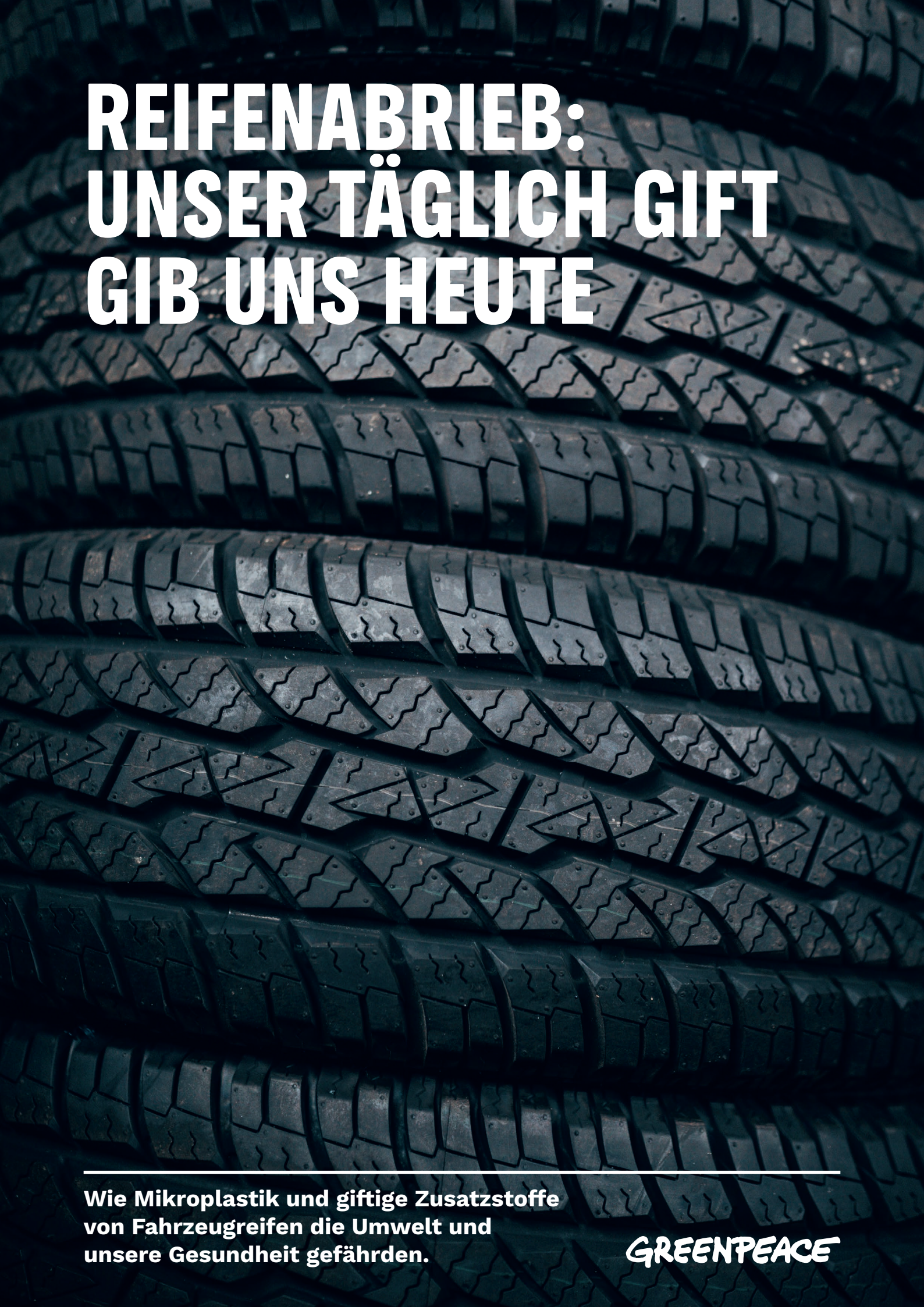




REIFENABRIEB: UNSER TÄGLICH GIFT GIB UNS HEUTE

Wie Mikroplastik und giftige Zusatzstoffe
von Fahrzeugreifen die Umwelt und
unsere Gesundheit gefährden.

GREENPEACE

ZUSAMMENFASSUNG

Mikroplastik findet sich heute überall in der Natur, sogar auf Gletschern.¹ Bis zu 93 Prozent des Mikroplastiks, die in der Schweiz in die Umwelt gelangen, stammen aus Reifenabrieb. Diese feinen Partikel verteilen sich über die Luft und das Strassenabwasser, werden eingeatmet und belasten unsere Böden und Lebensmittel. Fahrzeugreifen bestehen jedoch nur zu 40 bis 50 Prozent aus Kunststoffpolymeren. Der Rest sind Zusatzstoffe (Additive), von denen diverse im Verdacht stehen, Krankheiten zu verursachen.

Die Wissenschaft wurde erst in den letzten paar Jahren auf das Thema aufmerksam. Der Herkunftsnachweis der Plastikpartikel und die Messung der Additive sind anspruchsvoll. Entsprechend findet sich nur wenig Fachliteratur, und die Öffentlichkeit ist sich der Gefahr noch kaum bewusst. In diesem Factsheet werden Erkenntnisse der letzten Jahre zusammengetragen.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	2
Einleitung	3
Wie entsteht Reifenabrieb?	3
Autoreifen bestehen aus vielen Komponenten	3
Reifenabrieb – Verteilung in der Umwelt	4
Transport über die Luft	4
Transport im Wasser	4
Zwischenfazit	5
Toxische Additive im Reifenabrieb	6
6PPD-Chinon	6
Verbreitung der Additive	6
Aufnahme und Auswirkung von toxischen Additiven in unserem Körper	7
Toxische Additive in Blattgemüse	7
Messung von Additiven im Körper	8
Auswirkungen von 6PPD und 6PPD-Q auf die Gesundheit	8
Weitere mögliche Effekte von Reifenabrieb	8
Gesamtfazit	10
Quellenverzeichnis	11
Impressum	12

EINLEITUNG

Über zwanzig Jahre lang standen Wissenschaftler:innen vor einem Rätsel. Coho-Lachse (Silberlachse), die aus der Bucht vor der amerikanischen Grossstadt Seattle in Bäche und Flüsse zurückkehrten, starben, bevor sie ihre Eier legen konnten. Der Grund dafür war unbekannt, aber es schien einen Zusammenhang mit giftigen Chemikalien zu geben, die von kommunalen Strassen und Autobahnen abfliessen und so in die Gewässer gelangen. Erst im Jahr 2020 gelang es einer Forschungsgruppe, den Verursacher des Massensterbens ausfindig zu machen: 6PPD-Chinon (6PPD-Q), eine Substanz, die aus Autoreifen freigesetzt wird, im Strassenstaub landet und das Wasser belastet.²

Seither sind Umweltlabore in den USA, Europa und Asien dabei, den Eintrag von Reifenabrieb in die Umwelt, die darin enthaltenen Giftstoffe und deren Auswirkung auf Mensch und Natur zu analysieren. Noch ist die Datenlage dürftig. Erste Erkenntnisse lassen jedoch aufhorchen und zeigen, dass die Problematik rund um Reifenabrieb über Jahrzehnte stark unterschätzt wurde.

Wie entsteht Reifenabrieb?

Beim Kontakt des Reifens mit der Strasse lösen sich Partikel. Diese bestehen oft aus einem Gemisch aus Strassen- und Reifenmaterial. Folgende Faktoren beeinflussen den Reifenabrieb:

- die Eigenschaften des Reifens wie Material und Struktur
- das Gewicht des Fahrzeugs und die Radaufhängung
- die Art der Fahrbahn und der Streckenverlauf
- die Geschwindigkeit und das Fahrverhalten

Autoreifen bestehen aus vielen Komponenten

Autoreifen bestehen nur zu etwa 40 bis 50 Prozent aus Gummi. Dieser stammt heute üblicherweise nicht mehr aus natürlichen Quellen, sondern es handelt sich um ein synthetisches Polymer aus Styrenbutadien und Polybutadien. Dieser Kunststoff ist nur schwer natürlich abbaubar und trägt in besonderem Masse zur Mikroplastikverschmutzung in der Schweiz und im Ausland bei. Schätzungen gehen davon aus, dass bis zu 93 Prozent des in der Schweiz freigesetzten Mikroplastiks aus Reifenabrieb stammen.^{3,4} Aufgrund einer fehlenden einheitlichen Messmethodik ist der Herkunftsnachweis jedoch schwierig.



REIFENABRIEB – VERTEILUNG IN DER UMWELT

Die Berechnung der Gesamtmenge des Reifenabriebs in der Schweiz kommt je nach Methode zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die aktuellsten Studien schätzen diese auf 13 500 bis 21 200 Tonnen pro Jahr resp. 1,6 bis 2,5 kg pro Jahr und Einwohner:in.⁵

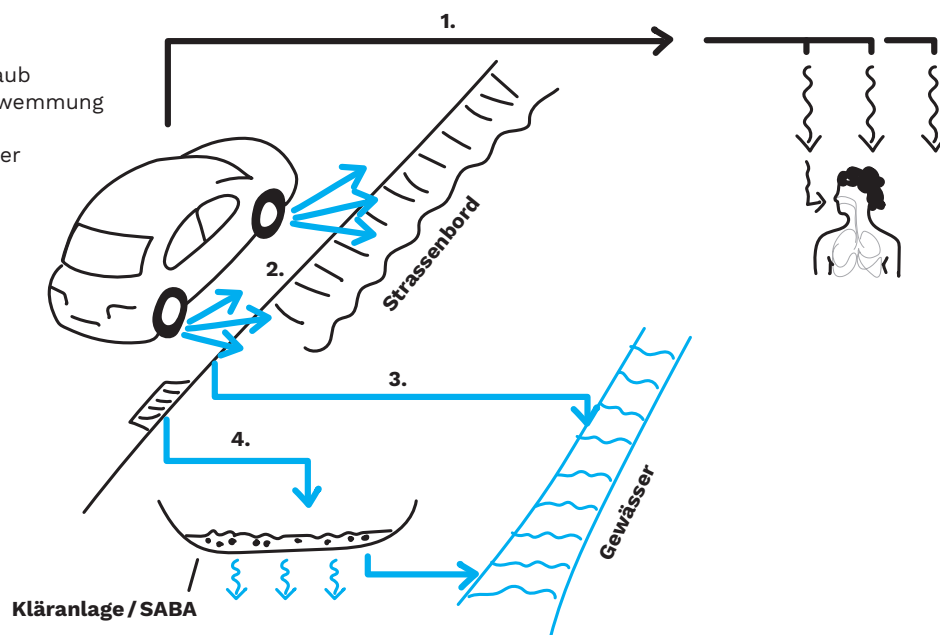
Reifenabrieb gelangt über zwei Wege in die Umwelt: Gelöst im Strassenabwasser oder als Staubbpartikel über die Luft. Schätzungen ergeben, dass

etwas mehr als die Hälfte des Reifenabriebs auf dem Boden liegen bleibt – oft verfrachtet durch Spritzwasser in unmittelbarer Nähe zu den Strassen. Ein etwas geringerer Anteil landet in Oberflächengewässern oder wird von Klär- oder Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA) zurückgehalten. Je kleiner die Partikel, desto schwieriger ist es, diese mittels Sedimentation in Absetzbecken zurückzuhalten.⁶

Verteilung von Reifenabrieb in die Umwelt

Transportwege

1. über die Luft/Feinstaub
2. Spritzwasser/Abschwemmung in den Boden
3. Einleitung in Gewässer
4. Filtration in Kläranlage/SABA



Transport über die Luft

Zahlreiche Studien belegen die Belastung der Umgebungsluft mit Reifenabrieb in der Nähe von Strassen. Während die Konzentration von Partikeln aus Verbrennungsprozessen dank veränderter Treibstoffe und besserer Abgasfilterung zurückging, blieb die Luftbelastung durch Reifenabrieb konstant. Mit zunehmender Distanz zu Strassen verringert sich zwar die Reifenabrieb-Konzentration. Grundsätzlich können die Partikel mit dem Wind aber überall hin verfrachtet werden – bis in abgelegene Bergseen (s. weiter unten).

Eine Studie des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) hat 2020 zwei stark belastete Standorte genauer untersucht (Bern Bollwerk und Zürich Kaserne) und dabei drei Partikelgrössen unterschieden: 1–2,5 Mikrogramm (μg), 2,5–10 μg sowie 10–80 μg . Je kleiner die Partikel, desto tiefer können sie in die Lunge eindringen. Ein spezieller Fokus liegt darum auf Partikel unter 10 μg . Beim Standort Bern Bollwerk konnten in der Partikelgruppe 2,5–10 μg 23 Prozent als Reifenabrieb identifiziert werden.

Bei weiteren 20 Prozent handelt es sich um Metallabrieb, der vom Bahn- und ebenfalls vom Strassenverkehr stammt.⁷

Transport im Wasser

Der grösste Anteil des Reifenabriebs wird bei Regen und Schnee vom Wasser abtransportiert.

Ein Teil davon wird abgeschwemmt. Verfügt die Strasse über ein Entwässerungssystem, wird das verschmutzte Wasser dort eingeleitet. Es fliesst von dort entweder ins nächste Gewässer oder kann in einer Kläranlage oder SABA bis zu einem gewissen Grad gefiltert werden. Je länger die Reifenabrieb-Partikel im Wasser verbleiben, desto mehr Additive können sich lösen.⁸ Ist kein Entwässerungssystem vorhanden, fliesst das verschmutzte Wasser seitlich ins Strassenbord, wo sich der Reifenabrieb im Boden anreichert.

Ein weiterer Anteil des Reifenabriebs wird vom Spritzwasser von der Strasse gefegt und bleibt zum grössten Teil auf dem Boden in der Nähe der Strasse liegen.

ZWISCHENFAZIT

Reifenabrieb ist überall zu finden. Die höchsten Konzentrationen finden sich in Böden in unmittelbarer Nähe zu Strassen und in kleinen Fliessgewässern, die ungefiltertes Strassenabwasser aufnehmen. Zwar helfen Massnahmen wie Sickergruben und Kläranlagen dabei, das Strassenabwasser zu filtern und so den Reifenabrieb-Eintrag in die Umwelt zu vermindern. Klar ist aber auch, dass ein nicht unerheblicher Anteil über die Luft verfrachtet wird und so auch Böden und Gewässer fernab von Strassen kontaminieren kann. Zudem gehört Reifenabrieb mit seinen diversen Additiven zum Feinstaub-Cocktail, den wir täglich einatmen.



Im Schnee wird Reifenabrieb sichtbar.

TOXISCHE ADDITIVE VON REIFENABRIEB

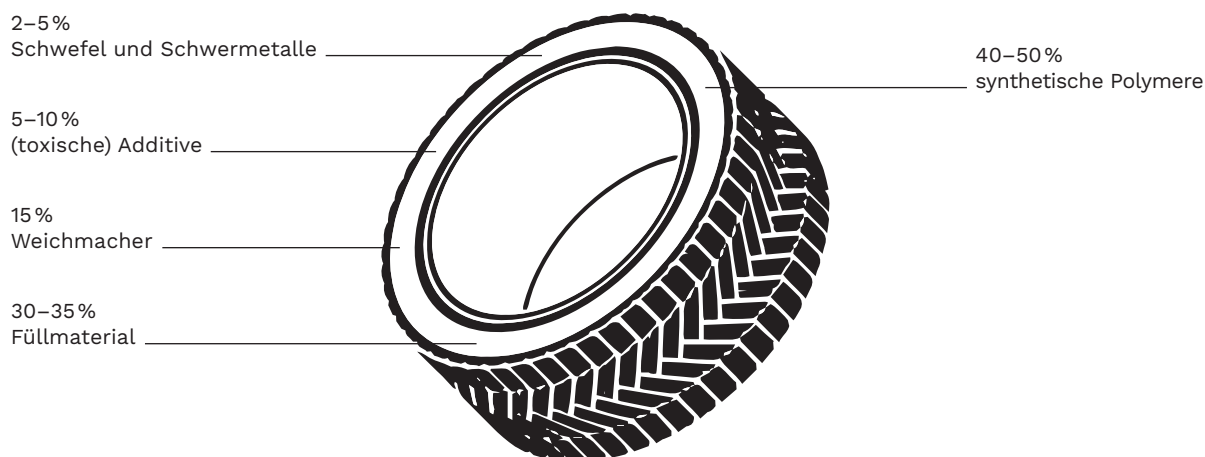
Neben dem synthetischen Gummi-Anteil von 40 bis 50 Prozent, finden sich folgende weitere Substanzen in Fahrzeugreifen:

- Füllmaterial wie Russ, Siliziumoxid und Kreide (30 bis 35 Prozent)
- Weichmacher: diverse synthetische Substanzen aus der Ölindustrie (15 Prozent)
- Schwefel und Schwermetalle wie Zink, Kupfer, Blei und Cadmium (2 bis 5 Prozent)
- Weitere Additive wie Schutzmittel, Oxidationshemmer und Plastifizierungsmittel (5 bis 10 Prozent)

Der Russ im Reifenabrieb ist eine Emissionsquelle für die Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). Einige von ihnen können erwiesenermassen Krebs verursachen und als erbgutverändernd, fortpflanzungsschädigend und entwicklungsschädigend angesehen werden.⁹

Andere synthetische Komponenten und Schwermetalle stehen unter anderem im Verdacht, ebenfalls Krebs auszulösen oder die Embryonalentwicklung im Mutterleib zu beeinträchtigen.

Zusammensetzung eines Autoreifens



6PPD-Chinon

Ein besonderes Augenmerk legt die Wissenschaft derzeit auf 6PPD, einen Oxidationshemmer, der bei der Reifenherstellung eine weit verbreitete Anwendung findet, da er die Lebensdauer der Reifen verlängert. In Kontakt mit Ozon wandelt sich die Substanz unter anderem in 6PPD-Chinon (6PPD-Q), jene Substanz, die das Sterben der Coho-Lachse in Seattle verursacht (siehe weiter oben). Diese Umwandlung wird durch Sonnenlicht und hohe Temperaturen begünstigt, was darauf schliessen lässt, dass 6PPD-Q in den Sommermonaten in höherer Konzentration vorkommt.¹⁰ Die Halb-

wertszeit von 6PPD-Q in der Umwelt wird auf etwa einen Monat geschätzt.¹¹ Neben 6PPD-Q wurden mehr als 30 weitere 6PPD-Abbauprodukte identifiziert, über deren Umweltauswirkungen nur wenig bekannt ist.⁸

Verbreitung der Additive

Wie weiter oben beschrieben, kann Reifenabrieb praktisch überall hin verfrachtet werden. Entsprechend finden sich die Additive auch an abgelegenen Orten, so zum Beispiel im Wasser von Bergseen. Verläuft wie beim Lac de Joux eine Strasse neben dem See, ist die Schadstoffbelastung höher.

See	Anilin	6PPD-Q	DPG	HMMM
Tomasee GR (2345 m.ü.M)	1.55	0.24	0.81	0.07
Ritomsee TI (1850 m.ü.M)	2.09	–	1.77	0.07
Obersee GL (982 m.ü.M)	2.69	0.17	2.03	0.07
Lac de Joux VD (1004 m.ü.M)	11.33	1.58	70.73	2.26

Durchschnittliche Konzentration von Additiven aus Reifenabrieb im Seewasser in Nanogramm (ng) pro Liter aus je drei Messungen (Daten zur Verfügung gestellt vom Central Environmental Laboratory der EPFL).

AUFNAHME UND AUSWIRKUNG VON TOXISCHEN ADDITIVEN IM KÖRPER

Reifenabrieb und Zusatzstoffe gelangen über verschiedene Wege in den menschlichen Körper: Eingeatmet als Feinstaub, über kontaminiertes Wasser oder über Lebensmittel, die auf kontaminiertem Boden gewachsen sind. Insbesondere bei Blattgemüse wie Salat konnte nachgewiesen werden, dass es grössere Mengen an Giftstoffen aufzunehmen vermag.^{12,13}

Toxische Additive in Blattgemüse

Nur wenige spezialisierte Labors sind zurzeit in der Lage, Additive aus Reifenabrieb nachzuweisen.

Entsprechend dürftig ist die Datenlage. Zogen Forscher:innen der Universität Wien Kopfsalat in mit Additiven kontaminiertem Wasser auf, konnten sie nach 14 Tagen alle Substanzen in den Pflanzen messen.¹⁴ Im Anschluss daran haben die Forschenden 2023 im Auftrag des K-Tipp Salatproben aus der Schweiz untersucht. Fazit: In fast allen Proben waren ebenfalls Giftstoffe aus Autoreifen nachweisbar, in sehr unterschiedlichen Konzentrationen und in konventionell angebauten genauso wie in Bio-Produkten.¹⁵

Probe	Pflanze	DPG	5-MBTR	BTZ	6PPD	IPPD	CPPD
CH-01	Chicorée	0.4	–	–	–	–	–
CH-02	Nüsslisalat	–	–	–	0.3	–	–
CH-03	Nüsslisalat	–	–	–	0.2	–	–
CH-04	Kopfsalat	2.1	–	14.7	0.4	0.1	–
CH-05	Nüsslisalat	–	–	18.2	0.3	–	–

Durchschnittliche Schadstoffkonzentration in Schweizer Blattgemüse in Nanogramm (ng) pro Gramm Trockenmasse aus je drei Proben.¹³ Da nur ein Teil der Additive von der Pflanze extrahiert werden konnte, sind die realen Werte wahrscheinlich höher als die gemessenen. Steht «–», liegt die Konzentration unter der Nachweisgrenze.

Bei der Probe CH-04 gehen die Studienautor:innen davon aus, dass der Kopfsalat in der Nähe einer Plastikfabrik im St.Galler Rheintal angebaut worden ist, was die Quelle der erhöhten Schadstoffkonzentration erklären könnte. Da das Feld unmittelbar neben der A13 liegt, könnte aber ebenfalls von der Autobahn verfrachter Reifenabrieb die erhöhte Konzentration erklären.

Die von der Uni Wien veröffentlichte Studie¹³ untersuchte neben dem Schweizer auch ausländisches, in Schweizer Supermärkten verkaufte

Blattgemüse, dessen Schadstoffkonzentration dem des im Inland angebauten Blattgemüses ähnelt. Daraus schätzten die Autor:innen die durchschnittliche und maximale tägliche Aufnahme pro Person von fünf Substanzen durch den Verzehr von Blattgemüse in der Schweiz, das selbstredend nur einen geringen Teil der gesamten Nahrung ausmacht.

Substanz	DPG	BTZ	6PPD	IPPD	CPPD
durchschnittlich	0.3	12	0.2	0.04	–
maximal	4.0	313	2.6	1.1	–

Geschätzte tägliche Aufnahme von fünf Additiven aus Reifenabrieb via Konsum von Blattgemüse in ng/Person/Tag¹³

Messung von Additiven im Körper

Kommt Reifenabrieb mit menschlichen Flüssigkeiten wie Speichel, Magensaft, Darmflüssigkeit und Galle in Kontakt, können darin 6PPD, 6PPD-Q, HMMM und diverse andere polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) nachgewiesen werden.¹⁶ 2022 wurden 6PPD und 6PPD-Q erstmals im menschlichen Urin gemessen. Dabei wurden die Proband:innen in drei verschiedene Gruppen unterteilt: «Durchschnittliche» Erwachsene,

schwängere Frauen und Kinder. In der chinesischen Studie wurden die beiden Substanzen je nach Gruppe bei 60–100 Prozent der Proband:innen nachgewiesen, wobei die Gruppe der schwangeren Frauen die höchsten Werte aufwies. Generell war die Konzentration von 6PPD-Q höher als die von 6PPD. Die Forschenden vermuten, dass 6PPD rasch von der Leber umgewandelt wird, während das gefährlichere 6PPD-Q über den Urin ausgeschieden wird.¹⁷

Bei den Messungen verwendete Abkürzungen:

5-MBTR: 5-methyl-1H-Benzotriazol

6PPD: N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamin

6PPD-Q: 6PPD-Chinon / 2-((4-Methylpentan-2-yl)amino)-5-(phenylamino)cyclohexa-2,5-diene-1,4-dione

BTZ: Benzothiazol

CPPD: N-phenyl-N'-cyclohexyl-p-phenylenediamin

DPG: 1,3-Diphenylguanidin

HMMM: Hexa(methoxymethyl)melamin

IPPD: N-isopropyl-N-phenyl-4-phenylenediamin

Auswirkungen von 6PPD und 6PPD-Q auf die Gesundheit

Generell wird die Abschätzung der Toxizität von Umweltgiften auf den Menschen durch eine Vielzahl von Faktoren erschwert. Die Beziehung zwischen der Dosis eines Toxins und der Wirkung auf den Menschen kann variieren: Kinder, ältere Menschen und schwangere Frauen sind möglicherweise empfindlicher gegenüber bestimmten Chemikalien. Die Länge der Exposition spielt eine entscheidende Rolle und Menschen sind stets einem Gemisch von Chemikalien gleichzeitig ausgesetzt, die sich gegenseitig beeinflussen können. Allfällige Tierversuche lassen nur bedingt auf den Menschen rückschliessen, da sich biologische Prozesse unterscheiden. Insgesamt erfordert die Abschätzung der Toxizität von Umweltgiften auf den Menschen eine interdisziplinäre Herangehensweise, die toxikologische, epidemiologische, genetische und Umweltfaktoren berücksichtigt und erst über längere Zeiträume verlässliche Ergebnisse liefert.

Wie eingangs dieses Factsheets erwähnt, intensivierte sich die Forschung 2020 rund um Reifenabrieb im Zusammenhang mit dem starken Populationsrückgang des Coho-Lachses vor Seattle. Entsprechend wurden diverse Studien mit aquatischen Organismen, namentlich mit Fischen, und dem als besonders bedenklichen Additiv 6PPD-Q durchgeführt. Unter anderem konnte gezeigt werden, dass 6PPD-Q eine Auswirkung auf die Konzentration von Neurotransmittern im Gehirn der Fische hat sowie auf die mRNA-Expression von Genen, die mit den Neurotransmittern im Zusammenhang stehen.¹⁸

Aufhorchen lässt dieselbe Studie, weil sie nachweisen konnte, dass 6PPD-Q die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke (BHS) bei menschlichen Zellen erhöht.¹⁸ Eine erhöhte Durchlässigkeit der BHS

erleichtert das Eindringen von neurotoxischen Blutprodukten, Zellen und Krankheitserregern in das Gehirn und ist mit Entzündungs- und Immunreaktionen verbunden, die neurodegenerative Prozesse auslösen können.¹⁹ Entzündungen im Nervengewebe werden unter anderem als Risikofaktor für ADHS vermutet.²⁰ Auch wird eine veränderte Durchlässigkeit der BHS mit psychischen Erkrankungen wie Depressionen und Schizophrenie in Verbindung gebracht.²¹ Der Befund, dass die Rücken-Hirnflüssigkeit von Parkinson-Patienten eine rund doppelt so hohe 6PPD-Q-Konzentration aufwies, wie die in einer gesunden Vergleichsgruppe, liefert einen weiteren Hinweis auf die möglichen Risiken von 6PPD-Q fürs menschliche Gehirn.²²

Mäuse, denen täglich geringe Mengen an 6PPD-Q verfüttert wurden, zeigten bereits nach 21 Tagen eine Störung der Darmbarriere im Dünndarm. 6PPD-Q könnte als Cannabinoidrezeptor-Agonist die Aufnahme von gewissen Nährstoffen in der Verdauung hemmen und eine Darmentzündung verursachen.²³

Weitere mögliche Effekte von Reifenabrieb

Bei Kulturen von menschlichen Lungenzellen und menschlichen Makrophagen (Immunzellen) wurden DNA-Schäden und entzündliche Wirkungen beobachtet.²⁴ Auch eine andere Studie beobachtete einen signifikanten Anstieg der Zellsterblichkeit und DNA-Schäden, als menschliche Lungenzellen Extrakten aus Reifenabrieb ausgesetzt wurden.²⁵

Chemikalie	CAS No.	Hazard Statements																					
		H 301	H 302	H 311	H 312	H 314	H 315	H 317	H 318	H 319	H 320	H 331	H 332	H 335	H 341	H 351	H 360	H 361	H 372	H 400	H 410	H 411	H 412
6PPD	793-24-8		x					x									x			x	x		
6PPD-Q	2754428-18-5		x																		x		
HMMM	3089-11-0									x													
DPG	102-06-7	x					x			x				x				x				x	
BTZ	95-16-9	x		x						x			x										
Anilin	62-53-3	x		x				x	x			x			x	x			x	x	x		
C-DMU	31468-12-9		x							x													
D-DPU	85-98-3		x																				x
M-DCA	7560-83-0	x		x		x			x													x	
NCBA	28291-75-0		x				x			x				x									
24MoBT	4225-26-7	x			x		x			x			x	x									
2-ABT	136-95-8		x							x													
2-OHBT	934-34-9		x		x								x										
2-MTBT	615-22-5						x			x				x									
5-MBTR	136-85-6		x			x			x					x									
BTR	95-14-7		x							x												x	
2-MBT	149-30-4							x												x	x		
DCHA	101-83-7	x		x		x														x	x		
2-PBM	716-79-0		x				x		x					x									
IPPD	101-72-4		x					x												x	x		
77PD	3081-14-9		x					x												x	x		
DPPD	74-31-7							x															x
X44PD	101-96-2	x				x		x	x												x	x	
CPPD	101-87-1		x							x									x		x		
DNPD	93-46-9						x	x		x													
IPPD-Q	68054-73- 9		x					x												x	x		
CPPD-Q	68054-78-4		x				x			x													

Unvollständige Liste von bekannten Additiven aus Reifenabrieb und zugehörigen Gefahrensätzen, sofern bekannt.^{26,27} Viele weitere Substanzen und Abbauprodukte aus Reifenabrieb wurden entdeckt, aber nicht auf ihre Toxizität hin untersucht.

GESAMTFAZIT

Noch steckt die Forschung bezüglich toxischer Additive im Reifenabrieb in den Kinderschuhen. Umwelttoxikologie ist komplex und oft vergehen viele Jahre, bis das Risiko einer einzelnen oder das schädliche Zusammenspiel mehrerer Substanzen nachgewiesen werden kann. Und doch fördern aktuelle Erkenntnisse bereits bedenkliche Hinweise zutage: Nicht nur verursacht Strassenverkehr CO₂, Unfälle, Lärm, grosse Mengen an Mikroplastik und belegt rund zwei Prozent des Schweizer Bodens, sondern es ist auch davon auszugehen, dass diverse psychische Krankheiten, Entzündungen des Darmtrakts und der Atemorgane direkt oder indirekt durch die chronische Belastung mit Schwermetallen und den oftmals giftigen Additiven aus Reifenabrieb verstärkt werden könnten. Wir atmen sie ein oder nehmen sie über unsere Nahrung auf und es ist eigentlich unmöglich, sich in der dicht besiedelten Schweiz davor zu schützen.

Die gute Nachricht ist, dass viele dieser Additive eher kurze Halbwertszeiten haben in der Natur. Mit einer Reduktion des Strassenverkehrs und einer damit einhergehenden Verminderung der Reifenabrieb-Emissionen könnte die Belastung für Mensch und Umwelt rasch gesenkt werden. Grund genug, den motorisierten Individualverkehr durch einen weiteren Ausbau des Strassennetzes nicht noch weiter zu fördern, sondern konsequent auf ein attraktives öffentliches Verkehrsnetz zu setzen.



QUELLENVERZEICHNIS:

Alle Links zuletzt besucht am 05.09.2024.

- 1 Ambrosini, Roberto, et al., 2019. First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. *Environmental Pollution*, 2019, vol 253, p. 297–301.
- 2 Tian, Z., et al, 2021. A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon. *Science*, 2021, 371(6525), p. 185–189.
- 3 Sieber, Ramona, et al., 2020. Dynamic probabilistic material flow analysis of rubber release from tires into the environment. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 258.
- 4 <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-77082.html>
- 5 Dimopoulos Eggenschwiler, P., et al., 2022. Reifenabrieb als grösste Quelle von Mikroplastik – Massnahmen zur Verminderung. EMPA Grundlagenbericht.
- 6 VSS/ASTRA, 2021. Optimierung einer Nachrüstung für Strassenabläufe (Schlammsammler). Forschungsprojekt VSS 2017/225 auf Antrag des Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS).
- 7 Rausch, Juanita, et al., 2020. Charakterisierung und Herkunftsbestimmung von Grobstaubpartikeln im PM10, REM/EDX Einzelpartikelanalytik an den NABEL-Standorten Bern Bollwerk und Zürich Kaserne. BAFU Schlussbericht.
- 8 Seiwert, Bettina, et al., 2022. Abiotic oxidative transformation of 6-PPD and 6-PPD quinone from tires and occurrence of their products in snow from urban roads and in municipal wastewater. *Water Research*, 2022, vol 212.
- 9 BAG, 2020. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Factsheet.
- 10 Huang, Wei, et al., 2021. Occurrence of Substituted p-Phenylenediamine Antioxidants in Dusts. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2021, 8, 5, 381–385.
- 11 Fohet, Loélia, et al., 2023. Time-concentration profiles of tire particle additives and transformation products under natural and artificial aging. *Science of The Total Environment*, 2023, vol 859, Part 1.
- 12 Ben Mordechay, Evyatar, et al., 2022. Fate of contaminants of emerging concern in the reclaimed wastewater-soil-plant continuum. *Science of The Total Environment*, vol 822, 2022.
- 13 Sherman, Anya, et. al., 2024. Uptake of tire-derived compounds in leafy vegetables and implications for human dietary exposure. *Front. Environ. Sci.*, 2024, vol 12.
- 14 Stephanie, et al., 2023. Uptake, Metabolism, and Accumulation of Tire Wear Particle-Derived Compounds in Lettuce. *Environ. Sci. Technol.*, 2023, 57, 168–178.
- 15 Schildknecht, Andreas, 2023. Test: Chemikalien aus Autopneus landen im Salat. K-Tipp 13/2023.
- 16 Armada, Daniel, et al., 2023. Assessment of the bioaccessibility of PAHs and other hazardous compounds present in recycled tire rubber employed in synthetic football fields. *Science of The Total Environment*, 2023, vol 857, Part 2.
- 17 Du, Bibai, et al., 2022. First Report on the Occurrence of N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine (6PPD) and 6PPD-Quinone as Pervasive Pollutants in Human Urine from South China. *Environmental Science & Technology Letters*, 2022, vol 9.
- 18 Liao, Xiao-Liang, et al., 2024. Neurological impairment is crucial for tire rubber-derived contaminant 6PPDQ-induced acute toxicity to rainbow trout. *Science Bulletin*, 2024, vol 69, Issue 5, p. 621–635.
- 19 Sweeney, Melanie D., et al., 2018. Blood-brain barrier breakdown in Alzheimer disease and other neurodegenerative disorders. *Nat Rev Neurol* 14, 2018, 133–150.
- 20 Dunn Geoffrey A., et al., 2019. Neuroinflammation as a risk factor for attention deficit hyperactivity disorder. *Pharmacol Biochem Behav.*, 2019, 182:22-34.
- 21 Binli Shang, Binli, et al., 2024. Higher Blood-brain barrier permeability in patients with major depressive disorder identified by DCE-MRI imaging. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 2024, vol 337.
- 22 Fang, Jiacheng, et al., 2024. 6PPD-quinone exposure induces neuronal mitochondrial dysfunction to exacerbate Lewy neurites formation induced by α-synuclein preformed fibrils seeding. *Journal of Hazardous Materials*, 2024, vol 465.
- 23 Yan Yang, Yan, et al., 2024. Environmentally realistic dose of tire-derived metabolite 6PPD-Q exposure causes intestinal jejunum and ileum damage in mice via cannabinoid receptor-activated inflammation. *Science of The Total Environment*, 2024, vol 918.
- 24 Karlsson, Hanna L., et al., 2008. Mechanisms Related to the Genotoxicity of Particles in the Subway and from Other Sources. *Chem. Res. Toxicol.*, 2008, 21, 3, 726–731.
- 25 Gualtieri, Maurizio, et al., 2005. Toxicity of tire debris extracts on human lung cell line A549. *Toxicology in Vitro*, 2005, vol 19, Issue 7.
- 26 <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- 27 <https://www.sigmaldrich.com/CH/de>



GREENPEACE

Impressum

Reifenabrieb: Unser täglich Gift gib uns heute

Greenpeace Schweiz, September 2024

Autor: Nathan Solothurnmann

Mit speziellem Dank an:

Florian Breider, CEL EPFL, Lausanne, CH

Kevin Bridgen & David Santillo, Greenpeace Science Unit, Exeter, UK

Andreas Schildknecht, K-Tipp, Zürich, CH

Korrektorat: Urs Wittwer

Layout: Marjeta Morinc

Fotos: ©Shadrach Warid/Unsplash (Coverfoto), ©Timmitom (S.5), ©Shutterstock (S.12)

Greenpeace Schweiz, Badenerstrasse 171, Postfach, CH-8036 Zürich
schweiz@greenpeace.org

Greenpeace finanziert ihre Umweltarbeit ausschliesslich durch Spenden von Privatpersonen und Stiftungen. greenpeace.ch/de/handeln/spenden
Spendenkonto: IBAN CH07 0900 0000 8000 6222 8