



PLASTIK UND ONE HEALTH

EIN EVIDENZBASIERTER AUFRUF
FÜR GLOBALE REGELN

Der WWF – der World Wide Fund for Nature – ist eine unabhängige Naturschutzorganisation mit mehr als vier Millionen Förder:innen, die in einem globalen Netzwerk in über 100 Ländern der Erde aktiv ist. Sein Auftrag ist es, die Zerstörung von Natur und Umwelt zu stoppen und eine Zukunft zu gestalten, in der Mensch und Natur in Einklang leben. Dazu ist es nötig, die biologische Vielfalt der Welt zu erhalten, die natürlichen Ressourcen nachhaltig zu nutzen, verschwenderischen Konsum genauso wie die Umweltverschmutzung zu verringern und das Klima zu schützen.

IMPRESSUM

Herausgeber	WWF Deutschland (Stiftung bürgerlichen Rechts, vertreten durch die Vorständin Meike Rothschild), Reinhardtstraße 18, D-10117 Berlin
Datum	Juli 2025
Koordination	Franziska Bäckemo (WWF) und Hanna Eberhard (WWF)
Kontakt	hanna.eberhard@wwf.de
Autor:innen	Adam Green (Type Ventures), Olivia Hallett (Type Ventures), Prof. Dr. Stefan Krause (Fakultät für Geografie, Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Birmingham und Birmingham Plastics Network) und Meredith Soward (WWF)
Redaktion	Thomas Köberich (WWF Deutschland)
Mitwirkende	John Duncan (WWF), Laura Griestop (WWF), May Hokan (WWF), Huy Ho (WWF), Zaynab Sadan (WWF) und Rebecca Tauer (WWF)
Review	Prof. Iseult Lynch (Fakultät für Geografie, Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Birmingham)
Design	Epoq Studio epoqstudio.com

Bildnachweise

Cover: Getty Images/Robert Podlaski; S. 2/3: WWF-UK/Sam Hobson; S. 4: Getty Images/panaramka; S. 6: Getty Images/epicurean; S. 7: WWF/Greg Armfield; S. 8: Getty Images/Tinnakorn Jorruang; S. 9: Getty Images/Margot Cavin; S. 11/15: WWF/Vincent Kneefel; S. 16: Getty Images/Olha Romaniuk; S. 18: Marlon Trottmann/panaramka; S. 22: WWF/Vincent Kneefel; S. 23: WWF/Markus Winkler; S. 25: WWF-UK/Warren Smart; S. 26: WWF/Nick Garbutt; S. 28: WWF/Markus Winkler; S. 29: Unsplash/Joshua Lawrence; S. 30: WWF/Markus Winkler; S. 31: Unsplash/Jas Min; S. 35: Getty Images/vovashevchuk; S. 37: Unsplash/Zuzanna Szczepanska; S. 39: Unsplash/billow926; S. 42: Unsplash/Zoshua Colah; S. 44: Getty Images/Zarina Lukash; S. 53: Unsplash/Naja Bertolt

In Zusammenarbeit mit



UNIVERSITY OF
BIRMINGHAM



Birmingham Institute
for Sustainability
and Climate Action





INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG	05
2. EINFÜHRUNG	09
3. DIE GESUNDHEITSRISIKEN DER PLASTIKVERSCHMUTZUNG VERSTEHEN	12
3.1 Wie Mikroplastik in die Umwelt gelangt	12
3.2 Die ökologischen Folgen der Plastikverschmutzung	13
3.3 Plastik und menschliche Gesundheit	15
4. VON DER EVIDENZ ZUM HANDELN: POLITISCHE PRIORITÄTEN FÜR DEN WANDEL	24
5. TECHNISCHER ANHANG	32
5.1 Phthalate	33
5.2 Bisphenole	36
5.3 UV-Stabilisatoren und Alkylphenole	38
5.4 Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)	40
5.5 Flammschutzmittel	41
5.6 Metalle, Halbmetalle und Metallverbindungen	43
LITERATURVERZEICHNIS	45



Mikro- und Nanoplastik und plastikassoziierte Chemikalien werden in Atemluft, Trinkwasser und in Nahrung gefunden. Daraus ist ein ernsthaftes Risiko für die Gesundheit von Mensch, Tier und Natur erwachsen. Um dem zu begegnen, sind globale Regeln dringend nötig.

1. ZUSAMMENFASSUNG

Plastikverschmutzung ist nicht nur ein Umweltproblem. Vielmehr ist sie Ausgangspunkt einer wachsenden globalen Gesundheitskrise. Plastik gelangt sowohl in aquatische als auch terrestrische Ökosysteme – und schädigt sie. Mehr noch: Mikro- und Nanoplastik (MnPs) gelangen auch in unsere Körper und stellen für Menschen und Tieren potenzielle Gesundheitsrisiken dar. MnPs wurden in der Luft, die wir atmen, im Trinkwasser und in zahlreichen Nahrungsmitteln nachgewiesen. Die potenziellen negativen Effekte auf die Organsysteme des menschlichen Körpers sind weitreichend und lang anhaltend. Und es tauchen immer mehr wissenschaftliche Belege für ihre Bedrohlichkeit auf.

Die Kontaminierung mit mikroskopisch kleinen Plastikpartikeln birgt nicht nur physikalische, sondern auch chemische Risiken. Denn neben den Plastikpartikeln selbst werden giftige Zusatzstoffe und dem Plastik zugesetzte Chemikalien mit ernsthaften Erkrankungen in Verbindung gebracht: mit Entwicklungsstörungen im Kindesalter, mit Unfruchtbarkeit, Krebs, mit Erkrankungen der Atemwege sowie des Herz- und Kreislaufsystems.

Hilfreich beim Verstehen der gesundheitlichen Folgen von Plastikverschmutzung ist ein One-Health-Ansatz, der die Zusammenhänge zwischen der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt ganzheitlich betrachtet.

Diese Schäden betreffen nicht nur Menschen. Sie erstrecken sich über alle Ökosysteme. Plastikverschmutzung und damit verbundene Chemikalien schädigen Wildtiere wie Nutztiere. Dabei vollziehen sich biologische Störungen, die denen beim Menschen vergleichbar sind. Hilfreich beim Verstehen der gesundheitlichen Folgen von Plastikverschmutzung erweist sich einmal mehr der One-Health-Ansatz, der die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt ganzheitlich betrachtet. Studien an Menschen und Tieren verdanken wir unser Wissen darüber, welche Schäden durch Plastik hervorgerufen werden können und welche systemische Bedrohung für alle Lebewesen und Ökosysteme von Plastikverschmutzung ausgehen.

Die globalen und nationalen Regulierungen haben alle Mühe, mit den schnell wachsenden wissenschaftlichen Erkenntnissen Schritt zu halten. Noch hat die Forschung nicht auf alle Fragen Antworten gefunden. Doch schon jetzt verweisen die vorliegenden Arbeiten auf Zusammenhänge zwischen Plastikzusätzen und Erkrankungen, die uns beunruhigen sollten.

Zu den besorgniserregendsten Schadstoffen zählen endokrine Disruptoren, (hormonverändernde) Chemikalien wie Phthalate und Bisphenole, die Fortpflanzungshormone und Gehirnentwicklung beeinträchtigen, außerdem die als „Ewigkeitschemikalien“ bekannten PFAS (Per- und Polyfluoralkylsubstanzen), die mit Krebs, Immunsuppression und Stoffwechselerkrankungen in Verbindung gebracht werden. Besonders während Schwangerschaft und Kindheit gehen von ihnen Risiken aus, da eine frühe Exposition zu dauerhaften gesundheitlichen Schäden führen kann.

Aller Erkenntniszuwachs in diesen Bereichen muss auch Einfluss auf eine wissenschaftlich fundierte Gesetzgebung haben, um die Belastung durch Mikroplastik und die in Plastik enthaltenen giftigen Chemikalien zu reduzieren. Maßnahmen müssen bei glaubwürdigen Risikohinweisen auch dann ergriffen werden, wenn noch keine absolute wissenschaftliche Gewissheit besteht. Dieses Vorsorgeprinzip ist unerlässlich, um langfristige Schäden zu vermeiden. Das Montrealer Protokoll von 1987 zum Beispiel stellt hierfür einen eindrücklichen Präzedenzfall dar: Denn mit seiner Unterzeichnung begann der schrittweise Verzicht auf ozonschädigende Substanzen (Fluorchlorkohlenwasserstoffe oder FCKW). Voraus gingen wissenschaftliche Erkenntnis und Rat. Ihnen folgte entschlossenes politisches Handeln, dem wir es verdanken, dass Millionen von Hautkrebsfällen¹ verhindert und die Ozonschicht geschützt werden konnten.

Plastikverschmutzung macht vor Grenzen nicht halt. Produktion, Verwendung und Entsorgung von Plastik sind Teile einer globalen Wertschöpfungskette. Die daraus resultierende Verschmutzung, einschließlich des entstandenen Mikroplastiks und bedenklicher plastikassoziierter Chemikalien, erstreckt sich über Kontinente.



Die Bewältigung dieser komplexen Krise erfordert koordiniertes globales Handeln. Ein Land allein kann sie nicht lösen. Dringend geboten ist ein globales Handeln, das auf neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und einem One-Health-Ansatz gründet. Ein solcher Ansatz eignet sich als global abgestimmte Antwort auf die Plastikkrise. Mehr noch: Er hilft, nicht nur unsere Ökosysteme und die Artenvielfalt zu schützen, sondern auch die Gesundheitsrisiken entscheidend zu reduzieren.

Das Momentum für einen rechtsverbindlichen globalen Vertrag zur Beendigung der Plastikverschmutzung wächst. Nun ist es an der Zeit, die gesundheitlichen Auswirkungen in den Mittelpunkt der Verhandlungen zu stellen. Der WWF fordert Regierungen und Verhandlungsführer dringend auf, die Gelegenheit zu nutzen, um einen ehrgeizigen globalen Plastikvertrag auszuarbeiten, der sowohl die Menschen als auch den Planeten schützt. Die Regierungen müssen sich auf einen Vertrag einigen, der tatsächliche Veränderungen bewirkt. Dies bedeutet, weltweite Verbote sicherzustellen und die schädlichsten und vermeidbarsten Plastikprodukte und die in ihnen enthaltenen bedenklichen Chemikalien schrittweise abzuschaffen.

Je länger wir zögern, desto höher werden die Kosten. Ein Vertrag, der die Plastikverschmutzung an ihrer Quelle bekämpft, ist nicht nur ökologisch unerlässlich. Er ist auch ein Gebot der öffentlichen Gesundheit. Jetzt ist die Zeit für mutiges, koordiniertes globales Handeln!



MINIMALANFORDERUNGEN AN EINEN GLOBALEN PLASTIKVERTRAG:



Globale Verbote

Abschaffung schädlicher Kunststoffe und Chemikalien



Kreislaufwirtschaft

Globale Regeln für Produktdesign



Finanzierung

Mechanismen, um Maßnahmen umzusetzen und zu verstärken



Zukunftssicherheit

Mechanismen zur Überprüfung und Stärkung des Abkommens im Laufe der Zeit

ÜBER DIESEN BERICHT

Dieser Bericht wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Birmingham entwickelt und vereint wissenschaftliche und politische Expertise. Die Universität Birmingham leitete die Forschung und die Evidenzanalyse, während der WWF an der strategischen Ausrichtung und politischen Gestaltung globaler Bemühungen zur Beendigung der Plastikverschmutzung arbeitete. Der Bericht basiert auf einer umfassenden Analyse der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Thema Plastik und Gesundheit. Er stützt sich auf eine breite Palette begutachteter Forschungsarbeiten und wissenschaftlicher Ressourcen: Human- und Tierstudien, systematische Übersichtsarbeiten, Beobachtungsstudien, Expertenanalysen sowie Erkenntnisse renommierter Organisationen wie der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Endocrine Society.

Die Evidenzgrundlage zu Mikro- und Nanoplastik (MnPs) und bedenklichen plastikbezogenen Chemikalien entwickelt sich rasant. Die frühe Forschung zu Plastik und der menschlichen Gesundheit konzentrierte sich weitgehend auf die Belastung am Arbeitsplatz, insbesondere auf die Auswirkungen von Zusatzstoffen auf die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmer:innen. Seitdem hat sich die wissenschaftliche Aufmerksamkeit deutlich erweitert. In den letzten Jahrzehnten hat die Zahl der Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Mikroplastik und plastikassoziierten Chemikalien stark zugenommen. Viele dieser Studien, insbesondere im Bereich der Ökotoxikologie, legten relativ hohe Konzentrationen zugrunde, um potenzielle Schädigungsmechanismen zu identifizieren. Es wächst jedoch die Zahl der Arbeiten, die von umweltrealistischen Konzentrationen ausgehen. Die Festlegung „realistischer“ Expositionen bleibt eine Herausforderung. Da das Monitoring von MnPs noch inkonsistent und unvollständig ist, sind die tatsächliche Variabilität der MnPs-Konzentrationen in der Umwelt und die daraus resultierenden Spitzenwerte der menschlichen Exposition weitgehend unbekannt.^{2, 3}



Der Nachweis von Kausalität in der Gesundheitswissenschaft ist selten einfach. Plastik bildet da keine Ausnahme. Fast alle Menschen sind heute MnPs und Plastikzusätzen ausgesetzt, was es schwierig macht, nicht exponierte Kontrollgruppen oder klare Basiswerte für die Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen zu identifizieren. Diese Komplexität erfordert eine Kombination von Methoden, darunter Tiermodelle, statistische Korrelation und Beobachtungsstudien, um ein umfassendes Bild der Risiken zu erhalten.

Dieses Papier spiegelt den aktuellen Stand der Wissenschaft wider, ist jedoch keine umfassende Übersicht. Trotz dieser Einschränkungen geben die überwiegenden Schlussfolgerungen der Studien verschiedener Disziplinen und Regionen allen Anlass für vorsorgendes politisches Handeln.

Ziel dieses Berichts ist es, komplexe, sich entwickelnde wissenschaftliche Erkenntnisse in nachvollziehbare politische Handlungsempfehlungen zu überführen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den gesundheitlichen Auswirkungen von Mikroplastik und der sechs wichtigsten Gruppen von Chemikalien, die häufig in Plastikprodukten enthalten sind. Es wird dargelegt, wie diese Stoffe in den menschlichen Körper gelangen, welche direkten gesundheitlichen Auswirkungen sie haben, welche biologischen Prozesse sie beeinflussen und welche weiteren Risiken für die Gesundheit von Tieren und die Umwelt bestehen. Die Schlussfolgerung enthält politische Empfehlungen auf Grundlage des aktuellen wissenschaftlichen Wissens.

2. EINFÜHRUNG

Aufgrund der inflationären Verwendung von Plastik finden sich nahezu überall Mikroplastikpartikel: in der Tiefe der Ozeane bis hoch hinauf in den Bergen, in der Luft, in Innenräumen, selbst in Lebensmitteln und im Trinkwasser.

Plastik ist ein Bestandteil unseres modernen Lebens. Seine Omnipräsenz ist zugleich Anlass zu wachsender Sorge. Denn Plastikverschmutzung schädigt die Umwelt. Sie wird zunehmend auch als ernste Bedrohung von Gesundheit und Ökosystemen erkannt. Aufgrund der inflationären Verwendung von Plastik finden sich nahezu überall Mikroplastikpartikel: in der Tiefe der Ozeane bis hoch hinauf in den Bergen⁴, in der Luft^{5, 6}, in Innenräumen^{7, 8}, selbst in Lebensmitteln und im Trinkwasser.^{9, 10, 11, 12} Ob Mikroplastik oder giftige Zusatzstoffe von Plastikprodukten – immer deutlicher zeichnen sich ihre gesundheitlichen Folgen ab.

Wir sind ohne unser eigenes Zutun nahezu überall MnPs ausgesetzt. Mikro- und Nanoplastik gelangt ganz unvermeidlich in unsere Körper, etwa beim Atmen oder Trinken. Über Jahrzehnte hat sich eine enorme Menge an Plastikverschmutzung in der Umwelt angesammelt, deren Belastung weiterwächst und die Risiken für die menschliche und ökologische Gesundheit verschärft.

Dieser Bericht führt neueste wissenschaftliche Erkenntnisse zusammen, um zu verstehen, welche Folgen die Exposition gegenüber MnPs und damit verbundenen Chemikalien auf die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt hat. Er untersucht, wie diese Partikel und Chemikalien in unsere Körper gelangen, woher sie stammen und was sie im Körper anrichten. Dabei sollen die evidenten gesundheitlichen Folgen herausgearbeitet und direkte politische Handlungsempfehlungen formuliert werden. Der ausführliche technische Anhang lädt ein zur eingehenden Überprüfung der gesundheitlichen Erkenntnisse zu sechs wichtigen Gruppen bedenklicher Chemikalien im Zusammenhang mit Plastik. Obwohl viele dieser Chemikalien nicht ausschließlich in Plastik vorkommen, stellt Plastik aufgrund der weitverbreiteten Verwendung, Persistenz in der Umwelt¹³, und Fähigkeit, über Luft, Meere und andere grenzüberschreitende Wege transportiert zu werden, eine wichtige und wachsende Belastungsquelle dar.

Die Reduzierung der Plastikverschmutzung ist von zentraler Bedeutung, um die toxische Gesamtbelastung von Menschen und Planet zu verringern und die weitreichenden gesundheitlichen und ökologischen Folgen abzumildern.

Um die Risiken in ihrer gesamten Tragweite zu verstehen, verfolgt dieser Bericht einen One-Health-Forschungsansatz. Es betrachtet die Gesundheit von Mensch und Tier integrativ, sodass die vielfältigen Wechselbeziehungen aller Faktoren deutlich werden. Dank dieses Ansatzes konnten Tierstudien zur Klärung der Frage beigetragen, welche Folgen die Exposition auf die menschliche Gesundheit hat. Die gewonnenen Erkenntnisse über die Ökosysteme haben uns zudem beim Verstehen geholfen, wie und warum diese Verschmutzungsbelastung auftritt.



ONE HEALTH – WAS IST DAS UND WARUM IST ES WICHTIG?

One Health¹⁴ ist ein integriertes Konzept, das darauf abzielt, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Ökosystemen ganzheitlich zu betrachten und nachhaltig zu optimieren. Der Ansatz berücksichtigt, dass die Gesundheit von Menschen, Haus- und Wildtieren sowie die Umwelt eng miteinander verbunden sind und voneinander abhängen.

Naturschutzbemühungen, die diese Schnittstelle im Blick haben, machen sich um die menschliche Gesundheit verdient, während sie die Widerstandsfähigkeit von Wildtieren und Ökosystemen stärken. Ein One-Health-Ansatz kann globale Gesundheitsbedrohungen verhindern, vorhersagen, erkennen und auf sie reagieren. Er ermöglicht zudem die Entwicklung neuer Ideen, welche die Ursachen angehen. Er eignet sich besonders gut, um miteinander verbundene Herausforderungen der Plastikverschmutzung und ihre gesundheitlichen Auswirkungen zu bewältigen.

Dieser Ansatz hält in globalen politischen Vereinbarungen zunehmend Einzug. Das Übereinkommen über die Biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD) beispielsweise bezieht One Health ausdrücklich in das Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework und in den auf der COP 16 verabschiedeten Global Action Plan on Biodiversity and Health ein. Damit wurde ein Präzedenzfall geschaffen für seine Anwendung auch in künftigen internationalen Umweltabkommen.

Während sich dieser Bericht bewusst auf die Risiken von MnPs und Plastikzusätzen konzentriert, soll nicht unerwähnt bleiben, dass Plastik über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg Gesundheitsrisiken birgt. Von der Gewinnung fossiler Energieträger und der Chemikalienproduktion bis hin zu Herstellung, Nutzung und Entsorgung birgt jede Phase potenzielle Schäden für Mensch und Umwelt, insbesondere für Beschäftigte und Gemeinschaften, die Schadstoffbelastungen ausgesetzt sind.

Bei aller kritischen Betrachtung muss auch erwähnt werden, dass einige Plastikprodukte in verschiedenen Bereichen, insbesondere in den Bereichen Medizin und Sicherheit, entscheidende Vorteile bieten. Dieser Bericht plädiert nicht für pauschale Verbote, sondern möchte die Komplexität verdeutlichen und Ansatzpunkte geben zur Eliminierung von Plastikprodukten und Chemikalien mit hohem Gesundheits- und Umweltrisiko.

An aerial photograph showing a river with brown, murky water. A large pile of plastic waste and other debris is visible on the left bank, next to a building with a white corrugated metal roof. The right bank is covered in green vegetation and has some small structures and people. The text is overlaid on a teal background in the bottom left corner.

Plastikverschmutzung ist nicht nur ein Umweltproblem, sondern wird zunehmend mit einer Vielzahl von Gesundheitsrisiken in Verbindung gebracht. Eine Betrachtung durch einen One-Health-Ansatz verdeutlicht, wie der Schutz von Natur und menschlicher Gesundheit zusammenhängen und warum systematische Lösungen dringend nötig sind.

3. DIE GESUNDHEITSRISIKEN DER PLASTIK-VERSCHMUTZUNG VERSTEHEN

Unser Wissen über die weitreichenden Gesundheitsrisiken der Plastikverschmutzung nimmt rapide zu. Diese Gefahrensituation gehen auf zwei miteinander verbundene, aber unterschiedliche Quellen zurück: Mikroplastik und die zum Teil gefährlichen Chemikalien, die Plastik zugesetzt oder mit ihnen in Verbindung gebracht werden. Dieser Abschnitt untersucht den aktuellen Stand der Wissenschaft und beleuchtet die wichtigsten potenziellen Gesundheitsrisiken.

3.1 WIE MIKROPLASTIK IN DIE UMWELT GELANGT

Mikro- und Nanoplastikpartikel (MnPs) sind winzige Plastikpartikel (< 5 mm bzw. $< 0,001$ mm), die in die natürliche Umwelt gelangen. Mikroplastik werden allgemein als Plastikpartikel definiert, die kleiner als fünf Millimeter sind, während Nanoplastik typischerweise kleiner als ein Mikrometer ($1/1000$ mm) sind.¹⁵ Die Mehrheit der in der Umwelt gemessenen MnPs sind Sekundärpartikel, die entstehen, wenn größere Plastikprodukte im Laufe der Zeit zerfallen, sich zersetzen oder fragmentieren. Alltagsprodukte – von Verpackungen und Textilien bis hin zu Teppichen und Möbeln^{16, 17, 18} – geben während ihres gesamten Lebenszyklus MnPs an die Umwelt ab. In einigen Fällen werden primäre, in mikroskopischem Maßstab hergestellte MnPs absichtlich Verbraucherprodukten wie Kosmetika zugesetzt. Diese Praxis wird durch neue Vorschriften, wie beispielsweise das EU-Verbot von Einwegplastik, zunehmend eingeschränkt.

ABBILDUNG 1:
Anatomie von
Plastik. Übersicht
der schädlichsten
plastikassoziierten
Zusätze und
Chemikalien

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

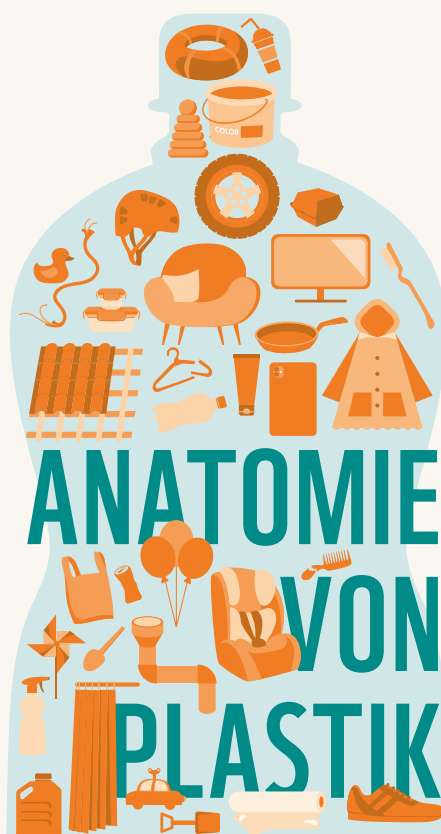
Machen Plastikprodukte beispielsweise öl- und wasserbeständig. Sie gehören zu den „Ewigkeitschemikalien“, können in der Umwelt also kaum bis gar nicht abgebaut werden

Flammschutzmittel

Chemikalien, die Plastik
feuerbeständig machen und
sich sowohl in der Umwelt als
auch im menschlichen Körper
anreichern können

Metalle, Halbmetalle und Metallverbindungen

Blei, Kadmium und Antimon geben Plastik seine Farbe und machen es hitzebeständig, können aber Tierwelt und Mensch schaden



Mikro- und Nanoplastik

Winzige Plastikpartikel, die Ökosysteme verschmutzen und in lebende Organismen gelangen können

Phthalate

Chemische Zusatzstoffe, die Plastik gewünschte Eigenschaften, zum Beispiel Flexibilität, verleihen und sich in die Umwelt absondern können

Bisphenole

Chemikalien (einschließlich BPA und BPS), die in der Plastikproduktion verwendet werden und die Hormonfunktion beeinträchtigen können

UV-Stabilisatoren und Alkylphenole

Machen Plastik widerstandsfähig gegenüber Sonnenlicht und können giftig für Tiere und Menschen sein

3.2 DIE ÖKOLOGISCHEN FOLGEN DER PLASTIKVERSCHMUTZUNG

Oft verwechseln Meerestiere Plastik mit Nahrung. Über 56 Prozent der Meerestiere und 40 Prozent der Seevögel nehmen Plastik auf, wodurch wahrscheinlich MnPs in ihren Körpern freigesetzt werden.

Mikro- und Nanoplastik schädigen die Natur in großem Umfang. In der Meeresumwelt ist die MnPs-Verschmutzung eine gut dokumentierte Bedrohung. Sie lässt sich im Darm von Meeressäugern, Seevögeln, Schildkröten¹⁹ und Fischen²⁰ nachweisen. Oft verwechseln Meerestiere Plastik mit Nahrung. Eine Studie fand Belege dafür, dass über 56 Prozent der Meerestiere und 40 Prozent der Seevögel Plastik aufnehmen, wodurch wahrscheinlich MnPs in ihren Körpern freigesetzt werden. Kleinere Organismen wie Plankton nehmen wahrscheinlich MnPs zusammen mit jenen winzigen Partikeln auf, von denen sie sich ernähren.^{21, 22} Einmal aufgenommen, können MnPs durch andere Körperteile wandern und sich durch die Nahrungskette verbreiten – mit gesundheitlichen Konsequenzen: darunter Veränderungen der Nahrungsmittelaufnahme, der Physiologie, des Verhaltens und der Sterblichkeit.²³

Auch an Land sind die Risiken messbar. MnPs beeinflussen die Gesundheit und das Verhalten von Bodenorganismen, die für das Funktionieren von Ökosystemen und die Nahrungsmittelproduktion unerlässlich sind. Studien haben gezeigt, dass Mikroplastik aus Polyethylen (PE) das Immunsystem von Regenwürmern schädigen kann, Mikroplastik aus Polyvinylchlorid (PVC) die Bewegung von Springschwänzen einschränkt (das sind insektenähnliche Lebewesen, die eine Schlüsselrolle beim Abbau organischer Substanz im Boden spielen) und Partikel aus Polyethylenterephthalat (PET) oxidative Schäden bei Spulwürmern verursachen.²⁴ All diese Organismen sind wichtig für die Bodengesundheit und Teile der Nahrungskette.²⁵ Das bedeutet: Die Auswirkungen der Plastikverschmutzung reichen tief in die Nahrungsmittelsysteme und das Funktionieren von Ökosystemen hinein. Und nicht nur das.

Plastik kann zudem schädliche Chemikalien in die Umwelt freisetzen, und damit möglicherweise schwerwiegende Folgen für die Tierwelt und das Funktionieren von Ökosystemen verursachen. Flammschutzmittel, die oft aus Plastikprodukten stammen, wurden bei Eisbären, Schimpansen und Roten Pandas nachgewiesen.²⁶ Zu den dokumentierten Auswirkungen dieser speziellen Chemikaliengruppe gehören Schilddrüsenfunktionsstörungen bei Eisbären, Veränderungen der Herz- und Gehirngröße bei Buntfalken sowie Effekte auf die Fortpflanzung und das Immunsystem von Schwertwalen.²⁷ Sogar Mikroorganismen sind betroffen. Prochlorococcus – das am häufigsten vorkommende photosynthetische Bakterium im Ozean und ein wichtiger Sauerstoffproduzent²⁸ – reagiert bei Kontakt mit Chemikalien aus Plastik mit verringertem Wachstum und verminderter photosynthetischer Fähigkeit.²⁹ Eine Störung dieser Mikroben birgt daher die Gefahr einer Destabilisierung des globalen Kohlenstoff- und Sauerstoffkreislaufs mit kaskadierenden Auswirkungen auf die Gesundheit des Planeten.

ABBILDUNG 2:

Oft unsichtbar gelangen chemische Substanzen und Plastikpartikel über verschiedene Wege in die Natur und den menschlichen Körper.





3.3 PLASTIK UND MENSCHLICHE GESUNDHEIT

Es wird immer deutlicher, dass dasselbe Plastik, das der Tierwelt schadet, auch die menschliche Gesundheit beeinflussen kann. MnPs sowie die Chemikalien, die Plastik bei der Herstellung zugesetzt werden, finden sich im menschlichen Körper, von der Lunge bis in den Blutkreislauf. Die Folgen können erheblich sein. Studien zu den toxikologischen Auswirkungen von plastikassoziierten Substanzen wie Bisphenolen, Phthalaten und Flammschutzmitteln haben diese Chemikalien mit einer Reihe von Krankheiten in Verbindung gebracht, darunter:

- hormonbedingte Krebserkrankungen (einschließlich Brust- und Hodenkrebs)
- verminderte Fruchtbarkeit und Fortpflanzungsstörungen
- chronische Atemwegserkrankungen wie Asthma
- Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt und Schlaganfall
- Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes und Fettleibigkeit
- neurologische Erkrankungen wie ADHS, Autismus und Demenz

Diese verschiedenartigen Auswirkungen erklären sich aus der Art und Weise, wie Plastikpartikel und ihre chemischen Zusätze mit dem Körper interagieren. Beispielsweise können MnPs chemische Zusätze enthalten, die ihre Bioverfügbarkeit erhöhen und ihnen das Eindringen in Zellen und Gewebe erleichtern.

Die folgenden Abschnitte gehen der Frage nach, welche körperlichen Schäden die MnPs-Partikel selbst verursachen und welche Gesundheitsrisiken mit den in Plastik verwendeten Chemikalien verbunden sind.

UNSICHTBARER SCHADEN: WIE MIKROPLASTIK DEN KÖRPER BEEINFLUSST

Sobald MnPs in die Umwelt gelangen, können sie eingeatmet, verschluckt oder über die Haut aufgenommen werden.³⁰ Im Körper können sie erheblichen Schaden anrichten.

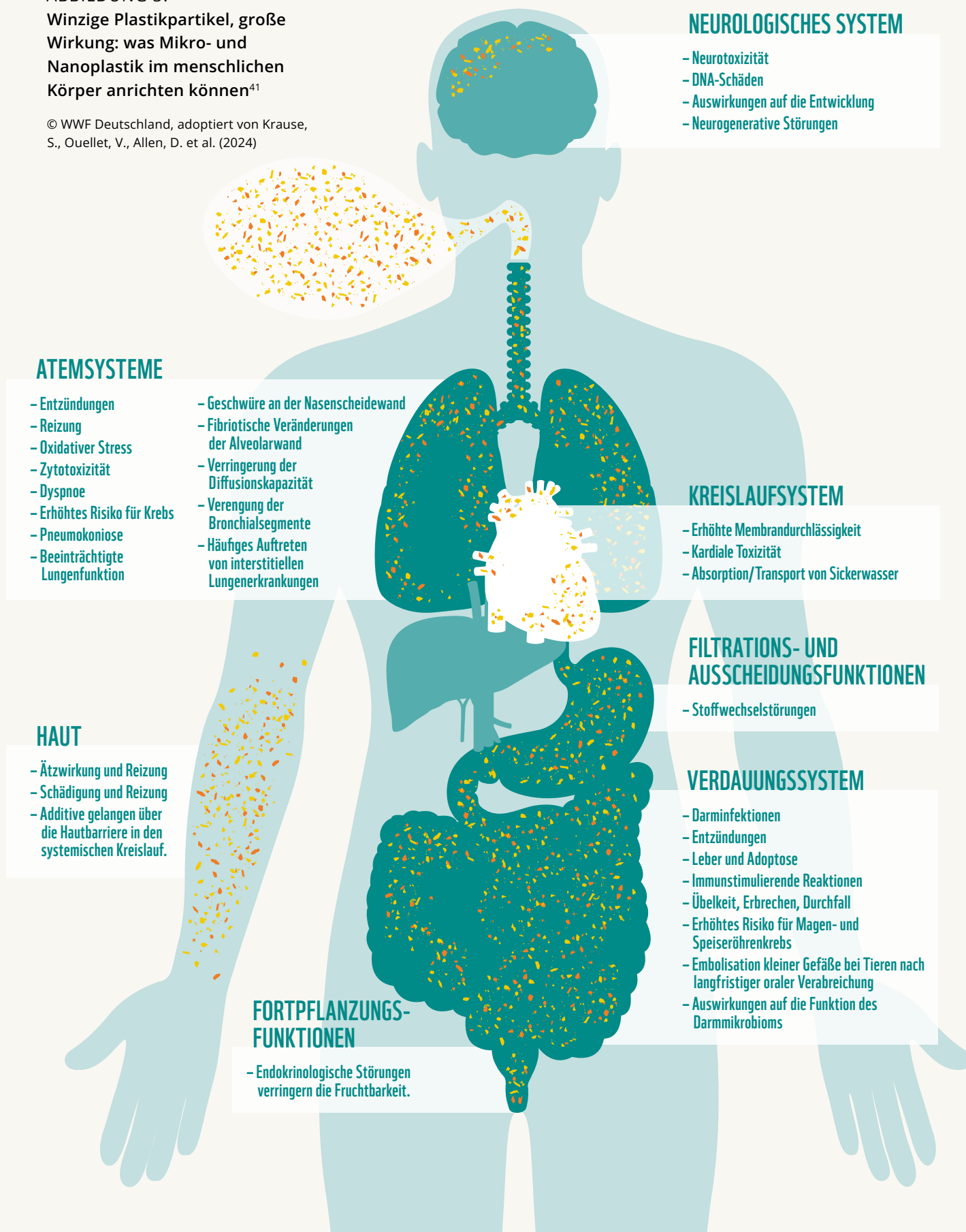
Als biologisch fremdes und nicht biologisch abbaubares Material können MnPs allein durch ihre physische Präsenz Entzündungs- sowie dysregulierte Immunreaktionen auslösen, Zellfunktionen stören und Gewebe schädigen.³¹ Nanoplastikpartikel sind besonders bedenklich, da sie biologische Barrieren überwinden, tief in Gewebe und Organe eindringen und sich im Körper anreichern können. Partikel davon wurden in lebenswichtigen Organen wie Lunge, Gehirn, Darm und Plazenta sowie in Blut, Muttermilch und Stuhl nachgewiesen.^{32, 33, 34} Das Einatmen von MnPs kann die Atemwege und die Lunge reizen und entzünden, was zu Atemproblemen beiträgt und bestehende Erkrankungen wie Asthma oder die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) verschlimmern kann.³⁵ Aktuelle Erkenntnisse deuten darauf hin, dass MnPs sich auch in den Arterien ansammeln können, was Entzündungen verschlimmert^{36, 37} und möglicherweise das Risiko schwerer Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt (Myokardinfarkt), Schlaganfall³⁸ und Arteriosklerose erhöht, einer chronischen Entzündungserkrankung, die durch Fettablagerungen in den Arterien verursacht wird. Studien an menschlichen und Maus-basierten Zellmodellen haben gezeigt, dass Nanoplastik wie Polystyrol (PS) Entzündungen auslöst³⁹ und sogar Zelltod verursacht.⁴⁰



ABBILDUNG 3:

Winzige Plastikpartikel, große Wirkung: was Mikro- und Nanoplastik im menschlichen Körper anrichten können⁴¹

© WWF Deutschland, adoptiert von Krause, S., Ouellet, V., Allen, D. et al. (2024)



Im Verdauungssystem wurden MnPs in menschlichen Fäkalien und im Darmkrebsgewebe gefunden.^{42, 43} Dies gibt Anlass zur Sorge über ihre Rolle bei gastrointestinalen Entzündungen und der Tumorentwicklung. Der Nachweis von MnPs im menschlichen Gehirn⁴⁴ deutet darauf hin, dass sie in den Blutkreislauf gelangen und das Gehirn erreichen können. Insbesondere im Gehirn von Demenzpatient:innen wurden höhere MnPs-Konzentrationen gefunden, was auf mögliche Verbindungen zu neurodegenerativen Erkrankungen hindeutet – ein Muster, das auch bei anderen ultrafeinen Partikeln etwa aus Fahrzeugverbrennungsmotoren beobachtet wird, die bekanntermaßen die Blut-Hirn-Schranke überwinden und zu kognitivem Abbau beitragen können.

Darüber hinaus können MnPs schädliche Mikroben transportieren und so Krankheitserreger übertragen und Antibiotikaresistenzen befördern. Die Oberflächen vieler MnPs-Partikel bieten einer mikrobiellen Besiedlung ideale Bedingungen, wodurch sich Pilze, Algen und Bakterien ansammeln können. Diese MnPs-Partikel fungieren dann als schwimmende Reservoirs für potenzielle Infektionen, insbesondere wenn sie von Menschen oder Tieren konsumiert werden.⁴⁵

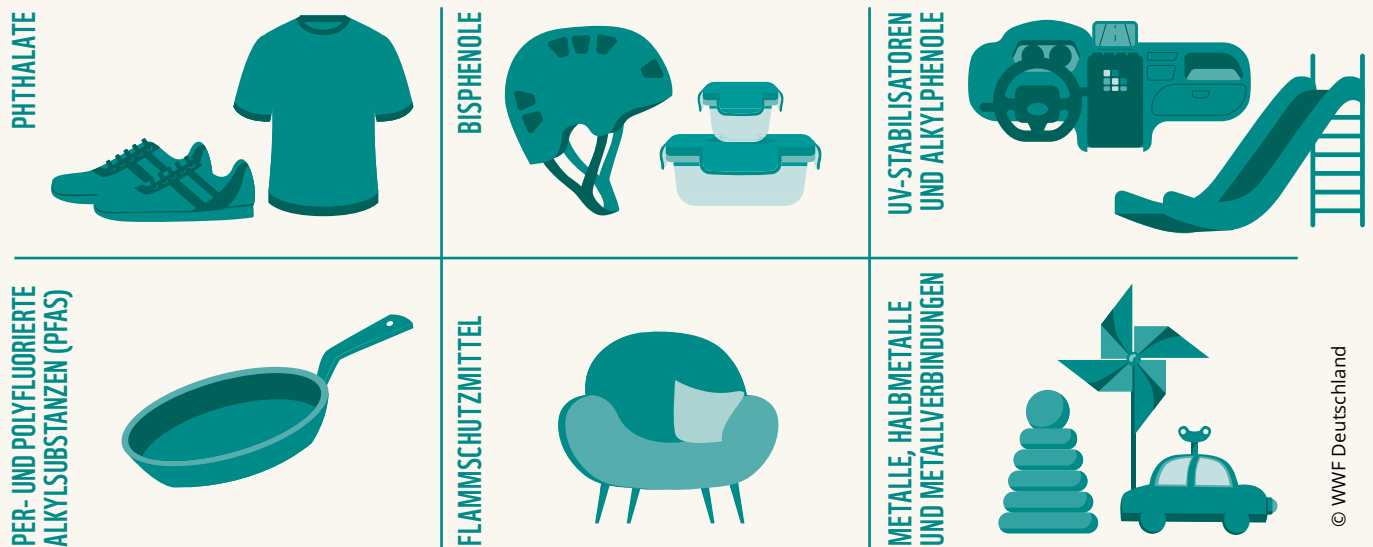


Noch besorgniserregender ist ihre Rolle bei der Beschleunigung von Antibiotikaresistenzen, einer wirklich akuten Bedrohung der öffentlichen Gesundheit weltweit. Eine aktuelle Laborstudie legt nahe, dass bestimmte MnPs die Übertragung antibiotikaresistenter Gene zwischen Bakterien – ein als horizontaler Gentransfer bekannter Prozess – erleichtern und die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen um das bis zu 200-fache erhöhen können.⁴⁶ Dies untergräbt möglicherweise die Wirksamkeit von Antibiotika, fördert die Entstehung resistenter Superbakterien und beeinträchtigt die Wirksamkeit lebensrettender Medikamente. Jedoch sind zur Bestätigung dieser Effekte weitere Untersuchungen nötig.

MnPs können nicht zuletzt einen Cocktail aus toxischen Chemikalien und Zusatzstoffen transportieren und freisetzen, der biologische Prozesse stört. Der nachfolgende Abschnitt untersucht diese chemischen Prozesse genauer und beleuchtet ihre Wechselwirkung mit dem Körper sowie die damit verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit.

ABBILDUNG 4 :

Plastik ist allgegenwärtig und enthält giftige Chemikalien, die Mensch und Tier schädigen können.



© WWF Deutschland

IM KÖRPER: WIE BEDENKLICHE PLASTIKASSOZIIERTE CHEMIKALIEN SCHÄDEN VERURSACHEN KÖNNEN

Das meiste Plastik enthält einen komplexen Mix an Zusatzstoffen, die oft während der Produktion hinzugefügt werden, um ihnen bestimmte Eigenschaften wie Flexibilität, Haltbarkeit oder Feuer- und UV-Beständigkeit zu verleihen. Viele dieser Zusatzstoffe sind bekannt für ihre potenzielle Schädlichkeit. Dazu gehören die sechs unten genannten Gruppen, die häufig in Plastikprodukten enthalten sind. Nicht jedes Plastik enthält alle im Folgenden aufgeführten Chemikalien. Aber diese Beispiele veranschaulichen die vielfältige Verwendung bedenklicher Chemikalien in der Plastikproduktion. Obwohl nicht überall der Nachweis erbracht werden kann, dass diese Chemikalien im menschlichen Körper ausschließlich von Plastikprodukten stammen, machen ihre weitverbreitete Verwendung und ihr Nachweis im menschlichen Gewebe Plastik zu einer wahrscheinlichen, auf jeden Fall vermeidbaren Belastungsquelle.

- **Phthalate** werden häufig verwendet, um PVC in Produkten wie Vinylböden, Duschvorhängen und medizinischen Schläuchen weich zu machen.
- **Bisphenole** kommen in Produkten wie Lebensmittel- und Getränkeverpackungen, Thermopapierbelegen und wiederverwendbaren Wasserflaschen vor.
- **UV-Stabilisatoren und Alkylphenole** werden in Gartenmöbeln, Automobilkunststoffen und Verpackungen verwendet, um deren Zersetzung durch Sonnenlicht zu verhindern.
- **Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)** kommen in fettbeständigen Lebensmittelverpackungen, antihafbeschichtetem Kochgeschirr und wasserdichter Kleidung vor.

In einigen Fällen können MnPs als Träger fungieren, die schädliche Substanzen an den natürlichen Abwehrkräften des Körpers „vorbeischnuggeln“ und tief im Gewebe, Zellen und Organen platzieren.

- **Flammschutzmittel** werden häufig in Textilien, Elektronik und Baudämmstoffen verwendet.
- **Metalle, Halbmetalle und Metallverbindungen** werden als Stabilisatoren, Pigmente oder Katalysatoren in der Kunststoffproduktion eingesetzt und sind in Produkten wie PVC-Rohren, Spielzeug und Kunstrasen enthalten.

Einige dieser Chemikalien wie Bisphenol A und Phthalate können in die Umwelt gelangen⁴⁷ und so das Risiko einer Exposition des Menschen erhöhen. Diese Chemikalien können dann im Laufe der Zeit frei werden und die menschliche Biologie auf vielfältige Weise beeinträchtigen.^{48, 49, 50, 51} Diese Störungen stehen im Zusammenhang mit einer Vielzahl von Krankheiten und Beschwerden.⁵² Darüber hinaus können MnPs als Träger dieser Chemikalien fungieren und ihnen den Weg in den Körper bahnen. In einigen Fällen können sie schädliche Substanzen an den natürlichen Abwehrkräften des Körpers „vorbeischnuggeln“ und tief in Gewebe, Zellen und Organen platzieren. Dieser Mechanismus ist als „Trojanisches-Pferd-Effekt“ bekannt.^{53, 54, 55}

Eine der am besten dokumentierten gesundheitlichen Folgen bedenklicher plastikassoziierter Chemikalien ist die Beeinträchtigung des Hormonsystems. Viele der in Plastik enthaltenen Zusatzstoffe – insbesondere Phthalate und Bisphenole – sind endokrin wirksame Verbindungen (EDCs), die das fein abgestimmte Hormonsystem des Körpers beeinflussen, das Funktionen wie Wachstum, Fortpflanzung, Stoffwechsel und Körpergewicht reguliert.⁵⁶ Diese Chemikalien können natürliche Hormone wie Östrogen und Testosteron imitieren, sich an Rezeptoren binden und so die normalen Hormonvermittelten Signalkaskaden stören.⁵⁷ Endokrine Störungen können zu langfristigen Problemen beitragen, darunter Fruchtbarkeitsstörungen, vorzeitige Pubertät, Schilddrüsenerkrankungen⁵⁸ und hormonsensitive Krebsarten wie Brustkrebs.⁵⁹ Diese Chemikalien werden weiterhin mit Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes und Fettleibigkeit in Verbindung gebracht.^{60, 61}

Dieselben Chemikalien bergen des Weiteren Risiken für die Gehirnentwicklung. Durch die Störung von Neurotransmittersystemen und wichtigen Entwicklungshormonen können sie die Entwicklung und Funktion des Gehirns beeinträchtigen. Phthalate beispielsweise stören nachweislich die Neurotransmittersysteme in kritischen Phasen der Gehirnentwicklung. Die Folgen können ein reduziertes Volumen an grauer Substanz, beeinträchtigte kognitive und motorische Funktionen sowie ein niedrigerer IQ sein.^{62, 63} Diese Auswirkungen sind besonders in der pränatalen Phase und der frühen Kindheit fatal, wenn sich das Gehirn rasant entwickelt. Die Exposition von Kindern gegenüber Bisphenolen in entscheidenden Entwicklungsphasen trägt zur Entstehung schwerer neurologischer Erkrankungen wie Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS), Autismus-Spektrum-Störung (ASD), Depressionen und Angstzuständen bei.⁶⁴

Es braucht ganzheitliche Lösungen, die die öffentliche Gesundheit schützen, die biologische Vielfalt bewahren und die Widerstandsfähigkeit des Planeten stärken.

MnPs können zudem Schäden durch das Auslösen von oxidativem Stress verursachen. Einige bedenkliche plastikassoziierte Chemikalien können die Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) oder freier Radikale erhöhen – instabile Moleküle, die leicht mit anderen Molekülen in einer Zelle reagieren.⁶⁵ Während ROS normale biologische Funktionen wahrnehmen und vom Körper mithilfe von Antioxidantien reguliert werden, stört eine übermäßige Produktion ihr Gleichgewicht und führt zu oxidativem Stress. Dies kann die DNA und andere Moleküle in der Zelle schädigen und Alterung sowie Krankheiten fördern.^{66, 67} Beispielsweise zeigte sich, dass Phthalate die antioxidative Aktivität beeinträchtigen und das Gleichgewicht zugunsten von oxidativem Stress verschieben.⁶⁸

Darüber hinaus beeinflussen einige dieser Chemikalien die Funktionsweise von Genen und nehmen Einfluss darauf, ob sie ein- oder ausgeschaltet werden. Dies hat langfristige gesundheitliche Folgen, die an zukünftige Generationen weitergegeben werden können.⁶⁹ Diese Art der epigenetischen Modifikation kann die Entwicklung oder Funktion des Körpers verändern, insbesondere in der frühen Kindheit. Beispielsweise kann die pränatale Exposition gegenüber Bisphenol A ein Gen beeinträchtigen, das an der Gehirnfunktion beteiligt ist, was das Risiko für neurologische Entwicklungsstörungen, insbesondere bei Mädchen, erhöht.⁷⁰

Es hat sich gezeigt, dass bedenkliche plastikassoziierte Chemikalien auch das Immunsystem stören können, also die körpereigene Abwehr gegen Krankheiten und Schadstoffe, indem sie Zytokine beeinflussen. Das sind Signalstoffe, die die Immunantwort koordinieren. Unangemessene Immunreaktionen können zu chronischen Entzündungen führen, einem anhaltenden Zustand der Immunaktivierung, der mit einer Vielzahl von Erkrankungen in Verbindung gebracht wird, von Atemwegserkrankungen bis hin zu Krebs.⁷¹

Viele dieser Krankheitsmechanismen sind miteinander verbunden. Hormonverändernde Chemikalien können die Genexpression verändern.⁷² Und eine veränderte Expression von Entzündungsgenen beeinflusst Entzündungen.⁷³ Oxidativer Stress führt zu DNA-Schäden, die Entzündungen und Folgeerkrankungen auslösen können.⁷⁴ Dieser kumulative Effekt kann das Gesamtrisiko für eine Vielzahl chronischer Erkrankungen erhöhen. Das unterstreicht die Dringlichkeit von Vorsorgemaßnahmen zur Reduzierung der Exposition gegenüber plastikassoziierten Chemikalien. Detailliertere Belege finden sich im Technischen Anhang, wo die Risiken von sechs wichtigen Chemikaliengruppen für Mensch und Tier eingehend dargestellt werden.

Die Wissenschaft ist sich zunehmend einig: MnPs und plastikassoziierte Chemikalien können auf die Gesundheit von Mensch und Umwelt über verschiedene biologische Wege Einfluss nehmen. Diese Erkenntnis unterstreicht die Notwendigkeit, die Plastikverschmutzung unter dem Gesichtspunkt „One Health“ zu betrachten – nicht nur, um das volle Ausmaß der Schäden zu verstehen, sondern auch, um ganzheitliche Lösungen zu entwickeln, die

die öffentliche Gesundheit schützen, die biologische Vielfalt bewahren und die Widerstandsfähigkeit des Planeten stärken. Dabei werden die engen Zusammenhänge zwischen der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt berücksichtigt.

Während sich die Forschung weiterentwickelt, gibt es bereits zahlreiche Belege für anhaltende Schäden. Es ist Zeit zu handeln.

Der nächste Abschnitt erläutert, wie diese Erkenntnisse in ehrgeizige, vorsorgende politische Maßnahmen einfließen müssen, um die Plastikkrise an der Wurzel zu packen.

GEFAHR VS. RISIKO: WAS IST DER UNTERSCHIED?

Eine **Gefahr** ist etwas, das potenziell Schaden verursachen kann, wie beispielsweise eine Chemikalie oder Mikroplastik, das unter bestimmten Bedingungen die Gesundheit von Mensch oder Umwelt beeinträchtigt.

Ein **Risiko** beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden tatsächlich eintritt, und dessen Schweregrad. Diese Wahrscheinlichkeit hängt davon ab, wie stark, wie oft und auf welche Weise Menschen (oder andere Organismen) dieser Gefahr ausgesetzt sind.

So kann eine Chemikalie beispielsweise in hohen Konzentrationen gefährlich werden. Doch das Risiko für Mensch und Umwelt hängt davon ab, wie stark und auf welche Weise sie ihr ausgesetzt sind. Wissenschaftliche Studien gehen häufig von höheren Konzentrationen aus, um das Schadenspotenzial und seine Entstehung zu verstehen. Diese Studien helfen, Gefahren zu identifizieren und zu charakterisieren. Sie spiegeln jedoch nicht immer jene realen Bedingungen wider, in denen die Belastung zwar geringfügiger ist, aber dafür anhaltend und weit verbreitet. Mögen die genauen Belastungsniveaus nach wie vor schwer zu messen sein, so wächst doch die Besorgnis, dass eine geringe, aber langfristige Belastung mit Mikroplastik und verbundenen bedenklichen Chemikalien schwerwiegende gesundheitliche Folgen nach sich ziehen könnte.





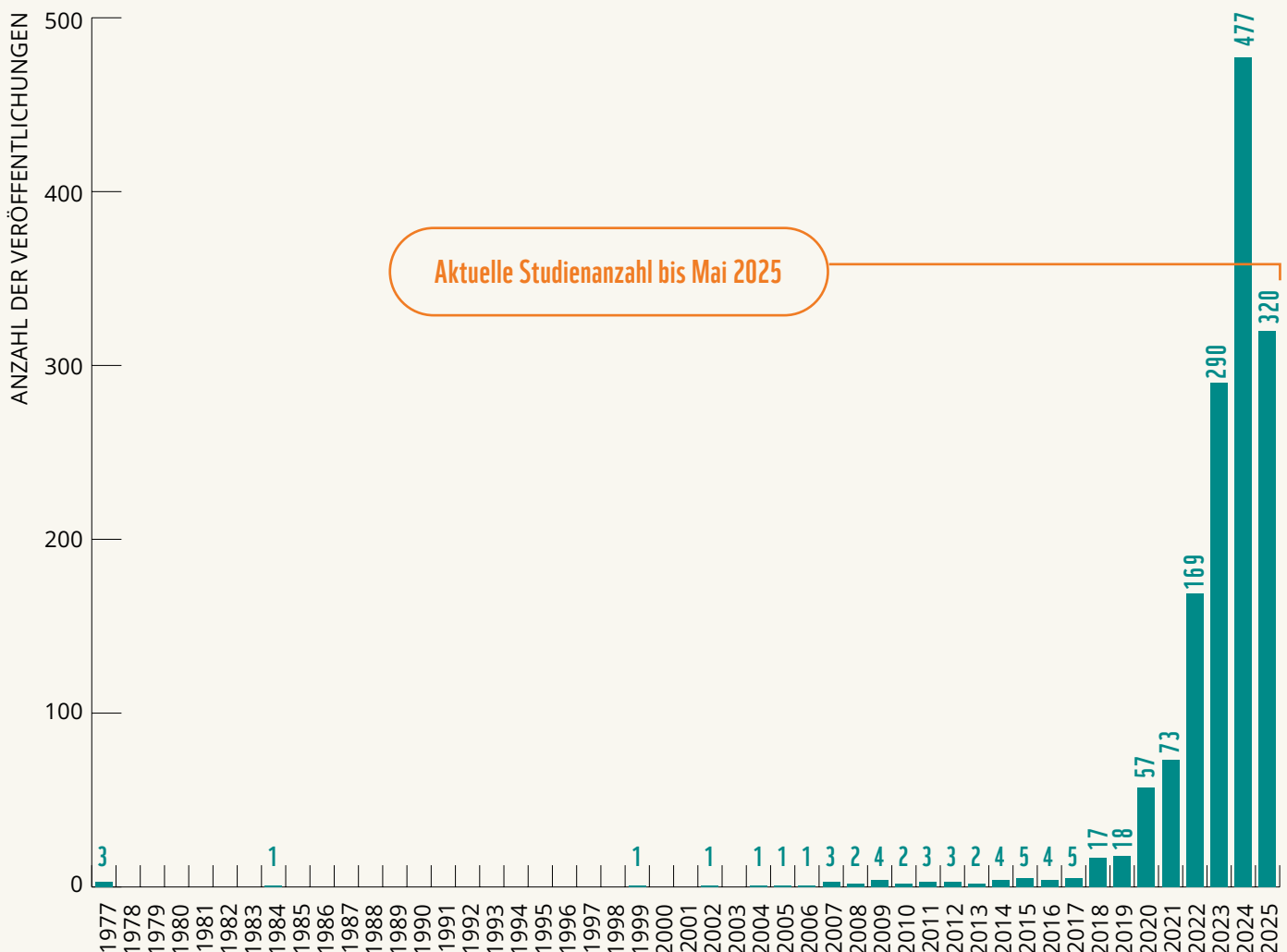
Die Studienlage wird zunehmend deutlicher — und damit auch der Handlungsbedarf für globale Regeln. Ein starkes UN-Plastikabkommen ist dringend notwendig, um Plastikverschmutzung und langfristige Schäden für Mensch und Natur zu verhindern.

4. VON DER EVIDENZ ZUM HANDELN: POLITISCHE PRIORITÄTEN FÜR DEN WANDEL

Mittlerweile sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse substanziell. Tausende Peer-Review-Studien weisen auf immer konsistentere und beunruhigendere Zusammenhänge hin. Das Forschungsvolumen hat in diesem Bereich in den vergangenen Jahren drastisch zugenommen. Allein seit 2018 wurden fast 1.500 Studien veröffentlicht. Dies ist Ausdruck wachsender Besorgnis, aber auch zunehmender Verfügbarkeit von Daten und technologischer Möglichkeiten zur Aufdeckung dieser Schäden. Diese sich verdichtenden Hinweise erfordern eine ebenso ehrgeizige politische wie ehrgeizige regulatorische Reaktion.

ABBILDUNG 5: Anzahl der Studien zu den Auswirkungen von Mikro- und Nanoplastik auf die menschliche Gesundheit zwischen 1977 und Mai 2025

Die Anzahl der Studien, die zunehmend auf Auswirkungen von Mikro- und Nanoplastik auf die menschliche Gesundheit hinweisen, haben in den vergangenen Jahrzehnten (und seit dem ersten WHO-Bericht über die Gesundheitsrisiken aus dem Jahr 2019) zugenommen. Bei einer Suche in der Datenbank Scopus konnten insgesamt 1.467 Studien identifiziert werden (Stand: Mai 2025). Die Suchbegriffe „Mikroplastik“ oder „Nanoplastik“ wurden jeweils mit den Suchbegriffen „menschliche Gesundheit“, „öffentliche Gesundheit“, „Lunge“, „Herz“, „Darm“, „Gehirn“ und „Krebs“ kombiniert.



DIE NOTWENDIGKEIT EINER ENTSCLOSSENEN, WIRKSAMEN UND VORSORGENDEN GLOBALEN POLITIK

Während sich die wissenschaftlichen Erkenntnisse weiterentwickeln, sind die Risiken glaubwürdig. Die Belastung durch Plastikschadstoffe ist nahezu universell. Von den gesundheitlichen Auswirkungen sind nicht nur Menschen betroffen. Vom Plastikmüll und den in Plastik enthaltenen giftigen Chemikalien nehmen auch Wildtiere und Ökosysteme Schaden. Da viele der Folgen (wie Krebs und Fruchtbarkeitsstörungen) erst nach Jahren ihre unselige Wirkung entfalten, besteht ein hohes Risiko langfristiger und möglicherweise irreversibler Folgen, wenn zu spät gehandelt wird. In solchen Kontexten wird das Vorsorgeprinzip⁷⁵ zwingend. Dieses etablierte Prinzip ist ein Grundpfeiler des Umwelt- und Gesundheitsrechts. Es besagt, dass bei glaubwürdigen Risikohinweisen ein Mangel an wissenschaftlicher Gewissheit kein Grund zum Aufschieben von Maßnahmen sein sollte. Es diene als Grundlage für mehrere erfolgreiche internationale Abkommen, wie beispielsweise das Montrealer Protokoll von 1987, das einschneidend gegen ozonschädigende Substanzen vorging, bevor die wissenschaftlichen Erkenntnisse endgültig als gesichert galten. Dieses Abkommen hat seitdem Millionen Fälle von Hautkrebs und Grauem Star verhindert, und statt einer prognostizierten Verzehnfachung des Ozonabbaus bis 2050 wird nun eine Erholung der Ozonschicht bis Mitte des Jahrhunderts prognostiziert,⁷⁶ obwohl Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, die verantwortlichen Chemikalien) Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Atmosphäre verbleiben und Halbwertszeiten von 50 bis 500 Jahren haben. Ein ähnlicher Ansatz ist nun im Umgang mit der Plastikverschmutzung erforderlich, die Mensch, Natur und zukünftige Generationen bedroht.



WAS BESAGT DAS VORSORGEPRINZIP?

Das Vorsorgeprinzip besagt, dass angesichts von Unsicherheit präventiv gehandelt werden muss. Muss bei einer konkreten Handlung oder in einer bestehenden Situation das Risiko vermutet werden, dass die Öffentlichkeit oder Umwelt zu Schaden kommen, muss die Beweislast von den Befürworter:innen der Handlung erbracht werden und nicht von der Öffentlichkeit. Dieses Prinzip ermöglicht es uns, Mensch und Natur zu schützen, bevor Schaden entsteht. Zahlreiche internationale Verträge haben das Vorsorgeprinzip erfolgreich umgesetzt, beispielsweise das Montrealer Protokoll, die Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung, das Basler Übereinkommen und das UN-Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen.

Wie ozonschädigende Substanzen sind Plastik und die damit verbundenen Chemikalien hochgradig persistent. Sie verbleiben jahrzehnte- oder sogar jahrhundertlang in der Umwelt.⁷⁷ Diese Persistenz macht Zögerlichkeit besonders kostspielig. Um den negativen Auswirkungen von Plastik entgegenzuwirken, sind konsequente, proaktive Maßnahmen unerlässlich. Nötig ist eine wirksame Reaktion auf die Plastikverschmutzungskrise auf Grundlage eines integrierten One-Health-Ansatzes, der die Schäden eines Bereiches mit jenen anderer in Verbindung bringt. Eine Verringerung der Belastung von Mensch, Tier und Umwelt kann das Risiko insgesamt senken.



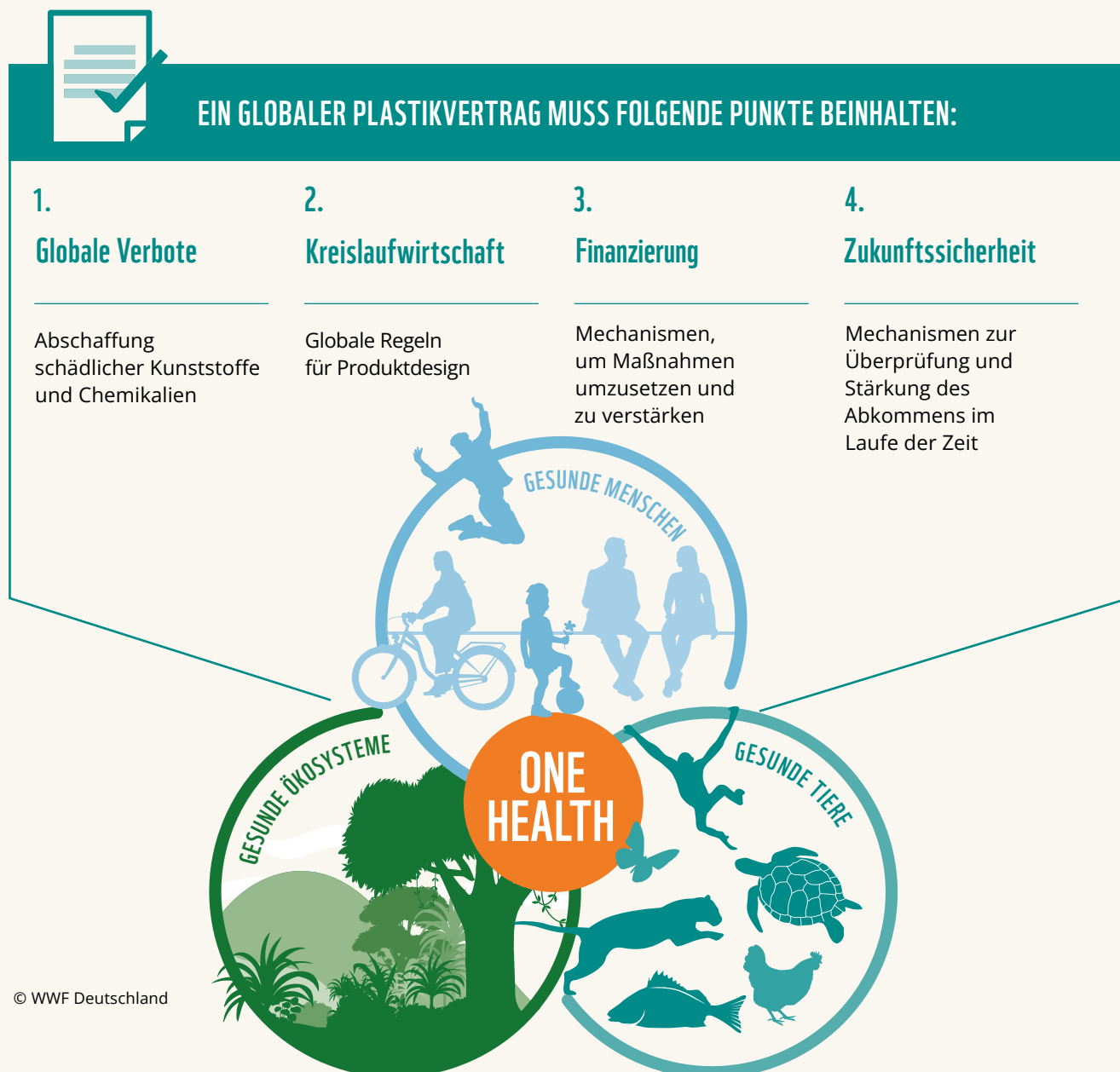
DER GLOBALE PLASTIKVERTRAG: EINE EINMALIGE CHANCE

Ein robuster globaler Plastikvertrag bietet die entscheidende Chance, wissenschaftliche Erkenntnisse in politische Maßnahmen zu überführen und die Gesundheitsrisiken durch Plastikmüll und bedenkliche plastikassoziierte Chemikalien zu reduzieren. Nach fünf Verhandlungsrunden befürwortete eine große Mehrheit der Länder ehrgeizige Maßnahmen.⁷⁸ Fast 100 Länder unterstützten den „Weckruf für einen ambitionierten Vertrag“.⁷⁹

Um die Gesundheit von Mensch und Umwelt wirksam zu schützen, muss solch ein Vertrag mindestens die folgenden vier Elemente enthalten (Abb. 6):⁸⁰

ABBILDUNG 6:

Must-haves für einen ambitionierten globalen Plastikvertrag unter Berücksichtigung eines One-Health-Ansatzes



Untersuchungen zeigen, dass von den 16.000 Chemikalien, die in Plastikmaterialien und -produkten verwendet werden oder enthalten sind, derzeit weniger als 1.000 (6 Prozent) internationalen Vorschriften unterliegen, obwohl mehr als 4.200 (mehr als 26 Prozent) als gefährlich gelten.⁸¹

Um Gesundheitsrisiken zu minimieren, ist es unerlässlich, die risikoreichsten Plastikprodukte zu verbieten und schrittweise abzuschaffen – Produkte, deren Eigenschaften die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass sie in unsere Umwelt gelangen und dort als Schadstoffe wirken. Dazu gehören Einwegartikel, die bedenkenlos weggeworfen werden und unserer Abfallentsorgung entgehen, sowie Plastikprodukte, die giftige Substanzen und absichtlich zugesetztes Mikroplastik enthalten. Diese Produkte sind die risikoreichsten und müssen als Erstes beseitigt werden.

Zugleich müssen wir die in Plastik enthaltenen chemischen Risiken bannen. Untersuchungen zeigen, dass von den 16.000 Chemikalien, die in Plastikmaterialien und -produkten verwendet werden oder enthalten sind, derzeit weniger als 1.000 (sechs Prozent) internationalen Vorschriften unterliegen, obwohl mehr als 4.200 (mehr als 26 Prozent) – einschließlich der in diesem Dokument diskutierten Chemikalien – als gefährlich gelten.⁸¹ Diese Regulierungslücke muss geschlossen werden, um potenzielle Gesundheitsschäden von Mensch und Umwelt abzuwenden.



Maßnahmen zur Neugestaltung von Plastikprodukten und relevanten Systemen sind ein weiteres Instrument zur Minderung gesundheitlicher Auswirkungen. Harmonisierte globale Kriterien für Produktdesign und -leistung würden Hersteller in allen Rechtsräumen dazu verpflichten, die Sicherheit von Plastikprodukten zu erhöhen, ihre Risiken zu minimieren und sie durch Wiederverwendung und Recycling im Umlauf zu halten. Produktstandards könnten beispielsweise dazu beitragen, die Freisetzung von Mikroplastik aus Plastikprodukten zu minimieren oder den Verzicht auf schädliche Zusatzstoffe vorzuschreiben. Dann käme nur von Natur aus sicheres Plastik in Umlauf. Dies würde Ökosysteme und die menschliche Gesundheit entlasten.

Schließlich sind umfassende Finanzierungs- und Umsetzungshilfen sowie Mechanismen zur kontinuierlichen Stärkung des Vertrags von grundlegender Bedeutung. Das würde die langfristige Wirksamkeit dieser Maßnahmen und die Erfüllung des Vertragsziels gewährleisten, demzufolge die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor Plastikverschmutzung geschützt werden müssen. Über diese unverzichtbaren Elemente hinaus muss der Vertrag auch solide Bestimmungen zu Berichterstattung, Transparenz und Handel enthalten, die für eine wirksame Umsetzung unerlässlich sind.



NATIONALE FÜHRUNG KANN DEN WEG EBEN

Nationale und regionale Regierungen müssen nicht auf globale Regeln warten. Viele der Maßnahmen, die auf dem globalen Verhandlungstisch liegen, wurden bereits auf nationaler Ebene erprobt, darunter nationale Verbote bestimmter Plastikprodukte und Chemikalien, nationale Reformen der Verpackungsvorschriften und die Ökomodulation in verbindlichen Systemen der erweiterten Herstellerverantwortung. Beispielsweise zeigen die EU-Verordnung über Verpackungen und Verpackungsabfälle (PPWR), Kenias EPR-Richtlinie und die Verbote von Einwegplastik sowie Chinas Beschränkungen für bestimmte Plastikzusätze, dass Länder schädliche Produkte und Chemikalien stufenweise aus dem Verkehr ziehen können. Eine starke nationale Politik kann unmittelbare Risiken auf lokaler Ebene reduzieren und zugleich stärkere Verpflichtungen und Maßnahmen auf globaler Ebene anregen. Durch sofortiges Handeln können Länder ihre Bevölkerung schützen, Innovationen vorantreiben und die Messlatte für internationale Verhandlungen und die Festlegung globaler Regeln höher legen. Um die Plastikverschmutzung jedoch grundlegend und weitreichend zu bekämpfen, müssen nationale Maßnahmen mit ehrgeizigen, verbindlichen globalen Regeln einhergehen, die gleiche Wettbewerbsbedingungen gewährleisten und die globalen Schadensursachen angehen.

VON DER EVIDENZ ZUR AKTION

Die Schwere der Plastikkrise erfordert dringendes, koordiniertes Handeln. Angesichts der globalen Machtverschiebungen und des Aufkommens neuer Wirtschaftsakteure bietet sich die einmalige Gelegenheit, nachhaltige Entwicklung im Sinne von „One Health“ neu zu gestalten. Die Staaten müssen erkennen, dass die Gesundheit von Mensch, Tieren und Umwelt untrennbar miteinander verbunden ist und dass eine verstärkte internationale Zusammenarbeit und regulatorische Harmonisierung entscheidend sind, damit auch die langfristigen sozioökonomischen Vorteile dieses integrierten Ansatzes zum Ausdruck kommen.

Angesichts der alarmierenden Bedrohungen durch Plastikverschmutzung für Mensch und Umwelt fordern der WWF und seine Partner die Regierungen und Verhandlungsführer:innen auf, einen robusten, rechtsverbindlichen globalen Vertrag mit konkreten, durchsetzbaren Regeln auszuarbeiten, mit denen die Industrie zur Verantwortung gezogen werden kann. Die ambitionierte Mehrheit der Staaten muss die Führung übernehmen und einen Vertrag ausarbeiten, der fair, wirksam und kompromisslos beim Schutz von Umwelt und öffentlicher Gesundheit ist. Regierungen sollten Mut statt Kompromisse wählen. Der WWF ruft die Regierungen dazu auf, Mut zur Führung zu beweisen, einer Vision für einen dauerhaften Systemwandel zu folgen und die Verantwortung für den Schutz von Mensch und Natur zu übernehmen.

Ein globaler Vertrag zur Beendigung der Plastikverschmutzung ist greifbar nah. Jetzt ist es an der Zeit zu handeln.





Wissenschaftliche Studien zu Chemikalien, die häufig in Plastik vorkommen, verweisen auf potenzielle Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier – und unterstreichen die Notwendigkeit für schnelles Handeln.

5. TECHNISCHER ANHANG

Dieser technische Anhang enthält detaillierte Informationen zu einer Auswahl von Chemikalien, die häufig in Plastik und bei der damit verbundenen Umweltverschmutzung vorkommen. Während der Hauptteil dieses Dokuments die übergreifenden Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit der Belastung durch Plastik zusammenfasst, bietet dieser Anhang einen genaueren Blick auf sechs spezifische Chemikaliengruppen, eine kurze Erläuterung der Verwendung dieser Chemikalien in Plastik, der Mechanismen ihrer Schädigung und der wissenschaftlichen Belege für ihre negativen Auswirkungen auf Menschen und Tiere. Die folgenden Zusammenfassungen spiegeln Ergebnisse aus Peer-Review-Forschung, Erkenntnisse internationaler Gesundheitsbehörden und aktueller Review-Studien wider. Soweit verfügbar, werden Belege aus Human- und Tierstudien einbezogen, um die Schwere und Bedeutung der wissenschaftlichen Bedenken zu veranschaulichen.

Obwohl viele dieser Chemikalien überlappende Wirkungen haben, ordnet dieser Anhang die wissenschaftlichen Belege den wichtigsten Kategorien gesundheitlicher Auswirkungen zu. Einige bedenkliche plastikassoziierte Chemikalien, wie Phthalate und Bisphenole, standen im Fokus einer Vielzahl neuer Studien; andere, wie Blei, werden seit Jahrzehnten untersucht.

Obwohl Umfang und Aktualität der Forschung zu diesen Substanzen variieren, ist das wissenschaftliche Gesamtbild robust und äußerst besorgniserregend.

Viele toxikologische Studien verwenden Konzentrationen von Chemikalien, die höher sind als die, denen Menschen in alltäglichen Umgebungen typischerweise ausgesetzt sind. Dieser Ansatz hilft Forschenden, potenzielle Schadensmechanismen zu identifizieren, kann aber direkte Vergleiche mit der realen Belastung einschränken. Dennoch signalisieren die in der Literatur erkennbaren Muster deutlich, dass Vorsorgemaßnahmen geboten sind. Überdies sind wachsende wissenschaftliche Bemühungen zu beobachten, Gesundheitsrisiken anhand realistischer, in der Umwelt bereits nachgewiesener Konzentrationen zu bewerten.

PHTHALATE



Chemische Beispiele

Wozu sie verwendet werden

Phthalate werden als Weichmacher – als Substanzen also, die ein Material weicher und flexibler machen – im Herstellungsprozess von Plastik für Anwendungen eingesetzt, die von Spielzeug über medizinische Geräte bis hin zu Vinylböden reichen. Häufig finden sie sich in Plastik in Haushaltsmüll.⁸²

- DEHP (Di(2-ethylhexyl)phthalat) (CAS-Nummer 117-81-7)
- DBP (Dibutylphthalat) (CAS-Nummer 84-74-2)
- BBP (Benzylbutylphthalat) (CAS-Nummer 85-68-7)
- DIBP (Diisobutylphthalat) (CAS-Nummer 84-69-5)
- DEP (Diethylphthalat) (CAS-Nummer 84-66-2)
- MEP (Monoethylphthalat) (CAS-Nummer 2306-33-4)
- MBP (Monobutylphthalat) (CAS-Nummer 131-70-4)
- MIBP (Monoisobutylphthalat) (CAS-Nummer 30833-53-5)
- DINP (Diisononylphthalat) (CAS-Nummern 28553-12-0 und 68515-48-0)
- DIDP (Diisodecylphthalat) (CAS-Nummern 26761-40-0 und 68515-49-1)

Wie sie die menschliche Gesundheit beeinflussen

Phthalate sind weit verbreitet, werden leicht absorbiert und stellen eine der am besten dokumentierten plastikbedingten Gesundheitsgefahren dar. Ihre Auswirkungen erstrecken sich über mehrere Organsysteme, was sie zum gesundheitlichen Hauptproblem plastikassoziierter Chemikalien macht.

Hormonelle und reproduktive Störungen

Als eine der am häufigsten vorkommenden endokrinen Disruptoren (EDCs) stören Phthalate die körpereigene Hormonproduktion, oft indem sie natürliche Hormone nachahmen, sich an deren Rezeptoren binden und die normale hormonelle Reaktion blockieren.⁸³ Ihre Auswirkungen fallen besonders während der Schwangerschaft und der frühen Kindheit auf, wenn der Hormonhaushalt für die Entwicklung von Gehirn und Körper entscheidend ist.

Reduzierte männliche Fruchtbarkeit

Weltweit nimmt die männliche Fruchtbarkeit ab. Phthalate beeinträchtigen die Produktion von Testosteron, einem für die männliche Fortpflanzungsentwicklung wichtigen Hormon. Es gibt eindeutige Hinweise darauf, dass diese Chemikalien mit verminderter Fruchtbarkeit in Zusammenhang stehen.^{84, 85} Dies ist hauptsächlich auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- **Verminderte Spermienqualität:** Die Exposition gegenüber höheren Phthalatkonzentrationen ist mit einer verminderten Spermienmotilität verbunden (die Fähigkeit der Spermien, zu einer Eizelle zu schwimmen und diese zu befruchten, wobei eine verminderte Motilität die Wahrscheinlichkeit von Unfruchtbarkeit erhöht).⁸⁶ Eine chinesische Studie ergab, dass Männer, die Phthalaten ausgesetzt waren, eine um 6 Prozent reduzierte Gesamtspermienzahl, eine um 5 Prozent reduzierte Spermienkonzentration und eine um 3 Prozent reduzierte Motilität aufwiesen. Diese Effekte kehrten sich teilweise um, als die Männer in Gebiete mit geringerer Phthalatbelastung zogen.⁸⁷ Ähnliche Ergebnisse wurden in Schweden⁸⁸ und Russland beobachtet, wo Männer mit höherer DINP-Exposition während der späten Pubertät eine um 32 Prozent reduzierte Gesamtspermienzahl, eine um 30 Prozent reduzierte Spermienkonzentration und eine um 30 Prozent reduzierte Motilität aufwiesen.⁸⁹
- **Genitalanomalien:** Phthalatexposition ist mit einer abnormalen männlichen Fortpflanzungsentwicklung, einem erhöhten Risiko für Kryptorchismus (Hodenhochstand), Hypospadie (Verlagerung der Harnröhrenöffnung) und einem kürzeren anogenitalen Abstand (ein Zeichen für verminderte Fruchtbarkeit) verbunden.⁹⁰ Diese Anomalien tragen zur männlichen Unfruchtbarkeit bei. Es wurden signifikante Zusammenhänge zwischen pränataler Exposition und diesen Genitalanomalien beobachtet.⁹¹

PHTHALATE		
Hormonelle und reproduktive Störungen	Störung der weiblichen Fortpflanzung	Obwohl die Beweislage weniger eindeutig ist als bei Männern, wurden Phthalate auch mit einer Reihe negativer Auswirkungen auf die weibliche Fortpflanzungsgesundheit in Verbindung gebracht. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass Phthalatexposition mit Endometriose ⁹² , Uterusmyomen ⁹³ , verminderter ovarieller Reserve ⁹⁴ , verringerter Schwangerschaftsrate ⁹⁵ , erhöhter Fehlgeburtsrate ⁹⁶ , und anderen ungünstigen Schwangerschaftsverläufen ⁹⁷ in Verbindung steht.
	Beeinträchtigte frühe kognitive Entwicklung	Eine Studie ergab, dass bestimmte Phthalate mit drastischen Entwicklungseinbußen im Alter zwischen 4,5 und 7,5 Monaten in Verbindung gebracht wurden. Dazu gehörte eine 85-prozentige Abnahme der Problemlösungsfähigkeit bei weiblichen Babys sowie eine 52-prozentige Abnahme der persönlich-sozialen Fähigkeiten und eine 39-prozentige Abnahme der Feinmotorik bei männlichen Babys. ¹⁰⁰ Es wurde nachgewiesen, dass eine frühe Exposition im Mutterleib oder in der Kindheit die kognitive Entwicklung negativ beeinflusst. ¹⁰¹ Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von mindestens 25 Studien, die eine mütterliche und pränatale Phthalat-exposition mit einer verringerten neurologischen Entwicklung und kognitiven Funktion bei Kindern in Verbindung bringen. ¹⁰²
Neurologische Entwicklung Phthalate stehen im Zusammenhang mit Störungen von für die Gehirnentwicklung wichtigen Hormonen. Phthalate beeinträchtigen nachweislich die Funktion von Tyrosin, einem Baustein von Hormonen, die mit Stimmungsregulation, Aufmerksamkeit und Impulskontrolle in Zusammenhang stehen, sowie von Thyroxin, einem für die neurologische Entwicklung wichtigen Hormon. ^{98, 99}	Reduziertes Volumen der grauen Substanz	Höhere mütterliche Phthalatwerte (Monoethylphthalat, MEP) während der Schwangerschaft waren mit einem geringeren Gesamtvolumen der grauen Substanz bei Kindern im Alter von 10 Jahren verbunden, was wiederum mit einer Beeinträchtigung der kognitiven und motorischen Funktionen einherging. ¹⁰³
	Langsamere Informationsverarbeitung	Pränatale Belastung mit Phthalaten führte zu einer langsameren Informationsverarbeitung im Säuglingsalter. ¹⁰⁴
Auswirkungen auf die Atemwege Phthalatexposition während der Schwangerschaft kann das Risiko von Atemproblemen bei Kindern erhöhen. ¹⁰⁵	Asthma	Eine Studie ergab, dass Kinder von Müttern mit höheren Konzentrationen der Harnstoffwechselprodukte BBP und DBP während der Schwangerschaft zwischen 5 und 11 Jahren mit bis zu 78 Prozent höherer Wahrscheinlichkeit Asthma entwickelten als Kinder von Müttern mit niedrigeren Konzentrationen. ¹⁰⁶
	Allergische Rhinitis (allergisch bedingte Atemprobleme)	Phthalate können Husten und Entzündungen der Atemwege auslösen, indem sie die Immunfunktion stören, was zu chronischer Reizung der Atemwege und einer Beeinträchtigung der Lungenfunktion beiträgt. ^{107,108} Dies kann passieren, weil sie Nerven stimulieren ¹⁰⁹ oder die Genaktivität in wichtigen Immunzellen verändern, was eine allergische Lungenentzündung verstärken kann. ¹¹⁰
Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System Phthalate können auch ernsthafte Risiken für die Herz-Kreislauf-Gesundheit ¹¹¹ darstellen, möglicherweise durch Schädigung der Genexpression der Mitochondrien. ¹¹²	Herzkrankheit	Eine Studie mit über 10.000 Erwachsenen deutete darauf hin, dass Phthalatwerte mit einem Anstieg von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Zusammenhang stehen. ¹¹³
	Bluthochdruck	Mehrere Studien haben ergeben, dass die Belastung mit Phthalaten (insbesondere MEP, MBP und MIBP) mit Bluthochdruck (Hypertonie) verbunden ist, insbesondere bei schwangeren Frauen. ¹¹⁴
	Atherosklerose (Plauebildung)	Phthalate schädigen vermutlich die Mitochondrien, ¹¹⁵ die Energie-lieferanten unserer Zellen. Fehlfunktionen der Mitochondrien können Entzündungen und Atherosklerose auslösen. Dabei verengen und verhärten sich die Arterien durch Fettablagerungen (Plaques) an ihren Innenwänden. Arteriosklerose ¹¹⁶ ist eine der Hauptursachen für Herzinfarkt, Herzinsuffizienz und Schlaganfall.

PHTHALATE

Wie sie die Tiergesundheit beeinflussen

Bei Rüden, die DEHP ausgesetzt waren, kam es zu einer ähnlichen Verschlechterung der Spermienqualität wie beim Menschen.¹¹⁷ Bei Mäusen verringerte eine Phthalatmischung die Beweglichkeit der Spermien deutlich, was zu einer geringeren Befruchtungsrate führte.¹¹⁸ Eine aktuelle Studie an Ziegen, die während der gesamten Schwangerschaft mit Phthalaten gefüttert wurden, berichtete von signifikant verringerten Hormonspiegeln von Östrogen, Progesteron, luteinisierendem Hormon und Thyroxin im Vergleich zu Kontrolltieren.¹¹⁹

Nagetiere und Zebrafische, die Phthalaten ausgesetzt waren, zeigten eine veränderte Gehirnentwicklung, kognitive Beeinträchtigungen, oxidativen Stress und Verhaltensänderungen. Rattennachkommen, die im Mutterleib Phthalaten ausgesetzt waren, schnitten in kognitiven Tests deutlich schlechter ab.¹²⁰ Es wurde auch gezeigt, dass einige Phthalate, darunter BBP, DEHP und DBP, die Gehirnentwicklung verändern und die kognitiven Verhaltensfunktionen bei erwachsenen Zebrafischen und Nagetieren beeinträchtigen.¹²¹ So ergab eine Studie, dass DEHP bei Zebrafischen eine entwicklungsschädliche Wirkung hatte. Die Neurotoxizität zeigte sich in einer Hemmung der Schwanzentwicklung ist gemeint. und verringerter Aktivität. DEHP induzierte außerdem oxidativen Stress und Apoptose bei Zebrafischlarven.¹²² In einer Modellstudie mit Mäusen litten bis zu 14 Prozent der Nachkommen trächtiger Mäuse, die DEHP ausgesetzt waren, an angeborenen Herzfehlern. Diese Studie führte das auf die Unterdrückung wichtiger Gene durch DEHP zurück, die an der Kardiogenese (der Entwicklung und Bildung des Herzens) beteiligt sind.¹²³



BISPHENOLE



Wozu sie verwendet werden

Bisphenole sind chemische Verbindungen, die Plastik härten und bruchstark machen. Am häufigsten wird Bisphenol A (BPA) bei der Herstellung von Polycarbonaten verwendet. Dabei handelt es sich um transparentes Plastik, das häufig als Zusatzstoff für Bedachungen und Verglasungen, aber auch in CDs, Schutzhelmen und Babyflaschen eingesetzt wird. BPA wurde in einigen Regionen schrittweise abgeschafft und oft durch andere Bisphenole wie BPB und BPS ersetzt, die möglicherweise dieselben (öko-)toxikologischen Risiken bergen. Mindestens 34 weitere Bisphenole sind im Einsatz und können ähnliche schädliche Auswirkungen haben.¹²⁴

Chemische Beispiele

- BPA (Bisphenol A) (CAS-Nummer 80-05-7)
- BPB (Bisphenol B) (CAS-Nummer 77-40-7)
- BPS (Bisphenol S) (CAS-Nummer 80-09-1)

Wie sie die menschliche Gesundheit beeinflussen

BPA hat Bedenken hinsichtlich der öffentlichen Gesundheit ausgelöst und führte zur Einstufung als endokriner Disruptor und als Reproduktionsgift.¹²⁵ Mit der Störung des Hormonhaushalts geht die Beeinträchtigung zahlreicher Aspekte menschlicher Gesundheit einher und unterstreicht die systemische Wirkung von Bisphenolen. Mit zunehmendem Bewusstsein für die Toxizität von BPA wurde es häufig durch Alternativen wie Bisphenol S ersetzt. Eine aktuelle Metaanalyse hat jedoch gezeigt, dass alle Bisphenole auf verschiedene Hormone bei Tieren starken Einfluss nehmen, darunter auf die Schilddrüse und das Fortpflanzungssystem. Obwohl sich die Evidenzbasis noch in der Entwicklung befindet, wird vermutet, dass BPA-Alternativen ebenso große oder sogar größere Auswirkungen auf den Hormonhaushalt haben wie BPA.¹²⁶

Hormonelle und reproduktive Störungen

Durch die Nachahmung von Östrogen verändert BPA genetische und hormonelle Prozesse und steht im Zusammenhang mit einem erhöhten Risiko für östrogenabhängige Erkrankungen bei Frauen.¹²⁷

Brustkrebs

BPA steht im Verdacht, das Brustkrebsrisiko zu erhöhen, indem es den Östrogenstoffwechsel stört und genetische Mutationen hervorruft, die zur Tumorbildung führen können.¹²⁸ In einer Studie wiesen Personen mit Brustkrebs im Vergleich zu Personen ohne Brustkrebs signifikant höhere BPA-Werte im Urin auf.¹²⁹

Weibliche Fortpflanzungsprobleme

Die Belastung mit BPA wird mit einer Reihe von Fortpflanzungsproblemen in Verbindung gebracht, darunter das polyzystische Ovarialsyndrom (PCOS – eine Erkrankung, die zu Unfruchtbarkeit führen kann)¹³⁰, vorzeitiger Beginn der Pubertät, niedriges Geburtsgewicht und Präeklampsie (eine schwere Schwangerschaftskomplikation, die durch Bluthochdruck gekennzeichnet ist).¹³¹

Schilddrüsenstörung

Die Schilddrüse ist für die Regulierung des Hormonhaushalts und das Wachstum und die Entwicklung des Nerven- und Skelettsystems von entscheidender Bedeutung. BPA kann die Schilddrüsenhormonbahnen beeinflussen und ihre normale Funktion stören. Diese Auswirkungen sind bei Mädchen aufgrund der Wechselwirkung mit weiblichen Entwicklungsprozessen besonders ausgeprägt.^{132,133}

BISPHENOLE

Neurologische Entwicklung

BPA kann die Östrogenrezeptoren im gesamten Körper, einschließlich des Gehirns, beeinträchtigen und langfristige Folgen haben. Eine Störung der Östrogen-signalisierung in wichtigen Entwicklungsphasen, wie z. B. in der Gebärmutter und der Pubertät, kann die Struktur und Funktion des Gehirns verändern.

Beeinträchtigte neurologische Entwicklung

Durch die Veränderung der Genexpression und der Gehirnfunktion kann BPA langfristige Folgen für die neurologische Entwicklung haben, darunter ADHS, Autismus, Depressionen, Angstzustände, emotionale Instabilität und kognitive Defizite.¹³⁴

Neurologische Krankheit beim Erwachsenen

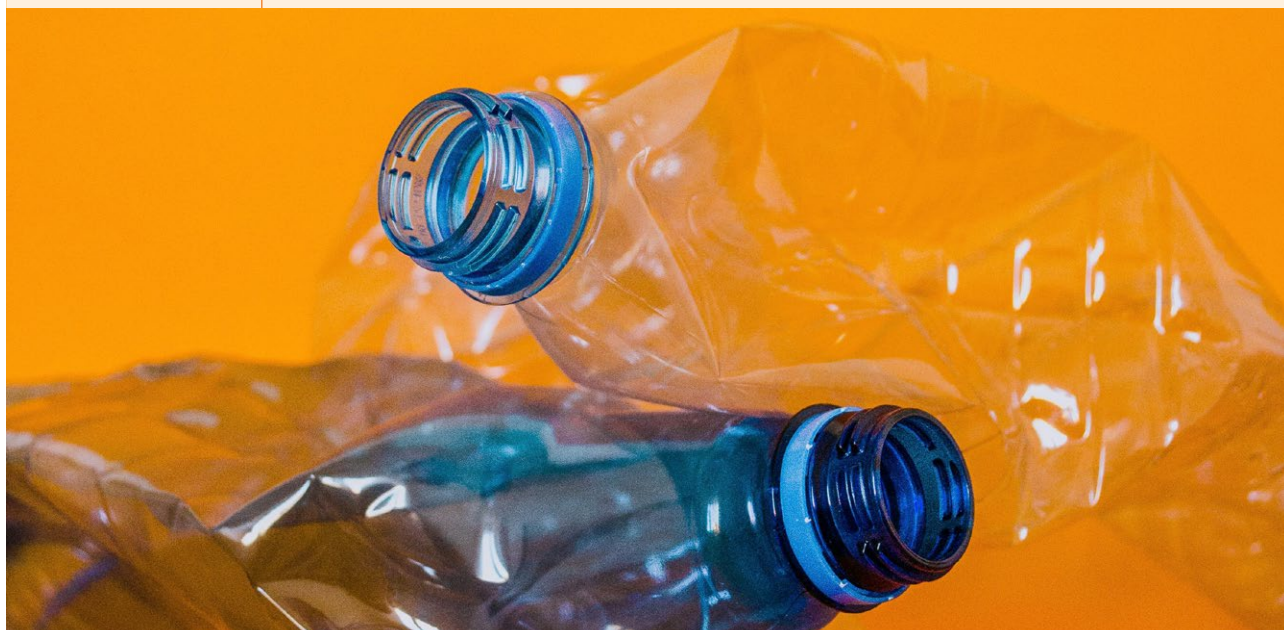
BPA-bedingte Neurotoxizität wird auch mit einem erhöhten Risiko für neurologische Erkrankungen wie Schlaganfall, Alzheimer und Parkinson in Verbindung gebracht.¹³⁵

Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System

BPA-Exposition wird mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Bluthochdruck in Verbindung gebracht. Obwohl noch nicht alle Mechanismen vollständig verstanden sind, kann doch bereits zusammengefasst werden, dass BPA nachweislich die Signalübertragung im Herz-Kreislauf-System stören kann.¹³⁶

Wie sie die Tiergesundheit beeinflussen

BPA hat ähnliche endokrin schädigende Wirkungen auf Tiere. In Studien an Nagetieren führte eine Östrogeninterferenz zu verändertem Sexualverhalten und erhöhter Angst.¹³⁷ BPA wurde als direktes Karzinogen im Brustgewebe von Mäusen und Ratten identifiziert und induzierte bei Ratten PCOS.¹³⁸ Tierstudien fanden auch Hinweise darauf, dass Bisphenolexposition die Schilddrüsenaktivität bei Hamstern beeinträchtigte und bei Kaulquappen die Metamorphose störte.¹³⁹ Die Exposition trächtiger Schafe gegenüber BPA wurde mit Schilddrüsenunterfunktion bei neugeborenen Lämmern in Verbindung gebracht.¹⁴⁰ Auch neurologische Effekte wurden beobachtet. Mäuse, die im Mutterleib BPA ausgesetzt waren, zeigten eine verminderte Lernfähigkeit, ein reduziertes Langzeitgedächtnis und erhöhte Angstzustände.¹⁴¹ Auch die Gehirne männlicher Ratten, die im Mutterleib BPA ausgesetzt waren, wurden negativ beeinflusst.¹⁴²



UV-STABILISATOREN UND ALKYLPHENOLE



Wozu sie verwendet werden

UV-Stabilisatoren verhindern den Abbau von Plastik durch Hitze und Licht, insbesondere während der Verarbeitung. Alkylphenole gehören zu den Stabilisatoren, die Plastik geschmeidiger und haltbarer machen. Sie finden sich unter anderem in medizinischer Plastik, Automobilkomponenten und Gartenmöbeln sowie in Kosmetikprodukten.

Chemische Beispiele

- Benzophenone-3 (BP-3)
- Nonylphenole
- Octylphenole

Wie sie die menschliche Gesundheit beeinflussen

UV-Stabilisatoren sind endokrine Disruptoren, die das Hormonsystem des Körpers beeinflussen und zu einer Vielzahl von gesundheitsschädlichen Folgen führen können. BP-3 ist einer der am besten dokumentierten schädlichen UV-Stabilisatoren. Alkylphenole zählen ebenfalls zu den endokrinen Disruptoren; sie bilden eine breite Kategorie komplexer Chemikalien, weisen aber alle eine ähnliche Molekularstruktur wie Östrogen auf.

Hormonelle und reproduktive Störungen

Aufgrund ihrer hormonellen Wirkung werden UV-Stabilisatoren und Alkylphenole mit einer Reihe schwerwiegender hormoneller Erkrankungen in Verbindung gebracht, darunter auch einige im Zusammenhang mit dem Fortpflanzungssystem.

Hormonbedingte Krebserkrankungen

Aufgrund ihrer Wirkung auf weibliche Sexualhormone werden UV-Stabilisatoren mit hormonabhängigen Krebsarten wie Brust- und Gebärmutterkrebs in Verbindung gebracht. Eine Studie mit über 1.500 Brustkrebspatientinnen ergab eine höhere Fallzahl bei Personen, die in Berufen mit regelmäßiger Exposition gegenüber Alkylphenolen arbeiten, z. B. in der Kunststoffherstellung.¹⁴³ Zugleich wurde gezeigt, dass bestimmte UV-Stabilisatoren das Wachstum von Brustkrebszellen fördern.¹⁴⁴ In einer anderen Studie wiesen Frauen mit Gebärmutterkrebs im Vergleich zu Frauen ohne diese Erkrankung signifikant höhere Konzentrationen zweier Alkylphenole im Urin auf.¹⁴⁵

Endometriose und andere Gebärmuttererkrankungen

Acht regionale Studien brachten UV-Stabilisatoren mit einem erhöhten Risiko für hormonbedingte Fortpflanzungsstörungen wie Uterusmyome und Endometriose in Verbindung. In einer Studie wiesen Frauen mit der höchsten BP-3-Konzentration im Urin ein um 65 Prozent höheres Endometrioserisiko auf als andere Gruppen.¹⁴⁶

Schwangerschaftsdiabetes

Die Exposition gegenüber Alkylphenolen führt bei schwangeren Frauen, insbesondere bei Frauen mit weiblichen Föten, zu einem deutlich erhöhten Risiko für Schwangerschaftsdiabetes.¹⁴⁷ Zwar liegen noch keine vollständig abschließenden Beweise vor, doch ergab eine Studie mit schwangeren Frauen in China, dass dies auf die Alkylphenolexposition während der Schwangerschaft zurückzuführen sein könnte, die die Leberfunktion der Mutter beeinträchtigt.¹⁴⁸

Testosteronstörung bei Männern

Die Exposition gegenüber BP-3 ist mit niedrigeren Testosteronspiegeln bei heranwachsenden Männern verbunden, was die Pubertät behindern, die Knochen- und Muskeldichte verringern und Unfruchtbarkeit verursachen kann.¹⁴⁹

Angeborene Erkrankungen

Pränatale Exposition gegenüber BP-3 wird mit Morbus Hirschsprung in Verbindung gebracht, einer angeborenen Darmerkrankung, die durch Genmutationen verursacht wird und zu Darmverschluss und chronischer Verstopfung führt.¹⁵⁰

UV-STABILISATOREN UND ALKYLPHENOLE

Weitere Auswirkungen	Knochen- gesundheit	BP-3 interferiert mit SPARC, einem Protein, das Knochenbildung, -erhaltung und -reparatur beeinflusst. Erhöhte BP-3-Werte im Urin korrelieren mit Arthrose. ¹⁵¹
Wie sie die Tiergesundheit beeinflussen	Die Auswirkungen von UV-Stabilisatoren sind nicht nur beim Menschen zu beobachten, sondern haben sich auch bei Fischen und Nagetieren als gesundheitsschädigend erwiesen. ¹⁵² Tierstudien haben gezeigt, dass Alkylphenole Leber- und Nierengewebe schädigen können, insbesondere bei Ratten. ¹⁵³ Die Exposition trächtiger Ratten wurde mit Leberschäden sowohl bei der Mutter als auch bei den Nachkommen in Verbindung gebracht, was eine Grundlage für die Untersuchung ähnlicher Auswirkungen beim Menschen bietet. ^{154, 155}	



PER- UND POLYFLUORIERTER ALKYLSTOFFE (PFAS)



Wozu sie verwendet werden

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) werden häufig in Konsumgütern eingesetzt. Sie werden auch Plastikprodukten zugesetzt, um sie hitze-, öl-, flecken-, fett- und wasserbeständig zu machen. Sie finden sich in Lebensmittelverpackungen, Kochgeschirr, Baumaterialien und Elektronik.

Chemische Beispiele

Es gibt potenziell Tausende als PFAS klassifizierte Chemikalien. Sie werden häufig eher als Kategorie, denn als einzelne Verbindungen betrachtet.

Wie sie die menschliche Gesundheit beeinflussen

PFAS – oft als „ewige Chemikalien“ bezeichnet – sind synthetische Verbindungen, die jahrelang in der Umwelt, in der Tierwelt und im menschlichen Körper verbleiben. Diese Chemikalien sind bekannte endokrine Disruptoren, die den Hormonhaushalt stören und insbesondere die Schilddrüsenfunktion beeinträchtigen. PFAS greifen nicht nur ein einzelnes Organ oder System an. Sie können den Körper über lange Zeiträume auf mehreren Ebenen schädigen.

Hormonelle und reproduktive Störungen

PFAS können Östrogen und Testosteron imitieren und so die Produktion, den Transport und den Abbau dieser wichtigen Hormone beeinträchtigen, was erhebliche Auswirkungen auf die reproduktive und allgemeine Gesundheit hat.¹⁵⁶

Unerwünschte Schwangerschafts- und Geburtsfolgen

Die pränatale Exposition gegenüber PFAS ist mit negativen Auswirkungen verbunden, darunter ein erhöhtes Risiko für Präeklampsie, niedriges Geburtsgewicht und Schäden an der Plazenta, einem für die fetale Entwicklung und den Nährstofftransport entscheidenden Organ.¹⁵⁷

Störungen bei der Laktation und beim Stillen

Zwei Studien haben die PFAS-Exposition mit einer verkürzten Stilldauer in Verbindung gebracht, was Auswirkungen auf die Ernährung in der frühen Kindheit hat.¹⁵⁸

Krebs

PFAS werden aufgrund ihrer Wechselwirkung mit Schilddrüsenhormonen mit verschiedenen Krebsarten in Verbindung gebracht, insbesondere mit Schilddrüsenkrebs. Eine Studie ergab eine um 56 Prozent erhöhte Rate an Schilddrüsenkrebsdiagnosen bei Patient:innen mit der doppelten Menge an PFOS (einer PFAS-Art) im Blut.¹⁵⁹ Es gibt auch Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen PFAS und Nieren- und Hodenkrebs: 11 Studien fanden einen Zusammenhang zwischen der Gesamtbelastung mit PFAS und einem höheren Risiko für Nierenkrebs, während eine hohe Belastung mit einem höheren Risiko für Hodenkrebs einhergeht.¹⁶⁰

Auswirkungen auf die Atemwege

PFAS-Exposition kann das Lungengewebe schädigen und Entzündungen auslösen.

Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)

Die Belastung mit PFAS entwickelt sich zu einem Risikofaktor für COPD, ein schwerwiegendes globales Gesundheitsproblem, das von der WHO im Jahr 2019 als dritthäufigste Todesursache eingestuft wurde.¹⁶¹

Reduzierte Lungenfunktion

Die Exposition kann das Lungengewebe schädigen und Entzündungen auslösen. Darüber hinaus wird sie mit einer verringerten Lungenfunktion bei Kindern und Jugendlichen sowie einem Anstieg der Asthma- und Allergieraten in Verbindung gebracht.^{162, 163}

Weitere Auswirkungen

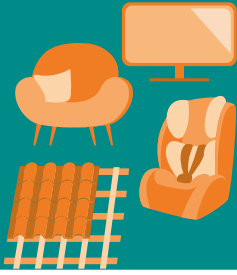
Immunsuppression

PFAS können die Immunfunktion allgemein unterdrücken, was zu einer verringerten Wirksamkeit von Impfstoffen und einem erhöhten Risiko von Infektionskrankheiten im Kindesalter führt.¹⁶⁴ Diese Störungen des Immunsystems unterstreichen die systemische Natur der PFAS-Toxizität im Körper.

Wie sie die Tiergesundheit beeinflussen

Bei Kaninchen, deren Plazentastrukturen denen des Menschen ähneln, führte die Exposition gegenüber PFAS zu Gewichtszunahme der Mutter, Bluthochdruck (Hypertonie), Nierenschäden und veränderten Reaktionen der Plazenta.¹⁶⁵ Bei Nagetieren verringerten PFAS nachweislich die Produktion und den Transport von laktationsbezogenen Hormonen und verzögerten die Entwicklung der Brustdrüsen. Dies entspricht den Ergebnissen von Studien am Menschen, die die Exposition gegenüber PFAS mit einer kürzeren Stilldauer in Verbindung brachten.¹⁶⁶

FLAMMSCHUTZMITTEL



Wozu sie verwendet werden

Flammschutzmittel werden verwendet, um Plastik feuerbeständig zu machen und es vor Verbrennung und Zersetzung zu schützen. Sie werden in der Bekleidungsindustrie, im Bauwesen, in Elektrogeräten, Drähten und Kabeln eingesetzt.

Organophosphate, die einst als sicherere Alternative zu gängigen bromierten Flammschutzmitteln wie HBCD und PBDE galten, sind in letzter Zeit selbst in die Kritik geraten.

Chemische Beispiele

- TBBPA (Tetrabrombisphenol A) (CAS-Nummer 79-94-7)
- HBCD (Hexabromcyclododecan) (CAS-Nummer 3194-55-6)
- TDCPP (Tris(1,3-dichlor-2-propyl)phosphat) (CAS-Nummer 13674-87-8)
- PBDE (polybromierte Diphenylether)

Wie sie die menschliche Gesundheit beeinflussen

Viele Flammschutzmittel sind als endokrine Disruptoren bekannt, beeinflussen die Hormone im Körper und beeinträchtigen normale physiologische Prozesse.¹⁶⁷

Hormonelle und reproduktive Störungen

Die hormonellen Auswirkungen der Exposition gegenüber Flammschutzmitteln geben Anlass zu ernsthaften Bedenken hinsichtlich hormonbedingter Krebserkrankungen.

Erhöhtes Krebsrisiko

HBCD kann die Östrogenaktivität beeinträchtigen und so die Proliferation von Brustkrebszellen fördern.¹⁶⁸ Es wurde auch festgestellt, dass es das Fortschreiten von Prostatakrebs beschleunigt.¹⁶⁹ PBDEs (polybromierte Diphenylether) stören die Schilddrüsenhormone und werden mit Schilddrüsenkrebs in Verbindung gebracht.¹⁷⁰

TDCPP, ein Organophosphat-Flammschutzmittel (OPFR), wirkt nachweislich krebserregend in menschlichen Leberzellen.¹⁷¹

Neurologische Entwicklung

Es wurde nachgewiesen, dass Flammschutzmittel die neurologische Entwicklung negativ beeinflussen, indem sie die Hormonregulation stören, den Neurotransmitterspiegel verändern und die kognitive Funktion während kritischer Phasen des Gehirnwachstums beeinträchtigen.

Entwicklungsstörungen

Die Exposition gegenüber PBDE vor der Geburt und in der frühen Kindheit wird mit kognitiven Beeinträchtigungen und einem verringerten IQ bei Kindern sowie möglicherweise auch mit Autismus in Verbindung gebracht.^{172, 173}

Parkinson-Krankheit

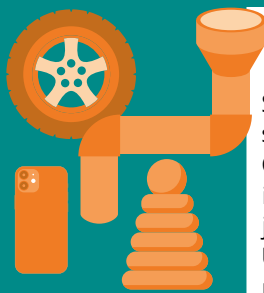
Die Exposition gegenüber BFR wurde auch mit einem höheren Risiko für die Parkinson-Krankheit in Verbindung gebracht.¹⁷⁴

FLAMMSCHUTZMITTEL

Auswirkungen auf die Atemwege Flammschutzmittel können die Gesundheit der Atemwege beeinträchtigen, indem sie die Lungenfunktion beeinträchtigen und die Anfälligkeit für Atemwegserkrankungen erhöhen, insbesondere durch das Einatmen von Partikeln.	Atemprobleme im Kindesalter	Es wurde festgestellt, dass die Exposition gegenüber OPFR in eingeatmetem Staub mit einem höheren Risiko für Keuchen, Atemwegsinfektionen und Heuschnupfen oder Allergien bei Kindern im Alter von einem Jahr verbunden ist.¹⁷⁵
Weitere Auswirkungen	Metabolisches Syndrom	Bei Männern werden OPFR mit dem Metabolischen Syndrom in Verbindung gebracht – einer Gruppe von Erkrankungen, die mit Herzerkrankungen, Schlaganfall und Diabetes in Zusammenhang steht und zu der Bluthochdruck, hoher Blutzucker und hoher Cholesterinspiegel gehören.¹⁷⁶
Wie sie die Tiergesundheit beeinflussen	TBBPA (Tetrabrombisphenol A) kann bei Ratten Gebärmutterkrebs verursachen.¹⁷⁷ Bei Zebrafischen wurde festgestellt, dass HBCD die Schilddrüsenhormone beeinflusst, was zu Leberschäden und Körpermissbildungen führt.^{178, 179} Mindestens drei Studien an Nagetieren zeigen, dass HBCD die neurologische Entwicklung behindert, was bei erwachsenen Tieren zu Verhaltensstörungen führt.¹⁸⁰	



METALLE, HALBMETALLE UND METALLVERBINDUNGEN



Wozu sie verwendet werden

Schwermetalle und Halbmetalle werden als Farbpigmente oder zur Erhöhung der Kunststoffdichte verwendet.¹⁸¹ Cadmium und Blei sind die beiden gefährlichsten Metallzusätze. Cadmium ist in der EU aufgrund seiner gesundheitlichen Auswirkungen als Zusatzstoff in 16 Kunststoffarten, darunter PVC und Polypropylen, verboten, in anderen Polymeren jedoch erlaubt.¹⁸² Historische Gegenstände, die noch immer verwendet werden oder im Umlauf sind (Spielzeug, Baukunststoffe, Kabelisolierungen), können hohe Bleikonzentrationen enthalten. Auch hat es durch mechanisches Recycling einiges modernes Plastik kontaminiert.¹⁸³

Chemische Beispiele

- Cadmium (CAS-Nummer 7440-43-9)
- Blei (CAS-Nummer 7439-92-1)

Wie sie die menschliche Gesundheit beeinflussen

Cadmium und Blei werden mit erheblichen Gesundheitsrisiken in Verbindung gebracht, die sich auf das hormonelle, neurologische und kardiovaskuläre System auswirken.

Hormonelle und reproduktive Störungen

Blei und Cadmium können hormonelle und reproduktive Störungen verursachen, indem sie die Funktion des endokrinen Systems beeinträchtigen und die Fruchtbarkeitsmechanismen beeinträchtigen.

Reduzierte männliche Fruchtbarkeit

Bleibelastung verringert die Spermienkonzentration, das Volumen und die Beweglichkeit und trägt so zu einem Rückgang der männlichen Fruchtbarkeit bei.¹⁸⁴

Krebs

Cadmium ist ein bekanntes Karzinogen, dessen Hauptweg die Störung von Östrogen und Östrogenrezeptoren ist, was das Risiko von Gebärmutterkrebs erhöht.¹⁸⁵ Es wird auch mit einem erhöhten Risiko von Schilddrüsen-,¹⁸⁶ Lungen-, Nieren-, Prostata- und Bauchspeicheldrüsenkrebs in Verbindung gebracht.¹⁸⁷

Neurologische Auswirkungen

Blei ist ein gut dokumentiertes Neurotoxin, das über verschiedene Mechanismen die Funktion und Entwicklung des Gehirns schädigt.

Entwicklung des Nervensystems

Blei kann die Entwicklung des Nervensystems verändern, sich auf die Bildung wichtiger Nervenzellen auswirken und die Funktion von Neurotransmittern beeinflussen. Es beeinflusst auch die Stickoxid-Aktivität, die sich wiederum auf die Blutgefäße im Gehirn auswirkt und die Serotoninübertragung verändert.¹⁸⁸

Kognitive Folgen

Bleibelastung hat schwerwiegende Auswirkungen auf die neurologische Entwicklung des Fötus. Pränatale und frühe Bleibelastung werden mit verschiedenen neurologischen Störungen in Verbindung gebracht und haben Auswirkungen auf das Verhalten und die kognitiven Fähigkeiten, wie beispielsweise einen niedrigeren IQ, Legasthenie, ADHS und antisoziales Verhalten.¹⁸⁹

Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System

Blei und Cadmium werden mit schädlichen Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System in Verbindung gebracht.

Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Bleibelastung wird mit Bluthochdruck, koronarer Herzkrankheit und Schlaganfall sowie peripherer arterieller Verschlusskrankheit in Verbindung gebracht.¹⁹⁰ Cadmium kann auch das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen, und der Cadmiumspiegel im Urin ist ein Indikator für die Sterblichkeit bei Patient:innen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen.¹⁹¹

METALLE, HALBMETALLE UND METALLVERBINDUNGEN

Weitere Auswirkungen	Diabetes	Cadmium kann aufgrund seiner Wechselwirkungen mit dem Stoffwechsel das Diabetesrisiko erhöhen. ¹⁹²
	DNA-Schäden	Der Stress und die DNA-Schäden, die durch Cadmiumexposition im Körper entstehen, können auch Nierenschäden, Leberschäden, neurodegenerative Erkrankungen und Osteoporose verursachen. ^{193,194}
Wie sie die Tiergesundheit beeinflussen	Blei hat viele der gleichen schädlichen Auswirkungen auf Tiere. Es wurde mit Hirnschäden, Bluthochdruck, verminderter Fruchtbarkeit und Leberschäden bei Ratten in Verbindung gebracht. ¹⁹⁵ Cadmium erwies sich bei Ratten als krebserregend. Laborstudien zeigten Verbindungen zu Leukämie, Nieren-, Prostata- und Hodenkrebs. ¹⁹⁶ Es wird auch mit Osteoporose und Knochendichte bei Ratten in Verbindung gebracht. ¹⁹⁷	



LITERATURVERZEICHNIS

- 1 United Nations Environment Programme Ozone Secretariat (2020). Montreal Protocol likely to avert 443 million skin cancer cases in the United States. Abgerufen von: <https://ozone.unep.org/montreal-protocol-likely-avert-443-million-skin-cancer-cases-united-states>
- 2 Kukkola, A., Schneidewind, U., Haverson, L., Kelleher, L., Drummond, J. D., Smith, G. S., Lynch, I., Krause, S. (2024). Snapshot sampling may not be enough to obtain robust estimates for riverine microplastic loads, *ACS ES&T Water*, 4/5: 2309–2319. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00176
- 3 Wazne, M., Schneidewind, U., Haverson, L., Mermillod-Blondin, F., Simon, L., Nel, H. A., Krause, S. (2024). Does what we find depend on how we sample? Measured streambed microplastic concentrations can be affected by the choice of sampling method, *The Science of the Total Environment*, 958: 178096. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.178096
- 4 Jamieson, A. (2020). The new face of the plastics crisis, *Newcastle University, Eurythenes plasticus*. Abgerufen von: <https://www.ncl.ac.uk/press/articles/archive/2020/03/eurythenesplasticus>
- 5 Materić, D., Ludewig, E., Brunner, D., Röckmann, T., Holzinger, R. (2021a). Nanoplastics transport to the remote, high-altitude alps, *Environmental Pollution*, 288: 117697. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117697
- 6 Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., Sillanpää, M. (2020a). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives, *Earth-Science Reviews*, 203: 103118. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103118
- 7 Vethaak, A. D., Legler, J. (2021a). Microplastics and human health, *Science*, 371/6530: 672–4. DOI: 10.1126/science.abe5041
- 8 Zhang, J., Wang, L., Kannan, K. (2019). Microplastics in house dust from 12 countries and associated human exposure, *Environment International*, 134: 105314. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105314
- 9 Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 219: 161–168. DOI: 10.1016/j.ecss.2019.02.018
- 10 World Health Organization. (2022). Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. Abgerufen von <https://iris.who.int/handle/10665/362049>
- 11 Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants, *Sustainability*, 12/14: 5514. DOI: 10.3390/su12145514
- 12 Rubio-Armendáriz, C., Alejandro-Vega, S., Paz-Montelongo, S., Gutiérrez-Fernández, Á. J., Carrascosa-Iruzubieta, C. J., La Torre, A. H.-D. (2022). Microplastics as emerging food contaminants: A challenge for food safety, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19/3: 1174. DOI: 10.3390/ijerph19031174
- 13 Thompson, R. C., Courteney-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., Koelmans, A. A. (2024). Twenty years of microplastics pollution research – what have we learned?, *Science*, 386/6720. DOI: 10.1126/science.adl2746
- 14 WWF (o. J.). Implementing a One Health approach to conservation. Abgerufen von: <https://www.panda.org/discover/our-focus/wildlife-practice/one-health>
- 15 Rodrigues, A. C. B., De Jesus, G. P., Waked, D., Gomes, G. L., Silva, T. M., Yariwake, V. Y., Da Silva, M. P. et al. (2022). Scientific Evidence about the Risks of Micro and Nanoplastics (MNPLs) to Human Health and Their Exposure Routes through the Environment, *Toxics*, 10/6: 308. DOI: 10.3390/toxics10060308
- 16 Ageel, H. K., Harrad, S., Abdallah, M. A.-E. (2021). Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment, *Environmental Science Processes & Impacts*, 24/1: 17–31. DOI: 10.1039/d1em00301a
- 17 Soltani, N. S., Taylor, M. P., Wilson, S. P. (2021a). Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust, *Environmental Pollution*, 283: 117064. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117064
- 18 Zhang, Q., Zhao, Y., Du, F., Cai, H., Wang, G., Shi, H. (2020). Microplastic fallout in different indoor environments, *Environmental Science & Technology*, 54/11: 6530–6539. DOI: 10.1021/acs.est.0c00087
- 19 Pfaller, J. B., Goforth, K. M., Gil, M. A., Savoca, M. S., Lohmann, K. J. (2020). Odors from marine plastic debris elicit foraging behavior in sea turtles, *Current Biology*, 30/5: R213–4. DOI: 10.1016/j.cub.2020.01.071
- 20 NOAA Marine Debris Program, Ingestion | Why Marine Debris Is a Problem. Abgerufen von: <https://marinedebris.noaa.gov/why-marine-debris-problem/ingestion>
- 21 Kühn, S., Van Franeker, J. A. (2020a). Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna, *Marine Pollution Bulletin*, 151: 110858. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110858
- 22 Jeong, E., Lee, J.-Y., Redwan, M. (2024). Animal exposure to microplastics and health effects: A review, *Emerging Contaminants*, 10/4: 100369. DOI: 10.1016/j.emcon.2024.100369
- 23 Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L., Bergmann, M. (2022). Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems. *Zenodo* (CERN European Organization for Nuclear Research). DOI: 10.5281/zenodo.5898684
- 24 Musa, I. O., Auta, H. S., Ilyasu, U. S., Aransiola, S. A., Makun, H. A., Adabara, N. U., Abioye, O. P. et al. (2023). Micro- and nanoplastics in environment: degradation, detection, and ecological impact, *International Journal of Environmental Research*, 18/1. DOI: 10.1007/s41742-023-00551-9
- 25 Kavle, R. R., Nolan, P. J., Carne, A., Agyei, D., Morton, J. D., Bekhit, A. E.-D. A. (2023). Earth Worming – An Evaluation of Earthworm (*Eisenia andrei*) as an Alternative Food Source, *Foods*, 12/10: 1948. DOI: 10.3390/foods12101948
- 26 ChemTrust (2023). Flame retardant chemicals contaminate over 150 species of wildlife. Abgerufen von: chemtrust.org/news/flame-retardant-map
- 27 ChemTrust (2023). Flame retardant chemicals contaminate over 150 species of wildlife. Abgerufen von: chemtrust.org/news/flame-retardant-map

- 28 West, J. B. (2022). The strange history of atmospheric oxygen, *Physiological Reports*, 10/6. DOI: 10.14814/phy2.15214
- 29 Tetu, S. G., Sarker, I., Schrameyer, V., Pickford, R., Elbourne, L. D. H., Moore, L. R., Paulsen, I. T. (2019). Plastic leachates impair growth and oxygen production in *Prochlorococcus*, the ocean's most abundant photosynthetic bacteria, *Communications Biology*, 2/1. DOI: 10.1038/s42003-019-0410-x
- 30 Luo, Q., Tan, H., Ye, M., Jho, E. H., Wang, P., Iqbal, B., Zhao, X. et al. (2025). Microplastics as an emerging threat to human health: An overview of potential health impacts, *Journal of Environmental Management*, 387: 125915. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125915
- 31 Mahmud, F., Sarker, D. B., Jocelyn, J. A., Sang, Q.-X. A. (2024). Molecular and Cellular Effects of Microplastics and Nanoplastics: Focus on Inflammation and Senescence, *Cells*, 13/21: 1788. DOI: 10.3390/cells13211788
- 32 Krause, S., Ouellet, V., Allen, D., Allen, S., Moss, K., Nel, H. A., Manaseki-Holland, S. et al. (2024). The potential of micro- and nanoplastics to exacerbate the health impacts and global burden of non-communicable diseases, *Cell Reports Medicine*, 5/6: 101581. DOI: 10.1016/j.xcrm.2024.101581
- 33 Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Nor, N. H. M., De Ruijter, V. N., Mintenig, S. M., Kooi, M. (2022). Risk assessment of microplastic particles, *Nature Reviews Materials*, 7/2: 138–152. DOI: 10.1038/s41578-021-00411-y
- 34 Landrigan, P. J., Raps, H., Cropper, M., Bald, C., Brunner, M., Canonizado, E. M., Charles, D. et al. (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health, *Annals of Global Health*, 89/1. DOI: 10.5334/aogh.4056
- 35 Vasse, G. F., Melgert, B. N. (2024). Microplastic and plastic pollution: impact on respiratory disease and health, *European Respiratory Review*, 33/172: 230226. DOI: 10.1183/16000617.0226-2023
- 36 Xuan, L., Wang, Y., Qu, C., Yi, W., Yang, J., Pan, H., Zhang, J. et al. (2024). Exposure to polystyrene nanoplastics induces abnormal activation of innate immunity via the cGAS-STING pathway, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 275: 116255. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116255
- 37 Liu, S., Wang, C., Yang, Y., Du, Z., Li, L., Zhang, M., Ni, S. et al. (2024). Microplastics in three types of human arteries detected by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS), *Journal of Hazardous Materials*, 469: 133855. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.133855
- 38 Marfella, R., Prattichizzo, F., Sardu, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T., D'Onofrio, N. et al. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events, *New England Journal of Medicine*, 390/10: 900–910. DOI: 10.1056/nejmoa2309822
- 39 Xuan, L., Wang, Y., Qu, C., Yi, W., Yang, J., Pan, H., Zhang, J. et al. (2024). Exposure to polystyrene nanoplastics induces abnormal activation of innate immunity via the cGAS-STING pathway, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 275: 116255. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116255
- 40 Guanglin, L., Shuqin, W. (2023). Polystyrene nanoplastics exposure causes inflammation and death of esophageal cell, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269: 115819. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2023.115819
- 41 Abgeleitet von: Krause, S., Ouellet, V., Allen, D., Allen, S., Moss, K., Nel, H. A., Manaseki-Holland, S. et al. (2024). The potential of micro- and nanoplastics to exacerbate the health impacts and global burden of non-communicable diseases, *Cell Reports Medicine*, 5/6: 101581. DOI: 10.1016/j.xcrm.2024.101581
- 42 Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., Zhang, Y. (2021). Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status, *Environmental Science & Technology*, 56/1: 414–421. DOI: 10.1021/acs.est.1c03924
- 43 Roslan, N. S., Lee, Y. Y., Ibrahim, Y. S., Anuar, S. T., Yusof, K. M. K. K., Lai, L. A., Brentnall, T. (2024). Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review, *Journal of Global Health*, 14. DOI: 10.7189/jogh.14.04179
- 44 Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F. et al. (2025). Author Correction: Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains, *Nature Medicine*, 31, 1367. DOI: 10.1038/s41591-025-03675-x
- 45 Cverenkárová, K., Valachovičová, M., Mackulak, T., Žemlička, L., Bírošová, L. (2021). Microplastics in the Food Chain, *Life*, 11/12: 1349. DOI: 10.3390/life11121349
- 46 Yang, Q. E., Lin, Z., Gan, D., Li, M., Liu, X., Zhou, S., Walsh, T. R. (2025). Microplastics mediates the spread of antimicrobial resistance plasmids via modulating conjugal gene expression, *Environment International*, 195: 109261. DOI: 10.1016/j.envint.2025.109261
- 47 Segovia-Mendoza, M., Nava-Castro, K. E., Palacios-Arreola, M. I., Garay-Canales, C., Morales-Montor, J. (2020). How microplastic components influence the immune system and impact on children health: Focus on cancer, *Birth Defects Research*, 112/17: 1341–1361. DOI: 10.1002/bdr2.1779
- 48 National Institute of Environmental Health Sciences, Endocrine disruptors. Abgerufen von: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine>
- 49 Pérez-Albaladejo, E., Solé, M., Porte, C. (2020). Plastics and plastic additives as inducers of oxidative stress, *Current Opinion in Toxicology*, 20–21: 69–76. DOI: 10.1016/j.cotox.2020.07.002
- 50 Nadeem, A., Al-Harbi, N. O., Ahmad, S. F., Alhazzani, K., Attia, S. M., Alsanea, S., Alhoshani, A. et al. (2021). Exposure to the plasticizer, Di-(2-ethylhexyl) Phthalates during juvenile period exacerbates autism-like behavior in adult BTBR T + tf/J mice due to DNA hypomethylation and enhanced inflammation in brain and systemic immune cells, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 109: 110249. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2021.110249
- 51 Prado, Y., Aravena, C., Aravena, D., Eltit, F., Gatica, S., Riedel, C. A., Simon, F. (2023). Small plastics, big inflammatory problems, *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 101–127. DOI: 10.1007/978-3-031-26163-3_6
- 52 Seewoo, B. J., Goodes, L. M., Mofflin, L., Mulders, Y. R., Wong, E. V., Toshniwal, P., Brunner, M. et al. (2023). The plastic health map: A systematic evidence map of human health studies on plastic-associated chemicals, *Environment International*, 181: 108225. DOI: 10.1016/j.envint.2023.108225

- 53 Katsumiti, A., Losada-Carrillo, M. P., Barros, M., Cajaraville, M. P. (2021). Polystyrene nanoplastics and microplastics can act as Trojan horse carriers of benzo(a)pyrene to mussel hemocytes in vitro, *Scientific Reports*, 11/1. DOI: 10.1038/s41598-021-01938-4
- 54 Zhang, M., Xu, L. (2020). Transport of micro- and nanoplastics in the environment: "Trojan-Horse" effect for organic contaminants, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52/5: 810–846. DOI: 10.1080/10643389.2020.1845531
- 55 Zhang, Y., Goss, G. G. (2021). The Trojan Horse effect of nanoplastics: potentiation of polycyclic aromatic hydrocarbon uptake in rainbow trout and the mitigating effects of natural organic matter, *Environmental Science Nano*, 8/12: 3685–3698. DOI: 10.1039/d1en00738f
- 56 La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z. et al. (2019). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification, *Nature Reviews Endocrinology*, 16/1: 45–57. DOI: 10.1038/s41574-019-0273-8
- 57 Endokrin wirksame Chemikalien wirken auf verschiedenen Wegen. Einige aktivieren Hormonrezeptoren und unterbrechen wichtige nachgeschaltete Prozesse, andere verändern die Produktion und Verteilung des Stoffwechsels und beeinflussen die Ausscheidung von Hormonen. Weitere können hormonproduzierende oder Zellen, die auf Hormone reagieren, epigenetisch verändern, in dem sie Gene ein- oder ausschalten, ohne die DNA-Sequenz zu verändern. (La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z. et al. (2019). Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification, *Nature Reviews Endocrinology*, 16/1: 45–57. DOI: 10.1038/s41574-019-0273-8).
- 58 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 59 Casiano, A. S., Lee, A., Teteh, D., Erdogan, Z. M., Treviño, L. (2022). Endocrine-Disrupting Chemicals and Breast Cancer: Disparities in Exposure and Importance of Research Inclusivity, *Endocrinology*, 163/5. DOI: 10.1210/endocr/bqac034
- 60 Pang, L., Wei, H., Wu, Y., Yang, K., Wang, X., Long, J., Chen, M. et al. (2024). Exposure to alkylphenols during early pregnancy and the risk of gestational diabetes mellitus: Fetal sex-specific effects, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287: 117270. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117270
- 61 Völker, J., Ashcroft, F., Vedøy, Å., Zimmermann, L., Wagner, M. (2022). Adipogenic Activity of Chemicals Used in Plastic Consumer Products, *Environmental Science & Technology*, 56/4: 2487–2496. DOI: 10.1021/acs.est.1c06316
- 62 Ghassabian, A., Van den Dries, M., Trasande, L., Lamballais, S., Spaan, S., Martinez-Moral, M.-P., Kannan, K. et al. (2023). Prenatal exposure to common plasticizers: a longitudinal study on Phthalates, brain volumetric measures, and IQ in youth, *Molecular Psychiatry*, 28/11: 4814–4822. DOI: 10.1038/s41380-023-02225-6
- 63 Martínez-Martínez, M. I., Alegre-Martínez, A., Cauli, O. (2021). Prenatal exposure to Phthalates and its effects upon cognitive and motor functions: A systematic review, *Toxicology*, 463: 152980. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152980
- 64 Costa, H. E., Cairrao, E. (2023). Effect of bisphenol A on the neurological system: a review update, *Archives of Toxicology*, 98/1: 1–73. DOI: 10.1007/s00204-023-03614-0
- 65 National Cancer Institute. reactive oxygen species. Abgerufen von: <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/reactive-oxygen-species>
- 66 Yang, J., Luo, J., Tian, X., Zhao, Y., Li, Y., Wu, X. (2024). Progress in Understanding Oxidative Stress, Aging, and Aging-Related Diseases, *Antioxidants*, 13/4: 394. DOI: 10.3390/antiox13040394
- 67 Sicińska, P., Kik, K., Bukowska, B. (2020). Human Erythrocytes Exposed to Phthalates and Their Metabolites Alter Antioxidant Enzyme Activity and Hemoglobin Oxidation, *International Journal of Molecular Sciences*, 21/12: 4480. DOI: 10.3390/ijms21124480
- 68 Brassea-Pérez, E., Hernández-Camacho, C. J., Labrada-Martagón, V., Vázquez-Medina, J. P., Gaxiola-Robles, R., Zenteno-Savín, T. (2021). Oxidative stress induced by Phthalates in mammals: State of the art and potential biomarkers, *Environmental Research*, 206: 112636. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112636
- 69 Nilsson, E. E., Maamar, M. B., Skinner, M. K. (2022). Role of epigenetic transgenerational inheritance in generational toxicology, *Current Zoology*, 8/1. DOI: 10.1093/eep/dvac001
- 70 Alavian-Ghavanini, A., Lin, P.-I., Lind, P. M., Rimfors, S. R., Lejonklou, M. H., Dunder, L., Tang, M. et al. (2018). Prenatal Bisphenol A Exposure is Linked to Epigenetic Changes in Glutamate Receptor Subunit Gene *Grin2b* in Female Rats and Humans, *Scientific Reports*, 8/1. DOI: 10.1038/s41598-018-29732-9
- 71 Cleveland Clinic, Inflammation. Abgerufen von: <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/21660-inflammation>
- 72 Singh, D. D. (2024). Epigenetic Mechanisms of Endocrine-Disrupting Chemicals in Breast Cancer and Their Impact on Dietary Intake, *Journal of Xenobiotics*, 15/1: 1. DOI: 10.3390/jox15010001
- 73 Nadeem, A. et al. (2021). Exposure to the plasticizer, Di-(2-ethylhexyl) Phthalates during juvenile period exacerbates autism-like behavior in adult BTBR T + tf/J mice due to DNA hypomethylation and enhanced inflammation in brain and systemic immune cells, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 109: 110249. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2021.110249
- 74 Kay, J., Thadhani, E., Samson, L., Engelward, B. (2019). Inflammation-induced DNA damage, mutations and cancer, *DNA Repair*, 83: 102673. DOI: 10.1016/j.dnarep.2019.102673
- 75 Pinto-Bazurco, J. F. (2020). The Precautionary Principle, *International Institute for Sustainable Development*. Abgerufen von: www.iisd.org/articles/deep-dive/precautionary-principle
- 76 United Nations Environment Programme, About Montreal Protocol. Abgerufen von: www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol
- 77 Thompson, R. C., Courtene-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., Koelmans, A. A. (2024a). Twenty years of microplastics pollution research – what have we learned?, *Science*, 386/6720. DOI: 10.1126/science.adl2746

- 78 WWF (n. d.). WWF Global Plastic Navigator, Must-haves in the treaty. Abgerufen von: plasticnavigator.wwf.de/#/en/policy?st=0&ch=0&ui-info=0&ui-mpol=show%3Atrue&layers=surface-concentration%7Cpolicy-commitments_10&info=policy-commitments_10
- 79 Ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation (n. d.). The Nice wake up call for an ambitious plastics treaty. Abgerufen von: www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/The%20Nice%20wake%20up%20call%20for%20an%20ambitious%20plastics%20treaty.pdf
- 80 WWF (2024). A Global Treaty To End Plastic Pollution – That People and Nature Need. Abgerufen von: www.wwf.org.uk/pdfs/wwf-international-pollution-treaty
- 81 Wagner, M., Monclús, L., Arp, H. P. H., Groh, K. J., Løseth, M. E., Muncke, J., Wang, Z., Wolf, R., Zimmermann, L. (2024). State of the science on plastic chemicals – Identifying and addressing chemicals and polymers of concern, *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10701705>
- 82 Pivnenko, K., Eriksen, M. K., Martín-Fernández, J. A., Eriksson, E., Astrup, T. F. (2016). Recycling of plastic waste: Presence of Phthalates in plastics from households and industry, *Waste Management*, 54: 44–52. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.05.014
- 83 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 84 Radke, E. G., Braun, J. M., Meeker, J. D., Cooper, G. S. (2018). Phthalates exposure and male reproductive outcomes: A systematic review of the human epidemiological evidence, *Environment International*, 121: 764–793. DOI: 10.1016/j.envint.2018.07.029
- 85 Eales, J., Bethel, A., Galloway, T., Hopkinson, P., Morrissey, K., Short, R. E., Garside, R. (2021). Human health impacts of exposure to Phthalates plasticizers: An overview of reviews, *Environment International*, 158: 106903. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106903
- 86 Thurston, S. W., Mendiola, J., Bellamy, A. R., Levine, H., Wang, C., Sparks, A., Redmon, J. B. et al. (2015). Phthalates exposure and semen quality in fertile US men, *Andrology*, 4/4: 632–638. DOI: 10.1111/andr.12124
- 87 Chen, Q., Yang, H., Zhou, N., Sun, L., Bao, H., Tan, L., Chen, H. et al. (2017). Phthalates exposure, even below US EPA reference doses, was associated with semen quality and reproductive hormones: Prospective MARHCS study in general population, *Environment International*, 104: 58–68. DOI: 10.1016/j.envint.2017.04.005
- 88 Axelsson, J., Rylander, L., Rignell-Hydbom, A., Jönsson, B. A. G., Lindh, C. H., Giwercman, A. (2015). Phthalates exposure and reproductive parameters in young men from the general Swedish population, *Environment International*, 85: 54–60. DOI: 10.1016/j.envint.2015.07.005
- 89 Mínguez-Alarcón, L., Burns, J., Williams, P. L., Korrick, S. A., Lee, M. M., Bather, J. R., Kovalev, S. V. et al. (2022). Urinary Phthalates metabolite concentrations during four windows spanning puberty (prepuberty through sexual maturity) and association with semen quality among young Russian men, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 243: 113977. DOI: 10.1016/j.ijheh.2022.113977
- 90 Yu, C., Lu, J., Zhao, J., Zhao, T., Long, C., Lin, T., Wu, S. et al. (2022). Maternal Phthalates exposure during pregnancy and male reproductive disorders: a systematic review and metaanalysis, *The Turkish Journal of Pediatrics*, 64/2: 187–209. DOI: 10.24953/turkjped.2020.2060
- 91 Bustamante-Montes, L. P., Hernández-Valero, M. A., Flores-Pimentel, D., García-Fábila, M., Amaya-Chávez, A., Barr, D. B., Borja-Aburto, V. H. (2013). Prenatal exposure to Phthalates is associated with decreased anogenital distance and penile size in male newborns, *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 4/4: 300–306. DOI: 10.1017/s2040174413000172
- 92 Cai, W., Yang, J., Liu, Y., Bi, Y., Wang, H. (2019). Association between Phthalates Metabolites and Risk of Endometriosis: A Meta-Analysis, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16/19: 3678. DOI: 10.3390/ijerph16193678
- 93 Iizuka, T., Yin, P., Zuberi, A., Kujawa, S., Coon, J. S., Björvang, R. D., Damdimopoulou, P. et al. (2022). Mono-(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) Phthalates promotes uterine leiomyoma cell survival through tryptophan-kynurenine-AHR pathway activation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119/47. DOI: 10.1073/pnas.2208886119
- 94 Hu, W., Jin, Z., Wang, H., Wang, F., Qu, F. (2024). Relationship between Phthalates exposure, risk of decreased ovarian reserve, and oxidative stress levels, *Toxicology and Industrial Health*, 40/4: 156–166. DOI: 10.1177/07482337241229761
- 95 Nobles, C. J., Mendola, P., Kim, K., Pollack, A. Z., Mumford, S. L., Perkins, N. J., Silver, R. M. et al. (2023). Preconception Phthalates Exposure and Women's Reproductive Health: Pregnancy, Pregnancy Loss, and Underlying Mechanisms, *Environmental Health Perspectives*, 131/12. DOI: 10.1289/ehp12287
- 96 Ji, H., Wu, Z., Chen, D., Miao, M., Chen, H., Shuai, W., Liang, H. et al. (2023). Individual and joint effects of Phthalates exposure on the risk of early miscarriage, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34/4: 620–628. DOI: 10.1038/s41370-023-00533-1
- 97 Hoffman, S. S., Tang, Z., Dunlop, A., Brennan, P. A., Huynh, T., Eick, S. M., Barr, D. B. et al. (2025). Impact of prenatal Phthalates exposure on newborn metabolome and infant neurodevelopment, *Nature Communications*, 16/1. DOI: 10.1038/s41467-025-57273-z
- 98 Land, K. L., Ghuneim, S. M., Williams, B. A., Hannon, P. R. (2024). Phthalates Disrupt Female Reproductive Health: A Call for Enhanced Investigation into Mixtures, *Reproduction*. DOI: 10.1530/rep-24-0117
- 99 Van Wassenaeer-Leemhuis, A., Ares, S., Golombek, S., Kok, J., Paneth, N., Kase, J., LaGamma, E. F. (2014). Thyroid Hormone Supplementation in Preterm Infants Born Before 28 Weeks Gestational Age and Neurodevelopmental Outcome at Age 36 Months, *Thyroid*, 24/7: 1162–1169. DOI: 10.1089/thy.2013.0618
- 100 Sprowles, J. L. N., Dzwilewski, K. L. C., Merced-Nieves, F. M., Musaad, S. M. A., Schantz, S. L., Geiger, S. D. (2022). Associations of prenatal Phthalates exposure with neurobehavioral outcomes in 4.5- and 7.5-month-old infants, *Neurotoxicology and Teratology*, 92: 107102. DOI: 10.1016/j.ntt.2022.107102

- 101 Martínez-Martínez, M. I., Alegre-Martínez, A., Cauli, O. (2021a). Prenatal exposure to Phthalates and its effects upon cognitive and motor functions: A systematic review, *Toxicology*, 463: 152980. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152980
- 102 Zhang, Q., Chen, X.-Z., Huang, X., Wang, M., Wu, J. (2019). The association between prenatal exposure to Phthalates and cognition and neurobehavior of children-evidence from birth cohorts, *NeuroToxicology*, 73: 199–212. DOI: 10.1016/j.neuro.2019.04.007
- 103 Ghassabian, A., Van den Dries, M., Trasande, L., Lamballais, S., Spaan, S., Martinez-Moral, M.-P., Kannan, K. et al. (2023a). Prenatal exposure to common plasticizers: a longitudinal study on Phthalates, brain volumetric measures, and IQ in youth, *Molecular Psychiatry*, 28/11: 4814–4822. DOI: 10.1038/s41380-023-02225-6
- 104 Dzwilewski, K. L. C., Woodbury, M. L., Aguiar, A., Shoaff, J., Merced-Nieves, F., Korrick, S. A., Schantz, S. L. (2021). Associations of prenatal exposure to Phthalates with measures of cognition in 7.5-month-old infants, *NeuroToxicology*, 84: 84–95. DOI: 10.1016/j.neuro.2021.03.001
- 105 Navaranjan, G., Diamond, M. L., Harris, S. A., Jantunen, L. M., Bernstein, S., Scott, J. A., Takaro, T. K. et al. (2021). Early life exposure to Phthalates and the development of childhood asthma among Canadian children, *Environmental Research*, 197: 110981. DOI: 10.1016/j.envres.2021.110981
- 106 Whyatt, R. M., Perzanowski, M. S., Just, A. C., Rundle, A. G., Donohue, K. M., Calafat, A. M., Hoepner, L. A. et al. (2014). Asthma in Inner-City Children at 5–11 Years of Age and Prenatal Exposure to Phthalates: The Columbia Center for Children's Environmental Health Cohort, *Environmental Health Perspectives*, 122/10: 1141–1146. DOI: 10.1289/ehp.1307670
- 107 Kim, Y.-M., Kim, J., Cheong, H.-K., Jeon, B.-H., Ahn, K. (2018). Exposure to Phthalates aggravates pulmonary function and airway inflammation in asthmatic children, *PLoS ONE*, 13/12: e0208553. DOI: 10.1371/journal.pone.0208553
- 108 Oh, Y., Hong, S., Park, Y. J., Baek, I. (2024). Association between Phthalates exposure and risk of allergic rhinitis in children: A systematic review and meta-analysis, *Pediatric Allergy and Immunology*, 35/9. DOI: 10.1111/pai.14230
- 109 Bolaji, J. A., Bonvini, S. J., Wortley, M. A., Adcock, J. J., Dubuis, E., Carlsten, C., Tetley, T. D. et al. (2017). Phthalates trigger respiratory reflexes, *European Respiratory Journal*, PA4785. DOI: 10.1183/1393003.congress-2017.pa4785
- 110 Yu, Y., Wang, J. Q. (2022). Phthalates exposure and lung disease: the epidemiological evidences, plausible mechanism and advocacy of interventions, *Reviews on Environmental Health*, 39/1: 37–45. DOI: 10.1515/reveh-2022-0077
- 111 Mariana, M., Castelo-Branco, M., Soares, A. M., Cairrao, E. (2023). Phthalates' exposure leads to an increasing concern on cardiovascular health, *Journal of Hazardous Materials*, 457: 131680. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131680
- 112 Kabekkodu, S. P., Gladwell, L. R., Choudhury, M. (2024). The mitochondrial link: Phthalates exposure and cardiovascular disease, *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research*, 1871/4: 119708. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2024.119708
- 113 Zhu, X., Yin, T., Yue, X., Liao, S., Cheang, I., Zhu, Q., Yao, W. et al. (2021). Association of urinary Phthalates metabolites with cardiovascular disease among the general adult population, *Environmental Research*, 202: 111764. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111764
- 114 Mariana, M., Castelo-Branco, M., Soares, A. M., Cairrao, E. (2023a). Phthalates' exposure leads to an increasing concern on cardiovascular health, *Journal of Hazardous Materials*, 457: 131680. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131680
- 115 Kabekkodu, S. P., Gladwell, L. R., Choudhury, M. (2024a). The mitochondrial link: Phthalates exposure and cardiovascular disease, *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research*, 1871/4: 119708. DOI: 10.1016/j.bbamcr.2024.119708
- 116 Nevoit, G., Jarusevicius, G., Potyazhenko, M., Mintser, O., Bumblyte, I. A., Vainoras, A. (2025). Mitochondrial Dysfunction and Atherosclerosis: The Problem and the Search for Its Solution, *Biomedicines*, 13/4: 963. DOI: 10.3390/biomedicines13040963
- 117 Sumner, R. N., Tomlinson, M., Craigon, J., England, G. C. W., Lea, R. G. (2019). Independent and combined effects of diethylhexyl Phthalates and polychlorinated biphenyl 153 on sperm quality in the human and dog, *Scientific Reports*, 9/1. DOI: 10.1038/s41598-019-39913-9
- 118 Amjad, S., Rahman, M. S., Pang, W.-K., Ryu, D.-Y., Adegoke, E. O., Park, Y.-J., Pang, M.-G. (2021). Effects of Phthalates on the functions and fertility of mouse spermatozoa, *Toxicology*, 454: 152746. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152746
- 119 Hasan, S., Mustari, A., Rafiq, K., Miah, M. A. (2025). Phthalates plasticizer affects blood electrolytes, hormones, and reproductive parameters of black Bengal goats, *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 0: 1. DOI: 10.5455/javar.2024.k856
- 120 Kougiyas, D. G., Sellinger, E. P., Willing, J., Juraska, J. M. (2018). Perinatal Exposure to an Environmentally Relevant Mixture of Phthalates Results in a Lower Number of Neurons and Synapses in the Medial Prefrontal Cortex and Decreased Cognitive Flexibility in Adult Male and Female Rats, *Journal of Neuroscience*, 38/31: 6864–6872. DOI: 10.1523/jneurosci.0607-18.2018
- 121 Morales-Grahl, E., Hilz, E. N., Gore, A. C. (2024). Regrettable Substitutes and the Brain: What Animal Models and Human Studies Tell Us about the Neurodevelopmental Effects of Bisphenol, Per- and Polyfluoroalkyl Substances, and Phthalates Replacements, *International Journal of Molecular Sciences*, 25/13: 6887. DOI: 10.3390/ijms25136887
- 122 Huang, W., Xiao, J., Shi, X., Zheng, S., Li, H., Liu, C., Wu, K. (2022). Effects of di-(2-ethylhexyl) Phthalates (DEHP) on behavior and dopamine signaling in zebrafish (*Danio rerio*), *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 93: 103885. DOI: 10.1016/j.etap.2022.103885
- 123 Shi, H., Zhang, Z., Shen, A., Ding, T., Zhao, R., Shi, Y., Zhao, J. et al. (2025). Maternal di-(2-ethylhexyl) Phthalates exposure increases the risk of congenital heart disease in mice offspring, *Pediatric Research*. DOI: 10.1038/s41390-025-03997-z
- 124 European Chemicals Agency (o. J.). Bisphenols. Abgerufen von: <https://www.echa.europa.eu/hot-topics/Bisphenole>

- 125 Gonkowski, S., Makowska, K. (2022). Environmental Pollution with Bisphenol A and Phthalates – A Serious Risk to Human and Animal Health, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19/21: 13983. DOI: 10.3390/ijerph192113983
- 126 Rubin, A. M., Seebacher, F. (2022). Bisphenols impact hormone levels in animals: A meta-analysis, *The Science of The Total Environment*, 828: 154533. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154533
- 127 Chitakwa, N., Alqudaimi, M., Sultan, M., Wu, D. (2024). Plastic-related endocrine disrupting chemicals significantly related to the increased risk of estrogen-dependent diseases in women, *Environmental Research*, 252: 118966. DOI: 10.1016/j.envres.2024.118966
- 128 Wang, Z., Liu, H., Liu, S. (2016). Low-Dose Bisphenol A Exposure: A Seemingly Instigating Carcinogenic Effect on Breast Cancer, *Advanced Science*, 4/2. DOI: 10.1002/advs.201600248
- 129 Keshavarz-Maleki, R., Kaviani, A., Omranipour, R., Gholami, M., Khoshayand, M. R., Ostad, S. N., Sabzevari, O. (2021). Bisphenol-A in biological samples of breast cancer mastectomy and mammoplasty patients and correlation with levels measured in urine and tissue, *Scientific Reports*, 11/1. DOI: 10.1038/s41598-021-97864-6
- 130 Chowdhury, E.-U.-R., Banu, H., Morshed, M. S., Jahan, I. A., Kharel, S., Hasanat, M. A. (2025). Raised Bisphenol A has a Significant Association with Adverse Reproductive Manifestations rather than Biochemical or Hormonal Aberrations in Women with Polycystic Ovary Syndrome, *Journal of The ASEAN Federation of Endocrine Societies*. DOI: 10.15605/jafes.040.01.14
- 131 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisau, H. B., Sargis, R. (2024). *Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health*. The Endocrine Society and IPEN.
- 132 Liu, J., Tian, M., Qin, H., Chen, D., Mzava, S. M., Wang, X., & Bigambo, F. M. (2024). Maternal Bisphenols exposure and thyroid function in children: a systematic review and meta-analysis, *Frontiers in Endocrinology*, 15. DOI: 10.3389/fendo.2024.1420540
- 133 Viguié, C., Collet, S. H., Gayrard, V., Picard-Hagen, N., Puel, S., Roques, B. B., Toutain, P.-L. et al. (2012). Maternal and Fetal Exposure to Bisphenol A Is Associated with Alterations of Thyroid Function in Pregnant Ewes and Their Newborn Lambs, *Endocrinology*, 154/1: 521–528. DOI: 10.1210/en.2012-1401
- 134 Costa, H. E., Cairrao, E. (2023a). Effect of bisphenol A on the neurological system: a review update, *Archives of Toxicology*, 98/1: 1–73. DOI: 10.1007/s00204-023-03614-0
- 135 Ebd.
- 136 Moon, S., Yu, S. H., Lee, C. B., Park, Y. J., Yoo, H. J., Kim, D. S. (2020). Effects of bisphenol A on cardiovascular disease: An epidemiological study using National Health and Nutrition Examination Survey 2003–2016 and meta-analysis, *The Science of the Total Environment*, 763: 142941. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142941
- 137 Prins, G. S., Patisaul, H. B., Belcher, S. M., Vandenberg, L. N. (2018). CLARITY-BPA academic laboratory studies identify consistent low-dose Bisphenol A effects on multiple organ systems, *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 125/S3: 14–31. DOI: 10.1111/bcpt.13125
- 138 Wang, Z., Liu, H., Liu, S. (2016a). Low-Dose Bisphenol A Exposure: A Seemingly Instigating Carcinogenic Effect on Breast Cancer, *Advanced Science*, 4/2. DOI: 10.1002/advs.201600248
- 139 Kitamura, S., Kato, T., Iida, M., Jinno, N., Suzuki, T., Ohta, S., Fujimoto, N. et al. (2004). Anti-thyroid hormonal activity of tetrabromobisphenol A, a flame retardant, and related compounds: Affinity to the mammalian thyroid hormone receptor, and effect on tadpole metamorphosis, *Life Sciences*, 76/14: 1589–601. DOI: 10.1016/j.lfs.2004.08.030
- 140 Viguié, C., Collet, S. H., Gayrard, V., Picard-Hagen, N., Puel, S., Roques, B. B., Toutain, P.-L. et al. (2012a). Maternal and Fetal Exposure to Bisphenol A Is Associated with Alterations of Thyroid Function in Pregnant Ewes and Their Newborn Lambs, *Endocrinology*, 154/1: 521–528. DOI: 10.1210/en.2012-1401
- 141 Wang, Zhihao, Alderman, M. H., Asgari, C., Taylor, H. S. (2020). Fetal Bisphenol-A Induced Changes in Murine Behavior and Brain Gene Expression Persisted in Adult-aged Offspring, *Endocrinology*, 161/12. DOI: 10.1210/endocr/bqaa164
- 142 Morsy, M. M., Ahmad, M. M., Hassan, N. H. (2024). Maternal exposure to low-dose bisphenol A and its potential neurotoxic impact on male pups: A histological, immunohistochemical, and ultrastructural study, *Tissue and Cell*, 90: 102503. DOI: 10.1016/j.tice.2024.102503
- 143 Peremiquel-Trillas, P., Benavente, Y., Martín-Bustamante, M., Casabonne, D., Pérez-Gómez, B., Gómez-Acebo, I., Oliete-Canela, A. et al. (2018). Alkylphenolic compounds and risk of breast and prostate cancer in the MCC-Spain study, *Environment International*, 122: 389–399. DOI: 10.1016/j.envint.2018.12.007
- 144 He, S., Xiao, H., Luo, S., Li, X., Zhang, J.-D., Ren, X.-M., Yang, Y. et al. (2022). Benzotriazole Ultraviolet Stabilisers Promote Breast Cancer Cell Proliferation via Activating Estrogen-Related Receptors α and γ at Human-Relevant Levels, *Environmental Science & Technology*, 56/4: 2466–2475. DOI: 10.1021/acs.est.1c03446
- 145 Wen, H.-J., Chang, T.-C., Ding, W.-H., Tsai, S.-F., Hsiung, C. A., Wang, S.-L. (2020). Exposure to endocrine disruptor alkylphenols and the occurrence of endometrial cancer, *Environmental Pollution*, 267: 115475. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115475
- 146 Mustieles, V., Balogh, R. K., Axelstad, M., Montazeri, P., Márquez, S., Vrijheid, M., Draskau, M. K. et al. (2023). Benzophenone-3: Comprehensive review of the toxicological and human evidence with meta-analysis of human biomonitoring studies, *Environment International*, 173: 107739. DOI: 10.1016/j.envint.2023.107739
- 147 Pang, L., Wei, H., Wu, Y., Yang, K., Wang, X., Long, J., Chen, M. et al. (2024a). Exposure to alkylphenols during early pregnancy and the risk of gestational diabetes mellitus: Fetal sex-specific effects, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287: 117270. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117270
- 148 Chen, M., Liang, J., Wei, H., Mu, C., Tang, Y., Wu, X., Jiang, Q. et al. (2024). Association of alkylphenols exposure with serum liver function markers in pregnant women in Guangxi, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 282: 116676. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116676

- 149 Scinicariello, F., Buser, M. C. (2016). Serum Testosterone Concentrations and Urinary Bisphenol A, Benzophenone-3, Triclosan, and Paraben Levels in Male and Female Children and Adolescents: NHANES 2011–2012, *Environmental Health Perspectives*, 124/12: 1898–904. DOI: 10.1289/ehp150
- 150 Huo, W., Cai, P., Chen, M., Li, H., Tang, J., Xu, C., Zhu, D. et al. (2015). The relationship between prenatal exposure to BP-3 and Hirschsprung's disease, *Chemosphere*, 144: 1091–1097. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.09.019
- 151 Nie, Y., Liu, H., Wu, R., Fan, J., Yang, Y., Zhao, W., Bao, J. et al. (2024). Interference with SPARC inhibits Benzophenone-3 induced ferroptosis in osteoarthritis: Evidence from bioinformatics analyses and biological experimentation, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 274: 116217. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116217
- 152 Sakuragi, Y., Takada, H., Sato, H., Kubota, A., Terasaki, M., Takeuchi, S., Ikeda-Araki, A. et al. (2021). An analytical survey of benzotriazole UV stabilisers in plastic products and their endocrine-disrupting potential via human estrogen and androgen receptors, *The Science of The Total Environment*, 800: 149374. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149374
- 153 Shi, R., Liu, Z., Liu, T. (2021). The antagonistic effect of bisphenol A and nonylphenol on liver and kidney injury in rats, *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 43/5: 527–535. DOI: 10.1080/08923973.2021.1950179
- 154 Kim, J., Kang, E.-J., Park, M.-N., Kim, J.-E., Kim, S.-C., Jeung, E.-B., Lee, G.-S. et al. (2015). The adverse effect of 4-tert-octylphenol on fat metabolism in pregnant rats via regulation of lipogenic proteins, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40/1: 284–291. DOI: 10.1016/j.etap.2015.06.020
- 155 Yu, J., Luo, Y., Yang, X. F., Yang, M. X., Yang, J., Yang, X. S., Zhou, J. et al. (2016). Effects of perinatal exposure to nonylphenol on delivery outcomes of pregnant rats and inflammatory hepatic injury in newborn rats, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 49/12. DOI: 10.1590/1414-431x20165647
- 156 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 157 Blake, B. E., Fenton, S. E. (2020). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes: A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects, *Toxicology*, 443: 152565. DOI: 10.1016/j.tox.2020.152565
- 158 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 159 Van Gerwen, M., Colicino, E., Guan, H., Dolios, G., Nadkarni, G. N., Vermeulen, R. C. H., Wolff, M. S. et al. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure and thyroid cancer risk, *EBioMedicine*, 97: 104831. DOI: 10.1016/j.ebiom.2023.104831
- 160 Seyyedsalehi, M. S., Boffetta, P. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Exposure and Risk of Kidney, Liver, and Testicular Cancers: A Systematic Review and Meta-Analysis, *La Medicina Del Lavoro*, 114/5: e2023040. DOI: 10.23749/mdl.v114i5.15065
- 161 Wang, Y., Zhang, J., Zhang, J., Hou, M., Kong, L., Lin, X., Xu, J. et al. (2024). Association between per- and polyfluoroalkyl substances exposure and prevalence of chronic obstructive pulmonary disease: The mediating role of serum albumin, *The Science of The Total Environment*, 925: 171742. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171742
- 162 Dragon, J., Hoaglund, M., Badireddy, A. R., Nielsen, G., Schlezinger, J., Shukla, A. (2023). Perfluoroalkyl Substances (PFAS) Affect Inflammation in Lung Cells and Tissues, *International Journal of Molecular Sciences*, 24/10: 8539. DOI: 10.3390/ijms24108539
- 163 Wang, Y., Zhang, J., Zhang, J., Hou, M., Kong, L., Lin, X., Xu, J. et al. (2024a). Association between per- and polyfluoroalkyl substances exposure and prevalence of chronic obstructive pulmonary disease: The mediating role of serum albumin, *The Science of The Total Environment*, 925: 171742. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171742
- 164 Von Holst, H., Nayak, P., Dembek, Z., Buehler, S., Echeverria, D., Fallacara, D., John, L. (2021). Perfluoroalkyl substances exposure and immunity, allergic response, infection, and asthma in children: review of epidemiologic studies, *Heliyon*, 7/10: e08160. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08160
- 165 Crute, C. E., Hall, S. M., Landon, C. D., Garner, A., Everitt, J. I., Zhang, S., Blake, B. et al. (2022). Evaluating maternal exposure to an environmental per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) mixture during pregnancy: Adverse maternal and fetoplacental effects in a New Zealand White (NZW) rabbit model, *The Science of The Total Environment*, 838: 156499. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156499
- 166 Rickard, B. P., Rizvi, I., Fenton, S. E. (2021). Per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) and female reproductive outcomes: PFAS elimination, endocrine-mediated effects, and disease, *Toxicology*, 465: 153031. DOI: 10.1016/j.tox.2021.153031
- 167 Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., Sargis, R. (2024). Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health. *The Endocrine Society and IPEN*.
- 168 Zainab, B., Ayaz, Z., Rashid, U., Farraj, D. A. A., Alkufeidy, R. M., AlQahtany, F. S., Aljowai, R. M. et al. (2021). Role of Persistent Organic Pollutants in Breast Cancer Progression and Identification of Estrogen Receptor Alpha Inhibitors Using In-Silico Mining and Drug-Drug Interaction Network Approaches, *Biology*, 10/7: 681. DOI: 10.3390/biology10070681
- 169 Kim, S.-H., Nam, K.-H., Hwang, K.-A., Choi, K.-C. (2016). Influence of hexabromocyclododecane and 4-nonylphenol on the regulation of cell growth, apoptosis and migration in prostatic cancer cells, *Toxicology in Vitro*, 32: 240–247. DOI: 10.1016/j.tiv.2016.01.008
- 170 Gorini, F., Iervasi, G., Coi, A., Pitto, L., Bianchi, F. (2018). The Role of Polybrominated Diphenyl Ethers in Thyroid Carcinogenesis: Is It a Weak Hypothesis or a Hidden Reality? From Facts to New Perspectives, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15/9: 1834. DOI: 10.3390/ijerph15091834
- 171 Saquib, Q., Al-Salem, A. M., Siddiqui, M. A., Ansari, S. M., Zhang, X., Al-Khedhairy, A. A. (2022). Organophosphorus Flame Retardant TDCPP Displays Genotoxic and Carcinogenic Risks in Human Liver Cells, *Cells*, 11/2: 195. DOI: 10.3390/cells11020195

- 172 Costa, L. G., De Laat, R., Tagliaferri, S., Pellacani, C. (2013). A mechanistic view of polybrominated diphenyl ether (PBDE) developmental neurotoxicity, *Toxicology Letters*, 230/2: 282–94. DOI: 10.1016/j.toxlet.2013.11.011
- 173 Poston, R. G., Saha, R. N. (2019). Epigenetic Effects of Polybrominated Diphenyl Ethers on Human Health, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16/15: 2703. DOI: 10.3390/ijerph16152703
- 174 Lv, J.-J., Zhang, Y.-C., Li, X.-Y., Zhang, L.-J., Yixi, Z.-M., Yang, C.-H., Wang, X.-H. (2024). The association between brominated flame retardants exposure with Parkinson's disease in US adults: a cross-sectional study of the National Health and Nutrition Examination Survey 2009–2016, *Frontiers in Public Health*, 12. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1451686
- 175 Mendy, A., Percy, Z., Braun, J. M., Lanphear, B., La Guardia, M. J., Hale, R., Yolton, K. et al. (2023a). Exposure to dust organophosphate and replacement brominated flame retardants during infancy and risk of subsequent adverse respiratory outcomes, *Environmental Research*, 235: 116560. DOI: 10.1016/j.envres.2023.116560
- 176 Luo, K., Zhang, R., Aimuzi, R., Wang, Y., Nian, M., Zhang, J. (2020). Exposure to Organophosphate esters and metabolic syndrome in adults, *Environment International*, 143: 105941. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105941
- 177 Dunnick, J. K., Sanders, J. M., Kissling, G. E., Johnson, C. L., Boyle, M. H., Elmore, S. A. (2014). Environmental Chemical Exposure May Contribute to Uterine Cancer Development: studies with tetrabromobisphenol A, *Toxicologic Pathology*, 43/4: 464–473. DOI: 10.1177/0192623314557335
- 178 Guo, Z., Zhang, L., Liu, X., Yu, Y., Liu, S., Chen, M., Huang, C. et al. (2019). The enrichment and purification of hexabromocyclododecanes and its effects on thyroid in zebrafish, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 185: 109690. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109690
- 179 Usenko, C., Abel, E., Hopkins, A., Martinez, G., Tijerina, J., Kudela, M., Norris, N. et al. (2016). Evaluation of Common Use Brominated Flame Retardant (BFR) Toxicity Using a Zebrafish Embryo Model, *Toxics*, 4/3: 21. DOI: 10.3390/toxics4030021
- 180 Reffatto, V., Rasinger, J. D., Carroll, T. S., Ganay, T., Lundebye, A. -k., Sekler, I., Hershinkel, M. et al. (2017). Parallel in vivo and in vitro transcriptomics analysis reveals calcium and zinc signalling in the brain as sensitive targets of HBCD neurotoxicity, *Archives of Toxicology*, 92/3: 1189–1203. DOI: 10.1007/s00204-017-2119-2
- 181 Turner, A., Filella, M. (2021). Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts, *Environment International*, 156: 106622. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106622
- 182 James M. Brow Ltd., EU Restrictions on the use of Cadmium Pigments (n. d.). Abgerufen von: <https://www.jamesmbrown.co.uk/regulatory-affairs/eu-restrictions>
- 183 Turner, A., Filella, M. (2020). Lead in plastics – Recycling of legacy material and appropriateness of current regulations, *Journal of Hazardous Materials*, 404: 124131. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124131
- 184 Giulioni, C., Maurizi, V., De Stefano, V., Polisini, G., Teoh, J. Y.-C., Milanese, G., Galosi, A. B. et al. (2023). The influence of lead exposure on male semen parameters: A systematic review and meta-analysis, *Reproductive Toxicology*, 118: 108387. DOI: 10.1016/j.reprotox.2023.108387
- 185 Chitakwa, N., Alqudaimi, M., Sultan, M., Wu, D. (2024a). Plastic-related endocrine disrupting chemicals significantly related to the increased risk of estrogen-dependent diseases in women, *Environmental Research*, 252: 118966. DOI: 10.1016/j.envres.2024.118966
- 186 Chung, H.-K., Nam, J. S., Ahn, C. W., Lee, Y. S., Kim, K. R. (2015). Some Elements in Thyroid Tissue are Associated with More Advanced Stage of Thyroid Cancer in Korean Women, *Biological Trace Element Research*, 171/1: 54–62. DOI: 10.1007/s12011-015-0502-5
- 187 Peana, M., Pelucelli, A., Chasapis, C. T., Perlepes, S. P., Bekiari, V., Medici, S., Zoroddu, M. A. (2022). Biological effects of human exposure to environmental cadmium, *Biomolecules*, 13/1: 36. DOI: 10.3390/biom13010036
- 188 Mason, L. H., Harp, J. P., Han, D. Y. (2014). Pb Neurotoxicity: Neuropsychological Effects of Lead Toxicity, *BioMed Research International*, 2014: 1–8. DOI: 10.1155/2014/840547
- 189 Parithathi, A., Choudhary, N., Dsouza, H. S. (2024). Prenatal and early life lead exposure induced neurotoxicity, *Human, Experimental Toxicology*, 43. DOI: 10.1177/09603271241285523
- 190 Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E. K., Rothenberg, S. J. (2006). Lead Exposure and Cardiovascular Disease – A Systematic Review, *Environmental Health Perspectives*, 115/3: 472–482. DOI: 10.1289/ehp.9785
- 191 Lin, H.-C., Hao, W.-M., Chu, P.-H. (2021). Cadmium and cardiovascular disease: An overview of pathophysiology, epidemiology, therapy, and predictive value, *Revista Portuguesa De Cardiologia (English Edition)*, 40/8: 611–617. DOI: 10.1016/j.repce.2021.07.031
- 192 Hong, H., Xu, Y., Xu, J., Zhang, J., Xi, Y., Pi, H., Yang, L. et al. (2021). Cadmium exposure impairs pancreatic β -cell function and exaggerates diabetes by disrupting lipid metabolism, *Environment International*, 149: 106406. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106406
- 193 Ma, Y., Su, Q., Yue, C., Zou, H., Zhu, J., Zhao, H., Song, R. et al. (2022). The Effect of Oxidative Stress-Induced Autophagy by Cadmium Exposure in Kidney, Liver, and Bone Damage, and Neurotoxicity, *International Journal of Molecular Sciences*, 23/21: 13491. DOI: 10.3390/ijms232113491
- 194 Verzelloni, P., Urbano, T., Wise, L. A., Vinceti, M., Filippini, T. (2024). Cadmium exposure and cardiovascular disease risk: A systematic review and dose-response meta-analysis, *Environmental Pollution*, 345: 123462. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.123462
- 195 Assi, M. A., Hezmee, M. N. M., Haron, A. W., Sabri, M. Y., Rajion, M. A. (2016). The detrimental effects of lead on human and animal health, *Veterinary World*, 9/6: 660–671. DOI: 10.14202/vetworld.2016.660-671
- 196 Huff, J., Lunn, R. M., Waalkes, M. P., Tomatis, L., Infante, P. F. (2007). Cadmium-induced Cancers in Animals and in Humans, *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 13/2: 202–212. DOI: 10.1179/oeh.2007.13.2.202
- 197 Bhattacharyya, M. H. (2009). Cadmium osteotoxicity in experimental animals: mechanisms and relationship to human exposures, *Toxicology and applied Pharmacology*, 238/3: 258–265. DOI: 10.1016/j.taap.2009.05.015





Mehr WWF-Wissen
in unserer App.
Jetzt herunterladen!



iOS



Android



Auch zugänglich
über einen Browser

Unterstützen Sie den WWF
IBAN: DE06 5502 0500 0222 2222 22



Unser Ziel

Wir wollen die weltweite Zerstörung der Natur und Umwelt stoppen und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Einklang miteinander leben.

WWF Deutschland

Reinhardtstr. 18 | 10117 Berlin
Tel.: +49 30 311777-700
info@wwf.de | wwf.de