



Inhalt Listen verfügbar bei Wissenschaftsdirektor

Wissenschaft von das Ingesamt Umwelt

Zeitschrift Homepage: www.elsevier.com/locate/Erkennung von Mikroplastik in Mensch Lunge Gewebe mit μ FTIR Spektroskopie

Lauren C. Jenner^a, Jeanette M. Rotchell^b, Robert T. Bennett^c, Michael Cowen^c,
Vasileios Tentzeris^c, Laura R. Sadofsky^a

^a Rumpf York Medizinisch Schule, Universität von Rumpf, Rumpf HU6 7RX, Vereint Königreich

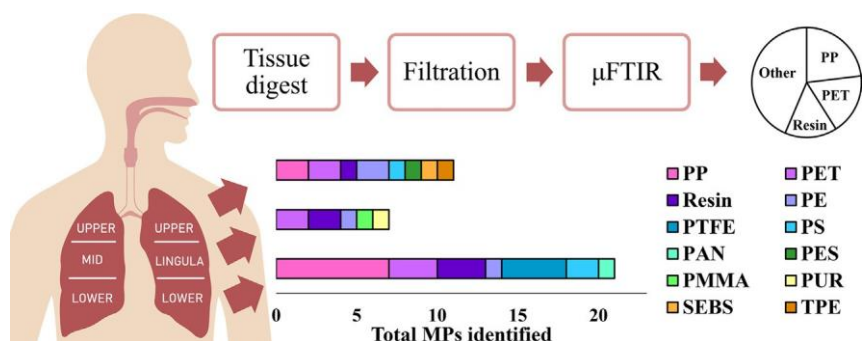
^b Abteilung von Biologisch und Marine Wissenschaften, Universität von Rumpf, Rumpf HU6 7RX, Vereint Königreich

^c Abteilung von Kardiothoracic Operation, Schloss Hügel Krankenhaus, Cottingham HU16 5JQ, Vereint Königreich

H. ich G. H. L. ich G. H. T. S.

G. R. EIN P. H. ich C. EIN L. EIN B. S. T. R. EIN C. T.

- Mikroplastik wurde in allen Re-identifiziert Gionen der menschlichen Lunge mit μ FTIR Analyse.
- Polypropylen und Polyethylenterephthalatfasern waren die am häufigsten.
- Das Ergebnisse Unterstützung Einatmen als ein Route von MP Exposition.



EIN R. T. ich C. L. E. ich N. F. O.

EIN B. S. T. R. EIN C. T.

Herausgeber: Yolanda Picó

Schlüsselwörter:

Mikroplastik
Lunge
Einatmen
Mensch
Atmosphäre
In der
Luft
Luft
 μ FTIR

In der Luft Mikroplastik (MPs) haben gewesen entnommen global, und ihre Konzentration ist bekannt zu erhöhen in Bereiche von hoch Mensch Bevölkerung und Aktivität, besonders drinnen. Atemwege Symptome und Krankheit folgen Exposition zu Occupa-

Wahn Ebenen von Abgeordnete innerhalb Industrie Einstellungen haben auch gewesen gemeldet. Es bleibt zu sein gesehen ob Abgeordnete von das en- Vironment kann sein eingeatmet, hinterlegt und akkumuliert innerhalb das Mensch Lungen. Diese studieren analysiert verdaut Mensch Lunge Gewebe Proben ($n = 13$) mit μ FTIR Spektroskopie (Größe Einschränkung von $3 \mu\text{m}$) zu erkennen und charakterisieren irgendetwas Abgeordnete vorhanden. In insgesamt, 39 Abgeordnete waren identifiziert innerhalb 11 von das 13 Lunge Gewebe Proben mit ein durchschnittlich von $1,42 \pm 1,50$ MP / g von Gewebe (ausgedrückt als $0,69 \pm 0,84$ MP / g nach Hintergrund Subtraktion Anpassungen). Das MP Ebenen innerhalb tis- Die Sue-Proben waren signifikant höher als diejenigen, die in kombinierten Verfahrens- / Laborrohlingen identifiziert wurden ($n = 9$ Abgeordnete, mit ein bedeuten \pm SD von $0,53 \pm 1,07$, $p = 0,001$). Von das Abgeordnete erkannt, 12 Polymer Typen waren identifiziert mit Poly- Propylen, PP (23 %), Polyethylen Terephthalat, PET (18 %) und Harz (15 %) das am meisten reichlich vorhanden. Abgeordnete (nicht angepasst) waren identifiziert innerhalb alles Regionen von das Lunge kategorisiert als oben ($0,80 \pm 0,96$ MP / g), mittel / lehrreich ($0,41 \pm 0,37$ MP / g), und mit signifikant höher Ebenen erkannt in das niedriger ($3,12 \pm 1,30$ MP / g) Region verglichen mit dem oberen ($p = 0,026$) und mittel ($p = 0,038$) Lungenregionen. Nach dem Subtrahieren von Leerzeichen wurden diese Werte zu $0,23 \pm 0,28$, $0,33 \pm 0,37$ und $1,65 \pm 0,88$ MP / g beziehungsweise. Das studieren zeigt das höchste Niveau von Kontamination control und Berichte unangepasst Werte neben unterschiedlich Kontamination Einstellung Techniken. Diese Ergebnisse Unterstützung in- Heiligung als ein Route von Exposition für Umwelt Abgeordnete, und das Charakterisierung von Typen und Ebenen kann jetzt informieren realistisch Bedingungen für Laborexposition Experimente, mit das zielen von Bestimmen gesundheitliche Auswirkungen.

Abkürzungen: LOD, Nachweisgrenze; LOQ, Bestimmungsgrenze; μ FTIR, Mikro-Fourier-Transformationsinfrarot; MCT, Quecksilber-Cadmium-Tellurid; MP, Mikroplastik zwischen $1 \mu\text{m}$ und 5mm ; NP, Nanoplaste; PAN, Polyacrylnitril; PE, Polyethylen; PES, Polyester; PET, Polyethylen Terephthalat; PMMA, Polymethylmethacrylat; PP, Polypropylen; PS, Polystyrol; PTFE, Polytetrafluorethylen; PUR, Polyurethan; PVA, Polyvinylalkohol; ROS, reaktive Sauerstoffspezies; SEBS, Styrol-Ethylen-Butylen-Copolymer; TPE, thermoplastisches Elastomer.

* Entsprechend Autor.

Email Adresse: L. R. Sadofsky @ hull.ac.uk (L.R. Sadofsky).

Erhalten 23 Dezember 2021; Erhalten in überarbeiteter Form 25 März 2022; Akzeptiert 25 März 2022
Online verfügbar 29. März 2022

0048-9697 / © 2022 Das Autoren. Veröffentlicht durch Elsevier B.V. Diese ist ein offener Zugriff Artikel unter der CC BY Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Einführung

Mikroplastik (MPs), definiert hier als Kunststoff Partikel zwischen 1 μm und 5 mm (Hartmann et al., 2019), sind vorhanden in alles Umwelt com-Teile; von Meeres und Süßwasser Körper (GESAMP, 2015), zu Boden (Wang et al., 2019), Essen, trinken Wasser (Danopoulos et al., 2020a; Danopoulos et al., 2020b) und Luft (Allen et al., 2019; Dris et al., 2017; Cai et al., 2017; Jenner et al., 2021). Für das letzteres, suspendiert MP haben gewesen isoliert von viele atmosphärisch Standorte, einschließlich urbanisiert Stadt Zentren (Cai et al., 2017; Wright et al., 2019a; Liu et al., 2019a), Innenraum Haushalte (Dris et al., 2017; Jenner et al., 2021; Vianello et al., 2019; Zhang et al., 2020), und Fernbedienung im Freien Regionen (Allen et al., 2019). Previous Arbeit Höhepunkte das Bürger sind ausgesetzt zu höher Konzentrationen von Abgeordneten in ihrem Häuser (Jenner et al., 2021) oder Außenbereiche von hoch Mensch Aktivität (Jenner et al., 2022), und das Ergebnisse in allgegenwärtig und un- vermeidbar Mensch Exposition (Prata et al., 2020). Folglich, dort ist ein in- knitternde Besorgnis über die damit verbundene Gefahren mit MP Verschlucken, Hautkontakt und Einatmen (Prata et al., 2020).

Synthetisch Fasern haben zuvor gewesen beobachtet innerhalb Mensch Lunge tis- verklagen Proben (Pauly et al., 1998), noch begrenzt Studien bestätigen das Präsenz von Abgeordnete innerhalb das Lungen neben chemisch Analysewerkzeuge, solche als μRaman und μFTIR Spektroskopie (Amato-Lourenço et al., 2021). Vertrauen auf ob-servational Kriterien allein zu unterscheiden zwischen MP und Nicht-MPs, kann führen zu über und unterschätzt MP zählt, und ein Mangel von Information in Bezug auf zu Polymer oder Additiv Typ (Eriksen et al., 2013; Hidalgo-Ruz et al., 2012). Das Plausibilität von MP Einatmen hat gewesen hervorgehoben (Prata, 2018; Wright und Kelly, 2017) und Abgeordnete mit ein Breite als klein als 5 μm haben gewesen gemeldet innerhalb Luft Proben (Wright et al., 2019a; Li et al., 2020). Auf environmen- tal freigeben, Kunststoffe sind ausgesetzt zu Oxidation, mechanisch Stress und biological Aktion, resultierend in Versprödung und Fragmentierung, bilden Abgeordnete, und irgendwann Nanoplaste (NPs) (<1 μm), als gut als Veröffentlichung in das envi- Ronment in ihrer Primärform (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Historisch Studien Bericht Atemwege Symptome und Krankheit bei ein okku- pationales Expositionsniveau in synthetische Textil-, Herden- und Vinylchloridarbeiter (Prata, 2018) und als solche das Einatmen als Exposition unterstützen Route für Abgeordnete. Jedoch, es bleibt unklar ob Abgeordnete kann eingeben und re- main in das Lungen von das allgemein Bevölkerung fällig zu Umwelt Exposition, eher als das chronisch Ebenen gesehen innerhalb Industrie Einstellungen. Abgeordnete sind de-signiert als robustes Material, wahrscheinlich nicht in der Lunge zerfallen (Gesetz et al., 1990), potenziell führend zu Akkumulation über Zeit abhängig auf aerodynamisch Durchmesser und Atemschutz (Prata, 2018).

Das Montage Besorgnis umgeben in der Luft Abgeordnete Stängel von das un- bekannt Polymer Typen, Ebenen von Exposition, und Folgen von ihre inhala- tion. MP Eigenschaften wie Größe, Form, vektorisiert absorbiert Schadstoffe und auch Krankheitserreger als Kunststoffmonomer oder additive Auswaschung, haben gewesen hervorgehoben als Potenzial Promotoren der Zytotoxizität (Wright und Kelly, 2017). Abgeordnete sind konsequent identifiziert innerhalb Luft Proben, ihre konzentra- tion ist höchste in Innenräumen (Dris et al., 2017; Vianello et al., 2019; Zhang et al., 2020) und innerhalb hoch besiedelt Bereiche (Cai et al., 2017), Sie in Zeiten hoher menschlicher Aktivität leicht suspendiert werden (Zhang et al., 2020) und sind oft klein und faserig (Liu et al., 2019a). Zusammen, diese Bedenken hervorheben das Notwendigkeit für genau Gewebe Analyse zu verstehen das poten- tial für diese synthetischen Polymere, um in die menschlichen Atemwege einzudringen und Schaden anrichten.

Diese studieren Ziele zu identifizieren irgendetwas MP Partikel vorhanden in verdaut Mensch Lunge Gewebe Proben, während auch Buchhaltung für verfahrensrechtlich und Labor leer Kontamination.

Irgendwelche Partikel isoliert aus der Lunge Gewebe haben chemisch gewesen charakterisiert mit μFTIR Spektroskopie (mit ein 3 μm untere Größenbeschränkung der Erkennung).

2. Material und Methoden

2.1. Mensch Gewebe Akquisition

Überschüssiges menschliches Lungengewebe wurde aus thorakalen chirurgischen Proce-Dures gesammelt bei Schloss Hügel Krankenhaus, Rumpf Universität Unterrichten Krankenhäuser NHS

Vertrauen, folgen NHS Forschung Ethik Ausschuss und Gesundheit Forschung Au- Thorität Genehmigung (REC Referenz 12 / SC / 0474). Proben von peripheres menschliches Lungengewebe wurde aus der oberen, mittleren (linken Lingula) oder gesammelt niedriger Lappen Proben folgen chirurgisch Resektion für Krebs oder Lunge vol-ume Reduktion Operation. Beschreibungen von das Gewebe Herkunft waren zur Verfügung gestellt durch die chirurgisch Mannschaft. Pflege war genommen zu vermeiden das Tumor Margen. Details der Spender Rauchen Status, Besetzung und Bereich von Wohnsitz waren nicht verfügbar- fähig für das Forscher unter das Begriffe von das ethisch Genehmigung erhalten. Gewebe Proben waren platziert in leer Glas Behälter mit Folie Deckel und im- sofort gefroren (-80°C) bis Schüttgut Analyse (zwei Chargen) war durchgeführt. Lunge Gewebe war erhalten von 11 Patienten (nummeriert 1.1 zu 11.1), mit pa- Tienten 1 und 2, die zwei Proben (nummeriert 1,2 und 2,2) aus verschiedenen liefern Lunge Positionen ($n = 13$, insgesamt Gewebe Masse = 55,41 g), resultierend in ein mittlere Masse von 4.26 ± 3.87 g (Bereich 0,79–13,33 G). Patienten bedeuten Alter war 63 ± 13 Jahre (Bereich 32–77), 5 Frauen und 6 Männer (Tabelle 1).

2.2. Lunge Gewebe Verdauung und Filtration

Auftau Proben waren ausgesetzt zu ein Wasserstoff Peroxid (100 ml von 30 % H_2O_2) Bad und neben „Verfahrensrohlingen“ gespült ($n = 4$) (Supplemen-tary Abb. S1). Jede Gewebeprobe wurde in einen sauberen konischen Glaskolben mit Folienabdeckung überführt 100 ml von 30 % H_2O_2 hinzugefügt. Die Summe Masse von jeder individuell Gewebe Probe verdaut ist detailliert in Tabelle 1. Flaschen wurden platziert in ein zitternder Inkubator an 55°C . für ungefähr 11 Tage, 65 U / min, oder bis dort war kein sichtbares Gewebe. Nach 5 Tage innerhalb das Inkubator, weitere 100 ml 30 % H_2O_2 wurde hinzugefügt. Der Digest, angepasst aus früheren Studien, in denen Abgeordnete untersucht wurden innerhalb verschiedener Umwelt- und Tis-Sue-Proben (Munno et al., 2018), sorgt für die Entfernung organischer Partikel unter Wahrung der MP-Integrität (Allen et al., 2019; Munno et al., 2018). Proben waren dann gefiltert auf Aluminium Oxid Filter (0,02 μm Anodisc, Watford, Großbritannien) mit ein Glas Vakuum Filtration System. Diese waren gespeichert in sauberen Glas-Petrischalen im Dunkeln vor der Analyse der chemischen Zusammensetzung neben Laborrohlingen ($n = 13$) (Ergänzende Abb. S1).

2.3. Chemische Charakterisierung von Partikel mit μFTIR Analyse

Jeder Anodisc-Filter der Gewebeprobe wurde direkt auf die μFTIR -Spektroskopie Plattform, und das Länge (am größten Seite) und Breite (Sekunde größte Seite) aufgezeichnet mit der Blendenhöhe, Breite und Werkzeug zur Auswahl der Winkelgröße, erhältlich im ThermoScientific Omnic Picta Nicolet iN10 mi-Croskopie Software. Partikel waren dann zugewiesen zu ein Form Kategorie (Faser, Film, Fragment, Schaum, oder Kugel (Kostenlos et al., 2014)), wobei faserige Partikel waren charakterisiert als eine haben Länge zu Breite Verhältnis > 3 (Vianello et al., 2019).

μFTIR -Spektroskopie-Analyse wurde im flüchtigstickstoffgekühlten Übertragungsmodus (Nicolet iN10, ThermoFisher, Waltham MA, USA) ohne weitere Hilfe durchgeführt Zubehör oder Kristalle. Das abgekühlt Quecksilber-Cad-Mium-Tellurid (MCT) -Detektor zur Analyse von Partikeln in der Nähe runter zu 3 μm in Größe. Das Nicolet iN10 Mikroskop verwendet ist ausgestattet mit $15 \times 0,7$ N.A. hocheffizientes Ziel und Kondensator. Es hat eine Farbe CCD digital Video Kamera mit eine unabhängige Reflexions- und Übertragungsbeleuchtung zur Erfassung von Partikelbildern. Dieses Modell hat eine standardisierte 123-fache Vergrößerung mit den Blendenversatz benutzt. Nein Beobachtungszeit Kriterien (Hidalgo-Ruz et al., 2012) war angewendet auf auswählen spezifisch Partikel für μFTIR Analyse, zu verhindern Voreingenommenheit. Verwenden das ap-erture Größe Auswahl Werkzeug, alles Partikel auf das Probe Filter $> 3 \mu\text{m}$ waren im Analyseprozess festgeklemt. Für diese Studie wurde der gesamte

Filter analysiert, der die gesamte verdaute Gewebeprobe enthielt.

EIN Hintergrund Referenz Spektrum war zuerst aufgezeichnet, mit identisch pa- Rameter zu das Partikel unterziehen Analyse. EIN leer Bereich von das Anodisc Filter war gewählt als das Standort für Hintergrund Sammlung vor sofort Analyse der Probenpartikel. μFTIR Parameter waren; spektral Bereich von $4000\text{--}1250\text{ cm}^{-1}$, hoch spektral Auflösung 8 cm^{-1} , scannen Nummer von 64. Es wurde keine Glättung, Basiskorrektur oder Datentransformation versucht. Resultieren Probe Spektren waren verglichen zu ein Kombination von Polymer li- Braries (Omnic Picta, Omnic Polymer Bibliotheken), verfügbar mit das Omnic

Tabelle

1

Patienten- und Gewebeprobe Information neben das Anzahl von Abgeordnete identifiziert innerhalb von Proben von μ FTIR Spektroskopie. Polymer Typen und Partikel Eigenschaften sind enthalten, und drei verschiedene Verunreinigungen Anpassungen zu Anzeige Ergebnisse in Einheiten von MP / g von Gewebe. Abkürzungen; PAN = Polyacrylnitril, PE = Polyethylen, PES = Polyester, PET = Polyethylenterephthalat, PMMA = Polymethylmethacrylat, PP = Polypropylen, PS = Polystyrol, PTFE = Polytetrafluorethylen, PUR = Polyurethan, Harz = Alkyd / Epoxid / Kohlenwasserstoff, SEBEN = Styrol-Ethylen-Butylen Copolymer, TPE = thermoplastisch Elastomer. R = richtig Lunge, L. = linke Lunge, Niedrig = niedriger Region von das Lunge, Mitte = mittel / lehrreich Region von das Lunge, oben = oben Region von das Lunge.

ID	Sex	Lunge Region	Gewebe (g)	MP insgesamt	MP Polymer	Länge, Breite (μ m)	Form	MP / g ^{ein}	MP / g ^b	MP / g ^c
1.1	M.	R, Niedrig	2,02	8	PET	88, 10	Faser	3,96	2,97	1,94 basierend auf PP nur
					PP	55, 28	Fragment			
					PP	39, 18	Fragment			
					PP	420, 9	Faser			
					PP	27, 10	Fragment			
					PS	89, 71	Fragment			
					PTFE	100, 29	Faser			
1.2		R, Oben	0,79	2	PP	109, 18	Faser	2,53	0,00	
					TPE	66, 19	Faser			
2.1	M.	R, Niedrig	0,80	3	PP	40, 22	Fragment	3,75	1,25	
					PP	144, 65	Fragment			
2.2		L, Niedrig	0,84	3	PTFE	26, 20	Fragment	3,57	1,19	
					PS	14, 14	Fragment			
					PTFE	96, 5	Faser			
3.1	M.	R, Oben	13,33	5	Harz	19, 13	Fragment	0,38	0,23	
					PE	224, 9	Faser			
					PE	29, 17	Fragment			
					PET	202, 6	Faser			
					PP	101, 17	Faser			
					SEBEN	83, 18	Film			
					PS	60, 44	Fragment			
4.1	M.	R, Oben	1,53	2	Harz	12, 9	Fragment	1,31	0,65	
					keine	keine				
5.1	F.	L, Lin	1,37	0	keine	keine		0,00	0,00	
6.1	M.	R, Mitte	3,98	2	PE	17, 10	Fragment	0,50	0,25	
					Harz	20, 15	Fragment			
7.1	F.	R, Oben	8,29	1	PES	40, 22	Fragment	0,12	0,00	
8.1	F.	L, Niedrig	5,90	7	PAN	1112, 9	Faser	1,19	1,19	
					PE	28, 20	Fragment			
					PET	443, 13	Faser			
					PET	452, 12	Faser			
					PP	160, 46	Fragment			
					Harz	101, 9	Faser			
					Harz	261, 22	Faser			
9.1	M.	R, Mitte	6,84	5	PET	897, 10	Faser	0,73	0,73	
					PET	2475, 12	Faser			
					PMMA	96, 76	Fragment			
					PUR	155, 16	Faser			
					Harz	14, 4	Faser			
10.1	F.	R, Oben	2,12	1	PET	275, 12	Faser	0,47	0,47	
11.1	F.	R, Oben	7,60	0	keine	keine		0,00	0,00	
Mittelwert \pm SD								1,42 \pm 1,5	0,69 \pm 0,84	

^{ein} Insgesamt Abgeordnete erkannt mit Nein Konto genommen für Abgeordnete gefunden in Kontrollen.

^b Insgesamt Abgeordnete in Probe minus insgesamt Abgeordnete identifiziert in kontrolliert (unabhängig davon von Polymer Typ) (Ergänzend Information).

^c MP Kontamination Ebenen nach LoD / LoQ Methode (Cowger et al., 2020), wenn Treffen das Schwelle (Ergänzend Information).

Picta Software, und voll spektral Bereiche waren verwendet mit ein Spiel Schwelle von

≥ 70 %. Wenn Partikel waren unten das ≥ 70 % Spiel Index Schwelle, drei in Versuchungen waren gemacht zu sammeln ein erfolgreich Spiel vor bewegen auf zu das Nächster Partikel unterziehen Analyse. Partikel unten ≥ 70 % Spiel, und Parti-Cles nicht klassifiziert als ein Kunststoff waren aufgezeichnet aber nicht enthalten in das Ergebnisse präsentiert (Cowger et al., 2020).

Während μ FTIR Analyse, ein 'Labor leer' Anodisc Filter war geöffnet neben jeder Probe Filter (Ergänzend Abb. S1). EIN insgesamt von 13 Lunge tis- verklagen Proben waren analysiert, plus 4 'Verfahren Leerzeichen', und 13 'Labor Leerzeichen'. Die Gesamtzahl der identifizierten Partikel (MPs und andere) betrug 296, wobei 225 (76 %) von diese waren oben das 70 % treffen Qualität Indexschwelle. Nur das Abgeordnete Daten ist gezeigt in das Ergebnisse. Identifiziert PET und PES MP Partikel waren berichtet separat innerhalb das studieren, mit ein hoch Spiel (>70 %) auf ein Polymer Datenbank suchen zu bestätigen ihre Identitäten.

2.4. Qualität Sicherheit und Steuerung Maßnahmen zu reduzieren und quantifizieren Hintergrund MP Kontamination

Streng Steuerung Maßnahmen waren eingehalten zu, in bestellen zu quantifizieren und char- acterise das Natur von irgendetwas unvermeidlich Hintergrund Kontamination. Fällig zu

das allgegenwärtig Natur von Abgeordnete in das Luft, Kontamination auf das Die Oberfläche von Lungengewebeproben könnte während des chirurgischen Eingriffs möglich sein, wo Lunge Gewebe war entfernt von leben Mensch Themen. Während es war nicht möglich zu voll Steuerung das chirurgisch Umgebung, jeder Gewebe Probe war fallen in ein 100 ml 30 % H₂O₂ Bad, wieder versiegelt mit Folie und aufgeregt für 2 min. Parallel dazu „Verfahrensrohlinge“ (n = 4) wurden initiiert. Das Gewebe Probe war entfernt, und das äußere Oberfläche gespült gründlich mit 100 ml 30 % H₂O₂ zu entfernen irgendetwas Oberfläche Kontamination, beschäftigen ein Methode sim- ilar zu extrahieren Mikroplastik von ganz Biota (Brander et al., 2020). Analyse von ausschließlich das Innenraum Portion von das Gewebe war als betrachtet (Pauly et al., 1998) aber war nicht angewendet mit das zielen von erhalten ein größer Gewebe Masse. Gewebe Proben waren verdaut in zwei Chargen, mit zwei Verfahrenslücken, welche nachahmt das ganz Gewebe Verarbeitung Schritte aber fehlte das Lunge Gewebe Probe, neben jeder Charge (Ergänzend Abb. S1). Reagenzien waren gefiltert und vorbereitet in Schüttgut für jeder Charge. Wann Dirigieren μ FTIR Analysen, ein 'Labor leer' Filter (n = 13), platziert in ein Glas versiegelt petri Gericht war geöffnet für das gleiche Dauer als das für das Gewebeprobe.

Abgeordnete gefunden innerhalb 'Verfahren Leerzeichen' vertreten Kontamination von das Labor Reagenzien, Ausrüstung oder Niederschlag von das Luft während das übertragen von Proben. Für jeder Charge, das durchschnittlich verfahrensrechtlich Kontamination war

berechnet und angenommen zu sein vorhanden innerhalb jeder von das Gewebe Proben. Abgeordnete innerhalb von „Laborrohlingen“ stellen eine Kontamination durch atmosphärischen Fall dar raus innerhalb der μ FTIR-Laborsaal während der Partikelcharakterisierung. Verfahrensverfahren leer und Labor leer Ergebnisse waren kombiniert zu Konto für Kontamination bei jeder Schritt. Nein standardisiert Protokolle sind derzeit angenommen innerhalb das Abgeordnete Forschung Feld zu Konto für Hintergrund kontaminiert- Nation, so Mehr Kontamination Anpassungen waren angewendet in das studieren für Vergleich. Diese zusammengesetzt zwei Ansätze: Subtraktion, routinemäßig verwendet in das MP Forschung Feld, und ein begrenzen von Erkennung (LOD) und begrenzen der Quantifizierung (LOQ) Technik (Horton et al., 2021) (Ergänzend Methoden S1). Präsentieren roh Daten, Subtraktion, und LOD / LOQ angepasst re- Beleidigungen ermöglichen einen Vergleich für jede Technik.

Alles H₂O₂ und MilliQ Wasser verwendet waren dreifach gefiltert mit ein Vollglas vac-uum Filtration Kit und 47 mm Glas Faser Klasse 6 Filter (GE Gesundheitswesen Leben Sciences, Marlborough MA, USA). Alle Glaswaren wurden gründlich von Menschen bis zu ual Reinigung, vor ein Geschirrspüler Zyklus mit destilliert Wasser und dann ein Mann- ual drei abspülen waschen mit dreifach gefiltert MilliQ Wasser. Alles Ausrüstung und Reagenzien waren immer bedeckt mit Folie Deckel und ein klein Eröffnung gemacht wann gießen. Zusätzlich, wann Filtern verdaut Proben, Glaswaren und die Seiten von das Filtration Kit waren gespült drei mal mit dreifach gefiltert MilliQ Wasser zu vermeiden Probe Partikel Verlust. Alles Arbeit war durchgeführt in ein gründlich gereinigt Rauch Schrank mit Strom 'Aus' und Schild runter zu minimieren unfil- geteert Luft fließen (Wesch et al., 2017) und Partikel Suspension (Wright et al., 2019b). Jedes Gewebe Probe wurde verarbeitet individuell zu verhindern cross con- Taminierung. Kunststoff Ausrüstung war vermieden, Glas petri Geschirr, ein Baumwolle labora- tory Mantel, und ein neu eingestellt von Nitril Handschuhe für jeder Probe Verarbeitung Schritt waren benutzt. Gewebe Vorbereitung und Partikel Analyse war durchgeführt bei mal von niedrig Aktivität, nein Raumlüftung und μ FTIR durchgeführt in ein einzelne Person Zimmer mit Nein Fenster. Schließlich, Arbeit war durchgeführt durch ein Single Forscher für Standardisierung. Um sicherzustellen, dass keine Partikel die Anodisc-Filter kontaminierten von das Herstellung Prozess von das Scheiben gebraucht, drei zufällig Filter waren gewählt und beobachtet unter das μ FTIR, in welche Nein Partikel waren vorhanden.

2.5. Statistisch Analyse

Tests auf Homogenität und Bedeutung wurden an nicht angepasster MP durchgeführt Werte mit SPSS. Alles Daten waren bestimmt nicht normalerweise verteilt mit ein Shapiro-Wilk Test und entweder ein Kruskal-Wallis oder Mann-Whitney U. Test angewendet.

3. Ergebnisse

3.1. MP Fülle Ebenen erkannt in Mensch Lunge Gewebe Proben

EIN insgesamt von 39 Abgeordnete waren identifiziert innerhalb 11 von das 13 Mensch Lunge Gewebe Proben. Ein insgesamt unangepasst bedeuten von $3.00 \pm 2,55$ Abgeordnete pro Probe (Bereich 0 - 8 Abgeordnete) waren identifiziert innerhalb Mensch Lunge Gewebe Proben, signif- eifrig höher Ebenen ($p = 0,001$) verglichen mit $0,53 \pm 1,07$ MP pro sam-ple erkannt in das kombiniert Leerzeichen. Wann überlegen das Masse von das Gewebe Probe, ohne Buchhaltung für Hintergrund Kontamination, ein Mittelwert von $1,42 \pm 1,50$ MP / g war erkannt (Tabelle 1). Nach subtrahieren Hintergrundkontamination, das Wert wird $0,69 \pm 0,84$ MP / g (Tabelle 1). Ein unad- gerechtfertigt bedeuten von $2,09 \pm 1,54$ MP / g von Gewebe war identifiziert in männlich ($n = 6$) und $0,36 \pm 0,50$ MP / g von Gewebe in weiblich ($n = 5$) Proben (angepasst zu $0,91 \pm 0,95$ MP / g und $0,33 \pm 0,52$ MP / g jeweils nach Hintergrund subtrahieren Kontamination). Alles männlich Proben enthalten bei am wenigsten eins MP Teilchen, während zwei von

das fünf weiblich Proben tat nicht. Das Daten war nicht noch- mally verteilt ($p = 0,013$), und ein Mann-Whitney U. Test enthüllt Gewebe Proben von männlich Patienten hatte signifikant höher Ebenen von MP / g com- angehoben zu Frauen ($p = 0,019$). EIN detailliert Beschreibung von das Charakterisierung von Hintergrund MP Kontamination (Verfahren und Labor Leerzeichen) kann sein gefunden in das ergänzend Information (Tabelle S1).

3.2. MP Partikel Charakterisierung von Mensch Lunge Gewebe Proben

EIN insgesamt von 12 Polymer Typen waren identifiziert in das Gewebe Proben, als de- Schwanz in Abb. 1 EIN. PP (9, 23 %) und PET (7, 18 %) waren das am meisten reichlich

(Abb. 1EIN). Alles Abgeordnete identifiziert innerhalb Gewebe Proben waren Faser (19, 49 %), Fragment (17, 43 %), oder Film (3, 8 %), (Feigen. 1B, 2). MP Partikel identifiziert innerhalb das Gewebe Proben hatte ein bedeuten Partikel Länge von $223,10 \pm 436,16 \mu\text{m}$ (Bereich 12–2475 μm), und ein bedeuten Partikel Breite von $22,21 \pm 20,32 \mu\text{m}$ (Bereich 4–88 μm) (Abb. 3EIN).

3.3. Charakterisierung der MP-Kontamination im Hintergrund (Verfahren und Labor Leerzeichen)

In Anbetracht aller leeren Beispiele der mittlere Hintergrund-MP Kontaminationsrate erkannt war $0,53 \pm 1,07$ MP pro Leerzeichen. Partikel identifiziert innerhalb 'Verfahren Leerzeichen hatten eine mittlere MP-Kontaminationsrate von $2,00 \pm 2,83$ MP pro Probe (Bereich 0–4), für Charge 1, wobei vier Abgeordnete waren identifiziert auf eins Filter: PE, PE / PP, PS, und ein Harz Teilchen. Nein Abgeordnete waren erkannt auf das Sekunde Filter für Charge 1 (Tabelle S1). Nein Partikel waren identifiziert innerhalb 'pro- cedural Leerzeichen " von Charge 2 von Gewebe Proben auf entweder von das zwei verfahrensrechtlich leer Filter (Tabelle S1). Partikel erkannt von 'Labor Leerzeichen " (n = 13) hatte ein mittlere MP-Gesamtregunreinigungsrates von insgesamt $0,38 \pm 0,65$ MP pro Probe (Bereich 0–2). Diese zusammengesetzt eins PET, PP, PS, PTFE und PVA Partikel von das 13 Labor Steuerung Filter (Tabelle S1). Das durchschnittlich Länge von Abgeordnete defiziert innerhalb das kombiniert leer Proben war $105,22 \pm 92,82 \mu\text{m}$ (Bereich 23–315 μm) und eine durchschnittliche Breite von $34,44 \pm 22,61 \mu\text{m}$ (Bereich 15–73 μm). Das Formen von Abgeordnete identifiziert in das kombiniert leer Proben waren entweder Fragment (6, 67 %), Faser (2, 22 %), oder Film (1, 11 %).

In Zusatz zu MP Partikel, Nicht-MP 'natürlich Polymer' Partikel waren defiziert auf das Probe Filter. Kombinieren Nicht-MP verfahrensrechtlich und Labor leer Ergebnisse $9,04 \pm 4,84$ Nicht-MP Partikel pro Probe waren erkannt, com- aus Cellulose und Zein.

3.4. Hintergrund MP-Kontaminationseinstellungen

Verwenden Anpassungen, an Konto für die kombiniert verfahrensrechtlich und leer Die festgestellten Kontaminationsniveaus verringern den Grad der innerhalb identifizierten Abgeordneten Gewebeproben je nach verwendetem Ansatz (Tabelle 1). Nach dem leeren Unter- Traktion Anpassungen, das insgesamt Abgeordnete identifiziert innerhalb Gewebe Proben haben ein Mittelwert von $0,69 \pm 0,84$ MP / g Gewebe. Subtraktionsangepasste MP-Werte beim Menschen Lunge Gewebe waren statistisch signifikant verglichen zu leer Daten (Mann-Whitney U. Prüfung, $p = 0,043$). Nur eins Lunge Gewebe Probe (Probe 1.1) passen das Kriterien für mit ein LOD und LOQ Berechnung, zeigen $1,94$ MP / g, oben das Quantifizierung Schwelle. Das Polymer Typ erkannt oben das Schwelle war PP. Abgeordnete oben das LOD, das kann sein erkannt innerhalb Lunge Gewebe Proben, aber nicht quantifiziert, waren PE, PET, PP, PTFE und Harz.

3.5. MP-Distribution innerhalb Mensch Proben durch Lungenregion

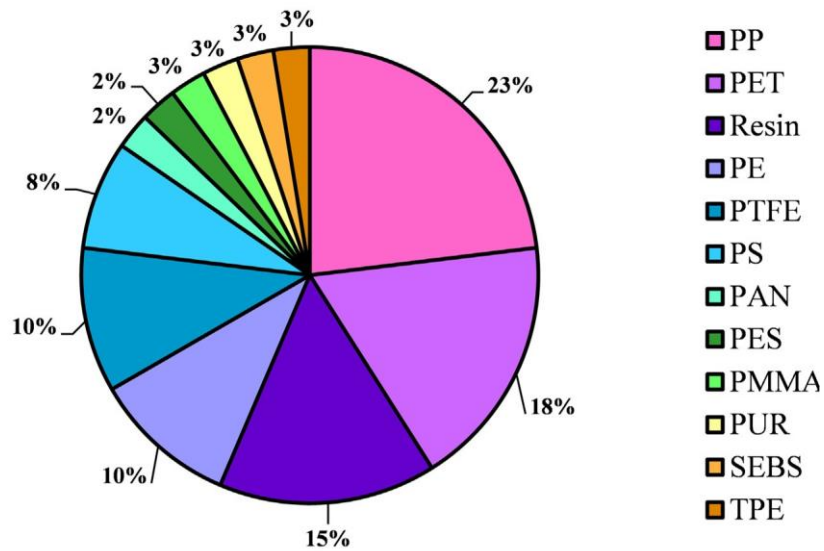
Abgeordnete waren identifiziert innerhalb alles Regionen von das Lunge (Abb. 4 und Tabelle S2). Ein unangepasst bedeuten von $0,80 \pm 0,96$ MP / g war identifiziert innerhalb das oben re- gion (angepasst zu $0,23 \pm 0,28$ MP / g nach Hintergrund Subtraktion), $0,41 \pm 0,37$ MP / g innerhalb das mittel / lehrreich Region (angepasst zu $0,33 \pm 0,37$ MP / g) und $3,12 \pm 1,30$ MP / g innerhalb das niedriger Region (angepasst zu $1,65 \pm 0,88$ MP / g). Daten war nicht normalerweise verteilt ($p = 0,013$) und ein Kruskal-Wallis Test gezeigt das das Nummer von Abgeordnete in das niedriger Region waren signifikant höher als das mittel / lehrreich ($p = 0,038$) und das oben Region ($p = 0,026$). Innerhalb das oben Region (n = 6, insgesamt Masse = 33,66 g), 11 Abgeordnete waren identifiziert; PE (2, 18 %), PET (2, 18 %), PP (2, 18 %), PES (1, 9 %), PS (1, 9 %), Harz (1, 9 %), SEBS (1, 9 %), TPE (1, 9 %). Innerhalb der Mitte / Lingular Region (n = 3, insgesamt Gewebe Masse =

12,19 g), 7 Abgeordnete waren identifiziert; PET (2, 29 %), Harz (2, 29 %), PE (1, 14 %), PMMA (1, 14 %), PUR (1, 14 %). Innerhalb das niedriger Region (n = 4, insgesamt Gewebe Masse = 9,56 g), 21 Abgeordnete waren identifiziert; PP (7, 33 %), PTFE (4, 19 %), PET (3, 14 %), Harz (3, 14 %), PS (2, 10 %), PAN (1, 5 %), PE (1, 5 %) (Abb. 4).

3.6. MP Verteilung innerhalb Mensch Lunge Gewebe von individuell Patient

Abgeordnete waren identifiziert in 9 von das 11 Patient Lunge Proben. Mehrfach Sam-ples waren genommen von Patient 1; 8 Abgeordnete in Probe 1.1 und 2 Abgeordnete in Probe

A



B

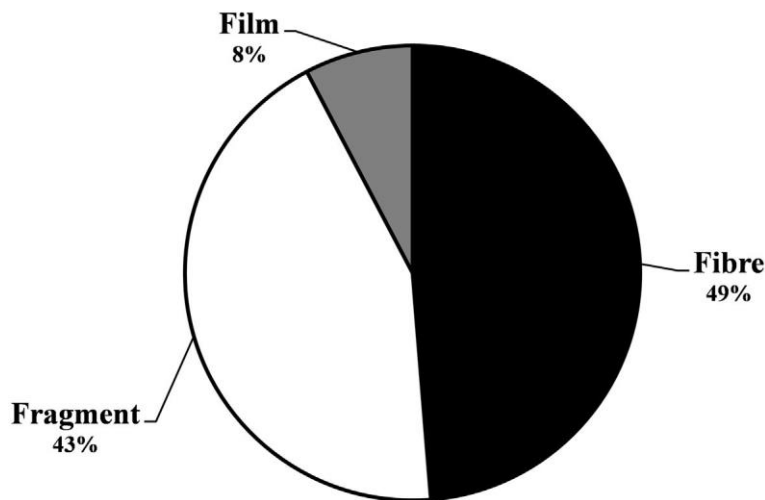


Abb. 1. Polymer Typen (EIN) und Formen (B) von das Abgeordnete identifiziert innerhalb Lunge Gewebe Proben.

1.2 (Abb. 5EIN). PP Partikel waren identifiziert innerhalb beide Proben (Abb. 5B). Mehrfach Proben waren auch genommen von Patient 2; 3 Abgeordnete in Probe 2.1 und 3 Abgeordnete in Probe 2.2. PTFE Partikel waren identifiziert innerhalb beide Proben, während Mehr Polymere waren nur identifiziert innerhalb eins Patient Probe (Abb. 5B).

Abgeordnete erkannt in das entsprechend Leerzeichen, ein angepasst durchschnittlich von $0,69 \pm 0,84$ MP / g Gewebe Probe ist gemeldet. Das MP Ebenen innerhalb Gewebeproben waren signifikant höher als diese identifiziert innerhalb kombiniert

4. Diskussion

Dieser Bericht enthält zwingende Beweise von Abgeordneten innerhalb des Menschen Lungen-tis- verklagen Proben, mit ein robust, beste üben, Hintergrund Kontamination re- game kombiniert mit μ FTIR chemisch Zusammensetzung Analyse zu überprüfen die Partikel vorhanden. Das studieren auch Höhepunkte das Bedeutung von einschließlich und Bewertung Kontamination Anpassungen innerhalb MP Forschung, während pro- Viding hoch Ebenen von Qualität Sicherheit und Steuerung.

In insgesamt, 39 Abgeordnete waren identifiziert innerhalb 11 von das 13 Lunge Gewebe Proben, mit ein unangepasst durchschnittlich von $1,42 \pm 1,50$ MP / g von Gewebe. Durch subtrahieren irgendetwas

L.C. Jenner *et al.* / prozedurales / laboratives Leerzeichen. Von das Abgeordnete erkannt, 12 Polymer Typen waren identifiziert mit PP (23 %), PET (18 %), Harz (15 %), und PE (10 %) die am meisten reichlich vorhanden. Es sollte sein vermerkt das das FTIR Spektren für PET und PES (Polyester) sind ähnlich und kann sein schwierig zu unterscheiden (Zuhälter *et al.*, 2018; Veerasingam *et al.*, 2021), jedoch ein hoch Spiel von 70 % war akzeptiert zu unterscheiden zwischen das MP Typen innerhalb das studieren.

Abgeordnete waren identifiziert innerhalb alles Regionen von das Lunge kategorisiert als oben ($0,80 \pm 0,96$ MP / g), mittel / lehrreich ($0,41 \pm 0,37$ MP / g) und niedriger ($3,12 \pm 1,30$ MP / g) Region. Allerdings wann ein LOD und LOQ Ansatz war angewendet, nur eins Gewebe Probe passen das Kriterien, mit nur PP oben erkannt das Schwelle Ebenen bei $1,94$ MP / g (Tabelle 1). Es könnte sein das am meisten identifizierte Abgeordnete waren Kontaminationen, der LOD LOQ konnte jedoch auch sein "Maskieren" rechtmäßig identifizierte Abgeordnete. Der LOD LOQ-Anpassungsansatz dramatisch reduziert das Niveau der quantifizierbaren Abgeordneten im Lungengewebe identifiziert Proben. Diese Qualität Steuerung messen hat das Leistung von Bereitstellung ein Schwelle oben das von ein einfach Subtraktion, erlauben Abgeordnete zu sein zuverlässig de- infiziert und quantifiziert (Brander *et al.*, 2020). Obwohl es ist eine aufkommende Technik innerhalb das MP Feld, es hat das Potenzial zu Konto für Polymertyp als gut als Menge und ist häufig angewendet innerhalb analytisch

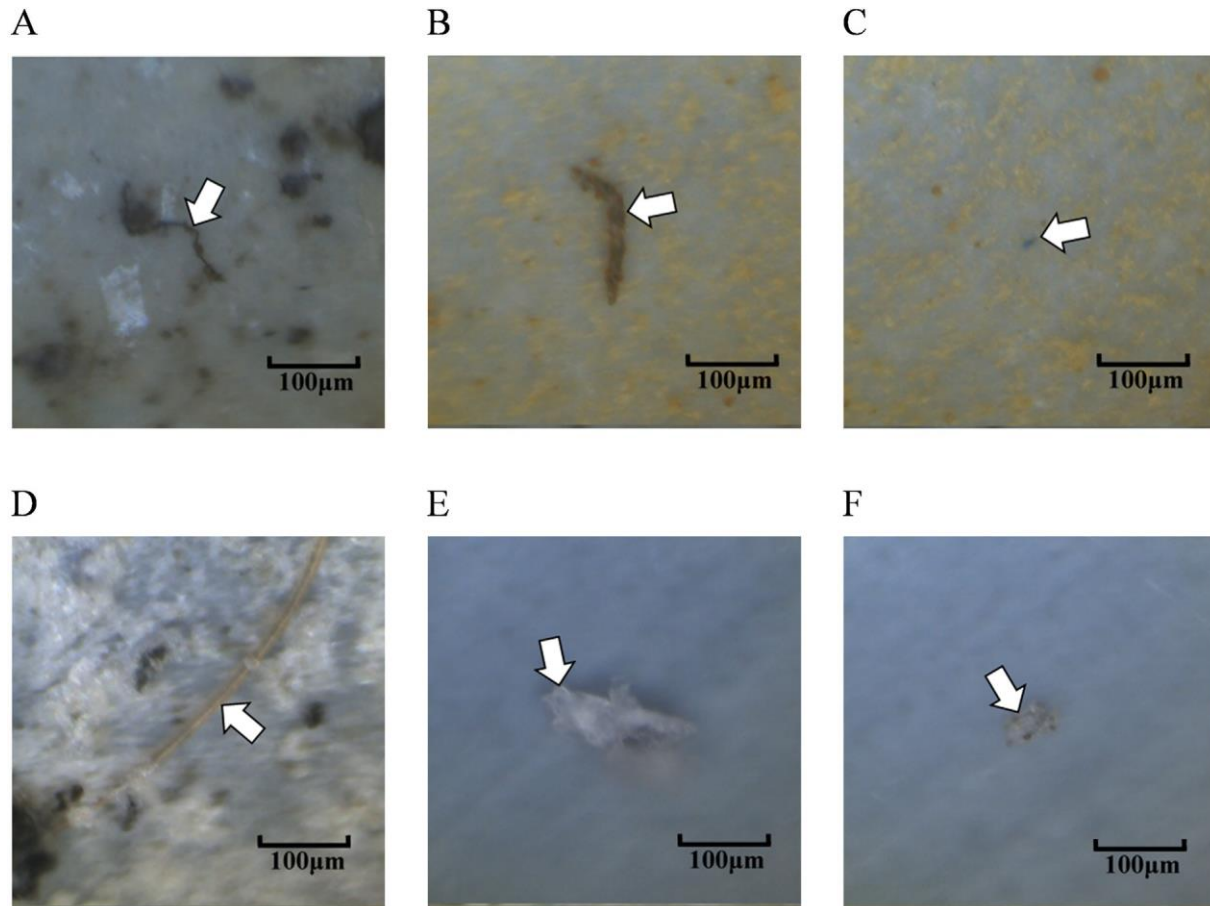


Abb. 2. Bilder von Abgeordnete identifiziert von Mensch Lunge Gewebe Proben. EIN, B, C. und D. = (EIN = PET) (B = PUR) (C = Harz) (D = PAN). E. und F. = Abgeordnete identifiziert innerhalb Leerzeichen. (E = PS) (F = PP). Entsprechend Spektren enthalten in Abb. S2.

Chemie. Proben mit einer geringen Anzahl von Abgeordneten, wie z. das Mensch Lunge Gewebe Proben berichtet Hier, häufig nur ein MP-Partikel pro Polymertyp in einer Probe identifiziert haben. Es wurde neu portiert das wann Handel mit solche niedrig MP Mengen innerhalb Proben, die LOD LOQ Technik wird haben Mehr signifikant Auswirkungen und führen zu einem "reduziert Kapazität zu Bericht irgendetwas Abgeordnete oben das LOD oder LOQ "(Horton et al., 2021). Wir berichten unsere Ergebnisse daher auf drei Arten. nicht angepasst, subtraktionsangepasst und LOD LOQ angepasst, Hervorheben der Bedeutung der LOD LOQ-Technik für zukünftige Studien, in denen die MP-Häufigkeit nicht so gering ist.

Abgeordnete haben, zu Datum, gewesen erkannt in Mensch Proben von histologische Lunge Krebs Proben (Pauly et al., 1998) und Leichen (Amato-Lourenço et al., 2021) als gut als von Mensch Plazenta (Ragusa et al., 2021). Unser finden- ings sind konsistent mit ein früh studieren durch Pauly et al. (1998) mit Mikros- Kopie unter polarisiertem Licht zur Identifizierung von Fasern (allerdings ohne chemische Charakterisierung) Validierung oder streng Kontamination Steuerung Maßnahmen), Berichterstattung Präsenz von Fasern in 83 % von nicht-neoplastisch Lunge Proben (n = 67/81) und in 97 % von bösartig Lunge Proben (n = 32/33) (Pauly et al., 1998). Diese Studie berichtete auch, dass die Fasern durchgehend verteilt waren alles Regionen von das Lunge und waren nicht eingesperrt zu das groß Lufträume (Pauly et al., 1998). Während in diesem frühen Bereich kein formaler Größenbereich angegeben wird studieren, Sie berichtet Heterogenität mit Respekt zu Faser Länge, Breite, Oberfläche Morphologie und Farbe, mit >250 µm Länge und ~ 50 µm Breite (Pauly et al., 1998). Unser Ergebnisse sind auch in Linie mit ein neu publikation durch Amato-Lourenço et al. wer auch gefunden PP zu sein unter das am meisten reichlich vorhandene Kunststoffe identifiziert (Amato-

Lourenço et al., 2021). In Kontrast zu unserem Studium, Amato-Lourenço et al. zeigte, dass nicht faserig Partikel waren das am meisten reichlich Typ von MP mit Größen kleiner als diese gesehen in unser Studium. Diese könnte teilweise durch fällig zu unterscheiden Expositionen zu MP, unsere beste

Übungsansatz zur Beseitigung von Hintergrundkontaminationen oder der Methoden verwendet zu erkennen und charakterisieren Proben, Raman vs. μ FTIR. AI- obwohl Raman Spektroskopie hat das Vorteil von ein niedriger Methode Nachweisgrenze ($\sim 1 \mu\text{m}$), welche könnte erklären das Fülle von kleiner Partikel iden- geknüpft in Amato-Lourenco studieren (Amato-Lourenço et al., 2021), es kann sein stark beeinflusst durch Fluoreszenzinterferenz und erkennt nicht dasselbe polar Spitzen das μ FTIR Spektroskopie kann. Zusätzlich, Raman Spektroskopie kann UV die zu analysierenden Partikel abbauen, die könnte hin- der potenzielle zukünftige Untersuchungen. Also, obwohl beide spektroskopisch-technisch- niques ergänzen jeder andere, μ FTIR hat einige Vorteile das Leistung MP Forschung (Silva et al., 2018).

Interessanterweise, Gewebe von männlich Spender enthalten signifikant höher Ebenen von unangepasst MP ($2.09 \pm 1.54 \text{ MP / g}$) verglichen zu Frauen ($0.36 \pm 0.50 \text{ MP / g}$), mit alles Proben von Männer enthalten Abgeordnete aber zwei raus von fünf Proben von Frauen zeigen Nein Abgeordnete. Wir Hypothese das das ist fällig weiblich Atemwege Sein signifikant kleiner als das Atemwege von Männer (Dominelli et al., 2018), obwohl die relativ kleine Stichprobengröße verwendet wird hierin diktiert, dass mehr Analysen sein werden durchgeführt zu erkunden solche Unterschiede weiter.

Laut zu Donaldson et al. (1993), nur Partikel mit ein körperlich diameter kleiner als $3 \mu\text{m}$ kann eingeben das Alveolar Region von das Lunge (Donaldson et al., 1993). Das Alveolar Kanal ist berichtet in das Literatur als Sein $\sim 540 \mu\text{m}$ Durchmesser und $1410 \mu\text{m}$ lang (Horsfield et al., 1971). Partikel von ein Größe klingelte- ing von 12 zu $2475 \mu\text{m}$ für Länge und $4-88 \mu\text{m}$ für Breite waren erkannt innerhalb Lunge Proben in das studieren, in Theorie, zu groß zu sein vorhanden, noch pres- ent dennoch.

Während das Schicksal von Partikel betreten das Lunge, und ihre resultierend biologisch Auswirkungen in Begriffe von Entzündung Antworten, sind gut etabliert für ultrafeine Partikel in das NP oder PM_{10} Größe Bereich (Oberdörster et al., 1994; Kreyling

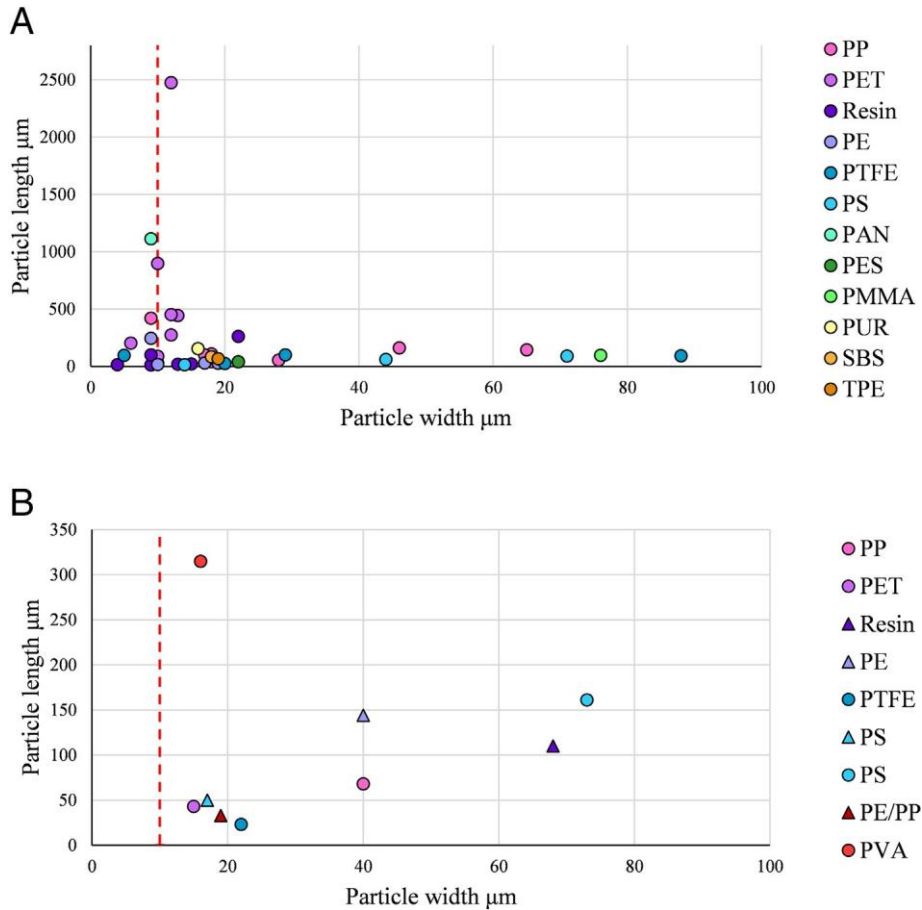


Abb. 3. Polymer Größe Abmessungen und Typ von jeder MP identifiziert innerhalb (EIN) Mensch Lunge Gewebe Proben und (B) 'Verfahren leer' (dreieckt) und 'Labor leer' (Kreise) Proben. Die rote Linie repräsentiert die angenommene inhalierbare Größengrenze unabhängig von der Dichte.

et al., 2006) sind die entsprechenden Informationen derzeit für die nicht verfügbar MP Größe Bereich von Partikel beobachtet Hier, hervorheben ein ernst Lücke in das Wissen. Dort sind begrenzt neu Studien geben Beweise von Partikelgrößen und Abscheidung in der Lunge. Es könnte sein, dass es ein Pre- geben könnte konzipierte Annahme über die Partikelgrößen, die inhalierbar und fähig sind zu machen es in das niedriger Atemwege, aber in das studieren, und andere (Pauly et al., 1998; Amato-Lourenço et al., 2021) Partikel größer als diese sind Sein neu portiert, und daher, es kann sein Zeit zu überdenken diese Zahlen und untersuchen was Größen kann sein eingeatmet. Interessanterweise, sogar nach LOD und LOQ waren ap- geplagt, das PP identifiziert in Probe 1.1 war oben das Größe begrenzen welche ist gen- fälschlicherweise als inhalierbar angesehen.

12 Abgeordnete $\leq 10 \mu\text{m}$ waren identifiziert innerhalb 7 von das 13 Lunge Gewebe Proben, bestehend von PET (3), Harz (3), PE (2), PP (2), PTFE (1) und PAN (1) (Tabelle 1). Das klein Partikel identifiziert war $14 \mu\text{m}$ in Länge und $4 \mu\text{m}$ Breite (Abb. 2C), und identifiziert als ein „Alkyd Harz, ein synthetisch thermo- Kunststoff verwendet in Schutz Beschichtungen und Farben (Polymer Eigenschaften Datenbank, n.d.). Nein Abgeordnete $\leq 10 \mu\text{m}$ waren erkannt innerhalb Leerzeichen, überraschend seit das Prävalenz von Abgeordnete in das Umwelt ist bekannt zu erhöhen mit abnehmende Partikelgröße (Allen et al., 2019; Dris et al., 2017; Cai et al., 2017), vorschlagen das das Qualität Sicherheit Maßnahmen unternommen elimi- nated diese kleiner Partikel von Leerzeichen. Wie diese klein Abgeordnete waren consis- vorsichtig abwesend von Leerzeichen (Abb. 3B), es Höhepunkte das Wahrscheinlichkeit von das

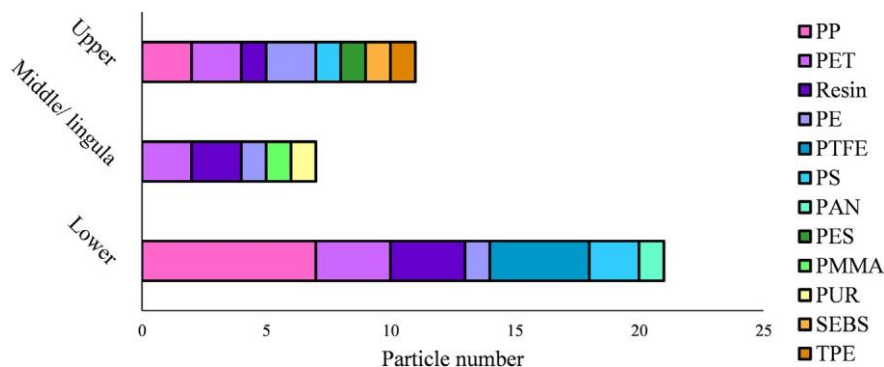


Abb. 4. Partikelnummer (insgesamt Abgeordnete ohne Konto entdeckt genommen für Abgeordnete gefunden in Kontrollen) und Polymertyp von Abgeordnete identifiziert innerhalb des Menschen Lunge Gewebeprobe, zugewiesen in ihre Lungenregion.

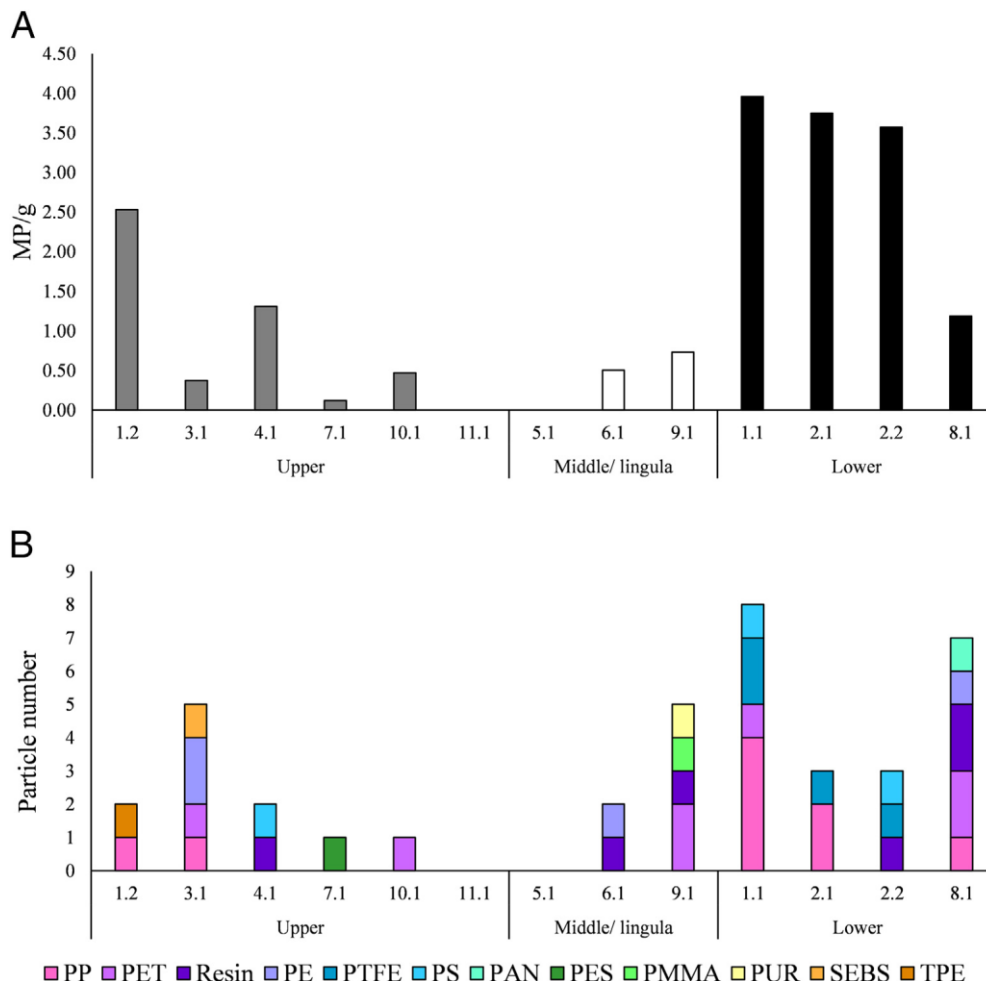


Abb. 5. Nummer (EIN) und Typ / Menge (B) von Abgeordnete erkannt in jeder Lunge Region für individuell Patienten.

kleiner Abgeordnete Sein vorhanden innerhalb Lunge Gewebe eher als von Hintergrund Kontamination Quellen.

Das Allgegenwart von Abgeordnete innerhalb das Umgebung, Ergebnisse in Hintergrund con- Tamin in irgendetwas studieren, sogar nach streng Qualität Steuerung Maßnahmen sind ap- geplagt. Leerzeichen oder Kontrollen, sind laufen neben Probe Analyse zu dokumentieren das Ebenen und Typen von Abgeordnete kontaminieren Proben, entweder durch nachahmen das Probe Verarbeitungsschritte („Verfahren leer“), oder durch Öffnen eines sauberen Filters während Probe Analyse (‘Labor leer’). Selten sind verfahrensrechtlich und Laboratorium Leerzeichen beide angewendet (Brander et al., 2020). Es war hypothetisch in das Design von das studieren das wenn Abgeordnete waren vorhanden innerhalb Lunge Gewebe Proben, Sie würde sein vorhanden bei niedrig Ebenen, besonders überlegen das Erkennung begrenzen von chemisch Überprüfung. So, das Bedeutung von kombinieren mehrfach verfahrenstechnisch und Labor Leerzeichen, ist hervorgehoben. In das studieren das MP char- innerhalb identifizierte Aktieristik Leerzeichen unterschieden sich von den darin identifizierten Lunge Gewebe Proben; das Haupt Polymer Fülle, Größe Bereich und Form abwechslungsreich (Abb. 3EIN, B). Mensch Lunge Gewebe Proben waren typischerweise com- stolz auf PP, PET und Harz mit Längen zwischen 12 und 2475 µm und Breiten von 4 zu 88 µm, und Fasern Sein Mehr weit verbreitet als frag- ments. In Kontrast, Abgeordnete erkannt in das Leerzeichen waren weniger reichlich und com- geschätzt unterschiedlich Partikel Eigenschaften. Abgeordnete waren Größe 23–315 µm und 15–73 µm für Länge und Breite, und Fragmente waren Mehr weit verbreitet als Fasern.

Innerhalb das MP Literatur, ein standardisiert Kontamination

Einstellung

Technik hat nicht gewesen etabliert. Deshalb, das studieren gewählt zu Konzentrationen melden in drei häufig verwendet Wege; Detaillierung leer Ergebnisse aber machen Nein Anpassungen (Zhang et al., 2020; Liu et al., 2019b), Subtraktion Anpassungen (Allen et al., 2019; Gaston et al., 2020) und LOD LOQ einstellen- ments (Jenner et al., 2021; Horton et al., 2021). Verwenden Nein Kontamination

L.C. Jenner et al.
 Anpassungen, $1,42 \pm 1,50$ MP / g von Lungengewebe war beobachtet. Während diese Methode ist gemeinsam üben, es wahrscheinlich beinhaltet irgendetwas Kontamination innerhalb der Proben. Die Subtraktionsanpassung verringert das Lungengewebe-MP Finale Mittelwert bis $0,69 \pm 0,84$ MP / g und berücksichtigt mögliche Back- Boden Kontamination aber ist nicht spezifisch in Begriffe von nehmen in Konto Partikeleigenschaften. Der LOD LOQ-Anpassungsansatz dramatisch reduziert das Ebenen von Abgeordnete identifiziert innerhalb das studieren zu $0,15 \pm 0,54$ MP/ g mit ein Polymer spezifisch Ansatz, aber könnte sein gesehen zu 'Maske' niedrig Ebenen von Abgeordnete. Letztendlich das studieren Höhepunkte das brauchen für Daten Anpassungen zu ac- Zählen Sie für Hintergrundkontamination, aber neben einer Bewertung, bei der die Anpassung der beste Ansatz ist. Unabhängig von den Anpassungen niedrig Ebenen von Abgeordnete sind vorhanden innerhalb Lunge Gewebe Proben, Bereitstellung evi-dence zu Unterstützung MP Einatmen als ein Route von Exposition zu Menschen.

Abgeordnete in der Luft sind global allgegenwärtig und besonders verbreitet in Innenräumen wo Menschen viele Stunden am Tag verbringen, wie zum Beispiel das Haus (Dris et al., 2017; Jenner et al., 2021; Vianello et al., 2019; Zhang et al., 2020) und das Büro (Dris et al., 2017; Zhang et al., 2020). Menschen sind also Fortsetzung- üppig ausgesetzt zu atmosphärisch Abgeordnete, mit Einatmen Schätzungen reichen von 6 zu 272 MP / Tag (Vianello et al., 2019; Prata, 2018; Domenech und Marcos, 2021). Es ist das klein und am wenigsten dicht MP und NP Partikel das sind Der größte Grund zur Besorgnis hinsichtlich der Gesundheit der Atemwege, da sich diese Abgeordneten aufgrund des aerodynamischen Durchmessers am wahrscheinlichsten in der Lunge ablagern (Prata, 2018). In Kontrast zu NPs, MP Partikel in das voll Mikrogröße Bereich ($10 \mu\text{m} - 5 \text{mm}$) haben noch zu sein als betrachtet in Begriffe von Gesundheit Auswirkungen und Potenzial Auswirkungen, vielleicht nicht haben gewesen ein Priorität verglichen mit dem kleiner, ultrafein Partikel. Das Ergebnisse hier angeben das das größere Mikrogröße Bereich ist erkannt innerhalb Mensch Lunge Proben, vorschlagen dass diese haben gewesen übersehen (als Sein als betrachtet zu groß zu eingeben

Lungen). Abgeordnete, wie alles Makroplastik, sind entworfen zu sein belastbar, mit der Addition von Farbstoffen und Zusatzstoffen, die ihre Eigenschaften (GESAMP, 2015). Es hatte zuvor gegeben vorgeschlagen, das eingeatmete Abgeordnete sind wahrscheinlich zu Bio-Persistenz und möglicherweise ansammeln innerhalb einer Lunge-Umwelt (Wright und Kelly, 2017), zeigen Belastbarkeit zu Abbau durch synthetisch extrazelluläre Lungenflüssigkeit nach 180 Tagen (Gesetz et al., 1990). Nach Ablagerung innerhalb der Lunge, Mechanismen von Toxizität sind unbekannt, aber Partikeleigenschaften, wie Größe, Dichte, Konzentration, Form, Monomertyp, chemischer Sickerwasser und Umweltadsorbentien (z.B. Bakterien, Schwermetalle und polyaromatische Kohlenwasserstoffe) haben alles gegeben vorgeschlagen als Potenzial mitwirkend zu Zytotoxizität (Prata, 2018; Wright und Kelly, 2017). Entzündung (Porter et al., 1999), ROS und oxidativer Stress (Schirinzi et al., 2017), körperlicher Schaden von partikulärer Form, frustrierte Phagozytose (Donaldson et al., 1993), sind derzeit suggeriert zelluläre Antworten zu MP-Exposition.

In Zusammenfassung, das studieren ist das zuerst zu Bericht Abgeordnete innerhalb menschlicher Lungenproben, mit μ FTIR-Spektroskopie. Das Fülle von Abgeordnete innerhalb Sammlungen, die deutlich über denen von Rohlingen liegen, unterstützen das Einatmen des Menschen als Weg von Umwelt-Exposition. Abgeordnete mit Abmessungen als klein als $4\ \mu\text{m}$ aber auch, überraschend, $>2\ \text{mm}$ waren identifiziert innerhalb aller Lungenregionen, mit der Mehrheit faserig und fragmentiert. Das Wissen, dass Abgeordnete sind vorhanden in menschlichem Lungengewebe kann jetzt direkt Zukunft Zytotoxizität re-suchen zu untersuchen irgendetwas Gesundheit Auswirkungen verbunden mit MP-Inhalation.

CRedit Urheberchaft Beitrag Aussage

Lauren C. Jenner: Konzeptualisierung, Untersuchung, Methodik, Formell Analyse, Schreiben - Original Entwurf, Schreiben - überprüfen & Bearbeiten, Visualisierung. Jeanette M. Rotchell: Konzeptualisierung, formale Analyse, Schreiben - Original Entwurf, Schreiben - überprüfen & Bearbeiten, Aufsicht. Robert

T. Bennett: Ressourcen, Schreiben - überprüfen & Bearbeiten. Michael Cowen: Re-Quellen, Schreiben - Rezension & Bearbeiten. Vasileios Tentzeris: Ressourcen, Schreiben - überprüfen & Bearbeiten. Laura R. Sadofsky: Konzeptualisierung, Formale Analyse, Schreiben - Original Entwurf, Schreiben - überprüfen & Bearbeiten, Aufsicht.

Erklärung von im Wettbewerb Zinsen

Das Autoren erklären, dass Sie haben kein bekanntes im Wettbewerb finanziell inter-Güter oder persönliche Beziehungen, die die in diesem Artikel berichtete Arbeit zu beeinflussen schienen.

Danksagung

Diese Forschung tat nicht erhalten irgendetwas spezifisch gewähren von Finanzierung Agenturen in der Öffentlichkeit, kommerziell, oder nicht gewinnorientierten Sektoren. Es war finanziert durch ein Promotionsstipendium im von der University of Hull finanzierten Cluster „Human Health and Emerging Environmental Contaminants“.

Anhang EIN. Ergänzend Daten

Ergänzend Daten zu dem Artikel kann sein gefunden online bei <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>.

Referenzen

- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V., et al., 2019. Atmosphärischer Transport und Ablagerung von Mikroplastik in einem abgelegenen Berginzugsgebiet. *Nat. Geosci.* 12, 339–344.
- Amato-Lourenço, L. F., Carvalho-Oliveira, R., Júnior, G. R., et al., 2021. Vorhandensein von in der Luft Mikroplastik im menschlichen Lungengewebe. *J. Gefahr. Mater.* 416,

126124.

Brander, S.M., Renick, V.C., Foley, M.M., et al., 2020. Probenahme und Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle: Ein Leitfaden für Wissenschaftler, die das Auftreten von Mikroplastik untersuchen. *Appl. Spektrosk.* 74, 1099–1125.

Cai, L., Wang, J., Peng, J., et al., 2017. Charakteristisches von Mikroplastik in der atmosphärischen Fall-raus von Dongguan Stadt, China: vorläufige Forschung und erste Beweise. *Umwelt. Sci. Pollut. Res.* 24, 24928–24935.

Cowger, W., Booth, A.M., Hamilton, B.M., et al., 2020. Berichterstattung Richtlinien zu erhöhen die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Forschung zu Mikroplastik. *Appl. Spektrosk.* 74, 1066–1077.

- Danopoulos, E., Twiddy, M., Rotchell, J.M., 2020. Mikrokunststoff Kontamination von trinken Wasser: eine systematische Überprüfung. *PLoS ONE* 15, e0236838.
- Danopoulos, E., Jenner, L.C., Twiddy, M., et al., 2020. Mikrokunststoff Kontamination von Meeresfrüchte beabsichtigt für Mensch Verbrauch: ein systematisch überprüfen und Metaanalyse. *Umwelt. Gesundheitsperspektive*. 128, 126002-1–126002-32.
- Domenech, J., Marcos, R., 2021. Wege von Mensch Exposition zu Mikroplastik, und Schätz- die Gesamtlast. *Curr. Meinung. Food Sci.* 39, 144–151.
- Dominelli, P.B., Ripoll, J.G., Kreuz, T.J., Bäcker, S.E., Wiggins, C.C., Welch, B.T., Joyner, M.J., 2018. Sex Unterschiede in groß Dirigieren Atemwege Anatomie. *J. Appl. Physiol.* 125, 960–965.
- Donaldson, K., Brown, R.C., Brown, G.M., 1993. Atmungsaktiv Industriefasern: Mechanismen von Pathogenität. *Thorax* 48, 390–395.
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., et al., 2017. EIN zuerst Übersicht von Textil Fasern, einschließlich- ing Mikroplastik, in Innenraum und im Freien Umgebungen. *Umwelt. Pollut.* 221, 453–458.
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., et al., 2013. Mikrokunststoff Verschmutzung in das Oberfläche Wasser von der Laurentianer Große Seen. *Mar. Pollut. Stier.* 77, 177–182.
- Kostenlos, C.M., Jensen, O.P., Mason, S.A., et al., 2014. Hochebenen von Mikrokunststoff Verschmutzung in ein großer, abgelegener Bergsee. *Mar. Pollut. Stier.* 85, 156–163.
- Gaston, E., Woo, M., Steele, C., et al., 2020. Mikroplastik unterscheidet sich zwischen Innen und Außen Luft Massen: Einblicke von Mehr Mikroskopie Methoden. *Appl. Spektrosk.* 74, 1079–1098.
- GESAMP, 2015. Quellen, Schicksal und Auswirkungen von Mikroplastik in das Marine Umgebung: EIN Global Bewertung. 40. Das Gemeinsam Gruppe von Experten auf Scientific Aspekte von Marine Envi- Ronmentalschutz, Arbeitsgruppe, London Großbritannien.
- Hartmann, N.B., Hüffer, T., Thompson, R.C., et al., 2019. Sind wir sprechen das gleich Sprache? Empfehlungen für ein defiNitions- und Kategorisierungsrahmen für Plastikabfälle. *Envi- Ron. Sci. Technol.* 53, 1039–1047.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., et al., 2012. Mikroplastik in das Meeres Umwelt- ment: eine Überprüfung der Methoden zur Identifizierung verwendet und Quantifizierung. *Umwelt. Sci. Technol.* 46, 3060–3075.
- Horsfield, K., Dart, G., Olson, D.E., et al., 1971. Modelle von das Mensch bronchial Baum. *J. Appl. Physiol.* 31, 207–217.
- Horton, A.A., Kreuz, R.K., Lesen, D.S., et al., 2021. Halbautomatisiert Analyse von Mikroplastik in komplexe Abwasserproben. *Umwelt. Pollut.* 268, 115841.
- Jenner, L.C., Sadofsky, L.R., Danopoulos, E., et al., 2021. Haushaltshalle Mikroplastik innerhalb das Humber Region (Vereinig Königreich): Quantifizierung und chemisch charakterisa- Band der vorhandenen Partikel. *Atmos. Umwelt.* 259, 118512.
- Jenner, L.C., Sadofsky, L.R., Danopoulos, E., Chapman, E., Weiß, D., Jenkins, R.L., et al., 2022. Außen atmosphärisch Mikroplastik innerhalb das Humber Region (Vereinig Königreich): quantiFikation und chemisch Charakterisierung von hinterlegt Partikel vorhanden. *Atmosphäre* 13, 265.
- Kreyling, W. G., Semmler-Behnke, M., Möller, W., 2006. Ultrafine Partikel-Lungen- Wechselwirkungen: Ist Größe wichtig? *J. Aerosol Med.* 19, 74–83.
- Gesetz, B.D., Hase, W.B., Hesterberg, T.W., 1990. Löslichkeit von polymer organisch fibers und künstlich hergestelltes Vitreous fiBers in Spiellösung. *Inhal. Toxicol.* 2, 321–339.
- Li, Y., Shao, L., Wang, W., et al., 2020. Luftfasern Partikel: Typen, Größe und Konzentration in Peking beobachtet. *Sci. Total Environ.* 705, 135967.
- Liu, K., Wang, X., Fang, T., et al., 2019. Quelle und Potenzial Risiko Bewertung von suspendiert beim- osphärisch Mikroplastik in Shanghai. *Sci. Total Environ.* 675, 462–471.
- Liu, K., Wang, X., Wei, N., et al., 2019. Genau quantiFikation und Transport Schätzung von schwebende Atmosphäre Mikroplastik in Megastädten: Auswirkungen auf den Menschen Gesundheit. *Envi- Ron. Int.* 132, 105127.
- Munno, K., Helm, P. A., Jackson, D. A., et al., 2018. Auswirkungen der Temperatur und ausgewählt chemische Aufschlussmethoden an mikroplastischen Partikeln. *Umwelt. Toxicol. Chem.* 37, 91–98.
- Oberdörster, G., Ferin, J., Lehnert, B.E., 1994. Korrelation zwischen Partikel Größe, in vivo par- Ticle Persistenz und Lungenverletzung. *Umwelt. Gesundheitsperspektive.* 102, 173–179.
- Pauly, J. L., Stegmeier, S. J., Allaart, H. A., et al., 1998. Inhalative Cellulose und Kunststoff Fasern gefunden in menschliches Lungengewebe. *Krebsepidemiol. Biomark. Zurück.* 7, 419–428.
- Polymer Eigenschaften Datenbank. Alkyd Harze [https://polymerdatabase.com/polymer%20classes / Alkyd % 20Resin.html](https://polymerdatabase.com/polymer%20classes%20Alkyd%20Resin.html) Datum des letzten Zugriffs: Juli 2021.
- Porter, D.W., Castranova, V., Robinson, V.A., et al., 1999. Akut inflammatorisch Reaktion in Ratten nach intratracheal Instillation von Material gesammelt von ein Nylon Beflockung Pflanze. *J. Toxicol. Umwelt. Gesundheitsteil A* 57, 25–45.
- Prata, J.C., 2018. In der Luft Mikroplastik: Folgen zu Mensch Gesundheit? *Umwelt. Pollut.* 234, 115–126.
- Prata, J.C., da Costa, J.P., Lopes, ICH., et al., 2020. Umwelt Exposition zu Mikroplastik: ein Übersicht auf möglich Mensch Gesundheit Auswirkungen. *Sci. Insgesamt Umwelt.* 702, 134455.
- Primpke, S., Wirth, M., Lorenz, C., Gerds, G., 2018. Referenzdatenbankdesign für das Auto- Paarungsanalyse von Mikroplastikproben basierend auf Fourier transformieren Infrarot (FTIR). *Anal. Bioanal. Chem.* 410, 5131–5141.
- Ragusa, EIN., Svelato, EIN., Santacroce, C., et al., 2021. Plasticenta: first Beweise von Mikroplastik in menschlicher Plazenta. *Umwelt. Int.* 146, 106274.
- Schirinzi, G.F., Pérez-Pomeda, ICH., Sanchís, J., et al., 2017. Zytotoxisch Auswirkungen von häufig verwendet Nanomaterialien und Mikroplastik auf zerebralen und epithelialen menschlichen Zellen. *Umwelt. Res.* 159, 579–587.
- Silva, A.B., Bastos, A.S., Justino, C.I.L., da Costa, J.P., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T.A.P., 2018. Mikroplastik in der Umwelt: Herausforderungen in der analytischen Chemie - eine Überprüfung. *Anal. Schimpanse. Acta* 1017, 1–19.
- Veerasingam, S., Ranjani, M., Venkatachalapathie, R., et al., 2021. Beiträge von Fourier verwandeln Infrarot Spektroskopie in Mikrokunststoff Verschmutzung Forschung: ein Rezension. *Crit. Rev. Umwelt.* 51, 2681–2743.
- Vianello, EIN., Jensen, R., Liu, L., et al., 2019. Simulieren Mensch Exposition zu Innenraum in der Luft Mikroplastik mit einer atmenden thermischen Puppe. *Sci. Rep.* 9, 8670.

- Wang, J., Liu, X., Li, Y., et al., 2019. Mikroplastik als Verunreinigungen in der Boden Umgebung: ein Mini-Rezension. *Sci. Total Environ.* 691, 848–857.
- Wesch, C., Elert, A.M., Wörner, M., et al., 2017. Sicherstellen Qualität in Mikrokunststoff Überwachung: über der Wert von saubere Luft Geräte als wesentlich für verifizierte Daten. *Sci. Rep.* 7, 1–8.
- Wright, S., Levermore, J., Kelly, F., 2019. Raman spektral Bildgebung für das Erkennung von inhalierbare Mikroplastik in Partikelproben. *Umwelt. Sci. Technol.* 53, 8947–8956.
- Wright, S.L., Kelly, F.J., 2017. Kunststoff und Mensch Gesundheit: ein Mikro Problem? *Umwelt. Sci. Technol.* 51, 6634–6647.
- Wright, S.L., Ulke, J., Schrifart, EIN., et al., 2019. Atmosphärisch Mikrokunststoff Ablagerung in ein Stadt Umwelt und ein Bewertung von Transport. *Umwelt. Int.* 136, 105411.
- Zhang, Q., Zhao, Y., Du, F., et al., 2020. Mikrokunststoff Niederschlag in unterschiedlich Innenraum Umgebungen. *Umwelt. Sci. Technol.* 54, 6530–6539.