

REIFEN- UND STRASSENABRIEB ALS TROJANISCHES PFERD
FÜR SPURENELEMENTE IM GEWÄSSER? –
EIN PROMOTIONSPROJEKT

Einleitung

Beinahe 50 Millionen Autos sind nach Angaben des Kraftfahrtbundesamtes [1] derzeit in Deutschland zugelassen. Das Auto wird von vielen Menschen als ein extrem wichtiges Transportmittel angesehen und ist aus dem heutigen Stadtbild aktuell nicht wegzudenken. Die Bedeutung, die den Kraftfahrzeugen in der Bundesrepublik zukommt, wird durch ihren Flächenverbrauch deutlich: Der Straßen- und Parkraum, der Kraftfahrzeugen in Deutschland zur Verfügung steht, entspricht mit 2,6 % des gesamten Bundesgebietes zwei Drittel der Wohnbaufläche. Zum Vergleich: 2,3 % der Fläche Deutschlands sind Gewässer [2]. Neben diversen Abgasen und Feinstaub emittieren Kraftfahrzeuge in Deutschland gegenwärtig nach aktuellen Simulationen über 100.000 t Reifenabrieb (engl.: tyre wear particles, TWP) jährlich in die Umwelt. Dies entspricht mehr als 1,2 kg reinen Reifenabrieb pro Person. Unter der Annahme, dass der gesamte Reifenabrieb als Mikroplastik vorläge, würde dieser mit etwa 30 % die größte Einzelemissionsquelle von Mikroplastik in die Umwelt darstellen [3,4]. Nimmt die Anzahl an zugelassenen Kraftfahrzeugen weiter zu – wie aktuell erwartet werden muss – wird sich dieser Betrag perspektivisch erhöhen. Auch die Umrüstung im Sinne politisch motivierter Elektromobilität führt nach aktuellem Stand zu einer Erhöhung der Reifenabrieb-Emissionen, da Elektroautos im Schnitt ca. 20 % schwerer sind als vergleichbare Autos mit Verbrennungsmotoren [5]. Verglichen mit anderen Mikroplastikmaterialien,

Feinstaub oder Abgasen wird der Reifenabrieb vom europäischen und nationalen Gesetzgeber bisher noch nicht reguliert. Ab 2025 soll in der neuen Euro-7-Norm der Europäischen Kommission erstmals auch der Ausstoß von Reifenabrieb berücksichtigt werden, wie in einer Pressemitteilung angekündigt wurde [6]. Derzeit herrscht über die direkten und indirekten Auswirkungen von Reifenabrieb in der Umwelt Unklarheit. Bisherige Studien fokussieren sich auf die direkte (Öko-)Toxikologie bspw. in Bezug auf kardiovaskuläre Erkrankungen [7] oder auf Wasserorganismen [8–10]. Die Betrachtung von Reifenabrieb als Trägermaterial für Schadstoffe, wie z. B. Schwermetalle und Arsen, und die damit einhergehenden indirekten Effekte fehlen derzeit. In meiner Promotionsarbeit soll deshalb der Fokus auf den nachgelagerten Effekten von Reifenabrieb im Gewässer liegen. Untersucht wird die Anlagerung von Schwermetallen und Arsen im Hinblick auf die verschiedenen im Fließgewässer stattfindenden Prozesse wie bspw. Biofilmbildung, Salzgehalt oder Änderung des Sauerstoffgehaltes.

Reifenabrieb im Gewässer

Von den genannten über 100.000 t Reifenabrieb, die in Deutschland jährlich in die Umwelt eingetragen werden, würden nach Modellrechnungen von BAENSCH-BALTRUSCHAT et al. bis zu 20 % über verschiedene Eintragspfade in die deutschen Gewässer gelangen: Ein Großteil wird über den sog. Straßenrunoff, also das Abspülen von Reifenabrieb direkt von

der Straßenoberfläche, in das nächstgelegene Gewässer eingetragen. Außerdem erfolgt ein Eintrag über die Kanalisationssysteme [3]. Der Anteil von Reifenabrieb an Mikroplastik im Gewässer wird von der INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN) mit ca. 30 % angegeben. Das entspricht etwa dem Anteil an Mikroplastik, welches durch Waschen von Kleidung mit Synthetikfasern eingetragen wird [11]. Zum einen kann der Reifenabrieb im Gewässer direkt von Wasserorganismen mit der Nahrung aufgenommen werden. Zum anderen können Bestandteile aus dem Reifenabrieb ausgelaugt werden wie bspw. Zink [12] oder Benzothiazol [13]. Im Rahmen meiner vorangestellten Masterarbeit konnte nachgewiesen werden, dass Reifenabrieb als Träger für Spurenelemente respektive Schwermetalle dienen kann und sich diese auf der Oberfläche anlagern [14]. Zur Verfügung stand u. a. Reifenmaterial eines Herstellers. Dieser sog. Reifen- und Straßenabrieb mit Straßensediment (TRWP+RS) enthält neben dem reinen Reifenabrieb (ca. 10 %) auch noch andere Partikel, die sich auf der Straße bilden bzw. anfallen. Experimentell wurden Gewässerproben der Freiberger Mulde (einem Fluss mit Ursprung

im Erzgebirge und erhöhten Schwermetall- und Arsenfrachten) im Zeitraum von mehreren Stunden bis Tagen mit TRWP+RS versetzt. Der Gehalt an Schwermetallen in und am TRWP+RS konnte nach Abtrennung mittels ICP-MS/MS bestimmt und im Anschluss mit Hilfe von Bewertungskriterien der LAWA für Schwebstoffe im Gewässer [15] in Gewässergüteklassen übersetzt werden. Aus Tabelle 1 kann die potenzielle Verschlechterung der Gewässergüte anhand der Farbskalierung (blau = gut, rot = schlecht) entnommen werden. Zielklassen sind dabei blau und grün, gelb bis rot sind belastete Klassen. Für Kupfer und Blei konnte keine Verschlechterung der Gewässergüteklasse beobachtet werden, obwohl der Gehalt an Blei um das Anderthalbfache angestiegen ist.

Forschungsansätze

Basierend auf den ersten Erkenntnissen der Anlagerung von Schwermetallen an Reifenabrieb im Gewässer ist es im Promotionsprojekt das Ziel, eine umfassendere Bewertung zu erarbeiten, welche Auswirkung der Reifenabrieb auf die Schwermetall-Dynamik in Fließgewässern hat. Dazu soll der Einfluss verschiedener – im Gewässer stattfindender – biogeochemi-

	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
reines Material	GK I	GK II	GK III	GK III-IV	GK I-II	GK I-II
16,7 mg L ⁻¹ TRWP+RS in Probenwasser	GK III	GK III	GK III	GK IV	GK IV	GK I-II
rel. An-/Abreicherung	+ 400 %	+ 270 %	- 13 %	+96 %	+ 4.100 %	+150 %

Tabelle 1: Gewässergüteklassen prioritärer Schwermetalle am Reifen- und Straßenabrieb mit Straßensediment (TRWP+RS) nach 24 Stunden mit Wasserproben der Freiberger Mulde. Einteilung anhand der LAWA-Kriterien für Schwebstoffe [15].

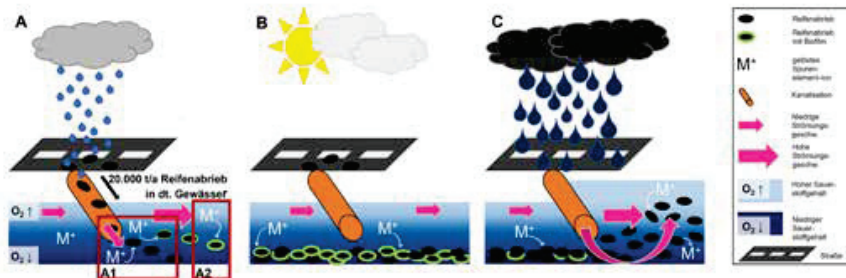


Abb. 1: Schematische Darstellung der zu untersuchenden biogeochemischen Prozesse an Reifenabrieb nach dem Eintrag ins Gewässer. A1: Anlagerung von Spurenelementen an Reifenabrieb; A2: Biofilmbildung auf der Reifenpartikel-Oberfläche; B: Sedimentation von Reifenabrieb; C: Remobilisierung von Reifenabrieb.

scher Prozesse auf diese Anlagerung (Adsorption) untersucht werden. Als Untersuchungsobjekt eignet sich das Einzugsgebiet der Elbe, da sie einerseits in unmittelbarer Nähe vom Laborstandort in Magdeburg fließt und andererseits die Untersuchung verschiedener Gewässercharakteristika und biogeochemischer Prozesse ermöglicht.

Die unterschiedlichen Prozesse, die betrachtet werden sollen, sind schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Reifenabrieb wird u. a. über den Straßenrunoff in das Gewässer eingetragen. Dort kann auf der Partikeloberfläche eine direkte Anlagerung von Schwermetallen stattfinden (A1). Bei ausreichend vorhandenen Nährstoffen, Licht sowie Wassertemperaturen oberhalb von 8 °C bildet sich zeitversetzt Biofilm auf der Oberfläche (A2). Dies ändert die Oberflächenstruktur der Partikel und kann daher das Anlagerungsverhalten beeinflussen. Sinkt die Fließgeschwindigkeit des Gewässers, ist ein Absinken der Reifenpartikel auf den Grund zu erwarten (B). Hierbei sinkt der Sauerstoffgehalt

in der direkten Umgebung der Reifenpartikel. Starkregenereignisse führen hingegen zu einer starken Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und zu einer Remobilisierung der oberen Sedimentschichten (C). Somit wird schlagartig der Sauerstoffgehalt um die Reifenpartikel erhöht. Die Änderung des Sauerstoffgehaltes in B und C führen zu einer Änderung der Redoxverhältnisse und können Änderungen des Bindungsverhaltens von Spurenelementen am Reifenabrieb zur Folge haben. Die Prozesse A1 bis C sind hier für Süßwasserflüsse dargestellt. Dieselben Prozesse können auch in salzhaltigen Flüssen stattfinden, weswegen auch diese mitberücksichtigt werden.

Um praxisnahe Schlussfolgerungen aus den Laborexperimenten ziehen zu können, ist es besonders wichtig, zum einen die Natur so genau wie möglich abzubilden, zum anderen aber die wesentlichen Prozesse auch einzeln zu betrachten. Deshalb werden Wasserproben direkt aus Flüssen mit entsprechenden Charakteristika (z. B. Freiburger Mulde für einen

hohen Spurenelementgehalt, oder Bode für einen erhöhten Salzgehalt) und Reifenabrieb-Proben von der Straße verwendet. Dabei sind wir im Kontakt mit Reifenherstellern und Projekten, die Reifenabrieb aus Umweltproben abtrennen, um Reifenabrieb-Proben zu erhalten.

Ausblick

Die Untersuchungen, die im Rahmen dieses Promotionsprojektes angestrebt werden, sollen hilfreich für eine umfassendere Gefährdungsabschätzung des Verhaltens von Reifenabrieb im Gewässer sein. Hierzu werden die Ergebnisse mit Projektpartnern (u. a. Behörden und Reifenhersteller) diskutiert, um Entscheidungsträgern wie bspw. der FGG Elbe wesentliche Informationen zur Verfügung zu stellen. So kann ggf. regulatorisch der Eintrag von Reifenabrieb ins Gewässer begrenzt werden. Seit dem 01. Januar 2023 wird dieses Promotionsprojekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt mit einem Stipendium für die Dauer von drei Jahren gefördert. Die Betreuung erfolgt dabei durch PD Dr. Wolf von Tümpling (UFZ) und Prof. Dr. Georg Pohnert (FSU).

Literatur

- [1] Kraftfahrtbundesamt, Fahrzeugbestand in Deutschland, Hamburg, 2021.
- [2] Statistisches Bundesamt, "Flächennutzung - Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland," can be found under <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fische->

rei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html, 2022.

- [3] B. Baensch-Baltruschat, B. Kocher, C. Kochleus, F. Stock, G. Reifferscheid, Sci. Total Environ. 2021, 752, 141939.
- [4] J. Bertling, R. Bertling, L. Hamann, Kunststoffe in Der Umwelt: Mikro- Und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung Der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut Für Umwelt-, Sicherheits- Und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, 2018.
- [5] V. R. J. H. Timmers, P. A. J. Achten, Atmos. Environ. 2016, 134, 10–17.
- [6] Europäische Kommission, Kommission Schlägt Neue Euro-7-Normen Zur Verringerung Der Schadstoffemissionen von Fahrzeugen Und Zur Verbesserung Der Luftqualität Vor, Europäische Kommission, Brüssel, 2022.
- [7] R. K. Khan, M. A. Strand, Epidemiol. Health 2018, 40, e2018013.
- [8] C. Marwood, B. McAtee, M. Kreider, R. S. Ogle, B. Finley, L. Sweet, J. Panko, Ecotoxicology 2011, 20, 2079.
- [9] J. M. Panko, M. L. Kreider, B. L. McAtee, C. Marwood, Ecotoxicology 2013, 22, 13–21.
- [10] L. L. Halle, A. Palmqvist, K. Kampmann, F. R. Khan, Sci. Total Environ. 2020, 706, 135694.
- [11] J. Boucher, D. Friot, Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources, IUCN International Union For Conservation Of Nature, 2017.
- [12] T. Hillenbrand, D. Toussaint, E. Böhm, S.

Fuchs, U. Scherer, A. Rudolphi, M. Hoffmann, Einträge von Kupfer, Zink Und Blei in Gewässer Und Böden - Analyse Der Emissionspfade Und Möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2005.

- [13] L. L. Halle, A. Palmqvist, K. Kampmann, A. Jensen, T. Hansen, F. R. Khan, Aquat. Toxicol. 2021, 232, 105769.
- [14] A. Rocha Vogel, Unveröffentlicht: Spurenelementakkumulation an Reifen- Und Straßenabrieb Mit Straßensediment Nach Dem Eintrag Ins Gewässer, Helmholtz-Zentrum Für Umweltforschung - UFZ, Magdeburg, 2022.
- [15] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - chemische Gewässergüteklassifikation, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, Berlin, 1998.