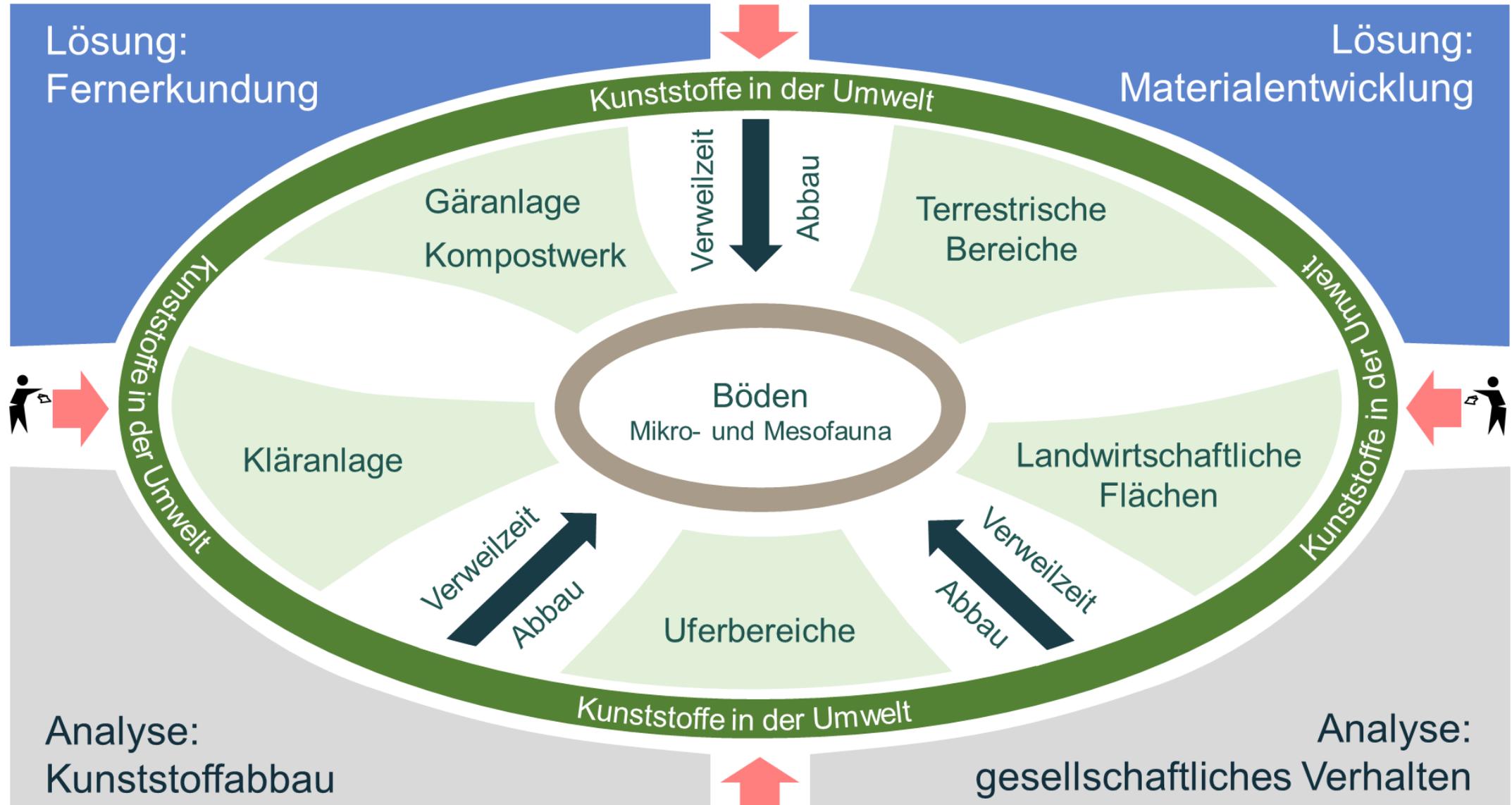
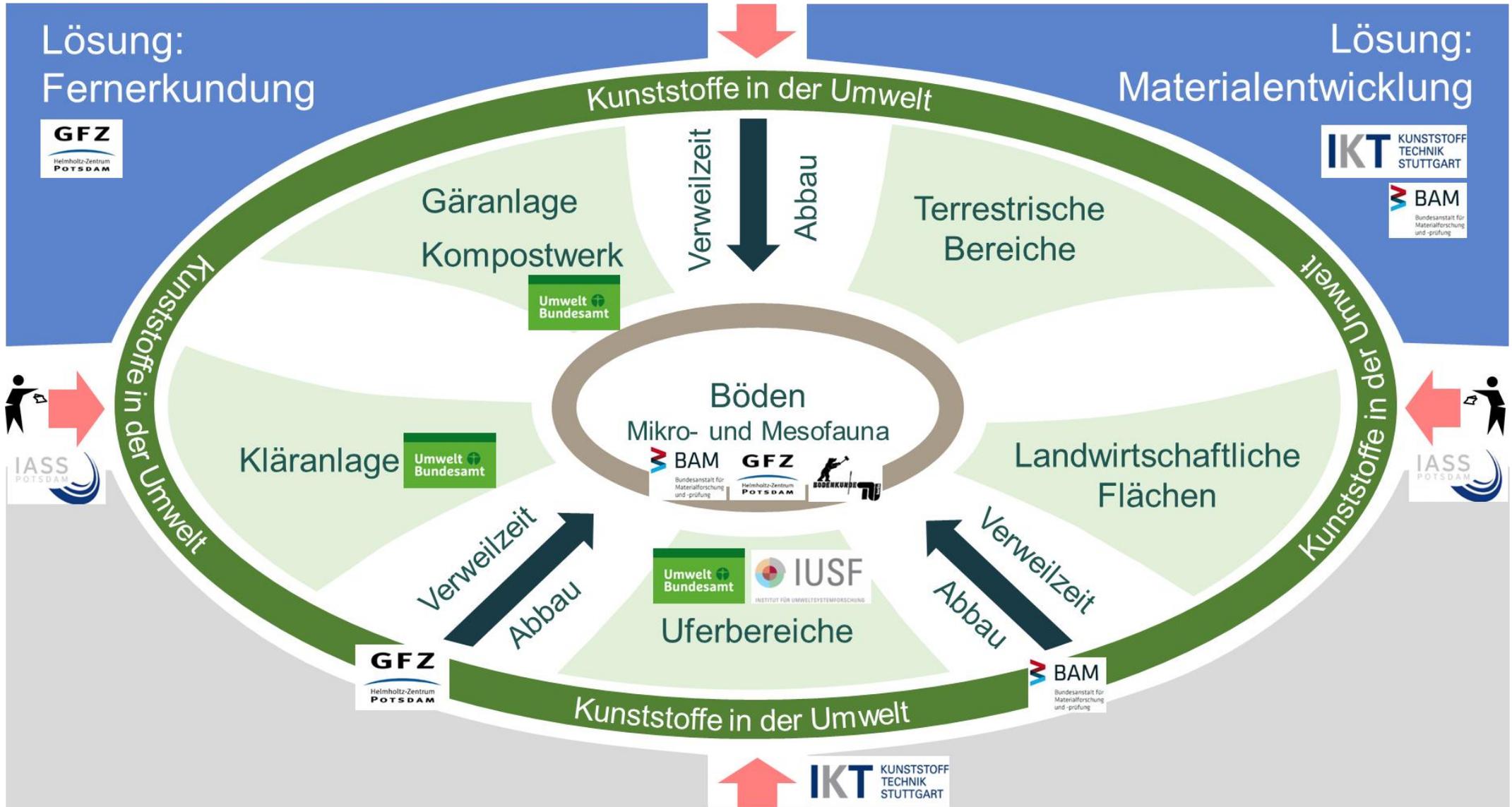


ENSURE - Entwicklung Neuer Kunststoffe für eine Saubere Umwelt unter Bestimmung Relevanter Eintragspfade

Plastik in der Umwelt – Abschlusskonferenz
20.–21. April 2021

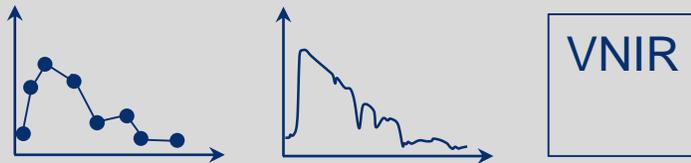
Prof. Dr. rer. nat.
M. Kreuzbruck





- 1 Simulationsstudie zur Detektierbarkeit und Identifizierbarkeit von Plastik in der terrestrischen Umwelt mit historischen, aktuellen, zukünftigen und für Kunststoffe optimierten Satellitensensoren

Spektr. Auflösung & Wellenlängenbereich

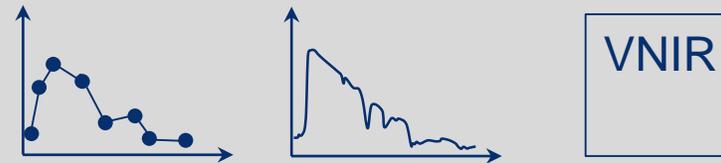


Skalenbereich



- 2 Robuste, automatische und übertragbare Klassifizierungsmethoden, einsetzbar auf allen Skalen und Spektralbereichen zur Detektion (superspektral) und Identifikation (hyper-spektral) von Plastik(arten)

Spektr. Auflösung & Wellenlängenbereich



Skalenbereich



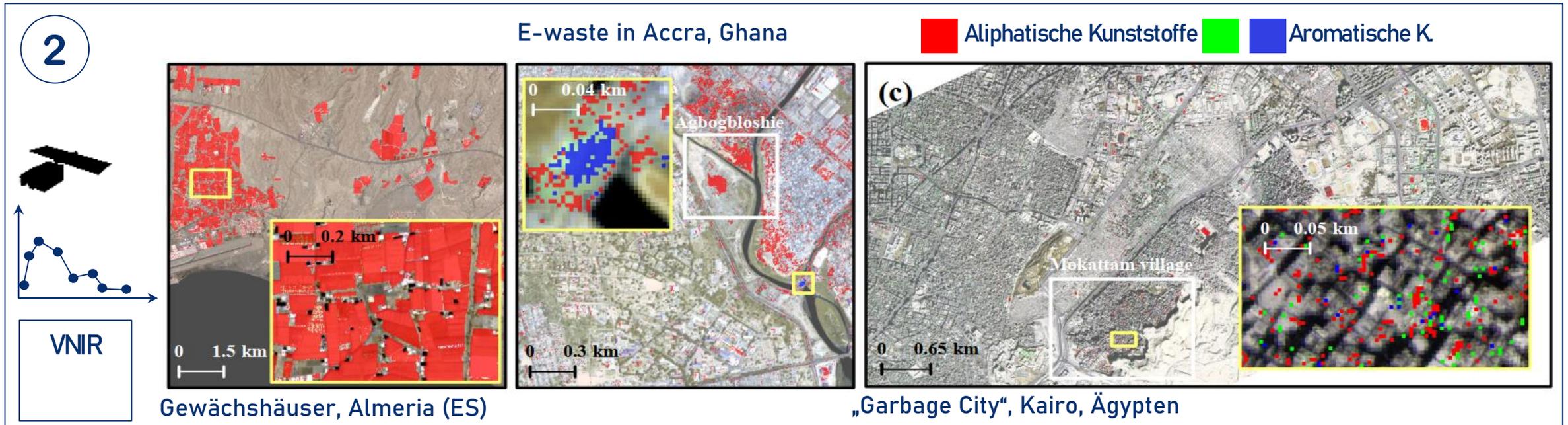
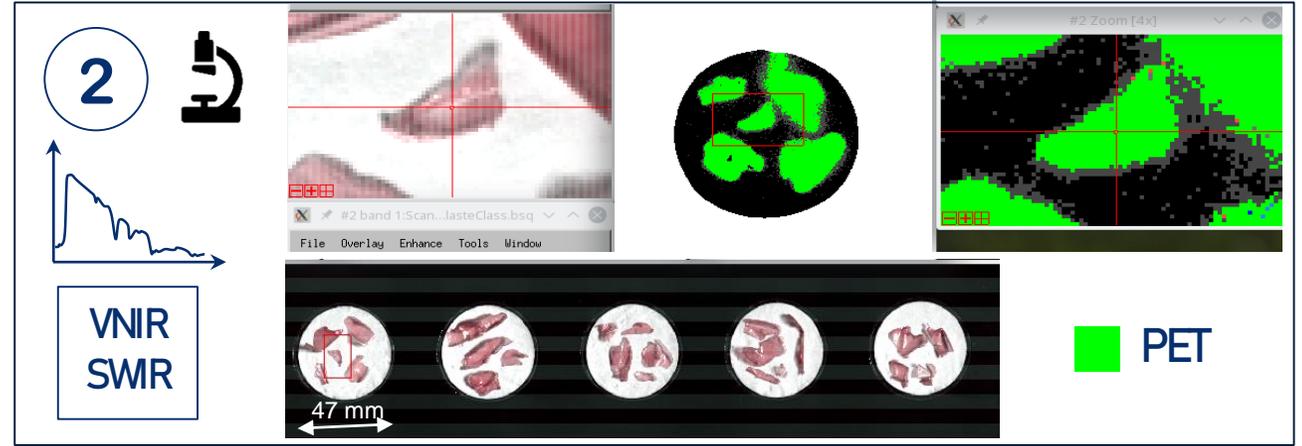
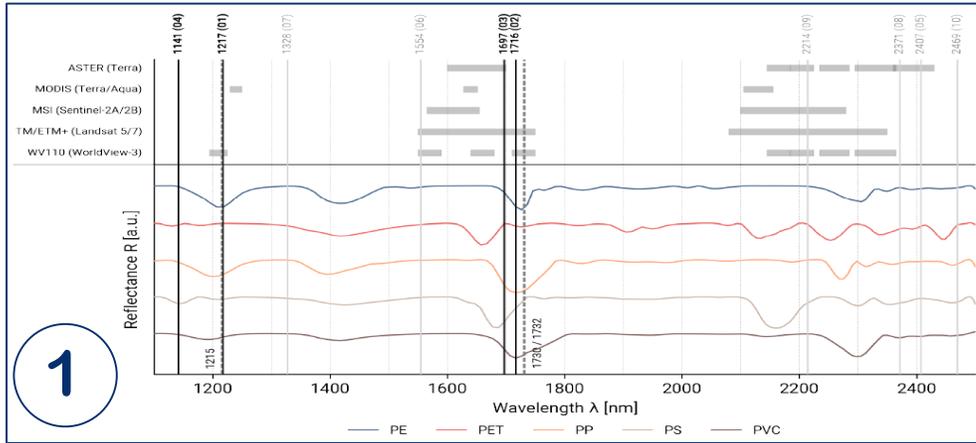
- 3 Definition eines Low-Cost Multi-Sensor-Systems zur Detektion und Identifikation von Plastik in der terrestrischen Umwelt inklusive Machine Learning Algorithmen

Spektr. Auflösung & Wellenlängenbereich



Skalenbereich

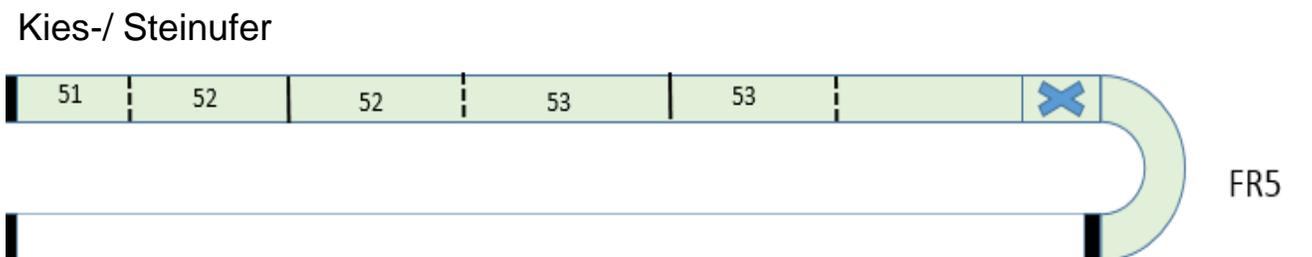
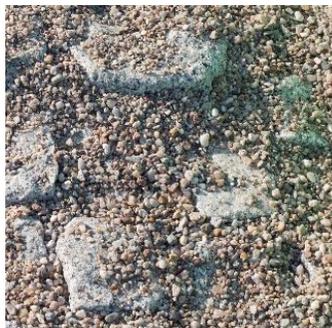
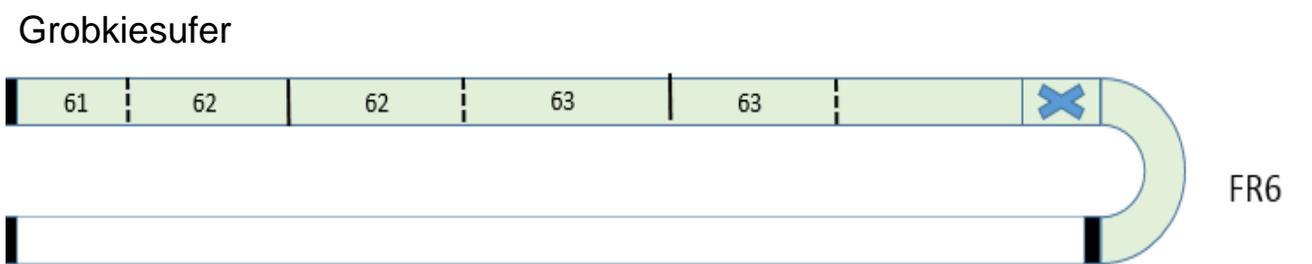
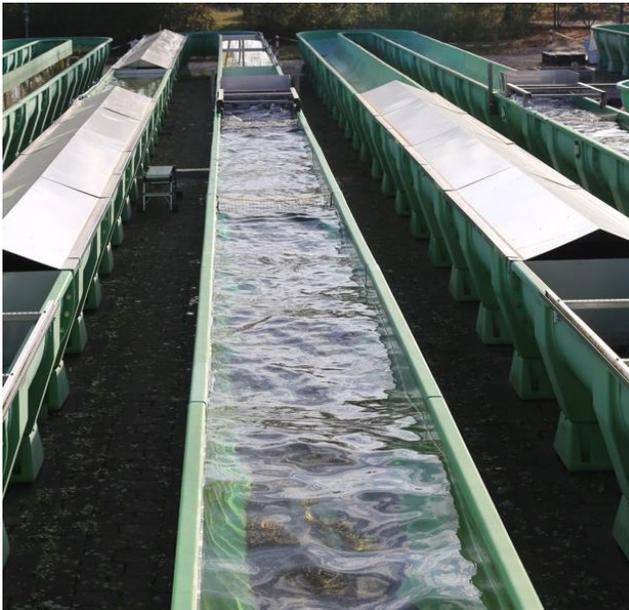
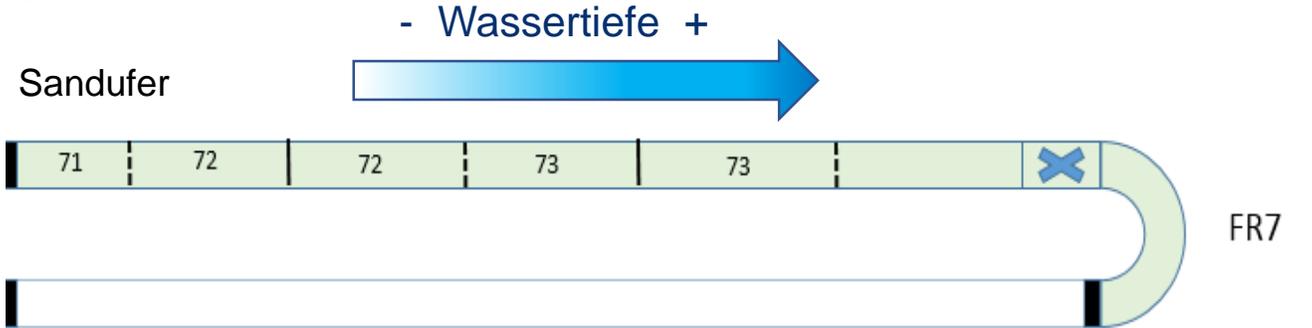




Mechanische Degradation

Fragmentierung im semiterrestrischen Bereich

Aufbau der FSA-Freilandmesokosmen (2018-2020)

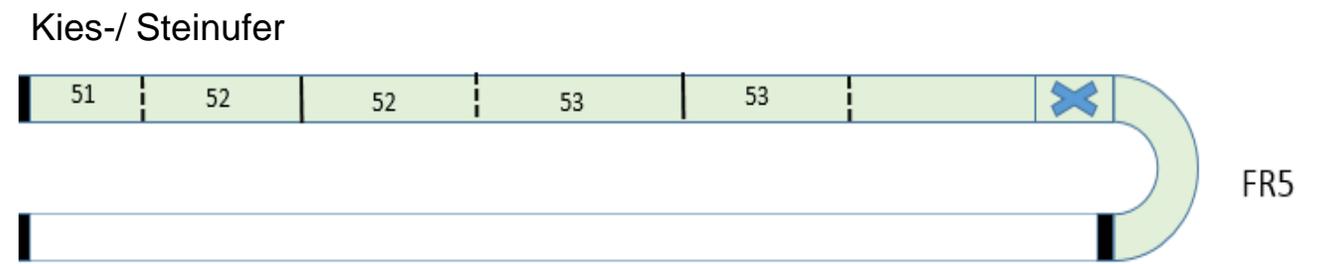
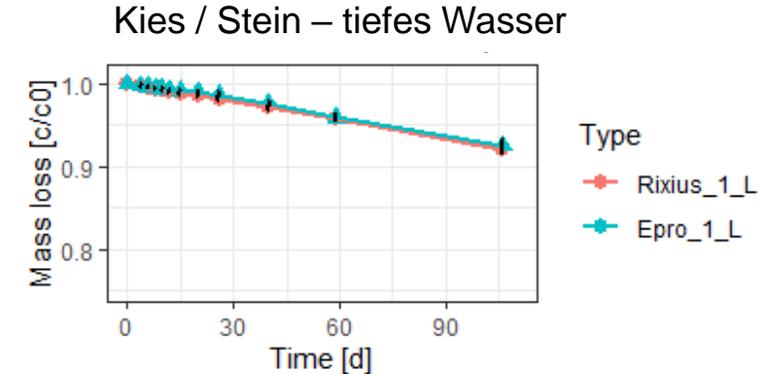
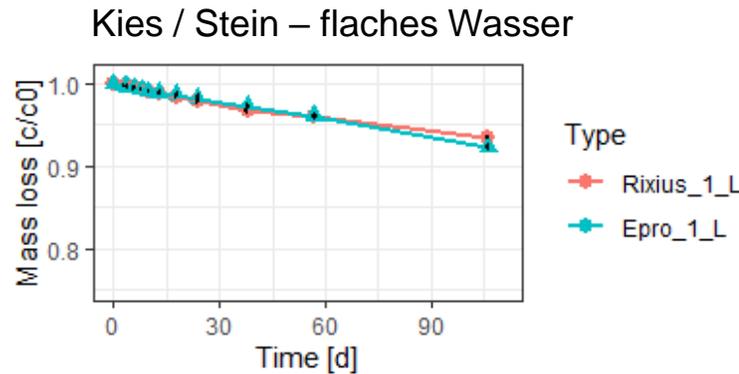
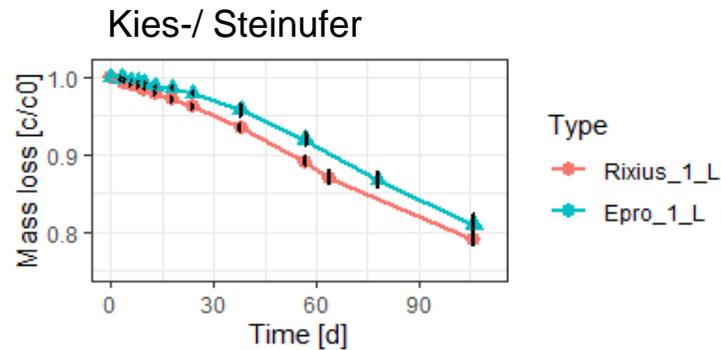
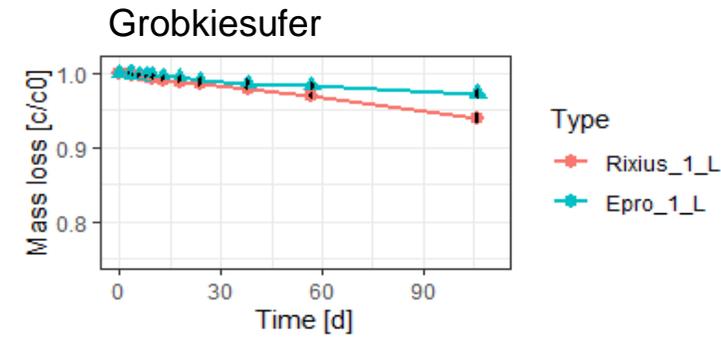
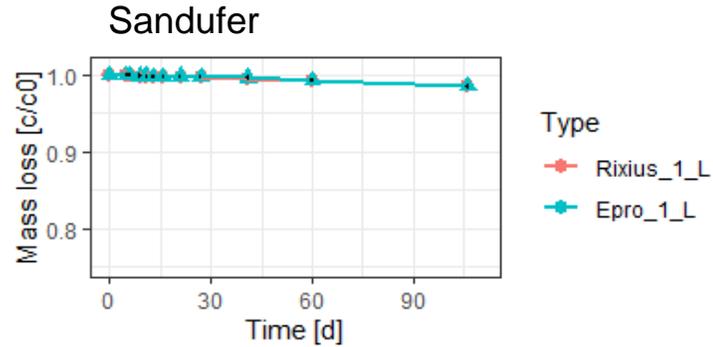


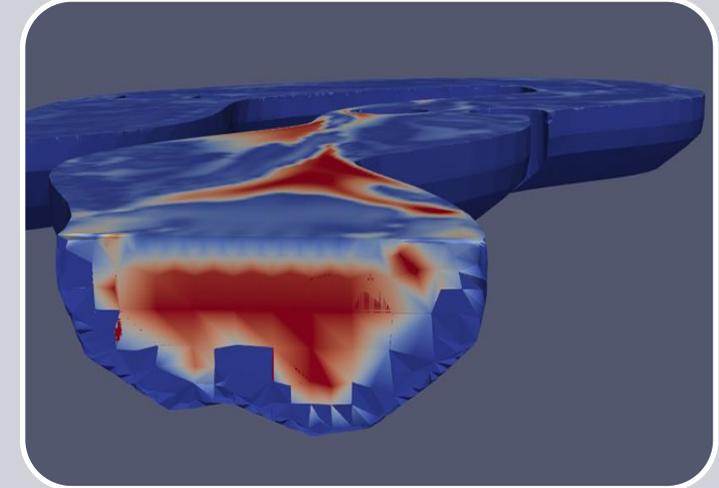
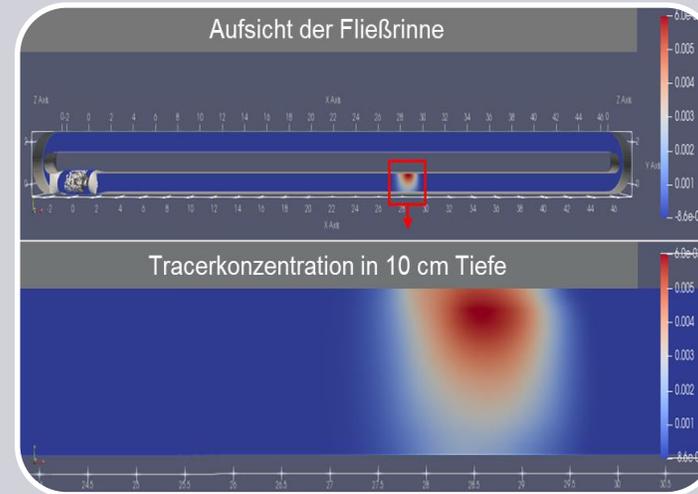
Mechanische Degradation

Fragmentierung im semiterrestrischen Bereich



Ufer- und Tiefenabhängiger Massenverlust 1 L PET Flaschen





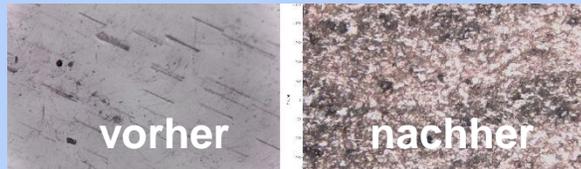
Tracerversuche in
Fließrinnen des
Umweltbundesamtes

Simulation der
Tracerbewegung in der
Fließrinne

Simulation von
Plastikpartikeln in der
fließenden Welle

Laborversuche zur mechanischen Zerkleinerung in der Umwelt

Abrasion



Oberfläche (10x)

- Abrieb von der Oberfläche des Plastikmaterials, z.B. durch Sandpartikel
- **Oberfläche wird rau** und die Dicke des Plastik nimmt ab; das Plastikobjekt wird mit der Zeit löchrig
- Es entsteht sekundäres Mikroplastik im unteren Mikrometer- oder Nanometer-Bereich

Fragmentierung

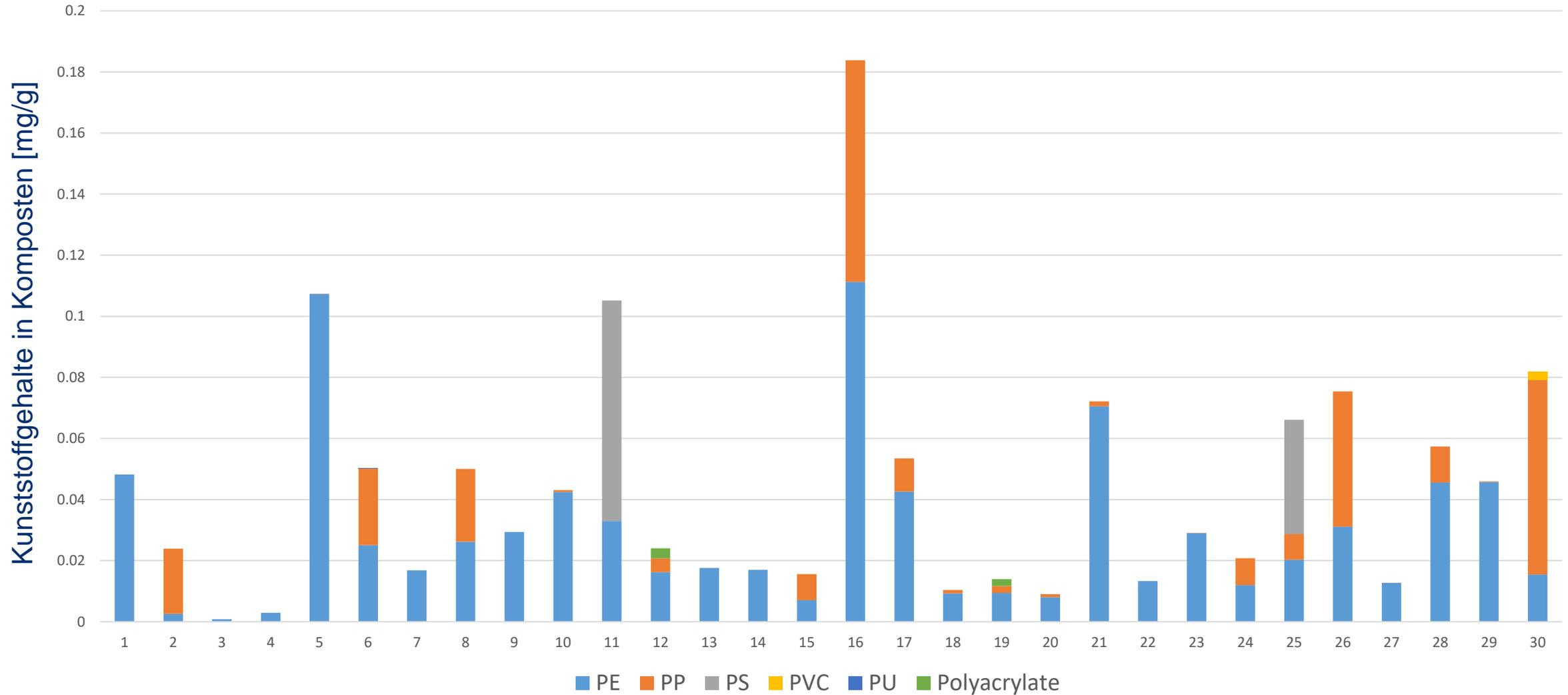


- Sequentielles Zerbrechen von größeren Objekten in immer kleinere Stücke (Fragmente) ähnlicher Größe
- „Kollision“ mit harten Oberflächen (z.B. Kiesbett, Felsen) als Auslöser
- Änderung der Größenklassenverteilung ist durch **Potenzgesetz** beschreibbar

Prozesse finden häufig gleichzeitig statt und können nicht auseinander gehalten werden

Mikrokunststoffpartikel in Komposten

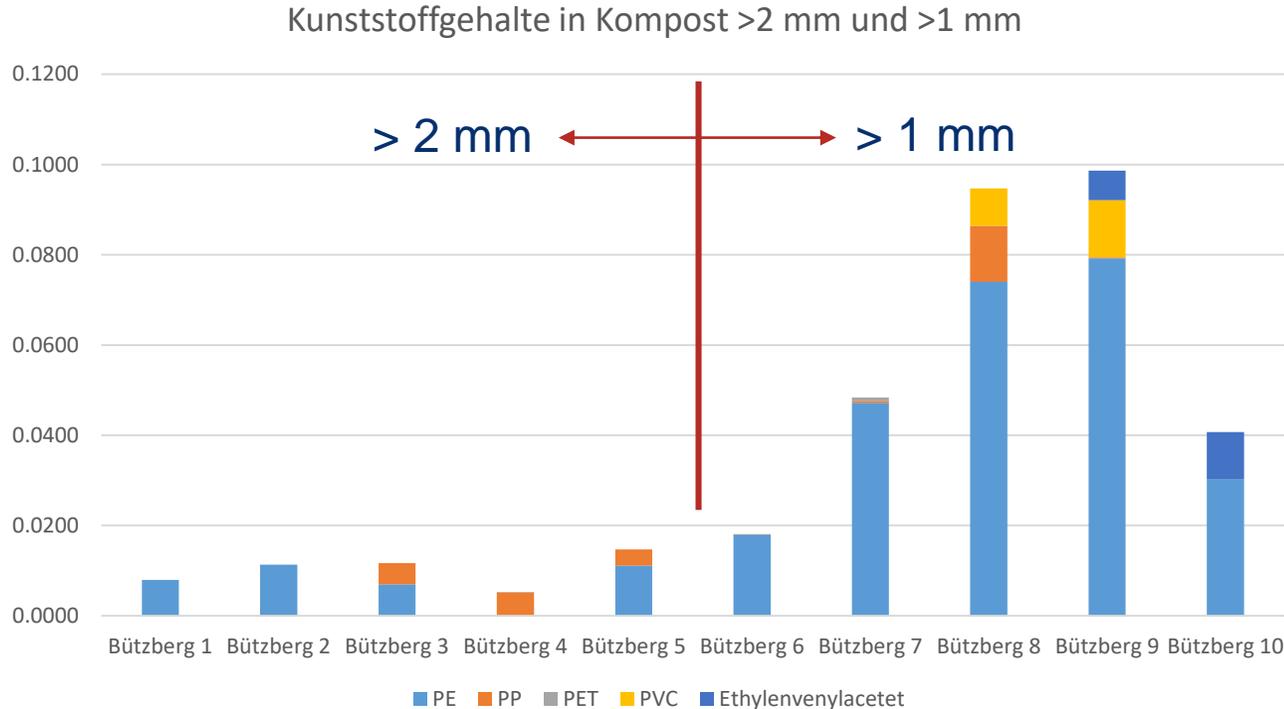
1 L Untersuchungsvolumen; Fraktion > 1mm (entsprechend DüMV)



*Detektion mittels ATR-FTIR; 30x 1L Einzelproben vom 25.11.2019

Kunststoffgehalte in Komposten

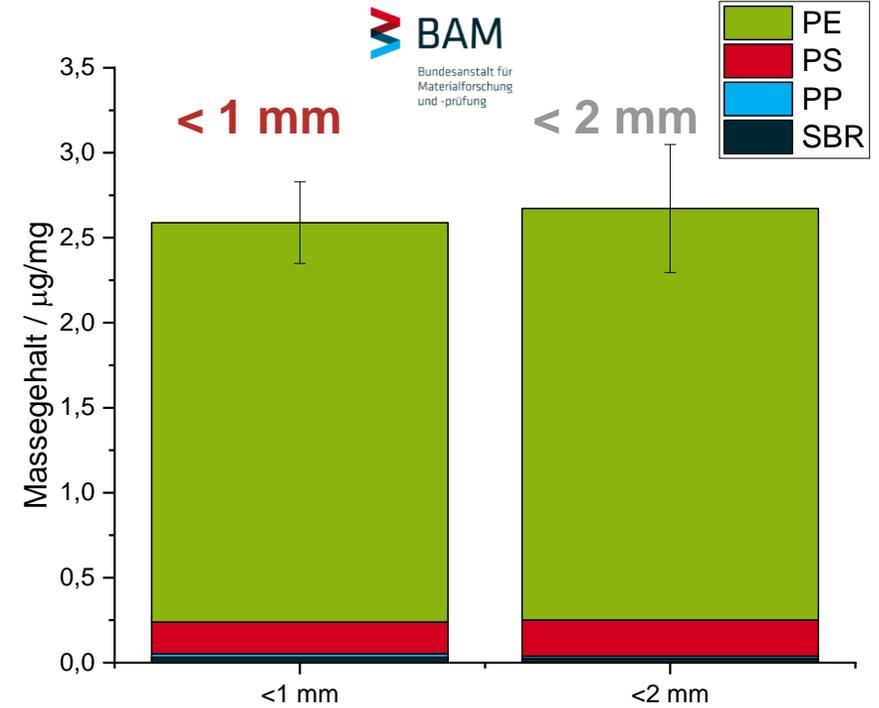
Grobfraktion vs. Feinfraktion



*Detektion mittels ATR-FTIR

Gehalte > 2 mm:
0,006 - 0,014 mg/g

Gehalte > 1 mm :
0,017 - 0,097 mg/g



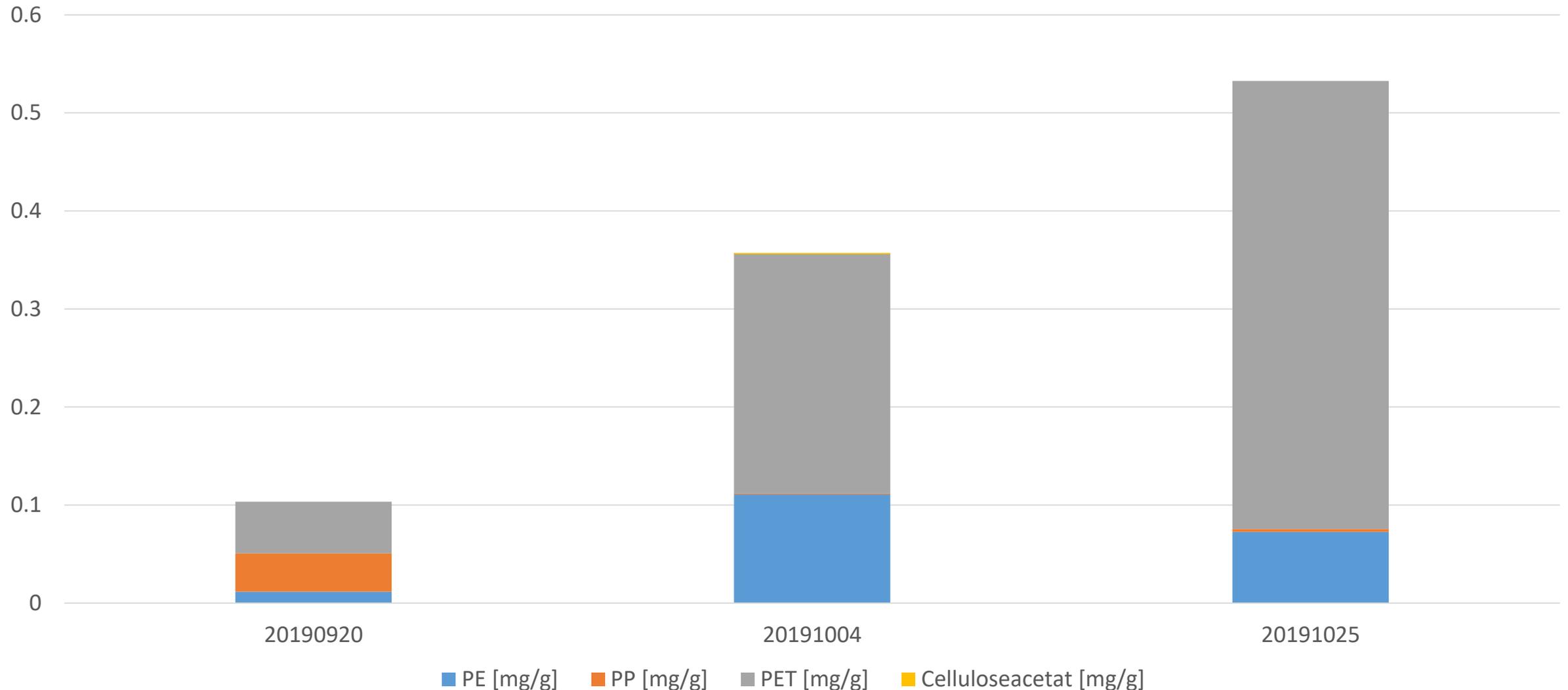
*Detektion mittels TED-GC-MS

Gehalte Feinfraktionen :
~ 2,5 mg/g

Mikroplastikgehalte in der Feinfraktion des Kompostes sind deutlich höher, als in Grobfraktion

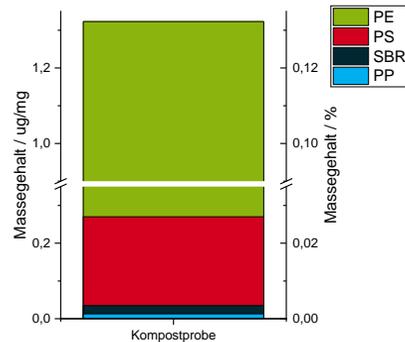
Kunststoffgehalte in Klärschlämmen [mg/g]

1 L Untersuchungsvolumen; Fraktion > 1mm (entsprechend DüMV)



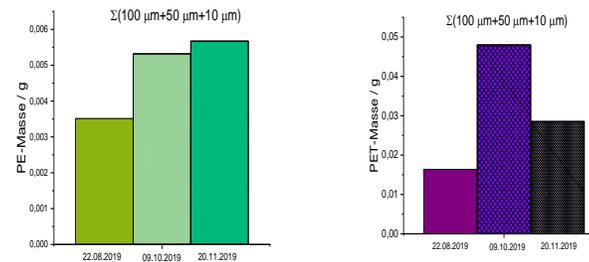
*Detektion mittels ATR-FTIR; Beprobungen mit 2-3 Wochen Abstand

Kompost als Vektor für MP in terrestrische Ökosysteme



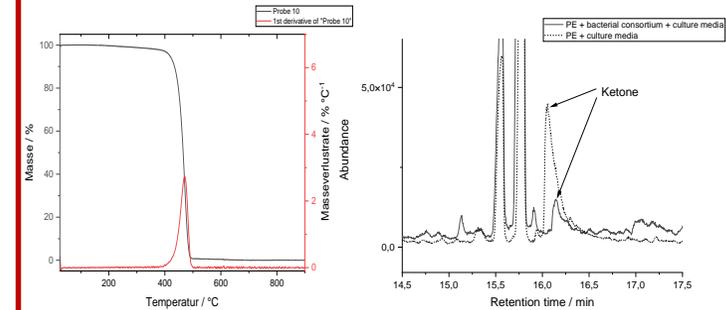
- TED-GC/MS als Methode zum Screenen/Monitoren von MP in Komposten
- Massegehalte als Grundlage von Modellierungen und Stoffströmen

Modellversuche zur MP-Entstehung in semiterrestrischen Ökosystemen



- Quantifizierung der entstehenden MP-Masse mittels TED-GC/MS quantifizierbar
- Unterschiedliche Fragmentierungsverhalten der Kunststoffe anhand der Quantifizierung erkennbar

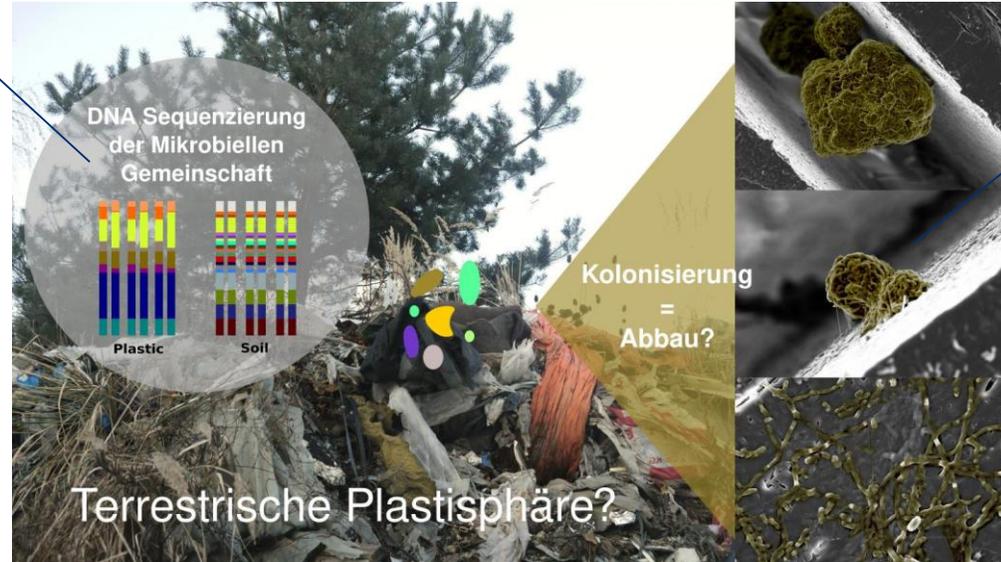
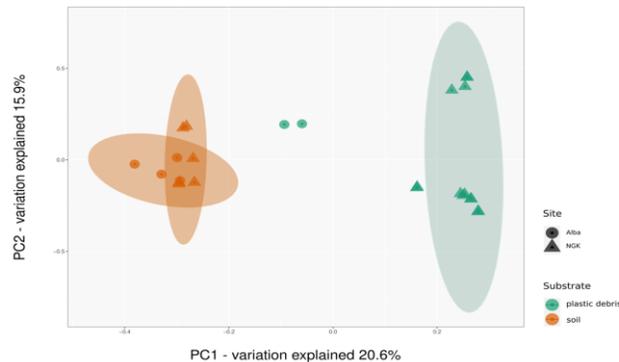
Bakterielle Degradation Gealtertes PE



- Kein massenrelevanter biologischer Abbau
- Reduktion sauerstoffhaltiger Funktionalitäten während der bakteriellen Inkubation mittels TED-GC/MS detektierbar

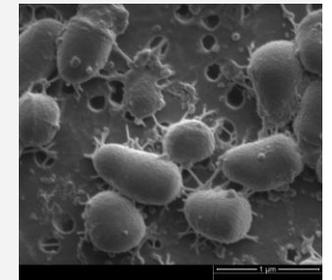
Mikroorganismen im Kunststoff

1. Böden mit Kunststoff haben eine geringere mikrobielle Diversität
2. Gemeinschaft dominiert durch wenige, hoch abundante bakterielle Gruppen = selektives Habitat



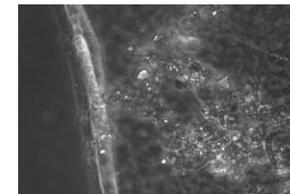
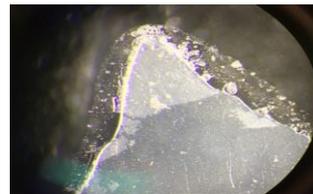
Isolierung und Charakterisierung potenzieller PE-Abbauer

Selektion von Bakterien auf PE- Pulver



Actinobacterium: *Nocardioides* sp.

Kunststoff im Boden – die terrestrische Plastisphäre – ist ein spezieller mikrobieller Lebensraum

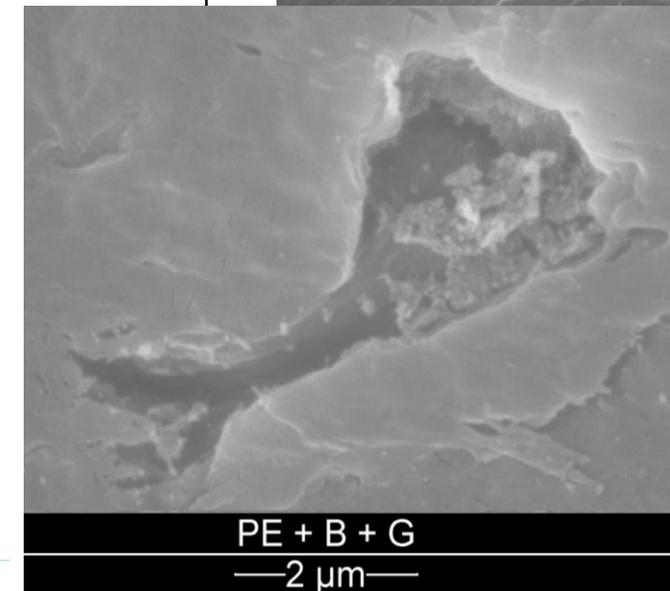
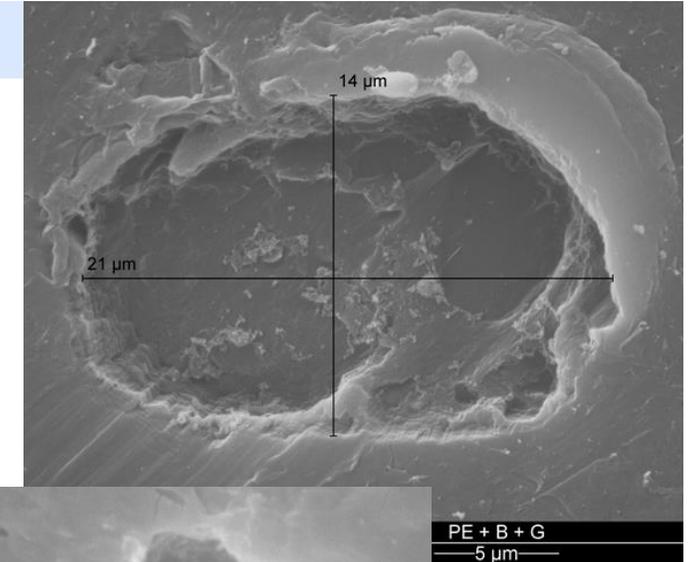
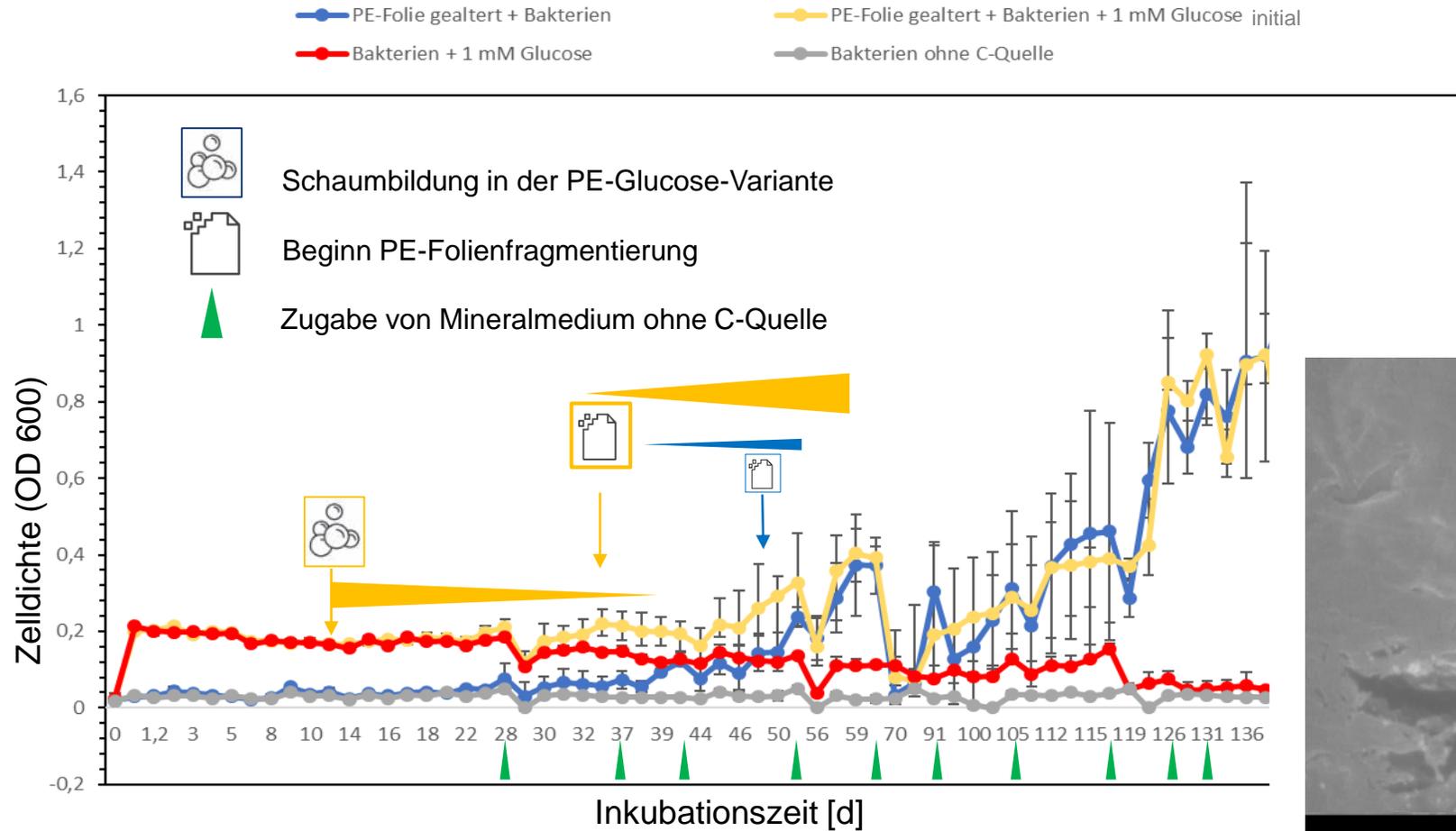


Genom Sequenzierung - Suche nach funktionellen Enzymen

alkB-Gen: Spaltet C-C-Bindungen von langkettigen Kohlenwasserstoffen

MacLean et al. (submitted) *Microorganisms*

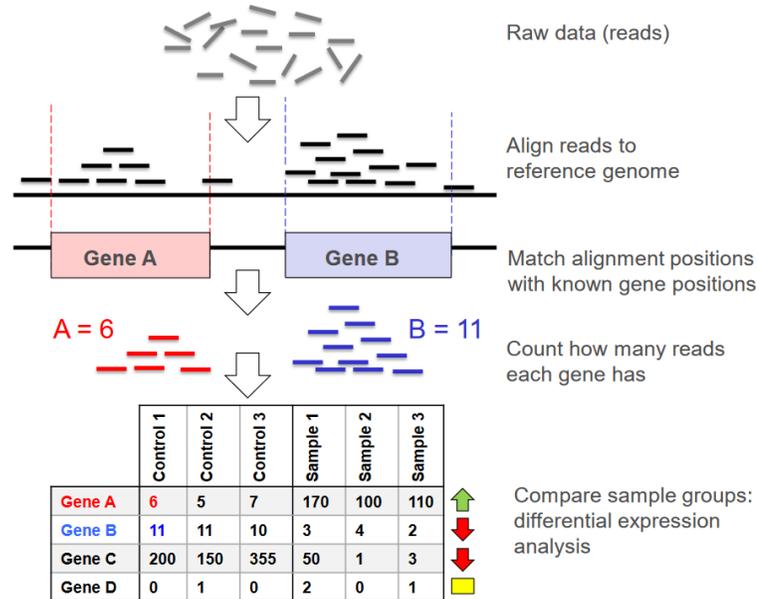
Wachstum eines Bakterienkonsortiums mit vorgealterter HD-Polyethylenfolie



- PE-Varianten unterscheiden sich signifikant von den Kontrollen
- REM-Analysen belegen Degradation der PE-Folien

Vorläufige Ergebnisse aus der Transkriptomanalyse

DGE analysis: typical steps



Ergebnisse unterstützen einen schon häufig postulierten PE-Abbau durch:

- Depolymerisation durch Exoenzyme
- mögliche Aufnahme über Transmembrantransporter
- Oxidation durch Alkanhydroxylase
- Einspeisung der resultierenden Carbonsäuren in den Fettsäureabbau via β -Oxidation

Relevante Gene, hochreguliert in PE + Glucose (initial) relativ zu Glucose ($x > 2$, $p < 0,05$)

Funktion/Protein	Anzahl	
	Gene	x-fache Änderung
Potentielle Depolymerisation von PE	16	9-19
Außenmembran Lipoprotein Blc induziert durch Alkane	1	18
ATP-abhängiger Transmembrantransport	141	3-316
Alkan Oxidation	4	9-18
Fettsäureabbau (β -Oxidation)	114	3-327
Biofilm Bildung	38	9-26

Relevante Gene, hochreguliert in PE relativ zu Glucose ($x > 2$, $p < 0,05$)

Funktion/Protein	Anzahl	
	Gene	x-fache Änderung
Potentielle Depolymerisation von PE	2	10-25
ATP-abhängiger Transmembrantransport	25	11-686
Fettsäureabbau (β -Oxidation)	17	10-235
Biofilm Bildung	2	12-52

Relevante Gene, hochreguliert in PE + Glucose (initial) relativ zu PE ($x > 2$, $p < 0,05$)

Funktion/Protein	Anzahl	
	Gene	x-fache Änderung
Potentielle Depolymerisation von PE	25	3-1585
Außenmembran Lipoprotein Blc induziert durch Alkane	3	4-690
ATP-abhängiger Transmembrantransport	130	3-6659
Alkan Oxidation	2	4
Fettsäureabbau (β -Oxidation)	224	3-5834
Biofilm Bildung	27	3-3142

- Mikroplastik wird von fast allen Bodenorganismen aufgenommen und wirkt negativ auf Wachstum, Fortpflanzung und Gesundheit des Edaphon.

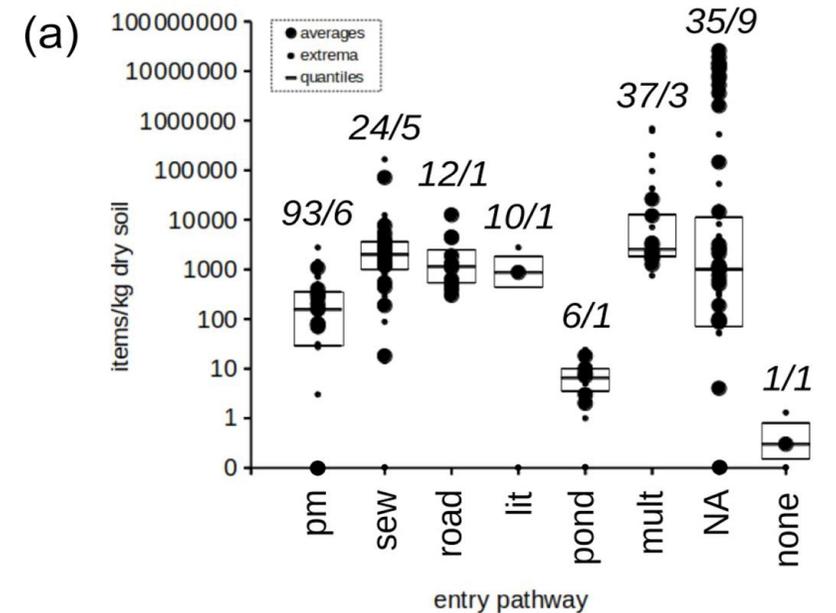
(Büks et al., 2020a: What do we know about how the terrestrial multicellular soil fauna reacts to microplastic?)

- Adverse Effekte treten bei $MP < 10\mu m$ schon bei Konzentrationen von 10 mg/kg Boden auf, bei größerem Plastik erst bei der 10-100fachen Konzentration.

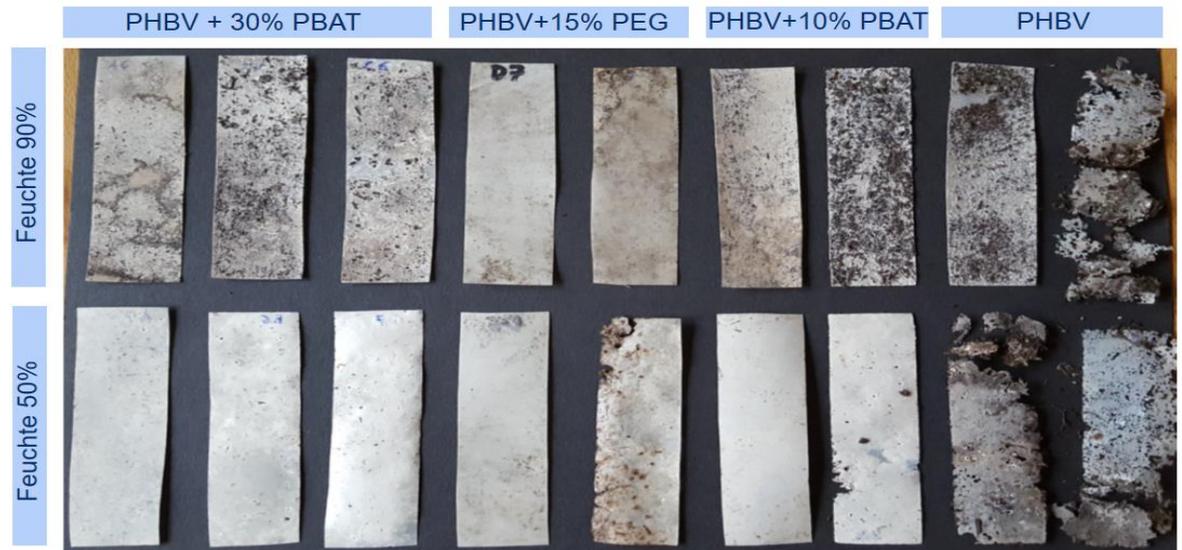
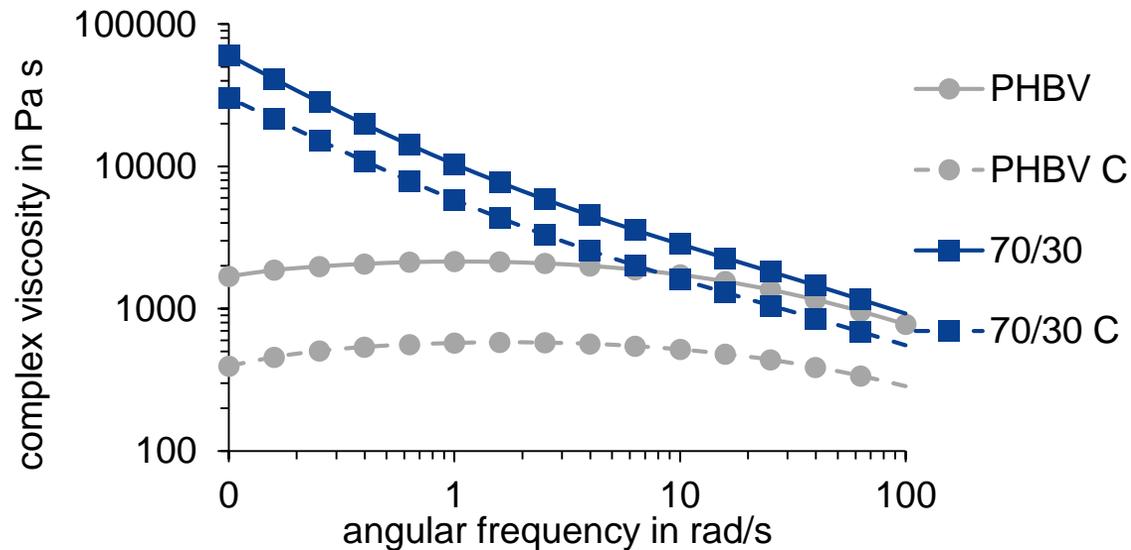
(Büks et al., 2020b: Mikroplastik aus Klärschlämmen hat das Potenzial Bodenleben zu schädigen)

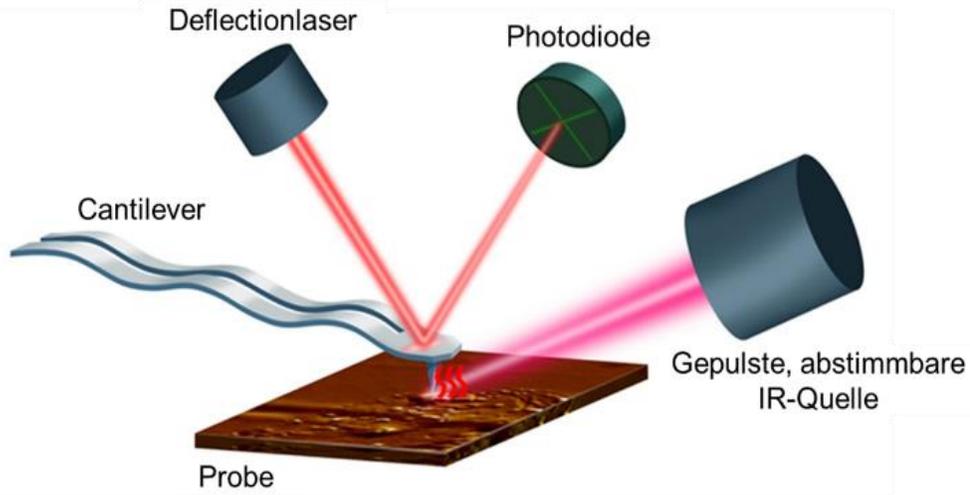
- Globale MP-Konzentrationen in Böden liegen im Schnitt bei 0.6 mg/kg (1167 Partikeln/kg) mit deutlich erhöhten Werten Ackerland mit Klärschlamm-aufbringung und in Stadt- und Industrienähe.

(Büks and Kaupenjohann, 2020: Global concentrations of microplastics in soils – a review)

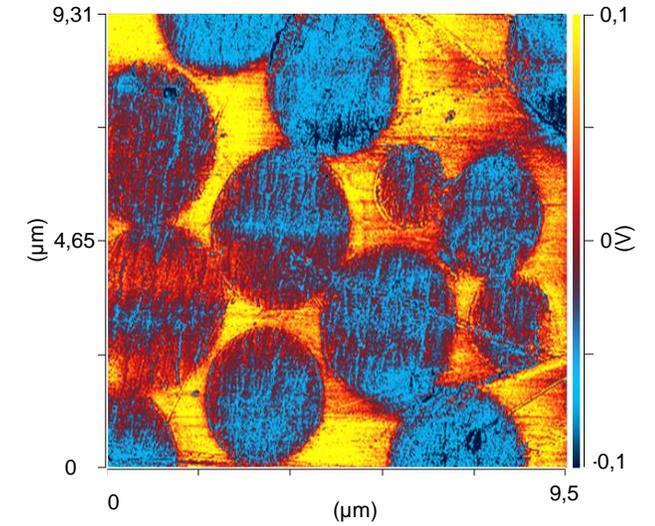
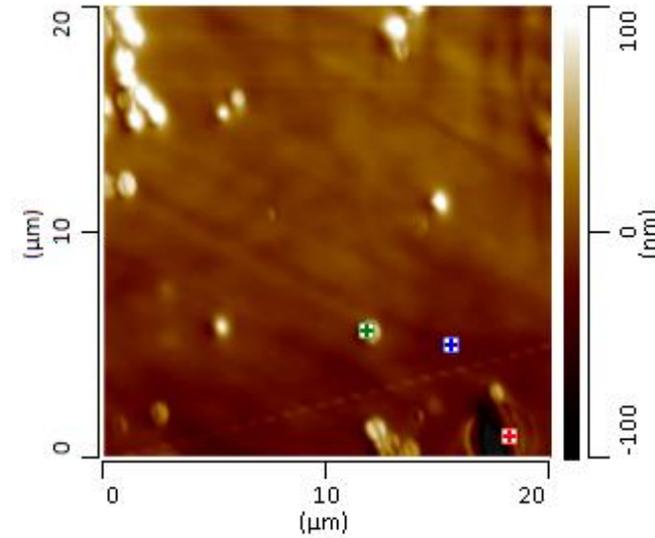


- PHBV hat großes Potenzial als biologisch abbaubarer Kunststoff in Wasser und Boden
- Durch Modifizierung u. a. mit biogenen Weichmacher wird Verarbeitung möglich
- Zusätzlich beschleunigt der Weichmacher die Fragmentierung beim Abbau
- Weitere Modifizierungen nötig um Anwendungsfeld zu vergrößern → z.B. für Schäume
- Materialkosten derzeit noch zu hoch bzw. Verfügbarkeit zu gering

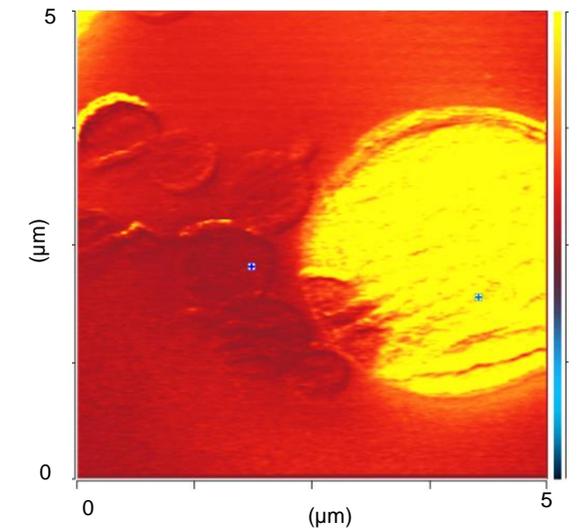
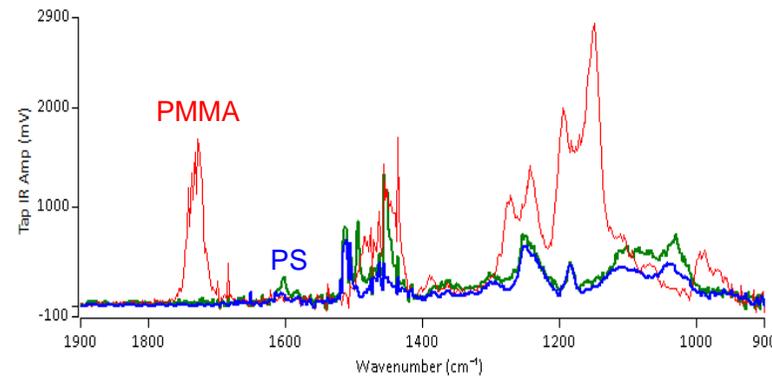




- Rasterkraftmikroskopie gekoppelt mit IR-Spektroskopie
- Räumliche Auflösung ~ 5 nm
- Spektren vergleichbar mit herkömmlichen (FT)IR-Spektren



Ratio-Bild bei 1730 cm⁻¹ / 1600 cm⁻¹



- Welches **Wissen** und welche **Wahrnehmungen** bestehen hinsichtlich Plastikverpackungen?
- Welche **Gründe** haben Konsument*innen, sich **für oder gegen Lebensmittel in Plastikverpackungen** zu entscheiden?
- Welchen **Handlungsbarrieren zur Reduktion von Plastikverpackungen** für Lebensmittel sehen sich Verbraucher*innen gegenüber?
- Welche **plastikfreien Möglichkeiten** nutzen Verbraucher*innen?
- Welche **Lösungsansätze** gibt es zur Reduktion von Plastikverpackungen für Lebensmittel?

- Verpackungs- und Plastikmüll werden von vielen Verbraucher*innen als **Problem** wahrgenommen
- Die große Mehrheit **erwirbt Lebensmittel in Plastikverpackungen und in Supermärkten**
- Bei der Vermeidung von (Plastik-)Verpackungen von Lebensmitteln sieht sich die Mehrheit der Konsument*innen mit **Barrieren** konfrontiert
- Die Förderung von **Mehrweglösungen** und **Unverpackt-Konzepten** wird begrüßt und die Bereitschaft zur Nutzung ist gegeben
- Stellschrauben für Lebensmittelerwerb ohne Plastikverpackungen sind
 - 1) Angebot
 - 2) Zeit(-strukturen)
 - 3) Aufwand
 - 4) Einkaufsstätten
 - 5) Ernährungsgewohnheiten,
 - 6) Handlungsroutinen,
 - 7) Hygiene,
 - 8) Preis



ENSURE - Entwicklung Neuer Kunststoffe für eine Saubere Umwelt unter Bestimmung Relevanter Eintragspfade

Plastik in der Umwelt – Abschlusskonferenz
20.–21. April 2021

Prof. Dr. rer. nat.
M. Kreuzbruck

