



**Die potenziellen gesundheitlichen Gefahren durch die
Aufnahme von Mikroplastik in den menschlichen Organismus**

Bachelorarbeit von

Maria Di Massa

im Studiengang Gesundheitswissenschaften
Fakultät Life Sciences
an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Matrikelnummer: [REDACTED]

E-Mail-Adresse: [REDACTED]

Erstgutachter: Prof. Dr. (mult.) Dr. h.c. (mult.) Walter Leal

Zweitgutachter: Dr. Ingo Drachenberg

Wintersemester 2022/23

Datum: 23.01.2023

Abstract

Hintergrund: Kunststoff ist ein wichtiger Bestandteil in den meisten Lebensbereichen des menschlichen Alltags und findet Verwendung in Baumaterialien bis hin zu medizinischen Produkten. Das dadurch entstehende hohe Aufkommen geht mit der Problematik der Entsorgung und des Abbaus einher, durch den unter anderem Mikroplastik entsteht. Daher hat das Thema Mikroplastik und die damit verbundenen Risiken für Umwelt, Tier und Mensch in den letzten Jahren stark an Relevanz gewonnen. Insbesondere die Art und Weise der möglichen Aufnahmewege und die gesundheitlichen Auswirkungen von Mikroplastik wurden unter anderem mithilfe von In-vitro- und In-vivo-Untersuchungen erforscht und erste, zum Teil besorgniserregende Erkenntnisse gewonnen, die eindeutig zur Handlung aufrufen.

Methodik: Es wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Die dabei gefundenen Studien wurden anhand von zuvor festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien ausgewählt. Daraufhin wurden die eingeschlossenen Studien gründlich gesichtet, analysiert und bewertet. Im Anschluss wurden diese in den Kontext des theoretischen Hintergrundes gesetzt.

Ergebnisse: Mikro-, bzw. Nanoplastikpartikel können durch verschiedene Mechanismen vom menschlichen Organismus aufgenommen werden und so Organsysteme passieren. Unter bestimmten Voraussetzungen schädigen sie unterschiedliche Organstrukturen erheblich, in dem sie beispielsweise Entzündungsreaktionen hervorrufen und den Zelltod herbeiführen. Die toxischen Auswirkungen der Partikel auf die Organsysteme können zusätzlich durch enthaltene gesundheitsgefährdende Zusatzstoffe und die Besiedlung pathogener Keime verstärkt werden.

Diskussion: Die gefundenen Ergebnisse basieren auf Laboruntersuchungen, die unter bestimmten Voraussetzungen wie einer bestimmten Partikelgröße und Expositionsdauer hervorgebracht wurden. Sie sind daher nicht eins-zu-eins auf die Realität übertragbar. Außerdem fehlt es an Langzeitergebnissen und Forschungen an Menschen, um die reale Gefahr auf die menschliche Gesundheit einschätzen zu können. Die bisherige Datenlage erlaubt keine Kausalitätsaussagen. Des Weiteren existiert kein Qualitätsstandard, weshalb die Untersuchungsmethoden bisher sehr heterogen sind.

Schlüsselwörter: Mikroplastik, Expositionswege, Gesundheit, Gefahren

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	1
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	III
1. Einleitung	2
2. Theoretischer Hintergrund	3
2.1 Kunststoff	3
2.2 Mikroplastik – Definition, Entstehung und Verwendung	9
2.3 Aufnahme von Mikroplastik.....	12
2.3.1 Verzehr.....	13
2.3.2 Inhalation	16
2.3.3 Hautkontakt.....	17
3. Methodik	17
3.1 Ein- und Ausschlusskriterien bei der Literaturrecherche	18
3.2 Suchstrategie und Literatúrauswahl.....	19
4. Ergebnisse	20
4.1 Darstellung der Ergebnisse.....	21
4.1.1 Ergebnisse aus Tierstudien	22
4.1.2 Ergebnisse aus menschlichen Zellkulturen.....	24
4.2 Zusammenfassende kritische Bewertung der Studienqualität	36
4.3 Additive	37

5. Diskussion.....	39
5.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse.....	39
5.2 Limitationen.....	40
5.3 Lösungsansätze.....	41
5.3.1 Makroebene.....	42
5.3.2 Mesoebene	44
5.3.3 Mikroebene	45
6. Fazit und Ausblick.....	48
Literaturverzeichnis.....	IV
Anhang.....	VII
Eidesstaatliche Erklärung	VII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Weltproduktion von Stahl, Aluminium und Kunststoff (vgl. Abts, 2016, S.59).....	5
Abbildung 2: Anteil an der Kunststoff Verwendung nach Branche und an den am häufigsten verwendeten Polymertypen in Deutschland 2018 (vgl. Hengstmann & Tammina, 2022).....	6
Abbildung 3: Zersetzungsprozesse beim Abbau von Makro- zu Mikroplastik, eigene Darstellung (vgl. Fath, 2019).....	11
Abbildung 4: Aufnahmewege von Mikro-/ bzw. Nanoplastik in den menschlichen Körper (vgl. Pironti et al., 2021).....	12
Abbildung 5: Potenzielle Effekte von Mikro- und Nanoplastik auf die Gesundheit (vgl. Sangkham et al., 2022)	21
Abbildung 6: Potenzielle Aufnahmewege und Toxizitäten von Mikro-/ bzw. Nanoplastik auf den menschlichen Körper (vgl. Sangkham et al., 2022)	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Größenkategorien für Plastik, eigene Darstellung (vgl. Hengstmann & Tamminga, 2022)	10
Tabelle 2: Angewandte Ein- und Ausschlusskriterien für die Aufnahme in das Review, eigene Darstellung	18
Tabelle 3: Übersicht über die eingeschlossenen Studien, eigene Darstellung.....	31
Tabelle 4: Einteilung von Kunststoffprodukten nach ihrem Umweltbelastungsindex (vgl. Fath, 2019).....	44
Tabelle 5: Verbraucher:innen Tipps zur Reduktion von Plastikabfall und Vermeidung von Produktion von Mikroplastik, eigene Darstellung (vgl. Baltic Environmental Forum, 2018)	46

1. Einleitung

Kunststoff, umgangssprachlich häufig als Plastik bezeichnet, ist heutzutage in nahezu allen Lebensbereichen des Menschen allgegenwärtig. Von der Lebensmittelverpackung, über Kleidung, Baumaterialien, Bodenbelägen bis hin zu Medizinprodukten wie Prothesen, wird Kunststoff eingesetzt. Es besteht aus fossilen oder biologisch basierten Rohstoffen, die durch Zugabe von Wärme, Druck und einer Vielzahl an Zusatzstoffen (Additiven) zu einem Endprodukt geformt werden. Zusätzlich unterscheiden sich Kunststoffe in ihrer Fähigkeit, sich biologisch abzubauen. Im Jahr 2019 wurden weltweit circa (ca.) 370 Millionen Tonnen Kunststoff produziert, davon 18 Millionen in Deutschland (Kundel et al., 2022).

Problematisch gestaltet sich die Entsorgung und der Abbau dieses vielseitig genutzten Stoffes: Jährlich landen ca. 10 % des derzeitig produzierten Kunststoffes in Flüssen, Seen und Meeren. Das entspricht etwa einer Müllwagenladung pro Minute. Das Plastik zerfällt von Makro- zu Mikro- oder Nanoplastik. Schätzungsweise befinden sich bereits 51 Trillionen Mikroplastikpartikel in den Weltmeeren. Diese Partikel werden von Meeresorganismen aufgenommen und können letztlich über den Verzehr von Fisch und Fischereiprodukten in den menschlichen Organismus gelangen (Baltic Environmental Forum, 2018). Plastikpartikel konnten neben Fisch und Meeresfrüchten unter anderem (u.a.) auch in Trinkwasserproben, Salz, Flaschenwasser und Teebeutel nachgewiesen werden.

Neben der Problematik der Entsorgung beschäftigten sich Wissenschaftler:innen mit der Frage, inwiefern Mikro- oder Nanokunststoffpartikel vom menschlichen Körper aufgenommen werden können und ob dies negative gesundheitliche Folgen haben könnte. Es konnte festgestellt werden, dass die Aufnahme hauptsächlich über drei verschiedene Wege erfolgt: über die Inhalation, über den Kontakt mit der Haut und über den Verzehr (Sangkham et al., 2022).

Die Thematik und Diskussion über die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von Mikroplastik auf den menschlichen Organismus haben in Anbetracht der anfallenden Mengen, Nutzungsvielfalt und Vorkommen von Kunststoff in unseren Gewässern über die letzten Jahre stark an Relevanz gewonnen.

Diese Bachelor-Arbeit befasst sich daher mit der Forschungsfrage, ob die Aufnahme von Mikro-, bzw. Nanoplastik der menschlichen Gesundheit schaden kann. Dafür wurde methodisch ein systematisches Literaturreview unter Berücksichtigung bestimmter Ein- und Ausschlusskriterien durchgeführt. Es folgt zunächst der theoretische Hintergrund zum Thema Kunststoff mit einem Schwerpunkt auf den möglichen Aufnahmewegen von Mikroplastikpartikeln in den menschlichen Organismus. Daraufhin wird die angewandte Methodik im Detail erläutert. Anschließend erfolgt eine Übersicht über die gefundenen Ergebnisse, welche in der darauffolgenden Diskussion kritisch beleuchtet werden. Außerdem werden mögliche Lösungsansätze für die Problematik dargestellt. Zum Schluss wird ein zusammenfassendes Fazit mit Ausblick gezogen.

2. Theoretischer Hintergrund

In dem folgenden Abschnitt wird zunächst ein Überblick über die Definition, die geschichtliche Entwicklung, die Herstellung, die Verwendung und die Entsorgung von Kunststoff gegeben. Anschließend wird das Thema Mikroplastik näher beleuchtet. Hierbei wird im Detail auf die Expositionswege in den menschlichen Organismus eingegangen, wobei der Fokus auf der oralen Zufuhr liegt.

2.1 Kunststoff

Als Kunststoffe werden lineare oder verzweigte Molekülketten bezeichnet, die durch eine synthetische Aneinanderreihung (auch: Polymerisierung) von einzelnen Monomeren hergestellt werden. Die entstandenen Polymere bestehen aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel, welche mit zusätzlichen Additiven vermischt werden, um bestimmte wünschenswerte Eigenschaften wie beispielsweise Stabilität, Glanz, Elastizität oder Farbechtheit zu erreichen. Häufig werden Additive auch zur Entschleunigung von Abbauprozessen genutzt, da sie vor Umwelteinflüssen wie Wärme oder Licht schützen können. Beispielfhaft sind Antioxidantien, Flammschutzmittel, Weichmacher (Phthalate) oder Stabilisatoren (Bisphenol A) zu nennen.

Die einzelnen organischen Bestandteile werden zu 99 % aus fossilen Quellen wie Erdöl gewonnen, die zu den nicht-erneuerbaren Rohstoffen zählen. Lediglich 1 % stammt aus nachwachsenden Rohstoffen wie Gummi oder Mais (Baltic Environmental Forum, 2018).

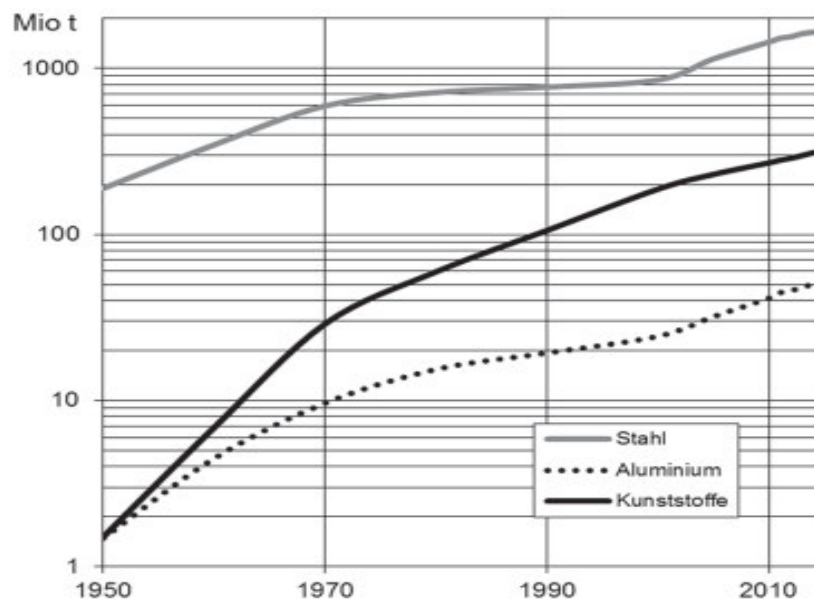
Der umgangssprachliche Ausdruck „Plastik“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet „formbar“. Diese Formbarkeit gehört zu den Vorteilen, die Plastik gegenüber anderen Materialien wie Glas oder Holz hat. Daneben gehören ein geringes Gewicht und eine hohe Stabilität zu den weiteren Vorteilen, durch die Kunststoff so großzügig und vielseitig eingesetzt wird. Des Weiteren werden Polymere und Kunststoffe, beziehungsweise (bzw.) Plastik, begrifflich häufig gleichgesetzt. Allerdings können Polymere auch einen natürlichen Ursprung haben, wie es beispielsweise bei pflanzlicher Stärke der Fall ist.

Geschichtlich betrachtet wurde im frühen 20. Jahrhundert das erste Mal ein Plastikpolymer kommerziell insbesondere als Isolationsmaterial von elektrischen Leitungen entwickelt und genutzt. Vier der bis heute wichtigsten Polymergruppen wurden zwischen 1930 und 1940 entwickelt. Dazu zählen Polystyrol (PS, zum Beispiel (z.B.) in Styropor), Polyvinylchlorid (PVC, z.B. in Rohren), Polyolefine (PE, z.B. in Plastiktüten) und Polymethylmethacrylat (PMMA, z.B. in Plexiglas). Mit dem zweiten Weltkrieg kam es zur Zunahme von industriell hergestelltem Plastik, welches u.a. für die Verglasung von Flugzeugen genutzt wurde. Außerdem wurden weitere wichtige Polymere wie Nylon (PA, z.B. Strumpfhosen) und Teflon (PTFE, z.B. Bratpfannenbeschichtungen) in dieser Zeit entwickelt. Die Produktion von Kunststoff wurde durch optimierte Herstellungsverfahren sowohl günstiger als auch vielseitiger, was zu einem deutlichen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Werkstoffen führte. Letztendlich kam es in den nachfolgenden Jahrzehnten zusätzlich durch den gesellschaftlichen Wandel zu einer deutlichen Zunahme an privatem Plastikverbrauch, wodurch in den 1980er-Jahren erstmalig eine Produktion von 100 Millionen Tonnen erreicht wurde. 2019 lag die Produktion von Kunststoff bei 368 Millionen, womit sie sich mehr als verdreifacht und im Vergleich zu 1950 sogar fast ver Hundertfacht hat (Hengstmann & Tamminga, 2022).

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der weltweiten Produktion von Kunststoff im Vergleich zu Stahl und Aluminium. Es zeigt sich zu den anderen beiden Rohstoffen ein deutlich steilerer Verlauf in der Plastikproduktion:

Abbildung 1

Entwicklung der Weltproduktion von Stahl, Aluminium und Kunststoff (vgl. Abts, 2016, S.59)

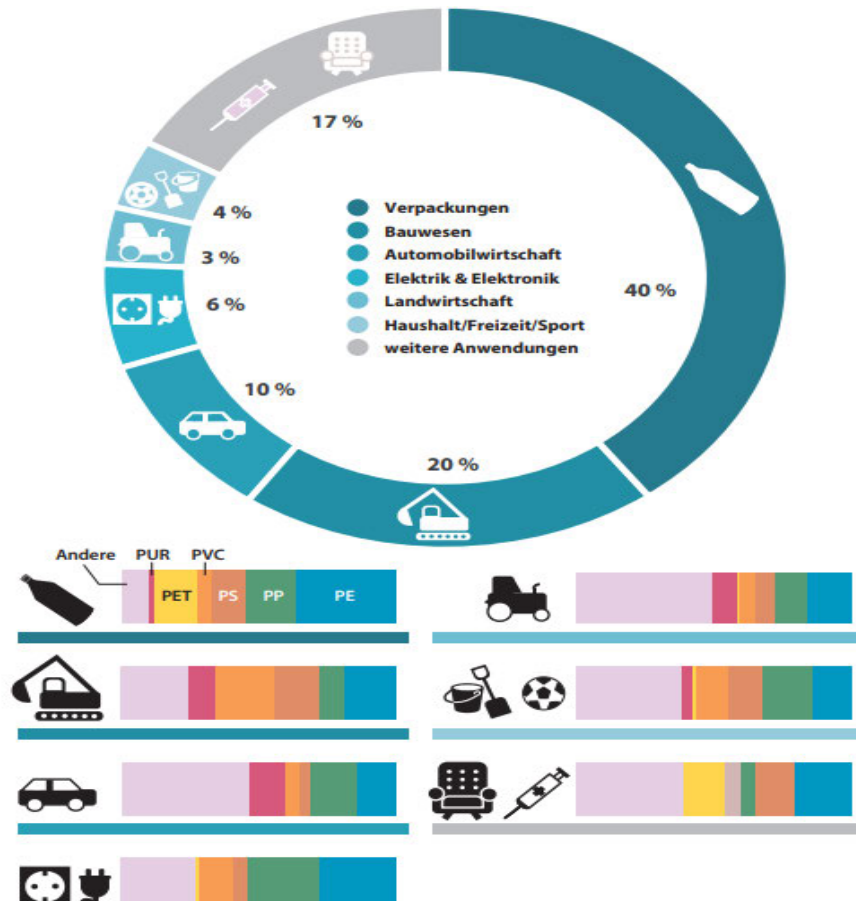


Heutzutage dominieren sechs Polymere bzw. Polymermischungen in der Plastikproduktion. Dazu zählen PE, PP (Polypropylen), PVC, PUR (Polyurethan), PET (Polyethylenterephthalat) und PS (Hengstmann & Tamminga, 2022). Die Erfindung des Plastiks gilt als eine Revolution in der Geschichte des Menschen. Die Verwendung reicht heutzutage von Kleidung, Verkehrsmitteln, Zahnfüllungen, Lebensmittelverpackungen bis hin zu Ersatzteilen unseres Körpers (Kundel et al., 2022). Den größten Anteil in der Verwendung von Kunststoff machen in Europa Verpackungsmaterialien aus. Hierfür werden vor allem die Polymere PE, PP und PET verwendet (Hengstmann & Tamminga, 2022).

An zweiter Stelle folgt, wie in Abbildung 2 dargestellt, das Bauwesen:

Abbildung 2

Anteil an der Kunststoff Verwendung nach Branche und an den am häufigsten verwendeten Polymertypen in Deutschland 2018 (vgl. Hengstmann & Tammina, 2022)



Hier kommen insbesondere PVC und PE in Rohren, Fensterrahmen und Böden zum Einsatz. Plastik hat im Vergleich zu Holz oder Metall den Vorteil, dass es widerstandsfähiger und langlebiger ist, da es nicht rosten oder faulen kann. Die Länge des Verwendungszeitraumes von Kunststoffprodukten ist dabei sehr unterschiedlich. Ungefähr die Hälfte des Plastiks wird nur sehr kurzlebig eingesetzt, insbesondere sind hier Verpackungsmaterialien zu nennen.

Sie werden in der Regel (i.d.R.) nur einmalig genutzt und anschließend entsorgt. In elektronischen Plastikprodukten oder im Transport- bzw. Bausektor hingegen, wird Plastik langfristig eingesetzt. So können Rohre oder Autoteile mehrere Jahrzehnte verwendet werden (Hengstmann & Tamminga, 2022).

Die geringere Dichte, die Kunststoff aufweist, führt in der Autoindustrie zu einer Einsparung an Kraftstoff und Energie. Es trägt somit zu einem reduzierten Ausstoß an Kohlenstoffdioxid bei, da es im Vergleich zu Metall leichter ist und somit Kraftstoff einspart (Abts, 2016).

Wie bereits erwähnt, basiert der Großteil der Kunststoffe auf fossilen Rohstoffen wie Erdöl. Erdöl besteht aus einer Vielzahl an verschiedenen Stoffen, wobei Kohlenwasserstoffe die entscheidenden Stoffe bei der Erdölverarbeitung sind. Neben den Kohlenwasserstoffen befinden sich Wasser, Sediment oder andere Verunreinigungen im Erdöl, die vor der Verarbeitung abgetrennt werden müssen. In Cracking-Verfahren beispielsweise, werden langkettige Kohlenstoffketten in kurzkettige gespalten und anschließend über die Kettenpolymerisation zu den gewünschten Polymeren zusammengesetzt. So wird etwa aus dem Monomer Ethen das Polymer Polyethylen. Fast alle Polymere müssen anschließend noch weiterverarbeitet werden, je nach gewünschtem Zweck der Nutzung. Diese Anpassung erfolgt mithilfe von Additiven (Hengstmann & Tamminga, 2022).

Die Kehrseite der vielen vorteilhaften Eigenschaften von Plastikprodukten ist die Entsorgung: Kunststoffe können nicht korrodieren, was bedeutet, dass sie nicht in ihre Grundbausteine zerfallen. Zudem werden Kunststoffe i.d.R. nicht biologisch von Mikroorganismen abgebaut und verbleiben somit sehr lange in der Umwelt, sofern sie nicht korrekt entsorgt werden. Alternative Lösungen wie photosensitive Kunststoffe, die beispielsweise für Tragetüten eingesetzt werden, tragen zur Lösung dieser Problematik nicht bei, da auch diese nicht zu Biomasse zerfallen, sondern lediglich zu sehr kleinen Teilen (Abts, 2016). Hinzu kommt, dass die häufig darin enthaltenen Additive die Umwelt zusätzlich schaden, worauf im Verlauf dieser Arbeit noch gesondert eingegangen wird.

Den größten Unterschied bei der Entsorgung machen Einweg- und Mehrweg-Produkte. Mehrweg-Produkte können wiederverwendet werden, nachdem sie gereinigt worden sind. So können PET-Mehrwegflaschen beispielweise bis zu 25-mal befüllt werden. Einweg-Produkte hingegen werden nach einer kurzen Nutzungsdauer entsorgt, recycelt und weiterverarbeitet oder deponiert. In Deutschland erfolgt dies i.d.R. über die „gelbe Tonne“. Der Müll, der darin landet, wird meistens sortiert und nach unterschiedlichen Materialien getrennt.

Im Jahr 2019 lag der reine Plastikmüll in Deutschland bei 6 Millionen Tonnen, was ca. dem Gewicht von 600 Pariser Eiffeltürmen entspricht. Allerdings werden in Deutschland über 99 % des Kunststoffabfalls weiterverwertet und nur 1 % in Deponien beseitigt. Bei der Weiterverwertung wird der Müll entweder zur Gewinnung von Energie verbrannt oder stofflich recycelt, um ihn zu neuen Produkten weiterzuverarbeiten. Außerdem ist ein chemisches Recycling in Rohstoffe wie Öle und Gase möglich, die u.a. zur erneuten Herstellung von Plastik genutzt werden können. Um aus recycelten Plastikmüll neue Produkte herstellen zu können, muss dieser einheitlich und sauber sein. Daher werden nur ca. 15 % hierzulande in neue Produkte umgewandelt. Dennoch liegt Deutschlands Recyclingquote etwas über dem europäischen Durchschnitt und ist insgesamt in der Europäischen Union (EU) in den letzten Jahren gestiegen (Hengstmann & Tamminga, 2022).

Plastik kann auf verschiedenen Wegen in die Umwelt gelangen, es werden dabei terrestrische und marine Quellen unterschieden. Auf dem Festland ist insbesondere der Verkehr und die damit verbundenen Reifenabriebe hauptsächlich für das Aufkommen an Plastik in der Umwelt verantwortlich. Die Partikel können durch den Kontakt zur Straße mit den Fahrzeugreifen abgerieben werden und sich dort mit dem Fahrbahnmaterial verbinden und/oder durch den fortlaufenden Verkehr zerrieben werden. Bei Regen gelangen diese Abriebe in die Abwassersysteme oder auf direktem Wege in Bäche, Flüsse oder Gräben. Neben dem Verkehr zählen das Leben/Wirken der Bevölkerung, das produzierende Gewerbe, Baustellen, die Landwirtschaft und Freizeit- bzw. Sportaktivitäten zu den Hauptquellen für terrestrische Plastikemissionen. Der Plastikverbrauch durch Privathaushalte stellt durch die verschiedenen Haushaltsquellen eine besondere Belastung dar. Zu diesen Quellen gehören etwa das Waschen von synthetischer Kleidung oder die Nutzung von Kunststoff enthaltenden Kosmetika.

Grundsätzlich gilt, dass Plastikpartikel überall freigesetzt werden, wo sie eingesetzt werden (Hengstmann & Tamminga, 2022).

In der Betrachtung der marinen Quellen, sind insbesondere die Schifffahrt- und Fischerei hauptverantwortlich für das Plastikaufkommen in den Gewässern, ebenso wie Öl- und Gasplattformen und Aquakulturen. Hier sind Fischermaterialien aus Kunststoff zu nennen, die beim Fischen regelmäßig in den Meeren verloren gehen. Auch Unfälle von Containerschiffen oder Abfälle von Fähren oder Kreuzfahrtschiffen tragen zur Verschmutzung der Meere mit Plastikabfällen maßgeblich bei (Hengstmann & Tamminga, 2022). Es befinden sich schätzungsweise bereits ca. 150 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle in den Weltmeeren, zu denen jährlich etwa 8 Millionen Tonnen hinzukommen. Dabei handelt sich allerdings nur um eine grobe Einschätzung der sichtbaren Kunststoffpartikel (Abts, 2016).

Eine besonders große Gefahr wird dem Mikroplastik zugeschrieben, dessen Aufkommen nur geschätzt werden kann. Einer Hochrechnungsstudie nach sollen sich bereits 51 Trillionen Mikroplastikpartikel in den Weltmeeren befinden (Baltic Environmental Forum, 2018). Im folgenden Abschnitt wird auf diese Thematik gesondert eingegangen.

2.2 Mikroplastik – Definition, Entstehung und Verwendung

Eine weitere Einteilungsmöglichkeit von Plastik ist die Größe. Hierbei gibt es die Gruppen Makro-, Meso-, Mikro-, und Nanoplastik. Kunststoffgegenstände ab einer Größe von 2,5 cm werden als Makroplastik bezeichnet. Plastikpartikel die kleiner als 5 mm sind, werden als Mikroplastik definiert. Sind die Partikel kleiner als ein 1 Mikrometer (μm), gelten sie als Nanoplastik.

Die folgende Tabelle zeigt die beschriebenen Einteilungen im Überblick:

Tabelle 1

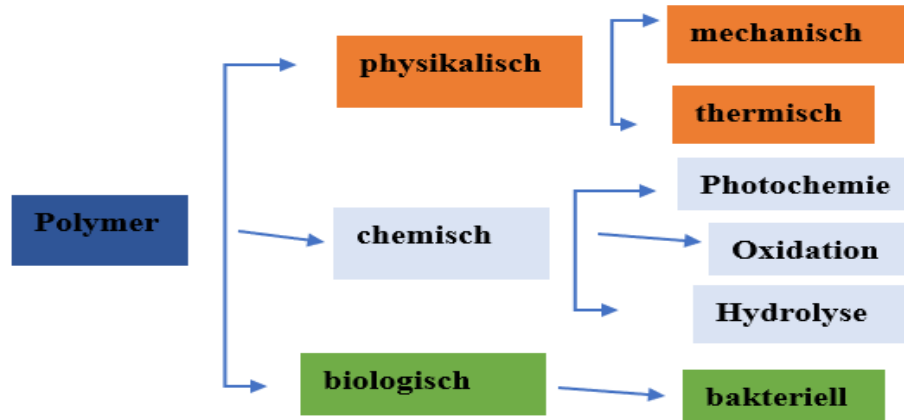
Übersicht der Größenkategorien für Plastik, eigene Darstellung (vgl. Hengstmann & Tamminga, 2022)

Bezeichnung	Größe	Größenvergleich	Beispiel	Mögliche Risiken
Makroplastik	$\geq 2,5$ cm	Größer als eine Haselnuss	Plastiktüte	Verfangen von Tieren
Mesoplastik	5 mm bis $\leq 2,5$ cm	Sandkorn bis Haselnuss	Spielwürfel	Verschlucken von Tieren
Mikroplastik	1 μ m bis <5 mm	Bakterium bis großes Sandkorn	Peeling-Kugeln	Verschlucken von Tieren
Nanoplastik	1 nm bis <1 μ m	Virus bis kleines Bakterium	Medikamenten Zusätze	Eindringen in menschliche Zellen

Mikroplastik wird unterschieden in primäres und sekundäres Mikroplastik, wobei primäres bereits klein hergestellt wird und sekundäres erst nach einiger Zeit in der Umwelt durch den Zerfall von Makroplastik entsteht. Da aus einem Makroplastikgegenstand sehr viele Mikroplastikpartikel entstehen können, ist das Aufkommen von Mikroplastik in der Umwelt dementsprechend um ein Vielfaches größer als das von Makroplastik. Aufgrund ihrer Größe können Mikro- und Nanoplastikpartikel von Lebewesen aufgenommen werden, sie sind somit bioverfügbar und können von Bakterien zersetzt werden (Hengstmann & Tamminga, 2022). Neben den biologischen Zersetzungsfaktoren haben, wie in Abbildung 3 ersichtlich, physikalische und chemische Belastungen einen Einfluss auf die Zersetzung von Makro- zu Mikroplastik:

Abbildung 3

Zersetzungsprozesse beim Abbau von Makro- zu Mikroplastik, eigene Darstellung (vgl. Fath, 2019)

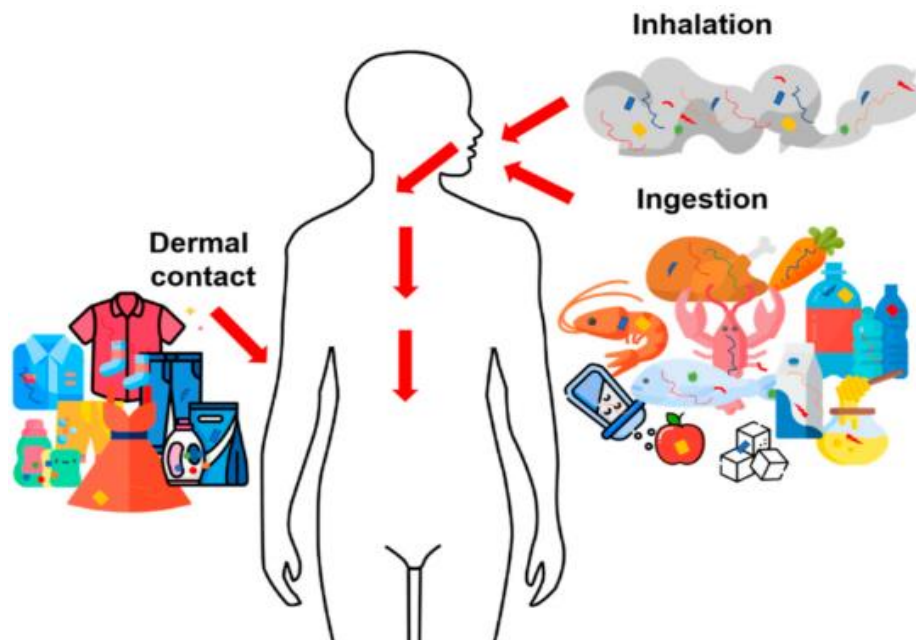


Physikalisch entsteht Mikroplastik etwa thermisch durch einen Brand oder mechanisch durch den Abrieb von Sand und Gesteinen, welcher beispielsweise durch die Wellenbewegungen von Gewässern entstehen kann. Eine chemische Zersetzung kann durch die Einwirkung von Sauerstoff (Oxidation), UV-Strahlung (Photochemie) oder die Reaktion mit Wasser (Hydrolyse) erfolgen. Während Sauerstoff ungesättigte Verbindungen wie Polybutadien angreifen kann, besitzt UV-Strahlung die Fähigkeit, kovalente Bindungen (Atompaaire, die gleichermaßen stark an Elektronen ziehen) aufzubrechen. Durch Hydrolyse können, je nach pH-Wert, Kunststoffe wie z.B. Polyamid oder Polyester in kleinere Fragmente gespalten werden. All diese Einwirkungen haben zur Folge, dass die Kunststoffe mit der Zeit brüchig werden und in kleinere Teile zerfallen (Fath, 2019).

2.3 Aufnahme von Mikroplastik

Abbildung 4

Aufnahmewege von Mikro- bzw. Nanoplastik in den menschlichen Körper (vgl. Pironti et al., 2021)



Die Aufnahme von Mikroplastik erfolgt, wie in der Abbildung 4 ersichtlich, über drei Hauptexpositionswegen: über den Verzehr von kontaminierten Getränken oder Nahrungsmitteln, durch die Inhalation kontaminierter Luft oder durch den Hautkontakt mit Wasser, Luft, Kleidung oder Kosmetik, welche Mikroplastik enthalten (Sangkham et al., 2022). Die Aufnahme über die Lunge und den Gastro-Intestinal-Trakt (GIT) erfolgt über den gleichen Mechanismus: die Endozytose (Aufnahme von Substanzen außerhalb der Zelle über Einstülpung in die Zellmembran). Im GIT können Mikroplastikpartikel durch Lücken im Epithel der Zotten in das Kreislaufsystem gelangen. Auf diese Weise können die Partikel auch andere Organsysteme erreichen, etwa in Abhängigkeit von ihrer Größe oder ihrer Oberflächenbeschaffenheit (Yuan et al., 2022). Im folgenden Abschnitt werden die drei beschriebenen Expositionswegen im Detail beleuchtet.

2.3.1 Verzehr

Zum Vorkommen von Mikroplastik in der marinen Umwelt wurde bereits viel geforscht, weshalb es im Bereich der Mikroplastik-Kontamination von Nahrungsmitteln aus dem Meer bisher die meisten Untersuchungsergebnisse gibt. Es kann von Fischen entweder aktiv durch die Verwechslung mit Beute, passiv, z.B. durch die Filtration des Kiemenwassers oder durch das Verschlucken von kontaminierter Beute aufgenommen werden. Eine Untersuchung verschiedener Gewässer und Fischarten ergab, dass von 150 Fischen etwa 35 % mit Mikroplastik kontaminiert waren. Die Partikel wurden hierbei vor allem in den Muskeln und Kiemen der Fische gefunden. Die Absorption der Partikel in die Muskeln wird als besonders besorgniserregend betrachtet, das Muskelfleisch der Tiere vom Menschen verzehrt wird. Des Weiteren zeigten sich in zahlreichen Untersuchungen verschiedener Muscheln, dass sich Mikroplastik vor allem im Magen-Darm-Trakt anreichert, welcher i.d.R. vom Menschen mit verzehrt wird. Die Kunststoffe PP, PE, PS und PET wurden hierbei am häufigsten gefunden. Neben den Kiemen, Muskeln und Magen-Darm-Trakten wurden Mikroplastikpartikel außerdem noch in der Haut und Leber der Meeresorganismen gefunden (Jin et al., 2021).

Darüber hinaus weisen auch insbesondere Fischproben aus Süßwassergewässern und Fischereizuchtbetrieben ein hohes Vorkommen an Mikroplastik auf. Zur Quantifizierung des Ausmaßes an Kontamination, können im Süßwasser Methoden zur Analyse der stabilen Isotope genutzt werden. Dabei wird die relative Häufigkeit der Isotope in der Einheit „ δ in %“ ermittelt. Das Vorhandensein von Mikroplastikpartikeln kann mithilfe dieser Methode ermittelt werden, ebenso wie die Quelle der Polymere (aus Erdöl oder pflanzlicher Quelle). Bei einer Untersuchung der Garonne konnte mithilfe der stabilen Isotopmessung herausgefunden werden, dass Fische und Makroinvertebraten unterschiedliche Mengen an Mikroplastik aufwiesen. Außerdem stieg mit der Größe der Fische der Anteil an Mikroplastik an. Die Autoren leiteten aus der Isotopmessung ab, dass es keine Bioakkumulation, also Anreicherung von Mikroplastik, in den Fischen durch das Süßwasser gibt und dass der Verzehr von Mikroplastik über die Fische vor allem zufällig erfolgt (Pironti et al., 2021).

Ein weiteres Lebensmittel, welches in den letzten Jahren vermehrt auf Mikroplastik untersucht worden ist, ist Salz. So konnte Mikroplastik in mehr als 128 kommerziellen Salzmarken von 38 verschiedenen Quellen unterschiedlicher Länder nachgewiesen werden. Die niedrigsten Werte wurden in China (600 Partikel/ kg) und den USA (800 Partikel/ kg) gefunden, während in Italien (8000 Partikel/ kg), Indonesien (10.000 Partikel/ kg) und Kroatien (20.000 Partikel/ kg) die Werte um ein Vielfaches höher waren. Außerdem zeigte sich, dass die Herkunft des Salzes beim Mikroplastik-Gehalt eine große Rolle spielt. Meersalz wies die höchste Konzentration an Mikroplastik auf, gefolgt von Seesalz, Steinsalz und Brunnensalz. Die hohe Konzentration im Meersalz ist auf die Produktion durch Verdunstung des Meerwassers zurückzuführen, welches oftmals hohe Mengen an Mikroplastik enthält. Außerdem kann das Mikroplastik durch den Abbau größerer Kunststoffe oder auf direktem Wege durch die industrielle Herstellung in die Salze gelangen (Pironti et al., 2021).

Eine weitere umfassende Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass in 88 % aller Leitungswasserproben sowohl in Industrie-, als auch in Entwicklungsnationen Mikroplastik nachgewiesen werden konnte (Sangkham et al., 2022). Somit stellt Trinkwasser eine weitere mögliche Quelle zur oralen Aufnahme von Mikroplastik dar. Es wird vermutet, dass das Vorhandensein der Mikroplastikfasern auf den Zufluss von Abwasser zurückzuführen ist. Das Mikroplastik stammt dabei hauptsächlich aus dem Abbau verschiedener Kunststoffprodukte. Neben dem Zufluss von Abwasser stammt Mikroplastik im Leitungswasser aus der Trinkwasseraufbereitung und dem Transport. Lagertanks in Kläranlagen sind zum Korrosionsschutz häufig mit Epoxidharz beschichtet und auch die Förderrohre bestehen aus Kunststoff, welcher mit der Zeit verschleißt und Mikrofasern abgeben können (Jin et al., 2021).

Studienergebnisse verschiedener Wasserproben (z.B. Trinkwasser, Leitungswasser, abgefülltes Flaschenwasser) in Deutschland ergaben eine durchschnittliche Mikroplastikkonzentration von 700 Partikeln (Range: 0-7000 Partikeln/l) pro Liter. In anderen Untersuchungen wurden Unterschiede in der Mikroplastik-Konzentration von verschiedenen Trinkwasserverpackungen ermittelt: Einmalplastikflaschen, Mehrwegplastikflaschen, Trinkkartons und Glasflaschen wurden miteinander verglichen.

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben (Pironti et al., 2021). Mehrwegflaschen hatten deutlich höhere Konzentrationen an Mikroplastik als Einmalplastikflaschen und als Trinkkartons. Glasflaschen wiesen allerdings ebenfalls hohe Mengen an Mikroplastik auf, was möglicherweise mit dem Verschleiß des Flaschenverschlusses oder dem Reinigungsprozess zur erneuten Nutzung zusammenhängt (Jin et al., 2021). Es zeigte sich jedoch deutlich, dass die Aufnahme von Mikroplastik von Personen, die Wasser aus Plastikflaschen zu sich nehmen deutlich erhöht ist im Vergleich zu Personen, die ausschließlich Leitungswasser konsumieren: So berichten Pironti et al., 2021, dass bei Personen, die Wasser aus Plastikflaschen konsumieren ca. 90.000 Partikel an Mikroplastik pro Jahr aufgenommen werden. Bei Personen, die anstelle von Wasser aus Plastikflaschen Wasser aus der Leitung trinken, sei hingegen mit etwa 4.000 Partikeln Mikroplastik pro Jahr in dem Organismus zu rechnen. Darüber hinaus werden bei der Verwendung von Einweg-Pappbechern innerhalb von 15 Minuten etwa 25.000 μm Mikroplastikpartikel ins heiße Wasser (100 ml) abgegeben (Jin et al., 2021).

Neben Trinkwasser gelten auch andere Getränke als Mikroplastik kontaminiert. Dies könnte auf das Wasser zurückzuführen sein, welches für die Produktion von beispielsweise Softdrinks genutzt wird. 2014 wurden außerdem in verschiedenen deutschen Bieren Mikroplastik gefunden. Die Art und Weise der Produktverarbeitung scheint der wichtigste Faktor in dem Ausmaß der Verunreinigung mit Mikroplastik zu sein.

Weitere Lebensmittel und Produkte, in denen bisher in Folge von Untersuchungen Mikroplastik-Kontaminationen ausfindig gemacht worden sind, sind Milch/Milchprodukte, Honig, Zucker, Obst und Gemüse. Dabei wird der hohe Verarbeitungsgrad der Lebensmittel häufig als ursächlicher Faktor für die Kontamination mit Mikroplastik diskutiert. So wurden beispielsweise in Milchproben häufig thermoplastische Polymere gefunden, welche für die Ultrafiltrationsmembranen der Molkereiindustrie verwendet werden. Durch hohen Druck und chemischen oder physikalischen Stress können die Membranen beschädigt werden, wodurch Filterpartikel abpellen und in die Milch gelangen können (Pironti et al., 2021).

Betrachtet man die fleischverarbeitende Industrie, so sind die bisherigen Funde zu möglichen Kontaminationen mit Mikroplastik noch nicht ausreichend repräsentativ. Es liegen zwar Studien vor, die das Vorkommen von Mikroplastik in tierischen Produkten wie Hühner-, Schweine- und Rindfleisch untersucht haben, jedoch sind diese bisher noch sehr gering und aufgrund von unterschiedlichen Untersuchungsmethoden nicht vergleichbar. Die Studien liefern Hinweise auf ein sehr geringes Vorhandensein von Mikroplastik in den Fleischprodukten.

Darüber hinaus kann für in Plastik verpackte Lebensmittel die Verpackung eine mögliche Quelle für eine Mikroplastikverunreinigung sein. Insbesondere Verpackungen aus Polystyrol können hohe Mengen an Mikroplastik abgeben. Während Salz am wenigsten Mikroplastik aus Verpackungen freisetzt, kann Milch hingegen, beispielsweise gelagert in Polypropylen-Flaschen für Säuglinge, aufgrund des hohen Fettgehaltes hohe Dosen an Plastikpartikeln aufnehmen (Pironti et al., 2021).

2.3.2 Inhalation

Neben der oralen Aufnahme ist die inhalative Aufnahme von Mikro-/ bzw. Nanoplastik möglich. Die entsprechenden Partikel können in der Raumluft nachgewiesen und aufgrund ihrer geringen Größe direkt eingeatmet werden. Die Hauptquellen für Mikro-/ bzw. Nanoplastik in der Luft sind beispielsweise synthetische Textilien, die PVC-Industrie, Freisetzung aus Mülldeponien oder Landwirtschaft und die Meeresbrise, bzw. Meeressicht in Küstenregionen. In der Luft können die Partikel sich über weite Flächen ausbreiten und leicht von einem Ort zum anderen verteilen. Umweltbedingungen wie wechselnde Windstärken und -richtungen beeinflussen den Transport zusätzlich. Eine Studie von 2019 in Hamburg kam zu dem Ergebnis, dass die durchschnittliche Konzentration von Mikroplastik mit einer Größe von 63-5000 μm bei 275 n/m^2 pro Tag in der Luft liegt. (Sangkham et al., 2022). Die Aufnahme von Mikroplastik über die Atemwege soll drei bis 15-fach höher sein als über den Verzehr. Durch Diffusion, direkte zelluläre Penetration oder aktive zelluläre Aufnahme können Plastikpartikel in das Epithel der Atemwege gelangen und das Lungengewebe schädigen (Pironti et al., 2021). Es wird vermutet, dass die im Plastik enthaltenden chemischen Inhaltsstoffe akute oder chronische Atemwegsprobleme hervorrufen, indem beispielsweise Entzündungsprozesse anregt werden.

So konnte eine Untersuchung zeigen, dass die Inhalation von Mikro-, bzw. Nanofasern aus Polystyrol die Ausschüttung der Entzündungsproteine TNF- α und TGF- β sowie Entzündungsreaktionen im Lungengewebe anregten (Sangkham et al., 2022).

2.3.3 Hautkontakt

Als weiterer möglicher Expositionsweg von Mikroplastik wird der Kontakt über die Haut diskutiert. Unter den drei Expositionswegen wird dieser als am wenigsten bedeutsam eingestuft. Der dermale Kontakt erfolgt i.d.R. mit Monomeren und Zusatzstoffen wie Bisphenole oder Phthalaten, durch den Gebrauch von Kosmetikprodukten oder Produkten aus Kunststoff. Insbesondere Polyethylene sind in Gesichtsermes und Gesichtereinigungsmitteln allgegenwärtig. Ob Mikroplastik über den Hautkontakt in den Organismus aufgenommen werden kann, ist bisher noch unklar. Es wird vermutet, dass Mikroplastik nicht über die Haut aufgenommen werden kann, da die Partikel aufgrund ihrer Größe die Hornhaut nicht passieren können. Dennoch verzichten mittlerweile viele Hersteller:innen auf die Verwendung von Mikroplastik in Kosmetika (Pironti et al., 2021; Sangkham et al., 2022).

Aus der bisherigen Studienlage geht bisher nur hervor, dass über den dermalen Kontakt das bei medizinischen Eingriffen genutzte chirurgische Nahtmaterial vom Menschen aufgenommen werden kann. Dieses kann Entzündungsreaktionen mit anschließender Verkapselung des fremdartigen Materials hervorrufen. Außerdem kann der Kontakt von Mikroplastik mit der Haut zu oxidativem Stress in der Epidermis (oberste Hautschicht) führen (Pironti et al., 2021).

3. Methodik

In diesem Abschnitt wird die methodische Vorgehensweise zur Beantwortung der Fragestellung, ob Mikroplastik gesundheitsschädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben kann, erläutert. Die Methodik folgt dem Ansatz einer systematischen Literaturrecherche, welche im Zeitraum von Oktober bis Dezember 2022 durchgeführt worden ist. Die Literatur wurde anhand von zuvor festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien für die vorliegende Arbeit ausgewählt.

Daraufhin wurden die durch dieses Verfahren hervorgebrachten Studien gründlich durchgearbeitet, analysiert und bewertet. Im Anschluss wurden diese in den Kontext zur Literaturrecherche des theoretischen Hintergrundes gesetzt.

3.1 Ein- und Ausschlusskriterien bei der Literaturrecherche

Zur Selektion der in den Datenbanken gesichteten Literatur, ist eine Festlegung von Ein- und Ausschlusskriterien notwendig. Die Einschlusskriterien beschreiben, welche Inhalte und Bedingungen eine Studie haben, bzw. erfüllen muss, um in das Review aufgenommen werden zu können. Ausschlusskriterien beinhalten Eigenschaften, die nicht vorliegen dürfen, um berücksichtigt zu werden (Sturma et al., 2016). Die folgende Liste zeigt die verwendeten Ein- und Ausschlusskriterien dieser Abschlussarbeit:

Tabelle 2

Angewandte Ein- und Ausschlusskriterien für die Aufnahme in das Review, eigene Darstellung

Bereich	Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Studienobjekt/ Studienpopulation	Gesunde Probanden/ menschliche Zellen/ Tierische Zellen/ gesunde Versuchstiere	Personen mit Vorerkrankungen, Risikoschwangerschaft, Zellen die vor Versuchsbeginn nicht mit Mikroplastik kontaminiert waren
Intervention	Untersuchung von natürlich vorkommenden Proben auf Mikroplastik und gesunde Zellen, die unter Laborbedingungen mit Mikro-/ bzw. Nanoplastik kontaminiert wurden	Keine oder möglichst wenig Kontaminationen mit Mikroplastik durch Untersuchungsmethoden

Outcome	Vorkommen von Mikroplastik in Organismen (tierisch/menschlich) und toxische Wirkung von Mikro-/ bzw. Nanoplastik auf tierische und menschliche Zellen	
Zeitraum	Publikationen der letzten 10 Jahre	Publikationen älter als 10 Jahre
Setting	Labor- (Tierexperimente/Experimente mit tierischen Zellen) und Felddesign	
Sprache	Deutsche und englische Sprache	Fremdsprachige Literatur (außer englisch)

3.2 Suchstrategie und Literatursauswahl

Für die Recherche wurden die wissenschaftlichen Datenbanken PubMed, CINAHL, Cochrane Library und EBSCO verwendet. Des Weiteren wurden hochschulinterne und externe Bibliotheken (UKE, Uni Hamburg) sowohl online als auch im Präsenzbestand genutzt. Folgende Keywords/Suchbegriffe wurden dabei verwendet:

- Mikroplastik ODER Nanoplastik UND Exposition
- Mikroplastik ODER Nanoplastik UND Aufnahme
- Mikroplastik ODER Nanoplastik UND Nahrung
- Mikroplastik ODER Nanoplastik UND Gesundheit
- Mikroplastik ODER Nanoplastik UND Gesundheitsrisiko
- Mikroplastik ODER Nanoplastik UND Gesundheitsgefahr
- Microplastic OR Nanoplastic AND intake
- Microplastic OR Nanoplastic AND food intake
- Microplastic OR Nanoplastic AND health
- Microplastic OR Nanoplastic AND human health

- Microplastic OR Nanoplastic AND health risk
- Microplastic OR Nanoplastic AND risk NOT environment
- Microplastic OR Nanoplastic AND risk NOT aquatic environment

Es wurden die Operatoren „UND“/ „AND“ genutzt, um möglichst alle Treffer zu erhalten. Der Operator NOT wurde genutzt, um die Thematik auf den Menschen zu spezifizieren und um Studien zu den Umwelteinflüssen von Mikroplastik auszusortieren. Für die Auswahl der Literatur wurde immer als erstes der Titel und Abstract gesichtet, im Anschluss der Volltext anhand der aufgelisteten Kriterien geprüft und daraufhin entschieden, ob die Studie miteingeschlossen wird.

4. Ergebnisse

Dieses Kapitel widmet sich der Darstellung der Ergebnisse aus den gesichteten Studien. Für diese Arbeit wurden vier Studien eingeschlossen. Es handelt sich dabei um drei umfassende systematische Literaturreviews, von Sangkham et al. (2022), Yuan et al. (2022) und Pironti et al. (2021), die sich mit den Aufnahmewegen von Mikroplastik und der bisherigen Forschungslage zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Mikroplastik auf den tierischen und menschlichen Organismus befasst haben. Die vierte eingeschlossene Studie ist eine Querschnittsstudie von Ragusa et al. (2022), welche Plazentaprobe von Probandinnen nach der Geburt auf Mikroplastik untersucht hat. Diese vier Studien wurden verwendet, da es bisher kaum direkte Untersuchungen am und mit Menschen zu den potenziellen gesundheitlichen Gefahren von Mikroplastik gibt und die ausgewählten Studien daher die bisherige Kenntnislage zum Forschungsthema wiedergeben.

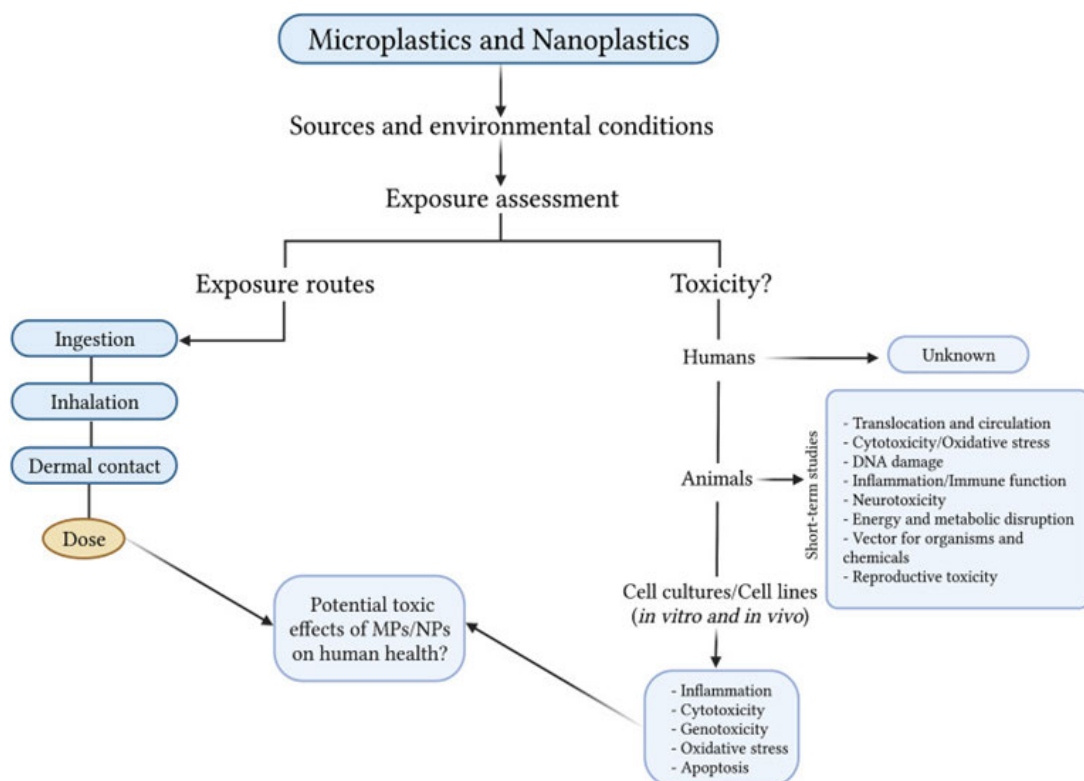
Es folgt zunächst eine Beschreibung der Ergebnisse. Daraufhin werden im Anschluss die Studien zusammenfassend dargestellt und kritisch in ihrer Qualität bewertet.

4.1 Darstellung der Ergebnisse

Die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen durch die Aufnahme von Mikro- bzw. Nanoplastik auf den Menschen wurden im Review von Sangkham et al. (2022) anhand von In-vitro- (im Labor/ im Reagenzglas) und In-vivo- (Versuche mit lebenden Objekten) Untersuchungen mit menschlichen Zellen und tierischen Zellen von Ratten beurteilt. Dabei wurde festgestellt, dass Mikroplastikpartikel mit einer Größe zwischen 0,1 und 150 µm dazu in der Lage sind, das Lymphsystem im menschlichen Körper zu passieren. Des Weiteren können Polystyrol Mikro- und Nanopartikel oxidativen Stress (In-vivo) in menschlichen Epithelzellen auslösen. Die folgende Abbildung fasst die Expositionswege und bisherigen Erkenntnisse zu den gesundheitlichen Gefahren zusammen:

Abbildung 5

Potenzielle Effekte von Mikro- und Nanoplastik auf die Gesundheit (vgl. Sangkham et al., 2022)



Die Abbildung zeigt, dass die toxischen Auswirkungen auf den menschlichen Organismus aus der derzeitigen Studienlage noch nicht hervorgehen.

Daher lassen die durchgeführten Tierstudien und Zelluntersuchungen nur potenziell mögliche Rückschlüsse auf die gesundheitlichen Gefahren für den Menschen zu. Das Review von Sangkham et al. (2022) hat sich zunächst ausgiebig der bisherigen Kenntnislage zu den toxischen Auswirkungen von Mikro-/ bzw. Nanoplastik auf Tiere gewidmet. Da aus diesen teilweise die Rückschlüsse auf die Gefahren für die menschliche Gesundheit gezogen werden, werden sie im nächsten Abschnitt zusammengefasst, bevor sich den Ergebnissen aus den Versuchen mit menschlichen Zellen gewidmet wird.

4.1.1 Ergebnisse aus Tierstudien

In Laborstudien mit Muscheln und Krabben zeigte sich eine Aufnahme von Mikroplastikpartikel über den GIT der Tiere, welche je nach Beschaffenheit und Größe über die Darmwand in das Kreislaufsystem gelangen. Die Aufnahme der Partikel kann zur Bioakkumulation führen, etwa wenn diese im Gewebe oder den Organen verstoffwechselt werden. Des Weiteren besitzt Mikroplastik die Fähigkeit, sich zu verlagern und so entferntere Gewebe zu erreichen. Das zeigte sich durch den Fund von Mikroplastik im Kreislaufsystem und in Organen wie in der Leber von Ratten.

Hinzu kommen histologische Abnormalitäten, die im Laborversuch in Leberzellen von Fischen nach der Exposition mit PVC-Mikroplastikpartikeln nachgewiesen werden konnten.

Im Bereich der Zellforschung konnten beispielweise der Anstieg an oxidativen Stress bei Mäusen und Zebrafischen, Veränderungen in der Proteinbiosynthese bei Daphnien und veränderte enzymatische Aktivitäten bei Großen Pfeffermuscheln nach dem Kontakt mit Mikroplastik beobachtet werden. Außerdem zeigten Laborstudien Schädigungen der Desoxyribonukleinsäure (DNS) nach der Exposition mit Mikroplastik. So wurden bei Daphnien 48 Stunden nach der Exposition Veränderungen in der Expression von stressbezogenen Genen festgestellt. Außerdem konnten bei Großen Pfeffermuscheln Einzel- und Doppelstrangbrüche der DNS nach der Exposition mit Polyethylen beobachtet werden. Bei Miesmuscheln verursachte PE erhebliche histologische Veränderungen und schwere Entzündungsreaktionen.

Das Review berichtet darüber hinaus von den Ergebnissen einer anderen Studie, in der angesammelte Mikro-/Nanoplastikpartikel in den Kiemen, in der Leber und den Därmen von Zebrafischen Entzündungen förderten. Außerdem zeigten sich neurotoxische Wirkungen von Mikroplastik auf Venusmuscheln, dessen Acetylcholinesterase-Aktivität sich nach der Exposition veränderte. Es wird vermutet, dass die in den Mikroplastik enthaltenen Additive eine Aktivierung der Neurotransmitter-Spaltung veranlassen. Außerdem kann es auch im Gehirn zu einem gehäuften Auftreten von oxidativem Stress kommen, was zu Zellschäden und Entzündungen führen kann, welche wiederum die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung neurodegenerativer und neurologischer Erkrankungen erhöhen.

Ein weiterer gesundheitsrelevanter Aspekt ergibt sich durch beobachtete Störungen im Metabolismus nach der Exposition mit Plastikpartikeln. In Laborversuchen mit Mäusen zeigten sich durch die Anreicherung von Mikroplastik Störungen im Energiehaushalt. Die Anreicherung führte im Darm der Mäuse zur Beeinträchtigung von schützenden Darmbarrierefunktionen, verringerter Darmschleimsekretion und Stoffwechselproblemen. Darüber hinaus wird vermutet, dass das Mikroplastik als Träger von Chemikalien und Toxinen fungiert, die störend auf den Metabolismus wirken können.

Des Weiteren diskutiert das Review von Sangkham et al. (2022) die Ergebnisse von diversen Tierversuchen zu Störungen in der Reproduktionsfähigkeit nach der Exposition mit Mikroplastik. In einer Studie mit Austern zeigten sich verkleinerte Eizellen und eine reduzierte Spermengeschwindigkeit, nachdem diese mit PS in Kontakt gekommen waren. Auch bei Japanischen Reisfischen kam es durch Nanopartikel von PS zu geschlechtsabhängigen endokrinen Störungen der Fortpflanzung sowie einer Verringerung an Eizellen. Allerdings zeigte eine weitere Langzeit-Untersuchung mit Polyesterfasern auch, dass diese nicht die Fortpflanzungsfähigkeit der Japanische Reisfischen beeinträchtigte und die Weibchen im Laufe der Expositionszeit sogar mehr Eier produzierten. Weitere Untersuchungen ergaben, dass Nanoplastikpartikel die Plazentaschranke von Mäusen passieren und über die Nabelvene in den fetalen Kreislauf gelangen können (Sangkham et al., 2022).

4.1.2 Ergebnisse aus menschlichen Zellkulturen

Dieser Abschnitt widmet sich den Ergebnissen zu den gesundheitlichen Gefahren von Mikro-, bzw. Nanoplastik für den menschlichen Organismus, welche aus Studien mit menschlichen Zellen gewonnen wurden.

Das Review von **Sangkham et al.** (2022) berichtet von möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf den menschlichen Darm nach der Exposition mit Plastikpartikeln. So wurden bei einer Untersuchung mit menschlichen Darmzellen (In-vivo) histologische und entzündliche Auswirkungen durch die Exposition mit Mikro-/ bzw. Nanoplastik nachgewiesen. Es kam außerdem zu Veränderungen in der Zellebendfähigkeit und die Apoptose in allen Zelllinien wurde gefördert. PS-Nanopartikel wirkten sich außerdem auf die Expression von Entzündungsgenen aus und führten zu Veränderungen der Zellmorphologie. Des Weiteren wurde festgestellt, dass Nanoplastik über verschiedene Wege in das Epithel der menschlichen Nierenrinde gelangen kann, etwa über Endozytose.

Zu den Gefahren einer Exposition auf das Respirationssystem wurde von einer Untersuchung über die Auswirkung von PS-Mikroplastik auf Epithelzellen der menschlichen Lunge berichtet, bei der zytotoxische Effekte, oxidativer Stress und Entzündungsreaktionen festgestellt wurden. Dabei spielten die Partikelgröße und Konzentration eine wichtige Rolle im Ausmaß der schädigenden Auswirkungen auf die Zellen. So führten PS-Partikel mit einer Länge von 60 µm zur Bildung von Sauerstoffradikalen und zellulärem Stress in Zellen wie den Makrophagen und Epithelzellen des Lungengewebes, was Autophagozytose (Absterben der Zellen) zur Folge hatte. Zudem wurden Auswirkungen von Nanoplastik in Abhängigkeit von der Expositionsdauer, -größe und -konzentration auf pulmonale Zelltoxizität und Respirationssymptome ausgemacht. Außerdem kann die Exposition von Mikro-/ bzw. Nanoplastik im Lungengewebe zu Krebs führen, vermutlich aufgrund von Hemmungen der Zellebendfähigkeit, Erhöhungen der Zytotoxizität und vermehrten Entzündungsgeschehen, allerdings immer in Abhängigkeit von Größe und Konzentrationen der Partikel und der Expositionsdauer.

Des Weiteren fanden die Forscher:innen in der Studie von Sangkham et al. (2022) heraus, dass Mikro-/ bzw. Nanoplastik sich toxisch auf den Blutkreislauf und das Immunsystem auswirken können. So besitzen die Partikel die Fähigkeit, sich in den Lymphknoten ansammeln zu können, was beispielsweise in Proben aus menschlichen Lymphknoten um Gelenkersätze aus Kunststoff deutlich wurde. Des Weiteren können die Partikel die Blutzusammensetzung und die Synthese verschiedener Stoffe beeinflussen. Hier wäre beispielsweise eine erhöhte Produktion von Interleukin-6 und Tumornekrosefaktor-alpha nach der Exposition mit PVC zu nennen. Darüber hinaus veränderten sich nach der Exposition mit Nanokunststoffen in menschlichen Serumalbumin die Proteinzusammensetzungen, was genotoxische und zytotoxische Folgen hatte.

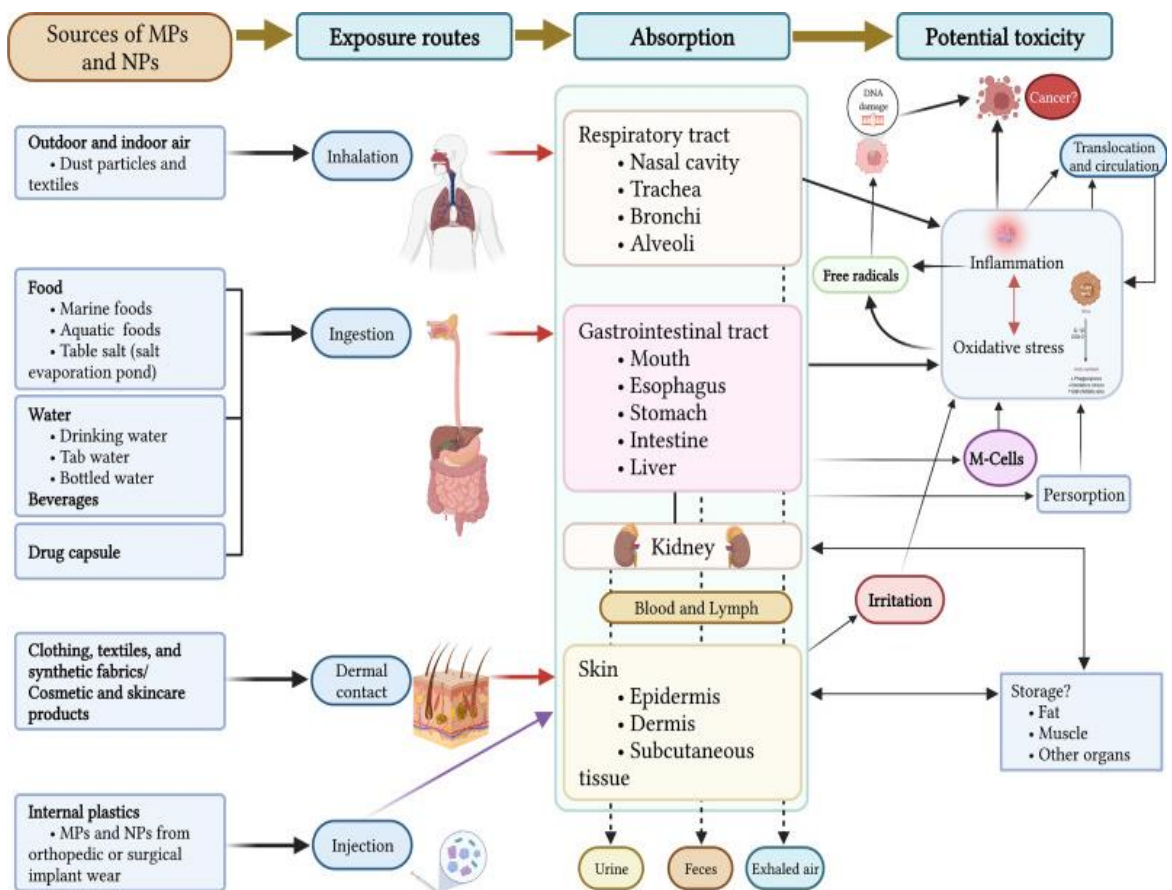
Die Exposition mit PS-Mikrokunststoffpartikeln konnte in einer Untersuchung in menschlichen Hirn- und Epithelzellen oxidativen Stress auslösen, was zu Zytotoxizität führen kann. Dabei fanden die Forscher:innen heraus, dass diese Reaktionen durch eine erhöhte Bildung von Sauerstoffradikalen induziert wurden, welche sich signifikant in den Zellen nach der Exposition mit Mikroplastik erhöht hatten. Ein weiterer Aspekt ergibt sich durch den Einfluss von Mikro-/ bzw. Nanoplastik auf das Transmittervorkommen und die Acetylcholinesterase-Aktivität, welche neuronale Mechanismen stören und schädigen kann. Auch im Nervensystem scheint oxidativer Stress nach dem Kontakt mit Mikro-/ bzw. Nanoplastik zu Neurotoxizität zu führen, was neurodegenerative oder neurologische Erkrankungen auslösen könnte.

Im Bereich des Embryonalsystems kam das Review von Sangkham et al. (2022) zu den Ergebnissen, dass PE-, PP- und PS-Mikroplastik mit einer Größe von $>50 \mu\text{m}$ in der Plazenta und im Mekonium von Kaiserschnittgeburten nachweisbar sind. Es zeigte sich, dass der Transport von PS-Nanoplastik in die menschliche Plazenta durch den Synzytiotrophoblast der Plazentaschranke erfolgt. Dies könnte ungünstige Schwangerschaftsergebnisse und Störungen in der fötalen Entwicklung zur Folge haben, was zu Deformitäten des Fötus und Embryotoxizität führen könnte (Sangkham et al., 2022).

Die folgende Abbildung fasst die beschriebenen gesundheitsrelevanten Auswirkungen von Mikro- bzw. Nanoplastikpartikeln auf den Menschen zusammen:

Abbildung 6

Potenzielle Aufnahmewege und Toxizitäten von Mikro- bzw. Nanoplastik auf den menschlichen Körper (vgl. Sangkham et al., 2022)



Das Review von **Yuan et al. (2022)** zeigt auf, dass Kunststoffe giftige Chemikalien enthalten, die das Potenzial besitzen, der menschlichen Gesundheit erheblich schaden zu können. Dabei gelten sowohl die Polymerketten als auch die verwendeten Katalysatoren und Additiven als gesundheitlich bedenklich, denn sie haben häufig giftige, krebserregende und endokrin schädigende Eigenschaften. Als besonders giftig gelten die Polymere PUR, PVC, Polyacrylnitril (PAN), Epoxidharz und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS).

Da Kunststoffe während der Verwendung auslaugen können, gelangen Chemikalien wie beispielsweise Bisphenol A (BPA) in Organismen und stellen häufig insbesondere für die Reproduktionsfähigkeit eine Gefahr dar. BPA wurde wiederholt in Urin, Blut, Muttermilch und Gewebeproben gefunden. Darüber hinaus zeigten diverse Untersuchungen Funde von Phthalaten in Urin- und Blutproben, welche unter anderem als entwicklungstoxisch gelten.

Des Weiteren berichten auch Yuan et al. (2022) von der Absorptionsfähigkeit von Lymphknoten für Plastikfragmente mit einer Größe $< 150 \mu\text{m}$. Sind die Fragmente kleiner als $110 \mu\text{m}$, können sie die Pfortader passieren und haben damit Zugang zu weiteren Organen. Darüber hinaus können 7 % aller Nanoplastikpartikel von Epithelzellen aufgenommen und in Organe wie die Leber, Milz, Herz, Thymus, Geschlechtsorgane und in das Gehirn gelangen. Das Review berichtet zudem, dass die Partikel die Blut-Hirn-Schranke passieren können und plazentagängig sind. Darüber hinaus erfolgt die Hauptaufnahme von Mikroplastik durch Phagozytose und Endozytose.

Die Autor:innen berichten von einer Studie, in der beobachtet wurde, dass angesammelte PS-Partikel in Organen wie der Leber, Niere und im GIT schädliche Auswirkungen hatten. Die Hauptursache für die von Mikroplastik ausgelösten Schädigungen ist oxidativer Stress, welcher nach der Exposition ausgelöst wird und mit einer Entzündungsreaktion einhergeht. Die Partikelgröße und die chemischen Komponenten haben dabei einen erheblichen Einfluss auf das Ausmaß an Toxizität. Außerdem kamen Yuan et al. (2022) zu der Erkenntnis, dass Nanopartikel die Bildung von Sauerstoffradikalen stärker anregt im Vergleich zu Mikroplastik und dass eine Translokation durch die geringere Größe leichter ist. Weitere biologische Hauptreaktionen der Zellen auf Mikroplastik sind Zytotoxizität wie Apoptose, Nekrose, Gewebeschäden, Fibrose und Karzinogenität. Durch eine größere Oberflächenbeschaffenheit können sie das Immunsystem des Darms aktivieren und auf diese Weise eine lokale Entzündung auszulösen, wodurch die Aufnahme der Partikel sogar noch beschleunigt werden kann.

Neben den direkten toxikologischen Wirkungen von Mikroplastik auf die menschliche Gesundheit, können diese auch als Transporteure von chemischen Additiven und Keimen dienen und der Gesundheit damit indirekt schaden. Durch ihre Oberflächenbeschaffenheit und dem großen Verhältnis von Oberfläche zu Volumen können sie besonders viele Schadstoffe absorbieren, zu denen beispielsweise Schwermetalle, Pestizide und Bauschadstoffe gehören. Pathogene Mikroorganismen besiedeln häufig die Oberfläche von Mikroplastikpartikeln mit einem Biofilm, was beispielsweise Proben von PE- und PP-Partikeln in der Ostsee zeigten (Yuan et al., 2022).

Die Autor:innen des Reviews von **Pironti et al. (2021)** kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Auch sie beschreiben potenzielle gesundheitliche Gefahren für den Menschen durch von Mikroplastik ausgelöste Entzündungsprozesse, Genotoxizitäten und Immunreaktionen. Außerdem fanden sie heraus, dass eingeatmetes Mikroplastik beispielsweise durch Diffusion in das Epithel der Atemwege gelangen kann. So ergab eine Untersuchung von Lungengewebeproben von Arbeiter:innen, die in der Kunststoffverarbeitung tätig waren, dass diese von Fibrosen (funktionierendes Lungengewebe wird als Reaktion auf eine chronische Entzündung durch funktionsloses Bindegewebe ersetzt) und granulomatöse Läsionen (knötchenartige Zellansammlung, die i.d.R. in Folge von chronischen Entzündungen auftreten) betroffen waren, die auf Acryl-, Polyester- und Nylonstaub zurückführbar waren.

In weiteren Studien, in denen die Auswirkungen von PS-Nanopartikeln auf menschliche Lungenepithelzellen untersucht worden sind, zeigten sich Beeinträchtigungen in der Funktion von Membrantransportern. Hinzu kommt, dass diese Partikel zügig von den Zellen (A549-Zellen) aufgenommen werden können, was dessen Lebensfähigkeit, Apoptose, Zellzyklus, Gentranskription sowie Proteinexpression beeinflusst. Des Weiteren berichten die Autor:innen von einem Versuch, in dem Zellen des gleichen Typus (A549-Zellen) PS-Mikroplastikpartikeln ausgesetzt wurden und bei dem im Anschluss eine Hemmung der Zellproliferation (Vermehrung von Gewebe) und veränderte Zellmorphologien festgestellt werden konnten. Darüber hinaus zeigte eine In-vitro-Studie mit Lungenzellen von Menschen (und Ratten), dass diese mit Zytotoxizität und Entzündungsreaktionen auf PVC-Mikroplastikpartikeln reagierten, was möglicherweise auf enthaltende Restadditive zurückzuführen war.

Des Weiteren beschreiben die Autor:innen toxikologische Auswirkungen von PS-Partikeln in menschlichen Zellkulturen, die anhand von Parametern wie oxidativen Stress, Entzündungen, mitochondriale Dysfunktionen, lysosomale Dysfunktionen und Apoptose aufgefunden worden. Im Bereich der Toxizitäten, die sich durch die orale Einnahme von Mikroplastik ergeben können, fanden Sie heraus, dass PS-Nanopartikel im In-vitro-Versuch mit menschlichen Darmzellen keine signifikante zytotoxische Wirkung hatten und sich auch nicht negativ auf die Barrierefunktion des Darms auswirkten. Allerdings bestätigte der Versuch, dass die Partikel vom Epithel des Verdauungssystem aufgenommen werden können, was mögliche negative Langzeitfolgen haben könnte.

Das Review von Pironti et al. beschreibt ebenfalls die mögliche Besiedlung von Mikroplastik mit gefährlichen Chemikalien und Krankheitserregern, wodurch sich die Exposition des Menschen gegenüber toxischen Stoffen weiter erhöht. Verwitterung kann die Aufnahme von Chemikalien zusätzlich verstärken. Diverse Untersuchungen zu Biofilmen auf Mikroplastik aus unterschiedlichen Gewässern machten deutlich, dass Mikroplastik ein mögliches Reservoir für bisher kaum untersuchte Mikroben ist. Daraus ergibt sich durch die Exposition mit Mikroplastik ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von Immunstörungen, neurodegenerativen Erkrankungen und Krebs für den Menschen (Pironti et al., 2021).

Die Studie von **Ragusa et al. (2022)** hat das Vorkommen von Mikroplastik in Plazenten nach der Geburt erforscht. Dafür wurden die Plazenten von zehn Frauen in einem Krankenhaus in Italien nach vaginaler oder Kaiserschnitt-Geburt untersucht. Die Ein- und Ausschlusskriterien sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Die Messung des Outcomes erfolgte durch eine Rasterelektronenmikroskopie (REM) mit variablem Druck und eine Transemissionselektronenmikroskopie (TEM) (Ragusa et al., 2022). Die REM ist eine effektive Methode zur Analyse von organischen oder anorganischen Materialien im Nanometer- bis Mikrometerbereich, da sie mit hohen Vergrößerungen arbeitet. Dafür wird ein Elektronenstrahl mit viel Energie verwendet (Macherauch & Zoch, 2011). Die REM-Technologie ermöglichte in der Studie von Ragusa et al. somit eine gut aufgelöste Abbildung der Partikel auf der Zottenoberfläche der Plazenten.

Zusätzlich wurde mit einer energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDS) gearbeitet, um chemische Zusammensetzungs- und/ oder Multi-Mapping-Bildanalysen durchführen zu können. Mit der TEM können mikroskopische Abbildungen, Elektronenbeugungen, chemische Analysen und Energieverluste für Elektronen sichtbar gemacht werden. Sie wird häufig zur Charakterisierung von Morphologie, der kristallinen Struktur und Elementinformationen von Membranmaterialien genutzt (Thomas & Gemming, 2013).

Mithilfe der vorgestellten Methodiken konnten in der Querschnittsstudie in den verschiedenen untersuchten Kompartimenten der Zotten von zehn menschlichen Plazenten Mikroplastikpartikel aufgrund ihrer Morphologie und chemischen Zusammensetzung ausfindig gemacht werden. Des Weiteren zeigten sich durch die TEM-Analysen Veränderungen in verschiedenen Zellbestandteilen, die in Verbindung mit dem Vorhandensein der Mikroplastikpartikeln entdeckt wurden. Dazu gehörten beispielsweise stark erweiterte Vesikel im endoplasmatischen Retikulum, geschwollene Mitochondrien und gewundene Membrankörper. Außerdem wurde Mikroplastik auch in den inneren Abschnitten der Zotten gefunden, insbesondere in den Perizyten und Endothelzellen, welche die fetalen Mikrogefäße umgeben. Dies lässt Rückschlüsse dahingehend zu, dass Mikroplastik das Plazentagewebe durchdringen und das fetale Blut erreichen kann.

Hinzu kommt, dass die Partikel sowohl frei im Zytoplasma als auch innerhalb der Lipidmembranen gefunden wurden, was die Forscher:innen zur Hypothese brachte, dass Mikroplastik vom Gewebe aufgenommen und in den Organellen eingekapselt werden kann, nachdem es die Plazenta über den GIT und/oder über die Atemwege und/oder die Haut erreicht hat. Außerdem vermuten die Forscher:innen, dass die veränderten Zellbestandteile Rückschlüsse auf mögliche Stressreaktionen geben können, die durch das Vorhandensein von Mikroplastik indiziert worden sind. Unterstützt wird diese Hypothese durch vorangegangene Tierversuche mit Mäusen und menschlichen Nierenzellen, die Endoplasmatischen-Retikulum-Stress und mitochondriale Dysfunktionen aufzeigten, nach dem sie mit Mikroplastik in Kontakt gekommen waren.

Das Vorkommen von Mikroplastik in der Plazenta kann zur Aktivierung von pathologischen Vorgängen wie oxidativer Stress, Apoptose und Entzündung beitragen, welche wiederum einen entscheidenden Einfluss auf die Entstehung von Stoffwechselstörungen haben können. Da Stoffwechselstörungen die Grundlage von Erkrankungen wie Diabetes, Adipositas und dem metabolischen Syndrom sind, könnte das Vorkommen von Mikroplastik in der Plazenta ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko darstellen (Ragusa et al., 2022).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendeten Studien und die genutzten Ein- und Ausschlusskriterien:

Tabelle 3

Übersicht über die eingeschlossenen Studien, eigene Darstellung

Autoren	Sangkham et al.	Yuan et al.	Pironti et al.	Ragusa et al.
Publikationsjahr	2022	2022	2021	2022
Titel	A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health	Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment - From marine to food systems	Microplastics in the Environment: Intake through the Food Web, Human Exposure and Toxicological Effects	Deeply in Placenta: Presence of Microplastics in the Intracellular Compartment of Human Placentas
Studien-design	Literaturreview	Literaturreview	Literaturreview	Querschnittsstudie
Stichproben-größe				n = 10

Population	<p>Zehn weibliche Teilnehmerinnen (100%).</p> <p>Alle Frauen haben in dem „San Giovanni Calibita Fatebenefratelli“ Krankenhaus in Lazio, Italien, entbunden, zwischen Juli und September 2021</p>
Inter-vention	<p>Die werdenden Mütter erhielten vorab zum Monitoring einen Fragebogen zu ihrem Konsumverhalten von Plastikprodukten.</p> <p>Nach den Geburten wurden die Plazenten entnommen, gesammelt und zur weiteren Analyse aufbewahrt. In jedem Schritt, von der Geburt bis zur Entnahme, Aufbewahrung und Untersuchung wurde auf Plastik verzichtet, um eine Kontamina-</p>

	tion zu vermeiden.
	Von jeder Plazenta wurden drei gleich große Proben aus demselben Abschnitt entnommen.
Messung des Outcomes	Durch eine REM mit variablem Druck und eine TEM
Einschlusskriterien	Plazentaprobe von Frauen nach Normalgeburt oder Kaiserschnitt, mit einem einzigen Fötus und einer Niedrigrisikoschwangerschaft
	Ausschlusskriterien:
	- Diäten, die in den vier Wochen vor Geburt ärztlich verordnet worden sind
	- Durchfall/ Verstopfung zwei Wochen vor der Geburt

-
- Einnahme von Antibiotika zwei Wochen vor der Geburt
 - Einnahme von Medikamenten, die die intestinale Aufnahme stören können zwei Wochen vor der Geburt
 - Diagnostizierte Magen-Darm-Erkrankung (z.B. chronisch entzündliche Darmerkrankungen, Krebs)
 - Invasive oder abrasive Behandlungen an den Zähnen zwei Wochen vor der Geburt
 - Teilnahme an einem klinischen Experiment vier Wochen vor der Geburt
 - Alkoholmissbrauch (>10 auf einer Skala zur Erhebung von Alkoholmissbrauch)
-

Ergebnisse	<p>Für die menschliche Gesundheit lassen sich durch die Exposition mit Mikro-/ bzw. Nanoplastik (MP/NP) potenzielle Gefahren für das Verdauungssystem, das Kreislaufsystem, das respiratorische System, das Immunsystem, das Nervensystem sowie für das Embryo- und Plazentasystem ableiten.</p>	<p>MP-Partikel können sich sowohl akut als auch chronisch toxisch auf Zellen, das Immunsystem und das Reproduktionssystem auswirken. Außerdem wirken sie krebserregend und können die Entwicklung beeinträchtigen. Nanoplastik kann chronisch toxisch auf das kardiovaskuläre System, die Leber und das Nervensystem wirken. Außerdem kann es Genotoxizität und Entwicklungstoxizität auslösen.</p>	<p>Die Exposition mit MP kann toxische Auswirkungen wie oxidativen Stress, Entzündungsreaktionen, mitochondriale und lysosomale Dysfunktionen, Apoptose und Genotoxizität hervorrufen. MP-Partikel können verschiedene menschliche Zellen erheblich schädigen, in dem sie bspw. die Apoptose herbeiführen. In MP enthaltene Substanzen und Chemikalien können sich ebenfalls toxisch auf verschiedene Funktionssysteme auswirken.</p>	<p>MP-Partikel wurden mithilfe einer VP-SEM und einer TEM in 10 menschlichen Plazenten lokalisiert. Außerdem wurde eine mögliche Korrelation zwischen dem Vorhandensein von MP und strukturellen Veränderungen von Organellen vermutet, da diese zuvor noch nie bei komplikationslosen Schwangerschaften vorgefunden worden sind. MP könnte in der Plazenta dazu beitragen, dass oxidativer Stress, Apoptose oder Entzündungsprozesse aktiviert werden, welche charakteristisch für Stoffwechselstörungen sind.</p>
------------	--	---	---	---

Der nun folgende Abschnitt befasst sich mit der Bewertung der eingeschlossenen Studien nach deren Evidenzgrad.

4.2 Zusammenfassende kritische Bewertung der Studienqualität

Bei den Studien von Sangkham et al. (2022), Yuan et al. (2022) und Pironti et al. (2021) handelt es sich um systematische Reviews von In-vivo-Untersuchungen mit Tierexperimenten oder In-vitro-Untersuchungen mit tierischen oder menschlichen Zellen. Demnach klassifizieren sie sich nach der Evidenzstufe Ia: „ein systematisches Review auf der Basis methodisch hochwertiger kontrollierter randomisierter Studien (RCTs)“ (Mehrholz, 2010), was dem höchsten Evidenzniveau entspricht. Des Weiteren ist die interne Validität als hoch zu bewerten, da die diversen festgestellten toxischen Auswirkungen auf die Zellen (Wirkung) nach der kontrollierten Exposition mit Mikroplastik (Ursache) unter Laborbedingungen auftraten. Die externe Validität ist deutlich geringer einzuordnen, da die Wirkungen unter bestimmten Voraussetzungen auftraten wie etwa einer bestimmten Partikelgröße, Partikelmenge und Expositionsdauer, die sich auf diese Weise nicht auf die Außenwelt übertragen lassen. Des Weiteren ist unklar, inwiefern und in welchem Umfang die festgestellten Auswirkungen auf die menschlichen oder tierischen Zellen der menschlichen Gesundheit konkret schaden können, hierfür sind weitere Forschungen notwendig. Die in den Reviews vorkommenden Studien finden sich teilweise untereinander wieder, es wurde aber geprüft, dass sie sich zu einem ausreichenden Anteil unterscheiden.

Bei der Studie von Ragusa et al. handelt es sich um eine Querschnittsstudie. Sie ist der Evidenzstufe III: „eine methodisch hochwertige nicht experimentelle Studie“ (Mehrholz, 2010) zuzuordnen. Da es bei der Studie um die Beantwortung einer Non-impact-Frage (Welche der untersuchten Plazenten enthielten wo Mikroplastik) ging, ist das Studiendesign angemessen und regte die Autor:innen zur Erhebung neuer Hypothesen an. Eine Aussage über die Kausalität kann mit diesem Studiendesign nicht getroffen werden. Die externe Validität ist in dieser Studie als höher einzuschätzen, da die Partikel mittels aufwendiger Verfahren in den Plazenten gesunder Probandinnen zufällig nach der Geburt gefunden worden sind, ohne das künstlich unter Laborbedingungen Mikroplastik hinzugefügt worden ist.

Die Datenqualität der Studienergebnisse ist hoch, da eine Kontamination mit Mikroplastik während der gesamten Untersuchung vollständig ausgeschlossen werden konnte.

Anschließend folgt ein zusätzlicher Abschnitt zu den Gefahren von Additiven, die in den meisten Kunststoffprodukten enthalten sind. Diese wurden nicht in den vorgestellten Studien gefunden, spielen aber eine zentrale Rolle für die potenziellen Gesundheitsgefahren durch die Aufnahme von Mikroplastik, weshalb sie in den Ergebnisteil mit aufgenommen worden sind.

4.3 Additive

Wie bereits erwähnt, enthalten Kunststoffe häufig eine breite Masse an Kunststoffadditiven, die einen bestimmten Zweck erfüllen. Diese reichen von Stabilisatoren, über Weichmacher bis hin zu Flammschutzmitteln. In diesem Abschnitt wird der Fokus auf die Kunststoffadditive gelegt, welche als besonders umwelt- und gesundheitsschädlich gelten, wie beispielweise endokrine Disruptoren.

Endokrine Disruptoren sind Stoffe, die auf das Hormonsystem wirken und dieses stören können. Das kann sich auf den Stoffwechsel, das Wachstum, das Immunsystem und die Organentwicklung auswirken. Insbesondere Kleinkinder reagieren empfindlich auf hormonell wirksame Chemikalien, zu denen bromierte Flammschutzmittel, Phthalate, Bisphenol A und Organozinnverbindungen gehören. Eine Vielzahl an Erkrankungen wird mit diesen Chemikalien in Verbindung gebracht, beispielsweise Missbildungen der Geschlechtsorgane, Allergien, Diabetes Typ II, Unfruchtbarkeit sowie Lern- und Verhaltensstörungen (Baltic Environmental Forum, 2018).

Darüber hinaus werden bromierte Flammschutzmittel häufig eingesetzt, denn sie haben den Zweck, die Entzündung brennbarer Kunststoffe hinauszuzögern und die Flammenausbreitung zu verlangsamen. Sie befinden sich vor allem in elektronischen Geräten, Kuscheltieren, Polstermöbeln und Matratzen. Im Laufe der Zeit können die Chemikalien aus den Kunststoffen ausdünsten oder sich auswaschen.

Bei Bränden besteht die Gefahr, dass hochtoxische bromierte Dioxine und Furane entstehen, sobald flammgeschützte Gegenstände zu brennen anfangen. Diese können Funktionen des Hormonsystems stören und neurotoxisch wirken. Aufgrund ihrer chemischen Beschaffenheit können sich die Stoffe leicht in der Umwelt und in tierischem sowie menschlichem Gewebe anreichern. Sie wurden bereits in zahlreichen Sedimenten, Tierarten und Stäuben nachgewiesen. Des Weiteren kommen in vielen Plastikprodukten Weichmacher (auch: Phthalate) zum Einsatz, denn sie erhöhen u. a. die Formbarkeit und Geschmeidigkeit. Sie sind beispielsweise in Duschvorhängen, Kinderspielzeug, Kunstleder und Weich-PVC zu finden. Phthalate besitzen die Eigenschaft, sich leicht aus Produkten lösen zu können, etwa wenn sie in Kontakt mit Flüssigkeit oder Fett kommen. Weichmacher gelten als hormonwirksam und fortpflanzungsgefährdend und sind zudem stark umweltschädlich. Sie sind sowohl terrestrisch als auch in der Luft und im Wasser nachweisbar.

Zuletzt sind Organozinnverbindungen zu nennen, denn auch sie werden vielseitig und häufig eingesetzt. Sie dienen beispielsweise als Stabilisatoren in PVC oder als Katalysatoren bei der Herstellung von Silikondichtungen. Je nach Verbindungstyp besitzen sie unterschiedliche toxikologische Eigenschaften. Während einige das Immunsystem angreifen, schädigen andere die Leber und das Nervensystem. Auch sie können hormonwirksam sein und die Fertilität beeinträchtigen. In der Umwelt können sie aufgrund ihres hormonaktiven Potenzials die biologische Vielfalt einschränken und für Wasserlebewesen aufgrund ihrer Toxizität gefährlich werden (Baltic Environmental Forum, 2018).

Grundsätzlich gilt für die Expositionswege von Additiven das gleiche wie für die Aufnahme von Mikroplastikpartikel. Mehrere Untersuchungen zum Weichmacher Diethylhexylphthalat (DEHP), welcher etwa in Lebensmittelverpackungen, Weich-PVC und Krankenhausgeräten Verwendung findet, kamen zu dem Ergebnis, dass der Hauptexpositionsweg der Allgemeinbevölkerung von DEHP über die Lebensmittelaufnahme geschieht. Insbesondere in fetthaltigen Lebensmitteln wie Fleisch, Mayonnaise, Fischterrinen und ätherischen Zitrusölen ist die Abgabe von DEHP über das Lebensmittelbehältnis stark erhöht. Dennoch lagen die ermittelten Belastungswerte unterhalb der tolerierbaren täglichen Aufnahme (TDI) oder Referenzdosis (RfD).

Die TDI und RfD basieren auf der nicht-kanzerogenen Belastungsgrenze und variieren in den verschiedenen Nationen. So liegt die Grenze für die EU beispielsweise bei 50 µg pro kg Körpergewicht, in Kanada bei 44 µg/ kg und in den USA bei 22 µg/ kg (Erythropel et al., 2014).

5. Diskussion

In diesem Abschnitt erfolgten zunächst eine kurze Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse. Anschließend werden alle limitierenden Aspekte der dargestellten Studienergebnisse aufgezeigt. Dabei werden sowohl eigene Überlegungen als auch Literaturbasierte Limitationen genannt, welche als solche gekennzeichnet sind. Zuletzt werden mögliche Lösungsansätze beschrieben, die der Problematik entgegenwirken könnten.

5.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Mikro- und Nanoplastik kann über verschiedene Wege vom menschlichen Organismus aufgenommen werden und durch Vorgänge wie Endozytose diverse Kompartimente im Körperinneren passieren. Die Exposition von Mikroplastik kann auf menschliche und tierische Zellen toxische Effekte haben, was zahlreiche Laborstudien beweisen konnten. Die Effekte waren dabei im Bereich Neurotoxizität, Immuntoxizität, Reproduktionstoxizität, fetaler Kreislauf und Plazenta, Verdauungs- und Kreislaufsystem festzustellen. Den Toxizitäten lagen i.d.R. pathologische Vorgänge wie oxidativer Stress, Entzündungen, Dysfunktionen verschiedener Zellorganellen und Apoptose zugrunde.

Diese Ergebnisse zeigen, dass Mikroplastik eindeutig das Potenzial besitzt, der menschlichen Gesundheit zu schaden. Diese Erkenntnis ist wichtig, da der Mensch heutzutage in nahezu sämtlichen Lebensbereichen Kunststoffprodukten ausgesetzt ist und dieser Trend weiter voranzuschreiten scheint.

Beispielhaft ist dies in der anhaltenden Covid-19 Pandemie zu beobachten, die wahrscheinlich zu einer Zunahme von Einmalplastikprodukten geführt hat (Sangkham et al., 2022). Die allgegenwärtige Präsenz von Plastik in unserem Alltag erhöht die Exposition gegenüber Mikro- und Nanoplastik stetig.

Das Vorkommen von Mikroplastik in essenziellen Lebensbereichen wie Nahrung und Luft bestärkt die Notwendigkeit, diese potenzielle Gefahr weiter zu erforschen und geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Ohne verlässliche Daten zur Exposition mit Mikroplastik ist eine Risikobewertung und ein daraus abzuleitendes Risikomanagement nicht möglich.

5.2 Limitationen

Deutliche Einschränkungen in der Aussagekraft und Übertragbarkeit in die Realität ergeben sich aus den bestimmten Voraussetzungen und Bedingungen, unter denen die beschriebenen toxischen Effekte von Mikro-/ bzw. Nanoplastik auf die untersuchten Zellen oder Tiere auftraten. Diese betreffen die Expositionsdauer, die Expositionsmenge an Plastikpartikeln und chemische Zusammensetzung, welche sich im Laborversuch im Vergleich zum Vorkommen in der Natur unterscheiden. Außerdem ist die hohe Komplexität der verschiedenen Kunststoffe, mit denen der menschliche Organismus konfrontiert wird, noch nicht vollständig erforscht (Hirt & Body-Malapel, 2020) und die bisherigen Ergebnisse beziehen sich i.d.R. auf Untersuchungen mit den fünf gängigsten Kunststoffarten.

Des Weiteren existieren bisher keine Studien zu den direkten gesundheitlichen Auswirkungen von Mikroplastik auf den menschlichen Körper, hierzu müssen weitere Untersuchungen wie Längsschnittstudien erfolgen, die zusätzlich auch eine Aussagekraft über eventuelle Langzeitfolgen hätten. So sind die potenziellen Auswirkungen der festgestellten Toxizitäten unbekannt und es können lediglich Vermutungen zu daraus entstehenden Erkrankungen gemacht werden. Beispielhaft sind die beschriebenen neurotoxischen Effekte zu erwähnen, die möglicherweise zu neurodegenerativen Erkrankungen führen könnten. Um hierbei eine Kausalität feststellen zu können, bedarf es weitere experimentelle und nicht-experimentelle Studien. Ähnlich verhält es sich mit den festgestellten Mikro-/Nanoplastikpartikeln in den Plazenten oder in anderen Organen. Diese erlauben ebenfalls keine Aussagen über daraus entstehende mögliche schädliche Folgen für die Gesundheit.

Weiterhin ist anzumerken, dass die Untersuchungen keine Auskunft darüber geben, welche Eigenschaften oder Bestandteile der Kunststoffpartikel die Toxizität verursacht. Dies könnte beispielweise bedingt durch die chemische Zusammensetzung, die enthaltenen Additive oder mikrobielle Besiedlung sein.

In der Literatur wird außerdem kritisiert, dass es bisher keine standardisierten Expositionsbedingungen oder Qualitätsbewertungen für die Versuche mit Mikro- bzw. Nanoplastik gibt. Ein einheitliches Bewertungsinstrument ist notwendig, um zuverlässige und vergleichbare Daten zu erhalten. Gleiches gilt für ein einheitliches Standardinstrument zur Bewertung der gesundheitlichen Gefahren, die von Mikroplastik ausgehen sowie für die Analyse von Mikroplastik in beispielsweise Lebensmitteln. Insgesamt wäre eine Studie zur Lebensmittelsicherheit notwendig, um die gesundheitlichen Gefahren, die von bestimmten Lebensmitteln ausgehen, einordnen zu können (Sangkham et al., 2022). Des Weiteren gibt es bisher erst einige wenige Forschungsarbeiten, die sich mit den Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen von Mikroplastik auf Organismen beschäftigen (Miklos et al., 2016). Im Bereich Lebensmittel wird zudem kritisiert, dass die Expositionsdaten von Studien zu Nahrungsmitteln noch sehr unzureichend sind. Dies ist auf eine schlechte Datenqualität in den Untersuchungen durch Kontaminationen mit Mikroplastik, eine insgesamt bisher noch sehr geringfügige Studienlage und noch fehlenden Daten zu sehr kleinen Partikelgrößen zurückzuführen. Außerdem existieren noch viele analytische Beschränkungen beim Nachweis von Nanoplastikpartikeln in Lebensmitteln. Somit lässt die derzeitige Datenlage noch keine belastbaren wissenschaftlichen Schlussfolgerungen für den Menschen im Allgemeinen zu (Hirt & Body-Malapel, 2020).

5.3 Lösungsansätze

In diesem Abschnitt werden Lösungsansätze, sortiert nach möglichen Handlungsebenen, aufgelistet, die zur Lösung der dargestellten Problematik beitragen können. Die Handlungsebenen umfassen zum einen übergeordnet die Makroebene, bei der es vor allem um systemisch geprägte Maßnahmen geht und zum anderen die Mesoebene, welche Lösungen auf institutioneller Ebene beinhalten. Zuletzt wird die Mikroebene vorgestellt, bei der es um individuelle Handlungen und Lösungsansätze geht.

5.3.1 Makroebene

In der Makroebene sind staatliche Maßnahmen zu verordnen, die an den Verhältnissen und Rahmenbedingungen ansetzen. Hierbei sind insbesondere auch länderübergreifende Maßnahmen notwendig, da es sich um ein internationales Problem handelt, dessen Auswirkungen nicht vor Ländergrenzen Halt macht. Zum Schutz der Meere und Ozeane lässt sich dieser Ansatz in verabschiedeten globalen Übereinkommen (MARPOL, UNCLOS, MSRL) erkennen, in denen auch Kunststoffabfall eine Rolle spielt (Kramm & Völker, 2021).

In einer vom Umweltbundesamt veröffentlichten Masterarbeit von Miklos et al. werden die grundsätzlichen Handlungsfelder der Umweltpolitik aufgezählt: Umweltrecht, ökonomische Anreize, Umweltschutzinstrumente, Verfahren, Information und Transparenz und integrative Umweltkonzepte. Im Bereich Abfallwirtschaft plädieren die Autor:innen für eine EU-weite Abfallhierarchie, wie sie in der Abfallrichtlinie der Bundesrepublik festgehalten wird. Diese beinhaltet:

- a) Vermeidung
- b) Vorbereitung zur Wiederverwertung
- c) Recycling
- d) Sonstige Verwertung (z.B. energetisch)
- e) Entsorgung

Eine lückenlosfunktionierende Abfall- und Kreislaufwirtschaft und umfassende Flächen- und Straßenreinigung sollte für die EU festgelegt werden, da es beispielsweise in manchen EU-Ländern immer noch Haushalte gibt, die nicht an das kommunale Müllabfuhrsystem angeschlossen sind (Miklos et al., 2016). Allerdings gelten Maßnahmen zur Verbesserung des Abfallmanagements eher als „end-of-pipe“-Lösungen, da sie nicht an der Ursache der Problematik ansetzen. Daher sollte in erster Linie bei der Vermeidung von Plastikabfall angesetzt werden, was auch der Abfallhierarchie zu entnehmen ist. Das größte Interventionsfeld macht dabei der Bereich Verpackung aus, der, wie bereits erwähnt, den größten Anteil am Plastikaufkommen ausmacht. Dabei sollten Verbrauchende nicht allein für die Reduktion verantwortlich gemacht werden.

In Verbraucher:innenstudien zeigte sich eine hohe Bereitschaft zum Zurückgreifen auf alternative Verpackungsmaterialien. Außerdem sprachen sich viele Teilnehmende für härtere Steuerungsinstrumente zur Reduzierung von plastikverpackten Konsumgütern aus, die etwa höhere Kosten beinhalteten. Insbesondere an der Schnittstelle von Produktion und Konsum sollten politische Maßnahmen und Strategien zur Neuorganisation der Lebensmittelversorgungskette ansetzen. Durch zunehmende räumliche und zeitliche Bearbeitungsvorgänge bei der Produktion von Lebensmitteln steigert sich der Bedarf an Verpackungsmaterial, z.B. um die Haltbarkeit zu verbessern (Kramm & Völker, 2021). Der Kauf von regionalen und frischen, unverpackten Lebensmitteln könnte beispielsweise durch Subventionierung gefördert werden. Des Weiteren sollte ebenfalls EU-weit ein Emissionsgrenzwert für abfiltrierbare Stoffe festgelegt werden, wie er bereits in Österreich für das Kunststoffverarbeitende Gewerbe vorzufinden ist (Miklos et al, 2016).

Außerdem hat der Staat die Möglichkeit, mittels Verbote und Richtlinien, sowohl Unternehmen als auch Verbraucher:innenverhalten zu steuern. Hier ist beispielhaft die Einführung des Pfandsystems zu nennen, die das Bewusstsein für Einmalplastikprodukte veränderte, weil es diese mit einem monetären Wert versehen hat. Kunststoffe werden auf diese Weise als wertvoller wahrgenommen, wodurch der Umgang damit und das Verbraucher:innenverhalten beeinflusst werden. Ein weiteres Beispiel ist die hierzulande eingeführte Bezahlpflicht von Plastiktüten im Einzelhandel (Miklos et al, 2016). Insbesondere zur Vermeidung überflüssiger Einmalplastikprodukte sind Verbote eine effektive Maßnahme, was sich beispielsweise am Plastiktütenverbot sämtlicher afrikanischer Staaten, dem Verbot von Mikroplastik in Kosmetika und Drogeriewaren in Schweden und Großbritannien und dem Verbot von Einmalplastikgeschirr-, und besteck in Frankreich zeigte.

Eine weitere Überlegung könnte die Einführung eines Kategorisierungssystems für Kunststoffe sein, um dessen Umweltbelastung für Kund:innen ersichtlich zu machen. Dies könnte z.B. in Form eines Umweltbelastungsindex sein, der das Plastikprodukt in Abhängigkeit von der Gebrauchszeit im Verhältnis zur Verrottungszeit bewertet. Dabei entspräche „1“ der schlechtesten Kategorie, wie es etwa bei Fast Food Verpackungen der Fall wäre (Gebrauchszeit < 24 Stunden).

„6“ hingegen entspräche der besten Kategorie, z.B. bei Isolierungen, die zehn bis 100 Jahre lang genutzt werden können (Fath, 2019).

Die Tabelle 4 stellt die möglichen Kategorien zusammengefasst dar:

Tabelle 4

Einteilung von Kunststoffprodukten nach ihrem Umweltbelastungsindex (vgl. Fath, 2019)

UBI	Gebrauchszeit (t _G)	t _G in a (Jahre)	Beispiele
6	Null bis 24 Stunden	10 ⁻³	Trinkhalme, Besteck, Teller, Fast Food Verpackungen
5	Ein Tag bis eine Woche	10 ⁻²	Gemüse- und Obstverpackungen, Joghurtbecher
4	Eine Woche bis einen Monat	10 ⁻¹	Shampoos, Tiefkühlfolien
3	Ein Monat bis ein Jahr	10 ⁰	Putzmittel, Waschmittel, Zahnbürste
2	Ein Jahr bis zehn Jahre	10 ¹	Automobilteile, Kleidung, Möbel
1	Zehn Jahre bis 100 Jahre	10 ²	Fensterrahmen, Dämmungen, Rohre

5.3.2 Mesoebene

Auf der Mesoebene wären insbesondere standardisierte und harmonisierte Untersuchungs- und Nachweismethoden für die Erforschung von Mikroplastik eine wichtige Maßnahme zur Lösung der Problematik. Die Datenlage ist aktuell noch sehr heterogen, da es vielfältige Methoden zur Probenentnahme, -aufbereitung und -analyse gibt.

Eine Vereinheitlichung würde dazu beitragen, dass die Aussagen zu Quellen, Verteilung und Wirkungsweisen von Mikroplastik sicherer werden würden, worauf gezielte Gegenmaßnahmen aufbauen könnten (Miklos et al., 2016).

Grundsätzlich sollte die Forschung und Studienlage zur Toxikologie von Plastikpartikeln weiter ausgebaut werden, um eventuelle Langzeitfolgen für die menschliche Gesundheit erkennen zu können.

Auch hier ist eine internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit wichtig, um u.a. Gesundheitsorganisationen bestmöglich bei der Erstellung von Präventionsrichtlinien unterstützen zu können (Pironti et al., 2021).

Darüber hinaus findet sich in der Literatur häufig als Lösungsansatz der vermehrte Einsatz von Biokunststoff. Aktuell ist die Produktion von Biokunststoffen, die die gleichen Anforderungen wie die von künstlichen Kunststoffen erfüllen, noch sehr schwierig. Dies hängt vor allem mit der Notwendigkeit zusammen, dass diese sich nicht bereits zersetzen dürfen, solange sie noch mit einem Lebensmittel in Kontakt sind. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus der meistens nicht möglichen biologischen Abbaubarkeit. Die meisten Biokunststoffe müssen unter bestimmten Voraussetzungen kompostiert werden, was sich bei der aktuell noch geringen Anzahl an Biokunststoffen industriell noch nicht lohnt. Das bedeutet, dass Biokunststoffe aktuell weder in der Biomülltonne entsorgt werden können, da sie von der Natur nicht abgebaut werden können, noch im Kunststoffabfall, weil sie dort den Recyclingprozess der Plastikprodukte stören würden. Somit werden sie über den Restmüll entsorgt, womit sie verbrannt werden. Damit haben sie insgesamt keine bessere Ökobilanz als synthetisches Plastik. Daher sollte auf der Mesoebene weiter an einer Verbesserung der Abbaubarkeit von Biokunststoffen geforscht werden, da zukünftig mit einem vermehrten Einsatz gerechnet werden muss, in Anbetracht der zunehmenden Rohstoffverknappung fossiler Materialien (Kramm & Völker, 2016).

5.3.3 Mikroebene

In dieser Ebene beziehen sich die Maßnahmen auf die Individualebene. Übergeordnet ist die Vermeidung von privaten Plastikmüll der Hauptlösungsansatz, der auf dieser Ebene verfolgt wird.

Im ersten Schritt sind das Problembewusstsein und das Wissen über die eigene Handlungsfähigkeit eine wichtige Voraussetzung für die Veränderung des eigenen Handelns. Somit startet die Reduktion des eigenen Plastikkonsums mit dem bewussten Einkauf unter der Absicht, Plastik vermeiden zu wollen. Beispielhaft wäre der Einkauf von Vorratspackungen, einzelnen Obst- und Gemüsewaren und wenig verarbeiteter Lebensmittel zu nennen. Auch hier gilt, ähnlich wie bei der Abfallhierarchie, handeln nach den drei „r“: reduce, reuse, recycle (Fath, 2019).

Konkrete Tipps für Verbraucher:innen hat beispielsweise das Baltic Environmental Forum Deutschland formuliert und diese nach Lebensmitteln, Kosmetika/Reinigungsmittel, Textilien und Haushaltswaren/Gebrauchsgegenstände sortiert. Sie sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 5

Verbraucher:innen Tipps zur Reduktion von Plastikabfall und Vermeidung von Produktion von Mikroplastik, eigene Darstellung (vgl. Baltic Environmental Forum, 2018)

Bereich	Maßnahme
Lebensmittel (LM)	<p>Lagerung von LM in Glas, Keramik oder Edelstahlbehältern</p> <p>LM-Verpackungen aus Glas sind die gesundheitlich unbedenklichste Option</p> <p>Einmalverpackungen aus Kunststoff nicht zweckentfremden und nicht mehrfach befüllen</p> <p>Kunststoffboxen aus Polypropylen (Recyclingcode 5) (PP), Polyethylen (PE) (Recyclingcode 4 oder 2) sind unbedenklich</p> <p>LM nicht in Kunststoffbehältern erhitzen oder heiße Speisen in Kunststoffbehälter füllen</p> <p>Insbesondere fettige und saure LM sind ungeeignet für Plastikverpackungen</p> <p>Auf die Zubereitung von in Plastik verpackten LM im Wasserbad verzichten</p> <p>Für Takeaway Speisen und Getränke eigene wiederverwendbare Behälter mitnehmen</p>

	<p>Keine LM-Verpackungen aus Polycarbonat (PC), PVC und Polystyrol verwenden</p> <p>Bei Säuglingen und Kindern: Keine Speisen aus Konservendosen nutzen, da diese Bisphenol A abgeben können</p> <p>Insbesondere auf Einzelportion- und aufwändige Verpackungen verzichten, da die Abgabe von Mikroplastik vom Verhältnis Inhalt zu Verpackungsgröße beeinflusst wird</p> <p>Baumwolltaschen nutzen, einzelnes Obst/Gemüse statt verpacktes</p> <p>Kochgeschirr nach Anweisung nutzen (z.B. max. Höchsttemperatur) und beschädigte Beschichtungen entsorgen</p>
Kosmetika und Reinigungsmittel	<p>Garantiert Mikroplastik-freie Naturkosmetik (erkennbar am NaTru und BDIH-Siegel) verwenden</p> <p>Auf Inhaltsstoffe wie Polyethylen, Nylon, Acrylate, Cyclomethicone verzichten bzw. Apps wie Codecheck und ToxFox zur Identifizierung nutzen</p> <p>Artikel überprüfen, auch wenn sie die Aufschrift „frei von Mikroplastik“ tragen, da manche Hersteller damit nur den Verzicht auf festes Mikroplastik deklarieren</p> <p>Peelings selbst herstellen aus Kaffeesatz, Salz, Heilerde oder Zucker z.B.</p> <p>Keine Mikrofasertücher zur Reinigung nutzen (Baumwolltücher, Spülschwämme aus Cellulose)</p> <p>Scheuermittel selbst herstellen aus Backpulver oder Natron</p>
Textilien	<p>Textilien aus Naturfasern tragen (Bio-Baumwolle, Bio-Wolle, Leinen, Seide, Hanf)</p> <p>Textilien mit Bioziden („geruchshemmend“), UV-Imprägnierungen und PFC-Imprägnierungen vermeiden</p> <p>Beim Waschen von Kunstfasern gilt: volle Waschmaschine, geringe Temperaturen, Kurzprogramme, wenig Schleudern</p> <p>Flusensiebe niemals ausspülen, sondern absammeln und im Müll entsorgen</p>

	Heimtextilien: Ökosiegel, auslüften nach dem Neukauf und Waschen vor dem ersten Gebrauch (Kleidung, Bettwäsche oder Kuscheltiere)
Haushaltswaren und Gebrauchsgegenstände	<p>Starke Gerüche von Kunststoffprodukten beinhalten meistens (gefährliche) organische Chemikalien</p> <p>Kunststoffe aus Weich-PVC vermeiden (glänzend und schmieriger Griff)</p> <p>Hartplastikprodukte sollten BPA-frei sein</p> <p>Elektronische Geräte abschalten statt auf Stand-By setzen, damit diese nicht erhitzen und so bromierte Flammschutzmittel abgeben</p> <p>Kunststofffüllungen von Zähnen sollten BPA-frei sein</p> <p>-Bambusprodukte als Kunststoffersatz sind mit Vorsicht zu genießen: sie enthalten häufig neben Bambus formgebende Kunststoffe wie Melaminharz oder Polyactat. Melamin kann giftiges Formaldehyd bei hohen Temperaturen abgeben und Polycarbonat enthält hormonwirksames BPA → daher Bambusgeschirr niemals erhitzen oder mit heißen Speisen befüllen</p>

6. Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit konnte aufzeigen, dass die zunehmende Relevanz von Mikroplastik in unserer Umwelt und die damit verbundene erhöhte Exposition mit diversen potenziellen Gefahren für die menschliche Gesundheit einhergeht. Daher ist es wichtig, zukünftig in weitere Forschungen zu dieser Thematik zu investieren und gleichzeitig bereits heute Maßnahmen zu ergreifen, um dieser Problematik entgegenzuwirken und die Risiken weitestgehend zu minimieren. Hierfür ist ein Zusammenwirken auf internationaler, systemischer, institutioneller und individueller Ebene notwendig, um sowohl Umwelt als auch Mensch und Tier zu schützen.

Grundsätzlich dienen alle Maßnahmen zum Schutz der Umwelt auch dem Schutz der menschlichen Gesundheit, denn eine Verschmutzung der Gewässer bedingt zuletzt durch die Nahrungskette oder die Kontamination der Luft die Aufnahme von schädlichen Stoffen durch den Menschen. Demzufolge ist eine ganzheitliche Betrachtung der Problematik unerlässlich.

Die zunehmende Aufmerksamkeit für Umweltschutz und insbesondere auch Plastikabfallverschmutzung in den letzten Jahren ist eine positive Entwicklung, was sich auch an der zunehmenden Menge an Forschungsarbeiten zu dieser Thematik erkennen lässt. In diesem Trendgeschehen liegt eine deutliche Chance zu einem umweltbewussteren und -freundlicherem Umgang mit Kunststoff, der insbesondere mit der Vermeidung von übermäßigem Konsum von Einmalprodukten beginnt. Die Industrie reagiert auf die veränderte Nachfrage, auch wenn nicht jede Deklaration von „Mikroplastikfrei“ und „aus vollständig recyceltem Plastik“ als automatisch umweltfreundlich und unproblematisch eingestuft werden kann. Hierfür sind, wie in den Lösungsansätzen erläutert, politische Subventionen von besonders förderlichen Maßnahmen (z.B. Vermeidung von Verpackungsabfall) und Verbote von besonders kritischen (z.B. Mehrfachverpackte Waren, Verwendung kritischer Additive) notwendig. Dies beeinflusst Konsument:innenverhalten maßgeblich, was aus bereits getroffenen Maßnahmen ersichtlich wurde.

Literaturverzeichnis

- Abts, G. (2016). *Kunststoff-Wissen für Einsteiger* (3. aktualisierte und erweiterte Auflage). 1-63. Carl Hanser Verlag München.
- Baltic Environmental Forum. (2018). *Chemikalien in Plastik, Gefahr für Mensch und Meer*. https://www.bef-de.org/wp-content/uploads/2019/06/2018-12_CHEM_MANAGEM_ChemikalienInPlastik_2ndEd.pdf
- Erythropel, H. C., Maric, M., Nicell, J. A., Leask, R. L., & Yargeau, V. (2014). Leaching of the plasticizer di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) from plastic containers and the question of human exposure. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 9967–9981. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6183-8>
- Fath, A. (2019). *Mikroplastik kompakt: Wissenswertes für alle. Essentials*. 35-49. Springer Spektrum Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25734-7>
- Hengstmann, E., & Tamminga, M. (2022). *Plastik in der Umwelt: Wo kommt es her, wo geht es hin und wie wirkt es sich aus?* 1-77. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-65864-2>
- Hirt, N., & Body-Malapel, M. (2020). Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. *Particle and Fibre Toxicology*, 17(57). <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00387-7>
- Jin, M., Wang, X., Ren, T., Wang, J., & Shan, J. (2021). Microplastics contamination in food and beverages: Direct exposure to humans. *Journal of Food Science*, 86(7), 2816–2837. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15802>
- Kramm, J., & Völker, C. (2021). *Wie ist ein nachhaltiger Umgang mit Plastik möglich?* In: Blättel-Mink, B., Hickler, T., Küster, S., & Becker, H. (Hrsg.), *Nachhaltige Entwicklung in einer Gesellschaft des Umbruchs*. Springer VS Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31466-8_10
- Kundel, D., Fliessbach, A., Herforth-Rahmé, J., Hofer, S., Vieweger, A., & Bigalke, M. (2022). Kleines Plastik, große Wirkung? *Ökologie & Landbau* 201(1), 34–36. <https://orgprints.org/id/eprint/43132/1/kundel-et-al-2022-OEL-Vol1-p34-36.pdf>

- Macherauch, E., & Zoch, H.-W. (2011). *Rasterelektronenmikroskopie*. In *Praktikum in Werkstoffkunde*. 289-296. Vieweg + Teubner Verlag; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9884-5_47
- Mehrholz, J. (2010). Wissenschaft erklärt: Evidenzstufen – Studien nach ihrer Qualität einordnen. *Ergopraxis*, 3(6), 14. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1255425>
- Miklos, D., Obermaier, N., & Jekel, M. (2016). *Mikroplastik: Entwicklung eines Umweltbewertungskonzepts*. Umweltbundesamt (Hrsg.), Erste Überlegungen zur Relevanz von synthetischen Polymeren in der Umwelt. Texte 32/2016. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/mikroplastik-entwicklung-eines>
- Pironti, C., Ricciardi, M., Motta, O., Miele, Y., Proto, A., & Montano, L. (2021). Microplastics in the Environment: Intake through the Food Web, Human Exposure and Toxicological Effects. *Toxics*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/toxics9090224>
- Ragusa, A., Matta, M., Cristiano, L., Matassa, R., Battaglione, E., Svelato, A., Luca, C., D'Avino, S., Gulotta, A., Rongioletti, M. C. A., Catalano, P., Santacroce, C., Notarstefano, V., Carnevali, O., Giorgini, E., Vizza, E., Familiari, G., & Nottola, S. A. (2022). Deeply in Plasticenta: Presence of Microplastics in the Intracellular Compartment of Human Placentas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph191811593>
- Sangkham, S., Faikhaw, O., Munkong, N., Sakunkoo, P., Arunlertaree, C., Chavali, M., Mousazadeh, M., & Tiwari, A. (2022). A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health. *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113832. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113832>

- Struma, A., Ritschl, V., Dennhardt, S., & Stamm, T. (2016). Reviews. In V. Ritschl, R. Weigl, & T. Stamm (Hrsg.), *Wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben: Verstehen, Anwenden, Nutzen für die Praxis*. 207–221. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49908-5_8
- Thomas, J., & Gemming, T. (2013). *Analytische Transemissionselektronenmikroskopie: Eine Einführung für den Praktiker*. 171-182. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1440-7>
- Yuan, Z., Nag, R., & Cummins, E. (2022). Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment - From marine to food systems. *The Science of The Total Environment*, 823, 153730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153730>

Anhang

Eidesstaatliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.



Maria Di Massa

Hamburg, 23.01.2023