

QST7 - Bioabbaubarkeit

Prof. Dr. rer. nat. Marc Kreutzbruck, Institut für Kunststofftechnik

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

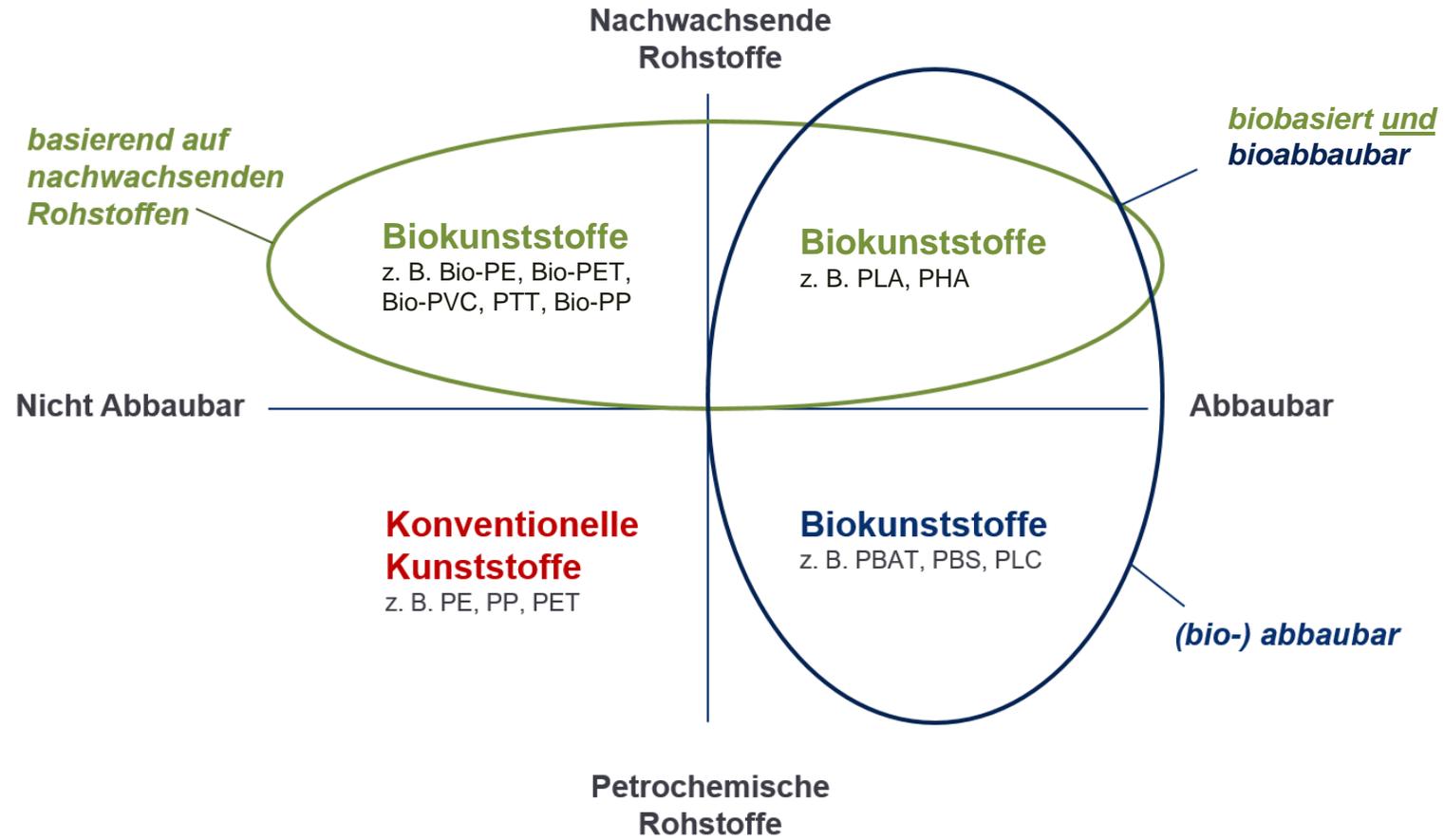
Plastik
in der Umwelt

Quellen • Senken • Lösungsansätze

FONA

Forschung für Nachhaltigkeit

Biokunststoffe



Grundprinzip des biologischen Abbaus von Kunststoffen

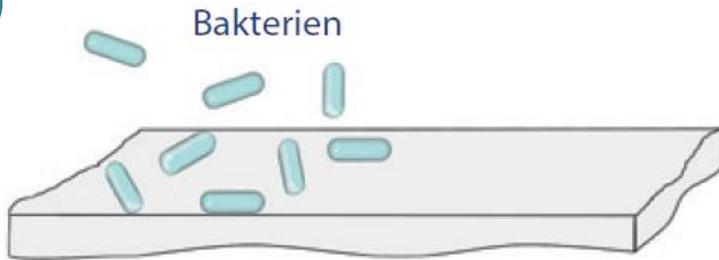


- » Fragmentierung
- » Desintegration
- » Mikrobieller Abbau

[Bildquelle: sustpkgg-blogspot.com]

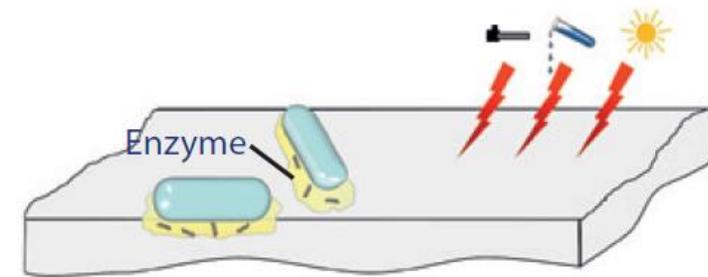
Grundprinzip des biologischen Abbaus von Kunststoffen

1



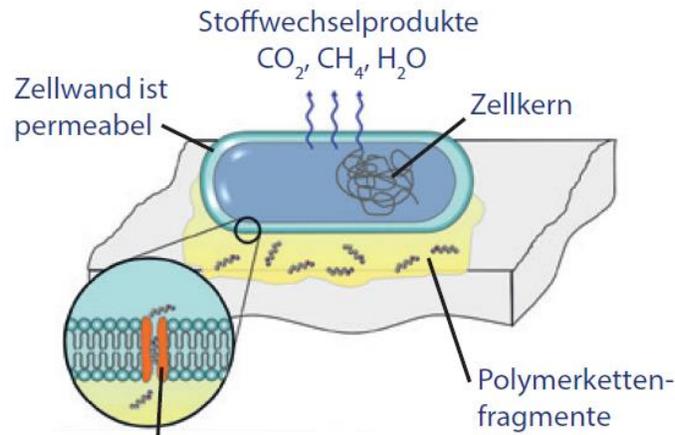
Kunststoffoberfläche (z.B. Folie)

2



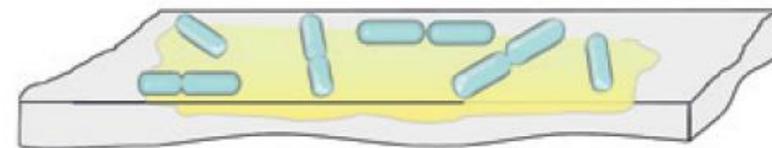
Angriff: Enzyme können bestimmte Polymerketten spalten

3



Transportprotein
in Zellwand

4

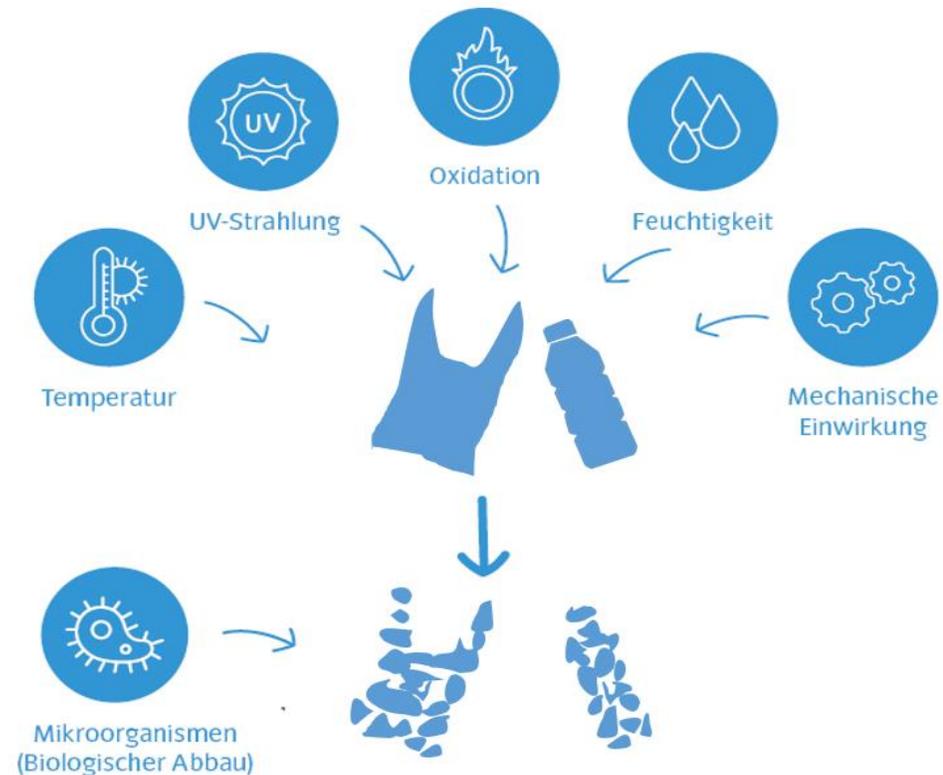


Bildung von Tochterzellen, die ebenfalls
Enzyme absondern.

Biologische Abbaubarkeit und die verschiedenen Umgebungsbedingungen

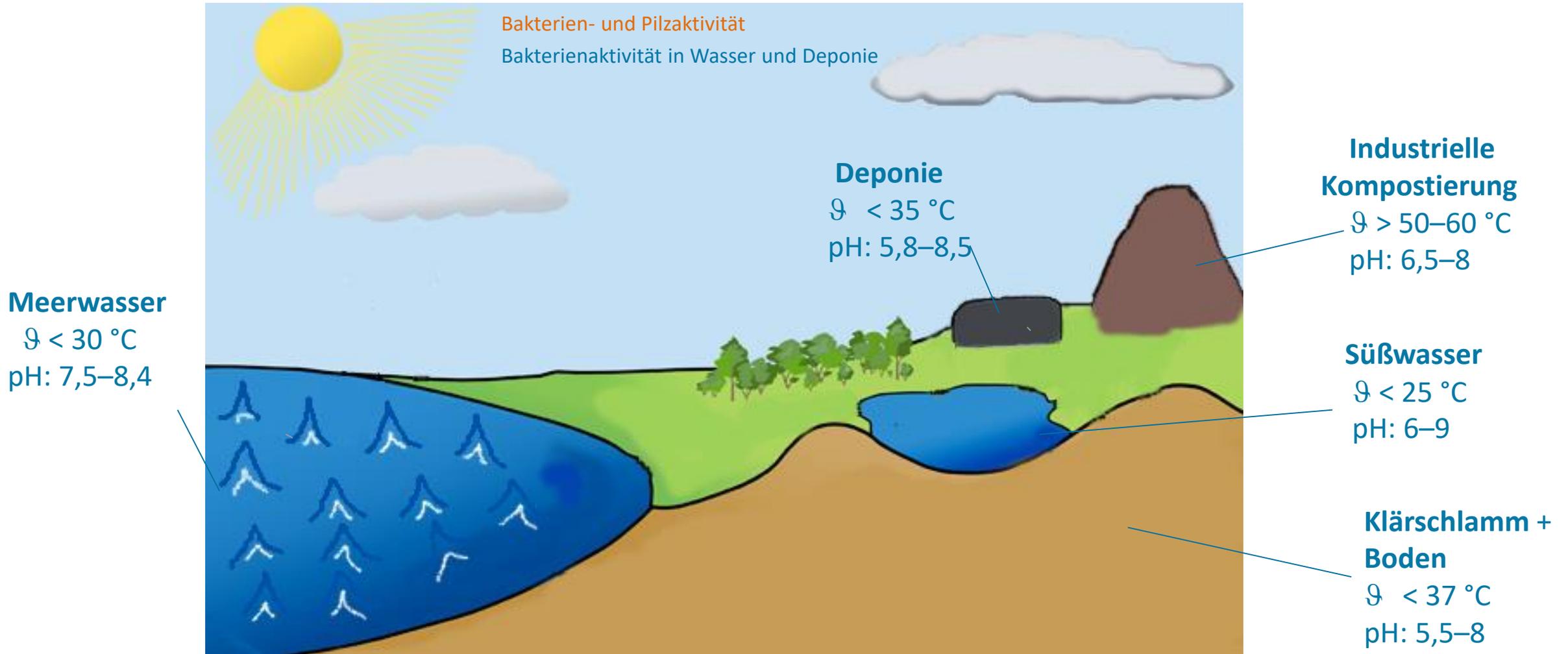
Wesentliche Einflussfaktoren auf den biologischen Abbau

- » Physiko-chemische Faktoren
- » Eigenschaften des Werkstoffs/Bauteils
- » Mikroorganismen



[Bildquelle: in Anlehnung an VAUDE]

Biologische Abbaubarkeit und die verschiedenen Umgebungsbedingungen



Beispiel für den Einfluss der unterschiedlichen Umweltbedingungen auf den Abbau von Kunststoffen

Studie zur Abbaubarkeit von PLA

Foliendicke	Temperatur	Versuchsdauer	Abbaugrad
30 µm	20 °C	180 Tage	< 10 %
	37 °C	180 Tage	10 %
	55 °C	210 Tage	80 %
	60 °C	210 Tage	90 %

[Quelle: Itävaara et al. 2002]

Biologisch abbaubare Kunststoffe

» Polylactid (PLA)

- Biobasiert und **bioabbaubar in industrieller Kompostierung**
- Preisgünstiger Biokunststoff
- Viele Variationen am Markt verfügbar
- Gute Verarbeitbarkeit und Eigenschaften
- Wird bereits in kommerziellen Produkten eingesetzt
- Benötigt hohe Temperaturen für den Abbau



[Bildquelle: thyssenkrupp Industrial Solutions AG]

Biologisch abbaubare Kunststoffe

» Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT)

- Fossilbasiert
- **Nur in industrieller Kompostierung bioabbaubar**
- Mechanische Eigenschaft ähnlich wie PE-LD
- Lässt sich aufgrund hoher Duktilität gut zu Folien verarbeiten
- Derzeitige Anwendungsbereiche hauptsächlich im Agrar-und Verpackungsbereich

Biologisch abbaubare Kunststoffe

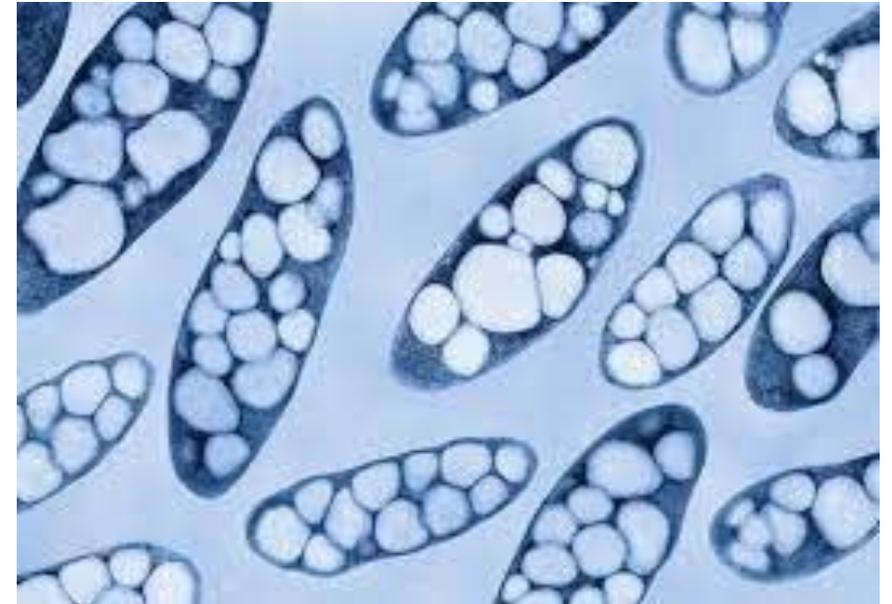
» Polybutylensuccinat (PBS)

- Kann biobasiert und fossilbasiert hergestellt werden
- Es soll Typen geben, die für den **Heimkompost** zertifiziert sind
- Hohe Flexibilität, hohe Schlagzähigkeit und thermische Stabilität
- Verfügbarkeit am Markt derzeit noch gering, teuer

Biologisch abbaubare Kunststoffe

» Polyhydroxyalkanoate (PHA)

- PHB, PHBV, PHV, PHBH...
- Wird aus Mikroorganismen gewonnen
- **Baut im Boden und im Wasser ab**
- Sehr steif und thermisch instabil, schlechte Verarbeitungseigenschaften
- Verfügbarkeit am Markt noch begrenzt, teuer



[Bildquelle: Metabolix Inc.]

Biologisch abbaubare Kunststoffe

» Stärke

- Stark hydrophil und spröde
- Wird zu thermoplastischer Stärke (TPS) aufbereitet
- **Baut im Boden und im Wasser ab**
- Wird meistens als günstiger Blendpartner verwendet
- Hat derzeit den größten Marktanteil der bioabbaubaren Kunststoffe



[Bildquelle: Nova Institut]

Biodegradable Polymers in Various Environments

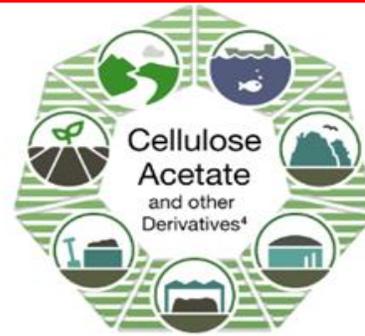
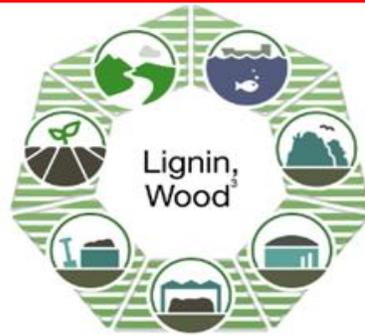
NOTES

-  proven biodegradability
-  proven biodegradability under certain conditions or for certain grades
-  biodegradability not proven

The biodegradability of plastics derived from these biodegradable polymers can only be guaranteed if all additives and (organic) fillers are biodegradable, too. Dying and finishing of cellulosic fibres, for example, may prevent their biodegradation in the environment.

Biodegradability depends on the complex biogeochemical conditions at each testing site (e.g. temperature, available nutrients and oxygen, microbial activity, etc.). Therefore, these generalised claims about biodegradation can only serve as approximations and need to be confirmed by standardised testing under lab conditions. In-situ behaviour can vary, depending on the mentioned conditions, size of the plastic, grade of the polymer and other factors. For instance, biodegradation testing is often performed after milling, showing the inherent nature of the material to biodegrade. In reality, the same level of biodegradation will be obtained, be it possibly within a different timeframe.

- ¹ PLA is only likely to be biodegradable in thermophilic anaerobic digestion at temperatures of 52°C.
- ² Biodegradability in home composting and in soil of PBAT is only proven for certain polymer grades.
- ³ Complete biodegradation of materials with a high lignin content is not easily measurable with standard biodegradation tests, but does take place (slowly). Instead of CO₂, especially humus is produced by the biodegradation of lignin-rich materials.
- ⁴ The biodegradation of CA in all environments is only proven for certain polymer grades.
- ⁵ incl. P3HB, P4HB, P3HB4HB, P3HB3HV, P3HB3HV4HV, P3HB3Hx, P3HB3HO, P3HB3HD



ENVIRONMENTS

Details on test conditions and, if available, applicable pass/fail criteria.



MARINE ENVIRONMENT
Temperature 30°C,
90% biodegradation within a maximum of 6 months
(Certification: TÜV AUSTRIA OK biodegradable MARINE (ISO under preparation))



FRESH WATER
Temperature 21°C,
90% biodegradation within a maximum of 56 days
(Certification: TÜV AUSTRIA OK biodegradable WATER)



SOIL
Temperature 25°C,
90% biodegradation within a maximum of 2 years
(Certification: TÜV AUSTRIA OK biodegradable SOIL; DIN Certco DIN-Geprüft biodegradable in soil)



HOME COMPOSTING
Temperature 28°C,
90% biodegradation within a maximum of 12 months (Certification: TÜV AUSTRIA OK compost HOME; DIN Certco DIN-Geprüft Home Compostable)



LANDFILL
No standard specifications or certification scheme available, since this is not a preferred end-of-life option



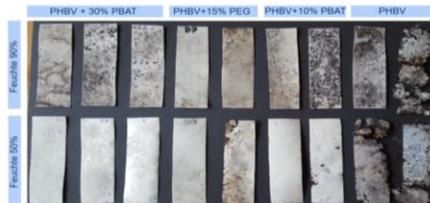
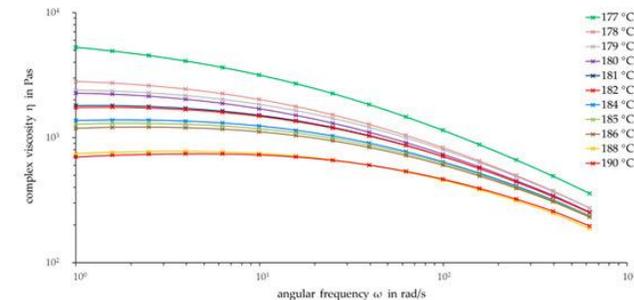
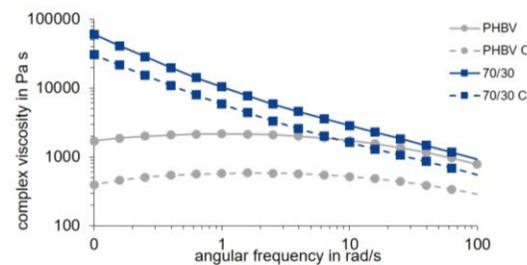
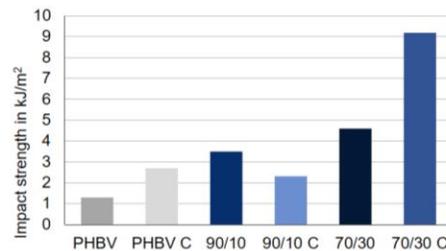
ANAEROBIC DIGESTION
Thermophilic 52°C / mesophilic 37°C;
standard specification not yet available, but 90% generally considered as completely biodegradable



INDUSTRIAL COMPOSTING
Temperature 58°C,
90% biodegradation within a maximum of 6 months
(Standard: EN 13432)

Aktuelle Forschungsergebnisse

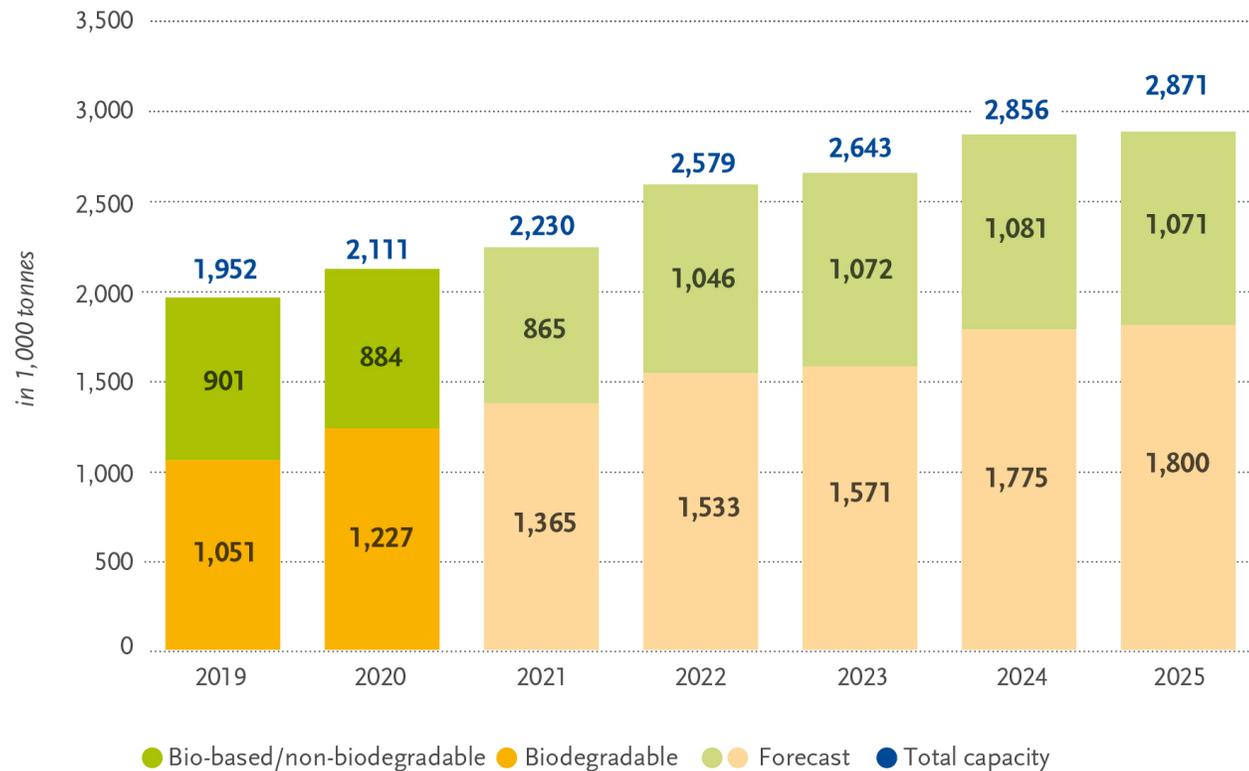
- » PHB als biologisch abbaubarer und biobasierter Werkstoff
- » Verarbeitung aufgrund geringer thermischer Stabilität derzeit noch schwierig.
- » Mechanischen Eigenschaften sind unzureichend
- » Derzeit gibt es einige Forschungsprojekte die sich mit der umweltgerechten Modifizierung von PHA beschäftigen



Thermische Stabilität und Viskosität von PHA werden modifiziert und die mechanischen Eigenschaften zu verbessert, um den Werkstoff auf herkömmlichen Anlagen verarbeiten zu können.

Marktübersicht – Bioabbaubare Kunststoffe

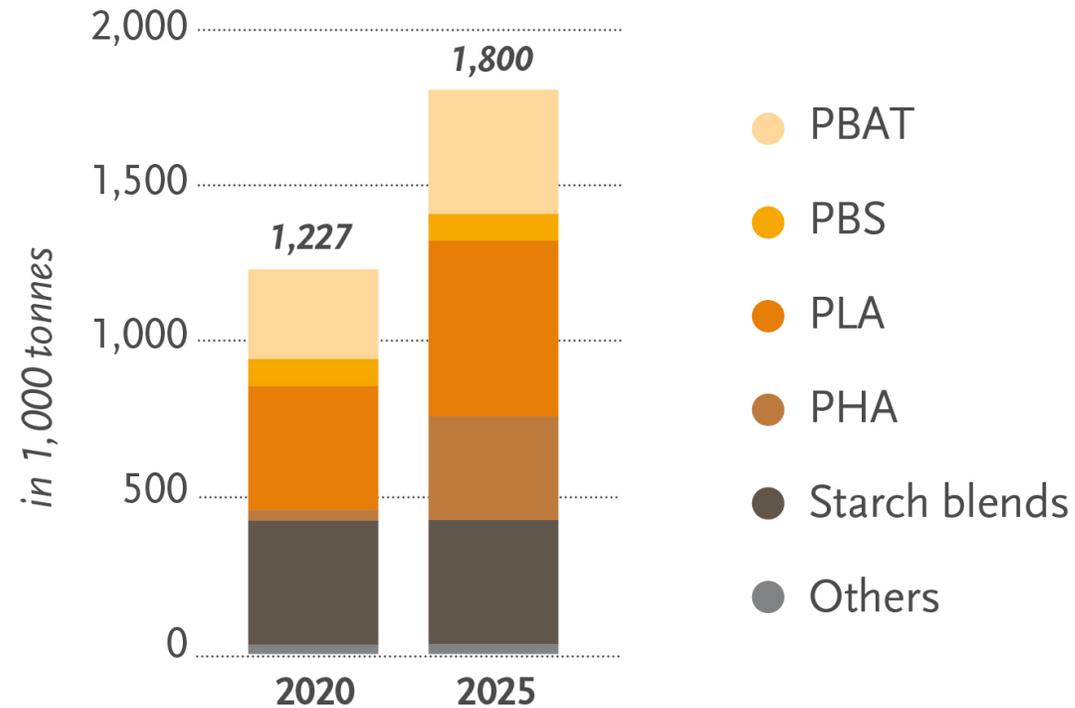
Global production capacities of bioplastics



[Bildquelle: European Bioplastics, nova-Institute]

Marktübersicht – Bioabbaubare Kunststoffe

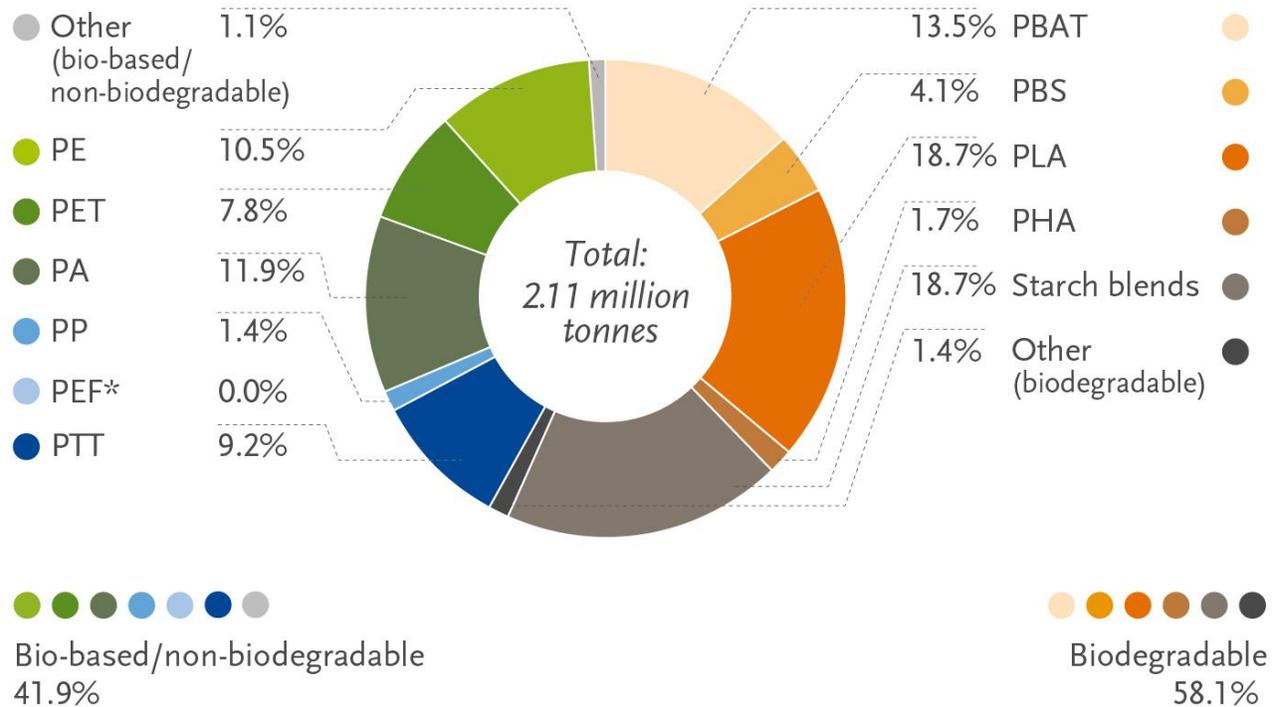
Biodegradable bioplastics 2020 vs. 2025



[Bildquelle: European Bioplastics, nova-Institute]

Marktübersicht – Bioabbaubare Kunststoffe

Global production capacities of bioplastics 2020
(by material type)



*PEF is currently in development and predicted to be available in commercial scale in 2023.

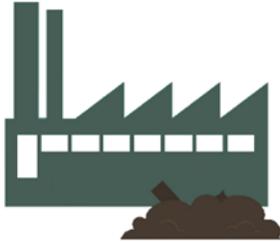
[Bildquelle: European Bioplastics, nova-Institute]

Normen und Richtlinien

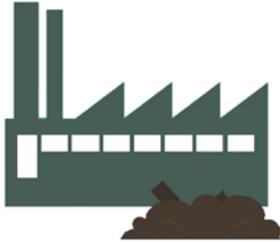
» DIN EN 13432

- Maßgebende Norm in Deutschland zur Prüfung der Kompostierbarkeit
- Verwertung von Verpackungen
- lediglich Aussagen über die Kompostierung in geordneten Abfallbehandlungsanlagen
- 5 Prüfanforderungen: Charakterisierung, biologische Abbaubarkeit, Desintegration, Kompostqualität, Erkennbarkeit

Normen und Richtlinien

	Bedingung	Prüfnorm	Abbaubarkeit	Desintegration
	Industrielle Kompostierung	DIN EN 13432 ISO 17088 EN 14995 ISO 18606 AS 4736 ASTM D6400	Mindestens 90 % nach maximal 6 Monaten (oder 90 % einer Referenzsubstanz)	Mindestens 90 % nach maximal 3 Monaten
	Heim- und Gartenkompostierung	AS 5810 NF T 51-800	Mindestens 90 % nach maximal 6 Monaten (oder 90 % einer Referenzsubstanz)	Mindestens 90 % nach maximal 6 Monaten
	Boden	EN 17033	Mindestens 90 % nach maximal 24 Monaten (oder 90 % einer Referenzsubstanz)	Keine Anforderung
	Süßwasser	DIN EN 13432 EN 14995 EN 14987	Mindestens 90 % nach maximal 56 Tagen (oder 90 % einer Referenzsubstanz)	Keine Anforderung
	Meerwasser	ASTM D7081 (zurückgezogen)	Mindestens 90 % nach maximal 6 Monaten (oder 90 % einer Referenzsubstanz)	Anforderungen aus Dokument TS-OK-23

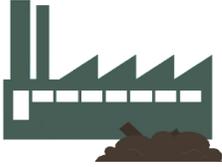
Prüfverfahren und Messmethoden

	Bedingung	Temperatur	Messparameter	Relevante Normen
	Industrielle Kompostierung	$58 \pm 2 \text{ °C}$	CO ₂ -Produktion	ISO 14855-1
	Heim- und Gartenkompostierung	$25 \pm 5 \text{ °C}$	CO ₂ -Produktion	
	Boden	20 – 28 °C	O ₂ -Verbrauch oder CO ₂ -Produktion	ISO 17556
	Süßwasser	20 – 25 °C	O ₂ -Verbrauch	ISO 14851
			CO ₂ -Produktion	ISO 14852
	Meerwasser	$30 \pm 2 \text{ °C}$	CO ₂ -Produktion	ASTM D6691

Normen und Richtlinien

» Zertifizierungsprogramme

- Zertifizierungsprogramme überprüfen Einhaltung der Normen
- Produkte und Werkstoffe zertifizierbar
- Zertifizierungsgesellschaften: DIN CERTCO, TÜV Austria, Biodegradable Product Institute
- Vergabe von Labels → sollen möglichen Entsorgungsweg eindeutig kennzeichnen
- Zertifikate immer bis zu bestimmter Dicke vergeben (z.B. 200 µm)

				
<h3>Industrielle Kompostierung</h3>	<h3>Heim- kompostierung</h3>	<h3>Boden</h3>	<h3>Süßwasser</h3>	<h3>Meerwasser</h3>
				
				
 <p>kompostierbar</p>				

Produkte mit Bioabbau-Label



Leak Proof
Large Capacity



[Bildquellen: Öko-Test, Ali Baba, einfach Leben, APA-OTS, bio-star, PET N PET]

Kernbotschaften

- » Der Begriff Bioabbaubarer Kunststoff ist kein grundsätzlich uneingeschränktes Gütesiegel
- » In industrieller Kompostierung nachweislich gut biologisch abbaubare Kunststoffe, zeigen gemäß Norm nur unter den geforderten Randbedingungen einen Abbau
- » Biokunststoffe können keinesfalls eine vollständige Lösung des Problems Plastik in der Umwelt sein. Sie können dort, wo sich ein Eintrag nicht vermeiden lässt, eine Lösung darstellen
- » Kunststoff als Wertstoff sollte stets primär dem Recycling zugeführt werden
- » Es ist wichtig marktfähige Produkte, die eine Abbaubarkeit in realen Umweltbedingungen gewährleisten zu entwickeln.