

Kunststoffrasenflächen für Fussball: Qualität und Beurteilung des Sickerwassers



Im Auftrag des Bundesamtes für Sport (BASPO),
des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und
des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Kanton Zürich

25. September 2024

Impressum

Auftraggeber

- Bundesamt für Sport (BASPO), Magglingen
- Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern
- Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Kanton Zürich

Auftragnehmer

Michael Burkhardt, Alexander Englert, Michael Patrick

OST – Ostschweizer Fachhochschule
Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC)
Oberseestrasse 10
8640 Rapperswil, Schweiz

Kontakt: michael.burkhardt@ost.ch

Begleitgruppe

- Allemann, Volker, Zwischenraum Landschaftsarchitektur, Altendorf
- Baroni, Marco, SFV Schweizer Fussballverband, Muri
- Bertling, Ralf, Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, D
- Bovigny, Pierre-Yves, SFV Schweizer Fussballverband, Muri
- Borer, Paul, Amt für Wasser und Abfall, Fachbereich Grundwasser, Bern
- Brändli, Heinz, Walo Bertschinger AG, Jona
- Finger, Amanda, BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe, Bern
- Fischer, Patrick, BAFU, Sektion Siedlungswasserwirtschaft, Bern
- Frassetto, Dino, Walo Bertschinger AG, Dietikon
- Götz, Christian, AWEL, Gewässerschutzlabor, Zürich
- Ilvonen, Outi, Deutsches Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau, D
- Koonert, Jörn, GEZOLAN AG, Dagmersellen
- Laporte, Christophe, DGE Direction Générale de l'Environnement, Epalinges
- Lehmann, Olaf, CONICA AG, Schaffhausen
- Meister, Daniel, AWEL, Sektion Grundwasser und Wasserversorgung, Zürich
- Meya, Mathias, AWEL, Gewässerschutzlabor, Zürich
- Moser, Catherine, Amt für Umwelt und Energie, Basel-Stadt
- Neher, Johannes, GSZ, Park- und Grünanlagen, Stadt Zürich
- Rudaz, Gilles, BAFU, Sektion Landschaftspolitik, Bern
- Schmid, Stefan, AWEL, Sektion Siedlungsentswässerung, Zürich
- Schmocker, Martin, Amt für Wasser und Abfall, Fachbereich Grundwasser, Bern
- Schwarz, Niklaus, BASPO, Fachstelle Sportanlagen, Magglingen
- Schwarzenbach, Simon, AWEL, Sektion Abfallwirtschaft, Zürich
- Stamm, Pascal, Zwischenraum Landschaftsarchitektur, Altendorf
- Waibel, Annett, Tisca Tischhauser AG, Bühler

Hinweis: Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Sport (BASPO), des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich, verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zusammenfassung

Kunststoffrasenplätze für Fußball sind aufgrund der höheren Nutzungsstunden als auf Naturrasen sehr beliebt. Die verschiedenen Systemaufbauten bestehen typischerweise aus einer Trag- und Elastikschicht sowie einem Kunststoffrasenteppich, der unverfüllt oder mit Einstreugranulat umgesetzt wird. Wie frühere Untersuchungen zeigen, können Stoffe aus den eingesetzten Materialien ausgewaschen und ins Sickerwasser verlagert werden. Die dazu verfügbare Datengrundlage ist jedoch lückenhaft, woraus offene Fragen zur gewässerschutzrechtlichen Bewilligungspraxis resultieren.

Aktuell wird das Auswaschverhalten durch Hersteller mit einem in den technischen Regelwerken geforderten Eluattest nachgewiesen (DIN 18035-6:2021-08: 1-Punkt-messung, +20 °C). Gewisse Aspekte wie der Einfluss der Temperatur und der Konzentrationsverlauf sind wenig bekannt. Zudem ist die Vergleichbarkeit mit der effektiven Belastung im Sickerwasser unklar. Der Nachweis ist aus Sicht des Gewässerschutzes eher nicht ausreichend.

Zusätzliche Untersuchungen zur Auswaschung sollten mehr Erkenntnisse bringen und die Unsicherheit in der bisherigen Bewilligungspraxis beseitigen helfen. Deshalb wurden Sickerwässer von 23 Kunststoffrasenplätzen für Fußball (verfüllt, unverfüllt, verschiedene Alter) sowie Eluate von exemplarisch ausgewählten Einzelkomponenten untersucht (11 Kunststoffrasen, 8 Einstreugranulate, 5 Elastikschichten). Die relevanten Parameter wurden durch eine umfassende Vorabklärung (72 Parameter quantifiziert, «non-target-Screening») ermittelt.

Die Analysen vom Sickerwasser zeigen, dass der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und die Trübung durch Kunststoffrasenflächen nicht nachweisbar beeinflusst wird. Je nach Betonbauten im Untergrund und Bodenstabilisierungen ist aber eine Erhöhung des pH-Werts möglich. Von 19 analysierten anorganischen Elementen kommt im Sickerwasser älterer Anlagen besonders Zink mit Konzentrationen bis zum 10-fachen des Anforderungswerts für Gewässer (Anhang 2 Ziff. 1) vor. Zwischen verfüllten und unverfüllten Plätzen wurde kein Unterschied beobachtet. Auf Plätzen mit organischen Füllstoffen wie Kork treten dagegen Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) oberhalb des Anforderungswerts der GSchV (10 mg/l DOC, Anhang 3.1 Ziff. 2) auf. Der DOC ist stoffunspezifisch und kann durch synthetische Stoffe beeinflusst sein, ist aber im Falle von Kork vor allem durch Huminsäuren dominiert. Diese können zusätzlich von Vegetationsresten stammen. Unter allen organischen Mikroverunreinigungen treten vor allem Benzothiazol und 2-Mercaptobenzothiazol (MBT) auf neueren Plätzen auf. Die Konzentrationen liegen durchweg unterhalb der Qualitätskriterien. Auf dem weiteren Weg ins Gewässer können die Stoffe adsorbieren, abgebaut und verdünnt werden. Zu berücksichtigen ist, dass die Anforderungswerte und Qualitätskriterien nicht für Sickerwässer gelten, wo die Proben entnommen und gemessen wurden, sondern erst für das Gewässer nach nachvollständiger Durchmischung.

Die Laborversuche zeigen, dass sich geringe Konzentrationen mit Rasenteppichen verbinden, hohe hingegen mit synthetischen Einstreugranulaten (EPDM, SBR) sowie Kork. Besteht die Elastikschicht aus verklebtem synthetischem Granulat, ist das Stoffspektrum vergleichbar, die Konzentrationshöhen sind jedoch geringer. Von den analysierten

Schwermetallen sind Zink und den Mikroverunreinigungen Benzothiazol und MBT stets nachweisbar. Im Laboreluat stellt der DOC (und SAK₂₅₄) für synthetische Materialien einen geeigneten Indikator für organische Mikroverunreinigungen dar. Im Vergleich mit den Anforderungswerten und Qualitätskriterien für Gewässer streuen die Überschreitungen in den Eluaten stoffspezifisch weit (Faktor < 1 bis 90'000).

In den Laborversuchen mit einer sequenziellen Auswaschung (10 Elutionen) nehmen die Konzentrationen um einen Faktor 10 bis 100 ab. Nur wenige Produkte zeigen keine Abnahme. Ein entsprechender Konzentrationsverlauf ist auch im Einbauzustand zu erwarten. Wird die Elutionstemperatur von +20 °C (Standard-Eluattest) auf +60 °C erhöht, führt dies bei fast allen betrachteten Stoffen zu höheren Konzentrationen (bis Faktor 10). Die starke Erwärmung der Kunststoffrasenplätze bei Sonneneinstrahlung wird dadurch abgebildet.

Aufgrund der Ergebnisse wird für die Bewertung der Eluate eine Erweiterung des Standard-Eluattests zu einer sequenziellen Elution (8x hintereinander) vorgeschlagen. Fünf Parameter (DOC, Antimon, Zink, Benzothiazol, MBT) bieten sich für die Bewertung an. Diese Stoffe kommen in fast allen Materialien vor. Sie sind zudem mit einer hohen Umweltrelevanz verbunden (z. B. Ökotoxizität), wurden von allen analysierten Stoffen am häufigsten im Sickerwasser nachgewiesen und es liegen Anforderungswerte der GSchV oder Qualitätskriterien vor.

Mit dem vorgeschlagenen Bewertungskonzept können die Einzelkomponenten hinsichtlich ihrer Gewässerverträglichkeit differenziert und den VSA-Belastungsklassen (gering, mittel, hoch) zugeordnet werden. Dazu werden stoffspezifische Risikoquotienten mit Prüfwerten verglichen. Die Prüfwerte wurden aus den Qualitätskriterien bzw. Anforderungswerten unter Berücksichtigung von Transferfaktoren abgeleitet. Die höchste Belastung pro Einzelkomponente bestimmt die Belastungsklasse des Systemaufbaus. Auf dieser Grundlage können auswaschungsarme Komponenten ausgewählt und Systemaufbauten mit geringer Belastung realisiert werden. Die Voraussetzungen hierfür sind z. B. bei unverfülltem Kunststoffrasen in Verbindung mit einer geeigneten Elasticschicht gegeben.

Inhalt

1	Hintergrund	2
2	Ziele	4
3	Gewässerschutzrechtliche Grundlagen	4
4	Labor- und Felduntersuchungen	5
4.1	Eluatversuche	5
4.2	Feldprobenahmen	6
5	Voruntersuchung: Stoffe in Eluaten und Sickerwässern	7
5.1	Vorgehen	7
5.2	Ergebnisse der Standardanalytik.....	8
5.3	Ergebnisse der Screenings	10
5.4	Fazit zur Voruntersuchung	10
6	Kunststoffrasenplätze: Qualität des Sickerwassers	11
6.1	Auswahl der Plätze	11
6.2	Ergebnisse	12
6.2.1	Basisparameter	12
6.2.2	Summenparameter.....	13
6.2.3	Elemente	13
6.2.4	Thiazole und SAK ₂₅₄	15
6.3	Fazit zu den Sickerwässern.....	16
7	Einzelkomponenten für Kunststoffrasen: Auswaschverhalten	16
7.1	Materialauswahl	16
7.2	Auswaschserie.....	18
7.2.1	Vorgehen	18
7.2.2	Basis- und Summenparameter	18
7.2.3	Elemente	19
7.2.4	Thiazole und SAK ₂₅₄	20
7.3	Temperatureinfluss	21
7.3.1	Vorgehen	21
7.3.2	Ergebnisse.....	22
7.4	Fazit zu den Laborversuchen	24
8	Stofftransfer in die Umwelt	25

9	Vorschlag für ein Bewertungskonzept	26
9.1	Auswaschung.....	26
9.2	Stofftransfer	27
9.3	Prüfwerte.....	29
9.4	Bewertungsablauf	30
10	Schlussfolgerungen	32
11	Literatur.....	34
Anhang A	Belagstypen bei Kunststoffrasenplätzen	36
Anhang B	Auswaschversuche und Probenahme im Feld.....	36
Anhang C	Analytische Vorabklärung	37
Anhang D	Feld- und Laboruntersuchungen	40
Anhang E	Dokumentation zu ausgewählten Kunststoffrasenplätzen.....	45
Anhang F	Bewertung gemäss Standard-Eluattest.....	47

1 Hintergrund

Fussball spielen ist sehr beliebt. Die meisten Fussballvereine verzeichnen vor allem im Nachwuchsbereich einen hohen Zuwachs. Das stellt Gemeinden und Vereine vor Probleme, da nicht genügend Trainingsplätze zur Verfügung stehen und die Naturrasenplätze bis an ihre Belastungsgrenze genutzt werden müssen. Die Zahl der Kunstrasenplätze in der Schweiz nimmt daher aufgrund der höheren Nutzungsstunden über das Jahr hinweg stetig zu (Patrick et al., 2024). Die Nutzungsintensität und die Witterungseinflüsse beeinflussen die Lebensdauer der Plätze. Die Lebensdauer eines Kunstrasenteppichs beträgt in der Regel 12 bis 15 Jahre (Bertling et al., 2021).

Bei Kunststoffrasenplätzen gibt es verschiedene Systemaufbauten. Typischerweise werden in der Schweiz die Tragschicht, die Elastikschicht und der Kunstrasen auf einem Kieskoffer verlegt (Abbildung 1, Anhang A Abbildung 21) (BASPO, 2006, DIN 18035-7:2019-12):

- Kieskoffer (20 bis 60 cm): Besteht aus einem Kies- oder Splittgemisch.
- Tragschicht (ca. 5 cm): Sorgt für einen stabilen wasserdurchlässigen und ebenen Belag. Sie ist häufig als bituminöser Drainageasphalt ausgeführt, kann aber auch aus Kies bestehen (ungebunden).
- Elastikschicht (ca. 3 cm) (Abbildung 2): Wird meist vor Ort aus recyceltem SBR¹- oder EPDM²-Granulat verklebt. Es gibt auch vorgefertigte Platten.
- Rasenteppich: Besteht aus einer Trägermatte mit Kunststofffasern (Polschicht) aus Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), Polyamid (PA) oder einer Kombination davon.
- Verfüllung: Kunststoffrasen kann ohne Verfüllung (Abbildung 2) oder mit synthetischem (SBR, EPDM, TPE³ etc.) oder organischem Einstreugranulat (Kork, Olivenkerne etc.) ausgeführt werden (Luginbühl, 2018). Meist wird zusätzlich Sand zum Beschweren des Kunstrasen verwendet.

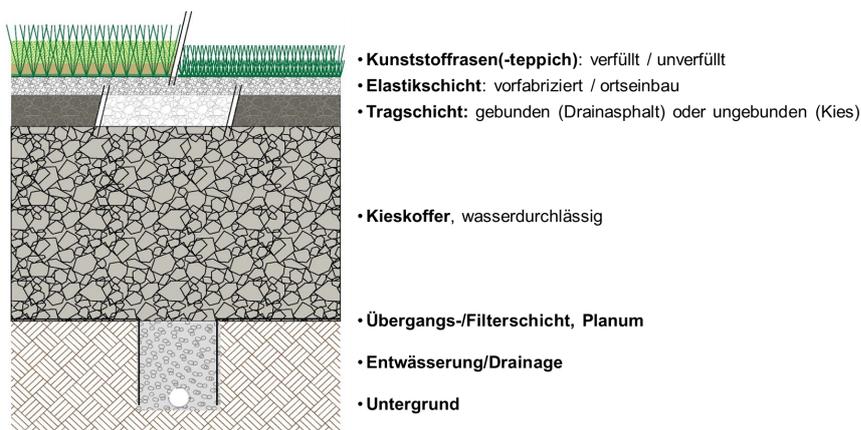


Abbildung 1: Aufbau eines Kunststoffrasenplatzes ohne Basisabdichtung (Quelle: BASPO).

¹ SBR: Styrol-Butadien-Kautschuk

² EPDM: Ethylen-Propylen-Dien-(Monomer)-Kautschuk

³ TPE: Thermoplastische Elastomere

Das Ausgangsmaterial für recyceltes SBR-Granulat sind in der Regel alte Autoreifen (End-of-Life Tyre, ELT).

Die synthetischen Einstreugranulate zählen zum primären Mikroplastik (Patrick et al., 2024)⁴. Durch die Alterung und die mechanische Beanspruchung von Rasenteppich (Halme) und synthetischem Granulat entsteht sekundäres Mikro- und Makroplastik. Mikroplastik kann in die Umgebung verfrachtet werden (Løkkegaard et al., 2018; FLL, 2022; Patrick et al., 2024). Die EU hat inzwischen ein Verbot für synthetisches Einstreugranulat ausgesprochen, das 2031 in Kraft treten soll (EU, 2023).

Aus den Materialien können auch Stoffe mit dem Niederschlag ausgewaschen und ins Sickerwasser verlagert werden (BASPO, 2007; Kalbe et al., 2016; FLL, 2022). Bekannt sind die den Reifen zugesetzten Vulkanisationsmittel Zinkoxid und Benzothiazol, die bevorzugt in SBR, aber auch in EPDM vorkommen. Darüber hinaus können spezifische Additive wie Antioxidantien, Tenside, Flammschutzmittel, Weichmacher etc. enthalten sein. Durch die Bewässerung der Plätze können auch bei Trockenwetter umweltkritische Stoffe freigesetzt werden.

Die Belastung durch die freigesetzten Stoffe wird in der Schweiz unabhängig von der Bauart der Plätze und den verwendeten Produkten generell mit der Belastungsklasse «mittel» abgedeckt (VSA, 2019). Eine systematische produktdifferenzierte Überführung in die drei möglichen VSA-Belastungsklassen (gering, mittel, hoch) fehlt.



Abbildung 2: Unverfüllter Rasenteppich (links) und Ortseinbau einer Elastikschicht (rechts).

Die Norm DIN 18035-7 (2019) enthält allgemeine Anforderungen an den Systemaufbau und die Umweltverträglichkeit. Das Auswaschverhalten der Materialien wird typischerweise durch den Hersteller mit einem Eluattest (DIN 18035-6:2021-08) nachgewiesen und die analysierten Parameter mit Umweltempfehlungen (DIN 18035-7:2019-12, RAL 943) verglichen. Aus Sicht des Gewässerschutzes ist der Test zur Beurteilung des Belastungspotenzials jedoch eher unzureichend, da die Relevanz der ausgewählten Stoffe unklar ist und der Abgleich mit den tatsächlichen Belastungen im Sickerwasser fehlt. Zudem werden die Erkenntnisse über den zeitlichen Verlauf der Stofffreisetzung nicht berücksichtigt (BASPO, 2007).

⁴ <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/microplastics>

Um die Belastungen im Sickerwasser besser abschätzen zu können, sollte daher die Bedeutung des Parameterumfangs, des Emissionsverlaufs und der Einbausituation geklärt und in der Beurteilung einbezogen werden (Kalbe et al., 2016). Entsprechende Erkenntnisse können Labor- und Feldversuche liefern.

Aufgrund der offenen Fragen bestehen bei Planern und Genehmigungsbehörden Unsicherheiten, wie Systemaufbauten produktdifferenziert und gewässerschutzrechtlich einzustufen sind. Zudem ist unklar, welche Kriterien für eine geringe Belastung zu erfüllen sind.

2 Ziele

Auf Grundlage von Untersuchungen auf Kunststoffrasenplätzen für Fussball und im Labor sollte deshalb eine neue Datengrundlage zur Auswaschung sowie Empfehlungen für die Planung und den Betrieb von Kunststoffrasenplätzen erarbeitet werden. Die untersuchten Materialien und Kunststoffrasenplätze sind anonymisiert dargestellt.

Folgende Schwerpunkte wurden gesetzt:

- Erfassung und Beurteilung der Sickerwasserqualität im Einbauzustand und der Relevanz für die Gewässer (Saisonalität, Alter, Produktvielfalt etc.)
- Labortests zur Ermittlung der Stoffauswaschung und deren zeitlicher Änderung
- Festlegung einer Bewertungssystematik zur differenzierten Materialbeurteilung
- Grundlagen für eine gute Entwässerungspraxis und mögliche Massnahmen.

Gegliedert ist der Bericht wie folgt:

- Kapitel 3: Gewässerschutzrechtliche Grundlagen
- Kapitel 4: Labor- und Felduntersuchungen
- Kapitel 5: Voruntersuchung: Stoffe in Eluaten und Sickerwässern
- Kapitel 6: Kunststoffrasenplätze: Qualität des Sickerwassers
- Kapitel 7: Einzelkomponenten für Kunststoffrasen: Auswaschverhalten
- Kapitel 8: Stofftransfer in die Umwelt
- Kapitel 9: Vorschlag für ein Bewertungskonzept
- Kapitel 10: Schlussfolgerungen

Der vorliegende Bericht wird ergänzt durch einen Bericht zu Kunststoffrasenflächen in der Schweiz und einen Grundlagenbericht (Burkhardt et al., 2024; Patrick et al., 2024).

3 Gewässerschutzrechtliche Grundlagen

Für den Schutz der Gewässer sind das Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20, Stand am 1. Februar 2023)⁵ und die Gewässerschutzverordnung (GSchV, 814.201, Stand am 1. Februar 2023)⁶ in der jeweils aktuellen Fassung massgebend. Gemäss Art.

⁵ https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/de

⁶ https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/de

7 Abs. 1 und Abs. 2 GSchG muss verschmutztes Abwasser behandelt und nicht verschmutztes Abwasser versickert werden. Nach Art. 3, Abs. 1 und Abs. 2 GSchV wird die Abgrenzung zwischen verschmutztem und nicht verschmutztem Abwasser getroffen.

Niederschlagsabwasser von Kunststoffrasenplätzen gehört gemäss GSchV (Anhang 3.3, Ziff. 1 Abs. 1 und Abs. 2) zu «anderem verschmutztem Abwasser». Dafür legt die Behörde die Anforderungen an die Einleitung aufgrund der Eigenschaften des Abwassers, des Standes der Technik und des Zustandes des Gewässers fest. Sie berücksichtigt dabei internationale oder nationale Normen, vom BAFU veröffentlichte Richtlinien oder von der betroffenen Branche in Zusammenarbeit mit dem BAFU erarbeitete Grundlagen. Da die GSchV stoffspezifischer wird, sind bei der Beurteilung des Abwassers auch die Inhaltsstoffe der verwendeten Materialien zu berücksichtigen.

Das Sickerwasser wird meist mittels Dränagen im Unterbau gefasst und über einen Schlammsammler zur Versickerung oder ins Oberflächengewässer geleitet (Abbildung 3, 5). Um Gewässer vor Verunreinigungen zu schützen, ist aus dem Einbauort und den Entwässerungswege die Zulässigkeit des Baus sowie aufgrund der möglichen Belastung der Behandlungsbedarf für das Niederschlagsabwasser festzulegen (VSA, 2019).

Der geplante Bau eines Kunststoffrasenplatzes ist auf seine gewässerschutzrechtliche Zulässigkeit zu prüfen. Die besonderen Belange des Grundwasserschutzes sind für den Bereich «Freizeit und Sportanlagen» in zwei Vollzugshilfen des BAFU beschrieben (BAFU, 2004; BAFU 2022). Weitere rechtliche Anforderungen sind im Grundlagenbericht aufgeführt (Burkhardt, 2024).

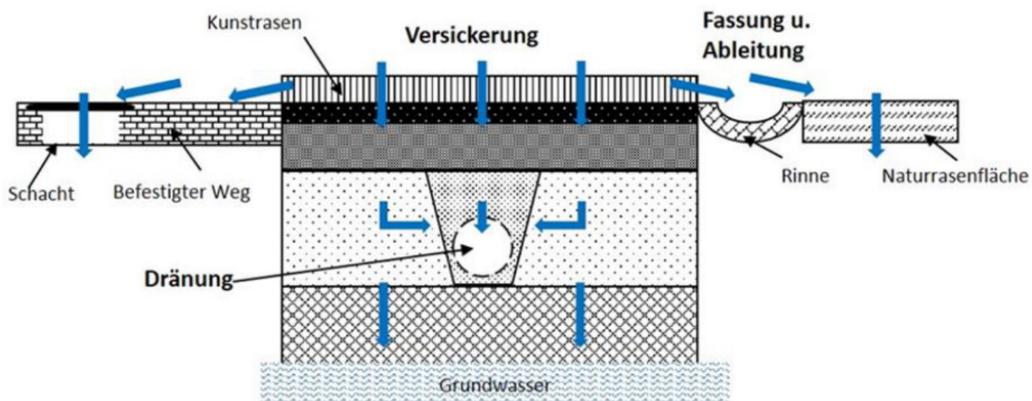


Abbildung 3: Schema zu den möglichen Entwässerungswegen auf Kunstrasenplätzen ohne Basisabdichtung (Bertling et al, 2021).

4 Labor- und Felduntersuchungen

4.1 Eluatversuche

Um die Auswirkungen von den Materialien für Kunststoffrasensysteme und -flächen auf Boden und Grundwasser zu beurteilen, wird ein standardisierter Eluattest genutzt (DIN 18035-6:2021, DIN 18035-7:2019, DIN EN 12457-2:2003-01, RAL 943):

- Elution 1 x 24 h
- Temperatur +20 °C
- Wasser-/Feststoffverhältnis 10:1 (W/F)
- Deionisiertes Wasser (pH 5 bis 7.5) mit Leitfähigkeit < 5 µS/cm
- 1 Eluat analysieren

Mit diesem Test wurden in der vorliegenden Untersuchung ausgewählte Produkte (Rasen, Einstreugranulate, Elastikschichten) untersucht. Dafür wurden die Materialproben in Glasflaschen eingewogen (je 80 g, 8 bis 10 cm Durchmesser), mit deionisiertem Wasser aufgefüllt (800 ml) und auf einem Horizontalschüttler bewegt (120 rpm, 24 h) (Abbildung 22, Anhang B). Die Elutionsgefäße mit Korkgranulat wurden leicht schräg eingespannt, um ein Aufschwimmen zu verhindern.

Der Standard-Eluattest spiegelt einige auswaschrelevante Faktoren des Einbaus nicht wider. So treten z.B. im Sommer höhere Temperaturen auf und die Flächen kommen viele Male in Kontakt mit Wasser.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein erweiterter Standard-Eluattest eingesetzt. Dieser besteht aus einer Elutionsreihe bei sonst gleichen Randbedingungen:

- 10 x 24 h sequenziell eluieren (jeweils Wasser wechseln)
- Temperatur +60 °C
- 1., 5. und 10. Eluat analysieren (nach 24 h, 120 h, 240 h)

Bei den Materialuntersuchungen wurden das 1., 5. und 10 Eluat (7.2), für den Temperaturvergleich zusätzlich das 2. Eluat (48 h) untersucht (Kapitel 7.3).

Im Standard-Eluattest werden Summenparameter (gelöster organischer Kohlenstoff, DOC etc.), Schwermetalle (Blei, Cadmium etc.) und weitere Parameter bestimmt. Im vorliegenden Projekt wurden mehr Parameter analysiert (Kapitel 5.1), um die relevanten Stoffe mit Anforderungswerten der GSchV oder Qualitätskriterien zu vergleichen.

4.2 Feldprobenahmen

Die Beprobung von Sickerwasser bei Regenwetter spiegelt die realen Realbedingungen wider. Deshalb wurden mehrere Plätze entsprechend beprobt. Der Zeitpunkt der Probenahme ist jedoch schwer planbar und die Konzentrationen können durch die Niederschlagsmenge und den Abfluss von anderen Flächen beeinflusst werden.



Abbildung 4: Beregnung der Kunststoffrasenplätze mittels installierter Anlagen.

Aus diesem Grund wurden mehrere Plätze beregnet, sodass der Zeitpunkt planbar war und das Sickerwasser eindeutig einer Anschlussfläche zugeordnet werden konnte (Abbildung 4). Diese Vorgehensweise ermöglichte Probenahmen nach längeren Trockenperioden. Die benötigte Wassermenge lag zwischen 50 und 80 m³/h bei einer Beregnungsdauer von 30 min bis 120 min bis zum Sickerwasseranfall. Die Beprobung erfolgte nach weiteren 10 min. Für die Beregnung wurde Leitungswasser verwendet, das vor allem mit Zink und teils mit Kupfer vorbelastet war (Tabelle 16, Anhang D).

Das Sickerwasser war in der Regel über den Schlammssammler oder über Kontrollschächte zugänglich. Soweit möglich, wurde das Sickerwasser als Stichprobe direkt aus dem Zulaufrohr des Schlammssammlers entnommen (Abbildung 5).



Abbildung 5: Einleitungen von Sickerwasser in Sammelschächte von Kunststoffrasenplätzen.

5 Voruntersuchung: Stoffe in Eluaten und Sickerwässern

Aufgrund der Vielzahl möglicher Stoffe war eine Fokussierung auf typische Belastungsparameter erforderlich. So sollten bevorzugt Stoffe betrachtet werden, die eindeutig quantifizierbar und potenziell umweltproblematisch (persistent, toxisch, mobil) sind. Im Rahmen einer Voruntersuchung wurden daher einige Materialien im Labor und einige Sickerwässer umfassend chemisch analysiert, um die für die weiteren Feld- und Laboruntersuchungen relevanten Stoffe zu identifizieren.

5.1 Vorgehen

Im Standard-Eluattest wurden acht Materialien untersucht: 4 Rasenteppiche, 3 Einstreugranulate, 1 Elastikschicht (Tabelle 1). Damit sind die auswaschrelevantesten Systemkomponenten von Kunststoffrasenplätzen abgedeckt. Die Produkte stammen von verschiedenen Herstellern und werden in der Schweiz seit Jahren verbaut. Materialien der Tragschicht (z.B. Drainasphalt), der Foundation und des Baugrunds wurden nicht berücksichtigt (Abbildung 1). Zusätzlich wurden Sickerwasserproben von zwei verfüllten Kunststoffrasenplätzen (Tabelle 6: Baujahr 2019 und 2020) einbezogen. Alle Proben wurden auf 71 Parameter untersucht (Tabelle 12, Anhang C):

- Basisparameter: pH, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung, Trübung
- Summenparameter: Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- 21 Element, gelöst: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, N, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Te, V, Zn
- EPA-PAK: 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

- 6 Phthalate: Benzylbutylphthalat (BBP), Dibutylphthalat (DBP), Dicyclohexylphthalat (DCHP), Diethylphthalat (DEP), Diethylhexylphthalat (DEHP), Diisobutylphthalat (DIBP)
- Bisphenol A und 4 Derivate (BADGE (Bisphenol-A-Diglycidylether), BADGE·H₂O (Bisphenol-A-(2,3-Dihydroxypropyl)-Glycidylether), BADGE·2H₂O (Bisphenol-A-Bis (2,3-Dihydroxypropyl)-Ether), BADGE + Hydrolyseprodukte (Summe))
- 4 Thiazole (Benzothiazol, 2-Mercaptobenzothiazol, 2-Hydroxybenzothiazol, 2-Aminobenzothiazol)
- 3 Triazole (Benzotriazol, 5,6-Dimethylbenzotriazol, Tolyltriazol)

Zusätzlich wurde jede Probe mittels LC-MS-Screening auf Mikroverunreinigungen untersucht (QTOF X500R, ABSciex, Labor Bachema AG). Für das «Non-Target»-Screening wurde ein Algorithmus angewendet, der alle Peaks über einem Schwellenwert und mit einer Retentionszeit von 3 bis 20 min berücksichtigt. Die Zuordnung der Substanzen erfolgte durch Datenbankabfragen (z.B. mit der Bachema-Datenbank ca. 18'000 Substanzen). Im «Suspect»-Screening wurde eine Liste mit 24 Substanzen (Suspects) vertieft betrachtet (Dicyclohexylphthalat, Nonylphenol, Bis-(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidinyl)sebacat, Phenol, Cyclohexanamin etc.). In Abbildung 23 (Anhang C) sind die Auswertemethoden und Identifikationsniveaus (Level 1 und 9) dargestellt.

Tabelle 1: Auswahl von 8 Materialien für die orientierende Voruntersuchung.

Systemkomponente	Material
Kunststoffrasen_unverfüllt_1	PE und PA
Kunststoffrasen_unverfüllt_2	PE
Kunststoffrasen_verfüllt_1	PE
Kunststoffrasen_verfüllt_2	PE
Einstreugranulat_1	EPDM
Einstreugranulat_2	EPDM
Einstreugranulat_3	Kork
Elastikschicht_1	SBR Rezyklat (ELT)

5.2 Ergebnisse der Standardanalytik

Die Ergebnisse zeigen, dass Rasenteppiche und synthetische Einstreugranulate den pH-Wert leicht erhöhen, Kork hingegen senkt (Tabelle 2). Die Elastikschicht beeinflusst den pH-Wert nicht. Die elektrische Leitfähigkeit wird von den untersuchten Materialien nur leicht erhöht, wobei Kork zur deutlichsten Erhöhung führt. Die Sauerstoffsättigung in den Eluaten nahm durchweg ab. Am meisten Sauerstoff wurde vom Korkgranulat gezehrt (nach 24 h nur 55 %).

Die höchsten DOC- und CSB-Konzentrationen wurden ebenfalls bei Kork beobachtet, gefolgt von unverfülltem Rasen und synthetischen Einstreugranulaten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aus Kork eher Huminsäuren und aus synthetischen Materialien organische Additive ausgewaschen werden. Die Qualität und mögliche Toxizität des DOC kann folglich sehr unterschiedlich sein. Die realen Sickerwässer sind hinsichtlich DOC und CSB unauffällig (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ergebnisse für pH, Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung, DOC und CSB für Eluate von acht Materialproben und zwei realen Sickerwässern.

Parameter	Einheit	Rasen		Einstreugranulat		Elastikschicht	Sickerwasser
		verfüllt	unverfüllt	EPDM	Kork	SBR	
pH	-	8.6 / 9.0	7.3 / 8.8	8.7 / 9.3	5.2	6.3	7.8 / 8.1
Leitfähigkeit	µs/cm	55	124 / 154	76 / 89	281	7	194 / 305
Sauerstoff	%	75	65 / 93	75 / 92	55	88	87 / 98
DOC	mg/l	22 / 34	74 / 145	56 / 66	570	11	ca. 3
CSB	mg/l	49 / 79	227 / 484	108 / 147	2'040	25	ca. 5

Die analysierten Ionen und Komplexe aus der Elementanalytik sind in den Eluaten in geringen Konzentrationen und den Sickerwässern kaum nachweisbar. Bei einigen analysierten Elementen liegen die Konzentrationen sogar unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die leicht erhöhten Konzentrationen der Elemente Al, Cr, Cu, Ni, Hg und Zn sind in Tabelle 3 aufgeführt. Besonders hoch ist die Konzentration von Aluminium (3.1 mg/l). Gründe für das Vorkommen werden in der Anreicherung der Elemente aus der Luft in der Rinde und dem Rezyklieren von Kork (verunreinigtes Sekundärmaterial) gesehen. Inwiefern dieser Befund auf andere Korkprodukte übertragbar ist, ist unklar. Die anderen Kunstrasenprodukte zeigen durchwegs erhöhte Konzentrationen bei Zink, die beiden Rasenprodukte auch bei Kupfer.

Tabelle 3: Konzentrationen von Al, Cr, Cu, Ni, Hg und Zn in den Eluaten von acht Materialproben (je 2 verfüllte/unverfüllte Rasen, 2 EPDM-Granulate, 1 Kork-Granulat, 1 SBR-Elastikschicht) und zwei Sickerwässern im Vergleich mit Anforderungswerten (gelöst) der GSchV, Anhang 2 Ziff. 1.

Element (µg/l)	Rasen		Einstreugranulat		Elastikschicht	Sickerwasser	GSchV
	verfüllt	unverfüllt	EPDM	Kork	SBR		
Al	15 / 55	14 / 27	0 / 139	3'120	< 3	4.2 / 8.2	-
Cr	< 0.1 / 0.2	< 0.1 / 0.2	< 0.1	5.6	< 0.1	0.3 / 0.9	2
Cu	3.0	5.0 / 411	< 0.3	49	< 0.3	< 0.5	2
Ni	1.0 / 2.2	2.4 / 42	0.5	8.3	< 0.5	< 0.5	5
Hg	< 0.01	< 0.01 / 0.06	< 0.01	0.06	< 0.01	< 0.01 / 0.02	0.01
Zn	45 / 249	76 / 147	7 / 153	83	348	< 5 / 5.8	5

PAK sind durchweg unauffällig. Von den 16 EPA-PAK tritt nur Naphthalin im Eluat der Elastikschicht mit einer geringfügigen Überschreitung des Anforderungswertes für Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt werden soll, auf (0.17 µg/l).

Drei Eluate zeigen positive Befunde für Phthalate, die Konzentrationen sind aber gering. So sind im Eluat des Korkgranulats DBP (3.8 µg/l) und in den Eluaten der Kunststoffrasen DEP (15 µg/l) und DEHP (21 µg/l) nachweisbar. DEHP (8.2 µg/l) ist auch in einer Sickerwasserprobe gefunden worden.

Bisphenol A wurde nicht nachgewiesen, jedoch das Derivat BADGE in einem eluierten Kunstrasen (368 µg/l). Benzotriazol wurde nur in sehr geringen Konzentrationen in einem Eluat (0.2 µg/l) und einer Sickerwasserprobe (0.1 µg/l) gefunden.

Die Gruppe der Thiazole tritt in den Eluaten von EPDM-Granulaten mit den höchsten Konzentrationen von allen untersuchten Mikrovereinigungen auf, insbesondere von Benzothiazol, 2-Mercaptobenzothiazol (MBT) und Hydroxybenzothiazol (Tabelle 4). Auch die Elastikschicht aus SBR-Rezyklat liefert signifikante Konzentrationen im Eluat. Thiazole gelangen als Vulkanisationsmittel in die Materialien. Die drei analysierten Triazole sind nicht nachweisbar.

Tabelle 4: Ergebnisse für vier Thiazole in den Eluaten von acht Materialproben und zwei realen Sickerwässern.

Stoff (µg/l)	Kunststoffrasen		Einstreugranulat		Elastikschicht	Sickerwasser
	verfüllt	Unverfüllt	EPDM	Kork	SBR	
Benzothiazol	32 / 75	< 10 / < 10	216 / 375	< 20	848	< 1 / < 2
MBT	< 5 / 1.5	< 0.1 / < 0.5	27'000 / 59'400	< 2	62	< 0.1 / 2
2-Hydroxybenzothiazol	< 1 / 7.6	1.3 / 5.1	865 / 1'030	0.34	482	0.05 / 0.12
2-Aminobenzothiazol	<0.1 / <1	< 0.02 / < 0.1	1.3 / 4.3	< 0.2	0.81	0.04 / 0.1

5.3 Ergebnisse der Screenings

Im «Non-Target»-Screening wurden die Proben in unterschiedlichen Verdünnungen gemessen. Gesamthaft wurden 67 bis 582 Signale im positiven Ionisationsmodus erhalten und 59 bis 326 Signale im negativen. Dabei ist zu beachten, dass einzelne Substanzen mehrere Signale verursachen können. Beim Abgleich mit den verfügbaren Datenbanken konnten jedoch nur wenige Signale eindeutig einer Substanz zugeordnet werden. Beim «Suspect»-Screening wurden 17 Substanzen auf Level 2 und 3 identifiziert oder bestätigt, z.B. (Tabelle 12, Anhang C):

- DIBP, Weichmacher, (Level 3) in beiden Sickerwasserproben sowie den Eluaten von allen vier Rasen und von zwei EPDM-Einstreugranulaten
- BTMPS (Bis-(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny)sebacat), UV-Stabilisator, (Level 3) in einem Eluat des EPDM-Einstreugranulats
- Phenol, Industriechemikalie, (Level 3) in einer Sickerwasserprobe sowie je einem Eluat von Rasen und EPDM-Einstreugranulat
- Cyclohexanamin, Zwischenprodukt, (Level 2) in Eluaten von zwei Rasen, einem EPDM-Einstreugranulat und der Elastikschicht aus SBR-Rezyklat.

Im Screening wurden aber weder Nonylphenol noch 6PPD nachgewiesen, beides Stoffe mit einer deutlichen Wirkung auf Organismen. Die meisten identifizierten Substanzen sind wegen des analytischen Aufwandes für Routinemessungen ungeeignet.

5.4 Fazit zur Voruntersuchung

Auf Grundlage der Voruntersuchungen wurden für die vertieften Untersuchungen des Sickerwassers und der Materialien folgende Parameter ausgewählt:

- Basisparameter pH, Temperatur, Leitfähigkeit und Trübung
- Summenparameter DOC und CSB
- 19 Elemente, gelöst
- 5 Thiazole

Der Summenparameter SAK₂₅₄ (UV-Absorption bei einer Wellenlänge von 254 nm) wurde zusätzlich beigezogen, da er schnell messbar ist und auf gelöste organische Verbindungen hinweist. Der SAK₂₅₄ wird als Indikator für Mikroverunreinigungen in kommunalem Abwasser oder im Trinkwasser verwendet.

6 Kunststoffrasenplätze: Qualität des Sickerwassers

Die Belastung des Sickerwassers wurde in 52 Proben von 23 Kunststoffrasenplätzen bestimmt, von denen acht Plätze mehrfach beprobt wurden (Anhang E, Tabelle 19; Probenahmen zwischen 1.6.2021 und 19.8.2022). Die analysierten Stoffe wurden mit den Anforderungswerten bzw. Qualitätskriterien für Gewässer verglichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese nicht unmittelbar für das Sickerwasser von Kunststoffrasenplätzen gelten, sondern erst nach vollständiger Durchmischung im Gewässer (vielfach nach 1:10 Durchmischung). Werden sie bereits im Sickerwasser eingehalten, können Überschreitungen im Gewässer ausgeschlossen werden.

6.1 Auswahl der Plätze

Für die Analysen wurden 10 verfüllte und 13 unverfüllte Plätze ausgewählt (Tabelle 5, Tabelle 6). Neben verschiedenen Aufbauten und Baujahren (2008 bis 2021), davon drei Plätze < 1 Jahr alt, wurden Standorte gewählt, von denen auch Materialien im Labor eluiert werden konnten. Zwei Plätze sind mit Kork verfüllt, davon ein Platz < 1 Jahr alt.

Tabelle 5: Unverfüllte Kunststoffrasenplätze (n=10), bei denen Sickerwässer beprobt wurden.

Nr.	Ort	Teppich	Elution	Baujahr
1	Gossau ZH	Tisca Tischhauser AG, T-Turf S9 Revolution	x	2011
2	Zürich, Juchhof	Greenfields B.V., Real FT V-slide nf	-	2015
3	Egg ZH	Tisca Tischhauser AG, T-Turf S6.09 Pro	x	2016
4	Uster	Lano Sports NV, Profoot 4G	x	2019
5	Winterthur, Talgut	Tisca Tischhauser AG, T-Turf S6.09 Pro	x	2019
6	Steinhausen	Tisca Tischhauser AG, T-Turf S6.09 Pro	x	2019
7	Adliswil	Fieldturf Inc., Purefield Ultra MF 30-18	x	2019
8	Steinhausen	Tisca Tischhauser AG, T-Turf S6.09 Pro	x	2020
9	Uster	Fieldturf Inc., Purefield Ultra MF 30-18	x	2021
10	Magglingen	Tisca Tischhauser AG, T-Turf S6.09 Pro	x	2021

Besonders intensiv wurde der unverfüllte Platz in Magglingen beprobt, weil dort eine Versuchsfläche (10 x 10 m) eine flächengenaue Beregnung (15 mm in 2 Stunden) und Beprobung ermöglichte. Über die Abflussdauer (6 h) wurden vier Stichproben genommen und analysiert, um die Auswaschdynamik zu untersuchen.

Tabelle 6: Verfüllte Kunststoffrasenplätze (n=13), bei denen Sickerwässer beprobt wurden.

Nr.	Ort	Teppich	Elution	Einstreugranulat	Elution	Baujahr
11	Freienbach SZ	Polytan GmbH, Monoturf 240 ACS 65	-	Melos GmbH, EPDM Eco	x	2008
12	Meilen	Fieldturf Inc., Playfoot XM	-	Prismi Italien, ECOLGREEN	x	2009
13	Zürich	Greenfields B.V., Real FT 40 Slide pro XT	-	Melos GmbH, EPDM Eco	x	2013
14	Rüti	Fieldturf Inc., FieldTurf 360 XI 42-14	x	Prismi Italien, ECOLGREEN	x	2013
15	Winterthur	Tisca Tischhauser AG T-Turf SF943 Revolution	-	Gezolan AG, Gezofill LD 167	x	2014
16	Freienbach SZ	Fieldturf Inc. Fieldturf Core 42-17	x	Prismi Italien, TPE ECOLSPORT RUNPLAST EC	-	2017
17	Baar	Fieldturf Inc. FieldTurf 360 XI 42-14	x	Gezolan AG, Gezofill LD 167	x	2017
18	Unterägeri	Fieldturf Inc. Fieldturf 360 XL 42-17	x	Prismi Italien, ECOLGREEN	x	2019
19	Magglingen	Polytan GmbH LigaTurf RS+ Cool Plus	-	Melos GmbH, EPDM Eco und andere	x	2019
20	Rapperswil-Jona	Fieldturf Inc. FieldTurf 360 XI 42-14	x	Melos GmbH, Infill Bionic Fibre	x	2020
21	Villmergen	Fieldturf Inc. Fieldturf Core 42-17	x	Amorim Cork Composites S.A., Kork aus Portugal	x	2020
22	Baden	Fieldturf Inc. Fieldturf Core 42-17	x	Amorim Cork Composites S.A., Kork aus Portugal	x	2020
23	Eschenbach	Fieldturf Inc. FieldTurf 360 XI 42-14	x	Gezolan AG, Gezofill LD 167	x	2021

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Basisparameter

In Tabelle 7 sind die Wertebereiche aller Feldproben (n = 39) für die Parameter Sauerstoffsättigung, elektrische Leitfähigkeit, pH und Trübung zusammengefasst. Die Sauerstoffsättigung ist unauffällig und beträgt immer > 77 % (Median 95 %). Die elektrische Leitfähigkeit liegt im Median bei 360 $\mu\text{s}/\text{cm}$ und ist bei drei Plätzen deutlich erhöht (> 1'000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (Abbildung 24, Anhang D). Die pH-Werte der Sickerwässer sind überwiegend leicht basisch (im Mittel pH 8) (Abbildung 24, Anhang D). An drei Standorten treten pH-Werte > 10 auf, die vermutlich auf karbonatreiche Unterbauten und Betonteile zurückzuführen sind. Wenn diese Sickerwässer ins Gewässer gelangen, ist gemäss GSchV ein Bereich von pH 6.5 bis 9.0 einzuhalten.

Tabelle 7: Minimum, Maximum, Mittelwert und Median aller Feldproben (n = 39).

	Sauerstoff (%)	Leitfähigkeit ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	Trübung (NTU)
Minimum	77	57	7	1
Maximum	100	1'441	12	88
Mittelwert	95	415	8	14
Median	96	360	8	7

Die Trübung ist gering (fast klares Wasser) und liegt im Mittel bei 14 NTU und im Median bei 7 NTU. Die Trübstoffe weisen auf Ausfällungen und Ausschwemmungen aus dem

Unterbau hin. Das Sickerwasser ist bei Starkregen eher trüb, bei den Beregnung eher klar.

Eine zeitliche Änderung der Parameter während der Beregnung wurde in Magglingen nicht beobachtet (Tabelle 15, Anhang B). Die Basisparameter waren meist unauffällig.

6.2.2 Summenparameter

In Abbildung 6 sind die DOC-Konzentrationen in 39 gemessenen Sickerwasserproben von 23 Plätzen dargestellt. Es sind keine systematischen Unterschiede zwischen verfüllten und unverfüllten Kunststoffrasenplätzen sowie zwischen Beregnung und Regenereignissen zu erkennen. In 85 % aller Proben ($n = 6$) liegen die Konzentrationen < 10 mg/l DOC. Dieser Anforderungswert für die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer (GSchV Anhang 3.1 Ziff. 2 Nr. 3) wird von einigen Kantonen zur Beurteilung von Sickerwässern beigezogen⁷.

Auch in Magglingen liegen die DOC-Konzentrationen über den gesamten Beregnungszeitraum deutlich unter diesem Anforderungswert. Ein First-Flush Effekt mit erhöhten Konzentrationen zu Beginn ist nicht zu beobachten (Tabelle 15, Anhang D). Die höchste gemessene DOC-Konzentration (68 mg/l) stammt von einem mit Kork verfüllten Platz. Hier kommen die Huminsäuren aus dem natürlichen Füllgranulat zum Tragen.

Die Messwerte vom DOC und CSB korrelieren miteinander. Für den CSB wurde eine maximale Konzentration von 64 mg/l ermittelt (Median 15 mg/l).

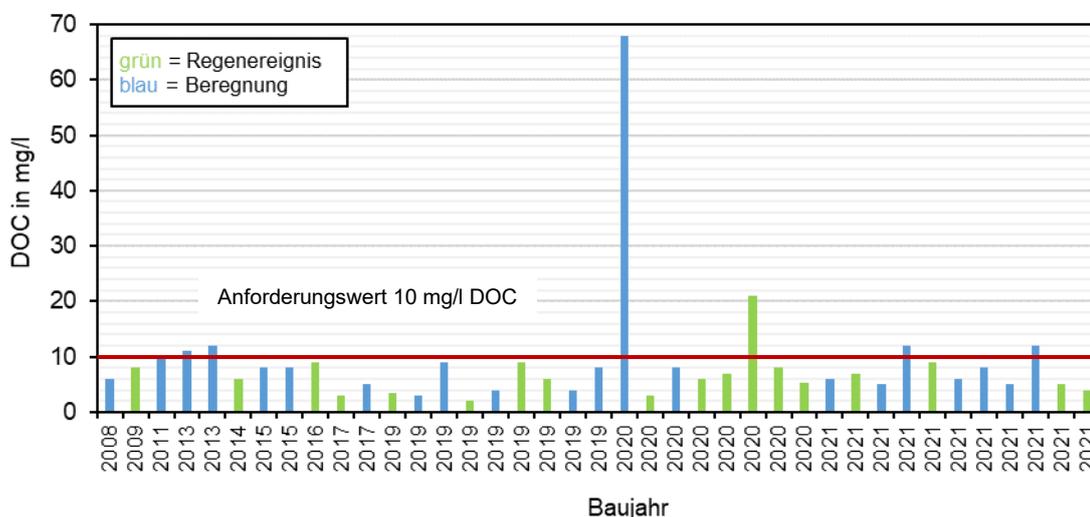


Abbildung 6: Konzentrationen von DOC in 39 Sickerwasserproben von 23 Kunstrasenplätzen, aufgereiht nach dem Alter der Plätze. Die grünen Balken zeigen Messwerte bei Regenereignissen und die blauen bei Beregnungen. Die rote Linie bezeichnet den Anforderungswert für die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer (GSchV Anhang 3.1 Ziff. 2 Nr. 3).

6.2.3 Elemente

Das Vorkommen von Zink (gelöst) im Sickerwasser, dem Element mit den höchsten Konzentrationen, ist in Abbildung 7 zusammen mit dem Anforderungswert für Zink (5 µg/l,

⁷ https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/de

Die Produkte sind auf verfüllten und unverfüllten Plätzen in Verwendung und auf den untersuchten Anlagen verbaut. So sind auf dem Platz Zürich-Juchhof (KR4) das Granulat «Infill EPDM Eco» und auf dem Platz Jona/Grünfeld der Rasen «Fieldturf 360 XL 42-172 eingesetzt (Tabelle 6).

Insgesamt wurden 11 Kunststoffrasenteppiche untersucht, davon 6 unverfüllt und 5 verfüllt (Tabelle 8). Bei unverfüllten Rasenteppichen ist die Anzahl der eingetufteten Rasengarne (Halme) höher.

Tabelle 8: 11 Kunststoffrasenteppiche für unverfüllte und verfüllte Kunststoffrasenplätze.

Rasen, unverfüllt		Rasen, verfüllt	
Hersteller	Produkt	Hersteller	Produkt
Tisca Tischhauser	T-Turf S6.09	Limonta Sport.	Max S P+ 40 mm; ES2840T
Lano Sports	Profoot 4G	FieldTurf	Fieldturf 360 XL 42-17
Tisca Tischhauser	T-Turf S6.09 Pro	Limonta Sport	SoccerPro MaxS 40 mm
FieldTurf	Purefield Ultra MF 30-18	FieldTurf	Fieldgreen Core 42-17
Tisca Tischhauser	T-Turf S9 Revolution	Lano Sports	Profoot Premier 55
XL Turf Int.	XL Turf Pro fix		

Weiterhin wurden 8 Einstreugranulate und 5 Elastikschichten einbezogen (Tabelle 9). Neben 4 EPDM-Einstreugranulaten verschiedener Hersteller wurden 1 SBR-Produkt und 2 Korkgranulate berücksichtigt. Das Produkt «Infill Pro Geo» ist ein Gemisch aus Kokosfasern, Kork und weiteren organischen Pflanzenbestandteilen, weist einen hohen Feinanteil auf und quillt bei Wasserkontakt stark.

Tabelle 9: 8 Einstreugranulate und 5 Elastikschichten.

Füllgranulat			Elastikschicht		
Hersteller	Produkt	Material	Hersteller	Produkt	Material
Conica	Conipur infill	EPDM	GerberSports	Gerbertan IS25	SBR
Gezolan	Gezofill 0.5 - 2 mm	EPDM	Polytan	Recycling Granulat (ELT), Polytan 2350 PU-Bindemittel, Polytan PU 8200 Kleber	SBR
Melos	Infill EPDM Eco	EPDM	Conica	CONIPUR EU (ELT)	SBR
Melos	Infill Bionic Fibre	EPDM	Walo Bertschinger	RUB TAN WD-ES (ELT) Kias Recycling	SBR
Prismi	Ecolgreen (pre-consumer)	SBR	Trocellen	T-Pad 9008 XC	PE/PET
Amorim Cork Composites	Amorim Nature 190	Kork			
Lano Sports	Bionomic	Kork			
Limonta Sport	Infill Pro GEO	Gemisch			

Die Elastikschichten basieren im Wesentlichen auf SBR-Granulaten, die mit speziellen Klebemitteln verbunden sind. Ergänzend wurde ein PE/PET-Shock-Pad untersucht. Während die SBR-Elastikschichten ein Einbaugewicht von 7 bis 15 kg/m² aufweisen, wiegt das PE/PET-Pad (auf Rolle geliefert) nur 0.9 kg /m².

7.2 Auswaschserie

7.2.1 Vorgehen

Zur Erfassung des Elutionsverhaltens wurde der Standard-Eluattest (DIN EN 12457-2:2003-01) als Auswaschserie durchgeführt:

- 10 x 24 h sequenziell eluieren
- Temperatur +20 °C
- 1., 5. und 10 Eluate analysieren (nach 24 h, 120 h, 240 h)

Die Besonderheit besteht darin, dass die gleiche Materialprobe 10-mal nacheinander für jeweils 24 h eluiert wird und daraus drei ausgewählte Eluate (24 h, 120 h und 240 h) analysiert werden. Alle Produkte wurden entsprechend getestet und auf die festgelegte Parametersauswahl untersucht.

7.2.2 Basis- und Summenparameter

In den Eluaten von den Kunststoffrasen und EPDM-Einstreugranulaten steigen sich die pH-Werte mit der Anzahl der Zyklen (Abbildung 26, Abbildung 27, Anhang D). Das SBR-Granulat reagiert unauffällig, während die Korkgranulate den pH leicht senken. Die Verläufe der Leitfähigkeiten weisen auf eine deutliche Anfangsabwaschung der Kunststoffrasen und Einstreugranulate hin (Abbildung 26, Anhang B). Die Elastikschichten sind dagegen eher unauffällig.

Auch der DOC-Verlauf weist auf eine hohe initiale Abwaschung hin (Abbildung 10). Die höchsten Konzentrationen liegen immer in den ersten Proben vor. In den beiden anderen Eluaten (120 h, 240 h) liegen die Konzentrationen < 10 mg/l DOC.

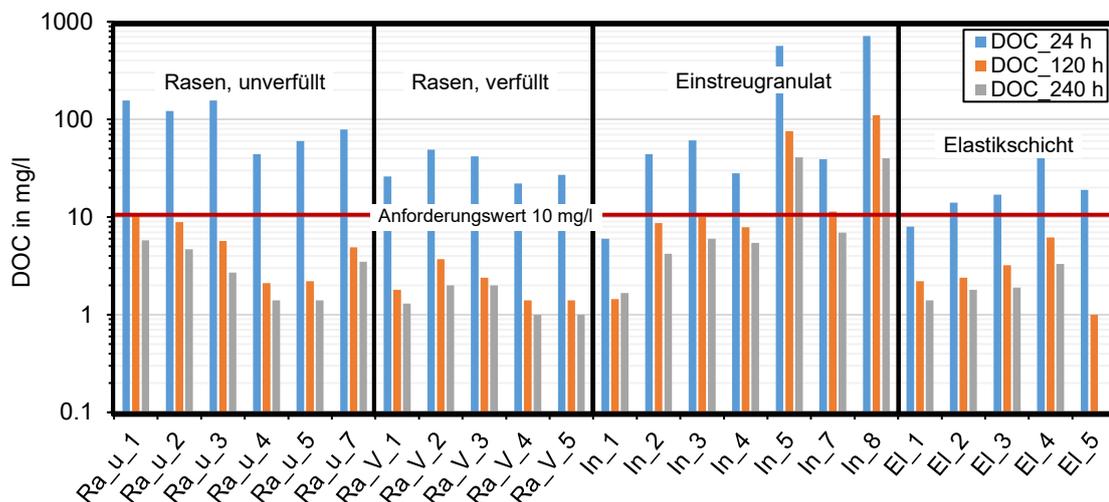


Abbildung 10: Freisetzung von DOC aus 23 Produkten für Kunststoffrasenplätze bei +20 °C. Die rote Linie markiert den Anforderungswert von 10 mg/l für die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer gemäss GSchV Anhang 3.1. Fehlende Balken sind auf Messwerte kleiner als die Bestimmungsgrenze zurückzuführen.

Davon abweichend verhalten sich die Kork-Granulate (In_5, In_8) mit besonders hohen Konzentrationen im ersten Eluat (bis 716 mg/l) und nachfolgend. Die Konzentrationen

liegen durchweg um den Faktor 10 höher als bei allen synthetischen Produkten. Hierfür könnten Tenside oder Spinnöle aus der Herstellung verantwortlich sein.

Die SAK_{254} -Konzentrationen in den drei untersuchten Eluaten zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die DOC-Konzentrationen (Abbildung 26, Anhang B).

7.2.3 Elemente

Der Verlauf der Zinkkonzentration über die drei Eluate pro Produkt zeigt, dass der erste Messwert oft um den Faktor 10 höher liegt als der zweite, der den fünften Wasserwechsel repräsentiert (Abbildung 11). Danach nehmen die Konzentrationen bis zum letzten Eluat nur noch geringfügig ab. Zudem sind die Konzentrationen im Vergleich zu allen anderen Elementen sehr hoch. Die Kork-Eluate zeigen hohe Konzentrationen bis zum 10. Eluat (In_5, 600 bis 800 $\mu\text{g/l}$). Beim Granulat «In_4» verlaufen ausserdem die Konzentrationen gegenläufig und steigen mit der Anzahl der Elutionszyklen.

Bezogen auf den Anforderungswert für Oberflächengewässer (5 $\mu\text{g/l}$ Zink, gelöst nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers im Gewässer) liegen bei drei Einstreugranulaten alle Messwerte um den Faktor 100 darüber (In_4, In_5, In_8), darunter auch ein Korkprodukt (In_5). Bei den Elastikschichten überschreiten drei von fünf Produkten, davon vier SBR-Produkte, den Anforderungswert um das 10-fache.

Die Konzentrationen von Kupfer und Zink liegen im 1. Eluat (24 h) bei fast allen Produkten über den Anforderungswerten mit bis zu ca. 70-facher Überschreitung. Während im 5. Eluat nur zwei Rasen für unverfüllte Plätze geringfügig den Anforderungswert für Kupfer überschreiten, liegt bei den Einstreugranulaten die Zinkkonzentration im entsprechenden Eluat noch bis zum 70-fachen darüber (Abbildung 27, Anhang B). Bemerkenswert ist auch ein Kork-Produkt mit hohen Aluminiumkonzentrationen sowie mit deutlichen Überschreitungen (40-fach) (Abbildung 27, Anhang B).

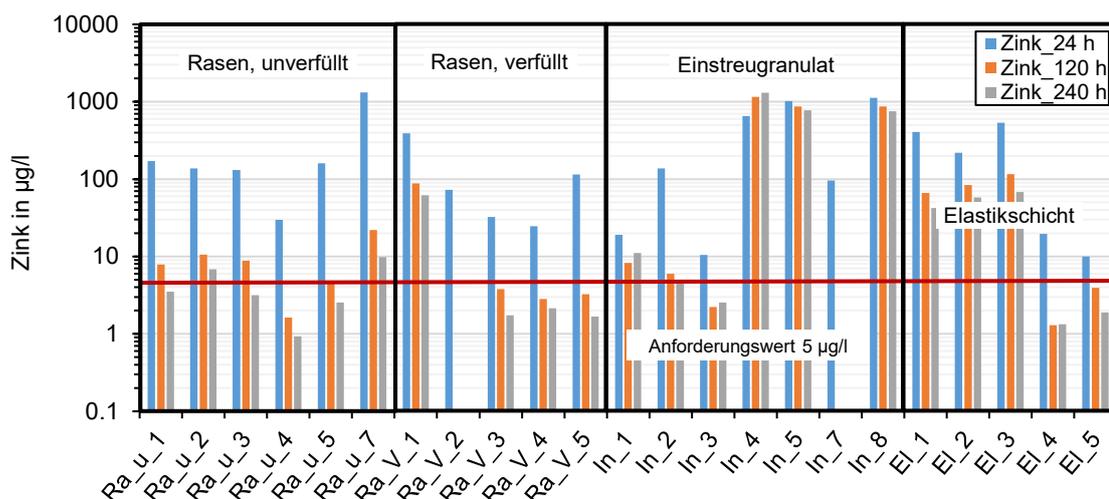


Abbildung 11: Konzentrationen von Zink in je drei Eluaten bei +20 °C. Die rote Linie markiert den Anforderungswert für Gewässer gemäss GSchV Anhang 2 von 5 $\mu\text{g/l}$ Zink gelöst. Fehlende Balken sind auf Messwerte kleiner als die Bestimmungsgrenze zurückzuführen.

Blei, Chrom, Nickel und Quecksilber treten nur im ersten Eluat (24 h) auf und die Konzentrationen sind durchweg gering (nicht gezeigt). Anschliessend sind alle Eluate unauffällig. Das leicht erhöhte Auftreten von Cadmium in zwei Kork-Eluaten ist möglicherweise - wie auch bei Blei, Chrom etc. - auf eine Schadstoffanreicherung während des Wachstums oder auf eine frühere Verwendung zurückzuführen.

7.2.4 Thiazole und SAK₂₅₄

Die Eluate der Einstreugranulate und Elastikschichten enthalten Benzothiazol (Abbildung 12), 2-Hydroxybenzothiazol und MBT (Abbildung 13) (Tabelle 18, Anhang).

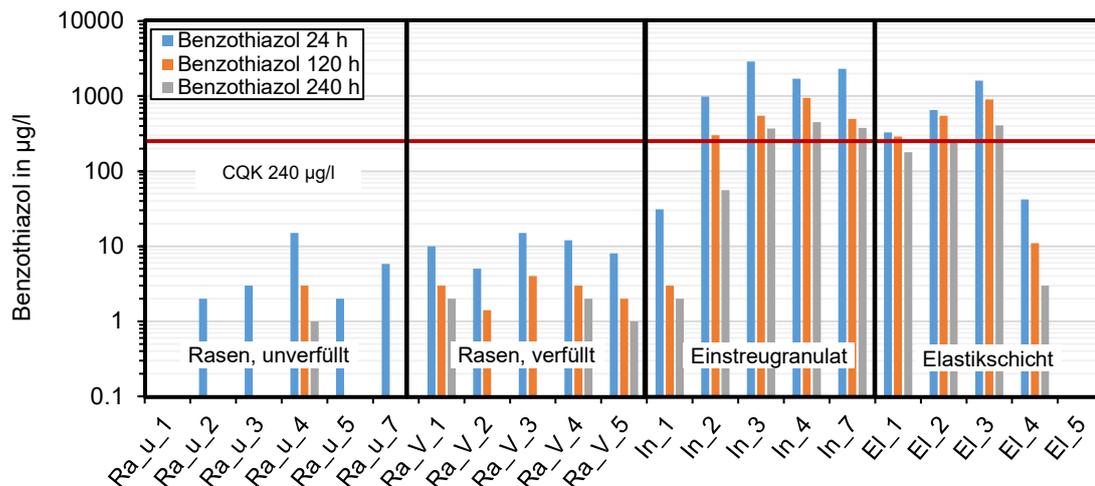


Abbildung 12: Konzentrationen von Benzothiazol in je drei Eluaten bei +20 °C. Die rote Linie markiert das Qualitätskriterium von 240 µg/l. Fehlende Balken sind auf Messwerte kleiner als die Bestimmungsgrenze zurückzuführen.

Benzothiazol ist in fast allen Produkten mit Ausnahme von einem Rasen, einer Elastikschicht und Kork (In_5, In_8 - nicht dargestellt) nachweisbar, jedoch sind die Konzentrationen im Rasen etwa 100-mal niedriger als in Granulaten und Elastikschichten (Abbildung 12). Zudem kam Benzothiazol bei Rasenprodukten meist nur im ersten Eluat vor und das Qualitätskriterium CQK wurde in keiner Probe überschritten. Bei den synthetischen Einstreugranulaten und Elastikschichten dagegen lagen die Konzentrationen bedeutend höher, sodass in rund 85 % bzw. 60 % der Produkte der CQK überschritten wurde. Im Verlauf der Elutionsreihe nehmen die Konzentrationen deutlich ab und für fast alle Granulate und Elastikschichten münden die Konzentrationen im Bereich des CQK.

Die Ergebnisse für MBT zeigen für die Komponenten ein ähnliches Bild wie für Benzothiazol, jedoch sind die Spannweite der Konzentrationen und die Überschreitungen des Qualitätskriteriums CQK ausgeprägter (Abbildung 13). So sind bei allen Rasenprodukten die Konzentrationen nicht nur sehr gering, sondern mehrheitlich nicht nachweisbar. Bei den Elastikschichten ist MBT mit Ausnahmen vom Shock-Pad eindeutig nachweisbar mit maximal 10-facher Überschreitung des CQK. In den Eluaten der Einstreugranulate sind sehr hohe Konzentrationen vorhanden, die jedoch über die zehn Eluate um einen Faktor 10 abnehmen. Das Qualitätskriterium wird bis zum ca. 1000-fachen überschritten. Die höchste Überschreitung liegt bei einem EPDM-Granulat für MBT im 24 h Eluat vor (ca.

10'000-fach). Es findet sich auch ein Granulat mit nur ca. 10-facher Überschreitung, welches bei Benzothiazol durch sehr niedrige Konzentrationen auffiel (In_1, EPDM Eco).

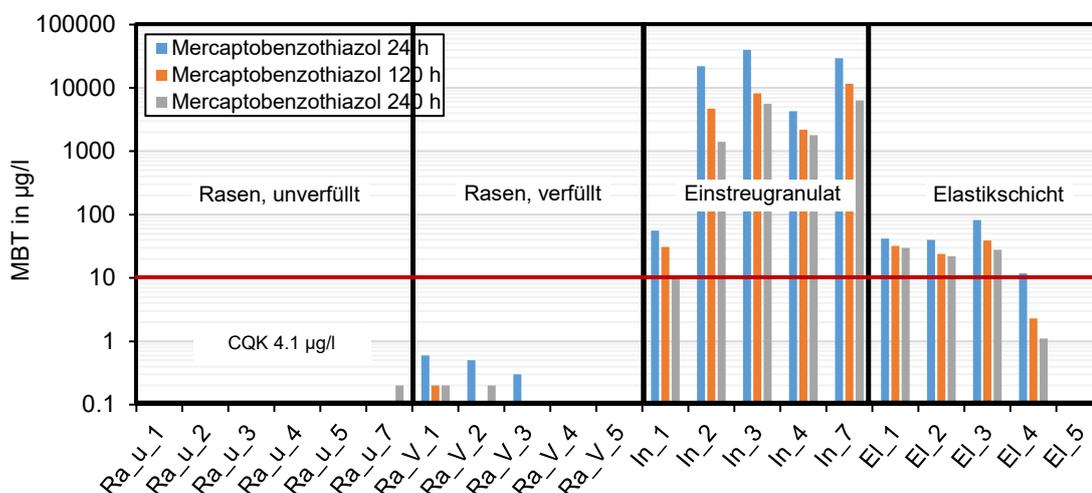


Abbildung 13: Konzentrationen von MBT in je drei Eluaten bei +20 °C. Die rote Linie markiert das Qualitätskriterium CQK von 4.1 µg/l. Fehlende Balken sind auf Messwerte kleiner als die Bestimmungsgrenze zurückzuführen.

Die SAK₂₅₄-Messwerte korrelieren für bei einigen Produkten eindeutig mit den Konzentrationen von DOC und Thiazolen (Abbildung 14, Abbildung 26). Dies zeigt, dass der DOC in den Eluaten stark durch die Thiazole beeinflusst wird. Bei den Elastikschichten EI_1 und EI_4 ist dagegen kein eindeutiger Zusammenhang zu beobachten. Vermutlich sind in diesen Eluaten weitere nicht identifizierte organische Substanzen vorhanden.

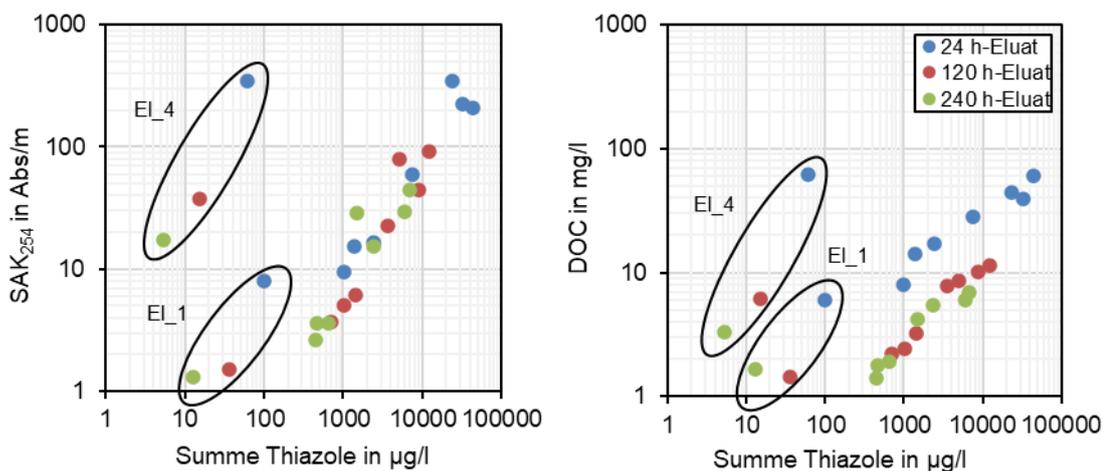


Abbildung 14: Konzentrationen von fünf Thiazolen und DOC im Vergleich mit SAK₂₅₄.

7.3 Temperatureinfluss

7.3.1 Vorgehen

Um den Einfluss der Temperatur nachweisen zu können, wurde die 10-fache Auswaschserie mit 6 Materialien sowohl bei +20 °C als auch bei +60 °C durchgeführt:

- 10 x 24 h sequenziell eluieren
- Temperatur +20 °C und +60 °C
- 1., 2., 5. und 10. Eluat analysieren (nach 24 h, 48 h, 120 h, 240 h)

Das 2. Eluat wurde untersucht, um den Konzentrationsverlauf besser zu beschreiben.

7.3.2 Ergebnisse

Bei der Elution von Kunststoffrasen bei +20 °C bildet sich eine dünne Schaumschicht, die bei +60 °C fehlt (Abbildung 15). Beim EPDM-Granulat ist die Trübung bei +20 °C stärkere als bei +60 °C.



Abbildung 15: Kunststoffrasen (oben) und synthetisches Füllgranulat (unten) nach 24 h Elution bei +20 °C (links) und +60 °C (rechts).

Die Temperaturerhöhung führt bei der ersten Probe zu einer etwa doppelt so hohen Leitfähigkeit, die Unterschiede nehmen jedoch im weiteren Verlauf deutlich ab (ca. 60 %) (Abbildung 16). Der pH-Wert reagiert kaum auf die höhere Temperatur (Abbildung 28, Anhang D). Lediglich bei den Granulaten steigt der pH-Wert leicht an.

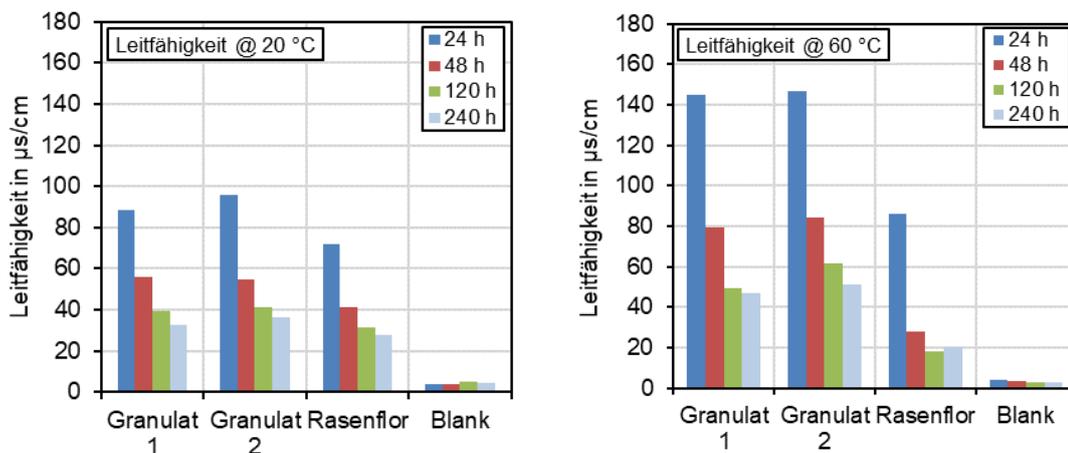


Abbildung 16: Leitfähigkeiten bei 10-maliger Elution von zwei Einstreugranulaten, Rasenflor und der Blindprobe bei +20 °C (links) und +60 °C (rechts).

Zink zeigt bei allen Produkten ein uneinheitliches Bild. Die Konzentrationen sind jedoch bei +60 °C grösstenteils bis zu 10-mal höher als bei +20 °C (Abbildung 17, links). Möglicherweise spielt die Oberfläche (Korngrösse) eine Rolle, da eine grössere Oberfläche in Kontakt mit Wasser die Stofffreisetzung begünstigt. Wird Zink als Zinkoxid-Pigment eingesetzt, können auch Lösungsprozesse für die Freisetzung verantwortlich sein.

Bei allen untersuchten Produkten nehmen die DOC-Konzentrationen bis zur 10. Elution um 50 % bis 95 % ab, zwischen der 120 h- und 240 h-Elution bereits bis 60 % (Abbildung 17, rechts). Es ist auch zu beobachten, dass bei +60 °C höhere Konzentrationen nachweisbar sind mit einem Maximum nach 10 Elutionen (7.5 mg/l) für einen Kunststoffrasen.

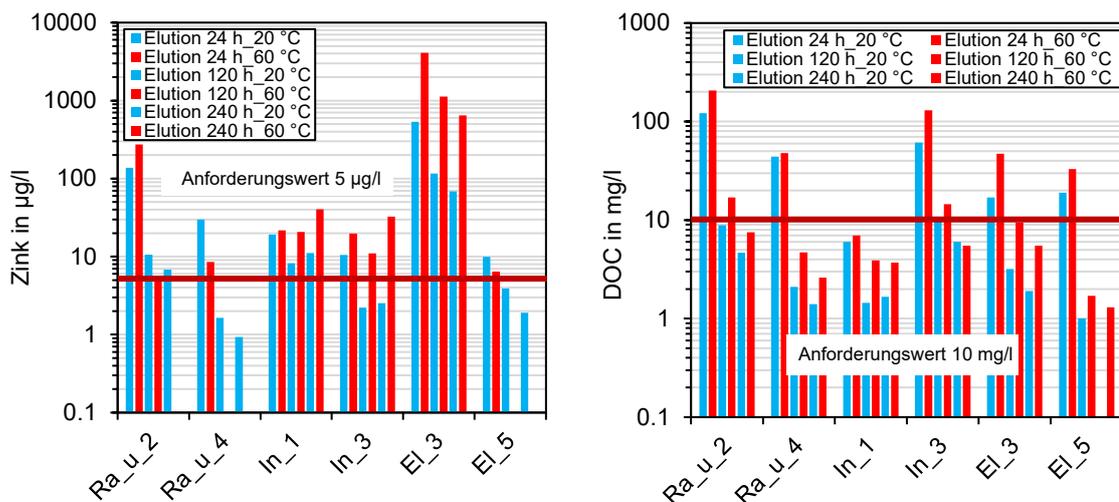


Abbildung 17: Auswaschung von Zink (links) und DOC (rechts) über 10 Elutionen bei +20 °C und +60 °C für je zwei Rasen, Granulate und Elastikschichten. Fehlende Balken sind auf Messwerte kleiner als die Bestimmungsgrenze zurückzuführen. Die rote Linie bezeichnet den Anforderungswert 5 µg/l für Zink_{gelöst} im Oberflächengewässer nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers (GSchV Anhang 2) resp. den Anforderungswert für DOC von 10 mg/l für die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer gemäss GSchV Anhang 3.1.

Die Ergebnisse für Benzothiazol und MBT zeigen in der Regel höhere Konzentrationen bei +60 °C als bei +20 °C (Abbildung 18). Benzothiazol kommt bei der höheren Temperatur jedoch nur in leicht höheren Konzentrationen vor, während sich die Konzentrationen von MBT teils verdoppeln.

Für die Granulate und eine Elastikschicht wurden im ersten Eluat bis 91'000 µg/l nachgewiesen. Diese nimmt aber bis zur 10. Elution um Faktor 10 ab. Die MBT-Konzentrationen überschreiten nach der Elution bei +60 °C das Qualitätskriterium CQK bis zu einem Faktor 20'000.

Aufgrund der Konzentrationshöhen, der Toxizität und der Unterschiede zwischen den Produkten ist dieser Parameter relevant für die Differenzierung der Produktqualität.

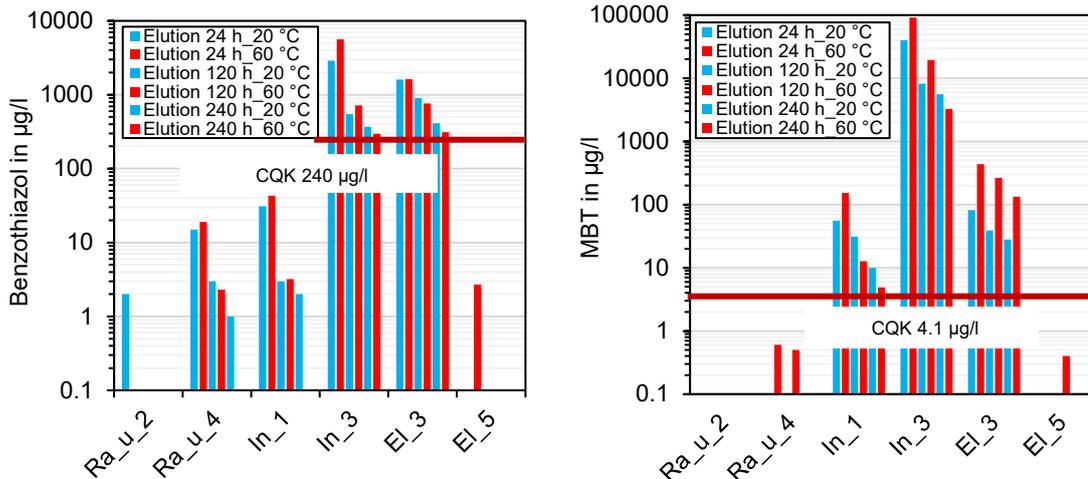


Abbildung 18: Auswaschung von Benzothiazol (links) und MBT (rechts) über 10 Elutionen bei +20 °C und +60 °C für je zwei Rasen, Granulate und Elastikschichten. Fehlende Balken sind auf Messwerte kleiner als die Bestimmungsgrenze zurückzuführen.

7.4 Fazit zu den Laborversuchen

- **Eluattest:** Das Eluat nach 24 h Wasserkontaktzeit (1-Punktmessung) zeigt für die meisten Stoffe eine starke Abwaschung. Die Konzentrationshöhen beruhen auch auf zufälligen (nicht reproduzierbaren) Kontaminationen und können durch eine Vorwäsche beeinflusst werden. Im Einbauzustand ist eine solche Stofffreisetzung allenfalls unmittelbar nach der Bauphase von Bedeutung. Diese Messung ist für eine Umweltbewertung nicht ausreichend.
- **Auswaschserie:** Der Verlauf über 10 Elutionen liefert eine wichtige Zusatzinformation über das Verhalten der Materialien. Je länger die Elution dauert, desto stärker treten die aus dem Material diffundierenden Stoffe hervor. Die Konzentrationen nehmen über die Auswaschserie (1. bis 10. Eluat) meist um den Faktor 10 bis 100 ab, vielfach bereits bis zum 5. Eluat um 20 bis 90 %. Nur wenige Produkte zeigen keine Abnahme und nur in Ausnahmefällen nimmt die Konzentration zu. Die sequenzielle Auswaschung zeigt einen Konzentrationsverlauf, wie er auch in der Realität zu erwarten ist. Die sequenzielle Elution ist bei feinkörnigen Granulaten schwer anwendbar (z.B. «Infill Pro GEO» von Limonta Sport S.p.A.).
- **Auswaschverhalten:** Die im Labor untersuchten Materialien zeichnen sich durch eine grosse Spannbreite bei der Auswaschung aus. Im Vergleich zu den stoffspezifischen Anforderungen und Qualitätskriterien liegen die Überschreitungen zwischen Faktor < 1 bis rund 20'000. In nahezu jeder Materialkategorie hat es Produkte mit geringer als auch solche mit hoher Auswaschung. Synthetische Granulate (EPDM, SBR), aber auch Kork, sind auffällig. Bei den Elastikschichten handelt es sich überwiegend um verklebte SBR-Granulate mit vergleichbarem Emissionsmuster wie die Granulate, jedoch bei geringeren Konzentrationshöhen.
- **Stoffe:** DOC, Zink, Benzothiazol und MBT sind besonders gut geeignete Parameter für die Beurteilung der Wasserqualität von Einzelkomponenten, weil sie regelmässig nachweisbar waren.
- **Temperatur:** Die Temperatur von +60 °C führt zu deutlich höheren Konzentrationen (Faktor 0.2 bis 10), weil die Diffusion von migrationsfähigen Stoffen durch die Temperatur beschleunigt wird. Ein solcher Effekt ist auch durch die starke Erwärmung der Kunststoffrasenplätze bei Sonneneinstrahlung zu erwarten.

8 Stofftransfer in die Umwelt

Von den möglichen Stofftransferwegen in die Gewässer wird nachfolgend die dezentrale Versickerung und die Direkteinleitung betrachtet. Die Einleitung in die ARA wird dagegen nicht berücksichtigt.

Von einem typischen Kunststoffrasenplatz (Quelle der Emission) gelangt das Niederschlagswasser nicht direkt, sondern über Drainagen zur Versickerung oder Direkteinleitung ins Gewässer (Ort der Beurteilung) (Abbildung 19). Über diesen Pfad «Emission – Transmission – Immission» nehmen die Konzentrationen und die Stofffracht ab (Schoknecht et al., 2022). Für Stoffe, die von Gebäudeoberflächen, Plätzen und Wegen ausgetragen werden, sind solche Verläufe weithin bekannt (Wicke et al., 2021). Vergleichbare Konzentrationsänderungen wurden auch für Kunststoffrasenplätze modelltechnisch nachgewiesen (Kalbe et al., 2016).

Im Bereich von Kunststoffrasenplätzen beeinflussen ein bis zwei Transferfaktoren den Verlauf der Stoffe (Abbildung 19: T1, T2) (9.2). So ist der Transferfaktor T1 mit einer Konzentrationsabnahme auf dem Weg ins Sickerwasser (Drainage) verbunden, da die Stoffe im Unterbau/-grund durch Adsorption, Abbau und Ausfällung zurückgehalten werden. Die Konzentrationen in Sickerwässern sind daher immer geringer als in Laborproben. Der Transferfaktor T2 beschreibt bei der Versickerung den Stoffrückhalt im Boden/Untergrund und bei der Direkteinleitung die Vermischung mit nicht verschmutztem Niederschlagswasser aus der Sportarealentwässerung. Durch die Boden-/Untergrundpassage gelangt deshalb nur ein Bruchteil der Emission in das abfließende Regenwasser.

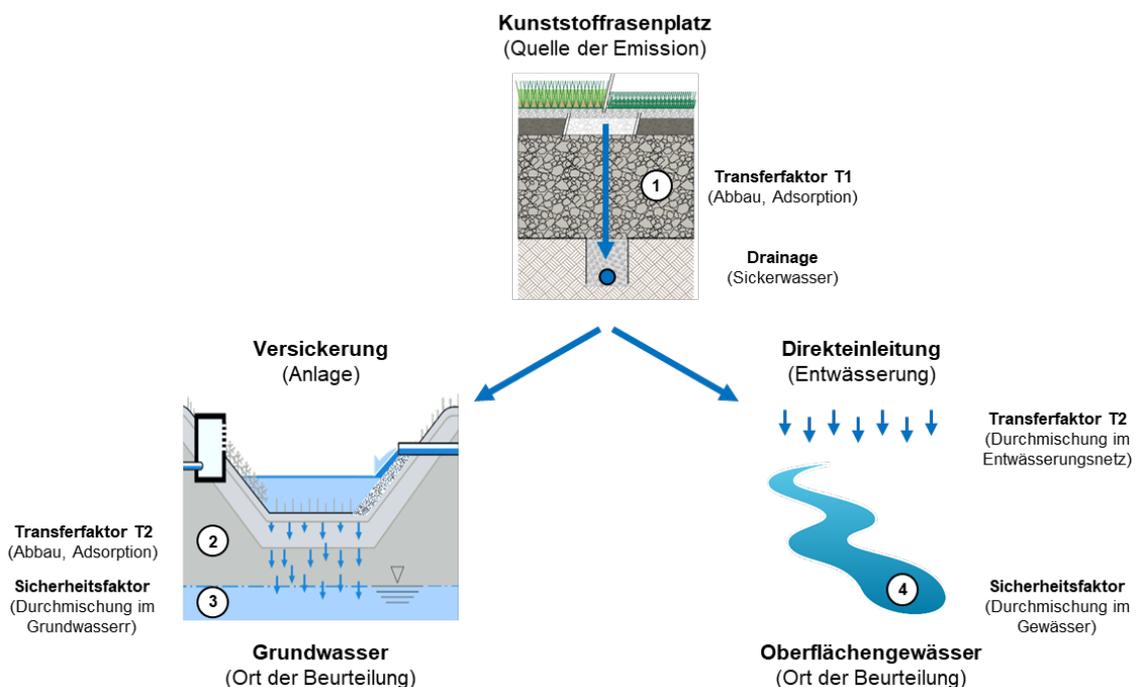


Abbildung 19: Eintragswege von der Quelle (Emission) über die Platzentwässerung (Drainage) zur Versickerung in den Untergrund (Grundwasser) oder über die Direkteinleitung ins Oberflächengewässer (Gewässer).

Der Sicherheitsfaktor am Ort der Beurteilung, entweder im Grundwasser oder Oberflächengewässer, bedeutet, dass die Anforderungen und Ökotoxizitätskriterien erst nach der Durchmischung im Gewässer gelten (Abbildung 19). In der Regel wird hierfür ein Mischungsverhältnis von 1:10 angenommen.

Um eine mögliche Gewässerverunreinigung zu vermeiden, sollten die Beurteilungskriterien jedoch möglichst bereits am Ort des Stoffeintrags in das Gewässer eingehalten werden.

9 Vorschlag für ein Bewertungskonzept

Vorgeschlagen wird, dass die Bewertung der Emissionen und die Einstufung in die VSA-Belastungsklassen, aus der sich der allfällige Behandlungsbedarf für das Niederschlagswasser ergibt, auf einem Labortest basiert. Ein Eluattest lässt sich schnell, reproduzierbar und nachvollziehbar durchführen und bereits heute ist ein Eluattest etabliert (DIN EN 12457-2:2003-01). Nach Gewässerschutzrecht ist jedoch nicht allein die Herkunft (Auswaschung), sondern das Schädigungspotential des belasteten Abwassers im Gewässer entscheidend. Dies wird daher im Konzept mitberücksichtigt.

Der etablierte Eluattest sollte weiterhin durchgeführt werden. Dieser Test gilt auch ausserhalb der Schweiz als Standard.

9.1 Auswaschung

Aufgrund der Erfahrungen mit dem Auswaschverhalten und Konzentrationsverlauf der Einzelkomponenten im Labor und verschiedenen Systemaufbauten unter Einbaubedingungen, wird für die Bewertung eine Abfolge von acht Standard-Eluattests (DIN 18035-7:2019) vorgeschlagen:

- Auswaschserie: 8 x 24 h, Wasserwechsel je Elutionszyklus
- Analysen: 1., 4. und 8. Eluat (nach 24 h, 96 h, 192 h)

Bewertungsrelevante Parameter für die Analysen sind DOC, Antimon, Zink, Benzothiazol und MBT. Diese Stoffe wurden in den Eluaten der untersuchten Komponenten sowie in den Sickerwässern von Kunststoffrasenplätzen nachgewiesen. Auch wenn Antimon weder in den Eluaten noch Sickerwässern auffällig war, wird Antimon von Fachleuten zur Untersuchung empfohlen, da es als Flammschutzmittel weit verbreitet sei. Für alle Parameter liegen Anforderungswerte bzw. Qualitätskriterien vor (Tabelle 11). Als ergänzende Basisparameter sind der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit geeignet.

Dieser Nachweis wird für alle Einzelkomponenten der VSA-Belastungsklasse «gering» empfohlen, bei der das Niederschlagswasser ohne Vorbehandlung versickert oder eingeleitet werden darf, weil nach aktuellem Kenntnisstand eine Verunreinigung ausgeschlossen werden kann. Auch darüber hinaus ist der Nachweis mittels Auswaschserie möglich.

Falls keine Auswaschserie vorgelegt wird, ist für die Kunststofffläche und den Kunststoffrasenplatz von der Belastungsklasse «hoch» auszugehen.

Natürliche Füllmaterialien (Kork, Olivenkerne etc.) sind ebenfalls mit der Auswaschserie zu untersuchen. Nach derzeitigem Kenntnisstand soll nur Zink analysiert und bewertet werden.

Empfohlen wird der Beginn der ersten vier Elutionen am Montag und das Ende am Freitag, um nach dem Wochenende die weiteren vier Elutionen von Montag bis Freitag durchzuführen. Die Probengefäße sind für die Dauer der Unterbrechung im Kühlschrank ohne Wasser zu lagern.

Eine solche Versuchsreihe kann von einem privaten Labor durchgeführt werden, weil sie weitgehend auf dem bestehenden Versuchsdesign aufbaut. Der Vorschlag orientiert sich an der Durchführbarkeit. Daher werden andere Verfahren, wie eine Elution bei erhöhter Temperatur, nicht empfohlen.

Die Auswertung der Auswaschserie erfolgt konzentrationsbasiert. Dafür wird für jeden beurteilungsrelevanten Parameter aus den drei Messwerten (C_1 , C_4 , C_8) der Mittelwert berechnet wird (C_M):

$$C_M = \frac{C_1 + C_4 + C_8}{3}$$

Die hohe Anfangsabwaschung (C_1) wird in die Emissionsbewertung einbezogen, da er die höchste zu erwartende Konzentration («worst case») darstellt. Die Bedeutung der Konzentrationshöhe wird jedoch durch die Einbeziehung der beiden anderen Konzentrationen (C_4 , C_8) relativiert. Diese repräsentieren eher die längerfristige Auswaschung. Durch diese Vorgehensweise wird die im Labor ermittelte Stofffreisetzung auf eine robuste Beurteilungsbasis gestellt.

Die schwankenden Konzentrationshöhen im ersten Eluat bedeuten, dass auf Basis dieses Messwertes keine eindeutigen Vorgaben für einen möglichen Umschaltzeitpunkt, ab dem das Niederschlagswasser in die Mischkanalisation bzw. in die ARA eingeleitet wird, gemacht werden können.

9.2 Stofftransfer

Ziel der Bewertung ist es, unter Berücksichtigung eines Transferfaktors (Transmission) eine Gewässerverunreinigung ohne Behandlung auszuschliessen oder die richtige Behandlung des Niederschlagswassers vorzusehen. Der Transfer wurde stoffspezifisch betrachtet, da sich jeder Stoff anders verhält. Die Unterschiede betreffen die Adsorption (Mobilität), den Abbau (Persistenz), die Ausfällung und die Zielwerte. Die Transferfaktoren ergeben sich somit aus dem Stoffverhalten.

Die Transferfaktoren wurden aus der Konzentrationsdifferenz zwischen Labor- und Feldmessungen sowie aus dem Vergleich mit numerischen Anforderungswerten der GSchV oder Qualitätskriterien für Gewässer abgeleitet (Tabelle 11). Bei einer gegebenen Emission sollen die Transferfaktoren so hoch sein, dass die Zielwerte eingehalten werden. Aus Vorsorgegründen wurde bei den Qualitätskriterien jeweils das strengere CQK gewählt, obwohl bei Pulsbelastungen durch Regenwassereinleitungen der höhere AQK passend gewesen wäre.

Für jeden Parameter wurde zunächst der Mittelwert (C_M) aus den drei analysierten Eluaten bei +20 und +60 °C für Rasen, Granulate und Elastikschichten berechnet. Der Zusammenhang mit den Anforderungswerten bzw. Qualitätskriterien ist in Tabelle 10 als mittleres Verhältnis dargestellt. Für DOC und Zink wird dabei angenommen, dass bei +60 °C gewisse Produkte rund 2- bis 10-mal stärker eluieren können als bei Raumtemperatur.

Es zeigt sich nun, dass alle Zielwerte für die im Labor untersuchten Einzelkomponenten maximal um einen Faktor 10 bis 100 überschritten werden. Eine Gewässerverunreinigung an der Einleitstelle kann daher ausgeschlossen werden, wenn die Emissionen auf dem Transferpfad mindestens um den Faktor 10 bis 100 abnehmen. Davon abweichend verhält sich nur MBT bei den Granulaten mit stärkeren Überschreitungen.

Tabelle 10: Unterschiede zwischen den mittleren Konzentrationen (C_M) aus drei Eluaten (+60 °C, +20 °C) im Vergleich mit den Anforderungswerten und Qualitätskriterien (C_Q) gemäss Tabelle 11.

Parameter	Temperatur (°C)	Granulat (C_M/C_Q)	Rasen (C_M/C_Q)	Elastikschicht (C_M/C_Q)
DOC	60 (n=2=)	0.5 – 5	2 – 8	1 – 2
	20 (n=7)	0.3 – 30	0.8 – 8	0.3 – 2
Antimon	60 (n=2=)	< 0.1	0.1 – 0.5	0.3 – 15
	20 (n=7)			
Zink	60 (n=2=)	1 – 2	0.5 – 5	0.5 – 100
	20 (n=7)	0.2 – 45	0.5 - 4	0.3 – 12
Benzothiazol	60 (n=2=)	0.1 – 10	< 0.1	< 0.1 – 4
	20 (n=7)	< 0.1 – 4	< 0.1	< 0.1 – 4
MBT	60 (n=2=)	10'000 – 20'000	< 0.1 – 5	1 – 380
	20 (n=7)	40 – 20'000	< 0.01	6 – 60

Bemerkenswert ist nun, dass die im Labor untersuchten Produkte mit hohen Stoffemissionen die Zielwerte im Sickerwasser (T1) unter Einbaubedingungen einhalten können. Ein wirksamer Stoffrückhalt bis zum Ort der Probenahme am Auslass der Drägen scheint somit in der Realität möglich zu sein.

Zusätzlich wurden die Labordaten der in Magglingen verwendeten Materialien mit den Sickerwasserkonzentrationen (T1) des verfüllten Standortes (1 Jahr alt, Tabelle 6) verglichen. Es zeigt sich, dass die Laborkonzentrationen für Zink um den Faktor 4 bis 10 und für Benzothiazol um den Faktor 60 bis 100 über den Sickerwasserkonzentrationen liegen.

In einem weiteren Feldversuch wurden für die ersten beiden Abflussereignisse nach dem Einbau eines unverfüllten Kunststoffrasens mit SBR-Elastikschicht maximale Konzentrationen von 16 und 24 µg/L MBT ermittelt, was einer Überschreitung des Qualitätskriteriums CQK um maximal einen Faktor 6 entspricht. Benzothiazol (117 bzw. 59 µg/L) und DOC (8 bzw. 10 mg/L) treten ebenfalls deutlich auf, das Qualitätskriterium bzw. der Anforderungswert wird aber auch hier eingehalten.

9.3 Prüfwerte

Wird der Anforderungswert oder das Qualitätskriterium mit dem Transferfaktor verknüpft, ergibt sich der sogenannte «Prüfwert» (P) als Bewertungsmaßstab für die Laborergebnisse. Dieser Prüfwert bildet somit die zu erwartende Konzentrationsabnahme unter Einbaubedingungen ab. In vergleichbarer Weise werden im Standard-Eluattest die Stoffe mit «Anforderungen» (RAL 943) bzw. «Empfehlungen» (DIN 18035-7:2019) verglichen (Tabelle 20, Anhang F)¹⁰.

Zur Vermeidung von Gewässerbelastungen berücksichtigen die hier vorgeschlagenen Prüfwerte nur den ersten Transferpfad (T1) und sind damit vorsorgeorientiert. Die Konzentrationen werden bis zum Gewässer weiter abnehmen (T2) (Abbildung 19).

Für die Bewertung des Summenparameters DOC wird vorgeschlagen, den Anforderungswert der GSchV (10 mg/l) mit einem Transferfaktor 10 zu verknüpfen, sodass sich ein Prüfwert von 100 mg/l ergibt (Tabelle 11). Für die Belastungsklasse «gering» kann demnach der DOC somit um den Faktor 10 über dem Anforderungswert liegen. Damit entspricht der Prüfwert auch dem Prüfwert im Standard-Eluattest (Tabelle 20, Anhang F).

Die Schwermetalle Antimon und Zink sind wenig mobil. Zink wurde daher im Sickerwasser (T1) in um Grössenordnungen geringeren Konzentrationen nachgewiesen als in den Eluattests. Werden der Anforderungswert für Gewässer von 5 µg/l Zink (gelöst) und das Qualitätskriterium CQK für 5.6 µg/l Antimon jeweils mit einem Transferfaktor von 100 verknüpft, ergibt sich ein Prüfwert von 0.5 mg/l Zink und ca. 0.6 mg/l Antimon (Tabelle 11).

Tabelle 11: Qualitätskriterien (C_Q , mg/l), stoffspezifische Transferfaktoren (T1) und Prüfwerte (P) für die Beurteilung der mittleren Konzentration (C_M) aus der Auswaschserie.

Parameter	Qualitätskriterium C_Q (mg/L)	Transferfaktor T1	Prüfwert P (mg/L)
DOC	10 ¹¹	10	100
Antimon	0.0056 ¹²	100	0.6
Zink	0.005 ¹³	100	0.5
Benzothiazol	0.24 ¹⁴	10	2.4
MBT	0.0041 ¹⁵	100	0.4

Benzothiazol und MBT sind organische Mikroverunreinigungen, die als Vulkanisationsbeschleuniger in Gummiprodukten verwendet werden¹⁶. Sie sind im Boden mobiler als Schwermetalle, aber auch abbaubar, insbesondere MBT. Die Felduntersuchungen zeigen, dass sie auf Plätzen mit gummibasierten Materialien (Granulat, Elastikschicht) nur punktuell auf relativ neuen Plätzen auftreten. Unter Berücksichtigung der Stoffeigenschaften (Abbaubarkeit) und des Vorkommens im Sickerwasser unterhalb der Zielwerte wird vorgeschlagen, einen Transferfaktor von 10 für Benzothiazol und von 100 für MBT

¹⁰ Der Begriff «Anforderung» ist in der Schweiz missverständlich, weil in GSchV numerische Anforderungswerte festgelegt sind.

¹¹ GSchV, Anhang 3.1 und 3.3.: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/de

¹² van Leeuwen, L.C., T. Aldenberg (2012): Environmental risk limits for antimony. RIVM Letter Report 601357001/2012

¹³ GSchV: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/de

¹⁴ https://www.oekotoxzentrum.ch/media/xlehlhu2/benzothiazole-dossier_2011.pdf

¹⁵ Junghans, M. (2024). Ad hoc EQS-Herleitung für Mercaptobenzothiazol (CAS 149-30-4). Oekotoxzentrum, Dübendorf

¹⁶ [Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie](#); Zink-2-Mercaptobenzothiazol (ZMBT) kann auch Quelle für MBT sein.

zu verwenden (Tabelle 11). Die Transferfaktoren führen bei CQK von 0.24 und 0.041 mg/l zu Prüfwerten von 2.4 mg/l Benzothiazol und ca. 0.4 mg/l MBT.

Die vorgeschlagene Breite der Transferfaktoren deckt sich mit den heute gängigen Sicherheitsfaktoren, die meist zwischen 10 und 100 liegen, z.B. bei der Einleitung von Deponiesickerwasser in ein Oberflächengewässer Faktor 10.

9.4 Bewertungsablauf

Mit dem Bewertungskonzept sollen die Detailinformationen zur Auswaschung in die drei VSA-Belastungsklassen (gering, mittel, hoch) überführt werden.

Wird der Prüfwert P eingehalten, entspricht dies der Belastungsklasse «gering» und Gewässerverunreinigungen können nach heutigem Wissenstand ausgeschlossen werden. Bei einer Überschreitung um das Doppelte ergibt sich die Belastungsklasse «mittel». Eine Überschreitung um mehr als das Doppelte entspricht der VSA-Belastungsklasse «hoch».

Werden Materialien mit geringer Belastung eingebaut, ist eine Behandlung des Sicker- bzw. Niederschlagswassers bei Versickerung oder Direkteinleitung nicht erforderlich («Best Practice» Systemaufbau). Diese Vorgehensweise soll auch einen Anreiz für Hersteller darstellen, auswaschungsarme Materialien zu entwickeln und anzubieten, sowie Planer und Genehmigungsbehörden ermutigen, diese Materialien in der Praxis zu etablieren (Ausschreibung entsprechend formulieren und Belastungsklasse «gering» bzw. auswascharme Systeme fordern).

Die Bewertung beginnt, wenn die Anforderungen des Standard-Eluattests erfüllt sind und die Resultate der Auswaschserie (+20 °C, 8-mal; 1., 4. und 8. Eluat analysiert) vorliegen:

1. Stoffspezifischer Mittelwert C_M : Für jeden Parameter sind die Mittelwerte aus je drei Konzentrationen (C_1 , C_4 , C_8) zu berechnen:

$$C_M = \frac{C_1 + C_4 + C_8}{3}$$

Die Stoffkonzentrationen (C_1 , C_4 , C_8) werden in «mg/l» dargestellt.

2. Stoffspezifischer Risikoquotient RQ : Der stoffspezifische RQ wird aus dem Mittelwert C_M und stoffspezifischen Prüfwert (P) gebildet:

$$RQ = \frac{C_M}{P}$$

Die vorgeschlagenen Prüfwerte P (mg/L) sind einzubeziehen.

Parameter	Prüfwert P (mg/L)
DOC P_{DOC}	100
Antimon, gelöst P_{Sb}	0.6
Zink, gelöst P_{Zn}	0.5
Benzothiazol P_{BZT}	2.4
MBT P_{MBT}	0.4

3. VSA-Belastungsklasse: Für jede Einzelkomponente (Rasen, Granulat, Elastikschicht) werden die stoffspezifischen Risikoquotienten RQ einer VSA-Belastungsklasse zugeordnet.

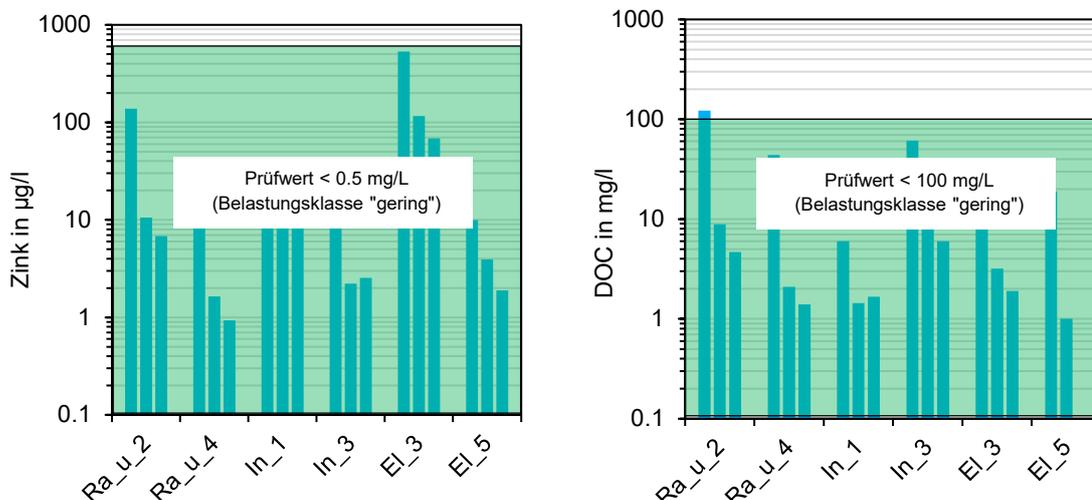
Prüfwert (mg/L)	VSA-Belastungsklasse		
	gering	mittel»	hoch
P_{DOC}	≤ 100	200	> 200
P_{Sb}	≤ 0.6	1.2	> 1.2
P_{Zn}	≤ 0.5	1.0	> 1.0
P_{BZT}	≤ 2.4	4.8	> 4.8
P_{MBT}	≤ 0.4	0.8	> 0.8

Der kritischste RQ bestimmt die Belastungsklasse des Gesamtaufbaus.

Risikoquotient	VSA-Belastungsklasse
$RQ \leq 1$	gering
$RQ > 1$ und ≤ 2	mittel
$RQ > 2$	hoch

Die Bewertungsergebnisse von sechs Produkten sind exemplarisch dargestellt, jedoch basierend auf dem 1., 5. und 10. Eluat (Abbildung 20). An der grundsätzlichen Vorgehensweise ändert sich dadurch nichts. Fünf Einzelkomponenten erfüllen durchweg sämtliche Anforderungen an eine geringe Belastung. Damit gehören diese Produkte zur VSA-Belastungsklasse «gering» und könnten ohne Auflage zur Behandlung eingebaut werden. Das EPDM-Granulat «In_3» erfüllt zwar die Prüfanforderungen «gering» für DOC, Zink, Benzothiazol, jedoch nicht für MBT. Aufgrund der hohen mittleren MBT-Konzentration (17.9 mg/l) entspricht das Produkt den Anforderungen der Belastungsklasse «hoch».

Ein nachhaltiger Aufbau der Belastungsklasse «gering» ergibt sich beispielsweise aus einem unverfüllten Rasen (Ra_u_2, Ra_u_4) auf einer Elastikschicht (EL_3, SBR) oder PE/PET Shock-Pad (EL_5). Da auf Einstreugranulat verzichtet wird, entfällt auch der mögliche Austrag von primären Mikroplastik in die Umwelt. Unter den verfüllten Varianten wäre ein Aufbau mit einem EPDM-Füllgranulat möglich (In_1, Eco).



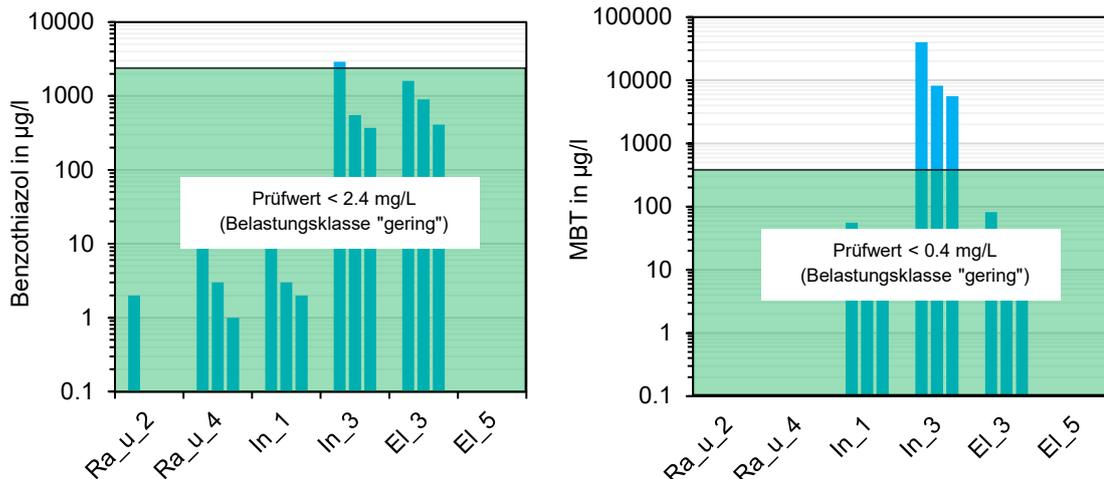


Abbildung 20: Belastungsklasse für je zwei Rasen, Granulate und Elastikschichten, die in der Auswaschserie (1., 5. 10.Eluat) untersucht und eingestuft wurden.

Sind keine Massnahmen an der Quelle vorgesehen oder möglich, ist eine Behandlung des Niederschlagwasser unter Berücksichtigung der Gewässerschutzbereiche vorzusehen (Burkhardt, 2024). Diese kann als Bodenpassage ausgeführt werden (VSA, 2019). Wird ohne Bodenpassage versickert oder direkt ins Gewässer eingeleitet, ist eine geprüfte Adsorberanlage der Anforderungsstufe «standard» (Rückhalt: 80 bis 90 % für GUS, 70 bis 90 % für Schwermetalle und Mikroverunreinigungen) oder «erhöht (Rückhalt: > 90 % für GUS, Schwermetalle und Mikroverunreinigungen)¹⁷ erforderlich.

10 Schlussfolgerungen

Die untersuchten Sickerwässer repräsentieren die reale Einbausituation von neuen und alten Kunststoffrasenplätzen. Auf neuen Plätzen treten vereinzelt Benzothiazol und MBT, auf älteren fast nur Zink in leicht erhöhten Konzentrationen auf. DOC findet sich überall. Die Felduntersuchungen zeigen weiterhin, dass es keine signifikanten Unterschiede beim Vorkommen von Benzothiazol und MBT zwischen verfüllten und unverfüllten Standorten gibt, vermutlich weil die Elastikschichten chemisch vergleichbar zu SBR und EDPM-Einstreugranulaten gebaut sind.

Bei Korkmaterialien sind hohe Konzentrationen an DOC und einigen Elementen nachweisbar. Da Kork als Naturmaterial Huminstoffe auswäscht, wird deutlich, dass der DOC als Summenparameter nicht als alleiniger Beurteilungsparameter für eine Belastung herangezogen werden sollte und bei organischen Füllstoffen sogar ungeeignet ist.

Der etablierte Standard-Eluattest DIN EN 12457-2:2003-01 stellt eine gute Grundlage für eine grobe Materialcharakterisierung dar, jedoch besteht Verbesserungspotential hinsichtlich der Vorgehensweise und der Parameter. Die vorgeschlagene 8-fache Auswaschserie und das Bewertungskonzept schliessen die Lücke bei der Materialdifferenzierung von Produkten. Besonderes Merkmal ist die Durchführung der sequenziellen Elution und die Bewertungsparameter (DOC, Antimon, Zink, Benzothiazol, MBT).

¹⁷ <https://vsa.ch/fachbereiche-cc/siedlungsentwaesserung/regenwetter/adsorber/>

Die vorgeschlagenen Prüfwerte berücksichtigen stoffspezifische Qualitätskriterien und Transferfaktoren, die wiederum auf den Erkenntnissen aus den Laborversuchen und Felduntersuchungen basieren.

Auf Grundlage des neuen Test- und des Bewertungskonzeptes können Einzelkomponenten in Bezug auf die drei VSA-Belastungsklassen (gering, mittel, hoch) nachvollziehbar bewertet werden. Die höchste Belastung pro Einzelkomponente bestimmt die Belastungsklasse des Systemaufbaus. Erfreulich ist, dass es in jeder Materialkategorie Produkte mit geringer Auswaschung gibt.

Werden auswascharme Einzelkomponenten ausgewählt und als Systemaufbauten realisiert, sind auswascharme Systeme der VSA-Belastungsklasse «gering» realisierbar und Gewässerbelastungen können an der Quelle vermieden werden. Alle 11 untersuchten verfüllten und unverfüllten Kunstrasen zeigen keine relevante Auswaschung und würden damit zur Belastungsklasse «gering» gehören. Unter den 8 untersuchten Einstreugranulaten ist eine starke Schwankung beim Auswaschverhalten zu beobachten. Das EPDM-Produkt Melos Infill EPDM Eco (Ln_1) schnitt jedoch nicht nur im Labor, sondern auch im Sickerwasserergebnis (Maggingen) besonders gut ab und ist daher nur gering belastend. Bei den 5 Elastikschichten fallen die Produkte von Trocellen (PE/PET) und Walo (SBR, ELT) durch eine geringe Belastung auf.

11 Literatur

- BAFU (2004). Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Bern
- BAFU (2022). Grundwasserschutz in stark heterogenen Karst- und Kluft-Grundwasserleitern. Vollzugshilfe Grundwasserschutz, Bundesamt für Umwelt, Bern
- BASPO (2007): 113 – Kunststoff- und Kunststoffrasenflächen - Untersuchungen über das Verhalten von Kunststoff- und Kunststoffrasenflächen unter natürlichen Witterungsverhältnissen. Bundesamt für Sport BASPO, Magglingen
- BASPO (2008): 112 – Kunststoff- und Kunststoffrasenflächen - Empfehlung zur Umweltverträglichkeit. Bundesamt für Sport BASPO, Magglingen
- BASPO (2023): Bau, Nutzung und Unterhalt von Sportböden im Freien Wegleitung für umweltverträgliche Anlagen. Bundesamt für Sport BASPO, Magglingen
- Bertling, J., B. Dresen, R. Bertling, V. Aryan, T. Weber (2021): Kunstrasenplätze – Systemanalyse unter Berücksichtigung von Mikroplastik- und Treibhausgasemissionen, Recycling, Standorten und Standards, Kosten sowie Spielermeinungen. Fraunhofer UMSICHT
- Burkhardt, M., M. Rohr, O. Tietje, M. Klingler, D. Savi, M. Junghans (2021): Emissionsbasierte Bauproduktbewertung – Gewässerschutz an der Quelle. Aqua und Gas, 55 – 64
- Burkhardt, M., A. Englert, M. Patrick (2024): Umgang mit Sicker- und Niederschlagswasser von Kunststoffrasen und -belägen. Bericht im Auftrag von BASPO Bundesamt für Sport, Magglingen, BAFU Bundesamt für Umwelt, Bern, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich, und GSZ Grün Stadt Zürich.
- DIN EN 12457-2:2003-01 (2003): Charakterisierung von Abfällen - Auslaugung - Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen - Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngrösse unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung)
- DIN 18035-6:2021-08 (2021): Sportplätze – Teil 6: Kunststoffflächen. DIN e. V., Berlin
- DIN 18035-7:2019-12 (2019): Sportplätze - Teil 7: Kunststoffrasensysteme. DIN e. V., Berlin
- EU (2023): Schutz von Umwelt und Gesundheit: Kommission erlässt Maßnahmen zur Beschränkung von bewusst zugesetztem Mikroplastik. Europäische Kommission – Pressemitteilung, Brüssel
- FLL (2022): Fachbericht Kunststoffsportböden – Nachhaltige Kunststoffbelagsauswahl für Sportfreianlagen. FLL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn

- Kalbe, U., B. Susset, N. Bandow (2016): Umweltverträglichkeit von Kunststoffbelägen auf Sportfreianlagen. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaften, Bonn.
- Kirsten, T. (2022): Sportplätze als Sickeranlagen - Entwicklung einer nachhaltigen Bauweise der Entwässerung. Masterarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden
- Løkkegaard, H., Malmgren-Hansen, B., Nilsson, N.H. (2018): Mass balance of rubber granulate lost from artificial turf fields, focusing on discharge to the aquatic environment. A review of literature. Revised May 2019, Danish Technological Institute (DTI), Aarhus.
- Luginbühl, P. (2018). Umweltschonende Verfüllungen von Kunststoffrasenfeldern. Bern: Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen.
- Patrick, M., A. Englert, M. Burkhardt (2024): Erhebung von Kunststoffrasenflächen und Mikroplastik in der Schweiz. Im Auftrag des Bundesamtes für Sport (BASPO) und des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
- RAL 943 (2018): Kunststoffbeläge in Sportfreibelägen – Gütesicherung RAL-GZ 943. Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Bonn.
- Schoknecht, U., O. Tietje, N. Borho, M. Burkhardt, M. Rohr, A. Vollpracht, L. Weiler (2022): Environmental Impact of Construction Products on Aquatic Systems—Principles of an Integrated Source–Path–Target Concept. *Water*, 14, 228. doi.org/10.3390/w14020228
- Schymanski, E.L., Singer, H.P., Slobodnik, J. et al. (2015): Non-target screening with high-resolution mass spectrometry: critical review using collaborative trial on water analysis. *Anal. Bioanal. Chem.*, 6237-6255.
- VSA (2019): Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Glattbrugg, Schweiz.
- VSA (2023): VSA-Leistungsprüfung für Behandlungsanlagen. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Glattbrugg, Schweiz.
- Wicke, D., R. Tatis-Muvdi, P. Rouault, P. Zerball-van Baar, U. Dünnbier, M. Rohr, M. Burkhardt (2021): Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt. Abschlussbericht, Texte 155/2021, Deutsches Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Anhang A Belagstypen bei Kunststoffrasenplätzen

DIN 18035-7: Belagstypen und Anwendungsbereiche									
Belagstyp	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Konstruktion									
Verfüllungsart und -material	hochverfüllt Sand	teilverfüllt Gummi, Sand	teilverfüllt Sand	hochverfüllt Gummi, Sand	teilverfüllt Gummi, Sand	hochverfüllt Sand	teilverfüllt Gummi, Sand	unverfüllt	unverfüllt
Faserart	Monofilament	Monofilament	Monofilament	Monofilament	Monofilament	Bändchen fibrilliert	Bändchen fibrilliert	Bändchen fibrilliert	Monofilament
Faserstruktur	gerade	gerade	texturiert gekräuselt	texturiert gekräuselt	texturiert gekräuselt	gerade	gerade	gekräuselt	texturiert gekräuselt
Polhöhe, mm	25 bis 35	35 bis 60	25 bis 35	35 bis 40	35 bis 60	25 bis 35	40 bis 60	10 bis 13	12 bis 14
Poldichte/ Noppenanzahl	mittel	gering	mittel	mittel	gering	mittel	gering	hoch	hoch
Füllhöhe %	100	60 bis 80	70 bis 90	90 bis 100	60 bis 80	90 bis 100	60 bis 80	-	-
Eignung, Fußball	***	*****	****	****	*****	**	*****	***	***
Eignung, Hockey	**	.	***	.	.	**	.	*****	*****
Eignung American Football	.	***	***	***	***	.	***	**	****
Eignung Tennis a	*****	***	.	.	.
Eignung Mehrzweck	***	***	***	****	***	***	***	***	***
Strapazierfähigkeit	++++	+++	++++	++++	+++	++++	++	++++	+++++
Pflegeaufwand	□□	□□□□	□	□□	□□□□	□□	□□□□	□	□

[. = ungeeignet ***** = gut geeignet] [+ gering ++++ = hoch] [□ gering □□□□ hoch] [a = Polhöhe maximal 25 mm, Füllhöhe 90 % bis 100 %]

Abbildung 21: Belagstypen bei Kunststoffrasen (DIN 18035-7:2019-12).

Anhang B Auswaschversuche und Probenahme im Feld



Abbildung 22: Rasenstücke (oben), EPDM-Granulate (unten links) und Korkgranulat (unten Mitte und rechts) auf dem Horizontalschüttler nach 24 h Elution.

Anhang C Analytische Vorabklärung

		Level	Identifikation	Zu erreichendes Resultat	Wird erreicht durch	
Target-Screening	Suspect-Screening	Non-Target-Screening	1	maximal	Bestätigte Struktur	Abgleich mit Referenzstandard
			2		Wahrscheinliche Struktur	Abgleich mit MSMS-Datenbanken
			3		Mögliche Struktur	Abgleich mit Chemikalien-datenbanken bzw. -listen
			4		Summenformel	Analyse von HRMS & MS/MS-Massenspektren
			5	minimal	Masse	HRMS-Fullscan Messung

Abbildung 23: Identifikationsniveaus beim Screening (Schymanski et al., 2015).

Tabelle 12: Parameterumfang im Screening.

Nr.	Basis-/Summenparameter	Einheit	Nr.	16 EPA-PAK (inkl. BaP)	Einheit
1	Temperatur	°C	39	Naphthalin	µg/l
2	pH	-	40	Acenaphthylen	µg/l
3	Leitfähigkeit	µs/cm	41	Acenaphthen	µg/l
4	Sauerstoff	mg/l	42	Fluoren	µg/l
5	Trübung	NTU	43	Phenanthren	µg/l
6	TOC	mg/l	44	Anthracen	µg/l
7	DOC	mg/l	45	Fluoranthren	µg/l
8	CSB	mg O ₂ /l	46	Pyren	µg/l
	Ionen, Komplexe		47	Chrysen	µg/l
9	Ammonium	mg NH ₄ -N/l	48	Benzo(a)anthracen	µg/l
10	Cyanide	mg/l CN ⁻	49	Benzo(b)fluoranthren	µg/l
11	Nitrat	mg NO ₃ -N/l	50	Benzo(k)fluoranthren	µg/l
12	Nitrit	mg NO ₂ -N/l	51	Benzo(a)pyren	µg/l
13	Sulfat	mg/l	52	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	µg/l
14	Chlorid	mg/l	53	Dibenzo(a,h)anthracen	µg/l
15	Bromid	mg/l	54	Benzo(g,h,i)perylene	µg/l
16	Bromat	µg/l	55	Summe PAK EPA	µg/l
17	Phosphat	mg PO ₄ -P/l		Phthalate	
	Elemente		56	Benzylbutylphthalat	µg/l
18	Aluminium	µg/l	57	Bis(2-ethylhexyl)phthalat	µg/l
19	Antimon	µg/l	58	Dibutylphthalat	µg/l
20	Arsen	µg/l	59	Diethylphthalat	µg/l
21	Barium	µg/l	60	Dimethylphthalat	µg/l
22	Beryllium	µg/l	61	Di-n-octylphthalat	µg/l
23	Stickstoff	mg N/l		Bisphenol A und BADGE	
24	Blei	µg/l	62	BADGE (Bisphenol-A-Diglycidylether)	µg/l
25	Cadmium	µg/l	63	BADGE·H ₂ O (Bisphenol-A-(2,3-Dihydroxypropyl)-Glycidylether)	µg/l
26	Chrom	µg/l	64	BADGE·2H ₂ O (Bisphenol-A-Bis(2,3-Dihydroxypropyl)-Ether)	µg/l
27	Kobalt	µg/l	65	BADGE + Hydrolyseprodukte (Summe)	µg/l
28	Kupfer	µg/l	66	Bisphenol A	µg/l
29	Molybdän	µg/l		Triazole	µg/l
30	Nickel	µg/l	67	Benzotriazol	µg/l
31	Phosphor	mg/l	68	5,6-Dimethylbenzotriazol	µg/l
32	Quecksilber	µg/l	69	Tolyltriazol	µg/l
33	Selen	µg/l		Benzothiazole	
34	Silber	µg/l	70	Benzothiazol	µg/l
35	Tellur	µg/l	71	2-Mercaptobenzothiazol	µg/l
36	Vanadium	µg/l	72	2-Hydroxybenzothiazol	µg/l
37	Zink	µg/l	72	2-Aminobenzothiazol	µg/l
38	Zinn	µg/l			

Tabelle 13: Ergebnis des «Suspect»-Screenings. Grün: Suspects Level 2, Orange: Suspects Level 3, Grau: Substanzen mit Signal, aber keine Daten in Datenbank, Weiss: Kein Signal.

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Sickerwasser (n = 2)		Rasen (n = 4)		Infill (n = 3)		Elastikschicht (n = 1)	
			L2	L3	L2	L3	L2	L3	L2	L3
1	2-Mercaptobenzimidazol	583-39-1		1				1		
2	2,2'-Dithiobisbenzothiazol	120-78-5					2			
3	2-Morpholinothiobenzothiazol	102-77-2								
4	N-tert.-Butyl-2-Benzothiazol-sulfenamid	95-31-8		1				1		
5	N-Cyclohexyl-2-Benzothiazol-sulfenamid	95-33-0								
6	2-(4-Morpholinyl)-Benzothiazol	4225-26-7	1	1		3	1	1	1	
7	2-Methylsulfinylbenzothiazol	3507-54-8		1				2		
8	2-Methylsulfonylbenzothiazol	7144-49-2		2						1
9	N-Cyclohexyl-2-Benzothiazol-amin	28291-75-0				1				
10	2-Benzothiazolsulfonsäure	941-57-1		2		2		2		1
11	2-Chlorbenzothiazol	615-20-3								
12	2-Methylsulfonylanilin	2987-49-7		2				1		
13	2-Hydroxyanilin	95-55-6						1		1
14	2-Methylthiobenzoxazol	13673-62-6		1		2		2		1
15	2-Methylthiobenzimidazol	7152-24-1		2				1		1
16	2-Hydroxybenzoxazol	59-49-4						1		1
17	6PPD	793-24-8								
18	Diisobutylphthalate	84-69-5		2		4		2		
19	Dicyclohexylphthalate	84-61-7								
20	Nonylphenol	104-40-5								
21	Bis-(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidiny)sebacate	52829-07-9						1		
22	Cyclohexanamine	10468-40-3								
23	Phenol	96-76-4		1		1		1		
24	Cyclohexanamine	108-91-8			2		1		1	

Anhang D Feld- und Laboruntersuchungen

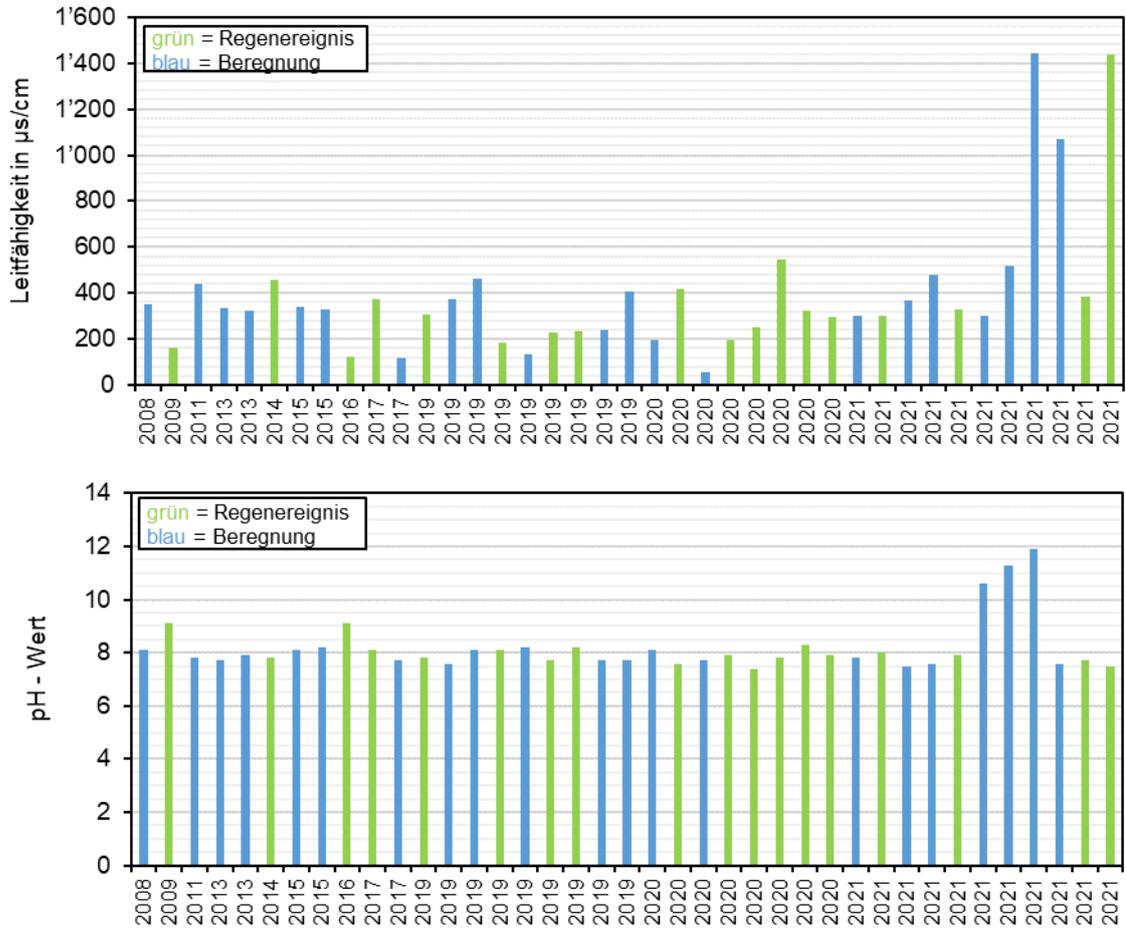


Abbildung 24: Elektrische Leitfähigkeit (oben) und pH-Werte (unten) in den Sickerwasserproben von Kunststoffrasenplätzen.

Tabelle 14: Labordaten zur Auswaschung und Feldmessungen aus Magglingen für einen Platz mit den gleichen Materialien sowie deren Verhältnis (Transferfaktor T1).

Parameter		Rasen - 20 °C (4.5 kg/m ²)			Rasen - 60 °C (4.5 kg/m ²)			Elastiksicht - 20 °C (15 kg/m ²)			Sickerwasser Platz 1 (12.07.2022)				Transferfaktor	
		1.	5.	10.	1.	5.	10.	1.	5.	10.	1.	2.	3.	4.	1./Feld	5.+10./Feld
pH	-	8.8	9.3	9.4	8.1	8.8	9.2	6.8	6.1	5.9	7.6	7.5	7.4	7.6		
Leitfähigkeit	µs/cm	128	28	28	262	49	44.5	11	2	1	1071	1065	1073	1224		
Trübung	NTU	14	<0.01	<0.01	4	<0.01	<0.01	1	<1	<1	3	3	3	<1		
DOC	mg/l	122	9	5	206	17	8	14	2	2	6	5	4	4	40	4
Chrom gesamt	µg/l	0.19	0.01	0.01	0.37	0.24	0.34	0.04	0.01	0.01	0.9	0.8	0.6	1.7		
Kupfer	µg/l	81.2	5.2	5.4	29	5.1	2.1	1.0	0.2	0.3	1.7	1.7	1.5	1.2		
Nickel	µg/l	10.0	1.3	1.1	58	10	4.8	0.2	0.03	0.01	5.7	8.1	8.6	10.7		
Quecksilber	µg/l	0.01	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	-	-	-	-		
Zink gesamt	µg/l	138	10.6	6.8	275	5.1	<5.0	218	84	58	40	31	21	28	10	2
Hydroxybenzothiazol	µg/l	<1	<0.1	<0.1	1.1	<0.5	<0.1	700	450	200	4.2	5.7	8	1		
MBT	µg/l	<1	<0.1	<0.1	<10	<0.5	<0.5	40	24	22	<1	<1	<1	<1	> 40	> 20
Benzothiazol	µg/l	2	<1	<1	<10	<1	<1	650	550	240	6.9	7.1	9.7	2.5	100	60

Tabelle 15: Basis- und Summenparameter, Elemente und Thiazole im Sickerwasser von Magglingen nach Beregnung auf dem unverfüllten Kunststoffrasenplatz (Baujahr 2021).

Parameter		Leitungswasser	1. Probe	2. Probe	3. Probe	4. Probe
pH	-	8.0	7.6	7.5	7.4	7.6
Leitfähigkeit	µs/cm	427	1070	1065	1073	1224
Trübung	NTU	< 0.01	2.8	3.2	3.1	< 1
DOC	mg/l	3.8	6.0	4.8	4.4	4.0
Chrom gesamt	µg/l	0.16	0.9	0.9	0.6	1.7
Kupfer	µg/l	0.78	1.7	1.7	1.5	1.2
Nickel	µg/l	<0.5	5.7	8.1	8.6	11
Quecksilber	µg/l	<0.01	10*	13*	5.7*	13*
Zink	µg/l	<5.0	40	31	21.0	28
2-Hydroxybenzothiazol	µg/l	-	4.2	5.7	8.0	1.0
MBT	µg/l	-	< 1	< 1	< 1	< 1
Benzothiazol	µg/l	-	6.9	7.1	9.7	2.5

Tabelle 16: Konzentrationen in Sickerwässern von Kunststoffrasenplätzen und Anforderungswerte der GSchV. * einmaliger Befund; ** Befunde vom gleichen Platz.

	Anzahl Überschreitungen und Maximalwert								
	As	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Hg	Zn
Oberflächengewässer (µg/l)		1	0.05	2		2	5	0.01	5
verfüllte Plätze (n = 22)		2	0	5		9 (8.0)	1	1	13 (173)
unverfüllte Plätze (n = 17)		0	0	3 (31)**		10 (8.5)	2	2 (10)*	8 (59)
Beregnungswasser, Höchstkonzentrationen (n = 13) (µg/l)	0.7	<0.5	<0.05	0.6	<0.2	11	<0.5	<0.01	190

Tabelle 17: Konzentrationen von Benzothiazol, 2-Hydroxybenzothiazol und MBT in Sickerwässern im Vergleich mit Qualitätskriterien für Gewässer.

	Anzahl Überschreitungen und Maximalwert		
	Benzothiazol	2-Hydroxybenzothiazol	MBT
Qualitätskriterium (µg/l)	240	14	4.1
verfüllte Plätze (n = 22)	0	0	0 (1.6)
unverfüllte Plätze (n = 17)	0	1 (16)	0 (1.3)

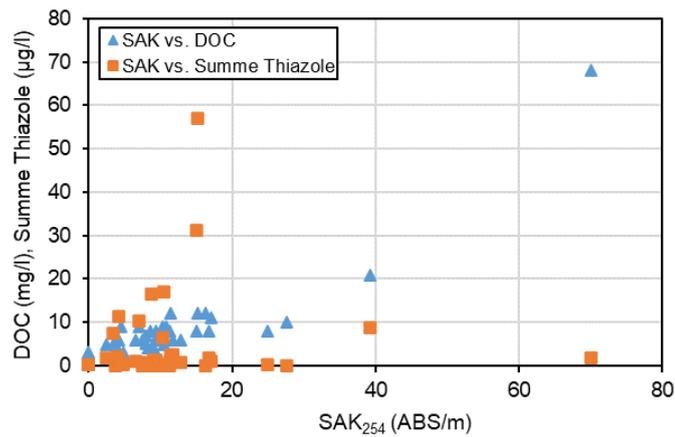


Abbildung 25: Vergleich von SAK₂₅₄ mit DOC und der Summe von fünf Thiazolen.

Tabelle 18: Konzentrationen von Benzothiazol, 2-Hydroxybenzothiazol und MBT in den Eluat-ten bei +20 °C im Vergleich mit Qualitätskriterien für Gewässer.

	Anzahl Überschreitungen und Maximalwert (24 h, 240 h)		
	Benzothiazol	2-Hydroxybenzothiazol	MBT
Qualitätskriterium (µg/l)	240	14	4.1
Rasen verfüllt (n = 5)	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Rasen unverfüllt (n = 6)	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Granulat, synthetisch (n = 5)	4 (2'900) / 3 (450)	4 (1'500) / 4 (130)	5 (40'000) / 5 (6'370)
Elastiksicht (n = 5)	3 (1'600) / 1 (410)	3 (740) / 3 (230)	4 (82) / 4 (30)

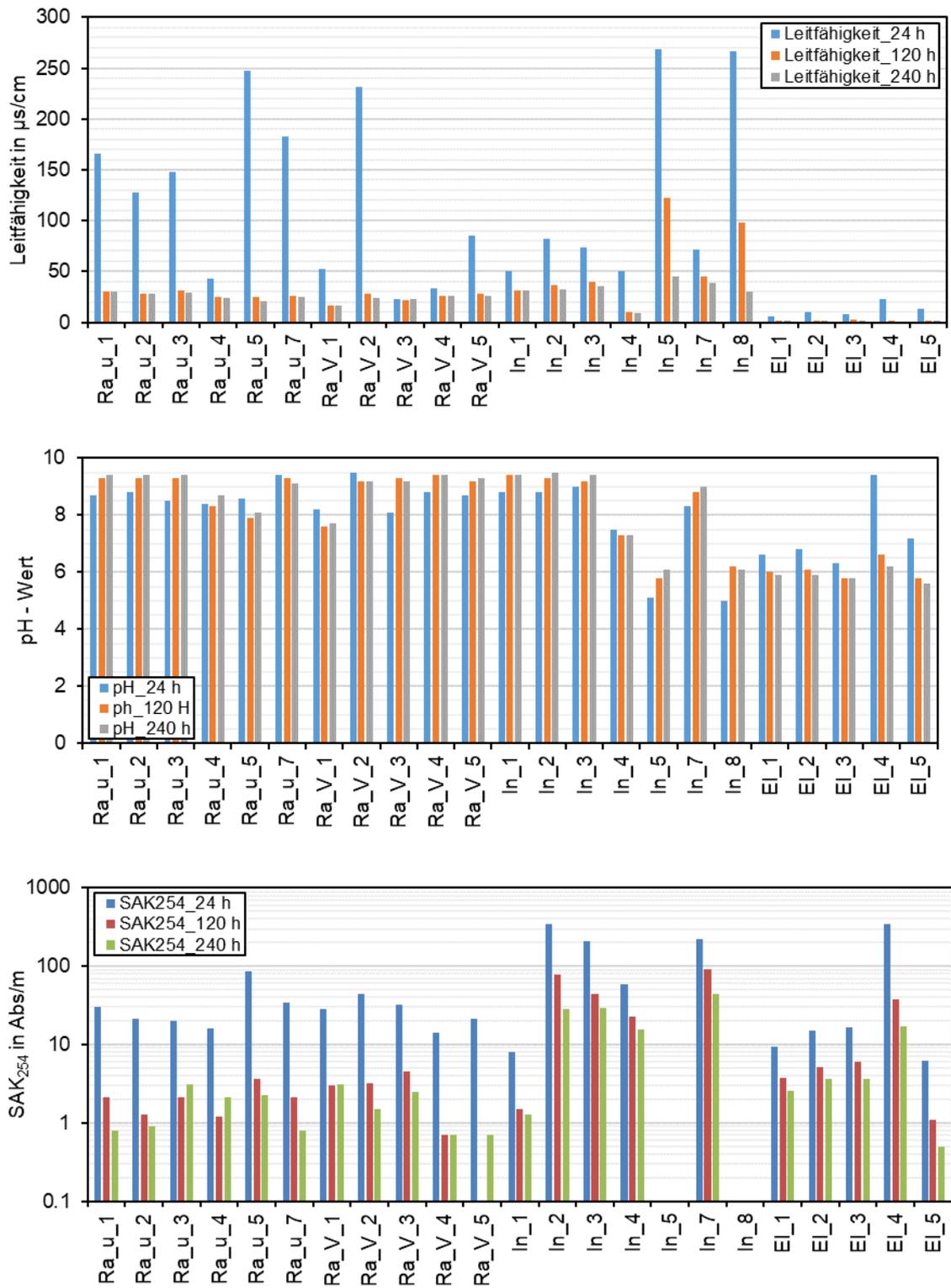


Abbildung 26: pH-Werte (oben), elektrische Leitfähigkeiten (Mitte) und SAK₂₅₄ (unten) in den Eluaten von Materialien für Kunststoffrasen bei +20 °C.

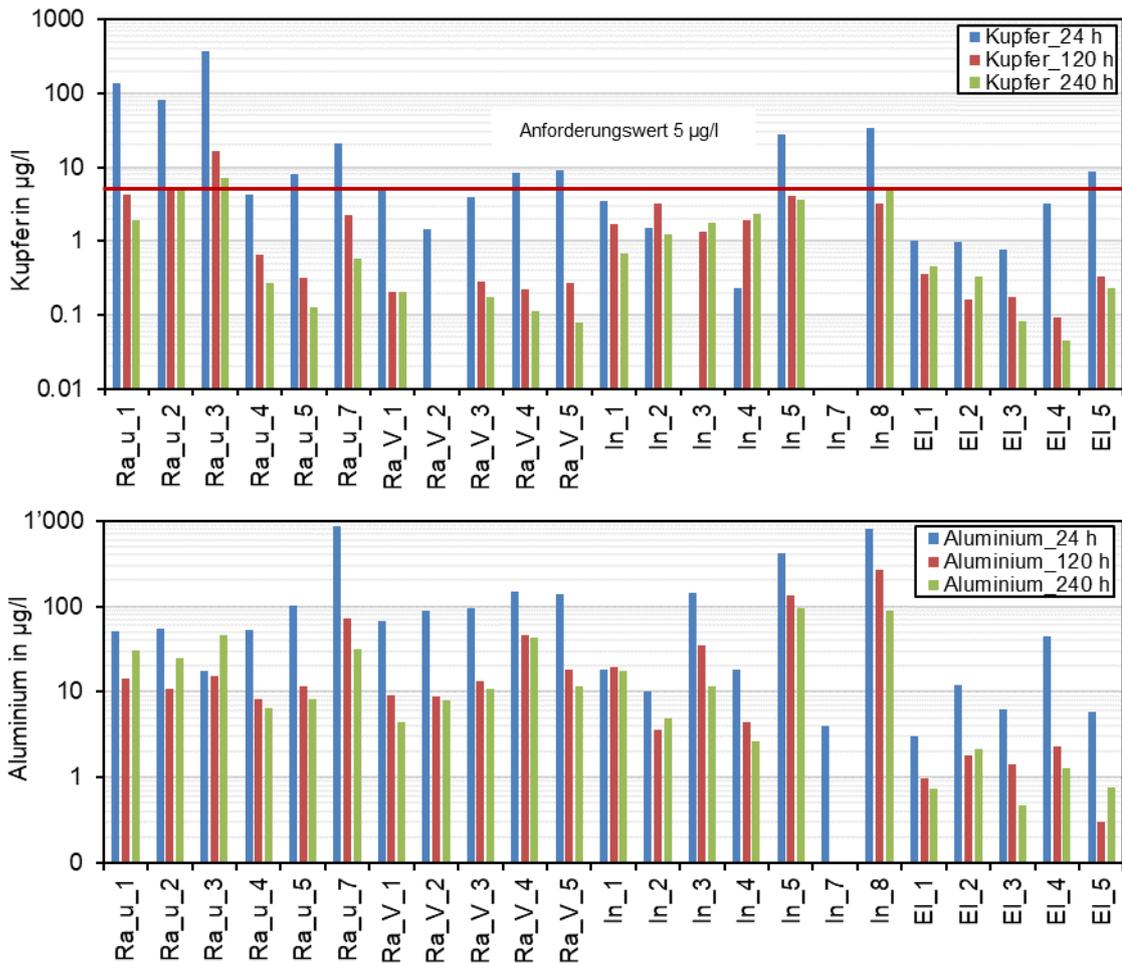


Abbildung 27: Konzentrationen von Kupfer (oben) und Aluminium (unten) in den Eluaten von Materialien für Kunststoffflaschen bei +20 °C.

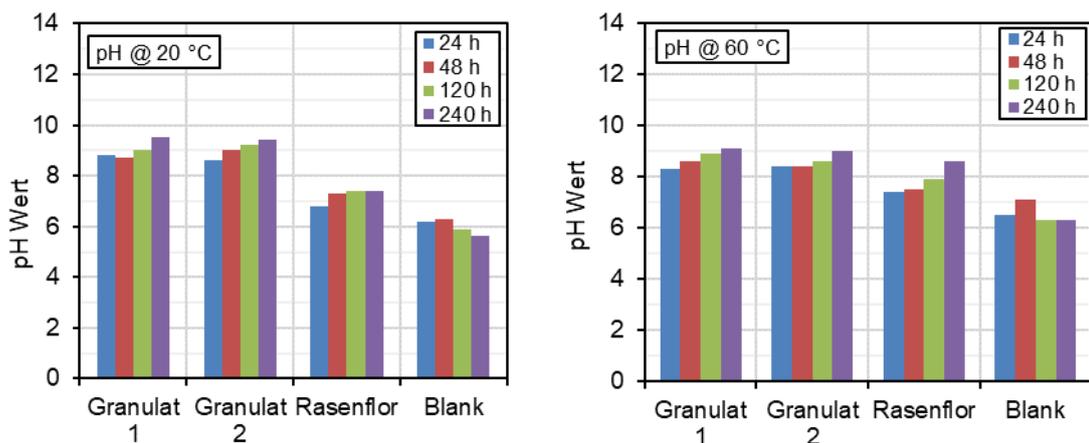
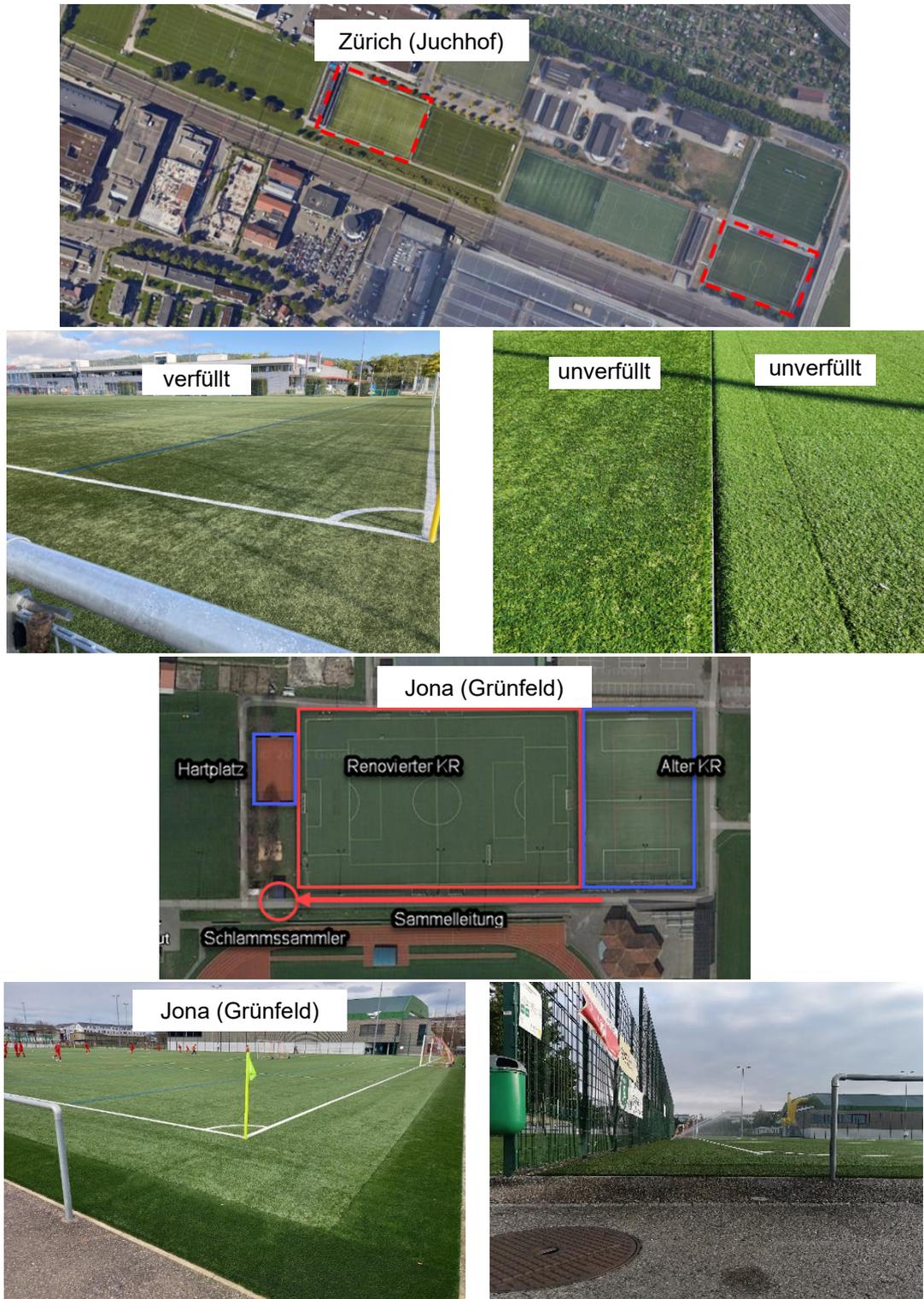


Abbildung 28: pH-Werte bei 10-maliger Elution von zwei Kunstrasengranulaten, Rasenflor und der Blindprobe bei +20 °C (links) und +60 °C (rechts).

Anhang E Dokumentation zu ausgewählten Kunststoffrasenplätzen

Tabelle 19: Auswahl von Kunstrasenplätzen, von denen Sickerwässer sowie eingesetzte Materialien untersucht wurden.





Gossau



Winterthur



Eschenbach



Baden (Kork)



Anhang F Bewertung gemäss Standard-Eluattest

Tabelle 20: RAL 943 Anforderungen für die Messparameter.

Die Anforderungen für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Quecksilber, Zink und Zinn orientieren sich an den geltenden Prüfwerten aus der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999. Die Anforderungen für kurzkettige Chlorparaffine (C10-C13) ergeben sich aus der Verordnung EU 2015/2030. Die Anforderungen für die Phthalate DEHP, BBP, DBP und DIBP ergeben sich aus Anhang II der RoHS-Richtlinie 2011/65/EU.

Zelle	Messparameter (Extrakt/Eluat)	Anforderungen	Prüfung	
			Extrakt-/Eluatgewinnung nach	Analytisches Verfahren
1	DOC (gelöster, organisch gebundener Kohlenstoff)	< 50 mg/l ^a < 100 mg/l ^a	1.2 und 1.3	1.5
2	EOX (extrahierbare organisch gebundene Halogene)	< 100 mg/kg	1.4.1.1	1.4.2.1
3	Blei (Pb)	< 0,025 mg/l	1.2	1.6
4	Cadmium (Cd)	< 0,005 mg/l	1.2	1.6
5	Chrom (Cr) gesamt	< 0,05 mg/l	1.2	1.6
6	Chrom VI (Cr ^{VI})	< 0,008 mg/l ^b	1.2	1.7
7	Quecksilber (Hg)	< 0,001 mg/l	1.2	1.6
8	Zink (Zn)	< 0,5 mg/l ^c	1.2 und 1.3	1.6
9	Zinn (Sn)	< 0,04 mg/l	1.2	1.6
10	Geruch	ist zu beschreiben		
11	Äußere Beschaffenheit	ist zu beschreiben		
12	Kurzkettige Chlorparaffine (C10-C13)	< 0,15 Gew.-%	1.8.1	1.8.1
13	Mittelkettige Chlorparaffine (C14-C17)	sind zu bestimmen ^d	1.8.2	1.8.2
14	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP), Butylbenzylphthalat (BBP), Dibutylphthalat (DBP), Diisobutylphthalat (DIBP)	< 0,1 Gew.-%	1.9	1.9
15	Phthalate, die nicht unter Punkt 14 aufgelistet sind	sind zu bestimmen ^d	1.9	1.9

^a DOC-Gehalte, die im wässrigen 24-h-Eluat (hergestellt nach 1.2) 100 mg/l überschreiten, erfüllen die Anforderungen nicht (KO-Kriterium). Für den Fall, dass die DOC-Konzentrationen im 24-h-Eluat im Bereich > 50 mg/l bis 100 mg/l liegen, kann zur Bewertung die Einhaltung des 50 mg/l-Kriteriums für den DOC im 48 h Eluat (hergestellt nach 1.3) herangezogen werden.

^b Da mit den genormten Verfahren mittels Spektralphotometrie (siehe DIN 38405-24) bzw. Ionenchromatographie (siehe DIN EN ISO 10304-3) nur Cr-VI-Konzentrationen von >0,05 mg/l erfasst werden können, erfüllen nur Cr-Gesamtgehalte von < 0,008 mg/l diese Anforderung. Ist dies nicht der Fall, so müssen mittels nicht genormter Verfahren die CrVI-Konzentrationen von < 0,008 mg/l belegt werden.

^c Elastische Füllstoffe, deren Zinkgehalt im wässrigen 24-h-Eluat (hergestellt nach 1.2) 1 mg/l überschreitet, erfüllen die Anforderungen nicht (KO-Kriterium). Für den Fall, dass die Zinkkonzentrationen von elastischen Füllstoffen im 24-h-Eluat im Bereich >0,5 mg/l bis 1 mg/l liegen, kann zur Bewertung die Einhaltung des 0,5 mg/l-Kriteriums für Zink im 48 h Eluat (hergestellt nach 1.3) herangezogen werden.

^d Derzeit liegen keine Anforderungswerte für mittelkettige Chlorparaffine (C14-C17) und Phthalate vor, die nicht unter Punkt 14 aufgelistet sind. Die gemessenen Konzentrationen sind zur Erfahrungssammlung zu bestimmen, zu dokumentieren, statistisch auszuwerten und zu bewerten.