

Biologisch Abbaubare Werkstoffe



Pflanzen
Rohstoffe
Produkte

Impressum

Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
Hofplatz 1, 18276 Gülzow
info@fnr.de
www.fnr.de

Text:

Jürgen Lörcks, Unternehmensberatung Bioplastics
juergen.loercks@t-online.de

Barbara Wenig, FNR
b.wenig@fnr.de

Gestaltung und Realisierung:

WPR COMMUNICATION GmbH & Co. KG

Bilder:

Apack AG, BASF, Cargill Dow, Cargill Saaten, Cater-Back,
Compopure, CMA, Dincertco, Dr. Boy GmbH & Co. KG, Eastman,
Fuchs Petrolub AG, Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, ITG
Hannover, natura Verpackungs GmbH, Novamont GmbH, Storopack,
Swisspack, Tegut Kassel, UFOP

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Biokunststoffe – was ist das eigentlich? | 4 |
| Rohstoffe – die Stärke(n) der Natur nutzen | 8 |
| Biokunststoffe – ein Steckbrief | 10 |
| Kunststoffe – vom Rohstoff zum Endprodukt | 18 |
| Kunststoffe – Verarbeitungsverfahren | 20 |
| Verwendungsbereiche – wo können Biokunststoffe punkten? | 24 |
| Gesetzliche Rahmenbedingungen | 30 |
| Potenzial und Perspektiven | 32 |
| Weiterführende Literatur | 36 |
| Glossar Biokunststoffe | 37 |
| Quellenangaben | 42 |

Biokunststoffe – was ist das eigentlich?

Kunststoffe sind sehr stabil, gebrauchstauglich, lassen sich vielfältig verarbeiten und sind noch dazu leichter als die meisten anderen Materialien. Deswegen und auch aus Kostengründen sind sie in vielen industriellen und gewerblichen Anwendungen erste Wahl.

Die Statistik macht es eindrucksvoll deutlich: die Kunststoffindustrie beschäftigt mehr als eine Million Menschen in Europa und setzt jährlich 135 Billionen Euro um. Von den dort



Verpackungschips aus Stärke – Schutz für kostbare Fracht

erzeugten 49 Mio. Tonnen Kunststoffen stammt etwa ein Drittel aus Deutschland. Nicht nur für Verpackungen (27 Prozent) und Baumaterialien (27 Prozent), sondern auch zur Automobil- und Möbelherstellung sowie von der Elektroindustrie und der Haushaltswarenherstellung werden sie benötigt.

Dementsprechend steigt der Verbrauch kontinuierlich an; weltweit von 60 Mio. Tonnen im Jahr 1980 auf voraussichtlich 260 Mio. Tonnen im Jahr 2010.

Kunststoff ist allerdings nicht gleich Kunststoff: während duroplastische Kunststoffe nach dem Aushärten für immer fest bleiben, lassen sich thermoplastische durch Erwärmen verformen. Diese thermoplastischen Kunststoffe sind mit einem Marktanteil von 80 Prozent am weitesten verbreitet. Elastomere, eine weitere Gruppe dehnbarer oder gummielastischer Kunststoffe, werden im Rahmen dieser Broschüre nicht behandelt.

Biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW), auch Biokunststoffe oder englisch "bioplastics", gibt es erst seit wenigen Jahren. Diese innovativen Kunststoffe können mit einer besonderen Eigenschaft aufwarten: sie sind vollständig biologisch abbaubar und zerfallen daher wieder in natürlich vorkommende, ungiftige Ausgangsprodukte. Mikroorganismen wie Pilze, Bakterien und Enzyme sorgen dafür, dass nur noch Wasser,

Kohlenstoffdioxid und Biomasse (Kompost) übrigbleiben, die von der Natur weiter verwertet werden. Wenn dieser biologische Abbau sehr schnell – innerhalb eines Kompostzyklus – vollzogen wird, dann spricht man von kompostierbaren Materialien.

Biokunststoffe eröffnen nicht nur ganz neue Entsorgungsmöglichkeiten, auch ökologisch läuft alles rund. Egal ob die Biokunststoffe nach Gebrauch in die Kompostierung gehen, in einer Vergärungsanlage zur Energiegewinnung genutzt oder thermisch verwertet werden: Stoff- und CO₂-Kreislauf sind geschlossen. Zumindest, sofern es sich um BAW handelt, die aus nachwachsenden Rohstoffen wie Stärke, Zucker oder Pflanzenölen produziert wurden. Denn auch aus fossilen Rohstoffen ist die Herstellung von biologisch abbaubaren Kunststoffen möglich.

Im Interesse des nachhaltigen Wirtschaftens ist die Entwicklung der Biokunststoffe derzeit in vollem Gang. Das war nicht immer so, wengleich sie in den Anfängen der Kunststoffgeschichte eine wichtige Rolle spielten. Denn die ersten Massenkunststoffe wurden durch chemische Umwandlung von Naturstoffen gewonnen. 1869 eröffneten die Gebrüder Hyatt (USA) ihre erste Fabrik zur Herstellung von Celluloid, einem thermoplastischen Kunststoff. Damit begann das Zeitalter der Kunststoffe. Ein Preisausschreiben gab damals den legendären





Zellglas – glasklares Celluloseprodukt

Anstoß für die Entwicklung eines Kunststoffes, der das teure Elfenbein in den Billardkugeln ersetzen sollte. Celluloid aus Cellulose – einem Holzbestandteil – und Campher machte das Rennen und wurde rasch auch für Filme, dekorative Manufakturware, Brillengestelle, Käämme, Tischtennisbälle und andere Produkte verwendet. Moderne Thermoplaste haben das leicht entflammable Material heute jedoch fast völlig verdrängt.

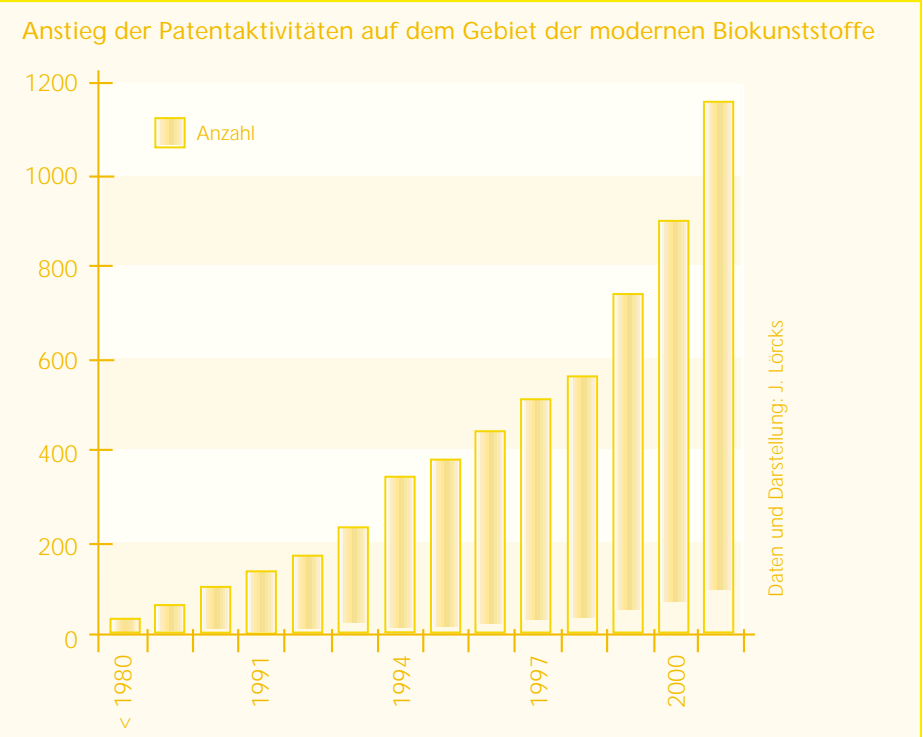
Etwa 1923 setzte die Massenproduktion von Zellglas ein, einem weiteren Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Produktion der glasklaren und knisternden Zellglasfolien ist jedoch teuer und daher stark rückläufig. Eine weitere Eigenschaft des Celluloseprodukts wirkt sich nachteilig aus: wegen seiner Wasserempfindlichkeit und Wasserdampfdurchlässigkeit muss es

mit Polyvinylidenchlorid beschichtet werden und verliert dadurch seine biologisch Abbaubarkeit.

Die ersten Kunststoffe gerieten im Laufe der weiteren Entwicklung bald ins Hintertreffen; fossile Rohstoffe rückten in den Mittelpunkt des Interesses. Die Forschungen in der organischen Chemie führten zur Entdeckung von Bakelite (1907), Acrylglas (besser bekannt als Plexiglas, 1930), dann Nylon, Perlon, Polystyrol und Teflon (1930 – 1950). Schließlich gelang ab 1956 die großtechnische Herstellung der heutigen Standardkunststoffe Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). Mit der industriellen Herstellung von Kunststoffen entwickelten sich im Laufe der Jahre vielfältige Verfahrenstechniken zu ihrer Verarbeitung.

Erst ab 1980 setzen Forschung und Entwicklung von Biokunststoffen wieder ein. Erneuerbare Rohstoffe, geschlossene Stoffkreisläufe und Kompostierbarkeit sind nun

- Die Anzahl der Patente und Patentanmeldungen auf dem Gebiet der modernen Biokunststoffe von 1980 bis heute zeigt einen deutlichen Anstieg in den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Industrie und der Institute.
- Die überwiegende Anzahl der Patente befasst sich mit Biokunststoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe, jeweils zur Hälfte mit Stärkekunststoffen und mit natürlichen Polyestern.
- Nur etwa 25-30 Prozent der Patente betreffen petrochemische Kunststoffe.



die entscheidenden Argumente. Ein sprunghafter Anstieg der Patentaktivitäten ist als Indiz für die enormen Forschungsaktivitäten und zukünftigen Marktmöglichkeiten der Kunststoffindustrie auf dem Gebiet der modernen Biokunststoffe zu bewerten.

Der Aspekt der Nachhaltigkeit spielt seit der Konferenz in Rio und den lokalen Agenda-21-Prozessen eine wichtige Rolle. Technische Innovationen im Sinne der Kreislaufwirtschaft gewinnen an Bedeutung. Denn sie nutzen abfallarme und ressourcenspa-

rende Rohstoffe und Produktionsverfahren sowie ein naturnahes Recycling durch Kompostierung oder Vergärung, gekoppelt mit Energiegewinnung. Biokunststoffe tragen nicht nur dazu bei, dass begrenzte Vorräte an fossilen Rohstoffen geschont werden, sondern sichern mit ihrem Bedarf an heimischen Rohstoffen darüber hinaus Arbeitsplätze in der Landwirtschaft. Nachhaltige Technologien werden entwickelt und umgesetzt und bieten Chancen für den späteren Ausstieg aus demnächst überholten oder veralteten Technologien.

Rohstoffe – die Stärke(n) der Natur nutzen

Biokunststoffe lassen sich zwar aus sehr vielen pflanzlichen Rohstoffen herstellen, die Stärke nimmt dabei jedoch eine Schlüsselrolle ein. Eine gewisse Bedeutung haben daneben noch Cellulose und Zucker.

Stärke

Stärke ist für die Entwicklung und Herstellung von Biokunststoffen wohl der interessanteste Rohstoff. Denn sie ist nicht nur überall verfügbar, sondern bietet auch ein besonders gutes Preis-Leistungs-Verhältnis. In Form von mikroskopisch kleinen Körnern ist sie in zahlreichen Pflanzen gespeichert. Während Mais, Weizen und Kartoffeln in Europa, Amerika und Südafrika die wichtigsten Stärkelieferanten sind, greift man in Asien vorwiegend auf Tapioka zurück. Industrielle Verfahren trennen Beiprodukte wie Proteine, Öle oder Pflanzenfasern ab, so dass nur die hochreine Stärke übrig bleibt. Auch stärkehaltige Mehle sind für die Herstellung von Biokunststoffen und biologisch abbaubaren Produkten vielfach gut geeignet.

Stärke gehört wie die Cellulose chemisch zu den Kohlenhydraten. Sie setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Die unverzweigte Amylose wird dabei vom verzweigt polymerisierten Amylopektin, dem Hauptbestandteil der Stärke, umhüllt.

Weltweit werden heute jährlich über 45 Mio. Tonnen Stärke industriell erzeugt, davon knapp 10 Mio. Tonnen in Europa und knapp

2 Mio. Tonnen in Deutschland. Fast die Hälfte davon fließt mittlerweile in technische Anwendungen, ein hoher Anteil der erzeugten Stärke wird unmittelbar in kontinuierlichen, biotechnologischen Verfahren in Glucose, auch Stärkezucker genannt, umgewandelt.

Für die Herstellung von Biokunststoffen ist nicht nur das Polymer Stärke selbst bedeutsam, auch ihr Monomer, die Glucose, findet Verwendung. In biotechnologischen und/oder chemischen Verfahren werden daraus thermoplastische Polyester und Polyurethane hergestellt. Als besonders preisgünstige Rohstoffe spielen auch die Müllereierzeugnisse Mehl und Grieß sowie Pellets oder Pulver aus Getreide, Kartoffeln oder Mais in bestimmten Anwendungen eine Rolle. Nebenprodukte aus der Stärkeindustrie können zudem als Rohstoffe für Fermentationsverfahren genutzt werden.

Cellulose

Cellulose ist in den meisten Pflanzen in großer Menge enthalten. Bei Baumwolle beträgt ihr Anteil ca. 95 Prozent, bei Hartholz 40 – 75 und bei Weichholz 30 – 50 Prozent. Neben Holz ist Cellulose der mengenmäßig bedeutendste nachwachsende Rohstoff – weltweit werden jährlich etwa 1,3 Mrd. Tonnen für technische Anwendungen "geerntet". Allerdings sind chemische Verfahren nötig, um die Cellulosefasern von unerwünschten Begleitstoffen wie Lignin und Pentosen abzutrennen. Das Endprodukt Zellstoff wird hauptsächlich zur Herstellung von Papier und Pappe, aber auch für Textilien wie z. B. Viskosefasern verwendet. Die Cellulose bietet jedoch auch für die

Kunststoffherstellung Potenzial. Celluloseester beispielsweise sind amorphe Thermoplaste, die spezielle Weichmacher enthalten oder mit anderen Polymeren modifiziert sind. Sie zeichnen sich durch hohe Zähigkeit aus und lassen sich zu Endprodukten wie z. B. für Garten- oder Friedhofsartikel verwenden, die nach der Gebrauchsphase auf dem Komposthaufen verrotten.

Auch die klarsichtige Cellophan-Folie für Verpackungen, auch Zellglas genannt, ist ein Celluloseprodukt. Sie hat ihren ehemals hohen Marktanteil heute jedoch an die deutlich billigeren Polypropylen-Folien verloren.

Zucker

Zucker (auch Saccharose) aus Zuckerrüben oder Zuckerrohr ist ein Disaccharid und der Stärke als Rohstoff in vielen Belangen ebenbürtig. Weltweit wurden im Jahr 2000 etwa 130 Mio. Tonnen Zucker (davon drei Viertel Rohrzucker) erzeugt, in der EU waren es 17 Mio. Tonnen. Da Zucker technisch vielfältig einsetzbar ist, bietet seine Nutzung als nachwachsender Rohstoff interessante Perspektiven.

Was sonst noch Potenzial birgt

Zahlreiche weitere natürliche Rohstoffe wie

- Casein, ein Protein aus Magermilch,
 - Chitin und Chitosan aus Krabbenchalen,
 - Gelatine, ein Kollagen-Protein aus tierischen Knochen oder Haut,
 - Pflanzenöle und
 - Proteine aus Getreide (Weizen oder Mais)
- kommen für die Entwicklung und Herstellung von Biokunststoffen in Frage, spielen heute allerdings nur eine untergeordnete Rolle.



Biokunststoffe – ein Steckbrief

180 Mio. Tonnen Kunststoffe wurden im Jahr 2000 weltweit verbraucht, mehr als doppelt soviel wie zehn Jahre zuvor. Im Jahr 2010 sollen es dann schon 260 Mio. Tonnen Kunststoffe sein, die die Menschheit benötigt. Der Kunststoffmarkt ist also ein echter Massenmarkt, an dem Europa mit fast einem Viertel einen erheblichen Anteil hat. Für derzeit 15,5 Mio. Tonnen oder gut acht Prozent sind deutsche Verbraucher verantwortlich. Allein die Verpackungsindustrie benötigt ein Viertel der als Granulat gehandelten Kunststoffe: in Europa sind es 9 Mio. t, in Deutschland 3 Mio. t.

Nicht nur die Rohstoffherstellung (60.000 Beschäftigte) und -verarbeitung (290.000 Beschäftigte), sondern auch der Kunststoff-Maschinen- und -anlagenbau binden zahlreiche Arbeitskräfte. Im Jahr 2000 erwirtschafteten die 50 deutschen Unternehmen der Kunststoff erzeugenden Industrie immerhin 19,9 Mrd. € Umsatz, dazu kommen noch 40,2 Mrd. € Umsatz der 6.000 Betriebe der Kunststoff-Verarbeitung. Zu den dort hauptsächlich verarbeiteten Rohstoffen zählen die aus der Kennzeichnung von Verpackungen bekannten Materialien PE (Polyethylen), PS (Polystyrol), PP (Polypropylen) und PVC (Polyvinylchlorid).

Da die dafür erforderlichen Chemierohstoffe wie Ethylen, Propylen und Styrol aus Erdöl gewonnen werden, sind sie den damit verbundenen Preisschwankungen unterworfen. Pro Tonne PE, PS, PP oder PVC zahlt die Industrie heute rund 700 bis 1.000 €.

Wer alternativ auf Biokunststoffe zurückgreifen will, muss heute allerdings deutlich tiefer in die

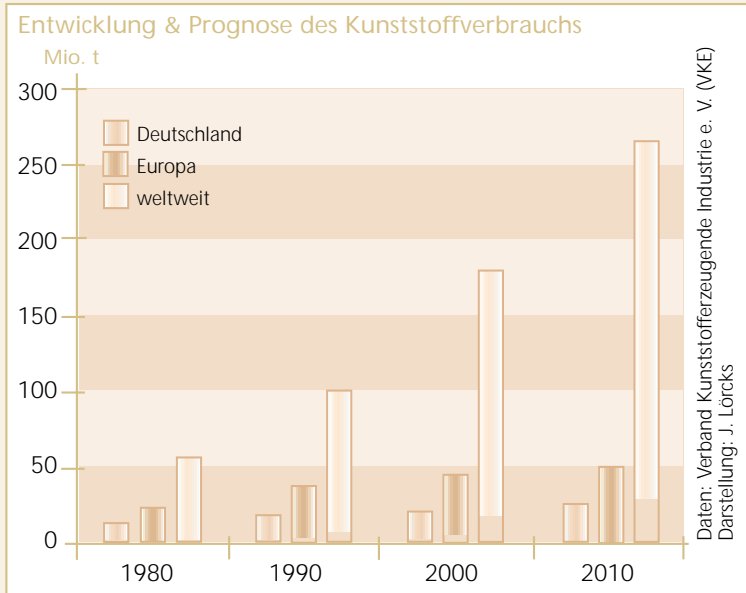
Tasche greifen: biologisch abbaubare Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen kosten etwa viermal soviel wie Standardkunststoffe.



Produktvielfalt aus Biokunststoffen

Denn erst seit wenigen Jahren arbeitet die Forschung daran, Kunststoffe aus Stärke, Cellulose oder Zucker herzustellen. Und die Entwicklung neuer Verfahren und Materialien kostet viel Zeit und Geld. Zudem werden Biokunststoffe bisher noch in sehr kleinen Mengen hergestellt, was ihre Produktion verhältnismäßig kostspielig macht. Kein Wunder also, dass Biokunststoffe heute noch erheblich teurer sind als ihre fossilen Konkurrenten.

Preise vergleichbar denen herkömmlicher Kunststoffe sind jedoch nur eine Frage der Zeit. Denn dazu wird es kommen, sobald die Produktion der Biokunststoffe in groß-



technischen Mengen und Anlagen anläuft. Heute stehen Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen jedoch noch am Anfang der industriellen Umsetzung. Am gesamten weltweiten Kunststoffmarkt ist ihr Anteil mit rund 25.000 Tonnen pro Jahr verschwindend gering.

Thermoplastische Stärke

Die 1988 erfundene thermoplastische Stärke (EP 0397819) ist mit einem geschätzten Marktanteil von etwa 80 Prozent führend im Bereich der Biokunststoffe.

Um native Stärke zum thermoplastischen Werkstoff zu machen, müssen natürliche Weichmacher und Plastifizierungsmittel wie Glycerin oder Sorbitol beigegeben werden.

Die Mischung erfolgt im Extruder, einer speziellen Mischmaschine: ein Motor betreibt eine oder häufig zwei Schnecken (Doppelschneckenextruder) innerhalb eines beheizbaren Zylinders. Die Rohstoffe werden darin vermischt, erwärmt und in eine homogene Schmelze überführt, aus der das Wasser entfernt wird.

Am Ende des Extruders tritt die geschmolzene, thermoplastische Stärke als Strang durch eine Düsenplatte aus und wird nach dem Abkühlen granuliert.

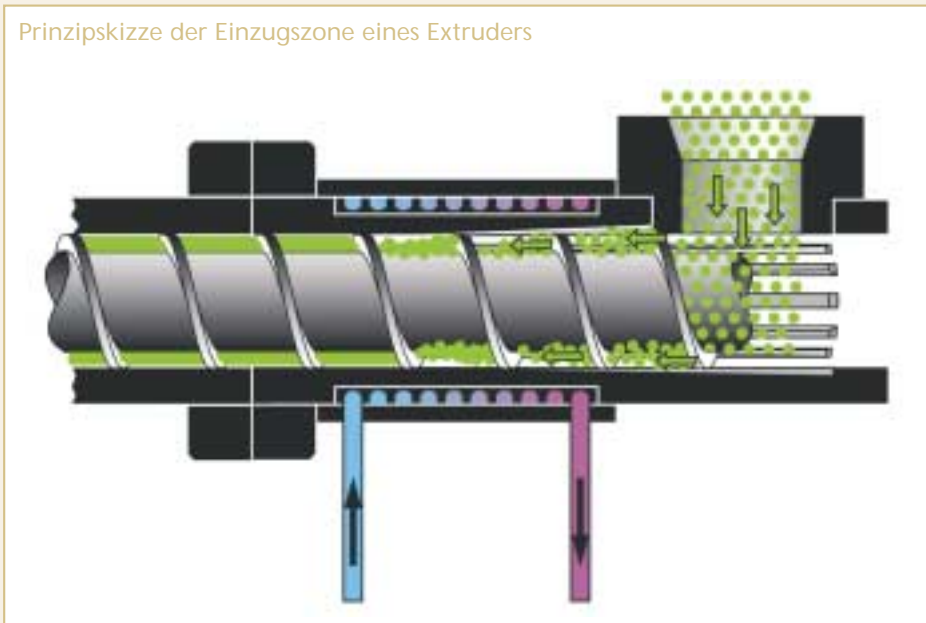
Da das Endprodukt, die thermoplastische Stärke, nun keine kristallinen Anteile mehr enthält, ist sie für die Vermischung mit weiteren Polymerkomponenten bestens geeignet. Letztere werden meist zur Verbesserung der Materialeigenschaften zugesetzt, denn thermoplastische Stärke neigt dazu Wasser aufzunehmen, wodurch die Oberfläche klebrig wird und sich die physikalischen Eigenschaften je nach Klimabedingungen ändern. Eine Verwendung in der reinen Form als Werkstoff beschränkt sich daher auf Nischenanwendungen wie z. B. als Kapseln für Medikamente in der Pharmaindustrie.

und hydrophilen Stärkephase. In der heißen, wasserfreien Schmelze im Extruder vermischt sich die wasserlösliche, disperse Stärkephase mit der wasserunlöslichen, kontinuierlichen Kunststoffphase zu einem wasserfesten Stärkekunststoff.

Diese Erfindungen waren für den Durchbruch der Stärkekunststoffe wegweisend (EP 0596437, EP 0799335).

Blends oder Compounds werden maßgeschneidert für die weitere Verarbeitung in der Kunststoff verarbeitenden Industrie hergestellt. In Granulatform verfügbar, können sie auf den vorhandenen Anlagen zu Folien, tiefziehbaren Flachfolien, Spritzgussartikeln oder Beschichtungen verarbeitet werden.

Prinzipskizze der Einzugszone eines Extruders



Kunststoffblends

Thermoplastische Stärke ist nur eine der Komponenten, aus der moderne Stärkekunststoffe hergestellt werden. Der zweite Grundbestandteil der sogenannten Kunststoffblends sind wasserabweisende, biologisch abbaubare Polymeren wie Polyester, Polyesteramide, Polyesterurethane oder Polyvinylalkohol.

Ein Kunststoffblend besteht somit aus zwei Phasen – der kontinuierlichen und hydrophoben Polymerphase und der dispersen



Granulat aus destrukturierter und komplexierter Stärke und abbaubaren Polymeren natürlicher Herkunft

Beispiele dafür sind Tragetaschen, Joghurt- oder Trinkbecher, Pflanztöpfe, Besteck, Windelfolien, beschichtete Papiere und Pappen.

Auch durch chemische Veränderung (Umsetzung zu Stärkeestern oder Stärkeethern mit hohem Substitutionsgrad) kann Stärke thermoplastisch modifiziert werden. Diese



Für umweltfreundlichen Genuß – biologisch abbaubares Besteck

Verfahren haben sich aber wegen der damit verbundenen hohen Kosten noch nicht durchgesetzt.

Milchsäure

Milchsäure ist ein Zwischenprodukt, das durch Fermentation aus Zucker oder Stärke entsteht. Mikroorganismen wie Milchsäurebakterien werden dazu industriell genutzt. Denn ihnen muss die Glucose schmecken, damit sie sie zu Milchsäure vergären. Zu Polymilchsäure (oder Polylactid (PLA)) polymerisiert bietet Milchsäure aufgrund seiner Vielfalt ungeahnte Perspektiven für die Herstellung von Biokunststoffen.

Das Monomer Milchsäure kommt in zwei unterschiedlichen Isomeren vor, der D- und der L-Form. Je nach Verknüpfung dieser Isomere können drei unterschiedliche Lactide entstehen: das Meso-Lactid, das D-Lactid und das L-Lactid. Diese Variabilität macht sich der Chemiker zunutze. Bei der Polymerisierung kombiniert er die Lactide so, dass der daraus gewonnene PLA-Kunststoff die von ihm gewünschten Eigenschaften hat. Die Reinheit der Ausgangsstoffe ist entscheidend für die erfolgreiche Polymerisation und zugleich ökonomischer Knackpunkt des Verfahrens. Denn bislang ist die Reinigung der auf dem Fermentationsweg hergestellten Milchsäure relativ aufwändig.

Erweitert wird das Spektrum der möglichen

Kunststoffe durch die Copolymerisation von PLA mit weiteren Monomeren wie beispielsweise Glykolsäure. Ob zäh oder viskos: die daraus gewonnenen Copolymeren können so ziemlich jede Eigenschaft haben.

Polylactide und ihre Copolymeren sind je nach Zusammensetzung schnell bis kaum biologisch abbaubar. Während reines Poly-L-Lactid dazu Jahre und Polyglykolid Monate braucht, zersetzt sich Polylactid aus D- und L-Lactid schon in einigen Wochen.



Olympiareif – Trinkbecher aus PLA

Das zeigt dann auch die besondere Vielfalt dieses Biokunststoffes, der wahlweise schnell biologisch abbaubar oder auch jahrelang funktionsfähig eingestellt werden kann. Weitere Vorteile der Polylactid-Kunststoffe sind die hohe Festigkeit, die Transparenz der Folien, Becher und Behälter, die Thermoplastizität und gute Verarbeitung auf den vorhandenen Anlagen der Kunststoff verarbeitenden Industrie.

Nichtsdestotrotz hat PLA aber auch Nachteile: da der Erweichungspunkt bei etwa 60 Grad Celsius liegt, ist das Material für die Herstellung von Trinkbechern für Heißgetränke nur bedingt geeignet. Eine Vielzahl von weltweit erfolgten Patentanmeldungen zeigen den Eifer der Forscher auf der Suche nach einer Lösung. Die Copolymerisation zu hitzebeständigeren Polymeren oder der Zusatz von Füllstoffen können für größere Temperaturstabilität sorgen.

Für die Herstellung von PLA aus Glucose über die Zwischenschritte Milchsäure und Dilactid existieren bereits kontinuierliche Verfahren. Damit ist die Industrie in der Lage, das Material kostengünstig und mittelfristig wettbewerbsfähig gegenüber Massenkunststoffen herzustellen. Die weltweit erste größere PLA-Produktionsanlage mit 140.000 t Jahreskapazität wurde 2002 in den USA in Betrieb genommen.

Was Polylactid kann

Das durchsichtige Polylactid (PLA) gleicht herkömmlichen thermoplastischen Massenkunststoffen nicht nur in seinen Eigenschaften, sondern lässt sich auch auf den vorhandenen Anlagen ohne weiteres verarbeiten. PLA und PLA-Blends werden als Granulate in verschiedenen Qualitäten für die Kunststoff verarbeitende Industrie zur Herstellung von Folien, Formteilen, Dosen, Bechern, Flaschen und sonstigen Gebrauchsgegenständen angeboten. Vor allem für kurzlebige Verpackungsfolien oder Tiefziehprodukte (z. B. Getränke- oder Joghurtbecher, Obst-, Gemüse- und Fleischschalen) birgt der Rohstoff großes Potenzial.

Denn der Weltmarkt für das Marktsegment "Transparente Kunststoffe" beträgt immerhin 15 Mio. Tonnen (2001). Nicht nur bei Verpackungen weiß man die Durchsichtigkeit zu schätzen, auch für Anwendungen in der Bauindustrie, Technik, Optik und im Automobilbau hat sie Vorteile.

Außerdem gibt es lukrative Spezialmärkte,

100.000 t PLA-Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen entsprechen einer Getreidemenge (Weizen) von ca. 240.000 Tonnen, die auf einer Landwirtschaftsfläche von ca. 50.000 Hektar angebaut werden. Mittels der neuartigen biotechnologischen Verfahrenstechnik wachsen auf einem Hektar Ackerland die Rohstoffe für umgerechnet 2 Tonnen PLA-Kunststoffe heran, die äquivalent zur Herstellung von 100.000 Tragetaschen geeignet sind.

zum Beispiel im medizinischen und pharmazeutischen Bereich, wo PLA bereits seit längerem erfolgreich zum Einsatz kommt. Vom Körper resorbierbare Schrauben, Nägel, Implantate und Platten aus PLA oder PLA-Copolymeren werden zur Stabilisierung von Knochenbrüchen verwendet. Auch resorbierbares Nahtmaterial und Wirkstoffdepots aus PLA sind schon lange im Gebrauch.



PLA-Klappboxen – ideale Trays für Obst und Gemüse

Polyhydroxybuttersäure und andere Polyhydroxyfettsäuren – heute aus Bakterien, zukünftig direkt aus Pflanzen?

Polyhydroxybuttersäure (PHB) zählt wohl zu einem der interessantesten Biokunststoffe. Ähnlich wie PLA wäre sie ohne die Hilfe von

Mikroorganismen bislang nicht denkbar. 1924 entdeckten Wissenschaftler am Pariser Pasteur-Institut, dass Bakterien in der Lage sind, PHB aus Zucker oder Stärke herzustellen. In den 70-er und 80-er Jahren gelang die kommerzielle Herstellung von PHB und ihrer Copolymeren aus Zucker oder Glucose durch Optimierung der Fermentationsbedingungen.

Für die Granulatherstellung wird das Polymer PHB vom Zellmaterial getrennt, gereinigt und compoundiert. PHB hat einen Schmelzpunkt von über 130 °C, bildet klare Filme und besticht durch seine mechanischen Eigenschaften. Neben einigen mittelständigen Herstellern beabsichtigt nun die südamerikanische Zuckerindustrie die Herstellung von PHB im industriellen Maßstab, um Preise unter 5 €/kg zu realisieren. Die Züchtung arbeitet mittlerweile an transgenen Pflanzen, die PHB als Energiespeicher bilden. Bis aber tatsächlich ein Biokunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen direkt geerntet werden kann, wird es wohl noch einige Jahre dauern.

Auch das gibt es: vollsynthetische biologisch abbaubare Werkstoffe

Vollsynthetische biologisch abbaubare Thermoplaste sind seit längerem bekannt. Vor allem Materialien auf Esterbasis wie Polycaprolacton (PCL) waren in den ersten Jahren als hydrophobe Polymerkomponente in Compounds mit Stärke weit verbreitet. Heute werden auch biologisch abbaubare

Kunststoffe aus fossilen Rohstoffquellen entwickelt und hergestellt. Am gebräuchlichsten sind Polyesteramide und Polyester-copolymeren. Letztere sind als Kunststoff zur Herstellung transparenter Folien, aber auch für die Compoundierung mit thermoplastischer Stärke oder mit PLA gut geeignet. Diese compoundierten Biokunststoffe auf Stärkebasis besitzen zurzeit den größten Marktanteil. Sie werden hauptsächlich für abbaubare Folienprodukte eingesetzt.



PLA-Flowpacks im Praxiseinsatz

Kunststoffe – vom Rohstoff zum Endprodukt

Kunststoffe – vom Rohstoff zum Endprodukt

Aus Kunststoffen und Biokunststoffen macht die Industrie in einer Vielzahl von Verarbeitungsverfahren sowohl feste Formteile als auch Folien, die durch weitere Konfektionierungsverfahren zu flexiblen oder harten Verpackungen und anderen Endprodukten verarbeitet werden. Dabei unterscheidet man zwischen duroplastischen und thermoplastischen Kunststoffen. Während sich Erstere nach der Formgebung nicht mehr verändern lassen, können thermoplastische Materialien immer wieder aufgeschmolzen und plastifiziert werden. In diesem Zustand lassen sie sich umformen oder verschweißen und behalten nach dem Abkühlen die neue Gestalt.

Duroplastische Biokunststoffe

Aufgrund ihrer Eigenschaften haben duroplastische Biokunststoffe verhältnismäßig geringe Bedeutung. Sie bestehen aus chemisch oder physikalisch modifizierten Stärken, Spezialstärken oder stärkehaltigen Rohstoffen wie Mehl, Grieß oder Pellets und lassen sich sowohl mit dem Extruder als auch mit der Expansionsformanlage herstellen. Im Extruder sorgen Schnecken für die Durchmischung und Erwärmung der eingefüllten duroplastischen Masse. Sie tritt über eine Düsenplatte mit runden, profilierten oder schlitzzartigen Öffnungen als Schaum aus, der sich entweder zu Chips konfektionieren oder noch heiß zu Formteilen pressen lässt. Während der Verarbeitung werden der Stärke nicht nur Wasser und Treibmittel (Backpulver) beigegeben, auch Hydrophobierungsmittel (z. B. Polyvinylalkohol, Öl, Naturwachs), Flexibilisierungsmittel (z. B. Polycaprolacton, Poly-

esterurethan) und Fließhilfsmittel sind nötig. Je nach Temperatur, Druck und Einstellung von Schnecke, Düse und eingefüllter Mischung entstehen aus dem Stärkeschaum die unterschiedlichsten harten oder weichen Formteile: Verpackungschips, die sich in gefärbtem Zustand auch als Kinderspielzeug eignen, Zigarettenfilter, Formkörper, Schalen etc. Da der Stärkeschaum durch Befeuchten mit Wasser klebaktiv wird, lassen sich aus einzelnen Lagen Sandwichplatten mit Deck- und Unterseite aus Papier oder Pappe herstellen.



Kompostierbare Verpackungschips

Das Einspritz-Expansionsverfahren ist dem Backen von Waffeln vergleichbar: den Waffelteig ersetzt hier jedoch eine Stärkesuspension. Dabei werden mehrere gusseiserne, zwei- oder dreiteiligen Formwerkzeuge auf einer Kette durch einen beheizten Ofen gefahren. Durch das Verdampfen des Wassers expandiert die Stärkemasse in der Form, nach etwa einer Minute ist das geschäumte Formteil fertig.

Ohne Zusatzstoffe kommt der Teig aus nativen oder modifizierten Stärken oder Getrei-

demehlen auch hier nicht aus. Kaltlösliche Stärken oder Celluloseether verdicken den Teig und Polyvinylalkohol und Wachse sorgen für Wasserfestigkeit. Im Mischer werden außerdem Füllstoffe, Fasern sowie Lebensmittelfarbstoffe zugefügt. Stärkeschaum-Formteile werden als Schalen, so genannte Trays, zum Verpacken von Lebensmitteln, Fleisch, Obst, Snacks, Pralinen, Gemüse und Tiefkühlkost eingesetzt. Im Fast-Food-Bereich sind sie als Becher und Teller bekannt.

Thermoplastische Kunststoffe

Thermoplastische Kunststoffe sind in der Verarbeitung und der Anwendung weitaus flexibler. Sie lassen sich nicht nur extrudieren und compoundieren, sondern auch auf den verschiedensten Wegen zu Folien und Formteilen verarbeiten, schäumen, schweißen und kleben.

Für die weitere Verarbeitung von Biokunststoffen ist in der Regel das Compoundieren im Extruder die Grundlage: ein oder mehrere thermoplastische Kunststoffe und Additive werden aufgeschmolzen und vermischt. Der Doppelschneckenextruder hat sich dabei besonders bewährt. Denn er plastifiziert nicht nur relativ rasch und schonend, sondern kann durch veränderliche Geometrie der beiden Schnecken auch sehr variabel eingestellt werden. Je nach Bedarf wird der Kunststoffstrang am Ende entweder abgekühlt und zu Granulat zerschnitten oder durch weitere formgebende Werkzeuge geleitet. Mit ihnen lassen sich Halbzeuge wie Platten, Rohre, Profile und Flachfolien zur Weiterverarbeitung herstellen.

Kunststoffe – Verarbeitungsverfahren

Verarbeitung im Spritzguss

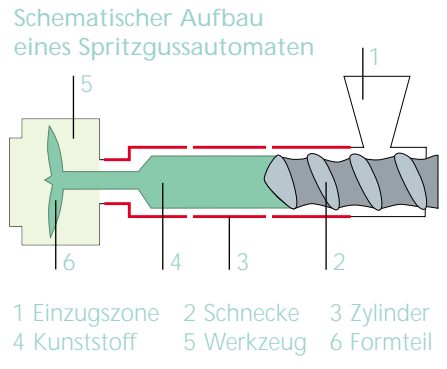
Nahezu alle Größen und Formen von Kunststoff-Formteilen können im Spritzguss hergestellt werden. Ein Extruder sorgt für die Plastifizierung der Kunststoffmasse, die dann durch erwärmte Düsen und Kanäle in einer genau dosierten Menge unter Druck in den Hohlraum der kalten Form, des Werkzeugs, eingespritzt wird. Der Kunststoff kühlt an der Wandung des Werkzeugs ab und wird als gebrauchsfertiges Formteil ausgestoßen.

Spritzguss-Erzeugnisse kennen wir als Töpfe, Eimer u. a. Gefäße, Gartenmöbel, Stoßstangen, Getränkekästen, Knöpfe, mechanische Kleinteile usw.



Spritzgussautomat

Die Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe im Spritzgussverfahren ist bereits Standard. Mit dieser Technik entstehen kurzlebige Einwegprodukte und Gebrauchsgegenstände für Catering, Gartenbau und andere Zwecke.



Das Blasen von Folien

Um Folien zu blasen wird dem Extruder am Ende eine Ringdüse nachgeschaltet. Die plastifizierte Kunststoffmasse wird zu einem Schlauch gepresst, der mit Luft auf ein Mehrfaches des ursprünglichen Durchmessers aufgeblasen und mit erhöhter Geschwindigkeit nach oben abgezogen wird. Nicht nur der Zug in Längs- und Querrichtung, sondern auch der Zeitpunkt des Abkühlens entscheiden über die Foliendicke.

Flach zusammengelegt wird der Schlauch dann entweder als Schlauchfolie oder seitlich aufgeschnitten als Flachfolie aufgewickelt.

Folien auf Stärkebasis werden in großen Mengen auf Folienblas-Extrudern hergestellt. Die biologisch abbaubaren Folien-erzeugnisse kommen als Verpackungen, Müllsammelsäcke und Beutel für Biomüll, Hygiene- und Schutzfolien für Windeln, Versandhüllen, Einmalhandschuhe und Tragetaschen in den Handel.



Folienblasen

Spritzblasen von Flaschen

Um Hohlkörper wie Flaschen herzustellen, muss man thermoplastische Kunststoffe spritzblasen. Mit einem Extruder wird dabei zunächst ein Schlauch ausgepresst. Als Vorformling ins Blaswerkzeug eingeführt, wird er am unteren Ende verschlossen und verschweißt. Am oberen Ende wird die Flaschenmündung mit Gewinde geformt



und die Flasche anschließend gegen die Werkzeugwandung aufgeblasen. Von dieser Flasche müssen nur noch die überstehenden Teile am Boden und am Hals abgetrennt werden.

Diese Verfahrenstechnik mit ihren verschiedenen Varianten und die Weiterentwicklung des Kunststoffes PET (Polyethylenterephthalat) haben gemeinsam zu dem wirtschaftlichen Erfolg der Leichtkunststoff-Flasche beigetragen, deren BAW-Ära jedoch noch nicht begonnen hat. Aus PLA hergestellte Flaschen wurden jedoch bereits als erste Muster gezeigt.

Kalandrieren

Für die Herstellung von Folien speziell aus PVC (Polyvinylchlorid) und PET (Polyethylentere-

phthalat) greift die Industrie auf große Kalandieranlagen zurück. Vier bis fünf Kalandrierstraßen, große Mangeln, walzen thermoplastische Polymermassen darin zu Folien aus. Da die Maschinenkosten immens sind, werden sie nur zur Formgebung der Kunststoffmasse benutzt. Zum homogenen Mischen der Komponenten und zur Plastifizierung ist ein Extruder in die Kalandrierstraße integriert. Zum Kühlen, Recken, Prägen, Mattieren, Formatieren oder Aufwickeln sind weitere Maschinen nachgeschaltet. Mit Kalandieranlagen lassen sich hochwertige Kunststoff-Folien in Dickenbereichen von etwa 25 – 1.000 µm herstellen, für Bodenbeläge sind größere Stärken möglich. Ob diese Verfahrenstechnik jedoch für Biokunststoffe wie beispielsweise PLA anwendbar ist, muss noch erforscht werden.



BAW – auch für Friedhofsartikel geeignet

Herstellung von Schaumkunststoffen

Mit dem Schäumextruder lassen sich Schaumkunststoffe mit gleichmäßiger Zellstruktur oder solche mit einem geschäumten Kern und einer kompakten Randzone (Integralschaum) produzieren. Das thermoplastische Granulat wird im Extruder aufgeschmol-

zen und mit einem Treibmittel – z. B. Kohlenstoffdioxid oder Stickstoff – versehen. Auch ein Zellbildner – z. B. ein Gemisch aus Zitronensäure und Natriumbicarbonat – ist nötig. Nach dem Mischen wird das Material auf die erforderliche Ausformungstemperatur gekühlt und endlos ausgespritzt. Sowohl geschäumte Formteile als auch thermoplastisch umformbare Folien sind damit herstellbar. Sie können im Anschluss durch thermoplastisches Umformen, Warmumformung oder Tiefziehen zu Endprodukten mit vielseitigen Anwendungen verarbeitet werden. Becher, Tellern, Schalen, Portionsverpackungen, Tablett oder Folien bestechen durch ihr geringes Gewicht und ihre Isoliereigenschaften.

Wenngleich prinzipiell für Biokunststoffe anwendbar, ist dieses Verfahren noch kein industrieller Standard.

Formkörper aus Halbzeugen

Thermoplaste werden ab einer gewissen Temperatur so weich, dass sie sich in eine Form ziehen lassen, die sie nach dem Abkühlen auch behalten. Wer thermoplastische Halbzeuge wie Flachfolien zu Formkörpern weiterverarbeiten will, hat die Wahl zwischen verschiedenen Verfahren. Beim Tiefziehen wird die erwärmte und erweichte Flachfolie eines Thermoplasten beispielsweise durch einen Stempel geformt; bei der Warmumformung sorgen Druckluft oder

Vakuum für die Übernahme einer vorgegebenen Form.

Thermoplastische Kunststoffe lassen sich nicht nur Kleben, sondern unter dem Einfluss von Druck und Wärme auch verschweißen. So können Rohre zusammengefügt oder Behälter, Verpackungen, Tragetaschen, Beutel und Säcke hergestellt werden. Dieses Prinzip der Kunststoffverarbeitung durch Schweißen ist in vielen Variationen weit verbreitet und hat als Folienschweißgerät zum Verpacken von Lebensmitteln in PE-Folienbeuteln bereits Einzug in viele Haushalte gehalten.



Tragetasche aus Mais- oder Kartoffelstärke



Verwendungsbereiche – wo können Biokunststoffe punkten?

Verpackungen mit vorprogrammierter Kompostierung

Die biologische Abbaubarkeit der Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen führt dazu, dass sie im Verpackungsbereich



Stärketragetaschen eignen sich auch als Bioabfallsack

neuerdings bevorzugt Verwendung finden. Neben den einfach aufgeschäumten duroplastischen Verpackungschips auf Stärkebasis gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Produkten. Denn technisch ist fast alles möglich: Biokunststoffe lassen sich als Folien oder Mehrschichtfolien blasen, als Flachfolie extrudieren, sie sind thermoverform- und tiefziehbar, bedruck-, schweiß-, spritz- und verklebbar und können mit den gängigen Kunststofftechniken zu Verpackungen konfektioniert werden. Kurzum: Verpackungsmittelhersteller und Abpacker

können biologisch abbaubare Werkstoffe auf fast allen herkömmlichen Maschinen ohne Probleme verarbeiten.

Etablierte Verpackungsanwendungen von Biokunststoffen sind Tragetaschen, die als Sammelbeutel für kompostierbare Küchen- und Gartenabfälle noch einen Zweitnutzen haben, Schalen für Obst, Gemüse, Fleisch und Eier, Becher für Molkereiprodukte, Flaschen, Netze oder Beutel für Obst und Gemüse. Auch Blisterverpackungen, bei denen sich die Folie dem verpackten Produkt direkt anschmiegt, sind möglich. Für den Kosmetikbedarf gibt es Dosen oder Tuben. Packstoffe aus Biokunststoffen mit Sperrwirkung, Aromadichte und guter Maschi-

nengängigkeit sind verfügbar und werden permanent weiterentwickelt.

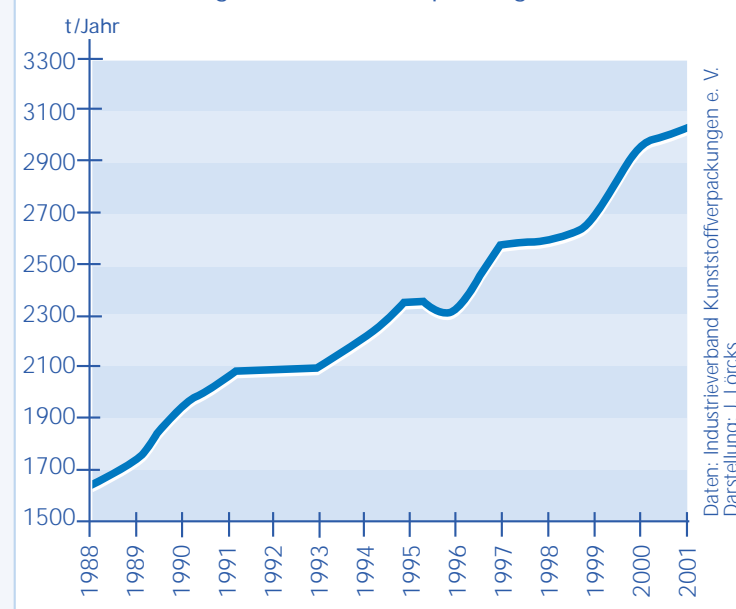
Beschichtungen von Papier- und Kartonverbunden mit Biokunststoffen führen zu neuen Verpackungen mit kompostierbaren Eigenschaften.

Während ein Großteil der Bioverpackungen auf dem Markt noch ein Nischendasein führt, haben kompostierbare Säcke und Beutel zum Sammeln von Biomüll bereits einen führenden Marktanteil.

Kein Wunder, dass es der Verpackungsbereich ist, dem das größte Potenzial für Biokunststoffe zugesprochen wird. Anwender, Abpacker und Markenartikler profitieren von den verbraucherfreundlichen Ver-

packungen. Die um etwa 1 €/kg niedrigeren Entsorgungskosten von zertifizierten, kompostierbaren Verpackungen im Vergleich zu Kunststoffverpackungen, die über das Duale System entsorgt werden, wären ein weiterer Vorteil, der zum Tragen kommt, wenn die Biotonne als Sammelsystem bundesweit zur Verfügung steht.

Marktentwicklung der Kunststoffverpackungen in Deutschland



Cateringprodukte – Abspülen überflüssig

Ähnlich kurzlebig wie Verpackungen sind in der Regel auch Cateringprodukte. Einmal verwendet wandern Becher, Teller und Besteck mitsamt der anhaftenden Essensreste in den Müll – der sich bei Festen und anderen Großveranstaltungen zu wahren Bergen anhäuft. Auch hier bieten BAW durch die Möglichkeit der Kompostierung nicht nur ökologisch echte Alternativen. Auch die Entsorgungskosten lassen sich damit erheblich verringern. Die Hersteller haben das erkannt: ob Geschirr, Becher, Besteck, Schalen, Trinkhalme oder Einwickelfolien für Hamburger, die ganze



Umweltfreundliches Einweggeschirr aus BAW

Palette des Cateringbedarfs wird mittlerweile auch aus Biokunststoffen hergestellt. Dem gestalterischen Anspruch des Nutzers sind dabei keine Grenzen gesetzt, jede Farbe und Form ist möglich.

Fast-Food-Unternehmen seien diese Cateringprodukte aus Biokunststoffen ebenfalls bestens empfohlen. Wenn in der Systemgastronomie nur noch kompostierbare Verpackungen eingesetzt würden, wäre dort auch nur noch ein Abfallbehälter für kompostierbare oder vergärbare Abfälle notwendig.

Produkte für Garten- und Landschaftsbau – auf das Timing kommt es an

Im Gartenbau spielt die einstellbare Lebensdauer der Biokunststoffe eine besondere Rolle. Sinnvoll eingesetzt kann sie dem Gärtner eine Menge Arbeit sparen. Mulchfolien aus BAW müssen nach Gebrauch nicht mühsam wieder aufgesammelt werden, sondern lassen sich unterpflügen. Pflanz- und Anzuchttopfe zersetzen sich im Boden und fallen erst gar nicht mehr als Abfall an. Schalen aus Biokunststoffen für Blumen- und Gemüsepflanzen können auf dem heimischen Komposthaufen gemeinsam mit den Küchen- und Gartenabfällen kompostieren.

Kostensparend sind auch BAW-Bindegarne, -Bänder und -Clips zum Befestigen von hochwachsenden Pflanzen wie beispielsweise Tomaten. Während die bisher in Gemüsebaubetrieben eingesetzten Produkte nach der Ernte von Hilfskräften mühsam wieder abgesammelt werden müssen, können die Biokunststoffvarianten mitsamt der Pflanzen auf den Kompost wandern.

Auch kompostierbare Samenbänder und Wirkstoffverkapselungen aus Biokunststoff



Kostensparend – Bindegarne, -Clips oder -Bänder, die nach Gebrauch nicht mehr eingesammelt werden müssen



Mulchfolien – zerfallen auf dem Feld

fen sind gebräuchlich. Abbaubare Folien und Netze werden in der Pilzzucht verwendet, ebenso für die Ummantelung von Baum- und Strauchwurzeln als Verkaufsware. Folien, Bänder und Netze aus Biokunststoffen sollen frisch angelegte Böschungen befestigen und die Bodenerosion verhindern, bis sie durch Pflanzen stabilisiert werden. Friedhofsprodukte wie Pflanzschalen, Töpfe oder "Ewige Lichter" mit biologisch abbaubaren Hüllen und Dekorationsmaterial können an Ort und Stelle nach der Nutzungsphase kompostiert werden. Für Betreiber von Golfplätzen sind biologisch abbaubare Abschlaghalter des Golfballs eine interessante Alternative: das Aufsammeln entfällt, durch Verrotten erledigt sich das Problem von selbst.



Auch bei Hygieneartikeln kann konventioneller Kunststoff eingespart werden

Pharma- und Medizinanwendungen

Anwendungen nachwachsender Rohstoffe im medizinischen Bereich gehen von ganz anderen Grundvoraussetzungen aus, als dies bei Verpackungen oder Cateringprodukten der Fall ist. Da hier besondere Qualitäten gefordert werden, sind die Rohstoffe auch besonders teuer: zum Teil über 1.000 €/kg. Die Anwendungsmöglichkeiten für resorbierbare Biokunststoffe sind vielfältig: thermoplastische Stärke stellt beispielsweise eine Alternative zur Gelatine als Kapsel-

material dar. Polylactide und deren Copolymeren werden als chirurgisches Nahtmaterial, als Wirkstoffdepot oder als resorbierbare Implantate wie Schrauben, Nägel und Platten verwendet.

Der Chirurg hat die Auswahl unter verschiedenen Polymerzusammensetzungen mit bestimmbar Zeiten, in denen das Implantat vom Körper resorbiert wird. Für die notwendige Dauer der mechanischen Stützung z. B. eines Knochenbruchs wird das Implantat mit der optimalen Polymerzusammensetzung ausgewählt. In jedem Fall wird dadurch eine zweite Operation wie bei metallenen Implantaten überflüssig, denn die Implantate aus geeigneten Biokunststoffen lösen sich im Körper in berechenbaren Zeiten auf.



Biologisch abbaubare Windelfolie gegen den Abfallberg

Von der Windel bis zur Urne – was es sonst noch so gibt

Besondere Eigenschaften bestimmter Biokunststoffe prädestinieren sie auch für Hygieneartikel: diese Materialien lassen zwar Wasserdampf durch, sind zugleich aber wasserdicht. Als Windelfolie, Bettunterlage, für Inkontinenzprodukte, Damenhygieneerzeugnisse und Einmalhandschuhe werden diese "atmenden" und weichen Biofolien bereits verwendet.

Auch Overalls und Schutzanzüge werden aus diesen Biofolien produziert, weil sie den Tragekomfort erhöhen und als Klimamembran fungieren. Ob sie sich auch für Sportbekleidung nutzen lassen, wird sich zeigen.

Als Spielzeug für die ganz Kleinen erfreuen sich farbige Verpackungschips großer Beliebtheit, für Tiere gibt es BAW-Kauknochen.

Auch Autoreifen mit einem Füllmaterial auf Stärkebasis werden angeboten. Extrudierte Stärke substituiert Silica in den Laufflächenmischungen und sorgt für Kraftstoffsparenden, niedrigeren Rollwiderstand und bessere Fahreigenschaften.



Bunte Maischips – Bastelspaß für die Kleinen

Seit einigen Jahren schließlich bietet ein Hersteller ein ganzes Sortiment an Urnen aus BAW an.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Seit die Menschen in großen Mengen Werkstoffe wie z. B. Kunststoffe verwenden, die sich nicht im biologischen Kreislauf bewegen, gibt es das Problem ihrer Entsorgung. Weder die Ablagerung auf Deponien noch die CO₂-Emissionen hervorrufende Verbrennung sind ideale Lösungen. Auch das Recycling von Werkstoffen wie beispielsweise Kunststoffabfällen ist nicht der Königsweg und geht oft mit hohen Kosten und beträchtlichen Qualitätseinbußen einher.

Wer Lösungen sucht, muss zwangsläufig weiter vorne in der Nutzungskette ansetzen und sich überlegen, wie die von ihm verwendeten Materialien beschaffen sein müssen, um möglichst wenig Müllprobleme zu verursachen. Der Stoffkreislauf der Natur gibt Lösungsansätze vor, die von nachwachsenden Rohstoffen in idealer Weise aufgegriffen werden. Sie lassen sich wie Kunststoffe verarbeiten und nutzen; im Gegensatz zu diesen nach Gebrauch aber wahlweise kompostieren oder thermisch verwerten. Denn auch die thermische Verwertung von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe macht Sinn: damit lässt sich CO₂-neutral Energie gewinnen.

ProduktHersteller müssen nach den Ausführungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes ihre "... Erzeugnisse so gestalten, dass bei der Herstellung und Verwendung Abfall vermindert und die umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung nach Gebrauch sichergestellt ist." Gewisse Rahmenbedingungen sind dabei

Grundvoraussetzung: es dürfen bei der Entsorgung keine störenden Begleitstoffe in den Naturkreislauf gelangen. Nationale und internationale Normen zur Abbaubarkeit von polymeren Werkstoffen und Produkten beugen diesem Problem inzwischen vor.

DIN V 54900 – genormte Kompostierbarkeit

Anhand standardisierter Verfahren wird geprüft, ob das betreffende Material vollständig biologisch abbaubar ist. Erfüllen Biokunststoffe und daraus hergestellte Produkte die Anforderungen der Norm, können sie registriert werden. In Deutschland ist die Zertifizierungsgesellschaft DIN CERTCO dafür zuständig, eine Konformitätserklärung (Begutachtung über die normgerechte Ausführung) für den Werkstoff zu erstellen und das Führen des Kennzeichens für kompostierbare Produkte zu gestatten. Ein Werkstoff, der das Kompostierbarkeitslogo tragen darf, baut sich innerhalb von sechs bis zwölf Wochen in der Kompostierungsanlage vollständig ab.



Die von der DIN V 54900 festgelegte Kompostierbarkeit wird von weiteren gesetzlichen Rahmenbedingungen flankiert. Dazu zählen die EU-Verpackungsrichtlinie 94/62/EG und ein Entwurf für eine EU-Bioabfall-Direktive, die Verpackungs- und die Bioabfallverordnung. Die Verpackungsverordnung (mit Regelungen für kompostierbare Verpackungen) und die Bioabfallverordnung (mit Regelungen für biologisch abbaubare Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen) gibt es auch für Deutschland.

Die Verpackungsverordnung

Die Verpackungsverordnung (VerpackV 1998) regelt auch für Biokunststoffe ganz klar die Rücknahme- und Verwertungspflichten. Sie erfasst explizit Verpackungen, die unmittelbar aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, und Kunststoffverpackungen, die überwiegend aus biologisch abbaubaren Werkstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt wurden und deren sämtliche Bestandteile kompostierbar sind. Deren Verwertung über die Kompostierung wird jedoch nur dann akzeptiert, "... wenn der Systembetreiber geeignete Maßnahmen ergriffen hat, damit ein möglichst hoher Anteil der in das System eingebrachten Verpackungen einer Kompostierung zugeführt wird." Eine Sammlung über die Biotonne oder ein eigenes Entsorgungssystem ist also nach Verpackungsverordnung Grundvoraussetzung.

Die Bioabfallverordnung

Auch die Bioabfallverordnung (BioAbfV 1998) berücksichtigt BAW aus nachwachsenden Rohstoffen. Sie zählen zu den Bioabfällen, die in Form von Kompost auf landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden grundsätzlich ausgebracht werden dürfen. Die Sammlung der biologisch abbaubaren Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen erfolgt auch nach dieser Regelung am sinnvollsten über die Biotonne. Ihre Verbreitung als flächendeckendes Sammelsystem ist eine Voraussetzung für das Praktizieren dieser Kreislaufwirtschaft mit Biokunststoffen.

Das Ausbringen der erzeugten Komposte aus der getrennten Bioabfallsammlung unterliegt den Regeln der Düngemittelverordnung.

Potenzial und Perspektiven

Rohstoffe für Standard-Thermoplaste kosteten im Jahr 2002 zwischen 66 Cent und einem Euro je Kilogramm (PE: 0,72 – 0,89 €/kg, PS: 0,89 – 1,00 €/kg, PVC: 0,66 – 0,70 €/kg, PP 0,80 – 0,90 €/kg). Biokunststoffe sind mit Rohstoffpreisen zwischen drei und fünf Euro je Kilogramm da kaum konkurrenzfähig. Ihnen bleibt momentan daher nur die Chance, sich eigene Märkte zu erschließen und Marktanteile aufzubauen.

Denn der Aufbau einer kostengünstigen Produktion in üblichen industriellen Größen-



Wachstumspotenzial – Folienherstellung auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen

ordnungen steht für die meisten Biokunststoffe noch bevor. Biotechnologische Verfahren sind dabei ebenso Hoffnungsträger wie auf Stärke basierende, qualitativ hochwertige Blends.

Sobald die Produktion in industriellem Maßstab abläuft, dürften die Kosten für Biokunststoffe erheblich fallen. Experten gehen davon aus, dass Stärkekunststoffe und Polylactide dann für unter zwei Euro pro Kilogramm produzierbar wären. Diese Kosten kämen denen der Standard-Thermoplaste bereits sehr nahe. Berechnet man auch die um etwa einen Euro je Kilogramm geringeren Entsorgungsgebühren für die Kompostierung von Biokunststoffen mit ein, ergibt sich bald eine konkurrenzfähige Situation. Dabei finden die positiven Aspekte der CO₂-Minderung und des vorbeugenden Klimaschutzes finanziell noch nicht einmal Berücksichtigung.

Aussagen über die Potenziale von Biokunststoffen sind stark davon abhängig, ob es gelingt mit positiven Rahmenbedingungen das Interesse der Kunststoff erzeugenden Industrie an Biokunststoffen verstärkt zu wecken.

Fast 40 Prozent der 14 Mio. Tonnen Verpackungen, die jährlich in Deutschland verbraucht werden, sind aus Kunststoff. Rund

1,8 Mio. Tonnen davon entfallen auf kurzlebige Kunststoff-Verpackungen wie Folien, Tragetaschen, Beutel, Säcke, Becher oder Cateringprodukte – Produkte also, die problemlos aus Stärkekunststoffen und Polylactiden hergestellt werden könnten.



Vom Rohstoff zum Endprodukt

Potenzial
und Perspektiven

Aufgrund dieser Tatsache halten Experten ein Potenzial für Biokunststoffe in Deutschland von etwa einer Million Tonnen für realistisch. Auch europaweit ist davon auszugehen, dass etwa die Hälfte der sechs Mio. Tonnen Verpackungen durch Biokunststoffe ersetzt werden könnten. Da auf dem Kunststoffmarkt jedoch starke Wettbewerbsstrukturen herrschen, können Biokunststoffe mit dem derzeitigen Preis-Leistungs-Verhältnis noch nicht mithalten.

Zudem der Kostenvorteil für die Entsorgung bzw. Verwertung kompostierbarer Verpackungen nur zum Tragen kommt, wenn ein flächendeckendes Sammelsystem wie die Biotonne zur Verfügung steht.

Potenzial bergen Biokunststoffe auch für den Gartenbau: jährlich 12.000 bis 20.000 Tonnen Pflanzgefäße aus diesem Material wären realistisch. Dazu kommen noch etwa 1.500 Tonnen an Mulchfolien.

Auch die COPA (Committee of Agricultural Organisations in the European Union) und die COGECA (General Committee for the Agricultural Cooperation in the European Union) haben sich damit beschäftigt. In einem Positionspapier von 2001 stellten sie für Biokunststoffe (bioplastics) aus nachwachsenden Rohstoffen die in der nebenstehenden Tabelle aufgeführten Potenziale für Europa fest.

Potenzial für Biokunststoffe in Europa (Schätzungen der COPA und COGECA von 2001)

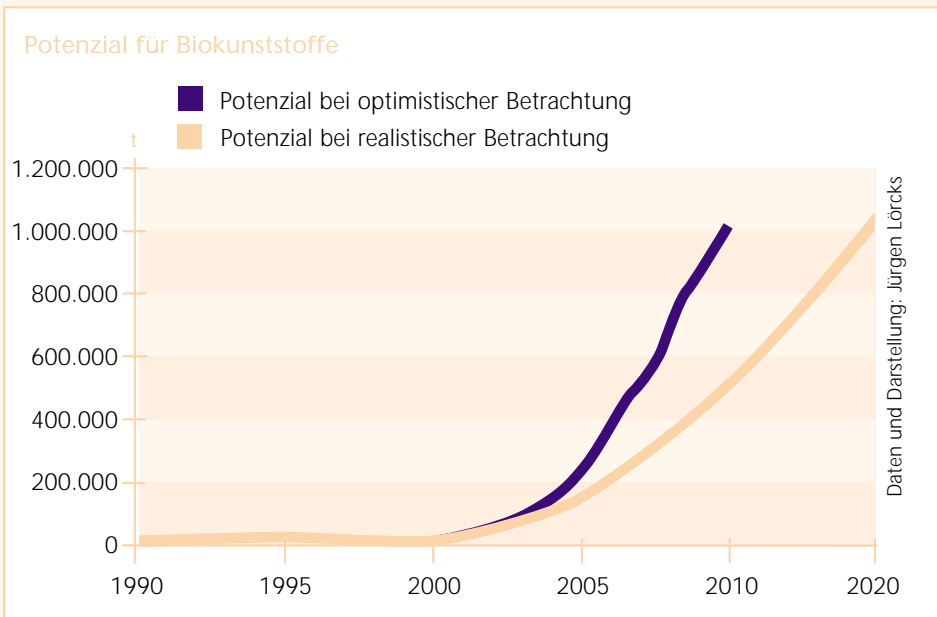
| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Catering | 450 000 t/a |
| Säcke zum Sammeln von Biomüll | 100 000 t/a |
| bioabbaubare Mulchfolien | 130 000 t/a |
| bioabbaubare Folien für Windeln | 80 000 t/a |
| Windeln, vollständig aus BAW | 240 000 t/a |
| Leichtverpackungen, Schalen und Dosen | 400 000 t/a |
| Gemüseverpackungen | 400 000 t/a |
| Komponenten für Fahrzeugreifen | 200 000 t/a |
| Gesamt | 2.000 000 t/a |

COPA und COGECA schlagen für biologisch abbaubare Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen einen niedrigeren Mehrwertsteuersatz von beispielsweise vier Prozent vor. Damit soll die CO₂-Einsparung in der Ökobilanz dieser Produkte positiv in Wert gesetzt werden.

Nachwachsende Rohstoffe bergen Chancen. Sie helfen nicht nur die begrenzten Vorräte an fossilen Rohstoffen zu schonen und eröffnen der Landwirtschaft neue Einkom-

mensalternativen, sondern leisten uns auch in puncto Nachhaltigkeit wichtige Dienste.

An uns liegt es daher, das Potenzial der Biokunststoffe zu nutzen. Kompostierbare Verpackungen aus modernen Biokunststoffen sind dabei der erste Schritt. Ihre breite Einführung macht allerdings erst dann Sinn, wenn die flächendeckende Rücknahme gebrauchter Verpackungen zur stofflichen Verwertung in der Biotonne oder zur energetischen Nutzung gesichert ist.



Weiterführende Literatur

Groot, L.; Paruschke, K.; Schüsseler, P.; Weber, C.; von Zabeltitz, C.:

Biologisch abbaubare Werkstoffe im Gartenbau (Veröff. des KTBL), Darmstadt 2000, ISBN: 3-7843-2111-9.

Tänzer, Wolfgang: Biologisch abbaubare Polymere, Weinheim 1999, ISBN: 3527309632.

Korn, M. "Nachwachsende und Bioabbaubare Materialien im Verpackungsbereich", München 1993, ISBN: 3-92845-39-9

Steinbüchel, Alexander (Hrsg.): Biopolymers, mehrere Bände, Weinheim, unterschiedl. Jahre.

Imam, Syed H. (Hrsg.): Biopolymers; Utilizing Nature's Advances Materials, Oxford 1999, ISBN: 0841236070.

Kaplan, David L.: Biopolymers from Renewable Resources, Heidelberg 1998, ISBN: 354063567.

Stevens, Eugene: Green Plastics: An Introduction of the New Science of Biodegradable Plastics, Princeton 2002, ISBN: 069104967X

Frost & Sullivan: European Bioplastics Markets (Studie beim Unternehmen zu beziehen)

MarTech (Hrsg.): Biodegradable Polymers in North America & Europe, New York 1998. (Studie beim Unternehmen zu beziehen)

Internet-Informationsquellen:

www.fnr.de
 www.ibaw.org
 www.apme.org
 www.plastica.it
 www.bpf.co.uk
 www.proplast.org/spmp
 www.vke.de
 www.kunststoffverpackungen.de
 www.inaro.de
 www.carmen-ev.de
 www.kiweb.de
 fbaw.itg.uni-hannover.de
 www.umweltstiftung.de
 www.maikomitee.de
 www.dincertco.de
 www.nmn-ev.de
 www.riko.net
 www.nova-institut.de
 www.martech-reports.com/MarketTR/biopolymers.htm
 www.proterra.nl
 www.biopolymer.net
 www.greenplastics.com

Glossar Biokunststoffe

| | |
|----------------|--|
| A | |
| Amorph | nichtkristallin, glasartig mit ungeordneten Kristallgittern |
| Amylopektin | verzweigtes Stärke-Molekül mit sehr hohem Molekulargewicht |
| Amylose | unverzweigtes Stärke-Molekül mit hohem Molekulargewicht |
| B | |
| BAW | Biologisch abbaubarer Werkstoff, Biokunststoff, Bioplastik |
| Biokunststoff | BAW, biologisch abbaubarer Werkstoff, bioplastic |
| Blend | Kunststoffmischung, Polymerlegierung aus mindestens zwei mikroskopisch dispergierten und molekular fein verteilten Basispolymeren |
| Blister | Verpackung aus einer planen Unterlage (Karton) mit einer formstabilen, transparenten Folie als Abdeckung |
| Biotechnologie | integrierte Anwendung von Natur- und Ingenieurwissenschaften mit dem Ziel, biologische Stoffumwandlungsprozesse zur Herstellung von Produkten zu verwenden |



| | | | | | | | |
|------------|---|-------------------------|--|----------------------|---|----------------|---|
| C | | DIN-FNK | Fachnormenausschuss Kunststoffe im DIN | Erneuerbare Energien | Solar-, Wind-, Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie | Hydrophil | Eigenschaft: wasserfreundlich, ein Kunststoff, der nicht wasser- und wetterfest ist |
| Cellophan | glasklare Folie auf Cellulosebasis, auch Zellglas genannt | | | | | | |
| Cellulose | hochmolekularer nachwachsender Rohstoff (Kohlenhydrat), aus Holz oder Baumwolle zur Herstellung von Papier, Kunststoffen und Fasern | DIN V 54900 | Deutsche Norm zur Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen | Ethylen | farb- und geruchloses Gas, aus Naphtha (Erdöl) durch Cracken hergestellt. Das Monomer des Polymers PE | Hydrophob | Eigenschaft: wasserfest, ein Kunststoff, der wasser- und wetterfest ist |
| | | DIN EN 13432 | Europäische Norm zur Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen | Extrusion | Bezeichnung für das Mischen, Aufschmelzen, Reagieren, Homogenisieren und Ausformen von Kunststoffen | I | |
| CEN | Comité Européen de Normalisation | Dispergieren | das feine Verteilen in der kontinuierlichen Phase von nicht mischbaren Flüssigkeitstropfen zu einer homogenen, stabilen Mischung | F | | Integralschaum | geschäumter Formkörper mit geschlossener Oberfläche und porösem Inneren |
| Compound | Kunststoffmischung aus mehreren Rohstoffen und/oder Additiven | Duroplaste | ausgehärtete Kunststoffe, die durch Wärmeeinwirkung nicht oder kaum erweichen | Fermentation | biochemische Reaktionen, die durch Mikroorganismen gesteuert werden | ISO | International Organization for Standardization |
| Copolymer | Kunststoff aus unterschiedlichen Monomeren | E | | G | | K | |
| D | | Elastomere | formfeste, aber unter Kräfteinwirkung elastisch verformbare Kunststoffe, auch gummielastische, dehnbare Kunststoffe genannt | Gelatine | Kollagen-Eiweiss aus Rinderknochen | Kalandrieren | Auswalzen von Kunststoffen zu Flachfolien |
| Dichte | Quotient aus Masse und Volumen des Kunststoffes, auch spezifisches Gewicht oder spezifische Masse genannt | Energetische Verwertung | Nutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung | Glucose | Monomer der Stärke, auch Stärkezucker genannt | Katalysator | ermöglicht und beschleunigt chemische Reaktionen |
| DIN | Deutsches Institut für Normung | Enzyme | Proteine, die als biologische Katalysatoren wirken | Granulat | Handelsform der Kunststoffrohstoffe | Kompostierbar | zersetzt sich innerhalb eines Kompostzyklus |
| DIN-CERTCO | unabhängige Zertifizierungsgesellschaft für die Prüfung der Konformität von Biokunststoffen | Erneuerbare Rohstoffe | nachwachsende Rohstoffe | H | | Kompostzyklus | Zeitraum, in dem eine Kompostanlage beschickt wird, meist 6 bis 12 Wochen |
| | | | | Halbzeug | Kunststoff in Form von Rundstäben, Platten, Folien zur Weiterverarbeitung | Kristallin | Kunststoff mit regelmässig angeordneten Molekülen in einer Gitterstruktur |

| | |
|-------------------------|---|
| Kunststoffe | Werkstoffe mit grossen Molekülketten aus natürlichen oder fossilen Rohstoffen, hergestellt durch chemische oder biochemische Reaktionen |
| M | |
| Molekül | chemische Verbindung |
| Monomere | kleine Moleküle, die durch Polymerisation zu Molekülketten verbunden werden und dann Kunststoffe bilden |
| Mulchfolie | Folie zur Bodenabdeckung landwirtschaftlich genutzter Flächen |
| N | |
| Nachhaltige Entwicklung | umweltgerechtes Wirtschaften unter Erhalt von Optionen für zukünftige Generationen |
| Nachwachsende Rohstoffe | landwirtschaftliche Rohstoffe, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel genutzt werden, sondern als Rohstoff für industrielle Produkte oder zum Erzeugen von Energie |
| P | |
| Patent | geschützte Erfindung für ein Produkt, ein Verfahren zu seiner Herstellung und Verwendung |

| | |
|--------------------------|--|
| PCL | Polycaprolacton, ein synthetischer abbaubarer Biokunststoff, Blendkomponente |
| PE | Polyethylen, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Ethylen |
| PET | Polyethylenterephthalat, "unkaputtbarer" Leichtkunststoff |
| PHB | Bezeichnung für den Biokunststoff Polyhydroxybuttersäure |
| PLA | Polylactid, ein Biokunststoff aus polymerisierter Milchsäure |
| Polymerisat, Polymer | Kunststoff, der durch Polymerisation von Monomeren gewonnen wird |
| Polymerisation | chemische Reaktion zum Aufbau von sehr grossen Molekülen aus Monomeren zu Polymeren |
| Polymerlegierung | molekular fein verteilte Kunststoff-Mischung aus zwei oder mehr Basispolymeren |
| PP | Polypropylen, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Propylen |
| Protein | Sammelbezeichnung für Eiweisskörper, aus Aminosäuren zusammengesetzte, polymere Makromoleküle |
| PS | Polystyrol, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Styrol |
| PVC | Polyvinylchlorid, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Vinylchlorid |
| R | |
| Regenerative Rohstoffe | natürlich erneuerbare und nachwachsende Rohstoffe |
| Resorbierbare Implantate | medizinische Anwendung von Biokunststoffen zur Stabilisierung von Knochenbrüchen oder als Wirkstoffdepot, wobei der Biokunststoff vom Körper in einer definierten Zeit in körpereigene Stoffe umgewandelt wird, z. B. Polymilchsäure in Milchsäure |
| S | |
| Sorbitol | Zuckeralkohol (Hexit), hergestellt aus Glucose durch katalytische Hydrierung, Verwendung als Weichmacher für Biokunststoffe auf Stärkebasis |
| Spritzguss | Kunststoff-Verarbeitungsverfahren zur Herstellung von Formteilen |
| Stärke | natürliches Polymer (Kohlenhydrat), bestehend aus Amylose und Amylopektin, gewonnen aus Mais, Kartoffeln, Weizen, Tapioka etc. |

| | |
|-------------------------|--|
| Sustainable Development | Ein auf der Konferenz der UNO in Rio 1992 geprägter Begriff. Globales Konzept für nachhaltige und umweltgerechte Entwicklung im Sinne eines Wirtschaftens unter Erhalt von Optionen für zukünftige Generationen. |
| T | |
| Thermoplaste | Kunststoffe, die beim Erwärmen erweichen oder fließen und beim Abkühlen erstarren |
| Transgene Pflanzen | Pflanzen, in die Gene eingeführt wurden, die dann zur Produktion von Biokunststoffen dienen können |
| V | |
| Viskos | Eigenschaft von zähflüssigen Werkstoffen |
| Z | |
| Zellglas | glasklare Folien auf Cellulosebasis, die beidseitig lackiert und dadurch wetterfest sind |
| Zucker | Saccharose aus Rüben oder Zuckerrohr, Rohstoff zur biochemischen Herstellung von PHB und PLA |

Quellenangaben

Seite 1: Entwicklung und Prognose des Kunststoffverbrauchs, Quelle der Daten: VKE (Verband Kunststoffherstellende Industrie e. V.), Graphik: J. Lörcks

Seite 2: Patentaktivitäten, Quelle der Daten: Recherchen J. Lörcks, Graphik: J. Lörcks

Seite 6: Verbrauch von Kunststoffen, Quelle der Daten: VKE, Graphik: J. Lörcks

Seite 8: Herstellungsschema, Quelle: BIOTEC J.Lörcks, Vortrag SKZ Tagung

Seite 12: Schematischer Aufbau eines Spritzgussautomaten, Quelle: Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, Kronach

Seite 14: Marktentwicklung d. Kunststoffverpackungen, Quelle der Daten: IK (Industrieverband Kunststoffverpackungen e. V.), Graphik: J. Lörcks

Seite 17: Kompostierbarkeitskennzeichen, Quelle: IBAW

Seite 19: Potenzial für Biokunststoffe, Quelle der Daten: Recherchen J. Lörcks, Graphik: J. Lörcks