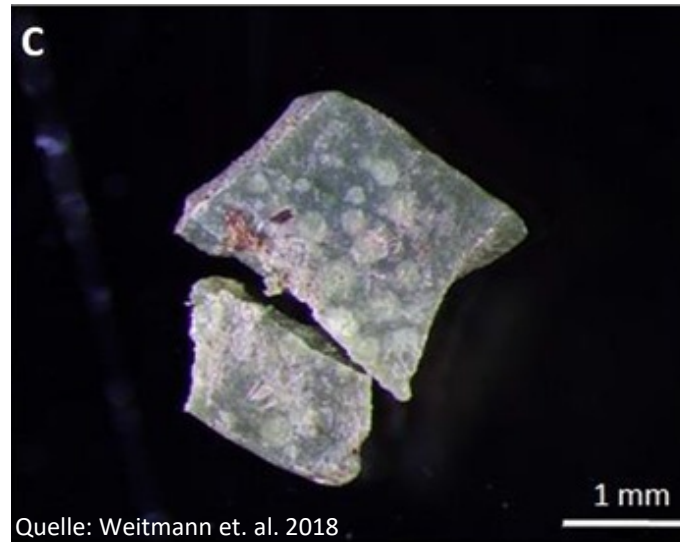


Mikrokunststoffe in Produkten aus Bioabfall

- Einträge in Böden -



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) $< 5 \text{ mm}$
- 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



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Fraunhofer
ICT

Kunststoffverbrauch in Deutschland



Quelle: CONVERSIO 2018

* entsprechend ca. 38 kg/E*a



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



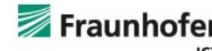
Universität Stuttgart
IBBS



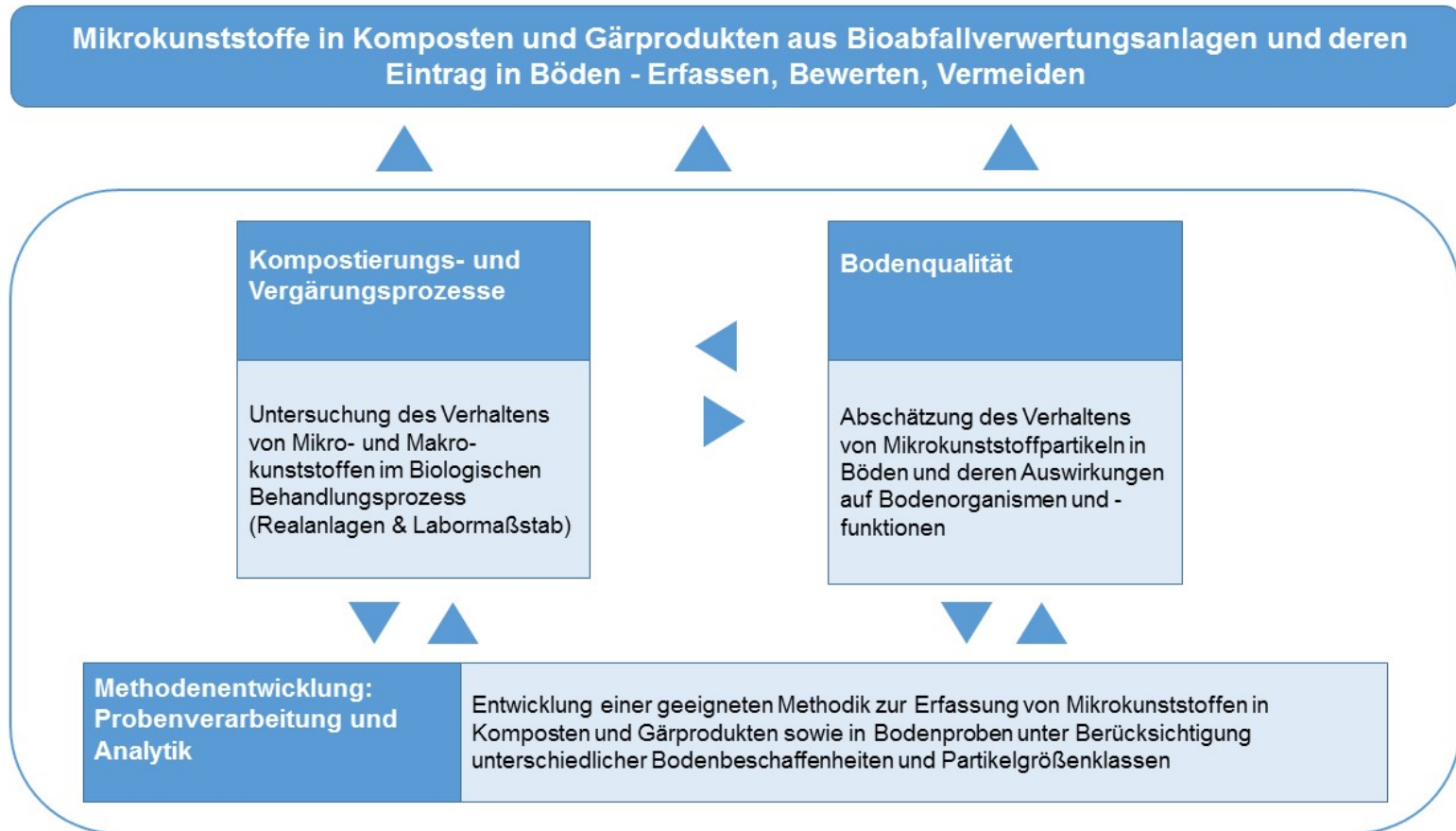
KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Struktur des Verbundvorhabens MiKoBo



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



ICT

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



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

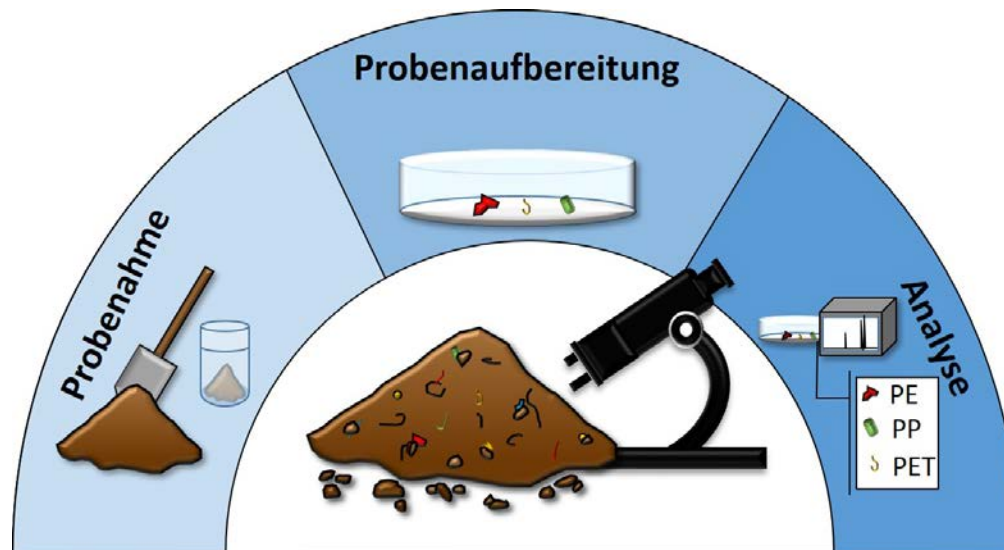


Fraunhofer
ICT

Themenbereich 1: Methodenentwicklung

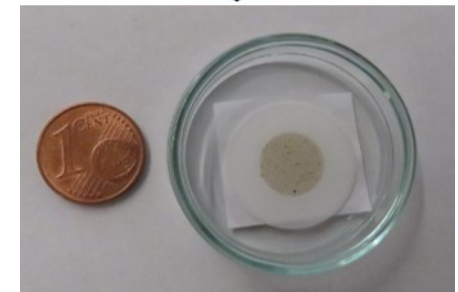
Probenaufbereitung und Analytik

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

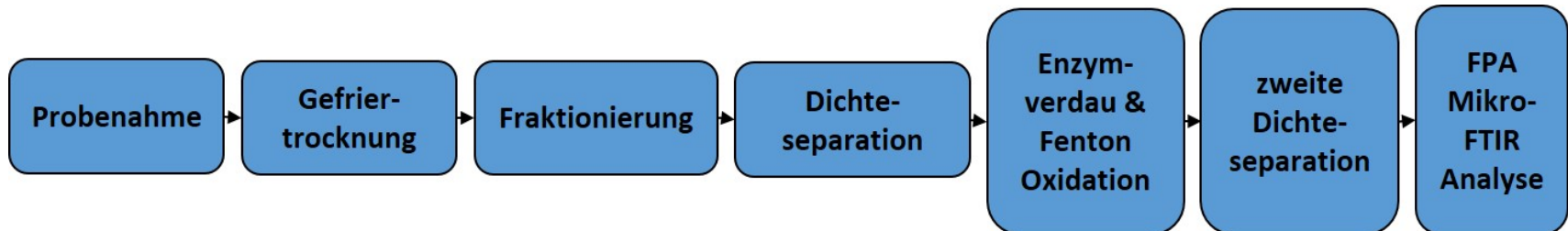


Themenbereich 1: Ergebnisse einer optimierten Analysepipeline für MKS < 500µm in Boden

- >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

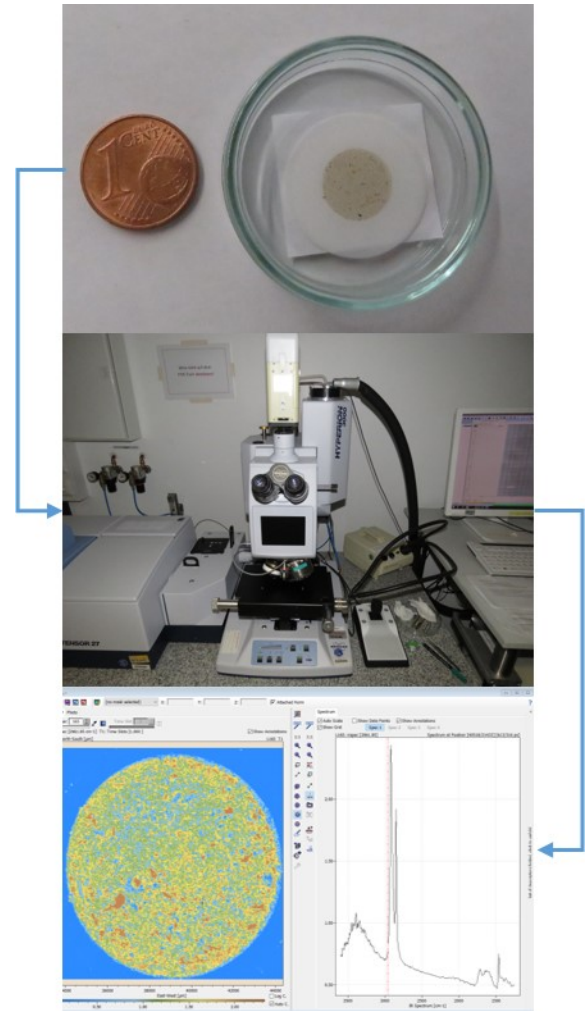


Quelle: TÖK | Univ. Bayreuth 2019



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 | 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.



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



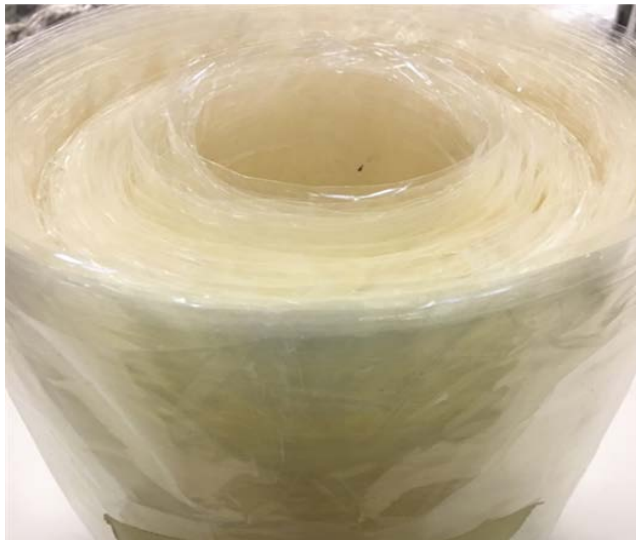
ICT

Themenbereich 1: Messmethodik

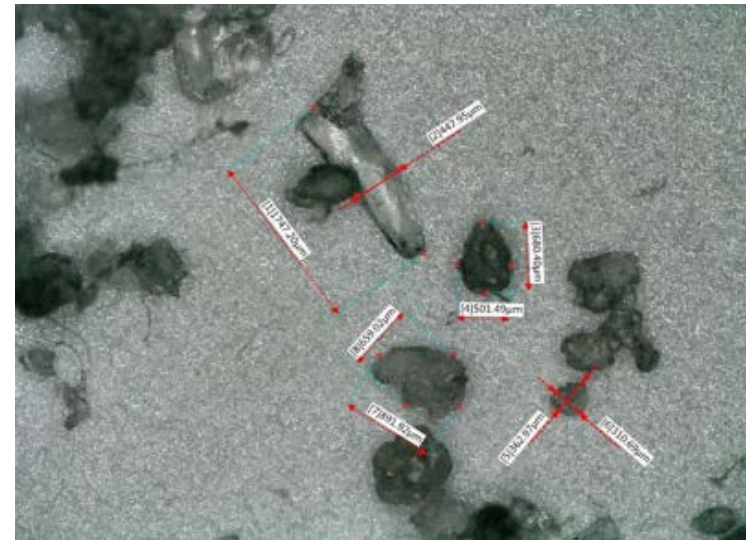
Herstellung von Referenzmaterialien



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



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



Quelle: IKT Univ. Stuttgart 2020



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Fraunhofer
ICT

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 $> 20\mu\text{m}$ untersucht

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)

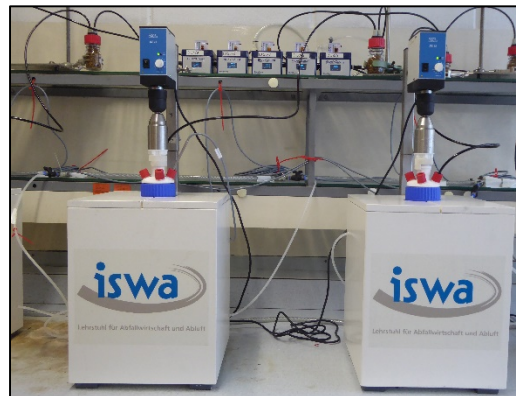
*** **Fett gedruckter Bereich** gibt die Kernbelastung an; *kursiv gedruckter Bereich* die Belastung mit Extrema (Ausnahmen)

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



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



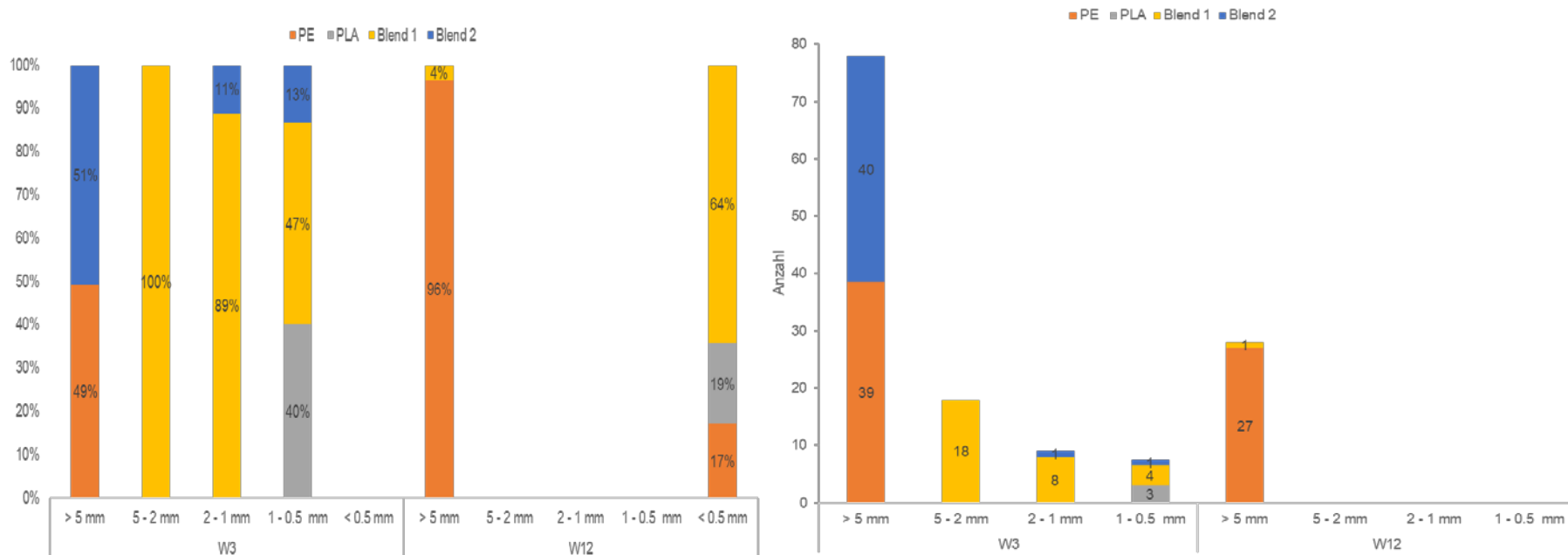
Fraunhofer
ICT

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
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



ICT

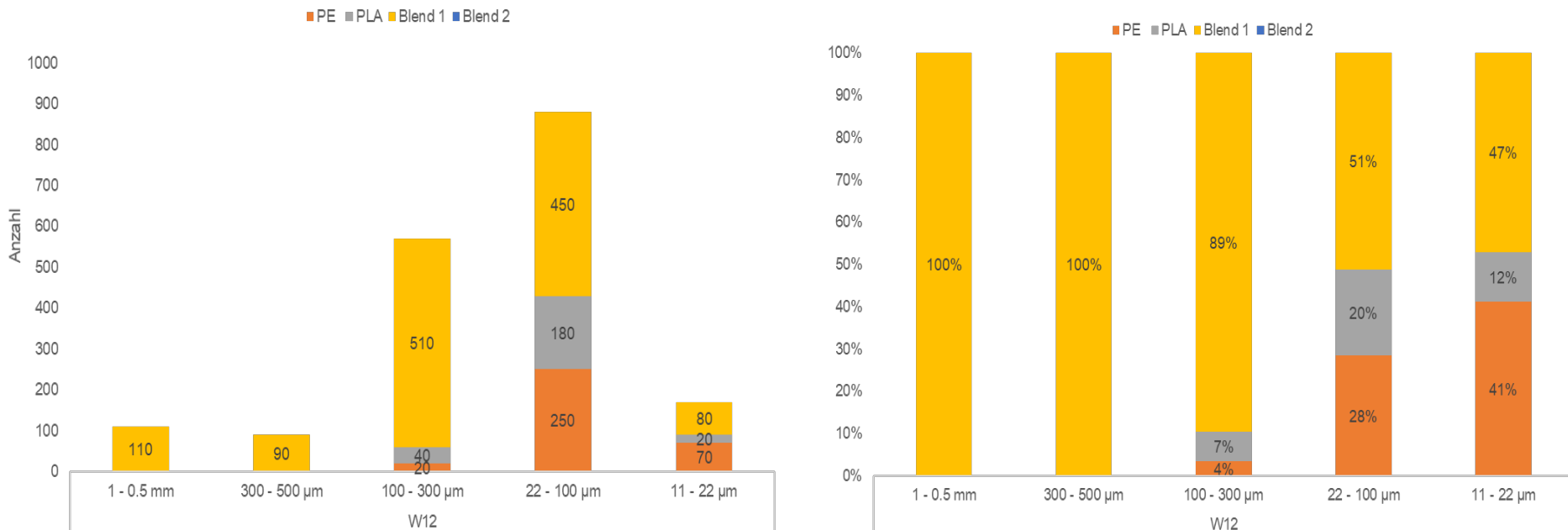
Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

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



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



ICT

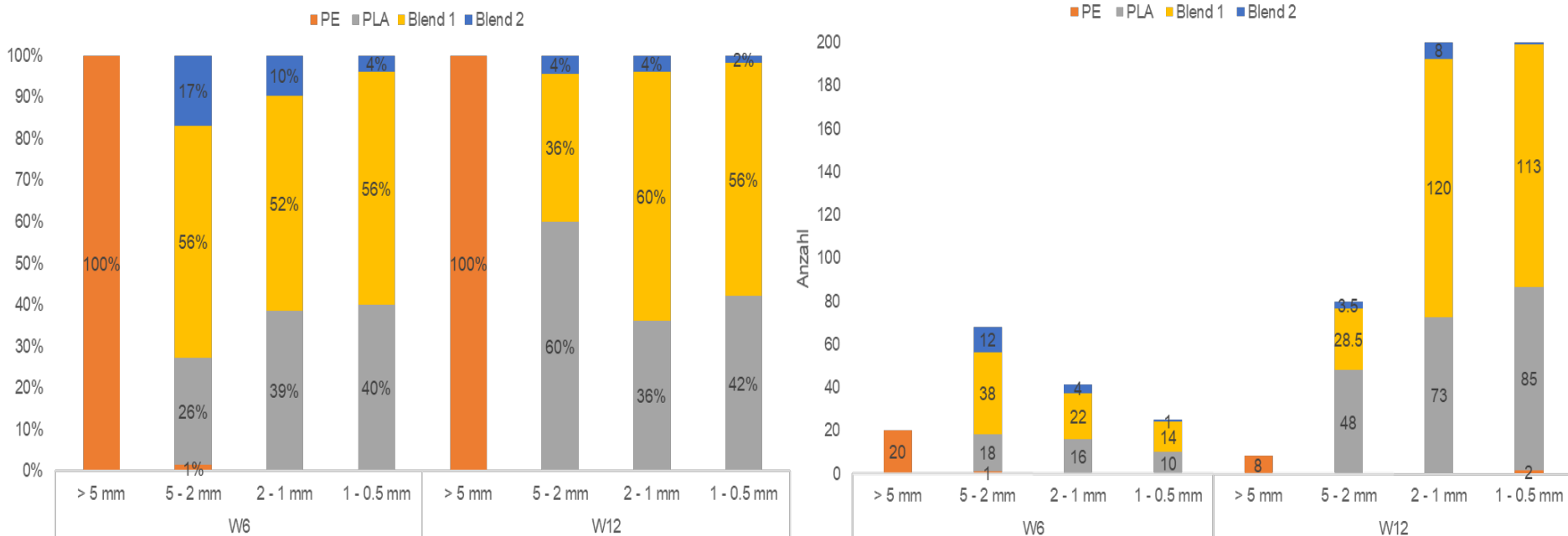
Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Laborversuche – Größenspektrum

Kompostierung 1, semi-dynamisch

Substrat: synthetischer Bioabfall

Größenspektrum in einem Liter Probe nach 6 und 12 Wochen



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTGART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



ICT

Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Detailansicht der Folienstücke



Originalgröße der Folie
15 mm x 15 mm

Fragmentierte Folie
< 5 mm

Quelle: ISWA Univ. Stuttgart 2020



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



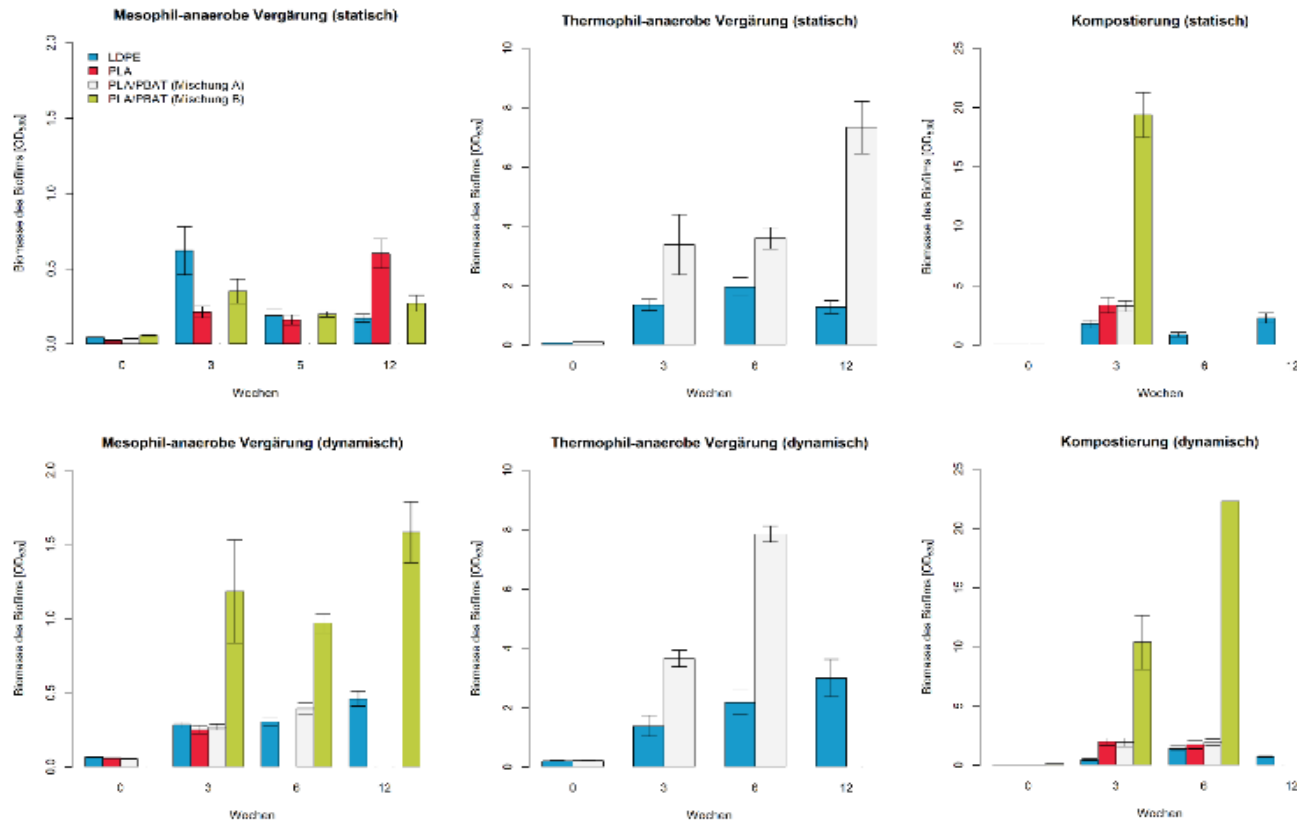
UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Vergärung - Kunststoff wird mit Biofilm bewachsen

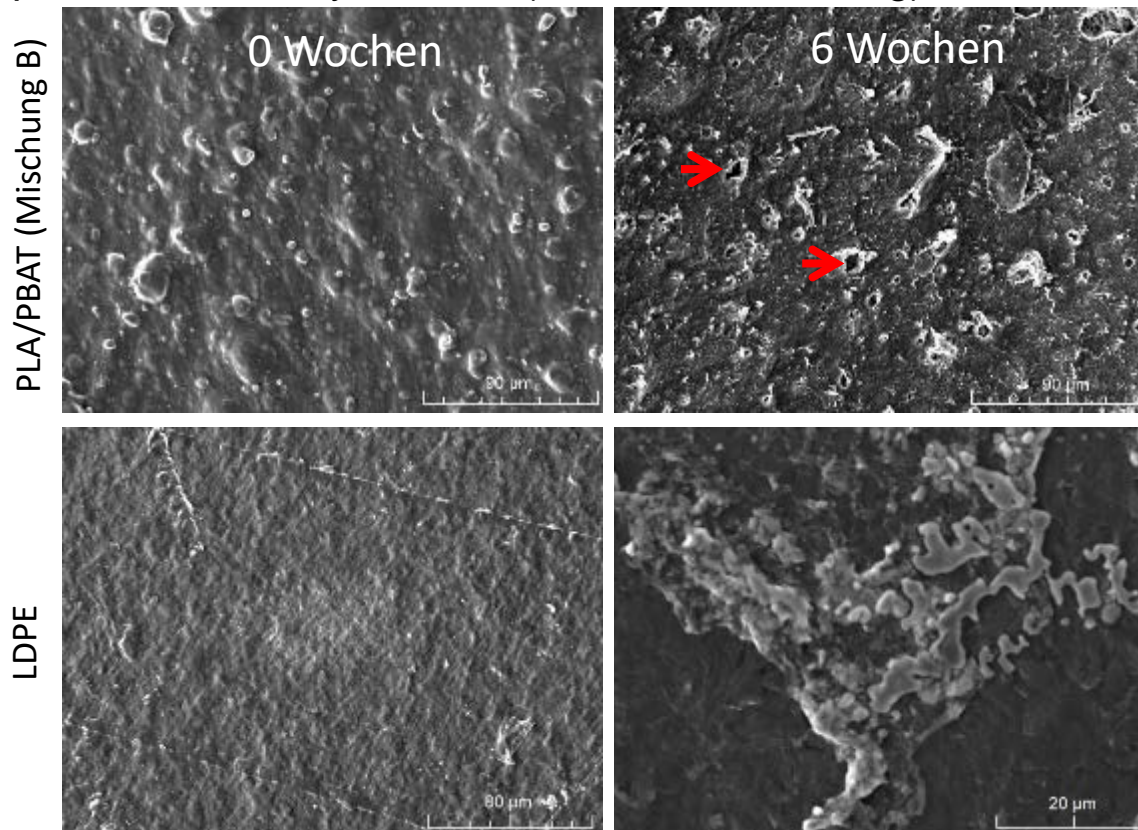
- Biomasse des Biofilms stark abhängig von Prozessbedingungen
- Bewuchs unterschiedlich stark bei den Kunststoffen



Themenbereich 2: Kompostier- und Vergärungsprozesse

Vergärung – Oberfläche wird bei Biokunststoff angegriffen

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



Quelle: IBBS Univ. Stuttgart 2020



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



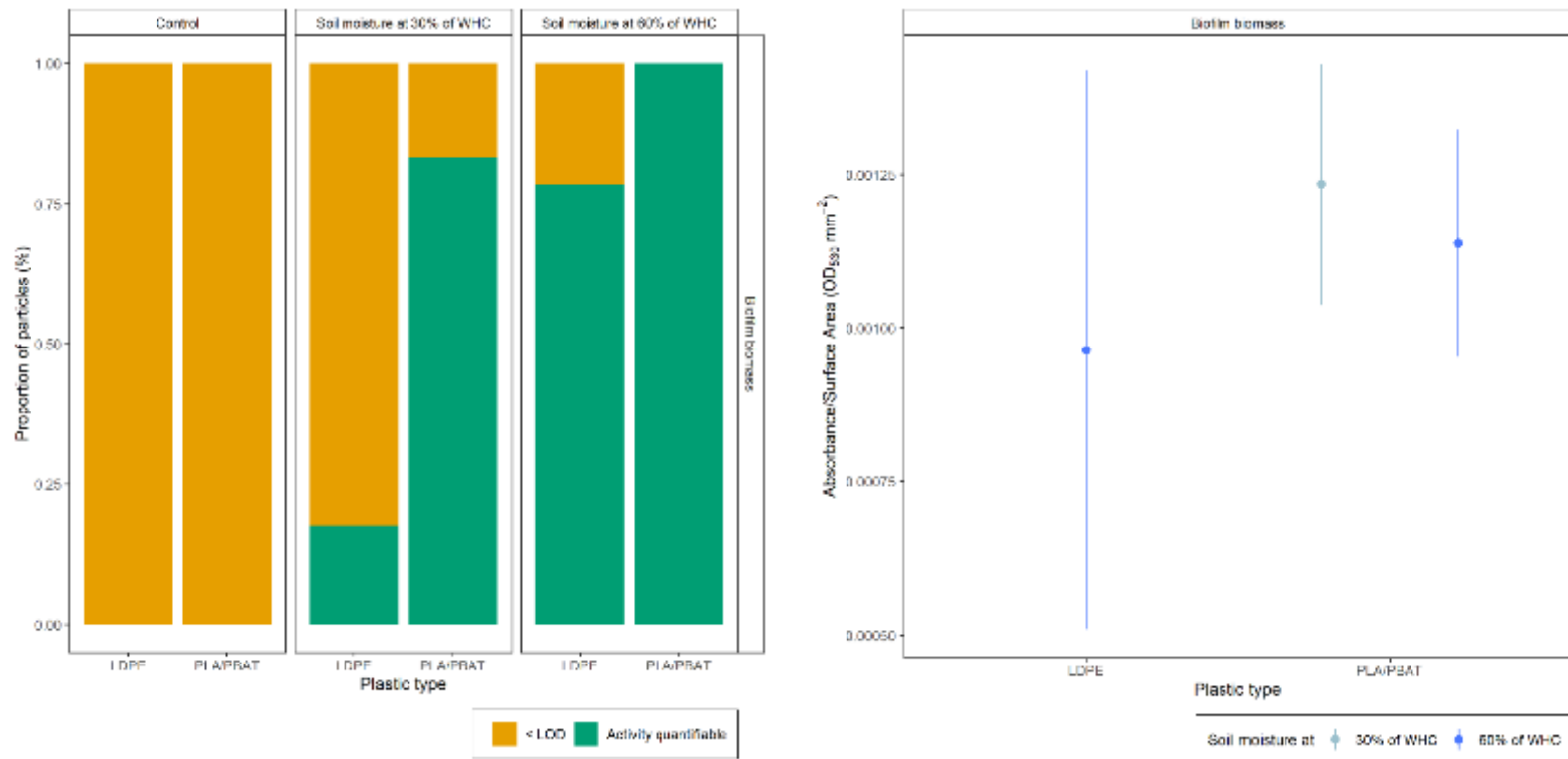
UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



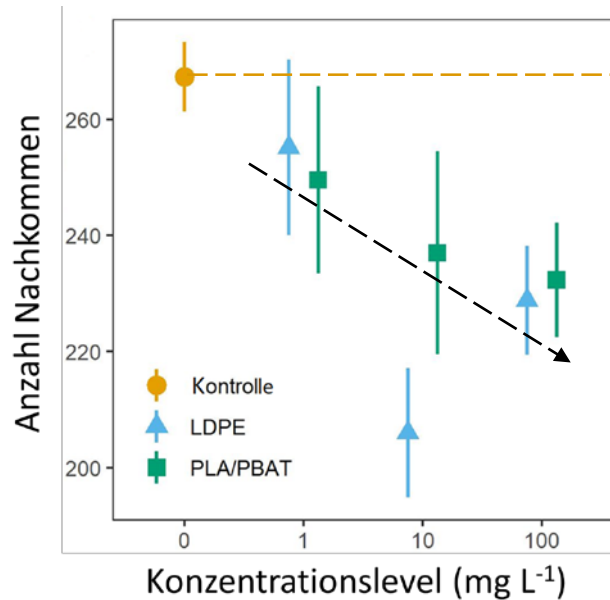
Fraunhofer
ICT

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%.

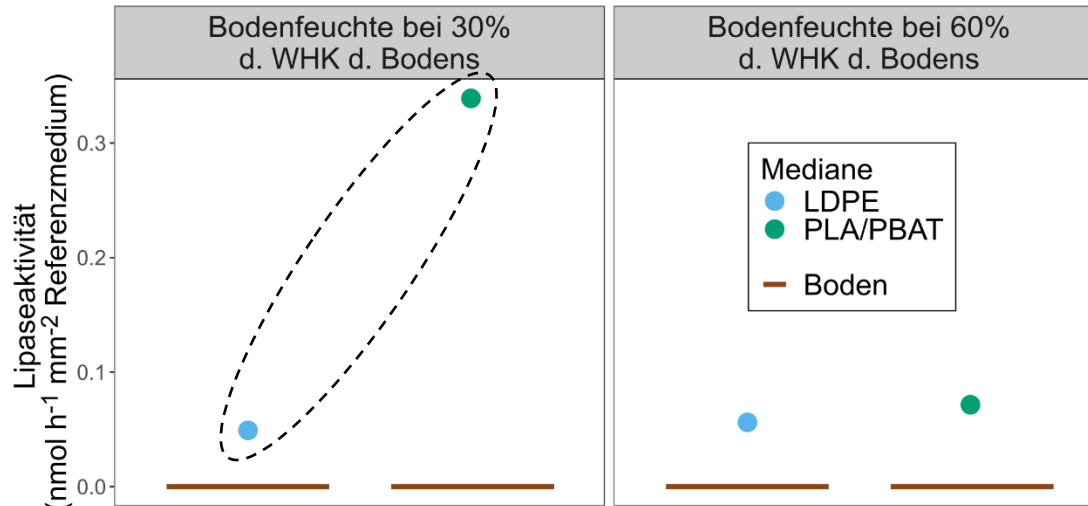
MKS < 5 µm werden von Nematoden in den Magen-Darmtrakt aufgenommen.

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

Quelle: Schöpfer et al. 2020



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



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



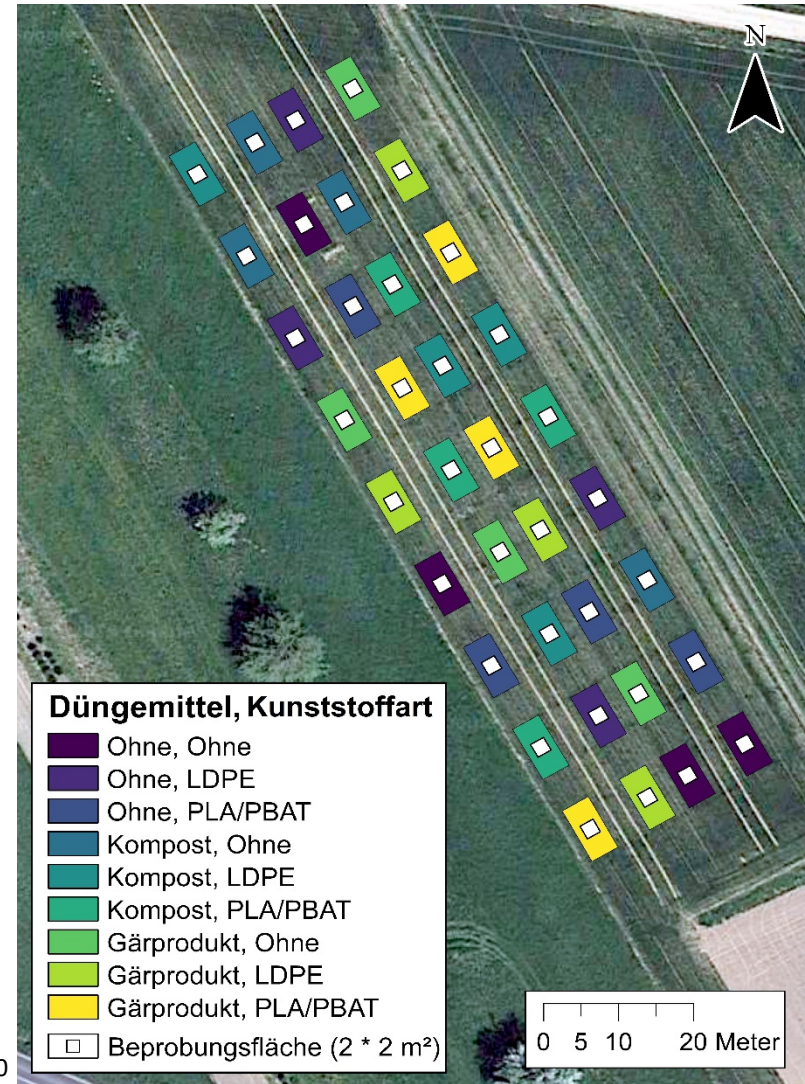
ICT

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



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



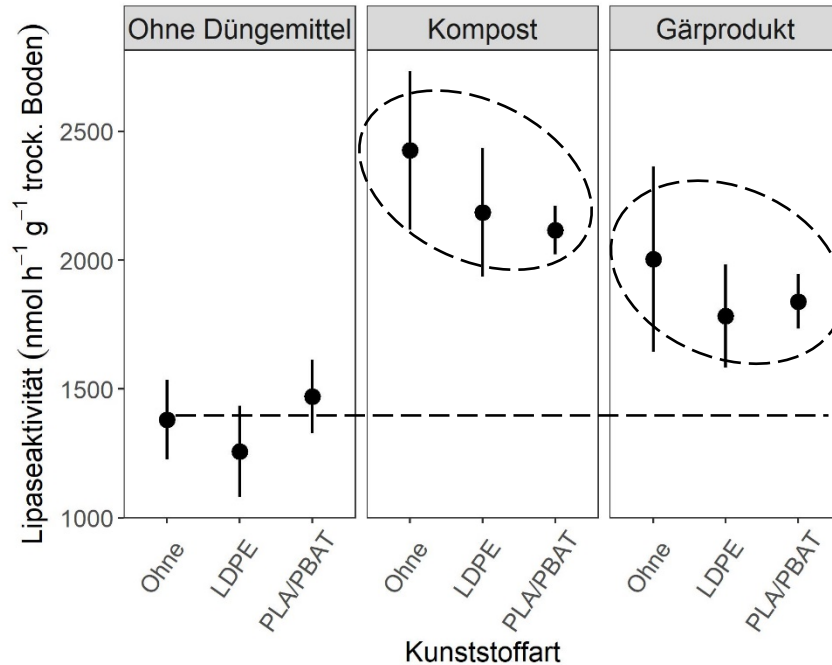
UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



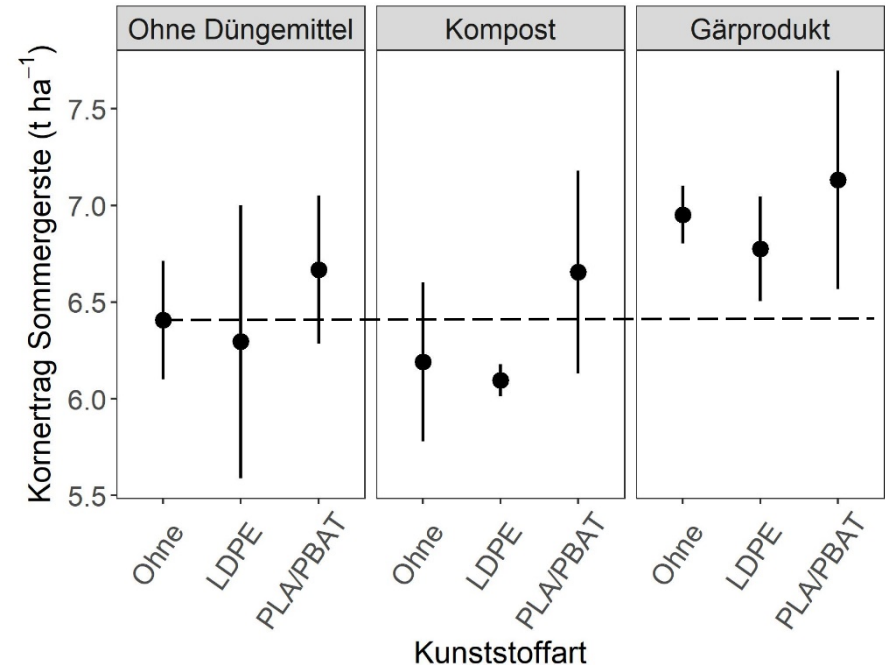
ICT

Themenbereich 3: Bodenqualität - Feldversuch

Extrazelluläre Enzymaktivitäten im
Boden (Beispiel Lipase) nach 5 Monaten



Sommergerste 2020

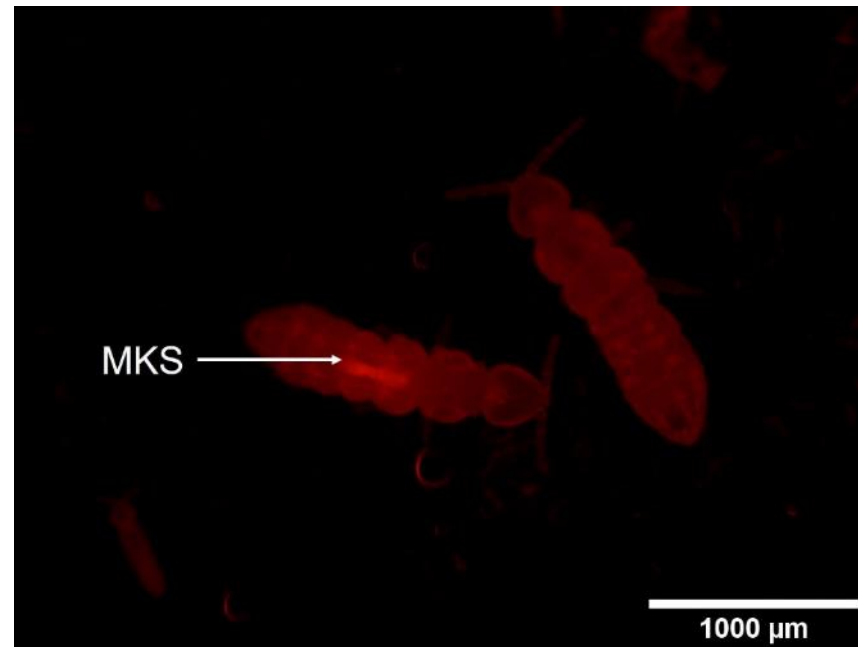


- **Enzymaktivitäten:** Keine Wirkung von MKS; positive Effekte von Kompost und Gärprodukten
 - **Biomasseertrag:** Keine Beeinträchtigung von MKS auf den Korntrag der Sommergerste
- MKS zeigt kurzfristig keine negativen Effekte auf die Bodenqualität

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
STUTTART



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)

$\triangleq 5,5 \text{ g} / \text{E} \cdot a$ zum Vergleich: Abrieb Schuhsohlen nach Bertling et al.: $109 \text{ g}/(\text{E} \cdot a)$



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTT GART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Schlussfolgerungen

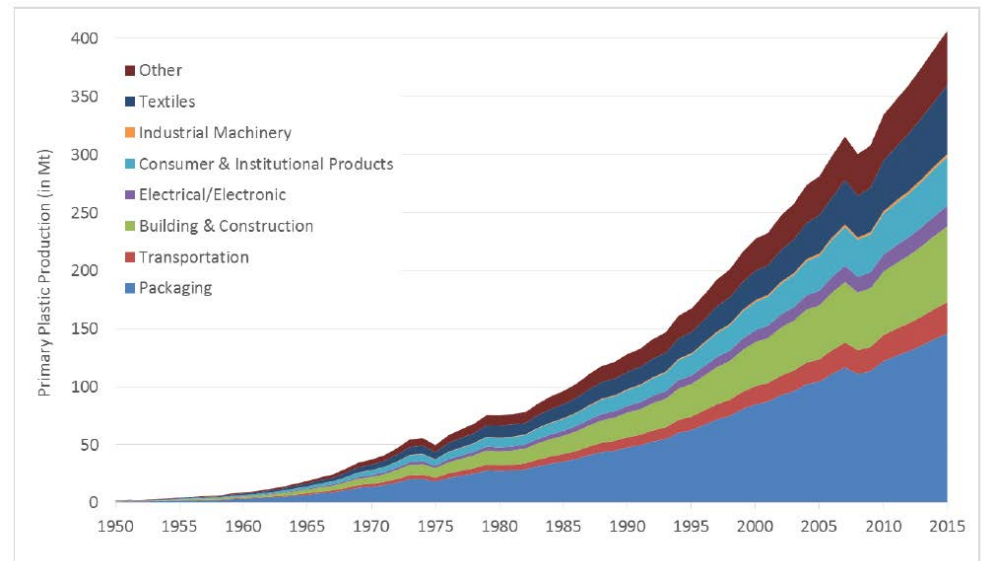
- Probenaufbereitung für Komposte und Gärprodukte zur Bestimmung der MKS <0,5 mm immer noch sehr zeitaufwendig
- Partikelzahlen in Komposten und Gärprodukten 3 bis 130 St./L Probe
- Nach dem Anaerobprozess sind MKS von PE und BAK zu finden
- Nach 12 Wochen Kompostierung sind MKS von PE und BAK zu finden
- 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)

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.



Baden-Württemberg



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Universität Stuttgart
IBBS



KUNSTSTOFF
TECHNIK
STUTTART



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Fraunhofer
ICT

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

