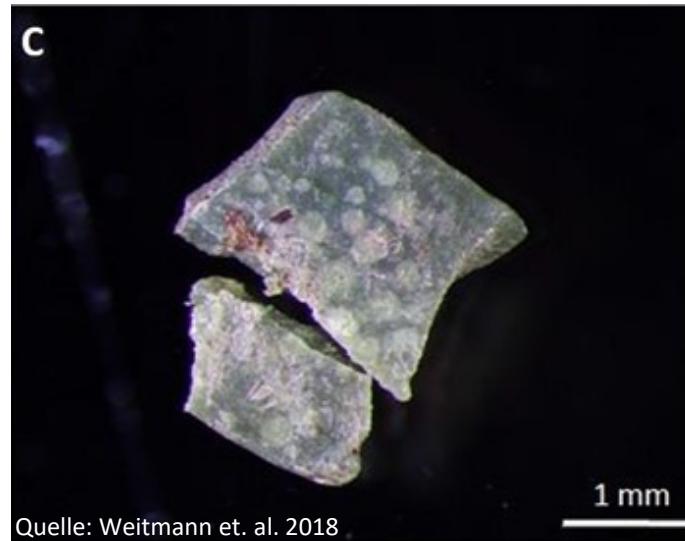


Mikrokunststoffe in Produkten aus Bioabfall

- Einträge in Böden -



Quelle: Weitmann et. al. 2018

KBU-Fachveranstaltung 2020
Kunststoffe in der Umwelt – Ein Problem für unsere Böden, oder nur falscher Alarm?
Berlin, 03. Dezember 2020

Prof. Dr.-Ing. Martin Kranert, Universität Stuttgart

Inhalt

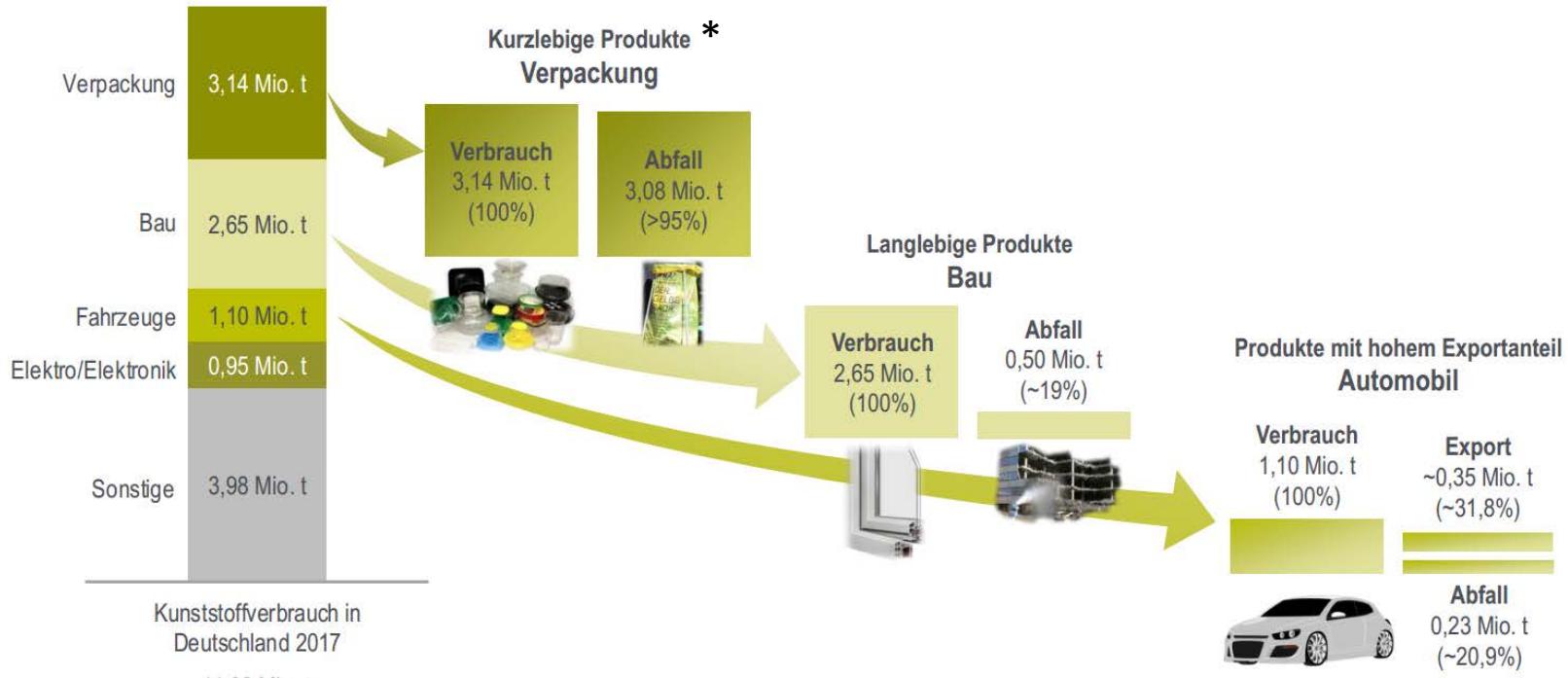
1. Problemlage
2. Struktur des Verbundvorhabens MiKoBo
3. Themenbereich 1: Methodenentwicklung Probenverarbeitung und Analytik
4. Themenbereich 2: Kompostierungs- und Vergärungsprozesse
5. Themenbereich 3: Bodenqualität
6. Betrachtung auf Basis flächendeckender Untersuchungen in D
7. Schlussfolgerungen



Problemlage

- Aktuell sind der Eintrag, die Belastung und Gefährdung durch Kunststoffe in terrestrischen Ökosystemen wenig erforscht
- Potentieller Eintragspfad: Ausbringung von Gärprodukten und Komposten aus Bioabfallverwertungsanlagen
- Besonders von Interesse: Mikrokunststoffe (MKS) < 5 mm
- Wenig Daten über die Auswirkung von MKS auf wesentliche Bodenfunktionen
- Veränderung von Kunststoffen während der Prozessierung in Bioabfallverwertungsanlagen
- Entstehung MKS während der Prozessierung aus Makrokunststoffen vs. enthaltener Anteil als MKS im Bioabfall
- Fehlen einer standardisierten Analytik für MKS in Feststoffen wie Komposten / Gärprodukten und Böden

Kunststoffverbrauch in Deutschland

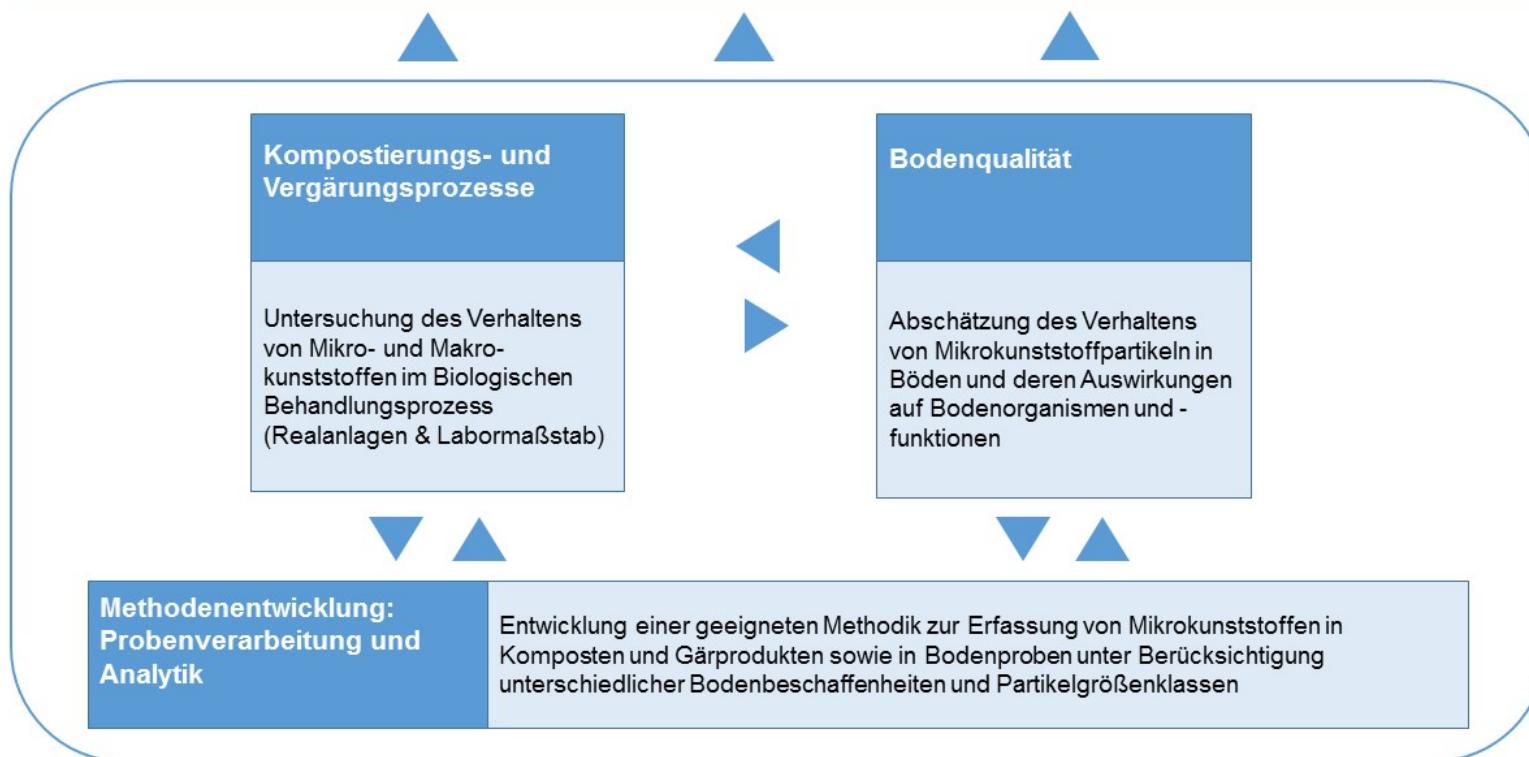


Quelle: CONVERSIO 2018

* entspricht ca. 38 kg/E*a

Struktur des Verbundvorhabens MiKoBo

Mikrokunststoffe in Komposten und Gärprodukten aus Bioabfallverwertungsanlagen und deren Eintrag in Böden - Erfassen, Bewerten, Vermeiden



Projektkonsortium

- **Universität Stuttgart**



Universität Stuttgart

- Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)
- Institut für Kunststofftechnik (IKT)
- Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme (IBBS)

- **Universität Hohenheim**



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

- Institut für Bodenkunde und Standortslehre (IBS)

- **Universität Bayreuth**



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

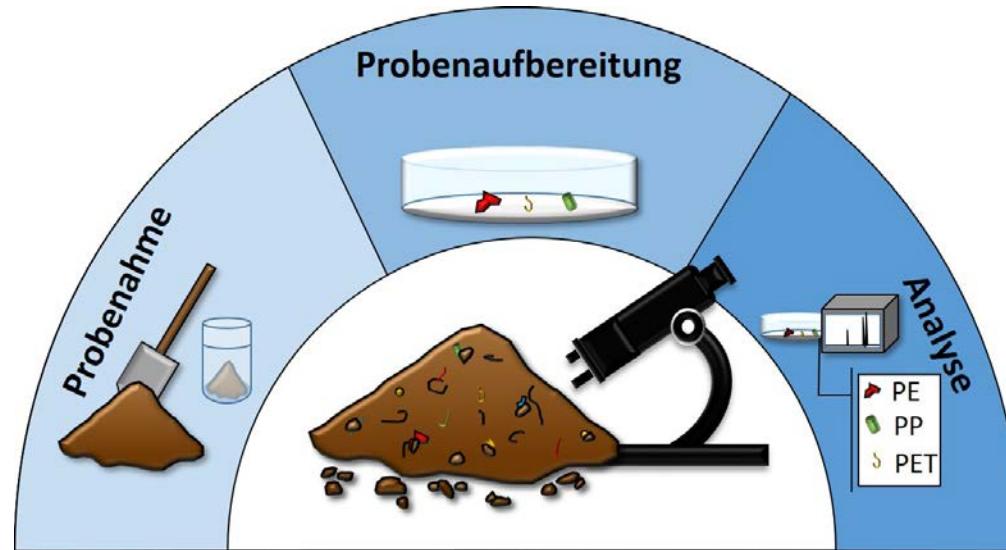
- Lehrstuhl für Tierökologie I (TÖK I)
- Lehrstuhl für Bioprozesstechnik (BPT)

- **Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT**

 **Fraunhofer**
ICT

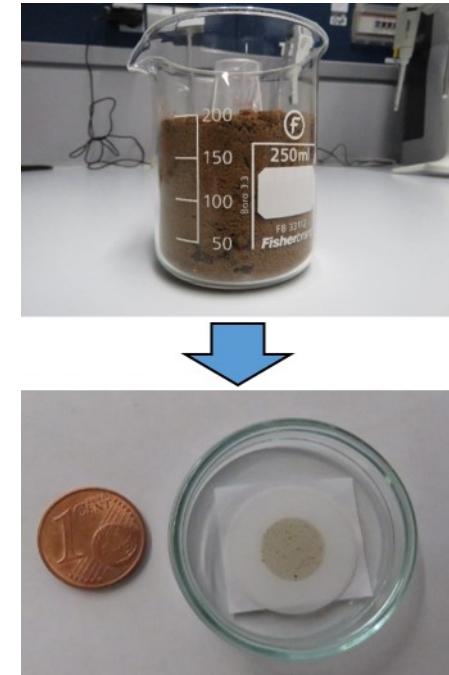
Themenbereich 1: Methodenentwicklung Probenaufbereitung und Analytik

- Böden und Komposte bestehen aus komplexen Feststoffmatrices
- Neues Gebiet in der MKS Analytik
- Ziel: Etablierung eines Verfahrens, das die MKS Analytik in komplexen Matrices wie Kompost oder Boden erlaubt

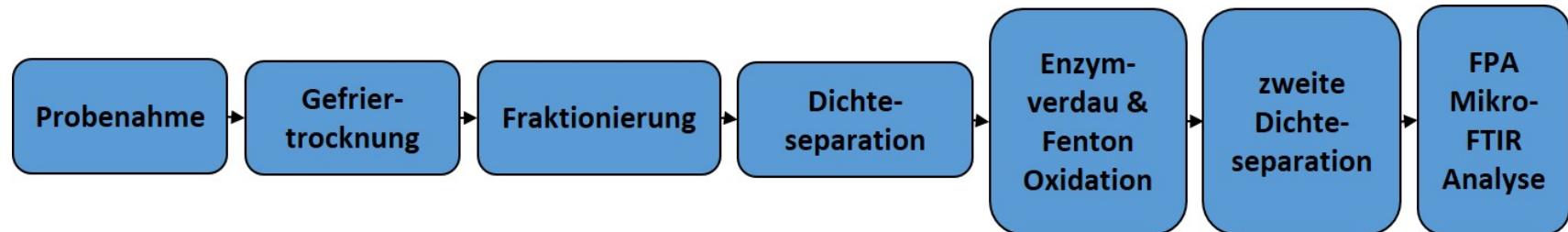


Themenbereich 1: Ergebnisse einer optimierten Analysepipeline für MKS < 500µm in Boden

- >99.9% Matrixentfernung von Bodenproben durch optimierte Prozesskette
- Bearbeitung relativ großer Probenmengen mit 250-300g Boden möglich
- Schonende Aufbereitung vermeidet die Zerstörung konventioneller Plastiksorten
- Protokoll für Kompostproben aufgrund der stabilen Organik noch auf wenige Gramm limitiert



Quelle: TÖK I Univ. Bayreuth 2019



Themenbereich 1: Messmethode – Mikro-FTIR Spektroskopie

- Mikro-FTIR Spektroskopie ermöglicht eine genaue MKS Identifikation
- Erfasst werden:
 - Polymersorte
 - Größe
 - Form
 - Anzahl
- Erkennung von Partikelgrößen 20-500µm
- Größere Partikel werden manuell aussortiert und mittels ATR-FTIR Spektroskopie identifiziert



Quelle: TÖK I Univ. Bayreuth 2019

Themenbereich 1: Messmethodik

Herstellung von Referenzmaterialien

Verschiedene Standardkunststoffe werden modellhaft betrachtet:

- Polyethylen mit geringer Dichte (LDPE):
- Polylactid (PLA):
- Blend aus Polylactid und Polybutylenterephthalsäure (PLA/PBAT)
- Blend, welches kommerziellen Mülltüten entspricht (PBAT/PLA-Blend mit mineralischen Füllstoffen, sowie Haftvermittler und Gleitmittel)

Hergestellte Referenzmaterialien/Prüfkörper

- Pulver (insbesondere im Feinbereich kleiner 200 µm (<10 µm, <20 µm, <50 µm, 50-100 µm))
- Blasfolien
- Flachfolien

Alle hergestellten Referenzmaterialien werden vor (und nach) den Versuchen charakterisiert.

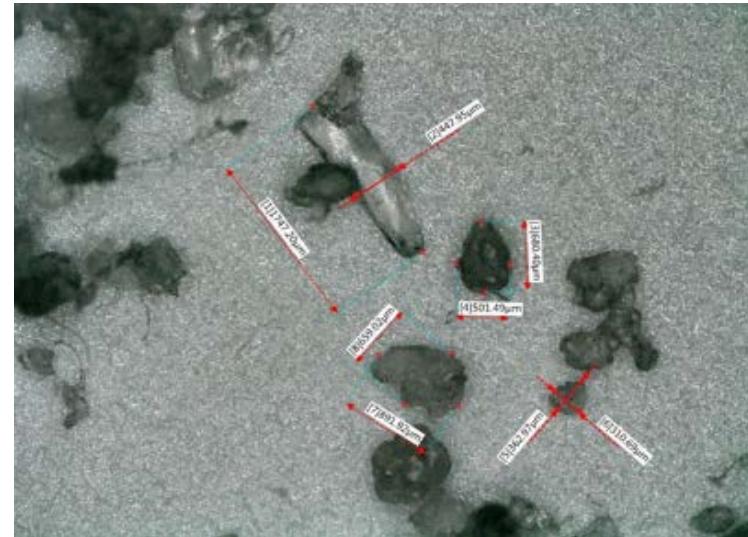
Themenbereich 1: Messmethodik

Herstellung von Referenzmaterialien



Blasfolien in versch. Stärken (500 µm bis 100 µm)

Pulver mit def. Korngrößen (~10 µm bis 100 µm)



Quelle: IKT Univ. Stuttgart 2020

Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse Kunststoffpartikel in technischen Anlagen der Abfallwirtschaft

- Probenahme

- Durchführung in Anlehnung an das Regelwerk der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.
- Einweisung zur zertifizierten Probenahme



- Untersuchung

- Feste Proben (Kompost, Gärprodukte): Nasssiebung bei 5mm und 1 mm Siebmaschenweite → anschließende Extraktion der KS-Partikel
- Flüssige Proben werden bei 5 mm, 1 mm und 0,5 mm gesiebt, anschließend via μ FTIR auf KS-Partikel > 20 μ m untersucht



Baden-Württemberg



MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse Kunststoffpartikel in technischen Anlagen der Abfallwirtschaft

| Anlagenart | Anzahl | Input | Output | Plastikpartikel (/kg TM) |
|--|----------------|-----------------------------|---|--------------------------|
| Kombination: Vergärung- Kompostierung | Insgesamt: 5 | | | |
| | 4 | Biogut mit Strukturmaterial | 3 x Kompost und fl. Dünger 1 x Kompost | 104 – 126 ***21 – 126 |
| | 1 | Reiner Bioabfall | 1 x Kompost | |
| Reine Vergärung | Insgesamt: 3 | | | |
| | 2 | NawaRo | Feste und fl. Gärprodukte (Dünger) | 0 – 14 ***0 – 42 |
| | 1 | Gemischt* | Feste und fl. Gärprodukte (Dünger) | |
| Reine Kompostierung | Insgesamt: 6** | | | |
| | 3 | Biogut mit Strukturmaterial | Kompost | 3 – 18 ***3 – 50 |
| | 1 | Reiner Bioabfall | Kompost | |
| | 3 | Reines Grüngut | Kompost | |

* Der Input besteht aus Nachwachsenden Rohstoffen, Mist, Gülle, pflanzliche Abfälle (Gemüse von Märkten etc., Landschaftspflegematerial etc.)

** Eine Kompostieranlage hat einerseits einen Input von Biogut mit Strukturmaterial und andererseits einen mit reinem Grüngut (2 getrennte Verfahren)

*** **Fett gedruckter Bereich** gibt die Kernbelastung an; *kursiv gedruckter Bereich* die Belastung mit Extrema (Ausnahmen)

Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse Laborversuche (aerob/anaerob)

- Einfluss der Prozessführung auf die Fragmentierung von Kunststoffen und damit auf die Bildung von Mikrokunststoffen
- Erstellung eines kunststofffreien Substrats
- Mischung mit def. Kunststoffen: PE, PLA, PLA/PBAT (2 Blends)
- Sechs Laborversuchsbedingungen:
 - Kompostierung, Vergärung (mesophil – thermophil)
 - Statische und (semi-)dynamische Betriebsweise



Quelle: ISWA Univ. Stuttgart 2020

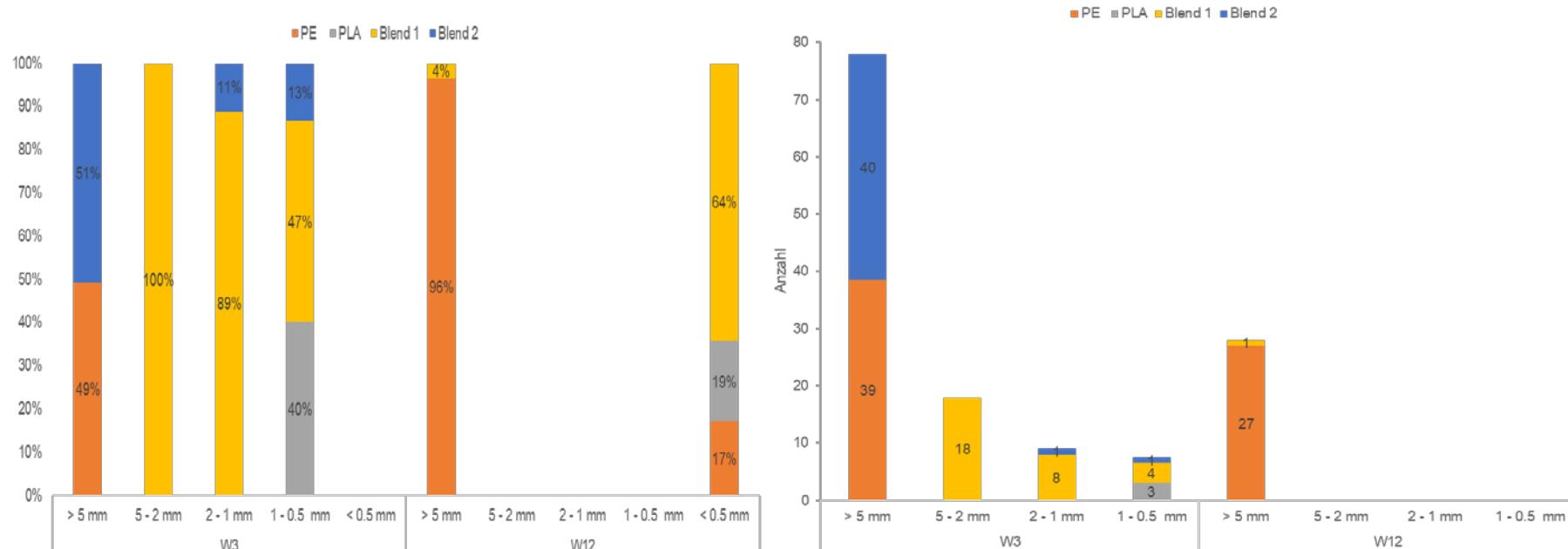


Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Laborversuche – Größenspektrum

- Thermophil anaerob Vergärung 1, dynamisch

Substrat: synthetischer Bioabfall + Gärprodukt aus der Landwirtschaft



Veränderung der Korngröße der Folien Korngröße > 0,5mm nach 3 und 12 Wochen



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



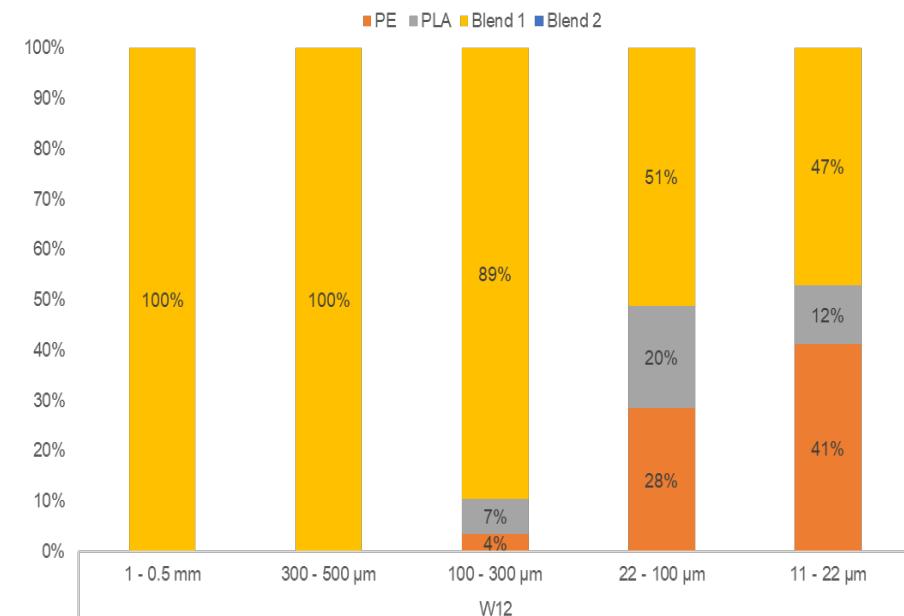
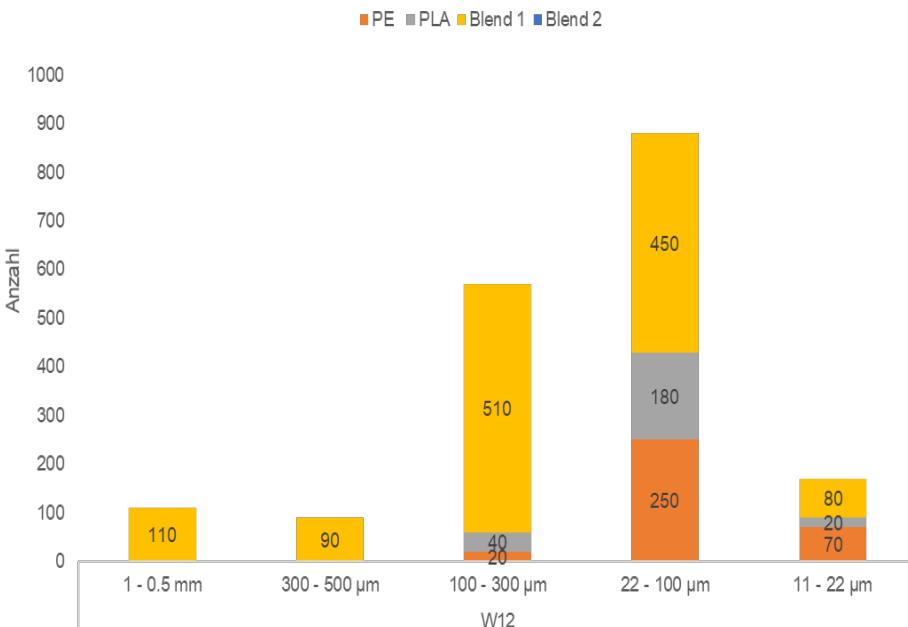
Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Laborversuche – Größenspektrum

Thermophil anaerob Vergärung 1, dynamisch

Substrat: synthetischer Bioabfall + Gärprodukt aus der Landwirtschaft

Größenspektrum in einem Liter Probe nach 12 Wochen



Veränderung der Korngröße der Folien Korngröße < 0,5mm

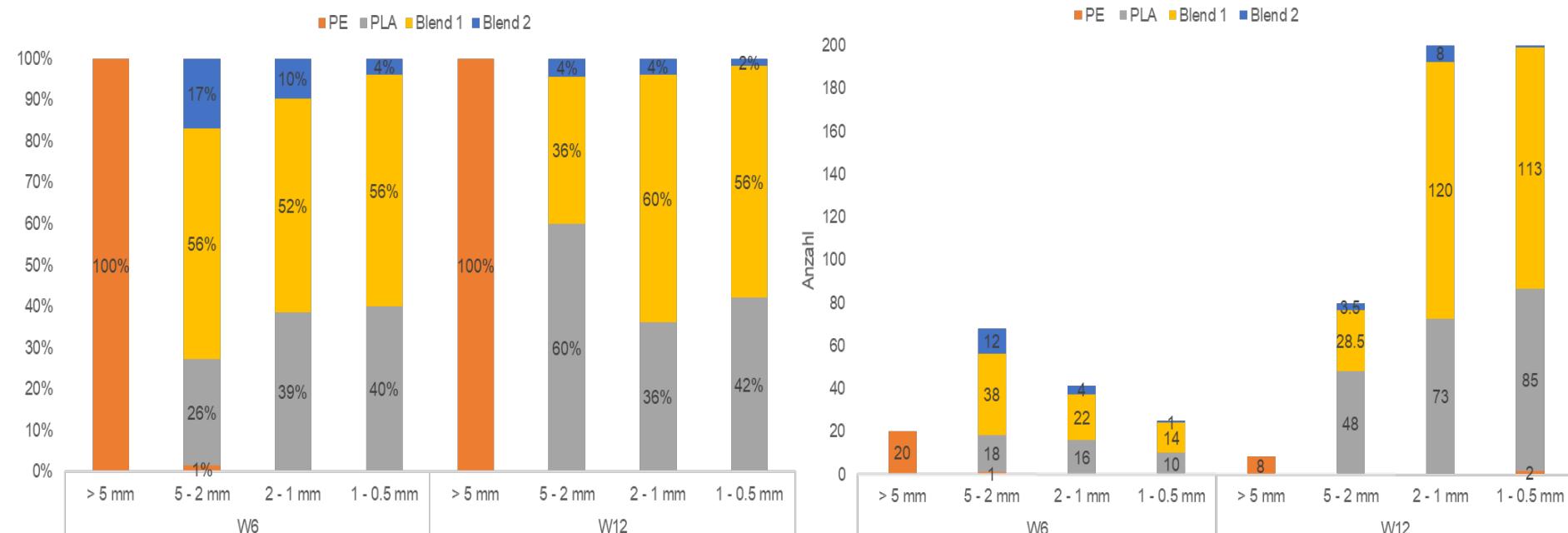
Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Laborversuche – Größenspektrum

Kompostierung 1, semi-dynamisch

Substrat: synthetischer Bioabfall

Größenspektrum in einem Liter Probe nach 6 und 12 Wochen



Baden-Württemberg



MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS

IKT
KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART

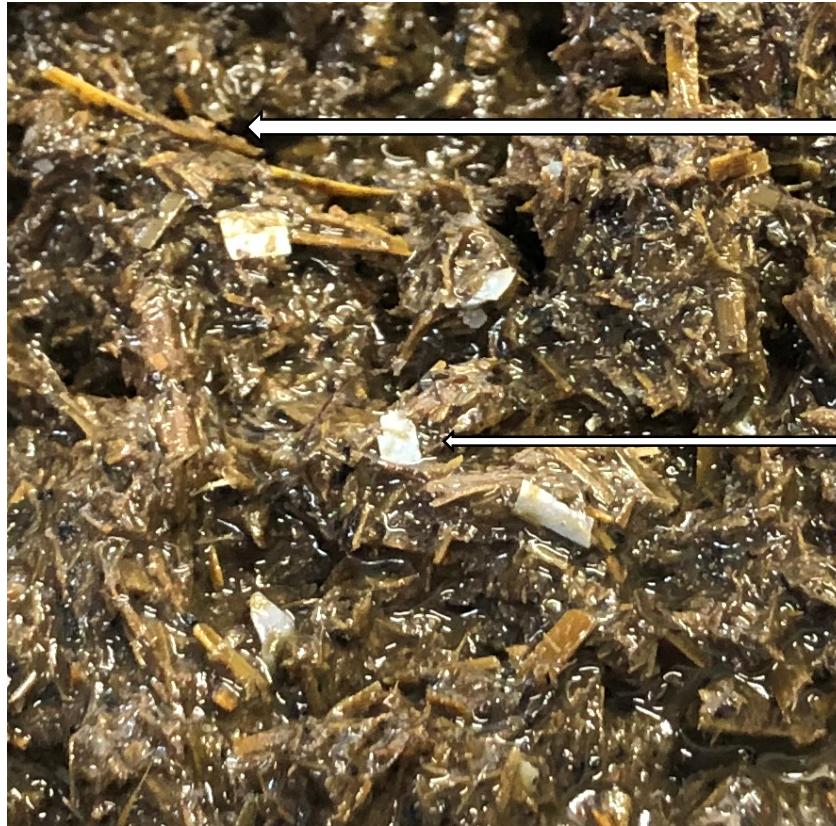


UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Fraunhofer
ICT

Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Detailansicht der Folienstücke



Quelle: ISWA Univ. Stuttgart 2020

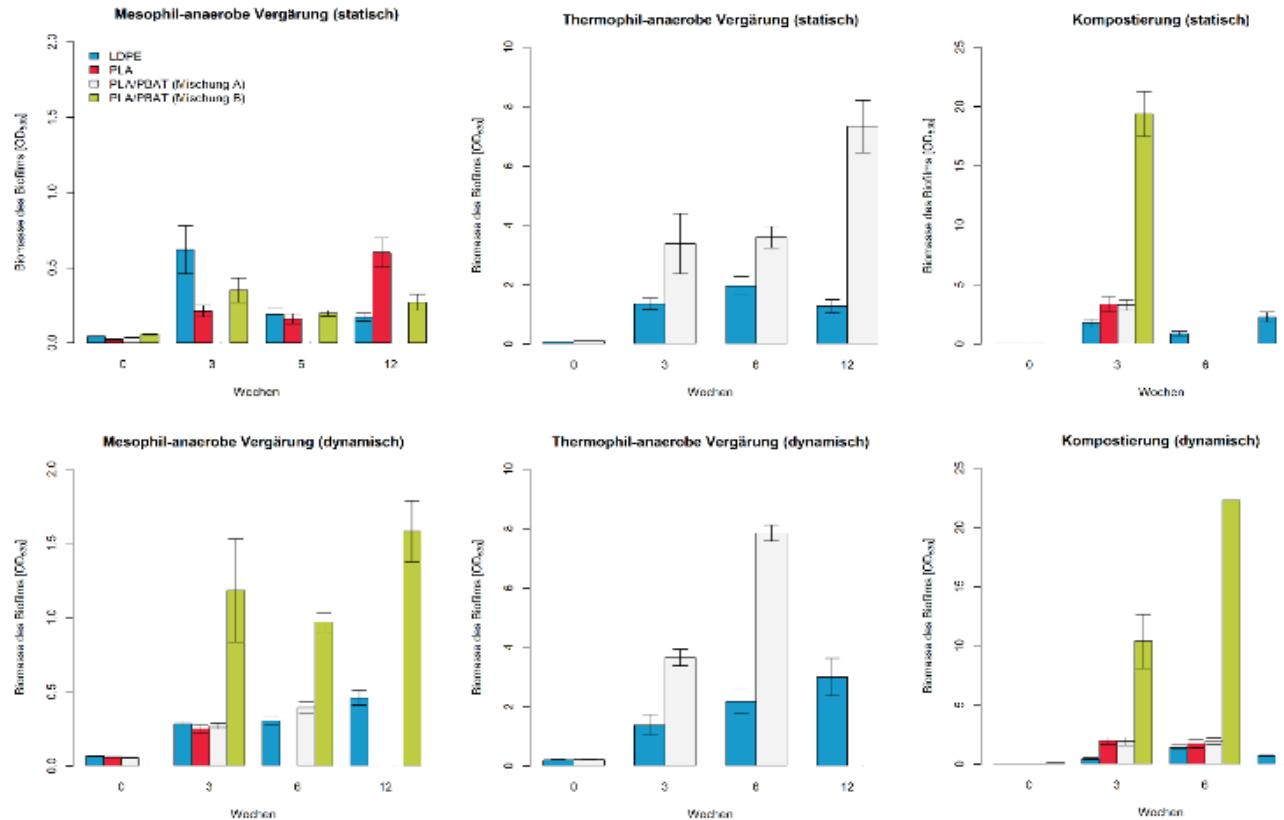
Originalgröße der Folie
15 mm x 15 mm

Fragmentierte Folie
< 5 mm

Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Vergärung - Kunststoff wird mit Biofilm bewachsen

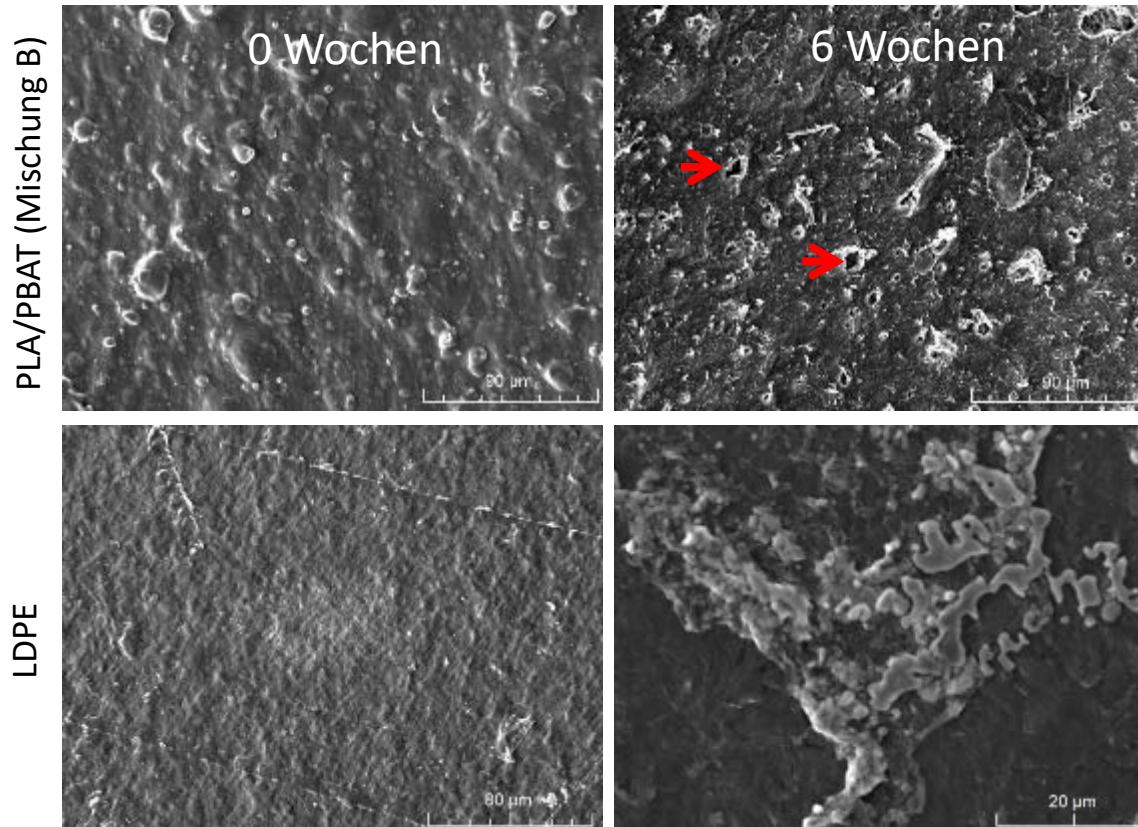
- Biomasse des Biofilms stark abhängig von Prozessbedingungen
- Bewuchs unterschiedlich stark bei den Kunststoffen



Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Vergärung – Oberfläche wird bei Biokunststoff angegriffen

- Löcher und aufgerautete Oberfläche bei PLA/PBAT (Mischung B), thermophil anaerob 1, dynamisch (REM-Untersuchung)



Quelle: IBBS Univ. Stuttgart 2020



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS

IKT

KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART

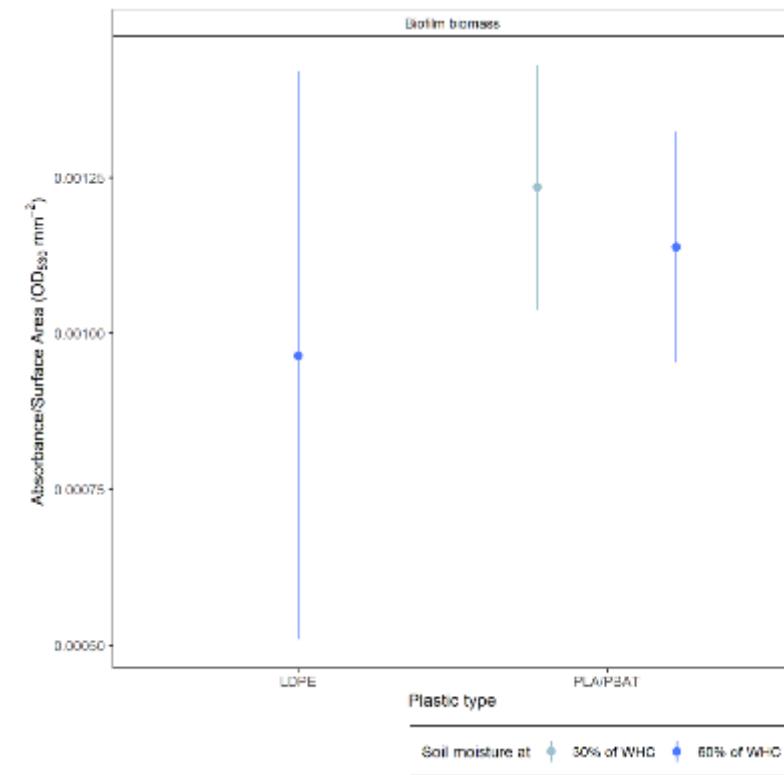
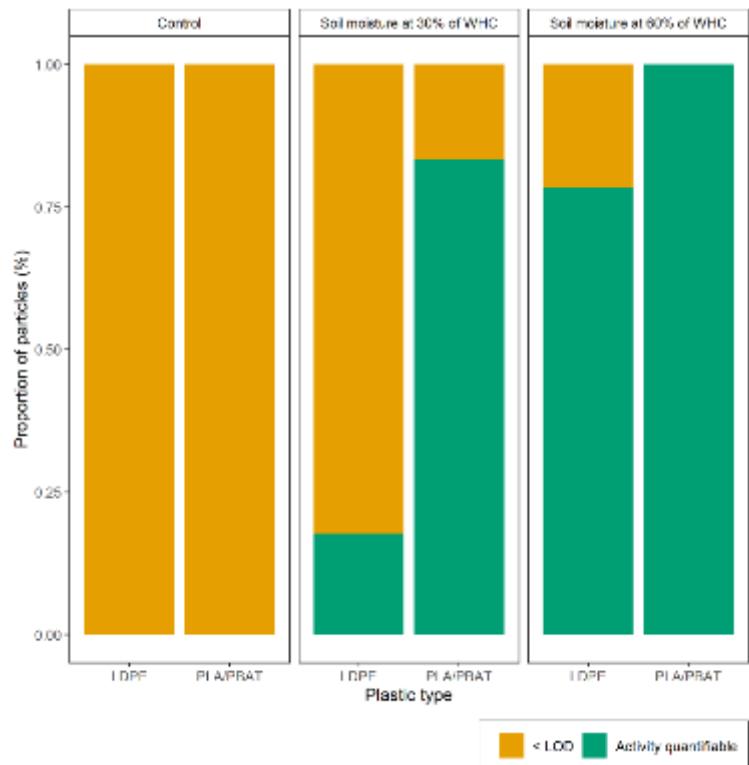


UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

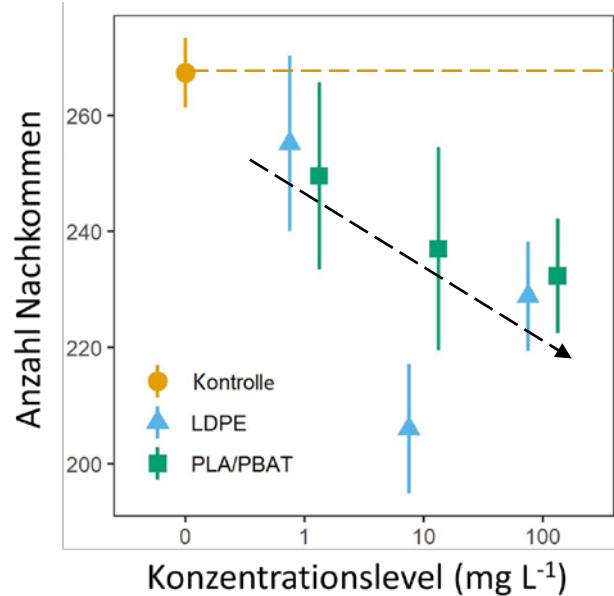
Fraunhofer
ICT

Themenbereich 3: Bodenqualität - Laborversuch

- Nicht bei allen Partikeln konnte ein Biofilm nachgewiesen werden
- Kein Unterschied zwischen den Kunststoffsorten und den Feuchtegraden des Bodens (% der WHC)



Themenbereich 3: Bodenqualität - Nematodenversuch



MKS verringern bei hohen Konzentrationen Reproduktion von *Caenorhabditis elegans* um bis 23%.

MKS < 5 µm werden von Nematoden in den Magen-Darmtrakt aufgenommen.



bei Kompostgabe von 30 Mg TS/ha*3a und vollständiger Defragmentierung der Kst.: $c=0,9 \text{ mg/L Boden}$

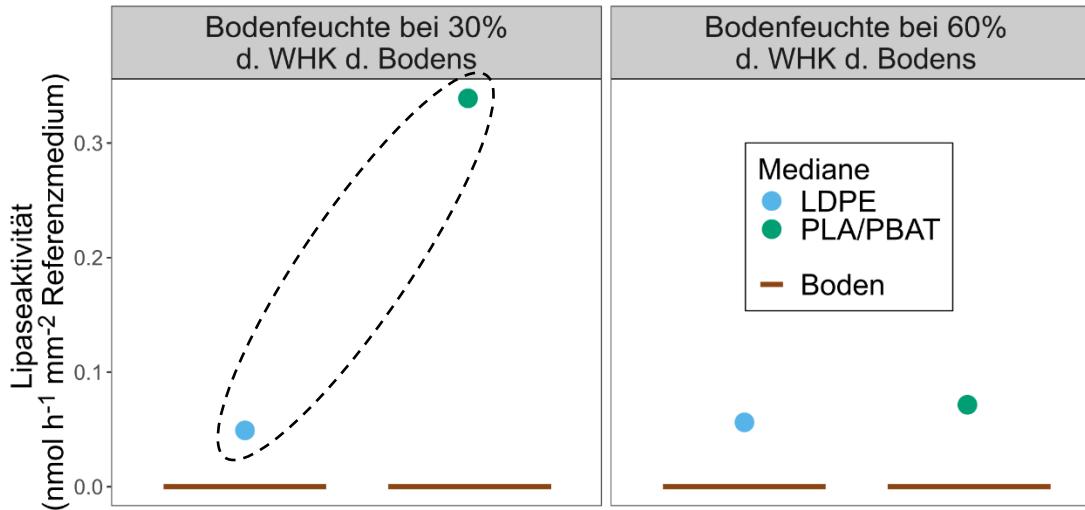
Quelle: Schöpfer et al. 2020



Baden-Württemberg



Themenbereich 3: Bodenqualität - Laborversuch



| Kunststoff | | Bodenfeuchte |
|------------|---------------|--------------|
| Art | Partikelgröße | % d. WHK* |
| Kontrolle | | 30 |
| | | 60 |
| LDPE | < 500 µm | 30 |
| | 500 - 2000 µm | 60 |
| PLA/PBAT | < 500 µm | 30 |
| | 500 - 2000 µm | 60 |

*WHK: Wasserhaltekapazität

- **Kein Abbau** der untersuchten MKS im Boden
- **Keine Auswirkung** von MKS auf Bodenfunktionen (Kohlenstoffumsatz, mikrobielle Diversität)
- **ABER:** Höhere Lipaseaktivitäten auf der Oberfläche inkubierter PLA/PBAT-Partikeln als auf LDPE-Partikeln; höhere Lipaseaktivitäten auf MKS-Partikeln als im umgebenden Boden
- „**Plastisphere**“ als mikrobielles Habitat im Boden?

(Schöpfer et al., in Vorbereitung)



Baden-Württemberg

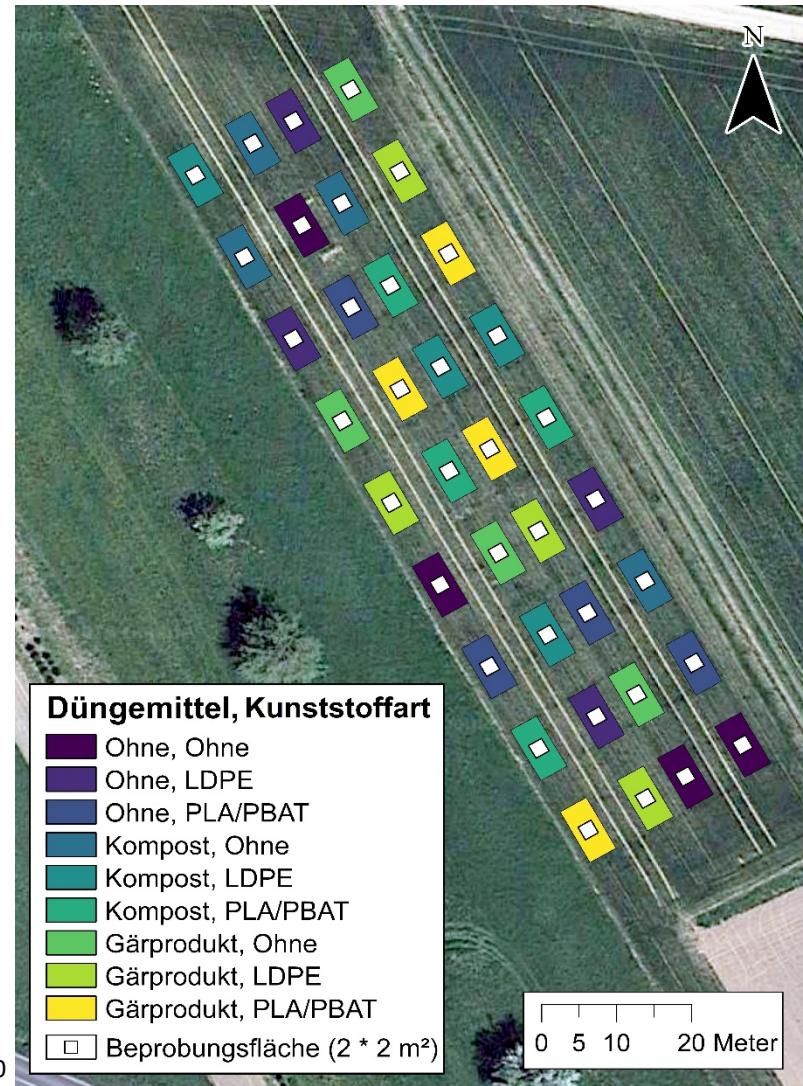


Themenbereich 3: Bodenqualität - Feldversuch



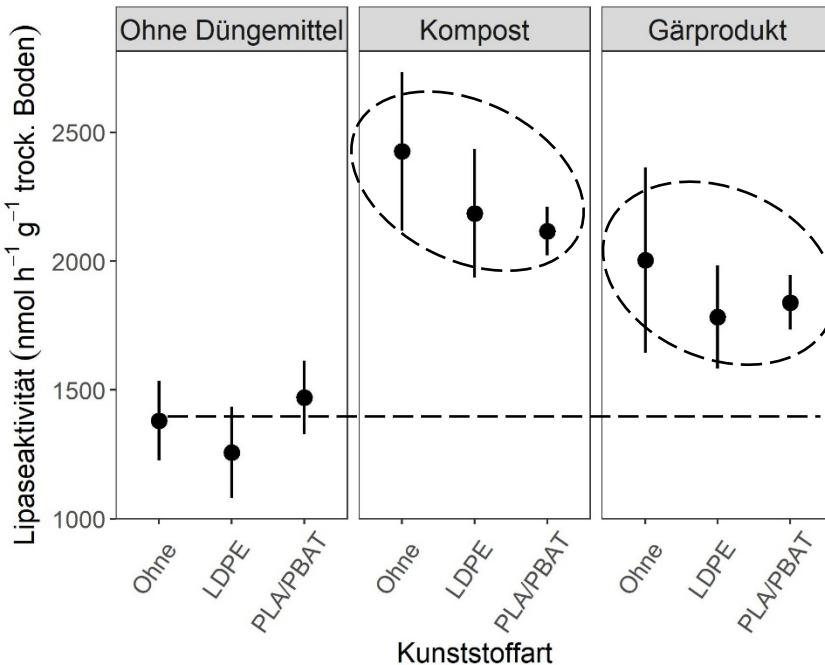
- Versuchsstation „Heidfeldhof“, Universität Hohenheim
- LDPE & PLA/PBAT (100 – 2000 µm; 20 kg / ha) kombiniert mit Kompost & Gärprodukten (10 t/ha); c=0,2% (10-faches der Konz. in Komp.)
- Konventionell bewirtschaftete Fläche (2019: Mais, 2020: Sommergerste)

Quelle: IBS Univ. Hohenheim2020

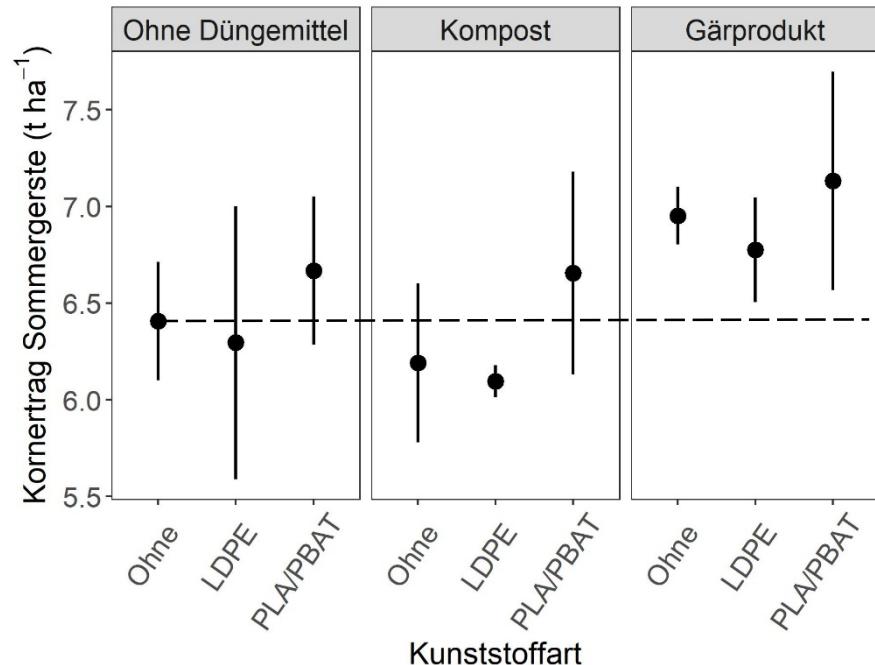


Themenbereich 3: Bodenqualität - Feldversuch

Extrazelluläre Enzymaktivitäten im Boden (Beispiel Lipase) nach 5 Monaten



Sommergerste 2020

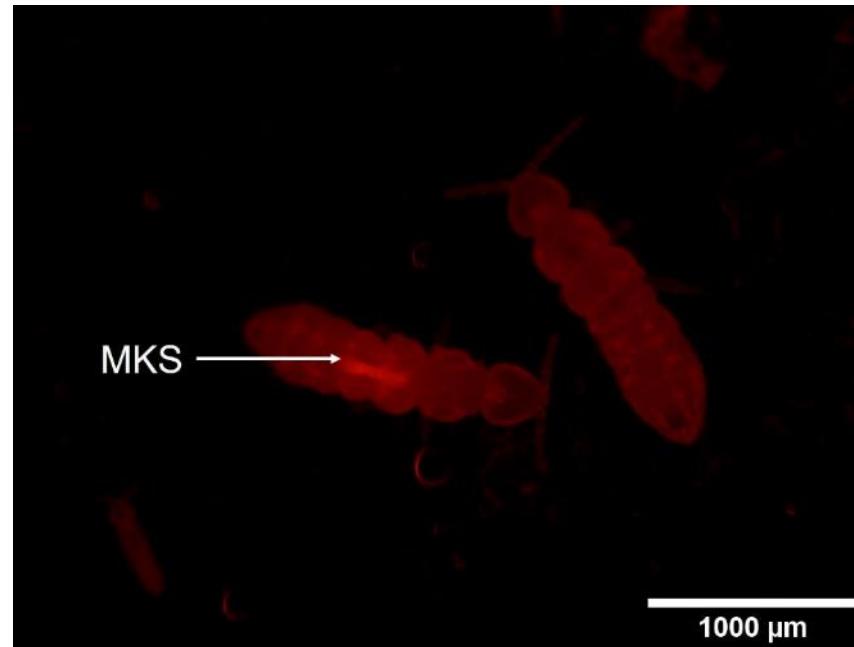


- Enzymaktivitäten:** Keine Wirkung von MKS; positive Effekte von Kompost und Gärprodukten
- Biomasseertrag:** Keine Beeinträchtigung von MKS auf den Kornertrag der Sommergerste
- MKS zeigt kurzfristig keine negativen Effekte auf die Bodenqualität

Themenbereich 3: Bodenqualität

Ökotoxikologie – Springschwänze nehmen MKS auf

- *Folsomia candida* verwechselt PLA/PBAT-Partikel mit Nahrung
- Nächster Schritt: Auswirkungen auf Nachkommenszahl ermitteln



Quelle: IBBS Univ. Stuttgart

Betrachtung auf Basis flächendeckender Untersuchungen in D

Fremdstoffpartikel in Komposten und Gärprodukten

| | Folien-Kunststoffe % TM | Hart-Kunststoffe % TM | Kunststoffe gesamt % TM | Fremdstoffe gesamt % TM | Flächen-summe cm ² /L |
|---|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Biogutkompost Arithm. Mittelwerte (n = 359) Partikel $\geq 1 \text{ mm}$ | 0,007 | 0,013 | 0,020 | 0,099 | 3,7 * |
| Grünkompost Arithm. Mittelwerte (n = 246) Partikel $\geq 1 \text{ mm}$ | 0,004 | 0,010 | 0,014 | 0,037 | 1,6 * |
| Gärprodukt Arithm. Mittelwerte (n=42) Partikel $\geq 1 \text{ mm}$ | 0,005 | 0,009 | 0,014 | 0,014 | 2,54* |

Quelle: BGK e.V. 2020

* Partikel $\geq 2 \text{ mm}$



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Kunststoffpartikel über Biokomposte und Gärprodukte

| | Kunststoff-Folien Fracht [Mg] | Hartkunststoffe Fracht [Mg] | Kunststoffe Gesamt Fracht [Mg] |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Kompost Biogut | 86 | 159 | 245 |
| Kompost Grüngut | 49 | 122 | 171 |
| Gärprodukte (flüssig) | 11 | 21 | 32 |
| Gesamt | 146 | 302 | 448 |

Berechnungsbasis: Analysenwerte der BGK e.V (2020), Mengen nach DESTATIS (2017)

≈ 5,5 g / E · a zum Vergleich: Abrieb Schuhsohlen nach Bertling et al.: 109 g/(E*a)



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Schlussfolgerungen

- Probenaufbereitung für Komposte und Gärprodukte zur Bestimmung der MKS <0,5 mm immer noch sehr zeitaufwendig
- Partikelzahlen in Komposten und Gärprodukten 3 bis 130 St./L Probe
- Nach dem Anaerobprozess sind MKS von PE und BAK zu finden
- Nach 12 Wochen Kompostierung sind MKS von PE und BAK zu finden
- MKS (PE und BAK) werden in Böden nicht abgebaut (230 d)
- MKS können bes. bei hohen Konzentrationen die Reproduktion von Nematoden verringern
- MKS zeigen kurzfristig keine negative Effekte auf die Bodenqualität
- Weitere Untersuchungen sind noch ausstehend und erforderlich
- Der Eintrag von KST über Komposte und Gärprodukte (5,5 g/E*a) ist vergleichsweise gering
- Der Eintrag von Kunststoffen in die Bioabfälle muss weiter reduziert werden (Sortenreinheit muss weiter verbessert werden)



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

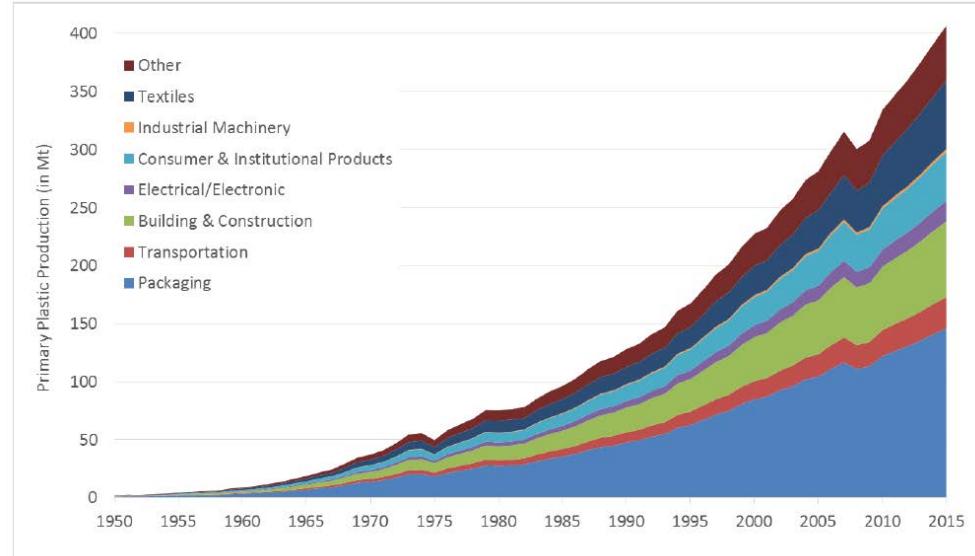


Vermeidung von Kunststoffabfällen: Wunsch und Wirklichkeit



Quelle: BMI 1979

Weltweite Plastikproduktion in Mio Mg/a



Quelle: Geyer et al., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made.

Danksagung

Gefördert durch:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

BWPLUS – Baden-Württemberg Programm, Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

