

Mulchfolien in der Landwirtschaft: Bioabbaubarkeit im Praxistest

Michael Sander¹, Franco Widmer² und Thomas D. Bucheli²

¹ETH Zürich, Departement Umweltsystemwissenschaften, 8092 Zürich, Schweiz

²Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Michael Sander, E-Mail: michael.sander@env.ethz.ch

Thomas Bucheli, E-Mail: thomas.bucheli@agroscope.admin.ch



Abb. 1 | Eine typische Anwendung von bioabbaubaren Mulchfolien im Gemüsebau. Die Folien werden nach der Anwendung untergepflügt.

Mulchfolien aus Plastik sind im Gemüse- und Beerenanbau weit verbreitet. Konventionelle Produkte aus Polyethylen sind aber sehr beständig und können zu ungewollten Plastikrückständen in Böden führen. Bioabbaubare Mulchfolien sind valable Alternativen, müssen diese Eigenschaft aber im Praxistest noch belegen. Die Autoren werden dies in den nächsten Jahren untersuchen.

Vorteile von Mulchfolien

Mulchfolien aus Plastik werden in verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen wie Gemüse, Spargeln oder Erdbeeren eingesetzt (Abb. 1). Diese flach über dem Boden verlegten Folien dienen der Unkrautunterdrückung,

dem Saubererhalten des Produkts sowie, in Kombination mit Tropfbewässerung, der besseren Wassereffizienz bei Langzeitkulturen. Im Frühjahr und bei Spargeln steht zudem die schnellere Bodenerwärmung und damit verbunden das schnellere Pflanzenwachstum im Vordergrund (Steinmetz *et al.* 2016; D. Bachmann, Strickhof, pers. Mitt.).

Konventionelle, nicht-abbaubare Mulchfolien

Konventionelle Mulchfolien bestehen aus dem Polymer Polyethylen (PE), einem Kunststoff, der im Boden – wie auch in anderen Umweltkompartimenten – sehr stabil und daher nicht biologisch abbaubar ist. Die fehlende Abbaubarkeit liegt an der chemischen Struktur von PE,

welches aus sehr langen Kohlenstoffketten besteht (Abb. 2) und einen rigiden Feststoff bildet. Da vergleichbare Materialien in der Umwelt nicht natürlich vorkommen, mangelt es Mikroorganismen an extrazellulären Enzymen, um PE in kleinere Bruchstücke zu zerlegen; ein essenzieller erster Schritt, um den Kohlenstoff im PE als Nährstoff für diese nutzbar zu machen. Bereits seit den 1980er-Jahren weiss man, dass PE im Boden deshalb nur über lange Zeiträume (einige Jahrhunderte) abgebaut wird (z. B. Kasirajan und Ngouajio 2012).

Aufgrund der extrem hohen Stabilität von PE ist es wichtig, dass konventionelle Mulchfolien nach ihrer Anwendung auf dem Boden wieder vollständig eingesammelt und der Kehrlichtverbrennung zugeführt werden. Das ist allerdings nur bedingt möglich. Experten schätzen, dass selbst bei gründlichem Vorgehen zwischen 0,1 und 1 % des Folienmaterials auf dem Feld zurückbleiben (Kalberer *et al.* 2019a, b). Solche Folienrückstände gelangen dann in den Boden und reichern sich bei wiederholtem Einsatz von Mulchfolien an. Langfristig könnten diese Rückstände in der Folge die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigen (z. B. Qian *et al.* 2018). Neben diesen ungewollten ökologischen Auswirkungen der Verwendung konventioneller Mulchfolien ist das Einsammeln zeit- und damit kostenintensiv.

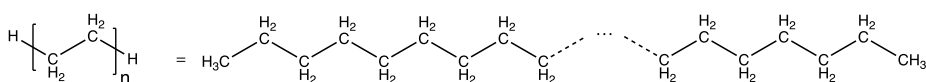
Bioabbaubare Mulchfolien

Neben den konventionellen PE-basierten Mulchfolien werden seit einiger Zeit in der Schweiz Mulchfolien aus Kunststoffen verwendet, die im Boden durch Mikroorganismen abgebaut werden können (Abb. 1; Sander 2019). Diese biologisch abbaubaren Mulchfolien sind oftmals aus einer Reihe unterschiedlicher Polymere aufgebaut. Am häufigsten jedoch enthalten sie eine Kombination von Stärke – ein Biopolymer, das aus dem Grundbaustein Glukose aufgebaut ist – und den zwei synthetischen Polyestern Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT) und Polymilchsäure (PLA) (Abb. 2).

Im Gegensatz zu PE haben diese bioabbaubaren Polymere die Gemeinsamkeit, dass sie chemische Bindungen in den Polymerketten aufweisen, die als «Sollbruchstellen» fungieren. Die Bodenmikroorganismen verfügen über Enzyme, um diese Bindungen zu spalten, da natürlich vorkommende Biopolymere (z. B. Cutin und bestimmte Fette) chemisch vergleichbare Sollbruchstellen enthalten. Die kleinen Polymerbruchstücke können dann von den Mikroorganismen aufgenommen und zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) und neuer mikrobieller Biomasse umgebaut werden. Im Idealfall werden die bioabbaubaren Mulchfolien also genau wie Pflanzenrückstände im Boden abgebaut und umgesetzt.

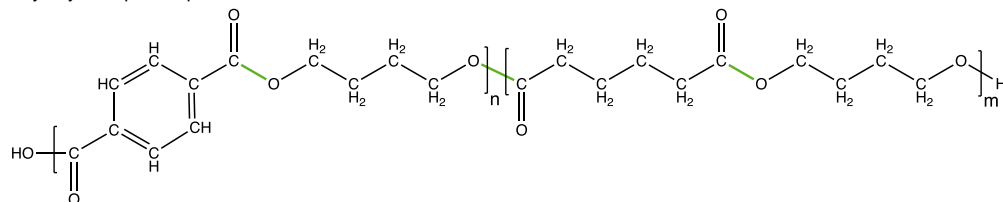
Polymer in konventionellen Mulchfolien

Polyethylen (PE)

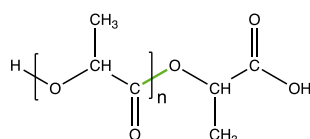


Polymere in bioabbaubaren Mulchfolien

Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT)



Polymilchsäure (PLA)



Stärke

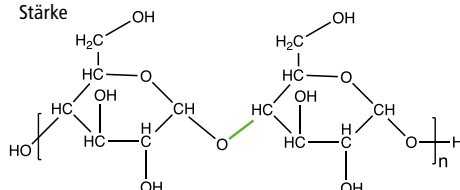


Abb. 2 | Chemische Strukturen von Polyethylen (PE), den bioabbaubaren Polyestern Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT) sowie Polymilchsäure (PLA) und von Stärke, die aus mehreren Glukose-Einheiten besteht. Die grün markierten Bindungen sind mikrobiell zugängliche «Sollbruchstellen» (für Details, siehe Text).



Abb. 3 | Neu angelegte Inkubationsversuche von bioabbaubaren Mulchfolien im Gewächshaus von Agroscope am Standort Reckenholz. Die Materialien werden in mehreren Böden der umliegenden Versuchsflächen über mehrere Jahre inkubiert und deren Rückstände periodisch quantifiziert. Als Bodenbedecker wird eine standortübliche Wiesenmischung angesät. (Foto: Franco Widmer, Agroscope)

Bioabbaubare Mulchfolien haben gegenüber den PE-Folien den grossen Vorteil, dass sie nach dem Gebrauch nicht eingesammelt werden müssen, sondern direkt in den Boden eingebracht werden können. Das erspart Zeit und damit Kosten im Vergleich zu konventionellen PE-Folien.

Zertifizierung für bioabbaubare Mulchfolien

Doch wer garantiert, dass diese bioabbaubaren Folien im Boden wirklich vollständig zu CO₂ und mikrobieller Biomasse abgebaut werden? Diese Frage ist berechtigt, denn bis vor kurzem gab es diesbezüglich keine normierten Anforderungen, welche Mulchfolien erfüllen müssen, um als «im Boden bioabbaubar» deklariert werden zu dürfen. Das Fehlen adäquater Normen hat mitunter dazu geführt, dass bestimmte PE-basierte Folien fälschlich als bioabbaubar vermarktet wurden, obwohl der Beweis eines mikrobiologischen Abbaus nie erbracht wurde.

Glücklicherweise aber gibt es in Europa seit dem letzten Jahr nun die Zertifizierungsnorm EN 17033. Diese schreibt für bioabbaubare Mulchfolien vor, dass der in den Folien enthaltene Kohlenstoff während einer Bodeninkubation innerhalb von zwei Jahren zu mindestens 90 % in CO₂ umgewandelt worden sein muss. Dieser Umwandlungsgrad kann entweder absolut erreicht werden, oder relativ zu einem bekannten bioab-

baubaren Biopolymer (z.B. Zellulose). Die verbleibenden 10 % des Kohlenstoffs liegen nicht unbedingt als ursprüngliche Folie vor. Es ist möglich, dass ein Teil des verbleibenden Kohlenstoffs in das organische Material des Bodens eingebaut worden ist. Die Zertifizierung erfolgt anhand von Bodeninkubationsexperimenten im Labor, die bei konstanter Temperatur von bis zu 25 °C und konstanter Bodenfeuchte durchgeführt werden. Es ist zu erwarten, dass sich diese Zertifizierung auch für kommerziell erhältliche biologisch abbaubare Mulchfolien in der Schweiz durchsetzen wird. Nach dem Entwurf der EU-Verordnung betreffend die Bereitstellung von Düngerprodukten mit CE-Kennzeichnung (d.h. in Übereinstimmung mit EU-Richtlinien), sollen Produkte nach EN 17033 zudem künftig als Bodenverbesserungsmittel gelten.

Durch die Norm nicht spezifiziert wird übrigens die Herkunft des Kohlenstoffs, also ob dieser aus nachwachsenden Rohstoffen (bio-basiert) oder aus fossilen Quellen stammt, denn diese hat keinen Einfluss auf die Bioabbaubarkeit. Als Beispiel: Bio-basiertes Polyethylenterephthalat (PET) ist genau so wenig bioabbaubar wie herkömmliches PET aus fossilen Rohstoffen. Manche synthetischen Polyester aus fossilen Quellen, darunter PBAT, sind hingegen bioabbaubar, obwohl sie nicht bio-basiert sind.

Forschungsfragen zu bioabbaubaren Mulchfolien

Die klare Zertifizierung bioabbaubarer Mulchfolien durch die EN 17033 stellt einen wichtigen Schritt in Richtung Transparenz und ökologischer Beurteilung dar. Gleichzeitig gibt es eine Reihe offener Fragen über den Bioabbau in landwirtschaftlichen Böden, die für bestehende und zukünftige bioabbaubare Mulchfolien gleichermaßen relevant sind:

Sind Laborinkubationsexperimente ins Feld übertragbar?

Es ist zu erwarten, dass eine Mulchfolie, die nach EN 17033 als «im Boden bioabbaubar» zertifiziert ist, auch in landwirtschaftlichen Böden im Freiland mikrobiologisch abgebaut wird. Jedoch gibt es bisher keine Untersuchungen, die den biologischen Abbau im Labor (unter Zertifizierungsbedingungen) direkt mit jenem im Feld vergleichen und bestätigen. Solche Vergleichsstudien stellen eine grosse Herausforderung dar, nicht nur aufgrund der langen Versuchsdauer von mehreren Jahren, sondern auch da neue analytische Methoden entwickelt werden müssen, um den biologischen Abbau der Folien im Feld nachweisen zu können.

Ist die Abbaubarkeit abhängig vom Bodentyp?

Die Bioabbaubarkeit von organischem Kohlenstoff ist nicht nur eine Eigenschaft des Polymermaterials, sondern gleichzeitig auch immer eine solche des Milieus, in dem der Prozess stattfindet. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass bodenspezifische Eigenschaften den Abbau der Folien massgeblich mitbeeinflussen. Diese können zum einen rein abiotischer Natur sein (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, pH-Wert, Nährstoffverfügbarkeit),

zum anderen betreffen sie die Bodenmikrobiologie (siehe unten). Bei der Zertifizierung wird in der Regel nur ein Boden getestet. Es gilt also zu untersuchen, wie gross die Variationen zwischen den Böden bezüglich des Bioabbaus dieser Folien sind, und welche Faktoren dabei eine Rolle spielen.

Welche Mikroorganismen sind zum Abbau befähigt?

Eine erfolgreich zertifizierte biologisch abbaubare Mulchfolie kann von natürlich vorkommenden Bodenmikroorganismen zu CO₂ und mikrobieller Biomasse ab- und umgebaut werden. Einzelne Organismen, die diesen Bioabbau durchführen können, sind bereits isoliert und beschrieben worden (Koitabashi *et al.* 2012; Muroi *et al.* 2017). Aber es bleiben Wissenslücken: Wie verbreitet ist die Fähigkeit unter Bodenmikroorganismen, die Polymere in bioabbaubaren Mulchfolien enzymatisch zu zerkleinern und dann als Nährstoff zu nutzen? Welche Rolle spielen Pilze und welche Rolle fällt Bakterien zu? Gibt es Schlüsselorganismen, die in einem Boden vorhanden sein müssen, um einen schnellen biologischen Abbau gewährleisten zu können? Wie verbreitet sind diese? Ist die Aktivität der abbauenden Organismen möglicherweise durch äussere Umweltfaktoren beeinflusst (siehe oben)?

Zur Beantwortung dieser wichtigen Forschungsfragen haben die Autoren dieses Kurzberichts eine auch durch das BLW unterstützte wissenschaftliche Zusammenarbeit lanciert. In Labor-, Gewächshaus- (Abb. 3) und Freilandversuchen werden sie dem biologischen Abbau der Folien in den kommenden Jahren auf den Grund gehen. ■

Literatur

- Kalberer A., Kawecki-Wenger D. & Bucheli T.D., 2019a. Plastikströme in der Schweizer Landwirtschaft und ihr Risikopotenzial für Böden. *Agrarforschung Schweiz* **10** (11–12), 416–423.
- Kalberer A., Kawecki-Wenger D. & Bucheli T.D., 2019b. Plastik in der Landwirtschaft. Stand des Wissens und Handlungsempfehlungen für die landwirtschaftliche Forschung, Praxis, Industrie und Behörden. Agroscope, Zürich, und Empa, St. Gallen. *Agroscope Science* **89**, 57 S. Zugang: <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/42595> [19.11.19].
- Kasirajan S. & Ngouajio M., 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy and Sustainable Development* **32**, 501–529.
- Koitabashi, M., Noguchi, M.T., Sameshima-Yamashita, Y., Hiradate, S., Suzuki, K., Yoshida, S., Watanabe, Shinozaki, Y., Tsushima, S., Kitamoto, H.K. 2012. Degradation of biodegradable plastic mulch films in soil environment by phylloplane fungi isolated from gramineous plants. *AMB Express* **2**, 40.
- Muroi, F., Tachibana, Y., Soulethone, P., Yamamoto, K., Mizuno, T., Sakurai, T., Kobayashi, Y., Kasuya, K. 2017. Characterization of a poly(butylene adipate-co-terephthalate) hydrolase from the aerobic mesophilic bacterium *Bacillus pumilus*. *Polymer Degradation and Stability* **137**, 11–22.
- Qian H., Zhang M., Liu G., Lu T., Qu Q., Du B. & Pan X., 2018. Effects of Soil Residual Plastic Film on Soil Microbial Community Structure and Fertility. *Water Air and Soil Pollution* **229**, 261.
- Sander M. 2019. Biodegradation of Polymeric Mulch Films in Agricultural Soils: Concepts, Knowledge Gaps, and Future Research Directions. *Environmental Science and Technology* **53**, 2304–2315.
- Steinmetz Z., Wollmann C., Schaefer M., Buchmann C., David J., Tröger J., Muñoz K., Frör O. & Schaumann G.E., 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment* **550**, 690–705.