

Linda Prähauser und  
Katharina Wiessner, Barbara Gepp,  
Anna Pavlicek, Elisabeth Simböck\*

## Zusammenfassung

Nano- und Mikroplastik (NMP) sind allgegenwärtig, persistent und, wie mittlerweile weit bekannt, ein globales Problem für Mensch und Umwelt. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Kunststoffarten aus denen NMP entstehen, erweist sich eine allgemeine Risikobewertung als herausfordernd. Hinzu kommt, dass viele Kunststoffe Additive wie z. B. UV-Stabilisatoren oder Weichmacher enthalten, die hormonell wirksam sind – sogenannte endokrine Disruptoren (EDs) – und sich leicht aus den Kunststoffen lösen können. Außerdem können manche hormonaktive Stoffe sehr gut an die Oberfläche von NMP-Partikeln binden und mit diesen in der Umwelt verbreitet werden.

Die Auswirkungen endokriner Disruptoren auf Menschen und die Umwelt sind teilweise noch ungeklärt, da sie sowohl sehr divers sowie auch artspezifisch unterschiedlich sein können, was ein Monitoring erschwert. Allerdings konnte mittlerweile für viele Erkrankungen des Menschen ein kausaler Zusammenhang zur Exposition mit hormonaktiven Stoffen gezeigt werden. Auch in anderen Organismen wurden Beeinträchtigungen nach der Exposition mit endokrinen Disruptoren beobachtet, vor allem in der Fortpflanzung.

Auch wenn grünere Alternativen (z. B. Biokunststoffe) herkömmliche Kunststoffe in Zukunft ersetzen könnten, ist von einem weiteren massiven Eintrag von NMP in die Umwelt und vom Einsatz hormonaktiver Substanzen in den nächsten Jahrzehnten auszugehen. Es ist daher für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt von äußerster Wichtigkeit, weitere Testsysteme zu etablieren, besonders auf der Ebene von Organismen, die das Potential haben, EDs mittels trophischem Transfer in der Nahrungskette zu verteilen.

In diesem Dossier werden allgemeine Problematiken zu NMP, EDs und der ökotoxikologischen Risikobewertung mittels der Wasserschnecke *Biomphalaria glabrata* erläutert.

\* Korrespondenzautorin

# Ökotoxikologische Risikobewertung von Nano- und Mikroplastik

## Nano- und Mikroplastik

Nano- und Mikroplastik (NMP) sind kleinste Kunststoffpartikel, die ökotoxikologisch bedenklich und mittlerweile in allen Ökosystemen (Hydrosphäre, Pedosphäre und Atmosphäre) nachzuweisen sind. Erste Berichte über NMP-Kontaminationen und davon ausgehende Gefahren betrafen Meere und Ozeane.<sup>1</sup> Kurz darauf wurden NMP auch in Böden nachgewiesen und vor allem wurde der städtische Lebensraum als Hotspot für NMP-Kontamination identifiziert.<sup>2</sup> Mittlerweile konnte NMP in den entlegensten Regionen der Welt, wie den Eisschichten in der Antarktis<sup>3</sup> und des Himalayas<sup>4</sup>, gefunden werden, was zur Erkenntnis beitrug, dass NMP ein globales Problem darstellt.

Seit den 1950er Jahren wird Plastik industriell im großen Stil hergestellt. Plastik ist ein sehr vielseitiger Werkstoff, der viele Vorteile birgt. So lassen sich Kunststoffe leicht formen, sind extrem haltbar, leicht, korrosionsbeständig, thermisch und elektrisch isolierend, bieten ein breites mechanisches und multifunktionales Leistungsspektrum und sind sehr kosteneffizient in der Herstellung. Dies hat zu einem spektakulären Anstieg der jährlichen, weltweiten Kunststoffproduktion geführt, von 1,7 Millionen Tonnen in 1950 zu mehr als 390 Millionen Tonnen im Jahr 2021.<sup>5</sup> Die Massenproduktion von Plastik kennzeichnet den Beginn eines neuen Zeitalters, das in der Fachwelt als Anthropozän bezeichnet wird und das Holozän ablöst.<sup>6</sup> Plastik und andere vom Menschen künstlich hergestellte (anthropogene) Materialien, wie Beton und Zement, überwiegen zusammen mittlerweile die gesamte Biomasse.<sup>7</sup>

Ein Leben ohne Plastik ist im 21. Jahrhundert nicht mehr vorstellbar, jedoch werden in letzter Zeit vermehrt Problematiken aufgezeigt. Zum einen werden konventionelle Kunststoffe aus nicht-nachwachsenden Rohstoffen (Erdöl) hergestellt und zum anderen sind sie nicht biologisch abbaubar und verbleiben sehr lange in der Umwelt.<sup>8</sup> Durch Verwitterungsprozesse zerfällt Plastik in kleinere Fragmente, sogenanntes Mikroplastik, das weiter zu Nanoplastik zerfällt. Als solches ist Nanoplastik zwar nicht mehr für das menschliche Auge sichtbar, reichert sich aber aufgrund seiner langsamen Abbaubarkeit in der Umwelt an.<sup>9</sup>

Gemäß der Definition der europäischen Chemikalienagentur (ECHA) handelt es sich um Mikroplastik, wenn Partikel eine Größe von 5 mm bis 0,1 µm haben und Partikel, die kleiner als 0,1 µm sind, werden als Nanoplastik bezeichnet.<sup>10,11</sup> Es gibt vielzählige Eintragsquellen von NMP in die Umwelt, wobei man hierbei zwischen sekundärem und primärem NMP unterscheidet.<sup>12</sup> Sekundäres NMP entsteht durch den Zerfall oder den Abrieb von Kunststoffen, welche vorwiegend durch menschliches Fehlverhalten, wie z. B. durch unsachgemäße Entsorgung von Plastikflaschen und Verpackungen (engl. *littering*), in der Umwelt landen.<sup>13</sup>

Primäres NMP wird in „Typ A“ und „Typ B“ NMP unterteilt. Beabsichtigt erzeugte Mikro- oder Nanopartikel wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS), welche in Folge zu weiteren Produkten weiterverarbeitet werden, gehören zu „Typ A“. Sie werden bewusst Produkten zugesetzt, um eine bestimmte Eigenschaft zu erzielen, wie z. B. Kosmetik- und Medizinprodukten sowie Reinigungsmitteln. Aufgrund der schädlichen Auswirkungen von NMP auf die Umwelt haben die EU-Mitgliedstaaten im Ausschuss für Chemikalienregulierung (REACH) kürzlich einem umfassenden Verbot von absichtlich zugesetztem NMP in Produkten wie Kosmetika, Farben und Medikamenten zugestimmt.<sup>14</sup> Es wird geschätzt, dass nur etwa 2 % des primären NMP über kosmetische Produkte freigesetzt wird. Die Hauptquellen für primäres NMP sind Abrieb von Farben und Lacken, von Mikrofasern aus Textilien und von Reifen (Typ B).<sup>15</sup> Bindemittel der meisten Farben und Lacke bestehen aus Kunststoffen und gelangen durch unsachgemäßes Abwaschen und durch Abrieb (z. B. Antifouling-Farben von Schiffen oder Strassenmarkierungen) zu enormen Mengen in die Umwelt.<sup>16</sup> Pro Waschgang (ca. 6 kg Wäsche) werden in etwa 700.000 synthetische Fasern freigesetzt, die über das Abwasser in die Kläranlagen kommen.<sup>13</sup> Des Weiteren werden ca. 1 kg Reifenabrieb pro Einwohner\*in und Jahr erzeugt, welcher durch Wind und Wasser in der Umwelt verteilt wird.<sup>17</sup> NMP ist somit in allen Kompartimenten (Atmosphäre, Pedosphäre und Hydrosphäre) zu finden (Abbildung 1).

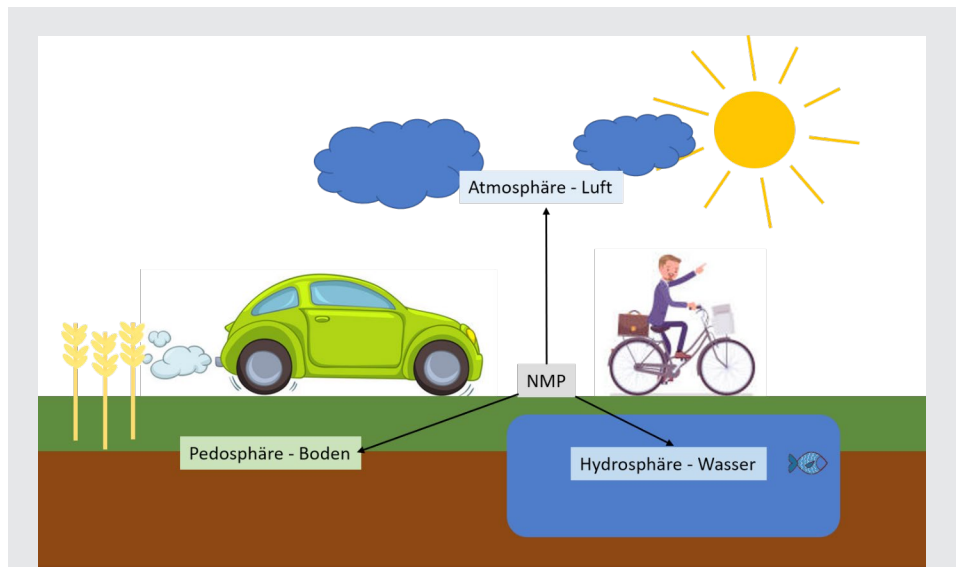
Über das Abwasser gelangen die in Form und Größe unterschiedlichen NMP-Partikel in Flüsse, die sie weiter in Meere und Ozeane transportieren. Das medienwirksame Projekt CleanDanube, initiiert von Andreas Fath, Professor für Chemie an der Hochschule Furtwangen, machte auf die enorme Belastung der Donau aufmerksam, über die täglich 4 Tonnen Plastik ins Schwarze Meer gelangen (<https://www.cleandanube.org/projekt/>).

Ozeane gelten allgemein als die ultimative Senke für Mikroplastik. Schätzungen zu Folge landen jedes Jahr 14 Millionen Tonnen Plastik im Meer, wobei Plastik 80 % des gesamten Meeresmülls ausmacht, der von Oberflächengewässern bis zu Tiefseesedimenten gefunden wird.<sup>13</sup> Selbst am tiefsten Punkt des Ozeans, dem Marianengraben, wurden Mikroplastikpartikel im Enddarm von Flohkrebsen festgestellt.<sup>18</sup> Während leichte Kunststoffe, wie PE und PP, zuerst an der Oberfläche schwimmen, sinken dichtere und schwere Kunststoffe, wie PVC, ab und verbleiben im Sediment.<sup>13</sup> Leichte Kunststoffe werden allerdings durch den Biofilm, der sich an diesen Partikeln bilden kann, schwerer und können in Folge ebenfalls absinken.

NMP kann von filtrierenden Organismen (z. B. Muscheln) mit der Nahrung (z. B. Plankton) verwechselt werden.<sup>13</sup> Mit der Zeit akkumulieren NMP somit in Kleinstorganismen (Bioakkumulation) und gelangen so auch in die Nahrungskette, was zu einem sogenannten trophischen Transfer in höhere Tiere, also zu Bioakkumulation und Biomagnifikation entlang der Nahrungskette, führt.<sup>13</sup> Die Aufnahme von NMP kann zudem bei vielen Tieren zu einer Beeinträchtigung der Energiereserven durch ein gestörtes Sättigungsgefühl und aufgrund der Form (scharfkantig, spitz, etc.) auch zu Verletzungen führen.

Der Eintrag von NMP in terrestrische Ökosysteme erfolgt vorwiegend über die Landwirtschaft. Zum einen durch die Ausbringung von Klärschlamm auf Felder als Dünger und zum anderen durch das Verwenden von Mulchfolien.<sup>13</sup> Auch hier werden NMP von Bodenorganismen aufgenommen und gelangen in die Nahrungskette.<sup>19</sup> Außerdem wurden NMP unter anderem bereits in Reis identifiziert.<sup>20</sup> Des Weiteren wurde gezeigt, dass bedenkliche Substanzen, die sich aus NMP wie Reifenabrieb lösen können, über den Boden in Pflanzen (z. B. Salat) und wiederum in die Nahrungskette gelangen.<sup>21</sup>

Die Exposition des Menschen gegenüber NMP erfolgt durch orale Aufnahme (vor allem über die Nahrung), Inhalation (z. B. Fasern aus Kleidung und Baumaterialien, Reifenabrieb und Feinstaub) und über die Haut (z. B. Textilien und Verwendung von NMP-haltigen Körperpflegeprodukten).<sup>22,23,24</sup> Die Hauptexposition geschieht jedoch über die Nahrung, einerseits durch den tro-



**Abbildung 1:** Transfer von NMP in alle Kompartimente. NMP, in diesem Fall Reifenabrieb, gelangt sowohl in die Atmosphäre als auch in die Hydrosphäre und Pedosphäre.

phischen Transfer und die Anreicherung von NMP in Nahrungsmitteln und andererseits durch Migration von NMP und Additiven von Kunststoffverpackungen in Lebensmittel.<sup>25</sup> Besonders bei der Erhitzung von Lebensmitteln in mikrowelleneigneten Kunststoffbehältern können unabsichtlich eingebrachte Stoffe (sogenannte „non-intentionally added substances“ oder NIAS), wie Derivate, Abbauprodukte, externe Kontaminanten und NMP, in die Lebensmittel migrieren.<sup>26</sup> Im Jahr 2019 wurde erstmals Mikroplastik im Stuhl von Menschen nachgewiesen.<sup>27</sup> Mittlerweile wird davon ausgegangen, dass der Mensch pro Woche im Durchschnitt 5 g Plastik (entspricht in etwa der Größe einer Kreditkarte), v. a. über die Nahrung, aufnimmt.<sup>28</sup> NMP wurde aber nicht nur im Verdauungstrakt nachgewiesen, sondern zirkuliert im Blut zu weiteren Organen und Geweben.<sup>29</sup> Aufgrund der geringen Größe und der lipophilen Eigenschaft können NMP die Schutzbarrieren des Körpers, wie die Blut-Hirn-Schranke und die Blut-Plazenta-Schranke, überschreiten und wurden dadurch bereits im Gehirn und in der Plazenta nachgewiesen.<sup>30,31</sup>

Die Auswirkungen von NMP auf unterschiedlichen trophischen Niveaus (exponierte Individuen bis zu ganzen Ökosystemen) sind noch nicht vollständig entschlüsselt. Besonders problematisch sind Chemikalien, die von NMP freigesetzt werden bzw. diesen anhaften können. Aufgrund der enormen Oberflächenvergrößerung von NMP (bei gleicher Masse) und deren lipophilen Eigenschaft können problematische und toxische Substanzen wie Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) und andere persistente organische Schadstoffe (POP) an NMP adsor-

bieren.<sup>13</sup> Außerdem lösen sich Additive aus NMP, die bei der Herstellung zugesetzt werden, um gewisse Eigenschaften (z. B. Elastizität) zu erzielen. Abhängig von der Art des Kunststoffes werden unterschiedliche Additive eingesetzt, wie Weichmacher, Stabilisatoren, Flammschutzmittel, Farben etc.<sup>32</sup> Viele dieser Substanzen zeigen adverse Effekte. Besonders problematisch sind Substanzen mit hormoneller Wirkung – sogenannte endokrine Disruptoren – da sie viele biologische Prozesse, die über das körpereigene Hormonsystem gesteuert werden, beeinträchtigen.

## Endokrine Disruptoren

Endokrine Disruptoren (EDs) sind Substanzen, welche mit dem endokrinen System (Hormonsystem) eines Organismus interagieren und gesundheitsschädliche Auswirkungen haben können. Diese Auswirkungen, die divers sowie individuell und artspezifisch unterschiedlich sind, umfassen Entwicklungs- und Reproduktionsstörungen, die Bildung hormonabhängiger Tumore und neurologische und metabolische Defekte.<sup>33,34,35</sup>

EDs sind in vielen Konsumprodukten des täglichen Bedarfs enthalten. Laut Schätzungen sind mehr als 1000 zugelassene Chemikalien im Umlauf, die eine endokrine Wirkung haben.<sup>53</sup> Dazu gehören Substanzen, die in Pflanzenschutzmitteln, Bioziden, Industriechemikalien, Weichmachern, Arzneimitteln und Kosmetika enthalten sind. Weitere EDs finden sich auch in der Natur (z. B. Phytoöstrogene und Schwermetalle) (Abbildung 2).<sup>36</sup>

Kunststoffe und NMP spielen eine besondere Rolle bei der Verbreitung von EDs in der Umwelt, da diese EDs in Form von Additiven wie Weichmachern (Bisphenol und Phthalate) und bromierten Flammschutzmitteln enthalten sind oder auch an ihrer Oberfläche adsorbieren<sup>37</sup>. Besonders problematisch sind POP (persistent organic pollutants), da sie ein breites Wirkungsspektrum zeigen (kanzerogen, neurotoxisch, hepatotoxisch, nephrotoxisch, immunotoxisch und ebenfalls endokrin)<sup>36</sup> und durch das Binden an NMP leicht in der Umwelt verteilt werden (Abbildung 2).<sup>13</sup>

Aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften sind viele EDs persistent und verbleiben über lange Zeit in der Umwelt.<sup>53</sup> Des Weiteren sind diese Stoffe meist lipophil und können Zellmembranen penetrieren und somit in Zellen und Gewebe eindringen, wobei sie vorwiegend im Fettgewebe akkumulieren. Entlang der Nahrungskette sowie mit zunehmendem Alter von exponierten Organismen kommt es somit zu einer Anreicherung an EDs (Biomagnifikation). Obwohl viele Substanzen, wie die Industriechemikalie PCB und das Pestizid DDT, im Zuge des Stockholmer Abkommens schon seit längerer Zeit verboten sind, sind sie nach wie vor weltweite Kontaminanten und in Organismen nachweisbar.<sup>38</sup>

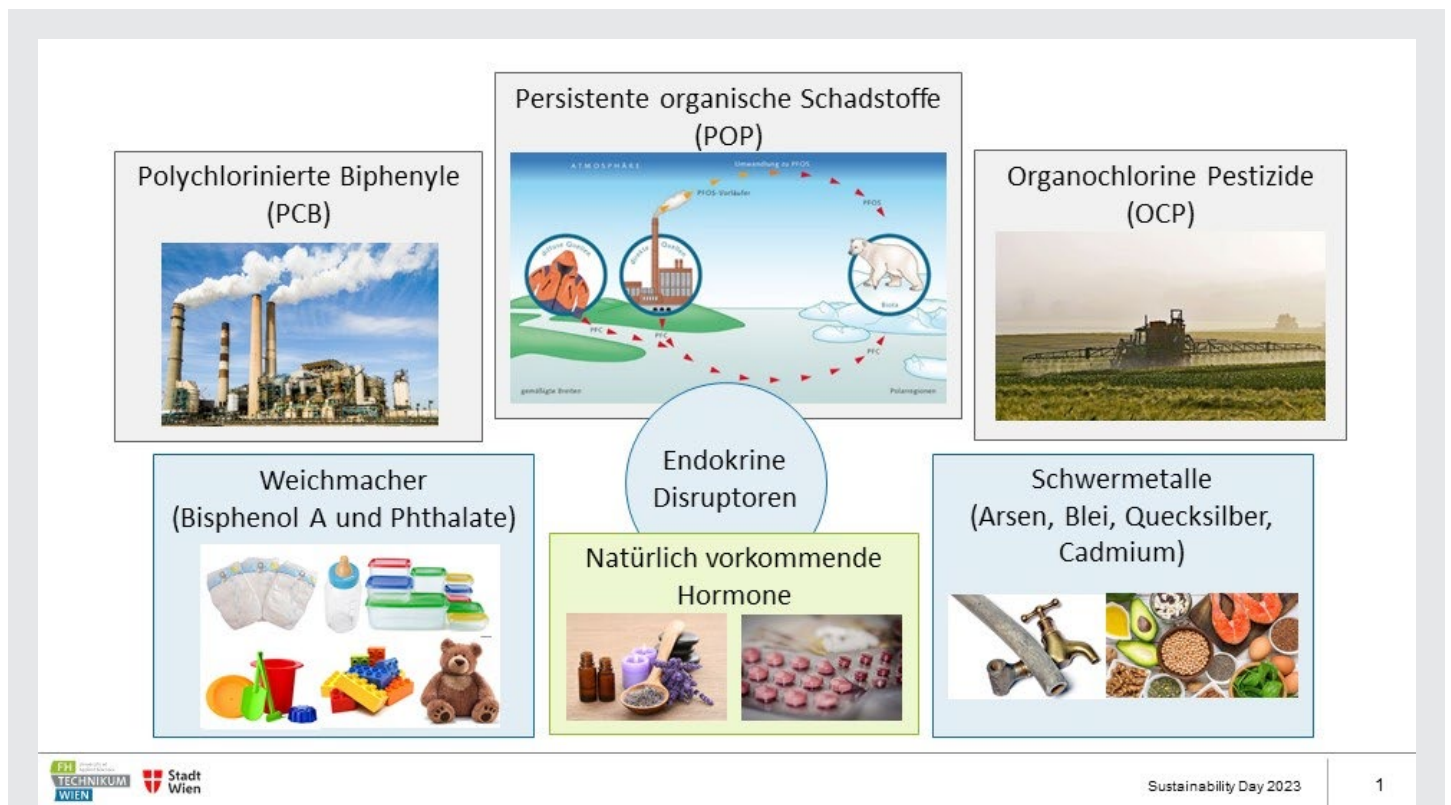
Die molekularen Wirkungsmechanismen von EDs sind sehr vielseitig. Der bekannteste und am meisten erforschte Wirkungsmechanismus ist die Interaktion einer Substanz mit einem Hormon Rezeptor (z. B. Östrogen Rezeptor (ER) und Androgen Rezeptor (AR)) aufgrund von Strukturähnlichkeiten zu endogenen Hormonen, wodurch dieser entweder aktiviert (Agonist) oder inhibiert (Antagonist) wird.<sup>39</sup> Weitere bekannte Wirkungsmechanismen umfassen die Beeinträchtigung der organismuseigenen Hormonsynthese und des -abbaus sowie des Transports und der Verteilung der endogenen Hormone im Organismus. Zudem ist bekannt, dass EDs auch das Epigenom, welches maßgebens an der Genregulation beteiligt ist und dynamisch auf Umwelteinflüsse reagiert, verändern können.<sup>40,41</sup>

Das Ausmaß der Auswirkungen nach einer Exposition mit EDs ist stark abhängig von der Genetik des Organismus und der Lebens- bzw. Entwicklungsphase, in welcher sich der Organismus während der Exposition befindet.<sup>33</sup> So birgt eine Exposition im Fötus- und Säuglingsstadium größere Gesundheitsschäden als eine Exposition im Erwachsenenalter, wobei hier bei schwangeren Frauen wiederum eine Exposition des ungeborenen Nachkommens sowie der zukünftigen Enkel (durch

die Exposition der Keimzellen des sich entwickelnden Fötus) möglich ist und es zu generationsübergreifenden Effekten kommen kann.<sup>42</sup>

Eine weitere Problematik der EDs ist die Latenzzeit zwischen der eigentlichen Exposition und dem ersten Auftreten von Effekten. So kann eine Exposition im Fötus erst zu gesundheitsschädigenden Effekten im Erwachsenenalter führen. Zudem muss man beachten, dass eine Exposition gegenüber EDs meistens in einem Mix mit anderen Chemikalien oder Substanzen stattfindet, wodurch auch synergistische Effekte auftreten können. Weiters zeigen EDs auch keine typischen Dosis-Wirkungskurven sondern sogenannte nicht-monotone Dosis-Wirkungskurven, wodurch eine Vorhersage der Wirkungen in höheren oder niedrigeren Konzentrationen nicht möglich ist.<sup>43</sup>

Die Konsequenzen nach einer Exposition mit EDs können somit sehr unterschiedlich sein und hängen von vielen Parametern (z. B. der Substanz, dem Zeitpunkt und der Dauer der Exposition, der Dosis, etc.) ab. Bei Menschen wurde ein kausaler Zusammenhang mit EDs bereits für eine Vielzahl von Stoffwechsel-, Fortpflanzungs- und degenerativen Krankheiten sowie einigen Formen von Krebs gezeigt.<sup>33,44</sup> Viele EDs beeinträchti-



**Abbildung 2: Endokrine Disruptoren.** Von Industriechemikalien wie PCB und Weichmachern über Pestizide bis hin zu Schwermetallen gibt es eine Vielzahl an Endokrinen Disruptoren in der Umwelt, denen der Mensch täglich ausgesetzt ist. (Bilder wurden von Pixabay bezogen mit Ausnahme von Persistente organische Schadstoffe (<https://worldoceanreview.com/de/wor-1/verschmutzung/organische-schadstoffe/>) und Bleirohre in Schwermetallen (<https://www.wassertest-online.de/blog/bleirohre-erkennen/>)).



gen die Wirkung von sexuellen Steroidhormonen, was zu reduzierter Fertilität (z. B. geringere Spermienzahl und eine ungewöhnliche Spermien Morphologie bei Männern), einem veränderten Sexualverhalten, Änderungen des Alters beim Einsetzen der Pubertät sowie hormonabhängiger Tumorentstehung (z. B. Brust- und Prostatakrebs) führen kann.<sup>33,45,46,47</sup> Einige EDs beeinflussen auch die Funktionen der Schilddrüse und der Hirnanhangsdrüse (Hypothalamus), was zu metabolischen Defekten, wie Adipositas und Diabetes Typ II, sowie in weiterer Folge zu Herz-Kreislaufkrankungen und neurologischen Defekten, wie Autismus und einem niedrigen IQ, führen kann.<sup>48-51</sup>

Neben den negativen Effekten auf die menschliche Gesundheit sind EDs auch für Tiere und die Umwelt schädlich. Der Eintrag von EDs in die Umwelt passiert hauptsächlich durch die Abwasserentsorgung über Gewässer oder den Transport über die Luft. Am stärksten belastet sind die Ökosysteme der Oberflächengewässer. Die meisten Effekte von EDs in Tierpopulationen wurden in Wirbeltieren untersucht und beobachtet.<sup>52,53</sup> Einige Studien mit Seehunden haben belegt, dass die Bioakkumulation, von unter anderem PCB, im Fettgewebe zu einer beeinträchtigten Reproduktion und Immunfunktion geführt hat.<sup>54,55,56,57</sup> Weitere Studien zeigen einen klaren Zusammenhang zwischen ED-Kontaminationen und Effekten auf die Fortpflanzung und Entwicklung von Fischen, Amphibien und Reptilien. So haben z. B. Feldbeobachtungen an Fischen gezeigt, dass eine Exposition gegenüber östrogenen Substanzen zu einer Verweiblichung oder zu einem erhöhten Vitellogenin Gehalt im Plasma von männlichen Tieren führt.<sup>57</sup>

Bisher ist die Untersuchung der Effekte von EDs in wirbellosen Tieren nur sehr spärlich, obwohl die Gruppe der wirbellosen Tiere durchaus eine sehr wichtige und relevante Rolle in globalen Ökosystemen spielt. Ein Grund dafür sind ein geringes Wissen über die Funktion der Hormonsysteme und die damit verbundenen artspezifischen Sensitivitätsunterschiede sowie der daraus resultierende Mangel an international anerkannten und validierten Testmethoden.<sup>58</sup>

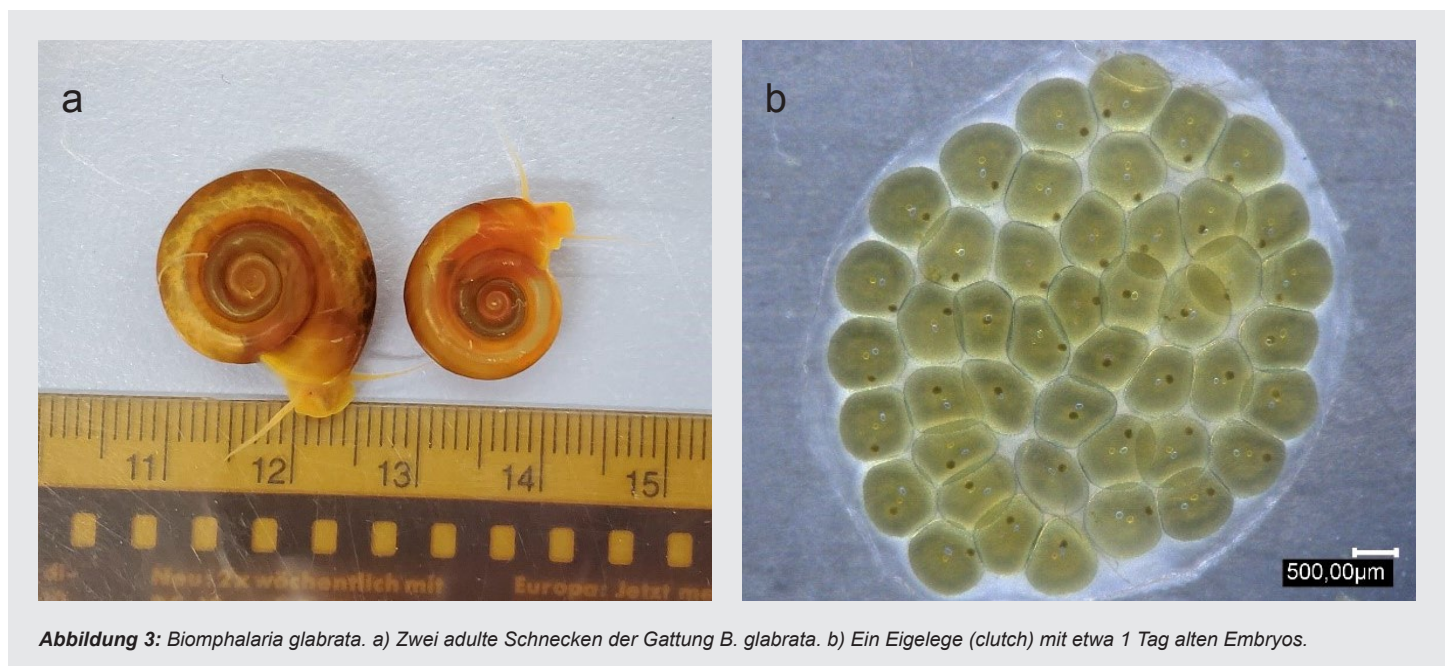
Ein sehr bekanntes Beispiel und ein guter Beweis dafür, dass Populationen von wirbellosen Tieren durchaus durch EDs beeinflusst werden können, ist das Impossex Phänomen in weiblichen Mollusken (z. B. Schnecken und Muscheln) nach einer Exposition mit Tributylzinn (TBT), einem Wirkstoff, der den Anwuchs von Muscheln an Schiffen verhindern soll. Weibliche Mollusken bildeten durch den Kontakt mit dem endokrinen Stoff männliche Geschlechtsorgane aus, welche allerdings nicht reproduktionsfähig sind. Dadurch kam es zu einem signifikanten Rückgang in bestimmten Mollusken Populationen.<sup>53,59</sup>

Um die potenzielle Gefahr, die von EDs und NMP ausgeht, in Zukunft besser einschätzen zu können, benötigen wir geeignete Systeme, um Risikobewertungen durchzuführen. Diese Testsysteme beinhalten unter anderem auch *in vivo* Testsysteme, da sie die Toxikokinetik sowie den Metabolismus des Organismus berücksichtigen.<sup>60</sup> Die standardisierten und von der EU anerkannten Testmethoden zur Testung von EDs beinhalten derzeit allerdings nur Testmethoden zur Testung von Wirbeltieren.

## *Biomphalaria glabrata* als *in vivo* Modell zur Testung von endokrinen Disruptoren

*Biomphalaria glabrata* ist ein wirbelloses Tier und gehört zum Stamm der Süßwasserweichtiere (Mollusken) (Abbildung 3). *B. glabrata* ist vor allem durch ihre wichtige Rolle in der Medizin bekannt, da sie der Zwischenwirt des Parasiten *Schistosoma mansoni* ist, welcher Menschen infiziert und die Krankheit Bilharziose (oder Schistosomiasis) auslösen kann.<sup>61</sup> *B. glabrata* hat, neben der Relevanz im Gesundheitswesen, auch zunehmend Bedeutung im Umwelt-Biomonitoring sowie in ökologischen und ökotoxikologischen Studien gewonnen.<sup>62,63</sup> Einer der Hauptgründe für die wachsende Popularität als Modellorganismus im Umweltbereich ist die kurze Generationszeit, welche nur etwa 1-2 Monate beträgt, und ihre hohe Reproduktionsrate.<sup>62,64</sup>

Im Allgemeinen haben wirbellose Tiere (Invertebraten), insbesondere aquatische Invertebraten, in ökotoxikologischen Untersuchungen einen hohen Stellenwert, da diese Gruppe etwa 90 % aller Tierarten ausmacht. Mollusken haben sich zusätzlich als sehr hilfreiche Testorganismen für z. B. Schwermetallbelastungen und Nanomaterialien erwiesen.<sup>64,65,66</sup> Zudem sind Weichtiere dafür bekannt, anfällig für endokrin aktive Substanzen zu sein. Ein Paradebeispiel dafür ist der bereits genannte nachgewiesene Effekt von TBT auf die Vermännlichung von weiblichen Wasserschnecken und der darauffolgende Populationsrückgang mit Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem.<sup>59</sup> Die Forschung an Effekten von EDs auf die Gruppe der aquatischen Mollusken



**Abbildung 3:** *Biomphalaria glabrata*. a) Zwei adulte Schnecken der Gattung *B. glabrata*. b) Ein Eigelege (clutch) mit etwa 1 Tag alten Embryos.

ist allerdings beschränkt. Wie bekannte Beispiele bereits gezeigt haben, kann eine Exposition von EDs an Mollusken verheerende Auswirkungen haben. Daher ist es wichtig, Testsysteme für Invertebraten zu etablieren, welche eine Identifikation und eine Risikobewertung von EDs in dieser Gruppe ermöglichen.<sup>57,67</sup>

Daher beschäftigt sich die Fachhochschule Technikum Wien im Rahmen eines von der Stadt Wien geförderten Projektes mit der Umweltwirkung von NMP (<https://www.technikum-wien.at/forschungsprojekte/mikroplastik/>). Ein Ziel der laufenden Forschungsarbeiten ist die Entwicklung eines *in vivo* Testsystems der Süßwasserschnecke *B. glabrata* zum Screenen von EDs. Hierfür wurde ein Reproduktionstoxizitätstest durchgeführt und sich weiters mit der Etablierung von genetischen Biomarkern für die Identifikation von endokrin aktiven Substanzen und EDs in der Süßwasserschnecke beschäftigt. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Wasserschnecke sensibel auf östrogene Substanzen, wie 17 $\beta$ -Östradiol, reagiert und von diesen beeinträchtigt wird. Außerdem weisen die beobachteten Effekte auf eine für EDs typische nicht-monotone Dosis-Wirkungskurve hin, nämlich eine höhere Sensibilität auf niedrigere Konzentrationen. Des Weiteren wird die Expression von bestimmten Genen durch Östrogene beeinflusst. Vitellogenin wurde bereits in anderen Organismen als endokriner Biomarker beschrieben<sup>57</sup> und könnte auch in der untersuchten Wasserschnecke als solcher dienen.

Diese Beobachtungen sind hinsichtlich aktueller Diskussionen zur Sensitivität von Mollusken gegenüber Steroidhormonen interessant, da bisher nicht geklärt ist, ob Mollusken in der Lage sind, Steroide zu synthetisieren oder auf rezeptorinteragierende Umwelthormone zu reagieren.<sup>68,69</sup>

## Fazit

Die Gefahren, Risiken und Probleme ausgehend von Nano- und Mikroplastik (NMP) werden zunehmend diskutiert und wahrgenommen. Umwelt, Tiere und Menschen sind täglich NMP ausgesetzt. Nicht nur die Partikel selbst stellen ein großes Risiko dar, sondern auch die Substanzen, die aus den Partikeln herausgelöst werden oder an die Partikel adsorbiert werden. Eine Gruppe dieser Substanzen umfasst endokrine Disruptoren (EDs). EDs haben viele Wirkungsmechanismen und sind oft schwer zu detektieren, da sie bereits in kleinsten Konzentrationen wirken oder Effekte erst in Folgegenerationen ersichtlich werden können. Aufgrund der vielseitigen, gesundheitsschädigenden Aspekte von EDs ist es wichtig, weitere Testungen und Screenings durchzuführen und stetig weiterzuentwickeln.

Studienergebnisse zeigen, dass *B. glabrata* ein vielversprechender Modellorganismus für das Screening von EDs ist. Sowohl die Reproduktion als auch die Expression potenzieller Biomarker werden durch die Exposition mit 17 $\beta$ -Östradiol beeinträchtigt. Die molekularen Mechanismen sind noch nicht bekannt und müssen in Zukunft weiter untersucht werden.

## Anmerkungen und Literaturhinweise

- Andrady, A. L. (2011) 'Microplastics in the marine environment', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 62(8), pp. 1596–1605. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
- Liebmann, B. (2015) *Mikroplastik in der Umwelt: Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf*. Umweltbundesamt. Available at: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0550.pdf>.
- Aves, A. R., Revell, L. E., Gaw, S., Ruffell, H., Schuddeboom, A., Wotherspoon, N. E., Larue, M. and McDonald, A. J. (2022) 'First evidence of microplastics in Antarctic snow', *Cryosphere*, 16(6), pp. 2127–2145. doi: 10.5194/tc-16-2127-2022.
- Neelavannan, K., Sen, I. S., Lone, A. M. and Gopinath, K. (2022) 'Microplastics in the high-altitude Himalayas: Assessment of microplastic contamination in freshwater lake sediments, Northwest Himalaya (India)', *Chemosphere*. Elsevier Ltd, 290(August 2021), p. 133354. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.133354.
- PlasticsEurope (2022) *Plastics – the Facts 2022*. Available at: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/> (Accessed: 5 June 2023).
- Horn, E. and Bergthaller, H. (2022) *Antropozän zur Einführung*. 3rd edn.
- Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J., Bar-On, Y. M. and Milo, R. (2020) 'Global human-made mass exceeds all living biomass', *Nature*. Springer US, 588(7838), pp. 442–444. doi: 10.1038/s41586-020-3010-5.
- Singh, N., Ogunseitan, O. A., Wong, M. H. and Tang, Y. (2022) 'Sustainable materials alternative to petrochemical plastics pollution: A review analysis', *Sustainable Horizons*. Elsevier B.V., 2(January), p. 100016. doi: 10.1016/j.horiz.2022.100016.
- Jiang, M., Wang, B., Ye, R., Yu, N., Xie, Z., Hua, Y., Zhou, R., Tian, B. and Dai, S. (2022) 'Evidence and Impacts of Nanoplastic Accumulation on Crop Grains', *Advanced Science*, 9(33), pp. 1–13. doi: 10.1002/advs.202202336.
- ECHA Mikroplastik. Available at: <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/microplastics> (Accessed: 8 November 2024)
- ECHA Nanomaterials. Available at: <https://www.echa.europa.eu/regulations/nanomaterials> (Accessed: 8 November 2024)
- Welden, N. A., & Lusher, A. (2020). Microplastics. *Plastic Waste and Recycling*, 223–249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00009-8>
- Akdogan, Z. and Guven, B. (2019) 'Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 254, p. 113011. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113011.
- European Commission (2023) COMMISSION REGULATION (EU) .../... of XXX amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards synthetic polymers. Available at: <https://ec.europa.eu/transparency/comitology-register/screen/documents/083921/6/consult?lang=en> (Accessed: 5 June 2023).
- Gruber, E., Stadlbauer, V., Pichler, V., Resch-Fauster, K., Todorovic, A., Meisel, T. C., Trawoeger, S., Holloczki, O., Turner, S. D., Wadsak, W., Vethaak, A. D. and Kenner, L. (2022) 'To Waste or Not to Waste: Questioning Potential Health Risks of Micro and Nanoplastics with a Focus on Their Ingestion and Potential Carcinogenicity', *Exposure and Health*. doi: 10.1007/s12403-022-00470-8
- Gaylarde, C. C., Neta, J. A. B. and Monteiro da Fonseca, E. (2021) 'Paint fragments as polluting microplastics: A brief review', *Marine Pollution Bulletin*, Volume 162. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111847
- Mennekes, D. and Nowack, B. (2022) 'Tire wear particle emissions: Measurement data where are you?', *Science of the Total Environment*. The Authors, 830, p. 154655. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154655.
- Jamieson, A. J., Brooks, L. S. R., Reid, W. D. K., Pierrney, S. B., Narayanaswamy, B. E. and Linley, T. D. (2019) 'Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth', *Royal Society Open Science*, 6(2). doi: 10.1098/rsos.180667.
- de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S. and Rillig, M. C. (2018) 'Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems', *Global Change Biology*, 24(4), pp. 1405–1416. doi: 10.1111/gcb.14020.
- Dessi, C., Okoffo, E. D., O'Brien, J. W., Gallen, M., Samanipour, S., Kaserzon, S., Rauer, C., Wang, X. and Thomas, K. V. (2021) 'Plastics contamination of store-bought rice', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 416(April), p. 125778. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125778.
- Castan, S., Sherman, A., Peng, R., Zumstein, M. T., Wanek, W., Hüffer, T. and Hofmann, T. (2023) 'Uptake, Metabolism, and Accumulation of Tire Wear Particle-Derived Compounds in Lettuce', *Environmental Science and Technology*, 57(1), pp. 168–178. doi: 10.1021/acs.est.2c05660.



- <sup>22</sup> Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C. and Tassin, B. (2016) 'Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?', *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Ltd, 104(1–2), pp. 290–293. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.006.
- <sup>23</sup> Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Stadmark, J. and Voisin, A. (2016) 'Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment', *Swedish Environmental Protection Agency*, 183(C 183), pp. 1–89. Available at: [www.ivl.se](http://www.ivl.se).
- <sup>24</sup> Ramsperger, A. F. R. M., Bergamaschi, E., Panizzolo, M., Fenoglio, I., Barbero, F., Peters, R., Undas, A., Purker, S., Giese, B., Lalyer, C. R., Tamargo, A., Moreno-Arribas, M. V., Grossart, H. P., Kühnel, D., Dietrich, J., Paulsen, F., Afanou, A. K., Zienolddiny-Narui, S., Eriksen Hammer, S., et al. (2023) 'Nano- and microplastics: a comprehensive review on their exposure routes, translocation, and fate in humans', *NanoImpact*, 29(November 2022). doi: 10.1016/j.impact.2022.100441.
- <sup>25</sup> Cox K. D., Covernton G. A., Davies H. L., Dower J. F., Juanes F. and Dudas S.E. (2019) 'Human Consumption of Microplastics', *Environ Sci Technol*. Jun 18;53(12):7068-7074. doi: 10.1021/acs.est.9b01517.
- <sup>26</sup> He, Y. J., Qin, Y., Zhang, T. L., Zhu, Y. Y., Wang, Z. J., Zhou, Z. S., Xie, T. Z. and Luo, X. D. (2021) 'Migration of (non-) intentionally added substances and microplastics from microwavable plastic food containers', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 417(April), p. 126074. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126074.
- <sup>27</sup> Schwabl, P., Koppel, S., Königshofer, P., Bucsiacs, T., Trauner, M., Reiberger, T. and Liebmann, B. (2019) 'Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series', *Annals of Internal Medicine*, 171(7), pp. 453–457. doi: 10.7326/M19-0618.
- <sup>28</sup> Senathirajah, K., Attwood, S., Bhagwat, G., Carbery, M., Wilson, S. and Palanisami, T. (2021) 'Estimation of the mass of microplastics ingested – A pivotal first step towards human health risk assessment', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 404(PB), p. 124004. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124004.
- <sup>29</sup> Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J. and Lamoree, M. H. (2022) 'Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood', *Environment International*. Elsevier Ltd, 163(December 2021), p. 107199. doi: 10.1016/j.envint.2022.107199.
- <sup>30</sup> Shan, S., Zhang, Y., Zhao, H., Zeng, T. and Zhao, X. (2022) 'Polystyrene nanoplastics penetrate across the blood-brain barrier and induce activation of microglia in the brain of mice', *Chemosphere*. Elsevier Ltd, 298(March), p. 134261. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134261.
- <sup>31</sup> Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M. and Giorgini, E. (2021) 'Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta', *Environment International*. Elsevier Ltd, 146, p. 106274. doi: 10.1016/j.envint.2020.106274.
- <sup>32</sup> Klein, S., Worch, E. and Knepper, T. P. (2015) 'Occurrence and spatial distribution of microplastics in river shore sediments of the rhine-main area in Germany', *Environmental Science and Technology*, 49(10), pp. 6070–6076. doi: 10.1021/acs.est.5b00492.
- <sup>33</sup> Yilmaz, B., Terekeci, H., Sandal, S. and Kelestimur, F. (2020) 'Endocrine disrupting chemicals: exposure, effects on human health, mechanism of action, models for testing and strategies for prevention', *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders, 21(1), pp. 127–147. doi: 10.1007/s11154-019-09521-z.
- <sup>34</sup> National Institute of Environmental Health Sciences (2022) *Endocrine Disruptors*. Available at: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine/index.cfm> (Accessed: 27 January 2022).
- <sup>35</sup> European Commission (2022) *What are endocrine disruptors?* Available at: [https://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/definitions/endodis\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/definitions/endodis_en.htm) (Accessed: 27 January 2022).
- <sup>36</sup> Gore, A. C., Crews, D., Doan, L. L., Merrill, M., La. Patisaul, H. and Zota, A. (2014) 'INTRODUCTION TO ENDOCRINE DISRUPTING CHEMICALS (EDCs) A GUIDE FOR PUBLIC INTEREST ORGANIZATIONS AND POLICY-MAKERS réf 00 importante sur les polluants et diabete avec une etude epidemio', (December), pp. 1–76.
- <sup>37</sup> Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. and Uricchio, V. F. (2020) 'A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4). doi: 10.3390/ijerph17041212.
- <sup>38</sup> United Nations Environment Programme (UNEP) (2009) 'Stockholm convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) as amended in 2009.', *IUPAC Compendium of Chemical Terminology*. Available at: <http://goldbook.iupac.org/S06019.html>.
- <sup>39</sup> Sifakis, S., Androutsopoulos, V. P., Tsatsakis, A. M. and Spandidos, D. A. (2017) 'Human exposure to endocrine disrupting chemicals: effects on the male and female reproductive systems', *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Elsevier B.V., 51, pp. 56–70. doi: 10.1016/j.etap.2017.02.024.
- <sup>40</sup> La Merrill, M. A., Vandenberg, L. N., Smith, M. T., Goodson, W., Browne, P., Patisaul, H. B., Guyton, K. Z., Kortenkamp, A., Coglianò, V. J., Woodruff, T. J., Rieswijk, L., Sone, H., Korach, K. S., Gore, A. C., Zeise, L. and Zoeller, R. T. (2020) 'Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification', *Nature Reviews Endocrinology*. Springer US, 16(1), pp. 45–57. doi: 10.1038/s41574-019-0273-8.
- <sup>41</sup> Warner, G. R., Mourikes, V. E., Neff, A. M., Brehm, E. and Flaws, J. A. (2020) 'Mechanisms of action of agrochemicals acting as endocrine disrupting chemicals', *Molecular and Cellular Endocrinology*. Elsevier, 502(October 2019), p. 110680. doi: 10.1016/j.mce.2019.110680.
- <sup>42</sup> Robaire, B., Delbes, G., Head, J. A., Marlatt, V. L., Martyniuk, C. J., Reynaud, S., Trudeau, V. L. and Mennigen, J. A. (2022) 'A cross-species comparative approach to assessing multi- and transgenerational effects of endocrine disrupting chemicals', *Environmental Research*, 204. doi: 10.1016/j.envres.2021.112063.
- <sup>43</sup> Diamanti-Kandarakis, E., Bourguignon, J. P., Giudice, L. C., Hauser, R., Prins, G. S., Soto, A. M., Zoeller, R. T. and Gore, A. C. (2009) 'Endocrine-disrupting chemicals: An Endocrine Society scientific statement', *Endocrine Reviews*, 30(4), pp. 293–342. doi: 10.1210/er.2009-0002.
- <sup>44</sup> Martínez-Ibarra, A., Martínez-Razo, L. D., MacDonald-Ramos, K., Morales-Pacheco, M., Vázquez-Martínez, E. R., López-López, M., Rodríguez Dorantes, M. and Cerbón, M. (2021) 'Multisystemic alterations in humans induced by bisphenol A and phthalates: Experimental, epidemiological and clinical studies reveal the need to change health policies', *Environmental Pollution*, 271. doi: 10.1016/j.envpol.2020.116380.
- <sup>45</sup> Morgan, M., Deoraj, A., Felty, Q. and Roy, D. (2017) 'Environmental estrogen-like endocrine disrupting chemicals and breast cancer', *Molecular and Cellular Endocrinology*. Elsevier Ltd, 457, pp. 89–102. doi: 10.1016/j.mce.2016.10.003.
- <sup>46</sup> Lympieri, S. and Giwercman, A. (2018) 'Endocrine disruptors and testicular function', *Metabolism: Clinical and Experimental*. Elsevier Inc, 86, pp. 79–90. doi: 10.1016/j.metabol.2018.03.022.
- <sup>47</sup> Papadimitriou, A. and Papadimitriou, D. T. (2021) 'Endocrine-disrupting chemicals and early puberty in girls', *Children*, 8(6), pp. 1–9. doi: 10.3390/children8060492.
- <sup>48</sup> Calsolaro, V., Pasqualetti, G., Niccolai, F., Caraccio, N. and Monzani, F. (2017) 'Thyroid disrupting chemicals', *International Journal of Molecular Sciences*, 18(12), pp. 1–17. doi: 10.3390/ijms18122583.
- <sup>49</sup> Gupta, R., Kumar, P., Fahmi, N., Garg, B., Dutta, S., Sachar, S., Matharu, A. S. and Vimalaswaran, K. S. (2020) 'Endocrine disruption and obesity: A current review on environmental obesogens', *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. Elsevier Ltd, 3(April), p. 100009. doi: 10.1016/j.crgsc.2020.06.002.
- <sup>50</sup> Mari-Bauset, S., Donat-Vargas, C., Llòpis-González, A., Mari-Sanchis, A., Peraita-Costa, I., Llopis-Morales, J. and Morales-Suárez-Varela, M. (2018) 'Endocrine Disruptors and Autism Spectrum Disorder in Pregnancy: A Review and Evaluation of the Quality of the Epidemiological Evidence', *Children*, 5(12), p. 157. doi: 10.3390/children5120157.
- <sup>51</sup> Ghassabian, A. and Trasande, L. (2018) 'Disruption in thyroid signaling pathway: A mechanism for the effect of endocrine-disrupting chemicals on child neurodevelopment', *Frontiers in Endocrinology*, 9(APR). doi: 10.3389/fendo.2018.00204.
- <sup>52</sup> Kürzinger, L., Fassnacht, M. and Dischinger, U. (2022) *Endocrine Disrupting Chemicals, Deutsche Medizinische Wochenschrift*. doi: 10.1055/a-1837-2670.
- <sup>53</sup> Marlatt, V. L., Bayen, S., Castaneda-Cortés, D., Delbès, G., Grigoroza, P., Langlois, V. S., Martyniuk, C. J., Metcalfe, C. D., Parent, L., Rwigemera, A., Thomson, P. and Van Der Kraak, G. (2022) 'Impacts of endocrine disrupting chemicals on reproduction in wildlife and humans', *Environmental Research*, 208. doi: 10.1016/j.envres.2021.112584.
- <sup>54</sup> Bergman, A. (1999) 'Health condition of the Baltic grey seal (*Halichoerus grypus*) during two decades', *APMIS*, 107(270).

- <sup>55</sup> WHO (2013) *State of the science Endocrine Disrupting Chemicals 2012, Analysis of Endocrine Disrupting Compounds in Food*. doi: 10.1002/9781118346747.ch1.
- <sup>56</sup> International Programme on Chemical Safety (2002) *Global assessment on the state of the science of endocrine*. World Health Organization. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67357>.
- <sup>57</sup> Matthiessen, P., Wheeler, J. R. and Weltje, L. (2018) 'A review of the evidence for endocrine disrupting effects of current-use chemicals on wildlife populations', *Critical Reviews in Toxicology*. Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group, 48(3), pp. 195–216. doi: 10.1080/10408444.2017.1397099.
- <sup>58</sup> Matthiessen, P. (2013) *Endocrine Disrupters: Hazard Testing and Assessment Methods*. John Wiley & Sons, Ltd. doi: 10.1002/9781118355961.
- <sup>59</sup> Stroben, E., Schulte-Oehlmann, U., Fioroni, P. and Oehlmann, J. (1995) 'A comparative method for easy assessment of coastal TBT pollution by the degree of imposex in prosobranch species.', *Haliotis*, 24(JANUARY 1995), pp. 1–12.
- <sup>60</sup> Wagner, M., Kienle, C., Vermeirssen, E. L. M. and Oehlmann, J. (2017) 'Endocrine disruption and in vitro ecotoxicology: Recent advances and approaches', *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 157. doi: 10.1007/10\_2016\_2.
- <sup>61</sup> World Health Organisation (2023) *Schistosomiasis*. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/schistosomiasis> (Accessed: 5 June 2023).
- <sup>62</sup> de Freitas Tallarico, L., Borrelly, S. I., Hamada, N., Grazeffe, V. S., Ohlweiler, F. P., Okazaki, K., Granatelli, A. T., Pereira, I. W., de Bragança Pereira, C. A. and Nakano, E. (2014) 'Developmental toxicity, acute toxicity and mutagenicity testing in freshwater snails *Biomphalaria glabrata* (Mollusca: Gastropoda) exposed to chromium and water samples', *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Elsevier, 110, pp. 208–215. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.09.005.
- <sup>63</sup> de Freitas Tallarico, L., Miyasato, P. A. and Nakano, E. (2016) 'Rearing and maintenance of *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818): Adults and embryos under laboratory conditions', *Annals of Aquaculture and Research*, 3(1), p. 1013. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/309120943\\_Rearing\\_and\\_Maintenance\\_of\\_Biomphalaria\\_glabrata\\_Say\\_1818\\_Adults\\_and\\_Embryos\\_under\\_Laboratory\\_Conditions](https://www.researchgate.net/publication/309120943_Rearing_and_Maintenance_of_Biomphalaria_glabrata_Say_1818_Adults_and_Embryos_under_Laboratory_Conditions).
- <sup>64</sup> Nakano, E., Watanabe, L. C., Ohlweiler, F. P., De Bragança Pereira, C. A. and Kawano, T. (2003) 'Establishment of the dominant lethal test in the freshwater mollusk *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818)', *Mutation Research – Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 536(1–2), pp. 145–154. doi: 10.1016/S1383-5718(03)00042-1.
- <sup>65</sup> Caixeta, M. B., Araújo, P. S., Rodrigues, C. C., Gonçalves, B. B., Araújo, O. A., Bevilacqua, G. B., Malafaia, G., Silva, L. D. and Rocha, T. L. (2020) 'Risk assessment of iron oxide nanoparticles in an aquatic ecosystem: A case study on *Biomphalaria glabrata*', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier, 401(April 2020), p. 123398. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123398.
- <sup>66</sup> de Vasconcelos Lima, M., de Andrade Pereira, M. I., Cabral Filho, P. E., Nascimento de Siqueira, W., Milca Fagundes Silva, H. A., de França, E. J., Saegesser Santos, B., Mendonça de Albuquerque Melo, A. M. and Fontes, A. (2019) 'Studies on Toxicity of Suspensions of CdTe Quantum Dots to *Biomphalaria glabrata* Mollusks', *Environmental Toxicology and Chemistry*. John Wiley & Sons, Ltd, 38(10), pp. 2128–2136. doi: 10.1002/etc.4525.
- <sup>67</sup> Lagadic, L., Coutellec, M. A. and Caquet, T. (2007) 'Endocrine disruption in aquatic pulmonate molluscs: Few evidences, many challenges', *Ecotoxicology*, 16(1), pp. 45–59. doi: 10.1007/s10646-006-0114-0.
- <sup>68</sup> Adema, C. M., Hillier, L. D. W., Jones, C. S., Loker, E. S., Knight, M., Minx, P., Oliveira, G., Raghavan, N., Shedlock, A., Do Amaral, L. R., Arican-Goktas, H. D., Assis, J. G., Baba, E. H., Baron, O. L., Bayne, C. J., Bickham-Wright, U., Biggar, K. K., Blouin, M., Bonning, B. C., et al. (2017) 'Whole genome analysis of a schistosomiasis-transmitting freshwater snail', *Nature Communications*, 8(May). doi: 10.1038/ncomms15451.
- <sup>69</sup> Scott, A. P. (2012) 'Do mollusks use vertebrate sex steroids as reproductive hormones? Part I: Critical appraisal of the evidence for the presence, biosynthesis and uptake of steroids', *Steroids*. Elsevier Inc., 77(13), pp. 1450–1468. doi: 10.1016/j.steroids.2012.08.009.



Gefördert von



Stadt  
Wien

Wirtschaft, Arbeit  
und Statistik

Dieses Dossier und die darin erwähnte Forschungstätigkeit wurden im Rahmen eines von der Stadt Wien geförderten Projektes (Fachhochschulförderung Call-29; Stadt Wien Kompetensteam für Lehre „Mikroplastik und Nanopartikel als Umweltrisiken“) an der FH Technikum Wien durchgeführt (<https://www.wien.gv.at/forschung/institutionen/pdf/fh-call-29-endbericht.pdf>; <https://www.technikum-wien.at/forschungsprojekte/mikroplastik/>).

## IMPRESSUM

**Medieninhaber:** Österreichische Akademie der Wissenschaften; Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 31/2018); Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

**Herausgeber:** Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA); Bäckerstraße 13, A-1010 Wien; [www.oew.ac.at/ita](http://www.oew.ac.at/ita)

**Erscheinungsweise:** Die NanoTrust-Dossiers erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung sowie seiner Kooperationspartner:innen im Rahmen des Projekts NanoTrust. Die Berichte werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oew“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt: [epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/](http://epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/)

NanoTrust-Dossier Nr. 066, Dezember 2024:  
[epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier066.pdf](http://epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier066.pdf)

ISSN: 1998-7293

Dieses Dossier steht unter der Creative Commons (Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 2.0 Österreich)  
Lizenz: [creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de)