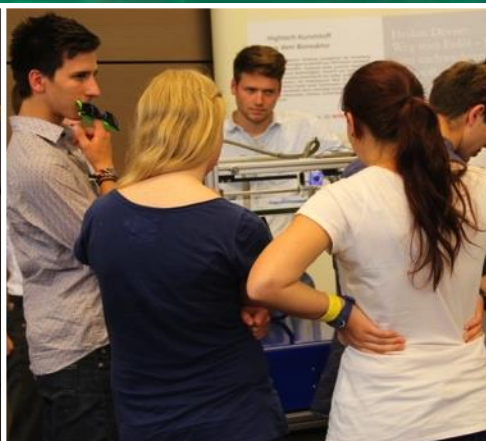
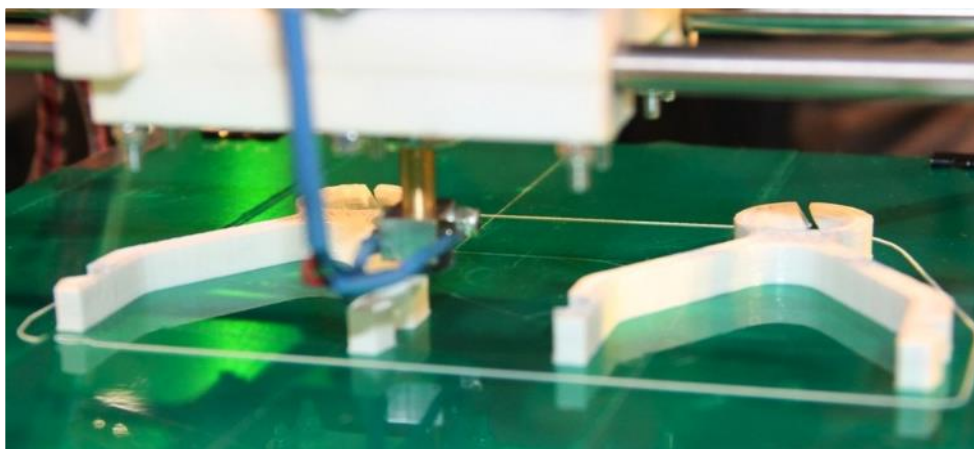


Bioökonomie

Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Ausgewählte Projekte angewandter Forschung in Baden-Württemberg



Materialien zur Unterrichtsgestaltung

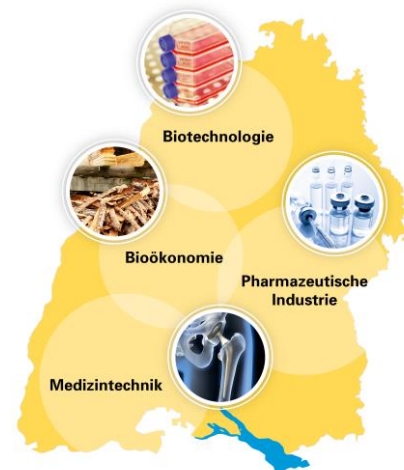


Vorwort

Prof. Dr. Ralf Kindervater

Geschäftsführer der BIOPRO Baden-Württemberg GmbH

Mit der BIOPRO Baden-Württemberg GmbH steht seit 2002 eine vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau und dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst gemeinsam getragene Landesgesellschaft zur Verfügung, die den Standort Baden-Württemberg national und international vertritt. Wir sind gestartet mit der Begleitung und Betreuung der Biotechnologie als Schlüsseltechnologie. Im Jahr 2013 erfolgte eine Erweiterung unserer Zuständigkeit: Die „neue“ BIOPRO ist der zentrale Ansprechpartner für die Gesundheitsindustrie mit den Branchen Medizintechnik, Pharmazeutische Industrie und Biotechnologie und unterstützt den Aufbau einer Bioökonomie im Land. Wir stellen die kürzesten Verbindungen her zwischen Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Netzwerken und begleiten Gründer auf dem Weg in ihr eigenes Unternehmen. Unser Ziel ist es, mit unserem Fachwissen Baden-Württemberg als herausragenden Standort weiterzuentwickeln und ein optimales Klima für Innovationen zu schaffen. Wir bewirken mit unserer Arbeit aber auch sehr konkret, dass wissenschaftliche Erkenntnisse schneller den Weg in die Wirtschaft finden.



Kräfte bündeln - Innovationen lenken

Baden-Württemberg ist ein starker Standort der Gesundheitsindustrie. Die zahlreichen Unternehmen der Medizintechnik, der Pharmazeutischen Industrie und der Biotechnologie bilden einen Kernbereich der baden-württembergischen Wirtschaft. Wir untermauern dies mit Daten und Fakten und tragen dazu bei, die führende Position des Landes national und international deutlich zu machen.

In einer Bioökonomie dienen nachwachsende Rohstoffe als Basis zum Beispiel für Chemikalien, Kunststoffe und Energie. Wichtige Verfahren zur Umsetzung von Biomasse in Zwischenprodukte kommen aus der Biotechnologie/Biologie. Wir sensibilisieren Unternehmen für die wirtschaftlichen Chancen in diesem Bereich und engagieren uns für die Etablierung einer Bioökonomie in Baden-Württemberg.

„Wenn Sie nicht über die Zukunft nachdenken, werden Sie keine haben“ lautet ein Sprichwort. Die Zukunft der Biotechnologie gründet sich auf motivierte und qualifizierte Nachwuchswissenschaftler. Daher engagiert sich die BIOPRO Baden-Württemberg aktiv auf dem Gebiet der Nachwuchsförderung. Damit eine solche Förderung und Wissensvermittlung erfolgreich ist, muss sie früh ansetzen. In Baden-Württemberg wird dies durch 31 Biotechnologische Gymnasien und eine Reihe von Initiativen im Umfeld der allgemeinbildenden Schulen gesichert. Seit 2008 werden die besten Absolventen im Profulfach Biotechnologie an den beruflichen Gymnasien biotechnologischer Richtung in Baden-Württemberg mit dem MTZ®-BIOPRO Schülerpreis ausgezeichnet.



Gruppenfoto mit den MTZ® -Schülerpreisträgern 2016 und dem Vorstand der MTZ®stiftung (Foto: BIOPRO)

Der Wissenszuwachs in Gesundheitsindustrie und Bioökonomie ist enorm und für Laien nicht immer verständlich. Daher übernehmen wir die Rolle eines Dolmetschers und bieten Übersichtsvorträge zu Innovationen aus Medizintechnik, Biotechnologie, pharmazeutischer Forschung und Bioökonomie für Schulklassen ab Klasse 9 an. Wir geben in unseren Vorträgen einen Einblick in ausgewählte Projekte aus der Forschung in Baden-Württemberg und zeigen anhand von Beispielen, welche Entwicklungen sich in den letzten Jahren ergeben haben. Mithilfe von Materialproben und Projektbeispielen wird den Schülern ein Eindruck vom Themengebiet vermittelt.

Materialien zur Unterrichtsgestaltung

In den Unterrichtsmaterialien werden aktuelle Forschungsprojekte aus Baden-Württemberg für die Integration in den Unterricht aufbereitet. Der aktuelle Forschungsbezug im Bereich Biotechnologie und Gesundheit sowie Biotechnologie und Bioökonomie in Verknüpfung mit klassischen Unterrichtsthemen kann daher das Interesse der Schüler im Bereich NWT verstärken und vertiefen. Die Materialien zur Unterrichtsgestaltung werden zum Thema „Biokunststoffe“ sowie zu den Themen „Peripheres Nervensystem“ und „Ersatz für Tierversuche“ angeboten.

Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Dr. Ariane Pott

Inhaltsverzeichnis

Was versteht man unter Bioökonomie?	6
Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	8
Was sind Kunststoffe?	8
Wie werden Kunststoffe aus Erdöl hergestellt?	9
Beispiel: Polyamide	10
Beispiel: ABS-Kunststoff (Acrylnitril-Butadien-Styrol)	10
Was versteht man unter Biokunststoffen?	10
Wie werden Biokunststoffe hergestellt?	10
Beispiel: Nylon aus dem Biotank	12
Beispiel: Blockflöten aus flüssigem Holz	12
Beispiel: HMF – die Basis-Chemikalie aus der Chicorée-Wurzel	13
Literatur	14
Glossar	14

Was versteht man unter Bioökonomie?

Bioökonomie ist ein neues Modell für Industrie und Wirtschaft. Sie setzt einerseits auf nachwachsende Rohstoffe als Basis für Nahrungsmittel, Energie und Industrieprodukte. Andererseits betont sie die Rolle von Stoffkreisläufen biogener Wertstoffe. Mit diesem Modell soll langfristig die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen reduziert werden.

Eine Bioökonomie umfasst, nach der Definition des BioÖkonomieRats, dem Beratungsgremium der Bundesregierung für Bioökonomie, alle industriellen und wirtschaftlichen Sektoren und ihre dazugehörigen Dienstleistungen, die biologische Ressourcen produzieren, ver- und bearbeiten oder nutzen. Als biologische Ressourcen versteht man Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen und schließt demnach die Wirtschaftssektoren Land- und Forstwirtschaft, die Nahrungsmittelindustrie, die Fischerei und Aquakulturen sowie Teile der Chemie-, Pharmazie-, Kosmetik-, Biotechnologie- und Textilindustrie sowie die Energieerzeugung mit ein.

Die Europäische Union (EU) und Deutschland haben es sich zum Ziel gesetzt, die so genannte wissenschaftsbasierte Bioökonomie zu fördern, um nachhaltig Rohstoffe und Energie aus Biomasse zu gewinnen, die globale Ernährung zu sichern und die biologische Vielfalt zu erhalten sowie Umwelt und Klima zu schützen. Eine Herausforderung, die das Leben der Menschheit auf diesem Planeten sichern soll.

Vier Herausforderungen

Soll die Bioökonomie erfolgreich realisiert werden, darf sie nicht nur versuchen, bestehende Infrastrukturen zu ersetzen. Sie muss auf die bestehenden Industrieprozesse aufbauen. Das heißt, sie muss zunächst Drop-in-Lösungen bieten, um in der Industrie Fuß zu fassen. Begleitend dazu müssen neue Prozesse, Produkte und Wertschöpfungsketten etabliert werden, die die herkömmlichen Prozesse mit der Zeit ablösen. Vier Herausforderungen gilt es zu bewältigen.

Erstens: Die Bioökonomie muss sich eine solide und sichere Rohstoffbasis über die landwirtschaftliche und die forstwirtschaftliche Produktion sichern. Diese Rohstoffe müssen so verteilt werden, dass die Ernährung der Menschen gesichert ist, aber auch alle Wirtschaftssektoren, die diese Rohstoffe nutzen, berücksichtigt werden. Eine wichtige Rohstoffquelle der Bioökonomie ist die Abfallwirtschaft. Sie kann mit Pflanzenresten, Gärresten, Bioabfall und Landschaftspflegegut Unmengen an biogenen Reststoffen bereitstellen. Diese könnten in erster Linie für Energie, Chemikalien und Materialien genutzt werden. Die Stoffströme der Abfallwirtschaft müssen dazu jedoch an die neuen Wertschöpfungsketten der Bioökonomie angepasst werden.

Rohstoffe umwandeln

Die zweite Herausforderung ist, die biobasierten Rohstoffe mit sogenannten Konversionsverfahren in Kohlenwasserstoffe umzuwandeln. Konversionsverfahren sind die Brücke zwischen der alten Erdölchemie und der neuen Grünen Chemie. Kohlenwasserstoffe direkt aus Biomasse zu gewinnen, ist heute schon möglich. Doch die Verfahren müssen erst noch zur großindustriellen Reife entwickelt werden.



Die Basis einer Bioökonomie sind nachwachsende Rohstoffe und Reststoffe. (Foto: Uschi Dreiuicker / pixelio.de)

Die Konversion ist nur ein Bereich, in dem die Bioökonomie Umsatzchancen bietet. Weiteres Potenzial liegt in neuen Werkstoffen und Materialien. Vor allem durch die genau abgestimmte Prozessführung von chemischen, thermischen und biotechnologischen Verfahrensschritten lassen sich diese Potenziale freisetzen und nutzen. Ein Beispiel ist das biobasierte Polyamid-5,10, das im Cluster Biopolymere/ Biowerkstoffe produziert wurde.



Biogasanlagen (Foto: Fotolia/ Achim Banck)

Die dritte Herausforderung ist die Nachhaltigkeit. Sie ist ein Merkmal, das von der Bioökonomie nicht zu trennen ist. Ohne Nachhaltigkeit keine Bioökonomie. Der Anspruch zieht weitere Anforderungen nach sich. Diese wurden in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten zwar schon diskutiert und in Teilen auch bearbeitet, müssen gegenüber anderen Interessen von Wirtschaft und Industrie in Zukunft jedoch viel prominenter behandelt werden. Dazu zählen zum Beispiel konsequenter Klimaschutz, Wasser- und Bodenschutz oder der Schutz der Biodiversität. Rohstoffe aus Feld, Wald und Wiese künftig industriell nutzen zu wollen, heißt dann mehr denn je, die jeweiligen Ökosysteme zu pflegen und zu erhalten. Damit kommt die Biodiversitätsforschung ins Spiel. Für die Bioökonomie bedeutet das, die Artenvielfalt, also die Biodiversität zu fördern. Sie durch unbedachte, allein auf Masse ausgelegte Landnutzungsmethoden zu gefährden, wäre ein Widerspruch.

Biodiversität als wertschöpfend anerkennen

Bioökonomie berührt auch die Themen Ethik und Soziales. Landwirtschaftliche Flächen sind begrenzt. Es muss eine Entscheidung getroffen werden, welche Anteile für Nahrungsmittel, Futtermittel, Kraftstoffe und biobasierte Werkstoffe zur Verfügung gestellt werden soll. Vor dem Hintergrund von Hunger, Artensterben, Umwelt- und Klimaschutz fordert diese Konkurrenz eine grundlegende Einschätzung unter ethischen Gesichtspunkten. Der Strategiekreis Bioökonomie des Landes Baden-Württemberg hat in seinem Verständnis von Bioökonomie auch festgeschrieben, dass soziale Interessen ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Die vierte Herausforderung ist, die technologischen Lösungen, die in diesen Teilaspekten der Bioökonomie etabliert werden, in Arbeitsplätze, Anlagen, Dienstleistungen, Exportgüter umzuwandeln. Damit werden die volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Seiten der Bioökonomie erfüllt. Darüber hinaus müssen Kriterien entwickelt werden, mit denen sich Umweltschutz, Klimaschutz und Biodiversität ökonomisch bewerten lassen. Auch in diesem Punkt verlangt Bioökonomie ein Umdenken. Zum einen müssen solche Fragen nach immateriellen Werten gestellt werden dürfen. Zum anderen gilt es, weiche Faktoren wie Biodiversität als wertschöpfend anzuerkennen.

Bioökonomieforschung in Baden-Württemberg

Aus diesen Herausforderungen ergibt sich ein erheblicher Forschungsbedarf. Denn der Wandel zur Bioökonomie ist ohne Wissenschaft und Forschung nicht möglich. Deshalb findet man in vielen Publikationen den Begriff „wissensbasierte Bioökonomie“ (knowledgebased bioeconomy, KBBE). Baden-Württemberg hat sich der Verantwortung gestellt, dass Bioökonomie über regionalpolitische Entscheidungen und Initiativen gefördert werden muss. Das Land hat eine Forschungsstrategie Bioökonomie erarbeitet und setzt diese mit rund 50 Forschungsprojekten aktuell um.

Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Dr. Ariane Pott

Welchen Beitrag Biokunststoffe für eine Bioökonomie leisten können

Was sind Kunststoffe?

Kunststoffe sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken: Sie begegnen uns als Verpackungsmaterialien und Textilfasern, sind Bestandteil von Klebstoffen und Kosmetika (Silikone), werden im Fahrzeugbau eingesetzt oder zu Dämmstoffen, Elektronikgehäusen und Implantaten verarbeitet. Kunststoffe können so vielfältig eingesetzt werden, da sich ihre technischen Eigenschaften wie Formbarkeit, Härte, Bruchfestigkeit oder Temperaturbeständigkeit durch die Wahl von Ausgangsmaterial, Herstellungsverfahren und Beimischung von Zusatzstoffen in weiten Grenzen variieren lassen. So können Kunststoffe auf eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen „maßgeschneidert“ werden.

Kunststoffe sind hochmolekulare Substanzen, also Polymere, die aus monomeren Bausteinen zusammengesetzt sind. Man unterteilt die Polymerwerkstoffe häufig nach ihren Eigenschaften in Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere.

- Thermoplaste sind aus nicht oder kaum verzweigten Kohlenstoffketten zusammengesetzt, die nicht quervernetzt sind und somit nur durch die van-der-Waals-Kräfte zusammengehalten werden. Dadurch, dass sich die einzelnen Ketten leicht gegeneinander verschieben können, sind Thermoplaste oberhalb einer spezifischen Temperatur verformbar und schmelzen bei hohen Temperaturen. Dieser Prozess ist reversibel. Ein Alltagsbeispiel für ein Produkt aus einem Thermoplast ist die Plastiktüte. Die Tüte, die aus Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) besteht, lässt sich stark dehnen. Wenn die Zugkraft jedoch die nicht-kovalenten Bindungskräfte zwischen den Polymerketten übersteigt reißt die Tüte. Ein

weiteres Beispiel für thermoplastische Kunststoffe sind Polyamide.

- Duroplaste sind im Gegensatz zu den Thermoplasten dreidimensional quervernetzt. Werden sie erwärmt, so verformen sie sich nicht und bleiben über einen weiten Temperaturbereich formstabil. Erst bei hohen Temperaturen brechen die Bindungen auseinander und der Kunststoff zersetzt sich. Für ihre Bearbeitung werden sie entweder in nicht vernetzten Zustand in die entsprechende Form gegossen oder später in die Form gespant. Typische Vertreter der Duroplaste sind die Phenoplaste sowie die Epoxidharze. Angewendet werden Duroplaste zum Beispiel in Feuerwehrhelmen und im Rumpf von Tretbooten.



Abbildung 1: Plastiktüten aus einem Thermoplast (Foto: rdnl / Fotolia)



Abbildung 2: Feuerwehrhelm, der in Anteilen aus einem Duroplast besteht (Foto: Joachim Wendler / Fotolia)

- Elastomere sind locker vernetzte Kautschukmakromoleküle. Der Vernetzungsgrad ist gering und daher sind sie elastisch verformbar. Sie lassen sich dehnen und kehren danach in ihren Ausgangszustand zurück. Wird der Kunststoff gedehnt, so gehen die sonst verknäulten Polymerketten in einen gestreckten Zustand mit einer geringen Entropie über. Wird der Kunststoff wieder entlastet, so kehren die Molekülketten in den ursprünglichen verknäulten Zustand zurück, der durch seine hohe Entropie begünstigt wird. Gummiwerkstoffe kommen zum Beispiel in Autoreifen oder in den klassischen elastischen Gummibändern zum Einsatz.

Wie werden Kunststoffe aus Erdöl hergestellt?

Herkömmlich werden Kunststoffe aus Erdöl hergestellt. Das Erdöl, das ein Stoffgemisch aus ver-

schiedenen Kohlenwasserstoffen ist, wird zunächst in einer Ö Raffinerie in verschiedene Fraktionen getrennt (fraktionierte Destillation). Dabei entstehen die Fraktionen Gas, Naphta (Benzin), Kerosin und Petroleum und Gasöl (Diesel und Schmieröle) sowie der Rückstand Bitumen, der unter anderem als Asphalt eingesetzt wird. Aus dem Naphtha, das viele Cycloalkane enthält, werden Monomere für die Kunststoffproduktion gewonnen. Durch das thermische Cracken werden die langkettigen Kohlenwasserstoffe in Ethen, Buten, Propen sowie weitere Verbindungen gespalten. Diese wiederum dienen dann als Basis für die Polymerisation oder weitere Umwandlungen.

Um aus den Monomeren die Polymerwerkstoffe zu gewinnen, gibt es unterschiedliche Reaktionstypen:

- Polymerisationen: Die Polymere bilden sich zu einer Kette auf der Basis von Monomeren. Damit die Kettenreaktion beginnt, wird zunächst eine aktive Substanz (Ionen, Radikale) benötigt, die eine Startreaktion mit einem Monomer hervorruft. Hier unterscheidet man die radikalische, die ionische und die Ziegler-Natta-Polymerisation.
- Polykondensationen: Über die Veresterung werden Polyester und Polycarbonate gebildet, während durch Carbonsäureamidbildung Polyamide entstehen. Bei der Polykondensation werden immer niedermolekulare Spaltprodukte, wie Wasser oder Alkohole, freigesetzt.
- Polyadditionen: Hierbei werden unter an-

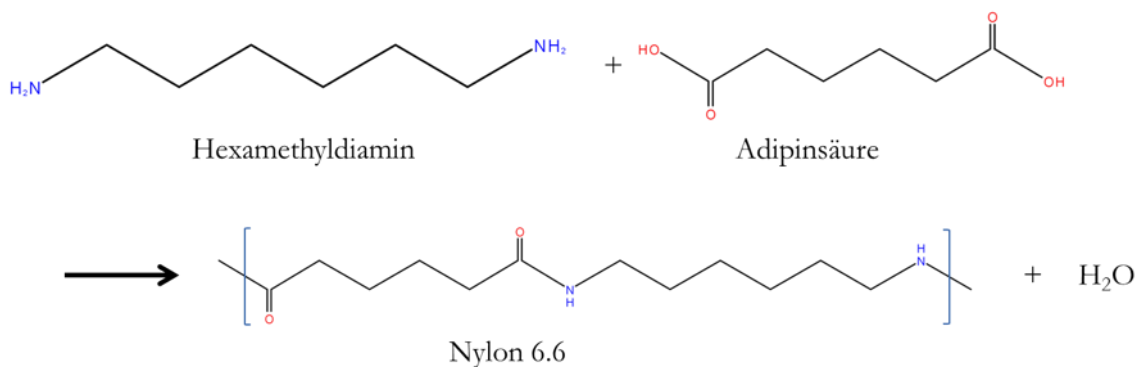


Abbildung 3: Synthese von Nylon 6.6

derem Polyurethanen und Epoxidharze gewonnen. Es werden keine niedermolekularen Spaltprodukte freigesetzt.

Beispiel: Polyamide

Damenstrumpfhosen, Drachenschnüre und Dübel haben eines gemeinsam: sie werden aus Polyamiden hergestellt. Die technisch-nüchterne Vokabel „Polyamid“ steht nicht nur für Erfolgsgeschichten wie der des Nylons, sondern auch für die Werkstoffräume vieler Produktentwickler. Die Kunststoffe werden chemisch-synthetisch hergestellt und lassen sich dabei so stark variieren, dass ihre Eigenschaften in viele Richtungen angepasst werden können. Keine Überraschung also, dass Polyamide nicht nur zu Massenwaren wie Shirts und Strumpfhosen verarbeitet werden, sondern auch für Zahnräder, Gleitlager, Gehäuse oder Implantate ein wichtiger Werkstoff sind.

Das bekannteste Polyamid ist das Polyamid 6.6, das mit dem Markennamen Nylon des Unternehmens DuPont bekannt wurde. Die chemische Bezeichnung lautet Polyhexamethylenadipinsäureamid. Der kürzere Name Polyamid 6.6 ergibt sich aus der Anzahl der Kohlenstoffatome in den einzelnen Bestandteilen. Dabei wird zuerst die Anzahl der C-Atome in dem Diaminanteil und im Anschluss die Anzahl in dem Dicarbonsäureanteil genannt. Das Polyamid 6.6 wird über eine Polykondensation hergestellt (siehe Abbildung 3).

Beispiel: ABS-Kunststoff (Acrylnitril-Butadien-Styrol)

Der ABS-Kunststoff gehört wie die Polyamide zu den thermoplastischen Kunststoffen und wird aus den drei Monomeren Acrylnitril, 1,3-Butadien und Styrol hergestellt. Man bezeichnet es daher als Terpolymer. Es kann sowohl durch die sogenannte [Pfpolymerisation](#) als auch durch Vermischen ([Blenden](#)) der einzelnen Bestandteile hergestellt werden.

Ein großer Anteil der ABS-Kunststoffe wird in der Automobil und Elektroindustrie verwendet. Das Terpolymer wird jedoch auch für Lego-Steine und Musikinstrumente eingesetzt. Verarbeitet wird der ABS-Kunststoff in der Regel im [Spritzgussverfahren](#) oder über einen [Extruder](#). Da ABS sich gut mit anderen Thermoplasten mischen lässt, gibt es zahlreiche technische [Blends](#).

Im Bereich der Musikinstrumente konnte sich die Kunststoffblockflöte für die Musikpädagogik

durchsetzen. Die im Spritzgussverfahren hergestellte Flöte ist bedeutend günstiger zu produzieren als die Holzblockflöten. Des Weiteren sind Kunststoff-Blockflöten sehr pflegeleicht. Holz wird jedoch nach wie vor bei Blockflöten der Vorzug gegeben, da seine klanglichen Eigenschaften denen des ABS-Kunststoffs deutlich überlegen sind.

Was versteht man unter Biokunststoffen?

Wie oben beschrieben werden die Grundbausteine der meisten Kunststoffe aus Erdöl gewonnen. Es ist jedoch auch möglich, diese Grundbausteine aus nachwachsenden Rohstoffen zu gewinnen; die so gewonnenen Kunststoffe werden als biobasiert bezeichnet. Momentan haben diese biobasierten Kunststoffe noch eine verschwindend geringe Bedeutung am Kunststoffmarkt: Im Jahr 2015 machte die weltweite Produktion mit 2,03 Mio. Tonnen gerade mal 0,6 Prozent der Gesamtkunststoffproduktion aus. Aber der Klimawandel und das allgemein gestiegene Umweltbewusstsein, der steigende Rohölpreis und der Wunsch nach Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen sowie die Suche nach Werkstoffen mit neuen Eigenschaften machen biobasierte Kunststoffe zunehmend interessanter. Biokunststoffe werden Dank kontinuierlicher Forschung immer leistungsfähiger und sind in ihren Eigenschaften mit petrochemischen Kunststoffen vergleichbar – oder sogar besser.

Wie werden Biokunststoffe hergestellt?

Bei der Herstellung von Biopolymeren auf Basis nachwachsender Rohstoffe werden chemische und biotechnologische Methoden eingesetzt. Denn die Biotechnologie kann zahlreiche herkömmliche Verfahren oder Teilschritte in der Industrie ersetzen, womit Prozesse beschleunigt, Ressourcen eingespart und Umwelt und Klima geschont wer-

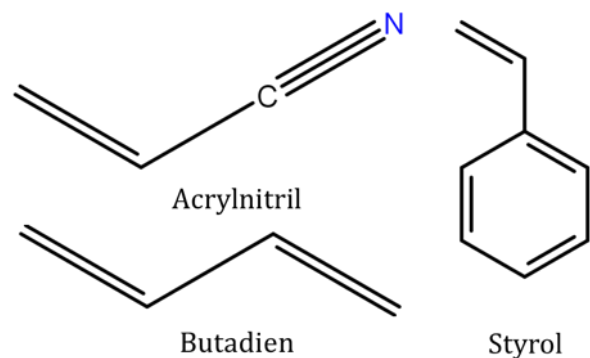


Abbildung 4: Monomere des ABS-Kunststoffs

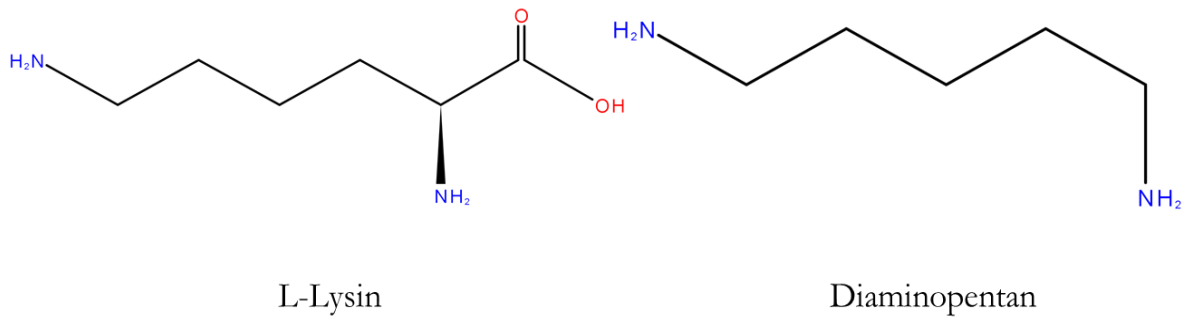


Abbildung 5: Aminosäure L-Lysin und die Polyamid-Vorstufe Diaminopentan

den können.

Grund- und Feinchemikalien können biotechnologisch durch Mikroorganismen, wie Pilze und Bakterien oder Enzyme hergestellt werden. Die Mikroorganismen sind dabei zumeist gentechnisch optimiert worden und werden in Fermentern kultiviert.

Heute werden zum Beispiel zahlreiche Aminosäuren biotechnologisch mit Bakterien produziert. Dazu gehört auch die essentielle Aminosäure Lysin. Lysin wird in dem Bakterium *Corynebacterium glutamicum* mit mehreren 100.000 Tonnen pro Jahr für die Futtermittelindustrie sowie als Nahrungsergänzungsmittel produziert. Wo früher zufällige Mutationen im Erbgut und anschließendes Screening dazu führten, dass die Synthese der Aminosäure verbessert wurde, wird heute das Metabolic Engineering eingesetzt. Durch systembiologische Untersuchungen der Stoffwechselwege wissen die Forscher, welche Enzyme bei der Produktion von Lysin eine Rolle spielen. Eine Möglichkeit, die Enzymaktivität zu beeinflussen liegt auf der Ebene der DNA. Hier kann durch gentechnische Methoden zum Beispiel die Anzahl der Kopien des Gens für das gefragte Enzym erhöht werden.

Welchen Einfluss das Metabolic Engineering auf das Produktionsverhalten eines Organismus' haben kann, zeigen folgende zwei Beispiele. Bei *Corynebacterium glutamicum* kann die Lysinbildung um 50 Prozent gesteigert werden, wenn das Gen für das Enzym Pyruvatcarboxylase übermäßig exprimiert wird. Pyruvatcarboxylase setzt Pyruvat, ein Endprodukt der Glykolyse, zu Oxalacetat um. Dieses wiederum ist eine wichtige Vorstufe für die Lysinsynthese. Entfernt man hingegen das Pyruvatcarboxylase-Gen, bricht die Lysinsynthese ein.

Des Weiteren fanden Wissenschaftler heraus, dass sie die Lysinproduktion um 40 Prozent verbessern können, wenn sie den zweiten Reaktionsschritt in der Glykolyse blockieren. Sie legten das Enzym Phosphohexose-Isomerase lahm und zwangen die Zelle, sich einer Nebenstrecke des Zuckerstoffwechsels zu bedienen – dem Pentosephosphatweg. Mit dieser Maßnahme verringerten sie Nebenreaktionen und steigerten zudem die Produktion an NADP – ein Molekül, das für die Lysinsynthese unverzichtbar ist.

Eine Möglichkeit, die Aktivität eines Enzyms zu verringern, ist, sein Start-Codon zu ändern. Dadurch werden deutlich weniger intakte Kopien des Enzyms hergestellt, so dass dessen Aktivität im Bakterium deutlich absinkt. Im Jahr 2011 entwickelten Wissenschaftler einen maßgeschneiderten Stamm, der alle in den letzten fünfzig Jahren auf dem klassischen Wege entwickelten Stämme im Bereich der L-Lysinproduktion übertraf. Dass die Lysin-Produktion jedoch nicht nur für die Nahrungsmittelindustrie interessant ist, wird im nächsten Kapitel deutlich. Denn auf der Basis von Lysin lassen sich auch Polyamide herstellen, wie das fol-



Abbildung 6: Mit einem Laborbioreaktoren führen Wissenschaftler erste Tests durch, um daraus biotechnologische Verfahren im Industriemaßstab zu entwickeln. (© BIOPRO/Bächtle)

gende Beispiel zeigt.

Beispiel: Nylon aus dem Biotank

Obwohl Kunststoffproduzenten schon fast 75 Jahre Erfahrung bei der Herstellung und Verarbeitung von Polyamiden haben, stoßen sie immer mehr an Grenzen. Der Fortschritt fordert Polyamide mit besseren Eigenschaften – doch die langen Molekülketten lassen sich nicht beliebig biegen, ziehen, pressen oder erhitzen. Um das Anwendungsspektrum der Polyamide zu erweitern, müssen Neuentwicklungen erarbeitet werden. Die Polyamide von morgen sollen noch besser verformbar und dennoch mechanisch stabil sein, sie sollen Umwelteinflüssen beharrlich trotzen und sich trotzdem gut anfühlen.

Das Geheimnis der Eigenschaften eines Polyamids schlummert maßgeblich in den Grundstoffen, aus denen ein Polyamid aufgebaut ist. Entweder kommen Aminosäuren zum Einsatz oder die Entwickler greifen zu Mischungen aus Diaminen und Dicarbonsäuren. In einem Projekt des Clusters Biopolymere/Biowerkstoffe versuchen die Projektpartner die biologische Synthese von Diaminen zu realisieren. 1,5-Diaminopentan ist einer der Kandidaten, der als Grundchemikalie für die Polymerherstellung dienen kann. Diaminopentan kann durch die Decarboxylierung, also die Abspaltung der Carboxyl-Gruppe von Lysin gewonnen werden.

Hier lässt sich wieder auf die gute biotechnologische Produktion des Lysins durch *C. glutamicum* zurückgreifen. Am Ende des biotechnologischen Prozesses soll jedoch nicht Lysin, sondern Diaminopentan stehen. *C. glutamicum* kann von Natur aus kein Diaminopentan bilden. Mittels heterologer Expression konnten japanische Wissenschaftler eine Lysin-Decarboxylase aus *Escherichia coli* in *C. glutamicum* einführen, so dass sich die überzählige Carboxylgruppe bereits in der Zelle abspalten lässt. Im Jahr 2010 gelang dann einer Gruppe um Prof. Dr. Christoph Wittmann vom Institut für Bioverfahrenstechnik der Technischen Universität Braunschweig eine weitere Verbesserung der Produktivität des Diaminopentans. Damit sind die Biotechnologen der fermentativen Produktion von Diaminopentan bereits einen großen Schritt näher gekommen. Jetzt soll die Ausbeute an Diaminopentan gesteigert werden, indem die aktuell verfügbaren Methoden mit Hilfe der Systembiologie

und dem Metabolic Engineering weiterentwickelt werden. Aus dem biotechnologisch gewonnenen Diaminopentan sollen anschließend praxistaugliche Polyamide produziert werden.

Auf Basis des 1,5-Diaminopentans lässt sich zum Beispiel zusammen mit der Sebacinsäure das Polyamid 5.10 herstellen. Die Sebacinsäure kann durch die Spaltung von Rizinusöl gewonnen werden und ermöglicht so einen Biowerkstoff, der zu hundert Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen besteht.

Beispiel: Blockflöten aus flüssigem Holz

Holz bildet einen wichtigen Rohstoff in unserer Industrie. Holz ist der Teil des Baumes, in dem Wasser und Nährsalze von Wurzeln bis zu den weiteren Organen der Pflanze transportiert werden. Ferner übernimmt das Holz eine Stützfunktion. Die Stabilität des Holzes wird durch das Lignin hervorgerufen. Lignin, ein Biopolymer, das aus den drei Alkoholen Coniferylalkohol, Cumarylalkohol und Sinapylalkohol besteht, die sich alle von der Aminosäure Phenylalanin ableiten und zu dem komplexen Molekül polymerisiert sind. Dabei sieht Lignin nicht immer gleich aus, denn der Anteil der Alkohole im Polymer ist verschieden und hängt von der Pflanze ab. Das Lignin bildet gemeinsam mit der Zellulose eine dreidimensionale Gerüststruktur um die Zellwände aus. Lignin ist besonders für die Druckfestigkeit der Pflanze erforderlich und ermöglicht so das Längenwachstum.

In der Papierindustrie fällt Lignin als Abfallstoff an, da es zu einer Vergilbung des Papiers beiträgt. Es wird unter anderem als Brennstoff oder als Grundsubstanz für die Herstellung von Vanillin eingesetzt. Eine weitere Anwendungsidee hatte die Tecnar GmbH aus dem baden-württembergischen Ilsfeld. Sie entwickelte den Faserverbundwerkstoff ARBOFORM, der unter anderem enzymatisch behandeltes Lignin enthält. Mit Hilfe der enzymatischen Behandlung, die dem Firmengeheimnis unterliegt, wird das Lignin besser verarbeitet und sein starker Holzgeruch wird eliminiert. Gemeinsam mit Hanf, Flachs oder Zellulosefasern aus Holz wird das Lignin durch [Compoundieren](#) in einem [Extruder](#) zu Granulat verarbeitet.

ARBOFORM ist ein thermoplastischer Werkstoff, der über Spritzguss oder Pressen auf normalen Maschinen der Kunststoffindustrie verarbeitet

werden kann. Aus ihm werden neben Möbeln oder Autoinnenausstattung auch Musikinstrumente hergestellt. Da die Herstellung von zum Beispiel Blockflötenköpfen wie mit herkömmlichem Kunststoff über ein Spritzgießverfahren erfolgen kann, sind die Prozesskosten im Vergleich zu Holz deutlich niedriger. Zudem entstehen die sonst bei der spannenden Bearbeitung von Vollholz oder Schichtpresshölzern anfallenden Abfällen nicht. Der Werkstoff hat im Vergleich zu ABS eine hervorragende Akustik, da die Vorteile des Holzes beibehalten werden. Dies wurde bereits mehrfach von Experten bestätigt wurde. Mittlerweile gibt es auch Klarinettenmundstücke aus ARBOFORM.

Beispiel: HMF – die Basis-Chemikalie aus der Chicorée-Wurzel

Forscher der Universität Hohenheim um die Agrartechnikerin Prof. Dr. Andrea Kruse haben herausgefunden, dass sich aus Chicorée (Wegwarte oder Wurzelzichorie, *Cichorium intybus* var. *sativum*) nicht nur Salat, sondern auch die chemische Grundlage für Plastikflaschen und Strumpfhosen gewinnen lässt. Der Milchsaft der Rübe enthält im Herbst durchschnittlich 15 bis 20 Prozent Inulin – ein Vielfachzucker auf Fructosebasis, in dem die Pflanze die Energie speichert, die sie im folgenden Sommer zum Aufwachsen und Blühen braucht. Aus diesem Polymer der Fructose lässt sich Hydroxymethylfurfural (HMF) gewinnen: ein gelblich-braunes Pulver und eine von 12 Basischemikalien zur Herstellung von Plastik. Um die begehrte Chemikalie zu extrahieren werden die Wurzelstrünke gehäckselt, mit verdünnter Säure versetzt und unter Druck auf bis zu 200 °C erhitzt wie in einem Dampfkochtopf. Die Chicorée-Wurzeln sind für die Forscher der perfekte Rohstoff, weil sie in der landwirtschaftlichen Produktion als Abfall anfallen und so nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion stehen.

Der Chicorée-Bauer erntet im Herbst die Wurzelrüben und lässt sie im abgedunkelten Treibhaus austreiben. In sogenannten Wasser-Treibereien stehen die Wurzeln dicht an dicht in Kisten, umspült von einer Nährlösung, in der sie innerhalb von drei Wochen die als Chicorée-Salat bekannte, 15–20 cm lange Knospe ausbilden. Der Löwenanteil der Wurzeln, in Europa jedes Jahr etwa 800.000 Tonnen, bleibt nach der Ernte als Abfall

zurück und wird kompostiert. Nur ein kleiner Teil landet in Biogasanlagen oder wird als Tierfutter angeboten. Der Industriepartner der Hohenheimer Forscher, die Firma AVA Biochem aus Basel entwickelt eine großtechnische Anlage für das Verfahren und hat sich vorgenommen, ab 2019 jährlich 30.000 bis 120.000 Tonnen HMF zu produzieren. In der bestehenden Anlage wird das HMF aus Melasse gewonnen, die bei der Zuckerproduktion anfällt. Eine Pilotanlage für die Chicorée-Verwertung befindet sich in der Entwicklungsphase. Durch Oxidation des HMF stellt man in Basel Furandicarbonsäure (FDCA) her, die wiederum die Produktion von Materialien aus biobasiertem PEF (Polyethylenfuranoat) erlaubt. Der auf Erdölbasis produzierte PET-Kunststoff (Polyethylenterephthalat) besteht bis zu 85 Prozent aus Terephthalat, und das „T“ im PET soll durch das „F“ der Furandicarbonsäure aus Pflanzenmaterial ersetzt werden. Über Flaschen, Strümpfe, Sportbekleidung und Folien bis hin zu Gefäßprothesen: In Zukunft könnte sich überall dort, wo heute PET-Kunststoff eingesetzt wird, der biobasierte Kunststoff PEF anwenden lassen.

Literatur

- Bio-based production of chemicals, materials and fuels – *Corynebacterium glutamicum* as versatile cell factory, J. Becker und C.Wittmann, *Current Opinion in Biotechnology*, 2012, 23:631-640
- BIOPRO-Magazin Ausgabe 3/2010, Biobasierte Kunststoffe – Plastik aus dem Bioreaktor
- BIOPRO Magazin Ausgabe 1/2015, Biobasierte Kunststoffe
- Kunststoffe: Synthese, Herstellungsverfahren, Apparaturen, Herausgeber Wilhelm Keim, Wiley-VCH 2006
- Kunststoff-Wissen für Einsteiger, Georg Abts, Carl Hanser Verlag, München 2010
- Kunststoffe im Alltag, Homepage der Abteilung der Didaktik für Chemie von der Freien Universität Berlin, <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/index.htm> (Stand November 2013)
- Metabolic Engineering: Entwicklung von Bakterienstämmen für die Lysinproduktion, Kennerknecht et al. 2003, *BIOspektrum* 5/03 9. Jahrgang
- Pressemitteilung der Tecnaro GmbH vom 02.08.2012
- Der Schatz aus der Wurzelrübe, 15.03.2016, <https://www.biooekonomie-bw.de/de/fachbeitrag/aktuell/der-schatz-aus-der-wurzelruebe/>

Glossar

Blend: Blend ist Englisch und bedeutet Gemisch. Ein Polymerblend ist daher ein Gemisch aus verschiedenen Polymeren. Thermoplaste werden in speziellen Mischaggregaten aufgeschmolzen und so miteinander kombiniert, es entstehen Blends.

Compoundieren: Compound ist Englisch und bedeutet mischen. Man versteht darunter die Verbesserung des Kunststoffpolymers durch das Zumischen bestimmter Zusatzstoffe, wie Füllstoffe, Faserwerkstoffe oder Weichmacher.

Extruder: Der Extruder ist Bestandteil einer Extrusionsanlage. In ihm werden die Polymergranulate in einem beheizten Zylinder aufgeschmolzen. Währenddessen wird die Schmelze durch eine rotierende Schnecke durch die Extrusionsanlage gefördert. Die Schmelze wird durch eine Düse gepresst und im Anschluss werden in der Anlage Platten, Profile, Rohre oder Folien gefertigt.

Pfropfpolymerisation: Eine Pfropfpolymerisation ist eine bestimmte Art der Copolymerisation, bei der das Monomer A als Hauptkette dient und an welche sich kammartig eine Monomer B lagert.

Spanen: Das Spanen oder Zerspanen ist ein mechanisches Bearbeitungsverfahren, bei dem überflüssiges Material in Form von Spänen abgetragen wird. Dabei sorgt ein Werkzeug wie ein Bohrer oder ein Fräswerkzeug dafür, dass ein dünner Teil der Oberfläche eines Werkstücks abgeschält wird.

Spritzgussverfahren: Im Spritzgussverfahren wird eine Thermoplastenschmelze mit hohem Druck in eine Form, ein Werkzeug, gespritzt. Dabei können Formteile in großen Stückzahlen gewinnbringend hergestellt werden.

Impressum

Herausgeber: BIOPRO Baden-Württemberg GmbH
Breitscheidstr. 10, 70174 Stuttgart
Tel: +49 (0) 711 21 8185 00
Fax: +49 (0) 711 21 81 85 02
E-Mail: info@bio-pro.de
Internet: www.bio-pro.de

Vertretungsberechtigter Geschäftsführer : Prof. Dr. Ralf Kindervater

Registergericht: Amtsgericht Stuttgart
Registernummer: HRB 23470
Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27a Umsatzsteuergesetz: DE 227283342

Verantwortlich im Sinne des Presserechts: Prof. Dr. Ralf Kindervater

Chefredaktion: Dr. Barbara Jonischkeit

Redaktion: Dr. Ariane Pott

Autoren: Christoph Bächtle, Dr. Ariane Pott, Nadine Womann, Gunther Willinger

Copyright : BIOPRO Baden-Württemberg GmbH November 2017