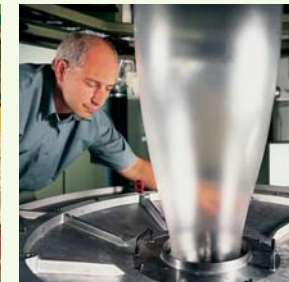


Biokunststoffe



**Pflanzen
Rohstoffe
Produkte**



Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
info@fnr.de • www.fnr.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Impressum



Herausgeber:
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
info@fnr.de • www.fnr.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Autor:
Jürgen Lörcks, Unternehmensberatung Bioplastics
bioplastics@gmx.de

Redaktionelle Bearbeitung:
Barbara Wenig (FNR)

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, Union zur
Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V.

Gestaltung und Realisierung:
WPR COMMUNICATION GmbH & Co. KG

2005

Inhaltsverzeichnis

Biokunststoffe – was ist das eigentlich?	4
Rohstoffe – die Stärke(n) der Natur nutzen	9
Biokunststoffe – ein Steckbrief	11
Kunststoffe – vom Rohstoff zum Endprodukt	20
Kunststoffe – Verarbeitungsverfahren	22
Verwendungsbereiche – wo können Biokunststoffe punkten?	26
Gesetzliche Rahmenbedingungen	32
Potenzial und Perspektiven	34
Weiterführende Literatur	38
Internet-Informationsquellen	39
Glossar Biokunststoffe	40
Quellenangaben	45

Biokunststoffe – was ist das eigentlich?

Kunststoffe sind sehr stabil, lassen sich vielfältig verarbeiten und sind außerdem leichter und billiger als die meisten anderen Materialien. Deswegen 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 Westeuropa und setzt jährlich 135 Billionen Euro um. Von den dort erzeugten 53,2 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.

Als Biokunststoffe (englisch „bioplastics“) bezeichnet man innovative Kunststoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Sie können die bis-



Verpackungschips aus Stärke – Schutz für kostbare Fracht

her verwendeten fossilen Kunststoffe und Plastikmaterialien in vielen Anwendungen ersetzen. Kreative Wissenschaftler und Technologen passen sie derzeit nicht nur konventionellen Maschinen an, sondern erschließen außerdem neue Verwendungsmöglichkeiten. So sind Verpackungen, Einweggeschirr oder Blumentöpfe aus Biokunststoff bereits heute erhältlich.

Je nach Erfordernis garantieren einige Biokunststoffe eine lange Gebrauchsdauer, andere sind biologisch abbaubar und zerfallen in natürlich vorkommende, ungiftige Ausgangsprodukte. Mikroorganismen wie Pilze, Bakterien und Enzyme sorgen dafür, dass nur noch Wasser, Kohlendioxid und Biomasse übrig bleiben, die von der Natur weiter verwertet werden. Egal, ob Biokunststoffe nach Gebrauch in die Biogasanlage wandern, thermisch verwertet oder kompostiert werden: Aus Pflanzen gewonnene Werkstoffe setzen nach ihrem Gebrauch nur soviel CO₂ frei, wie diese während ihrer Wachstumsphase aus der Atmosphäre entnommen haben.

Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen sind sie also weitgehend CO₂-neutral, Stoff- und Energiekreislauf sind geschlossen. Werden Biokunststoffe am Ende der Verwendung thermisch verwertet, sorgen sie zusätzlich noch für klimaneutrale Energie. Die Umweltvor-

teile dieser Kreislaufwirtschaft liegen auf der Hand.

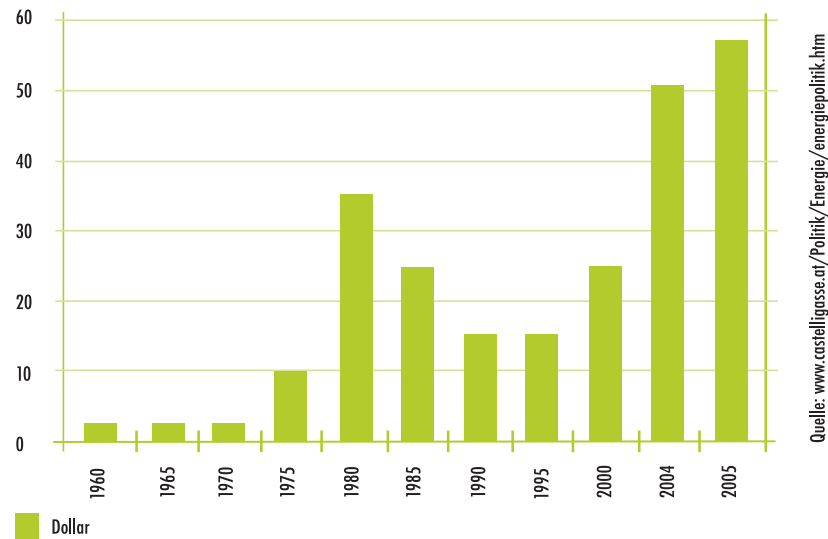
Biokunststoffe haben aber nicht nur ökologische Vorteile. Sie helfen außerdem fossile Rohstoffe schonen und verringern unsere Abhängigkeit vom Erdöl: Eine Chance, die wir in Zeiten ständig steigender Preise fossiler Rohstoffe auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht außer Acht lassen sollten.

Im Interesse des nachhaltigen Wirtschaftens ist die Entwicklung der Biokunst-



Vom Rohstoff zum Endprodukt

Rohölpreis in US-\$/Barrel



stoffe derzeit in vollem Gang. Das war nicht immer so, wenngleich 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 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, Kämmen, 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 Herstellung der glasklaren und knisternden Zellglasfolien ist jedoch teuer und daher stark rückläufig. Eine weitere



Zellglas – glasklares Celluloseprodukt

Eigenschaft des Celluloseprodukts wirkt sich nachteilig aus: wegen seiner Wasserempfindlichkeit und Wasserdampfdurchlässigkeit muss es mit Polyvinylidenchlorid beschichtet werden und verliert dadurch seine biologische 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.

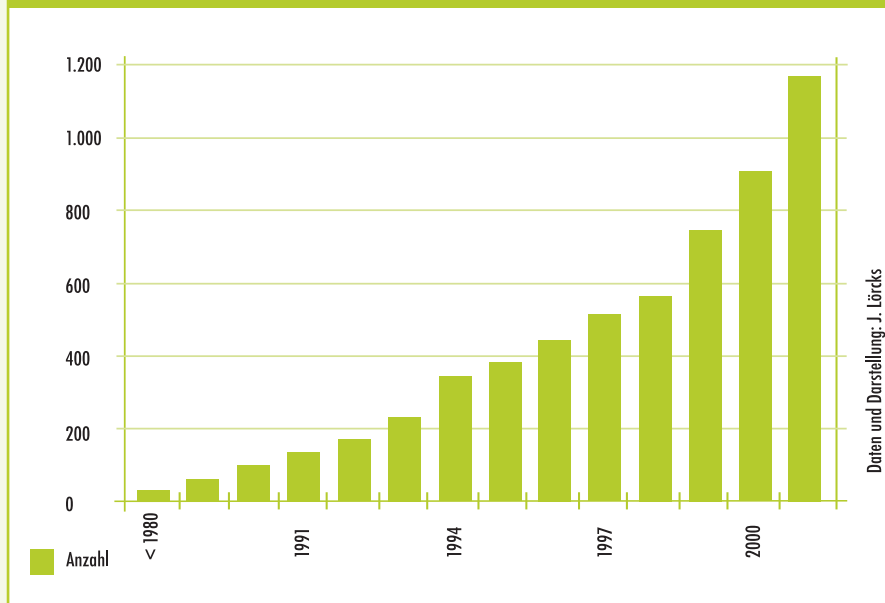
Erst ab 1980 setzen Forschung und Entwicklung von Biokunststoffen wieder ein. Erneuerbare Rohstoffe, geschlossene Stoffkreisläufe und Kompostierbarkeit sind nun die entscheidenden Argumente. Ein sprunghafter Anstieg der Patentaktivitäten ist als Indiz für die enormen Forschungsaktivitäten und zukünftigen Marktmöglichkeiten der Kunststoffindustrie auf dem Gebiet der modernen Biokunststoffe zu bewerten.

- 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.

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 ressourcensparende 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.

Anstieg der Patentaktivitäten auf dem Gebiet der modernen Biokunststoffe



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. Das verzweigt polymerisierte Amylopektin, der Hauptbestandteil der Stärke, umhüllt die

unverzweigte Amylose. 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 macht man daraus thermoplastische Polyester und Polyurethane. 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 werden häufig als Polymerkomponente zur Compoundierung mit weiteren Biokunststoffen verwendet.

Auch die klarsichtige Cellophanfolie 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 beispielsweise

- Casein, ein Protein aus Magermilch
- Chitin und Chitosan aus Krabbenschalen
- 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. Epoxidkunststoffe aus Leinöl beispielsweise sind den synthetischen Epoxiden bereits qualitativ ebenbürtig.

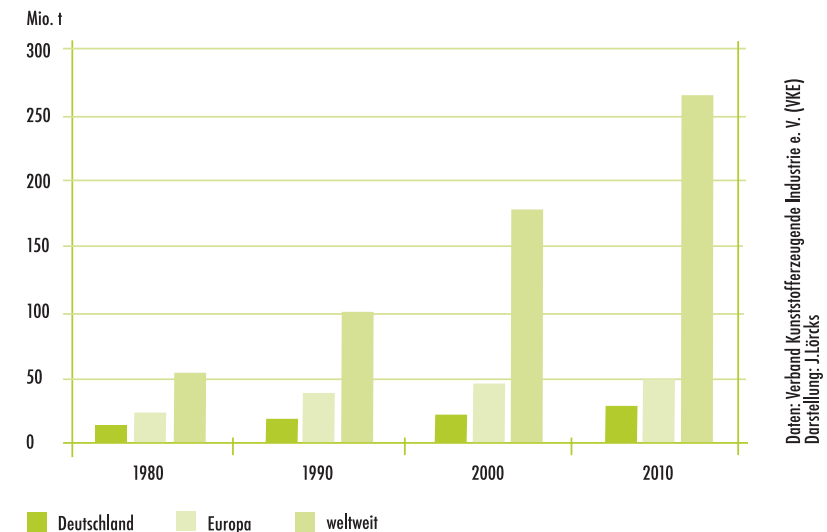
Biokunststoffe – ein Steckbrief

224 Mio. Tonnen Kunststoffe wurden im Jahr 2004 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 17,5 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. Tonnen, in Deutschland 3 Mio. Tonnen.

Nicht nur die Rohstoffherstellung (60.000 Beschäftigte) und -verarbeitung (290.000 Beschäftigte), sondern auch der Kunststoffmaschinen- und -anlagenbau binden zahlreiche Arbeitskräfte. Im Jahr 2004 erwirtschafteten die 50 deutschen

Entwicklung & Prognose des Kunststoffverbrauchs



Unternehmen der kunststofferzeugenden Industrie immerhin 19,9 Mrd. Euro Umsatz, dazu kommen noch 43,6 Mrd. Euro Umsatz der 2.800 Betriebe der Kunststoffverarbeitung. 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 und Erdgas gewonnen werden, sind sie den damit verbundenen Preisschwankungen unterworfen. Pro Tonne PE, PS, PP oder PVC zahlt die Industrie heute rund 1.000 bis 1.500 Euro.

Wer alternativ auf Biokunststoffe zurückgreifen will, muss heute allerdings deutlich



Produktvielfalt aus Biokunststoffen

tiefer in die Tasche greifen: Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen kosten etwa zwei- bis viermal soviel wie Standardkunststoffe.

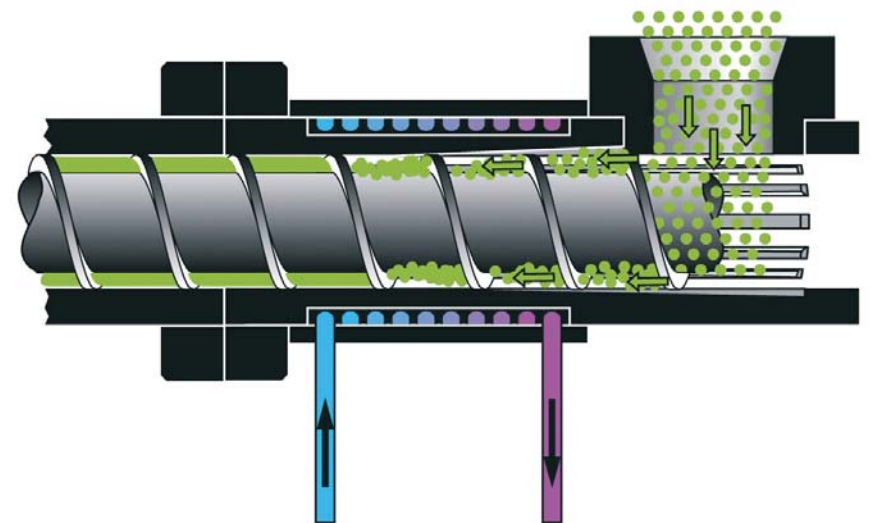
Denn erst seit wenigen Jahren arbeitet die Forschung daran, Kunststoffe aus Stärke, Cellulose oder Zucker herzustellen. Und die Entwicklung neuer Verfahren und Materialien kostet viel Zeit und Geld. Zudem werden Biokunststoffe bisher noch in sehr kleinen Mengen hergestellt, was ihre Produktion verhältnismäßig 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 großtechnischen 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 250.000 Tonnen pro Jahr verschwindend gering.

Thermoplastische Stärke

Die 1988 erfundene thermoplastische Stärke (EP 0397819) war bis zur Jahrtausendwende mit einem geschätzten Marktanteil von etwa 80 Prozent füh-

Prinzipskizze der Einzugszone eines Extruders



rend 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.

Ein Kühlwassersystem (siehe obige Abbildung) sorgt für stabile Temperaturverhältnisse.

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.

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 und Cellulosederivate.

Ein Kunststoffblend besteht somit aus zwei Phasen – der kontinuierlichen und hydrophoben Polymerphase und der dispersen 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. Die Erfindung der Stärkekunststoffblends brachte den Stärkekunststoffen den Durchbruch (EP 0596437, EP 0799335).

Blends oder Compounds werden für die weitere Verarbeitung in der Kunststoffver-



Granulat aus destrukturierter und komplexierter Stärke und abbaubaren Polymeren natürlicher Herkunft

arbeitenden Industrie maßgeschneidert. In Granulatform verfügbar, können sie auf den vorhandenen Anlagen zu Folien, tiefziehbaren Flachfolien, Spritzgussartikeln oder Beschichtungen verarbeitet werden. 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



Für umweltfreundlichen Genuß – biologisch abbaubares Besteck

werden. Diese 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 Poly lactid aus D- und L-Lactid schon in einigen Wochen. 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



Olympiareif – Trinkbecher aus PLA

Folien, Becher und Behälter, die Thermoplastizität und gute Verarbeitung auf den vorhandenen Anlagen der Kunststoffverarbeitenden 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 Tonnen Jahreskapazität wurde 2002 in den USA in Betrieb genommen. Industrielle PLA-Produktionsanlagen existieren inzwischen auch in den Niederlanden, Japan und China.

Was Polylactid kann

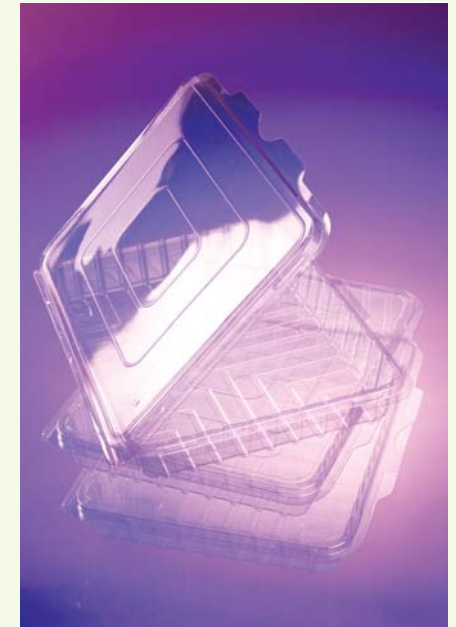
Das durchsichtige Polylactid (PLA) gleicht herkömmlichen thermoplastischen Mas-

senkunststoffen 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. Toyota hat auf dem japanischen Markt bereits zwei Automodelle mit PLA-Kunststoffen im Armaturenräger in Serie eingeführt.

Außerdem gibt es lukrative Spezialmärkte, zum Beispiel im medizinischen

Mittels neuartiger biotechnologischer Verfahren wachsen auf einem Hektar Ackerland die Rohstoffe für umgerechnet zwei Tonnen PLA-Kunststoffe heran, die zur Herstellung von 100.000 Tragetaschen geeignet sind.



PLA-Klappboxen – ideale Trays für Obst und Gemüse

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-Flowpacks im Praxiseinsatz

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 70er und 80er 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 mittelständischen Herstellern beabsichtigt nun die südamerikanische Zuckerindustrie die Herstellung von PHB im industriellen Maßstab, um Preise unter 5 Euro/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.

Cellulosekunststoffe

Kunststoffe auf Cellulosebasis werden üblicherweise aus Baumwolle durch Veresterung, beispielsweise mit Essigsäure, hergestellt. Als bekannteste Cellulose-

derivate gelten Celluloseacetat, Celluloseacetopropionat und Celluloseacetobutyrat. Cellulosekunststoffe, die für Folien, Werkzeuggriffe, Skibrillen, bruchsichere Sportbrillen, Brillengestelle oder Lichtkuppeln zum Einsatz kommen, sind in der Regel witterungsbeständig, transparent, zähelastisch und thermoplastisch.

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 copolymere. 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 Stärk ebasis besitzen zurzeit den größten Marktanteil. Sie werden hauptsächlich für abbaubare Folienprodukte eingesetzt.



Kunststoffe – vom Rohstoff zum Endprodukt

Aus Kunststoffen und Biokunststoffen macht die Industrie in einer Vielzahl von Verarbeitungsverfahren sowohl feste Formteile als auch Folien, die zu flexiblen oder harten Verpackungen und anderen Endprodukten weiterverarbeitet 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, Polyesterurethan) 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.

Das Einspritz-Expansionsverfahren ist dem Backen von Waffeln vergleichbar: den Waffelteig ersetzt hier jedoch eine Stärkesuspension. Dabei werden mehrere gusseiserne, zwei- oder dreiteilige Formwerkzeuge auf einer Kette durch einen beheizten



Kompostierbare Verpackungschips

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 Getreidemehlen 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.

Stärkeschaumformteile 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. Australischen Forschern ist es gelungen, elastische

Trays zum Verpacken von Pralinen aus einer Maisstärke mit einem besonders hohen Amylosegehalt zu entwickeln und erfolgreich mit Herstellern von Markenartikeln in den Markt einzuführen.

Thermoplastische Kunststoffe

Thermoplastische Kunststoffe sind in der Verarbeitung und der Anwendung weit aus 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

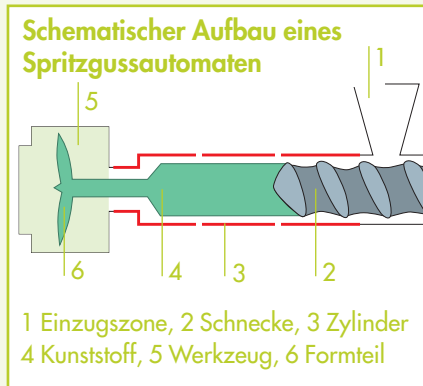
Nahezu alle Größen und Formen von Kunststoffformteilen können im Spritzguss hergestellt werden. Ein Extruder sorgt für die Plastifizierung der Kunststoffmasse, die dann durch erwärmte Düsen und Kanäle in einer genau dosierten Menge unter Druck in den Hohlraum der kalten Form, des Werkzeugs, eingespritzt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



Spritzgussautomat

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

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 Durch-

messers 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 Folienblasextrudern hergestellt. Die biologisch abbaubaren Folien-erzeugnisse kommen als Verpackungen, Müllsammelsäcke und Beutel für Biomüll,



Folienblasen

Hygienefolien für Windeln, Versandhüllen, Einmalhandschuhe und Tragetaschen in den Handel.

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 Kunststoffs PET (Polyethylenterephthalat) haben gemeinsam zu dem wirtschaftlichen Erfolg der Leichtkunststoffflasche beigetragen. Aus PLA hergestellte Flaschen sind bereits auf dem Markt.

Kalandrieren

Für die Herstellung von Folien speziell aus PVC (Polyvinylchlorid) und PET (Polyethylenterephthalat) greift die Industrie auf große Kalandranlagen zurück. Vier bis



BAW – auch für Friedhofsartikel geeignet

fünf Kalander, 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 Kalanderanlagen 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.

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 aufgeschmolzen 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, Teller, Schalen, Portionsverpackungen, Tablets oder Folien bestehen 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?

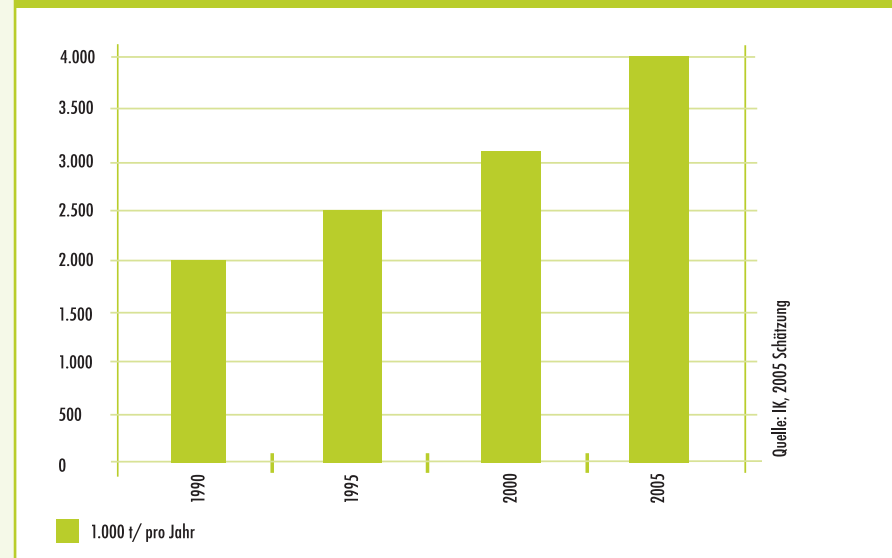
Verpackungen

Neben einfach aufgeschäumten duroplastischen Verpackungschips auf Stärkebasis gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Verpackungen aus Biokunststoffen. Denn technisch ist fast alles möglich: Biokunststoffe lassen sich als Folien oder Mehrschichtfolien blasen, als Flachfolie extrudieren, sie sind thermover-

form- und tiefziehbar, bedruck-, schweiß-, spritz- sowie verklebbar und können mit den gängigen Kunststofftechniken zu Verpackungen konfektioniert werden. Kurzum: Verpackungsmittelhersteller und Abpacker können Biokunststoffe auf fast allen herkömmlichen Maschinen ohne Probleme verarbeiten.

Etablierte Verpackungsanwendungen von

Marktentwicklung der Kunststoffverpackungen in Deutschland



Stärketragetaschen eignen sich auch als Bioabfallsack

Biokunststoffen sind Tragetaschen, die als Sammelbeutel für kompostierbare Küchen- und Gartenabfälle noch einen Zweitnutzen haben, Schalen für Pralinen, 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 Maschinengängigkeit sind verfügbar und werden permanent weiterentwickelt.

Beschichtungen von Papier- und Kartonverbunden mit Biokunststoffen führen zu neuen Verpackungen mit guten Gebrauchseigenschaften. In den USA wurde bereits eine Mineralwasserflasche aus dem Biokunststoff PLA im Markt eingeführt. 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 Verpackungen. Die Entsorgung von gebrauchten Verpackungen aus Biokunststoffen kann auf verschiedene Weise erfolgen. Die bevorzugte Entsorgungsoption ist die Verwertung zur Energiegewinnung in Müllverbrennungsanlagen. Biokunststoffe, die zusätzlich biologisch abbaubar und kompostierbar sind, können auch in Kompost- oder Biogasanlagen verwertet werden.

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. Hier bieten kompostierbare Biokunststoffe nicht nur ökologisch echte Alternativen. Über die Möglichkeit der Kompostierung lassen sich auch die Entsorgungskosten erheblich



Umweltfreundliches Einweggeschirr aus BAW

verringern. Die Hersteller haben das erkannt: ob Geschirr, Becher, Besteck, Schalen, Trinkhalme oder Einwickelfolien für Hamburger, die ganze 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 Cateringprodukte aus Biokunststoffen ebenfalls bestens empfohlen. Wenn die Systemgastronomie nur noch kompostierbare Verpackungen einsetzen würde, 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 biologisch abbaubaren Biokunststoffen müssen nach Gebrauch nicht mühsam wieder aufgesammelt werden, sondern lassen sich unterpflügen. Pflanz- und Anzuchtöpfe 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.



Mulchfolien – zerfallen auf dem Feld



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

Kostensparend sind auch Biokunststoffbindegarnie, 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 den Pflanzen auf den Kompost wandern.

Auch kompostierbare Samenbänder und Wirkstoffverkapselungen aus Biokunst-

stoffen sind gebräuchlich. Abbaubare Folien und Netze werden in der Pilzzucht verwendet, ebenso für die Ummantelung von Baum- und Strauchwurzeln als Verkaufware. 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 Gebrauchsphase 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.

Pharma- und Medizinanwendungen

Im medizinischen Bereich werden Biokunststoffe aus ganz anderen Gründen eingesetzt als dies bei Verpackungen oder Cateringprodukten der Fall ist. Denn hier geht es um resorbierbare Fäden oder Implantate, die sich im Körper abbauen und eine weitere Operation zur Entnahme überflüssig machen. Da hier besondere Qualitäten gefordert werden, sind die Rohstoffe auch besonders teuer: zum Teil über 1.000 Euro/kg.

Resorbierbare Biokunststoffe sind vielfältig einsetzbar: Thermoplastische Stärke stellt beispielsweise eine Alternative zur Gelatine als Kapsel- und Pillematerial dar. Polylactide und deren Copolymere 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 bestimmtem Zeitplan, in dem das Implantat vom Körper resorbiert wird. Für die notwendige Dauer der mechanischen Stütze z. B. eines Knochenbruchs



Biologisch abbaubare Windelfolie gegen den Abfallberg

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.

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 stellt man aus diesen Biofolien her, weil sie den Tragekomfort erhöhen und als Klimamembran fungieren. Ob sich Sportbekleidung aus PLA-Fasern auf dem Markt behaupten kann, wird sich zeigen. Als Spielzeug für die ganz Kleinen erfreuen

sich farbige Verpackungschips großer Beliebtheit, für Tiere gibt es Kauknochen aus Biokunststoffen.

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.

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



Auch bei Hygieneartikeln kann konventioneller Kunststoff eingespart werden



Bunte Maischips – Bastelspaß für die Kleinen

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 ist eine ideale Lösung, noch die Verbrennung, bei der zwangsläufig CO₂ freigesetzt wird. 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.

EN 13432 – 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. Sie erstellt für den Werkstoff eine Konformitätserklärung (Begutachtung über die normgerechte Ausführung) und gestattet den Herstellern das Kennzeichen für



kompostierbare Produkte zu führen. Ein Werkstoff, der das Kompostierbarkeitslogo tragen darf, baut sich innerhalb von sechs bis zwölf Wochen in der Kompostierungsanlage vollständig ab.

Die von der EN 13432 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 im Mai 2005 geänderte Verpackungsverordnung (VVO) regelt, wie mit gebrauchten Verpackungen umzugehen ist. Für zertifizierte kompostierbare Kunststoffverpackungen aus Biokunststoffen wurde eine Sonderregelung eingeführt: Diese Verpackungen sind bis zum 31. Dezember 2012 von den Pflichten laut § 6 der VVO und den DSD-Gebühren freigestellt. Die Hersteller und Vertreiber müssen aber sicherstellen, dass ein möglichst hoher Anteil der Verpackungen einer Verwertung zugeführt wird.

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.

Wer Komposte aus Bioabfall auf landwirtschaftlichen Flächen ausbringen will, muss sich an die Düngemittelverordnung halten. Sie besagt, dass im Kompost nur nachwachsende Rohstoffe enthalten sein dürfen. Materialien, die zwar biologisch abbaubar sind, aber auch fossilen Rohstoffe enthalten, dürfen daher nicht als Kompost auf Äckern landen. Auch in diesem Kontext scheint die energetische Nachnutzung die interessantere Alternative.

Potenzial und Perspektiven

Rohstoffe für Standard-Thermoplaste kosten im Jahr 2005 etwa 900 bis 1.000 Euro/ t (PE, PP) oder ab 1.500 Euro/ t (PS). 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.



Wachstumspotenzial – Folienherstellung auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen

Denn der Aufbau einer kostengünstigen Produktion in üblichen industriellen Größenordnungen steht für die meisten Biokunststoffe noch bevor. Biotechnologische Verfahren sind dabei ebenso Hoffnungsträger wie auf Stärke basierende, qualitativ hochwertige Blends. Sobald

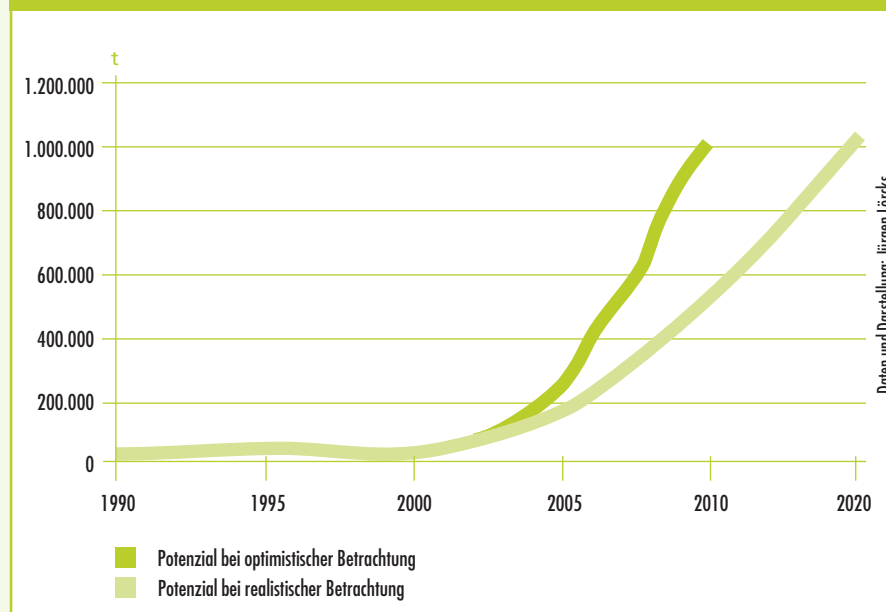
die Produktion im industriellen Maßstab abläuft, dürften die Kosten für Biokunststoffe erheblich fallen. Experten gehen davon aus, dass Stärkekunststoffe und Polylactide dann für unter zwei Euro pro Kilogramm produzierbar wären. Diese Kosten kämen denen der Standardthermoplaste bereits sehr nahe. Dabei 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 Kunststoffverpackungen, wie Folien, Tragetaschen, Beutel, Säcke, Becher oder Cateringprodukte – Produkte also, die problemlos aus Stärkekunststoffen und Polylactiden hergestellt werden könnten.

In Kunststoffverpackungen sehen die meisten Experten das größte Potenzial für Biokunststoffe. Da auf dem Kunst-

Potenzial für Biokunststoffe



stoffmarkt aber starke Wettbewerbsstrukturen herrschen, können Biokunststoffen allein mit dem derzeitigen Preis-Leistungs-Verhältnis jedoch noch nicht mithalten. Aber: Biogemüse in einer Verpackung aus Biokunststoffen zu verpacken macht nicht nur Sinn, sondern wird vom Verbraucher gewünscht. Auch moderne High-Tech-Produkte in einer innovativen Verpackung aus Biokunststoffen lassen sich erfolgreich vermarkten. Kompostierbare Folienverpackungen und Tragetaschen können zudem auch noch zum Sammeln von Bioabfällen „nachgenutzt“ werden und landen

anschließend auf dem Kompost. 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 Rohstof-

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

fen die in der obenstehenden Tabelle aufgeführten Potenziale für Europa fest.

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 Einkommensalternativen, sondern leisten uns auch in puncto Nachhaltigkeit wichtige Dienste. An uns liegt es daher, das Potenzial der Biokunststoffe zu nutzen.

Verpackungen aus modernen Biokunststoffen sind dabei der erste Schritt. Ihre breite Einführung macht allerdings erst dann Sinn, wenn die energetische Nachnutzung flächendeckend gewährleistet werden kann.

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.biowerkstoffe.info

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.maiskomitee.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		Biotechnologie	integrierte Anwendung von Natur- und Ingenieurwissenschaften mit dem Ziel, biologische Stoffumwandlungsprozesse zur Herstellung von Produkten zu verwenden	D		E	
Amorph	nichtkristallin, glasartig mit ungeordneten Kristallgittern			Dichte	Quotient aus Masse und Volumen des Kunststoffes, auch spezifisches Gewicht oder spezifische Masse genannt	Elastomere	formfeste, aber unter Kräfteinwirkung elastisch verformbare Kunststoffe, auch gummielastische, dehnbare Kunststoffe genannt
Amylopektin	verzweigtes Stärkemolekül mit sehr hohem Molekulargewicht			DIN	Deutsches Institut für Normung	Energetische Verwertung	Nutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung
Amylose	unverzweigtes Stärkemolekül mit hohem Molekulargewicht	C		DIN-CERTCO	unabhängige Zertifizierungsgesellschaft für die Prüfung der Konformität von Biokunststoffen	Enzyme	Proteine, die als biologische Katalysatoren wirken
B		Cellophanglas	klare Folie auf Cellulosebasis, auch Zellglas genannt	DIN-FNK	Fachnormenausschuss Kunststoffe im DIN	Erneuerbare Rohstoffe	nachwachsende Rohstoffe
BAW	Biologisch abbaubarer Werkstoff, Biokunststoff, Bioplastik	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	Erneuerbare Energien	Solar-, Wind-, Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie
Biokunststoff	aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellter Kunststoff	CEN	Comité Européen de Normalisation	DIN EN 13432	Europäische Norm zur Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen	Ethylen	farb- und geruchloses Gas, aus Naphtha (Erdöl) durch Cracken hergestellt, Monomer des Polymers PE
Blend	Kunststoffmischung, Polymerlegierung aus mindestens zwei mikroskopisch dispergierten und molekular fein verteilten Basispolymeren	Compound	Kunststoffmischung aus mehreren Rohstoffen und/oder Additiven	Dispergieren	das feine Verteilen von nicht mischbaren Flüssigkeitstropfen zu einer homogenen, stabilen Mischung	Extrusion	Bezeichnung für das Mischen, Aufschmelzen, Reagieren, Homogenisieren und Ausformen von Kunststoffen
Blister	Verpackung aus einer planen Unterlage (Karton) mit einer formstabilen, transparenten Folie als Abdeckung	Copolymer	Kunststoff aus unterschiedlichen Monomeren	Duroplaste	ausgehärtete Kunststoffe, die durch Wärmeeinwirkung nicht oder kaum erweichen	F	
						Fermentation	biochemische Reaktionen, die durch Mikroorganismen gesteuert werden

G							
Gelatine	Kollageneiweiss aus Rinderknochen	Kompostierbar	zersetzt sich innerhalb eines Kompostzyklus	Nachwachsende Rohstoffe	landwirtschaftliche Rohstoffe, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel genutzt werden, sondern als Rohstoff für industrielle Produkte oder zum Erzeugen von Energie	Polymerisat Polymer	Kunststoff, der durch Polymerisation von Monomeren gewonnen wird
Glucose	Monomer der Stärke, auch Stärkezucker genannt	Kompostzyklus	Zeitraum, in dem eine Kompostanlage beschickt wird, meist 6 bis 12 Wochen			Polymerisation	chemische Reaktion zum Aufbau von sehr grossen Molekülen aus Monomeren zu Polymeren
Granulat	Handelsform der Kunststoffrohstoffe	Kristallin	Kunststoff mit regelmässig angeordneten Molekülen in einer Gitterstruktur	P			
H				Patent	geschützte Erfindung für ein Produkt, ein Verfahren zu seiner Herstellung und Verwendung	Polymerlegierung	molekular fein verteilte Kunststoffmischung aus zwei oder mehr Basispolymeren
Halbzeug	Kunststoff in Form von Rundstäben, Platten, Folien zur Weiterverarbeitung	Kunststoffe	Werkstoffe mit grossen Molekülketten aus natürlichen oder fossilen Rohstoffen, hergestellt durch chemische oder biochemische Reaktionen	PCL	Polycaprolacton, ein synthetischer abbaubarer Biokunststoff, Blendkomponente	PP	Polypropylen, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Propylen
Hydrophil	Eigenschaft: wasserfreundlich, ein Kunststoff, der nicht wasser- und wetterfest ist			PE	Polyethylen, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Ethylen	Protein	Sammelbezeichnung für Eiweisskörper, aus Aminosäuren zusammengesetzte, polymere Makromoleküle
Hydrophob	Eigenschaft: wasserfest, ein Kunststoff, der wasser- und wetterfest ist	M		PET	Polyethylenterephthalat, „unkaputtbarer“ Leichtkunststoff	PS	Polystyrol, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Styrol
I		Molekül	chemische Verbindung	PHB	Bezeichnung für den Biokunststoff Polyhydroxybuttersäure	PVC	Polyvinylchlorid, thermoplastischer Kunststoff aus polymerisiertem Vinylchlorid
Integral-schaum	geschäumter Formkörper mit geschlossener Oberfläche und porösem Inneren	Monomere	kleine Moleküle, die durch Polymerisation zu Molekülketten verbunden werden und dann Kunststoffe bilden	PLA	Poly lactid, ein Biokunststoff aus polymerisierter Milchsäure	R	
ISO	International Organization for Standardization	Mulchfolie	Folie zur Bodenabdeckung landwirtschaftlich genutzter Flächen			Regenerative Rohstoffe	natürlich erneuerbare und nachwachsende Rohstoffe
K		N					
Kalandrieren	Auswalzen von Kunststoffen zu Flachfolien	Nachhaltige Entwicklung	umweltgerechtes Wirtschaften unter Erhalt von Optionen für zukünftige Generationen				
Katalysator	ermöglicht und beschleunigt chemische Reaktionen						

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 Kunststoffverarbeitungsverfahren 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 6 Rohölpreis in US-\$/Barrel, Quelle der Daten: <http://www.castelligasse.at/Politik/Energie/energiepolitik.htm>

Seite 8 Patentaktivitäten, Quelle der Daten: Recherchen J. Lörcks, Graphik: J. Lörcks

Seite 11 Entwicklung und Prognose des Kunststoffverbrauchs, Quelle der Daten: VKE (Verband Kunststoffherstellende Industrie e. V.), Graphik: J. Lörcks

Seite 13: Prinzipskizze der Einzugszone eines Extruders, Quelle: Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, Kronach

Seite 19 Kompostierbarkeitskennzeichen, Quelle: IBAW

Seite 22 Schematischer Aufbau eines Spritzgussautomaten, Quelle: Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, Kronach

Seite 26 Marktentwicklung d. Kunststoffverpackungen, Quelle der Daten: IK (Industrieverband Kunststoffverpackungen e. V.), Graphik: J. Lörcks

Seite 35: Potenzial für Biokunststoffe, Quelle der Daten: J. Lörcks

Seite 36: Potenzial für Biokunststoffe in Europa, Quelle der Daten: COPA und COGECA, 2001