

# Plastik(-emissions-)budget

Jürgen Bertling, Fraunhofer UMSICHT

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

# Aufgaben und Ziele im Projekt



- » Dissemination und Verankerung von Budgetansatz und Wirkungsabschätzung für Plastic-Litter in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft durch verschiedene Beteiligungsformate
- » Fortschreibung von Quellenanalysen
- » Entwicklung eines Budgetansatzes für die Plastic-Litter-Problematik
- » Entwicklung einer Wirkungsabschätzungsmethode zur Integration der Plastic-Litter-Problematik in Ökobilanzen

## Projektpartner

- » Fraunhofer UMSICHT (Koordination)
- » Ruhr-Universität Bochum – Geografisches Institut (vorher KWI Essen)

## Rahmendaten

- » Förderung durch das BMBF
- » Laufzeit: 12/2017 bis **08/2021**

# Dialoge, Anhörungen, Reallabore, Touren



- » CineScience: Diskussionsabend im Rahmen einer Filmpräsentation (6.11.18), Filmstudio Glückauf, Essen
- » Expertendialog „historisch, ästhetisch, sozialwissenschaftlich“, KWI Essen (15.11.18)
- » Ausstellung Ministry of Plastic (15.-22.11.18)
- » Stakeholderdialog mit MdB, MdL, Industrie, Handel und NGOs, Berlin, (18.-19.2.2019)
- » Anhörungen Landtag NRW, Landtag Niedersachsen, Sportausschuss des Bundestages, Intergroup des Europ. Parlaments (2019, 2020, 2021)
- » Podiumsdiskussion zwischen Fakten und Fake auf der Statuskonferenz (9.4.2019)
- » Plastitour de Ruhr (12.-14.6.2019)
- » Reallabore: „Ökologischer Kunststoffeinsatz?“, „Gut Grün?“, „Plastik im Sport“, „Corona und Plastik“ (03 - 09/2020)
- » **Sachbuch-Publikation: Stefan Schweiger: Plastik. Der große Irrtum. (2020)**



# Forderungen aus den Reallaboren



- » Pfandsysteme für Reinigungsmittel und bei Lieferservices von Nahrungsmitteln
- » Vliese, Bändchengewebe, Bindedrähte etc. nur noch für den Bereich des professionellen Gartenbaus
- » Alternativen zu den Kunststoffkügelchen beim Pflastern
- » Staatliche Zuschüsse nur noch für kunststofffreie Kunstrasen
- » Neue „Abfalleimerleerkultur“ in Büros. Nur noch volle Abfalleimer sollten samt Plastiktüte entleert werden. (Runder Tisch für Gebäudereiniger\*innen und Unternehmer\*innen)
- » Einführung einer Plastiksteuer
- » **Jedoch auch:** Sämtliche planetaren Grenzen im Blick behalten und via Ökobilanzierung entscheiden und daneben auch andere ethische Abwägungen einbeziehen, z.B. im Gesundheitsbereich.



- » Tendenzen zur Verantwortungsdiffusion
  - » „Wir“-Problematik
  - » Ausbleiben einer Protestkultur stattdessen Ratgeberkultur
  - » (gesellschafts-)politisches Wohlfühlthema
- » Umstellung von Alltagsgewohnheiten gestaltet sich zäh
  - » Erwartung eines moralischen Konsums vs. instrumenteller Vernunft bei Produktion, Staat und Politik
  - » Moralischer Konsum vs. Marketing, Werbung und sinkende Preise
  - » Konsumentensouveränität nicht in Sicht
  - » Governance zielt vor allem auf die unmittelbare Alltagswelt (Strohalm, Plastiktüte, Coffee-to-go)
  - » Budgetansatz vor allem für die Governance notwendig, weniger für die Selbststeuerung
- » Schieflage beim Debatten-Fokus
  - » zu viel Meer
  - » zu wenig urbaner Raum (Ästhetik) und nicht naheliegende Bezüge im privaten Umwelt
  - » Umweltbegriff muss geschärft werden (Bankett, landwirtschaftliche Böden)
  - » Diskursive Territorialgewinne durch Gesundheit-Aspekte zu Kunststoffen

# Abschätzung zu Mikroplastik-Emissionen



Author	Region	Macroplastic (grams per person and year)	Microplastic (grams per person and year)	Type
Bertling et al. (2018, 2021)	DE	843	2 840	Loss
Essel et al. (2015)	DE	-	2 200 - 5 130	Loss
Zimmermann et al. (2019)	DE	650 – 2.500	1 813 - 3.049	Remaining
Sundt et al. (2014)	NO	-	1 590	Release (marine)
Magnussen et al. (2016)	SE	-	1 670 - 3 880	Loss
Lassen et al. (2015)	DK	-	965 - 2 440 600 - 3.100	Loss Release (marine)
Jambeck et al. (2015)	World	615 – 1.628		Release (marine)
Boucher et al. (2017)	World		236 – 660 102 - 320	Loss Release (marine)
Ryberg et al. (2019)	World Europe	794 313	390 896	Release (all) Release (all)

# Abschätzung zu Mikroplastik-Emissionen

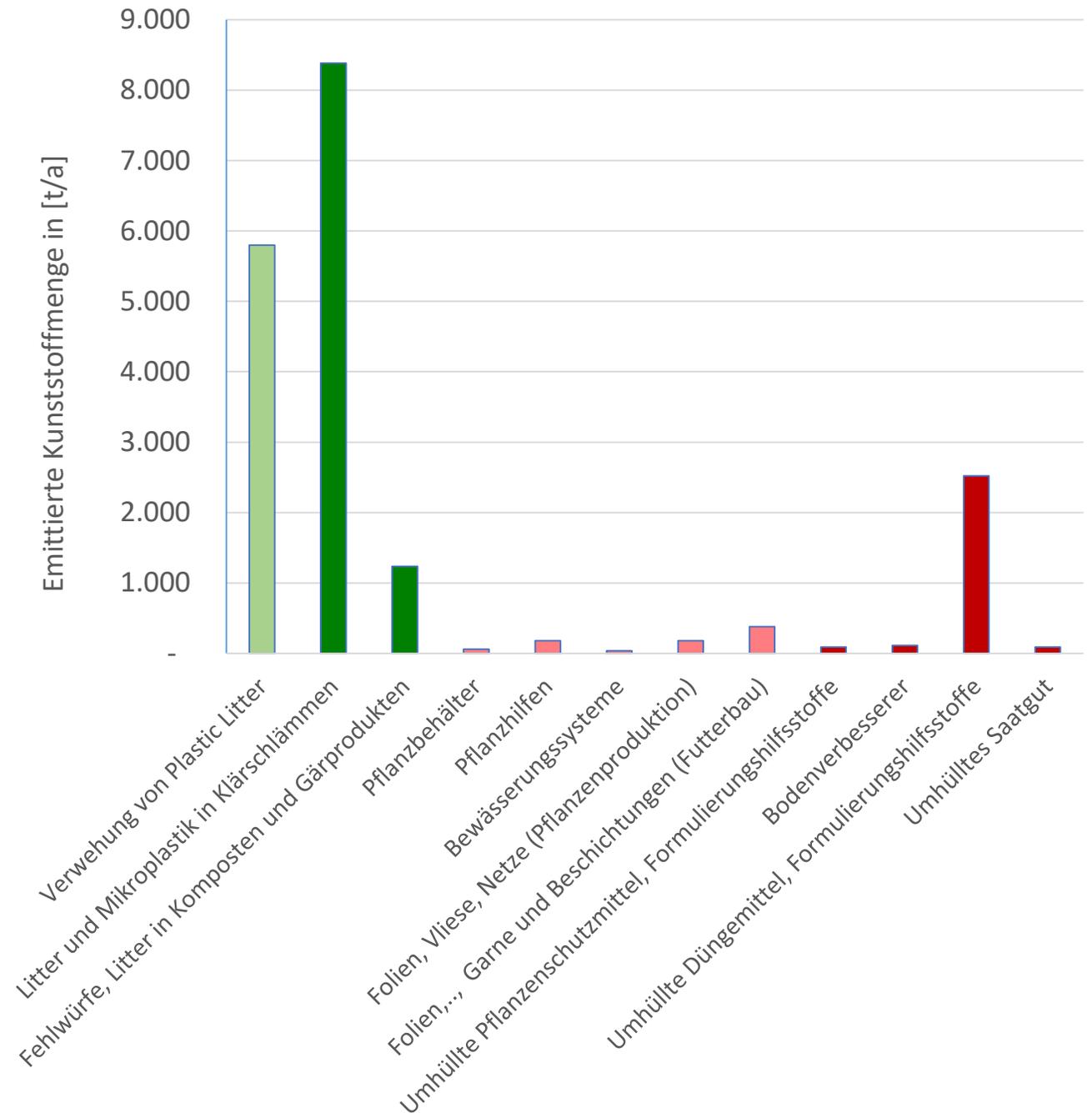


Author	Region	Macroplastic (grams per person and year)	Microplastic (grams per person and year)	Type
Bertling et al. (2018, 2021)	DE	843	2 840	Loss
Essel et al. (2015)	DE	-	2 200	Loss
Zimmermann et al. (2019)	DE	650	2 200	Loss
Sundt et al. (2014)	ME	-	-	Release (marine)
Magnussen et al. (2016)	ME	-	370 - 3 880	Loss
Lassen et al. (2015)	ME	-	965 - 2 440 600 - 3.100	Loss Release (marine)
Jambeck et al. (2015)	World	615 - 1.628	-	Release (marine)
Boucher et al. (2017)	World	-	236 - 660 102 - 320	Loss Release (marine)
Ryberg et al. (2019)	World	794	390	Release (all)
	Europe	313	896	Release (all)

**Makroplastik: 1 kg pro Person und Jahr**  
**Mikroplastik: 3 kg pro Person und Jahr**  
**Der Kunststoff, den wir um uns herum sehen, ist nur die Spitze des Eisbergs.**

## Detailierung der Quellenanalyse für Einträge in landwirtschaftliche Böden

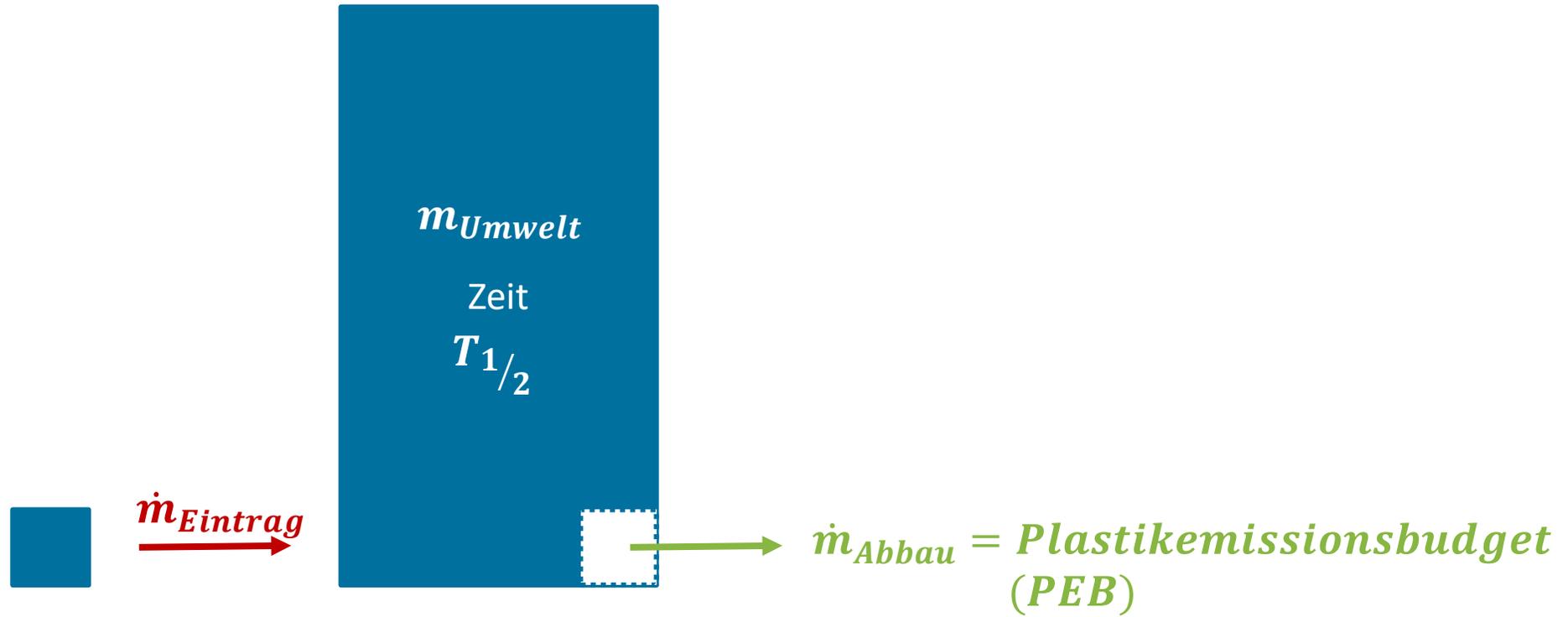
- » Ca. 19.000 Tonnen pro Jahr in D
- » Größte Einträge durch Klärschlämme, Littering, Kompost und Gärreste sowie Hilfsstoffe der Pflanzenprodukten
- » Flächenbelastung zum Teil sehr unterschiedlich
- » VÖ einer Studie in Kooperation mit dem NABU (05/2021)





# Ableitung des Plastikemissionsbudget (PEB) aus einer Gesamtbilanz

Limit (normativ)  $\updownarrow$  Puffer



$$\dot{m}_{Eintrag} > \dot{m}_{Abbau} \rightarrow m_{Umwelt} \uparrow$$
$$\dot{m}_{Eintrag} < \dot{m}_{Abbau} \rightarrow m_{Umwelt} \downarrow$$

# Analysen zum Abbauverhalten I



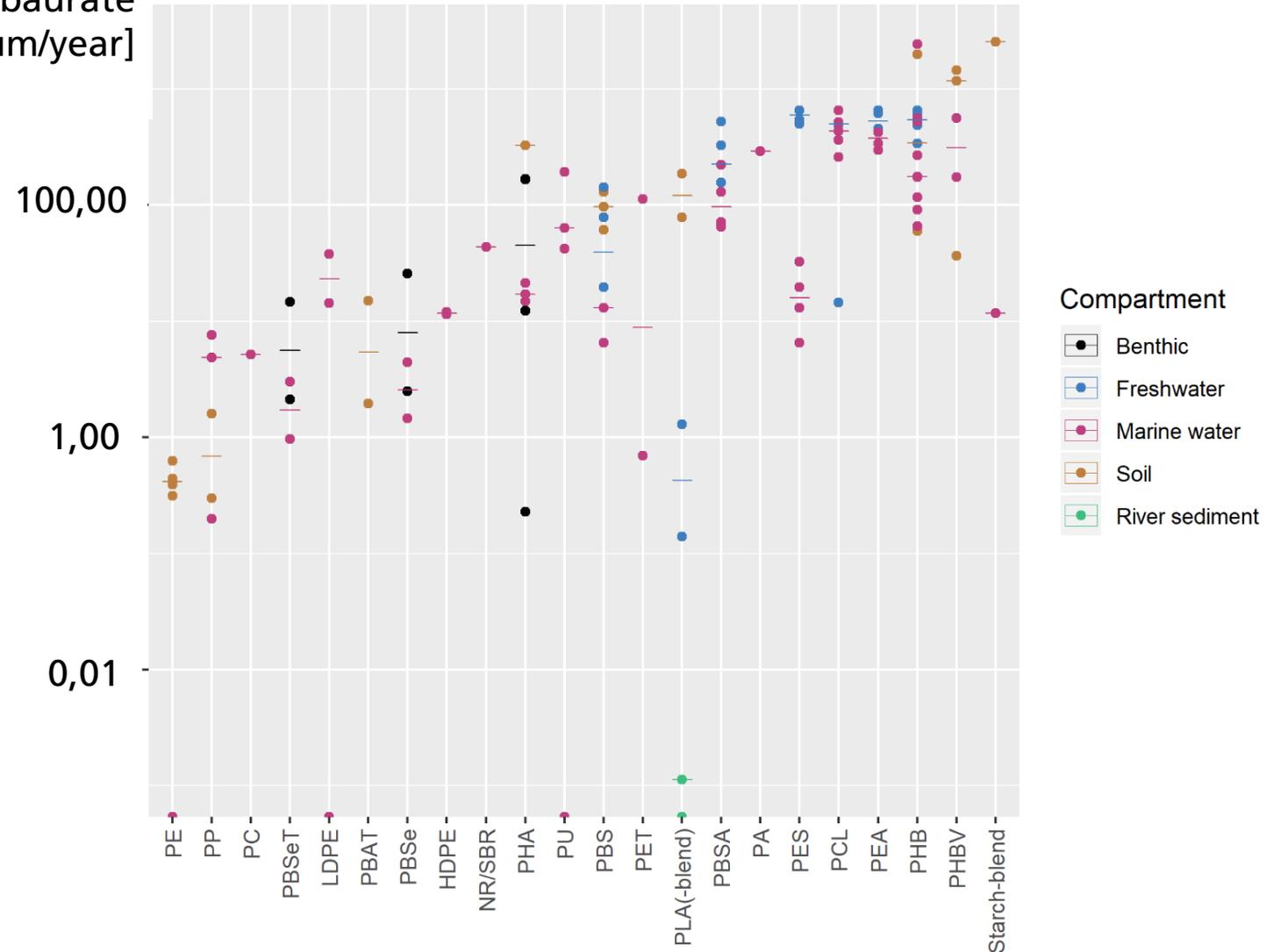
- » Auswertung wissenschaftlicher von 146 Literaturquellen mit 649 Datensätzen zum Abbau
- » Ausstellung eines Kriteriensatz für belastbare Literaturquellen
- » Auswahl von 142 verwertbaren Datensätzen zum Abbau verschiedener Polymer
- » Annahmen eines oberflächenkontrollierten Abbaus
- » Berechnung einer polymer- und kompartimentspezifischen Oberflächenabbaurate [ $\mu\text{m}/\text{year}$ ]



# Analysen zum Abbauverhalten II

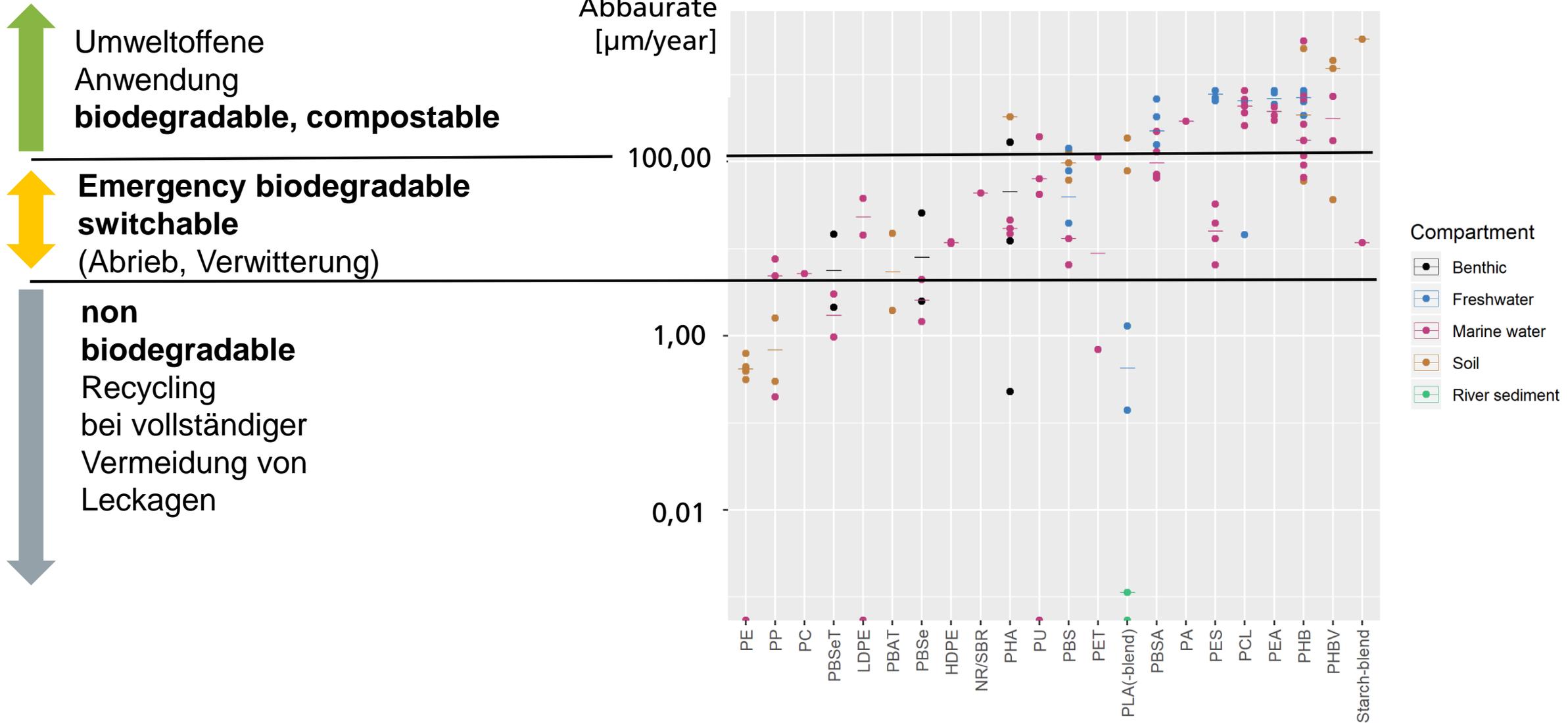
- » Auswertung wissenschaftlicher Literatur zum Abbau
- » Auswahl belastbarer Literaturquellen
- » Annahmen eines oberflächenkontrollierten Abbaus
- » Berechnung einer polymer- und kompartimentspezifischen Oberflächenabbaurate [ $\mu\text{m}/\text{year}$ ]
- » Abbauraten erstrecken sich über ca. 5 Zehnerpotenzen,
- » Kompartimentunterschiede im Bereich von 2 Zehnerpotenzen (Ausnahme PLA)
- » Keine Hinweise auf grundsätzlich bessere Abbauraten in Böden

Abbaurate  
[ $\mu\text{m}/\text{year}$ ]



# Emergency Biodegradation

Wei, R., Tiso, T., Bertling, J. *et al.* Possibilities and limitations of biotechnological plastic degradation and recycling. *Nat Catal* 3, 867–871 (2020)



# Verteilung in (finale) Umweltkompartimente



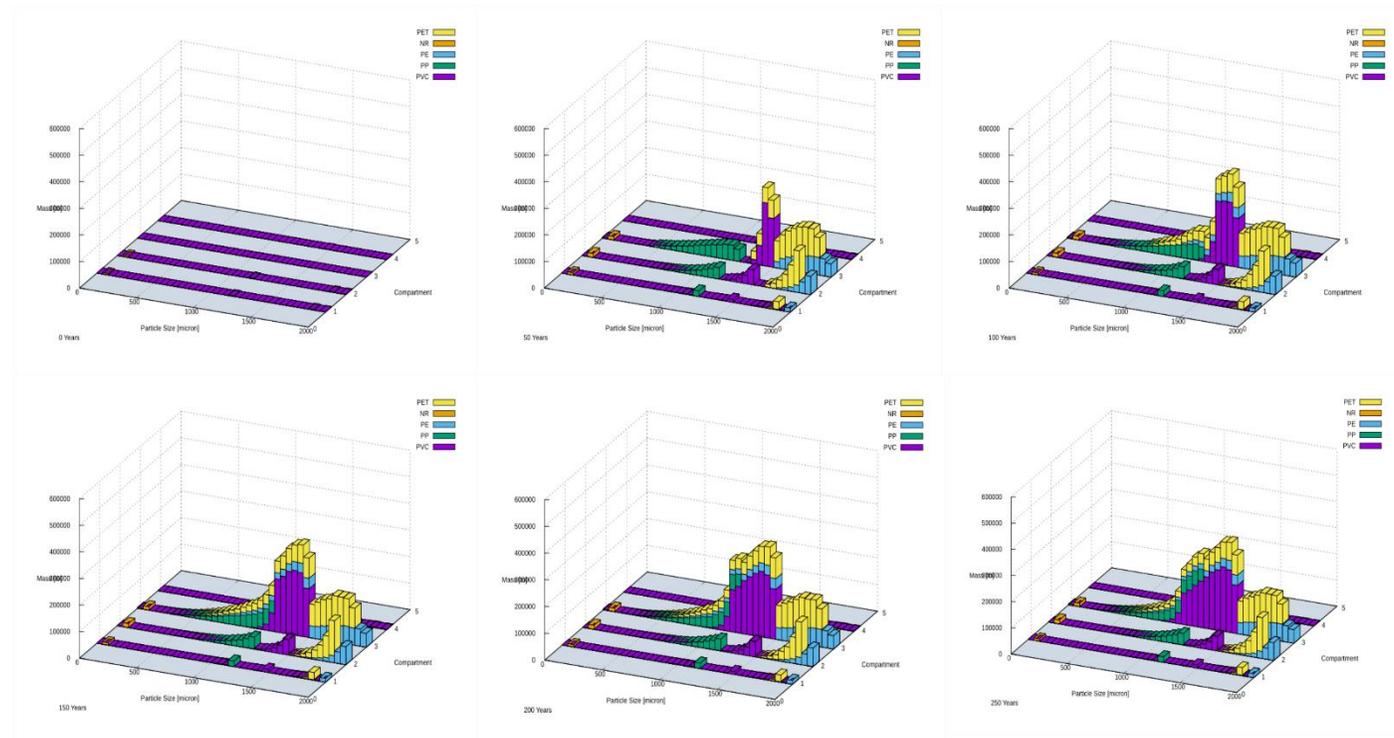
- » Zu den Transferraten in finale Umweltkompartimente liegen noch kaum Daten vor. Hier besteht hoher Forschungsbedarf.
- » Dichte ist zentrales Kriterium,
- » Wünschenswert wären dynamische Transferraten
- » Transferraten werden aufgegliedert nach Anwendungstyp und (hilfsweise) nach Polymertyp

Emissionstyp	Eintragskompartiment	Boden	Frischwasser	Fluss-sediment	Meeresboden
Reifenabrieb	Boden	100%	0%	0%	0%
	Frischwasser	0%	0%	89%	11%
	Meer	0%	0%	0%	100%
	Luft	94.7%	0%	4.7%	0.6%
Verschiedene Polymere mit einer Dichte $\geq 1 \text{ g/cm}^3$	Boden	97%	0%	2.7%	0.3%
	Frischwasser	0%	0%	89%	11%
	Meer	0%	0%	0%	100%
	Luft	94.7%	0%	4.7%	0.6%
Verschiedene Polymere mit einer Dichte $< 1 \text{ g/cm}^3$	Boden	97%	3%	0%	0%
	Frischwasser	0%	100%	0%	0%
	Meer	0%	100%	0%	0%
	Luft	94.7%	5.3%	0%	0%

# Modellierung der größenabhängigen Mengenentwicklung in Umweltkompartimenten



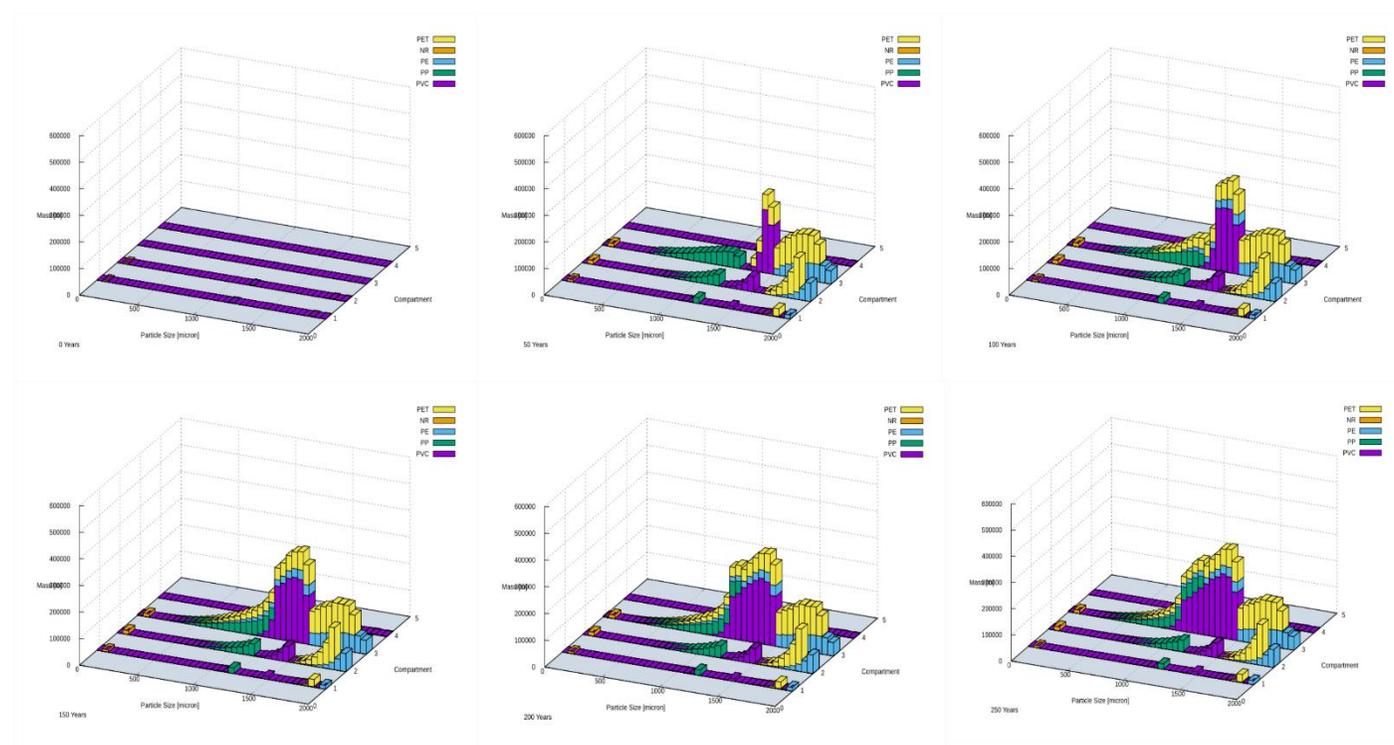
- » Vorläufig
- » Jede Emission innerhalb eines Zeitintervalls (Jahr) aus einer Anwendung wird als ein Element betrachtet (Lagrange-Ansatz).
- » Das Element kann durch Abbau und Fragmentierung kleiner werden oder in andere Kompartimente übergehen.



# Weiteres Vorgehen zur Abschätzung eines Plastikemissionsbudgets (PEB)



- » Quantifizierung der wichtigsten Quellen über die letzten 50 Jahre
- » Bestimmung des aktuellen Hold ups in den 4 finalen Kompartimenten
- » Vergleich des rechnerischen Hold Ups mit Daten aus dem Monitoring (Plausibilität)
- » Bewertung des Zustandes der Kompartimente in Bezug auf die wichtigsten Quellen
- » Bestimmung der Abbauleistungen je Anwendung und Kompartiment
- » Ableitung der PEB



# Das Plastikemissionsäquivalent (PEE) - ein Bewertungsmaßstab in Ökobilanzen



$$\gg PEE = \dot{m} \times CF_{i,tot}$$

$$\gg CF_{i,tot} = FF_{i,tot}$$

$$\gg FF_{i,tot} = \sum_{j=1}^n \left[ (T_{i,j}) \frac{\tau_{1/2,i,j}}{\tau_{1/2,ref}} \right]$$

$$\gg \text{mit } \sum_{j=1}^n (T_{i,j}) = 1$$

- » Die emittierte Masse wird mit einem Charakterisierungsfaktor multipliziert.
- » Üblicherweise ist der CF ein Produkt aus einer Größe für Fate, Exposition und Effekt.
- » Zu einem Zeitpunkt, wo die Wirkungen der Kunststoffemissionen noch weitgehend unbekannt sind, beschränken wir uns ausschließlich auf den Fate -> Analogie zu GWP („Plastic Persistence Potential“)
- » Der Fatefactor FF ergibt sich aus dem Transferkoeffizienten T zwischen den Kompartimenten und einer charakteristischen Präsenzzeit (Abbauzeit), Für seine Berechnung werden Eintrittsort und -kompartiment, Polymertyp, charakteristische Größe und Form benötigt. Aus dem Polymertyp ergeben sich Abbaurate und Transferraten (Dichte).

# Berechnung von Abbauezeiten



- » Neben der Abbaurate  $V_d$  spielen auch die charakteristische Größe  $d_0$  (Dicke, Durchmesser) sowie die Form  $a$  des Objekts (Partikel, Faser, Folie) eine große Rolle bei der Berechnung der Abbauezeit

- » 
$$\tau_{1/2} = \frac{1}{2} \frac{d_0}{V_d} \left( 1 - a \sqrt{\frac{1}{2}} \right)$$

- » Es werden zurzeit noch verschiedene Ansätze zur charakteristischen Größe für die Abbauezeit diskutiert:

- » Halbwertszeit,
- » Gesamtlebensdauer,
- » massengewichtete integrale Abbauezeit.

Abbildung entfernt

# Das Plastikemissionsäquivalent (PEE) - ein Bewertungsmaßstab in Ökobilanzen



$$\text{» } PEE = \dot{m} \times \sum_{j=1}^n \left[ (T_{i,j}) \frac{\tau_{1/2,i,j}}{\tau_{1/2,ref}} \right]$$

Abbildung entfernt

- » Als Referenzzeit wird 1 Jahr gewählt.
- » Sämtliche Emissionen, die langsamer abbauen, erhalten ein höheres virtuelles Gewicht (Rucksack).
- » Es wird ein Zeithorizont von 100, 500, 1000 Jahren gewählt. Sämtliche Polymere, die langsamer abbauen als dieser Zeithorizont erhalten den Wert des Zeithorizonts.
- » Die Nutzung eines Zeithorizonts ist sinnvoll weil,
  - » ab einer bestimmten Persistenz werden keine Vorteile mehr ausgewiesen und Kunststoffe mit deutlich verbesserter Abbaubarkeit eher wahrgenommen
  - » die Verantwortung für die Zukunft und die Abbildung zukünftiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten werden auf einen überschaubaren Zeitraum reduziert
  - » die Messung/Modellierung von Abbauezeiten jenseits der Zeithorizonte ist bislang kaum möglich



## Projekt

- » Wissenschaftliche Publikation zur Integration des PEE in Ökobilanzen (08/2021)
- » Abschätzung des Hold Ups und der Abbauleistung der Natur (08/2021)
- » Vorschlag für ein Plastikemissionsäquivalent (08.2021)

## Ergebnisverwertung

- » Studie zu Emissionen in landwirtschaftliche Böden (05/2021, gemeinsam mit NABU)
- » Studie zu Emissionen aus Kunstrasenplätzen (06/2021, gemeinsam mit div. Kommunen)

# FONA

Forschung für Nachhaltigkeit

## Vielen Dank!

[juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de](mailto:juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de)

Daniel Maga, Jan Blömer, Nils Thonemann,  
Christina Galafton, Torsten Weber, Jürgen  
Bertling (Fraunhofer UMSICHT)

Steven Engler, Stefan Schweiger, Nora  
Schecke, Anna Bönisch, Abeer Abdulnabi,  
Miriam Wienhold (RUB/KWI)



[www.plastikbudget.eu](http://www.plastikbudget.eu)

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung

**Plastik**  
in der **Umwelt**

Quellen • Senken • Lösungsansätze