

**Beantwortung offener Fragen von der  
PlastikNet Abschlusskonferenz am 22./ 23. April 2021  
Stand: 01.07.2021**

Inhalt

1.	Session A .....	2
2.	Session B .....	3
3.	Session C .....	5
4.	Session D .....	7
5.	Session E .....	10
6.	QST1 - Analytik.....	14
7.	QST 2 - Toxikologie .....	15
8.	QST 4 - Politische und soziale Dimension .....	16
9.	QST 5a – Ökobilanzierung.....	17
10.	QST 5b – Modellierung .....	18
11.	QST 6 – Recycling & Produktentwicklung .....	22
12.	QST 7 – Bioabbaubarkeit.....	24

## 1. Session A

**Frage 1.1: Zum Thema aquatische Ökotoxikologie: Wenn die Toxizität durch die Plastikpartikel gesenkt wird, wäre ein Einsatz zur Entfernung von Schadstoffen denkbar und in welchem Umfang? Wurde das im Rahmen des Projekts diskutiert?**

Antwort von Dr. Oliver Knoop

*„In den Ökotoxikologischen Untersuchungen wurde eine geringere Wirkung festgestellt, wenn die Organismen mit Mikroplastikpartikeln und organischem Spurenstoff gleichzeitig exponiert wurden. Selbst bei Aufnahme des Partikels war der organische Spurenstoff, der für die toxikologischen Effekte verantwortlich war, nicht mehr für den Organismus verfügbar. Die Effektreduktion ist also auf eine Sorption des Spurenstoffs am Plastikpartikel zurück zu führen. Da dies dem Prinzip der Pulveraktivkohle-Behandlung entspricht, wäre eine ähnliche Behandlung zur Reduzierung organischer Spurenstoffe durch Mikroplastik grundsätzlich möglich. Aktivkohle ist als Sorbens gut untersucht und kann ein breiteres Spektrum an Verbindungen aus dem Wasser aufnehmen und lässt sich zudem großtechnisch gut einsetzen. Vermutlich sind zudem die Sorptionskinetiken bei der Aktivkohle in der Regel deutlich besser für die großtechnische Umsetzung. Mikroplastik als Sorbens hier als Alternative einzusetzen ist daher wenig sinnvoll und es wäre zudem vermutlich mit großen Widerständen aus der Öffentlichkeit zu rechnen. Dies wurde auch in einer Projektbesprechung daher nur kurz andiskutiert und nicht weiter verfolgt.“*

**Frage 1.2: Haben Sie für die gesamte Polymerfracht auch einen Wert aus den Kläranlagenversuchen?**

Antworten von Dr. Korinna Altmann (1) und Dr. Oliver Knoop (2)

*(1) „Ein Klärwerk ist ein dynamisches System. Es geht etwas rein und wieder raus. Es wird auch Bereiche im Klärwerk geben, wo sich Polymere anreichern und für längere Zeit bleiben, bis sie entfernt werden. Wir haben nie an einem Tag an mehreren Stellen im Klärwerk beprobt. Das war logistisch nicht nötig und hätte für die Bilanzierung nicht geholfen, weil das Wasser eine gewisse Zeit benötigt, um durch das Klärwerk zu fließen.“*

*Wir haben bei unseren Versuchen gesehen, dass es große Schwankungen der Polymeranteile beim Zulauf der Wässer direkt nach dem Rechen gibt. Jeder Tag ist anders. Daher kann aus meiner Sicht die Frage nach einer „gesamten Polymerfracht“ bisher nicht beantwortet werden. Dafür müssten wir einen Durchschnittswert über die verschiedenen Tage bilden. Wir haben an vier Tagen beprobt. Die Datenlage ist zu gering, um hier auf einen Durchschnitt zu gehen. Dafür bräuchten wir wesentlich mehr Daten und möglicherweise einen Trend, den*

wir bisher nicht ableiten können. Die Gesamtpolymermengen pro Tag über alle identifizierten Polymere beim Zufluss zum Klärwerk lagen zwischen 195 und 361 mg/m<sup>3</sup>. Es wurde PE, PP, PS und SBR mit der TED-GC/MS identifiziert und quantifiziert."

(2) „Es wurden für die Klärwerke auch die jeweiligen Polymerfrachten im Ablauf bei Trockenwetterbedingungen berechnet. Bei den drei Kläranlagen lag die Gesamtfracht (PE, PET, PS & PP) im Ablauf der Nachklärung (ohne Sandfilter) pro Jahr bei ca. 1-10 kg. Die Daten werden derzeit publiziert, sind aber auf Grund der geringen Anzahl an Probenahmen nur eine erste Abschätzung, die sich nicht auf andere Kläranlagen übertragen lässt.

Aus meiner Sicht hatte ich die Frage auf die Fracht im Ablauf bezogen und nicht die Entfernungsleistung für die Gesamtfracht."

**Frage 1.3: Gibt es Erkenntnisse darüber, ob bei der Gewinnung von Trinkwasser durch Uferfiltrat Mikroplastik/ Nanoplastik durch das Ufersediment Richtung Brunnen migriert (auch in Bezug auf Additive) bzw. ob es die hydraulische Durchgängigkeit der Poren verändert?**

Antwort von Dr. Oliver Knoop

„Grundwasserbrunnen wurden in unserem Projekt nicht beprobt. Eine Migration durch den Untergrund ist jedoch höchst unwahrscheinlich, da die Partikel in organische Materie eingebunden werden können. Untersuchungen an Trinkwasser haben auf eine sehr geringe Belastung an den Brunnen hingewiesen (< 7 Partikel pro m<sup>3</sup>), wohingegen abgefülltes Trinkwasser eine höhere Anzahl an MP-Partikeln aufweisen kann.

Dies kommt jedoch aus der technischen Abfüllung. Eine öffentlich-zugängliche Studie (auf Englisch), die diese Frage zum Teil gut beantworten kann, ist unter folgendem Link zu finden: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/6/841>"

## **2. Session B**

**Frage 2.1: Was bedeutet die Größe q<sub>3</sub> bei den Partikelgrößenverteilungen?**

Antwort von Daniel Venghaus

„q<sub>3</sub> ist die Verteilungsdichte der Volumenverteilung Q<sub>3</sub>.

Für q<sub>3</sub> werden die Partikel in Klassen nach ihrer Größe aufgeteilt, pro Klasse wird das Gesamtvolumen der Partikel ermittelt."

**Frage 2.1: Spielen unterschiedliche Reifentypen eine Rolle oder überwiegen die Fahrbahn und Fahreigenschaften?**

Antwort von Daniel Venghaus

*„Im Projekt RAU haben wir unterschiedliche Reifentypen nicht explizit untersucht. Die Straßenstandorte wurden so ausgewählt, dass wir überwiegend PKW Verkehr vorfinden sowie vergleichbare Fahrbahnbedingungen.“*

**Frage 2.3: Wie und wo haben Sie Reifenabrieb in der Luft beprobt? An der Start-/Landebahn des Flughafens?**

Antwort von Daniel Venghaus

*„Am Flughafen Haben wir keine Luftprobenahmen durchgeführt. Wir haben an den Standorten Steigung, Gerade, Lichtsignalanlage und Kurve entsprechende Luftprobenahmen durchgeführt.“*

**Frage 2.4: Können Sie eine grobe Abschätzung über das Verhältnis zwischen abwasser- und windbedingtem Abtransport des Reifenabriebs geben?**

Antwort von Daniel Venghaus

*„Leider war es unter anderem wetterbedingt nicht möglich Messungen durchzuführen welche diesen Vergleich eindeutig zulassen. Um die Verteilung Wasser/Boden/Luft sowie die Verteilung über den Fahrbahnrand hinaus für unterschiedliche Verkehrssituationen beschreiben zu können bedarf es weiterer Untersuchungen.“*

**Frage 2.5: Haben Sie auch untersucht, welchen Einfluss das Gewicht des Fahrzeugs, die Breite der Reifens, die Oberfläche der Straße, die Umgebungstemperatur auf den Reifenabrieb haben?**

Antwort von Daniel Venghaus

*„Diese Unterschiede haben wir im Projekt nicht untersuchen können. Wir haben darauf geachtet, dass vergleichbare Bedingungen an den unterschiedlichen Standorten und Messtagen vorliegen.“*

**Frage 2.6: Gibt es Hinweise wie stark eine Reduktion der Höchstgeschwindigkeit auf die Freisetzung wirkt?**

Antwort von Daniel Venghaus

*„Das haben wir im Projekt nicht praktisch untersucht. Eine Abschätzung lässt sich im nachfolgenden Paper (seite 21) von Roman Pohrt machen.*

*<http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUMechEng/article/view/4780>“*

**Frage 2.7: Sehen Sie die Degradation von Plastik durch Bewitterung als positiv oder negativ?**

Antwort von Prof. Dr.-Ing. Christian Schaum

*„Durch Degradation werden Kunststoffe schrittweise abgebaut. In Folge der Degradation kommt es zur Freisetzung in Kunststoffen enthaltener Substanzen. Die natürliche Degradation von Kunststoffen kann durch Umwelteinflüsse wie beispielsweise UV-Strahlung beschleunigt werden. UV-Strahlung kann weiterhin dazu beitragen, dass zahlreiche zusätzliche Abbauprodukte entstehen. Weiterführende Informationen können dem Synthesebericht (abrufbar unter <https://athene-forschung.unibw.de/doc/137063/137063.pdf>) entnommen werden.“*

### **3. Session C**

**Frage 3.1: Warum wurden im gezeigten Beispiel der passierten Tomaten die durchaus auch übliche Verpackung in Dosen nicht mit berücksichtigt?**

Antwort von Dr. Frieder Rubik

*„Die Festlegung der zu bilanzierenden Verpackungslösungen erfolgte in Abstimmung mit den Praxispartnern von Innoredux sowie auf Basis der Erfahrungen der als Verbundpartner beteiligten Institute IÖW und ifeu. Dabei wurde zunächst ein Referenzfall festgelegt, der den etablierten und zum Entscheidungszeitpunkt bzgl. der zu betrachtenden Verpackungslösungen am häufigsten vorfindbaren Anwendungsfall darstellt. Darüber hinaus wurden Varianten definiert, die als Alternativlösungen zum Referenzfall im Handel entweder ebenfalls schon im Angebot waren oder deren Einführung geplant war bzw. unmittelbar bevorstand. Innerhalb der Warengruppen wurden Produktgruppen bzw. Produkte ausgewählt, die im Rahmen der Übersichtsökobilanzen hinsichtlich ihrer Verpackungen untersucht werden sollten. Bei der Auswahl der Produkte wurde angestrebt, dass diese bei möglichst vielen Praxispartnern gehandelt werden und dass unterschiedliche Anforderungen an die Verpackungen aus Sicht des Produktschutzes (z.B. Haltbarkeit) berücksichtigt werden können. Die bei den Praxispartnern und*

*deren Lieferanten erhobenen Daten wurden im Abgleich mit der internen Verpackungsdatenbank des ifeu zu generischen Datensätzen verarbeitet mit dem Ziel, für jede betrachtete Verpackungsvariante eine typische Situation abzubilden. Die in den Kurzauswertungen, die auf der Webseite [www.plastik-reduzieren.de](http://www.plastik-reduzieren.de) dargestellten Bilanzen erheben daher nicht den Anspruch einer repräsentativen Abbildung eines bestimmten Produkts bzw. dessen Verpackungen, sondern dienen vielmehr einer orientierenden jedoch richtungssicheren Einordnung und liefern zudem Anhaltspunkte für mögliche Optimierungspotenziale im Verpackungslebensweg.*

*Die bei Innoredux beteiligten Praxispartner hatten eine Dosenverpackung von passierten Tomaten nicht als Anwendungsfall eingebracht, deswegen wurde dieser auch nicht im Rahmen von Innoredux untersucht."*

**Frage 3.2: Ergibt sich denn immer ein Aufpreis für eine alternative Verpackung? Oft ist auch unnötig viel verpackt, sodass ein Weglassen das Produkt eigentlich vergünstigen müsste. Jetzt ja der kg-Preis für Kunststoff sehr gering aber grundsätzlich einen Aufpreis verstehe ich nicht auf Anhieb. Vielleicht gibt es dazu eine Erklärung.**

Antwort von Dr. Thomas Decker

*„Ein einfaches Weglassen einer Verpackung ist meist aufgrund von logistischen oder hygienischen Aspekten schwierig. Pauschal führen alternative Verpackungen nicht zwangsläufig zu einer Verteuerung des Produkts. Dennoch ist es oftmals so, dass herkömmliche Verpackungen in den verschiedenen Produktionsprozessen etabliert sind. Des Weiteren handelt es sich meist um Massenware, was sich wiederum auf günstigeren Kosten für die konventionelle Verpackung ausschlägt. Werden alternative Verpackungen verwendet, müssen diese zum einen in das bestehende System problemlos integrierbar sein. Ist das nicht der Fall so entstehen Mehrkosten. Des Weiteren können Mehrkosten durch höhere Rohstoffkosten (z.B. für nachwachsende Rohstoffe oder recycelte Materialien) oder gesteigerten Kosten für die Qualitätssicherung anfallen.“*

## 4. Session D

**Frage 4.1: Denken Sie, dass man die Ergebnisse zu Sedimentation + MP-Konzentrationen in irgendeiner Art für Stauseen generalisieren kann, um daraus (polymerspezifische) Retentionsraten für die Modellierung von MP Transport in (mesoskalige) Flusseinzugsgebieten abzuleiten?**

Antwort von PD Dr. Wendt-Potthoff

*„Prinzipiell ist das mit Einschränkungen möglich, die Datenbasis müsste aber noch deutlich verbessert werden. Ob eine polymerspezifische Betrachtung sinnvoll ist, scheint mir fraglich, da sehr große Teile ungleichmäßig verteilt sind und der Transport von Mikroplastik nicht so stark vom Polymertyp abhängt, sondern andere Eigenschaften wie Form/Größe (sehr kleine Partikel sinken fast gar nicht, Fasern verhalten sich anders als Fragmente) und Verwitterung (Benutzbarkeit) wichtiger werden. Hinsichtlich der Stauseen sind die Zuflüsse (mit/ohne Vorsperre, Wasserführung), die Beckenform und klimatisch-hydrologische Besonderheiten (Extremniederschläge, Wasserspiegelschwankungen,...) zu berücksichtigen. Man sollte sich auch nicht zu sehr auf Mikroplastik fokussieren, sondern auch Makroplastik betrachten, es ist schließlich eine wichtige Quelle der kleinen Fraktionen.“*

**Frage 4.2: Was passiert mit dem Material im Vorsperwerk?**

Antwort von PD Dr. Wendt-Potthoff

*„Ein großer Teil des Mikroplastiks wird offensichtlich zur Sedimentation gebracht. Umweltdaten zur Aufnahme durch Organismen speziell in Vorsperren kenne ich nicht, aber bei kleinen, wenig mobilen Sedimentbewohnern spielt das für die Bilanz keine Rolle. Wenn die Vorsperre im Überlauf arbeitet, wird das Sediment nicht resuspendiert, und wenn dadurch auch die Wasserspiegelschwankungen gering ausfallen, ist auch Erosion/Verwehung von trockenfallenden Ufern unwahrscheinlich. Die Ablagerung ist also recht stabil. Makroplastik sammelt sich im Uferbereich. Je nach Größe und Zugänglichkeit der Vorsperre und der Wassernutzung kann Absammeln und Entsorgen sinnvoll sein.“*

**Frage 4.3: Wie verhält sich MP in Sedimenten der Vorsperre?**

Antwort von PD Dr. Wendt-Potthoff

*„In typischen Vorsperren (Überlauf zur Hauptsperre, wenig Wasserspiegelschwankungen) kann die Ablagerung in Vorsperrensedimenten als stabil angesehen werden. Ein mikrobieller Abbau ist unter den dort herrschenden Bedingungen wenn überhaupt nur sehr langsam möglich.“*

*Wenn die Vorsperre ausgebaggert werden muss, ist anhand verschiedener Parameter zu entscheiden, wohin das Material sicher verbracht werden kann. Mikroplastik ist bei dieser Betrachtung bisher nicht im Fokus, eine Diskussion dazu in Fachkreisen werden wir anstoßen."*

**Frage 4.4: Wie stabil sind denn die Aggregationen der MP-Partikel, kann man diese Wirkung auch für die Filtration nutzen (größere Partikel lassen sich einfacher durch Filtration entfernen)?**

Antwort von PD Dr. Wendt-Potthoff

*„Die Versuche im Rahmen von MikroPlaTaS haben nicht gezielt eine maximale Aggregation, sondern eine Simulation realistischer Umweltbedingungen angestrebt und mit definierten frischen Partikeln gearbeitet, so dass auch immer ein signifikanter Anteil der Partikel ungebunden blieb. Grundsätzlich ist eine Nutzung für die Filtration bei der Wasseraufbereitung möglich. Auch Kläranlagen entfernen den weit überwiegenden Teil der suspendierten MP-Partikel. Es ist dann zu entscheiden, was man sinnvollerweise mit dem MP-haltigen Filterkuchen macht, um eine Rückführung des MP in die Umwelt zu begrenzen."*

**Frage 4.5: Windabhängiger Eintrag - verbleibt bei Nord-West-Wind das MP dauerhaft in der Warnow (Sedimentation) oder bedeutet das nur ein Pufferspeicher, der bei Süd-Ost-Wind wieder zusätzlich in die Ostsee eingetragen wird?**

Antwort von Prof. Schernewski:

*„Wohin und wie Plastik im Ästuar transportiert wird, hängt von Windrichtung und -stärke, Fetch, Wellen und von den Plastikeigenschaften (Größe, Dichte) ab. Dabei muss zusätzlich die ästuarine Zirkulation und die Variabilität des Windes berücksichtigt werden. Die Annahme eines Verbleibs bei Nord-West-Wind im Ästuar und einer Auswaschung bei Süd-Ost-Wind ist zu vereinfacht.*

*Weit über die Hälfte des Plastiks hat eine Dichte unter 1 und treibt damit nahe der Wasseroberfläche. Für diese Plastikfraktion sind die Küsten und Strände die zentrale Senke. Plastik mit einer Dichte über 1 kann grundsätzlich sedimentiert werden. Da es sich meist um eine Dichte zwischen 1 und 1,5 handelt ist diese Fraktion aber leicht mobilisierbar. Aufgrund welleninduzierter Resuspension findet auf sandigen und schluffigen Sedimenten daher nur eine zeitweilige Ablagerung statt. Senken sind auch für diese Fraktion die Küsten sowie tiefere Becken und Fahrrinnen in denen auch organisches Material in der Tiefe akkumuliert. Grundsätzlich können alle Fraktionen auch in die Ostsee ausgewaschen werden. Die Retention im Warnowästuar lässt sich nicht zuverlässig abschätzen."*

**Frage 4.6: Wie wurde die MP-Last (MP-Konzentration) aus der Niederschlagstrigger-Quelle eingeschätzt bzw. berechnet?**

Antwort von Dr. Sarah Piehl

*Für die mittleren jährlichen MP-Emissionen durch Regenwasser wurden zunächst versiegelte und entwässerte Flächen innerhalb der Einzugsgebiete der Nebenflüsse identifiziert und in drei Landnutzungstypen klassifiziert. Der jährliche Regenwasserabfluss jeder entwässerten Fläche wurde mittels spezifischen Landnutzungs-Abflussbeiwerten für jedes Teilgebiet und dem langjährigen mittleren Jahresniederschlag berechnet. Für die MP-Konzentrationen im Regenwasserabfluss wurden die Werte aus Liu et al. 2019 für die Landnutzungstypen Verkehrsfläche, Wohn- u. Industriegebiet genutzt.*

*Die Formeln zur Berechnung sowie weitere Infos können der Publikation entnommen werden: Combined Approaches to Predict Microplastic Emissions Within an Urbanized Estuary (Warnow, Southwestern Baltic Sea)*

*Open access: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.616765>*

**Frage 4.7: Können Sie kurz die entwickelte Analyse-Methode zu MP in Boden erläutern, welche Verfahren dabei zum Einsatz kommen?**

Antwort von Prof. Dr. Christian Laforsch

*„Die Verfahren sind Gefriertrocknung, Dichtentrennungen und enzymatische Aufreinigungen speziell auf Böden adaptiert.*

*Die genaue Methode findet sich hier: Möller, JN; Heisel, I; Satzger, A; Oster, J; Agarwal, S; Laforsch, C; Löder, M G J: Tackling the Challenge of Extracting Microplastics from Soils: A Protocol to Purify Soil Samples for Spectroscopic Analysis, Environmental Chemistry (2021), online: 23.02.2021, <https://doi.org/10.1002/etc.5024>“*

**Frage 4.8: Wurden die MP aus atmosphärischer Deposition noch weiter hinsichtlich Größe, Form und Polymerart/Dichte analysiert? Falls ja, was zeigte sich grob?**

Antwort von Prof. Dr. Christian Laforsch

*Die Partikel wurden weiter hinsichtlich Größe, Form und Polymerart analysiert. Es zeigt sich, dass nicht nur Fasern sondern auch sehr viele Partikel in der Atmosphäre zu finden sind. Eine Publikation hierzu ist gerade in Arbeit.*

**Frage 4.9: Wie wurde ermittelt, dass es sich um Lackpartikel handelt? Die Polymertypen dürften sehr unterschiedlich sein.**

Antwort von Prof. Dr. Christian Laforsch

*Mittels Ramanmikrospektroskopie können Pigmente der Lackpartikel identifiziert werden.*

*Details hierzu finden Sie in: Imhof, HK; Laforsch, C; Wiesheu, AC; Schmid, J; Anger, PM; Niessner, R; Ivleva, NP: Pigments and plastic in limnetic ecosystems: A qualitative and quantitative study on microparticles of different size classes, Water Research, 98, 64-74 (2016), online: 10.03.2016, doi:10.1016/j.watres.2016.03.015*

## 5. Session E

**Frage 5.1: Ist eine Rückgewinnung der Tracer möglich, bzw. wie wird sichergestellt, dass die Tracer im weiteren Leben der Kunststoffe nicht störend wirken. Verbleibende Tracer könnten ja zukünftige Sortierungen von Produkten mit RC Materialien stören.**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„Für die Integration der Tracer bei Verpackungen gibt es grundsätzlich zwei Varianten: a) Homogenisierung im Kunststoff, wie z.B. eine Dotierung bei Halbleitern. Dann kann der Tracer zig-fach zur Sortierung der entsprechenden Kunststoff-Spezifikation genutzt werden. Um Irritationen zu vermeiden, muss jede Spezifikation im Sinne einer Kreislaufwirtschaft spezifikationsgerecht wieder eingesetzt werden. B) Tracer als Additiv einer hellen Drucktinte auf einer kleinen bedruckten Fläche. In diesem Fall wird der Tracer mit der Drucktinte (Deinking) abgewaschen. Im Rezyklat verbleibt keinerlei Tracer. Die Rückgewinnung der Tracer ist aufgrund ihrer hohen Dichte grundsätzlich möglich. Angesichts der geringen Tracer-Menge (~20 t/a für alle Verpackungen in Deutschland) muss allerdings – wie bei allen Prozessschritten - die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit betrachtet werden. In beiden Fällen a) und b) gibt es keine Störung von RC-Materialien.“*

**Frage 5.2: Wie lange würde es Ihrer Meinung nach dauern, bis das Tracersystem etabliert ist?**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„Die Polysecure-Sortiertechnologie umfasst beim TBS complete Tracer, Farbmessung, Objekterkennung (KI) und NIR. Verpackungen werden daher auch ohne Tracer relativ gut erkannt. Insofern kann TBS complete schrittweise zugebaut werden ohne dass alle Inverkehrbringer sofort Tracer einsetzen müssen.“*

*Tracer heben die Performance und nachfolgend Recyclingquote auf ein deutlich höheres Level. Inverkehrbringer, die Tracer einsetzen, unterstützen in höherem Maße den Weg in die Kreislaufwirtschaft. Für das Etablieren von TBS complete rechnen wir 2-5 Jahre in einem Land."*

**Frage 5.3: Wie groß müssen die Plastikteile sein? Geht es auch nach einem Schredderprozess? Könnten auch Störstoffe im Biomüll erkannt werden?**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„TBS funktioniert auch für geschredderte Flakes. Diese Anwendung wurde bereits industriell validiert. Es ist nur so, dass der Sortierprozess deutlich effizienter ist, je größer das Sortiergut. Gerade um die Synergien mit dem Design for Recycling zu heben ist es sinnvoll, bereits auf Artikelebene sehr präzise zu sortieren. Beim TBS complete wird auf Packstoff-Spezifikation, Farbe und ggf. Brand sortiert. Sortierfraktionen können daher schon eine sehr hohe Reinheit und Spezifikation besitzen. Der Aufwand für die Aufbereitung und Nachsortierung kann durch eine gute Vorsortierung deutlich reduziert werden.“*

**Frage 5.4: Wird der Marker auch erkannt, wenn das Etikett nicht nach oben zur Kamera zeigt?**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„Beim TBS complete wird eine Erkennung über 360 Grad durchgeführt. Daher ja, es ist unerheblich wohin das Etikett zeigt. Wichtiger ist, dass der Tracer an einer Stelle ist, die durch den Verbraucher beim Wegwerfen nicht nach innen gefaltet wird. Die richtige Stelle ist bei einer Flasche z.B. der Flaschenhals.“*

**Frage 5.5: In wieviel Fraktionen soll denn der Inhalt des Gelben Sacks / Gelben Tonne sortiert werden? Oder in wieviel Fraktionen sollen die Kunststoff- & Verbundverpackungen sortiert werden?**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„So viele wie der Markt braucht, um möglichst hohe Recyclingquoten zu erreichen! Wir gehen pro Hauptpolymer von 3 - 6 Untergruppen aus (food, nonfood, multilayer, bestimmte Spezifikationen wie Blasform-, Spritzguß- und Extrusionstypen). So kommt man auf 20 - 30 Spezifikationen. Hinzu kommen 4 - 6 Farbklassen und ggf. noch sehr große Brands. Beim TBS complete ist es wie bei einer Brief-, Paket-, Gemüse- und Fruchtsortierung wirtschaftlich praktisch unerheblich in wie viele Fraktionen der Verpackungsmüll sortiert wird. Der Qualitätsgewinn durch eine bessere Differenzierung, durch höhere Reinheiten ist weit größer als die Mehrkosten einer weiteren Fraktion.“*

**Frage 5.6: Wenn das Material Umwelteinflüssen stabil ist, bedeutet, dass das Produkt nur einmal gekennzeichnet werden muss**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„Ja, im obigen Fall „a) Homogenisierung im Kunststoff“ können Tracer genommen werden, die sehr robust sind und sicher den Kunststoff überleben. Wenn der Kunststoff 10-mal recycelt werden kann, dann kann jedes Mal der Tracer ohne Degeneration genutzt werden. Durch die Mehrfachnutzung des Tracers sind die Tracer-Kosten unerheblich. Oder anders ausgedrückt: Man könnte sich so viel Tracer erlauben, dass (endlich) alle Kunststoffe spezifisch und verlässlich sortierbar wären. Die gesamte Kunststoffindustrie hätte einen höheren Nutzen und damit eine wahrnehmbar höhere Wertigkeit.“*

**Frage 5.7: Wie gehts parallel für Kunststoffverpackungen ohne Etiketten?**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„Entweder eine kleine Fläche ( $2\text{cm}^2$ ) mit einer transparenten Drucktinte mit Tracer bedrucken. Könnte auch ein Streifen sein. Oder Tracer im Kunststoff, dann wären alle Flexibles, die zu einem großen Flächenanteil nicht bedruckt sind, sortier- und recycelbar.“*

**Frage 5.8: Wie verhält sich der Marker im Abwasser? In welchem Größenbereich liegen die Markerpartikel?**

Antwort von Prof. Dr. Claus Lang-Koetz

*„Wir sehen noch kein Szenario, in dem die Marker im großen Umfang ins Abwasser kommen sollen. Das könnte nur geschehen, wenn markierte Verpackungen im großen Stil in der Umwelt verbleiben. Ansonsten sind die kristallinen Marker chemisch sehr inert, thermisch sehr stabil und weitgehend unlöslich, jedenfalls durch Flüssigkeiten, die in der Natur vorkommen. Bei allen toxikologischen Tests für die Trinkwasser und Lebensmittelkontakt-Zulassungen haben die Marker keinerlei Reaktion bzw. Wechselwirkung mit biologischen Zellen gezeigt. Daraus folgt eine gute Biokompatibilität, etwa wie bei Mineralien. Die Partikelgröße liegt weit über dem „Nanopartikel-Bereich“ von 100nm. Das ist durch mehrfache Messungen, auch im Rahmen der Trinkwasser- und Lebensmittelkontakt-Zulassung nachgewiesen.“*

**Frage 5.9: Kann mit dem Verfahren auch verunreinigtes (Öl oder Fett) Polystyrol recycelt werden? In Bezug auf Essensverpackungen im Take-Away-Bereich**

Antwort von Norbert Niessner

*„Wir haben Öl- und Fettreste als Verunreinigungen noch nicht untersucht, haben jedoch in Versuchen mit gezielt zum PS zugesetzten Verunreinigungen wie Polyethylen, Polypropylen, Rußbatch gesehen, dass das thermische Depolymerisationsverfahren von Polystyrol sich gegenüber diesen Substanzen gutmütig verhält. Unsere Vermutung ist, dass Öle/Fette (noch offen bis zu welcher Menge) sich ebenfalls kaum störend verhalten werden.“*

**Frage 5.10: Im Projekt PolyStyreneLoop wird in den Niederlanden eine Anlage erstellt, in der Styropor aus dem Baubereich aufgelöst und HBCD abgetrennt wird. Welche Beziehung hat Ihr Projekt zu diesem schon laufenden Projekt (Die Anlage soll in den nächsten Monaten in Betrieb gehen)?**

Antwort von Norbert Niessner

*„Das Terneuzen Projekt arbeitet nicht mit der PS Depolymerisationstechnologie, sondern mit dem Lösungsverfahren oder auch „Dissolution“. Einer der weltweit führenden Entwickler dieser Technologie ist Fraunhofer Freising mit „CreaSolv“. Unseres Wissens nach ist es in der Tat eines der Ziele des Loop-Projektes, halogenierte Inhaltsstoffe in geschäumten Polystyrol drastisch zu reduzieren. Die Technologie als solches (siehe auch Fraunhofer Website) ist breit angelegt, universell nutzbar und kann auf alle typischen thermoplastischen Polymere hin ausgelegt werden. Sie ist nicht auf den Baubereich beschränkt.“*

**Frage 5.11: Wurde das Verfahren auch mit PET-Schalen aus der LVP-Sortierung getestet?**

Antwort von Carsten Eichert

*„Ja, unser Verfahren wurde auch mit PET-Schalen aus der LVP-Sortierung erfolgreich getestet. Das Verfahren ist in der Lage die PET-Anteile aus diesen Sortierfraktionen zu über 97% selektiv aufzulösen und so nicht nur das PET zurückzugewinnen, sondern es auch zu ermöglichen, die Polyolefinanteile für eine Weiterverwertung zurückzugewinnen. Das revolPET®-Verfahren wurde mit PET-Anteilen von bis zu 30% erfolgreich getestet. Für einen wirtschaftlichen Betrieb wird ein PET-Anteil von 80% kalkuliert.“*

## 6. QST1 - Analytik

**Frage 6.1: Wenn Monitoring im Boden durchgeführt wird, z.B. auf BDF und naturnahen Flächen (Stichwort Hintergrundbelastung) dann sind das ja Flächen, auf denen eher wenig MP erwartet wird. Wie kann man da analytisch vorgehen? Monitoring heißt ja wiederum viele Proben. Wie kommt man aus dem Dilemma raus...? BDF = Bodendauerbeobachtungsflächen; Frage zu Boden war eher bezüglich massebasiert oder partikelbasiert**

Antwort von. Dr. Ulrike Braun

*„Für eine repräsentative Probennahme von Böden für die Analytik von Mikroplastik (inclusive Anzahl an Duplikaten und kontinuierliches Monitoring) gibt es bisher noch nicht viel Erkenntnisse. Es wird deshalb empfohlen sich an bestehenden Dokumenten (z.B. Normung) der Bodenprobennahme für die Analytik von Bodenkontaminanten für zu orientieren.“*

**Frage 6.2: Könnten Sie nochmal näher darauf eingehen, warum eine Umrechnung in Partikelmassen nicht empfehlenswert ist? Auch wenn man Polymerart / Größe (genau) detektiert hat?**

Antwort von. Dr. Ulrike Braun

*„Bei Praxisproben sind die Partikelformen sehr unterschiedlich und können nicht pauschal einer Form zugeordnet werden. Darüber hinaus können mit Mikroskopischen Verfahren auch nur zwei Dimensionen des Partikels abgebildet werden. Es ist davon auszugehen, dass eine Vorzugsorientierung der Partikel durch den Filtrationsprozess auf dem Analysesubstrat erreicht wird. Eine Umrechnung von Partikelzahlen in Massengehalten unterliegt damit einer Reihe von Fehlern, was auch in der Praxis beobachtet wurde. Die Zuordnung der Polymerdichte stellt das geringste Problem dar und scheint keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis zu haben.“*

**Frage 6.3: Gibt es Bestrebungen die Probenahmepunkte in Flüssigkeiten örtlich genau zu definieren. (Zum Beispiel in Auslaufkanälen in Kläranlagen)**

Antwort von. Dr. Ulrike Braun

*„Für die Konkretisierung von definierten Probenahmestellen gibt es bisher keine Empfehlung, da hierzu noch keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen. In einer Vielzahl von Studien konnte gezeigt werden, dass Kläranlagen über 90 % der Mikroplastikkontamination entfernen.“*

## 7. QST 2 - Toxikologie

**Frage 7.1: Gibt es denn auch bei den Journals ein Umdenken, dass "Negativ-Studien" wichtig sind zu publizieren? Und in welchem Umfang sollten diese Negativ-Ergebnisse auch an die Öffentlichkeit kommuniziert werden? Besteht dann die Gefahr, dass Mikroplastik als "gar nicht so schlimm" empfunden wird?**

Antwort von Frau PD Dr. Katrin Wendt-Potthoff

*„Ja, wenn die Studien gut dokumentiert sind, können auch Negativergebnisse publiziert werden. Solche Studien gehen an Fachgutachter, also Wissenschaftler:innen wie die Teilnehmenden der Konferenz. Selbstverständlich müssen diese Ergebnisse auch an die Öffentlichkeit kommuniziert werden, mündige Bürger haben ein Recht, sich ein eigenes Bild zu machen, und dafür ist ein breites Informationsangebot essentiell. Einer Verharmlosung von Negativergebnissen kann man entgegenzutreten, indem man die Grenzen der Aussagefähigkeit einer Studie klar benennt und auf die weiter steigende Plastikproduktion hinweist. Um dem Eindruck mangelnder Klarheit und Beständigkeit von Aussagen entgegenzutreten, ist professionelle Öffentlichkeitsarbeit sinnvoll, die Erkenntnisse aus den Sozialwissenschaften einbezieht.“*

**Frage 7.2: Es ist doch keine unerwünschte Gefahr, sondern anstrebenswerte Aufklärung, wenn sich die Wahrnehmung aufgrund von Daten ändert, oder? Trotzdem bleibt es dabei, dass Müll nicht in die Umwelt gelangen darf.**

Antwort von Frau PD Dr. Katrin Wendt-Potthoff

*„Dem stimme ich voll zu.“*

**Frage 7.3: Würde man für die Effekte auf Futterverfügbarkeit ('food dilution') nicht rein theoretisch einen Effekt erwarten der mit Partikelvolumen und nicht mit Partikeloberfläche korreliert? (der Oberflächenbezug würde ja für Diffusion gelöster Stoffe eher Sinn machen, wie schon erwähnt)**

**Frage 7.4: Wenn food limitation der dominante Wirkmechanismus von MP ist, wäre das Partikelvolumen nicht die bessere dose metric?**

Antwort von Dr. Sebastian Höss

*„Ja, ich würde auch denken, dass für die Futterverdünnung die Größe bzw. das Volumen der Partikel eine größere Rolle spielt. Die Tatsache, dass die Toxizität, unabhängig von der Größe der Partikel, mit der Gesamtoberfläche aller Partikel gut*

erklärt werden kann, würde eher für einen Wirkmechanismus sprechen, der mit der Oberfläche zusammenhängt: oxidativer Stress; Leaching von toxischen Stoffen; dies konnten wir aber durch Experimente ausschließen. Wir können natürlich nicht ausschließen, dass ein oberflächenbezogener Wirkmechanismus beteiligt war, der uns bisher entgangen ist. Hier gibt es noch ein großes Feld, das man mit zukünftiger Forschung beackern muss."

**Frage 7.5: Können Sie abschätzen ob die negativen Effekte spezifisch durch PS hervorgerufen wurden oder generelle Effekte von Partikeln waren und auch von anderen Materialien hervorgerufen werden könnten?**

Antwort von Dr. Sebastian Höss

*„Unsere bisherigen Ergebnisse sprechen eher dafür dass es sich nicht um PS-spezifische bzw. auch nicht um plastik-spezifische Effekte handelt. Z.B. können auch Ton-Partikel ähnliche Effekte hervorrufen.“*

## **8. QST 4 - Politische und soziale Dimension**

**Frage 8.1: Wie sehen Sie die Verpflichtung zum Einsatz von Monomaterialien bzw. Limitierung auf eine geringe Anzahl von Kunststoffblends (bspw. Seitens der Bundesregierung) für die Hersteller\*innen von Verpackungen?**

Antwort von Dr. Thomas Decker

*„Kunststoffblends können dazu beitragen, die Verpackungsmenge und auch das Verpackungsgewicht zu reduzieren. Auf der anderen Seite ist ein Recycling von solchen Blends mit derzeitigen Methoden sehr schwierig und auch ökonomisch nicht umsetzbar. Eine pauschale Verpflichtung von Monomaterialien (oder eine Limitierung auf eine geringe Anzahl an Blends) macht aber über alle zu verpackende Produkte hinweg keinen Sinn. Zum Beispiel sind gerade im Lebensmittelbereich die Verpackungsblends auf das Lebensmittel optimiert (Käse benötigt eine andere Verpackung als z.B. Chips). Somit wird unter anderem die Haltbarkeit verlängert.*

*Prinzipiell gilt:*

*Eine Verpflichtung zu Monomaterialien ist nur dann vorteilhaft,*

*- Wenn die Verpackungen auch effektiv im Recyclingkreislauf gehalten werden können*

*- Wenn unter Einbezug verschiedener Parameter (z.B. Verpackungsmenge, Ressourcenaufwand, Umweltwirkung...) das Monomaterial besser abschneidet als die herkömmliche Blend-Verpackung, die es ersetzen soll."*

**Frage 8.2: So weit ich weiss ist feuchtes Toilettenpapier abbaubar und enthält eher keinen Kunststoff, generelle Feuchttücher für Körper- oder Haushaltspflege enthalten auf der Verpackung Entsorgungshinweise, wenn sie Kunststoffe enthalten - haben Sie hierzu andere Erkenntnisse?**

Antwort von Luca Raschewsky

*„Zu Beginn der Forschung haben wir uns bei den gängigen Vertreibern von Feuchtem Toilettenpapier über die Materialbeschaffenheit der Produkte informiert: Alle Feuchten Toilettenpapiere bestanden aus einem Papier-Polymer Mix, enthielten also Kunststoffe. Außerdem möchte ich zur Beantwortung dieser Frage auch auf das Forschungsprojekt InRePlast verweisen. InRePlast untersuchte u.a. das qualitative und quantitative Kunststoffaufkommen kommunaler Kläranlagen. Alle Reste von Feuchttüchern, die in diesem Rahmen gefunden wurden, enthielten Plastikbestandteile.“*

## **9. QST 5a – Ökobilanzierung**

**Frage 9.1: Eignet sich das Verfahren prinzipiell auch für EPS oder XPS (z.B. aus Dämmstoffen) oder machen Flammschutz, etc. zu große Probleme?**

Antwort von Franziska Nosić

*„Das Verfahren eignet sich auch für EPS und XPS, enthaltend. Flammschutzmittel wie HBCD wird fast vollständig abgebaut. Es entstehen bromhaltige Verbindungen, die einen unterschiedlichen Siedepunkt zu Styrol haben und sich somit prinzipiell destillativ abtrennen lassen.“*

**Frage 9.2: Wie sieht der ökobilanzielle Vergleich zum werkstofflichen oder lösemittelbasierten Recycling aus?**

Antwort von Franziska Nosić

*„Innerhalb des Projektes Resolve ist nur ein Vergleich des neu entwickelten Recyclingprozesses zum Standardprozess der Styrolherstellung durchgeführt wurden. Eine vergleichende LCA ist sinnvoll und wird, sobald entsprechende Daten vorliegen, außerhalb des Resolve Projektes adressiert.“*

**Frage 9.3: Masse und Recyclinganteil sollten doch in die Sachbilanz eingehen oder? Ist dann nicht die separate Bewertung des Abfallaufkommens und des Verpackungsintensität eine Art Dopplung bei der Bewertung?**

Antwort von Andreas Detzel

*„Masse und Recyclinganteil der Materialströme sind in der Sachbilanz berücksichtigt. In der Ökobilanz werden die damit verbundenen Umweltwirkungen ermittelt (Umweltsicht). Abfallaufkommen und Verpackungsintensität werden ebenfalls anhand der Sachbilanzdaten ermittelt, liefern aber eine Sicht auf das System. Unserer Ergebnisse zeigen, dass die Bewertung aus Umweltsicht und aus Abfallsicht nicht zwingend parallel verläuft. So können höhere Umweltwirkungen durchaus mit einer besseren Abfallbilanz einhergehen und umgekehrt. Am besten sieht man das im Quervergleich aller von uns im Rahmen von Innoredux durchgeführten Übersichtsbilanzen. Siehe dazu: <https://www.plastik-reduzieren.de/deutsch/verpackungslabor/infografiken-und-ökobilanzen/>“*

## 10. QST 5b – Modellierung

**Frage 10.1: Welche Daten bzw. fehlenden Daten führen Ihrer Einschätzung nach zu den größten Unsicherheiten in Ihren Modellierungen?**

Antworten von Dr. Elke Brandes (1), Dr.- Ing. Andreas Wurpts (2) und Stephanie Cieplik (3)

(1)

*„Dies müsste wohl für jedes Modell einzeln beantwortet werden.*

*Für RAUMIS-MP: MP Konzentrationen im Kompost, Kompostaufbringung und Herkunft, Aufbringung von Gärresten aus Lebensmittelabfällen (Biogasanlagen, Klärwerke), räumliche Verteilung der Folienanwendung in der Landwirtschaft, Verbleib von Folienresten im Boden ("Verlustfaktor")“*

(2)

*„1. Zeitlich begrenzte Messdaten aus Messstationen, die nur einmal beprobt wurden. Für eine bessere Kalibrierung und Validierung des Modells wären Dauermessstationen hilfreich.*

*2. MP-Konzentrationen in der Vorflut der bestehenden Kläranlagen im Modellgebiet.*

*3. Messdaten für die MP-Eintrag aus diffusen Quellen, insbesondere atmosphärischen Deposition (im ganzen Tideweser-Einzugsgebiet gibt es nur zwei Messstationen).*

*4. MP aus der Trennsystemen, die vorauss. erhebliche Mengen MP von den Straßen (Reifenabrieb) in den Fluss bringen.“*

(3)

„Das BKV-Modell „Vom Land ins Meer – Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle“ bezieht sich auf Deutschland. Für dieses Gesamtbild über die Einträge aus Deutschland in die Meere wird auf unterschiedliche, externe Daten und Informationen von unterschiedlichen Quellen zurückgegriffen. Die Datenverfügbarkeit und Datenqualität ist daher sehr unterschiedlich. Dies wird in dem Bericht zu dem Modell „Vom Land ins Meer“ entsprechend dargestellt.“

**Frage 10.2: Können Sie eine erste übergeordnete quantitative Bewertung der Eintragswege geben; welcher Eintragsweg trägt welche MP-Frachten ein?**

Antworten von Dr. Elke Brandes (1), Dr. Sarah Piehl (2), Dr.- Ing. Andreas Wurpts (3) und Stephanie Cieplik (4).

(1)

*„Dies lassen die Projektergebnisse derzeit noch nicht zu, da kein Projekt alle Eintragsquellen berücksichtigt hat. Ein Projekt-übergreifender Vergleich der Ergebnisse ist derzeit noch nicht nötig, kann aber in Zukunft angestrebt werden. Hierfür müssen die heterogenen Ergebnisse (z.B. zu Reifenabrieb, atmosphärischer Deposition) skaliert und harmonisiert werden.*

*Es ist zu erwarten, dass unterschiedliche Quellen in ihren Eintragungs-Hotspots räumlich (und zeitlich) stark variieren. Um diese feingliedrigen Unterschiede darzustellen, sind zusätzliche und gezielte räumlich und zeitlich differenzierte Datenerhebungen notwendig.“*

(2)

*„Erste Auswertungen im Warnowästuar basierend auf eigenen Messungen im Warnow-Fluss, sowie Literaturdaten von Mikroplastik in Abwassersystemen ergaben, dass der größte Teil des Mikroplastiks wahrscheinlich über das Warnoweinzugsgebiet (49,4 %) und Regenwassereinleitungen aus dem Trennsystem (43,1 %) in das Ästuar gelangen, gefolgt von Mischwassereinleitungen (6,1 %). Kläranlageneinleitungen wiesen den geringsten Anteil auf (1,4 %).*

*Für den gesamten Ostseeraum lag die Verteilung beim Abwassersystem bei ~62% durch Misch- und Regenwassereinleitungen, ~25% Kläranlagen und ~13% unbehandelte Abwässer. Weitere Informationen, sowie Informationen zu den Limitationen der Modellierungen (Frage 1) sind den Artikeln zu entnehmen.*

*Als Hintergrund zum Workshop QST5 der PlastikNet-Abschlusskonferenz unsere gerade erschienenen Ergebnisse und Publikationen zur Information:*

*Combined Approaches to Predict Microplastic Emissions Within an Urbanized Estuary (Warnow, Southwestern Baltic Sea)*

*Open access: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.616765>*

*Urban microplastics emissions: effectiveness of retention measures and consequences for the Baltic Sea*

Open access: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.594415>"

(3)

*„Aus Kläranlagen entlang der Tideweser stellen PE und PP, sowie aus der atmosphärischen Deposition PP und PE die dominanten Polymere. Acrylate, PUR und Varnish sind bei vielbefahrenen Schiffstraßen dominant. Das Maximum der estuarinen Trübungzone der Weser fungiert abhängig von den jeweiligen Abflussverhältnissen durch Sedimentation und Resuspension als MP-Quelle/Senke.“*

(4)

*„In dem BKV-Modell „Vom Land ins Meer – Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle“ werden die für Deutschland relevanten Mengen an nicht ordnungsgemäß entsorgten Kunststoffabfällen ausgewiesen, die über die Eintragspfade und -quellen „Fluss“, „Flussschifffahrt“, „Hafen“, „Küste“ und „Deponie“ in die Meere Nordsee, Ostsee und das Schwarze Meer gelangen. Hierbei wird zwischen Mikro- und Makrokunststoffen unterschieden. Der Eintrag und Verbleib von Mikro- und Makrokunststoffen in die terrestrische und aquatische Umwelt wird in der Studie „Kunststoffe in der Umwelt“ dargestellt; diese Studie ist eine Ergänzung zu dem Modell „Vom Land ins Meer“. Somit kann mit diesen beiden Modellen eine übergeordnete quantitative Bewertung der Eintragswege gegeben werden. Die Berichte zu beiden Modellen sind unter <https://www.bkv-gmbh.de/studien.html> kostenfrei erhältlich.“*

### **Frage 10.3: Wie validieren Sie Ihre Modellierung?**

Antwort von Frank Wendtland

*„Für die Einzugsgebiete von Weser und Warnow liegen tägliche pegelbezogene Abflussmessungen in ausreichender Anzahl vor, so dass eine umfängliche Validierung der Abflusskomponenten und der MP-Eintragspfade erfolgen konnte. Bzgl. der MP-Belastung liegen bislang jedoch lediglich zeitlich begrenzte Messdaten aus Messstationen vor, die nur einmal beprobt wurden. Einer Validierung der modellierten MP-Frachten sind dadurch (noch) klare Grenzen gesetzt. Wie Andreas Wurpts bereits angemerkt hat, wären für eine bessere Kalibrierung und Validierung des Modells Dauermessstationen hilfreich.“*

### **Frage 10.4: Wie berücksichtigen Sie die unterschiedlichen Sink bzw. Aufschwimmgeschwindigkeiten und wie schätzen Sie diese ab?**

Antwort von Dr.- Ing. Andreas Wurpts

*„Das Modell berücksichtigt mehrere Prozesse, die ein zeitliche und räumliche Variabilität der Sinkgeschwindigkeit bewirken. Einerseits sind die Partikel Biolouling ausgesetzt, wobei abhängig von der Biofouling-Wachstumsintensität die*

*Partikelmasse/Dichte zunimmt. Zudem ist MP unterhalb eines Partikelgrößen-Grenzwertes nicht mehr als inert angenommen, sondern wird zunehmend Teil der Feinsedimentaggregation, so dass seine Sinkgeschwindigkeit zunehmend an die der Sedimente (Flokkulation, hindered settling) angeglichen wird."*

**Frage 10.5: Die meisten Eingangsdaten sind auf Basis Partikelzahlen. Wie wurde in Frachten [Tonnen/a] umgerechnet? Welche Eingangsdaten wurden thermoanalytisch gemessen?**

Antwort von Dr.- Ing. Andreas Wurpts (1) und Stephanie Cieplik (2)

(1)

*„Die Umrechnung von Partikelzahlen/m<sup>3</sup> in Masse(g/m<sup>3</sup>) in Massenkonzentrationen wurde durch die Annahme einer Partikelform zur Massenberechnung erreicht. Hierzu wurden die in zwei Dimensionen gemessenen MP-Größen (minor- und major-Länge) ausgewertet. Für die räumliche Partikelform wurde ein Zylinder mit dem elliptischen Flächeninhalt angenommen. Diese Annahme scheint auf Basis der untersuchten Partikel angemessen, da die dominante Partikelform als „Fragment“ klassifiziert ist und eine Ellipse im Mittel sehr gut die Oberfläche dieser Fragmente annähert. Um die Tiefe des Zylinders zu ermitteln, wurde der „Corey Shape Factor“ (CSF) aufbauend auf Kooi und Koelmans (2019) verwendet.“*

(2)

*„In dem Modell „Vom Land ins Meer – Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle“ werden Massen pro Zeit ausgewiesen. Eine Umrechnung von Partikeln in Massen ist derzeit noch nicht möglich. Solche Daten können daher in dem Modell für die Berechnung der Eintragsmengen nicht berücksichtigt werden.“*

**Frage 10.6: Wie lange läuft die Aktualisierung der Modelle? Ist das als kontinuierliches Monitoring geplant?**

Antworten von Dr. Elke Brandes (1) und Stephanie Cieplik (2)

(1)

*„Eine weitere Zusammenarbeit in der Modellierung von Flusseinzugsgebieten wird befürwortet und weiter ausgearbeitet. Wie das konkret aussehen kann, hängt u.a. von den Fördermöglichkeiten ab.“*

*Monitoringprojekte laufen z.B. beim UBA (Boden-Hintergrundwerte).*

(2)

*„Das BKV-Modell „Vom Land ins Meer – Modell zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle“ gibt es seit 2013. Seitdem wurde es kontinuierlich überarbeitet und aktualisiert. Zudem gibt es ergänzende Berichte, die einzelne Bereiche des Modells vertiefter betrachten. Derzeit liegen eine „Sonderbetrachtung Komposte und Gärrückstände“, eine „Sonderbetrachtung Littering“ und ein „Diskussionspapier Reifenabrieb“ vor.“*

*Eine Sonderbetrachtung zum Thema Pelletverluste ist für dieses Jahr geplant. Seit April 2021 liegt die Studie „Kunststoffe in der Umwelt“ vor, die den Eintrag und Verbleib von Kunststoffen und sonstigen Polymeren in die terrestrische und aquatische Umwelt abbildet und dem Modell „Vom Land ins Meer“ vorgeschaltet ist.“*

## **11. QST 6 – Recycling & Produktentwicklung**

### **Frage 11.1: Gibt es Daten zum ökobilanziellen Vergleich mit dem werkstofflichen PET Recycling?**

Antwort von Carsten Eichert

*„Wir haben keine LCA-Daten für das werkstoffliche Recycling erhoben. Insofern haben wir im Rahmen des Projektes keinen ökobilanziellen Vergleich unserer Technologie mit dem werkstofflichen PET-Recycling vorgenommen. Vor einem solchen Vergleich muss man sich im Detail anschauen, wie die Bilanzgrenzen gezogen werden, um einen vergleichbaren Bilanzrahmen zu definieren. Hier sind neben der reinen Datenerfassung und -analyse auch methodische Fragen zu klären. Unabhängig von dem Vergleich zwischen dem werkstofflichen PET-Recycling und unserem revolPET®-Verfahren wollen wir darauf hinweisen, dass unsere Technologie nicht auf das Recycling der Fraktionen abzielt, die werkstofflich recycelt werden können, sondern wir auf die Fraktionen abzielen, die überhaupt nicht werkstofflich recycelt werden können, deren Verwertungsalternative die Verbrennung oder die Deponie ist. Insofern ist die Frage nach einem ökobilanziellen Vergleich von werkstofflichem Recycling und der revolPET®-Technologie nicht zielführend. Zielführender ist der Vergleich mit der Verbrennung in Verbindung mit dem Aspekt der Ressourcenerhaltung.“*

### **Frage 11.2: Stellen Sie die Datensätze der Anlage(n) zur Verfügung so dass unabhängige Organisationen vergleichende Bilanzen erstellen, in denen dann stoffliches und chem Recycling verglichen werden können?**

Antwort von Carsten Eichert

*„Es ist unser Ansatz, werkstoffliches Recycling von PET-Abfällen mit unserer revolPET®-Technologie zu vergleichen, da die Mengen, die werkstofflich recycelt werden können, gar nicht in unserem Fokus stehen. Wir zielen auf das Recycling der Abfallmengen ab, die nicht werkstofflich recycelt werden können! Unabhängig von des Sinns eines Vergleichs des werkstofflichen Recyclings mit der revolPET®-Technologie werden wir die ökobilanziellen Ergebnisse veröffentlichen. Dies erfolgt im Rahmen wissenschaftlicher Veröffentlichungen unseres Partners TU Braunschweig. Diese Datensätze stehen dann allen Interessierten zur Verfügung.“*

**Frage 11.3: Können die rPET Rezyklate erneut für Verpackungen verwendet werden bzw. sind die Rezyklate lebensmittelecht oder bedarf es an dieser Stelle noch der Weiterentwicklung oder noch einer Zulassung?**

Antwort von Carsten Eichert

*„Es ist zunächst klarzustellen, dass aus dem revolPET®-Verfahren KEINE rPET Rezyklate resultieren. Die revolPET®-Technologie zerlegt das PET-Polymer in seine Bausteine. Diese Bausteine werden genutzt, um über die bestehenden Produktionsprozesse neuwertiges PET herzustellen. Dies ist bei der Beantwortung der Frage zu berücksichtigen.*

*Die recycelten Monomere (Bausteine des PET-Polymers) können für die Produktion von neuem PET genutzt werden. Derzeit laufen Gespräche mit der EU Kommission über die Anerkennung bzw. Zulassung sowohl des Verfahrens als auch der resultierenden Produkte (Monomere/Bausteine). Im Rahmen eines von der EU Kommission begleiteten Ringversuchs werden standardisierte Prüfkriterien entwickelt und auch die aus unserem Prozess resultierenden Produkte analysiert. Zum Abschluss soll eine Lebensmittelzulassung der Monomere aus dem revolPET-Prozess vorliegen. Die Zulassung bzw. Anerkennung als Chemikalie nach der REACH-Verordnung erfolgt ebenfalls.*

*Diese Zulassungsfragen sind noch nicht abschließend geklärt, weil es auch für die Zulassungsbehörden etwas innovatives ist, einen Grundstoff nicht aus einem fossilen Rohstoff, sondern aus einem Sekundärrohstoff zu erhalten. Zusammenfassend kann man sagen, dass alle Stoffe, die in eine neue Lebensmittelverpackung gehen, geprüft und zugelassen sein müssen. Dies gilt unabhängig des Ursprungs des Stoffs.“*

**Frage 11.4: Um Rezyklate aus chem. Recycling so günstig anbieten zu können wird eine entsprechende Skalierung benötigt, um mit der Herstellung von Produkten aus Frischmaterial konkurrieren zu können. Wäre es da nicht ein wichtiger Schritt ggf. aus staatlicher Sicht chem. Recycling zu fördern, anstatt weiter „zuzusehen“, wie immer mehr Frischmaterial für Kunststoffprodukte produziert wird?**

Antwort von Dr. Julia Vogel

*„Um zu einer Entscheidung bezüglich einer Förderung zu kommen, ist es immer entscheidend, ob eine Technologie auch tatsächliche Umweltvorteile bietet. Diese Bewertung kann entweder auf übergeordneter Ebene erfolgen, um dann z.B. gezielt Förderprogramme aufzulegen oder ganz konkret an einer geplanten Anlage.*

*Im übergeordneten Fall „chemisches Recycling von Kunststoffabfällen“ liegen uns noch keine ausreichenden Informationen über die ökologische Vorteilhaftigkeit oder zumindest Gleichwertigkeit gegenüber den etablierten Recyclingtechniken vor, um*

*grundsätzliche Aussagen darüber treffen zu können, ob bzw. unter welchen Umständen das chemische Recycling von Kunststoffen sinnvoll ist. Daher ist eine umfangreiche Förderung zum jetzigen Zeitpunkt nicht geplant.*

*Bei Betrachtung von Einzelfällen für die Förderung von sich bereits in der konkreten Planung befindlichen Anlagen (z.B. über das Umweltinnovationsprogramm) werden ebenfalls verschiedene Kriterien zur Überprüfung des Beitrages der Anlage zur Verbesserung der Umwelt herangezogen. Hier ist aber jederzeit (und auch in vielen anderen Förderprogrammen) ein Antrag möglich, welcher geprüft und dann ggf. eine Förderung ausgesprochen wird, d.h. hier können auch heute schon Anträge für die Förderung von chemischen Recyclinganlagen gestellt werden.*

*Aus Sicht des Umweltbundesamtes ist es zu bevorzugen, Verpackungen oder andere Produkte (aus Kunststoff) so zu gestalten, dass sie bereits mit den vorhandenen werkstofflichen Verfahren zu recyceln sind."*

## **12. QST 7 – Bioabbaubarkeit**

**Frage 12.1: Kommt es zu einer Aufkonzentration von Kunststoffen im Boden, bspw. im Agrarsektor, wenn in 24 Monaten 90% der Folien abgebaut werden, jedoch jährlich neue Folien in den Boden eingebracht werden?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Hier spielen natürlich sehr viele Faktoren zum biologischen Abbau eine Rolle, wie auch die immer kleiner werdende Partikelgröße. Aber auch im „worst case“ eines linearen Zusammenhangs, würde bei den von Ihnen genannten Eckdaten keine Aufkonzentration stattfinden, sondern bei jährlich konstant eingebrachten neuem Folienmaterial eine im Boden konstante Menge an abbaubaren Kunststoffen zu finden sein.“*

**Frage 12.2: Warum bilden die Normen unrealistische Bedingungen ab?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Formen sollten stets vergleichbar und reproduzierbare Bedingungen als Grundlage haben. Aufgrund von Kostendruck und Effizienzsteigerung sind teilweise deutlich kürzere Verweilzeiten des Biomülls in den technischen Anlagen zu beobachten, als in den Normen für einen biologischen Abbau vorgeschrieben sind. Dadurch kann es sein, dass ein zertifiziert biologisch abbaubarer Kunststoff nicht vollständig abgebaut wird.“*

**Frage 12.3: Für die Landwirtschaft wird überwiegend Frischkompost mit 3-5 Wochen Verweilzeit in der Intensivrotte produziert (Thermophil). Zudem gibt es immer mehr Vergärungsanlagen. Gilt denn die Abbaubarkeit für 58°C auch in gleicher Weise bei Vergärungsanlagen?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Bislang gibt es keine Norm und kein entsprechendes Zertifizierungsprogramm für den Nachweis des Abbaus unter anaeroben (sauerstoffarmen) Bedingungen. Ein biologischer Abbau unter anaeroben Bedingungen wird für eine Zertifizierung von biologisch abbaubaren Kunststoffen damit nicht gefordert, kann aber optional festgestellt werden. Einige Kunststoffe, darunter auch PLA sind unter anaeroben Bedingungen abbaubar. Andere, wie beispielsweise Co-Polyester wie PBAT nicht. Verschiedene Studien präsentieren zum Abbau von bioabbaubaren Kunststoffen in Vergärungsanlagen unterschiedliche Ergebnisse, weshalb allgemeingültige Aussagen bisher kaum möglich sind.“*

**Frage 12.4: Inwiefern macht eine Kompostierung in industriellen Anlagen überhaupt Sinn? Wenn ich Produkte wie Einwegbesteck in solche Anlagen gebe, werden sie im besten Fall vollständig abgebaut und es entsteht CO<sub>2</sub> und Wasser (kein Dünger). Wenn ich sie verbrenne, entsteht die gleiche Menge CO<sub>2</sub> und ich gewinne Energie. Oder liege ich falsch?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Sehr gute Frage! Der Abbau von biologisch abbaubaren Kunststoffen trägt meist nicht zur Humusbildung oder einem Nährstoffgewinn bei und erzielt dadurch keinen Mehrwert für den Kompost. Auch das Umweltbundesamt schätzt die Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage im Rahmen der Ökobilanzierung als sinnvoller ein. Es gibt jedoch Anwendungen, wo die Verwendung von biologisch abbaubaren Kunststoffen durchaus sinnvoll ist und einen Mehrwert erzielt. Dies ist beispielsweise bei Anwendungen der Fall, wo sich ein Eintrag in die Umwelt nicht vermeiden lässt.“*

**Frage 12.5: Gibt es auch andere Ansätze für die Verwertung von abbaubaren Kunststoffen als die Kompostierung?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Biologisch abbaubare Kunststoffe können, wie konventionelle Kunststoffe werkstofflich recycelt werden oder der thermischen Verwertung zugeführt werden. Bislang ist nur letzteres in der Praxis der Fall, da die Stoffströme für ein wirtschaftlich sinnvolles Recycling von bioabbaubaren Kunststoffen derzeit (noch) zu gering sind.“*

**Frage 12.6: Hersteller von "Biotüten", die für die Biotonne genutzt werden sollen, geben immer wieder an, dass elbst bei kürzerer Verweildauer der Tüten in den Kompostanlagen der übrige Teil, der in die Umwelt gelangt, kein Mikroplastik darstellt. Stimmt das?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Es gibt biologisch abbaubare Kunststoffe, die in kürzeren Zeitspannen vollständig abbauen, wie z.B. Stärke oder PHA. Solche Angaben können daher durchaus richtig sein.“*

**Frage 12.7: Frage zum QST Papier, S. 39, Absatz "Aufgrund der Desintegrationsprüfung..". Was bedeutet, dass das Material ausreichend abgebaut ist/wird? Später in verdünnter Form im Garten unter ganz anderen Parametern?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Für eine zertifizierte biologische Abbaubarkeit müssen verschiedene Anforderungen erfüllt werden. Neben dem mikrobiellen Abbau, der im Labor über die CO<sub>2</sub>-Produktion nachgewiesen werden muss, muss unter anderem auch eine, unter realen Bedingungen geprüfte, Desintegration gewährleistet sein. Eine Desintegrationsprüfung alleine ist nicht ausreichend und kann keinen vollständigen Abbau gewährleisten.“*

**Frage 12.8: Verstehen Sie unter Abbau die Zerlegung in Wasser und CO<sub>2</sub> oder nur die Fragmentierung in kleine Partikel?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Unter biologischen Abbau verstehen wir den mikrobiellen Abbau, bei welchem der Kunststoff von Mikroorganismen vollständig in Biomasse, Wasser, mineralische Salze und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bzw. Methan (CH<sub>4</sub>) umgewandelt werden.“*

**Frage 12.9: Berühren die Normierungen zur Einschätzung der Bioabbaubarkeit auch den Effekt der "Biokorrosion von Kunststoffen" wie er im ersten Weltkrieg für Bakelit entdeckt wurde?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Als Biokorrosion wird ein von Mikroorganismen induzierter Angriff auf Werkstoffoberflächen bezeichnet, der eine Materialschädigung bewirkt. Die Mikroorganismen bilden beispielsweise Säuren, die die Oberfläche der Werkstoffe angreifen können. Es handelt sich dabei aber nicht um einen mikrobiellen Abbau der Werkstoffe. Bei einem mikrobiellen Abbau wird der abzubauenen Werkstoff als Nährstoff für die Mikroorganismen gesehen bis hin zu seinem vollständigen Abbau zu anorganischen Endprodukten wie CO<sub>2</sub> oder Wasser. Der Effekt der Biokorrosion wird in den Normen nicht explizit berücksichtigt.“*

**Frage 12.10: Entstehen beim Abbau Stoffe welche der Umwelt schaden, den Boden verschlechtern und somit keinen Mehrwert haben, sondern eher ein Schaden durch den Abbau erfolgt?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Bei einem vollständigen biologischen Abbau entstehen lediglich Biomasse, Wasser, mineralische Salze und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bzw. Methan (CH<sub>4</sub>).*

*Niedermolekulare Stoffe wie Weichmacher oder andere Additive, die möglicherweise Schadstoffe darstellen, können sofern diese in Kunststoffen vorhanden sind, bei einer Alterung aus dem Kunststoff migrieren. Diese Vorgänge sind aber nicht von dem biologischen Abbau abhängig.“*

**Frage 12.11: Wie lange ist die tatsächliche Verweilzeit von Biomüll in der industriellen Kompostieranlage, im Vergleich zu den 6 Monaten, die in der Norm als Anforderung angegeben werden?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Die genaue Verweilzeit von Biomüll in industriellen Kompostierungsanlagen ist von den einzelnen, individuellen Anlagen abhängig. Prinzipiell lässt sich jedoch eine ungefähre Verweilzeit in der Hauptrotte von 4 bis 8 Wochen nennen. Insbesondere bei größeren Anlagen (ab 30.000 t/a) liegt die Verweilzeit in der Hauptrotte oftmals bei unter 6 Wochen.“*

**Frage 12.12: Gibt es in der Praxis industrielle Kompostieranlagen, die überhaupt die langen Verweildauerzeiten ermöglichen?**

Antwort von Prof. Dr. rer. nat. habil. Marc Kreutzbruck

*„Es gibt vereinzelt kleinere Anlagen, die eine lange Verweilzeit ermöglichen, allerdings ist das nicht die Regel.“*