

Identifikation und Analytik reifenbürtiger Stoffe in der aquatischen Umwelt – RAseR

RAseR



RUND UM DEN
REIFEN

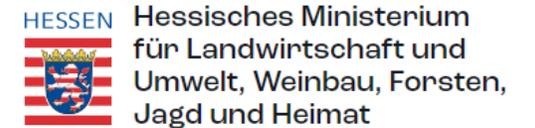
24.10.2025

Prof. Dr. Stephan Wagner, Hochschule Fresenius
Prof. Dr. Andrea Andolfo, Hochschule RheinMain

Titel: Reifen- und Straßenabrieb und reifenbürtige Stoffe in der aquatischen Umwelt:
Ausgewählte Expositionsszenarien und Rückhaltungsoptionen

Partner: Hochschulen Fresenius (HSF)
Hochschule RheinMain, (HSRM)

Finanzierung: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Hessisches Ministerium für Landwirtschaft
Wirtschaftsverband der deutsche Kautschukindustrie



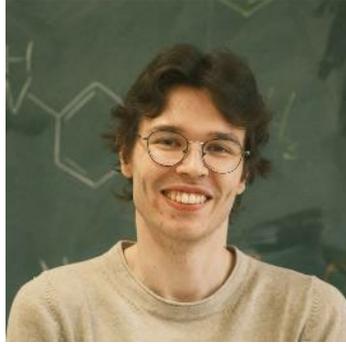
Laufzeit: 07.2024 - 12.2026



Hochschule Fresenius, Institute for Analytical Research (IFAR)



K. Müller



C.L. Bollmann



Prof. Dr. Wagner

Kontakt: stephan.wagner@hs-fresenius.de

Hochschule RheinMain, IUVT Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik



L. Kattner



Prof. Dr. Andolfo

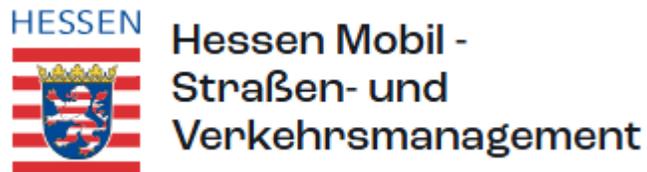
Kontakt: Andrea.Andolfo@hs-rm.de

FORSCHUNGSPROJEKT RASER

Projektbeirat

- Prof. Dr. Ullrich Dittmer, RPTU (Vertreter der Wissenschaft)
- Stephan Rau, wdk (Vertreter der Wirtschaft)
- Dr. Jens Mayer, HLNUG (Vertreter einer Umwelt-Fachbehörde)
- Henning Benecke, Hessen Mobil (Vertreter des Straßensektors)

Kooperations- / assoziierte Partner / Unterstützer



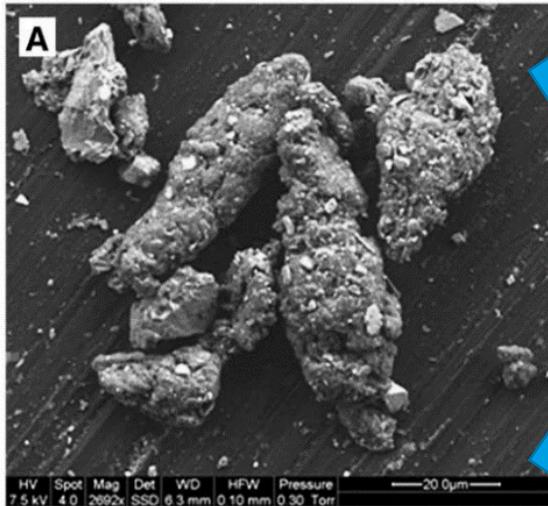
WIE VIEL REIFENABRIEB ENTSTEHT JÄHRLICH IN DEUTSCHLAND?

Reifenabrieb-Emissionen für Deutschland

- Pro-Kopf: im Durchschnitt **ca. 1,2 kg/(EW Jahr)**
- Absolutmengen: 100 000 – 130 000 t/Jahr
- Daumenwert für PKW-Reifen: 200 mg/gefahrenem Kilometer

Pestizidemissionen für Deutschland: 33 000 t/a an aktiven Substanzen

EIGENSCHAFTEN VON REIFENABRIEB



ca. 50 %
Reifenlauf-
fläche

ca. 50 % meist mineralische Partikel
beispielsweise vom Straßenbelag oder Straßenstaub

→ **Tire and road wear particle (TRWP)**

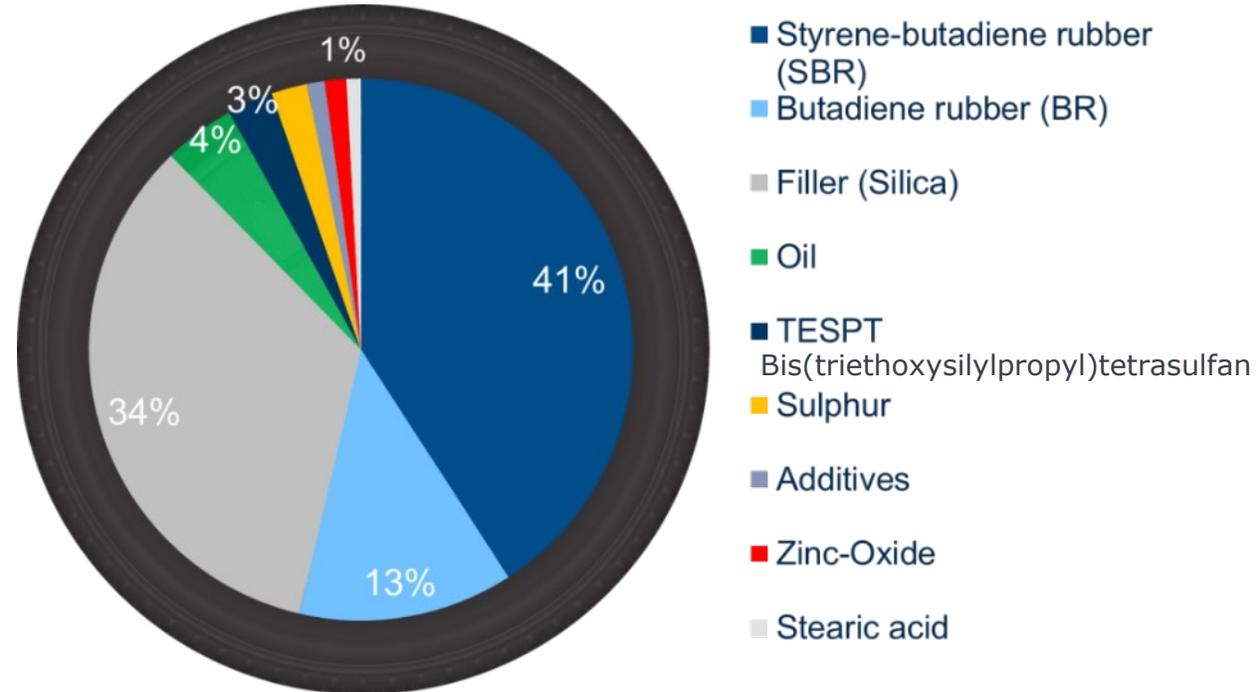
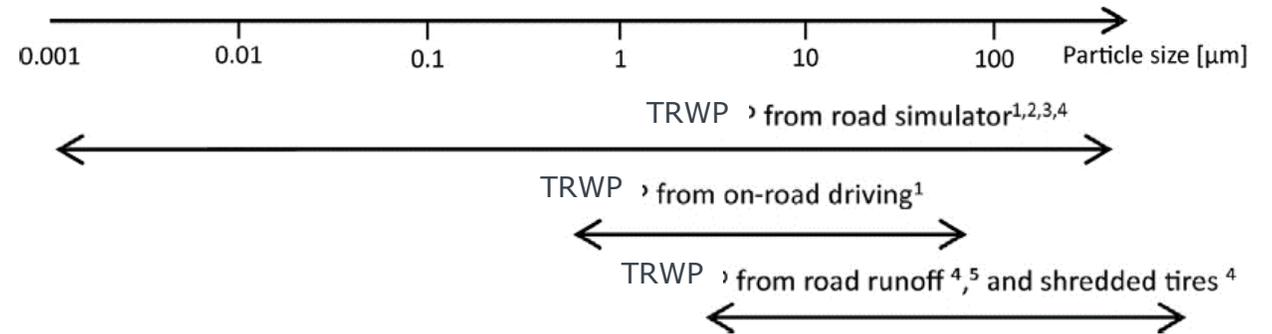
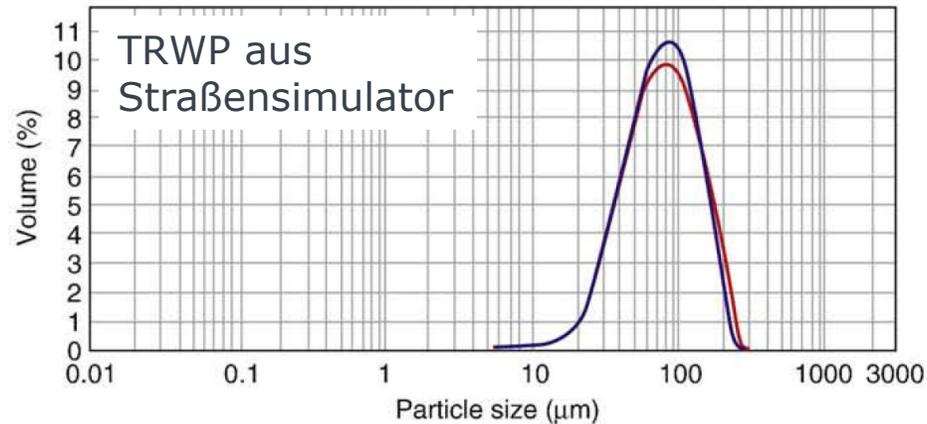


Fig. Mixing recipe of a passenger car tire tread

EIGENSCHAFTEN VON REIFENABRIEB?

- PARTIKELEIGENSCHAFTEN SIND VON DEN BILDUNGSBEDINGUNGEN ABHÄNGIG -

Partikelgrößenverteilung

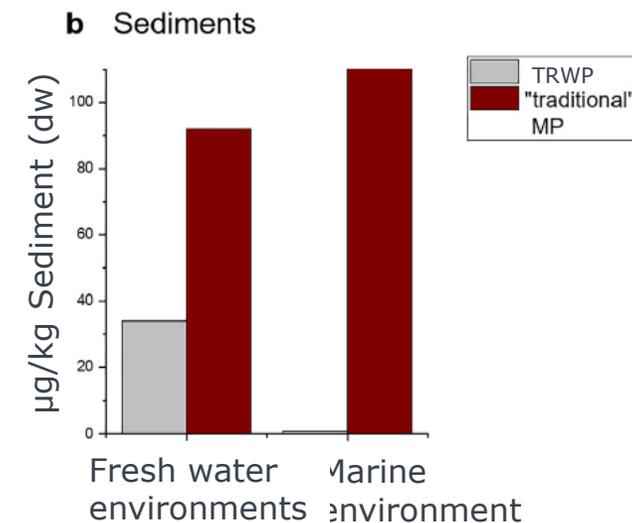
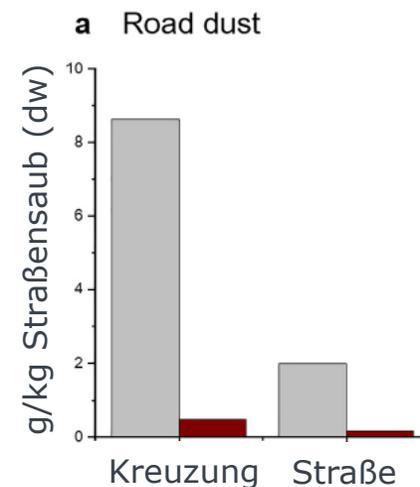
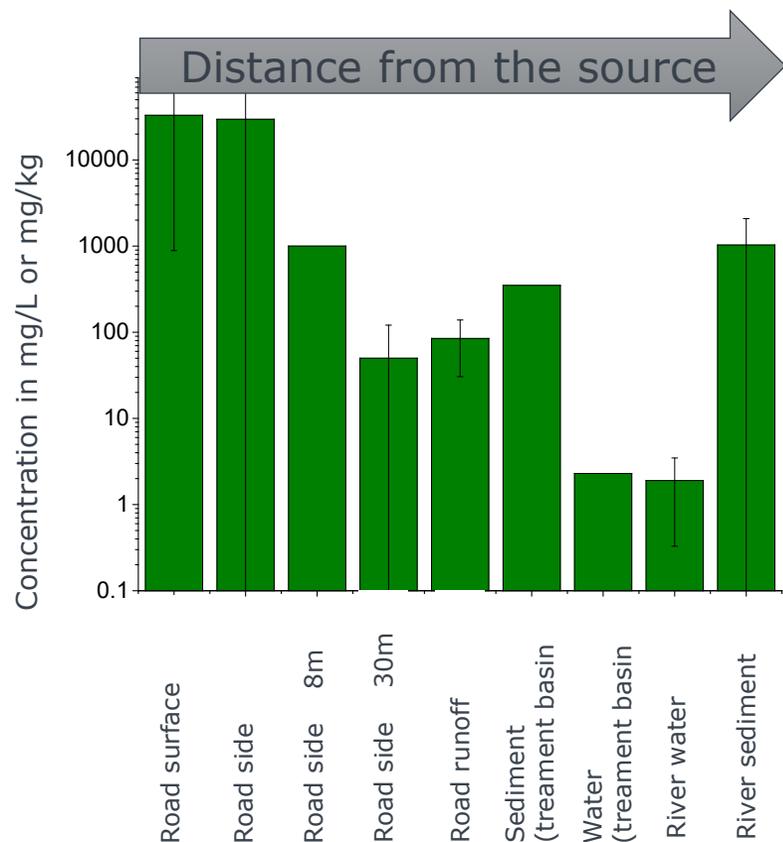


Partikeldichteverteilung

- zwischen 1.3 und 1.9 g/cm³

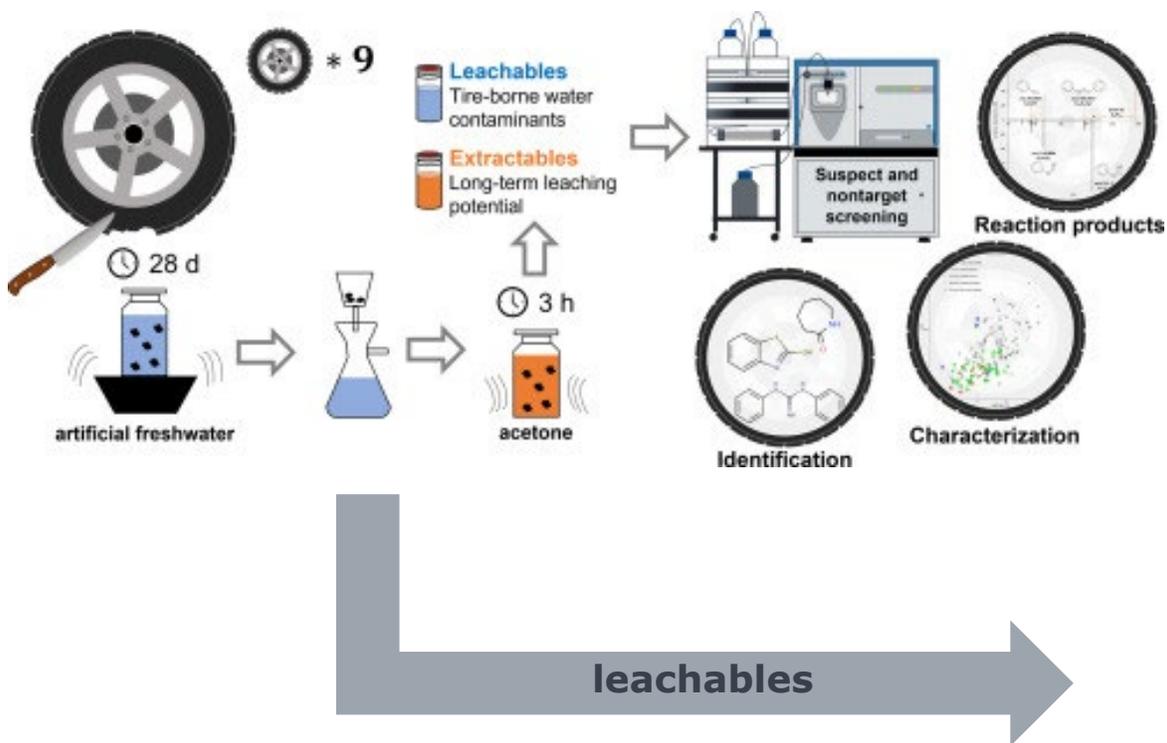
- Die Partikelgröße und -dichte von Reifenabrieb in der Umwelt sind derzeit nur unzureichend bekannt.
- Überwiegender Massenanteil von Reifenabrieb hat eine Größe von > 10 µm.

WIE HOCH SIND DIE KONZENTRATIONEN VON REIFENABRIEB IN DER UMWELT?



- Sedimenten sind vermutlich Senke für die Partikel.
- Hohe Variabilität der Daten (Ursachen: Heterogenität des beprobten Mediums und die Nutzung verschiedener analytischer Methoden!)

WIE HOCH SIND DIE KONZENTRATIONEN VON REIFENINHALTSSTOFFEN IN DER UMWELT?



- Wie gelangen diese Stoffe in die Umwelt?
- Wie kann der Eintrag verringert werden?

Name (CAS)	Structure	Class (Reference)
<i>N,N'</i> -Diphenylguanidine (102-06-7)	<chem>c1ccc(cc1)NC(=N)Nc2ccccc2</chem>	Vulcanisation accelerator (Baumann and Ismeier, 1998; Peter et al., 2018; Seiwert et al., 2020; Unice et al., 2015)
ϵ -Caprolactam (105-60-2)	<chem>O=C1NCCCCC1</chem>	Decomposition product (Baumann and Ismeier, 1998; Seiwert et al., 2020)
Benzothiazole (95-16-9)	<chem>c1ccc2c(c1)sc3c2n3</chem>	Decomposition product (Baumann and Ismeier, 1998; Seiwert et al., 2020; Unice et al., 2015)
2-Mercaptobenzothiazole (149-30-4)	<chem>c1ccc2c(c1)sc3c2n3S</chem>	Vulcanisation accelerator (Baumann and Ismeier, 1998; Kloepfer et al., 2004; Seiwert et al., 2020)
4-Hydroxydiphenylamine (122-37-2)	<chem>Oc1ccc(Nc2ccccc2)cc1</chem>	Decomposition product (Baumann and Ismeier, 1998; Unice et al., 2015)
Tributylamine (102-82-9)	<chem>CCN(CC)CC</chem>	Impurity of vulcanisation accelerator (Seiwert et al., 2020)
Dibenzylamine (103-49-1)	<chem>c1ccc(cc1)CNc2ccccc2</chem>	Vulcanisation activator (Baumann and Ismeier, 1998)
<i>N,N'</i> -Diphenylurea (102-07-8)	<chem>O=C(Nc1ccccc1)Nc2ccccc2</chem>	Vulcanisation retarder (Baumann and Ismeier, 1998; Unice et al., 2015)
<i>N,N'</i> -Dicyclohexylurea (2387-23-7)	<chem>O=C(NC1CCCCC1)NC2CCCCC2</chem>	Other (Peter et al., 2018; Seiwert et al., 2020)
<i>N</i> -(1,3-Dimethylbutyl)- <i>N'</i> -phenyl- <i>p</i> -phenylenediamine (793-24-8)	<chem>CC(C)C(C)CNc1ccc(Nc2ccccc2)cc1</chem>	Antioxidant (Baumann and Ismeier, 1998; Unice et al., 2015; Wagner et al., 2018)

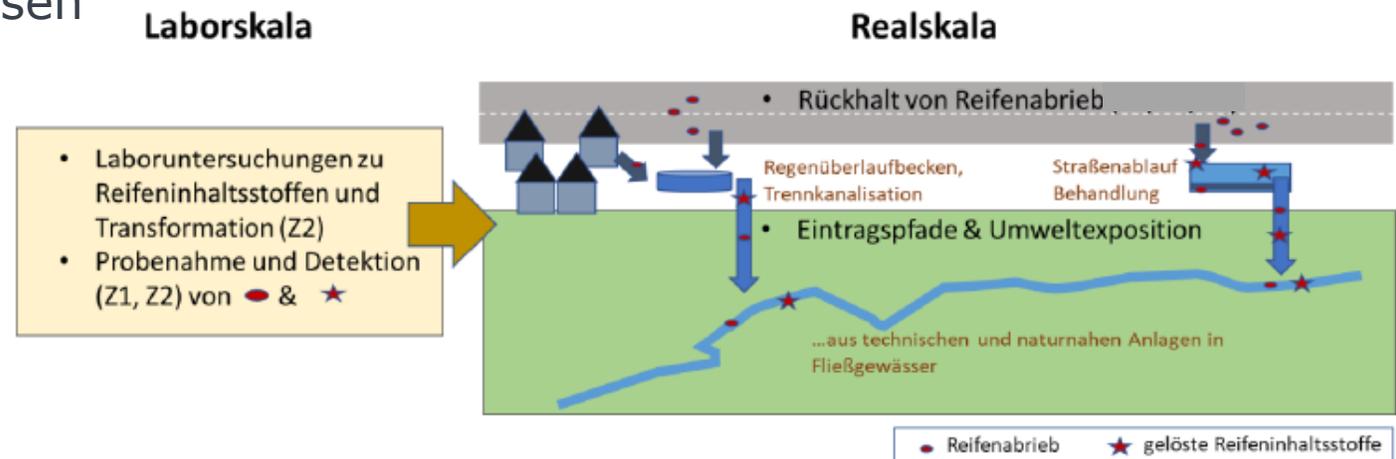
WESENTLICHE PROJEKTZIELE VON RASER

Z1: Entwicklung eines robusten **Probenahmeverfahrens** zur ereignisorientierten Probenahme von Partikeln

Z2: Entwicklung von **Methoden zur Detektion und Quantifizierung** von Reifenpartikeln und Reifeninhaltsstoffen in Fließgewässern in Hessen

Z3: Bestimmung von **HotSpots** und **Eintragspfaden** für partikuläre und gelöste Reifeninhaltsstoffe in Fließgewässern in Hessen

Z4: Bestimmung des **Rückhalts** von Reifenabrieb in Behandlungsanlagen für Straßenabläufe und in Kläranlagen in Hessen



ZIEL 1:

Entwicklung eines robusten und ereignisorientierten Probenahmeverfahrens von Partikeln

IMPLEMENTIERUNG VON PROBEAHMEVERFAHREN

... in Kläranlagen



... und von Oberflächengewässern

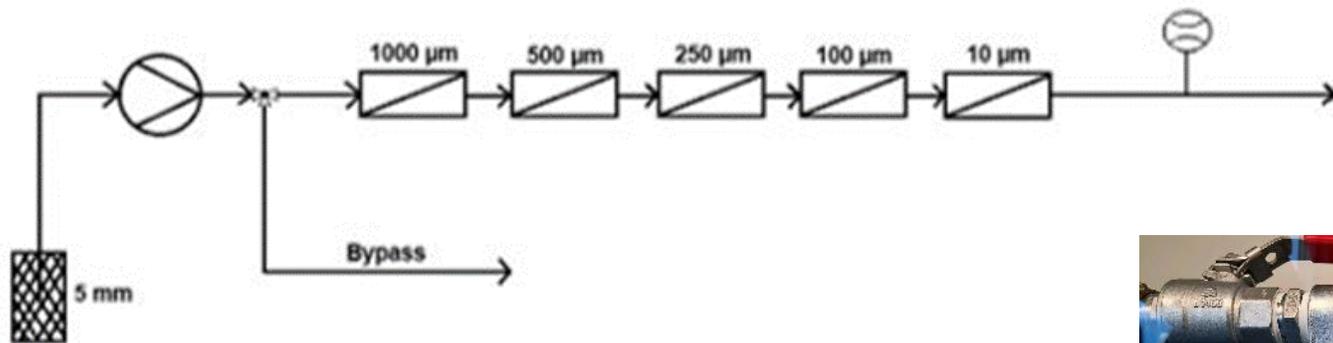


...in Behandlungsanlagen für
Straßenabläufen und



IMPLEMENTIERUNG VON PROBENAHMEVERFAHREN

- **Volumenreduzierende Probennahmeapparatur für Schwebstoffproben**
 - ereignisbezogene Probenahme entwickelt
 - im Zu- und Ablauf von Regenrückhalte-, Regenüberlaufbecken, Bodenretentionsfilter eingesetzt
- Kerzenfilter (Maschenweite 1000 μm – 10 μm)



IMPLEMENTIERUNG VON PROBENAHMEVERFAHREN

- Bestimmung von **gelösten Reifeninhaltsstoffen** in Mischproben mittels automatischem Probenehmer.



Müller, HSF



Kattner, HSRM

- Die Sedimentprobenahme erfolgt in Abhängigkeit der vor-Ort Bedingungen mit existierenden Verfahren z.B. Sedimentstechrohr oder einem Van Veen Greifer

ZIEL 2:

**Entwicklung von Methoden zur
Detektion und Quantifizierung
von Reifenpartikeln und
Reifeninhaltsstoffen in Fließgewässern**

WIE WIRD REIFENABRIEB IN DER UMWELT GEMESSEN?

Partikelanzahl
(Partikel/kg)



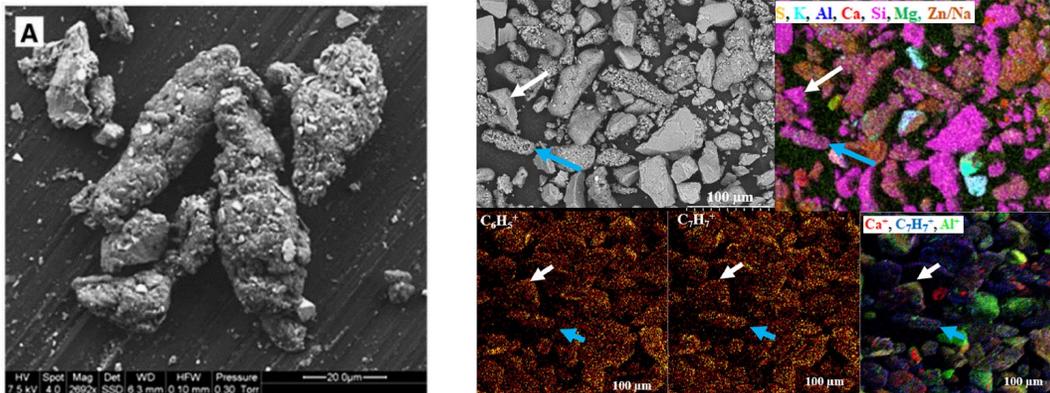
oder

Partikelmasse
(mg/kg)

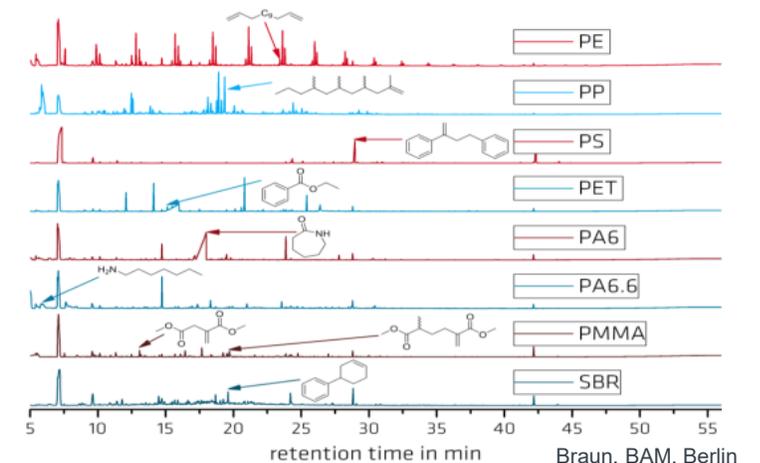


- Detektion einzelner Partikel z.B. mit Elektronenmikroskopie
- Identifikation schwierig
- Spektroskopische Methoden (FTIR, Raman) bisher sind nicht anwendbar

- Detektion von **Markersubstanzen** wie der Gummi oder Additive
- Nachweisgrenze im Bereich $\mu\text{g/g}$
- Massenspektrometrie: Pyr-GC-MS, TGA-TED-GC-MS, ICP-MS



Kreider, M.L., et al. (2010). *Sci. Total Environ.* 408, 652–659.
Kovochich et al.(2021). *Sci. Total Environ.* 757, 144085
Rauer et al (2021) *ES&T letters*, 8, 3, 231-236

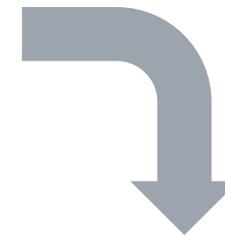
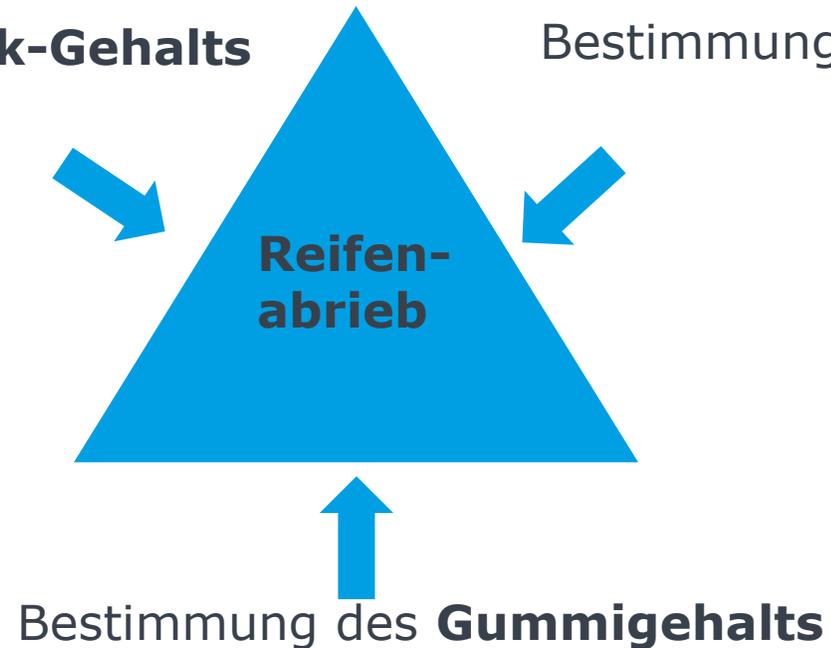


ÜBERSICHT ANALYSEMETHODEN

Kombination verschiedener Methoden zur Massenquantifizierung von Reifenabrieb in Umweltproben

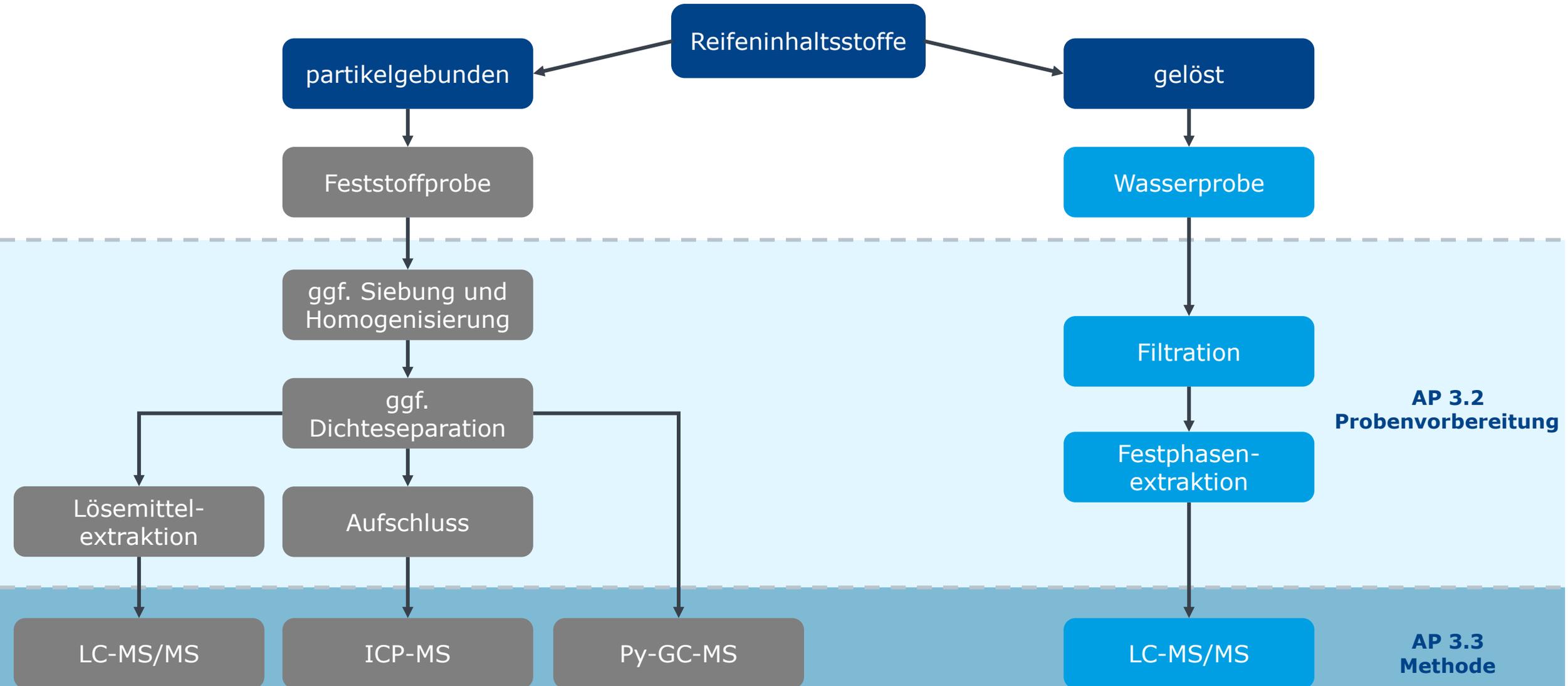
Bestimmung des **Zink-Gehalts**

Bestimmung von **organischen Markern**



Kombination von verschiedenen Reifenmarkern zur Erhöhung der Robustheit der Konzentrationsdaten

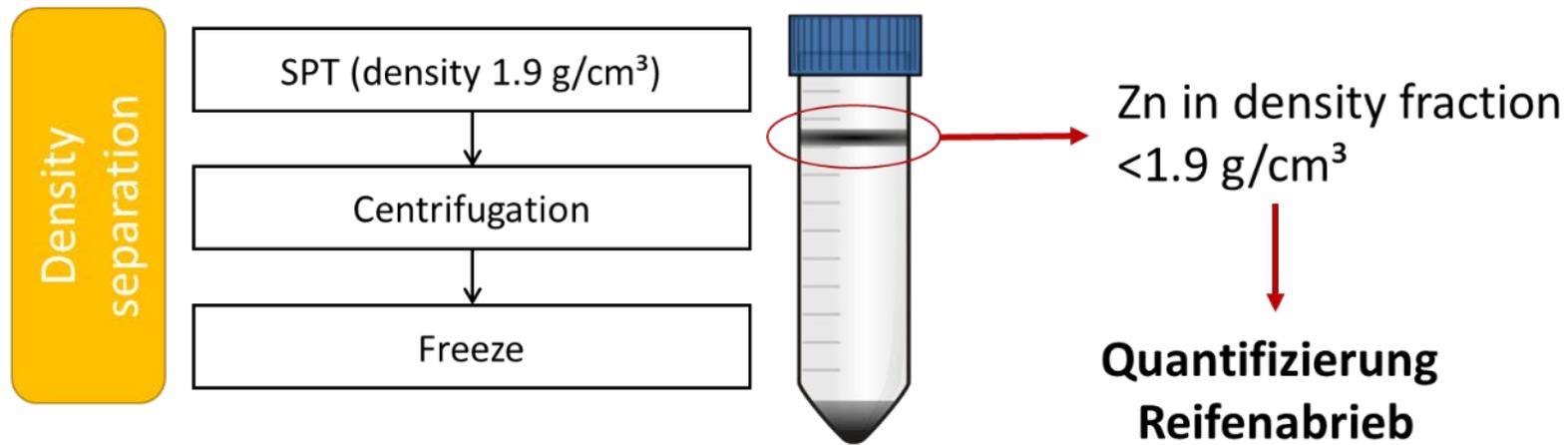
ÜBERSICHT ANALYSEMETHODEN



ÜBERSICHT ANALYSEMETHODEN



Bestimmung des Zink-Gehalts

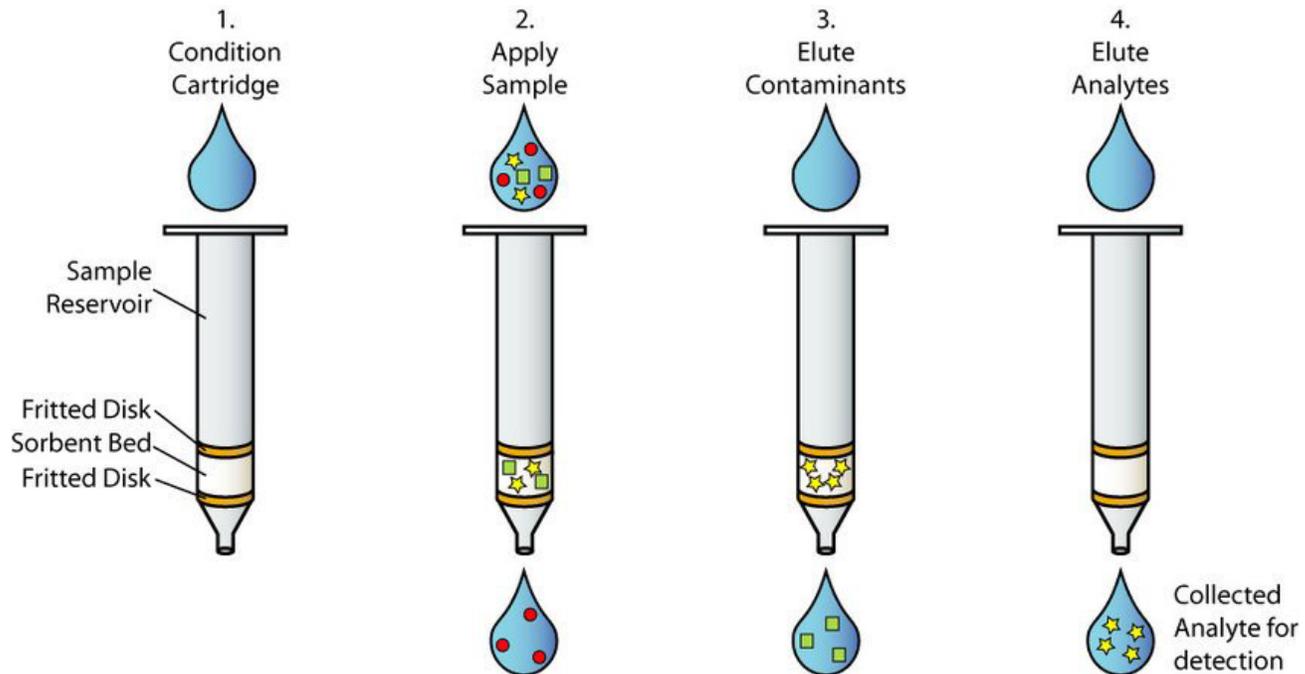


Quantifizierung
Reifenabrieb



Analytik Jena Labor, HSF

Festphasenextraktion



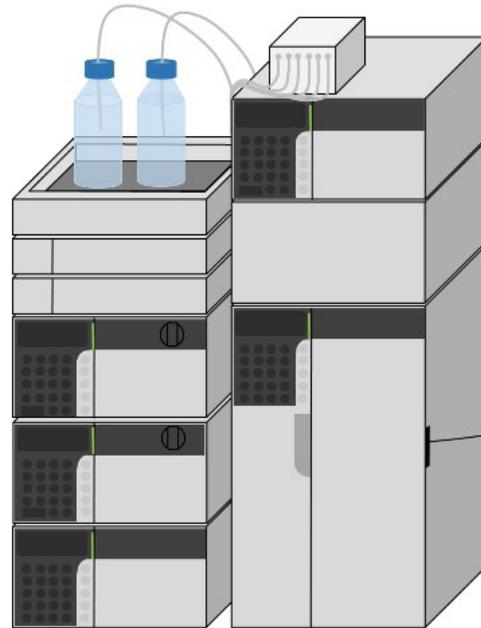
Reifeninhaltsstoffe

gelöst

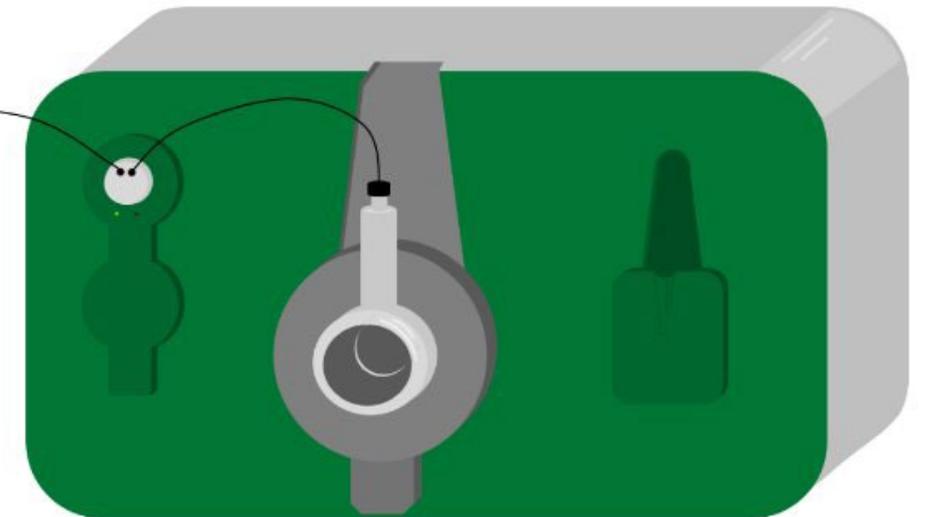
- Anreicherung der Analyten
- Abtrennen von Matrixsubstanzen

ÜBERSICHT ANALYSEMETHODEN

- Auftrennung unserer Analyten mittels Flüssig Chromatographie
- Analysieren der Analyte mittels Massenspektrometrie



Ultra-Hochleistungs-Flüssigkeitschromatograph



Triple Quad Massenspektrometer A5500 Sciex

**ZIEL 3:
Bestimmung von HotSpots/Quellen und
Eintragspfaden in Fließgewässer**

**ZIEL 4:
Bestimmung des Rückhalts von
Reifenabrieb in
Behandlungsanlagen**

ERMITTLUNG VON UMWELTKONZENTRATIONEN



Untersuchung	Probe/Probenahmeort	Probenahmestelle
Quelle	Fahrbahnoberfläche	Kehricht der Stadtreinigung
	Tunnelstaub	Kehricht der Stadtreinigung
Eintragspfad	Straßenablauf	Brückenenwässerung
	Reinigungsanlagen	Bodenretentionsfilter
		Sedimentationsbecken
	Kläranlagen	Zu- und Ablauf
Umweltkompartiment	Oberflächengewässer	Fließgewässer

ERMITTLUNG VON UMWELTKONZENTRATIONEN

PROBENAHMEN IN KLÄRANLAGEN



ERMITTLUNG VON UMWELTKONZENTRATIONEN

PROBENAUFBEREITUNG ZUR ANSCHLIEßENDEN ANALYSE



ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

Z1: Probenahmeverfahren steht zur Verfügung

→ weitere Feldtestung müssen erfolgen

Z2: Detektion und Quantifizierung

→ Validierung mit Referenz-/Testmaterialien notwendig

Z3: Bestimmung von HotSpots und Eintragspfaden

→ erste Probenahmen sind durchgeführt; weitere Probenahmeorte werden identifiziert und beprobt

Z4: Bestimmung des Rückhalts von Reifenabrieb in Behandlungsanlagen

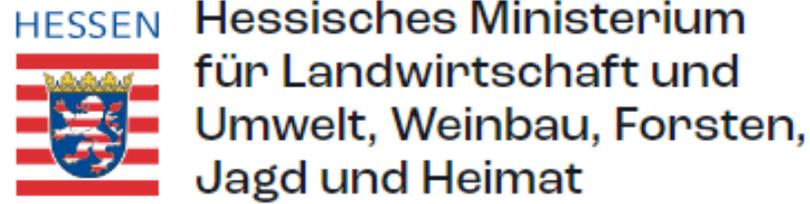
→ erste Probenahmen sind durchgeführt; weitere Probenahmeorte werden identifiziert

- **MULTI-STAKEHOLDER Aufgabe** → Kommunikation und Kooperation sind essentiell für die Lösung dieser Aufgaben.

DANKSAGUNG & ZUSATZINFOS



gefördert durch



www.dbu.de

HS RheinMain,
IUVT Institut für Umwelt-
und Verfahrenstechnik



HS Fresenius, Institute
for Analytical Research



Kontakt: Andrea.Andolfo@hs-rm.de

stephan.wagner@hs-fresenius.de

RUND UM DEN REIFEN, 24.10.2025

Lesetipps:

Environmental
Science
Processes & Impacts



CRITICAL REVIEW

View Article
View Journal

Check for updates

Cite this: DOI: 10.1039/d5em00088b

Risk assessment of tire wear in the environ-
a literature review†

Kathrin Müller,^a Kenny Unice,^b Julie Panko,^c Benoit J. D. Ferrari,^d
Florian Breider^e and Stephan Wagner^{†*}



Environmental Science
Advances



CRITICAL REVIEW

View Article
View Journal

Check for updates

Cite this: DOI: 10.1039/d4va00407h

Tire emissions during the use phase of tires:
current and future trends†

Kathrin Müller,^a Kenny Unice,^b Julie Panko^c and Stephan Wagner^{†*}

