

**NanoDialog**  
der Bundesregierung

## **Anwendungen von Nanomaterialien in Reifen – Umweltrelevanz und Emissionen**

Thematischer Bericht zum FachDialog „Chancen und Risiken der  
Anwendung von Nanotechnologien im Automobilsektor“ am  
26./27. September 2017

April 2018

Autoren: Till Zimmermann, Dirk Jepsen und Antonia Reihlen

Impressum:

ÖKOPOL GmbH  
Institut für Ökologie und Politik

Nernstweg 32–34  
D – 22765 Hamburg

[www.oekopol.de](http://www.oekopol.de)  
[info@oekopol.de](mailto:info@oekopol.de)

Tel.: ++ 49-40-39 100 2 0  
Fax: ++ 49-40-39 100 2 33

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Hintergrund .....</b>	<b>5</b>
1.1	<i>Einsatz von Nanomaterialien im Automobil.....</i>	6
1.2	<i>Einsatz von Nanomaterialien im Reifen.....</i>	6
<b>2</b>	<b>Reifenabrieb .....</b>	<b>7</b>
2.1	<i>Verteilung und Verbleib in der Umwelt .....</i>	9
2.2	<i>Relevanz von Reifenabrieb für Umwelt und Gesundheit .....</i>	10
<b>3</b>	<b>Nationale Emissionsberichterstattung.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Reifenabrieb in aktuellen Forschungsvorhaben.....</b>	<b>14</b>
4.1	<i>UBA-Projekt: „Kunststoffe in der Umwelt“ .....</i>	14
4.2	<i>BMBF Projekt: „Reifenabrieb in der Umwelt“.....</i>	14
<b>5</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>14</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anteile verschiedener Bestandteile in „Durchschnittsreifen“ in verschiedenen Regionen (OECD 2014) .....	7
Tabelle 2: Zusammensetzung von Reifenabrieb .....	9
Tabelle 3: PECs für Nano-Silica, Europa, 2013 nach (Wigger et al. 2018).....	13
Tabelle 4: Emissionen aus Reifen- und Bremsabrieb, Deutschland 2017, Alle Angaben in t/a .....	13

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mögliche Verteilung von und Senken für Reifenabrieb in der Umwelt	10
Abbildung 2: Anwendungen von Nano-Silica in der EU nach (Wang et al. 2016).....	11

## 1 Hintergrund

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit organisiert seit 2006 den NanoDialog der Bundesregierung. Im NanoDialog tauschen sich Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, den Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder sowie aus zivilgesellschaftlichen Gruppen über die Chancen und Risiken des Einsatzes von Nanomaterialien aus.

Der FachDialog „Chancen und Risiken der Anwendung von Nanotechnologien im Automobilsektor“ wurde im Rahmen der 5. Phase des NanoDialogs<sup>1</sup> ausgerichtet. Der Schwerpunkt des FachDialogs lag auf der gesellschaftspolitischen Einordnung der Anwendung von Nanotechnologien im Automobil.

In der Veranstaltung wurde deutlich, dass der Einsatz von Nanomaterialien für die Herstellung von Fahrzeugen heutzutage essenziell ist. Allerdings werden in der Werkstoffentwicklung unterschiedliche Ansätze erforscht; somit ist der Einsatz von Nanomaterialien eine von vielen Technologien und Optionen. Nanotechnologien werden insbesondere für Verbesserungen in den Bereichen Sicherheit, Komfort, Treibstoffverbrauch (Batterien) und Schadstoffemissionen sowie der Optik von Fahrzeugen eingesetzt. Sie sind somit in allen Fahrzeugteilen zu finden und erfüllen hier unterschiedliche Funktionen.

Der Einsatz „freier“, also nicht matrix-gebundener, Nanopartikel beschränkt sich auf wenige Anwendungen, z. B. als Kraftstoffadditive oder in Schmierstoffen. Da die Mehrzahl der Anwendungen matrixgebunden erfolgt, kann insgesamt von geringen (öko-)toxikologischen Risiken für Mensch und Umwelt in der Nutzungsphase von Automobilen ausgegangen werden.

Nanomaterialien können grundsätzlich auch aus Entsorgungsprozessen sowie durch Abrieb oder Alterung von Bauteilen in die Umwelt eingetragen werden. Werden diese „Materialstückchen“, in der Umwelt schneller abgebaut als die darin enthaltenen Nanomaterialien, können diese als separate Partikel oder Agglomerate/Aggregate in der Umwelt vorkommen. Über Art und Ausmaß möglicher Risiken auf diesen Expositionspfaden liegen derzeit kaum Informationen vor.

Dieser Bericht ergänzt die Diskussion beim FachDialog durch zusätzliche Informationen zur Verwendung von Nanomaterialien in Reifen und möglichen Expositionen. Die Anwendung in Reifen ist besonders relevant, da hier Nano-Silica in großen Mengen als Füllstoff eingesetzt wird und durch den Abrieb des Laufflächengummis in die Umwelt gelangt. Der Bericht stellt die verschiedenen umweltrelevanten Aspekte

---

<sup>1</sup> Die Dokumentation dieser und der vorhergehenden Veranstaltungen des NanoDialogs finden Sie auf den Internetseiten des BMU <http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie/nanodialog/>

von Reifenabrieb dar, zeigt die Berücksichtigung in der nationalen Emissionsberichterstattung und beschreibt aktuelle Forschungsvorhaben.

## 1.1 Einsatz von Nanomaterialien im Automobil

Nanomaterialien und Nanostrukturen ermöglichen neue Materialeigenschaften und Funktionen. Im Automobil finden sich Nanomaterialien in vielfältigen Anwendungen, z. B. als Bestandteile der Karosserie, des Motors, der Reifen, der elektrischen und elektronischen Bauteile sowie der im Fahrzeug eingesetzten Flüssigkeiten. Zu den Zielen und Chancen des Einsatzes von Nanomaterialien im Automobil zählen:

- Reduzierung von Treibstoffbedarf und Schadstoffemissionen durch verringerte Reibung (Motor, Reifen) oder effizientere Verbrennung (Treibstoffadditive, Katalysatoren),
- Verlängerte Lebensdauern durch stabilere Werkstoffe (verstärkte Kunststoffe, Beschichtungen),
- Verringerung des Verschleißes (Schmierstoffe),
- Verbesserte Reinigungsleistung von Materialien (Luftfilter, easy-to-clean Oberflächen),
- Erhöhung der Fahrsicherheit durch Sensoren und elektronische Steuerungssysteme,
- Verbesserung von Komfort, Optik und Haptik sowie Ausstattung des Innenraums im Allgemeinen,
- Insbesondere der Elektronikbereich ist als Anwendungsfeld hervorzuheben, in dem Nanomaterialien eine stark wachsende Bedeutung zukommt. Hier sind Nanomaterialien wichtig für verschiedenste neue Funktionalitäten.

In den meisten Anwendungen zeigt sich dabei nur eine geringe Wahrscheinlichkeit direkter Expositionen von Mensch und Umwelt während der Fahrzeugnutzung, wobei hervorzuheben ist, dass bezüglich der Entsorgung ungeklärte Fragen bestehen (Verbleib der Nanopartikel in und nach der Entsorgung), was insbesondere auch unter Berücksichtigung des hohen Exportanteils von Altfahrzeugen (rund 2/3 aller endgültig abgemeldeten Fahrzeuge werden exportiert) nicht zu vernachlässigen ist.

In diesem Bericht wird die Freisetzung von Nano-Silica aus Autoreifen als Beispiel für ein Anwendungsgebiet diskutiert, welches zu einer Exposition von Mensch und Umwelt mit Nanomaterialien führt.

## 1.2 Einsatz von Nanomaterialien im Reifen

Reifen bestehen im Wesentlichen aus Gummi bzw. Kautschuk, welches durch den Zusatz von Füllstoffen, die gewünschten Eigenschaften erhält. Hier kommt eine Kombination aus Carbon Black und SiO<sub>2</sub> (Nano-Silica) zum Einsatz. Die beiden Nanomaterialien werden also nicht alternativ sondern komplementär eingesetzt.

Der Einsatz von Nano-Silica als Zusatzstoff in Reifen kann den Rollwiderstand um bis zu 20 % reduzieren, die Haftung um 12 % verbessern und Bremswege um bis zu 10 % verringern (European Parliament 2008 in (OECD 2014)). Der Einsatz von Nano-Silica hat also sowohl ein Umweltentlastungspotenzial durch Treibstoffeinsparungen als auch ein Potenzial, die Fahrsicherheit zu erhöhen. Die mögliche Umweltentlastung wurde im Rahmen einer vergleichenden Ökobilanz (OECD 2014) ermittelt und wird durch Reduzierungen der Treibhausgasemissionen und des kumulierten Energieaufwands möglich. Die ermittelten möglichen Umweltentlastungen belaufen sich auf 5-10 % über den Lebenszyklus.

In (OECD 2014) wird die Konzentration von Nano-Silica in Reifen auf dem europäischen Markt auf 11,4 %, die von Carbon Black mit 17,5 % beziffert. Wigger et al. (2018) geben an, dass ein Anteil an Nano-Silica von 5-15 % typisch ist. Tabelle 1 liefert eine Übersicht über die Zusammensetzung von Autoreifen auf dem europäischen Markt sowie in den USA und in China auf Basis einer OECD Studie. Die hier dargestellten Zusammensetzungen umfassen sowohl das für den Abrieb relevante Laufflächengummi (vgl. folgender Abschnitt) als auch die darunter liegenden Lagen.

Tabelle 1: Anteile verschiedener Bestandteile in „Durchschnittsreifen“ in verschiedenen Regionen (OECD 2014)

Bestandteil	Anteil - EU	USA	China
Synthetischer Kautschuk	24,3%	25,0%	24,4%
Natürlicher Kautschuk	16,6%	17,0%	16,7%
Carbon Black	17,5%	19,1%	17,5%
<b>Nano-Silica</b>	<b>11,4%</b>	<b>9,1%</b>	<b>11,4%</b>
Stahl	11,7%	10,4%	11,7%
Weichmacher	6,6%	6,8%	6,6%
Andere	11,9%	12,6%	11,8%

## 2 Reifenabrieb

Die Menge und die Beschaffenheit von Reifenabrieb sind abhängig von den Materialeigenschaften (verwendeter Kautschuk, Verstärkungsgrad, Alterungsbeständigkeit), der Konstruktion des Reifens selbst und dem Zusammenspiel von Fahrzeug und Reifen (Hillenbrand et al. 2005). Nicht zuletzt beeinflusst auch die Fahrweise das Ausmaß von Reifenabrieb.

Die Angaben zur Höhe des Abriebs schwanken je nach Quelle. Eine Auswertung im Rahmen einer UBA-Studie (Hillenbrand et al. 2005) für PKW ergab eine mittlere Abriebmenge von 90 mg pro Fahrzeugkilometer (mg/FZkm) bei einer Spannbreite von 53-200 mg/FZkm. Für Lieferwagen und LKW/Sattelzüge liegen die mittleren Werte mit 700 mg/FZkm und 1.200 mg/FZkm deutlich höher. Andere Quellen beziffern den Abrieb anteilig auf rund 10-11% (Giese et al. 2018; Wang et al. 2016) sowie 10-20 % (Wigger et al. 2018) der Reifenmasse. Schätzungen für pro Kopf Emissionen von Reifenabrieb bewegen sich zwischen 0,23 und 4,7 kg/Jahr mit einem globalen Durchschnitt von 0,81 kg/Jahr (Kole et al. 2017). In einer Studie des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2015 werden pro Kopf Werte von 0,75 bis 1,38 kg/Jahr angegeben (Essel et al. 2015). Ein Mengenvergleich von Reifenabrieb (=100%) mit Bremsabrieb (8%) und Fahrbahnmarkierungen (5%) unterstreicht dessen hohe Relevanz (Kole et al. 2017).

Der Reifenabrieb entsteht primär aus dem Laufflächengummi und ist somit nicht identisch mit der Reifenzusammensetzung. Die inneren Lagen des Reifens sind darauf ausgerichtet, die Luft im Reifen zu halten und eine Oxidation der darunter liegenden Komponenten zu verhindern, was in einer vom Laufflächengummi abweichenden Materialzusammensetzung resultiert (OECD 2014). Zudem ist nicht auszuschließen, dass Reifen im Laufe der Nutzung mit anderen Stoffen kontaminiert werden bzw. ihre Inhaltsstoffe sich teilweise zersetzen.

Die Zusammensetzung von Reifenabrieb wurde in verschiedenen Studien untersucht (Dave 2013; Wik und Dave 2009; Krömer et al. 1999a; Degussa 2007; Okel und Rueby 2016; Kocher 2010). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Spannbreite der angegebenen Anteile der Nanomaterialien (Nano-Silica und Carbon Black) im Reifenabrieb beläuft sich auf 20-40 %, wobei drei Studien übereinstimmend einen Anteil von rund 34 % angeben (Okel und Rueby 2016; Krömer et al. 1999a; Degussa 2007).

Tabelle 2: Zusammensetzung von Reifenabrieb

Material	(Dave 2013; Wik und Dave 2009)	(Kocher 2010)	(Krömer et al. 1999a)	Degussa (2007) zitiert in (Kocher 2010)	(Okel und Rueby 2016)
Synthetischer oder natürlicher Kautschuk	40-60%	39%	42%	53,6%	Keine Angabe
Carbon Black / SiO <sub>2</sub>	20-35%	34%	34%	34%	22-40 %
Mineralöl	15-20%	Keine Angabe	17,1%	4,3%	Keine Angabe
Schwefel	1%	Keine Angabe	Keine Angabe	2,1%	1-4%
Zinkoxide	1,5%	1,1%	0,5%	1,3%	1%
Stearinsäure	1%	Keine Angabe	Keine Angabe	0,9%	Keine Angabe
Sulfenamide oder Thiazole	0,5%	Keine Angabe	Keine Angabe	2,7%	Keine Angabe
Sonstige / nicht näher spezifiziert	1,2%	24,5%	6,4%	1,1%	55-76 %

## 2.1 Verteilung und Verbleib in der Umwelt

Der Abrieb von den Reifen wird entweder während des Fahrens in die Luft gewirbelt oder verbleibt direkt auf der Straße, z.B. bei feuchter Straße/Regen. Mit dem (Regen-) Wasser oder durch Deposition verteilt sich der Reifenabrieb in Böden (siehe bspw. Hillenbrand et al. 2005) und Gewässern (siehe bspw. Sundt et al. 2014; Wik und Dave 2009). Wissenschaftliche Untersuchungen zu Reifenabrieb und dessen Umweltrelevanz fokussieren bislang in erster Linie auf

- Staub- und Feinstaubemissionen
- Schwermetallemissionen
- Kunststoffeinträge in die Umwelt

Der Eintrag von Nanomaterialien aus Reifen in die Umwelt ist bislang nur vereinzelt gesondert diskutiert und untersucht worden.

Ein Modell der Verteilung von Reifenabrieb in der Umwelt ist in Abbildung 1 dargestellt.

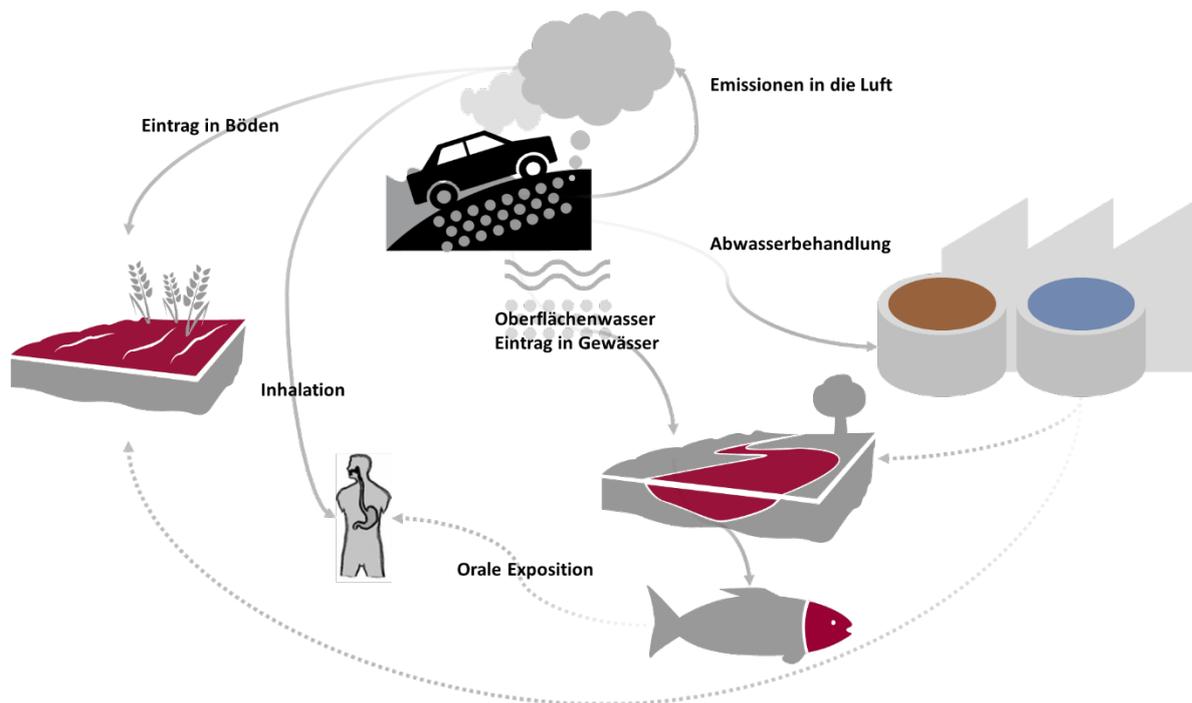


Abbildung 1: Mögliche Verteilung von Reifenabrieb und Senken für Reifenabrieb in der Umwelt (Grafik: Ökopol)

In der Umwelt kann ein langsamer Abbau der organischen Bestandteile des Abriebs stattfinden<sup>2</sup>, während Bestandteile wie bspw. Schwermetalle trotz geringer Konzentration im Reifenabrieb zur Metallanreicherung im Boden beitragen können (Kocher 2010). Das heißt, anorganische Nanopartikel können aus der Matrix des Reifen(-abriebs) freigesetzt werden.

## 2.2 Relevanz von Reifenabrieb für Umwelt und Gesundheit

Reifenabrieb ist mengenmäßig eine der größten Quellen für Staubemissionen des Straßenverkehrs. Diese Staubemissionen bestehen aus sedimentierbarem Staub sowie Feinstaub. Kocher (2010) gibt an, dass das Verhältnis zwischen sedimentierbarem Staub und Feinstaub aus dem Straßenverkehr 14:1 beträgt. Der Feinstaubanteil am gesamten Reifenabrieb wird auf 1 bis 7% (Kocher 2010) und der Anteil von Reifenabrieb am gesamten Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) in der Luft auf 3-7% beziffert (Kole et al. 2017). Hier besteht also ein relevanter Beitrag zur Luftverschmutzung mit eventuellen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

Untersuchungen von verkehrsbedingten Rußimmissionen zeigen, dass neben den Rußpartikeln im Kfz-Abgas der Reifenabrieb einen relevanten Anteil zur

<sup>2</sup> Krömer et al. 1999b errechnen ein Gleichgewicht von Eintrag und Abbau des Abriebs im Boden von 16 g Abrieb pro m<sup>2</sup>.

Rußemission des Kfz-Verkehrs beiträgt. Der Beitrag des Reifenabriebs zur Ruß-Belastung des Straßenverkehrs wird mit 7 bis 25 % angegeben (Kocher 2010).

### 2.2.1 Einträge von Nano-Silica in die Umwelt

Vereinzelt haben sich wissenschaftliche Untersuchungen in den vergangenen Jahren mit dem Eintrag von Nano-Silica aus Anwendungen in die Umwelt befasst. So haben Wang et al. (2016) eine Modellierung mit geographischem Schwerpunkt auf EU und Schweiz vorgenommen. Giese et al. (2018) haben eine ähnliche Untersuchung für Deutschland erarbeitet. Wigger et al. (2018) wiederum haben sich dem – in den beiden zuvor genannten Studien hoch relevanten – Aspekt der Datenunsicherheit in Bezug auf die Produktionsvolumina von Nanomaterialien gewidmet und hier für SiO<sub>2</sub> eine relevante Klärung bestehender Unsicherheiten erreichen können.

#### Stoffströme und Umwelteinträge von Nano-Silica in der EU nach Wang et al.

Wang et al. haben eine probabilistische Modellierung der Stoffströme und Umweltrisiken von Nano-Silica vorgenommen (Wang et al. 2016). In ihrer Untersuchung werden nicht nur Reifen, sondern ausgehend von Produktionsvolumina von Nano-Silica sämtliche Anwendungen berücksichtigt. Eine Übersicht dieser Anwendungen mit ihrer anteiligen Relevanz findet sich in Abbildung 2. Als Median für die jährliche Produktionsmenge in der EU werden 5.800 t Nano-Silica angegeben, wobei erhebliche Spannweiten bestehen, die sich aus den sehr unterschiedlichen Datenquellen ergeben.

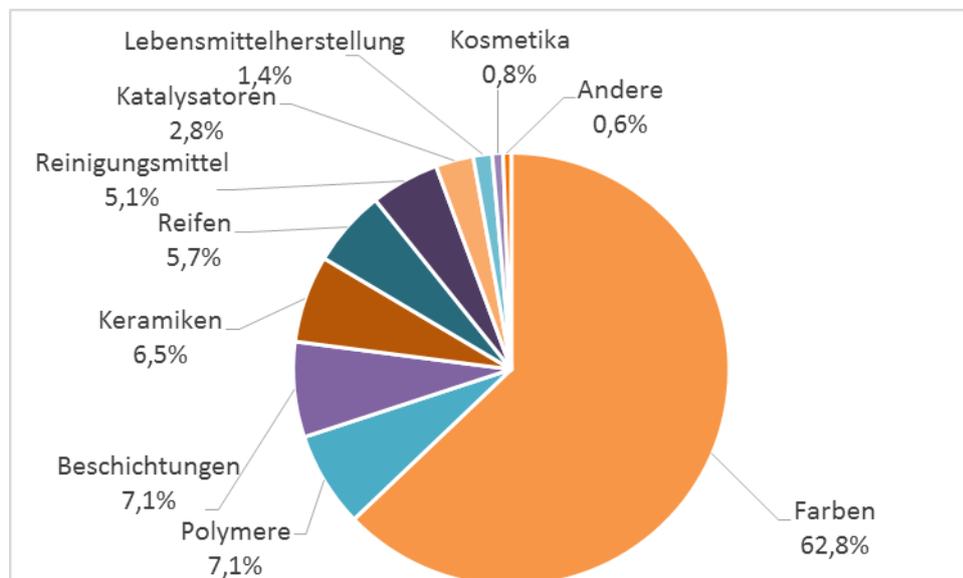


Abbildung 2: Anwendungen von Nano-Silica in der EU nach (Wang et al. 2016)

Für diese Anwendungen wird der Eintrag in die Umwelt modelliert. Im mengenmäßig dominierenden Anwendungsbereich der Farben sowie in Polymeren eingesetztes Nano-Silica kommt demnach überwiegend in die Abfallbehandlung ohne anschließenden Eintrag in die Umwelt (Deponierung mit Asche ohne angenommenen weiteren Eintrag in die Umwelt). Aus den anderen Anwendungen ergeben sich relevante Umwelteinträge, überwiegend in Böden sowie Oberflächenwasser. Die ermittelte vorhergesagte Umweltkonzentration (predicted environmental concentration, PEC) von Nano-Silica in Oberflächenwasser liegt gemäß dieser Untersuchung zwischen 0,053 und 3,3 µg/l in der EU.

### **Stoffströme und Umwelteinträge von Nano-Silica in Deutschland nach Giese et al.**

Giese et al. (2018) haben ebenfalls ausgehend von Produktionsvolumina eine Modellierung der Stoffströme und Umweltrisiken von Nano-Silica vorgenommen. Neben SiO<sub>2</sub> wird hier auch CeO<sub>2</sub> und nanopartikuläres Silber betrachtet. Der geographische Bezugsraum ist Deutschland. Es erfolgte eine dynamische Modellierung für den Zeitraum 1950 bis 2050.

Bezüglich der Produktionsvolumina wurden vergleichbar (große) Spannbreiten angegeben. Der Anteil von Reifen an den Anwendungen von Nano-Silica wird hier mit 18-19 % etwas höher eingeschätzt. Die von Giese et al. modellierten PECs für Oberflächengewässer liegen in einer ähnlichen Bandbreite wie die von Wang et al.

### **„Korrektur“ von Produktionsvolumina und Auswirkungen auf die Stoffstrombetrachtungen von Wigger et al.**

Wigger et al. (2018) befassen sich mit den großen Spannbreiten der in den verschiedenen Quellen angegebenen Produktionsvolumina verschiedener Nanomaterialien, darunter SiO<sub>2</sub>. Zentraler Ansatzpunkt zur Verringerung der Unsicherheit ist eine Konkretisierung der teilweise unscharfen Abgrenzung von nanopartikulärem Material und Bulk-Material. Ihre Untersuchungen ergaben, dass nahezu das gesamte produzierte SiO<sub>2</sub> als Nanomaterial anzusehen ist. Somit wird die europäische Produktionsmenge mit 459.000 Tonnen angegeben. Es wird auf Basis dieser Erkenntnis und den Ergebnissen vorliegender Expositionsmodelle abgeschätzt, dass rund 9,3 % hiervon jährlich in Böden gelangen und dort verbleiben. Die in folgender Tabelle aufgeführten PECs werden für das Jahr 2013 angegeben. Zum Vergleich sind die Werte von Giese et al. (2018) ebenfalls aufgeführt.

Tabelle 3: PECs für Nano-Silica, Europa, 2013 nach (Wigger et al. 2018) sowie zum Vergleich (Giese et al. 2018)

Kompartiment	Median für PECs 2013 (Wigger et al. 2018)	Median für PECs 2017 (Giese et al. 2018)	Einheit
Oberflächengewässer	8,6	5,34	µg/l
Abwasser aus Kläranlage	240	44,37	µg/l
Klärschlamm aus Abwasserkläranlage	5.200	-	mg/kg
Klärschlammgedüngte Böden	27.000	3.085-78.272 (je nach Degradation)	µg/kg
Böden	83	63	µg/kg
Sedimente	30	32	mg/kg

Die Zahlen spiegeln wieder, dass Nano-Silica von den Straßen in das Abwasser gelangt, im Klärschlamm akkumuliert und mit ihm in die Böden eingebracht werden kann. Behandelte Böden haben einen deutlich höheren PEC als unbehandelte. Die Korrektur der Produktionsvolumina hat in fast allen Kompartimenten zu signifikant höheren vorhergesagten Umweltkonzentrationen geführt.

### 3 Nationale Emissionsberichterstattung

In der deutschen Emissionsberichterstattung wird Reifenabrieb in Bezug auf Staub (PM<sub>2,5</sub>; PM<sub>10</sub>), Carbon Black sowie Schwermetalle (Cr, Ni, Zn) berücksichtigt<sup>3</sup>. Jedes Jahr werden die Emissionsmengen anhand spezifischer Emissionsfaktoren und der jährlichen Fahrleistung auf Grundlage von Daten des Kraftfahrtbundesamtes modelliert und berichtet. Reifen- und Bremsabrieb werden hier gemeinsam berichtet. Für das Jahr 2017 sind folgende Emissionen berichtet worden.

Tabelle 4: Emissionen aus Reifen- und Bremsabrieb, Deutschland 2017, Alle Angaben in t/a

PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	Carbon black	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Se
7,3	13,5	1,8	89,8	0,3	0,1	0,4	24,4	2192	4,1	2,3

<sup>3</sup> Siehe <https://iir-de.wikidot.com/1-a-3-b-vi-emissions-from-tyre-and-brake-wear>

Aktuell wird die Methode zur Berücksichtigung von Reifenabrieb in der Emissionsberichterstattung überarbeitet. Hier wird eine aktualisierte Implementierung in das Modell TREMOD geprüft<sup>4</sup>, welches in der deutschen Emissionsberichterstattung als Grundlage für die Emissionsberechnung für den Verkehrssektor dient.

## 4 Reifenabrieb in aktuellen Forschungsvorhaben

### 4.1 UBA-Projekt: „Kunststoffe in der Umwelt“

Im UFOPLAN-Vorhaben „Kunststoffe in der Umwelt“ erfolgt eine Abschätzung des jährlichen Eintrags von Kunststoffen in die Umwelt aus vielfältigen (über 60 verschiedenen) Anwendungen. Hier wird auch eine Abschätzung des Eintrags der jährlich durch Abrieb in die Umwelt eingetragenen Mengen von Reifenmaterial vorgenommen. Die abgeschätzte Menge beläuft sich auf rund 140.000 t. Bezogen auf SiO<sub>2</sub> entspräche dies bei einem angenommenen Anteil von 10 % einer Menge von 14.000 t.

### 4.2 BMBF Projekt: „Reifenabrieb in der Umwelt“

Im Projekt RAU („Reifenabrieb in der Umwelt“), welches federführend vom Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft an der TU Berlin (Prof. Barjenbruch) geleitet und vom BMBF im Rahmen des Förderschwerpunkts „Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken, Lösungsansätze“ gefördert wird, wird eine genauere Untersuchung der freigesetzten Partikel sowie der Eintragsmechanismen erfolgen. Zu den Arbeitsschwerpunkten im Projekt gehören:

- Empirische Analysen zum Verbleib in der Nutzungsphase
- Analytische Untersuchungen für Reifenabrieb aus Umweltproben
- In-situ Beprobung von Regenereignissen im Straßenablauf
- Simulation und Bewertung von Reifenabrieb und Eintrag

Verschiedene weitere Vorhaben in diesem BMBF Förderschwerpunkt befassen sich mit Untersuchungen der Eintragspfade von Kunststoffen in die Umwelt sowie Risikobewertungen, wobei hier keine vergleichbar detaillierte Betrachtung von Reifenabrieb vorgesehen ist.

## 5 Fazit

Der Einsatz von Nano-Silica in Reifen stellt eine mengenrelevante Anwendung dar. Durch Abrieb kann Nano-Silica matrixgebunden in die Umwelt gelangen. Durch den

---

<sup>4</sup> Vgl. <https://www.ifeu.de/methoden/modelle/tremod/>

Abbau der Matrix in der Umwelt kann es als freies Partikel in der Umwelt vorkommen.

Reifenabrieb ist eine Quelle für Feinstaub und somit eine Gesundheitsbelastung. Inwieweit die Umweltexposition mit Nano-Silica aus Reifenabrieb ein Risiko für die aquatische Umwelt darstellt, kann aufgrund vielfältiger Unsicherheiten in der Datenlage und Modellierung nicht sicher beschrieben werden. Es gibt jedoch Hinweise aus Modellrechnungen, dass mittelfristig Umweltkonzentrationen erreicht werden könnten, die in besonders belasteten Umweltkompartimenten ggf. mit Gefahren für die aquatische Umwelt einhergehen würden.

Während Emissionen aus Reifenabrieb zur nationalen Berichterstattung gehören und verschiedene Forschungsprojekte die Umweltrelevanz von (Emissionen aus) Reifenabrieb behandeln, werden mögliche Effekte speziell durch Nanomaterialien im Reifenabrieb derzeit nicht systematisch untersucht.

## 6 Literaturverzeichnis

Dave, Göran (2013): Ecotoxicological Risk Assessment and Management of Tire Wear Particles. In: Jean-François Férard und Christian Blaise (Hg.): Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology. Dordrecht: Springer Netherlands, S. 363–376.

Degussa (2007): Laufflächenmischungsrezeptur moderner PKW-Reifen. In: *Neue Reifen-Zeitung* (9).

Essel, Roland; Engel, Linda; Carus, Michael; Ahrens, Ralph Heinrich (2015): Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland. UBA-Texte 63/2015. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau, zuletzt geprüft am 06.04.2018.

Giese, Bernd; Klaessig, Fred; Park, Barry; Kaegi, Ralf; Steinfeldt, Michael; Wigger, Henning et al. (2018): Risks, Release and Concentrations of Engineered Nanomaterial in the Environment. In: *Scientific reports* 8 (1), S. 1565. DOI: 10.1038/s41598-018-19275-4.

Hillenbrand, Thomas; Toussaint, Dominik; Böhm, Eberhard; Fuchs, Stephan; Scherer, Ulrike; Rudolphi, Alexander; Hoffmann, Martin (2005): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden. Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. UBA Texte 19/05. Unter Mitarbeit von Johannes Kreißig und Christiane Kotz. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA).

Kocher, Birigt (2010): Stoffeinträge in den Straßenseitenraum. Reifenabrieb. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Heft V 188. Unter Mitarbeit von Susanne Brose, Johannes Feix, Claudia Görg, Angela Peters und Klaus Schenker. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach, zuletzt geprüft am 05.04.2018.

Kole, Pieter Jan; Löhr, Ansje J.; Van Belleghem, Frank G A J; Ragas, Ad M J (2017): Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. In: *International journal of environmental research and public health* 14 (10). DOI: 10.3390/ijerph14101265.

Krömer, Silke; Kreipe, Eckhard; Reichenbach, Diethelm; Stark, Rainer (1999a): Produkt-Ökobilanz eines PKW Reifens. Hg. v. Continental AG. Continental, zuletzt geprüft am 06.04.2018.

Krömer, Silke; Kreipe, Eckhard; Reichenbach, Diethelm; Stark, Rainer (1999b): Produkt-Ökobilanz eines PKW Reifens. Hg. v. Continental AG. Continental, zuletzt geprüft am 06.04.2018.

OECD (2014): Nanotechnology and Tyres: OECD Publishing, zuletzt geprüft am 06.04.2018.

Okel, T. A.; Rueby, J. A. (2016): Silica morphology and functionality: Addressing winter tire performance. In: *Rubber World* 253, S. 21–52.

Sundt, Peter; Schulze, Per-Erik; Syversen, Frode (2014): Sources of microplastics-pollution to the marine environment. Hg. v. Mepex Consult AS. Asker, Norwegen, zuletzt geprüft am 06.04.2018.

Wang, Yan; Kalinina, Anna; Sun, Tianyin; Nowack, Bernd (2016): Probabilistic modeling of the flows and environmental risks of nano-silica. In: *The Science of the total environment* 545-546, S. 67–76. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.100.

Wigger, Henning; Wohlleben, Wendel; Nowack, Bernd (2018): Redefining environmental nanomaterial flows: Consequences of the regulatory nanomaterial definition on the results of environmental exposure models. In: *Environ. Sci.: Nano*. DOI: 10.1039/C8EN00137E.

Wik, Anna; Dave, Göran (2009): Occurrence and effects of tire wear particles in the environment--a critical review and an initial risk assessment. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 157 (1), S. 1–11. DOI: 10.1016/j.envpol.2008.09.028.