth.

Prof. Christian Bonten ist seit 2010 Leiter des IKT.

Dank

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung der Forschungsprojekte AL 474/33-1 und BO 1600/40-1 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-07

baubarkeit solcher geschäumter PLA-Produkte bewerten zu können, sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich.

Die chemische Zusammensetzung hat einen starken Einfluss auf den Abbauprozess. Abhängig davon müssen die Umweltbedingungen angepasst werden. Mit zunehmendem Verzweigungsgrad und zunehmender Länge der Seitenketten nimmt etwa die biologische Abbaubarkeit ab. Wenn das Polymer funktionelle oder hydrophile Gruppen aufweist, die zu einer wasseranziehenden Oberfläche führen, ist der biologische Abbaugrad wiederum höher [4–6]. Ziel einer Untersuchung des Instituts für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT) war es, das Abbauverhalten von Schäumen aus chemisch modifiziertem PLA in einem Kompostierungsprozess im Labormaßstab zu untersuchen. Beim Abbauprozess selbst wird zwischen abiotischem und biotischem Abbau unterschieden.

Für die Analyse wurde das PLA Ingeo TM 7001D von NatureWorks LLC, Minnetoka, Minnesota/USA, verwendet und ein organisches Peroxid (Dicumylperoxid, Hersteller: Sigma Aldrich, St. Louis, Missouri/USA) für die Kettenmodifizierung ausgewählt. Die Reaktivextrusion wurde auf einem Doppelschneckenextruder (ZSK 40, Hersteller: Coperion GmbH, Stuttgart)

durchgeführt. Die Schaumextrusion erfolgte auf einer Tandem-Extrusionslinie (Hersteller: Collin Lab & Pilot Solutions GmbH, Maitenbeth) mit Kohlenstoffdioxid (CO_2) als physikalischem Treibmittel. Das Granulat der ungeschäumten Materialien wurde zu Folien gepresst und aus den geschäumten Materialien wurden rechteckige Probekörper mit gleicher Fläche geschnitten.

Nach 31 Tagen abgebaut

Jede Probe wurde in einem separaten Testbehälter gelagert, jedoch mit dem gleichen Prüfgemisch und unter den gleichen Bedingungen. Zum Einsatz kam Kompost eines lokalen Kompostwerks (Kompostwerk Kirchheim unter Teck GmbH, Kirchheim unter Teck). Der pH-Wert und die Luftfeuchtigkeit in den Testbehältern wurden wöchentlich gemessen. Um einen homogenen Kontakt der Bakterien und Pilze mit der Kunststoffoberfläche zu gewährleisten, wurden die Testmischungen einmal wöchentlich gemischt. Zur Messung des Salzgehalts kam das Salzmessgerät Laquatwin-Salt-11 von Horiba Advanced Techno Co., Kyoto/Japan, zum Einsatz. Zu Beginn und am Ende der Testphase wurde der Trocken- und Aschegehalt jeder Probe bestimmt. Die Prüfungen fanden in Anlehnung an die

Norm DIN EN 15934 und DIN EN 15935 statt. Während des Tests werden zur Charakterisierung der Eigenschaften in verschiedenen Zeitabständen Proben aus dem Prüfbehälter entnommen. Durch die Entnahme von Proben nach unterschiedlichen Zeiten wurden die Veränderungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften untersucht. Nach 31 Tagen waren alle Proben nicht mehr sichtbar.

Hydrolyse: Beginn nach 17 Tagen

Nach 17 Tagen im Prüfbehälter sind in den ungeschäumten, kompakten Proben makroskopische Veränderungen sichtbar. Sie werden milchig weiß, was ein Indikator für eine erhöhte Kristallinität ist und ein Ergebnis des beginnenden hydrolytischen Abbaus sein kann [7, 8]. Kleinere Flächen zeigen zusätzlich einen Wechsel von weiß-transparent zu einer leicht dunkleren Farbe, was ein erster Hinweis ist, dass die Besiedelung mit Mikroorganismen und die Bildung eines Biofilms stattgefunden hat. Nach 22 Tagen ist die Biofilmbildung, hauptsächlich durch Pilze, sowohl auf dem unmodifizierten als auch dem modifizierten ungeschäumten PLA sichtbar, ebenso eine zunehmende Farbveränderung (Bild 1). Zudem sind die Testproben sehr spröde und zerfallen bereits unter Eigengewicht. Unter dem Mikroskop sichtbar sind Oberflächenrisse und Bereiche, die transparenter erscheinen. Dabei handelt es sich wahrscheinlich um die weniger kristallinen Bereiche, die schneller abgebaut werden können.

Im Gegensatz zu den ungeschäumten Proben zeigen die geschäumten nach 22 Tagen keine signifikante sichtbare Veränderung. Sie werden allerdings ebenfalls sehr spröde. Unter dem Mikroskop sind bei ihnen ebenfalls eine Biofilmbildung und Pilzsporen sichtbar, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei den ungeschäumten Proben.

Schnellerer Abbau von Schäumen

Nach 27 Tagen zeigen alle Proben einen starken Pilzbefall und eine zunehmend dunklere Verfärbung (Bild 1). Sie sind alle sehr spröde. Nach weiteren sieben Tagen sind in den Kompostiergefäßen kaum noch Schaumproben zu finden, während in den Gefäßen mit den ungeschäumten Proben noch einige kleine Stücke zu erkennen sind. Nach einer Testphase von

Die verschiedenen Abbauprozesse

Biologischer Abbau von Kunststoffen: (1) Besiedlung der Kunststoffoberfläche durch Mikroorganismen; (2) Mikroorganismen scheiden Enzyme aus, die zum biologischen Abbau des Polymers führen; (3) Polymerkettenfragmente können die Zellhülle passieren und verstoffwechselt werden; (4) Wachstum und Vermehrung der Mikroorganismen. Quelle: [9]; Grafik: © Hanser

Abiotischer Abbau: Abiotischer Abbau bezeichnet Abbauprozesse, an denen keine Mikroorganismen beteiligt sind, die aber zu einer Fragmentierung (Bildung kleiner Mikropartikel und kürzerer Molekülketten) führen können. Dazu zählen u.a. Sauerstoffangriff, UV-Schädigung und Hydrolyse. Das Ergebnis sind Moleküle mit geringerem Molekulargewicht, die in einem weiteren Schritt von Mikroorganismen verstoffwechselt werden können.

Biotischer Abbau: Beim biotischen oder biologischen Abbau verstoffwechseln Bakterien oder Pilze kohlenstoffreiche Substanzen zu CO_2 , Wasser, Biomasse oder in Abwesenheit

von Luftsauerstoff zu Methan (CH_4). Der biologische Abbau ist stark von den Umgebungsbedingungen abhängig. Bei verschiedenen Arten von Polymeren sind unterschiedliche Abbauprozesse zu beobachten. Die meisten Polymere, die als biologisch abbaubar gelten, bauen nur unter besonderen Bedingungen, meistens in industriellen Kompostieranlagen, überhaupt biologisch ab.

Kompostierung: Gelingt nur mit biologisch abbaubaren Kunststoffen, die in einer bestimmten Zeit unter kontrollierten Bedingungen zu Kompost umgesetzt werden. Die Kompostierung ist stark abhängig von der Form und Größe des Bauteils.

insgesamt zwölf Wochen konnte nach Sieben keine Überreste mit mehr als 2 mm nachgewiesen werden.

Die Veränderung des optischen Erscheinungsbildes zeigt deutlich, dass durch die Biofilmbildung und die somit anschließende Verstoffwechselung ebenfalls chemisch modifiziertes PLA abgebaut wird. Nach einem Zeitraum von etwa vier Wochen sind die Proben makroskopisch nicht mehr sichtbar. Die geschäumten Proben zersetzen sich schneller als die ungeschäumten, was auf die größere Oberfläche zurückzuführen ist. Der Vergleich des Abbaus verschiedener

PLA unter gleichen Umgebungsbedingungen zeigte abschließend, dass die Vernetzung von PLA durch chemische Modifikation keinen ersichtlichen negativen Einfluss auf das Abbauverhalten hat. Sowohl ungeschäumtes als auch das geschäumte PLA wurden unter der Einwirkung von Kompost abgebaut.

Zur weiteren Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit sind zusätzliche Experimente notwendig. Interessant wären etwa Bioabbaubersuche mit Bestimmung der CO_2 -Entwicklung und genauere Analysen der Abbauprodukte (Polymerkettenfragmente). ■