

---

# TyreWearMapping – Einfluss von Reifenabrieb auf die Umwelt

Bad Langensalza, 08.11.18

Ilka Gehrke, Fraunhofer UMSICHT

---



# ÜBERSICHT

## I. Einführung

- Fraunhofer UMSICHT und Mikroplastik
- Reifenabrieb – Daten und Fakten

## II. TyreWearMapping

- Datenaufbereitung (GIS-Visualisierung)
- Modellierung (blja)
- Anwendungen (gehi)

## III. Offene Forschungsfragen



# Facts and Data about Fraunhofer UMSICHT

## Fraunhofer-Institute for Environmental, Safety, and Energy Technology UMSICHT

- Foundation 1990
- Budget 2016 € 38.8 m
- Staff\* 465
- Spin-off enterprises\* 12
- Institute branch in Sulzbach-Rosenberg (SuRo) integrated 1 July 2012
- Laboratory+technical area 4500 m<sup>2</sup>

Site Oberhausen



Site Sulzbach-Rosenberg



\*As per 12-31-2016

# Our Laboratories in Oberhausen – 1500 m<sup>2</sup> area



**Chemical Analysis  
Laboratory**



**Biotechnology  
Laboratory**



**Physics Laboratory**



**High Pressure  
Laboratory**



**Energy Storage Laboratory**

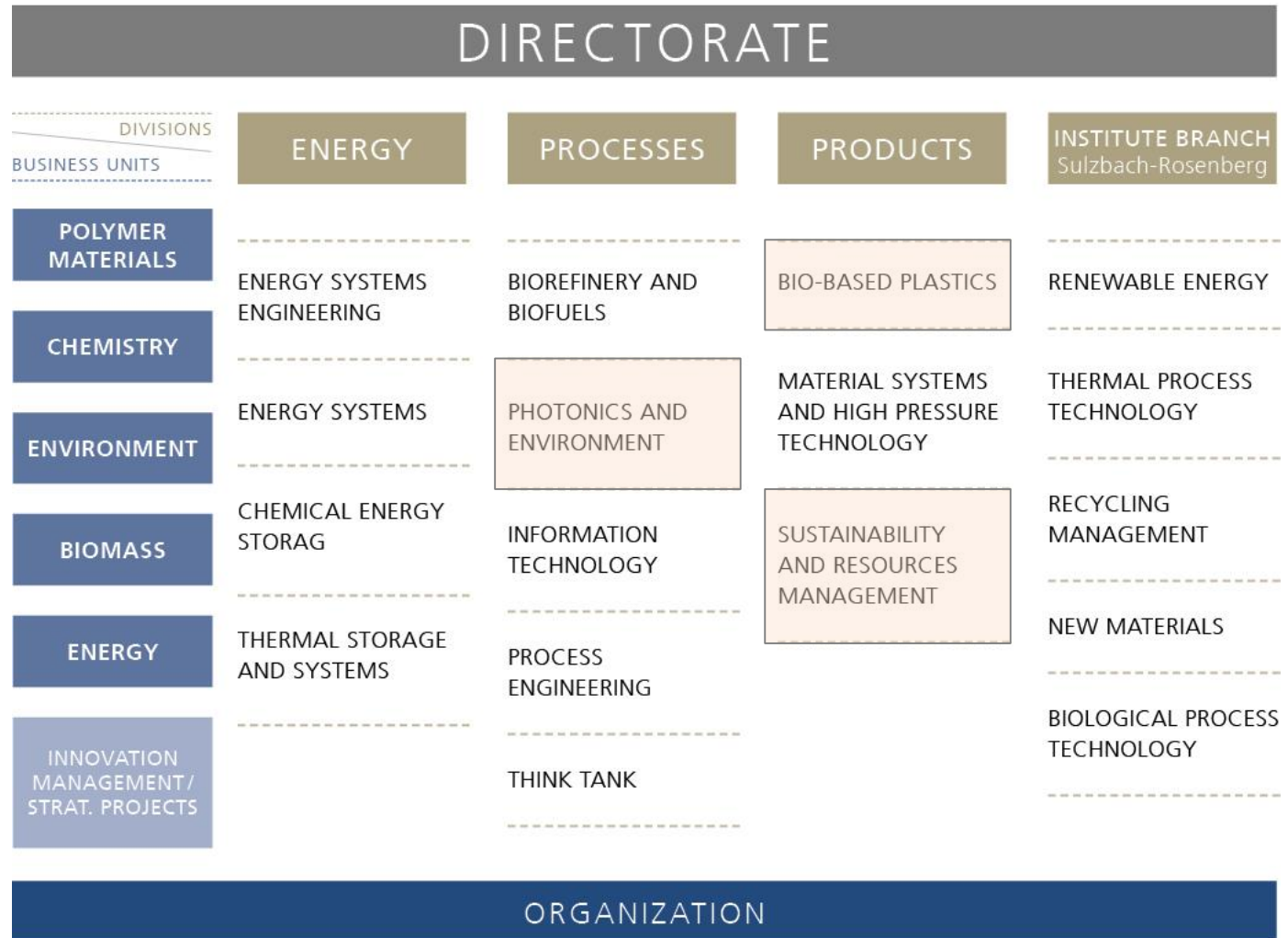


**Catalysis Laboratory**



**Chemical Laboratory**

# Fraunhofer UMSICHT



September 2016

# Mikroplastik bei Fraunhofer UMSICHT

- Beschäftigung mit dem Thema seit 2014, AG Mikroplastik
- Anspruch: Klärung wichtiger Fragestellungen, Information, Publikation
- <http://www.initiative-mikroplastik.de>, online seit 2/2015
- Seit 2016 verschiedene Projekte
- Seit 2018, Landing Pages *Mikroplastik* und *Kunststoff in der Umwelt*

The screenshot shows the top part of the Fraunhofer UMSICHT website. The header includes the logo and navigation menu with options like 'PRESSE', 'PUBLIKATIONEN', and 'KONTAKT'. Below the header is a large banner with the title 'KUNSTSTOFFE IN DER UMWELT' and an illustration of plastic waste in the ocean. At the bottom, there are navigation links for 'Startseite', 'Forschung für den Markt', and 'Kunststoffe in der Umwelt'.

The screenshot shows the 'Mikroplastik' landing page. It features a top image of plastic debris on a beach. The page is divided into several sections: 'Mikroplastik' (introductory text), 'Kontakt' (with photos and contact info for Leandra Hamann, Dipl.-Ing. Kai Bertling, and Dipl.-Ing. Jürgen Bertling), 'Mikroplastik: Infomaterial, Studien, Forschung', 'Daten und Fakten', 'Konsortialstudie Mikroplastik', 'Pressefotos Mikroplastik', 'Studie: Mikroplastik in Kosmetik', 'Unser Angebot', and 'Laufende Projekte'. Each section includes brief descriptions and links to further information.

# Mikroplastik bei UMSICHT

- Konsortialstudie *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik*  
Industrielle Perspektiven auf die Marine Litter- und Mikroplastik-Problematik [Juli 2018 veröffentlicht]
- NABU Studie  
Mikroplastik und synthetische Polymere in Kosmetikprodukten sowie Wasch-, Putz- und Reinigungsmitteln [Juni 2018 veröffentlicht]
- PlastikBudget  
Entwicklung von Budgetansatz und LCA-Wirkungsabschätzungsmethodik für die Governance von Plastik in der Umwelt [2018-2021]



# Mikroplastik bei UMSICHT

## ■ FibrEX

Entwicklung eines Filterflors zum Rückhalt von textilen Mikrofasern  
[2018-2019]

## ■ iMulch (NRW)

Untersuchungen des Einflusses von Polymeren auf ein terrestrisches Ökosystem am Beispiel von in der Landwirtschaft eingesetzten Mulchfolien  
[2019-2022]

## ■ TyreWearMapping

Digitales Planungs- und Entscheidungsinstrument zur Verteilung, Ausbreitung und Quantifizierung von Reifenabrieb in Deutschland [2017-2020]

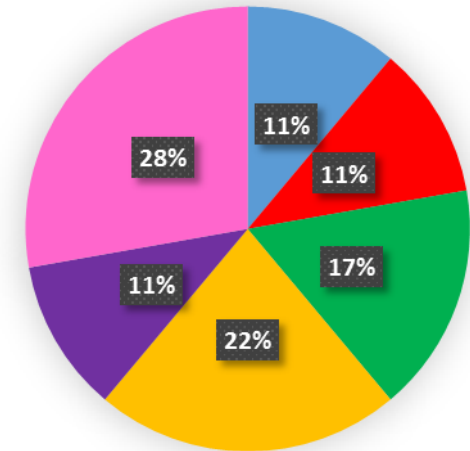
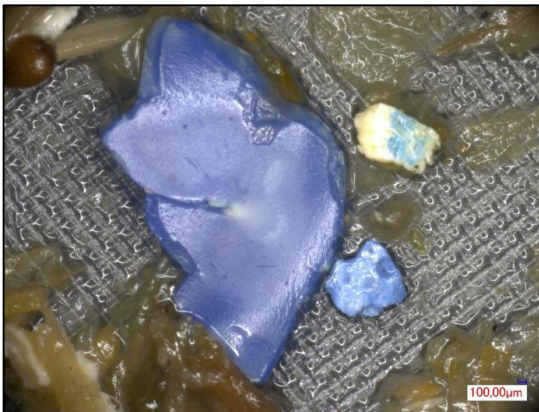
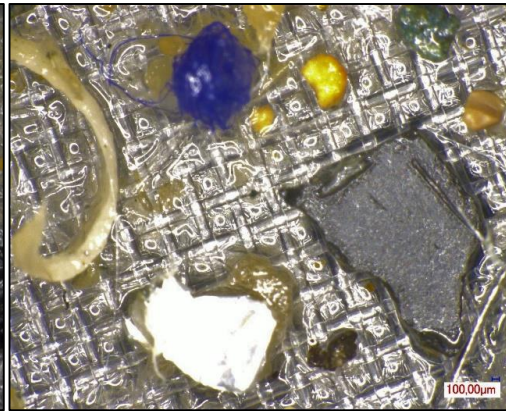




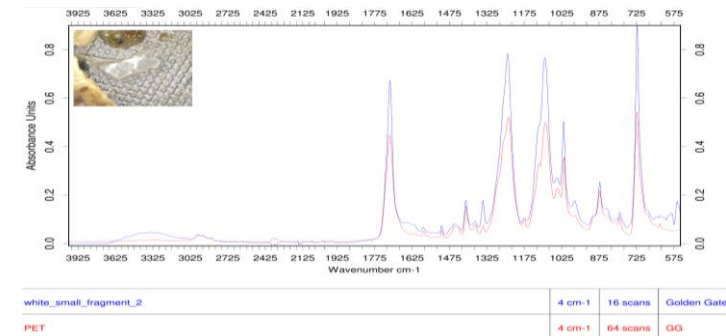
# Mikroplastik bei UMSICHT

## ■ MPdetect

Entwicklung eines Extraktionsverfahrens von Mikroplastik aus Kläranlagen-Schlämmen [2018]

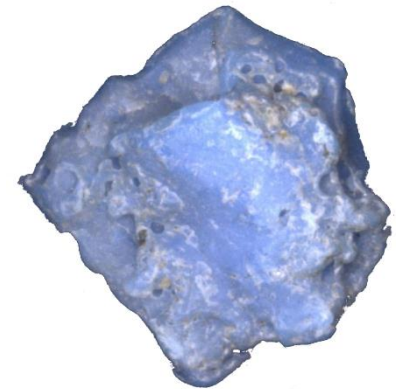


■ PE ■ PP ■ PET ■ PS ■ PA ■ Unknown



# Definition Mikroplastik

- Mikroplastik bezeichnet
  - unter den jeweils gegebenen Zuständen **festen Partikel**
  - mit einer **größten Abmessung unter fünf Millimetern**
  - aus **synthetischen, halbsynthetischen oder natürlichen Polymeren**,
  - die als **thermoplastische, duroplastische oder elastomere Formmasse** oder **Wachse** Verwendung finden und
  - **direkt oder indirekt durch menschliches Handeln** entstanden sind.



# Unsere Klassifizierung

- **Primäres Mikroplastik -Typ A (pMP-A):**  
Mikroplastik, das gezielt hergestellt wurde, dessen Emission akzeptiert wird oder durch Leckagen/Unfälle in die Umwelt gelangt (Bsp: Kosmetik-Microbeads, Strahlmittel)
- **Primäres Mikroplastik -Typ B (pMP-B):**  
Mikroplastik, das durch Abrieb oder Verwitterung während der Nutzungsphase in die Umwelt gelangt (Bsp.: **Reifenabrieb**, Verwitterung von Fassadenfarben, Faserfreisetzung bei der Textilwäsche)
- **Sekundäres Mikroplastik (sMP):**  
Mikroplastik, das in Folge der langsamen Fragmentierung von Makroplastik (Plastic Litter) in der Umwelt entsteht (Bsp.: Geisternetze, Plastiktüten, PET-Flaschen,...)



# Aktuelle Schlagzeilen zum Reifenabrieb

## Mikroplastik

### Das Problem mit den Autoreifen

27.08.2018 - Beim Anfahren und Bremsen von Autos lösen sich kleine Gummiteilchen aus den Reifen und gelangen über die Kanalisation ins Meer. Ihr Anteil am Müllproblem ist beträchtlich. Universitäten und Unternehmen forschen nach Lösungen. Ein Video von Martin Sümeling und Christoph Seidler.

Mikroplastik: Es ist der Reifen, nicht das Duschgel | MDR.DE

<https://www.mdr.de> › MDR.DE › Wissen

04.09.2018, 15:04 Uhr

## Mehr Mikroplastik durch Autoreifen und Schuhe als durch Kosmetik

Sonntag, 13. Mai 2018

### Gummi in Gewässern

#### Wo bleibt der Reifenabrieb?

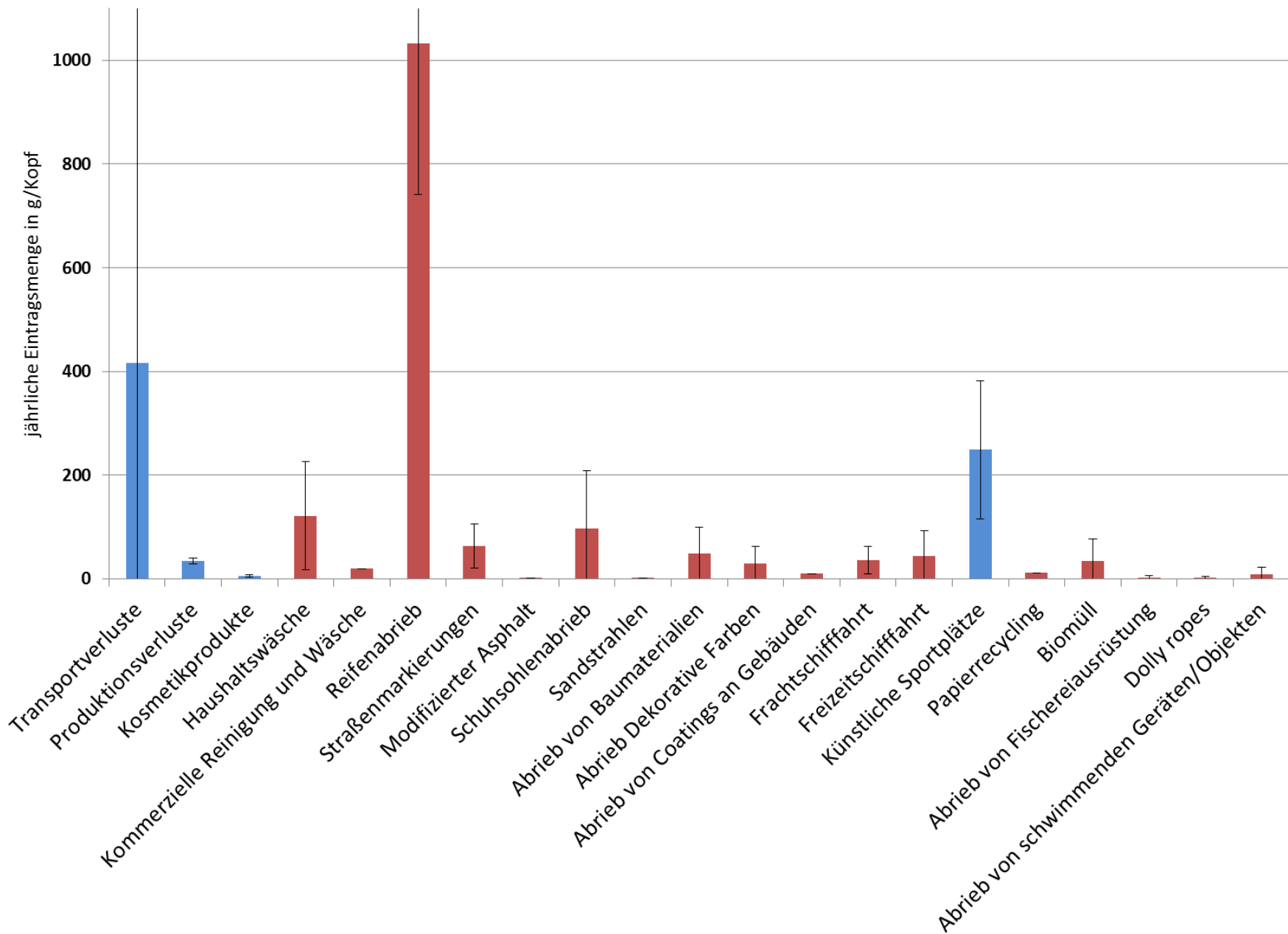
Auf schätzungsweise 111.000 Tonnen beläuft sich das Gewicht des in Deutschland anfallenden Abriebs von Autoreifen – pro Jahr. Grund genug, zu erforschen, was mit dieser Masse an Gummi, Plastik und Metallen weiter geschieht. Forscher gehen ersten Hinweisen nach.

Studie zu Plastikmüll

## Reifen und Plastikflaschen verschmutzen die Umwelt

Quellen: SPIEGEL ONLINE, MDR, BR, TAGESSCHAU, DLF

# Eintragungsmengen von Mikroplastik in die Umwelt



# Reifenabrieb – Problempotenzial in Deutschland?

- Fahrzeugbestand in Deutschland: 63,7 Mio. KFZ (KBA 2018)
- Jährl. Gesamtfahrleistung aller in Deutschland zugelassenen KFZ: 733 Mrd. km
- Reifenabrieb verursacht **Feinstaub**
  - PM10 und PM2,5 (lungengängig: f (Partikelgröße))
  - Unterschied zwischen Polymeren und Industrieruß
- Reifenabrieb emittiert **Nanopartikel** als Ruß (Carbon Black)!
- Reifenabrieb pro Fahrzeug<sup>1</sup>: 53 - 200 mg/km (PKW), 1500 mg/km (Sattelzug)  
⇒ Masseverlust über die Lebensdauer (PKW)<sup>2</sup>: 7,6 – 33 %
- Reifenabrieb bildet den größten Anteil am **Mikroplastik** in der Umwelt



<sup>1</sup> B. Kocher: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb, BASt- Bericht V 188, (2010)

<sup>2</sup> 40 000 km Lauflänge, 7000 g Reifenneugewicht

<sup>3</sup> EU-Norm 6 b, Otto- und Dieselmotoren

# Reifenabrieb – Mengen im internationalen Vergleich

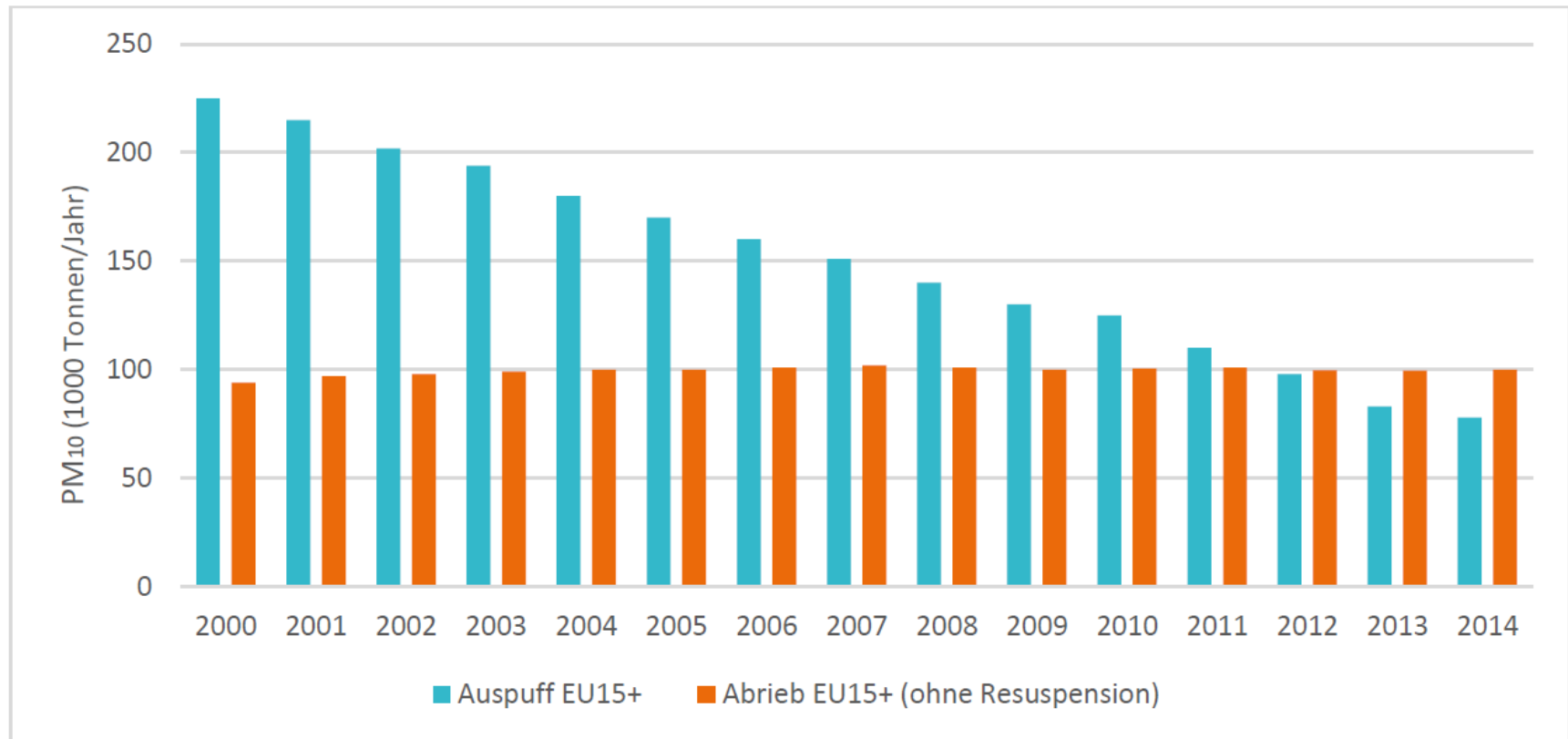
Land	t/a	kg/(cap a)	Quelle/n
Deutschland	100 000	1,2*	UMSICHT 2018
Deutschland	60 000-111 000	0,75-1,38	(Hillenbrand et al 2005; Schichs et al. 2010; Essel et al. 2014)
Niederlande	15 452		Witte & TNO 2014
Norwegen	5 824		Mepex 2014
Schweden	13 000	1,16	Magnusson 2016
Dänemark	4 200-5 000	0,74-1,16	Lassen 2016
<b>Globaler Mittelwert<sup>3</sup></b>		<b>0,81</b>	<b>Kole 2017</b>

Ein Durchschnittswert von rund  
**1,0 kg Reifenabrieb** pro Kopf  
 und Jahr

\*aus Konsortialstudie, inkl. Krafträder, Fahrräder etc.

# Reifenabrieb – „Schlimmer“ als Abgas?

PM10- Emissionen vom Straßenverkehr in EU15- Staaten, Norwegen und der Schweiz



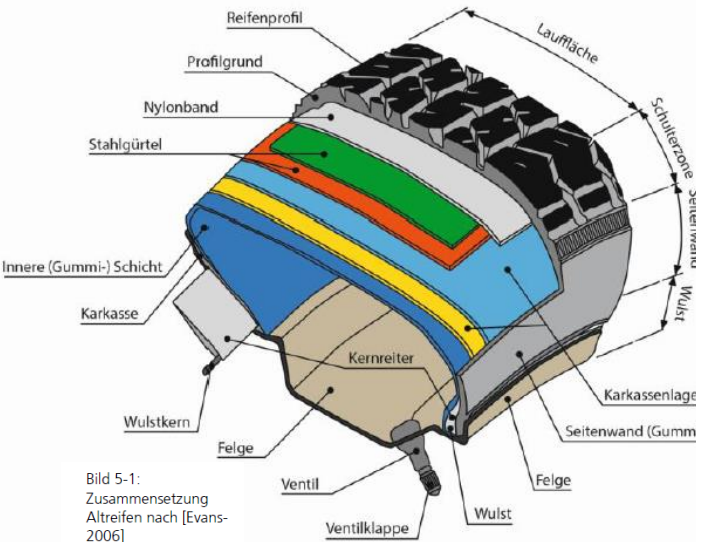
Quelle: Eigene Darstellung nach DENIER van der GON et. al. 2018



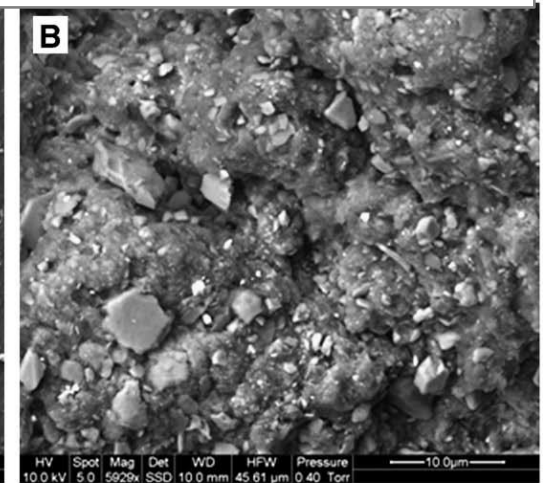
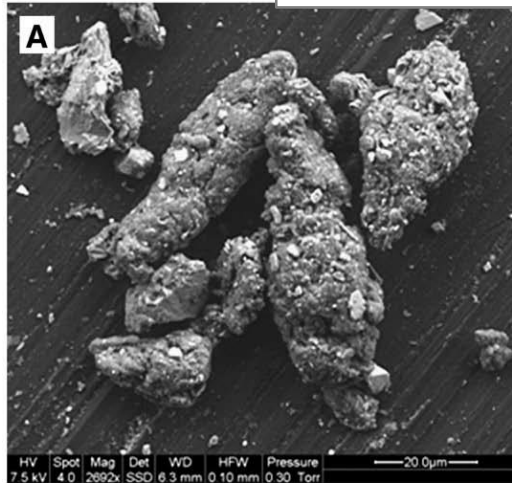
# Reifen und Abrieb

Tabelle 5-1: Zusammensetzung von europäischen Reifen (Pkw, Lkw) [Sienkiewicz-2012], [Bally-2003]

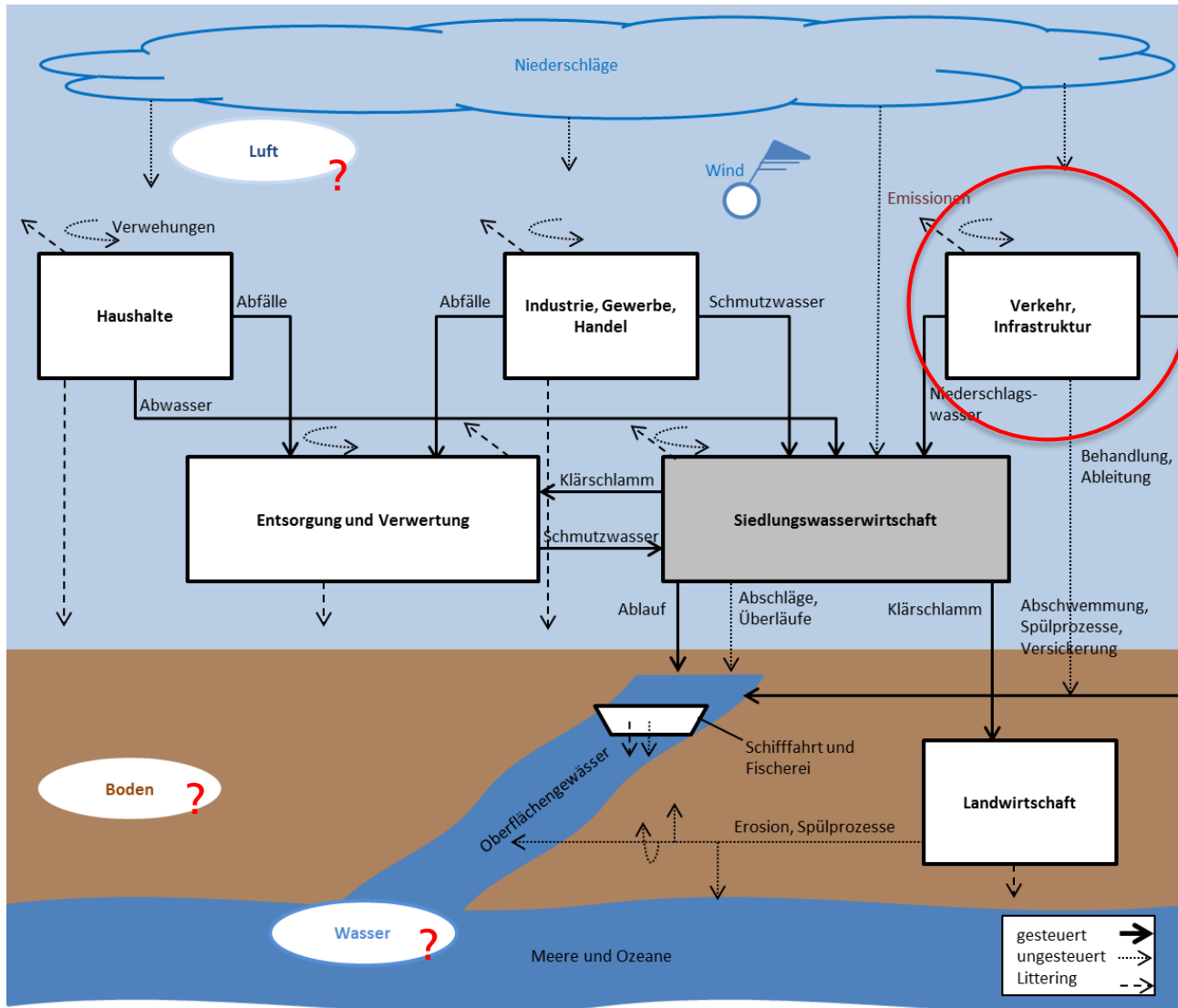
Stoffe	Zusammensetzung Pkw-Reifen [%]	Zusammensetzung Lkw-Reifen [%]
Naturkautschuk	18-22	20-30
Synthesekautschuk	23-26	15-23
Ruß + Silica	21-28	20-26
Stahl	11-16	18-25
Gewebe	4-6	1
Weichmacher, Additive	9-14	10
Durchschnittliches Gewicht	Neureifen: 8,5 kg Altreifen: 7 kg	Neureifen: 65 kg Altreifen: 56 kg



REM-Aufnahme von Reifenabrieb auf der Straße



# Reifenabrieb – Problempotenzial in Deutschland?

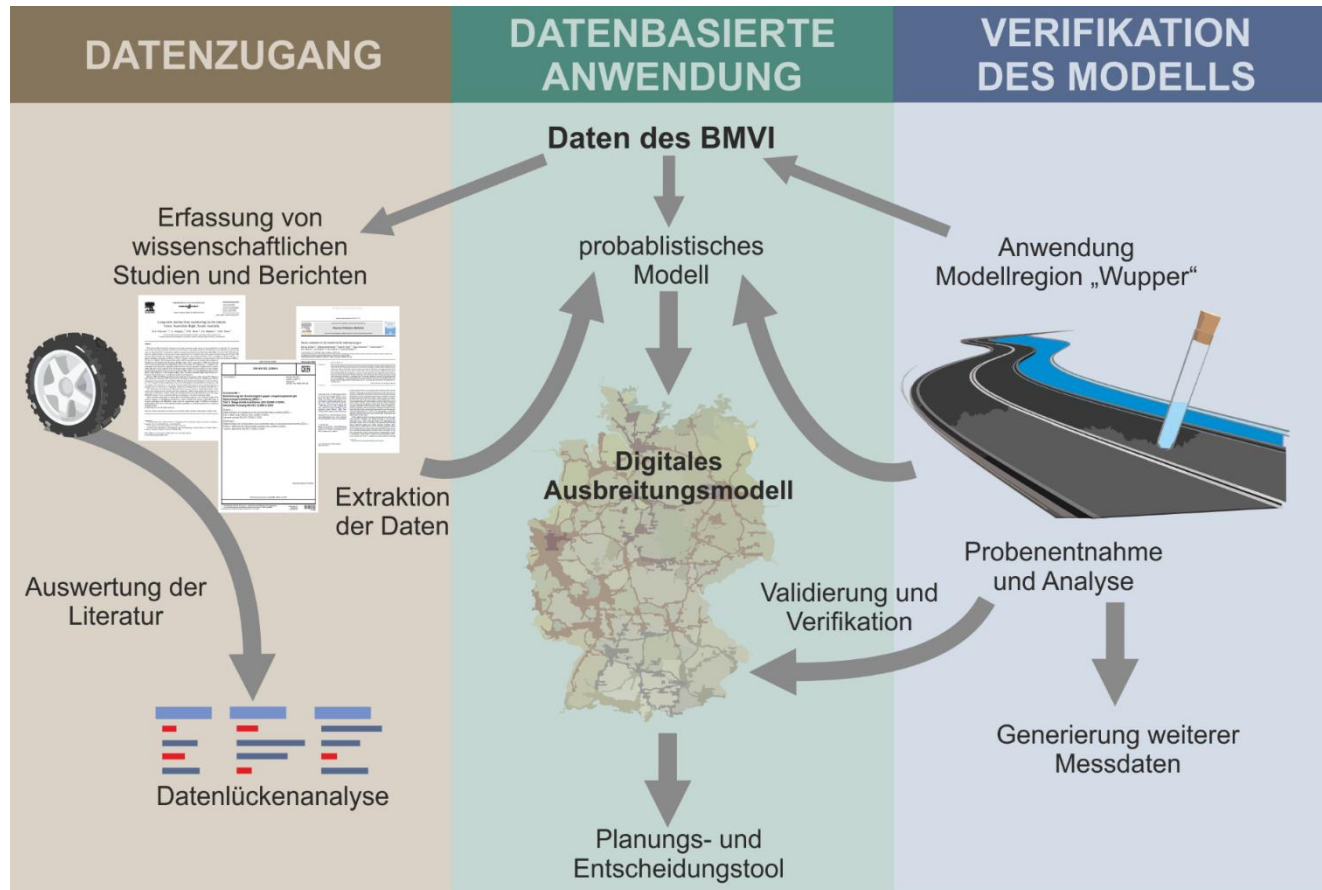


Quellen und Transportwege für Kunststoffe

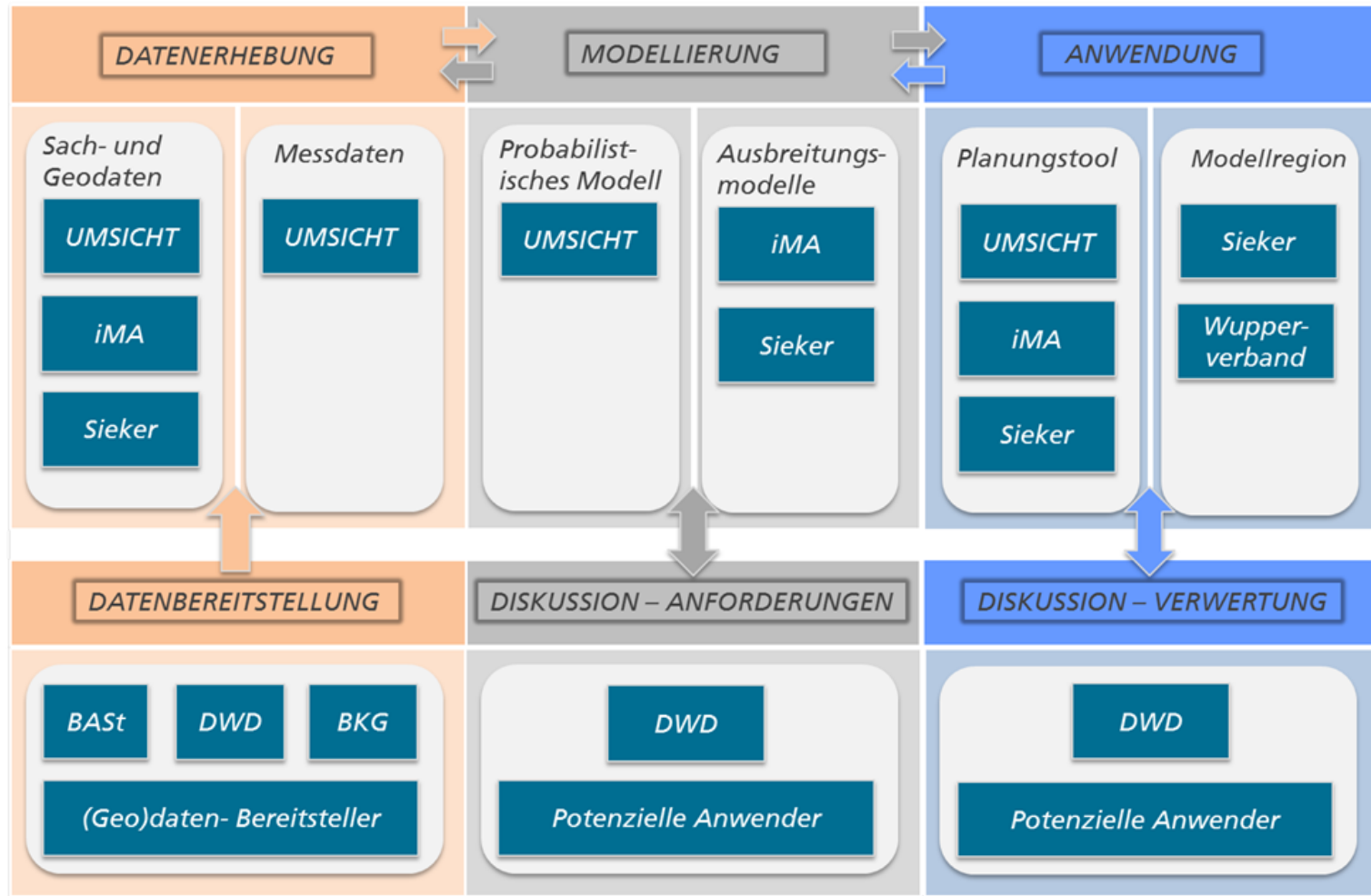
Interaktion der Siedlungswasserwirtschaft mit anderen Teilbereichen

# TyreWearMapping – das Forschungsprojekt

Evaluierung, Nutzung und Ergänzung von BMVI-Daten für die Entwicklung eines digitalen Planungs- und Entscheidungsinstruments zur geographischen Verteilung, Ausbreitung und Quantifizierung von Reifenabrieb in Deutschland



# Arbeitsplan und Partner von TyreWearMapping



# Sachdaten zu Reifenabrieb

## ■ Literaturrecherche zum Ist-Zustand

- Quantifizierung von Reifenabrieb in der Umwelt (Menge, PGV)
- Ausbreitung und Verteilung von Reifenabrieb in der Umwelt (Erde, Luft, limnische Gewässer)
- Verhalten von Reifenpartikeln in der Umwelt (Sedimentation, Schwimmverhalten etc.)
- Abbau- und Verwitterungsverhalten von Reifenpartikeln in den verschiedenen Umweltkompartimenten (Erde, Luft, limnische Gewässer)
- Auswirkungen von Reifenabrieb auf die Umwelt

Einflussgröße	Formelzeichen	Einheit	Gefundene Daten	Datenquelle
Reifenabrieb, Rate	$R_{\text{Reifenabrieb}}$	mg/km...mg/vkm	100 mg/vkm (vkm = vehicle-km)	H. ten Broeke: Road traffic tyre wear. Netherlands National Water Board - Water Unit, 2008.
Jährliche Menge an Reifenabrieb in D	$m_{\text{Reifenabrieb, ges.}}$	g/a...kg/a...t/a	111420 t/a (2001/2002) [1], 34000 - 155000 t/a [1], 125188 t/a (2013) [2]	[1] B. Kocher: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum - Reifenabrieb. BAST-Bericht V 188, Bundesanstalt für Straßenwesen 2010. <a href="http://www.bast.de/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/2010-2009/v188.html?nn=725482">http://www.bast.de/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/2010-2009/v188.html?nn=725482</a> , [2] P .J. Kole: Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017.
Konzentration Reifenabrieb in der wässrigen Phase	$C_{\text{Reifenabrieb, w}}$	µg/l...mg/l...g/l	0,3-197 mg/l (Straßenablauf)	A. Wik: Occurrence and effects of tire wear particles in the environment - A critical review and an initial risk assessment. Environmental Pollution 157, 1-11, 2009.
Konzentration Reifenabrieb in der festen Phase	$C_{\text{Reifenabrieb, f}}$	µg/g...mg/g...g/kg	16 g Abrieb/m <sup>3</sup> Boden [1], 0,3-155 g/kg [2]	[1] B. Kocher: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum - Reifenabrieb. BAST-Bericht V 188, Bundesanstalt für Straßenwesen 2010. <a href="http://www.bast.de/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/2010-2009/v188.html?nn=725482">http://www.bast.de/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/2010-2009/v188.html?nn=725482</a> , [2] A. Wik: Occurrence and effects of tire wear particles in the

# Modellansätze zur Berechnung des totalen Reifenabriebs

## ■ „Mileage Approach“

- gefahrene Kilometer,
- Anzahl der Reifen pro Fahrzeugtyp (PKW, LKW, Busse, Motorräder etc.),
- durchschnittlichen Laufzeit der Reifen und des Reifenabriebs über der Nutzungsdauer

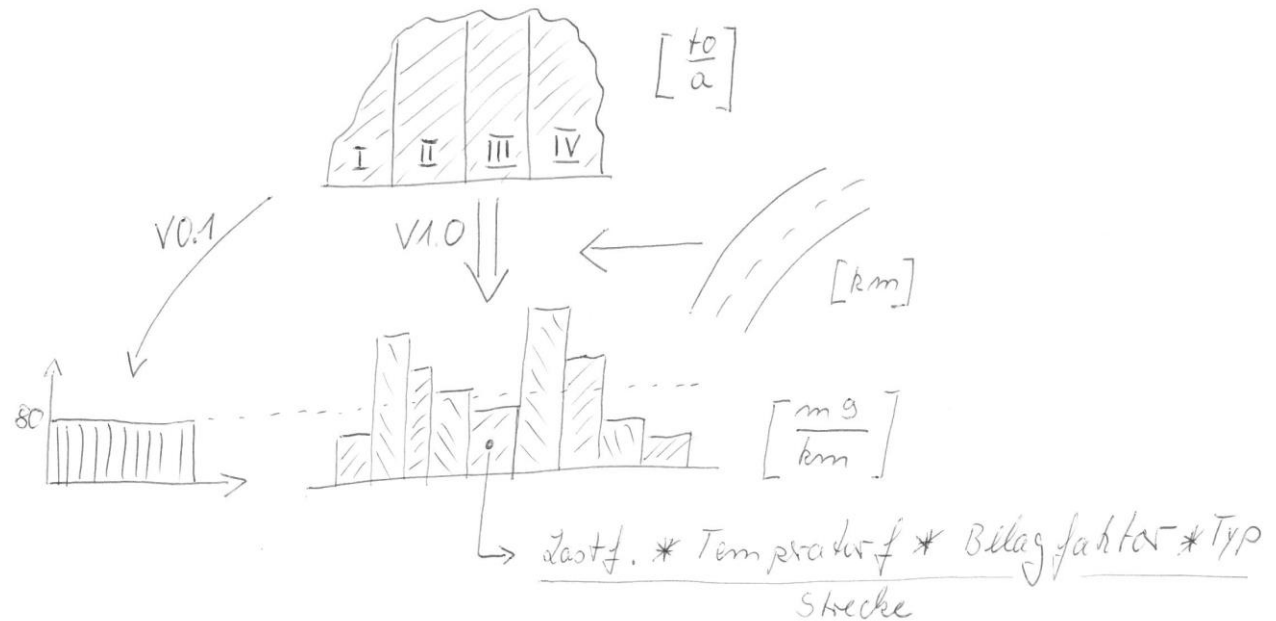
## ■ „Sales Approach“

- jährliche Reifenverkäufe,
- durchschnittlicher Gewichtsverlust der Reifen pro Fahrzeugtyp und Laufzeit

⇒ Aufteilung der Gesamtmenge auf verschiedene Straßentypen und ggf. Jahreszeiten mittels statistischer Daten über Verkehrsaufkommen, Beanspruchungsintensität, Straßenzustand, Wetter u.a.

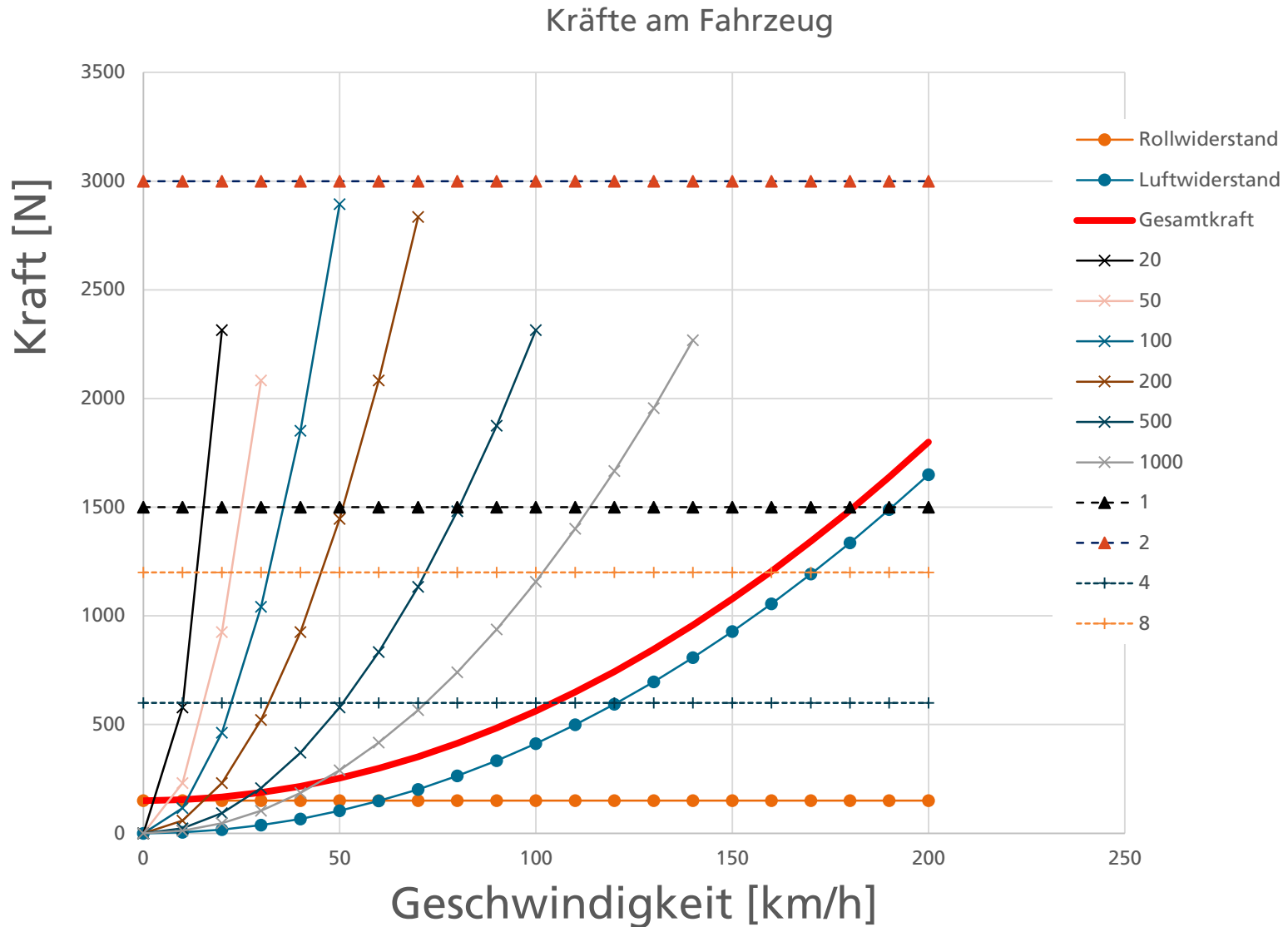
⇒ Zuordnung von typischen, wahrscheinlichen, streckenbezogenen Reifenabriebsemissionen zu klassifizierten Straßen.

# Modell zur Freisetzung von Reifenabrieb



- 4 Fahrzeugklassen: PKW, LLKW, LKW, Bus
- 4 Straßentypen: BAB, Landstr., Stadt, Stop-and-Go
- 2 Wetter: nass / trocken
- 2 Klima: Sommer / Winter (oder Temperatur explizit)
- 2 Reifentypen: Sommer / Winter
- 3 Beläge: Beton, Asphalt, Flüsterasphalt, ....
- = 384 Klassen

# Kräfte an einem Kraftfahrzeug





# Geodaten zu Reifenabrieb

- Digitales Landschaftsmodell (gelb)
- OpenStreetMap (lila)

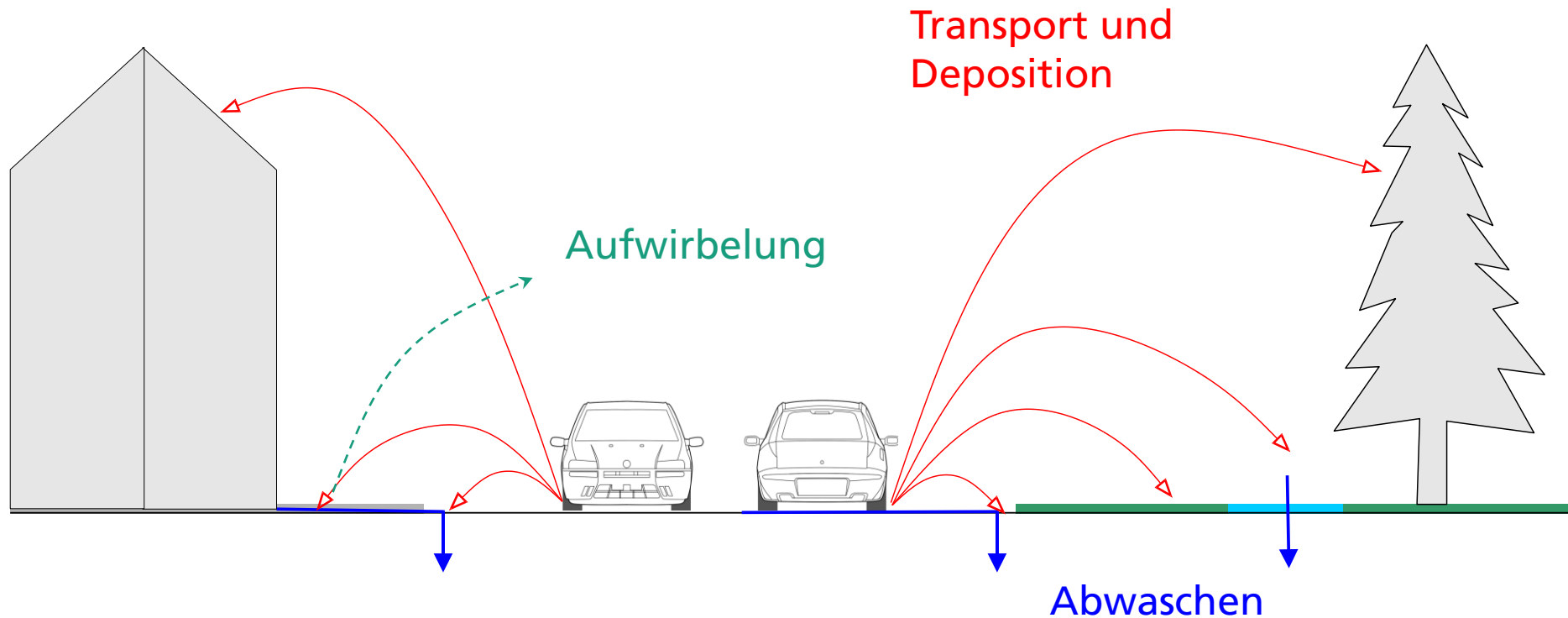


# Abschätzung des Verkehrsaufkommens | Datensätze

- BMVI- Deutsches Mobilitätspanel (MOP)
  - Jahresbericht 2016/17 Verkehrsaufkommen, Pkw- Verfügbarkeit, Verkehrsaufwand
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
  - Bundesweite Straßenverkehrszählungen alle 5 Jahre
  - Manuelle Straßenverkehrszählung 2015
- Gemeindestraßen modellieren
- Autobahnen und Bundes-/Landstraßen interpolieren

NRW (2015) Verkehrszählung	Autobahnen	Bundesstraßen	Landesstraßen	Kreisstraßen
DTV* [Kfz/24h]	62.624	11.935	6517	3505

# Emissionsmodell für Reifenabrieb in der Atmosphäre | Stoffflüsse



**Trockene Deposition:** Austrag und Ablagerung von Luftinhaltsstoffen auf Oberflächen.

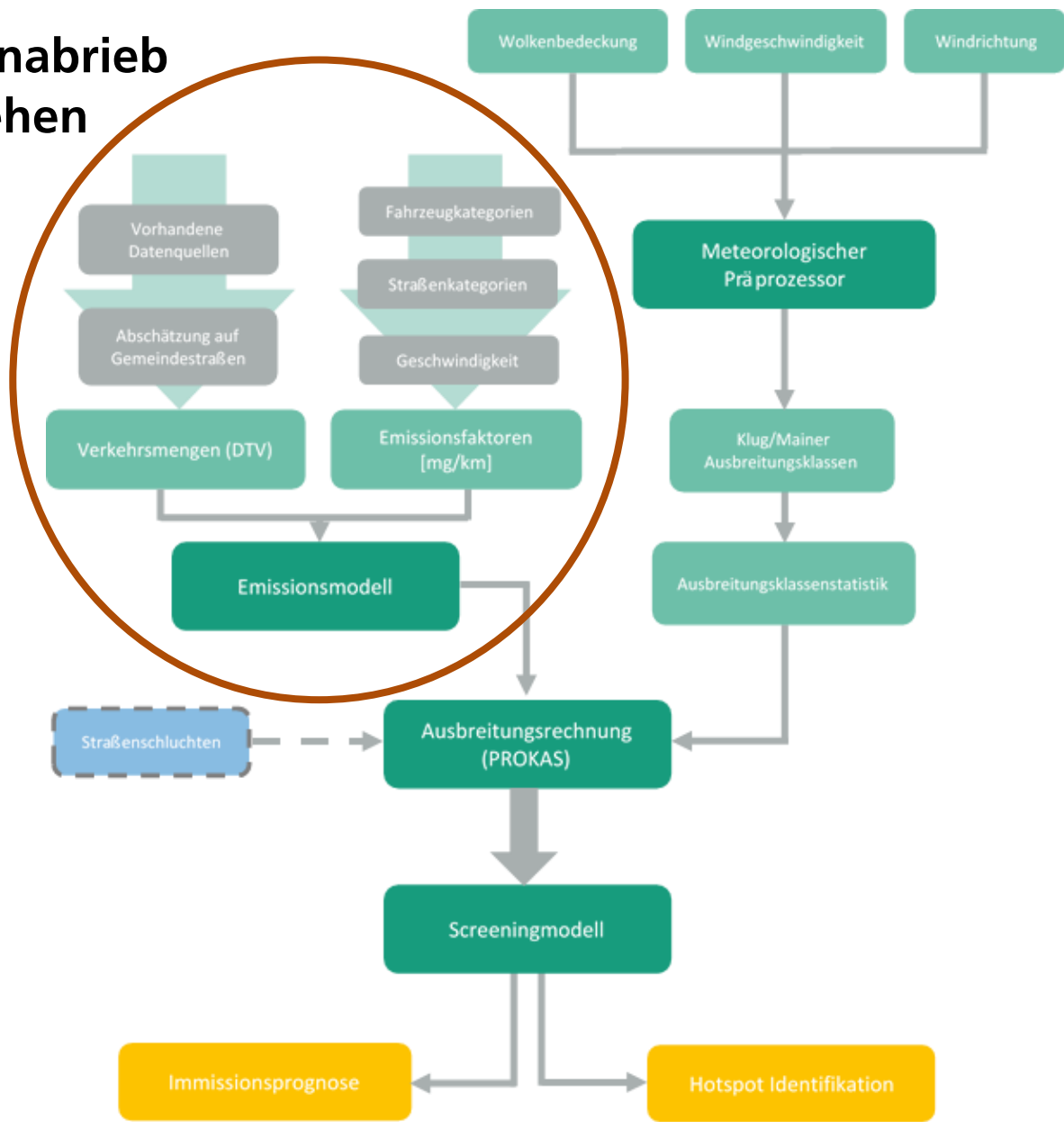
**Nasse Deposition:** Austrag und Ablagerung von Luftinhaltsstoffen durch Niederschlag.

**Sedimentation:** Absinken der Partikel aufgrund der Schwerkraft.

Prozesse abhängig von der **Korngröße**

# Emissionsmodell für Reifenabrieb in der Atmosphäre | Vorgehen

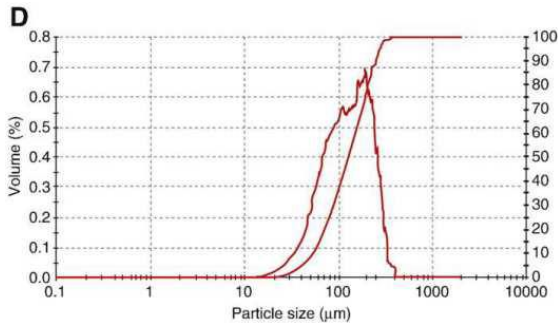
- Verkehrsmengen pro Straßenkategorie (DTV)
- Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkategorie



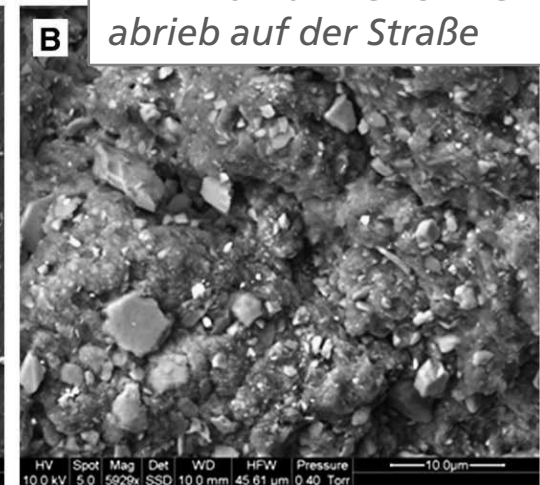
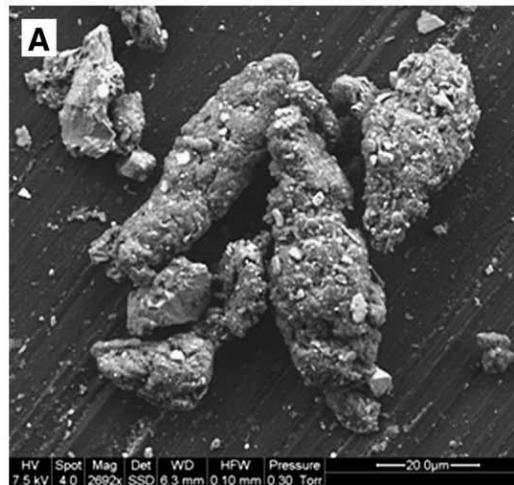
# Emissionsmodell | Emissionsfaktoren

Fahrzeugkategorie	Einheit	Urbane Gebiete	Ländliche Gebiete	Autobahnen	Anteil an PM <sub>10</sub>	Anteil an Grobpartikeln
Personenkraftwagen	[mg/km]	132	85	104	5 %	95 %
Motorräder		60	39	47		
Mopeds		13	9	10		
Lieferwagen		159	102	125		
Lastwagen		850	546	668		
Traktoren		658	423	517		
Busse		415	267	326		

Quelle: Klein et al: *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands, Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register, 2016, reifenabriebsbedingte Emissionsfaktoren*



Transmission optical microscopy – probability distribution and cumulative distribution (asphalt)



REM-Aufnahme von Reifenabrieb auf der Straße

M.L. Kreider et al. / *Sc Total Environ* 408 (2010) 652–659/

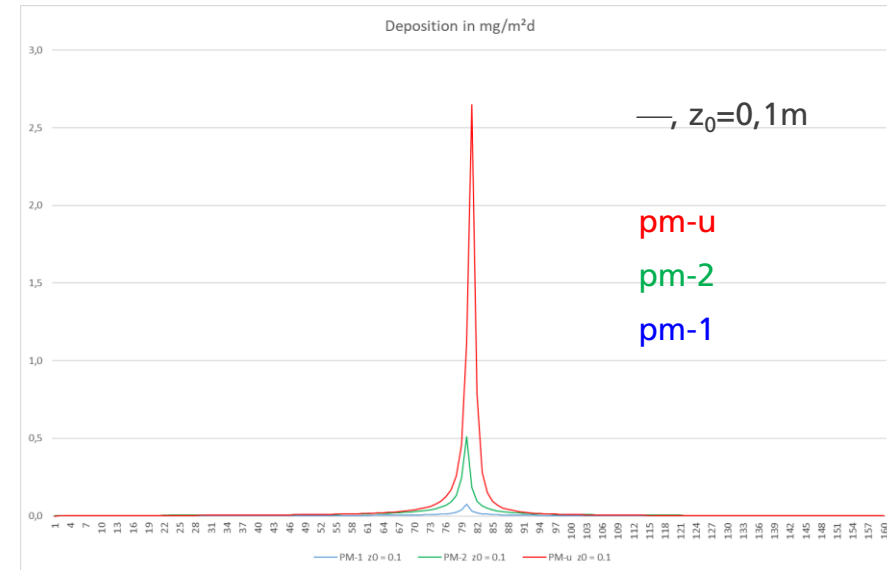
# Emissionsmodell | Einfluss der Partikelgröße

## Partikelgrößenverteilung: Reifen- und Bremsabrieb

Partikel- fraktion $i$	Anteil $f_{PMi}$ der Partikelfraktion $i$ an TSP		
	Reifenabrieb	Bremsenabrieb	Straßenabrieb
PM <sub>10</sub>	0,600	0,980	0,50
PM <sub>2,5</sub>	0,420	0,390	0,27
PM <sub>1,0</sub>	0,06	0,100	n. b.
PM <sub>0,1</sub>	0,048	0,08	n. b.

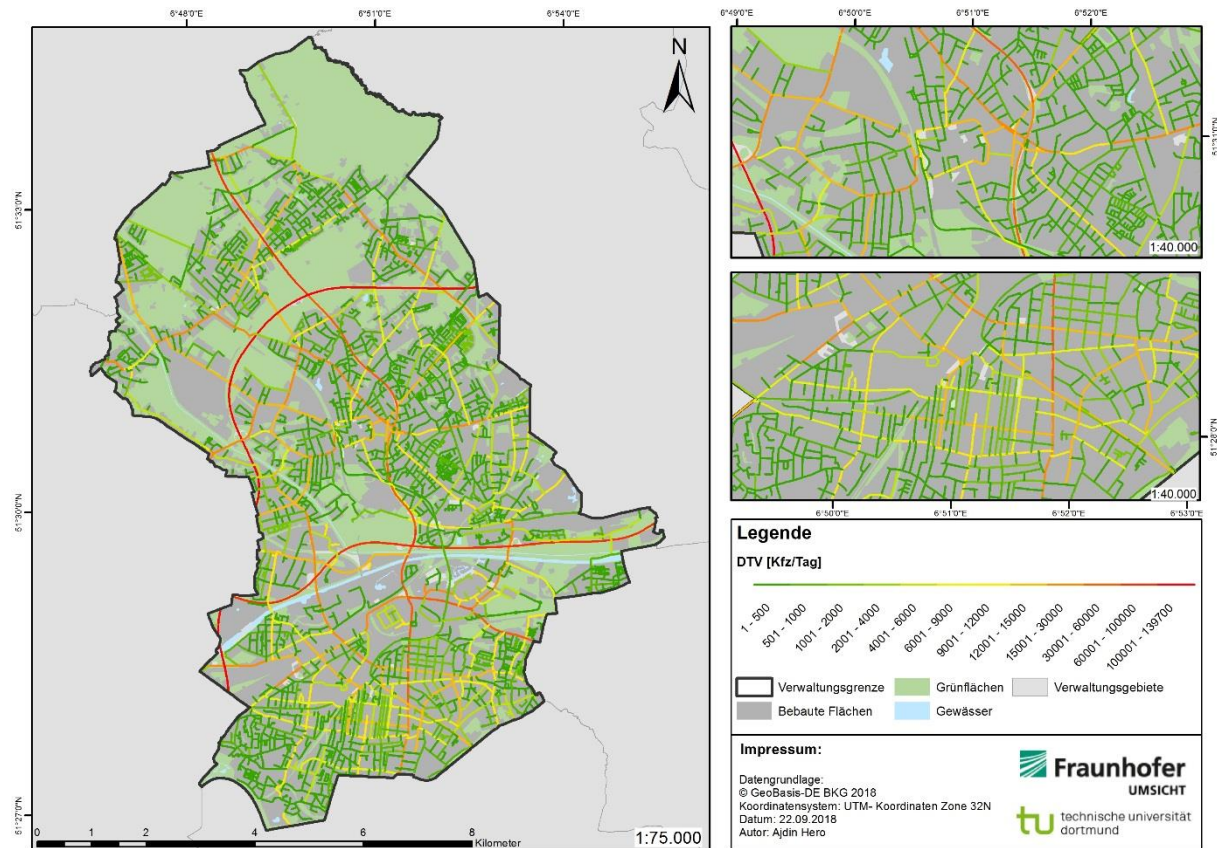
TSP: total suspended particles

VDI 3782 Blatt 5



# Emissionsmodell für Oberhausen

DTV nach Straßen-  
kategorien



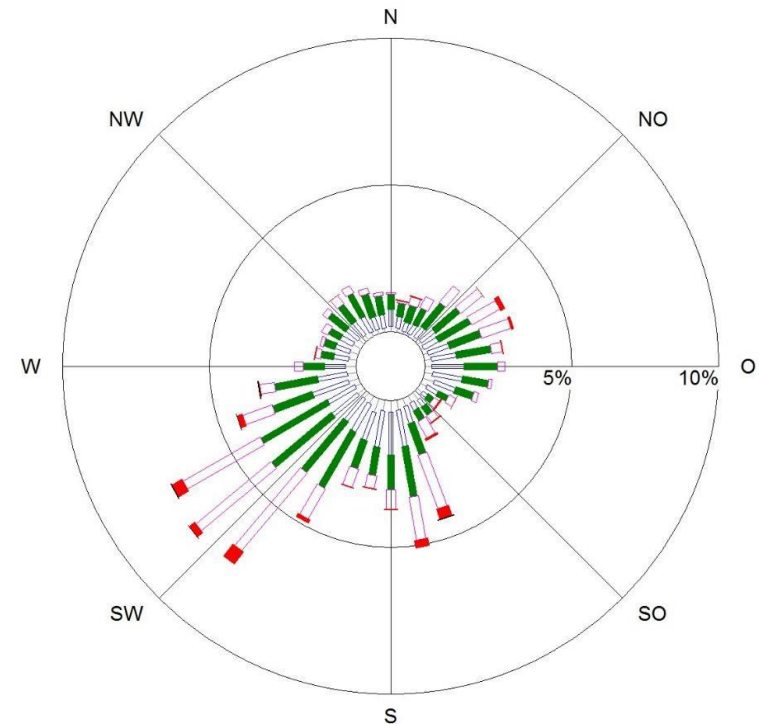
Straßenkategorie	DTV [Kfz/Tag]			Anteil am Gesamtstraßennetz
	Minimum	Maximum	Durchschnitt	
Autobahnen	27 760	139 680	90 710	4,3 %
Bundesstraßen	13 700	67 432	36 277	1,2 %
Landesstraßen	1 570	27 945	12 957	10,7 %
Kreisstraßen	1 100	15 000	9 417	8,4 %
Gemeindestraßen	10	15 342	1 123	75,4 %

# Emissionsmodell für Oberhausen

## Wetterbedingte Einflüsse

Ausbreitungsklassenstatistik und  
Windverteilung [%] der Messstation  
Essen-Bredeneu

⇒ Schichtung stabil bis neutral in  
Oberhausen

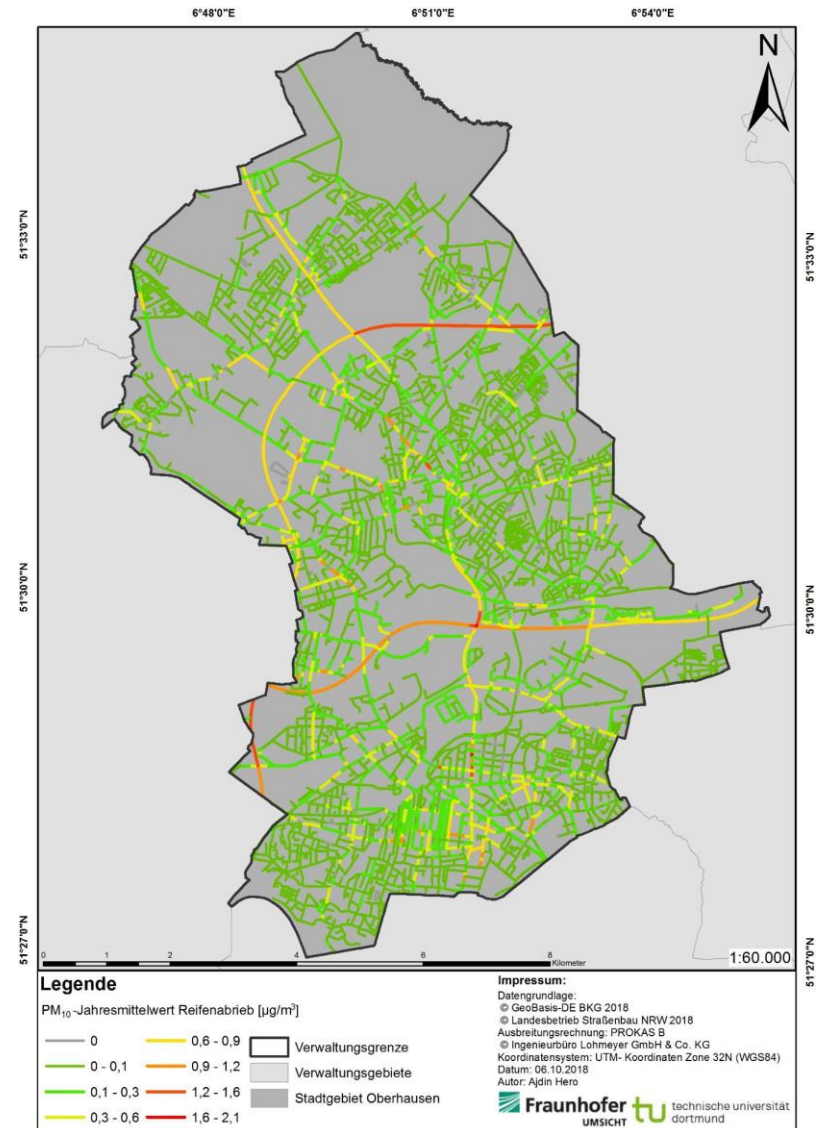


Station	: E.-Bredeneu	Häufigkeit ABK		< 1.4 m/s
Messhöhe	: 10.0 m	I : 7.4 %		1.4 bis 2.3 m/s
Windgeschw.	: 3.2 m/s	II : 20.8 %		2.4 bis 3.8 m/s
		III/1 : 43.1 %		3.9 bis 6.9 m/s
		III/2 : 20.0 %		7.0 bis 10 m/s
		IV : 5.2 %		> 10 m/s
		V : 3.5 %		



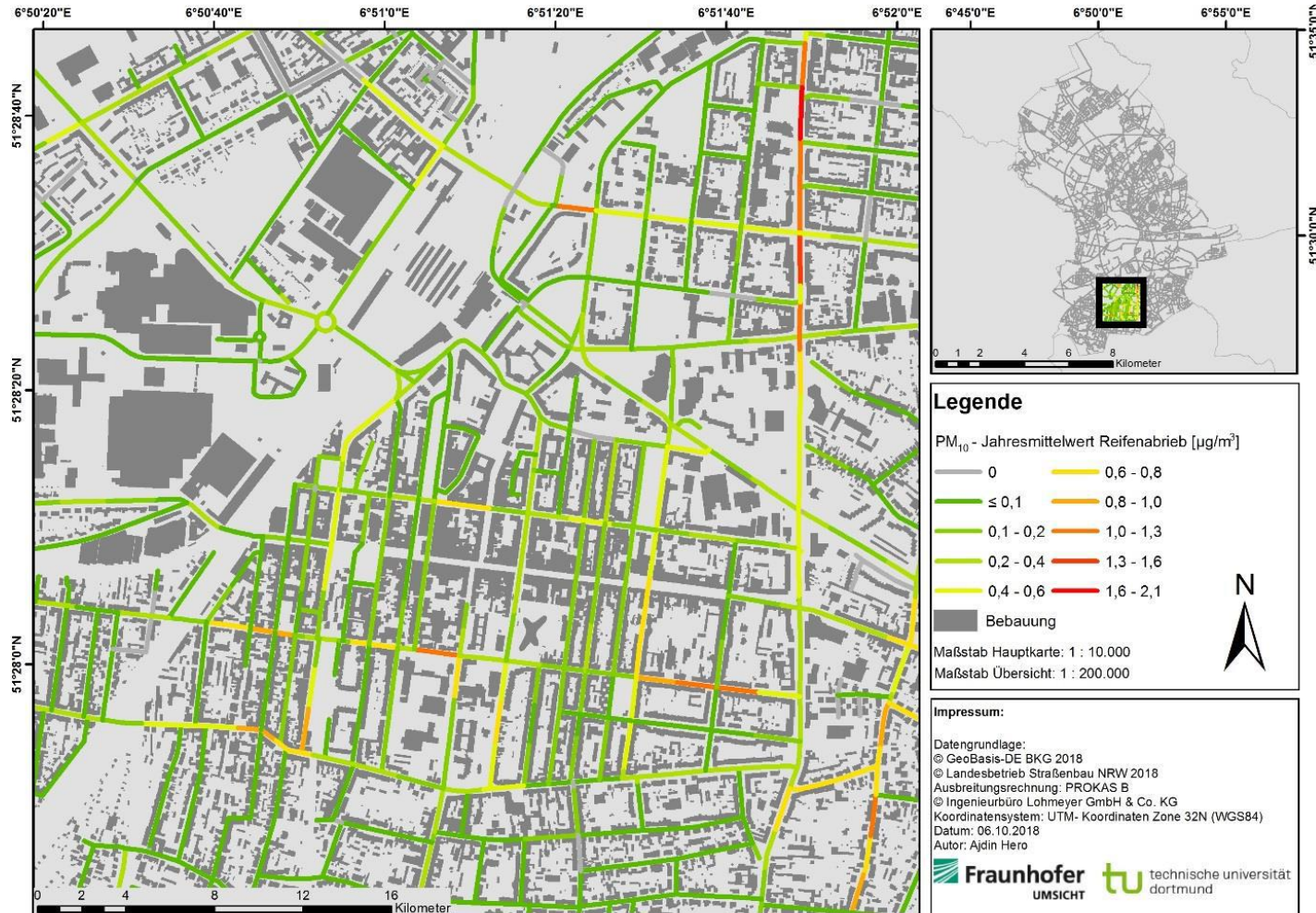
# Emissionsmodell für Oberhausen

PM<sub>10</sub>- Immissionen durch Reifenabrieb  
in Oberhausen 2017



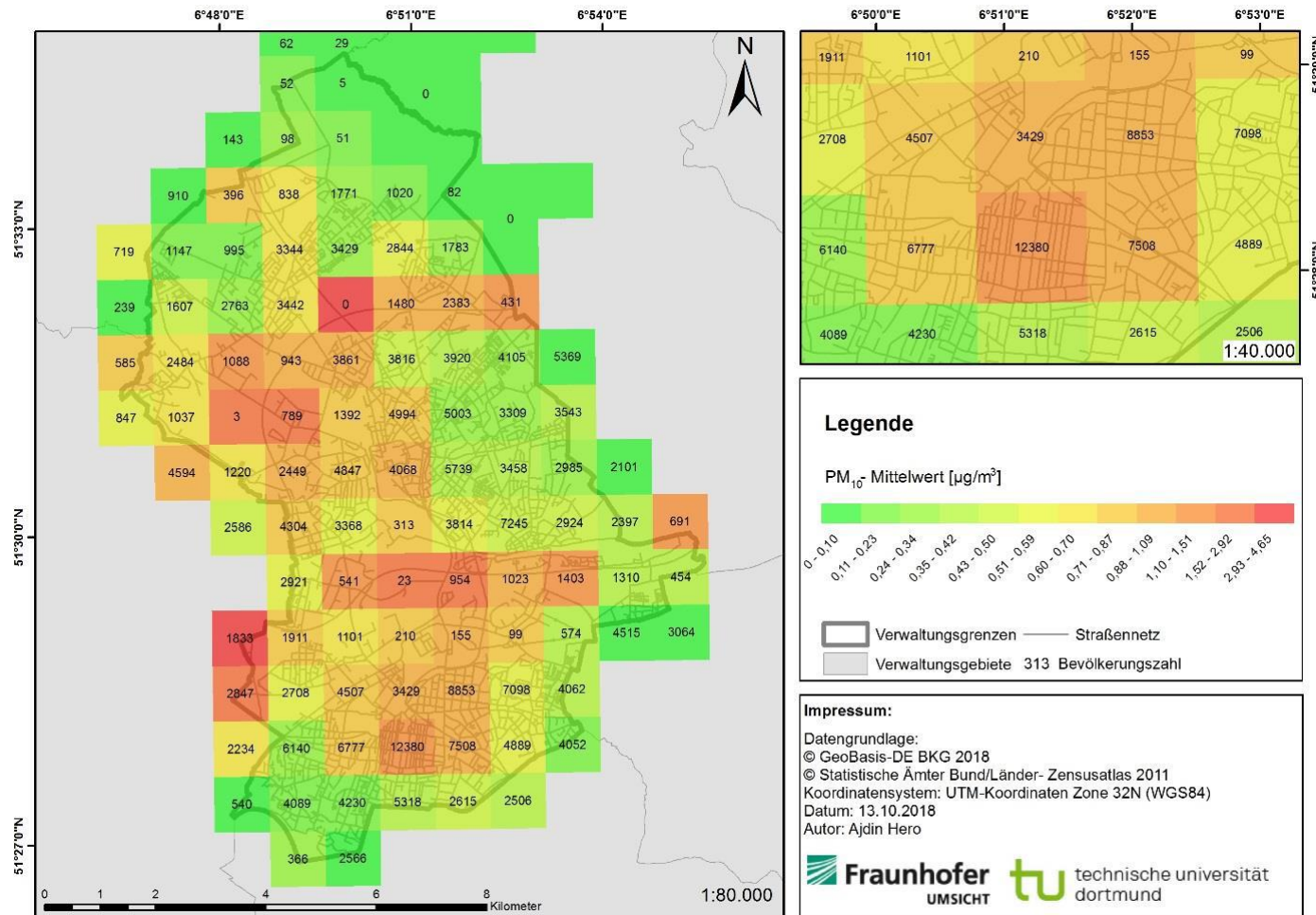
# Emissionsmodell für Oberhausen

## PM<sub>10</sub>-Immissionen durch Reifenabrieb in der Oberhausener Innenstadt 2017



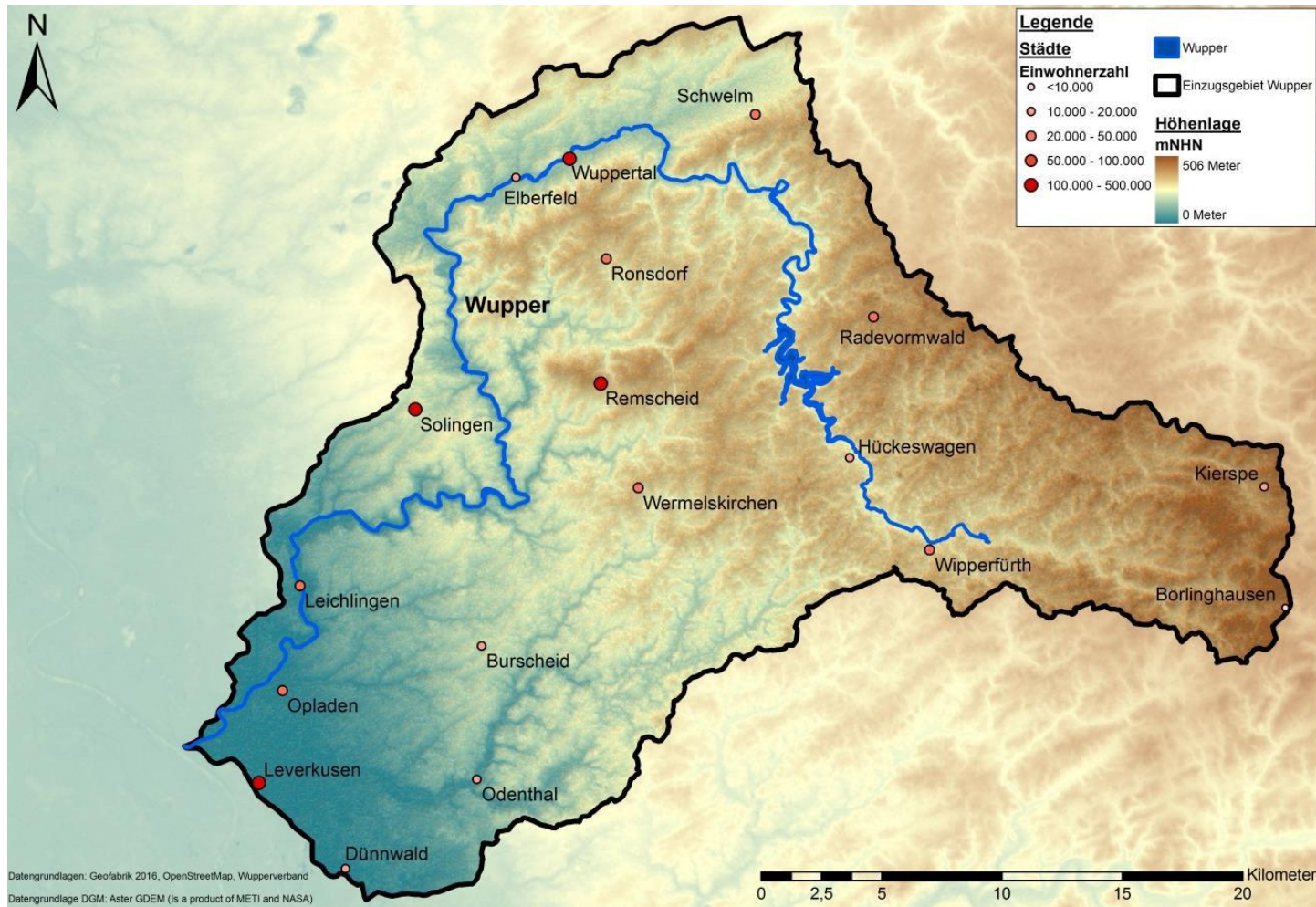
# Emissionsmodell für Oberhausen

Bevölkerungsexposition gegenüber gemittelten PM<sub>10</sub> – Konzentrationen  
(nicht motorbedingte Emissionen: Reifen-, Brems-, Straßenabrieb, Sonstiges)



# Ausbreitung von Reifenabrieb im Wasser

## Untersuchungsgebiet - Wuppereinzugsgebiet



# Ausbreitung von Reifenabrieb im Wasser

## Untersuchungsgebiet - Wuppereinzugsgebiet

**Eigenschaften Stoffgrößen**

Abgase | Bremsabrieb | Trockendeposition | Kupfer-Oberflächen  
Ölrückstände | Katalysator | Zink-Oberflächen | Tiere | Laub

Modellbausteine | Stoffgrößen

**Sewsys-Konst.** | Nassdeposition | Reifenmaterial | Straßenbelag

Name: Stoffparameter  Ausgabe Ergebnisse

Verschmutzung Straßenabflüsse

Reifenmaterial: 111420 t/a    Schwerlastverkehr (SLV): 0,15 [-]

Straßenbelag: 1737120 t/a    Anteil SLV an Verschmutzung: 0,58 [-]

Verkehrsbelastung: 620000000000 Kfz km/a

Sonstige Parameter

Trockenzeit vor Simulation: 4,0 d    Anteil korrodiertes Material am Niederschlagsabfluss

Anteil Straßenverschmutzung: 0,80 [-]

Rückgangskonstante: 0,00020 1/s    Straßen: 1,00 [-]

Abtragskonstante: 0,0360 1/mm    Dächer: 0,70 [-]

Ok    Abbruch    Übernehmen

**Eigenschaften Stoffgrößen**

Abgase | Bremsabrieb | Trockendeposition | Kupfer-Oberflächen  
Ölrückstände | Katalysator | Zink-Oberflächen | Tiere | Laub

Modellbausteine | Stoffgrößen

Sewsys-Konst. | Nassdeposition | **Reifenmaterial** | Straßenbelag

Name: Stoffparameter    **Quelle: TYRES**

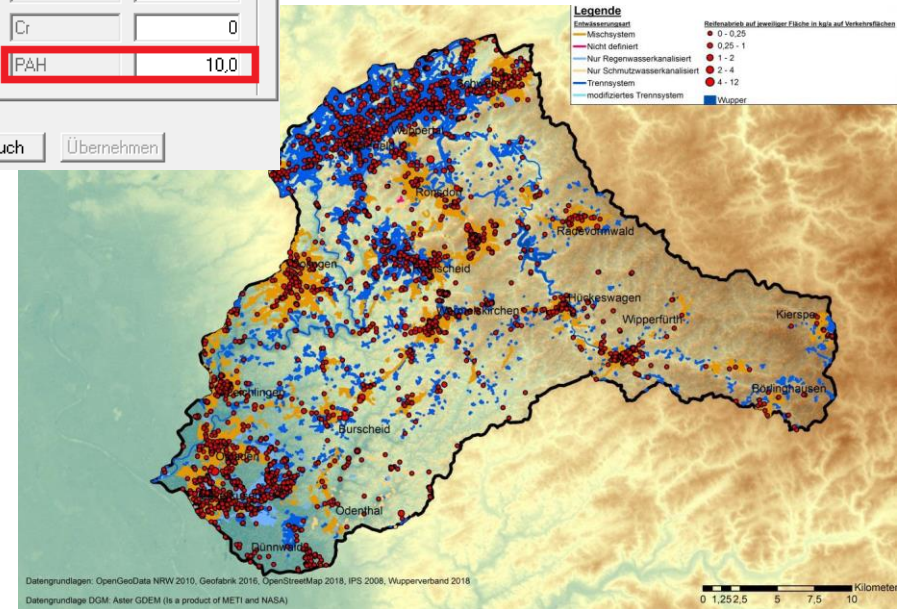
Parameter: 1 - 12    **Einheit: ug/km\_travelled**

Quelle berücksichtigen

**Stoffliche Belastung:**

P	0	Zn	930
N	0	Pb	1,5
<b>ISS</b>	<b>60000</b>	Cd	1,0
BOD7	0	Ni	0
COD	0	Cr	0
Cu	0	<b>PAH</b>	<b>10,0</b>

Ok    Abbruch    Übernehmen

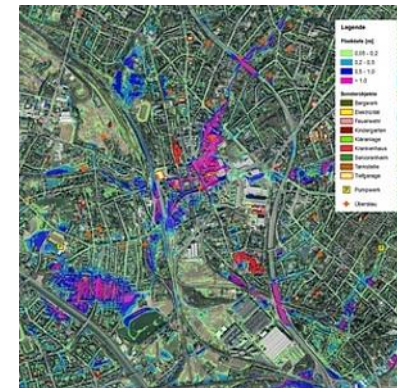
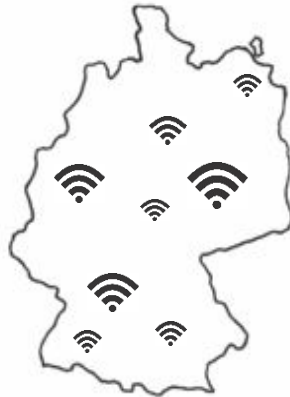


# Planungs- und Entscheidungstool zur geographischen Verteilung, Ausbreitung und Quantifizierung von Reifenabrieb

- Rückkopplung der Modellierer zu Datengrundlagen, Methoden, Schnittstellen; Vereinheitlichung von Strukturen und Abläufen
- Testumsetzung und Validierung
- Formulierung eines methodischen Leitfadens als Planungs- und Entscheidungstool

# Wie lassen sich die Ergebnisse von TyreWearMapping nutzen?

- Erstellung/Überarbeitung von Regelwerken für Straßenplanung/-bau/-betrieb.
- Geodatenätze für ökologische Modellierungsanwendungen sowie Planungen/Modellierungen im Verkehrssektor und Wasserversorgungsbereich.
- Reifenabrieb-Daten -> Identifikation/Bewertung von Umweltrisiken (REACH).
- Erstellung von Potential-/Hotspotkarten für die Generalentwässerungsplanung.



# Offene Fragestellungen

- Welche Effekte hat Reifenabrieb in den drei Umweltkompartimenten?
- Wie wird Reifenabrieb mechanisch, chemisch, biologisch abgebaut? (Reifenabrieb in Laborbedingungen)
- Welche ökologischen und toxikologischen Auswirkungen hat Reifenabrieb?
- Gelangt Reifenabrieb ins Meer? (Transportverhalten, Senken- und Akkumulationsräume)
- Reifenabrieb – LCA – REACH?



Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit!

