



Freisetzung von Mikroplastik aus Kunststoffrasen

MP-SPORT

Dr. Maria Kittner
Dr. Korinna Altmann
Dr. Sven Hamann
Rüdiger Weyer
Dr. Ute Kalbe

**Umweltverträglichkeit von
Kunststoffrasen**

**Freisetzung von
Mikroplastik und
Schadstoffen**

Kunststoffrasensportplätze haben sich aufgrund ihrer zahlreichen Vorteile im Breitensport etabliert, da sie ganzjährig und wetterunabhängig bespielbar sind und somit intensiver genutzt werden können als Naturrasen. Aus diesem Grund nimmt ihre Anzahl jährlich zu. Für das Jahr 2019 wurde die Anzahl vom zuständigen DIN-Gremium auf rund 7.000 in Deutschland und 13.000 in Europa geschätzt und dürfte sich inzwischen deutlich erhöht haben (DIN NA 005-01-22 AA, 2019).

Kunststoffrasenplätze

Kunststoffrasenplätze sind komplexe Systeme, die aus mehreren Komponenten aus synthetischen Polymeren bestehen: zum Beispiel Grasfasern aus Polyethylen (PE), Gummigranulat-Infill aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM), mit Polyurethan (PU) verklebtes Trägertextil aus Polypropylen (PP), Umwindegarn aus Polyethylenterephthalat (PET) und die mit PU vernetzte elastische Tragschicht aus Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). Dieser Aufbau wird auf einer ungebundenen Tragschicht aus einer frostsicheren mineralischen Gesteinskörnung installiert.

Die einzelnen Kunststoff-Komponenten von Sportböden wurden in den vergangenen Jahrzehnten hinsichtlich ihrer Funktionalität für die jeweilige Sportart optimiert. Gefüllte Kunststoffrasen wurden dabei für den Fußballsport entwickelt und haben eine Lebensdauer von 12 bis 15 Jahren. Die ungebundene Tragschicht und die gebundene elastische Tragschicht können dabei in der Regel noch ein weiteres Mal mit einem neuen Kunststoffrasen versehen werden, wenn die Kriterien nach DIN 18035-7 noch erfüllt sind.

Die vielen Kunststoff-Komponenten von Sportböden werfen Fragen zu potenziellen Schadstoffemissionen und möglichen Risiken für die Umwelt auf. Die Freisetzung von Schadstoffen mit dem Regen- und Sickerwasser aus Kunststoffrasenplätzen wurde bereits untersucht (Kalbe et al. 2012, 2016). Die Problematik des Austrags von Mikroplastik (MP) ist erst kürzlich in den Fokus gerückt und

ist bezüglich der Probenahme, Probenaufbereitung und Detektion der Polymere besonders herausfordernd. Daher ist die Datengrundlage für eine belastbare Bewertung bisher mangelhaft.

Das Verbot von Gummigranulat als Infill stellt die Kunststoffindustrie und den Sportstättenbau vor Probleme hinsichtlich der Funktionalität von Kunststoffrasenplätzen und führt zu Verunsicherungen, da dies weitreichende Auswirkungen auf den Breitensport hat.

Dieses Projekt widmete sich besonders den möglichen MP-Austrägen über den Boden-Grundwasser-Pfad. Bisher gab es keine verlässliche Datenbasis durch wissenschaftliche Studien zu MP-Emissionen aus Kunststoffrasen und kein Probenahmegerät, das eine gleichzeitige Probenahme für gelöste und partikuläre Schadstoffe erlaubt. Um diese Forschungslücke zu schließen, wurde ein neuartiges „Mikroplastik-Eluat-Lysimeter“ (MEL) an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) entwickelt. Mithilfe der MEL wurden drei Kunststoffrasensysteme unterschiedlicher technisch-funktionaler Entwicklungsstände in verschiedenen Alterungszuständen (neu, beschleunigt und in Echtzeit gealtert) untersucht (Kittner et al. o. J. (b)). Fabrikneue Kunststoffrasensysteme wurden unter Laborbedingungen mittels UV-Bewitterungsgerät sowie unter mechanischer Beanspruchung beschleunigt gealtert, wobei die Nutzungsdauer eines Kunststoffrasens von circa 15 Jahren unter mitteldeutschen Witterungsbedingungen simuliert wurde. Aus den Eluaten wurden die MP-Austräge aller sechs polymeren Komponenten des Kunststoffrasensystems mittels Thermo-Extraktion-Desorption-Gaschromatographie/Massenspektrometrie (TED-GC/MS) analysiert. In den Eluaten wurden gleichzeitig Konzentrationen von Schadstoffen gemessen, wobei die in früheren Studien in Eluaten hauptsächlich identifizierten Schwermetalle mittels Optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) nach Flüssig/Flüssig-Extraktion mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC-MS) analysiert wurden.

Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes wurde ein innovatives Mikroplastik-Eluat-Lysimeter-System im Labormaßstab (MEL) entwickelt, welches für die Identifizierung und Quantifizierung des Austrages an Schadstoffen und Mikroplastik (MP) gleichermaßen geeignet ist. Die Versuchsbedingungen wurden an die realen Bedingungen auf Kunststoffrasenplätzen weitgehend angepasst und es wurden verschiedene Kunststoffrasensysteme als auch Nutzungsgrade berücksichtigt. Für die Erfassung von MP wurden erstmals realitätsnahe Versuche unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufes über die Nutzungsdauer von Kunststoffrasenplätzen durchgeführt. Die Analysen der Schadstoffe in den Eluaten konnten mit früheren Untersuchungen im kleineren Maßstab (Säulenperkolationsversuche) mit Neuware verglichen werden.

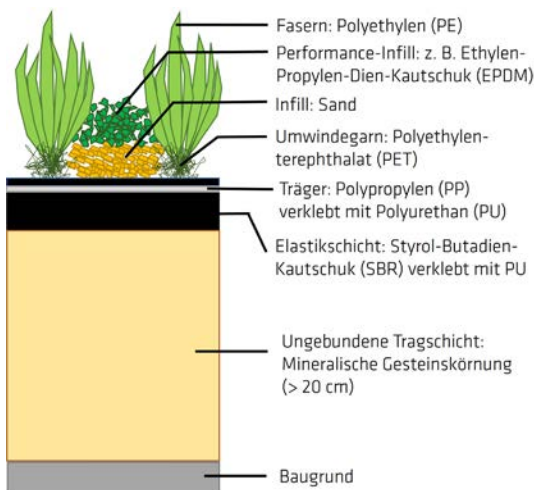


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Kunststoffrasensystems, wobei die Konstruktion oberhalb des Baugrundes als Oberbau des Kunststoffrasensystems bezeichnet wird. Quelle: BAM

1.1 Mobilisierung von Schadstoffen

Produktionsbedingt in den Komponenten von Kunststoffrasensystemen enthaltene Schadstoffe können während der Nutzungsphase durch Regenwasser mobilisiert und mit dem Sickerwasser zum Grundwasser transportiert werden (Kalbe et al. 2012, 2016). Die Eluate der MEL-Experimente wurden daher besonders auch auf regulierte Schadstoffe und mit Eluaten der Einzelkomponenten verglichen.

Da keine Grenzwerte für Sportböden zur Verfügung stehen, werden informativ die für Bodenmaterialien und Er-

satzbaustoffe für den Grundwasserschutz abgeleiteten Grenzwerte bei einem Wasser/Feststoffverhältnis (W/F) von 2 l/kg herangezogen (BGBl. 2021; Kalbe et al. 2016).

Bezogen auf die Masse der eingesetzten Komponenten im Oberbau der betrachteten Kunststoffrasensysteme wurden die MEL-Versuche bis zu einem Wasser/Feststoff-Verhältnis (W/F) von circa 25 l/kg durchgeführt, das bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren erreicht wird. Im Vergleich zu den Feldbedingungen wurde die Beregnung dabei unter zeitraffenden Bedingungen durchgeführt.

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe

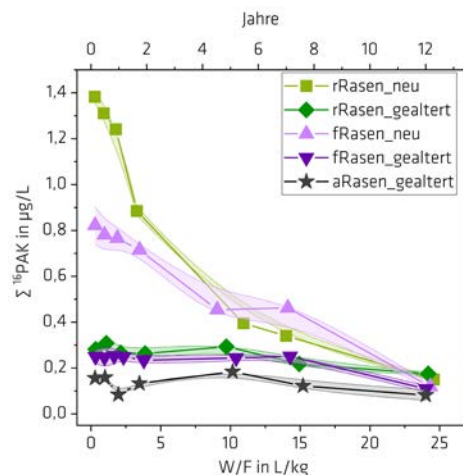


Abb. 2: PAK-Ergebnisse der MEL-Versuche mittels GC/MS. Dargestellt sind die mittleren Σ 16PAK-Konzentrationen aller untersuchten Kunststoffrasen-Systeme bei unterschiedlichem Alterungszustand mit ihren Spannen in µg/l über den Verlauf des Flüssigkeits-Feststoff-Verhältnisses (W/F). Als Faustregel kann man davon ausgehen, dass ein W/F von 2 l/kg etwa einem Jahr Beregnung unter deutschen Bedingungen entspricht. Die Σ 16PAK-Ergebnisse für beide in Echtzeit gealterten Rasen (aRasen¹/aRasen²) waren ähnlich und sind daher zusammen dargestellt. Quelle: BAM

Abbildung 2 zeigt die Freisetzung der Summe von 16PAK (Σ 16PAK) während der MEL-Experimente. Die Ergebnisse zeigten, dass alle PAK-Konzentrationen als Σ 16PAK bei W/F 2 l/kg unter den gesetzlichen Grenzwerten lagen, obwohl hier Naphthalin hinzugerechnet wurde. Aufgrund seines flüchtigen Charakters wurde Naphthalin bei der Ableitung von Grenzwerten für Eluate nicht berücksichtigt und es wird nur die Summe der restlichen 15 EPA-PAK herangezogen (Susset/Grathwohl 2011). Bei allen untersuchten Kunststoffrasen-Systemen wird eine Abnahme

der PAK-Freisetzung mit zunehmendem W/F beobachtet. Die höchste Anfangskonzentration der Σ ¹⁶PAK von 1,3 µg/l (Tabelle 1) wurde bei dem neuen Rasen mit recycelten Grasfasern (rRasen_neu) festgestellt, gefolgt von dem neuen fossilbasierten Rasen mit EPDM-Infill (fRasen_neu) mit 0,8 µg/l. Der Grenzwert für die beste Qualität von Recyclingmaterial (RC-1 nach BGBl. 2021) liegt für das W/F von 2 l/kg bei 4 µg/l für Σ ¹⁶PAK (ohne Naphthalin). Es ist also schon zu Beginn der Versuche bei sehr geringem W/F unterschritten, obwohl der Hauptanteil der PAK in den Eluaten vor allem bei den neuen Systemen aus Naphthalin bestand (Tabelle 1). Außerdem ist Acenaphthen, das in der Polymerherstellung verwendet wird, in messbaren Konzentrationen vorhanden, obwohl seine Wasserlöslichkeit relativ gering ist. In Tabelle 1 sind die Konzentrationen der einzelnen PAK sowie die Σ ¹⁶PAK bei W/F 2 l/kg ergänzend zu Abbildung 2 aufgelistet. Es ist leicht zu erkennen, dass bereits ohne Abzug von Naphthalin alle Kunstrasensysteme den behelfsmäßigen Grenzwert von 4 µg/l einhalten. Verglichen mit den Ergebnissen aus zwei Vorläufervorhaben, wo gesamte Aufbauten von Kunststoffrasensysteme mithilfe von Säulenversuchen unter gesättigten Bedingungen (auf der Basis von fabrikneuen Materialien) untersucht wurden (Kalbe et al. 2012, 2016), liegen diese Ergebnisse auch in der gleichen Größenordnung. Ein System mit zum System fRasen_neu vergleichbaren Komponenten (Rasen und EPDM-Füllung) ergab beispielsweise eine Konzentration von 0,3 µg/l für Σ ¹⁶PAK (0,2 µg/l ohne Naphthalin) bei W/F 2 l/kg (rückgerechnet aus der kumulativen Freisetzung).

Bis zum letzten W/F der MEL-Versuche (25 l/kg) sank die Konzentration der Σ ¹⁶PAK auf ein vergleichbar niedriges Niveau zwischen 0,1 und 0,2 µg/l für alle untersuchten Kunststoffrasen-Systeme, da die PAK mit der besseren Wasserlöslichkeit nahezu erschöpft sind. Es ist zu erwarten, dass die PAK-Freisetzung aufgrund der sehr geringen Wasserlöslichkeit der Substanzen mit größeren Molekülen (höhere Anzahl aromatischer Ringe) auch im Folgenden noch auf einem ähnlich niedrigen Niveau verbleibt. Die Alterung der Rasenkomponenten führte zu einer geringeren Freisetzung von PAK in den MEL-Versuchen, da es im Laufe der Alterung bereits zu einem Verlust von PAK kam. Die Konzentrationswerte in den neuen Kunststoffrasen-Systemen können als Höchstwerte für PAK-Emissionen angesehen werden. Auffallend ist der etwas höhere Wert für die PAK-Freisetzung aus dem rRasen (Zukunftsszenario), was vermutlich aus dem Recycling-Anteil herrührt. Dabei wird der Hauptanteil durch das nicht zu bewertende Naphthalin verursacht. Für Bodenmaterial steht ein Grenzwert für Benzo-a-pyren von 0,2 µg/l zur Verfügung (BGBl. 2021) der sich auf die am stärksten krebserzeugende Einzelsubstanz der 16 EPA-PAK bezieht und für die Eluate aller untersuchten Kunstrasensysteme bei einem W/F 2 l/kg eingehalten wurde und sogar bereits unter dem LOQ lag.

Tab. 1: PAK-Ergebnisse der Kunststoffrasen-Szenarien bei einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg. Dargestellt sind die gemittelten Konzentrationen (n= 2) des Vergangenheits-(aRasen¹/aRasen²), Gegenwarts-(fRasen)- und Zukunftsszenarios (rRasen) jeweils im ungealterten (neu) und beschleunigt gealterten Zustand (gealtert) sowie die Blindwerte (BW). < LOQ bedeutet, dass das Signal unterhalb der PAK-spezifischen Bestimmungsgrenze (LOQ) lag. Quelle: BAM

PAK	LOQ in µg/l	BW in µg/l	Konzentration in µg/l Eluat bei W/F 2 l/kg					
			Vergangenheit: aRasen		Gegenwart: fRasen		Zukunft: rRasen	
			aRasen ¹	aRasen ²	neu	gealtert	neu	gealtert
Naphthalin	0,001	0,051	0,097	0,021	0,677	0,095	1,054	0,098
Acenaphthylen	0,001	0,006	0,022	0,004	0,026	0,027	0,029	0,023
Acenaphthen	0,001	0,003	0,005	0,004	0,034	0,019	0,141	0,026
Fluoren	0,001	< LOQ	0,003	0,003	0,012	0,012	0,023	0,016
Phenantren	0,001	0,003	0,016	0,015	0,017	0,068	0,045	0,113
Anthracen	0,001	< LOQ	0,001	0,001	0,001	0,004	0,003	0,006
Fluoranthren	0,001	0,001	0,004	0,007	0,005	0,012	0,006	0,015
Pyren	0,001	0,001	0,006	0,012	0,006	0,009	0,009	0,010
Benz[a]anthracen	0,001	0,001	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Chrysen	0,001	0,002	< LOQ	0,002	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo[b]fluoranthren	0,001	0,001	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo[k]fluoranthren	0,001	0,001	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo[a]pyren	0,001	0,001	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0,002	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Dibenz[a,h]anthracen	0,002	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Benzo[ghi]perylen	0,002	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Summe ¹⁶ PAK	-	0,071	0,154	0,164	0,781	0,247	1,311	0,308

1.2 Schwermetalle

Die strengsten Grenzwerte der deutschen Verordnung (BGBl. 2021), die bei W/F 2 l/kg für Bodenmaterialien eingehalten werden müssen (Qualität BM-1), sind 210 µg/l für Zink, 41 µg/l für Kupfer, 31 µg/l für Nickel und 19 µg/l für Chrom. Für Recyclingmaterialien (Qualität RC-1) sind die Grenzwerte weniger streng: 110 µg/l für Kupfer, 150 µg/l für Chrom und keine Grenzwerte für Zink und Nickel. Abbildung 2 veranschaulicht die Ergebnisse für diese Schwermetalle für alle untersuchten Kunststoffrasen-Szenarien. Sie zeigt, dass es bei W/F 2 l/kg keine Überschreitungen der strengsten deutschen Grenzwerte gab. Lediglich die Anfangskonzentrationen für Nickel waren etwas höher, was die leicht mobilisierbare Fraktion von Nickel repräsentiert. Dies könnte auf eine Oberflächenabwaschung (sog. „First Flush“) zurückzuführen sein, insbesondere im Fall des neuen Rasens, der recycelte Grasfasern enthält (rRasen_neu).

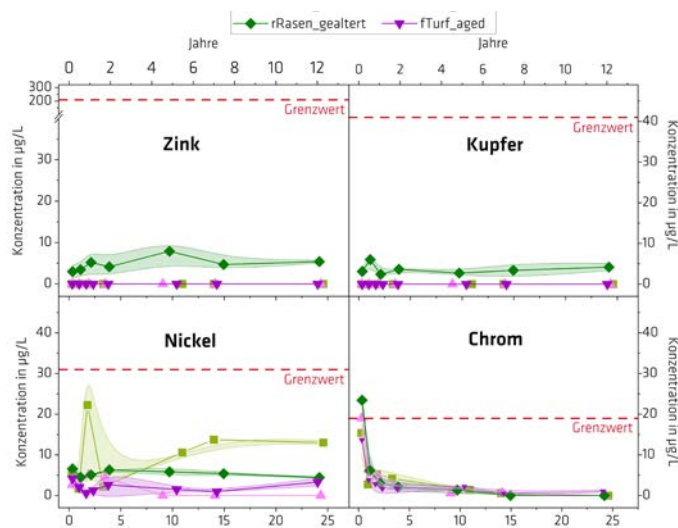


Abb. 3: Schwermetall-Ergebnisse der MEL-Experimente mit ICP-OES. Dargestellt sind die gemittelten Metallkonzentrationen der untersuchten Kunststoffrasenszenarien (n= 2) mit ihren Spannen in unterschiedlichen Alterungszustände im Verlauf des untersuchten Wasser-Feststoff-Verhältnisses (W/F). Als Faustregel kann man davon ausgehen, dass ein W/F von 2 l/kg etwa einem Jahr Niederschlag unter deutschen Bedingungen entspricht. Zusätzlich stellen die rot gestrichelten Linien die jeweiligen Grenzwerte für Bodenmaterialien bei W/F 2 l/kg dar (BGBl. 2021). Da nur die Zinkkonzentrationen der beiden in Echtzeit gealterten Rasen (aRasen¹/aRasen²) stark variierten, werden ihre Zink-Ergebnisse einzeln dargestellt. Bei Kupfer, Nickel und Chrom waren die Werte ähnlich und werden daher gemeinsam als Mittelwert angegeben. Quelle: BAM

Die Zinkkonzentrationen von in Echtzeit gealtertem Rasen (aRasen²) lagen auf einem höheren Niveau (bis zu 123 µg/l) im Vergleich zu den Werten der anderen Rasensysteme. Dies deutet darauf hin, dass bei früheren Produktionen von Kunstrasenkomponenten, hier höchstwahrscheinlich der TPE-Gummifüllung, mehr Zink-

oxid verwendet wurde, welches der Vulkanisation des Gummis dient. Dies wird auch durch die Tatsache unterstrichen, dass in den Eluatlen der neuen, ungealterten Rasensysteme kein Zink gefunden wurde. Zink wird hauptsächlich aus Altreifen freigesetzt, die zu SBR-Granulat verarbeitet und in der elastischen Tragschicht verwendet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Qualität der Reifen schwankten die Zinkkonzentrationen auch in früheren Studien stark (Gomes et al. 2021; Capolupo et al. 2020). Die Alterung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Chrom-Freisetzung in den MEL-Versuchen. Bei Zink, Kupfer und Nickel führte die Alterung jedoch zu einer etwas höheren Freisetzung, wie in Abbildung 3 zu sehen ist. Für andere Metalle wurden keine kritischen Konzentrationen in den Eluatlen gemessen. Alle Ergebnisse zu den Element-Emissionen finden sich im Detail in Tabelle 2. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Vorläufervorhaben (Kalbe et al. 2012, 2016) lagen die Werte für die regulierten Metalle hier eher niedriger. Die geringere Freisetzung könnte auf die den Feldbedingungen nähere Skalierung und Berechnung zurückzuführen sein.

Mikroplastik (MP) aus Kunststoffrasen

Nach ISO/TR 21960: 2020 werden kleine Kunststoffpartikel im Bereich von 1–1.000 µm als Mikroplastik definiert. Diese sind mittlerweile in allen Umweltkompartimenten weltweit detektierbar und werden teilweise nur sehr langsam oder gar nicht abgebaut. Der Austrag von MP aus Kunststoffrasenplätzen kann entweder über das Gummigranulat-Infill oder durch Abrieb und Witterungseinflüsse der Kunststoffrasen-Komponenten, besonders der synthetischen Grasfasern erfolgen. Das Inverkehrbringen von Kunststoffpartikeln im MP-Bereich zu Gebrauchszwecken wurde 2023 durch die Europäische Kommission verboten (European Commission 2023). Mit Gummigranulat gefüllte Kunststoffrasen dürfen daher nicht mehr neu angelegt werden.

Element	LOQ in µg/l	BW in µg/l	Konzentration in µg/l Eluat bei W/F 2 l/kg					
			Vergangenheit: aRasen		Gegenwart: fRasen		Zukunft: rRasen	
			aRasen ¹	aRasen ²	neu	gealtert	neu	gealtert
Arsen	3,27	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Barium	0,52	< LOQ	8,79	4,74	4,85	12,46	1,51	3,97
Blei	2,96	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Cadmium	0,87	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Chrom	0,93	< LOQ	4,58	4,91	6,40	3,83	2,76	6,18
Cobalt	4,71	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Eisen	0,08	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Kupfer	10,81	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Mangan	1,10	< LOQ	2,37	5,06	3,39	2,55	1,38	3,28
Molybdän	0,83	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Nickel	2,68	20,46	< LOQ	< LOQ	2,78	< LOQ	< LOQ	4,49
Quecksilber	2,56	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Selen	23,41	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Strontium	0,45	1,86	24,73	10,25	16,07	18,34	3,72	6,77
Thallium	11,44	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Vanadium	1,39	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Zink	16,37	< LOQ	< LOQ	90,18	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Zinn	3,63	< LOQ	3,69	4,15	< LOQ	< LOQ	< LOQ	3,63

Tab. 2: Element-Konzentrationen der Kunstrasenszenarien bei einem Wasser-Feststoff-Verhältnis (W/F) von 2 l/kg. Dargestellt sind die gemittelten Konzentrationen (n= 2) des Vergangenheits- (aRasen¹/aRasen²), Gegenwarts- (fRasen) und Zukunfts-Szenarios (rRasen) jeweils im ungealterten (neu) und beschleunigt gealterten Zustand (gealtert) sowie die Blindwerte (BW). < LOQ bedeutet, dass das Signal unterhalb der elementspezifischen Bestimmungsgrenze (LOQ) lag. Quelle: BAM

1.3 Mikroplastik-Emissionen

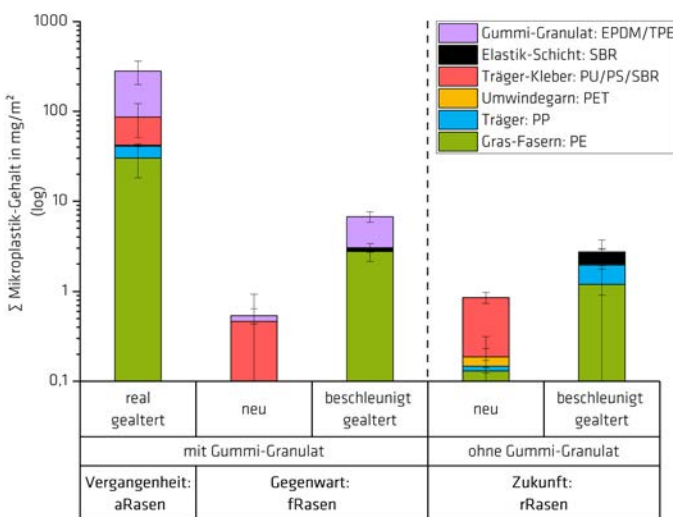


Abb. 4: Mikroplastik-Masse-Ergebnisse der Labor-Untersuchungen mittels Mikroplastik-Eluat-Lysimeter-Anlage und TED-GC/MS. Dargestellt sind die mittleren Summen der Masse-Gehalte der Doppelbestimmungen mit ihren Spannen (log), unterteilt in Kunststoffrasen-Szenarien mit/ohne synthetische Gummi-Granulat und Alterungsstatus. Die Polymer-Abkürzungen sind wie folgt: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyethylenterephthalat (PET), Polyurethan (PU), Polystyrol (PS), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM), thermoplastisches Elastomer (TPE). Quelle: BAM

Abbildung 4 zeigt die Summe der mittleren MP-Ergebnisse (log) über das gesamte Berechnungsvolumen, die im Detail in Tabelle 3 zu finden sind. Die höchsten MP-Gehalte wurden in beiden in Echtzeit gealterten aRasen¹/aRasen² detektiert, die das Vergangenheits-Szenario repräsentieren (Σ MP: 136,4–252,5 mg/m²). Die Hauptemissionsquellen waren das synthetische Gummi-Granulat (Σ EPDM/TPE: 42,2–192,5 mg/m²) und die Grasfasern (Σ PE: 21,7–38,6 mg/m²). Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei einem Kunststoffrasen die Außenbeanspruchungen durch Witterung (z. B. durch UV-Strahlung) und mechanische Beanspruchung (z. B. durch Sand-Infill, Fußballschuh-Stollen, Kunststoffrasenpflegemaschinen) vor allem auf das Gummi-Granulat und die Grasfasern einwirken und zu Materialfragmentierungen führen.

Dahingegen wurden in den beiden in Echtzeit gealterten aRasen vergleichsweise geringe PP-Gehalte durch das Trägermaterial detektiert (Σ PP: 1,9–2,3 mg/m²). Das deutet darauf hin, dass der Träger durch das Gummi-Granulat vor der mechanischen Beanspruchung geschützt ist, insbesondere vor den Abriebeffekten durch das Sand-Infill. Es wurden zudem hohe Kleber-Gehalte von 69,6 mg/m² in aRasen¹ und 19,5 mg/m² in aRasen² gefunden. Dies ist wahrscheinlich auf die Platzierung der

Proben im MEL-Glaszylinder zurückzuführen, da i) der Kleber bereits spröde war und ii) das Ausschneiden der runden 20 cm-Rasenproben zu einem Ausfransen der Kanten und damit zu einer erhöhten MP-Bildung geführt haben könnte. Es ist außerdem wichtig zu beachten, dass der Kleber von aRasen² aus SBR-Basis bestand und daher die gleichen thermischen Zersetzungsprodukte wie SBR aufwies, sodass der Kleber analytisch nicht von der SBR-Elastikschicht unterscheidbar war. Da der Kleber jedoch sehr spröde war, kann davon ausgegangen werden, dass der Großteil des nachgewiesenen SBR den MP-Emissionen aus dem Kleber zugeordnet werden kann. Die TED-GC/MS-Ergebnisse des Gegenwarts-Szenarios zeigten für den neuen fRasen minimale MP-Gesamtemissionen (Σ MP: 0,1–0,9 mg/m²). Dies war hauptsächlich auf den PU-Trägerkleber zurückzuführen, wahrscheinlich auf beim Rasen-Zuschnitt entstandene Partikel. Es wurden nur minimale Emissionen aus der Gummi-Granulat (Σ EPDM: 0–0,2 mg/m²) detektiert. Hierbei handelte es sich wahrscheinlich um kleinere Partikel, die während der Produktion oder des Transports entstanden sind, da das Granulat mit einer Zielgröße von > 1 mm produziert wird. Die beschleunigte Alterung von fRasen führte zu einem MP-Anstieg um etwa das Zehnfache und damit zu MP-Gesamtemissionen von 5,4–8,0 mg/m², hauptsächlich von dem Gummi-Granulat (Σ EPDM: 3,1–4,3 mg/m²) und den Grasfasern (Σ PE: 2,3–3,2 mg/m²). Darüber hin-

aus wurden geringe Emissionen aus dem PP-Träger und der SBR-Elastikschicht detektiert. Das Zukunfts-Szenario hatte insgesamt die niedrigsten MP-Emissionen aller untersuchten Kunststoffrasen-Szenarien. Wie auch bei dem Gegenwarts-Szenario beobachtet, wies der neue rRasen nur geringe Gesamt-MP-Emissionen auf (Σ MP: 0,8–0,9 mg/m²), hauptsächlich aus dem Kleber (Σ PU: 0,6–0,8 mg/m²), was wahrscheinlich ebenfalls auf den Rasen-Zuschnitt zurückzuführen ist. Nach der beschleunigten Alterung stiegen die MP-Emissionen um etwa das Fünffache auf einen Gesamt-MP-Gehalt von 0,2–5,3 mg/m². Die Haupt-Komponenten verantwortlich für die MP-Emissionen waren die Grasfasern (Σ PE: 0–2,4 mg/m²), das Trägermaterial (Σ PP: 0–1,5 mg/m²) und die Elastikschicht (Σ SBR: 0–1,4 mg/m²).

1.4 Mikroplastik-Emissionen pro Kunststoffrasenplatz

Aus den Ergebnissen der MP-Emissionen der MEL-Versuche wurden Emissionen gealterter Standard-Kunststoffrasensportplätze (7.000 m²) in mg/m² während der Nutzungsdauer von circa 15 Jahren berechnet. Es ergaben sich für das Vergangenheits-Szenario 954,7–1.767,8 g, für das Gegenwarts-Szenario 3,8–56,1 g und für das Zukunfts-Szenario 1,1–37,0 g MP-Emissionen.

Tab. 3: Zusammenfassung der Mikroplastik-Emissionen aller untersuchten Kunststoffrasen-Szenarien unterschiedlicher Alterungszustände, ausgedrückt in mg/m². Da Doppelbestimmungen durchgeführt wurden, sind die Polymermassen-Gehalte mit ihren Spannen angegeben. Ein Bindestrich bedeutet, dass kein Mikroplastik detektiert wurde. Quelle: BAM

Polymer-Typ	Kunststoffrasen-Komponente	Mikroplastik-Gehalte der Kunststoffrasen-Szenarien in mg/m ²					
		Vergangenheit: aRasen		Gegenwart: fRasen		Zukunft: rRasen	
		real gealtert aRasen ¹	real gealtert aRasen ²	neu	beschleunigt gealtert	neu	beschleunigt gealtert
EPDM	Gummi-Granulat	42,15	-	0–0,15	3,06–4,32	-	-
TPE	Gummi-Granulat	-	192,54	-	-	-	-
PE	Grasfasern	21,70	38,65	-	2,31–3,18	0–0,26	0–2,39
PP	Träger	2,28	1,89	-	0,04–0,05	0–0,03	0,01–1,46
PET	Umwindegarn	-	-	-	-	0,01–0,07	0–0,11
SBR	Elastikschicht/ Kleber	0,67	19,47	-	0–0,48	-	0–1,42
PS	Kleber	69,58	-	-	-	-	-
PU	Kleber	-	-	0,13–0,79	-	0,58–0,76	-
Σ MP in mg/m ²		136,38	252,54	0,13–0,94	5,41–8,02	0,83–0,89	0,16–5,28

Nutzen für die Praxis

Untersuchungen, wie sie in dieser Studie durchgeführt wurden, sind für die Überwachung der Umweltauswirkungen von Mikroplastik und für die Entscheidungsfindung im Boden- und Gewässerschutz dringend erforderlich. Darüber hinaus ist die Vereinheitlichung von Verfahren zur Mikroplastik-Probenahme und -Analyse und ihre Standardisierung auf europäischer Ebene notwendig. Die in diesem Vorhaben erarbeiteten Ergebnisse können dazu beitragen, diesen Prozess zu erleichtern. Die Ergebnisse können sowohl von Normungsgremien als auch von Gremien, die Festlegungen im Garten- und Landschaftsbau treffen, genutzt werden. Für die Überwachung des Austrages über die Außenluft müssen gesonderte Untersuchungen durchgeführt werden.

2.1 Bewertung von Mikroplastik-Emissionen

Ein Hauptergebnis des Projektes ist die Ableitung von MP-Emissionen pro Kunststoffrasenplatz. Alle MP-Ergebnisse wurden in mg/m^2 ausgedrückt, um eine Datenbasis zu bilden, die eine Extrapolation der MP-Emissionen pro Kunststoffrasenplatz beliebiger Größe ermöglicht. Das Ziel der Extrapolation ist die Einschätzung einer groben Größenordnung von maximalen MP-Emissionen. Für einen gealterten Standard-Kunststoffrasensportplatz (7.000 m^2) entsprachen die berechneten MP-Emissionen während der Nutzungsdauer von circa 15 Jahren für das Vergangenheits-Szenario (real-gealterte Kunststoffrasenproben: fossilbasiert, synthetisches Infill) $954,7\text{--}1.767,8 \text{ g}$, für das Gegenwarts-Szenario (derzeit in Deutschland am häufigsten verlegte Kunststoffrasensysteme: fossilbasiert mit EPDM-Verfüllung) $3,8\text{--}56,1 \text{ g}$ und für das Zukunfts-Szenario (Rasen mit recycelten Grasfasern ohne synthetisches Infill) $1,1\text{--}37,0 \text{ g}$. Damit zeigt sich ein eindeutiger Trend in Richtung geringerer MP-Emissionen für gegenwärtige und zukünftige Kunststoffrasensysteme. Das bedeutet in Verbindung mit der Reaktion auf das Verbot, Kunststoffrasen mit synthetischen Granulaten zu befüllen, dass sich MP-Emissionen auf jeden Fall in der Zukunft deutlich reduzieren werden. Ein weiterer Punkt ist die immer häufigere Anlage von Kunststoffrasensystemen, die frei von synthetischen und organischen Granulaten sind, bei denen eine Reduzierung der Mikroplastikemission anzunehmen ist, da Abrasion überwiegend vermieden wird.

Die Erstellung einer Gesamtmassenbilanz für MP-Emissionen aus Kunststoffrasenplätzen ist sehr komplex, da die individuellen standortspezifischen Bedingungen von Platz zu Platz sehr unterschiedlich sein können. Sie kann daher aus den Untersuchungen dieses Projektes nicht abgeleitet und verallgemeinert werden. Klimatische und bauliche Bedingungen (z. B. Art und Menge der Verfüllung, Vorhandensein einer Drainage und weiterer Rückhaltevorrichtungen) wären dabei zu berücksichtigen.

Mit dem Fokus auf Gummi-Granulate gibt es bereits Untersuchungen und Handlungsempfehlungen von verschiedenen Organisationen (Bertling et al. 2021; FFL 2022; Magnusson/Macsik 2020; Patrick/Englert/Burkhardt 2024).

Hauptaustragungspfade für Gummi-Granulate von einem Kunststoffrasen-Spielfeld

Die identifizierten Hauptaustragungspfade für Gummi-Granulate in die Umwelt von einem Spielfeld mit Kunstrasen werden folgendermaßen benannt (DFB 2021):

1. Pflege und Wartung: zum Beispiel Austrag durch Wartungsgerätschaften
2. Sporttreibende und Nutzung: zum Beispiel Austrag mit Kleidung und Schuhen
3. Umwelteinflüsse: zum Beispiel Austrag durch Regen oder Wind

2.2 Vergleich mit Realsportplatz-Ergebnissen

Die Ergebnisse der MEL-Versuche konnten mit realen Austrägen aus bestehenden Sportplätzen verglichen werden. Die MEL-Versuche ergaben die MP-Fracht bis zu circa 30 cm Bodentiefe, da der Kunststoffrasen-Aufbau bis zum Baugrund beziehungsweise Unterbau simuliert wurde. Auf einem Sportplatz wird das Sickerwasser entweder durch ein Drainagesystem in eine Kläranlage oder auf den Pfad Boden-Grundwasser weiter transportiert.

Um zu prüfen, wie viel MP in das Grundwasser eingetragen werden könnte, wurden im Kreis Viersen vom Amt für Technischen Umweltschutz - Abfall, Bodenschutz, Altas-

ten innerhalb des Projektes „Gefährdungsabschätzung Kunststoffrasen Mikroplastik - Grundwasseruntersuchung 2023“ bei zwei Realsportplätzen Grundwasser-Proben in 4 m Bodentiefe untersucht. Alle experimentellen Details sind in der gemeinsamen Veröffentlichung (Kittner et al. o. J. (a)) zu finden. Die Grundwasser-Ergebnisse der Realsportplätze ergaben, dass in den Proben der Anstrom-Messstellen entweder keine oder nur geringe MP-Austräge aus dem Kunststoffrasen (PP: 0,18 Partikel/l, PS: 0,16 Partikel/l) detektiert wurden. Ferner wurde in den Abstrom-Messstellen beider Sportplätze kein MP aus Kunststoffrasen detektiert und damit keine MP-Partikel $\geq 5 \mu\text{m}$ von den Kunststoffrasen ins Grundwasser ausgebracht. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass beide Sportplätze eine sehr feinkörnige Bodenbeschaffenheit des Baugrundes aufwiesen, die Partikel gut zurückhalten können. Zudem wird in den Rigolen Filterkies eingesetzt, der regelmäßig aufgereinigt wird. Diese inzwischen auf vielen Sportplätzen etablierte Praxis sollte eine effektive Maßnahme zum MP-Rückhalt darstellen.

Bei beiden Projekten wurden unterschiedliche Versuchsaufbauten mit komplementären Analysemethoden verwendet, sodass die Ergebnisse nicht absolut verglichen werden können. Allerdings ermöglichen sie einen Einblick in das MP-Transportverhalten mit dem Sickerwasser von Kunststoffrasenplätzen in das Grundwasser. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass MP hauptsächlich infolge der Alterung durch Witterung und Verschleiß aus den Grasfasern und dem Gummi-Infill freigesetzt wird. Das MP wird dann vermutlich aufgrund von Filtrationseffekten im Baugrund immobilisiert, sodass es in den Proben der Grundwasser-Messstellen der untersuchten Sportplätze nicht mehr detektierbar war, wohingegen bei den MEL-Versuchen unter der grobkörnigen ungebundenen Tragschicht von 30 cm Mächtigkeit (Frostschuttschicht) messbare Austräge gab. Die Ergebnisse dieses ersten Screenings von realen Grundwasserproben deuten darauf hin, dass der Boden-Grundwasser-Pfad als weniger relevant einzuschätzen ist als andere MP-Austragspfade aus Kunststoffrasen, deren Emissionen je nach Quelle von kg bis t reichen können, was aktuelle Forschungshypothesen bestätigt (Bertling et al. 2021). Es ist allerdings wichtig zu beachten, dass mit dem Versuchsaufbau nur MP-Emissionen bis zu einer Partikelgröße von $5 \mu\text{m}$ und folglich kein kleines Mikro- ($5-1 \mu\text{m}$) und Nanoplastik ($1.000-1 \text{ nm}$) analytisch erfasst wurden, das gesundheitlich als besonders relevant gilt (Krause et al. 2024). Zudem ist das Transportverhalten von MP im Boden bisher aufgrund der Komplexität der physikalischen Vorgänge bisher noch nicht vollständig erfasst. Es wird davon ausgegangen, dass die Rückhaltung von MP in Böden vor allem von i) der Korngrößenverteilung des Bodens, ii) den

hydrodynamischen Bedingungen am Standort sowie iii) der Dichte des Bodens und iv) der MP-Partikelgröße abhängig ist (Rieckhof et al. 2024). Für eine Parametrisierung zur Verwendung in Modellen sind aber mehr empirische Daten erforderlich (Yang/Tang 2024).

2.3 Schlussfolgerungen für das Recycling von Altrasen

Aus einer im Rahmen des Projektes hervorgegangenen Masterarbeit in Zusammenarbeit mit der Formaturf GmbH können Schlussfolgerungen zur Recyclingfähigkeit von Altrasen gezogen werden. Es zeigten sich folgende Faktoren, die das Recycling von Altrasen erschweren:

- Die Reinigung von Altrasen nach dem Zerkleinern zur Extraktion von Sand, Gummi-Granulat, Staub und organischen Anteilen aus der Umwelt erfordert einen hohen Aufwand.
- Polyolefine in Altrasen zeigen erhebliche strukturelle Degenerationseffekte: Oxidation, Kettenbrüche und Quervernetzung im Polymer erschweren ein thermisches Verarbeiten durch Aptrusion.
- Gummi-Granulat zeigt erhebliche Schädigungen durch die Nutzungsdauer, indem Weichmacher verloren gehen und Versprödung eintritt.

Um ein effizientes Recycling zu ermöglichen, müssen für alle oben genannten Alterungseffekte geeignete Maßnahmen gefunden und industriell implementiert werden, um eine Verarbeitung, insbesondere mit Fokus auf den Second Life Einsatz in Form von Produkten, effektiv umsetzen zu können. Diese Maßnahmen sind auf der Materialseite zu formulieren, was aufgrund der Effekte eine sehr komplexe Herausforderung darstellt. Diverse Unternehmen, welche diese Art von Recycling betreiben, mischen den Polyolefinen des Altrasens bis zu 60 % neues mineralölbasiertes Material zu, um eine Verarbeitung mittels Kunststoff-Extrusion zu ermöglichen und daraus neue Produkte herzustellen. Die Ergebnisse der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Versuche haben jedoch gezeigt, dass die Verarbeitbarkeit der Rezyklatmasse und damit das Recycling von Altrasen auch bereits bei einer maximal zugegebenen Menge von circa 7 % mineralölbasiertem, neuem Material möglich ist.

Methodik und Projektverlauf

3.1 Methodik

Während der Nutzungsphase eines Kunststoffrasens gibt es verschiedene potenzielle Austragspfade für MP-Emissionen, zum Beispiel Grundwasser, Boden und Luft. Um diese Emissionsquellen unter Laborbedingungen zu adressieren, wurden drei experimentelle Ansätze verfolgt: i) Schüttelversuche zur Ermittlung des MP-Freisetzungspotentials aus Einzelkomponenten ii) potentielle Luft-Emissionen mittels fraktionierter Siebung des Füllmaterials nach der beschleunigten Alterung. Der Fokus der Studie lag auf iii) den Emissionen ins Grundwasser beziehungsweise Sickerwasser mittels eigens für dieses Projekt neu konstruierten Mikroplastik-Eluat-Lysimetern (MEL) und die Quantifizierung der MP-Austräge über die Nutzungsdauer eines Sportbodens aus Kunststoffrasen von circa 12–15 Jahren. Danach ist das Material aufgrund von Bewitterung und mechanischen Belastungen verschlissen, nicht mehr optimal bespielbar und muss ausgewechselt werden. Um dies unter Laborbedingungen nachzubilden, wurde angesichts der zeitlichen Dimension dieses Projektes von nur zwei Jahren eine beschleunigte Alterung in zwei Schritten durchgeführt. Hierfür werden fabrikneue Kunststoffrasensysteme unter Laborbedingungen mittels UV-Bewitterungsgerät sowie mechanischer Beanspruchung beschleunigt gealtert, um die Freiland-Beanspruchung der Lebensdauer eines Kunststoffrasens von circa 15 Jahren abzubilden. Das Ziel der beschleunigten Alterung ist die Generierung definiert gealterter, homogener Proben für eine möglichst hohe Repräsentativität der Aussagen. In dieser Studie wurden dafür drei Kunststoffrasen-Systeme beziehungsweise -Szenarien verglichen, die unterschiedliche technische Entwicklungsstände in verschiedenen Alterungszuständen repräsentieren. Die MP-Emissionen über das Sickerwasser wurden in neuartigen Lysimetern (Mikroplastik-Eluat-Lysimeter, MEL) unter kontrollierten Laborbedingungen simuliert. Die MEL ermöglichten die simultane Beprobung der Eluate auf MP der Fraktion 1.000–5 µm und Analytik mittels Thermo-Extraktion-Desorption-Gaschromatographie/Massenspektrometrie (TED-GC/MS, Patent: DE10 2017 107 022.2) sowie gelöste Schadstoffe wie PAK und Schwermetalle, die nach entsprechender Eluataufbereitung mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC/MS) beziehungsweise mittels induktiv gekoppelter Plasma-Optik-Emissionspektroskopie (ICP-OES) analysiert wurden.

Für die Ermittlung der MP-Gehalte kam ein spezieller 600 µl Messfiltertiegel der Firma Gebr. Kufferath AG (Düren, DE, Patent: DE 10 2019 135 311.4) mit einer Maschenweite von 5 µm zum Einsatz. Diese MP-Filtertiegel können direkt mit der TED-GC/MS ohne Probenübertragungsverluste gemessen werden.

Thermo-Extraktion-Desorption-Gaschromatographie/Massenspektrometrie (TED-GC/MS)

Viele Verfahren zur Analyse von MP sind sehr zeitintensiv und benötigen eine aufwendige Probenvorbereitung. Mit der TED-GC/MS wurde an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ein leistungsstarkes und schnelles Verfahren entwickelt und mit Partnern zur Marktreife gebracht, mit dem Mikroplastik-Partikel verschiedener Zusammensetzung nebeneinander analysiert werden können. Es handelt sich um ein mehrstufiges Verfahren, bei dem die Probe von 200 auf 500 °C in einer thermogravimetrischen Analysenwaage unter Ausschluss von Sauerstoff erhitzt wird und die Zersetzungsgase auf einem Sorbens aus Polydimethylsiloxan gesammelt werden. Nach dessen Überführung in die Thermodesorptions-Einheit werden die Zersetzungsprodukte wieder desorbiert, kryofokussiert und mithilfe der GC-Säule getrennt. Im Chromatogramm können die Kunststoffe dann anhand von ihren polymerspezifischen Zersetzungsprodukten detektiert und so die Kunststoffgehalte in der Probe quantifiziert werden (Abdolapur Monikh et al. 2023).

Zur Bestimmung des Degradationszustandes der Kunststoffrasen-Komponenten erfolgten zudem polymerwissenschaftliche Analysen der funktionellen Gruppen (ATR-FTIR), Phasenmorphologie (DSC), thermischen Zersetzungsverhaltens (TGA) und morphologischen Änderungen (REM).

3.2 Projektverlauf

In früheren Projekten wurde mithilfe von Säulenversuchen im Labormaßstab eine Methodik zur Bewertung der Umweltverträglichkeit von Kunststoffrasen- und Sportflächensystemen hinsichtlich der Freisetzung von Schadstoffen und deren Transport über den Pfad Boden-Grundwasser erarbeitet (Kalbe et al. 2013; Krüger et al. 2012). Die Ergebnisse zeigten, dass es notwendig ist, die gesamte Struktur solcher Systeme zu berücksichtigen, da es keine direkten Bewertungskriterien für die einzelnen Rasenkomponenten gibt. Solche Untersuchungen wurden für mehrere gängige Sportplatzanlagen durchgeführt. Die Schadstoffkonzentrationen in den Eluaten wurden mit den Grenzwerten einer 2023 in Kraft getretenen Verordnung für den Einsatz von Recyclingmaterialien im Bauwesen (BGBl. 2021) verglichen.

An diese Vorgehensweise wurde im hier durchgeführten Projekt angeknüpft. Es wurden innovative MEL unter ungesättigten Bedingungen und mit etwas größeren Abmessungen entwickelt, da sie die Feldbedingungen etwas realistischer widerspiegeln. Dabei wurde für die Entnahme von Eluatfraktionen ein spezielles Filtermodul am Auslauf der Lysimeter entwickelt, in welches die MP-Filtertiegel eingesetzt werden können, so dass eine gleichzeitige Beprobung zur Untersuchung des Austrages von MP und Schadstoffen möglich ist. Bei den verwendeten Werkstoffen wurde darauf geachtet, dass eine Querkontamination vor allem bezüglich der Zielpolymere ausgeschlossen ist. Um die Versuchsdauer im zeitlichen Rahmen des Projektes zu halten, wurden die Versuchsbedingungen gegenüber dem Up-flow-Perkolationsverfahren unter gesättigten Bedingungen nach DIN 19528 modifiziert. Auf Grund der größeren Abmaße steht mehr Eluatvolumen zur Verfügung und die Anzahl der Eluatfraktionen konnte deutlich erhöht werden.

In den MEL-Experimenten kamen fabrikneue, real gealterte und unter Laborbedingungen gealterte Kunststoffrasenkomponenten zum Einsatz.

Die beschleunigte Alterung erfolgte in einem zweistufigen Prozess. Zunächst wurden die fabrikneuen Kunststoffrasen (Abbildung 6c) und EPDM-Granulate im Bewitterungsgerät (Abbildung 6a) einer UV-Beanspruchung bei einer konstanten Luftfeuchte von 90 % und einem Temperaturprogramm unterzogen. Die UV-Parameter orientierten sich an mitteldeutschen Bedingungen, wobei der Parameter Temperatur als Reaktionsbeschleuniger für eine beschleunigte Alterung diente.

Mikroplastik-Eluat-Lysimeter (MEL)

Das neuartige in der BAM entwickelte Mikroplastik-Eluat-Lysimeter (MEL, Abbildungen 5a + b) besteht aus einem Kontroll-Modul mit Berechnungssystem, einem Glas-Lysimeter mit Überlauf und Mikroplastik-Filter-Modul sowie den Eluatsammelflaschen mit Vakuumkuppelung. Das Kontroll-Modul ist an die hauseigene Wasserversorgung mit deionisiertem Wasser angeschlossen. Es besteht aus einem Wassermelder mit vorgeschaltetem Magnetabsperrventil (bei Leckage), einem Wasserdrukregler für eine optimale Bewässerung mit der Nebelsprühdüse und einer Zeitschaltuhr mit Magnetventil zur Automatisierung der Bewässerungsintervalle.

Der transparente Glaszylinder ermöglicht die Überwachung der korrekten Funktion des MEL-Systems und die Beobachtung des allgemeinen Versuchsablaufs. Der Versuchsaufbau des Kunststoffrasen-Systems im Glaszylinder bildet den kompletten Oberbau eines Kunststoffrasensystems über dem Baugrund ab und schließt von unten nach oben die ungebundene Tragschicht, die elastisch gebundene Tragschicht sowie den Kunststoffrasenteppich inklusive Infill (Sand und ggf. Gummi-Granulat) ein. Der Glaszylinder steht auf dem unteren Flansch, der zur Verbesserung des Eluatabflusses trichterförmig konstruiert wurde. Oberhalb des unteren Flansches befindet sich ein Edelstahlsieb, das große Feststoffpartikel ($> 1\text{ mm}$) zurückhält, aber $\text{MP} < 1\text{ mm}$ durchlässt. Es folgt das Mikroplastik-Filtermodul (Abbildung 5c), das neu konstruiert wurde, um das Eluat automatisch durch speziell für die TED-GC/MS konstruierte Mikroplastik-Filtertiegel (Abbildung 5d) zu filtrieren und $\text{MP} > 5\text{ }\mu\text{m}$ zurückzuhalten. Schließlich wird das Eluat in 20-Liter-Glasflaschen aufgefangen, die mit einer Vakuumpumpe verbunden sind, um die Filtration durch die kleinmaschigen Mikroplastik-Filtertiegel zu erleichtern.

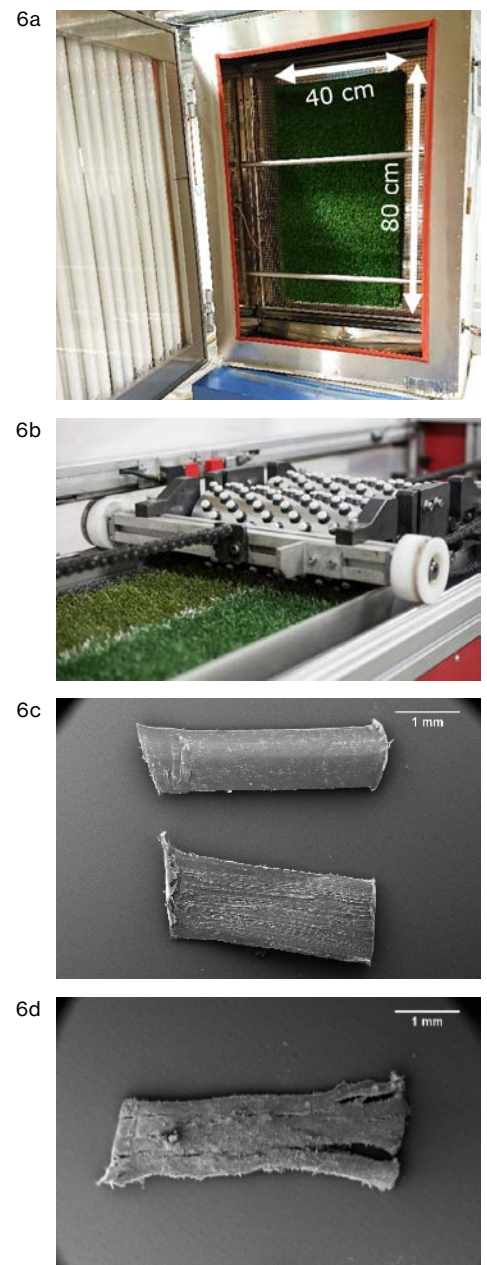
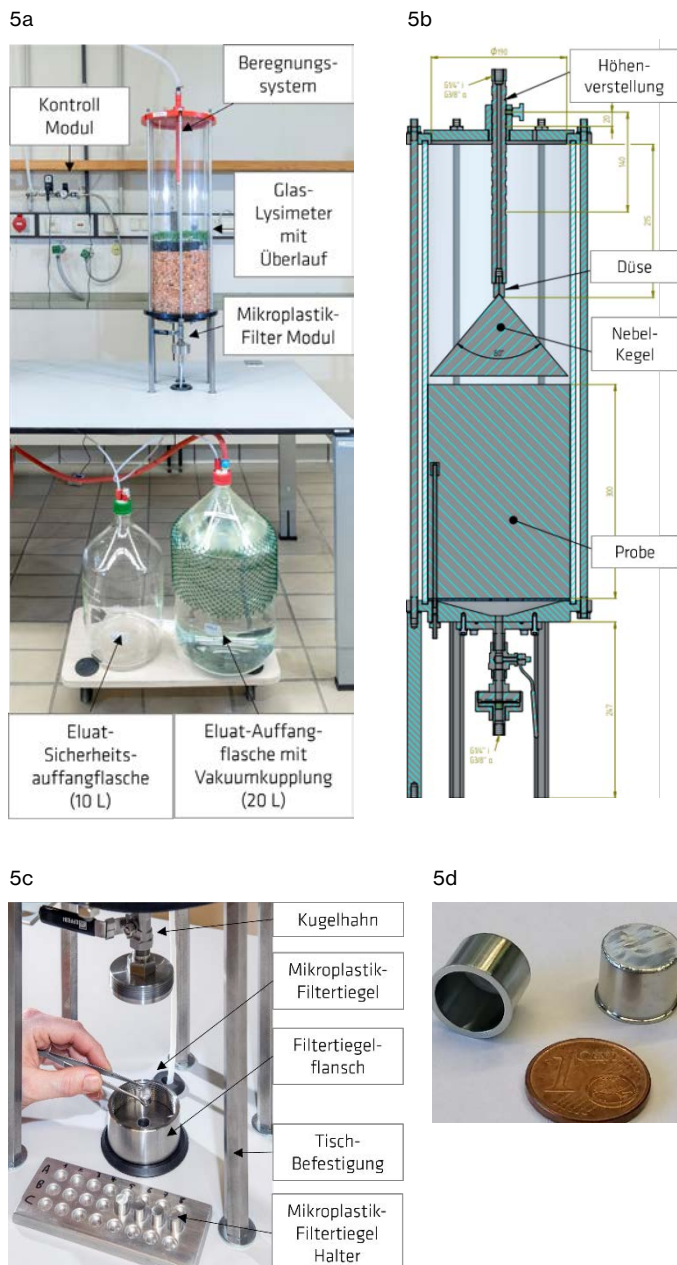
Nach der Bewitterung wurde die mechanische Beanspruchung der Kunststoffrasen mittels einer Verschleißmaschine (Lisport, Abbildung 6b) nach DIN EN 15306: 2014 beim Projektpartner Polytex GmbH, Grefrath simuliert. Dafür wurden die Proben mit zwei Edelstahlwalzen mit Polyamid-Stollen und jeweils einem Gewicht von 28,5 kg beansprucht. Die Zyklenanzahl wurde dabei der zu simulierenden Lebensüber angepasst.

Zur Validierung und Einschätzung der Effekte der beschleunigten Alterung (Abbildung 6d) wurden die Kunststoffrasen-Komponenten auch einzeln physikalisch-chemisch charakterisiert (Rasterelektronenmikroskopie (REM), Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC), abgeschwächte Totalreflexion-Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (ATR-FTIR) und Thermogravimetrische Analyse (TGA)) sowie bezüglich der Freisetzung von Schadstoffen mit Schüttelversuchen analysiert.

Zur Ermittlung potentieller Luft-Emissionen wurden die bei der Lisport-Prüfung freiwerdenden Partikel von rRasen (sandgefüllt) und fRasen (sand- und EPDM-gefüllt) gesammelt und nach DIN EN 933-1:2012 fraktioniert auf fünf Fraktionen gesiebt: < 1.000 µm, 1.000–500 µm, 500–100 µm, 100–50 µm und 50–0 µm. Zur Bestimmung des Polymer- beziehungsweise Organikanteils wurden Messungen mittels TGA durchgeführt.

Abb. 5: (links) Aufbau und zentrale Elemente der MEL: a) Totalaufnahme, b) Technische Zeichnung, c) Mikroplastik-Filtermodul, d) Mikroplastik-Filtertiegel. Quelle: BAM

Abb. 6: (rechts) Alterung der Kunststoffrasenkomponenten unter Laborbedingungen: a) Kunststoffrasen im geöffneten Bewitterungsschrank, b) Mechanische Alterung mit Lisport-Tester, c) REM-Aufnahme von neuen rRasen-Grasfasern, d) REM-Aufnahme einer gealterten rRasen-Grasfaser. Quelle: BAM (6a, c, d); Polytex Sportbeläge Produktions-GmbH (6b)



Literatur

Abdolahpur Monikh, F.; Baun, A.; Hartmann, N. B.; Kortet, R.; Akkanen J.; Lee, J.-S.; Shi, H.; Lahive, E.; Uurasjarvi, E.; Tufenkji, N.; Altmann, K.; Wiesner, Y.; Grossart, H. P.; Peijnenburg, W.; Kukkonen, J. V. K., 2023: Exposure protocol for ecotoxicity testing of microplastics and nanoplastics. *Nature Protocols* 18: 3534–3564.

Bertling, J.; Dresen, B.; Bertling, R.; Aryan, V.; Weber, T., 2021: Kunstrasenplätze – Systemanalyse unter Berücksichtigung von Mikroplastik- und Treibhausgasemissionen, Recycling, Standorten und Standards, Kosten sowie Spielermeinungen. Oberhausen.

BGBl. – Bundesgesetzblatt, 2021: Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. BGBl. I vom 16. Juli 2021. BAnz G 5702. Bonn: 2598–2752.

Capolupo, M.; Sorensen, L.; Jayasena, K. D. R.; Booth, A. M.; Fabbri, E., 2020: Chemical composition and ecotoxicity of plastic and car tire rubber leachates to aquatic organisms. *Water Research* (169): 115270.

DFB – Deutscher Fußball-Bund (Hrsg.), 2021: DFB-Handlungsempfehlung für Fußballvereine & Kommunen: Mikroplastikaustrag bei bestehenden Kunstrasenflächen. Zugriff: https://assets.dfb.de/uploads/000/312/058/original_original_Mikroplastik-Handlungsempf_03-08-2021_final.pdf [abgerufen am 29.08.2025].

European Commission 2023. Protecting environment and health: Commission adopts measures to restrict intentionally added microplastics.

FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (Hrsg.), 2022: Fachbericht Kunstrasensportböden: Nachhaltige Kunststoffbelagsauswahl für Sportfreianlagen. Bonn.

Gomes, F. O.; Rocha, M. R.; Alves, A.; Ratoila, N., 2021: A review of potentially harmful chemicals in crumb rubber used in synthetic football pitches. *Journal of Hazardous Materials* (409): 124998.

Kalbe, U.; Krüger, O.; Wachtendorf, V.; Berger, W.; Hally, S., 2013: Development of leaching procedures for synthetic turf systems containing scrap tyre granules. *Waste and Biomass Valorization* (4): 745–757. <https://doi.org/10.1007/s12649-013-9248-5>

Kalbe, U.; Krüger, O.; Wachtendorf, V.; Berger, W., 2012: Umweltverträglichkeit von Kunststoff- und Kunststoffrasenbelägen auf Sportfreianlagen. Hellenthal.

Kalbe, U.; Susset, B.; Bandow, N., 2016: Umweltverträglichkeit von Kunststoffbelägen auf Sportfreianlagen: Modellierung der Stofffreisetzung aus Sportböden auf Kunststoffbasis zur Bewertung der Boden- und Grundwasser-Verträglichkeit. Hellenthal.

Kittner, M.; Bauer, V.; Altmann, K.; Kraft, O.; Nordmann, T.; Kalbe, U., o. J. (a): Mikroplastik-Austräge aus Sportplätzen ins Grundwasser: Erster Vergleich von Labor- mit Realsportplatz-Ergebnissen. Bodenschutz, 04/2025.

Kittner, M.; Coesfeld, B.; Werischak, T.; Schlau, S.; Altmann, K.; Kalbe, U., o. J. (b): Simultaneous Sampling for Microplastics and Environmental Contaminants from Artificial Turf - Development of a new integrated Microplastics Eluate Lysimeter. Zur Veröffentlichung eingereicht bei Environmental Science Europe.

Krause, S.; Ouellet, V.; Allen, D.; Allen, S.; Moss, K.; Nel, H. A.; Manaseki-Holland, S.; Lynch, I., 2024: The potential of micro- and nanoplastics to exacerbate the health impacts and global burden of non-communicable diseases. *Cell Reports Medicine* (5): 101581.

Krüger, O.; Kalbe, U.; Berger, W.; Nordhauß, K.; Christoph, G.; Walzel, H.-P., 2012: Comparison of Batch and Column Tests for the Elution of Artificial Turf System Components. *Environmental Science & Technology* (46): 13085–13092. <https://doi.org/10.1021/es301227y>

Magnusson, S.; Mácsik, J., 2020: Determining the effectiveness of Risk Management Measures to minimize infill migration from synthetic turf sports fields. Zugriff: <https://www.estc.info/wp-content/uploads/2020/09/Ecoloop-Report-Effectiveness-RMMs.pdf> [abgerufen am 29.08.2025].

Patrick, M.; Englert, A.; Burkhardt, M., 2024: Kunstrasenflächen in der Schweiz und Relevanz von Mikroplastik. Rapperswil.

Rieckhof, C.; Martinez-Hernandez, V.; Holzbecher, E.; Meffe, R., 2024: Effect of particle size on the transport of polystyrene micro- and nanoplastic particles through quartz sand under unsaturated conditions. *Environmental Pollution* (363): 125193.

Susset, B.; Grathwohl, P., 2011: Leaching standards for mineral recycling materials - A harmonized regulatory concept for the upcoming German Recycling Decree. *Waste Management* (31): 201–214.

Yang, X.; Tang, D. W. S., 2024: Modeling microplastic transport through porous media: Challenges arising from dynamic transport behavior. *Journal of Hazardous Materials* (484): 136728.

Projektbeteiligte



Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)



Polytex Sportbeläge Produktions-GmbH

Impressum

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.02
Projektlaufzeit: 09.22 bis 11.24
Bundesmittel in €: 139.724,00

Zuwendungsempfängende:
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Polytex Sportbeläge Produktions-GmbH

Über Zukunft Bau

Mit dem Innovationsprogramm Zukunft Bau stärkt das BMWSB gemeinsam mit dem BBSR die Zukunfts- und Innovationsfähigkeit des Bausektors. Die Zukunft Bau Forschungsförderung schafft Vorbilder, die die Machbarkeit von neuen Ideen ausloten und die Baupraxis weiterentwickeln. Gefördert werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die einen Gebäudebezug als Schwerpunkt haben und einen substantiellen Beitrag zur Bewältigung aktueller und künftiger Herausforderungen im Baubereich erwarten lassen.

zukunftbau.de

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Verena Kluth
verena.kluth@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Dr. Maria Kittner
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
maria.kittner@bam.de

Dr. Korinna Altmann
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Dr. Sven Hamann
Polytex Sportbeläge Produktions-GmbH

Rüdiger Weyer
Polytex Sportbeläge Produktions-GmbH

Dr. Ute Kalbe
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Redaktion

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Stand

März 2025

Grafisches Konzept

www.sans-serif.de

Satz und Barrierefreiheit

www.sans-serif.de
www.satzweiss.com

Bildnachweis

Titelbild: Polytex Sportbeläge Produktions-GmbH

Vervielfältigung



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons-Lizenz Attribution – Share Alike 4.0 (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers und der Weitergabe unter gleichen Bedingungen die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. Nähere Informationen zu dieser Lizenz finden sich unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de/>.

Die Bedingungen der Creative Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Kittner, M.; Altmann, K.; Hamann, S.; Weyer, R.; Kalbe, U., 2025: Freisetzung von Mikroplastik aus Kunststofffrasen: MP-SPORT. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Zukunft Bau – Forschung KOMPAKT 5/2025. Bonn. <https://doi.org/10.58007/811c-zr40>



Bonn 2025
ISSN 2944-067X

Dieses Werk ging aus folgendem Forschungsbericht hervor:

Kittner, M.; Altmann, K.; Hamann, S.; Weyer, R.; Kalbe, U., 2025: Bewertung der Freisetzung von Mikroplastik aus Sportböden auf Kunststoffbasis. Berlin.

Hier geht es zum kostenfreien Forschungsbericht:

<https://doi.org/10.26272/opus4-63311>

