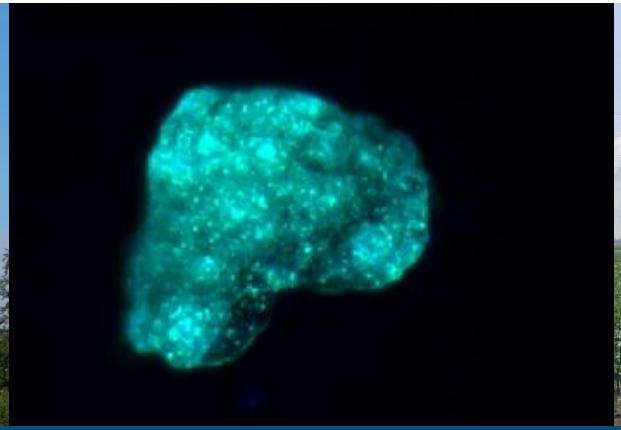
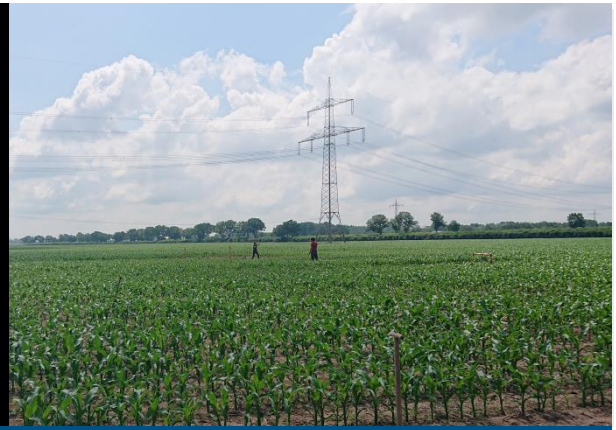
Technische Universität Braunschweig

Institut für Siedlungswasserwirtschaft





Mikroplastikemissionen auf Kläranlagen – Ergebnisse des BMBF Verbundprojektes REPLAWA

Dr.-Ing. Katrin Bauerfeld

32. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft 07.09.2022

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

FONA

Forschung für Nachhaltigkeit

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Plastik in der Umwelt

Quellen • Senken • Lösungsansätze

REPLAWA

www.replawa.de

Reduktion des Eintrags von Plastik über das Abwasser in die aquatische Umwelt

EMSCHER WASSERTECHNIK GmbH

Technische Universität Braunschweig

ISW Institut für Siedlungswasserwirtschaft

Institut für Internationale Beziehungen IIR

TU berlin Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

SE BS BS|ENERGY Gruppe

LIPPE VERBAND

Abwasserverband Braunschweig

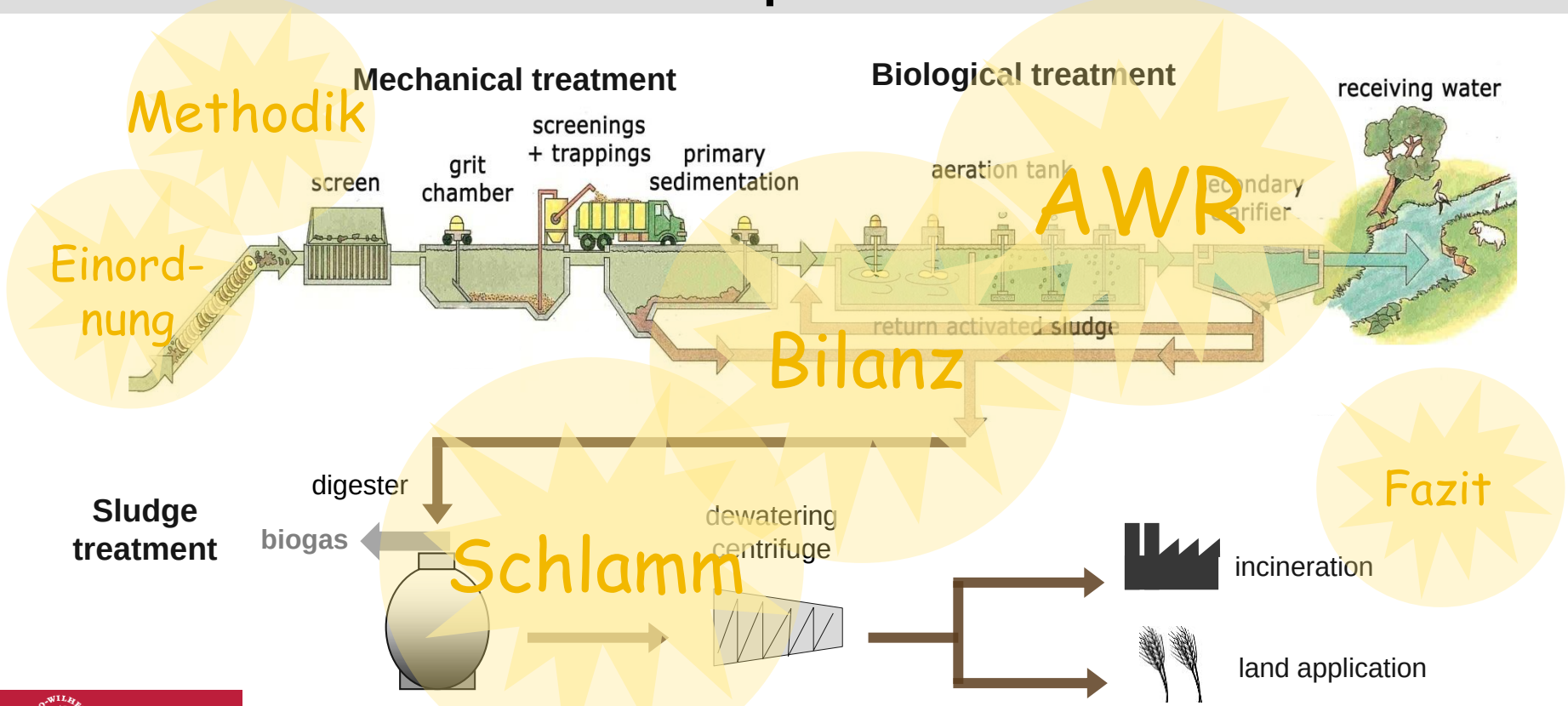
MECANA A Metawater Company

MARTIN

NORDIC WATER

Foto: Fuhrmann, T., 2019.

Das Schicksal kleiner Plastikpartikel…

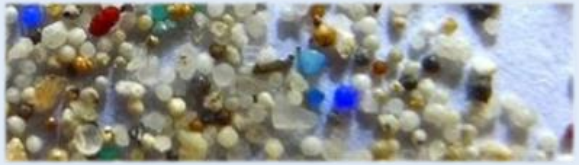


Einord-
nung

Worum geht`s?

Plastik

Makroplastik	~~Mesoplastik~~	Mikroplastik	
> 5 mm		Großes Mikroplastik 1 – 5 mm	Kleines Mikroplastik < 1 mm – **10 µm**



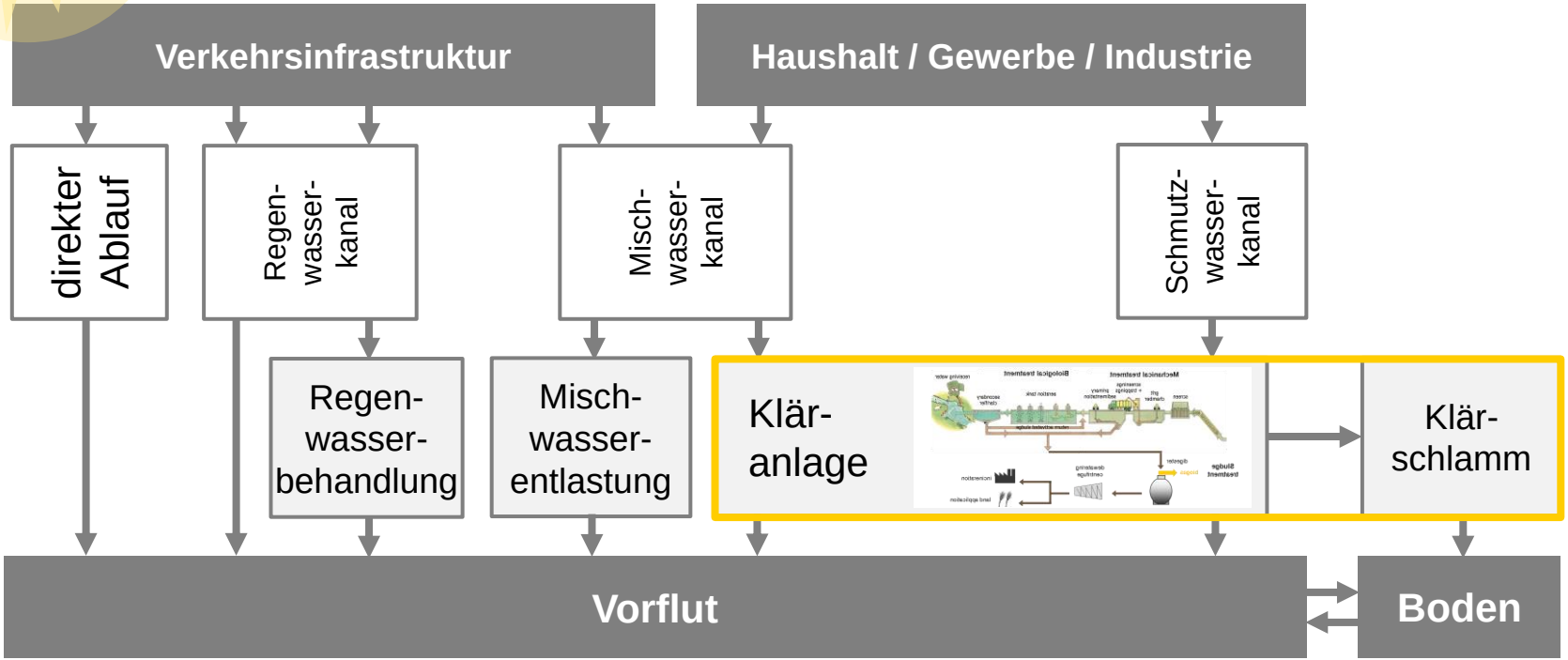
- MP = Vielstoffgemisch
- Häufigste Polymere:
  PE, PP, PET, PS, PMMA, SBR
- Keine Standardisierung

Primäres Mikroplastik	Sekundäres Mikroplastik
Produktion / Nutzung→ Umwelt	„Littering“

Größenklassifizierung: nach UBA, 2016, korrigiert nach ISO/TR 21960
Definition primäres/sekundäres MP: nach Bertling et al., 2018.

Einord-
nung

MP Emissionen in die Umwelt



Schema modifiziert nach REPLAWA, 2022.

Arbeitsprogramm und Analytik

MP Detektion

- RoSi → Gefriertrocknung → Feinmahlen → TED GC-MS → **MP (Masse)**
- (Verdünnung) → (Homogenisierung) → Fluoreszenzmikroskopie → **MPP (Anzahl)**

Mechan.-biolog. AWR:

- Großtechnik, 8 KA
- Versuchskläranlage (~1.200 EW)
- Nachgeschaltete Filtration

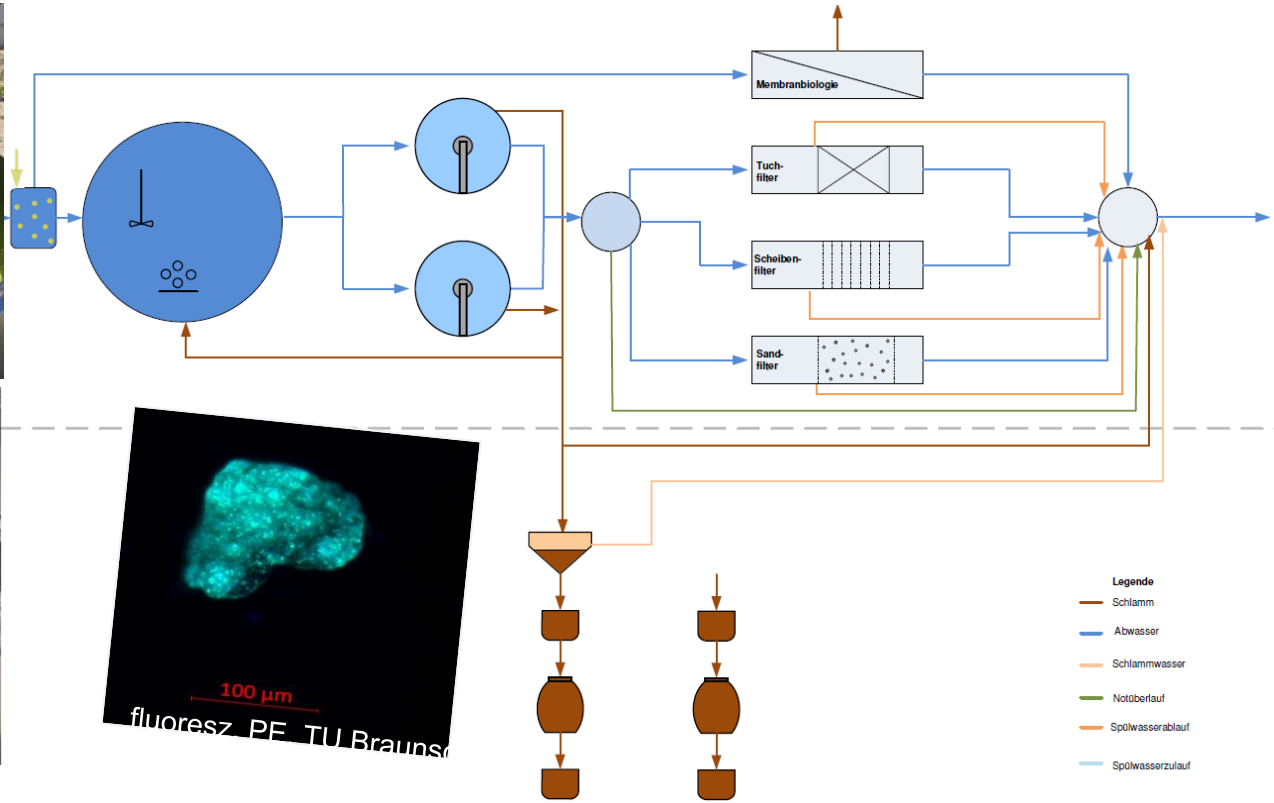
Abwasser – 24/48 h Probenhame

Klärschlammstabilisierung u. -entwässerung

- Großtechnik, 1 KA
- Halbtechnik (semi-kontinuierlich, Batch)

Schlamm – (Mehrpunkt)stichproben

Eindrücke



Technische Universität Braunschweig

Fotos Anlagen: ISWW: S. Meyer 2018 und 2019; Mikroskop: S.-M. Schäffer, 2019
Schema: ISWW: S. Meyer, 2018

Eindrücke

Fotos: ISWW: J. Scheele, 2021.

MP im Abwasserreinigungsprozess – Ergebnisse großtechnischer Messkampagnen

MP-Massekonzentration in einzelnen Reinigungsstufen von großtechn. kommunalen Kläranlagen

- MP Detektion TU Berlin
- MP = ∑ PE, PP, PS, PMMA, PET, Größenklasse: 10-1.000 µm
- 24h-Probenahme
- 1-4 Messtage

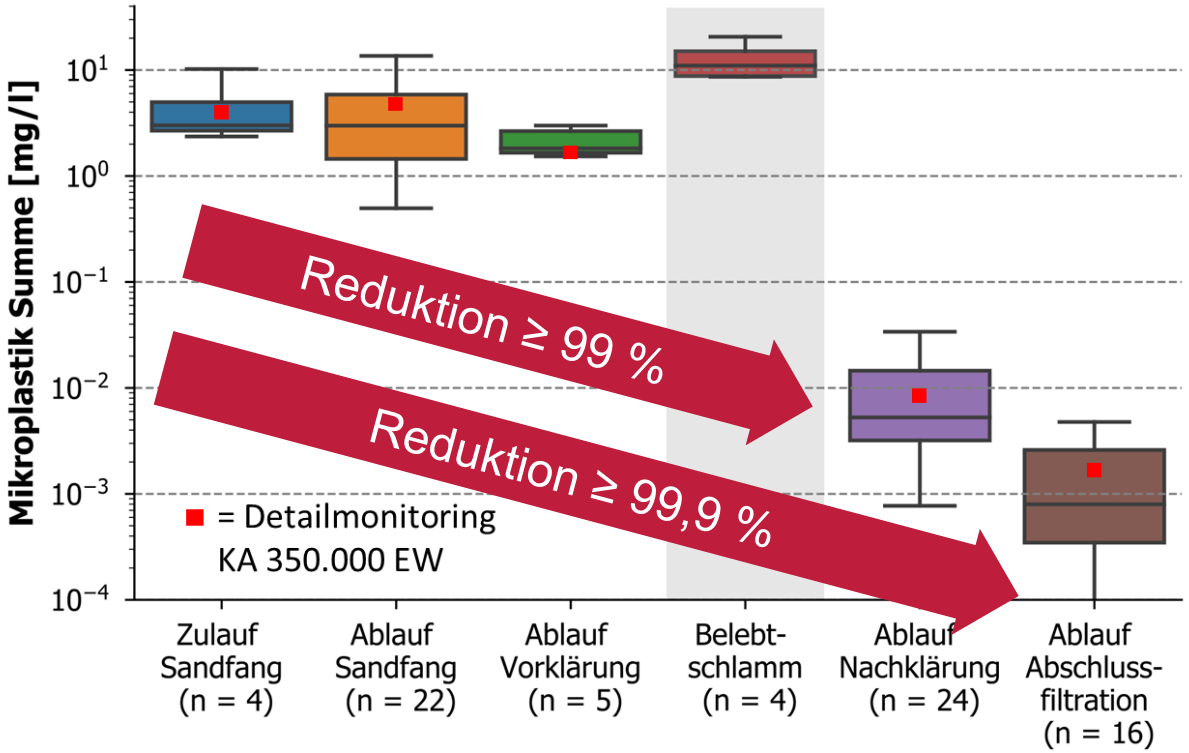


Abbildung: REPLAWA, 2022; ergänzt

MP im Abwasserreinigungsprozess – Ergebnisse halbtechnischer PE-Dotierungsversuche

AWR

Elimination an dotierten fluoreszierenden PE-Partikeln in nachgeschalteten Filtrationseinheiten der Versuchskläranlage

- MP Detektion TU Braunschweig, (Referenzmessungen TU Berlin)
- MP = PE, Größenklasse: 10-1.000 µm
- 24/48h-Probenahme

	PE- Elimination [%]	n PE [-]	Dotierungsszenario
Polststofffilter (PES 14)	93,9 – 99,9	9	Zulauf Filter
Kont. S (1-2 mm)	65,9* – 99,1	4	Zulauf Filter *geringes n PE !*
Polstofffilter (PES-14)	96,1 – 100,[illegible]		Zulauf Biologie und [illegible]uf Filter
Mikrosieb (PES 10 µm)	87,5 – 95,5	5	Zulauf Biologie und Zulauf Filter

weitere Reduktion um mind. 90 %

* Nicht optimales Setup und/oder Betriebsbedingungen nicht ausschließbar

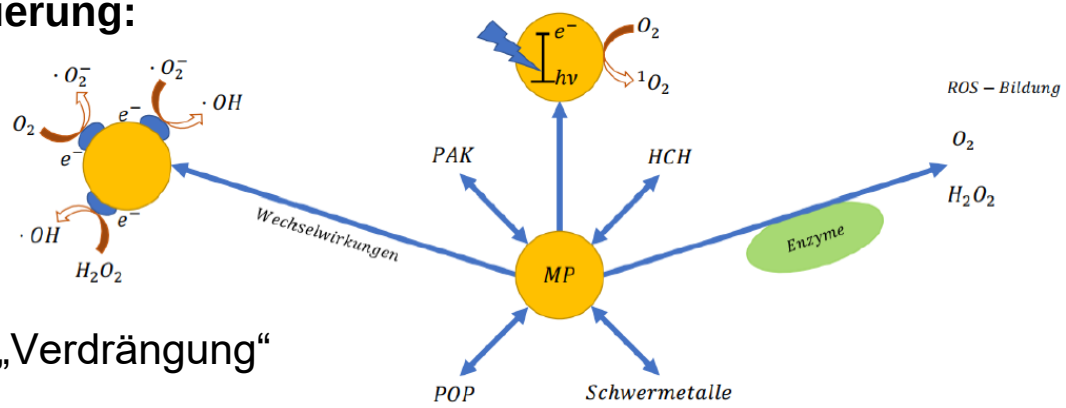
Datenübersicht: REPLAWA, 2022

MP im Klärschlamm – Einfluss der Behandlung

Rohschlamm = Senke für Mikroplastikpartikel

Interaktion MP-Biomasse bei Stabilisierung:

- Adsorption/Desorption
- Einbindung in EPS
- Bildung reaktiver Sauerstoffspezies



MP-Transfer bei Entwässerung:

- Einwirkende Kräfte beeinflussen MPP „Verdrängung“
- Abhängigkeit Polymerdichte

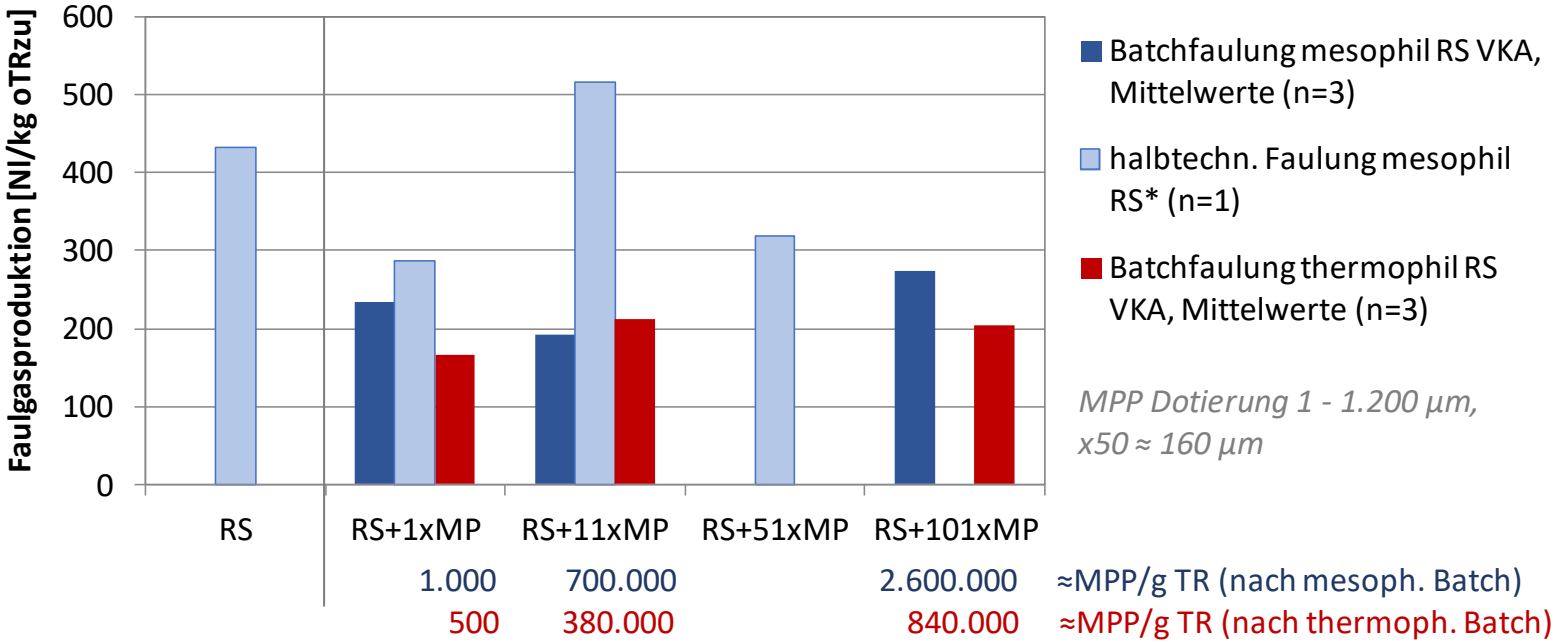
Hypothesen:

- Eine hohe Konzentration an MPP reduziert die Faulgas-/Methanausbeute
- „Leichte“ MPP werden bei der Entwässerung (mit Zentrifugen) in die flüssige Phase überführt

Abbildung: Manicke, 2020 nach Zhang. u. Chen., 2020

MP im Klärschlamm – Ergebnisse halbtechnischer PE-Dotierungsversuche

Anaerobe Stabilisierung (PE-Dotierung, Fluoreszenzmikroskopie)

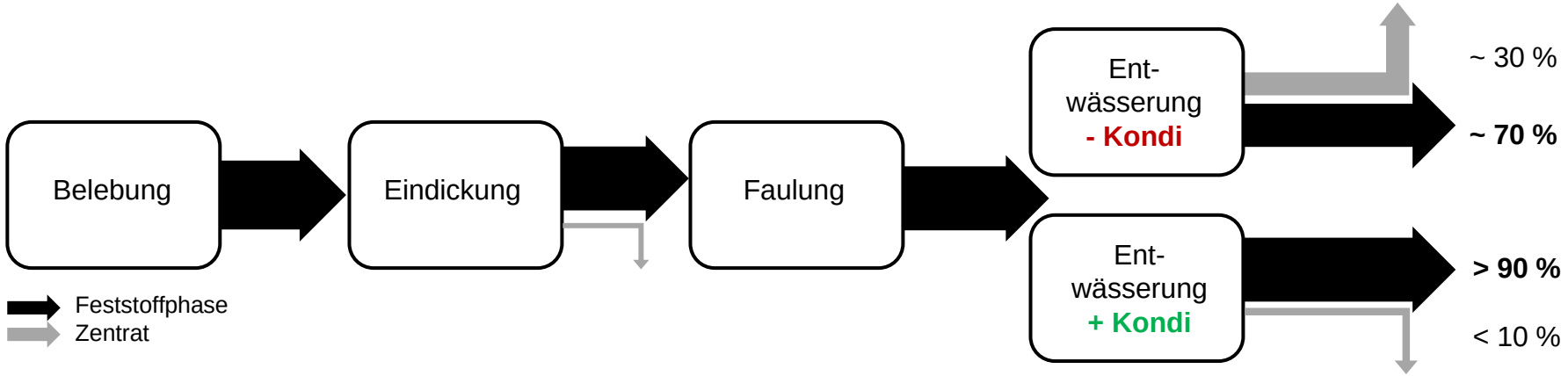


- Veränderter Gasertrag (und Methanausbeute) ggü. Referenz
- keine eindeutige Abhängigkeit der Gasproduktion von MPP-Dosierung und Faultemperatur
- keine behandlungsbedingten MPP-Reduktionen quantifizierbar

Abbildung: Bauerfeld, 2021a; Datengrundlage: ISWW: Manicke, 2020 und Scheele, 2021

MP im Klärschlamm – Ergebnisse halbtechnischer PE-Dotierungsversuche

Klärschlammentwässerung mit Zentrifugen (PE-Dotierung, Fluoreszenzmikroskopie)



- keine signifikante Abhängigkeit zur MPP Fracht
- Wesentlicher Einfluss der Konditionierung:
  Optimum: MPP Transfer << 10 % ins Zentrat, sonst bis zu 30 %

Abbildung: Bauerfeld, 2021b; Datengrundlage: ISWW: Manicke, 2020 und Scheele, 2021

MP auf Kläranlagen – übergeordnete Bilanz

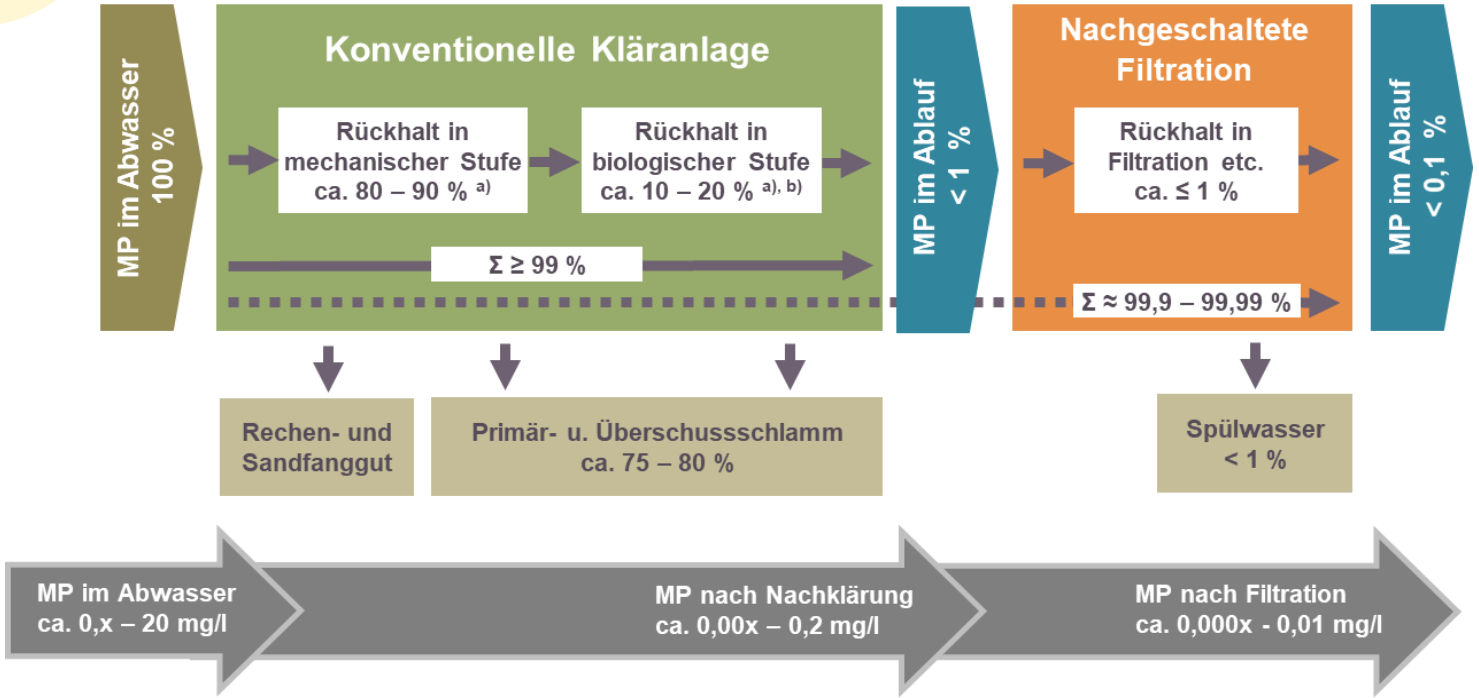


Abbildung: REPLAWA, 2022, modifiziert nach Fuhrmann et al. 2021; 2 Talvitie et al., 2014 ; 3 Meyer and Bauerfeld, 2020.
Übergeordnete Datengrundlage: Messwerte REPLAWA und Literaturdaten zur konventionellen AWR

MP auf Kläranlagen – Bilanz Fallbeispiel

Detailmonitoring
KA 350.000 EW

Mittlere MP-Massekonzentration

- MP Detektion TU Berlin
- MP = ∑ PE, PP, PS, PMMA, PET
- Größenklasse AWR: 10-1.000 µm 24h-Probenahme
- Größenklasse Schlamm: unbeschränkt (Mehrpunkt)Stichproben
- 3-4 Messtage

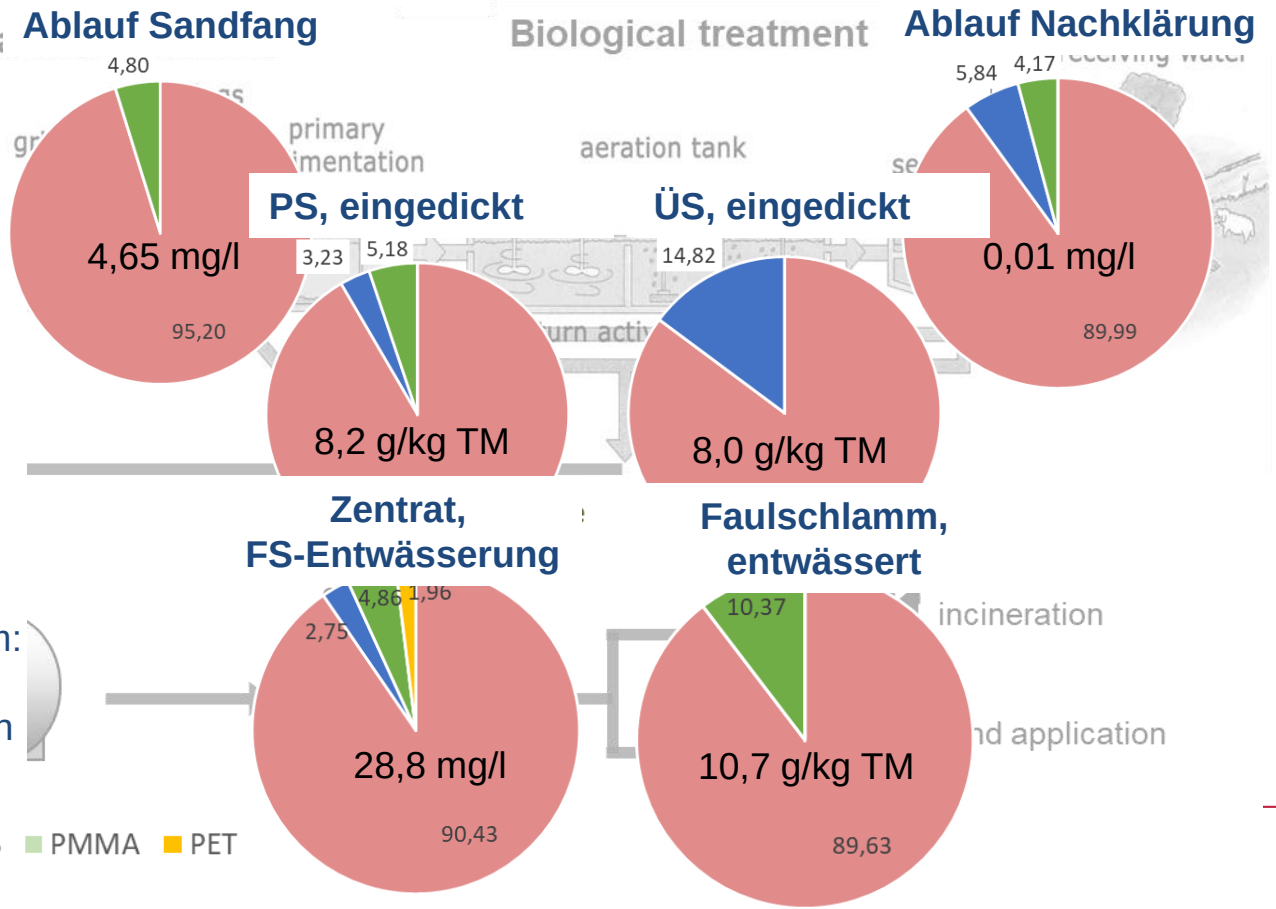


Abbildung: Bauerfeld, 2021c, angepasst

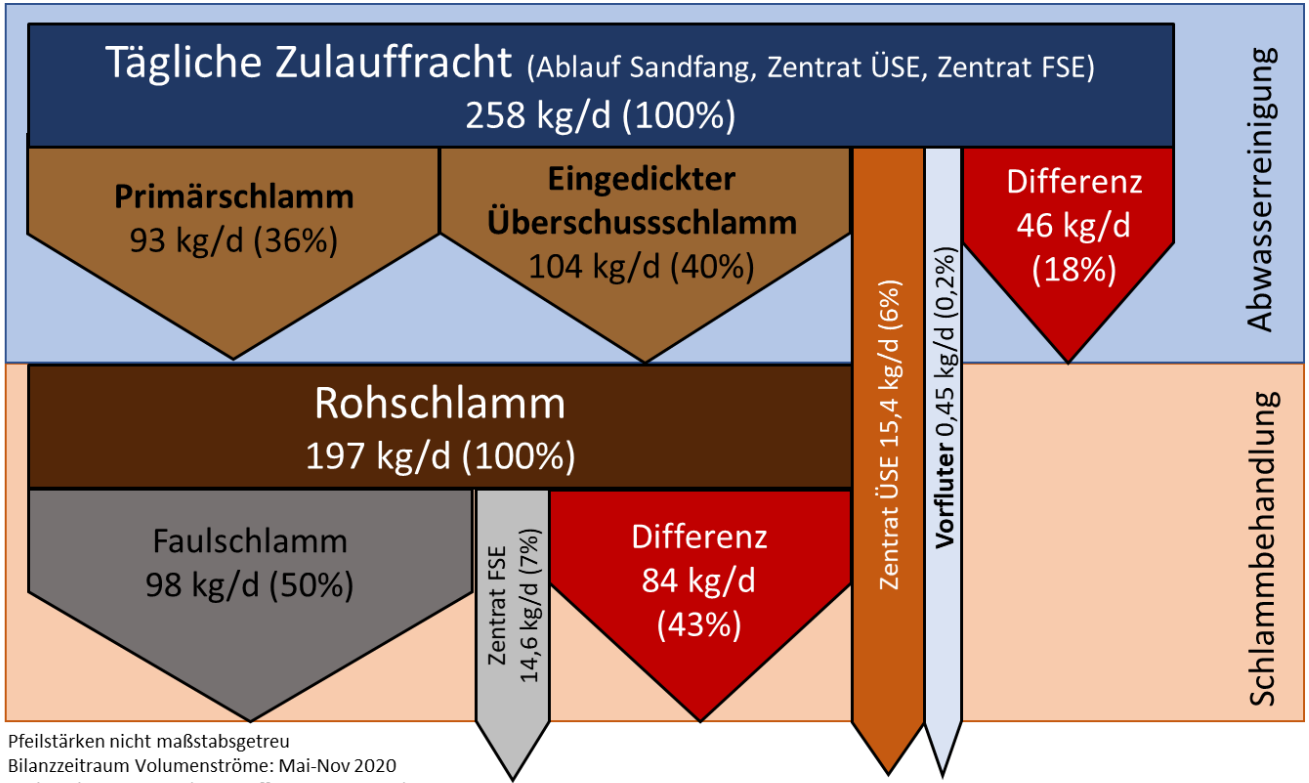
MP auf Kläranlagen – Bilanz Fallbeispiel

Detailmonitoring KA 350.000 EW

Unsicherheiten:

- MP in Ölen/Fetten
- Ungenauigkeiten MP Analytik
- Ungenauigkeiten, fehlende Betriebsdaten
- Inhomogenitäten der Schlammproben

Bilanzlücke mit Literaturdaten vergleichbar[1]



Pfeilstärken nicht maßstabsgetreu
Bilanzzeitraum Volumenströme: Mai-Nov 2020
Probenahmen MP und Feststoffe: 16.-19.06 und 27.-30.10.2020

Technische Universität Braunschweig

Abbildung: REPLAWA, 2022.
1 Rasmussen et al., 2021.

Entsorgung

Klärschlammentsorgung – Frachtenabschätzung MP Verbleib

		Thermische Verwertung	Landwirtschaft	Landschaftsbau
Klärschlamm 2018[1]	**Mio Mg TM**	**1,29**	**0,28**	**0,16**
davon MP (10,71 mg/g TM)	Mg	13.866	2.994	1.665
Klärschlamm 2032[2]	***Mio Mg TM***	***1,60***	***0,12***	***0***
davon MP (10,7 mg/g TM)	*Mg*	*17.136*	*1.302*	*0*

- 72%

Summe Klärschlammverbleib ≠100%
→ geringfügige Abweichung Frachtsummen

Anhaltswerte für Größenordnung!

Abbildung: Bauerfeld, 2020, angepasst
1 DESTATIS, 2019
2 Mengenschätzung nach Kläser und Langeohl, 2020

Fazit

Zusammenfassung

Methodik

- Eine Frage der Zielgröße! MP-Masse und MPP-Anzahl
- REPLAWA: TED GC-MS (ausgewählte Polymere) und PE-Dotierung
- Abwasserproben Größenklassen beschränkt → Aufkonzentrierung nötig
- Keine Standardisierung, hohe Unsicherheiten ($U_{c,\ Analyse}$ ± 85%[1])

AWR

- hohe Eliminationsraten konventioneller AWR (≥ 99 %)
- zusätzliche Elimination durch nachgeschaltete Filtration möglich
  → Synergieeffekte P-/Spurenstoffelimination
- Rohschlamm = MP-Senke

Schlamm

- unter betriebsnahen Bedingungen der Faulung kein Effekt auf anaerobe Stabilisierung, aber signifikanter Transfer von MP ins Schlammwasser bei der maschinellen Entwässerung in Abhängigkeit der Konditionierung
  → Schlammwasser zur Nährstoffrückgewinnung?
- Bei stofflicher Verwertung: Verfrachtung in andere Umweltkompartimente

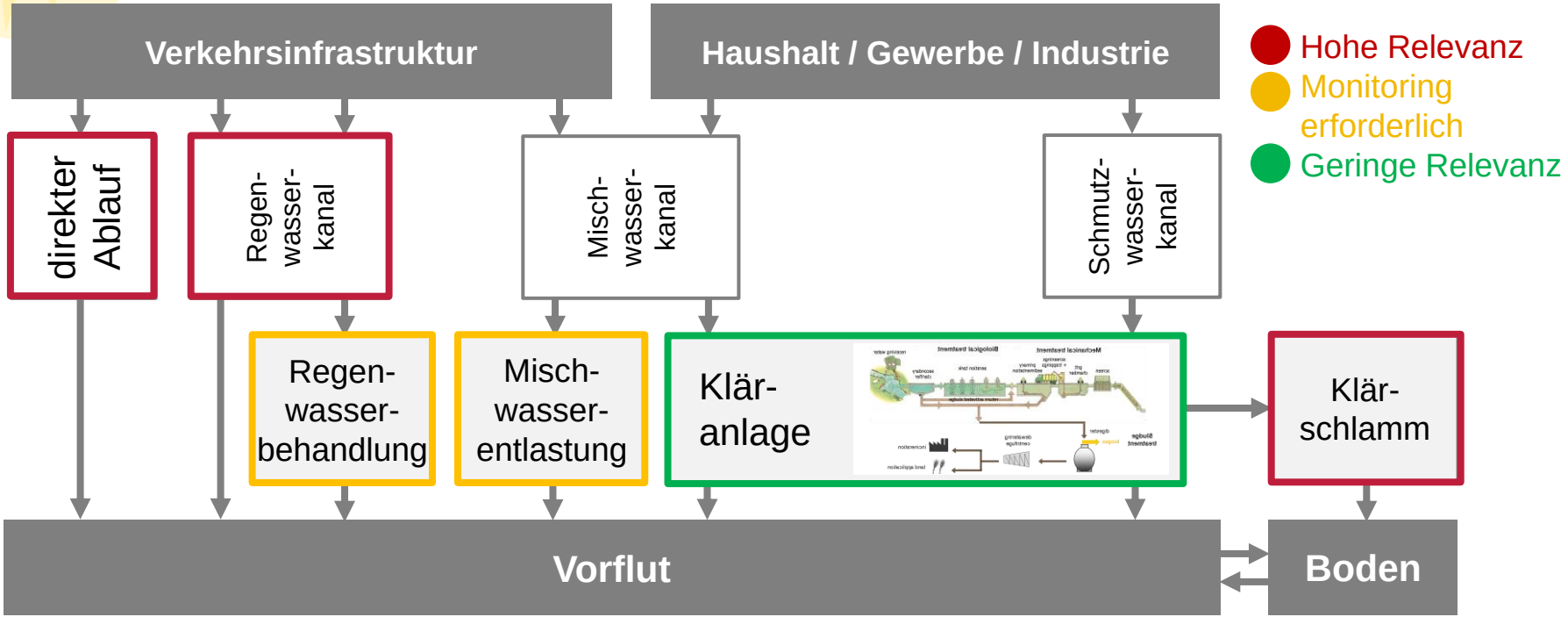
Bilanz

- überschlägige Bilanzierung möglich
- Einzelfall: hohe Bilanzlücken → (Betriebs)datenlücken, Unsicherheiten

1 REPLAWA, 2022.

Fazit

MP Emissionen in die Umwelt



Schema modifiziert nach REPLAWA, 2022.

Fazit

Ausgeforscht?

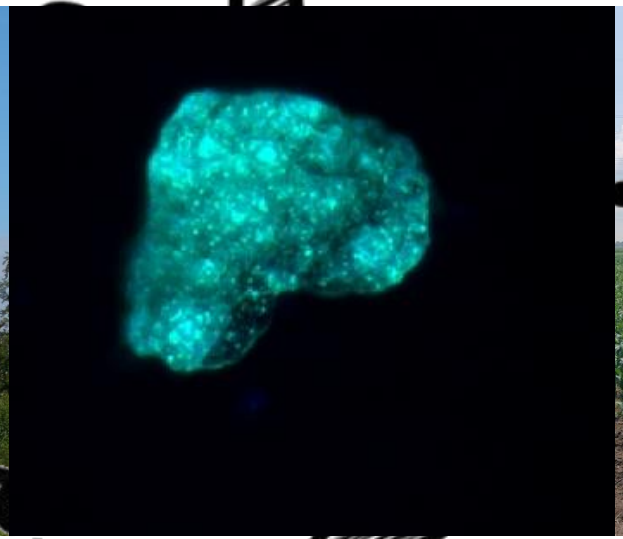
Systemverständnis

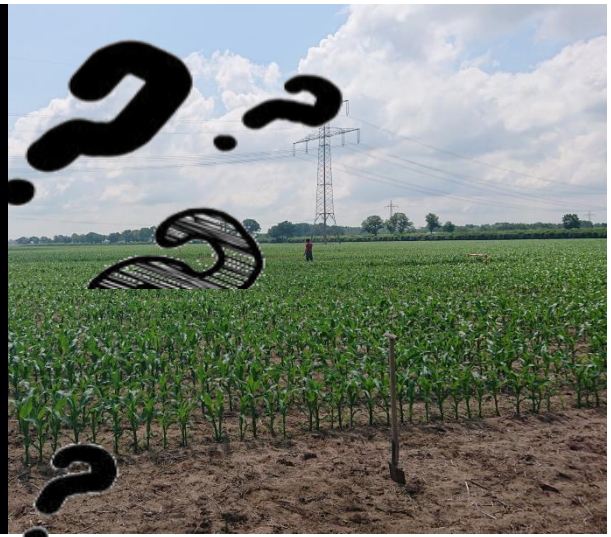
!

effektive Handlungsoptionen

Abbildung: Bauerfeld, 2021a, modifiziert.

Fragen?





?-Abbildung: https://www.e-fellows.net/var/ezflow_site/storage/images/medienbibliothek/_bilder/faq-frau-fragezeichen-studentin-kopf-c-shutterstock-peshkova-1280x720/35372653-1-ger-DE/FAQ-Frau-Fragezeichen-Studentin-Kopf-C-Shutterstock-Peshkova-1280x720_full_image.jpg, 24.09.2018

Quellen

Bauerfeld, K. 2020. Klärschlamm als Senke für Mikroplastik jetzt und in Zukunft? Fachtagung der Kommission Bodenschutz beim UBA (KBU) zum Weltbodentag 2020: Kunststoffe in der Umwelt – Ein Problem für unsere Böden, oder nur falscher Alarm? 03.12.2020, online.

Bauerfeld, K. 2021a. Mikroplastik im Klärschlamm – Was wissen wir? DWA Klärschlammtage, 17.06.2021, online.

Bauerfeld, K. 2021b. Mikroplastik im Klärschlamm. 7. Netzwerktreffen des DWA Klärschlammnetzwerk Nord-Ost, 01.09.2021, Berlin.

Bauerfeld, K. 2021c. Mikroplastikverbleib in kommunalem Klärschlamm. DWA Seminar Mikroplastik im Abwasser – Einordnung und Handlungsempfehlungen, 07.10.2021, online.

Bertling, J., Hamann, L., Bertling, R. 2018. Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT). Oberhausen.

DESTATIS. 2019. Pressemitteilung Nr. 479 vom 12. Dezember, 2019, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/12/PD19_479_32214.html.

Fuhrmann, T., Urban, I., Scheer, H., Lau, P., Reinhold, L. Barjenbruch, M., Bauerfeld, K., Meyer, S. 2021. Mikroplastik-Emissionen aus Kläranlagen. Mikroplastik wird zunehmend relevant auch für die Siedlungswasserwirtschaft – welche Rolle spielen dabei die Kläranlagen? Zur Publikation eingereicht bei KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Februar 2021.

Kläser & Langenohl. 2020. Statement in: Zukunft der Klärschlammentsorgung in vielen Punkten offen, EU-Recycling 06/2020, S.24, https://eu-recycling.com/Archive/27750.

Manicke, J. 2020. Untersuchungen zum Verbleib von Mikroplastik während der Behandlung von Überschussschlamm. Masterarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig.

Meyer, S., Bauerfeld, K. 2020. Mikroplastikverbleib in kommunalen Kläranlagen und im Klärschlamm. DWA Seminar Mikroplastik im Abwasser – ein Problem? 01.10.2020, Kassel.

Scheele, J. 2021. Verbleib von Mikroplastikpartikeln bei der Stabilisierung und Entwässerung von Überschussschlämmen. Masterarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig.

Talvitie, J., Heinonen, M. 2014. Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant. Baltic Marine Environment Protection Commission HELCOM.

Rasmussen, L.A., Iordachescu, L., Vollertsen, J.2021. A complete mass balance for plastics in a wastewater treatment plant - Macroplastics contributes more than microplastics. Water Research, Vol 201, August 2021, 117307, doi.org/10.1016/j.watres.2021.117307

REPLAWA, 2022. Schlussbericht zum BMBF Vorhaben REPLAWA, abrufbar unter: www.replawa.de.

UBA (Umweltbundesamt), 2016. Mikroplastik: Entwicklung eines Umweltbewertungskonzeptes. Erste Über-legungen zur Relevanz von synthetischen Polymeren in der Umwelt. Umweltbundesamt (32/2016). https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/mikroplastik-entwicklung-eines, Zugriff 23.03.2021.

Zhang, C., Chen, Y. 2020. Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review. Chemical Engineering Journal, Vol. 382, 122955, doi.org/10.1016/j.cej.2019.122955.

Fotos Titel-/Fragen-Folie: ISWW TU Braunschweig, von links nach rechts: Bauerfeld, K. 2006; Schaeffer, S.-M., 2019; Bauerfeld, K. 2020.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die präsentierten Ergebnisse praktischer und theoretischer Untersuchungen sind im Rahmen des BMBF Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt“, Verbundprojekt REPLAWA, Fkz. 02WPL1445Aff entstanden. Die Autorin dankt für die Forschungsförderung.
Mehr Infos unter www.replawa.de.

FONA Forschung für Nachhaltigkeit

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Plastik in der Umwelt

Quellen • Senken • Lösungsansätze