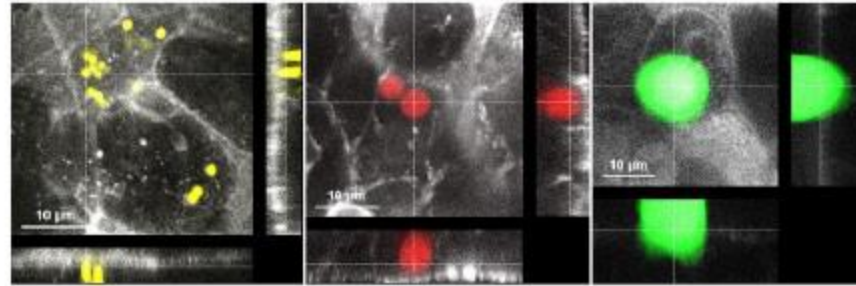


# Vortrag „Mikroplastik unter der Lupe“

Dr. Holger Sieg, Maxi Paul

Bundesinstitut für Risikobewertung

## Mikroplastik unter der Lupe



Dr. Holger Sieg, Maxi Paul

Bundesinstitut für Risikobewertung  
Abteilung Lebensmittelsicherheit  
holger.sieg@bfr.bund.de

aus Sicht des  
Bundesinstituts für Risikobewertung

## Persönliche Einleitung und Vorstellung des BfR



- Biochemiker, seit 2014 am BfR



- 2014-2017 Promotion zum Thema „Aluminiumhaltige Nanopartikel“
- 2017-2021 Leiter Nachwuchsgruppe „Nanotoxikologie“
- Seit 2021 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Lebensmittelsicherheit



- Eigenes Forschungsgebiet:
  - Toxikologie von Mikro- und Nanopartikeln
  - Aufnahme über die orale Route
  - Zelluläre Effekte in Darm und Leber

**Dr. Holger Sieg**

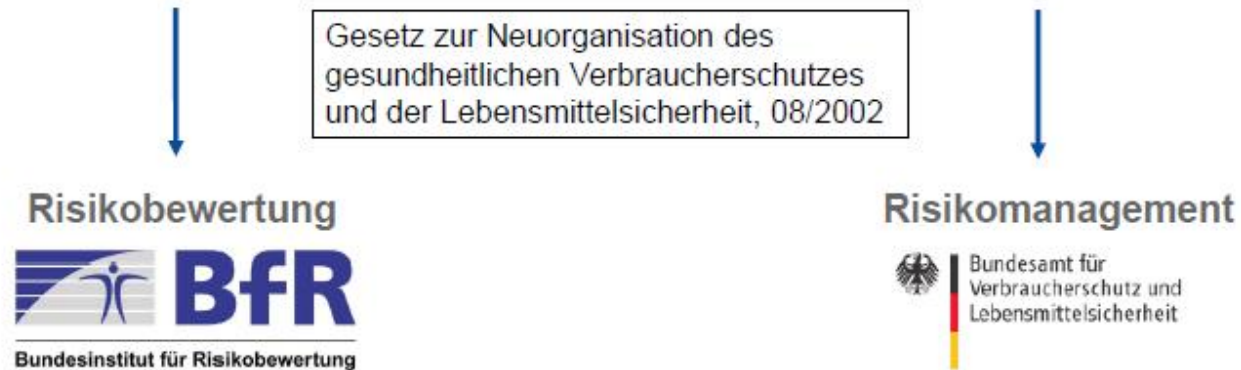
holger.sieg@bfr.bund.de

## Vorstellung des BfR

- Kaiserliches Gesundheitsamt (1876–1919)
- Reichsgesundheitsamt (1919–1945)
- Bundesgesundheitsamt (BGA) (1952–1994)
- Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BGvV) (1994–2002)



[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Unter\\_den\\_Eichen\\_82-84\\_Berlin-Dahlem.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Unter_den_Eichen_82-84_Berlin-Dahlem.jpg)

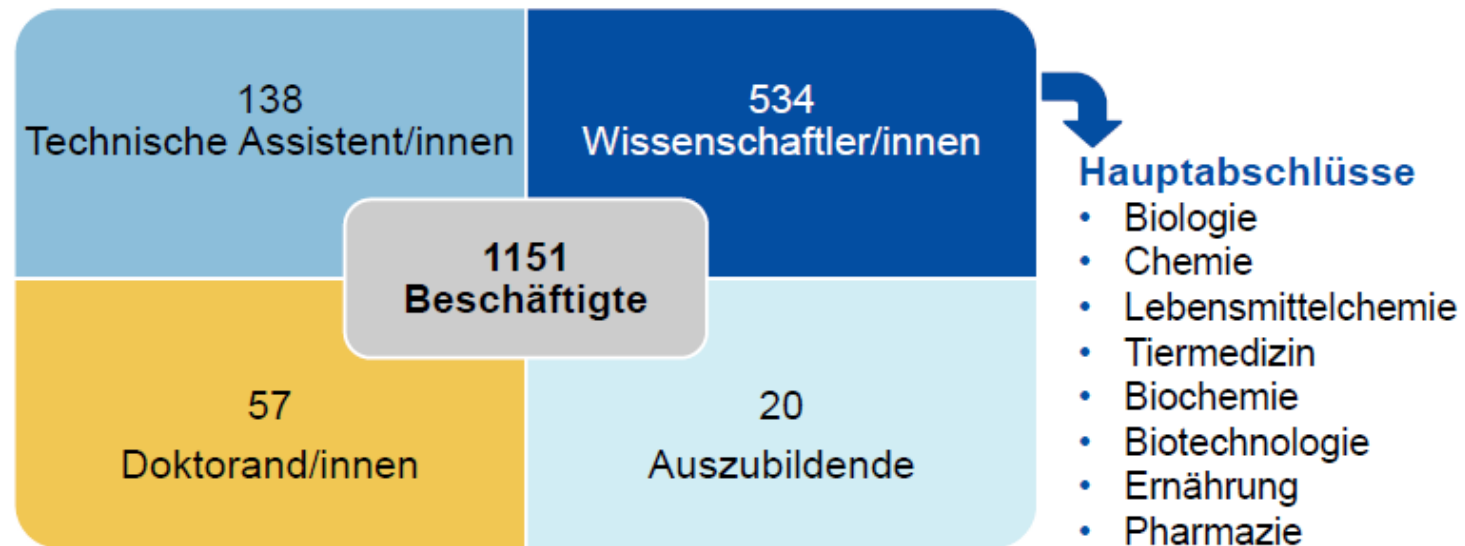


## Die drei Standorte des BfR in Berlin

- Jungfernheide
- Marienfelde
- Versuchsgut Alt-Marienfelde



## Personal 2021





## Arbeitsfelder des BfR

### Produktsicherheit



© Fotolia

- Kosmetik
- Lebensmittelverpackung
- Spielzeug
- Bekleidung
- ⋮



### Lebensmittelsicherheit



© Fotolia

biologische und stoffliche  
Sicherheit von Lebensmitteln

### Chemikaliensicherheit



© Julia Pöpke

- Chemikalien
- Pflanzenschutzmittel
- Biozidprodukte
- ⋮

## Die Rolle des BfR im gesundheitlichen Verbraucherschutz



Identifizierung gesundheitlicher Risiken

Wissenschaftliche Bewertung der Risiken

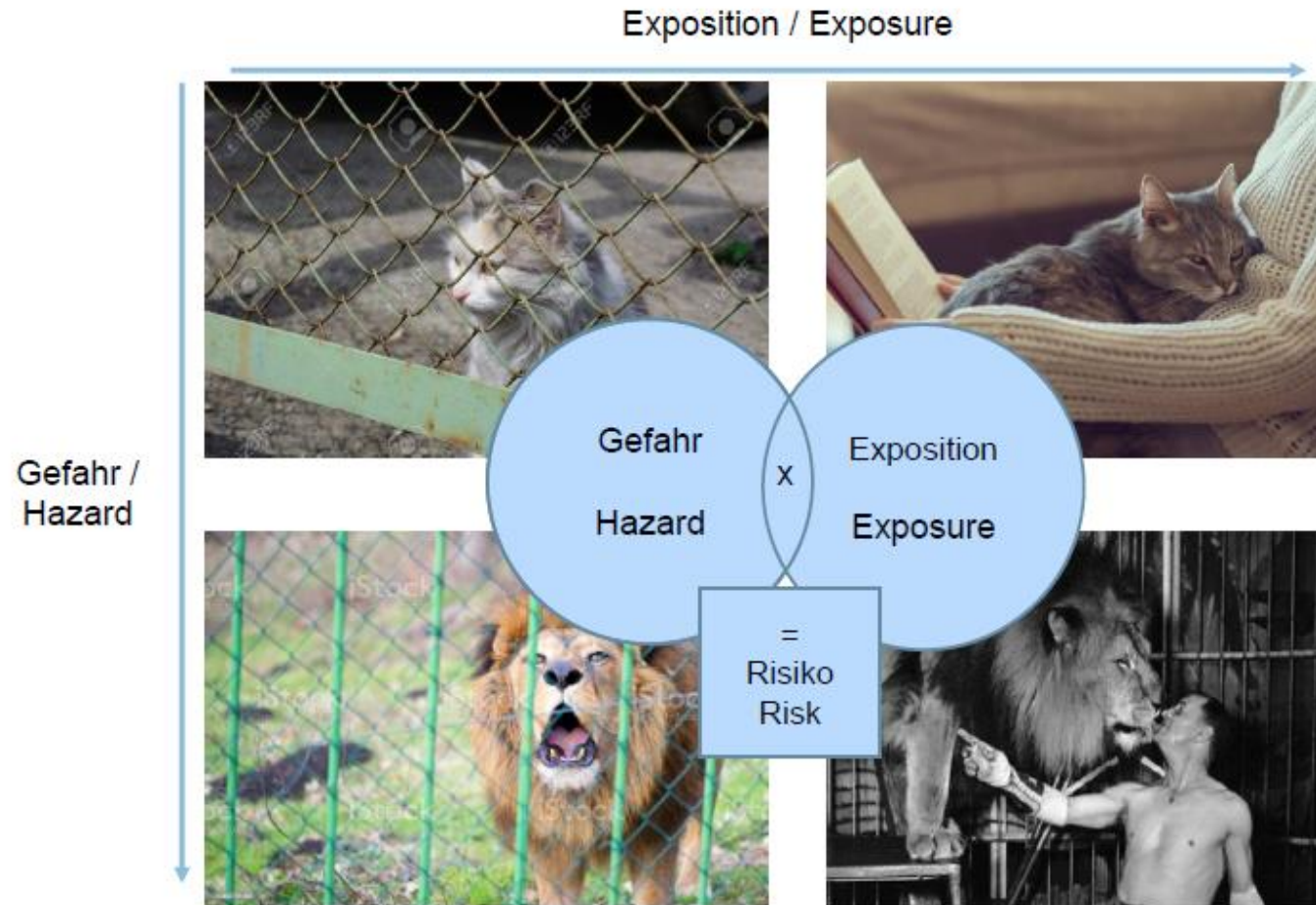
Erarbeitung von Handlungsoptionen zur Risikominimierung

Kommunikation dieser Prozesse

- Erarbeitung von Gutachten und Stellungnahmen
- Beteiligung an Zulassungs- und Genehmigungsverfahren
- Beratung von Behörden
- Kommunikation der Ergebnisse



## Risikobewertung an einem praktischen Beispiel



## Prinzipien der Risikobewertung

### 1. Risikoerkennung

- Identifizierung einer möglichen Gefahrenquelle
  - anlassbezogen (z.B. bei Vorliegen einer mikrobiologischen oder chemischen Kontamination)
  - im Rahmen von Verwaltungsverfahren
  - aufgrund neuer Erkenntnisse oder Konzepte, die eine Bewertung erforderlich machen

### 2. Risikocharakterisierung

- qualitativ (Art der Wirkung, Wirkmechanismus) und quantitativ (Dosis-Wirkungs-Beziehung)

### 3. Expositionsermittlung

- Vorkommen, Quellen, Quantifizierung
- Expositionsrouten (Oral, dermal, inhalativ)
- Betroffener Bevölkerungsanteil
- Bioverfügbarer Anteil

### 4. Risikobewertung

- Handlungsoptionen, Maßnahmen, Kommunikation, gesetzliche Regelungen

Wichtig: Welches Schutzgut? (Umweltschutz, Tierschutz, Verbraucherschutz, Arbeitsschutz)

## Forschungsschwerpunkte des BfR

### Forschung zu Fragen des gesundheitlichen Verbraucherschutzes

- Forschung der Referenzlaboratorien
- Forschung zur Gewinnung von Daten für Expositionsschätzungen
- Forschung zur Risikoerkennung, Risikofrüherkennung und Risikominimierung



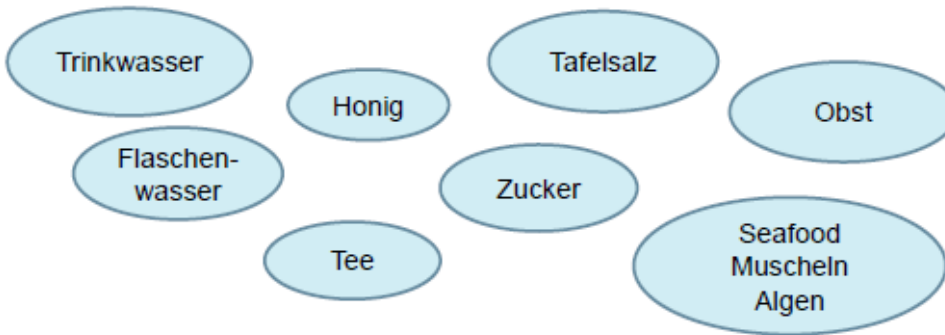
## Schwerpunkt Mikro- und Nanoplastik

### Mikro- and Nanoplastik

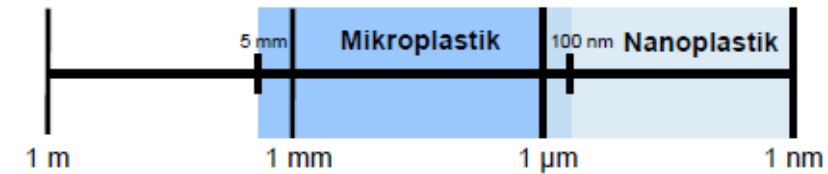


## Mikroplastik: Definition und Vorkommen

- Kunststoffpartikel < 5 mm
- Vorhanden als Kontaminante in zahlreichen Lebensmitteln:

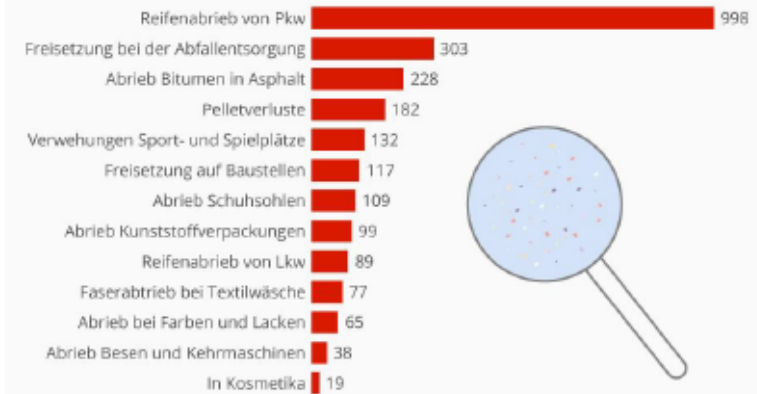


- Verpackungsmaterialien, Verarbeitungsprozesse
- Reifenabrieb, Textilien, Polymerpulver und -granulate, Staub

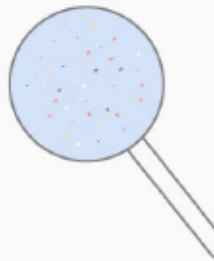


### Mikroplastik ist überall

Jährliche Pro-Kopf-Emissionen von Mikroplastik nach ausgew. Quellen in Deutschland (in g)



Stand: Juni 2018  
Quelle: Fraunhofer-Institut



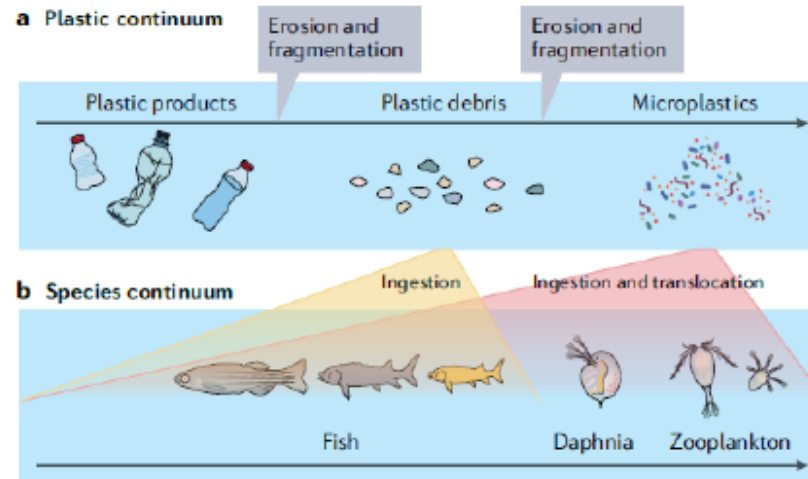
statista



## Mikroplastik: Definition und Vorkommen

**Primäres Mikroplastik**  
Absichtlich produziert

**Sekundäres Mikroplastik**  
Zersetzung von Plastikmüll

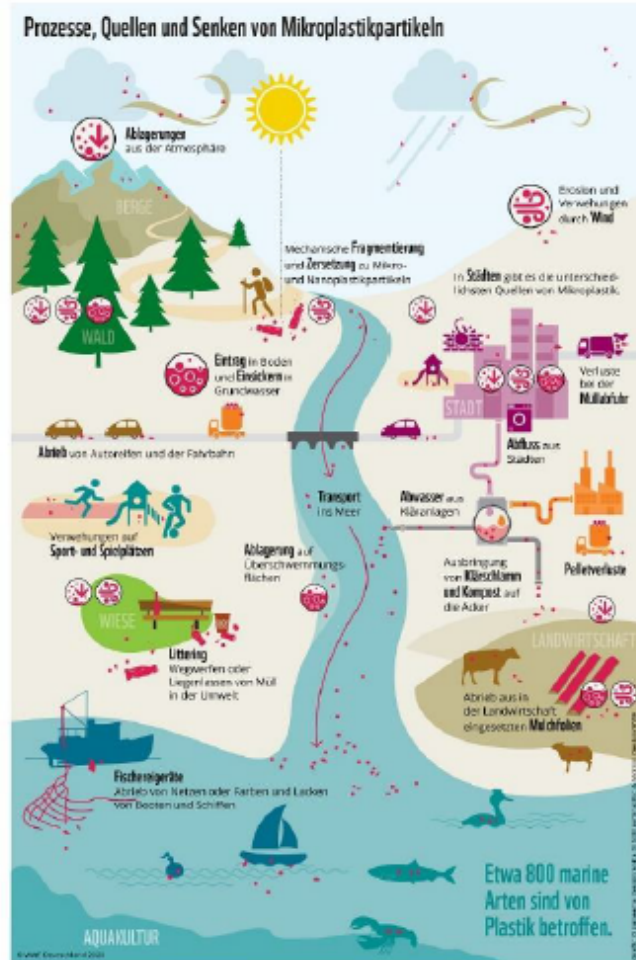


### Risk assessment of microplastic particles

Albert A. Koelmans, Paula E. Redondo-Hasselerharm, Nur Hazimah Mohamed Nor, Vera N. de Ruijter, Svenja M. Mintenig and Merel Koop



## Mikroplastik: Definition und Vorkommen



- Differenzierte Betrachtung notwendig:

Plastikmüll ↔ Mikroplastik

- Schutzgut: Umweltschutz ↔ Verbraucherschutz

- Expositionsroute: Oral ↔ Dermal ↔ Inhalativ

- Material: Polymer ↔ Monomere, Additive, Kontaminanten, Biofilme

- Größenbereich: Große Partikel ↔ Kleine Partikel

## Mikroplastik: Mikroplastik in Mineralwasser

# Mikroplastik in Mineralwasser



## Mikroplastik: Mikroplastik in Mineralwasser

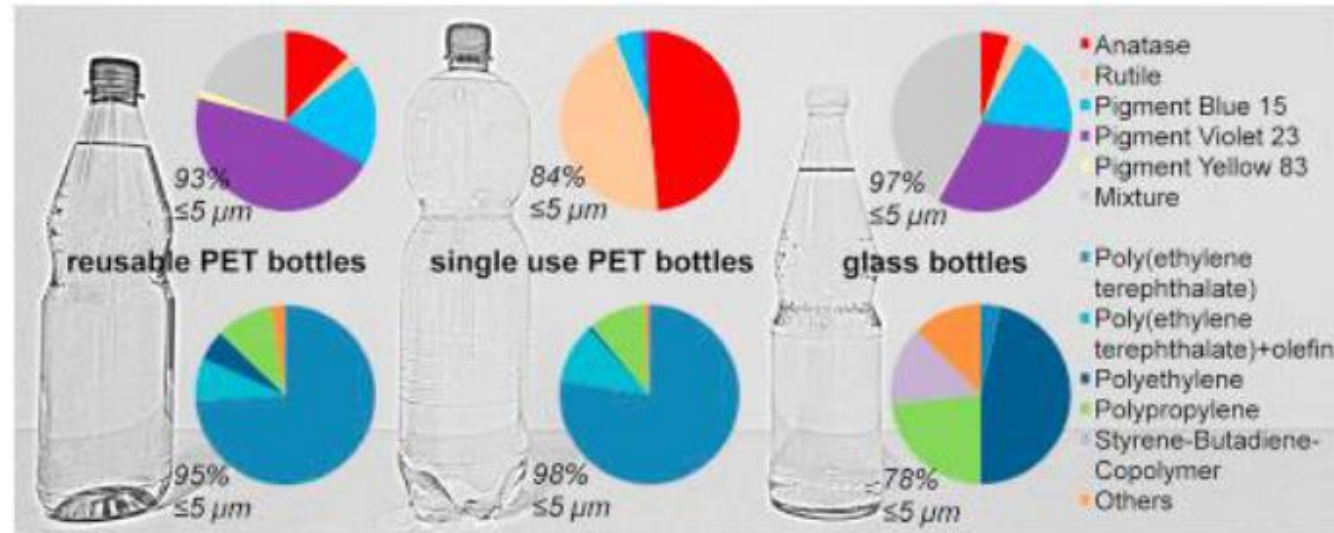
**Table 1**  
**Summary of research studies on microplastics in bottled drinking water published from 2018 to September 2020. The abbreviations of the polymers are explained in Box 1**

| Sample type     | Microplastics content [per liter]   | Detection method   | Minimal particle size [ $\mu\text{m}$ ] | Major polymer types          | Reference                        |
|-----------------|---|--|---|------------------------------|----------------------------------|
| Blank value     | 14 $\pm$ 13 (1–42)  |  |   | PEST, PE, PS, PP             |                                  |
| Single use PET  | 14 $\pm$ 14 (2–44)  |  |   | PEST, PE, PP, PA             |                                  |
| Returnable PET  | 118 $\pm$ 88 (28–241)   | RM   | 5                                       | PEST, PP, PE, PA             | Schymanski <i>et al.</i> [11]    |
| Glass           | 50 $\pm$ 52 (0–253)   |  |   | PEST, PE, PS, PA             |                                  |
| Beverage Carton | 11 $\pm$ 8 (5–20)   |  |   | PE, PEST, PP, PA             |                                  |
| Blank value     | 384 $\pm$ 168 (0–1175)  |  |   | PP, PS, PE, PET              |                                  |
| Single use PET  | 2 649 $\pm$ 2 857 (90–9311)   | RM   | 1                                       | PET, PP, PE                  | Oßmann <i>et al.</i> [12]        |
| Returnable PET  | 4 889 $\pm$ 5 432 (0–16 634)  |  |   | PET, PP, PE                  |                                  |
| Glass           | 6 292 $\pm$ 10 521 (813–35 436)   |  |   | PE, PP, SBC, PET             |                                  |
| Blank value     | 23.5 (7–47) (>6.5 $\mu\text{m}$ ); 4.15 (0–14) (>100 $\mu\text{m}$ ), blank subtraction   |  |   | n. s.                        |                                  |
| Single use PET  | 315 (>6.5 $\mu\text{m}$ ); 10.4 (>100 $\mu\text{m}$ )   | Nile Red; $\mu$ -FTIR (>100 $\mu\text{m}$ )  | 6.5; >100                               | PP, PA, PS, PE, PEST         | Mason <i>et al.</i> [13]         |
| Glass           | 195.7 (>6.5 $\mu\text{m}$ ); 9.2 (>100 $\mu\text{m}$ ) (one brand)  |  |   | n. s.                        |                                  |
| Blank value     | ~1E+07  |  | 1.28 [14]                               |                              |                                  |
| Single use PET  | 5.42E+07 $\pm$ 1.95E + 07 (3.16E +07–1.1E + 08)   | Patented sample preparation, SEM-EDX   | 0.5 [15]                                | n. a.                        | Zuccarello <i>et al.</i> [14,15] |
| Blank value     | no overall mean indicated; blank value per sample set, for example, 18 $\pm$ 4 (6.5–20 $\mu\text{m}$ ), 8 $\pm$ 3 (20–50 $\mu\text{m}$ ); 4 $\pm$ 1 ( $\geq$ 50 $\mu\text{m}$ ); blank correction |  |   | PE, polyacrylic              |                                  |
| Single use PET  | 140 $\pm$ 19  | Nile Red; ATR-FTIR (>50 $\mu\text{m}$ , if manual handling possible); on some spots RM | 6.5; >50                                | PET, PE, PP, PA              | Kankanige <i>et al.</i> [16]     |
| Glass           | 52 $\pm$ 4  |  |   | (ATR-FTIR); PE, PP, PET (RM) |                                  |

n. s. not specified; n. a. not applicable.



## Mikroplastik: Mikroplastik in Mineralwasser



Schymanski 2018 / Oßmann 2018: Microplastics in Mineral Water

## Mikroplastik: Mikroplastik in Mineralwasser

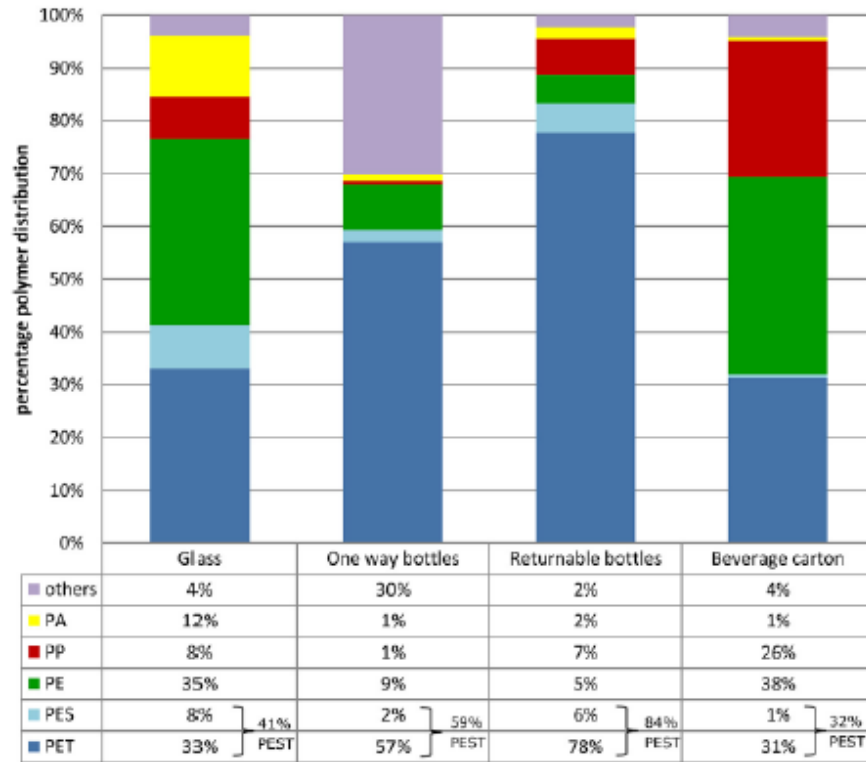


Fig. 4. Polymer distribution of the microplastics found in water from different packaging types (for abbreviations of polymer type see Table 1).

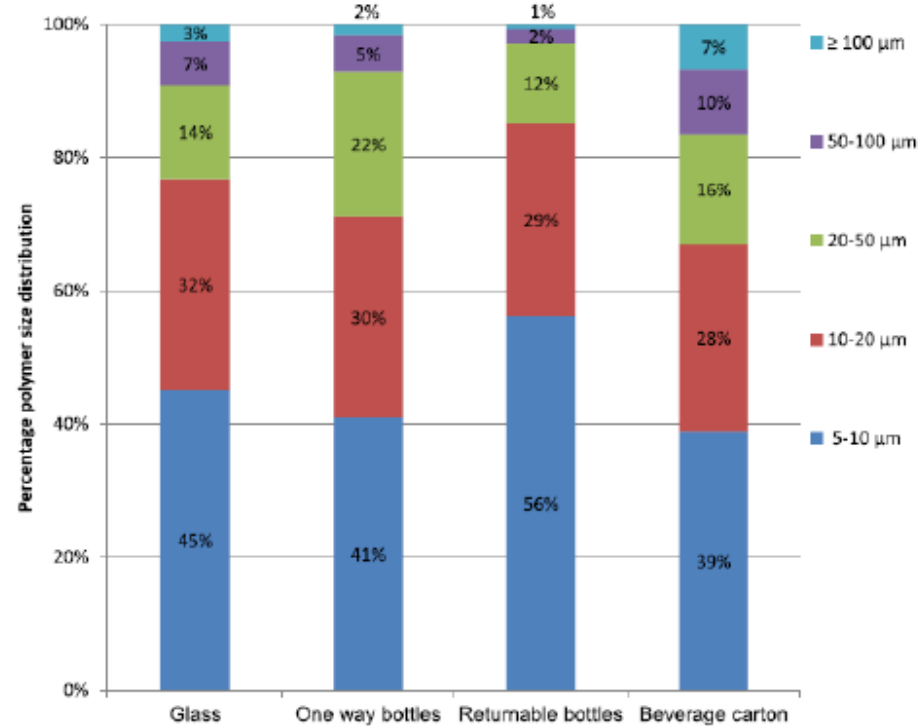


Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy:  
Release of plastic particles from different packaging into mineral  
water

Darena Schymanski <sup>a,b</sup>, Christophe Goldbeck <sup>a</sup>, Hans-Ulrich Humpf <sup>b</sup>, Peter Fürst <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Chemical and Forensic Analytical Institute in Mineralogical Institute (CFI/MI), Joseph-Stiglitz-Str. 45, 48147 Münster, Germany  
<sup>b</sup> Institute of Food Chemistry, FoodSafety and Food Quality (IFC/FQ), 48149 Münster, Germany

## Mikroplastik: Mikroplastik in Mineralwasser

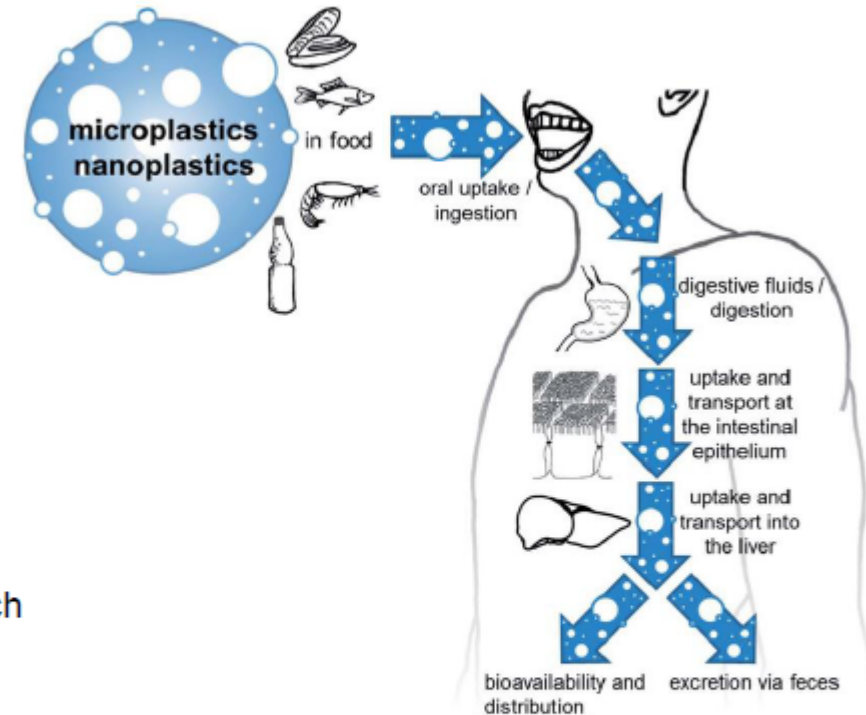




## Mikroplastik: Vorkommen und Exposition

### Fazit:

- Mikroplastik wurde in zahlreichen Lebensmitteln gefunden und nachgewiesen.
- Es kommt vermutlich überall vor und wird vom Menschen aufgenommen.
- Es besteht die Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung, jedoch gibt es dazu noch keine verlässlichen Daten.
- Ein mögliches gesundheitliches Risiko für die Verbraucher muss untersucht und bewertet werden.



### Micro- and nanoplastics – current state of knowledge with the focus on oral uptake and toxicity

Maxi B. Paul,<sup>a</sup> Valerie Stock,<sup>a</sup> Julia Cara-Carmona,<sup>a</sup> Elisa Lisicki,<sup>a</sup> Sofiya Shopova,<sup>a</sup> Valérie Fessard,<sup>b</sup> Albert Braeuning,<sup>a</sup> Holger Sieg<sup>a,\*</sup> and Linda Böhmert<sup>a</sup>

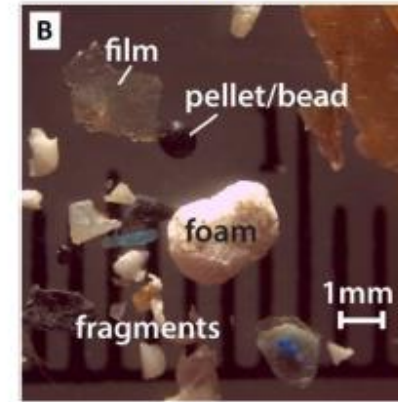
## Mikroplastik: Risikobewertung

Standardchemikalie



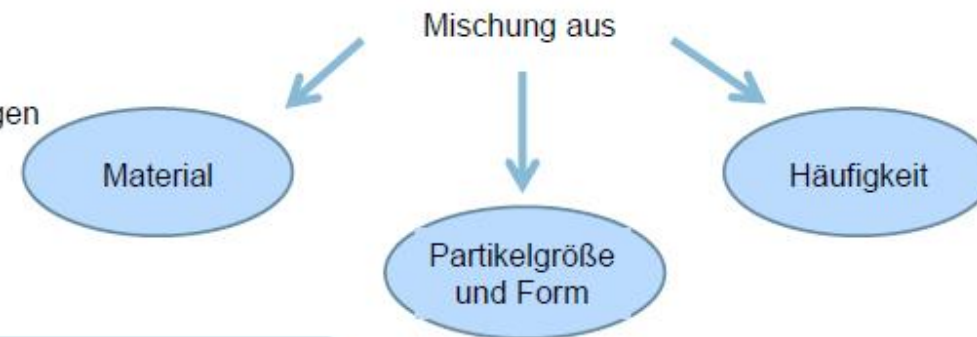
\*

Mikroplastik



\*\*

- Gefahrenidentifizierung: Chemische Eigenschaften
- Gefahrencharakterisierung: Effekte, Dosis-Wirkungs-Beziehungen
- Expositionsermittlung
- Risikobewertung: Health-Based Guidance Values (HBGV)

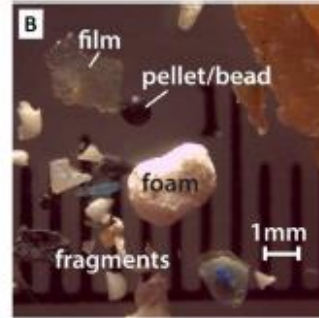


Plastik ist nicht gleich Plastik.  
Komplexe Risikobewertung

\*calroth.com  
\*\*Baldwin et al. 2016. Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: Relations to watershed attributes and hydrology. Environ Sci Technol. 50(19):10377-10385.

## Mikroplastik: Materialbedingte Herausforderungen

Plastik ist nicht gleich Plastik

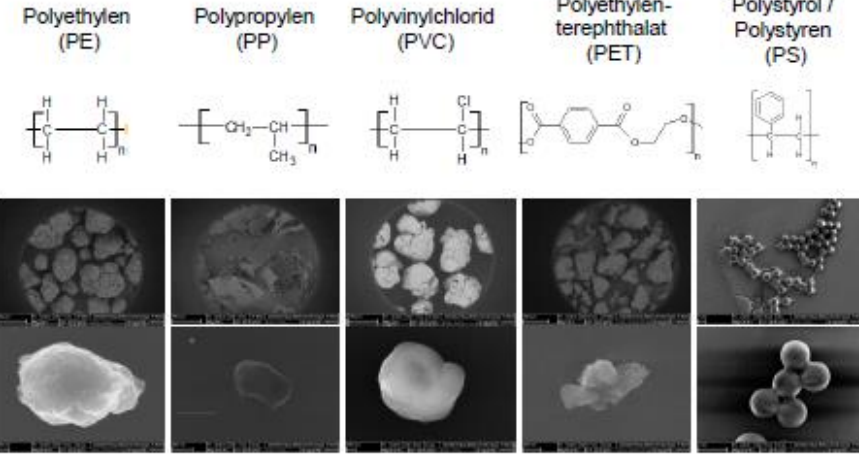


- Mikroplastik ist ein komplexes Gemisch verschiedener Materialien

- Viele Studien mit Polystyrol
- Andere Materialien häufiger vorhanden
- Unterschiedliche Beschaffenheit, Struktur und Dichte



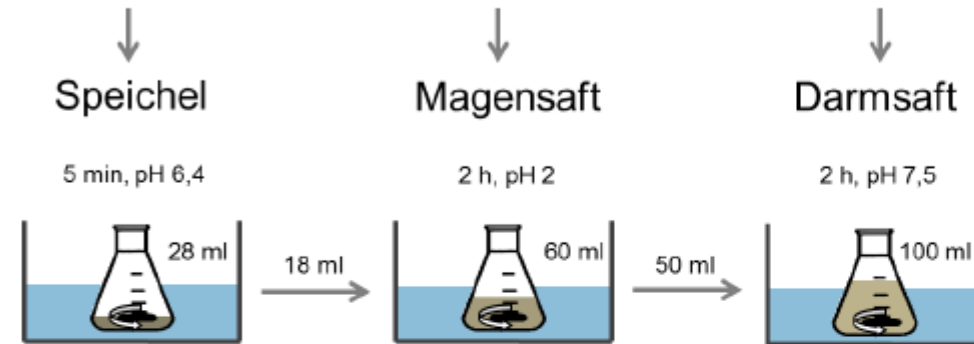
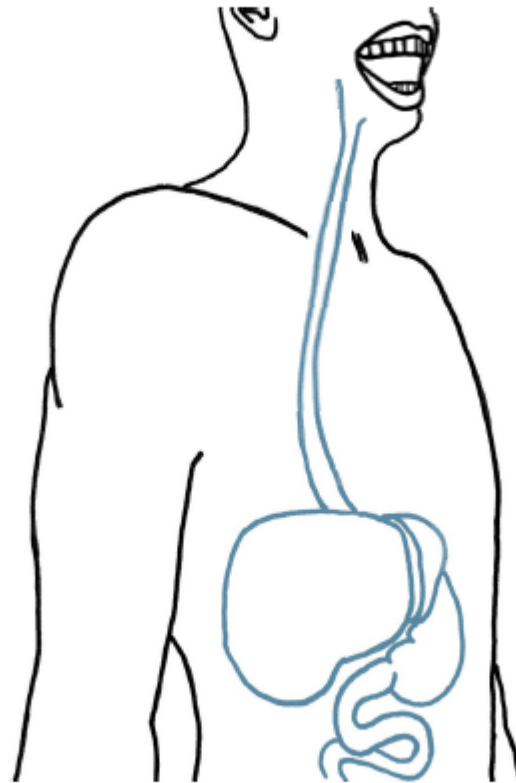
- Methodenentwicklung notwendig



| Material                         | Size (µm) | Surface -modification                              | Fluorescence |
|----------------------------------|-----------|--|--------------|
| Polystyrene (PS)                 | 10        | SO <sub>2</sub>                                    | ●●●●         |
|                                  | 4         | neutral / COOH / SO <sub>2</sub>                   | ●●●●         |
|                                  | 1         | COOH   | ●●●●         |
|                                  | 0.1       | neutral / COOH / SO <sub>2</sub> / NH <sub>2</sub> | ●●●●         |
|                                  | 0.02      | COOH   | ●●●●         |
| Polyethylene (PE)                | Powder    |  | ○ ○ ○        |
| Polypropylene (PP)               | Powder    |  | ○ ○ ○        |
| Polyvinylchloride (PVC)          | Powder    |  | ○ ○ ○        |
| Polyethylene-terephthalate (PET) | Powder    |  | ○ ○ ○        |

\*Baldwin et al. 2016. Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: Relations to watershed attributes and hydrology. Environ Sci Technol. 50(19):10377-10385.

## Mikroplastik – Verdauungssystem und Simulation

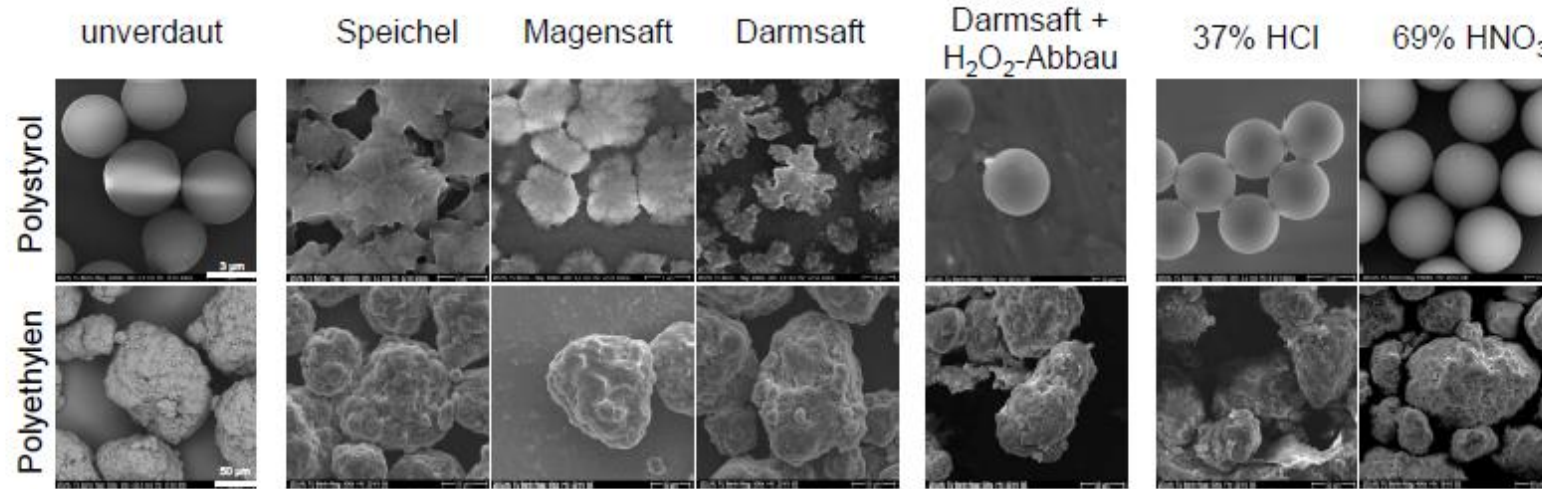


### Verdausimulanzien mit

- Salzen
- Säuren / Basen ( pH-Werte )
- Verdauungsenzymen
- Körpertemperatur ( 37 °C )
- Verweildauer unter Rühren



## Mikroplastik – Verdauungssystem und Simulation



Die Bedingungen des Menschlichen Verdauungssystems reichen nicht aus, um Mikroplastikpartikel abzubauen.



Impact of artificial digestion on the sizes and shapes of microplastic particles

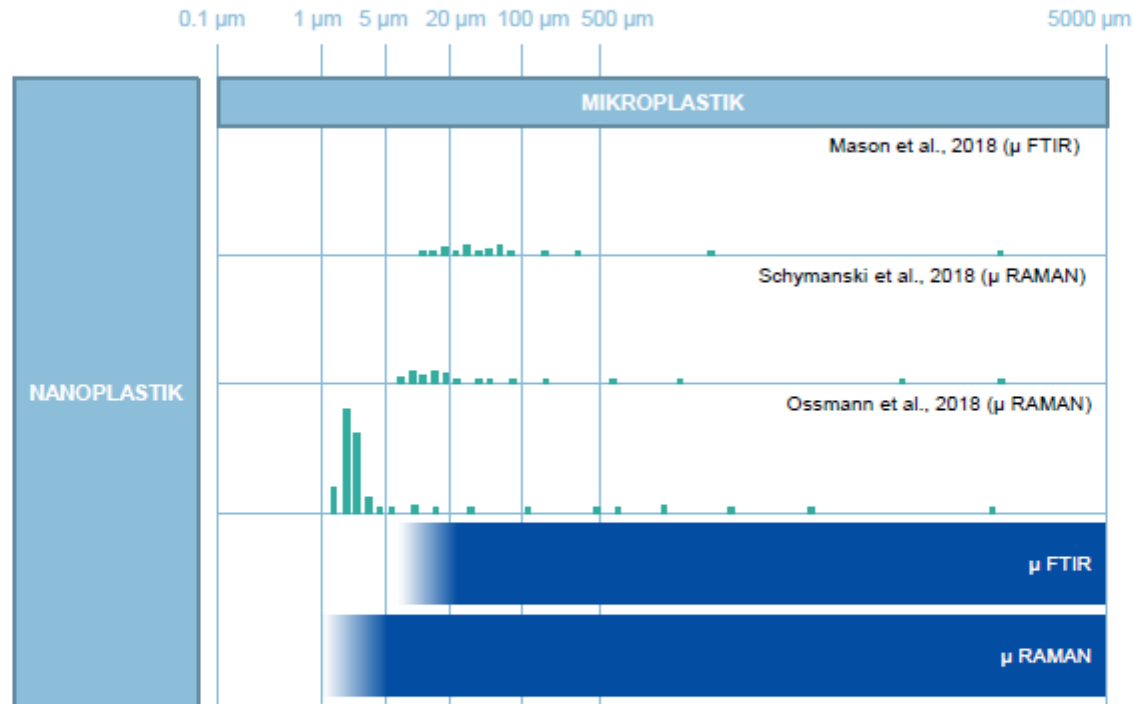
Valerie Stock<sup>a</sup>, Christoph Fahrner<sup>b</sup>, Andreas Thoenemann<sup>c</sup>, Merve Hilal Dünnes<sup>d</sup>, Linn Voss<sup>e</sup>, Linda Böhmer<sup>f</sup>, Albert Brauning<sup>g</sup>, Alfonso Lampen<sup>h</sup>, Holger Sieg<sup>i</sup>

<sup>a</sup>German Federal Institute for Risk Assessment, Max-Dahmer-Str. 8-18, 12205, Berlin, Germany

<sup>b</sup>Technical University Berlin, Science Microscopy Core Facility, Straße des 17. Juni 135, 10623, Berlin, Germany

<sup>c</sup>German Federal Institute for Materials Research and Testing, Berlin, Germany

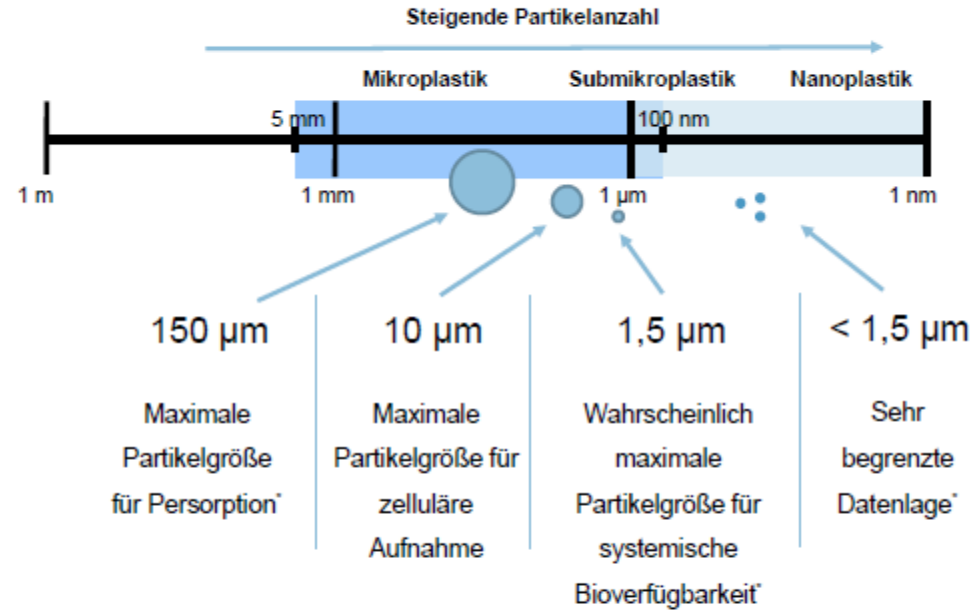
## Mikroplastik: Detektion verschiedener Größenbereiche



Modifiziert nach: Fresenius conference, Toxicology of Contaminants, 2019



## Mikroplastik: Zelluläre Aufnahme und Bioverfügbarkeit



**STATEMENT**

ADOPTED: 11 May 2015  
doi: 10.2903/efsa.2015.4501

**Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood**

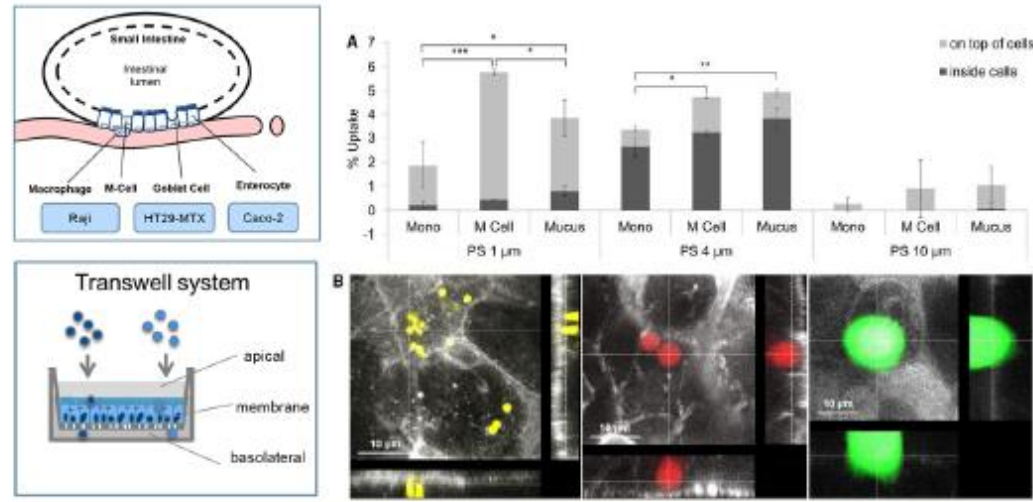
EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)

\*EFSA

## Mikroplastik: Zelluläre Aufnahme und Bioverfügbarkeit

- Größenabhängige Partikelaufnahme

### *in vitro*: Darmzellkulturen



### *in vivo*: Maus

- 28-Tagesstudie (Orale Applikation, HOTT-Mäuse)
- Nur einzelne Partikel (1 µm) in Organen des GI-Trakts gefunden

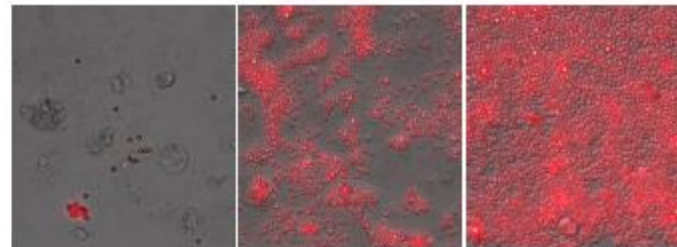
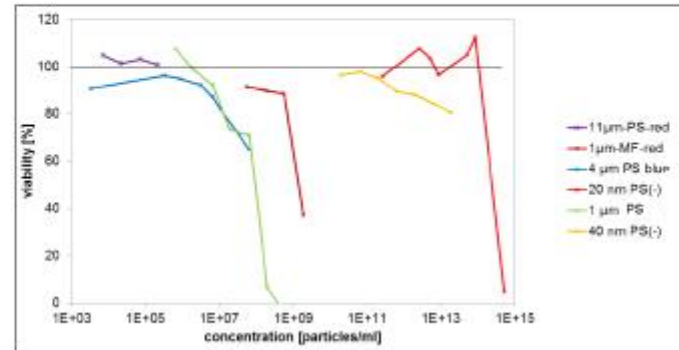


Stock, V.; Böhmert, L.; Usicki, E.; Block, R.; Cara-Carmona, J.; Pack, L. K.; Seib, R.; Lichtenstein, D.; Voss, L.; Henderson, C. J.; Zabinsky, E.; Sieg, H.; Braeuning, A.; Lampen, A., Uptake and effects of orally ingested polystyrene microplastic particles *in vitro* and *in vivo*. *Archives of toxicology* 2019, 93 (7), 1617-1633.

„Verpackung – Aufbau der Schülerkompetenz für eine nachhaltige Welt“

## Mikroplastik: Gefahrencharakterisierung

- *in vitro*: Zellviabilitätsmessungen



- Effekte in „Overload“-Situationen
- häufig extrem hohe, unrealistische Konzentrationen
- oft artifizielle Partikel

## Mikroplastik: Gefahrencharakterisierung

- *in vivo*: Verschiedene Effekte in unterschiedlichen Spezies

- Nicht nach OECD-Kriterien
  - Häufig Invertebraten, nicht human
  - Nicht unter kontrollierten Bedingungen
  - Materialbeimischungen oft unklar
  - Größenverteilungen oft nicht berücksichtigt
  - Oft sehr hohe Dosis
- ↓
- Nicht verwendbar für Risikobewertung
  - Noch keine Dosis-Wirkungs-Beziehungen
  - Noch keine Health-Based Guidance Values ableitbar

### Risk assessment and toxicological research on micro- and nanoplastics after oral exposure via food products

German Federal Institute for Risk Assessment (BfR), Department of Food Safety, Unit Effect-based Analytics and Toxicogenomics Unit and Nanotoxicology Junior Research Group, Berlin, Germany.  
Sofya Shopova, Holger Sieg and Albert Brauning

**Table 3:** Selected toxicological effects of micro- and nanoplastics

| Toxic effects             | Microplastics          | Model                                       | Main findings   | References               |
|---------------------------|------------------------|---|---|--------------------------|
| Gastrointestinal toxicity | PE                     | Blue mussel <i>Mytilus edulis</i> L.        | Notable histological change and a strong inflammatory response  | von Moos et al. (2012)   |
|                           | PS                     | Adult male zebrafish                        | PS microplastics increased the expression of IL-1 $\alpha$ , IL-1 $\beta$ and interferon in the gut; indicated microbiota dysbiosis and inflammation  | Jin et al. (2018)        |
|                           | PA, PE, PP, PVC and PS | Zebrafish and nematode                      | WILL cracking and splitting of enterocytes  | Lai et al. (2018)        |
|                           | PS                     | Male mice                                   | Accumulation of PS microplastics in mice guts, consequently caused the reduction of intestinal mucus secretion damage of gut barrier function; metabolic disorders in mice  | Jin et al. (2019)        |
|                           | PS                     | AGS cells                                   | Inflammatory gene expressions such as IL-6 and IL-8   | Forte et al. (2016)      |
| Liver toxicity            | PS                     | Zebrafish                                   | Inflammation and lipid accumulation both in 5 $\mu$ m and 70 nm; oxidative stress and alterations in their metabolic profiles; disturbance of lipid and energy metabolism   | Lu et al. (2016)         |
|                           | PS                     | <i>Eriocheir sinensis</i>                   | Decreased activities of AChE, CAT, and ALT in <i>Eriocheir sinensis</i> liver; antioxidants CAT, SOD, GPx and GST level decreased in the liver; expressions of the genes encoding p38 in the MAPK signalling pathway was upregulated while significantly declined in ERK, AKT and MEK | Yu et al. (2018)         |
| Liver toxicity            | PS                     | Mouse                                       | TG and TCH levels decreased; decreases on key gene expressions related to lipogenesis and TG synthesis in liver indicating mouse hepatic lipid disorder   | Lu et al. (2018)         |
|                           | PS                     | Zebra mussel <i>Dreissena polymorpha</i>    | Dopamine concentration increased  | Megni et al. (2018)      |
| Neurotoxicity             | PS                     | T98G cells                                  | Increases of ROS, oxidative stress  | Schirizzi et al. (2017)  |
| Reproductive toxicity     | PS                     | Oysters                                     | Oocyte number, diameter and sperm velocity decreased in oysters   | Sussarellu et al. (2016) |
|                           | PS                     | acs-22 mutant <i>Caenorhabditis elegans</i> | Accumulation of nanoplastystyrene particles in gonad, dysregulation of some oxidative stress genes  | Man et al. (2018)        |

## Mikroplastik: Fazit

- Mikroplastik zunehmend umfangreich untersucht:
- Einige Schlussfolgerungen nach aktueller Datenlage:
  - Verfügbare Studien sprechen für niedrige Bioverfügbarkeit:
    - Zelluläre Aufnahme > 1.5 µm sehr niedrig
    - Oft in nicht-essbaren Organen
  - Direkte Effekte niedrig:
    - Material selbst gilt als chemisch unreaktiv.
    - Effekte nur in „Overload“-Situationen

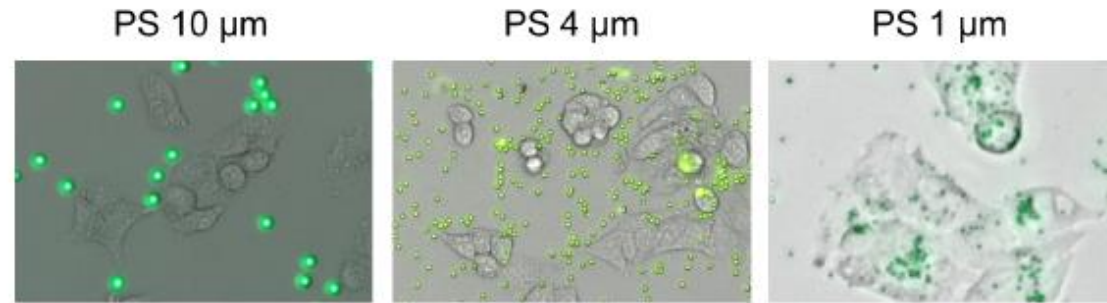
→ Aktuelle Daten sprechen für ein begrenztes  
gesundheitliches Risiko für Verbraucher durch Mikroplastik

### Aber:

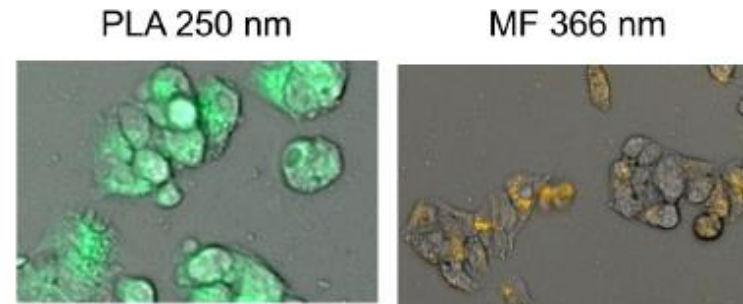
- Chronische Exposition über lange Zeiträume?
- Subtoxische und indirekte Effekte?
- Fast nichts bekannt über Nanoplastik!
  - Analytische Methoden geraten an ihre Grenzen
  - Experimentelles Handling sehr schwierig

## Von Mikro- zu Nanoplastik: Größenabhängige Aufnahme

Mikroplastik:



Submikroplastik:

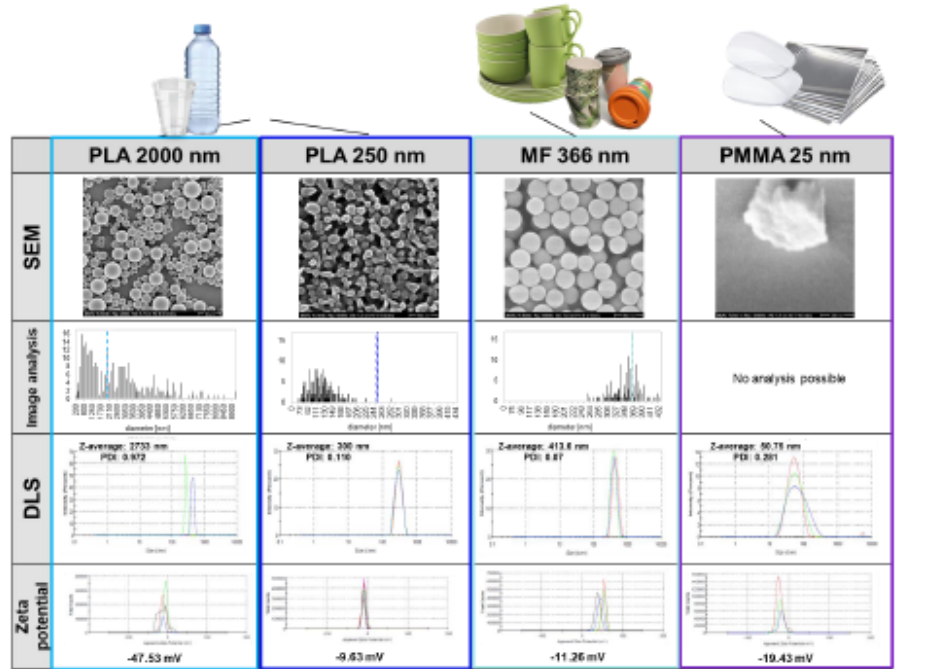


Unterschiede in der zellulären Aufnahme?  
Unterschiede in der intrazellulären Lokalisierung?  
Unterschiedliche Aufnahmemechanismen?

HepG2 - Zellen



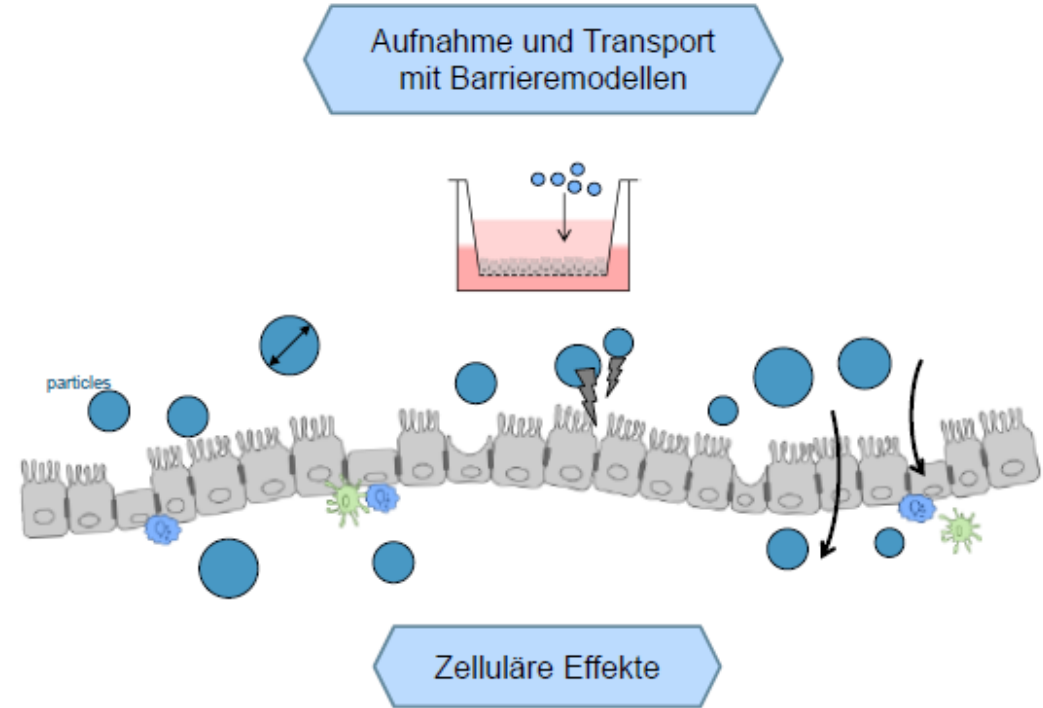
## Von Mikro- zu Nanoplastik: Eigene Forschung



Polydisperses Material vom Mikrometer- bis zum Nanometerbereich

Submikropartikel  
Gleicher Größenbereich, aber verschiedene Materialien

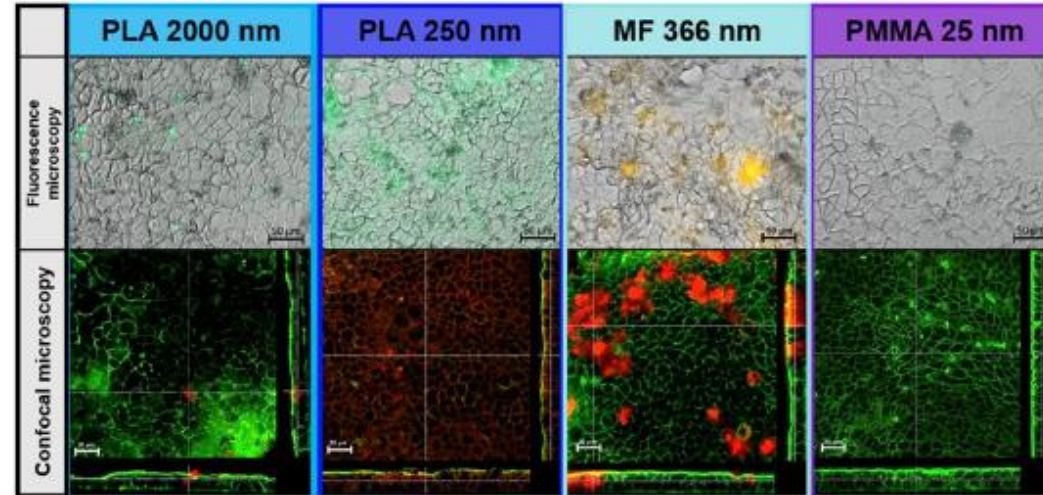
Beispiel für Nanoplastikpartikel



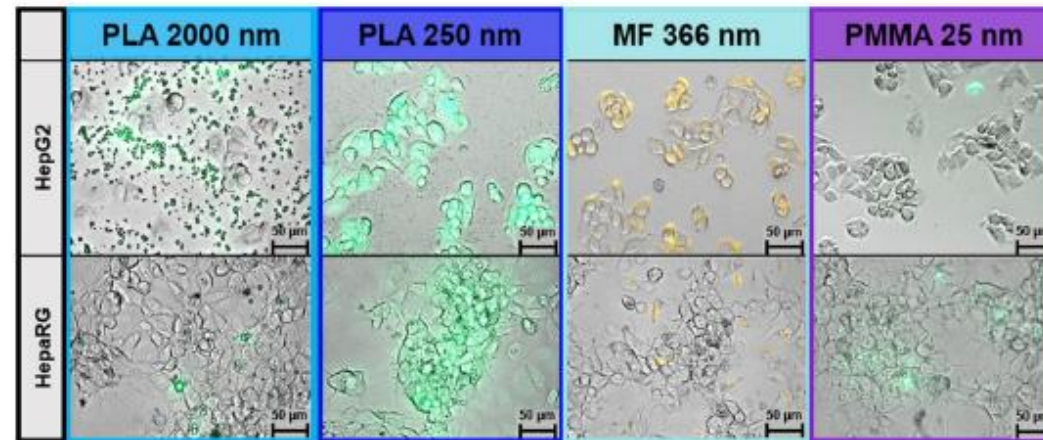
Dissertationsprojekt von Maxi Paul

## Von Mikro- zu Nanoplastik: Aufnahmestudien

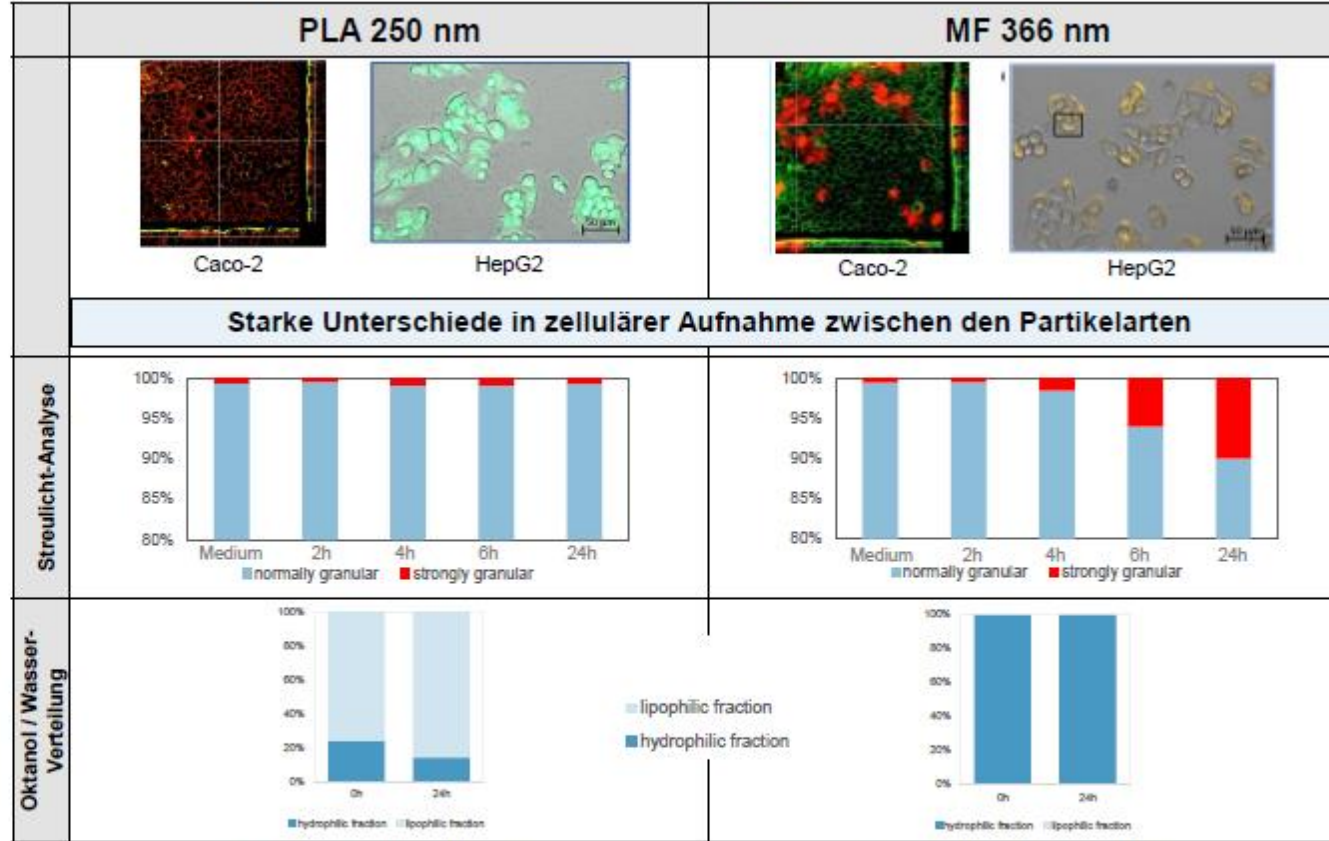
Darmzellen:



Leberzellen:



## Von Mikro- zu Nanoplastik: Materialabhängigkeit



Membraninteraktion?

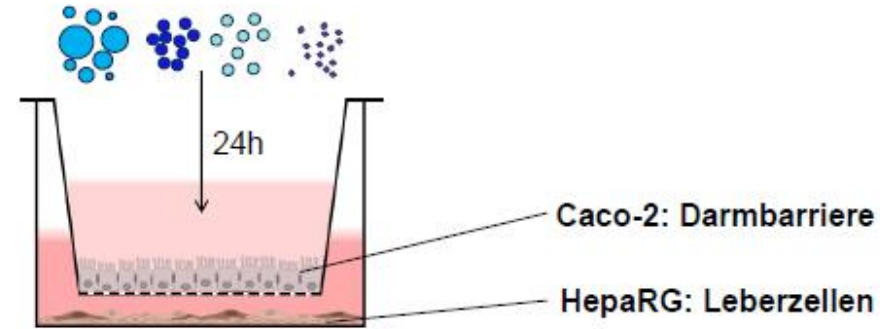
Endosomale Deposition?

Hypothese: Materialbedingte Unterschiede in der Hydrophobizität bestimmen die Aufnahme

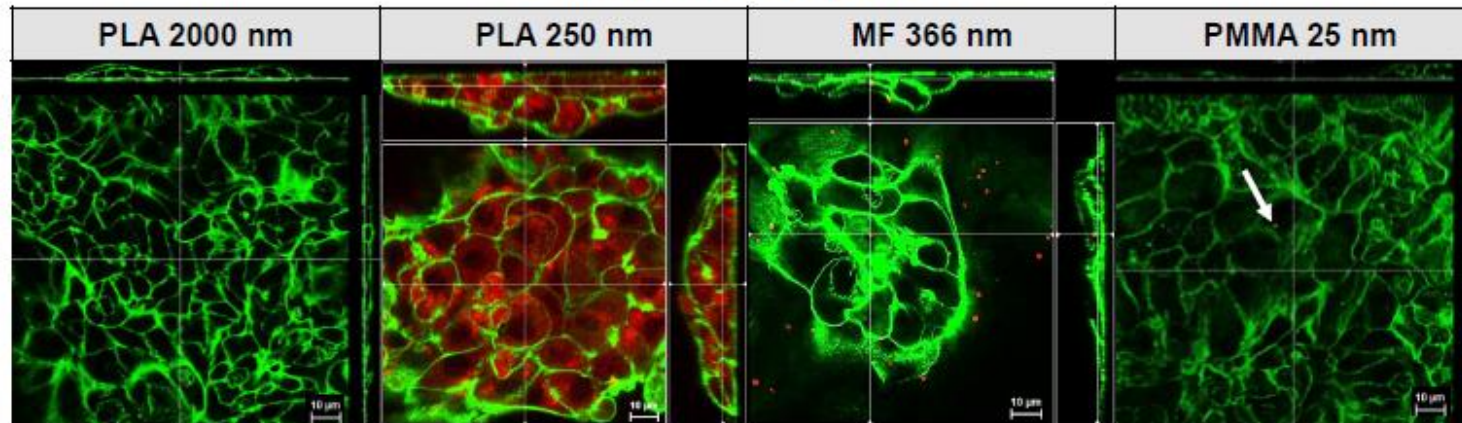


## Materialabhängiger Transport über die intestinale Barriere

Kombiniertes Darm- und Lebermodell:



Aufnahme in HepaRG

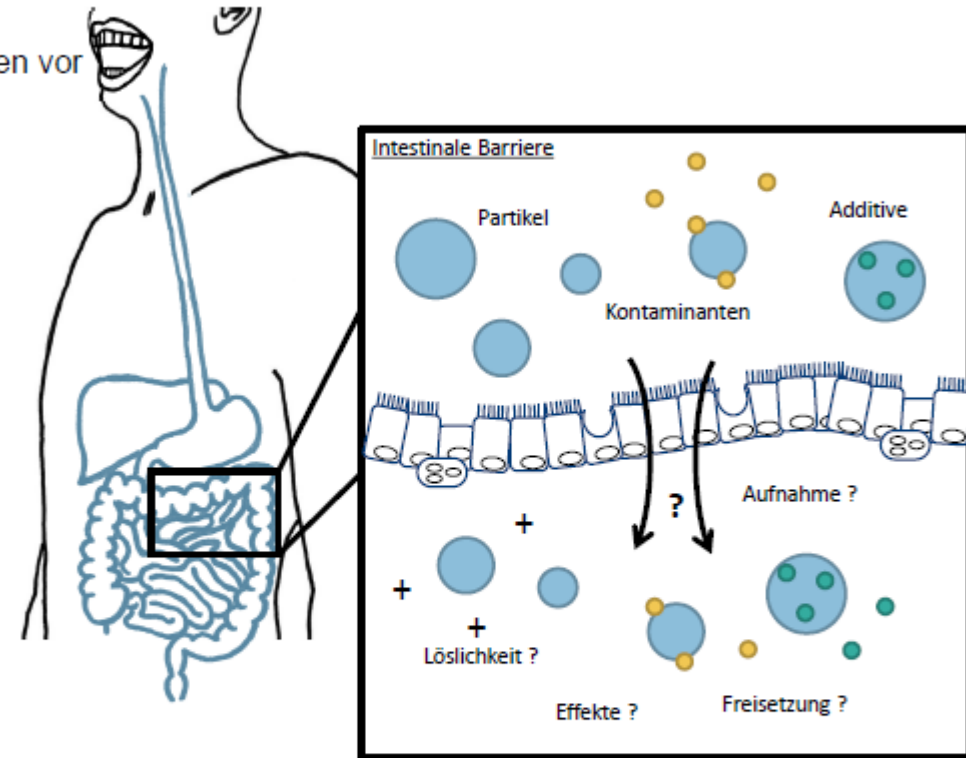


Aufnahme in Leberzellen nach Transport über die intestinale Barriere?

Maxi Paul, unveröffentlichte Daten

## Zusammenfassung / Fazit

- Wissensstand:
  - Mikroplastik kommt überall, auch in Lebensmitteln und Verpackungen vor
  - Komplexe Mischung (Polymere, Additive, Kontaminanten)
  
- Regulatorische Sicht:
  - Verfügbare Studien lassen noch keine Risikobewertung zu
  - Fehlende validierte Messmethoden
  - Routinekontrollen und Monitoring noch nicht möglich
  - Risikocharakterisierung noch unklar -> keine Grenzwerte ableitbar
  
- Datenlücken:
  - Chronische Exposition
  - Indirekte Effekte
  - Nanoplastik
  
- Methodenentwicklung geht weiter: Analytik, Quantifizierung und Toxikologie



## Danke für Ihre Aufmerksamkeit



Nanoscale  
Advances



REVIEW

[View Article Online](#)  
[View Journal](#) | [View Issue](#)

[Check for updates](#)

Cite this: *Nanoscale Adv.*, 2020, 2, 4350

### Micro- and nanoplastics – current state of knowledge with the focus on oral uptake and toxicity

Maxi B. Paul,<sup>a</sup> Valerie Stock,<sup>a</sup> Julia Cara-Carmona,<sup>a</sup> Elisa Lisicki,<sup>a</sup> Sofiya Shopova,<sup>a</sup> Valérie Fessard,<sup>b</sup> Albert Braeuning,<sup>a</sup> Holger Sieg<sup>a,\*</sup> and Linda Böhmert<sup>a</sup>

Dr. Holger Sieg

Bundesinstitut für Risikobewertung  
Abteilung Lebensmittelsicherheit  
[holger.sieg@bfr.bund.de](mailto:holger.sieg@bfr.bund.de)

Danksagung:

Maxi Paul  
Dr. Valerie Stock  
Dr. Linda Böhmert  
Prof. Dr. Albert Braeuning  
Prof. Dr. Tanja Schwerdtle