



Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe - zukunftsweisende Polymerwerkstoffe?

Jahrestagung von GKV/TecPart,
Hannover, 28.-29. September 2017

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

Head of the Institute for Bioplastics and Biocomposites (IfBB)
Head of the Fraunhofer Application Center for Wood Fiber Research (HOFZET)



Hans-Josef Endres



IfBB
Institute for Bioplastics
and Biocomposites

Studium: Maschinenbau (Ruhr-Universität Bochum)
mit Vertiefungsrichtung Werkstofftechnik

Berufliche Erfahrungen:

- Ca. 10 Jahre Industrietätigkeit, zuletzt Bereichsleiter (ca. 200 Mitarbeiter) bei Thyssen-Krupp
- Berufsbegleitende Promotion (Dr.-Ing.)
- Seit 1999 Professur an der Hochschule Hannover
- Seit 2012 Leiter eines Fraunhofer Anwendungszentrums des WKI
- Seit 2016 kooptiert an der TU BS
- Biokunststoff- und Verbundwerkstoffforschung seit 25 Jahren
- Niedersächsischer Wissenschaftspreis in 2012
- Erhalt einer Forschungsprofessur in 2013
- B.A.U.M. Umweltpreis Kategorie Wissenschaft 2015
- Gründung/Aufbau
 - Hochschulinstituts IfBB (ca. 30 MitarbeiterInnen)
 - Fraunhofer Anwendungszentrum für Compositenforschung (derzeit 15 MitarbeiterInnen)

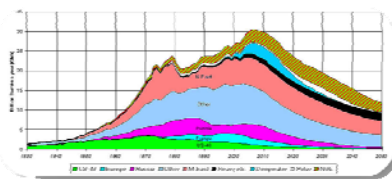


Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe als zukunftsweisende Polymerwerkstoffe

AGENDA

- Vorstellung
- **Motivation**
- Wording Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe
- Marktsituation
- Aktuelle Forschung
- Zukunftsperspektiven

Future of petro-based plastics



Consumption of crude oil 5.000.000 x higher than its rate of regeneration
→ challenge only to convert energy;
the increasing quantity requirements for plastics will become a feedstock problem!



Growth of population
(Expectation: per head plastic consumption in India and China as high as in Europe)
→ Worldwide production of plastics has to be doubled!



Issue for the environment:
critical exploitation of oil with increasing ecological impacts and littering through plastics

Plastics as essential materials

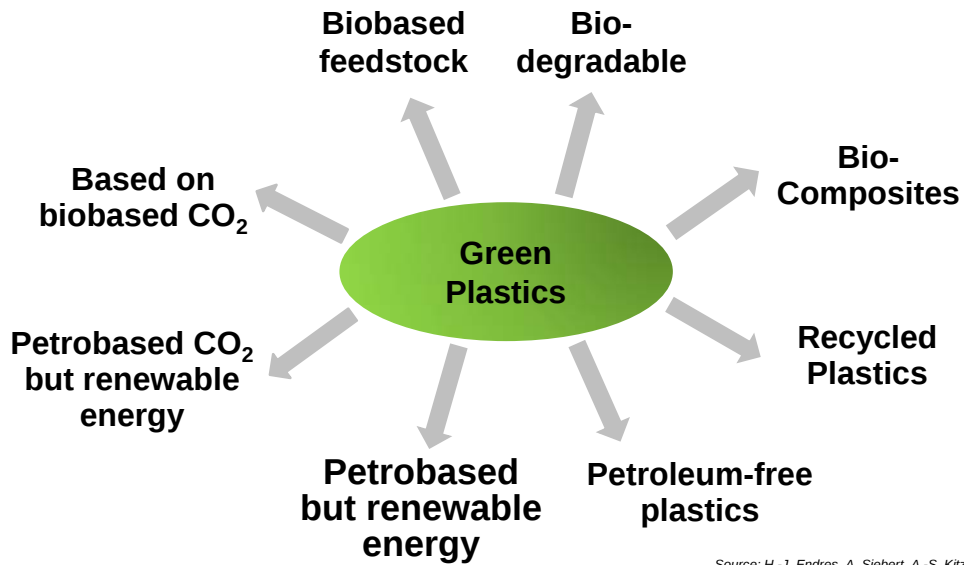


Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe als zukunftsweisende Polymerwerkstoffe

AGENDA

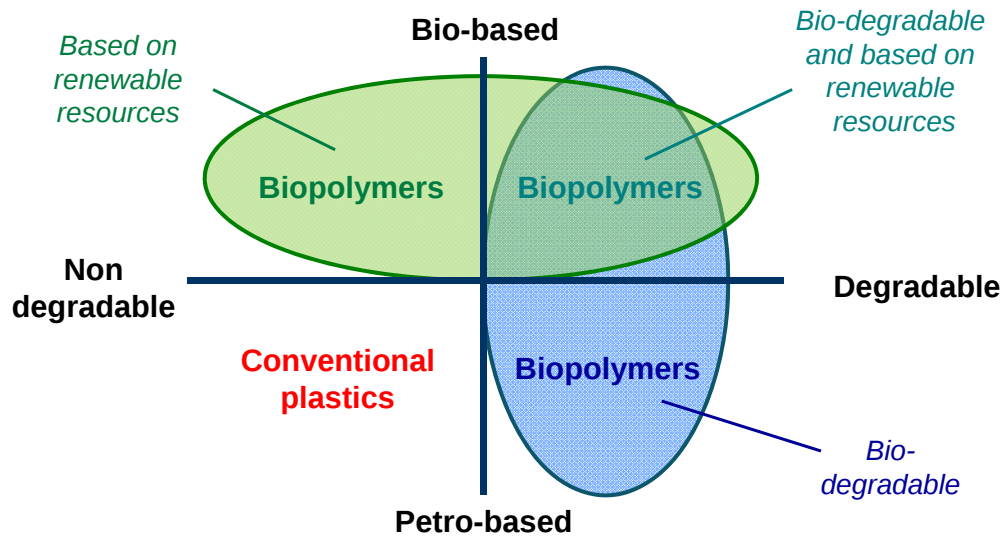
- Vorstellung
- Motivation
- **Wording Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe**
- Marktsituation
- Aktuelle Forschung
- Zukunftsperspektiven

Green Plastics = Bioplastics?



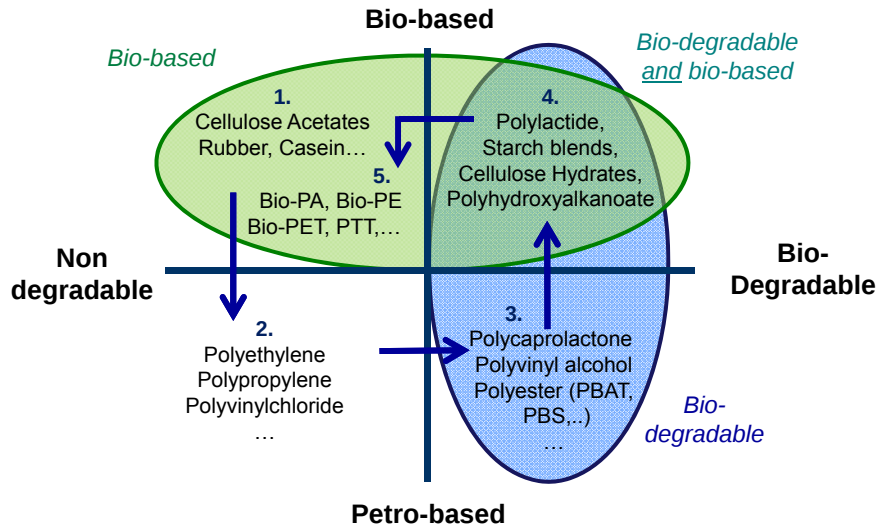
Source: H.-J. Endres, A. Siebert, A.-S. Kitzler
Biopolymers – a discussion on end of life options
Bioplastics Magazine 01/08

What are Biopolymers?



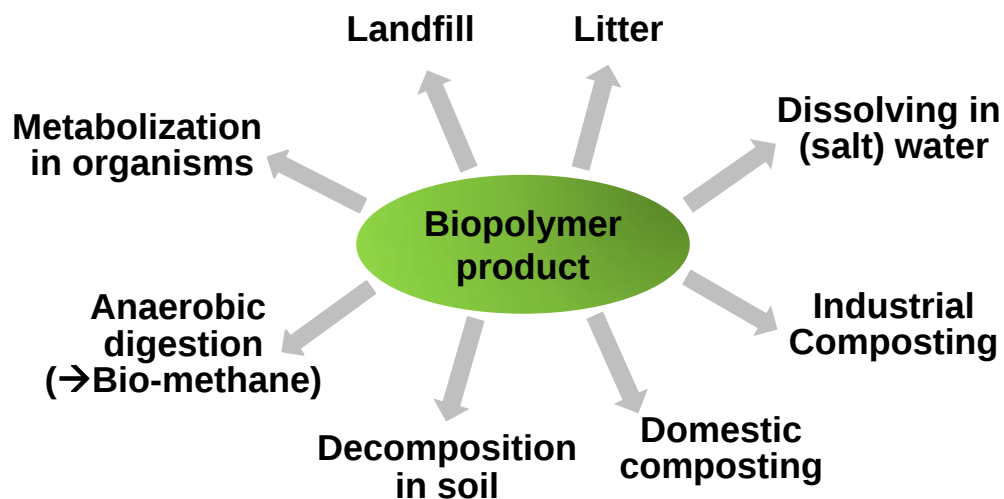
Source: H.-J. Endres, A. Siebert-Raths;
Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011

Historical Development of Biopolymers



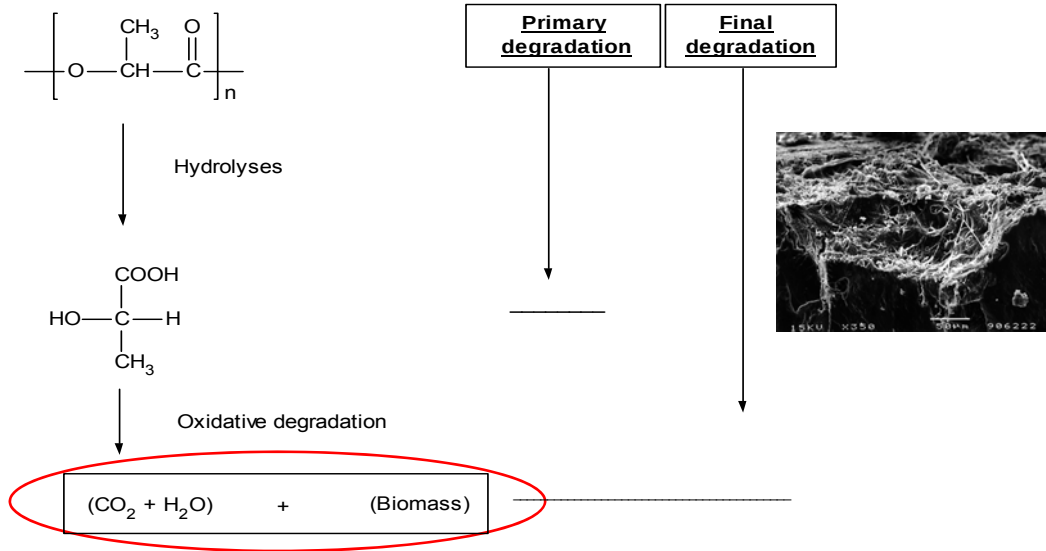
Source: H.-J. Endres, A. Siebert-Raths;
Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011

Degradation Scenarios



Source: H.-J. Endres, A. Siebert, A.-S. Kitzler
Biopolymers – a discussion on end of life options
Bioplastics Magazine 01/08

Biodegradability



Quelle: H.-J. Endres, A. Siebert-Raths;
Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011

Wichtige Labels zur Abbau-/Kompostierbarkeit



Biodegradable Products Institute (BPI, USA); ASTM D 6400



Jätelaitosyhdistys (Finland); DIN EN 13432



AIB Vinçotte, Belgium; DIN EN 13432



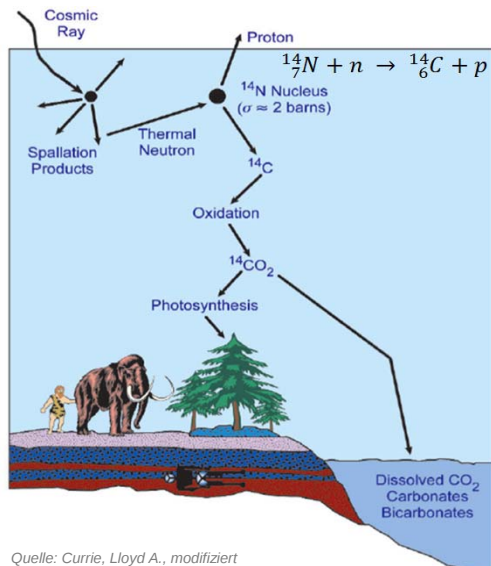
Japan BioPlastics Association (JBPA; Japan)



DIN CERTCO, Germany

Quelle: H.-J. Endres, A. Siebert-Raths;
Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011

What is „biobased“



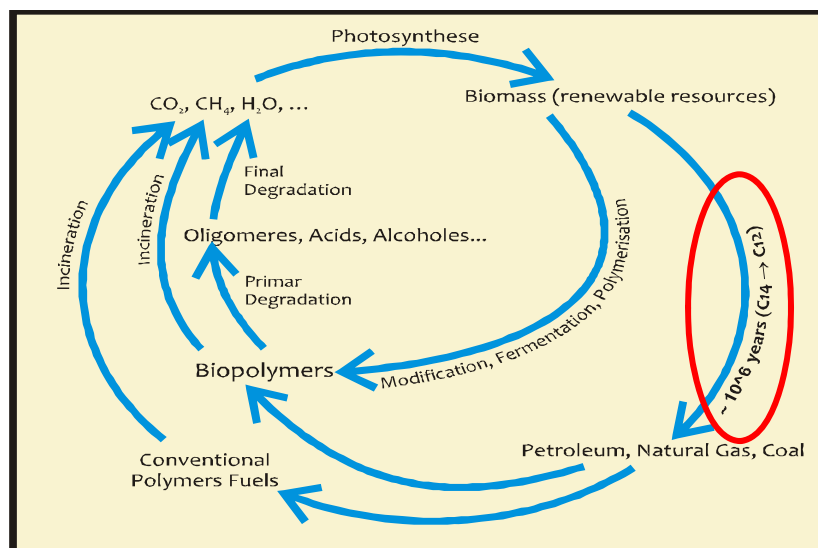
Quelle: Currie, Lloyd A., modifiziert

Hochschule Hannover IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites - www.ifbb-hannover.de

Isotope	^{12}C	^{13}C	^{14}C
Amount	98,9 %	1,1%	10^{-12} %

- Carbon exists in form of 3 different isotopes: ^{12}C , ^{13}C (stable) and ^{14}C (radioactive)
- Half-Life time of ^{14}C „only“ 5730 years
- Due to a continuous regeneration of ^{14}C in atmosphere the ^{14}C quota is nearly constant
- Photosynthesis
→ similar relationship of C-isotopes in plants
- Bio-based Polymers → similar relationship of C-isotopes in biopolymers
- Petrochemical raw materials and plastics contain no „young“ ^{14}C , they consist out of „old“ ^{12}C

What is „biobased“



Quelle: H.-J. Endres, A. Siebert-Raths;
Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011

Hochschule Hannover IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites - www.ifbb-hannover.de

Zertifizierung des biobasierten Kohlenstoffanteils (C14 Messungen, ASTM 6866)

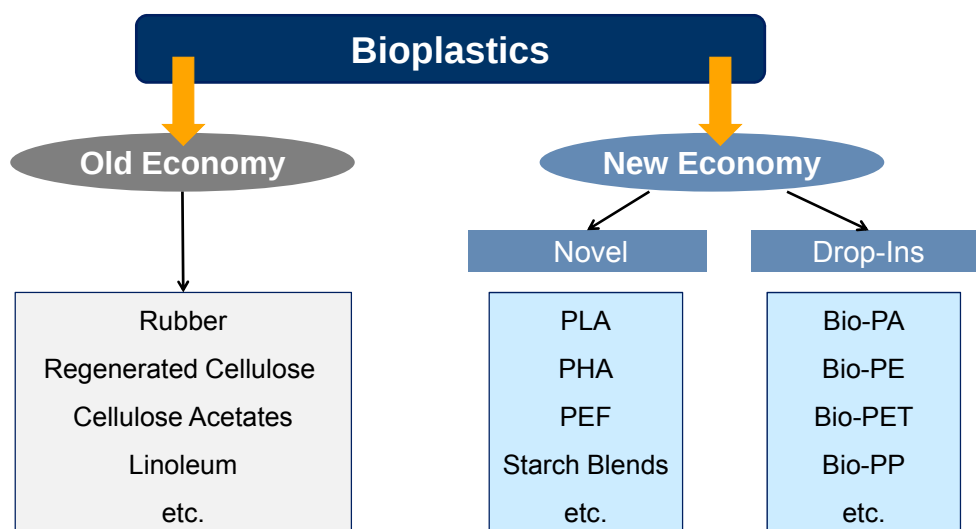


DIN CERTCO



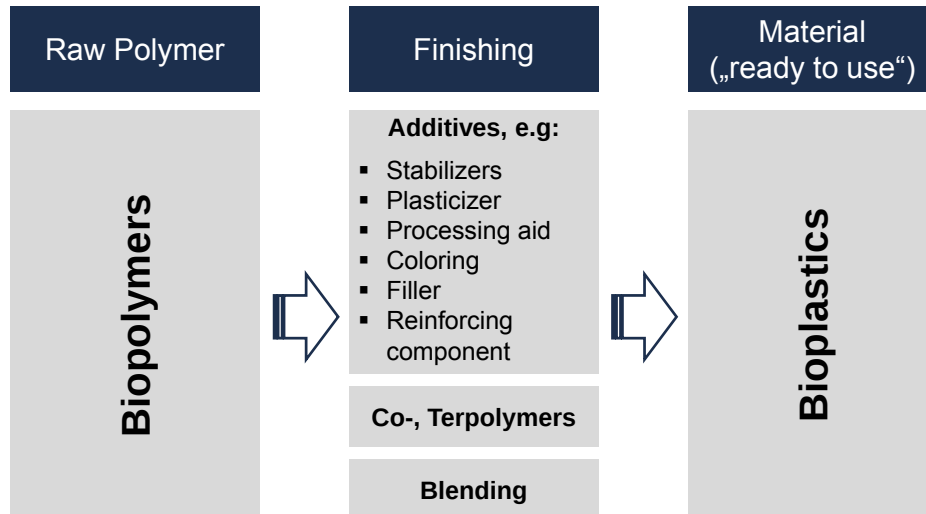
Vincotte

Old and New Economy Bioplastics



Quelle: H.-J. Endres, A. Siebert-Raths;
Technische Biokunststoffe, 2-te Auflage, Carl Hanser-Verlag, 2018

From Biopolymers to Bioplastics



Source: H.-J. Endres, A. Siebert-Raths;
Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2nd edition, unpublished

Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe als zukunftsweisende Polymerwerkstoffe

AGENDA

- Vorstellung
- Motivation
- Wording Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe
- Marktsituation
- Aktuelle Forschung
- Zukunftsperspektiven

The Biopolymer Market

PRODUCTION CAPACITY [t/a]

Total biopolymer production capacity:
~1.6 mt/a

> 1,000

> 10,000

> 100,000

> 1 mil.

PRICES [€/kg] ≤ 16

5.00 - 10+

2.50 - 5.00

≤ 2.50

CA = cellulose acetate
PE = bio polyethylene
PHA = polyhydroxyalkanoates
DSB = durable starch blends

*other biodegradable polyesters
(PBAT, PBS)

Durable

Biodegradable

biobased

petrobased

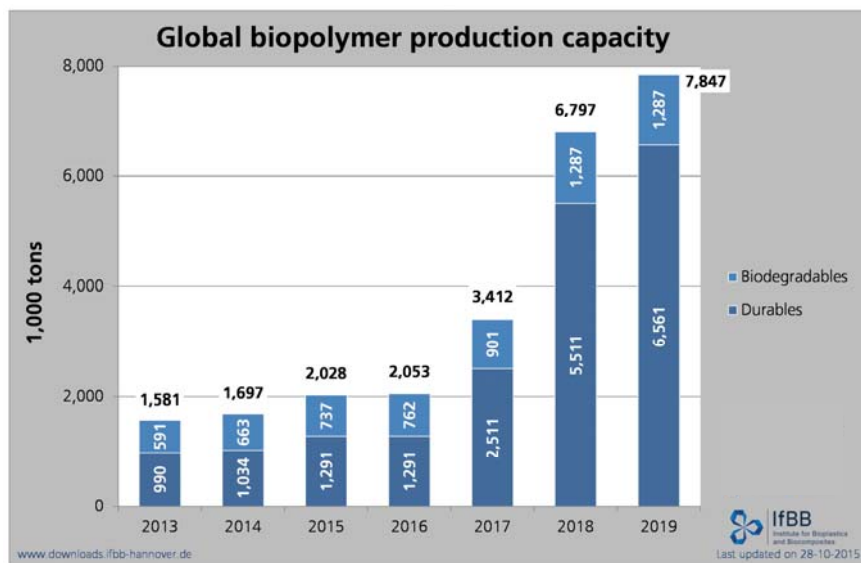
Market Volume: ~ 5.8 bn €

PA = bio polyamide
PET = bio polyethylene terephthalate
PLA = polylactide
PUR = bio polyurethane
TPE = bio thermoplastic elastomer
TSC = thermoplastic starch composites

www.downloads.ifbb-hannover.de

Hochschule Hannover IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites - www.ifbb-hannover.de

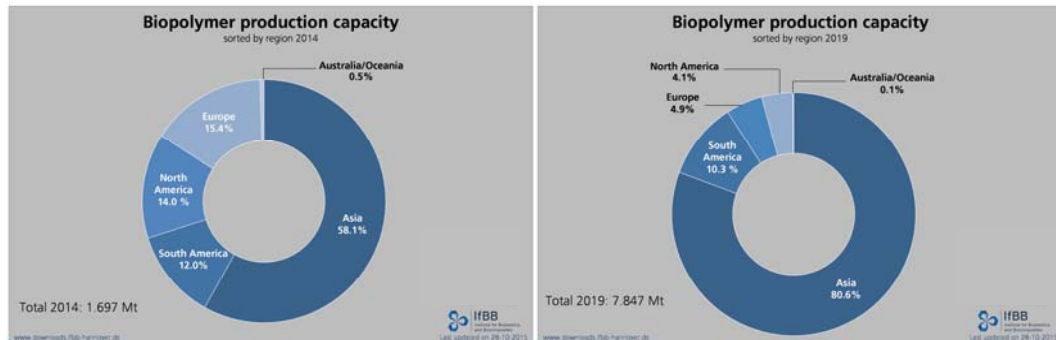
“New Economy” Bioplastics - Strong market growth



Source: www.downloads.ifbb-hannover.de

Hochschule Hannover IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites - www.ifbb-hannover.de

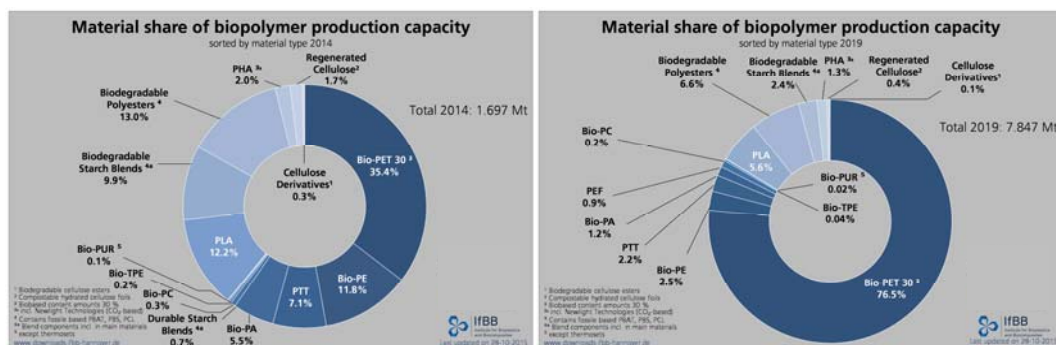
“New Economy” Bioplastics - Production capacities



→ Europe's share of the global bioplastics production capacity is shrinking!

Source: www.downloads.ifbb-hannover.de

“New Economy” Bioplastics - Share of material types

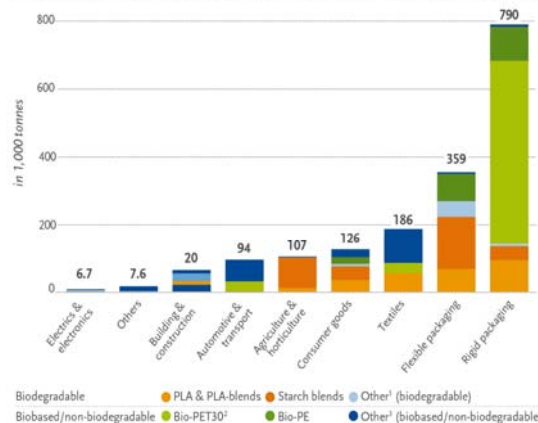


→ Drop-Ins show the strongest market growth!

Source: www.downloads.ifbb-hannover.de

“New Economy” Bioplastics - Applications

Global production capacities of bioplastics 2014 (by market segment)

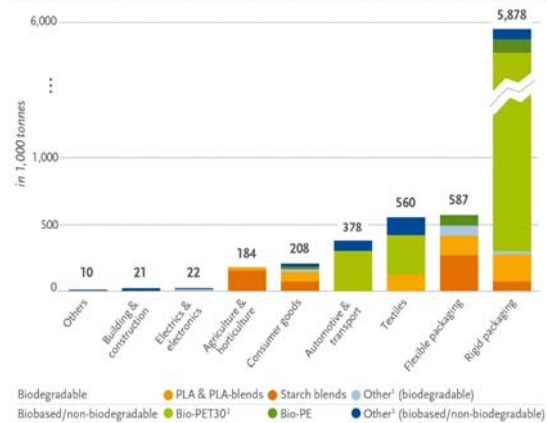


Biodegradable: PLA & PLA-blends, Starch blends, Other¹ (biodegradable)
Biobased/non-biodegradable: Bio-PET30², Bio-PE, Other¹ (biobased/non-biodegradable)

¹Contains regenerated cellulose and biodegradable cellulose ester; ²Biobased content amounts to 30%; ³Contains durable starch blends, Bio-PC, Bio-TPE, Bio-PUR (except thermosets), Bio-PA, PTT

Source: European Bioplastics, Institute for Bioplastics and Biocomposites, nova-Institute (2015).
More information: www.bio-based.eu/markets and www.downloads.ifbb-hannover.de

Global production capacities of bioplastics 2019 (by market segment)



Biodegradable: PLA & PLA-blends, Starch blends, Other¹ (biodegradable)
Biobased/non-biodegradable: Bio-PET30², Bio-PE, Other¹ (biobased/non-biodegradable)

¹Contains regenerated cellulose and biodegradable cellulose ester; ²Biobased content amounts to 30%; ³Contains durable starch blends, Bio-PC, Bio-TPE, Bio-PUR (except thermosets), Bio-PA, PTT

Source: European Bioplastics, Institute for Bioplastics and Biocomposites, nova-Institute (2015).
More information: www.bio-based.eu/markets and www.downloads.ifbb-hannover.de

→ Packages remain the most important application of bioplastics!

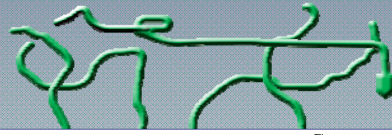
Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe als zukunftsweisende Polymerwerkstoffe

AGENDA

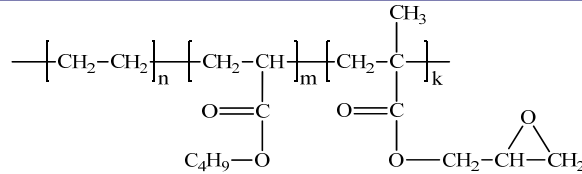
- Vorstellung
- Motivation
- Wording Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe
- Marktsituation
- Aktuelle Forschung
- Zukunftsperspektiven

Incompatibility of Polyolefins and PLA

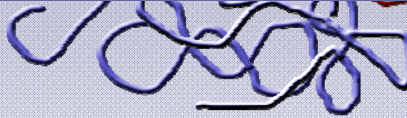
PLA
polar, biobased polymer



PVM
terpolymer consisting of:
- Ethylene
- n-Butylacrylate
- Glycidyl Methacrylate



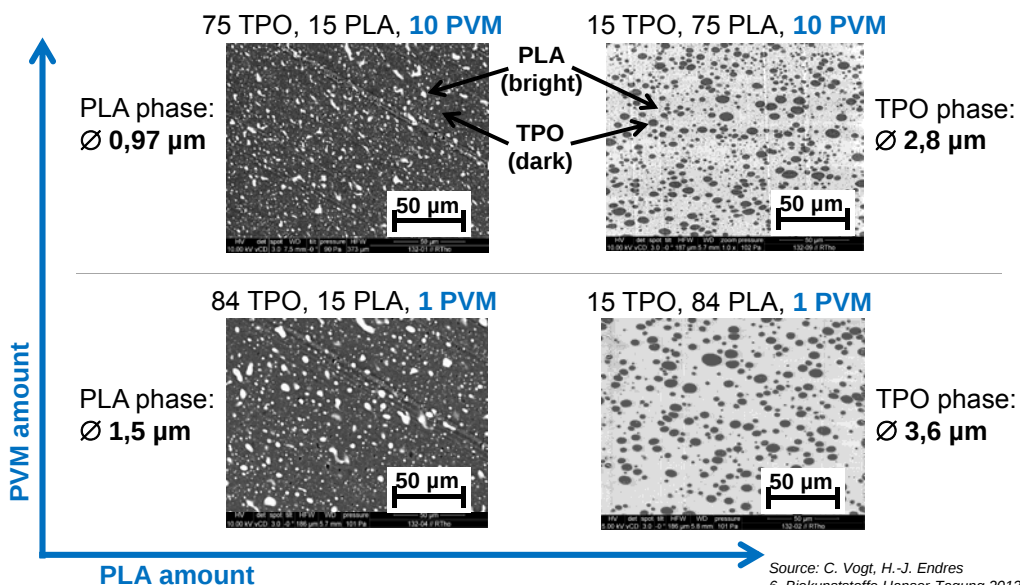
TPO
non-reactive polyolefin



- PVM is not well mixable with PLA and TPO on a molecular level
- PVM accumulates at the phase boundary
- Covalent ester-/ether linkage with carboxyl/hydroxyl groups of PLA through reactive epoxy group
- Hydrogen bonding between PLA and acrylate group
- Non polar molecule residue of PVM compatible to the TPO

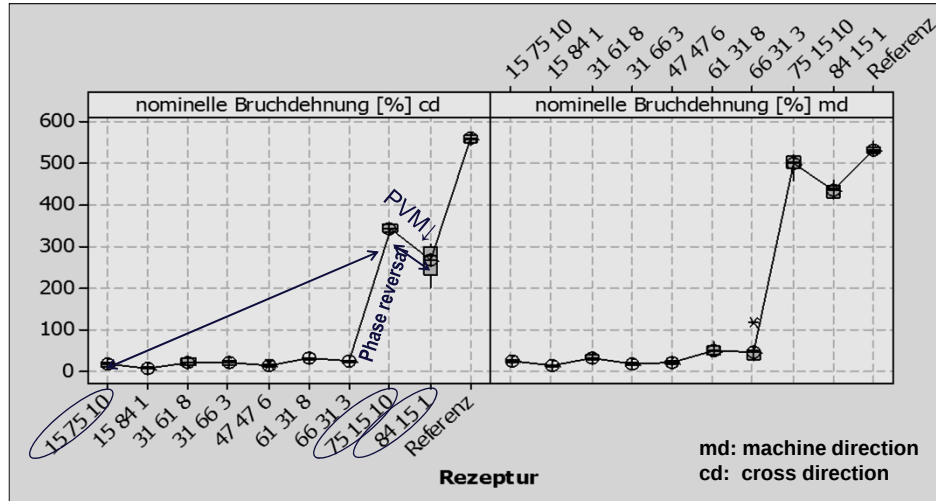
Source: C. Vogt, H.-J. Endres;
Green Polymer Chemistry, Cologne 2013

Heterogeneous Two-Phase Blend – Phase Mixture as Function of PLA and PVM Content



Source: C. Vogt, H.-J. Endres
6. Biokunststoffe Hanse-Tagung 2013

Elongation at Break (Target Value) in dependence from the Formulation of PLA/TPO Blends



Sample Conditioning: 24h / 23° C / 50% r.H. / n=8
Tensile test: DIN EN ISO 527-3, Tear strength: DIN ISO 34-1

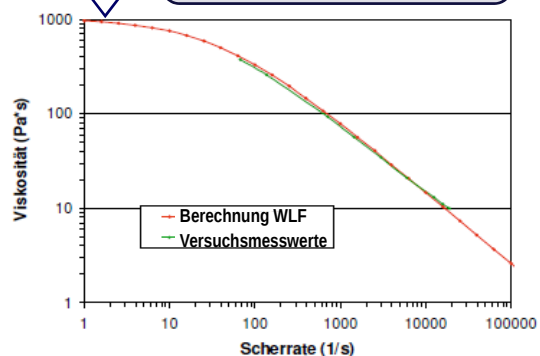
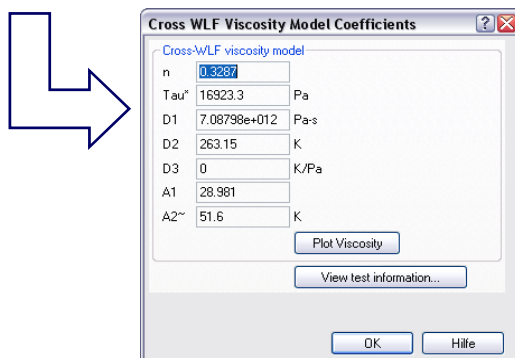
Source: C. Vogt, H.-J. Endres
6. Biokunststoffe Hanser-Tagung 2013

Ermittlung von Viskositätsdaten zur Simulation

1. Ermittlung und Auswertung gemessener Viskositätsdaten

2. Implementierung ermittelter Daten in die Werkstoffdatenkarte

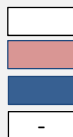
3. Theoretische Beschreibung der Fließeigenschaften des PP-Naturfasercompounds



Quelle: Dissertation Peter Helmke, 2012

Informationsstand zur Verarbeitung von Biokunststoffen

	Cell.- Reg.	Cell.- Deriv.	PLA	PLA- Blends	Stärke- Blends	PHAs	Bio- P.ester	Bio- PET	Bio- PE	Bio- PA		WPCs NFKs
Extrusion	-							„Drop-in Lösungen“				
Blasfolienherstellung	-		-									
Flachfolienherstellung	-											
Gießfolienherstellung												
Extrusionsblasen	-		-									
Tiefziehen	-											
Spritzgießen	-											
Streckblasen	-											
Faserherstellung												
Schäumen												
Vernetzen												
Kleben												
Schweißen												
Siegeln												
mechanische Bearb.												
Bedrucken												



Keine Informationen zur Verarbeitung vorhanden

Wenige Informationen zur Verarbeitung vorhanden

Industrielle Verarbeitung mit entsprechendem Informationsstand

nicht realisierbar

Verbundprojekt "Verarbeitung von Biokunststoffen"



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektschwerpunkt I Datenermittlung

- Spritzguss
- Compoundierung
- Schäumen
- Vernetzen
- Einfärben
- Extrusionsblasformen
- Flachfolien- und Plattenherstellung
- Tiefziehbarkeit
- Blasfolienherstellung
- Faserherstellung
- Haftungsverhalten
- Verbindungstechnik
- Mech. Bearbeiten, Bedrucken,...
- Rohr-, Profil- und Coextrusion
- Faserverstärkung
- Spritzstreckblasen
- Fließpressen
- Sonstiges

Verbundprojekt "Verarbeitung von Biokunststoffen"



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ergebnisaufbereitung - Extrusionsblasformen -

Ermittlung des Schlauchdurchmessers (Schmelze)
zur Bewertung der Blasformtauglichkeit:

- Fotografische Erfassung der Vorformlingskontur aus zwei Richtungen
- Messung des Durchmessers in jeweils 10 verschiedenen Höhen
- Optische Auswertung
- Mittels Bildanalysesoftware „ImageJ“
- Kalibrierung durch Vergleich mit Referenzaufnahmen
- FBF „Faktor-Blasform-Fähigkeit“ (1 = optimal)
- $D_{\text{Düse}} / D_{\text{Schlauch min.}}$

Quelle: Dr. Reinold Hagen Stiftung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Verbundprojekt "Verarbeitung von Biokunststoffen"



Ergebnisaufbereitung - Extrusionsblasformen -

Versuchsbewertung:

Gut Blasformgeeignet

Bedingt Blasformgeeignet

Nicht Blasformgeeignet

FKuR Biograde C 9550	
Temperaturprofil:	
Einzugszone:	145 °C
Zone 1:	215 °C
Zone 2:	210 °C
Zone 3:	205 °C
Flansch:	200 °C
Umlenkung:	200 °C
Kopf:	200 °C
Motorstromaufnahme:	35 A
Massedruck:	70 bar
Masstemperatur:	212 °C
Düsenspalt:	1,0 mm
FBF = 0,93	Gut Blasformgeeignet

BASF ECOVIO F Blend C2224	
Temperaturprofil:	
Einzugszone:	140 °C
Zone 1:	190 °C
Zone 2:	185 °C
Zone 3:	180 °C
Flansch:	180 °C
Umlenkung:	180 °C
Kopf:	180 °C
Motorstromaufnahme:	35 A
Massedruck:	68 bar
Masstemperatur:	192 °C
Düsenspalt:	1,0 mm
FBF = 0,57	Gut Blasformgeeignet

In Zusammenarbeit mit der Dr. Reinold Hagen Stiftung

Verbundprojekt "Verarbeitung von Biokunststoffen"

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ergebnisaufbereitung - Extrusionsblasformen -

Versuchsbewertung:

Gut Blasformgeeignet

Bedingt Blasformgeeignet

Nicht Blasformgeeignet

Novamont Mater BI D101A	
Temperaturprofil:	
Einzugszone:	140 °C
Zone 1:	165 °C
Zone 2:	170 °C
Zone 3:	175 °C
Flansch:	175 °C
Umlenkung:	175 °C
Kopf:	175 °C
Motorstromaufnahme:	30 A
Massedruck:	31 bar
Massestemperatur:	178 °C
Düsenapertur:	1,0 mm
FBF = 0,22	Bedingt Blasformgeeignet

DSM EcoPaXX Q170E	
Temperaturprofil:	
Einzugszone:	200 °C
Zone 1:	270 °C
Zone 2:	260 °C
Zone 3:	255 °C
Flansch:	250 °C
Umlenkung:	250 °C
Kopf:	250 °C
FBF = x	Nicht Blasformgeeignet

In Zusammenarbeit mit der Dr. Reinold Hagen Stiftung

Gefördert durch:

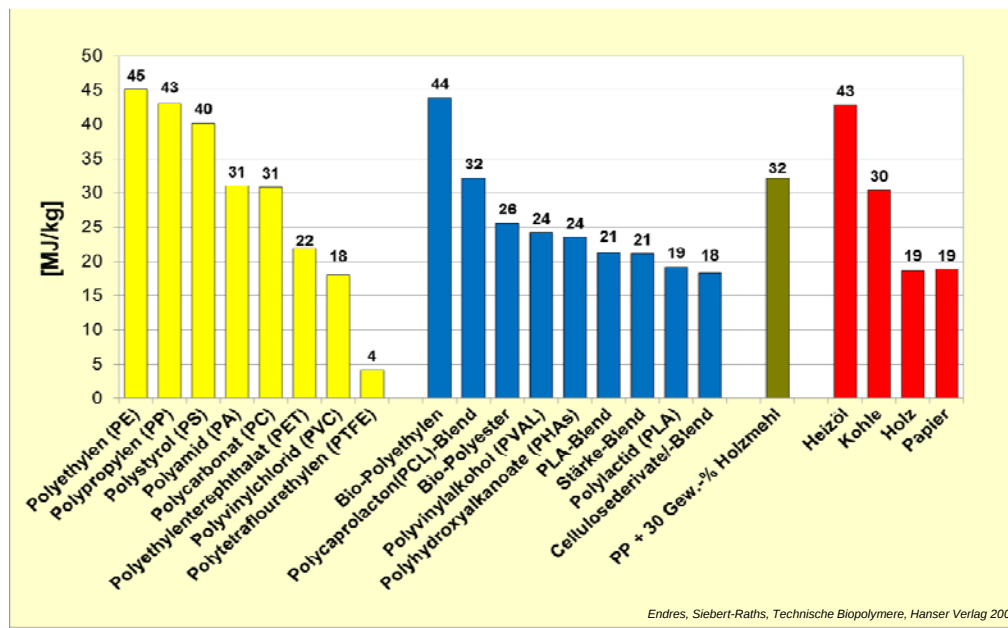


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Verbundprojekt "Verarbeitung von Biokunststoffen"

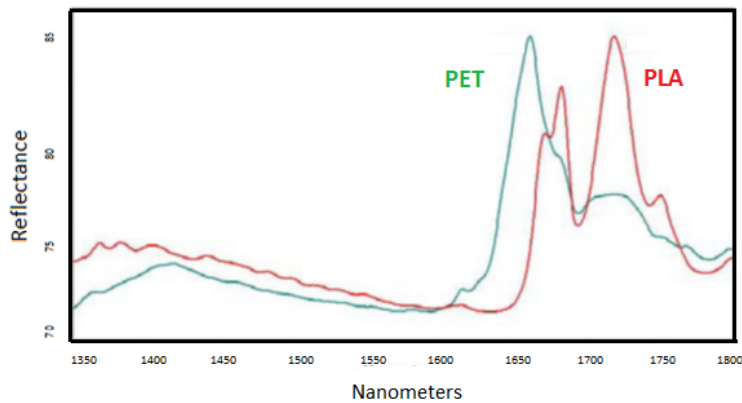


Verbrennung von Biopolymeren



Endres, Siebert-Raths, Technische Biopolymere, Hanser Verlag 2009

NIR Spektren von PET und PLA Becher



Quelle: IfBB

Polylactid – PLA

PLA – Joghurt Becher



Stanzabfall



- Kunststoffsortenrein Abfall
- Klebstoffreste
- Papierreste

Verbundprojekt
„Nachhaltige
Verwertungsstrategien für Produkte
und Abfälle aus biobasierten
Kunststoffen“

Gefördert durch:



ausgeführt im Rahmen des Bundesprogramms
„Klimaschutz und Ressourceneffizienz“

PLA – Regranulat



- leicht grünliche Farbe

End of Life

- Biokunststoffe als Marine Litter Waste

Primäre Maßnahmen

- Abfallvermeidung (Veränderung von Konsum- und Produktionsmuster unserer Gesellschaft)
- Optimierte Abfallbehandlung (Abfallmanagement, Awareness)

Sekundäre Maßnahmen

- Entfernen der Abfälle (stoffliche oder energetische Verwertung)
- **Einsatz von ungefährlichen und abbaubaren Materialien an den Stellen, an denen es zwangsläufig zum Kunststoffeintrag kommt**

Biodegradable plastics as part of a solution to the Marine Litter problem

- Biodegradable plastics are not the general solution to the Marine Litter Problem
- But biodegradable plastics can contribute a part of the solution
- Possible applications:



Foamed Fishing Boxes

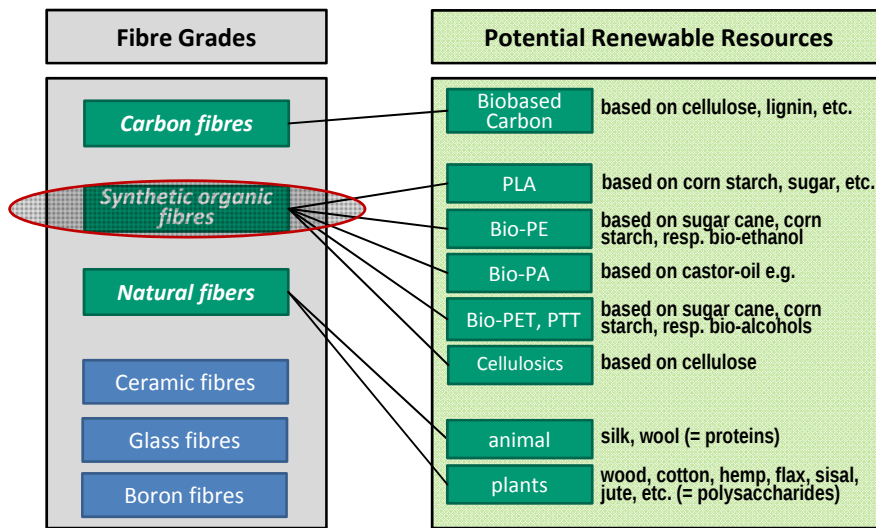


Scrub Particles



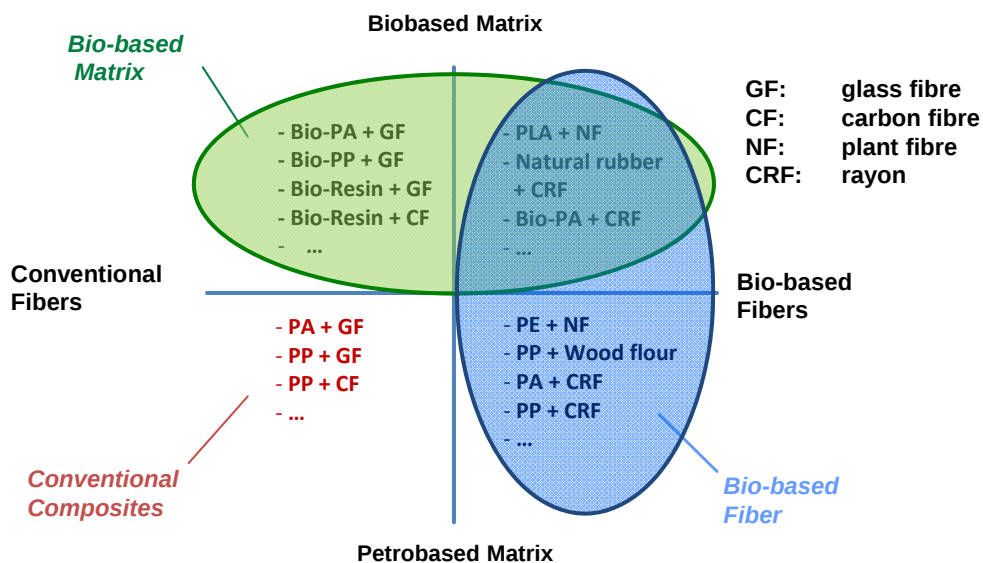
Lobster Traps

Biobased Fibres



Source: H.-J. Endres, T. Koplin, C. Habermann,
Technology and Nature Combined, Kunststoffe International, 2012

Development of Biocomposites



Source: H.-J. Endres, T. Koplin, C. Habermann,
Technology and Nature Combined, Kunststoffe International, 2012

Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe als zukunftsweisende Polymerwerkstoffe

AGENDA

- Vorstellung
- Motivation
- Wording Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe
- Marktsituation
- Aktuelle Forschung
- Zukunftsperspektiven

Falsches Risikomanagement, Risikokommunikation und Risikobewertung

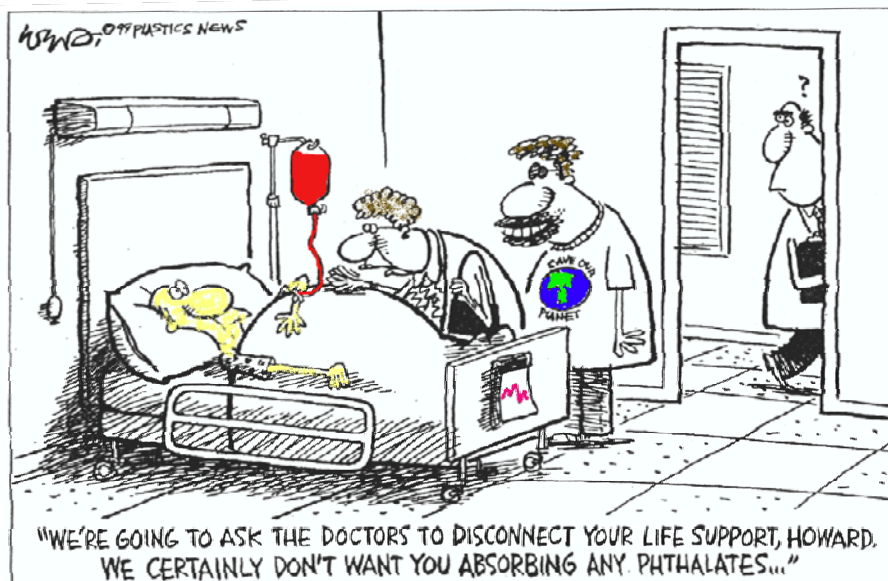


Ökobilanzierung Biokunststoffe (Cradle to grave)

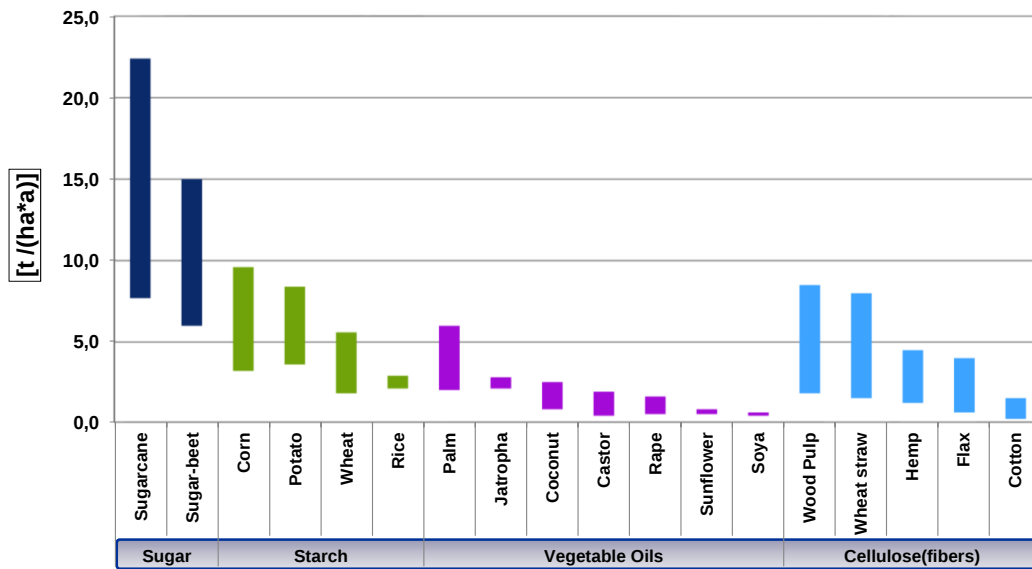
Impact category	↔	Reason on the part of Biopolymers
Global Warming Potential	➡	CO ₂ -uptake
Energy demand	➡	Often in correlation with GWP
Abiotic Depletion Potential	➡	Bio-based
Humantox	➡	Tendency advantage due to savings in fossil energy less combustion processes
Ecotox	➡➡	No tendency, very specific, savings in conventional substance releases vs. sub. from pesticides (field technique)
Photosmog Potential	➡➡	No tendency, very specific, savings in use of conv. energy processes and substances vs. harvesting proc. (burning)
Acidification Potential	➡	Tendency disadvantage, if agrarian products are used (fertilizers) and especially with harvest burnings
Eutrophication Potential	➡	Tendency disadvantage, if agrarian products are used (fertilizers) and especially with harvest burnings
Land use	➡	Agricultural land for biomass production needed
Water use	➡	Additionally to process water, also cultivation water needed

Source: IfBB / PE INTERNATIONAL 2014

Falsche Risikobewertung

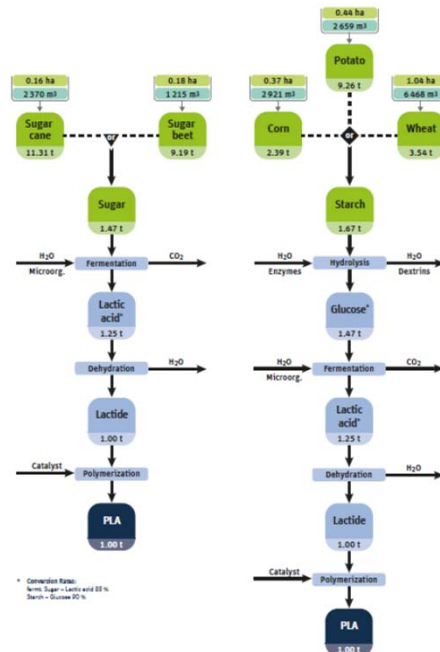


Yields of renewable raw materials



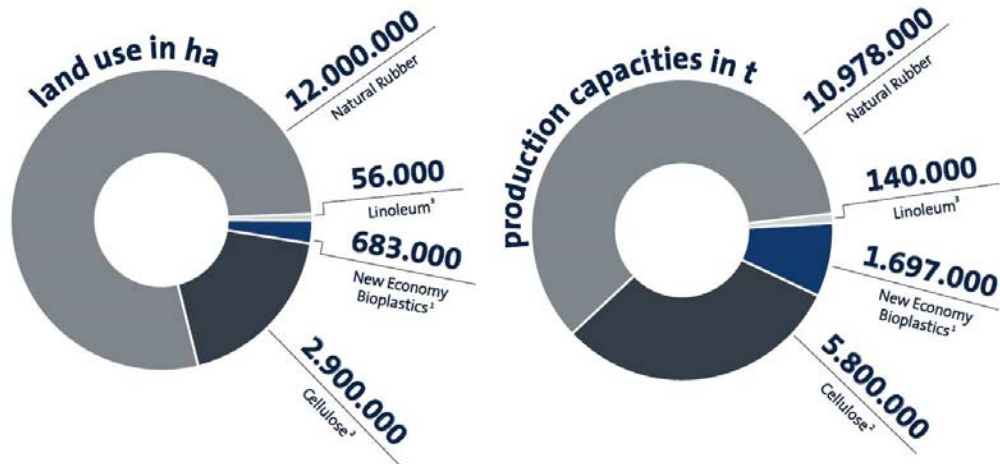
Source: Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths; Engineering Biopolymers, Carl Hanser-Verlag, 2011

Processing Routes for Feedstock Calculation



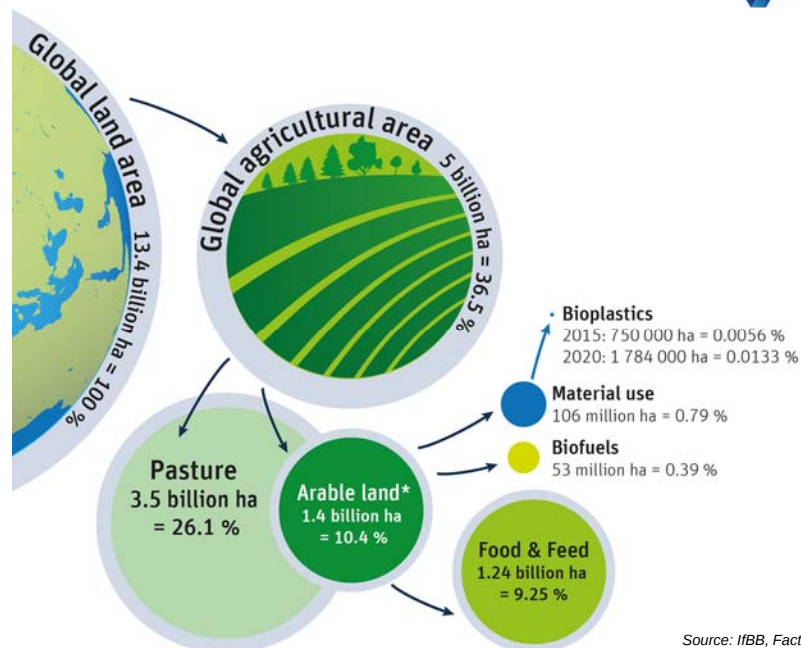
Source: IfBB, www.downloads.ifbb-hannover.de

Old and New Economy Bioplastics (2014)



Source: IfBB, Facts and statistics, 2016

Land Use of New Economy Bioplastics



Source: IfBB, Facts and statistics, 2016

Land Use of New Economy Bioplastics

	Annual plastics production in 2017 [10 ⁶ t]	Annual bioplastics production in 2018 (projection) [10 ⁶ t]	Land use for bioplastics production in 2018 (projection) [km ²]	Arable land [km ²]
World	350	6.7	13.000	14 million
EU	75	0.5	1.000	1.1 million
Germany	25	0.15	300	0.12 million
Lake Constance				540

Land use for
**annual
bioplastics**
production in 2018:
< 0,1 % of the
global arable land.

Full replacement of
petro-based plastics
in the **automotive**
industry with
bioplastics requires
< 0,3 % of the global
arable land.

Full replacement of
petro-based plastics
in the **packaging**
industry with
bioplastics requires
< 2% of the global
arable land.

Full replacement
of total petro-based
plastics with
bioplastics
requires
~ 5 % of the global
arable land.

Source: H.-J. Endres, unpublished

Land Use of New Economy Bioplastics 2018

1. Global Land use in 2018 1.300.000 ha or 1.300 km²

This is:

- Less than 0,2% of the land used
for trashed food worldwide
- In the range of the land used to produce biogas in Germany

2. Substitution of all plastics by bioplastics < 10% of the “trashed land” is needed!

Additional Bioplastics could deliver CO₂-neutral energy after utilization
(but no support like green electricity)



*Discussions of bioplastics tend to be driven by emotional concerns
rather than by real facts!*

Perspektive für Biokunststoffe

- Biokunststoffe sind auch „nur“ Polymerwerkstoffe!
- Biokunststoffe bieten ökologische Vorteile auf der Rohstoff- und Entsorgungsseite
- Biokunststoffe helfen in vielen Fällen menschliche Bedürfnisse nachhaltiger zu befriedigen
- Es gibt langfristig keine anderen Alternativen als Nutzung von auch langfristig verfügbaren Rohstoffen
- Auch bei Verwendung nachwachsender Rohstoffe sollte auf maximale Flächen- und Rohstoffeffizienz geachtet werden (Nutzungskaskaden)
- Entemotionalisierung und Versachlichung des Themas wünschenswert

Weitere Informationen zu Biokunststoffen

- **Biopolymerdatenbank → Materialkennwerte**
 - Ingenieure, Konstrukteure, Materialhersteller, ...
 - www.materialdatacenter.com
- **Biopolymer-Verarbeitungsdatenbank → Verarbeitungskennwerte/-merkmale**
 - Ingenieure, Konstrukteure, Materialhersteller, Verarbeiter
 - www.biokunststoffe-verarbeiten.de
- **Produktdatenbank → Produktbeispiele**
 - Beschaffung, Marketing, Materialhersteller
 - <http://datenbank.fnr.de>
- **Biopolymerplattform → Marktdaten, Ressourcenbedarf, Prozessrouten, ...**
 - Marketing, Wissenschaft, Politik
 - www.downloads.ifbb-hannover.de



More information on bioplastics



<http://www.hanser.de/buch.asp?isbn=978-3-446-42403-6&area=Technik>



<http://www.hanser.de/buch.asp?isbn=3-446-41683-8&area=Technik>

Hochschule Hannover IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites - www.ifbb-hannover.de

Contact



Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres
Head of the Institute for
Bioplastics and Biocomposites (IfBB)

University of Applied Sciences,
Hannover
Heisterbergallee 12
D- 30453 Hanover

Tel 0049 (0) 5 11 / 9296 – 22 68
Fax 0049 (0) 5 11 / 9296 – 99 22 68
Mail
hans-josef.endres@hs-hannover.de



www.ifbb-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres
Head of the Application Center for Wood
Fiber Research
Fraunhofer-Institut für Holzforschung -
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI

University of Applied Sciences, Hannover
Heisterbergallee 12
D- 30453 Hanover

Tel 0049 (0) 5 11 / 9296 – 22 68
Fax 0049 (0) 5 11 / 9296 – 99 22 68
Mail
hans-josef.endres@wki-fraunhofer.de



www.wki.fraunhofer.de

Hochschule Hannover IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites - www.ifbb-hannover.de