

Bakterien als Plastikfresser

Sind Mikroorganismen der Game-Changer im Kampf gegen die Plastikvermüllung?

Tizian Joseph Ruckenbauer

Im Meer schwimmt mehr als nur Fische

Die Flasche Mineralwasser aus dem Supermarkt um die Ecke, die Verpackung vom Lieblingslieferservice oder die Winterreifen für das Familienauto – all diese Produkte bestehen umgangssprachlich aus Plastik. Chemisch gesehen sind die Rohstoffe dieser Produkte aber gänzlich verschieden. Sie werden unter dem Begriff der Kunststoffe zusammengefasst.

Kunststoffe kamen erstmals in den 1930ern auf und sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Aktuell werden weltweit jährlich um die 400 Millionen Tonnen Kunststoff produziert. (vgl. CHOW et al. 2020, S. 133) Wesentlicher Ausgangspunkt für die Kunststoffproduktion ist Erdöl. Schätzungen gehen davon aus, dass bis 2050 ein Fünftel des weltweiten Erdölverbrauchs auf die Produktion von Kunststoff zurückzuführen sein wird. (vgl. CHIA et al. 2020, S. 1) Der Großteil des jährlich produzierten Kunststoffs landet im Müll. Ein erheblicher Teil davon landet in den Weltmeeren, wo er weitreichende Auswirkungen auf marine Ökosysteme hat. Von Korallenriffen bis zu Küstenabschnitten sind alle Lebensräume des Meeres betroffen. Die dort lebenden Tiere (und teilweise Pflanzen) nehmen Kunststoffe mit der Nahrung auf und können durch sie in ihrer Beweglichkeit und Fortpflanzung eingeschränkt sowie mitunter tödlich verletzt werden. Werden kontaminierte Meereslebewesen vom Menschen gegessen, so können Kunststoffe auch in unseren Körper gelangen. (vgl. CHIA et al. 2020, S. 1–2)

Kunststoffe, die in ein Ökosystem abgegeben werden, verwittern dort. Dieser Prozess kann mitunter Jahrzehnte dauern und ist in seinem Ablauf stark von den jeweiligen Umweltbedingungen abhängig. Für handelsübliche Plastikflaschen (die aus Polyethylenterephthalat, kurz PET, bestehen) geht man am Land von bis zu einhundert Jahren aus, in Küstenregionen kann dieser Prozess durch UV-Strahlung sowie die mechanischen Einwirkungen von Sand und Wellen beschleunigt werden. Durch die Verwitterung werden die Ausgangsprodukte (beispielsweise eine PET-Flasche) in immer kleinere Kunststoffteile zerteilt. Diesen Prozess nennt man Fragmentierung. Es entsteht Mikroplastik, also Kunststoffteilchen, deren Durchmesser kleiner als ein Millimeter ist. (vgl. CHOW et al. 2020, S. 134–136)

Mikroplastik: alles andere als tot

Doch was passiert nun mit diesen Mikroplastikpartikeln? In den Medien wird immer wieder von potenziellen Gefahren gesprochen, die von Mikroplastik ausgehen. Dabei darf aber nicht vergessen werden, dass Mikroplastik an sich keine lebensfeindliche Umgebung darstellt. Durch die Fragmentierung der größeren Kunststoffteile vergrößert sich die Oberfläche des Kunststoffes. Dadurch können sich Mikroorganismen leichter an diesen Kunststoffpartikeln festsetzen. Schwimmen die Partikel im Meer, so bieten sie den Kleinstlebewesen dabei Schutz vor bedrohlichen Umweltereignissen, ermöglichen ihnen den Austausch mit anderen Mikroorganismen, die ebenfalls auf den Partikeln leben, und bieten mehr Nährstoffe als das umgebende Meerwasser. (vgl. OBERBECKMANN et al. 2021, S. 358–359) Daher fanden Forscherinnen und Forscher auf Mikroplastikansammlungen verschiedene Spezies von Mikroorganismen. Die Gesamtheit aus Mikroorganismen und Kunststoffteilchen bezeichnet man als Plastisphäre.

Nun ergibt sich eine entscheidende Frage: Wenn Mikroorganismen auf den Kunststoffpartikeln leben können, bauen sie diese auch ab? Dies ist nicht zwingend der Fall. Die Tatsache, dass sich Lebewesen auf den Teilchen festsetzen, bedeutet noch nicht, dass sie diese auch tatsächlich abbauen. (vgl. CHOW et al. 2020, S. 136) Von Abbau würde man nur dann sprechen, wenn diese Mikroorganismen die Kunststoffe in Kohlenstoffdioxid, Wasser und Salze zersetzen und dabei entstandene Energie für sich nutzen. (vgl. OBERBECKMANN et al. 2021, S. 358) Bisher sind aber tatsächlich nur wenige Mikroorganismen bekannt, die diese Fähigkeit besitzen.

***Ideonella sakaiensis*: der Abbau von Kunststoffflaschen**

Einer der bekanntesten dieser Organismen ist das Bakterium *Ideonella sakaiensis*. Es ist zumindest unter Laborbedingungen in der Lage, den Kunststoff Polyethylenterephthalat (kurz PET) vollständig abzubauen. Diesen finden wir, wie bereits erwähnt, besonders prominent in Getränkeflaschen aus Kunststoff. PET besteht chemisch betrachtet aus einer langen Kette aus Molekülen. Die einzelnen Glieder dieser Kette nennt man Monomere. Ein PET-Monomer ist in Abbildung 1 rechts oben dargestellt. Die einzelnen Monomere sind durch Esterbindungen miteinander verbunden. Genau diese Esterbindungen können vom Enzym PETase von *I. sakaiensis* angegriffen und gespalten werden. Durch diese Spaltung entstehen kürzere Zwischenprodukte, wie das Monohydroxyethylterephthalat (MHET). Dieses kann durch ein spezifisches Enzym, die MHEase, zu Ethylenglycol und Terephthalsäure abgebaut werden. Ein schlaues Schachzug der Evolution also, mit dem *I. sakaiensis* neue Nahrungsquellen erschlossen hat? Wahrscheinlicher ist, dass die Fähigkeit, PET abzubauen, eher ein Nebenprodukt der Aktivität der PETase ist. Wie viele andere Enzyme, die Esterbindungen abbauen, sind auch PETasen promiskuitiv. Das bedeutet, dass sie verschiedene Stoffe umwandeln und abbauen können. Es ist jedoch denkbar, dass die Enzyme ihre Aktivität im Zuge eines hohen evolutionären Drucks stärker auf den Abbau von PET fokussieren. (vgl. CHOW et al. 2020, S. 136–137)

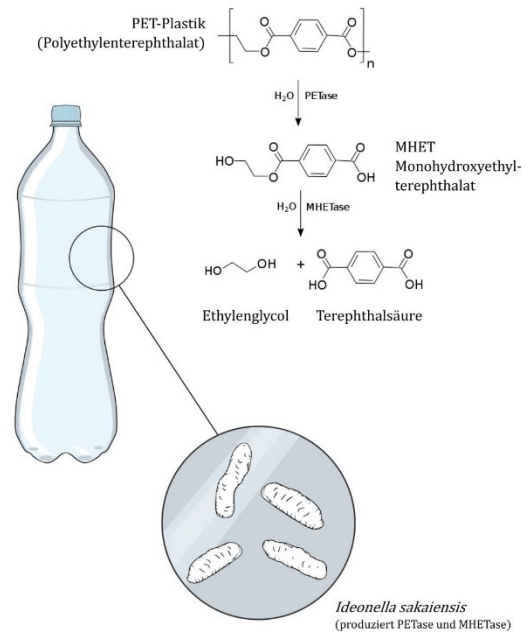


Abbildung 1: *Ideonella sakaiensis* produziert zwei Enzyme, mit denen PET-Flaschen abgebaut werden können

Vom Labor in die Ozeane: noch ein weiter Weg

Der Kunststoffabbau durch Bakterien wie *I. sakaiensis* ist zwar im Labor untersucht, allerdings sind diese Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die realen Bedingungen im Ozean zu übertragen. Es ist nicht zu erwarten, dass Bakterien im Meer tatsächlich Kunststoffmüll in größeren Mengen abbauen können, was an mehreren Faktoren liegt. Zum einen sind Kunststoffe, gemessen an der Gesamtmenge der Ozeane, in vergleichsweise geringer Konzentration vorhanden, was bedeutet, dass es unwahrscheinlich ist, dass sich einzelne Arten auf den Kunststoffabbau spezialisieren. Weiters sind Kunststoffe sehr stabil und schwer abzubauen, zumal sie aus einer Vielzahl an unterschiedlichen chemischen Strukturen bestehen. (vgl. OBERBECKMANN et al. 2021, S. 359–360)

Diese so genannten Mischpolymere, die alle auf unterschiedliche Art und Weise abgebaut werden müssten, stellen ein erstes großes Hindernis beim Plastikabbau durch Mikroorganismen dar. Zudem sind bisherige Versuche vor allem im Labor durchgeführt worden. Bis heute hat man aber noch keine Beweise dafür gefunden, dass die Enzyme, die man im Labor finden konnte, auch tatsächlich in der Natur aktiv zur Anwendung kommen. Zudem würden die Abbauprozesse vermutlich langsam vorangehen. Außerdem tragen Zusatzstoffe, sogenannte Additive, einen wesentlichen Anteil zur Masse einiger Kunststoffe bei (bei Autoreifen können es bis zu 40 % sein). Diese Additive können beispielsweise zum Färben dienen oder einen Lichtschutz bieten. Das bedeutet jedoch, dass ein Gewichtsverlust der Plasticsphäre nicht zwingend mit einem Kunststoffabbau gleichzusetzen ist. In vielen Fällen werden lediglich die Additive abgebaut, aber die eigentlichen Kunststoffe bleiben zurück. (vgl. CHOW et al. 2020, S. 135–137).

Algen: neue Hoffnungsträger?

Doch das sind nicht die einzigen Probleme hinsichtlich des bakteriellen Abbaus von Kunststoffen. Bakterien wie *I. sakaiensis* sind nicht an das Leben im Ozean angepasst und in ihrer Ernährung auf externe Kohlenstoffquellen angewiesen, die an der Plastisphäre oftmals nicht vorhanden sind. Neue Ansätze versuchen daher, marine Algen zu identifizieren, die ebenfalls zum Abbau von Kunststoffen befähigt sind. Einige erste Ergebnisse konnten beispielsweise zeigen, dass Polyethylen (das beispielsweise in Plastiksackerl verwendet wird) in geringem Maß von bestimmten Blaualgen abgebaut werden kann. Bessere Ergebnisse konnte man für Bisphenol A (BPA) verzeichnen, das von Algen in einer Woche soweit abgebaut wurde, dass es nicht mehr nachweisbar war.

Trotzdem ist auch hier die Anwendbarkeit unter realen Bedingungen schwierig. Das hängt vor allem mit der Größe der Kunststoffpartikel zusammen. Sind diese zu groß, könnten diese den Zugang zum Sonnenlicht einschränken, das für die Photosynthese betreibenden Algen lebensnotwendig ist. Sind die Teilchen zu klein, können sie bei der Aufnahme in die Zelle Organellen oder die Zellwand zerstören. Auch hier sind die ersten Forschungsergebnisse also vor allem theoretisch bedeutsam, in der Praxis jedoch noch nicht anwendbar. (vgl. CHIA 2020, S. 3–4)

Ein Blick in die Zukunft

Welche Schritte sind nötig, um den theoretisch (zumindest teilweise) untersuchten Abbau von Kunststoffen für die Praxis nutzbar zu machen? Man kann hier grob zwei Forschungsrichtungen benennen: Zum einen ist es notwendig, die bekannten Abbaumechanismen von Kunststoffen bis ins Detail zu verstehen. So könnten in Zukunft Kunststoffe so hergestellt werden, dass sie leichter abbaubar sind. Auch das Finden von Abbauwegen für Kunststoffe, für die noch keine solche Reaktionen bekannt sind, ist ein wichtiges Ziel. Zum anderen läuft die Suche nach weiteren Enzymen zum Abbau von Kunststoffen. Diese Forschung bedient sich Metagenomdatensätzen. Das sind umfangreiche Datenbanken, in denen unter anderem die Aminosäurestrukturen von Enzymen gespeichert sind. Forschende nutzen die Strukturen bereits bekannter Enzyme, um ähnliche Sequenzen in den Datenbanken zu finden. Damit können sie mögliche neue Enzyme identifizieren, die in einem weiteren Schritt auf ihre Abbaufähigkeit getestet werden. (vgl. CHOW et al. 2020, S. 138–139).

Dennoch ist eine bedeutsame „biologische“ Reduzierung des Plastikmülls in den Weltmeeren durch mikrobiellen Abbau [aber] unwahrscheinlich.“ (OBERBECKMANN et al. 2021, S. 360) Die Vorbeugung von weiterer Verschmutzung der Ozeane (und der terrestrischen Ökosysteme) hat also weiterhin oberste Priorität.

Literaturverzeichnis

CHOW, Jennifer / PREUSS, Lena / GURSCHKE, Marno / STREIT, Wolfgang (2022): Bakterien als Plastikmüllabfuhr. Können Mikroorganismen unser globales Plastikproblem lösen? In: *Biologie in unserer Zeit* 52(2), S. 133–141.

CHIA, Wen Yi / YING TANG Doris Ying / KHOO, Kuan Shiong / KAY LUP, Andrew Ng / CHEW, Kit Wayne (2020): Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production. In: *Environmental Science and Ecotechnology* 4, S. 1–10.

OBERBECKMANN, Sonja / MARKERT, Stephanie / LABRENZ, Matthias (2021) Mikrobieller Plastikabbau im Meer: die Suche nach dem Unwahrscheinlichen. In: *BIOspektrum* 27(04), S. 358–360.

Quelle der Abbildung

Von G. Mannaerts - Eigenes Werk, [CC BY-SA 4.0](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=68460980), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=68460980>, ins Deutsche übersetzt von Tizian Joseph Ruckenbauer [letzter Zugriff: 24.02.2024].

Dieser Artikel steht unter einer [CC BY-SA 4.0 Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/). Sie dürfen den Artikel teilen und bearbeiten. Dazu müssen sie allerdings den Namen des Autors (Tizian Joseph Ruckenbauer) angeben. Das Produkt muss unter derselben Lizenz veröffentlicht werden.