

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR UMWELT-, SICHERHEITS- UND ENERGIETECHNIK UMSICHT





# Kunstrasenplätze – Systemanalyse

unter Berücksichtigung von Mikroplastik- und Treibhausgasemissionen, Recycling, Standorten und Standards, Kosten sowie Spielermeinungen

**Autoren und Bearbeiter:** Jürgen Bertling, Boris Dresen, Ralf Bertling, Venkat

Aryan, Torsten Weber

**Korrespondenzautor:** Jürgen Bertling

juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de

**Kontakt:** Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-

und Energietechnik UMSICHT

Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen

www.umsicht.fraunhofer.de

Mitarbeitende: Sandra Naumann, Romina Pampuch, Lina Sommer, Eric

Strauch, André Osterthun

Laufzeit der Studie: 1. März 2020 bis 31. August 2021

**Ausgabe:** 15. September 2021

**Im Internet verfügbar:** publica.fraunhofer.de

https://doi.org/10.24406/umsicht-n-640390

**Nutzungsbedingung:** CC-BY-NC-SA 2.0 DE

**Zitierweise:** Bertling, Jürgen; Dresen, Boris; Bertling, Ralf; Aryan, Ven-

kat; Weber, Torsten: Kunstrasenplätze – Systemanalyse unter Berücksichtigung von Mikroplastik- und Treibhausgasemissionen, Recycling, Standorten und Standards, Kosten sowie Spielermeinungen, Oberhausen, Fraunhofer UM-

SICHT (2021) 146 Seiten

Weitere Informationen zu Kunstoffen in der Umwelt und

der-umwelt.html



## Auftraggeber und Ansprechpartner:

Kommune	Adresse	Ansprechpartner/in
Stadt Aarau	Betrieb Infrastruktur und Sport Rathausgasse 1 CH-5000 Aarau	Lisa Diggelmann
Stadt Bern	Immobilien Stadt Bern Bundesgasse 33 CH-3011 Bern	Fabienne Graf Elsi Hischier Carina Lanz Philipp Luginbühl
Stadt Braunschweig	Fachbereich Stadtgrün und Sport 0670.10 Auguststraße 9-11 D-38100 Braunschweig	Michael Loose Thomas Sasse
Stadt Chur	Tiefbaudienste Masanserstrasse 2 CH-7001 Chur	Roland Arpagaus Maurus Baumann
Stadt Hannover	Fachbereich Sport und Bäder Sportentwicklungsplanung Lange Laube 7 D-30159 Hannover	Jan Kähler Christian Schäfer
Stadt St. Gallen	Sportamt Neugasse 25 CH-9004 St. Gallen	Martin Bühler Marcel Thoma
Stadt Winterthur	Sportamt Pionierstrasse 7 CH-8403 Winterthur	Dave Mischler
Stadt Zürich	Grün Stadt Zürich Beatenplatz 2 CH-8001 Zürich	Peter Bielmann Johannes Neher Stefan Brunner
Genan GmbH	Gottlieb-Daimler-Str. 34 46282 Dorsten	Daniel Schockmann



## Inhalt

Erkläi	rung zu Finanzierung, Verantwortlichkeiten und Nutzungsbedingungen	6
1	WAS SOLL MAN TUN? – ZENTRALE ERGEBNISSE UND UNSERE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	7
2	HINTERGRUND UND GEGENSTAND DER MULTI-CLIENT-STUDIE	
2.1	Hinweise zu Methode und Datenunsicherheiten	
2.2	Welche Plätze wurden untersucht?	15
3	WIE SIND KUNSTRASENSYSTEME AUFGEBAUT?	16
3.1	Grundsätzlicher Aufbau	
3.2	Wartung und Pflege	
3.3	Nutzungs- und Lebensdauer	
4	WIE SIND KUNSTRASENPLÄTZEN BAULICH INTEGRIERT?	22
• 4.1	Gestaltung des Platzumfeldes	
4.2	Entwässerung von Kunstrasenplätzen	
5	WO GIBT ES IN DEUTSCHLAND UND DER SCHWEIZ KUNSTRASENPLÄTZE?	28
<b>5</b> .1	Wie sind die Flächen räumlich eingebunden?	
5.2	In welchem Abstand sind offene Wasserflächen zu finden?	
J.Z	in weigher Abstand sind offene wassernachen zu infach:	33
6	WIE WIRTSCHAFTLICH SIND KUNSTRASENPLÄTZE?	36
7	WIEVIEL INFILL IST AUF DEN PLÄTZEN UND WAS LEISTET ES?	40
7.1	Eingesetzte Mengen	
7.2	Anreicherung von Infill	
7.3	Fragmentierung des Infills	
7.4	Infill-Verteilung und spieltechnische Eigenschaften	
7.5	Infill-Alternativen	
8	WIE HOCH SIND DIE INFILLVERLUSTE?	48
8.1	Bisherige Erkenntnisse	
8.2	Infillverluste und Nachgranulierung auf den untersuchten Plätzen	
8.3	Platz-Parameter mit Einfluss auf die Infillverluste	
9	WAS IST ZUM FASERVERLUST BEKANNT?	52
10	ÜBER WELCHE PFADE WIRD DAS INFILL AUSGETRAGEN UND WO BLEIBT ES?	55
10.1	Beobachtungen aus den Platzbegehungen	
10.1	Wissensstand aus aktuellen Studien	
10.2	Massenbilanzen	
10.5	เงเลวระเาษและเระเา	02



11	WIE IST DER WISSENSSTAND BEI WEITEREN SCHADSTOFFEN UND DEN V AUF DIE GESUNDHEIT?	
11.1	Kritische Stoffe im System Kunstrasen	
11.2	Aufheizung der Plätze	
11.3	Sportunfälle und Keimbelastungen	
12	WIE IST DER STAND BEIM RECYCLING?	79
12.1	EoL-Optionen	79
12.2	Stand beim Recycling	81
13	WELCHEN CARBON FOOTPRINT BESITZEN KUNSTRASENPLÄTZE?	
13.1	Ziel und funktionelle Einheit	
13.2	Untersuchte Systeme	
13.3	Wirkungskategorie	
<ul><li>13.4</li><li>13.5</li></ul>	ErgebnisseErgebnisse anderer Studien	
13.3	Ligebilisse aliderer Studierr	92
14	WIE WERDEN UMWELTASPEKTE IN NORMEN UND STANDARDS BERÜCK	
14.1	EN 15330-1 und DIN 18035-7	
14.2	RAL Gütezeichen RAL-GZ 944	
14.3	BASPO-Empfehlungen	
14.4	FIFA-Qualitätsprogramm	
14.5	Technischer Bericht zur Minimierung von Infillverlusten CEN/TR 17519	99
15	WIE HOCH IST DER BEDARF AN KUNSTRASENPLÄTZEN?	101
16	WAS SAGEN DIE NUTZER?	104
17	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	107
18	TABELLENVERZEICHNIS	109
.0		
19	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	111
20	GLOSSAR	113
21	LITERATURVERZEICHNIS	115
22	ANHANG	124
22.1	Hinweise zu den Methoden	
22.2	Begehungsprotokoll	
22.3	Rohdaten und Rechengrößen	
22.4	Siebanalyse	132



## Erklärung zu Finanzierung, Verantwortlichkeiten und Nutzungsbedingungen

Die Erstellung des vorliegenden Berichts wurde von einem Konsortium aus schweizerischen und deutschen Kommunen sowie einem Unternehmen als eine Multi-Client-Studie beauftragt. Das Projektbudget betrug 70 000 Euro. Neben Literaturrecherche, Datenerhebung/Datenauswertung und der Berichterstellung beinhaltete die Multi-Client-Studie auch die Begehung der Kunstrasenplätze der beauftragenden Kommunen mit Probenahme und Analytik.

In der Formulierung des Berichts waren die Autor\*innen frei; eine Einflussnahme durch die Auftraggeber, die befragten Organisationen oder andere Dritte fand nicht statt. Nichtsdestoweniger, hatten die Auftraggeber die Möglichkeit Vorversionen des Berichts in zwei Runden kritisch zu kommentieren. Die Ergebnisse des Berichts stellen daher nicht in jedem Fall die Sicht der beauftragenden Organisationen oder des Fraunhofer-Instituts UMSICHT dar, sondern in erster Linie die Sichtweise der Autor\*innen.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Des Weiteren ist es unter einer Creative-Commons-Lizenz verfügbar (CC-BY-NC-SA 2.0 DE). Das Werk oder Teile davon dürfen für nicht kommerzielle Zwecke vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden, sofern auf die Urhebenden (Autor\*innen, Herausgebende) verwiesen wird. Im Falle einer Verbreitung sind die gleichen Lizenzbedingungen, unter welche dieses Werk fällt, anzuwenden. Jede kommerzielle Verwertung ohne schriftliche Genehmigung der Autor\*innen ist unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in Systeme(n) der elektronischen Datenverarbeitung.



## 1 Was soll man tun? – Zentrale Ergebnisse und unsere Handlungsempfehlungen

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Kapiteln 2 bis 16 kurz zusammenfassend dargestellt. Darauf aufbauend werden jeweils Handlungsempfehlungen gegeben. Die Handlungsempfehlungen sind adressiert an die wichtigsten Akteure im Zusammenhang mit Kunstrasenplätzen:

- Hersteller von Kunstrasensystemen und deren Komponenten
- Planer von Kunstrasenplätzen (Architekten und Stadtplanungsämter)
- Verbände und Gremien (bspw. Sportverbände, RAL-Gütegemeinschaften, Normungsgremien etc.)
- Betreiber von Kunstrasenplätzen (Kommunen oder Vereine)
- Nutzer (Spieler, ehemalige Spieler, Zuschauer und Fans)
- Wissenschaft und Prüfinstitute

### WIE SIND KUNSTRASENSYSTEME AUFGEBAUT?

- Ein Kunstrasensystem ist in Schichten aufgebaut, die in komplexer Wechselwirkung stehen. Die Ausführung des dämpfenden Unterbaus als kombinierte Elastik-/Asphaltschicht oder als elastische Tragschicht unterscheidet die untersuchten Kunstrasenplätze der Schweiz von denen in Deutschland.
- Tätigkeiten wie Aufbürsten, Abziehen, Reinigen und Wässern geschehen überwiegend in ehrenamtlicher oder hauptberuflicher Eigenleistung. Das Nachfüllen von Infill (Gummigranulat und Sand) gehört ebenfalls zur Pflege.
- Die Lebensdauer eines Kunstrasenplatzes wird durch den Kunstrasenteppich bestimmt und liegt allgemein bei ca. 12 bis 15 Jahren. Die untersuchten Kunstrasenplätze in Deutschland und der Schweiz werden im Durchschnitt 1882 Stunden pro Jahr genutzt.
- Planer, Betreiber, Nutzer: Es gibt heute eine Vielzahl von Varianten und unterschiedliche Anbieter für Kunstrasenplätze. Die Vorplanung und Entscheidung sollte daher weitgehend herstellerunabhängig stattfinden.
- Planer, Betreiber, Nutzer, Hersteller: Der Hersteller (Platzlieferant) sollte Auskunft über Pflegeaufwand und -kosten (inkl. Infill-Nachfüllung) geben können. Für die Haltbarkeit und Lebensdauer von Granulaten und Kunstrasenteppich sollten Garantien weit oberhalb der gesetzlichen Gewährleistung eingefordert werden, da die Plätze einem erheblichen Witterungseinfluss unterliegen.
- ➤ Betreiber, Nutzer: Es sollte geprüft werden, ob der Bedarf ausreicht, um eine hohe Nutzungsintensität deutlich oberhalb der von Naturrasen zu erreichen.

### WIE SIND KUNSTRASENPLÄTZEN BAULICH INTEGRIERT?

• Ein Kunstrasenplatz ist umgeben von befestigten/unbefestigten und natürlichen/künstlich angelegten Flächen.



- Ortsauswahl, Platzumfeld und Platzanlage des Kunstrasenplatzes (KRP) hängen von den örtlichen Gegebenheiten, rechtlichen Vorschriften und von den Wünschen der Betreiber ab.
- Ein Kunstrasenplatz ist wasserdurchlässig und leitet Niederschlagswasser ab. Unterschieden wird zwischen Versickerung (vertikale Entwässerung), Fassung und Ableitung (horizontale Entwässerung) und (unterstützender) Dränung.
- Der größte Teil des Wassers versickert auf bzw. neben dem Kunstrasenplatz. Der Rest wird gefasst und abgeleitet. Die Ableitung erfolgt primär mittels Regenwasserkanal, seltener direkt in die Vorflut, noch seltener über den Abwasserweg in die Kläranlage.
- Planer, Betreiber: Bei der Standortwahl sollten insbesondere wasserwirtschaftliche und ökologische Rahmenbedingungen vor Ort berücksichtigt werden (auch Extremwetterereignisse und Hochwasser). Um Infillverlust durch Starkregenereignisse zu vermeiden, sollten großzügig Versickerungsflächen im Platzumfeld angelegt werden.
- Planer, Betreiber, Hersteller: Falls Niederschlagswasser in den Regenwasserkanal oder direkt in den Vorfluter eingeleitet wird oder gelangen kann, empfiehlt sich der Einbau von Filterelementen zum Rückhalt von Infill. Im Fall von Mischkanalisation wären Rückhalteoptionen zu prüfen, um Mischwasserabschläge zu vermeiden.

## WO GIBT ES IN DEUTSCHLAND UND DER SCHWEIZ KUNSTRASENPLÄTZE?

- Weder in Deutschland noch in der Schweiz gibt es offizielle Zahlen über die Anzahl an Kunstrasenplätzen. Satellitendatenauswertungen ergeben für die Schweiz außerhalb des privaten Einsatzes 800 Kunstrasenplätze bzw. kunstrasenähnliche Plätze, in Deutschland sind es demnach rund 9000. Offizielle Schätzungen liegen zumeist unter diesen Werten.¹
- Innerhalb eines Umkreises mit einem Radius von 1 Kilometer um Kunstrasenflächen können über 50 000 Menschen leben oder auch fast niemand. Kunstrasenflächen sind zu ungefähr gleichen Teilen in ein landwirtschaftliches bzw. bewaldetes Umfeld (136 Quadratkilometer) oder ein Wohnumfeld bzw. gewerbliches Umfeld (129 Quadratkilometer) eingebunden.
- In 100 Metern Entfernung von Kunstrasenstandorten befinden sich in Deutschland 5,8 Mio. m² Gewässerflächen (entsprechend 2 Prozent der Fläche). Der mittlere Abstand beträgt 330 Meter zu Flieβ- und 730 Meter zu Stehgewässern.
- Politik, Verbände: Kunstrasenplätze sollten nach Standort, Umgebung und Bauweise in einer offiziellen Datenbank vollständig erfasst werden. Auch die Bevölkerungsdichte sowie umwelt- und naturschutzrelevante Aspekte in einem zu definierenden Umkreis sollten im Rahmen des Monitorings miterfasst werden.
- Politik, Planer, Betreiber: Kunstrasenplätze sollten vor allem in verdichteten, urbanen Räumen, nicht aber in Wasserschutz- oder Überschwemmungsgebieten realisiert werden. Etwaige Förderungen sollte sich vor allem nach dem tatsächlichen Bedarf richten und beim Bau in schützenswerten Naturräumen nicht stattfinden.

Nach Berechnungen des schweizerischen Instituts für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC gibt es in der Schweiz 465 Fußballplätze mit Kunstrasen. Die Abweichung zum UMSICHT-Wert resultiert v.a. daraus, dass UMSICHT auch Nicht-Fußballplätze berücksichtigt hat.



## WIE WIRTSCHAFTLICH SIND KUNSTRASENPLÄTZE?

- Im Detail sind die Kostenunterschiede groß. Unterschiedliche Rasensysteme bedingen unterschiedliche Infrastrukturen und Pflegeansätze. Jährliche Kostenbetrachtungen nivellieren viele Unterschiede zwischen Natur- und Kunstrasenplätzen.
- Bezogen auf die Nutzungsstunden ergeben sich klare Kostenvorteile für Kunstrasenplätze. Ob sich diese bei zunehmenden Umweltauflagen halten lassen, ist noch unsicher.
- Planer, Betreiber: Die Wirtschaftlichkeit von Kunstrasenplätzen sollte auf einer detaillierten Erhebung des Bedarfs in Spielstunden pro Jahr basieren. Dieser Bedarf sollte über längere Zeiträume vor der Entscheidung über den Bau ermittelt werden. Externe Kosten durch erwartete Umweltschäden sollten soweit möglich internalisiert und nachvollziehbar berücksichtigt werden.
- Planer, Betreiber: Die Kosten für Clean-Ups, bauliche Maßnahmen wie Barrieren, Banden, Wälle, Zusatzaufwände in der Abwasserbehandlung zur Reduktion von Emissionen und die End-of-Life-Phase (Recycling, thermische Verwertung, Wiederherstellung des Ursprungszustandes) sind in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung explizit und mit Blick auf zukünftig erwartbare Anforderungen zu berücksichtigen.

## WIEVIEL INFILL IST AUF DEN PLÄTZEN UND WAS LEISTET ES?

- Die untersuchten Plätze aus den Jahren 2009 bis 2019 zeigen unabhängig vom Baujahr keine Reduktion der Einsatzmenge an Performance-Infill.
- Eine Anreicherung durch Kompaktierung auf den Plätzen wurde nicht gemessen.
- Einige wenige Ergebnisse zur Veränderung der Partikelgrößenverteilung über die Zeit, deuten darauf hin, dass das Performance-Infill im Laufe der Zeit zerrieben und mit zunehmender Versprödung auch zerkleinert wird.
- Das Infill ist auf den Plätzen sehr ungleichmäßig verteilt, dieser Effekt nahm mit dem Alter der Plätze zu. Die Relevanz des Performance-Infills für die spieltechnischen Eigenschaften wird möglicherweise überschätzt.
- Politik, Verbände, Hersteller: Die Innovationsbemühungen um infillfreie, nur mineralisch oder mit (unmodifizierten) natürlichen Materialien gefüllte Kunstrasensystemen sollten forciert werden. Die Systeme sollten in Demonstrationsvorhaben erprobt werden. Bei der Entwicklung neuer Infills sollten die spieltechnische Performance und das Verletzungsrisiko der Spieler auf den verschiedenen Systemen im Blick bleiben.
- ➤ Wissenschaft, Hersteller: Die in verschiedenen wissenschaftlichen Publikationen aufgestellte These der flächendeckenden Anreicherung von Infill auf den Plätzen als Folge von Kompaktierung widerspricht den experimentelle Ergebnissen dieser Studie. Sie sollte bei weiterer Verwendung von Performance-Infill in zukünftigen Kunstrasensystemen experimentell und in der Anwendung überprüft werden.

## WIE HOCH SIND DIE INFILLVERLUSTE?

• Auf den untersuchten Plätzen betragen die durchschnittlichen Verluste an Performance-Infill 2,98 Tonnen pro Jahr und liegen damit noch über den Nachfüllmengen (2,68 Tonnen pro Jahr). Die Verluste schwanken allerdings erheblich. Das 95 % Konfidenzintervall für Verluste aller Plätze gleicher Bauart liegt im Bereich von 1,29 bis 4,67 Tonnen pro Jahr.



- Eine Korrelation zum Alter der Plätze wurde nicht festgestellt. Eine niedrige Dichte des Infills scheint hingegen den Austrag zu begünstigen.
- Hersteller, Wissenschaft: Da Nachfüllung und Verlustmengen nicht korrelieren und die experimentell bestimmten Verlustraten deutlich höher sind, als viele in jüngerer Zeit publizierte Werte, sollten experimentelle Nachweise zu den Verlustraten in Abhängigkeit von Bauweise, Pflege und Wartung sowie Nutzungsart und -intensität durchgeführt und transparent gemacht werden.
- Planer, Betreiber, Verbände, Politik: Die Vorgaben zu den Verlustraten sollten in entsprechenden Ausschreibungen und den relevanten Normen festgeschrieben werden. Die Einhaltung lässt sich durch die im Rahmen dieser Studie entwickelte Methode überprüfen. Je nachdem wie anspruchsvoll diese Verlustraten festgelegt werden, begünstigt dies auch unverfüllte oder rein Sand verfüllte Plätze im Ausschreibungsverfahren.

### WAS IST ZUM FASERVERLUST BEKANNT?

- Aus der Perspektive des Umweltschutzes ist es notwendig, nicht nur das Performance-Infill, sondern auch die Faserverluste in den Blick zu nehmen. Die wenigen vorliegenden experimentellen Untersuchungen lassen hohe Verluste an Kunstrasenfasern vermuten.
- Der Austrag kann in Abhängigkeit von Fasereinsatzgewicht und Infilltyp variieren. Gleichzeitig steigt er vermutlich mit dem Alter des Platzes an. Bisherige Abschätzungen reichen von etwa 50 Kilogramm bis zu über 1 Tonne pro Jahr.
- In welchem Maße diese Verluste ausgetragen werden, im Rahmen von Pflegearbeiten als Abfall erfasst oder im Kunstrasen verbleiben, ist nicht untersucht. Es ist aber augenscheinlich, dass der Austrag über Spieler bei den Fasern eine besonders große Rolle spielt.
- Hersteller, Planer, Betreiber: Es sollten Angaben zu Dauerbeständigkeit des Kunstrasenteppichs in Form von quantitativen Faserverlusten über die Lebensdauer und pro Jahr (bspw. ermittelt im Lisport-Test) in Produktdatenblättern gemacht werden. Gleichzeitig sollten diese Anforderungen in Pflichtenhefte aufgenommen und entsprechende Garantien vereinbart werden.
- Politik: Die ECHA bzw. die nationalen Umweltbehörden sollten prüfen, ob in zukünftigen Beschränkungsverfahren auch der Abrieb von Kunststoffen in umweltoffenen Anwendungen, wie sie der Faserverlust in Kunstrasenplätzen darstellt, berücksichtigt werden kann.

### ÜBER WELCHE PFADE WIRD DAS INFILL AUSGETRAGEN UND WO BLEIBT ES?

- Gummigranulat wird aus Kunstrasenplätzen ausgetragen und findet sich nahezu überall in der Platzumgebung.
- Insbesondere Starkwind und Starkregen sorgen für die Ausbreitung der Emission über die Platzumgebung hinaus. Dies belegen Funde von Gummigranulat an unzugänglichen Punkten, teilweise sehr weit vom Platz entfernt. Eine weitere Ausbreitung geschieht häufig über den Wasserweg.
- Orte des Verbleibs für Infill sind häufig natürliche oder künstliche Barrieren, z. B. Grünflächen oder Bauwerke, die die weitere Mobilität des Infills verhindern. In der Umgebung können recht große Menge an Granulat akkumulieren, ohne dass dies in jedem Fall visuell erkennbar ist. Der endgültige Verbleib des Infills hängt von der Anlage des Platzes und des Platzumfelds und von den geographischen Gegebenheiten vor Ort ab.



- Politik, Verbände, Gremien, Planer, Hersteller, Betreiber: Das Platzumfeld ist durch Barrieren so zu gestalten, dass die Ausbreitung des Infills vermieden wird und nicht vermeidbare Verluste auf das Spielfeld rückverfrachtet oder der Entsorgung zugeführt werden. Entsprechende Vorgaben sollten in Normen, Standards und Gütezeichen einfließen. Dabei sollten sich die Vorgaben nicht auf die Ausführung, sondern auf die Performance in Bezug auf die Rückhaltung beziehen, um den Herstellern Freiräume für innovative und effektive Lösungen zu gehen
- Planer, Hersteller, Betreiber, Spieler: Um die Verschleppung von Granulaten und Fasern durch die Spieler zu vermeiden, sind geeignete technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen und die Verantwortung der Spieler zu adressieren.

### WIE IST DER WISSENSSTAND BEI WEITEREN UMWELTWIRKUNGEN?

- Kunstrasenplätze halten die Grenzwerte in Bezug auf verschiedene Schadstoffe weitgehend ein. Einige wenige Untersuchungen zeigen Grenzwertüberschreitungen für einzelne Schwermetalle. Nichtsdestweniger gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Materialoptionen und Diskussionen und Untersuchungen zu Schadstoffen halten an.
- Die kritische Betrachtung sollte neben den Performance-Infills auch die elastischen Schichten und die Kunstrasenfasern betreffen.
- Die mögliche Überhitzung von Kunstrasenplätzen und ihre Relevanz für das urbane Mikroklima sowie der Wasserbedarf, um diesen Effekten entgegenzuwirken, sollten im Rahmen der Vorausplanung Berücksichtigung finden.
- Planer, Betreiber: Da Kunstrasenplätze eine lange Lebensdauern erreichen und im Idealfall am Ende der Nutzungsphase rezykliert werden, sollten (vor dem Hintergrund sich zukünftig weiter verschärfender Grenzwerte) hohe Ansprüche an die Schadstofffreiheit der Materialien gestellt werden, die über aktuelle gesetzliche Vorgaben hinausgehen. Dies erfordert entsprechende Vorgaben in den Ausschreibungen. Diese sollten nicht nur Infills, sondern auch die Fasern und das Dämpfungssystem betreffen.
- Planer, Betreiber: Es sollte geprüft werden, ob für eine ausreichende Kühlung der Plätze im Sommer ausreichende Wassermengen zur Verfügung stehen. Dies sollte in die ökologische und ökonomische Bewertung einbezogen werden.

### WIE IST DER STAND BEIM RECYCLING?

- Die Kunstrasenbranche strebt eine möglichst vollständige werkstoffliche Verwertung des Kunstrasens und mittelfristig auch der elastischen Tragschicht an. Ein Closed-Loop-Ansatz für den gesamten Kunstrasen oder auch einzelner Komponenten – mit Ausnahme des Infill-Sandes – ist noch nicht erkennbar.
- Die werkstoffliche Verwertung wird zu h\u00f6heren End-of-Life-Kosten f\u00fchren und die Verwertung von ELT-Granulaten aus Kunstrasenpl\u00e4tzen k\u00f6nnte mit der direkten Verwertung von Altreifengranulaten konkurrieren.
- Planer, Betreiber: Bei der Planung sind ausreichend Rückstellungen für die Wiederherstellung bzw. Verwertung oder Beseitigung des Kunstrasens am End-of-Life einzuplanen.
- Hersteller, Betreiber: Der Rezyklatanteil und die Recyclingfähigkeit aller Komponenten sollte Bestandteil von Produktbeschreibungen und Leistungsverzeichnissen sein.



Politik: Es ist ein Rahmen erforderlich, um für ELT-Granulate die ökologisch und umweltökonomisch besten Verwertungswege zu begünstigen, um einen Entsorgungsengpass bei Altreifen zu vermeiden und gleichzeitig über Kaskadennutzungen der Platzkomponenten (bspw. Infill auf Reitplätzen) keine Problemverschiebung zu verursachen.

## WELCHEN CARBON FOOTPRINT BESITZEN KUNSTRASENPLÄTZE?

- Je nach Kunstrasentyp liegen die CO₂-Fußabdrücke zwischen 9,4 und 29,8 Kilogramm Kohlendioxidäguivalenten pro Nutzungsstunde.
- ⊙ Die Art der Füllmaterialien spielt dabei eine große Rolle. Kork hat als biogenes Material einen geringeren CO₂-Fußabdruck im Vergleich zu Füllmaterialien auf fossiler Basis. Die mit der Entsorgung verbundenen Treibhausgasemissionen sind bei Infilltypen wie SBR, EPDM oder TPE besonders relevant.
- Die Verwendung eines geschäumten Polyethylens ohne oder mit Drainasphalt anstatt einer ET führt zu deutlich geringeren Emissionen sowohl in der Produktionsphase als auch in der Entsorgung.
- Ein hochwertiges Recycling der Komponenten und eine längere Nutzungsdauer von Füllmaterial und des Dämpfungssystems kann den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutlich senken.
- Planer, Betreiber, Hersteller, Politik: Zulässige Carbon Footprints über den Lebenszyklus oder zumindest die Herstellungsphase sollten in Ausschreibungen und Leistungsverzeichnissen festgeschrieben werden. Ihre Berechnung sollte im Rahmen von Umwelterklärungen (Typ III, EPD) für Kunstrasensysteme erfolgen. Die zulässigen Werte sollten auf unter 10 Kilogramm Kohlendioxidäquivalenten pro Quadratmeter gesenkt werden.

### WIE WERDEN UMWELTASPEKTE IN NORMEN UND STANDARDS BERÜCKSICHTIGT?

- Die Normen, Standards und Gütezeichen gehen in ihren Umweltanforderungen kaum über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus. Mikroplastikemissionen in Form von Fasern und Granulaten werden nur am Rande und ohne Zielvorgaben adressiert.
- In der deutschen Norm und im FIFA-Quality-Programm werden Ausführungsformen festgelegt, die zum Beispiel vorgefertigte Shockpads ohne Asphaltschicht und unverfüllte Plätze de facto vom Wettbewerb (auch um die ökologisch beste Lösung) ausschließen, obwohl diese Konzepte Vorteile aufweisen können.
- Vor dem Hintergrund, dass sich Umweltregulierungen im Laufe der Zeit und mit zunehmendem Erkenntnisgewinn häufig verschärfen, haben die für Kunstrasenplätze relevanten Normen bisher weder für Hersteller noch Betreiber ausreichende Planungssicherheit geschaffen.
- Verbände: Gütezeichen für Kunstrasenplätze müssen anspruchsvolle Umweltziele enthalten, die über die gesetzlichen Regelungen hinausgehen. Nur so wird für Hersteller und Betreiber, die auf diese Gütezeichen setzen, sichergestellt, dass Kunstrasenplätze die Erwartungen in Bezug auf Umweltverträglichkeit langfristig erfüllen. Neben den heutigen Zeichen wäre ein Umweltzeichen (bspw. Blauer Engel) oder eine Bewertung nach einem Nachhaltigkeitsstandard für Gebäude (bspw. DGNB) zukünftig wünschenswert, um eine besonders hohe ökologische Qualität ausweisen zu können.
- Politik, Verbände: Um umwelttechnologische Lock-Ins zu vermeiden und den Wettbewerb der Unternehmen nicht zu gefährden, sollte darauf geachtet werden, dass in Normen, Standards und Gütezeichen keine Ausführungsformen, sondern anspruchsvolle und messbare Umweltziele definiert werden.



### WIE HOCH IST DER BEDARF AN KUNSTRASENPLÄTZEN?

- Tennenplätze (= Hartplatz, Aschenplatz) werden von Vereinen und Spielern als nicht mehr zeitgemäß angesehen und werden daher seit geraumer Zeit in Natur- oder Kunstrasenplätze umgewandelt.
- Kunstrasenflächen ermöglichen daher insbesondere in stark verdichteten Städten und/oder Städten mit hohen Bodenpreisen ein ganzjährliches sportliches Bewegungsangebot für Teamsportarten.
- Verbände, Politik, Betreiber, Nutzer: Neben dem Nutzen von Kunstrasenplätzen muss den Betreibern und Nutzern auch die Verantwortung für die ökologischen und sozialen Wirkungen, die damit einhergehen, bewusst gemacht werden.
- Politik, Betreiber: Versiegelte Flächen (inkl. ehemaliger Tennenplätze) im urbanen Raum bieten sich im Rahmen einer Umnutzung für Kunstrasenplätze an. Die Realisierung auf solchen Flächen sollte bevorzugt werden, um den Bedarf zu decken.
- Betreiber: Der lokale Bedarf unter Berücksichtigung der Verlagerung zu neuen Trendsportarten – sollte detailliert ermittelt werden.

## **WAS SAGEN DIE NUTZER?**

- Sowohl aktive als auch ehemalige Fußballspieler und -spielerinnen sind in der Debatte um Relevanz und Umweltwirkungen von Kunstrasenplätzen engagiert. Kunstrasen spielt in der Lebenswirklichkeit vieler Menschen eine zentrale Rolle und ermöglicht es Sport ganzjährig draußen zu betreiben.
- Gummigranulate sind noch der bevorzugte Infilltyp, doch die Nutzer sehen in Kork und unverfüllten Plätzen durchaus eine Alternative. Grundsätzlich erwartet die Mehrzahl der Befragten, dass Kunstrasenplätze umweltfreundlicher werden.
- ▶ Betreiber, Nutzer, Politik, Verbände: Fußball und Fußballplätze sind für viele, aber vor allem junge Menschen ein wichtiger bis sehr wichtiger Aspekt ihrer Lebenswirklichkeit. Dies und auch der von den Nutzern geäußerte Wunsch nach umweltfreundlicheren Plätzen bietet ein ideales Spielfeld für moderne Beteiligungsprozesse auf kommunaler Ebene. Das sportliche Interesse kann als Katalysator dienen, um partizipative Demokratie und die Übernahme gesellschaftlicher Verantwortung für ökologisch sinnvolle Lösungen zu erproben und als kommunale Praxis zu etablieren.



## 2 Hintergrund und Gegenstand der Multi-Client-Studie

Durch die Emission von Kunststoffasern bei allen Kunstrasenplatz-Varianten als auch die von Kunststoffgranulaten bei verfüllten Kunstrasenplätzen (KRP), sind sie im Kontext der Mikroplastikdebatte in den Fokus von Gesellschaft, Politik und Medien geraten. Nach Schätzungen und Berechnungen von Fraunhofer UMSICHT betragen die von verfüllten Kunstrasenplätzen freigesetzten Mikroplastik-Mengen allein für Deutschland mehrere Tausend Tonnen jährlich. Diese Werte basieren bislang im Wesentlichen auf frei verfügbare Daten und einer im Jahr 2018 veröffentlichen Studie zur Bewertung der Gesamtsituation bei Kunststoffemissionen.<sup>2</sup> Die bisherigen Schätzungen waren aber aufgrund der vagen Datenlage unsicher. Es wurde beispielsweise von den Herstellerfirmen entgegen gehalten, dass die in Deutschland und Schweiz dominierenden Kunstrasenbauweisen gemäß DIN 18035-7 geringere Infillmengen erfordern und daher deutlich geringere Emissionen verursachen als die in anderen Ländern etablierten Bauformen.<sup>3</sup> Bisher stützen sich diese Aussagen aber ausschließlich auf qualitative Argumente. Gleichzeitig zeigten exemplarische Begehungen von Plätzen, dass die Emissionen je nach Platzzustand, Bauweise und örtlichen Randbedingungen erheblich variieren können. Darüber hinaus stellen Mikroplastikemissionen nur eine mögliche Umweltwirkung von Kunstrasenplätzen dar.

Für eine umfassende Bewertung ist es daher dringend geboten, die Datenlage zu verbessern und weitere Aspekte, auch außerhalb der Mikroplastikproblematik, einzubeziehen. Wir wollen dazu gemeinsam mit den beauftragenden Partnern durch diese Multi-Client-Studie einen Beitrag leisten. Ziel der Studie ist es, eine möglichst objektive Bewertungsgrundlage für die verschiedenen Optionen für Kunstrasen im Sportplatzbau zu schaffen und Empfehlungen für eine umweltgerechte, ökonomische und sozial verantwortliche Vorgehensweise zu geben.

#### 2.1 Hinweise zu Methode und Datenunsicherheiten

Der vorliegende Bericht basiert auf einer methodisch heterogenen Herangehensweise. Zu einigen Aspekten wurden Datenerhebungen und Befragungen der Platzbetreiber durchgeführt, für andere wissenschaftliche Literatur, Produktinformationen, Regularien, Normen und Positionspapiere ausgewertet oder Satellitendaten genutzt und Ökobilanzen (Carbon Footprint) erstellt. Nicht zuletzt wurden auch empirische Untersuchungen zum Granulatverlust durchgeführt.

Diese methodische Vielfalt war erforderlich, um dem Ziel einen möglichst umfassenden Überblick über das komplexe System Kunstrasen zu erlangen, gerecht zu werden. Weitere empirische Analysen waren mit dem begrenzten Projektbudget nicht darstellbar. Notwendigerweise weist daher die Darstellung verschiedener Systemaspekte nicht immer die gleiche Bearbeitungstiefe und den gleichen Detaillierungsgrad auf.

Auch die Bewertungen in diesem Bericht haben durchaus subjektive Anteile, da es darum geht viele verschiedene Aspekte gegeneinander abzuwägen, was grundsätzlich ein normativer Prozess ist. Letztlich ist es die Aufgabe der Politik Nutzen und Risiken des Systems Kunstrasen nach einer

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Bertling et al. 2018a; Bertling et al. 2018c.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> https://www.ral-ggk.eu/de/news/49-news/220-microplastik-in-kunstrasen.html; letzter Zugriff: 23.06.2021.



gesellschaftlich akzeptierten Gewichtung gegeneinander abzuwägen und darauf aufbauend Entscheidungen zu treffen. Der vorliegende Bericht liefert für diese Entscheidungsprozesse neben Ergebnissen, die von anderen Akteuren erzielt wurden, neue Daten, Argumente und Sichtweisen.

#### 2.2 Welche Plätze wurden untersucht?

Insgesamt wurden in der vorliegenden Studie 19 Kunstrasenplätze (KRP) untersucht. Davon waren

- 15 mit einem Performance-Infill (davon 1x Kork) und Sand verfüllt
- 2 nur mit Sand verfüllt und
- 2 unverfüllt (davon 1 Hockeyspielfeld)

Von den untersuchten Plätzen befanden sich

- 13 in der Schweiz und
- 6 in Deutschland

In Tabelle 1 sind die Rahmendaten wie Baujahr, Hersteller/Typenbezeichnung, der erreichte FIFA-Qualitätsstandard des Platzes, Polhöhe, Fasergewicht, verwendeter Infilltyp sowie Spielstunden der verschiedenen Kunstrasenplätze zusammengestellt.<sup>4</sup> Insgesamt wurden auf 17 KRP Proben genommen, 15 wurden hinsichtlich des Infills ausgewertet.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Plätze (Angaben der Platzbetreiber)

Nr.	Bau- jahr	Qualitäts- standard	Hersteller/Typ	Pol- höhe [mm]	Faserge- wicht [g/m²]	Infill	Spielstunden [h/Jahr]
Α	2013		Fieldturf Tarkett SAS	45	k. A.	EPDM	1.600
В	2012		Domo Sports Grass	42	k. A.	TPE	1080
C	2014		Fieldturf 360 42-20	42	k. A.	SBR+PU	1920
D	2016		Fieldturf 360 XL 42-17	42	k. A.	TPE	2420
Е	2009		Polytan LigaTurf 240 RS+ 22/4	40	k. A.	SBR+PU	2420
F	2013		Limonta Qualifloor Soccerpro MaX S 40	42	k. A.	TPE	1920
G	2018		Fieldturf 360 XL 42-14	42	1338	EPDM	2150
Н	2013	FIFA Q Pro	Greenfields REAL FT 40 Slide pro xt	40	1010	EPDM	1584
I	2013	FIFA Q Pro	Polytan Liga Turf 240 RS+ 22/4	40	1365	EPDM	1580
J	2018	FIFA Q Pro	Fieldturf Core 42/17 FG/OG	42	1550	EPDM	2000
K	2009		Greenfields REAL FT 46 V -Slide	k. A.	k. A.	SBR+PU	2500
L	2018		Limonta Sport	40	k. A.	EPDM	1800
М	2013		Polytan	40	k. A.	EPDM	2000
N	2011		JUTA	40	k. A.	EPDM	2000
0	2019		Polytan Liga Turf RS+ CoolPlus	40	1000	Kork	2000
Р	2020		Fieldturf Purefield MF 30-17	30	2690	nur Sand	1750
Q	2013		Greeenfields REAL FT V-Slide nf	32	2970	unverfüllt	1584
R	k.A.		Polytan N.N.	30	k.A.	nur Sand	1500
S	k.A.		Polytan N.N. (Hockey)	12	k.A.	unverfüllt	1400

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Zu verschiedenen Fachbegriffen Glossar (→ Kap. 20).

-



## 3 Wie sind Kunstrasensysteme aufgebaut?

»Ein Kunstrasensystem ist in Schichten aufgebaut, die in komplexer Wechselwirkung stehen. Die Ausführung des dämpfenden Unterbaus als kombinierte Elastik-/Asphaltschicht sowie als Elastische Tragschicht unterscheidet die untersuchten Kunstrasenplätze in der Schweiz und in Deutschland.

Tätigkeiten wie Aufbürsten, Abziehen, Reinigen und Wässern geschehen überwiegend in Eigenleistung und hauptberuflich. Das Nachfüllen von Infill (Gummigranulat und Sand) gehört ebenfalls zur Pflege.

Die Lebensdauer eines Kunstrasenplatzes wird durch den Kunstrasenteppich bestimmt und liegt bei ca. 12 bis 15 Jahren. Die untersuchten Kunstrasenplätze in Deutschland und der Schweiz werden im Durchschnitt 1.882 Stunden pro Jahr genutzt.«

#### 3.1 Grundsätzlicher Aufbau

Ein Kunstrasensystem besteht in vielen Fällen aus einem dämpfenden Unterbau sowie dem eigentlichen Kunstrasen inklusive Infill. Diese werden auf einer wasserdurchlässigen, tragfähigen Asphalt- oder Schotterschicht (Tragschicht, Feinplanum) installiert. Während früher häufig auf die Dämpfung durch den Unterbau verzichtet und stattdessen Kunstrasen mit längeren Fasern verwendet wurde, ist sie heute in Deutschland und der Schweiz weitgehend Standard. Als Dämpfungsschicht haben sich drei verschiedene Varianten etabliert:

- A) Elastische Tragschicht (ET)
- B) Drainasphaltschicht mit aufliegender Elastikschicht (EL)
- C) Elastikschicht direkt auf einer Nivellierschicht

In Deutschland ist bislang vor allem Variante A etabliert, was die Begehungen der deutschen Plätze im Rahmen der Studie bestätigt haben. Die ET besteht dabei in der Regel aus ELT-Granulat<sup>5</sup> (hergestellt aus Altreifen), einem Bindemittel (zumeist PUR) sowie mineralischen Zuschlagsstoffen. Die ET wird im Ortseinbau realisiert. Sie stellt ein massives Bauelement dar, das in der Regel die Lebensdauer des Kunstrasens überdauert. Rückbau bzw. Entfernung der ET am Ende der Lebensdauer erfolgt mit schwerem Gerät. Der Ortseinbau stellt höchste Ansprüche an die Tragschicht (Feinplanum), damit konstante Dicke und gleichförmige Dämpfungseigenschaften für den ganzen Platz sichergestellt sind.

Variante B dominiert bei den besichtigten Schweizer Plätzen. Sie ist aufgrund der zusätzlichen Asphaltschicht die teuerste Variante. Hier wird die EL, die wie die ET aus ELT-Granulat plus Polyurethanbinder, jedoch ohne mineralische Zuschläge, besteht, im Ortseinbau erstellt. *Shockpad* ist der englische Begriff für die Elastikschicht, der auch

\_

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> ELT = End-of-Life-Tyres = Altreifen.



im deutschen Sprachgebrauch verwendet wird. Die unterliegende Asphaltschicht erlaubt für die EL im Vergleich zur ET eine besonders gute Einstellung der Schichtdicke. Eine Alternative zu ELT-/PUR-Elastikschichten sind solche aus geschäumtem Polyethylen oder geschäumtem Polyurethan. Geschäumtes Polyurethan wird vor allem bei beheizten Plätzen verwendet (vorwiegend in Skandinavien üblich). Polyethylenschäume, die im Gegensatz zu den ELT-Lösungen nicht offenporig sind, besitzen in der Regel eine makroskopische Struktur (Löcher, Rillen), wodurch der Abfluss des Niederschlagswassers sichergestellt wird. Die geschäumten Elastikschichten werden grundsätzlich vorgefertigt. Es gibt sowohl Anwendungen, in denen sie auf einer Drainasphaltschicht platziert werden, als auch solche, in denen sie direkt auf dem Feinplanum aufgebracht werden (Variante C). Letztere gilt als besonders kostengünstige und leicht rückbaubare Bauweise für Kunstrasenplätze.

Die Bauweisen A und B werden in der DIN 18035-7 beschrieben (Abb. 1). Dass die Bauweise C, obwohl sie bspw. im DFB-Handbuch für den Sportplatzbau enthalten ist, keinen Eingang in die deutsche Norm gefunden hat, wird insbesondere von internationalen Wettbewerbern als Eingriff in den freien Markt kritisiert. Derzeit wird allerdings an einer europäischen Norm gearbeitet, die dieses Defizit beseitigen könnte.<sup>6</sup>

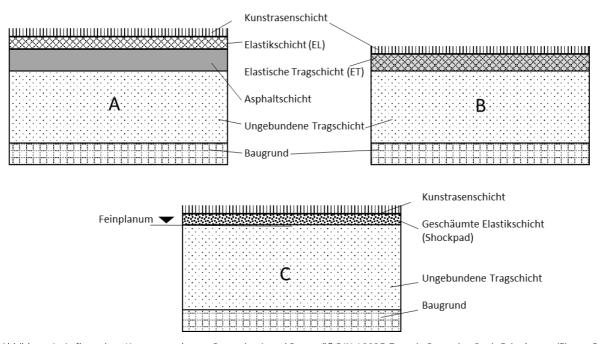


Abbildung 1: Aufbau eines Kunstrasenplatzes, Bauweise A und B, gemäß DIN 18035-7 sowie Bauweise C mit Feinplanum (Eigene Darstellung)

Die Kunstrasenfasern aus dem Kunstrasenteppich bestehen aus Polyethylen- oder Polypropylenfasern, die in einen Teppichrücken aus Polypropylen-Bändchengewebe oder in ein Gitter aus Polypropylen oder Polyamid eingebettet sind. Für die Fixierung der Fasern im Gewebe oder Gitter wird zumeist eine Polymerdispersion (Latex) auf Basis von Styrolbutadien-Elastomeren verwendet. Die Kunstrasenteppiche unterscheiden sich nach dem sogenannten Polgewicht oder Fasergewicht – der Garnmasse des Teppichrückens. Es variiert zwischen 1000 und ca. 3000 Gramm pro Quadratmeter.

-

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> EN 15330-4:2020-08 - Entwurf



Der Kunstrasenteppich wird in Bahnen appliziert, die miteinander verklebt werden. Für die statische Fixierung des Kunstrasens, z. B. gegenüber Windlasten, wird zumeist Sand als stabililsierendes Füllmaterial (Infill) auf den Teppich gegeben (ca. 20 Kilogramm pro Quadratmeter). Zusätzlich zu Quarzsand werden auch rundkörnige Marmorsande<sup>7</sup> oder geruchsmindernde Zeolithe<sup>8</sup> angeboten.

Neben Sand wird bei der Großzahl der Plätze ein zweites Infill hinzugegeben, das die spieltechnischen und sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Platzes bestimmt. Es wird als Performance-Infill bezeichnet. Das Performance-Infill ist in der Regel ein Elastomer, ein thermoplastisches Elastomer oder ein Naturstoff. Die gebräuchlichsten Materialien in der Schweiz und Deutschland sind ELT-Granulate mit oder ohne Polyurethanbeschichtung, EPDM, TPE und Kork. In Deutschland und der Schweiz sind Granulate aus Altreifen allerdings laut Herstelleraussagen eher in der Minderheit und nicht in großen Mengen zu finden. EPDM- und TPE-Granulate sind häufig gefüllt mit Talkum. Auch faserverstärkte Varianten des Infills (zumeist mit Hanf oder Flachs) sind etabliert. ELT-Granulate, die aus Altreifen hergestellt werden, besitzen die typischen Zusammensetzung von Reifengummi (u. a. Naturkautschuk, Synthesekautschuk, Ruß, Silica, Weichmacheröle sowie ggf. Textilreste). Die Granulate sind schwarz, braun oder grün.

Darüber hinaus gibt es auch unverfüllte Plätze, die auf Performance-Infill verzichten. In diesem Fall sind deutlich höhere Fasergewichte um drei Kilogramm pro Quadratmeter notwendig, um einen dichten und tragfähigen Spielbelag zu erhalten. Soll darüber hinaus auch noch auf den stabilisierenden Sand verzichtet werden, so sind Metallprofilschienen an den Rändern erforderlich, um den Kunstrasen gegen Abheben bei Wind zu sichern.

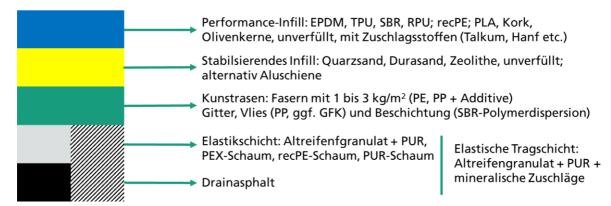


Abbildung 2: Schematische Darstellung des schichtweisen Aufbaus von Kunstrasenplätzen

### 3.2 Wartung und Pflege

Die Befragung von Platzbetreibern in der Schweiz und Deutschland ergab, dass eine intensive Nutzung von Kunstrasenplätzen deren regelmäßige Wartung und Pflege erforderlich macht. Neben der mechanischen Beanspruchung durch die Platznutzung strapazieren auch Niederschläge, Starkwind, Sonneneinstrahlung, der Eintrag von Störstoffen wie Laub, Abfälle oder Verkehrsstaub und weitere Umwelteinflüsse den Kunstrasenplatz. Ziel der Pflege eines Kunstrasenplatzes ist,

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> https://sperl.riedau.info/naturKunstrasenNb20200714TbA4.pdf; letzter Zugriff: 8.07.2021.

<sup>8</sup> https://www.rymargrass.ca/zeolite; letzter Zugriff: 08.07.2021.



gleichmäßige Platz- und Spieleigenschaften sicherzustellen und den Kunstrasenplatz möglichst lange in einem guten Zustand zu erhalten. Pflege und Wartung eines Kunstrasenplatzes werden durch Kommunen oder Vereine als Platzbetreiber organisiert und erfolgen mehrheitlich durch fest angestellte oder im Ehrenamt arbeitende Platzwarte in Eigenleistung. Seltener gibt es Wartungsverträge mit externen Dienstleistern. Auftragnehmer sind in diesem Fall Platzbauer bzw. Kunstrasenlieferanten sowie spezialisierte Reinigungsdienstleister, welche die Pflege häufig maschinell ausführen. Für die Pflege wurden von den Platzbetreibern in der Schweiz und in Deutschland Jahreskosten von ca. 10 000 Euro genannt. Das Nachfüllen von Infill verursacht stark schwankende Kosten und ist separat zu betrachten (vgl. Kap. 5).

Zur Wartung und Pflege von verfüllten und unverfüllten<sup>9</sup> Kunstrasenplätzen zählen insbesondere die in Tabelle 2 aufgeführten Tätigkeiten, die mit Daten zu Umfang und Häufigkeit aus der Befragung ergänzt wurden. Anzumerken ist, dass die betrachteten Kunstrasenplätze mehrheitlich Infillverfüllte Plätze waren.

Tabelle 2: Wartung und Pflege von Kunstrasenplätzen – Auswertung der Befragung

Tätigkeit	Quantifizierungen und Zyklen				
Verfüllte und unverfüllte Kunstrasenplätze					
Regelmäßiges Aufbürsten zur Wieder- aufrichtung der Kunstrasenhalme	Zwischen 1x pro Woche und 1x pro Monat.				
Platzreinigung von Laub, Schmutz und Abfällen	Wird zum Teil durch das Aufbürsten/Abziehen mitgeleistet. Erfolgt in der Regel nach Bedarf. Gelegentlicher Einsatz von Laubbläsern.				
Platzbewässerung	Zur Platzkühlung und Verschleißreduktion. Mehrheitlich bei Hitze, teilweise auch vor jedem Spiel. An heißen Tagen vor jeder Platzbenutzung, z. B. vor dem Training. Der Wasserbedarf beträgt für unverfüllte KRP ca. 6-8 l/qm und für verfüllte ca. 3 l/qm. 10				
Schneeräumung	Zwischen 2x und 50x pro Jahr, abhängig von der Witterung. In der Schweiz deutlich häufiger genannt als in Deutschland.				
Oberflächenreinigung	In der Regel als Eigenleistung bei Bedarf. Durchführung mit Besen/Bürsten, Kehrmaschinen, Saugern.				
Tiefenreinigung	In der Regel mit Maschinen (Aufsitzer) als Fremdleistung, zwischen 1-3x pro Jahr.				
Durchführung kleinerer Reparaturen (Löcher, Risse)	Bei Bedarf. Ist in der Praxis laut Auskunft eher selten erforderlich.				
Nur verfüllte Kunstrasenplätze					
Nachfüllen von Granulat und Sand	Die genannten Nachfüllmengen beim Gummigranulat lagen zwischen 0,5 und 10 Tonnen pro Jahr. Die Nachfüllung erfolgte dabei azyklisch und nach Bedarf. Lediglich eine Angabe zur Nachfüllung von Sand (ca. 250 Kilogramm pro Jahr).				
Abziehen des Platzes, um das Granulat wieder gleichmäßig zu verteilen	Ergibt sich aus dem Aufbürsten des Platzes. Zwischen 1x pro Woche und 1x pro Monat.				

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> »Unverfüllt« meint im Studienkontext KRP der 4. Generation ohne Sand und Gummigranulat, die durch einen dichteren Fasermix (gerade, gekräuselt, texturiert) ohne stabilisierendes Infill auskommen.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> https://www.polytan.de/blog/sportplatzbau/kunstrasen-sportplatzbau-richtig-planen/; letzter Zugriff 16.04.2021.



Nicht explizit genannt, aber nach Expertenaussagen eine wichtige Pflegearbeit bei verfüllten Kunstrasenplätzen, um der Platzverdichtung entgegen zu wirken, ist die regelmäßige *Auflockerung der Verfüllung*. Hierfür werden maschinell Stahlzinkenleisten über den KRP gezogen, was oft in Kombination mit dem Aufbürsten geschieht. Bei der Befragung der Verantwortlichen für die Platzpflege wurde der Pflegeaufwand eines Kunstrasenplatzes mit »niedrig« bis »gleichwertig im Vergleich zum Naturrasenplatz« angegeben. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass viele Tätigkeiten bei Kunstrasenplätzen maschinell und oft als Fremdleistung ausgeführt werden. Generell bieten die Platzbauer und Platzlieferanten Auffüllung, Reinigung, Pflege und Reparatur des Kunstrasenplatzes als Serviceleistung an. Zum Service zählen auch Schulungen und Seminare für Platzwarte.

Beim Naturrasen geben Garten- und Landschaftsbauer als erforderliche Grundpflege drei Tätigkeiten an: Mähen, Düngen und Bewässern. Hinzu kommen wiederkehrende Tätigkeiten wie Unkrautbekämpfung, Vertikutieren, Abschleppen, Lockern, Nachsäen und Striegeln. Um die theoretisch maximale Auslastung eines Naturrasenplatzes von 800 h pro Jahr auf Dauer zu gewährleisten, kommen häufig noch weitere Arbeitsgänge hinzu, z. B. Aerifizieren, Lochen, Sanden oder das Nachsäen.<sup>12</sup>

## 3.3 Nutzungs- und Lebensdauer

Kunstrasenplätze werden in Deutschland und der Schweiz überwiegend zur Ausübung von Fußball genutzt. Weitere auf Kunstrasenplätzen betriebene Sportarten sind Hockey, Tennis, American Football oder Rugby. Die Kunstrasenplätze werden auch für den Schulsport verwendet und sind in einigen Kommunen in freien Zeiten für die breite Öffentlichkeit zugänglich.

Die jährlichen Spielstunden auf einem Naturrasenplatz für Fußball beträgt rund 800 Stunden im Jahr. Diese über das Jahr betrachtet relativ geringe Stundenzahl resultiert aus der Wetterabhängigkeit des Spielbetriebs. Naturrasen kann bei Schnee, Frost und Starkregen nicht oder nur eingeschränkt genutzt werden, da der Platzzustand eine Bespielbarkeit nicht ermöglicht oder der Platz geschädigt würde. Kunstrasenplätze werden im Gegensatz zu Naturrasenplätzen ganzjährig und weitgehend wetterunabhängig genutzt. Die Betreiber der untersuchten Kunstrasenplätze bestätigen eine fast ganzjährige Nutzung und damit höhere jährliche Spielstundenzahl. Bei den Befragungen im Rahmen der Studie wurden von den Platzbetreibern zwischen 1080 bis 2500 Spielstunden pro Jahr genannt (Abbildung 3). Der Mittelwert von 1882 Stunden liegt damit nahe an dem Wert von 1800 Stunden pro Jahr, der in der Literatur häufig genannt wird. Ein Kunstrasenplatz kann damit um den Faktor 2 bis 3 häufiger bespielt werden als ein Naturrasenplatz. Dennoch scheint die Nutzungsintensität sehr unterschiedlich. Ob dies am unterschiedlichen Bedarf oder an Beschränkungen, die durch die jeweiligen Plätze vorgegeben werden, liegt, konnte nicht aufgeschlüsselt werden.

<sup>11 &</sup>lt;a href="https://kalinke.de/produkte/kunstrasen/verti-groom/; letzter Zugriff">https://kalinke.de/produkte/kunstrasen/verti-groom/; letzter Zugriff</a> 11.03.2021.

<sup>12</sup> Informationen zur Pflege von NRP finden sich auch auf Seiten der FLL und DRG: <a href="https://www.fll.de/">https://www.fll.de/</a> und <a href="https://www.rasengesell-schaft.de/">https://www.fll.de/</a> und <a href="https://www.rasengesell-schaft.de/">https://www.rasengesell-schaft.de/</a>; letzter Zugriff 26.04.2021.

<sup>13 &</sup>lt;u>https://www.sportstaettenkonzepte.de/wissen/details/kunstrasen-vs-naturrasen;</u> letzter Zugriff: 8.07.2021.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> http://www.hergiswil.ch/dl.php/de/5e74dddbe8f35/Sportplatz Grossmatt Prasentation Fussballplatz 02.03.2020.pdf; letzter Zugriff 15.04.2021.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> https://www.ifv-varel.com/startseite/zukunft/; letzter Zugriff 15.04.2021.



Die gesamte Lebensdauer von Kunstrasenplätzen ist stark von der Fertigungsqualität der Komponenten, der Bauqualität, Witterungseinflüssen, der Nutzungsfrequenz und nicht zuletzt von der Platzpflege abhängig. Ausschlaggebend für die Lebensdauer eines Kunstrasenplatzes ist zumeist die Lebensdauer des eigentlichen Kunstrasensteppichs. Der Kunstrasenteppich ist durch den Spielbetrieb unmittelbar hoher mechanischer Beanspruchung und vielfältigen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Die Lebensdauer der unter der Kunstrasenfläche liegenden Elastikschicht wird von den Herstellern auf über 30 Jahre beziffert. Der DFB gibt sogar eine Lebensdauer von bis zu 40 Jahren an. Die Elastikschicht bzw. elastische Tragschicht überdauert daher in der Regel den eigentlichen Kunstrasen. Von Herstellern und in der Literatur werden für Kunstrasen stark schwankende Lebensdauern angegeben. <sup>16,17,18,19</sup> Im Mittel beträgt die Lebensdauer eines Kunstrasenteppichs 12 bis 15 Jahre.

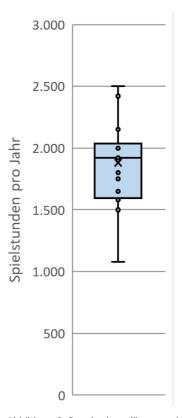


Abbildung 3: Boxplotdarstelllung zu den Spielstunden pro Jahr (n = 17)

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Private Greens & FiberGrass International GmbH 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Rasenprojekt.de 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Melos GmbH 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> https://www.aargauerzeitung.ch/panorama/vermischtes/wenn-der-kunstrasen-zur-kostenfalle-wird-ld.1992424ff; letzter Zugriff: 8.07.2021.



## 4 Wie sind Kunstrasenplätze baulich integriert?

»Ein Kunstrasenplatz ist umgeben von befestigten/unbefestigten, natürlichen/künstlich angelegten Flächen.

Ortsauswahl, Platzumfeld und Platzanlage des KRP hängen von den örtlichen Gegebenheiten, rechtlichen Vorschriften und von den Wünschen der Betreiber ab.

Ein Kunstrasenplatz ist wasserdurchlässig und leitet Niederschlagswasser ab. Unterschieden wird zwischen *Versickerung* (vertikale Entwässerung), Fassung und Ableitung (horizontale Entwässerung) und (unterstützender) Dränung.

Der größte Teil des Wassers versickert auf oder neben dem Kunstrasenplatz. Der Rest wird gefasst und abgeleitet. Die Ableitung erfolgt primär mittels Regenwasserkanal, seltener direkt in die Vorflut, noch seltener über den Abwasserweg in die Kläranlage.«

## 4.1 Gestaltung des Platzumfeldes

Ein Kunstrasenplatz ist ein Bauwerk, das in die Infrastruktur einer Siedlung eingebettet wird. Die Standortwahl sowie die Gestaltung von Platzumfeld und Platzanlage resultieren aus den Möglichkeiten der Kommune (innerorts, außerorts), Rechtsvorschriften (z. B. Natur- oder Wasserschutzgebiete) und Wünschen der Betreiber. Ebenso wie ein Naturrasenplatz ist auch ein Kunstrasenplatz von befestigten und unbefestigten Flächen umgeben: Wege, Pflasterungen, Tribünen, Grünstreifen, Böschungen oder Gräben.

Die Platzbegehungen in Deutschland und der Schweiz ergaben ein heterogenes Bild von der Anlage eines Kunstrasenplatzes. Den Prototyp eines Kunstrasenplatzes bzw. einer Kunstrasenplatzanlage gibt es nicht. Durch natürliche Flächen wie Erdwälle, Rasen, Bäume, Sträucher und Beete war das Platzumfeld in der Schweiz und in Deutschland jeweils individuell angelegt. Ausnahmslos alle Plätze waren durch eine Umzäunung umfriedet und so nach außen hin abgegrenzt. Einige Plätze lagen erhöht. In Deutschland waren nahezu alle besichtigten Plätze mit einer Pflasterung direkt neben der Rasenfläche versehen, die unterschiedlich breit ausgeführt war (Abbildung 4 I.). In der Schweiz waren einige Plätze außer mit Pflasterungen auch mit Betonplatten oder Asphalt umgeben. Zwischen Kunstrasenfläche und Pflasterung waren überwiegend Randsteine und Rinnen verbaut. In der Schweiz verfügten einige Plätze über Stellsteine sowie über Ballfänge in Form von Barrieren oder Zäunen. Bei manchen Plätzen befanden sich Tribünen am Platzrand. Kunstrasenplätze mit umgebender Laufbahn waren nicht unter den untersuchten Plätzen. Ein besichtigter Kunstrasenplatz in der Schweiz verfügte über eine umlaufende Bande aus Zinkblech, die das Infill auf dem Platz halten soll (Abbildung 4 r.).





Abbildung 4: Pflasterung um einen Kunstrasenplatz (l.), umlaufendes Blech zum Rückhalt von Infill (r.)

## 4.2 Entwässerung von Kunstrasenplätzen

Die Platzentwässerung erfolgt vertikal durch Versickerung und horizontal durch Ableitung und Versickerung neben dem Platz, sofern sich dort wasserdurchlässige Flächen befinden. Die horizontale Entwässerung unterstützt insbesondere bei Starkregen die Wasserableitung, in dem sie überschüssiges Wasser ableitet. Die Art der Wasserableitung von Kunstrasenplätzen hängt primär davon ab, ob das Wasser auf oder neben den Platz trifft. Das auf den Platz treffende Niederschlagswasser versickert durch den Platz in Richtung Drainage und Grundwasser. Das neben dem Platz auftreffende Wasser wird durch entsprechende Entwässerungselemente wie Rinnen oder Schächte erfass, kanalisiert und über Schmutz- oder Regenwasserkanäle abgeleitet. Abbildung 5 zeigt die Wege des Wassers und die Möglichkeiten der Entwässerung bei Kunstrasenplätzen.

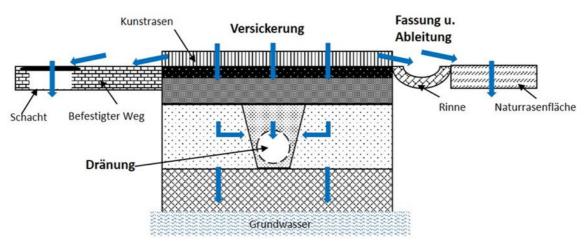


Abbildung 5: Möglichkeiten der Entwässerung bei Kunstrasenplätzen

Für die vertikale Entwässerung muss ein Kunstrasenplatz wie ein Naturrasenplatz in der Lage sein, Niederschlagswasser aufzunehmen und abzuleiten. Hierfür ist eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit erforderlich. Es gibt in der Schweiz und in Deutschland Orientierungswerte für die Wasserdurchlässigkeit eines Kunstrasenplatzes. Nach dem Regelwerk DIN 18035-7 muss, je nach Schicht eines Kunstrasenplatzes, eine Niederschlagsmenge von 720 Millimeter pro Stunde (ungebundene



Tragschicht) bis 72 Millimeter pro Stunde (Erdplanum) durch den Platz versickern können.<sup>20</sup> Dabei muss die Durchlässigkeit von der obersten Schicht bis zur letzten Schicht vor dem Erdplanum steigen. Sowohl für die asphaltierte Tragschicht als auch für die elastische Tragschicht und die Elastikschicht ist nach DIN 18035-7 eine Wasserdurchlässigkeit (Wasserinfiltrationsrate) von 360 Millimetern pro Stunde vorgeschrieben. EN 15330-1 und FIFA QUALITY schreiben für den Kunstrasen eine Wasserdurchlässigkeit von mindestens 180 Millimeter pro Stunde vor. Damit werden hinsichtlich der Durchlässigkeit höhere Ansprüche an Kunstrasen gestellt als an Naturrasen (vgl. Tabelle 3). Beim Naturrasen muss die Rasentragschicht mindestens 60 Millimeter pro Stunde, die darunter liegende Drainschicht zwischen 180 und 1800 Millimeter pro Stunde und der Baugrund mindestens 30 Millimeter pro Stunde (≥ 30 mm/h ≤ 1800 mm/h) Wasser aufnehmen.<sup>21</sup> Maßgebliche Norm für Naturrasenplätze ist die DIN 18035-4.

Tabelle 3: Vorgaben zur Wasserdurchlässigkeit für Kunst- und Naturrasenplätze

Schicht	Infiltrationsrate	Norm				
Kunstrasenplatz						
Kunstrasen	≥ 180 mm/h	DIN EN 15330-1				
Elastikschicht	≥ 360 mm/h	DIN EN 18035-7				
Gebundene Elastische Tragschicht	≥ 360 mm/h	DIN EN 18035-7				
Asphaltschicht	≥ 360 mm/h	DIN EN 18035-7				
Tragschicht ohne Bindemittel	≥ 720 mm/h	DIN EN 18035-7				
Erdplanum	≥ 72 mm/h	DIN EN 18035-7				
Baugrund	≥ 72 mm/h	DIN EN 18035-7				
	Naturrasenplatz					
Rasentragschicht	≥ 60 mm/h	DIN EN 18035-4				
Dränschicht	≥ 180 mm/h bis ≤ 1800 mm/h	DIN EN 18035-4				
Baugrund	≥ 30 mm/h bis ≤ 1 800 mm/h	DIN EN 18035-4				

Die Vorgaben für die Wasserdurchlässigkeit müssten prinzipiell genügen, um auch bei Starkregenereignissen eine sichere Versickerung zu erreichen. Als Starkregen werden Werte über 25 Millimeter pro Stunde bezeichnet. Sie treten über die Lebensdauer eines Kunstrasenplatzes von 10 bis 15 Jahren im deutschen Durchschnitt etwa vier- bis sechsmal auf.<sup>22</sup> Trotzdem sind je nach Lage des Platzes auch Überschwemmungen denkbar, insbesondere dann, wenn der Kunstrasenplatz im Vergleich zur Umgebung niedriger liegt, umgebende Flächen versiegelt sind oder der Platz im

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> 1 mm Niederschlagshöhe entspricht einer Niederschlagsmenge von 1 Liter pro Quadratmeter.

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> https://rasenlabor.ch/tag/din-18035/; letzter Zugriff: 11.3.2021.

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/starkregen/starkregen\_node.html; letzter Zugriff: 16.06.2021.



Überschwemmungsgebiet liegt.<sup>23, 24</sup> Weiterhin kann die Wasserdurchlässigkeit eines Kunstrasenteppichs durch Verschmutzung, die zur Verstopfung der Perforation auf dem Teppichrücken führen kann, im Laufe der Jahre deutlich abnehmen. Für die Ableitung von Niederschlägen sind daher zusätzlich seitliche Entwässerungssysteme für das Oberflächenwasser installiert. Das Oberflächenwasser wird z. B. mittels Rinnen, Schächten und Gullys, die den Kunstrasenplatz umrahmen, gefasst und abgeleitet. Neben dem Kunstrasenplatz befinden sich ergänzend häufig versiegelte Flächen wie Pflasterungen oder Betonplatten zur Ableitung von Niederschlägen oder offene Flächen wie Rasen oder bepflanzte Böden zur Aufnahme und Versickerung von Niederschlägen (Abbildung 6). Bei Überschwemmungen können, abhängig von der Art des Infills und der Strömungsgeschwindigkeit, Sedimente abgelagert werden oder massive Verlagerungen und Verluste des Infills auftreten. Insbesondere bei Kork-Infill, das besonders leicht und schwimmfähig ist, sind diese auch für Einzelfälle dokumentiert.<sup>23</sup>



Abbildung 6: Unterschiedliche Entwässerungselemente: An Platz grenzende Entwässerungsrinne, Muldenrinne mit Gullyschacht, Muldenrinne mit Gitterschacht, Entwässerungsrinne offen, Sickerschacht offen, kleiner Gitterschacht (von o. l. im UZS)

Unterstützt wird die Entwässerung von Kunstrasenplätzen üblicherweise durch ein Drainagesystem, das sich unter dem Platz befindet. Die Drainage besteht aus über die Platzfläche verteilten, geschlitzten Rohren (Saugern), die das Wasser von außen nach innen aufnehmen und über eine Hauptleitung (Sammler) ableiten (Abbildung 7). Abgesehen von einer Ausnahme verfügen alle untersuchten Kunstrasenplätze über eine derartige Platzdrainage.

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> https://www.suedkurier.de/regionalsport/regionalsport-hochrhein/wasserschaden-nach-wolkenbruch-beim-sv-waldhaus-mit-video;art3111,10578486; letzter Zugriff: 16.06.2021.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> https://www.lz.de/lippe/lemgo/3322635\_Neuer-Kunstrasen-fuer-den-Jahnplatz.html; letzter Zugriff: 16.06.2021.



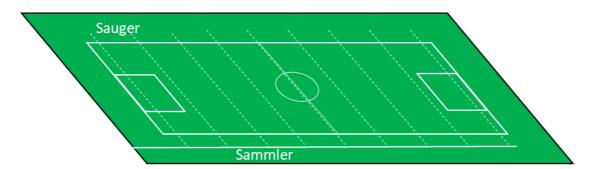


Abbildung 7: Drainagesystem von Kunstrasenplätzen

Bei der Ableitung des gefassten Niederschlags- und Drainagewassers gibt es unterschiedliche Wege. Das Wasser wird z. B. direkt in einen nahegelegenen Bach oder Fluss eingeleitet. Alternativ erfolgt der Transport des gefassten Wassers via Schmutz- oder Regenwasserkanal im Misch- oder Trennsystem. Je nach System wird das Wasser so der Kläranlage oder dem Vorfluter zugeführt. Der Standort des Kunstrasenplatzes entscheidet hierbei, wo das Niederschlagswasser letztendlich landet. Befindet sich ein Kunstrasenplatz in der Stadt oder in Stadtnähe, ist ein Transport durch Schmutz-/Mischwasserkanal mit Einleitung in die Kläranlage üblich. Liegt ein Kunstrasenplatz in den Randbezirken einer Kommune oder in ländlicher Region, ist eine Direkteinleitung bzw. eine Indirekteinleitung über den Regenwasserkanal in den Vorfluter die dominierende Praxis. <sup>25</sup>

Die Situation der Entwässerung in den untersuchten Plätzen stellte sich vielfältig dar. Fast alle Plätze waren mit einer Drainage unter dem Platz ausgestattet, ausgeführt als Sauger-Sammler-System. Zusätzlich waren einige Kunstrasenplätze mit Sickerschächten (Rigolen) versehen. In den Sickerschächten sammelt sich das ablaufende Wasser und versickert mit der Zeit. Zur Aufnahme des Oberflächenwassers waren neben den Plätzen überwiegend Muldenrinnen und/oder Gullys installiert. Seltener fand die Platzentwässerung allein »über die Schulter« durch Versickerung statt. Die Ableitung des gefassten Wassers erfolgte im Misch- und Trennsystem, teilweise mit Not- überlauf zum Vorfluter. Kein Kunstrasenplatz war mit Drainagefiltern zum Rückhalt von Gummigranulat ausgestattet.

Daneben gibt es unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit einen Trend, Niederschlagswasser zu speichern und z. B. für die spätere Platzbewässerung zu nutzen. Dieses Konzept wurde auch bei einem der besichtigten Kunstrasenplätze in der Schweiz angewendet. Hier wurde das Wasser im Kreis gefahren und zur Bewässerung des Platzes genutzt. Feststoffe wurden zum Schutz der Düsen über eine Filteranlage abgeschieden. So werden auch Infill und Fasern mit abgetrennt. Insofern der Filterrückstand bei regelmäßiger Filterreinung als fester Abfall entsorgt wird, wird eine Verfrachtung von Gummi-Infill oder Fasern in die Siedlungswasserwirtschaft oder aquatische Umwelt über den Abwasserweg unterbunden.

Im abfließenden Wasser befinden sich neben Schmutz, Sand und Laub ebenso Infill und Fasern, die vom Kunstrasenplatz stammen. Trotzdem kommen außer Schmutzfangeimern in Gullys selten spezielle Filterelemente, etwa für den Rückhalt von Feinstoffen zum Einsatz.

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Anzumerken ist hier, dass z. B. die DIN 18035-3 *Entwässerung* die Einleitung des Oberflächenwassers und des Drainagewassers in den Vorfluter empfiehlt.

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> https://www.hallertauer-landschaft.de/referenzen/sportplatzbau/8844-neubiberg-erstellung-kunstrasenplatz-im-sportzentrum/; letz-ter Zugriff: 16.04.2021.

<sup>27</sup> https://www.stb-hsos.de/fileadmin/HSOS/Homepages/ILOS/pdf/2017-07-Wassersparkonzepte\_auf\_Sportanlagen-Osnabrueck\_Rasentage.pdf; letzter Zugriff 16.04.2021.



Die Begehungen der Kunstrasenplätze in der Schweiz und Deutschland haben gezeigt, dass Kunstrasenplätze trotz geltender und angewendeter Standards sehr verschieden sind. Gerade in Bezug auf die Ausgestaltung der Entwässerung macht es einen Unterschied, ob der Kunstrasenplatz bspw. mit Gummi oder Kork verfüllt oder unverfüllt ist, da die emittierte Menge an Granulat die emittierte Menge an Fasern deutlich übersteigt. Die nachfolgenden Vorschläge zur Ausgestaltung der Entwässerung beziehen sich aus diesem Grund vor allem auf verfüllte Kunstrasenplätze:

- Genügend Abstand zu Gewässern. Geeignete Standortwahl in Abhängigkeit der Kommunengröße (Dorf Großstadt, außerorts innerorts). Ein KRP in der Stadt hat z. B. den Vorteil, dass wegen der stärkeren Flächenversiegelung im Platzumfeld emittiertes Infill eher der Kläranlage zugeführt wird und seltener in der Natur landet
- Den Platz als Mulde nicht aber in Tieflagen anlegen und/oder von Wällen und dichter Bepflanzung umgeben, um Wind und Regen weniger Angriffsfläche zu geben und überdies das emittierte Infill in Platznähe zu halten
- Einfassung des KRP, z. B. mit Stellsteinen und anderen Barrieren zum Rückhalt von Infill.
   Mögliche Sammelstellen für Infill nach dem Platzgefälle ausrichten
- Bei der horizontalen Entwässerung mittels Rinnen, Gullys oder Mulden ist der Einbau von Filterelementen zum Rückhalt von mitgerissenem Gummigranulat und Kunststofffasern sinnvoll
- Bei der vertikalen Entwässerung Richtung Grundwasser Filterschichten zum Partikelrückhalt vorsehen. Dies können grobe bis feine Gesteinskörnungen sein, z. B. 0/32 Filterkies. Hier sind die Vorgaben hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit zu beachten
- Drainageleitungen ggf. mit Drainagefiltern versehen. Dies verhindert nicht nur die Diffusion von feinem Infill, sondern schützt auch die Schlitze des Drainagerohrs vor dem Zusetzen. Hierfür gibt es z. B. Vliese zur Ummantelung der Drainagerohre
- Entwässerungselemente wie Rinnen, Schächte und Mulden sollten ohne eingebaute Filterelemente nicht direkt an den Kunstrasen anschließen, damit das Infill noch eine »Auslaufzone« hat und nicht direkt mit dem Wasser abgeleitet wird. Das Zurückfegen des liegenden Infills auf den Kunstrasenplatz reduziert zudem die Notwendigkeit zur Nachgranulierung
- Mit Infill belastetes Drainagewasser nicht über die getrennte Niederschlagsentwässerung in Gewässer, sondern über den Schmutz bzw. Mischwasserweg in die örtliche Kläranlage einleiten. Diese Maßnahme stellt sicher, dass emittiertes Infill nicht in die aquatische Umwelt gelangt. Sollte die örtliche Kläranlage den Klärschlamm ausbringen, ist allerdings zu erwarten, dass die Belastung der aquatischen Umwelt durch eine Belastung landwirtschaftlicher Böden ersetzt würde. Hier ist eine Prüfung der Situation vor Ort Klärschlammausbringung oder Klärschlammverbrennung? sinnvoll. Es empfiehlt sich außerdem, die vor Ort geltenden Entwässerungsvorschriften²8 (Entwässerungssatzung, Siedlungsentwässerung) in Bezug auf Erlaubnis und Kosten zu prüfen

27

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> In den geltenden, kommunalen Vorschriften ist die Einleitung von Drainagewasser in Abwasseranlagen häufig untersagt.



## 5 Wo gibt es in Deutschland und der Schweiz Kunstrasenplätze?

»Weder in Deutschland noch in der Schweiz gibt es offizielle Zahlen über die Anzahl an Kunstrasenplätzen. Satellitendatenauswertungen ergeben für die Schweiz – außerhalb des privaten Einsatzes – 800 Kunstrasen- bzw. kunstrasenähnliche Plätze, in Deutschland sind es demnach rund 9000. Offizielle Schätzungen liegen zumeist unter diesen Werten.

Innerhalb eines Umkreis mit einem Radius von 1 Kilometer um Kunstrasenflächen können über 50 000 Menschen leben – oder auch fast niemand. Kunstrasenflächen sind zu ungefähr gleichen Teilen in ein landwirtschaftliches bzw. bewaldetes Umfeld (136 Quadratkilometer) oder ein wohn- bzw. gewerbliches Umfeld (129 Quadratkilometer) eingebunden.

In 100 Metern Entfernung von Kunstrasenstandorten befinden sich 5,8 Mio Quadratmeter Gewässerflächen bei einem mittleren Abstand von 330 Meter zu Fließ- und 730 Meter zu Stehgewässern.«

In Deutschland und der Schweiz gibt es keine amtlichen Daten zu Anzahl, Flächenumfang und Lage von Kunstrasenplätzen. Schätzungen und Untersuchungen liegen von einigen wenigen Organisationen vor. <sup>29,30,31,32,33,34</sup> Die Zahlen weisen in Deutschland je nach Jahr der Erfassung, Zählweise, erfasste Sportarten und Nutzungen sowie über alle Größenklassen eine Spannbreite von rund 6000 bis 13 000 Plätzen auf. Anfang 2019 wurde die Anzahl der gemeldete Großspielfelder, die nur einen Teil der Kunstrasenplätze ausmachen, vom DFB<sup>35</sup> mit 5.109 angegeben.

Um auch weitergehende Aussagen zu Lage und Umfeld der Kunstrasenflächen machen zu können, wurde eine Satellitendatenauswertung zur Identifizierung der Standorte durchgeführt. Mithilfe der global verfügbaren Sentinel-2-Satellitendaten lassen sich die Oberflächenbeläge der Sportplätze in künstliche und natürliche Bestandteile unterscheiden. Zurückgegriffen wird dafür auf multispektrale Bilddaten, die eine Berechnung des Vegetationsindex NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) in einer räumlichen Auflösung von 10 Metern ermöglichen. Ergänzend dazu gibt der »Rotwert« Auskunft über die Färbung der Oberfläche. In Kombination mit amtlichen Daten zu digitalen Landschaftsmodellen, die Informationen zur Lage von Sport- und Freizeitflächen im Allgemeinen enthalten, sind die Ergebnisse in Tabelle 4 und Abbildung 8 entstanden. Identifiziert werden durch diese Methodik nicht natürliche, nicht rot gefärbte Sportplätze. Zum größten Teil werden hierdurch Kunstrasenplätze identifiziert. Untergeordnet werden bei kleineren Flächen auch andere nicht natürliche Oberflächenbelege auf Sport-und Freizeitflächen erfasst, so dass es zu Fehldetektierungen kommt und die Anzahl der ausgewiesenen Kunstrasenplätze etwas größer ist als das tatsächliche Vorkommen. Auf Grund detaillierter klassifizierter Geodaten in der Schweiz ist die Robustheit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse für die Schweiz zudem etwas höher

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> Deutscher Bundestag 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> DFB 2020.

<sup>31</sup> Frias und Nash 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>32</sup> DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) 2019.

<sup>33</sup> Bertling et al. 2018b.

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> DOSB und Bundesinstitut für Sportwissenschaft 2020.

<sup>35</sup> DFB 2019.



als für Deutschland. Die hier ausgewiesene Platzanzahl beinhaltet zusammengefasst Kunstrasenplätze und zusätzlich Plätze, die in der Spektralanalyse ähnliche Daten liefern.

Die Analyse liefert dennoch valide Daten.<sup>36</sup> Insbesondere für die nachfolgenden Aussagen zur Einbettung der Plätze in ihr Umfeld, die derzeit kein anderer verfügbarer Datensatz leisten kann.

Der auf der Satellitendatenanalyse basierende Vergleich zur Platzanzahl in Tabelle 4 zeigt, dass in Deutschland der Anteil der Plätze mit Kunstrasen und kunstrasenähnlichen Material, bezogen auf alle Sport- und Freizeitflächen, höher als in der Schweiz ist. Dies betrifft sowohl Klein- als auch Großplätze. Die höhere Verbreitung zeigt sich auch, wenn die Anzahl der Kunstrasenplätze auf die Bevölkerungsanzahl bezogen wird. In Deutschland teilen sich rein rechnerisch unabhängig von der Platzgröße 8.725 Menschen einen Kunstrasenplatz, in der Schweiz sind es 10.680.

Tabelle 4: Anzahl identifizierter Kunstrasenplätze und kunstrasenähnliche Flächen in Deutschland und der Schweiz basierend auf einer Satellitendatenauswertung

Platzart	Größe (m²)	Anzahl Deutschland		Anzahl Schweiz	
raczarc		Alle Standorte	davon Kunstrasen	Alle Standorte	davon Kunstrasen
Kleinplatz	< 5 000	37 934	2 661 (7 %)	13 841	447 (3 %)
Großplatz	> 5 000	34 455	6 852 (20 %)	2 304	356 (15 %)
Gesamte Anzahl Plätze		72 389	9 513 (13 %)	16 145	803 (5 %)

Abbildung 8 zeigt, dass die makroskopische Verteilung von KRP weitgehend der Bevölkerungsdichte entspricht. Im Weiteren kann festgestellt werden, dass es in der Schweiz und Südostdeutschland vergleichsweise mehr Kleinplätze gibt.

<sup>&</sup>lt;sup>36</sup> Mit einer ergänzenden Luftbildauswertung, in der die RGB-Werte der identifizierten Plätze noch einmal geprüft würden, könnten diese Daten noch weiter verbessert werden. Aus Zeit- und Kostengründen war eine entsprechende Bearbeitung im Rahmen dieser Studie nicht möglich. In der Schweiz wird derzeit durch die Ostschweizer Fachhochschule im Projekt KuSIM eine entsprechende Methode angewandt. Ergebnisse werden für Ende 2021 erwartet.



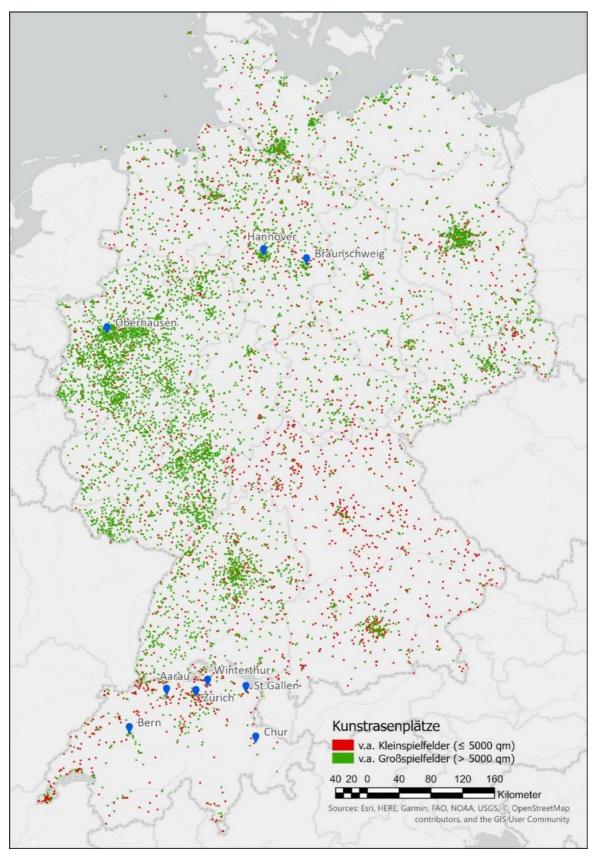


Abbildung 8: Lage der als Kunstrasen und kunstrasenähnlichen identifzierten Flächen in Deutschland und der Schweiz; in blau sind Standorte von Vor-Ort Analysen markiert



## 5.1 Wie sind die Flächen räumlich eingebunden?

Kunstrasenplätze finden sich in allen Teilen Deutschlands und der Schweiz auf Sport- und Freizeitanlagen. Die unmittelbar angrenzenden Siedlungsfreiflächen sind überwiegend durch Sport-, Erholungs- und Freizeitflächen geprägt, die sowohl versiegelt als auch durch Grünflächen gestaltet sein können (Abbildung 9). Die Entfernungsanalysen in Kapitel 5.2 zeigen, dass sie häufig in der Nähe von Fließgewässern zu finden sind. Grade in hügeligen, aber auch in dicht besiedelten Kommunen bieten Flussebenen geeigneten Raum für Sport- und Freizeitanlagen.

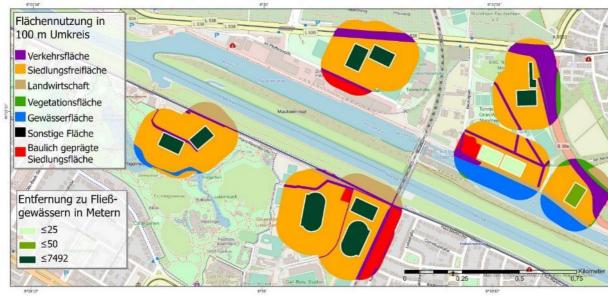


Abbildung 9: Beispielkarte: Flächennutzung in der Umgebung von Kunstrasenflächen

Der weitere Umkreis der Kunstrasenflächen weist abseits der eigentlichen Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen vielfältige Nutzungstypen auf (Abbildung 10). Grundsätzlich lassen sich zwei Typen unterscheiden: Sportanlagen in eher ländlich geprägter Umgebung mit hohem Anteil an landwirtschaftlichen Flächen oder bewaldetem Umland und Sportanlagen in eher städtischer Umgebung, die durch Wohnbebauung oder anderen Bebauungsformen geprägt ist. 51 Prozent der Umgebung von Kunstrasenflächen sind vegetative (landwirtschaftliche Flächen, Wälder und Gehölze) bzw. aquatische Flächen (Fließ- und Stehgewässer).



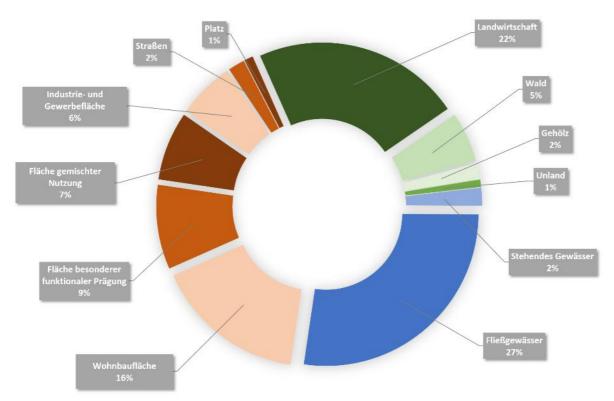


Abbildung 10: Durchschnittliche Flächenzusammensetzung in 100 m Umkreis von Kunstrasenplätzen in Deutschland

Die höchste Einwohnerdichte in einem Kilometerradius um einen Kunstrasenplatz wird in Berlin-Neukölln mit 23.379 Einwohnern erreicht (Abbildung 11). Insbesondere in ländlichen Gebieten lassen sich auch Standorte ohne Wohnbevölkerung finden.

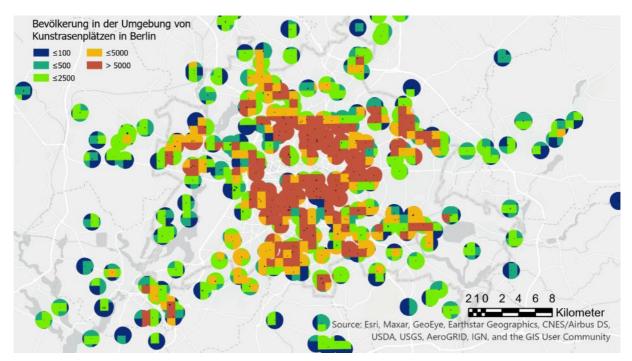


Abbildung 11: Beispiel Berlin: Wohnbevölkerung in der Umgebung von Kunstrasenflächen (GIS-Analyse)



#### 5.2 In welchem Abstand sind offene Wasserflächen zu finden?

Um einzuschätzen, wie hoch die Möglichkeit eines Eintrags von Kunststoffgranulat oder -fasern in umliegende Gewässer ist, wurde eine räumliche Auswertung basierend auf den Daten des digitalen Landschaftsmodels (Basis-DLM) für Deutschland durchgeführt. Die durchgeführten Nachbarschaftsanalysen setzen Kunstrasenplätze mit Oberflächengewässern in einen räumlichen Bezug, um die Bedeutung von Gewässern für die potenzielle Verbreitung von Mikroplastik aus Kunstrasenflächen in der Umwelt herauszustellen. In Abbildung 12 ist die Häufigkeitsverteilung der Abstände zu Fließgewässern dargestellt. In einem Abstand von 1 Kilometer befindet sich in nahezu 100 Prozent der Kunstrasenplätze ein Gewässer, doch auch in geringeren Abständen von bis zu 50 Metern befinden sich noch bei ca. 25 Prozent der Plätze (2.311 Plätzen) Fließgewässer.

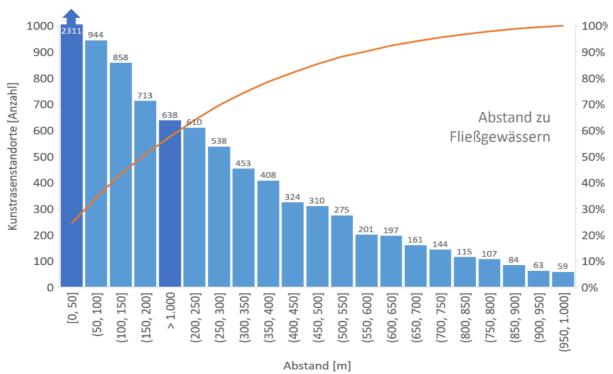


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Entfernungen von Kunstrasenstandorten zu größeren Fließgewässern

Generell gibt es in Deutschland und der Schweiz keine spezifischen gesetzlichen Regelungen oder Empfehlungen, die den Abstand von Kunstrasenflächen zu ständig oder periodisch wasserführenden Gewässern bestimmen. Für die Darstellung in Abbildung 13 wurden zu Vergleichszwecken die Regelungen aus der deutschen Bau- und Landwirtschaft dargestellt. So ist es nach dem deutschen Bundesnaturschutzgesetz verboten (Ausnahmen möglich), im Außenbereich im Abstand bis zu 50 Metern von der Uferlinie von Bundeswasserstraßen, Gewässern erster Ordnung (Gewässer mit erheblicher Bedeutung für die Wasserwirtschaft) sowie an stehenden Gewässern mit einer Größe von mehr als 1 Hektar bauliche Anlagen zu errichten. Rund 25 Prozent der Standorte liegen innerhalb dieses Bereichs, was rechtlich unproblematisch ist, sofern die Kunstrasenflächen an kleineren Gewässern liegen oder »die durch die bauliche Anlage entstehenden Beeinträchtigungen des Naturhaushalts oder des Landschaftsbildes, insbesondere im Hinblick auf die Funktion der



Gewässer und ihrer Uferzonen, geringfügig sind oder dies durch entsprechende Maßnahmen sichergestellt werden kann«.<sup>37</sup>

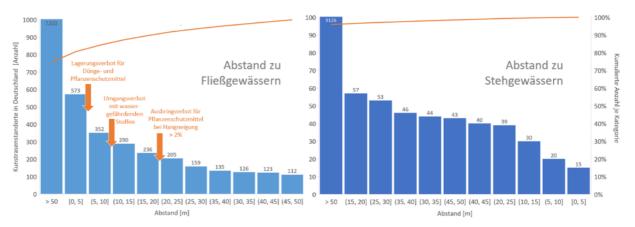


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Entfernungen zu größeren Fließ- und Stehgewässern

Zum Vergleich: In der Schweiz werden Gewässerräume<sup>38</sup> definiert, die primär den Gewässern vorbehalten sind und innerhalb denen andere Nutzungen stark eingeschränkt sind. Diese Räume sind mindestens 11 m breit und vergrößern sich in Abhängigkeit der Sohlenbreite der Gewässer.

Für den Umgang mit Stoffen sind als Bezugswerte für die Darstellung Auflagen des landwirtschaftlichen Pflanzenschutzes <sup>39</sup> für Abstände zu Gewässern als Vergleichsmaßstab gewählt worden.

Zu beachten ist, dass diese Darstellung nur erläuternd ist und damit keine Aussagen zu den mit Kunststoffgranulaten verbundenen Gefahren im Allgemeinen und im Vergleich zu Dünge- und Pflanzenschutzmitteln im Besonderen möglich sind. Dessen ungeachtet sieht die Europäische Chemiekalienagentur ECHA in jedweder Emission eines persistenten Kunststoffs < 5 mm (Mikroplastik) ein Umweltrisiko. 40

Die Nachbarschaftsanalysen wurden durchgeführt, da Gewässer und insbesondere Fließgewässer für die Verbreitung von Mikroplastik in der Umwelt relevant sind. Beispiele hierzu sind in Abbildung 14 aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich Kunstrasenplätze oftmals sehr nah an Oberflächengewässern befinden. Der direkte Eintrag durch Verwehungen oder Oberflächenabfluss erscheint daher durchaus realistisch. Zum Umfang des Eintrags von Kunststoffgranulaten oder -fasern aus Kunstrasenplätzen in die Oberflächengewässer können derzeit keine gesicherten quantifizierbaren Aussagen getroffen werden.

Gleichwohl wurde bei den Vor-Ort-Untersuchungen der Kunstrasenplätze in Deutschland und der Schweiz auf fast allen Plätzen Granulat in einer Entfernung von über 10 Metern gefunden. Bei etwa 10 Prozent der Plätze liegen Gewässer in diesem Bereich. Welche Mengen an Kunststoffgranulaten und -fasern in die Gewässer eingetragen werden, sollte Gegenstand zukünftiger vertiefender Untersuchungen sein.

38 https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/planen-bauen/wasserbau/gewaesserraum/merkblatt-und-vorlagen-zur-festlegung-des-gew%C3%A4sserraums/1\_merkblatt.pdf; letzter Zugriff: 20.07.2021

<sup>37</sup> BNatSchG.

<sup>&</sup>lt;sup>39</sup> KTBL 2019

<sup>&</sup>lt;sup>40</sup> https://echa.europa.eu/de/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73; letzter Zugriff: 25.06.2021.



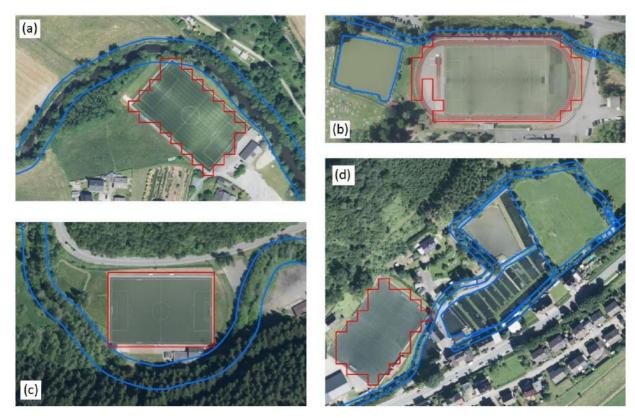


Abbildung 14: Beispiele nahe gelegener Kunstrasenplätze zu Oberflächengewässern. Kunstrasenplatz in Rot, nahe Oberflächengewässern in Blau. 41

35

<sup>&</sup>lt;sup>41</sup> Osterthun 2020.



## 6 Wie wirtschaftlich sind Kunstrasenplätze?

»Im Detail sind die Kostenunterschiede groß. Unterschiedliche Rasensysteme bedingen unterschiedliche Infrastrukturen und Pflegeansätze. Jährliche Kostenbetrachtungen nivellieren viele Unterschiede zwischen Natur- und Kunstrasenplätzen.

Bezogen auf die Nutzungsstunden ergeben sich klare Kostenvorteile für Kunstrasenplätze. Ob sich diese bei zunehmenden Umweltauflagen halten lassen, ist noch unsicher.«

Naturrasen, Kunstrasen oder Hybridrasen weisen in ihrem Aufbau und ihrer Zusammensetzung Unterschiede auf, die sich in der Kostenstruktur bei Beschaffung, Betrieb und Entsorgung bzw. bei Verlängerung der Nutzungszeiten durch Sanierung entsprechend auswirken.

Der Aufbau eines Naturrasenplatzes kann sich je nach den lokalen Gegebenheiten unterscheiden. In jedem Fall besitzen Naturrasenplätze immer einen Baugrund, ein Planum, eine Rasentragschicht, eine Verzahnung und die Rasendeckung. Je nach Gegebenheit werden auch Dränstränge, Sandauftragungen und Dränpackungen benötigt. Kunstrasensysteme können aus verschiedenen Materialien und Materialkombinationen bestehen, die im Detail in Kapitel 3 und 4 beschrieben wurden. Beim Hybridrasen werden Natur- und Kunstrasen kombiniert, um eine qualitative Verbesserung zu erreichen.

Tabelle 5 zeigt eine Gegenüberstellung der wichtigsten betriebswirtschaftlichen Kennwerte basierend auf verschiedenen Quellen für einen Nutzungszyklus ohne Sanierungskosten. <sup>42,43,44,45</sup> Die Kostenübersicht beruht auf deutschen Verhältnissen, die Aussagen können jedoch entsprechend auf die Schweiz übertragen werden. Naturrasen haben im Vergleich zu den anderen Systemen die niedrigsten Baukosten, Kunstrasen weisen die geringsten Betriebskosten auf. Bei den Hybridrasensystemen fallen deutlich höheren Entsorgungskosten auf, sofern keine kompostierbaren Systeme gewählt wurden, die erst seit kurzer Zeit verfügbar sind. <sup>46,47</sup>

Tabelle 5: Vergleich der Natur-, Kunst- und Hybridrasenplätze

Тур	Naturrasen	Kunstrasen	Hybridrasen
Baukosten [€]	200 000 – 250 000	420 000 – 550 000	400 000 – 450 000
Pflegekosten [€/a]	25 000 – 35 000	12 000 – 24 000	25 000 – 60 000
End of Life und Kosten [€]	Aufbereitung: 22 000	Recycling: 65 000	Kompostierung: 40 000 Entsorgung: 400 000
Gesamtkosten [€]	247 000 – 307 000	507 000 – 649 000	535 000 – 965 000
Nutzungsstunden [h/a]	800	1800	1000

<sup>42</sup> Schneider 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>43</sup> Sportstättenrechner 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> DFB 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>45</sup> Sportplatzwelt/Stadionwelt 2020b.

<sup>&</sup>lt;sup>46</sup> Sportplatzwelt/Stadionwelt 2020a.

<sup>&</sup>lt;sup>47</sup> Heiler-Sport 2020.



Lebensdauer	> 15	12 – 15	8 – 10
Sanierungskosten [€]	65 000	160 000 – 210 000	250 000

Da die Systeme und deren Komponenten deutliche Unterschiede in der Lebensdauer und den möglichen Nutzungsstunden pro Jahr aufweisen, sind für einen besseren Systemvergleich in Abbildung 15 die jährlichen Gesamtkosten aufgeführt und in Abbildung 16 wurden die jährlichen Kosten auf die Nutzungsstunden umgelegt. Um diese Vergleiche zu ermöglichen, sind die systemspezifischen Entsorgungs- bzw. Sanierungskosten auf einen 15-jährigen Turnus umgerechnet worden.

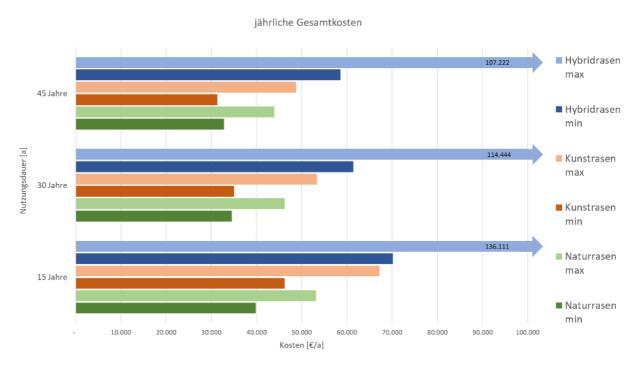


Abbildung 15: Vergleich der jährlichen Gesamtkosten bei 15, 30, 45 Jahren Nutzungsdauer

Der Vergleich der jährlichen Gesamtkosten zeigt, dass konventionelle (nicht kompostierbare) Hybridrasensysteme die kostenintensivste Variante darstellen, deren relativer Kostennachteil im Laufe der Zeit durch die hohen Entsorgungs- und Aufbereitungskosten gegenüber den anderen Systemen noch zunehmen. Bei den kompostierbaren Systemen sinken die Entsorgungskosten deutlich, durch die hohen Sanierungskosten bleibt dieses System jedoch vergleichsweise teuer.

Die betriebswirtschaftlichen Ergebnisse der Natur- und Kunstrasensysteme liegen bei der Betrachtung der jährlichen Kosten relativ nah zusammen. Den leichten Kostenvorteil des Naturrasens in den ersten 15 Jahren gleicht der Kunstrasen über längere Zeiträume durch geringere Pflegekosten trotz höherer Wiederherstellungskosten aus (vgl. Kap. 2.2).

Darüber hinaus werden die Kosten für die Nachgranulierung aufgrund von Granulatverlusten und Kompaktierung durch die Wartungspauschalen nicht in jedem Fall angemessen berücksichtigt. Eine höhere Nachgranulierung der Kunstrasensysteme (vgl. Kap. 7) führt ggf. zu einer weiteren Steigerung der Betriebskosten der Kunstrasenplätze. Auch die Umsetzung zukünftiger Maßnahmen zur Reduktion der Granulatverluste, wie sie im technischen Bericht des Europäischen Nor-



mungsgremium CEN<sup>48</sup> beschrieben sind, könnten die investiven Kosten für Kunstrasenplätze steigern, aber auch die Betriebskosten durch Minderung des Bedarfs an Nachgranulierung reduzieren (vgl. Kap. 8).

Bei der Entscheidung für ein Rasensystem haben die realisierbaren Nutzungsstunden einen hohen Einfluss. Sie unterscheiden sich zwischen den Systemen deutlich und wirken sich entsprechend auf die Gesamtkosten pro Nutzungsstunde aus (vgl. Tabelle 5). Nach 15 Jahren sind deutlich unterschiedliche Kosten pro Nutzungsstunde von 26 € (Kunstrasen min) bis 113 € (Hybridrasen max) zu verzeichnen (Abbildung 16). Sowohl nach 15, 30 und 45 Jahren bleibt die Reihenfolge Kunstrasen, Naturrasen, Hybridrasen mit deutlichen Kostenabständen erhalten.

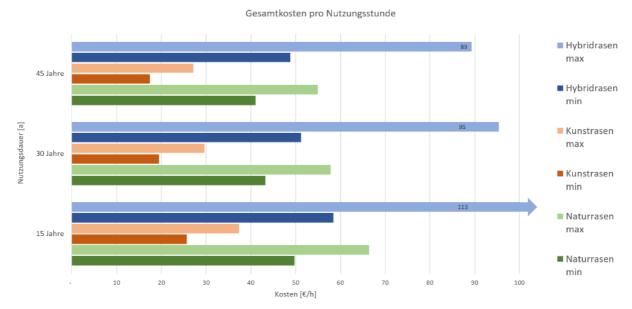


Abbildung 16: Vergleich der Gesamtkosten pro Nutzungsstunde bei 15, 30, 45 Jahren Nutzungsdauer

Entscheidend für diesen Vergleich von Natur- und Kunstrasen sind die angesetzten Nutzungsstunden und Lebensdauern.

- In Interviews und in der Literatur<sup>49</sup> sind für Naturrasen auch geringere Nutzungsstunden von rund 400 h/a zu finden und für Kunstrasen höhere Nutzungsstunden von 2000 h/a und mehr. Der Vergleich zwischen diesen beiden Systemen würde dann in Richtung des Kunstrasens verbessert werden
- Andererseits sind für Naturrasenplätze auch Aussagen zu höherer Lebensdauer zu finden, sodass die Wiederherstellungskosten erst später anzusetzen wären und so das Ergebnis für den Naturrasen positiver ausfallen würde. Auch werden teilweise Aussagen zu höheren Nutzungsstunden gemacht, diese würden jedoch gleichzeitig einen höheren Pflegeaufwand bedeuten

Ergänzend zu betriebswirtschaftlichen Kenndaten sollten weitere Faktoren, auch im Austausch mit Vereinen und Spielenden, bei der Wahl des Rasensystems Berücksichtigung finden (Tabelle 6).

38

 $<sup>{}^{48}\,\</sup>underline{\text{https://www.estc.info/wp-content/uploads/2020/03/FprCENTR-17519-Public.pdf}}; \, \text{letzter Zugriff: 23.06.2021}.$ 

<sup>&</sup>lt;sup>49</sup> Schneider 2019.



Tabelle 6: Beispiel für Eigenschaften, die bei der Investitionsentscheidung für ein Rasensystem zu berücksichtigen sind

Eigenschaften	Naturrasen	Kunstrasen	Hybridrasen
Pflegeaufwand	durchschnittlich	gering	aufwendig
Nutzung bei Frost	mangelhaft	Ausreichend (stark abhängig von Infilltyp) <sup>50</sup>	mangelhaft
Nutzung bei Nässe	gut	sehr gut	gut
Spielkomfort	sehr gut	gut	gut

Bei einem Verzicht auf Kunstrasen stellt sich insbesondere die Frage, wie der Trainingsbedarf im Winter oder auch bei starken Niederschlägen (bei denen Naturrasen, um Schädigungen zu vermeiden, häufig nicht bespielt werden kann) gedeckt werden kann. Erschwerend kommt hinzu, dass in Ballungsräumen Flächen rar und teuer sind und daher eine hohe Nutzungsintensität vorteilhaft ist. Alternativ müssten ggf. lange Fahrtstrecken in Kauf genommen werden. Inwieweit Hallen diesen Bedarf decken können (Kaltluft- oder Warmhalle), ist hierbei nicht nur eine Akzeptanzfrage (vgl. Kap. 16), sondern es würde sich zudem die Frage stellen, wie die damit verbundenen zusätzlichen Kosten bei einem Vergleich der Systeme zu bewerten sind. Hier würden sich weitere Vorteile zugunsten des Kunstrasens im Vergleich zu einer Kombination aus Naturrasen und Halle ergeben. Auf der anderen Seite ist zu berücksichtigen, dass gerade die Nutzung des Kunstrasens bei Schneefall bislang mit besonders hohen Granulatverlusten durch die Schneeräumung verbunden ist. Auch diesbezüglich gibt es Verbesserungsvorschläge im technischen Bericht des CEN.<sup>48</sup> Inwieweit das Spielen bei tiefen Temperaturen auch Faserverluste (bspw. durch Kaltversprödung) begünstigt, ist bislang unbekannt.

-

<sup>&</sup>lt;sup>50</sup> Insbesondere für reine Sandplätze und mit Kork verfüllte Plätze wird die Bespielbarkeit im Winter von Experten als eher schlecht eingeschätzt, persönliche Auskunft: D. Schockmann 14.05.2021.



# 7 Wieviel Infill ist auf den Plätzen und was leistet es?

»Die untersuchten Plätze aus den Jahren 2009 bis 2019 zeigen unabhängig vom Baujahr keine Reduktion der Menge an Performance-Infill.

Eine Anreicherung durch Kompaktierung auf den Plätzen wurde nicht gemessen.

Einige wenige Ergebnisse zur Veränderung der Partikelgrößenverteilung über die Zeit deuten darauf hin, dass das Performance-Infill im Laufe der Zeit zerrieben und mit zunehmender Versprödung auch zerkleinert wird.

Das Infill ist auf den Plätzen sehr ungleichmäßig verteilt, dieser Effekt nahm mit dem Alter der Plätze zu. Die Relevanz des Performance-Infills für die spieltechnischen Eigenschaften wird offenbar überschätzt.«

# 7.1 Eingesetzte Mengen

Im Rahmen der Studie wurden auf 15 Plätzen die Infillmengen an je fünf Messpunkten innerhalb eines Platzviertels bestimmt (Abbildung 17). Für die Messung wurde auf einer definierten Fläche das Infill komplett entnommen und mittels Heliumpyknometrie und Siebanalyse untersucht (vgl. Anhang).

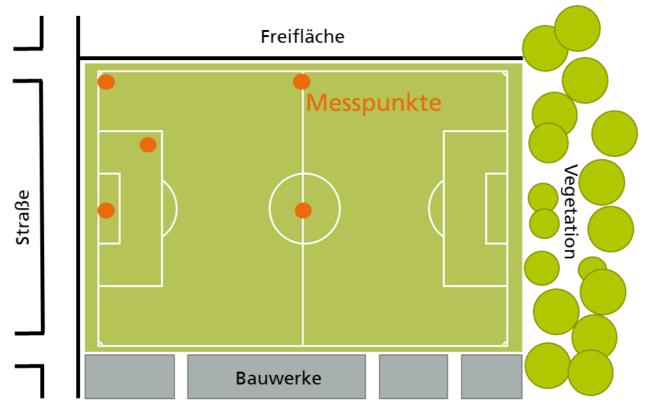


Abbildung 17: Lage der Messpunkte innerhalb eines Platzviertels



Die auf den Plätzen befindliche Infillmenge variiert zwischen 6,4 und 34,4 Kilogramm Infill pro Quadratmeter, die Performance-Infillmenge zwischen 1,2 und 12,3 Kilogramm pro Quadratmeter (Abbildung 18). Unter Berücksichtigung der jeweiligen Platzgröße variiert die Gesamtmenge an Performance-Infill pro Platz zwischen 17 und 95 Tonnen.

Der Anteil des Performance-Infills am gesamten Infill betrug zwischen 10 und 86 Prozent. Während dieser Wert bei den älteren Plätzen stark streut, hat er sich bei jüngeren Plätzen auf Werte um 40 Prozent stabilisiert. Zwischen dem Baujahr und der Menge liegt dabei eine schwach positive Korrelation vor. Die Infillmenge steigt bei den untersuchten Plätzen mit abnehmendem Alter der Plätze leicht an. Der Zusammenhang ist allerdings nicht signifikant (r = +0,35, p = 0,22). Der Anteil des Performance-Infills am gesamten Infill weist hingegen eine schwach negative Korrelation mit dem Alter auf, auch dieser Zusammenhang ist nicht signifikant (r = -0,31, p = 0,29). Eine häufig getroffene Annahme, dass bei neueren Plätzen weniger Performance-Infill eingesetzt wird, kann für die untersuchten Plätze nicht bestätigt werden. Im Gegenteil scheint es, als würde der Sandanteil und damit die Gesamtmasse zunehmen. Systematische Zusammenhänge der Infillmenge pro Platz mit dem Rasentyp, Infillmaterial oder der Dichte des verwendeten Infills wurden ebenfalls nicht identifiziert. Die Infillmengen scheinen vielmehr durch Präferenzen des Herstellers und den Wartungsmodus der Platzbetreiber bestimmt zu werden. Durch die Verwendung von Kork (grüne Säule, ganz rechts) statt synthetischer Elastomere (orange) sinken Masse und Massenanteil aufgrund der geringen Dichte des Korks deutlich.

Soweit Daten vorlagen, betrugen die Fasergewichte der verfüllten Plätze zwischen 1000 und 1400 Gramm pro Quadratmeter.

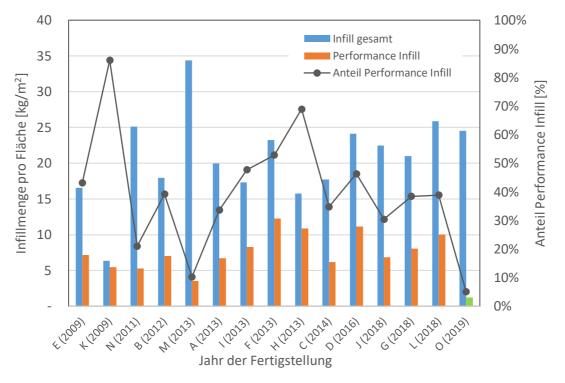


Abbildung 18: Infillmenge und Anteil je Platz und Jahr der Fertigstellung



# 7.2 Anreicherung von Infill

Im Laufe eines Lebenszyklus kompaktieren viele Kunstrasenspielfelder. Die Rasenfilamente werden durch den Spielbetrieb gebogen, geknickt und das Infill wird verdichtet. Insbesondere für das elastische Infill wurden in Laboruntersuchungen von Fleming et al. Zunahmen der Schüttdichte von bis zu 39 Prozent nach einer mechanischen Kompression gemessen. Nach einer Auflockerung (Dekompaktierung) im Rahmen einer Pflegemaßnahme reduzierte sich die Dichtezunahme auf 9 Prozent.<sup>51</sup> Verschiedentlich wird diese Dichtezunahme als Hinweis auf eine Anreicherung (Akkumulation) von Granulat auf dem Platz angeführt.<sup>52,53</sup>

Verschoor et al.<sup>53</sup> führen ergänzend eine Feldstudie an. Diese basiert auf Daten eines einzelnen Platzes.<sup>54</sup> Weiterhin stützt sich die Berechnung der Kompaktierung auf den Vergleich von vier Punkten auf dem Platz zum Zeitpunkt der Probennahme. Es wird nicht ausgeführt, wie die Gummigranulat- und Sandmasse separiert und quantifiziert wurden. Aufgrund der typischerweise hohen Schwankungen auf dem Feld, der Wahl der Punkte (Elfmeterpunkt, Torbereich, Außenbereich) sowie der unklaren Methodik erscheinen die Ergebnisse dieser Feldstudie als nicht belastbar. Die bisherigen Laboruntersuchungen und Feldstudien können daher aus Sicht der Autoren dieser Studie keine nachvollziehbaren Belege auf eine Anreicherung des Infills über die Lebenszeit des Platzes liefern und widersprechen den eigenen Ergebnissen.

Vor diesem Hintergrund wurden in dieser Studie die Differenz der Performance-Infillmengen direkt nach Fertigstellung des Platzes mit den Mittelwerten aus den Messungen an 5 Messpunkten je Platz bestimmt (Abbildung 19). Es zeigte sich, dass eine Anreicherung über die Zeit eher seltener (5 von 15 Plätzen) und eine Reduzierung der Granulatmenge (10 von 15 Plätzen) weit häufiger auftritt. Gemittelt über alle Plätze mit elastomerem Performance-Infill reduzierte sich die Infillmenge um 12 Prozent; eine Korrelation zum Alter der Plätze wurde nicht festgestellt (r = +0,08). Eine besonders hohe Reduzierung des Infills wies der Platz mit Kork auf (grüner Balken). Es erscheint vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse eher unwahrscheinlich, dass eine systematische Nachgranulierung zur Kompensation einer Infillkompaktierung stattfindet.

<sup>&</sup>lt;sup>51</sup> Fleming et al. 2015.

<sup>&</sup>lt;sup>52</sup> Lokkegaard et al. 2019(DTI)

<sup>&</sup>lt;sup>53</sup> Verschoor et al. 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>54</sup> Es wird ein zweiter Platz angeführt, der angeblich die gleichen Ergebnisse zur Kompaktierung liefern würde. Die aufgeführte Originalquelle bestätigte dies aber nicht.



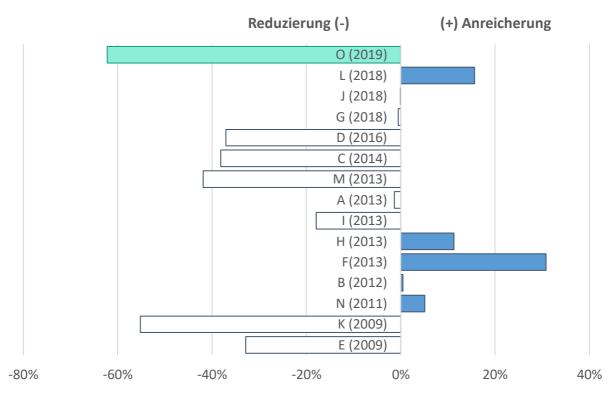


Abbildung 19: Reduzierung und Anreicherung von Infill im Vergleich zur Situation bei Fertigstellung

# 7.3 Fragmentierung des Infills

Für zwei der untersuchten Plätze lagen Proben des unbenutzten Infills vor, die mit dem Infill aus der Platzbeprobung verglichen wurden (Tabelle 7). Bei beiden Plätzen ist eine Zunahme der Feinfraktion (> 0,1 mm, beim älteren Platz auch in der Fraktion 0,1 bis 0,3 mm) erkennbar, was auf Abrieb hindeutet. Auch die deutliche Abnahme bei der Fraktion größer zwei Millimeter bei gleichzeitiger Zunahme der Fraktion über einem Millimeter bei dem älteren Platz lässt auf eine massive Fragmentierung schließen. Die Zunahme in der Fraktion größer zwei Millimeter beim jüngeren Platz könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Granulate im ersten Schritt durch die mechanische Belastung sowohl zerfasern (Größenzunahme) als auch fragmentieren (Größenabnahme) und durch die Schmirgelwirkung (Abrasion) des Sand-Infills zerrieben werden. Gleichzeitig ist es wahrscheinlich, dass die Fragmentierung mit zunehmender Alterung und Versprödung der Granulate zunimmt.

Aufgrund der geringen Zahl der Messwerte, der Nachfüllung von Frischgranulaten über die Nutzungsdauer und die unbekannten Verlustraten je Größenklasse sind diese Aussagen, aber noch sehr unsicher und es wären vertiefende Untersuchungen zur Änderung der Partikelgrößenverteilung sinnvoll. Dabei sollte auch untersucht werden, ob die Neigung zur Fragmentierung und Zerfaserung bei allen Infilltypen gleich ausgeprägt ist.

Tabelle 7: Ergebnisse der Siebanalysen des Performance-Infills von zwei Plätzen unterschiedlichen Alters

Korngrößen	J (2018) –	EPDM, 2 Jahre	K (2009) – RPU, 11 Jahre		
	neu	gebraucht	neu	gebraucht	
> 2mm	51,67	54,90	22,98	13,56	



> 1 mm	42,59	42,11	65,26	76,30
> 0,5 mm	5,54	2,85	11,61	9,61
> 0,3 mm	0,16	0,00	0,15	0,29
> 0,1 mm	0,03	0,14	0,00	0,24

# 7.4 Infill-Verteilung und spieltechnische Eigenschaften

Die Performance-Infillmenge schwankt nicht nur zwischen verschiedenen Plätzen, sondern auch zwischen den Messpunkten eines einzelnen Platzes. Der Variationskoeffizient (COV = (Maximalwert – Minimalwert) / Mittelwert) für die Infillmenge besitzt Werte zwischen 36 und 144 Prozent. Die Schwankungsbreite bei neueren Plätzen liegt dabei tendenziell etwas niedriger als bei älteren Plätzen (r = -0,51, p < 0,05). Dies könnte eine Folge mangelnder bzw. nachlassender Platzpflege sein oder durch eine verbesserte Fixierung des Infills durch geänderte Rasenfasern bei neueren Plätzen verursacht werden. Systematische Zusammenhänge der Art, dass bestimmte Messpunkte höhere, andere Messpunkte niedrigere Anteile an Performance-Infill aufweisen, wurden nicht erkannt.

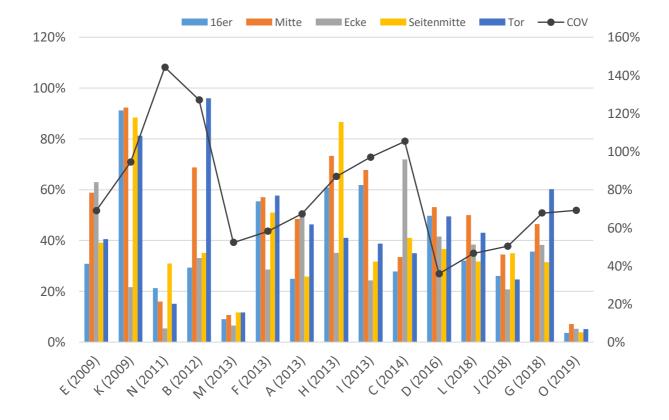


Abbildung 20: Anteil an Performance-Infill je Messstelle und Variationskoeffizient je Platz

Die vier wichtigsten Performance-Parameter eines Kunstrasenplatzes sind Ballreflexion, Ballrollverhalten, Kraftabbau und Drehwiderstand. Sie werden bspw. in der Norm DIN 18035-7 oder dem



FIFA-Quality-Programm festgelegt. Drei der im Rahmen dieser Studie untersuchten Kunstrasenplätze entsprechen dem Standard »FIFA Quality Pro«. Für diese Plätze wurde die Schwankungsbreite der Performance-Parameter, die an sechs Messpunkten ermittelt wurden, mit der Schwankungsbreite des Performance-Infills verglichen. Dass Schwankungen beim Infill zu erhöhten Schwankungen bei der Performance führen, ließ sich nicht bestätigen. Auch lag die Schwankungsbreite der Performance-Parameter deutlich unterhalb der für die Performance-Infillmenge.

Die Performance scheint gegenüber den Schwankungen beim Infill äußerst robust. Art und Menge des Infills können in weiten Bereichen variiert werden, ohne dass damit zwingend eine schlechtere Performance verbunden ist. Ggf. wird die Rolle des Performance-Infills überschätzt und gleichzeitig die von Shockpad, stabilisierendem Infill und Rasentyp unterschätzt. Entsprechend vertiefende Untersuchungen wären erforderlich und könnten Innovationsspielräume für eine ökologische und ökonomische Optimierung des Systems Kunstrasen eröffnen.

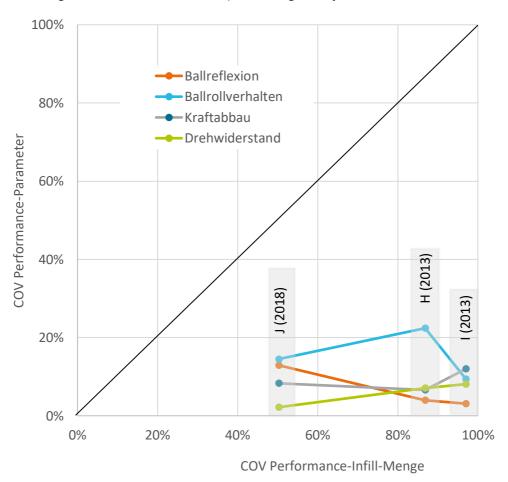


Abbildung 21: Variationskoeffizient (COV) der Performance über dem Variationskoeffizienten für die Infillmenge für drei FIFA-Quality-Pro-Plätze



#### 7.5 Infill-Alternativen

Vor dem Hintergrund des ECHA-Beschränkungsvorschlags werden Alternativen zu den heutigen Infilltypen gesucht. Dabei sind vor allem folgende Alternativen denkbar:

- Verzicht auf Füllstoffe
- mineralische Füllstoffe
- bioabbaubare Materialien
- natürliche Materialien

Beim Verzicht auf Füllstoffe sind deutlich höhere Fasergewichte erforderlich, um einen stabilen und bespielbaren Kunstrasen zu erzeugen. Es ist bis heute nicht untersucht, ob und in welchem Umfang dies zu höheren Faseremissionen im Vergleich zu gefüllten Plätzen führen würde. Gleichzeitig wäre zu prüfen, wie die Umweltwirkungen von freigesetzten Fasern im Vergleich zu freigesetztem Infill zu bewerten sind. Da der ECHA-Beschränkungsvorschlag Faserverluste nicht adressiert (es handelt sich hier nicht um eine intendierte Zugabe), besteht die Gefahr einer aus Umweltsicht ungünstigen Lenkungswirkung durch die Beschränkung, sollte sich herausstellen, dass die Fasern kritischer zu bewerten sind als das polymere Performance-Infill.

Die Verwendung von mineralischen Infills wurde mit Sand in Form der 2G-Plätze lange praktiziert und ist auch heute noch etabliert. Hauptgrund für den Übergang zu Plätzen mit ergänzendem Performance-Infill (3G) war die Reduzierung von Verletzungen (Schürfwunden). Die Performance von Plätzen mit reiner Sandverfüllung wird kontrovers diskutiert. Auswertungen von Fleming et al. (2017) legen weiterhin nahe, dass der Abrieb deutlich zunimmt. Hier ist eine vergleichende Untersuchung notwendig, die die Gesamtemissionen verschiedener verfüllter und unverfüllter Varianten (Granulate und Fasern) in den Blick nimmt. Innovationspotenziale finden sich bei mineralischen Einstreumaterialien in der Optimierung der Kornform, um Verschleiß und Härtezunahme bei Frost zu vermeiden. Durch modifizierte oder alternative mineralische Füllstoffe könnten Verbesserungen erzielt werden. Als Alternativen zu herkömmlichem Quartzsand werden Zeolithe und gerundete Sande angeboten (Handelsnamen: Zeolite, Durafill, Envirofill). Ihnen werden verschiedene Vorteile (Wasserdurchlässigkeit, Wasserspeicherfähigkeit, Verschleißminderung etc.) zugeschrieben. Einstreumentelle Vergleiche dazu sind aber bislang nicht verfügbar.

Die Kriterien für Bioabbaubarkeit und natürliche Polymere werden im Rahmen der geplanten ECHA-Beschränkung sehr eng gefasst. Als natürliche Polymere gelten nur solche, die keiner chemischen Umwandlung (ausgenommen einer Hydrolyse) unterzogen wurden. Selbst Polymere, die eine intermediäre Umwandlung erfahren wie Viskose oder Zellglas (Zellophan) werden in der Regel als nicht natürlich eingestuft, während Lyocell, das chemisch identisch ist und nur mechanische behandelt wird, als natürlich gilt. Als natürliche Polymere kommen Materialien wie Kork, Fasern oder Schalen von Kokosnüssen, Reisspelzen, Walnussschalen, Olivenkerne oder Holz (Fasern, Rinde) infrage. Es gibt bislang wenig Erfahrungen mit der Langzeitstabilität dieser Materialien. Während bspw. frisch aufgefüllter Kork sehr mobil ist und hohe Verlustraten aufweist (Platz D in dieser Studie), hat die Besichtigung eines älteren Korkplatzes in Dortmund ergeben, dass der Kork nach vielen Jahren eine humose, bodenähnliche Konsistenz besitzt. Inwieweit dies bspw. Pflege

<sup>&</sup>lt;sup>55</sup> https://www.bisp-surf.de/Record/PU201812008952; letzter Zugriff: 7.07.2021.

<sup>&</sup>lt;sup>56</sup> Sharma et al. 2016b.

<sup>&</sup>lt;sup>57</sup> Als Beispiel: https://www.artificialgrassliguidators.com/sand-infill-for-artificial-grass/; letzter Zugriff: 8.07.2021.



und Wartungsarbeiten entgegenwirkt oder beim EoL-Recycling Nachteile besitzt, ist noch unbekannt. Die Verwendung von natürlichen Materialien hat häufig Vorteile in Bezug auf den Carbon Footprint und reduziert die Überhitzung der Plätze, andererseits erfordern dies ggf. auch den Einsatz von Fungiziden oder antimikrobiellen Zusätzen.<sup>57</sup>

Die Anforderungen für biologische Abbaubarkeit im ECHA-Beschränkungsvorschlag richten sich nach den Vorgaben in verschiedenen Normen und Standards. Am ehesten geeignet für die Bewertung von Infilltypen scheint die Forderung nach 90 Prozent Abbau in Böden innerhalb von 24 Monaten (EN ISO 17556:2012). Es ist allerdings fraglich, ob ein Material gefunden werden kann, das auf dem Platz innerhalb von 10 bis 15 Jahren nicht oder nicht nennenswert abgebaut wird, ausreichend resistent gegenüber Pilzen und Mikroorganismen ist und gleichzeitig – sobald es in die umliegenden Böden gelangt – innerhalb von 2 Jahren weitgehend vollständig zersetzt wird. Im Weiteren müsste geprüft werden, ob abbaubare Polymere auch die hohen Temperaturen, die teilweise auf Plätzen herrschen, widerstehen, ohne anzuschmelzen und zu agglomerieren. Diesbezüglich wurden in der Vergangenheit mit verschiedenen Infilltypen negative Langzeiterfahrungen gemacht. Erste bioabbaubare Infilltypen auf Basis von Polyestern befinden sich bereits in der Markteinführung.<sup>58</sup>

-

<sup>58 &</sup>lt;a href="https://www.senbis.com/products/products-by-industry/sport-fields-landscape/biodegradable-grass-infill-greenfill">https://www.senbis.com/products/products-by-industry/sport-fields-landscape/biodegradable-grass-infill-greenfill</a>: letzter Zugriff: 7.07.2021.



# 8 Wie hoch sind die Infillverluste?

»Auf den untersuchten Plätzen betragen die durchschnittlichen Verluste an Performance-Infill 2,98 Tonnen pro Jahr und liegen damit noch über den Nachfüllmengen (2,68 Tonnen pro Jahr).

Die Verluste schwanken allerdings erheblich. Das 95 Prozent-Konfidenzintervall für Verluste aller Plätze gleicher Bauart liegt im Bereich von 1,29 bis 4,67 Tonnen pro Jahr.

Eine Korrelation zum Alter der Plätze wurde nicht festgestellt. Eine niedrige Dichte des Infills scheint hingegen den Austrag zu begünstigen.«

# 8.1 Bisherige Erkenntnisse

Es ist seit langem bekannt, dass vor allem das Performance-Infill aus Kunstrasenplätzen verlorengeht. Die bisherigen Abschätzungen zu Infillverlusten von nahezu allen Autoren basieren auf theoretischen Abschätzungen. Sie stützen sich vor allem auf Expertenaussagen und die Annahme, dass der Nachfüllbedarf und die Verlustmenge gleichzusetzen sind. Tabelle 8 gibt eine Übersicht der Schätzungen/Berechnungen verschiedener Autoren für verschiedene geografische Bezugsräume. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich hier um Verluste, nicht aber um die Einträge in bestimmte Umweltkompartimente (bspw. die Meere) handelt. In einigen der Studien werden auch Abschätzungen zu den Einträgen vor allem in die aquatische Umwelt vorgenommen.

Die Gleichsetzung von Nachfüllmenge und Verlust, die bislang vielfach als Grundlage für die Abschätzung verwendet wurde, wurde von Herstellern vielfach kritisiert, da sie einen großen Teil des Nachfüllbedarfs in der Kompensation der Kompaktierung sahen. Neuere Studien haben versucht, diesen Effekt der Kompaktierung zu berücksichtigen und erhalten deutlich geringere Verlustmengen (die entsprechenden Studien sind mit \* markiert; (vgl. Kap. 10.3). Das die Nachfüllung zur Kompensation einer Infillkompaktierung benötigt wird, konnte im Rahmen der experimentellen Untersuchungen für die vorliegende Studie nicht bestätigt werden (vgl. Kap. 7.2).

Die Studie von Regenell et al. (2019) hatte zum Ziel, an einem einzelnen Platz zu untersuchen, wie relevant der Abwasserweg für die Austräge ist und durch welche Maßnahmen sich die Austräge deutlich reduzieren lassen.<sup>59</sup> Die Studie gibt wenig Aufschluss darüber, wie sich die Verluste von Infill in der Vergangenheit und über die Gesamtzahl der Plätze darstellen.

Tabelle 8: Angaben zu Infillverlusten in der Literatur (\*Kompaktierung wurde berücksichtigt; \*\*Studie zur gezielten Minimierung der Emissionen an einem Modellplatz, Austräge über Wind und Regel auf umliegende Flächen wurden nicht betrachtet)

Region	Verlust [t/(Platz x Jahr)]	Quelle
Deutschland	1,2 bis 4,8	BUND 2019
Deutschland	0,25 bis 0,5	DFB/DOSB 2019
Deutschland	ca. 3,1	Bertling et al 2018
Norwegen	ca. 3	Sundt et al 2016
Niederlande*	< 0,3	Weijer et al. 2017
Schweden	3,0 bis 5,0	Magnusson et al 2016

<sup>&</sup>lt;sup>59</sup> Regnell 2019.

-



Schweden	2,0 bis 3,0	Magnusson et al. 2017
Schweden*	0,55	IVL 2019
Dänemark*	0,3 bis 0,7	Lokkegard et al. 2019 (DTI)
Dänemark	1,5 bis 2,5	Lassen et al 2015
Europa	1,2 bis 4,8	Hann et al 2018
FIFA-Plätze (Welt)	1,3 bis 5,0	Eunomia 2017
Einzelner Platz**	<0,1	Regnell 2019 (Ecoloop)

# 8.2 Infillverluste und Nachgranulierung auf den untersuchten Plätzen

Eine Bestimmung der Verlustmengen ist aus einer Bilanz möglich. Dazu werden die Infillmengen zum Zeitpunkt der Fertigstellung und die nachgefüllten Infillmengen addiert und anschließend die aus den Messungen bestimmte heutige Infillmenge subtrahiert. Die Differenz ist dann die Verlustmenge.

In Abbildung 22 sind die durchschnittlichen Nachfüllmengen pro Platz und die bilanzierten jährlichen Verluste je untersuchtem Platz dargestellt. Die durchschnittliche Nachfüllmenge beträgt 2,68 Tonnen pro Jahr (Median: 1,75 Tonnen pro Jahr) bei einer Schwankungsbreite von 0,25 bis 8,25 Tonnen pro Jahr. Die durchschnittlichen Verluste pro Jahr betragen 2,98 Tonnen pro Jahr (Median: 1,78 Tonnen pro Jahr) bei einer Schwankungsbreite von 0,27 bis 10,12 Tonnen pro Jahr.

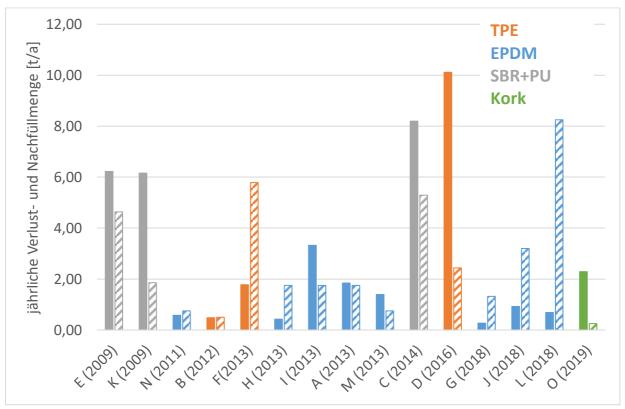


Abbildung 22: Infillverluste (gefüllt) und Nachfüllmengen (schraffiert) je Platz, nach Alter und Infilltyp



Die erheblichen Unterschiede zwischen Nachfüllmenge und Verlust zeigen, dass eine gezielte Nachführung des Infillniveaus im Rahmen der Platzwartung schwierig ist und kaum beherrscht wird. Es gibt dabei sowohl Plätze, bei denen die Nachfüllmenge hinter den Verlusten zurückbleibt, als auch solche, die höher gefüllt werden. Interessanterweise ist vor allem bei Plätzen, die sehr viel Infill verlieren, die Nachfüllmenge meistens deutlich geringer. Die hohen Verluste sind daher vermutlich nicht durch eine übertriebene Nachverfüllung verursacht.

Das 96 Prozent-Konfidenzintervall für den mittleren Verlust von Plätzen, die den untersuchten Plätzen ähnlich sind, liegt bei 1,29 bis 4,67 Tonnen pro Jahr, für die Nachfüllmenge bei 1,45 bis 3,92 Tonnen pro Jahr.

#### 8.3 Platz-Parameter mit Einfluss auf die Infillverluste

Hohe Infillverluste treten bei Plätzen auf, bei denen SBR+PU als Infill eingesetzt wird. Im Gegensatz dazu sind die Infillverluste bei Verwendung von EPDM tendenziell niedriger. Ein Grund dafür könnte die deutlich niedrigere Dichte des SBR+PU (ca. 1,2 kg/l) im Vergleich zum EPDM (ca. 1,6 kg/l) sein. Die niedrigeren Dichten können zu einer höheren Mobilität bspw. bei Niederschlägen führen. Der Vergleich mit TPE-Infill, das eine ähnlich hohe Dichte wie EPDM besitzt, ist heterogen, da ein Platz (D) besonders hohe Verluste aufweist.

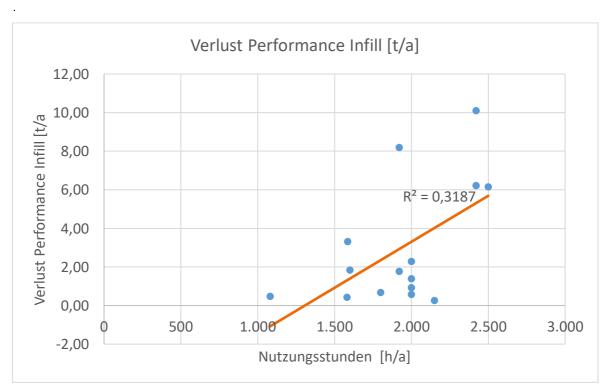


Abbildung 23: Infillverluste als Funktion der Nutzungsstunden

Bei einer Umrechnung der Massenverluste in Volumen oder Abnahme der Infillhöhe würde Kork mit seiner geringen Dichte von nur 0,3 kg/l die höchsten Verluste aufweisen. Bei der Besichtigung eines Platzes, der frisch mit Kork verfüllt war, entstand auch der Eindruck einer hohen Mobilität des frischen Korks. Bei älteren mit Kork verfüllten Plätzen weist Kork hingegen eine bodenähnliche, humose Konsistenz auf und die Mobilität ist eher geringer als bei Granulaten.



Eine Korrelation mit dem Alter des Platzes ist nicht erkennbar (r = -0.21, p = 0.43). Auch die häufig von Herstellern angeführte Argumentation, dass die Menge des Infills auf dem Platz mit den Infillverlusten korreliert, bestätigt sich nicht (r = 0.11, p = 0.85). Letzteres erscheint allerdings auch verständlich, da die Infillverluste durch Oberflächeneffekte (Spielbetrieb, Wind) verursacht werden dürften. Im Gegensatz dazu korreliert der Verlust recht gut mit der Zahl der Nutzungsstunden (r = 0.56; p = 0.03; Abbildung 23: Infillverluste als Funktion der Nutzungsstunden Abbildung 23). Hier wären weitergehende Untersuchungen zur Relevanz des Spielbetriebs sowie zu den konkreten Mechanismen, die zu einem Infill-Verlust führen, sinnvoll.



# 9 Was ist zum Faserverlust bekannt?

»Aus der Perspektive des Umweltschutzes ist es notwendig, nicht nur das Performance-Infill, sondern auch die Faserverluste in den Blick zu nehmen. Die wenigen vorliegenden experimentellen Untersuchungen lassen hohe Verluste an Kunstrasenfasern vermuten.

Der Austrag kann in Abhängigkeit von Fasereinsatzgewicht und Infilltyp variieren. Gleichzeitig steigt er vermutlich mit dem Alter des Platzes an. Bisherige Abschätzungen reichen von etwa 50 Kilogramm bis zu über 1 Tonne pro Jahr.

In welchem Maße diese Verluste ausgetragen werden, im Rahmen von Pflegearbeiten als Abfall erfasst oder im Kunstrasen verbleiben, ist nicht untersucht. Es ist aber augenscheinlich, dass der Austrag über die Spieler\*innen bei den Fasern eine besonders große Rolle spielt.«

Im Zentrum der gesellschaftlichen Debatte und wissenschaftlicher Analysen steht durch den geplanten Beschränkungsvorschlag der ECHA bislang vor allem das polymere Performance-Infill, bei dem es sich laut ECHA-Definition um intendiert zugesetztes Mikroplastik handelt. Aus Umweltsicht ist es aber weitgehend unerheblich, ob die Einträge durch intendierte Zugabe oder Verschleiß stattfinden. Es ist daher zu erwarten, dass auch Faserverluste zukünftig verstärkt in den Blick der Öffentlichkeit geraten werden. Dies gilt insbesondere, da sie zu deutlich kleineren und damit ggf. auch toxikologisch bedenklicheren Partikeln führen.

Die folgende Abbildung zeigt, wie sich Faserabrieb darstellt und wie diese bspw. durch die Kleidung und Schuhe der Spielenden ausgetragen werden können. Die Anhaftung ist laut Spieleraussagen an verschiedenen Tagen sehr unterschiedlich. Elektrostatische Effekte und Feuchtigkeit könnten hier relevante Parameter sein, welche die Anhaftung beeinflussen.



Abbildung 24: Faseranhaftung an Kleidung und Schuhen. [Quelle: Zimmermann, Ökopool 2021]



Fleming et al. untersuchten in einer Langzeitstudie zur Pflege und Performance an 450 Kunstrasenplätzen unter anderem das Verschleißverhalten des Kunstrasenteppichs.<sup>60</sup> In Bezug auf die Faserlänge stellten sie eine durchschnittliche Reduktion von 0,32 Millimetern pro Jahr für 3G-Plätze fest. Rein sandverfüllte Plätze (2G) wiesen höhere Verschleißraten auf (0,42 Millimeter pro Jahr). Die Verlustrate nimmt dabei mit dem Alter der Plätze zu (Jahr 0 bis 5: 0,2 Millimeter pro Jahr, Jahr 5 bis 10: 0,5 Millimeter pro Jahr), was ein Hinweis auf Alterung und Versprödung der Fasern ist.

Die Platze in der vorliegenden Studie haben Fasergewichte von 1000 Gramm pro Quadratmeter bei verfüllten Plätzen (Polhöhe: 40 Millimeter), 2.690 Gramm pro Quadratmeter bei rein sandverfüllten Plätzen (Polhöhe: 30 mm) und 2.970 Gramm pro Quadratmeter bei unverfüllten Plätzen. Würde man die von Flemming et al. ermittelten durchschnittlichen jährlichen Faserlängenverluste als proportional zu den Massenverlusten annehmen, ergäben sich Werte gemäß Tabelle 9.

Tabelle 9: Abschätzung der Faserverluste pro Jahr

Region	Platz- code	Baujahr	Polhöhe [mm]	Flächen- gewicht Kunstra- sen	Verlust nach Flemming et al.		Verlust nach Thieme- Hack	
				[g/m²]	Längenab- nahme [mm/a]	Berechnete Faserver- Iuste <sup>61</sup> [kg/a]	Gewichts- abnahme [%/a]	Berechnete Faserver- Iuste <sup>62</sup> [kg/a]
mit Perfor- mance-In- fill	J	2018	42	1.550	0,2	55	1,9	218
	Н	2013	40	1010	0,5	94	5,7	427
nur Sand	Р	2020	30	2690	0,42	280	1,9	380
unverfüllt	J	2013	32	2970	0,2	138	5,7	1256

Neuere systematische Untersuchungen zum Verschleiß wurden von Thieme-Hack et al. durchge-führt.<sup>63</sup> Dabei wurde nicht nur die Längenabnahme, sondern auch eine Dicken- und Gewichtsabnahme der Fasern bestimmt. Auch hier zeigte sich eine Zunahme des Verschleißes mit dem Alter der Plätze sowie eine Verstärkung des Verschleißes ab dem vierten Jahr. Allerdings beruhen die Messungen nur auf Analysen an wenigen Plätzen, sodass sich hier neben dem Alter auch andere Einflussfaktoren deutlich unterschiedlich auswirken könnten. Eine Anwendung der Verlustraten von Flemming und Thieme-Hack auf die in dieser Studie untersuchten Plätze (letzte und drittletzte Spalte in Tabelle 9) ist daher unsicher. Nichtsdestoweniger geben die Ergebnisse einen wichtigen Hinweis darauf, dass der Faserverschleiß hohe Werte bis hin zur gleichen Größenordnung wie die Granulatverluste annehmen kann. Hier sind vertiefende experimentelle Untersuchungen dringend erforderlich.

<sup>&</sup>lt;sup>60</sup> Sharma et al. 2016b.

<sup>&</sup>lt;sup>61</sup> Faserverlust pro Jahr = Flächengewicht Kunstrasen x Verlustrate nach Fleming / Polhöhe x 7.420 qm.

 $<sup>^{62}</sup>$  Faserverlust pro Jahr = Flächengewicht Kunstrasen x Verlustrate nach Thieme-Hack x 7.420 qm.

<sup>63</sup> Bußmann et al.



Die obigen Untersuchungen suggerieren, dass sich der Faserabrieb gleichmäßig über die Faser in Form von feinsten Verschleißpartikeln darstellt oder im Bruch der Faser quer zur Längsachse erfolgt. Dies sind aber nicht die einzigen Mechanismen, die zu Faserverlusten führen. Vorangegangene Untersuchungen eines Auftraggebers und die Begehung zeigten, dass ebenfalls ein Spleißen der Fasern sowie das Herausziehen kompletter Fasern aus dem Backing auftreten können (Abbildung 25). Die Splissbildung ist dabei vor allem bei Fasern mit komplexen Formen bspw. Doppel-S-Querschnitt anzutreffen. Die herausgezogenen Fasern waren nicht auf allen Plätzen im gleichen Maße erkennbar und deuten auf eine nicht ausreichende Fixierung durch die Latexbeschichtung im Teppichrücken des Kunstrasens hin. Beides scheinen aber dennoch Mängel zu sein, die auf vielen Plätzen auftreten und daher substanziell zum Mikroplastikaustrag beitragen dürften.

Die oben beschriebenen Formen an Faserverlusten sind nicht gleichzusetzen mit der emittierten Menge. Es ist zu erwarten, dass große Mengen Infill gebunden werden oder bei Reinigungsmaßnahmen entfernt werden. Hierzu liegen bislang keine Daten vor. Dennoch scheint gerade bei den Fasern der Austrag über die Spielenden und deren Kleidung besonders relevant zu sein. Hier würden sich Untersuchungen anbieten.



Abbildung 25:Spleißen von Fasern (Platz F) (I.), herausgezogene Fasern (Platz H; gelb eingerahmt sind weiße Fasern von der Spielfeldmarkierung erkennbar) (r.)



# 10 Über welche Pfade wird das Infill ausgetragen und wo bleibt es?

»Gummigranulat wird aus Kunstrasenplätzen ausgetragen und findet sich nahezu überall in der Platzumgebung.

Insbesondere Starkwind und Starkregen sorgen für die Ausbreitung der Emission über die Platzumgebung hinaus. Dies belegen Funde von Gummigranulat an unzugänglichen Punkten, teilweise sehr weit vom Platz entfernt. Eine weitere Ausbreitung geschieht häufig über den Wasserweg.

Orte des Verbleibs für Infill sind häufig natürliche oder künstliche Barrieren, z. B. Grünflächen oder Bauwerke, die die weitere Mobilität des Infills verhindern. In der Umgebung können recht große Mengen an Granulat akkumulieren, ohne dass dies in jedem Fall visuell erkennbar ist. Der endgültige Verbleib des Infills hängt von der Anlage des Platzes und des Platzumfelds und von den geographischen Gegebenheiten vor Ort ab.«

Um Erkenntnisse zu Transfer und Verbleib von Platzinfill zu gewinnen, erfolgte eine Vorortbegehung aller Plätze der Studienpartner. Die gewonnenen Erkenntnisse beruhen auf Befragungsergebnissen und qualitativen Beobachtungen sowie der Auswertung aktueller Studien zum gleichen Thema. Eine mengenmäßige Erfassung des in die Umwelt emittierten Infills oder eine systematische Verfolgung und Bilanzierung einzelner Transferpfade waren nicht Bestandteil der Studie.

# 10.1 Beobachtungen aus den Platzbegehungen

Bei den Begehungen von 20 Kunstrasenplätzen in der Schweiz und in Deutschland zeigte sich deutlich, dass auf dem Kunstrasenplatz befindliches Infill insbesondere in die nähere Platzumgebung und darüber hinaus emittiert. Emissionen von Kunstrasenfasern sind seltener, finden aber auch statt. Es stellt sich die Frage, welche Wege das emittierte Infill nimmt und wo es letztendlich verbleibt. Für die in Kapitel 7 bestimmten Infillverluste können grundsätzlich über folgende Szenarien zum Verbleib unterschieden werden:

- a) sie werden als fester Abfall erfasst und entsorgt
- b) sie gelangen über die Entwässerung in die Siedlungswasserwirtschaft
- c) sie werden in die umgebende Fläche verfrachtet

Es wurde auf allen verfüllten Plätzen Infill, Granulat und Fasern in der näheren und der erweiterten Platzumgebung gefunden. Aufgrund der grünen, braunen oder schwarzen Färbung des Infills ist es zunächst nicht leicht identifizierbar. Sobald das Auge allerdings etwas geschult ist, erkennt man Granulat an vielen Punkten in der Umgebung der Plätze. Wie und wohin die Gummigranulat und Rasenfasern in die Umwelt verfrachtet werden, hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab. Neben natürlichen Einflüssen wie Wind oder Niederschläge spielen die geographische Lage, die Nutzungsfrequenz des Platzes, Reinigungs- und Pflegezyklen und die Art der Platzentwässerung sowie die bauliche Ausführung (angrenzende befestigte Flächen, Randstein, Barrieren, Tribünen, Wälle) eine wichtige Rolle. Ein Teil des Infills nimmt den Weg des Wassers, was durch Inspektionen der Rinnen, Schächte und Gullys bei den Platzbesichtigungen belegt wurde (Abbildung 26).





Abbildung 26: Gummigranulat in Schächten und Rinnen

Gummigranulat und Rasenfasern bleiben oft neben dem Platz liegen. In den Befragungen wurden Entfernungen vom Rand des Spielfeldes von bis zu 20 Metern für emittiertes Infill genannt. Je nachdem, ob sich Granulat und Fasern auf einer Rasen- oder Pflasterfläche befinden, verharrt das Infill dort oder es wird durch Wind und Niederschläge weiterbewegt oder durch Reinigungsmaßnahmen entfernt (Abbildung 27).







Abbildung 27: Infill neben dem Platz auf befestigten und unbefestigten Flächen

Eine Umfriedung des Kunstrasenplatzes kann den Infilltransfer reduzieren. Der Rückhalteeffekt von Barrieren war offensichtlich (Abbildung 28). Gleichzeitig wurden aber auch Partikel an erhöhten Positionen wie in Dachrinnen gefunden, was die Frage nach einer sinnvollen Ausführung und insbesondere nach der notwendigen Höhe von Barrieren zur Rückhaltung von Infill und Fasern stellt.



Abbildung 28: Barriere um einen Kunstrasenplatz (l.), Granulate in der Dachrinne einer Garage in einer Entfernung von ca. 15 Metern zum Kunstrasenplatz (r.)

Leider existieren bis heute keine umfassenden Untersuchungen zur Erfassung und Entsorgung von Granulaten und Kunstrasenfasern als feste Abfälle, so dass letztlich in Kapitel 7 zwar die Verluste bestimmt wurden, eine Quantifizierung des Übergangs und Verbleibs in die Umwelt bislang aber nicht möglich ist.

Eine Abschätzung soll zum Vergleich des optischen Eindrucks in der Platzumgebung und des in Kapitel 7 bestimmten quantitativen Infillverlusts dienen. Es wird dazu angenommen, dass eine Menge von 2,9 Tonnen pro Jahr emittiert wird, von der aber nur ein Teil auf die den Platz umgebenden Flächen verfrachtet wird. Die übrigen Anteile werden direkt als Abfall (bspw. nach einer Reinigungsmaßnahme oder Schneeräumung) erfasst, gelangen unmittelbar in die Entwässerung oder werden durch die Spielenden und ihre Kleidung fortgetragen. Die relevante umgebende Fläche wird mit ca. 8.640 Quadratmetern abgeschätzt (entsprechend einem Abstand vom Spielfeldrand von etwa 20 Metern). Für das Infill wird weiterhin eine Dichte von 1,5 Kilogramm pro Liter und eine Partikelgröße von 2,5 Millimetern angenommen. Unter Berücksichtigung verschiedener Reinigungsintervalle und einer Variation des Anteils, der auf die umgebenden Flächen verfrachtet



wird, ergibt sich eine durchschnittliche Partikelbelegung (Partikel pro Quadratmeter) gemäß Tabelle 10. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Partikel durch Wind und Niederschläge weitertransportiert werden können und dass die angegebenen Partikelbelegungen Maximalwerte unmittelbar vor einer Reinigungsmaßnahme darstellen. Weiterhin sind die Partikelbelegungen an Randsteinen und Banden sowie in Rillen und Fugen deutlich höher, auf glatten Flächen eher niedriger als die Durchschnittswerte. Gemäß den Angaben der Platzbetreibenden liegen typische Reinigungsintervalle im Bereich von wöchentlich bis monatlich. Realistisch erscheinen nach visuellen Eindruck bei der Begehung durchschnittliche Partikelbelegungen (Anzahl der Partikel pro Quadratmeter) von einigen Hundert Partikeln pro Quadratmeter. Dies spricht einerseits dafür, dass relevante Anteile der Verluste als Abfall erfasst, aber auch durch Wind und Wasser weitertransportiert werden. Andererseits wird aber auch deutlich, dass nennenswerte Mengen emittieren können, ohne dass die Platzumgebung dafür einen deutlich verschmutzten Eindruck machen muss.

Tabelle 10: Durchschnittliche Partikelbelegung (= Partikelanzahl pro Quadratmeter) in Abhängigkeit des Anteils der auf die umgebenden Flächen verfrachtet wird und der Häufigkeit der Reinigung bei einer Verlustmenge von 2.9 Tonnen pro Jahr

Partikelbelegung [Partikel/m2]		Anteil, der auf umgebende Flächen verfrachtet wird				
		5 %	25 %	100 %		
	Wöchentlich	26	132	526		
Reinigungs- intervall	Monatlich	114	570	2.280		
	quartalsweise	342	1.710	6.841		

#### 10.2 Wissensstand aus aktuellen Studien

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus Studien für Dänemark, die Niederlande und Schweden diskutiert, die sich ebenfalls mit dem Verbleib des Mikroplastiks auseinandergesetzt haben. Die Studien wurden auch vom BIR Tyre&Rubber Committee für ein Positionspapier verwendet.<sup>64,65,66</sup> Im Weiteren wird ein neuerer Übersichtsartikel von Verschoor et al. ausgewertet.<sup>67</sup>

Alle Studien gehen in ihrer Abschätzung zu Infill-Verlusten vom Nachfüllbedarf aus. Die vorliegende Studie analysiert stattdessen die ursprüngliche Infillmenge bei Fertigstellung, die insgesamt nachgefüllte Menge sowie den aktuellen Stand der Infillmenge (vgl. Kap. 8.2). Auf diese Weise wird berücksichtigt, dass sich das Infill auf den Plätzen sowohl an- als auch abreichern kann. In den bisher vorliegenden Studien wird lediglich von einer Anreicherung durch Kompaktierung ausgegangen. Bspw. wird in der Studie des DTI argumentiert, dass die Infillmenge in weiten Bereichen schwanken kann, ohne dass dies seitens des Platzwartes bemerkt werden muss. Diese Argumentation wird aber nur in Bezug auf die Anreicherung durch Kompaktierung, nicht aber in Bezug auf mögliche Verluste verwendet.

# Kompaktierung

Die Studien sehen einen wesentlichen Anteil für den Nachfüllbedarf in der Kompaktierung (DTI: 67 bis 87 Prozent, Weijer: 51 bis 94 Prozent, IVL 20 Prozent bis über 50 Prozent). Diese Schätzung

<sup>&</sup>lt;sup>64</sup> BIR Tyre & Rubber Committee 2019; die schwedische Studie ist nur in Schwedisch verfügbar. Die Daten wurden daher aus der dieser Sekundärquelle entnommen.

<sup>&</sup>lt;sup>65</sup> Regnell 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>66</sup> Weijer und Knol 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>67</sup> Verschoor et al. 2021.



basieren auf theoretischen Annahmen, Laboruntersuchungen und einer Feldstudie an einem einzelnen Platz. Die eigenen experimentellen Untersuchungen lassen eine Anreicherung von Performance-Infill aufgrund von Kompaktierung als eher unwahrscheinlich erscheinen. Auch wenn dies für einzelne Plätze durchaus möglich ist, konnte kein genereller Trend zur Anreicherung festgestellt werden – im Gegenteil scheint es eher, als würde die Menge auf den Plätzen im Durchschnitt über die Lebensdauer abnehmen. Dieser Punkt wurde bereits in Kapitel 6.3 diskutiert.

# Als Abfall erfasste Mengen

Weijer et al. haben die Infillmengen, die durch Wartungs- und Reinigungsmaßnahmen anfallen, bestimmt.<sup>68</sup> Sie führten dazu eine Analyse zu Häufigkeit, Mengenvolumen und Zusammensetzung des Kehrichts durch und kommen zum Ergebnis, dass die als Abfall erfassten Mengen bis zu 250 Kilogramm pro Jahr betragen kann. Eine Aussage darüber, wie hoch der Anteil des als Abfall erfassten Granulats ist, können aus den Untersuchungen nicht abgeleitet werden. Da die Granulatanteile über die Abfallmenge als konstant angesehen werden, steigen sie mit der insgesamt eingesammelten Abfallmenge.

#### **Austrag durch Spieler**

Für den Austrag durch Spielerinnen und Spieler liegen experimentelle Daten aus der Ecoloop-Studie für Schweden, 69 einer Erhebung aus Norwegen 70 sowie der Studie von Weijer et al. vor. Es wurden Schuhe und Socken untersucht. Es ist jedoch auch ein Austrag über andere Kleidungsstücke denkbar. Die Studien zeigen, dass der Austrag abhängig ist von der Spielzeit und der Umgebungsfeuchte. Vor allem bei hoher Luftfeuchte oder Regen waren die Austräge pro Spielendem deutlich höher. Sowohl in der DTI-Studie<sup>71</sup> als auch in der Publikation von Verschoor wurde die norwegische Erhebung als verlässlichste Quelle angegeben. Im Durchschnitt ergaben sich ca. 0,9 g pro Person bei einer Spielzeit von ca. 30 Minuten. Die norwegische Studie zeigte ebenfalls, dass die ausgetragene Menge mit der Spieldauer zunimmt. Die Ecoloop-Studie zeigt Austräge in derselben Größenordnung: 0,7 Gramm pro Spielendem bei trockenen Verhältnissen und 2,2 Gramm bei Nässe. Insgesamt scheinen durchschnittliche Austräge von 1 bis 1,5 Gramm pro Person und Trainings- bzw. Spieleinheit realistisch. Bei einer Nutzungsintensität von ca. 1.900 Stunden pro Jahr und einer durchschnittlichen Zahl von 30 Spielerinnen und Spielern pro 120 Minuten (im Spiel: 23 Personen, im Training zum Teil deutlich höher) ergibt sich ein durchschnittlicher Austrag von 28 bis 43 Kilogramm pro Platz und Jahr. Eine regelmäßige Befeuchtung des Platzes im Sommer und eine intensivere Nutzung (mehr Spielstunden, mehr Personen) kann die ausgetragene Menge deutlich steigern. Es ist zu erwarten, dass ein Großteil der ausgetragenen Mengen auf befestigten Flächen und im Abwassersystem landet oder als Abfall entsorgt wird.

# Pflege- und Wartungsarbeiten

Schneeräumarbeiten werden häufig als mögliche Ursache für Infillverluste benannt. Vor allem wenn große Schneemassen zu beseitigen sind oder die Beseitigung erst nach einem Tau-Frost-Zyklus stattfindet, werden große Mengen Infill mitgeräumt. Sofern diese außerhalb des Platzes oder auf unbefestigten Flächen gelagert oder verschmutzt werden (bspw. mit Laub oder Gras),

<sup>&</sup>lt;sup>68</sup> Weijer und Knol 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>69</sup> Regnell 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>70</sup> Verschoor et al. 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>71</sup> Lokkegaard et al. 2019.



kann dies den vollständigen Rücktransport des Infills behindern (Abbildung 29). Durch Schmelzen , Regen sowie Wind kann das Infill in die Entwässerung oder auf angrenzende Flächen gelangen.



Abbildung 29: Ansammlung von Granulatmassen am Spielfeldrand bei großen Schneemassen (I.),<sup>72</sup> Verunreinigungen mit Laub (r.)<sup>73</sup>

Neben der Schneeräumung ist auch die Entfernung von Laub, das vor allem im Herbst auf den Spielfeldern landet, ein Teil der Wartungsarbeiten. Dabei werden häufig Laubbläser eingesetzt, die Strömungsgeschwindigkeiten bis über 400 km/h bzw. über 100 m/s erreichen. Bereits ab Strömungsgeschwindigkeiten von 5 m/s tritt Winderosion an Bodenpartikeln auf. Die Dichte von Bodenpartikeln (Ton, Schluff, Sand) liegt im Bereich von 1,8 bis 3,8 Kilogramm pro Liter und ist damit höher als die des Performance-Infills (1,1 bis 1,7 Kilogramm pro Liter). Es ist daher davon auszugehen, dass trotz deutlich größerer Partikelgröße durch die Laubbläser durchaus große Mengen an Granulat ausgetragen werden können. Vor allem dann, wenn der Platz trocken ist und damit geringe kohäsive Kräfte auf das Granulat wirken. Weiterhin ist insbesondere dann mit Verlusten zu rechnen, wenn das Laub und damit auch das Granulat durch die Laubbläser an die Ränder des Platzes verfrachtet wird. Detaillierte Untersuchungen zum Einfluss und Umfang des Austrags mittels Laubbläsern, die auch Produkteigentschaften wie Partikelgröße, -form und -dichte berücksichtigen, liegen bislang nicht vor. Gemeinsam mit dem Laub könnte das Granulat in die Bioabfallbehandlung und damit in die Kompostierung gelangen mit anschließender landwirtschaftlicher oder gartenbaulicher Verwendung.

Darüber hinaus können Granulatverluste durch das Reinigen und Aufbürsten des Platzes entstehen. Es ist davon auszugehen, dass der Großteil der dabei gesammelten Infillmenge der Abfallbeseitigung zugeführt wird (s. o.). Des Weiteren wurde in der Ecoloop-Studie<sup>75</sup> untersucht, wieviel Infill an den Arbeitsmaschinen selber haftet und durch diese ausgetragen wird. Die Menge wurde auf ca. 24 Kilogramm pro Platz und Jahr bestimmt. Sie ist aber stark abhängig davon, ob und wie häufig Wartungs- und Pflegemaßnahmen bei nassen Bedingungen durchgeführt werden und ob und wie die Maschine vor Verlassen des Platzes gereinigt wird.

<sup>72</sup> https://www.safehealthyplayingfields.org/maintenance-synthetic-turf; letzter Zugriff: 5. Juli 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>73</sup> https://eu.northjersey.com/story/news/local/2018/12/05/new-milford-nj-working-toward-reopening-field-closed-snow-removal/1862591002/; letzter Zugriff: 5. Juli 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>74</sup> Vgl. dazu: <a href="https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenerosion-durch-wind.html">https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenerosion-durch-wind.html</a>; letzter Zugriff: 5.07.2021.

<sup>&</sup>lt;sup>75</sup> Regnell 2019.



#### Austrag über Niederschläge

Weijer et al. untersuchten den Schlamm auf Granulate in je einem Regenwassersammelschacht pro Platz. Dabei wurden die jährlichen Verluste über den im Schlamm enthaltenen Rückstand an Infill abgeschätzt. Dies kann aber kaum zu brauchbaren Ergebnissen führen, da unklar ist, welche Anteile des Infills in den Schlamm übergegangen sind und ob nicht durch Starkregenereignisse große Schlammmengen ausgetragen werden. Die angegebenen Werte von unter 1 Kilogramm pro Platz und Jahr erscheinen – auch im Vergleich mit den bei den Inspektionen der Schächte und Rinnen im Rahmen der Platzbegehungen festgestellten Mengen – vor allem bei Plätzen mit umlaufenden Entwässerungsrinnen zu gering. Ergänzend bestimmten Weijer et al. die Menge im Schlamm von Entwässerungsgräben, die sie auf 4 bis 6 Kilogramm pro Jahr abschätzten. Auch hier ist fraglich, ob die getroffene Annahme einer vollständigen Sedimentation der Granulate in den Entwässerungsgräben die Realität ausreichend genau abbildet.

In der Studie von Regnell wurden in den Sammelschächten Filter mit 200 Mikrometer Porengröße installiert, so dass quantitativ eine nahezu vollständige Rückhaltung gegeben ist. Die Mengen an Mikroplastik wurden zu ca. 15,5 Kilogramm pro Jahr bestimmt. Dabei soll allerdings der Gummianteil an allen identifizierten Polymeren nur 26 Prozent betragen. Stattdessen wurden großen Anteile an PUR (es könnte sich um das Coating des ELT handeln) und Polyolefinen (hier dürfte es sich um Kunstrasenfasern handeln) identifiziert. Unklar ist bei dem von Regnell untersuchten Platz, wie die Rinnen genau ausgeführt waren und wo die Schächte platziert wurden.

#### Austrag über Wind

Der Austrag über Wind wird in den verschiedenen Studien als weitgehend irrelevant eingestuft. Diese Aussage dürfte für Windverhältnisse im normalen Bereich gelten. Die kritische Windgeschwindigkeit, bei der Partikel anfangen, sich über Sprünge (Saltation) zu bewegen, beträgt für Partikel mit einem Durchmesser von 0,5 Millimeter ca. 9 Meter pro Sekunde, für Partikel mit 1 Millimeter ca. 13 Meter pro Sekunde.<sup>76</sup> Dies entspricht einer Windstärke von etwa 6 auf der Beaufort-Skala. In Deutschland und der Schweiz muss über einen Zeitraum von 5 Jahren auf allen Flächen mit mindestens einer Windböe mit Geschwindigkeiten von über 25 Meter pro Sekunde gerechnet werden<sup>77</sup> – Geschwindigkeiten, die weit oberhalb der notwendigen Geschwindigkeit für Bodenerosion liegen. Drei solcher Ereignisse sind über die Lebensdauer eines Kunstrasenplatzes wahrscheinlich. Böen mit Geschwindigkeiten über 11 Meter pro Sekunde (6 auf der Beaufort-Skala) treten deutlich häufiger auf.<sup>78</sup>

Ob und in welchem Umfang der Wind Infill bewegen kann, hängt auch von der Feuchte des Platzes bzw. Granulates ab. Da in Mitteleuropa Winterstürme dominieren, ist davon auszugehen, dass die dann überwiegend vorliegende hohe Platzfeuchte die Bewegung durch Wind in vielen Fällen behindert. Der Wind wird zur Verbreitung vor allem dann beitragen, wenn das Infill durch den Spielbetrieb oder eine Pflegemaßnahme bereits aufgelockert ist oder auf einem verdichteten Kunstrasen mit umgeknickten Fasern aufliegt. Auch Granulat, das durch Reinigung und Spielbetrieb bereits auf befestigte Flächen verlagert wurde, kann durch Wind weitertransportiert werden.

<sup>76</sup> Rijn 2019 (die in der Quelle angegebenen Werte gelten für Partikel mit einer Dichte von ca. 2,6 kg/L. Die Dichte des Performance-Infill ist deutlich niedriger, so dass die kritischen Windgeschwindigkeiten bei angenommener gleicher Partikelgröße tendenziell noch niedriger sein sollten).

<sup>77</sup> https://www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/030136/index.php; letzter Zugriff: 8.07.2021.

<sup>78</sup> Je nach Standort ist dies in 0,1 bis 10 Prozent der Zeit der Fall; vgl. dazu: Lefebre et al. 1983



Ebenso bieten offene Bigbags oder Granulatanhäufungen (bspw. nach einer Schneeräumung) dem Wind eine gute Angriffsfläche, so dass leicht größere Mengen austragen werden können.

#### Verbleib auf befestigten Flächen und umgebender Grünflächen

Verschorr et al. bestimmen die Mengen an Infill auf befestigten Flächen aus visuellen Vergleichen mit Referenzflächen bekannter Granulatbelastung. Durch Hochrechnung auf die gesamte befestigte Fläche wird geschätzt, dass jährlich rund 60 Kilogramm pro Jahr auf diesen Flächen landen. Die eigene Fotodokumentation der Platzbegehungen zeigt deutlich, dass die Ablagerung von Granulaten und Fasern sehr heterogen ist. An Randsteinen, Barrieren und in Rillen und Löchern akkumulieren große Mengen, während auf glatten Flächen nur wenig Granulate und Fasern zu finden sind. Eine visuelle Bestimmung der Mengen ist daher schwierig (vgl. Kap. 10.1).

Sowohl Verschoor et al. als auch Weijer et al. haben die Grünflächen rum um Kunstrasenplätze beprobt. Weijer et al. haben an je 4 Proben in einer Breite von 0,5 Metern neben den befestigten Flächen Proben genommen und die Gehalte an Gummigranulat bestimmt. Es wurde dabei festgestellt, dass sich die Granulate vor allem in den oberen zwei Zentimetern befinden. Erst bei älteren Plätzen gelangen sie auch in Tiefen bis 7 Zentimetern. Ausgehend von der Gesamtfläche und dem sich aus der Probennahmetiefe ergebenden Volumen berechnen sie einen Eintrag von 15 bis 260 Kilogramm pro Jahr und Platz. Eine lateral ortsaufgelöste Messung erfolgte nicht. Diese hätte es erlaubt, Aussagen zur Größe der mit Granulaten belasteten Flächen abzuschätzen. Verschoor et al. haben in einer Breite von 2 Metern vom Rand der befestigten Flächen und einer Tiefe bis 10 Zentimetern beprobt und durchschnittliche Gehalte bis zu 1,3 Prozent an Gummigranulat bestimmt. Daraus lassen sich Einträge von ca. 175 Kilogramm pro Jahr abschätzen, sofern die Fläche auch in diesem Fall auf die beprobte Fläche begrenzt wird. Die von Weijer und Verschoor unabhängig voneinander gefundenen hohen Gehalte an Gummigranulat in den umgebenden Grünflächen sind ein Hinweis auf hohe Mobilität und nennenswerte Austräge aus den Spielfeldern. Zukünftig sollte die Umgebung von Spielfeldern systematisch beprobt werden, um festzustellen, auf welchen Flächen und bei welchen lokalen Gegebenheiten (Barrieren, Wälle, Banden etc.) sich welche Mengen an Gummigranulat anreichern.

#### 10.3 Massenbilanzen

Das Danish Technological Institute DTI in Kopenhagen hat für Dänemark literaturbasiert eine Massenbilanz zu Transfer und Verbleib von Gummigranulat von Kunstrasenplätzen erstellt (Abbildung 30).<sup>79</sup> Das DTI geht hierbei von einem durchschnittlichen Infillverbrauch von 2,2 Tonnen je Platz aus.

-

<sup>&</sup>lt;sup>79</sup> Lokkegaard et al. 2019.





Abbildung 30: Massenbilanz zu Verbrauch, Transfer und Verbleib von Infill – Fallbeispiel vom DTI für Dänemark

Gemäß der Massenbilanz werden jährlich zwischen 1.470 und 1.900 kg/a (67 bis 86 Prozent) des Infillverbrauchs dafür verwendet, um Effekte der Platzverdichtung auszugleichen. 250 kg/a (11 Prozent) Infill migriert und gelangt so auf Flächen und Böden in unmittelbarer Nähe des Platzes, z. B. Pflasterungen oder Grünflächen. Zwischen 0 und 240 kg/a (0 bis 11 Prozent) Infill werden durch Schneeräumung vom Platz entfernt. 10 bis 200 kg/a (9 Prozent) Infill verlassen mit abflie-Bendem Wasser den Platz. Lediglich 40 kg/a (1,8 Prozent) werden aufgrund des Spielbetriebs durch Schuhe und Kleidung vom Platz getragen. Vom Infill, das an Schuhen und Kleidung haftet, wird angenommen, dass die eine Hälfte als Kehricht in der Abfallverbrennung und die andere Hälfte z. B. über Waschmaschinen in der Kläranlage landet. Wegen der hohen Reinigungsleistung von Kläranlagen (96 Prozent Rückhalt) gelangen nach Schätzung des DTI lediglich 0,8 kg/a in die aquatische Umwelt. Nach Einschätzung des DTI fließt bis zu 60 Prozent des abfließenden Granulats einer Kläranlage zu, maximal 12 Prozent landen in Regenrückhaltesystemen und maximal 28 Prozent werden direkt in Gewässer abgeschlagen. Somit landen gemäß Bilanzierung vom DTI zwischen 0,11 und 1,64 Prozent der jährlich benötigten Infillmenge in der aquatischen Umwelt. Dabei geht das DTI davon aus, dass ca. 39 Prozent der betrachteten Plätze Shockpads besitzen, also deutlich weniger als in der Schweiz oder Deutschland, aber dennoch ein relevanter Anteil.

Abbildung 31 zeigt die Massenbilanz zu Transport und Verbleib von Platzinfill für Schweden, durchgeführt vom schwedischen Umweltforschungsinstitut (IVL). Der Anteil der Verdichtung am Infillverbrauch ist, ähnlich wie bei der DTI-Bilanz, größter Treiber für den Infillverbrauch.



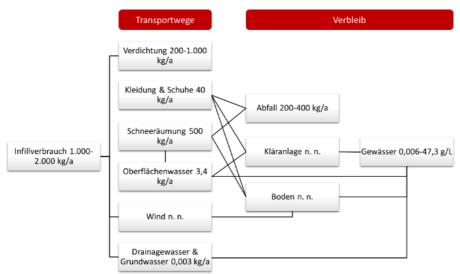


Abbildung 31: Massenbilanz zu Verbrauch, Transfer und Verbleib von Infill – Fallbeispiel vom IVL für Schweden<sup>80</sup>

Sowohl DTI, IVL, die Studie von Weijer et al. als auch die Übersichtspublikation von Verschoor gehen davon aus, dass große Teile des Nachfüllbedarfs zum Ausgleich der Kompaktierung dienen. Die Mengen, die in die terrestrische Umwelt gelangen, basieren in allen Studien auf den Arbeiten von Weijer et al. und Verschoor. Erstaunlicherweise benennen Verschoor et al. in ihrer eigenen überschlägigen Massenbilanz diesen Pfad gar nicht mehr, obwohl sie die experimentellen Daten in ihrer Veröffentlichung diskutieren.

Im Gegensatz zu den oben genannten Studien verzichtet der IAKS Deutschland bei seiner Massenbilanz, die auf einer Mitgliederbefragung basiert, auf den Pfad Kompaktierung. Dennoch werden auch hier Nachfüllbedarf und Verluste gleichgesetzt. Der Nachfüllbedarf wird mit ca. 300 Kilogramm pro Platz angegeben. Abbildung 32 zeigt eine Massenbilanz für Deutschland, basierend auf den Angaben der IAKS.<sup>81</sup> Nach Einschätzung der IAKS sind Niederschläge und Windereignisse die Hauptaustragspfade bzw. Hauptreiber für Infillverlust. Der Rest des Infills verlässt den Platz über den Weg der Entwässerung, durch Schneeräumung sowie durch Anhaftung an Kleidung und Schuhen.

 $<sup>^{80}</sup>$  BIR Tyre & Rubber Committee 2019 (Primärquelle ist nur in Schwedisch verfügbar).

<sup>&</sup>lt;sup>81</sup> IAKS 2019.



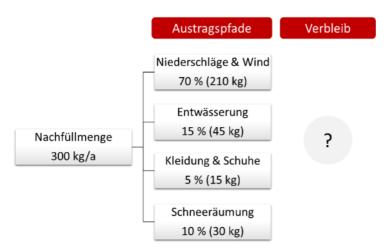


Abbildung 32: Massenbilanz zu Verbrauch und Transfer von Infill für Kunstrasenplätze in Deutschland

Keine der in den Studien vorgestellten Massenbilanzen ist aus Sicht der Autoren dieser Studie bereits ausreichend validiert. Es existieren noch zahlreiche Wissenslücken und auch die individuellen Unterschiede zwischen den Plätzen erschweren generalisierte Aussagen und würden für statistisch abgesicherte Aussagen eine deutliche Ausweitung der Zahl untersuchter Plätze erfordern. Der aktuelle Erkenntnisstand lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Vor dem Hintergrund der in Kapitel 6 und 7 durchgeführten Analysen zeigt sich, dass der Nachfüllbedarf nicht der Ausgangspunkt für eine Massenbilanz sein kann. Die Infillverluste finden aus dem Granulatbestand auf dem Platz statt und sind weitgehend unabhängig von der Nachfüllmenge
- Die Einträge über die Niederschlagsentwässerung standen bislang zu sehr im Fokus. Die Mengen erreichen bei den meisten Plätzen nur einen geringen Teil der zu erwartenden Gesamtemissionen und lassen sich durch recht einfache Maßnahmen (Filtereinbau) auch quantitativ weitgehend zurückhalten. Hier sollte allerdings untersucht werden, ob feinere Partikel oder Fasern ihren Weg durch die Filter oder auch den Unterbau des Platzes in die Gewässer finden können
- Einträge in die nahegelegene terrestrische Umwelt scheinen hingegen von großer Bedeutung. Sofern sich im Nahbereich des Platzes offene Gewässer befinden, ist auch hier mit direkten Einträgen zu rechnen. Ob die Einträge in Böden oder nahegelegene offene Gewässer eher durch Wind, die Spielenden oder Pflege- und Wartungsmaßnahmen verursacht werden, ist allerdings noch unklar und müsste zukünftig untersucht werden. Gleiches gilt für die zeitlich-räumliche Ausbreitung des Granulats in die Böden. Hierfür geben die Untersuchungen von Weijer et al. und Verschoor erste wichtige Hinweise
- Pflege- und Wartungsmaßnahmen werden dann zu massiven Austrägen führen, wenn die Granulat- und Fasermassen nicht auf dem Platz gelagert und wieder in den Kunstrasen eingearbeitet oder alternativ umgehend der Abfallentsorgung zugeführt werden. Grundsätzlich ist die übliche Wartung und Pflege des Platzes nicht darauf ausgelegt Infill- und Faserverluste zu verringern. Im Gegenteil kann aber eine aus Umweltsicht falsch ausgeführte Pflege den Austrag von Granulat in die Umwelt deutlich verstärken
- Für den Austrag über die Spieler\*innen gibt es eine erste gute Datengrundlage, die weiter verbessert werden sollte. Die Gesamtmenge allein über diesen Weg dürfte sich für Deutschland auf ca. 280 für die Schweiz auf ca. 16 Tonnen pro Jahr belaufen



 Zukünftige Untersuchungen müssen auch Faserverluste adressieren. Auch die Tatsache, dass sie bei Nässe, Schweiß oder durch Elektrostatik und aufgrund der deutlich kleineren Partikelgröße besser an Haut und Kleidung haften, ist dabei zu berücksichtigen.

Die nachfolgende Grafik (Abbildung 33) zum Infilltransfer und -verbleib entstand auf Basis der erhobenen Daten und der Platzbegehungen sowie in Anlehnung an die Studien von Ecoloop, IAKS, DTI und IVL. Sie dient als Grundlage für die Diskussion zu Transferpfaden und soll den Rahmen für zukünftige Massenbilanzen bilden. Um die Gewichtung der einzelnen Pfade realistisch abschätzen zu können, bedarf es nach Meinung von Fraunhofer UMSICHT eines langfristigen Infill-Monitorings mit Messungen und Probenahmen. Für wichtiger als die konkreten Zahlen hält Fraunhofer UMSICHT ein vertieftes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Eintragspfaden, Transportwegen und Verbleibsorten. Bei der Entwässerung wurde zwischen Abflüssen für Oberflächenwasser (Rinnen, Gullys etc.) und der Drainage für Sickerwasser unterschieden. Die Schneeräumung gehört zwar zur Platzpflege, ist aber aufgrund ihrer Relevanz für den Infillaustrag und der länderspezifischen Varianz des Schneefalls separat aufgeführt. Erkennen kann man, dass das Platzumfeld und die Kanalisation Akkumulationsräume für Infill sind. Diese sind temporär, da sich das Infill von diesen Ausgangspunkten bis zum letztendlichen Ablageort (Senke) weiterbewegt oder auf den Platz zurückverfrachtet wird.

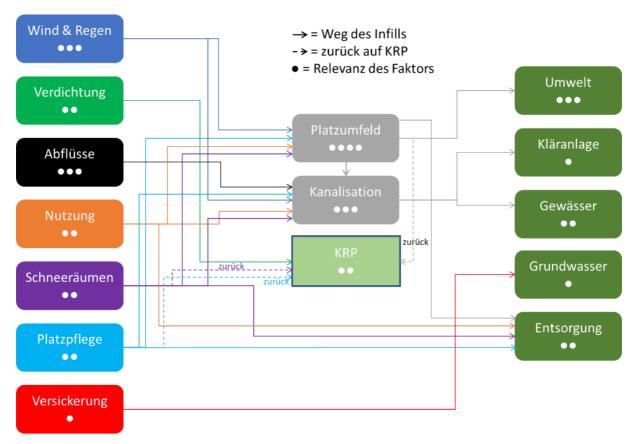


Abbildung 33: Transferpfade und Verbleib von Infill, schematische Darstellung [Fraunhofer UMSICHT]



# 11 Wie ist der Wissensstand bei weiteren Schadstoffen und den Wirkungen auf die Gesundheit?

» Kunstrasenplätze halten die Grenzwerte in Bezug auf verschiedene Schadstoffe weitgehend ein. Einige wenige Untersuchungen zeigen Grenzwertüberschreitungen für einzelne Schwermetalle. Gleichwohl gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Materialoptionen und Diskussionen und Untersuchungen zu Schadstoffen halten an.

Die kritische Betrachtung sollte neben den Performance-Infills auch die elastischen Schichten und die Kunstrasenfasern betreffen.

Die mögliche Überhitzung von Kunstrasenplätzen und ihre Relevanz für das urbane Mikro-klima als auch der Wasserbedarf um diesen Effekten entgegenzuwirken, sollten im Rahmen der Vorausplanung Berücksichtigung finden.«

# 11.1 Kritische Stoffe im System Kunstrasen

Kunststoffe, die für Kunstrasen und seine Komponenten verwendet werden, sind für die Anforderungen, die sich aus den Umwelteinflüssen (Sonneneinstrahlung, Temperaturwechsel, Niederschläge, Spielbetrieb, Wartung und Reinigung) ergeben, in der Regel mit stabilisierenden Additiven ausgerüstet. Bei einem weiteren Teil der Rohstoffe handelt es sich um Sekundärmaterialien, die bestimmte Additive und Schadstoffe aus der Primäranwendung geerbt haben (»legacy additives«). Einige von ihnen enthalten Stoffe, die Schadwirkungen auf Menschen und Umwelt verursachen (z.B. PAK, Schwermetalle, VOC und weitere). Allerdings liegen die freigesetzten Mengen häufig unterhalb der aktuell geltenden Grenzwerte. Darüber hinaus finden sich zahlreiche Substanzen im Kunstrasen, für die noch weitere Forschungserkenntnisse fehlen.<sup>82</sup> Erfahrungsgemäß werden Grenzwerte häufig im Laufe der Zeit strenger. Gerade bei so langen Lebensdauern, wie sie für Kunstrasenplätze angestrebt werden, kann es dazu kommen, dass Verunreinigungen und Additivkonzentrationen, die heute noch akzeptabel sind, zukünftig so weit beschränkt werden, dass eine Weiternutzung oder Kreislaufführung behindert wird.

Für elastische Schichten zumeist in situ gefertigt, werden Gummigranulate und ein Bindemittel vermischt. Bei elastischen Tragschichten kommen zusätzlich mineralische Gesteinskörnungen hinzu. Die Gummigranulate (vorwiegend Styrol-Butadien-Kautschuk) stammen vorwiegend aus zerkleinerten Altreifen. Als Bindemittel von elastischen Trag- und Elastikschichten sowie zum Verkleben der Kunstrasenbahnen kommen Polyurethan-basierte Ein- (1K) und/oder Zweikomponentenkleber (2K) zum Einsatz. Gängige eingesetzte PUR-Kleber basieren häufig auf MDI (Diphenylmethandiisocyanat bzw. Methylendiphenyldiisocyanat), HDI (Hexamethylen-1,6-diisocyanat) oder TDI (Toluol-2,4-diisocyanat).

Isocyanate sind sehr reaktiv, aber auch giftig, wirken atemwegssensibilisierend und stehen (teilweise) unter dem Verdacht krebserregend zu sein (MDI und TDI).<sup>83,84</sup> Da gesundheitliche Probleme

<sup>82</sup> Perkins et al. 2019.

<sup>83</sup> GMBI 2009.

<sup>84</sup> Senthilkumar et al. 2012.



und vor allem allergische Reaktionen ohne vorherige Warnzeichen und schon bei minimalen Konzentrationen unterhalb der MAK-Grenzwerte von 0,005 ppm auftreten, gelten Isocyanate als besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC).<sup>85,86</sup> Trotz der strengen Grenzwerte für die maximale Konzentration am Arbeitsplatz<sup>87,88</sup> (MAK-Wert für TDI) kommt es durch Isocyanate nach Einschätzungen der Europäischen Kommission noch immer zu einer unannehmbar hohen Zahl an Berufserkrankungen.<sup>89</sup> Seit dem 3. August 2020 werden sie daher durch die REACH-Verordnung reglementiert. Demnach dürfen ab dem 24. August 2023 nur noch Produkte eingesetzt werden, die einen Anteil an Diisocyanaten von 0,1 Gew.-Prozent nicht überschreiten.<sup>90,91,92,93,94,95,96,97,98,99</sup> Im Weiteren gilt eine umfassende Schulungspflicht für die Mitarbeiter.

Bei Kunstrasenplätzen werden die Klebstoffe in der Regel vor Ort im Freien verarbeitet. Zwar sind bestimmte Schutzmaßnahmen im Umgang mit Isocyanaten nach der TRGS 430 vorgeschrieben (wie z. B. das Tragen von Schutzkleidung: Atemschutz, Augen- und Gesichtsschutz, Hand- und Hautschutz, Körperschutz), die MAK-Werte gelten jedoch nur für Innenräume. 100 Wie hoch die Konzentrationen beim Arbeiten im Freien in der Praxis sind und ob diese Konzentrationen eine Gefährdung darstellen können, wurde wissenschaftlich bisher nicht untersucht. Beim Abbinden der Isocyanate wird der Gefahrstoff im Kunststoff chemisch gebunden und dadurch immobilisiert. Für eine vollständige, emissionsfreie Umsetzung ist bei 2K-Systemen das exakte Einhalten der Mischungsverhältnisse und Verarbeitungsbedingungen wichtig. Bei ihrer Verarbeitung ist damit über den gesamten Prozesszyklus hinweg besondere Vorsicht geboten. Letztlich ist die Anwendung der Isocyanate nach heutigen Erkenntnissen aber vor allem eine Frage des Arbeitsschutzes, weniger eine Frage des Umweltschutzes. Im Brandfall können aus Isocyanaten jedoch kritische Produkte wie Blausäure, Cyanate, Kohlenmonoxid oder Nitrile entstehen. 101

Auf der Elastikschicht/elastischen Tragschicht bzw. auf dem Shockpad liegt der Kunstrasenteppich. Die Fasern sind auf der Rückseite der Matte mit Latex- oder einem Polyurethan-basierten

<sup>85</sup> Brandt et al. 2013.

<sup>&</sup>lt;sup>86</sup> WECOBIS 2021.

<sup>87</sup> GMBI 2009

<sup>&</sup>lt;sup>88</sup> GMBI 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>89</sup> Europäische Kommission 2020.

<sup>90</sup> Europäische Kommission 2000.

<sup>&</sup>lt;sup>91</sup> Europäische Kommission (EC) 2004.

<sup>92</sup> Europäische Kommission (EC).

<sup>&</sup>lt;sup>93</sup> Europäische Kommission (EC) 2014.

<sup>94</sup> EU-Kommission; EU-Parlament 08.05.2019.

<sup>95</sup> Europäische Kommission (EC) 2004.

<sup>&</sup>lt;sup>96</sup> Europäische Kommission (EC) 2014.

<sup>97</sup> Europäische Kommission (EC) 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>98</sup> EU-Kommission; EU-Parlament 08.05.2019.

<sup>&</sup>lt;sup>99</sup> Europäische Kommission 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>100</sup> GMBI 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>101</sup> Hensler 1995.



Klebstoff befestigt. Bei Kontakt mit dem Rasen und/oder den Infill-Granulaten kann es zu allergischen Reaktionen (Latexallergie) kommen. 102 Eine Zunahme oder Häufung an Fällen durch die Nutzung von Kunstrasenflächen ist allerdings nicht bekannt. Nichtsdestoweniger sind Latexallergien bei häufigem engen Kontakt ein relevantes Gesundheitsrisiko, das allerdings auch in vielen anderen Bereichen des täglichen Lebens auftritt (Schutzhandschuhe, Sportkleidung, Kondome etc). 103

In den meist aus Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) bestehenden Kunstgrasfasern können PFAS enthalten sein, da diese teilweise als Prozesshilfe bei der Faserherstellung eingesetzt werden. Per- und polyfluorierte Verbindungen können neurotoxische Effekte hervorrufen, endokrine Erkrankungen verursachen und schädigen das Immunsystem. Die Zerfallsprodukte sind zudem extrem persistent und akkumulieren in der Umwelt, beispielweise in Gewässern. Dadurch können Probleme bei der Trinkwassergewinnung und -reinhaltung entstehen. De und Tieren akkumulieren. Uber die Atemwege können sie auch in Menschen und Tieren akkumulieren. Aufgrund der hohen Anzahl verschiedener Verbindungen, die zu dieser Stoffgruppe gehören, wurden bisher nicht alle auf potenzielle Schadwirkungen hin überprüft. Nach den bisherigen Erkenntnissen gelten sie jedoch als hochgradig bedenklich. Darüber hinaus wurden in den Untersuchungen zu Fasern Spuren von potenziell schädlichen Schwermetallen nachgewiesen, allerdings nur in Konzentrationen, die nicht als gefährdend eingestuft wurden.

Zur Erhöhung der mechanischen Widerstandsfähigkeit werden Kunstrasenfasern additiviert. Neben Farbstoffen kommen in erster Linie UV-Stabilisatoren zum Einsatz, die den Kunststoff vor Versprödung und Bruch schützen sollen. Einige der organischen UV-Stabilisatoren wie Benzophenone, die in Performance-Infill nachgewiesen wurden, werden zu den endokrinen Disruptoren, also zu hormonaktiven Subtanzen, gezählt. Lichtschutzmittel, wie z. B. sterisch gehinderte Amine (HALS), sind giftig und können bei Kontakt Irritationen hervorrufen. Im Kontext von Kunstrasen wurden bisher allerdings keine negativen Auswirkungen auf den Menschen durch in den Fasern verwendete Additive nachgewiesen.

Wissenschaftliche Schadstoffanalysen der Infillgranulate fokussieren sich derzeit stark auf ELT-Granulate, da diese weltweit am meisten eingesetzt werden und seit einigen Jahren in der Kritik stehen. ELT-Granulate, die aus einem komplexen, leistungsfähigen Elastomer- und Addditv-Mix aus Altreifen hergestellt werden, enthalten zahlreiche Schadstoffe, darunter fünfundzwanzig verschiedene Schwermetalle, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, Phenole wie Bisphenol A, Phthalate, flüchtige und semi-flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds

<sup>&</sup>lt;sup>102</sup> BAG 2017.

 $<sup>^{103}\</sup> www. allergie informations dienst. de/krankheits bilder/weitere-krankheits bilder/latex allergie/verbreitung. html$ 

<sup>&</sup>lt;sup>104</sup> TURI 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>105</sup> Grandjean und Clapp 2015.

<sup>&</sup>lt;sup>106</sup> Sharma et al. 2016a.

<sup>&</sup>lt;sup>107</sup> TURI 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>108</sup> Grandjean und Clapp 2015.

<sup>&</sup>lt;sup>109</sup> BAG 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>110</sup> Schlumpf et al. 2004.

<sup>&</sup>lt;sup>111</sup> ChemBK 2021.



VOC; semi volatile organic compounds SVOC), verschiedene Chlorverbindungen, Furane und viele weitere. 112,113,114,115

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sowie andere organische Verbindungen (VOC) gasen während der Lebensdauer aus (zu Beginn wesentlich stärker als gegen Ende), insbesondere bei Temperaturerhöhung (z. B. im Sommer). Dies kann zu unangenehmen Gerüchen auf dem Platz führen. Darüber hinaus können die schädliche Substanzen in die Luft gelangen und verursachen damit Schadstoffemissionen, welche eingeatmet werden. Dieselnsten Bisherige Studien konnten jedoch keine negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nachweisen, da die Konzentrationen unterhalb der zulässigen Grenzwerte lagen. Das Belastungsniveau entspricht in etwa der typischen Hintergrundbelastung in einer Großstadt.

Auch durch Hautkontakt können in Granulaten enthaltene Schadstoffe aufgenommen werden. Die bislang untersuchten Kontaktzeiten weisen jedoch auf keine gesundheitlichen Risiken hin.<sup>122</sup> Diverse Autoren halten jedoch bei längeren und regelmäßigen Kontaktzeiten auf der Haut (z. B. durch Granulatstaub, der auf der Haut klebt) oder durch Ingestion (z. B. Staub, Aufwirbelungen oder durch Kleinkinder) Schadwirkungen für möglich.<sup>113,123</sup> Genauere wissenschaftliche Untersuchungen existieren dazu bislang nicht. Andere Studien gehen davon aus, dass orale Aufnahmewege grundsätzlich vernachlässigbar seien.<sup>124</sup>

Es ist zu erwarten, dass sich kritische Diskussionen um Inhaltsstoffe fortsetzen werden. In einem Review von insgesamt 43 wissenschaftlichen Untersuchungen wurden 306 verschiedene Substanzen und Chemikalien in SBR-Granulaten identifiziert. <sup>125</sup> Mit der Software ADMET-Predictor <sup>126</sup> wurden diese auf ihre potenzielle Kanzerogenität hin überprüft. Die Abkürzung **ADMET** (ADME-Tox) steht für **a**bsorption, **d**istribution, **m**etabolism, **e**xcretion und **t**oxicity. Das Programm dient zur Vorhersage potenzieller Schadwirkungen einzelner Substanzen auf den Menschen auf Grundlage der Eigenschaften bisher bekannter Schadstoffe. Das Ergebnis der Überprüfung war, dass 197 der 306 identifizierten Substanzen als vermutlich krebserregend eingestuft wurden. 61 Prozent dieser voraussichtlich schädlichen Substanzen werden von der amerikanischen Umweltbehörde (EPA)

<sup>&</sup>lt;sup>112</sup> Bocca et al. 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>113</sup> Marsili et al. 2014.

<sup>&</sup>lt;sup>114</sup> Schneider et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>115</sup> Perkins et al. 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>116</sup> Menichini et al. 2011.

<sup>&</sup>lt;sup>117</sup> Watterson 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>118</sup> Bei einer im Rahmen dieser Studie durchgeführten Umfrage der Platzbetreiber wurden jedoch keine negativen Geruchsbildungen als Problem benannt.

<sup>&</sup>lt;sup>119</sup> Cheng et al. 2014.

<sup>&</sup>lt;sup>120</sup> Claudio 2008.

<sup>&</sup>lt;sup>121</sup> Pronk et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>122</sup> Schlummer et al. 2018.

<sup>&</sup>lt;sup>123</sup> Hibbert et al. 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>124</sup> BAG 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>125</sup> Perkins et al. 2019.

<sup>126</sup> www.simulations-plus.com/software/admetpredictor/.



und 80 Prozent von der europäischen Chemikalien Agentur (ECHA) bisher nicht als Stoffe eingestuft, die potenziell schädlich sein könnten und damit stärker wissenschaftlichen Untersuchungen unterzogen werden müssten.<sup>125</sup>

Für EPDM- und TPE-Granulate existieren bisher kaum wissenschaftlichen Untersuchungen hinsichtlich eventueller gesundheitlicher oder umwelttechnischer Risiken. Die Betrachtung potenzieller Risiken wird dadurch erschwert, dass Hersteller nur begrenzt Auskünfte zur Zusammensetzung ihrer Produkte geben müssen. Im Sinne eines bewertenden Vergleichs der Infilloptionen, sollten diese Materialien zukünftig detailliert untersucht werden und auch biologisch abbaubare oder natürliche Alternativen einbezogen werden, sofern eine Fortsetzung der Nutzung von Performance-Infill stattfindet.

EPDM wird häufig im Vergleich zu ELT-Granulaten als ungefährlicher angesehen. Erste Untersuchungen zeigen jedoch, dass zu einem großen Teil die gleichen Schadstoffe enthalten sind wie bei ELT-Granulaten.<sup>127</sup> Von manchen Herstellern werden Konzentrationen für 15 nachweisliche krebserregenden PAK auf den Produktdatenblättern angegeben.<sup>128</sup> In der Regel sind die Granulate nach Kategorie 1 (Produkte die dazu bestimmt sind, in den Mund genommen zu werden oder mit längerem Hautkontakt) der Gefahrstoff-Spezifikation des Ausschusses für Produktsicherheit (AfPS) zertifiziert. Dies bedeutet, dass die Konzentration der einzelnen PAK unter 0,2 mg/kg und in Summe (PAK 15) unter 1mg/kg liegen, was den empfohlenen Grenzwerten des Bundesinstituts für Risikobewertung entspricht. Ähnliches gilt für TPE-, PU- oder andere Kunststoffgranulate. Auch diese enthalten zu einem großen Teil die gleichen Schadstoffe wie SBR-Granulate, jedoch geringer in Anzahl und Konzentration.<sup>129</sup> Daher gelten diese Granulate in der Branche bisher als unbedenklicher.

Die Einschätzung in vielen Studien (s. o.), dass durch Schadstoffe in Kunststoffgranulaten keine negativen Auswirkungen zu erwarten seien, wird in anderen wissenschaftlichen Veröffentlichungen teilweise kritisch hinterfragt, da noch viele Wissens- und Datenlücken bezüglich der realen Situation auf den Plätzen bestehen, was die Aussagekraft der bisherigen Erkenntnisse mindern würde. 130,131 Zum anderen bilden bisherige Untersuchungen hinsichtlich der Mobilität der Schadstoffe nicht alle Gefahren ab, da hauptsächlich Eluat-Untersuchungen durchgeführt werden. Hier gilt es zu klären, in wie weit Mikroplastikemissionen einen Eintragspfad für Schadstoffe darstellen und ob dieser zu einer anderen Bewertung des Gefährdungspotenzials, insbesondere für die Umwelt, führen würde. Auch der Abriebs- und Zerkleinerungsprozess, der bei allen Granulattypen, unabhängig von der eingesetzten Kunststoffart, bei langen Nutzungszeiten auftritt und die damit zunehmende Mobilität von Schadstoffen, sollte noch detaillierter untersucht werden.

Eine Übersicht zu den in Kunstrasenplätzen nachgewiesenen Schadstoffen ist in

<sup>&</sup>lt;sup>127</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>128</sup> Gezolan AG 2015.

<sup>&</sup>lt;sup>129</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>130</sup> Massey et al. 2020.

<sup>131</sup> Watterson 2017.



Tabelle 11 dargestellt. Die farbigen Häkchen zeigen, ob ein bestimmter Schadstoff in der jeweiligen Komponente vorkommen kann, weil er Teil des Produkts oder Teil der Herstellung ist und/oder durch wissenschaftliche Experimente nachgewiesen wurde. Die Angaben lassen keine Rückschlüsse auf die exakte Wahrscheinlichkeit zu, mit der die genannten Schadstoffe auch tatsächlich im Produkt vorkommen. Da die Angaben auf wissenschaftlichen Untersuchungen marktüblicher Produkte basieren, ist jedoch davon auszugehen, dass die aufgeführten Verbindungen in entsprechenden Produkten vorkommen können. Gerade für neuere Produkte und Materialien, die sich derzeit als Lösung von Umweltproblemen anbieten, ist der Erkenntnisstand noch unbefriedigend.

Die Einstufung stellt einen qualitativen Vergleich der Produkte zueinander dar. Sie macht keine Aussagen in Bezug auf die Konzentration der Schadstoffe oder ein potenzielles Gefährdungspotenzial. Die gesetzlichen Grenzwerte der bedenklichen Stoffe wurden in der allermeisten wissenschaftlichen Untersuchungen eingehalten. Lediglich die Grenzwerte für einzelne Schwermetalle (Cd, Co, Se, Zn) wurden in zwei Untersuchungen überschritten. Dennoch verdeutlicht die Aufstellung welche Produktvariante eher mehr oder eher weniger Schadstoffe enthält als eine andere. Weiterhin konnten aufgrund der Vielzahl in verschiedenen Studien untersuchter und nachgewiesener Schadstoffe nicht alle abgebildet werden. Dargestellt wurden die bekanntesten, die die am häufigsten nachgewiesenen wurden und/oder die mit den größten Schadwirkungen nach derzeitigem Kenntnisstand. Die Darstellung hat daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit und muss durch weitere Untersuchungen erweitert werden.

Trotz Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte schätzen einige ForscherInnen in Ihren Untersuchungen die Verwendung von weniger belasteten Produkten als »sicherer« 134 ein.

<sup>&</sup>lt;sup>132</sup> Bocca et al. 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>133</sup> Marsili et al. 2014.

<sup>134</sup> Massey et al. 2020.



Tabelle 11: Nachgewiesene und freigesetzte Schadstoffe in verschiedenen Kunstrasenkomponenten 135,136,137,138,139,140,141,142,143

				Elas	tikschi	cht / elas	stische	Tragschi	cht					
	HM <sup>1</sup>	PAK <sup>2</sup>	VOC <sub>3</sub>	$PM_{10}^{4}$	Phe- nole	Phtha- late	Fura ne	PFAS <sup>5</sup>	CI <sub>6</sub>	Iso <sup>7</sup>	Phe- none	HALS <sup>8</sup>	PCB <sup>9</sup>	Sonst -ige <sup>10</sup>
EL/ET (SBR)	✓	✓	✓	?	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	✓	<b>√</b>
EL/ET (EPDM)	✓	✓	✓	?	✓	✓	?	X	X	✓	X	X	X	?
PE-Shock- pad	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
						Rasent	eppich							
Backing	?	?	?	X	?	?	?	✓	X	?	?	X	X	?
Fasern PE	✓	X	X	X	X	X	X	✓	X	X	X	$\checkmark$	X	✓
Fasern PA	$\checkmark$	X	X	X	X	X	X	$\checkmark$	X	X	X	$\checkmark$	X	✓
						Inf	fill							
SBR	$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$	✓	✓	$\checkmark$	X	✓	X	$\checkmark$	X	$\checkmark$	$\checkmark$
SBR mit PU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	<b>√</b>	?	✓	<b>√</b>
EPDM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	X	X	X	X	X	X	?
TPE	✓	✓	$\checkmark$	✓	?	✓	?	?	?	?	?	?	?	?
TPU	?	?	✓	✓	?	?	?	?	?	✓	?	?	?	?
Kork	X	X	✓	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sand	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<ul><li>✓ enthalte</li><li>? bisher n</li><li>X nicht en</li></ul>	icht wis	senscha	ftlich ur	ntersucht										
<sup>1</sup> HM = Schwermetalle (heavy metals)				6 C	<sup>6</sup> CL = Chlor und Chlorverbindungen									
<sup>2</sup> PAK = polyzyklische aromatische Kohlen- wasserstoffe				7	<sup>7</sup> Iso = Isocyanate, Diisocyanate und Isocyanatverbindungen									
<sup>3</sup> VOC = Flüchtige organische Verbindungen (volotile organic compund)			n <sup>8</sup> F	<sup>8</sup> HALS = sterisch gehinderte Amine (hindered amine light stabilizers)										
$^{4}$ PM <sub>10</sub> = Fe	_			itter)	<sup>9</sup> P	<sup>9</sup> PCB = polychlorierte Biphenyle								
<sup>5</sup> PFAS = pe					n- <sup>10</sup> de	andere Sc r bisher g	had- od enannt	der besor en Grupp	gniser en ge	regen hören	de Stof	fe, die nic	cht zu e	iner

<sup>&</sup>lt;sup>135</sup> Bocca et al. 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>136</sup> Menichini et al. 2011.

<sup>&</sup>lt;sup>137</sup> BAG 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>138</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>139</sup> Norwegian Institute for Air Research 2005.

<sup>&</sup>lt;sup>140</sup> Gomes et al. 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>141</sup> Marsili et al. 2014.

<sup>&</sup>lt;sup>142</sup> Perkins et al. 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>143</sup> TURI 2020.



In umwelthistorischer Perspektive nimmt die Reglementierung von Schadstoffen immer weiter zu. Grenzwerte werden eher verschärft als gelockert. Dies mag an neuen Erkenntnissen zu ihrem Vorkommen in bestimmten Produkten, den mit ihnen verbundenen Gefährdungen oder an besseren analytischen Methoden zu ihrem Nachweis liegen. Nichtsdestoweniger ist es durchaus wahrscheinlich, dass Schadstoffkonzentrationen, die bisher als unbedenklich gelten, in einigen Jahren anders eingeschätzt werden. Viele Substanzen, bei denen der Verdacht auf Schadwirkungen besteht, benötigen weitere wissenschaftliche Untersuchungen. Derzeitige Reglementierungs- und Deklarationssysteme reichen ggf. nicht aus, um sämtliche nachgewiesenen und potenziell möglichen Schadwirkungen abzubilden. Die Unsicherheit bezüglich zukünftiger Anforderungen stellt auch ein Hindernis vor dem Hintergrund einer Circular Economy dar, da Schadstoffe sich zunehmend im Kreislauf aufkonzentrieren (»legacy additives«) oder neue Erkenntnisse zu schärferen Grenzwerten führen. Metalen zu den Zusammensetzungen einzelner Kunstrasenkomponenten auch außerhalb der ELT-Granulate, die als Performance-Infill und Bestandteil der Elastikschichten verwendet werden, benötigt.

Ein besonderes Risiko stellen auch Brände dar. Je höher die Brandtemperatur, desto größer die Freisetzung von Schadstoffen durch Löschwassereinträge in die Böden, Partikelemissionen und vor allem flüchtigen Bestandteilen wie VOC. Die für Kunstrasenflächen verwendeten Kunststoffe und Elastomere sind prinzipiell brennbar. Auch die eingesetzten Mengen legen eine kritische Bewertung des Brandfalles nahe.<sup>147</sup> Teilweise werden daher Flammschutzmittel auf Basis von Halogenverbindungen beigemischt.<sup>148</sup> Diese gelten als giftig, weshalb die Verwendung zahlreicher Flammschutzmittel bereits verboten wurde. Meistens wird ein benötigter Brandschutz jedoch ausschließlich durch die Zugabe von Sand gewährleistet. Dadurch fallen Kunstrasenflächen nach der EN 13501-1 für Bodenbeläge in die Brandschutzklasse »Schwer entflammbar (Cfl-s1)«. Verbrennungsprodukte für die bei Kunstrasenplätzen eingesetzten Kunststoffe PE, PP, EPDM, SBR, TPE und PU sind beispielsweise zahlreiche Alkane, Alkene, Alkohole, Aldehyde (z.B. Formaldehyd), Ketone, Carbonsäurederivate (z. B. Ameisensäure, Essigsäure), aromatische Kohlenwasserstoffe (z.B. Benzol, Tuluol), Phenole, Cyanwasserstoff, Ammoniak, Harnstoff etc.<sup>149</sup> Eine detailliert wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Freisetzung von Schadstoffen im Brandfall hat es bislang nicht gegeben.<sup>150</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>144</sup> Perkins et al. 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>145</sup> Wagner und Schlummer 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>146</sup> Onyshko und Hewlett.

<sup>&</sup>lt;sup>147</sup> MUEEF 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>148</sup> Clercq et al. 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>149</sup> Hensler 1995.

<sup>&</sup>lt;sup>150</sup> Clercq et al. 2019.



### 11.2 Aufheizung der Plätze

Kunstrasenplätze nehmen Einfluss auf das Mikroklima in ihrer Umgebung. Sie heizen sich durch direkte Sonneneinstrahlung, besonders im Sommer, weit über das Temperaturniveau der Umgebung auf. 151,152,153 Ursache dafür ist das geringe Rückstrahlvermögen des Kunstrasens. Es ist niedriger als das jeder anderen Oberfläche im städtischen Raum, wodurch die solare Einstrahlung zu einem großen Teil absorbiert wird und die Oberflächentemperatur sogar über die von Asphalt steigen kann. 154,155

Das Strahlungsvermögen wird von dem Material, der Morphologie und der Farbe der einzelnen Rasenkomponenten beeinflusst. Unter den unterschiedlichen eingesetzten Granulaten besitzt SBR-Granulat das geringste Rückstrahlvermögen. Gemessen wurden um bis zu 10 °C höhere Temperaturen als bei TPE-Granulaten. Auch fibrillierte Fasern erwärmen sich stärker als nicht fibrillierte Fasern. 156,157 Weiße Granulate und Fasern waren bei Messungen im Schnitt 5–6 °C kühler als andersfarbige Komponenten. Es wird angenommen, dass auch die Art der Elastikschicht Einfluss auf die Oberflächentemperatur des Platzes nimmt. 158 Hier können ggf. auch Aspekte der thermischen Isolation zum Boden eine Rolle spielen. Dies wurde jedoch noch nicht hinreichend erforscht.

Diverse Studien maßen im Mittel Temperaturüberhöhungen von 35–65 °C im Vergleich zur Umgebung, mit Spitzentemperaturen von bis zu 93 °C. <sup>159,160,161,162,163,164</sup> Damit heizen sich Kunstrasenflächen deutlich stärker auf als Naturrasenflächen. In einem direkten Vergleich lag die Oberflächentemperatur eines Kunstrasens unter sonst gleichen Bedingungen mit 74,6 °C um 38 °C höher als die des Naturrasens.

In Deutschland führten die hohen Temperaturen im Sommer regelmäßig zu Fällen, in denen Performance-Infillgranulate auf zahlreichen Kunstrasenplätze durch thermische Erweichung verklebten. 165,166,167,168 Dadurch verklumpt das Granulat, klebt an den Schuhen der Nutzenden (Abbildung

<sup>&</sup>lt;sup>151</sup> Watterson 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>152</sup> Jim 2016.

<sup>&</sup>lt;sup>153</sup> Jim 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>154</sup> Yaghoobian et al. 2010.

 $<sup>^{155}</sup>$  Williams und Pulley 2002.

<sup>&</sup>lt;sup>156</sup> Villacañas et al. 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>157</sup> Penn State's 2012.

<sup>&</sup>lt;sup>158</sup> Petrass et al. 2014.

<sup>&</sup>lt;sup>159</sup> Buskirk et al. 1971.

<sup>&</sup>lt;sup>160</sup> Jim 2016.

<sup>&</sup>lt;sup>161</sup> Jim 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>162</sup> McNitt et al. 2006.

<sup>&</sup>lt;sup>163</sup> Williams und Pulley 2002.

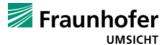
<sup>&</sup>lt;sup>164</sup> Brakeman 2004.

<sup>&</sup>lt;sup>165</sup> Sturm 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>166</sup> RP online 2018.

<sup>&</sup>lt;sup>167</sup> Borowski 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>168</sup> WDR 2020.



34), verklebt mit den Fasern und bildet eine durchgehende Gummischicht, weshalb Plätze mitunter abgefräst und saniert werden mussten, was enorme Kosten verursachte. Die Verklumpung tritt in der Regel bei peroxidisch vernetzten Granulaten (insbesondere EPDM) auf, bei schwefelvernetzten ELT-Granulaten tritt dieser Effekt nicht auf. Bei TPE-Granulaten, die nicht chemisch vernetzt sind, ist die thermische Stabilisierung sehr aufwendig. <sup>169,170</sup>



Abbildung 34 - Verklebtes Granulat unter den Schuhen einer Nutzerin (WDR 2020)

Auch die Leistungsfähigkeit der Spielerinnen und Spieler wird durch die erhöhten Temperaturen auf Kunstrasenplätzen – zum Teil sogar positiv – beeinflusst. 171,172 Allerdings ist unklar, ob dadurch gesundheitliche Risiken entstehen. Die direkten Wirkungen durch überhitzte Kunstrasenplätze auf Nutzer\*innen wurden bisher kaum erforscht.

Die erhöhten Temperaturen führen zu stärkeren Belastungen des Herz-Kreislaufsystems und zunehmender Dehydration der Nutzenden. Dies kann wärmebedingte Erkrankungen hervorrufen. 173,174 Einige Forscher\*innen sehen daher ein gesundheitliches Risiko beim Spielen auf überhitzen Kunstrasenplätzen und befürchten negative gesundheitliche Auswirkungen. 175

Kunstrasenplätze nehmen jedoch nicht nur Einfluss auf die Sporttreibenden und Zuschauenden, sondern beeinflussen auch das Mikroklima der Umgebung, speziell im urbanen Raum. Modellie-

<sup>169</sup> https://rasencoach.ch/2018/02/11/verklumpung-granulat/; Letzter Zugriff: 27.07.2021

<sup>170 &</sup>lt;a href="https://www.stadionwelt.de/fachwissen/19287/einfuehrung-alles-ueber-einstreugranulat-fuer-kunstrasensysteme">https://www.stadionwelt.de/fachwissen/19287/einfuehrung-alles-ueber-einstreugranulat-fuer-kunstrasensysteme</a>; Letzter Zugriff: 27.07.2021

<sup>&</sup>lt;sup>171</sup> Calderón-Pellegrino et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>172</sup> Mohr und Krustrup 2013.

<sup>&</sup>lt;sup>173</sup> Rikkert et al. 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>174</sup> Keatinge 2003.

<sup>&</sup>lt;sup>175</sup> Jim 2017.



rungen zeigten, dass Kunstrasenflächen die Umgebung im urbanen Raum um bis zu 4 °C erwärmen.<sup>176</sup> Im Kontext des Klimawandels und der ohnehin schon existierenden Problematik überhitzter Städte im Sommer stellen Kunstrasenflächen einen verstärkenden Faktor dar. Hitzewellen sind seit einigen Jahren besonders in städtischen Regionen ein massives Problem.<sup>177</sup> Eine aufgrund der Überhitzung stattfindende negative Beurteilung des Systems Kunstrasen müsste allerdings auch die gesundheitlichen Vorteile des Sporttreibens auf KRP angemessen würdigen.

Natürliche Rasenflächen kühlen durch Evaporation. Die Verdunstung des Wassers bewirkt, dass ein Kühlungseffekt eintritt und die Oberflächentemperatur reduziert wird. Um diesen Effekt ebenfalls zu erzielen, werden auch Kunstrasenflächen bewässert. Der Wasserbrauch liegt bei verfüllten Kunstrasenplätzen mit ca. 2-4 und bei unverfüllten mit ca. 3–8 l/m² allerdings deutlich unter der benötigten Bewässerungsmenge von Naturrasen mit ca. 15-25 l/m². 178,179,180 Die Bewässerung dient gleichzeitig auch der Staubbindung und der Minderung des Verschleißes eines Kunstrasens. Auch Kork als alternatives Infill erfordert Bewässerung, inwieweit der Wasserbedarf höher oder niedriger ist, als bei konventionellen Performance-Infills ist noch offen. 181

Um den Kühlungseffekt durch Verdunstung zu verstärken, werden seit einigen Jahren Granulate mit erhöhter Hygroskopie angeboten (bspw. durch Beimischung hygroskopischer Materialien ). Diese nehmen mehr Wasser auf und sollen dadurch über einen längeren Zeitraum und in größerem Maße Verdunstungskühlung verursachen. Studien zeigten jedoch, dass diese Granulate in der Praxis nicht zu einer dauerhaften Reduktion der Oberflächentemperatur eines Kunstrasen führen. 182 Der Verdunstungseffekt tritt nur auf, so lange die Granulate feucht sind. Sind sie einmal ausgetrocknet, entsteht kein Kühlungseffekt mehr (da keine Verdunstung mehr stattfinden kann) und Granulate mit erhöhter Hygroskopie heizen sich genauso auf wie konventionelle Granulate. Einmal ausgetrocknet, erfolgt die Aufheizung sehr schnell. Gemessen wurden Temperaturanstiege von 20 °C in einem Zeitraum von nur fünf Minuten. 183 Zu einem Austrocknen der Granulate kommt es, da Plätze nicht ganztägig bewässert werden. Insbesondere im Hochsommer wäre der Wasserverbrauch ansonsten zu groß, wodurch die Plätze i. d. R. morgens, abends oder kurz vor der Nutzung bewässert werden. Speziell Kunstrasenplätze werden häufig sogar nur unmittelbar vor einer Nutzung gewässert. 184 Um einen dauerhaften Kühlungseffekt zu erzielen und damit extremes Aufheizen zu begrenzen, müsste ein Kunstrasenplatz an warmen Tagen also über den gesamten Tagesverlauf hinweg bewässert werden. An einigen der im Rahmen dieser Studie untersuchten Plätze fand im Sommer eine Bewässerung vor jeder Trainings- und Spieleinheit statt.

<sup>&</sup>lt;sup>176</sup> Yaghoobian et al. 2010.

<sup>&</sup>lt;sup>177</sup> Rikkert et al. 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>178</sup> Klapproth 2017.

<sup>&</sup>lt;sup>179</sup> Sportstättenrechner 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>180</sup> DIN 18037-2

<sup>181</sup> https://www.salzburg24.at/news/salzburg/kunstrasen-zwei-salzburger-sportplaetze-verzichten-auf-plastikgranulat-73903663; Letz-ter Zugriff: 27.07.2021

<sup>&</sup>lt;sup>182</sup> Jim 2016.

<sup>&</sup>lt;sup>183</sup> McNitt et al. 2006.

<sup>&</sup>lt;sup>184</sup> Klapproth 2017.



### 11.3 Sportunfälle und Keimbelastungen

Mit Aufkommen der Kunstrasenplätze begann auch die Diskussion darüber, ob künstliche Untergründe ein höheres Verletzungsrisiko bergen als natürliche Untergründe. Umfragen zeigen, dass bei Nutzer\*innen die Erwartungshaltung besteht, auf Kunstrasenflächen bestünde ein höheres Verletzungsrisiko als bei Naturrasenflächen.<sup>185,186,187</sup>

Bis heute ergeben wissenschaftliche Untersuchungen kein eindeutiges Bild, auch wenn bei gesamtheitlicher Betrachtung eine Tendenz deutlich wird, die für ein erhöhtes Verletzungsrisiko auf Kunstrasenplätzen spricht. Williams et al. geben an, das Risiko für Sprunggelenksverletzungen sei auf Kunstrasenplätzen der dritten Generation ca. siebenmal, das Risiko für Knieverletzungen ca. achtmal höher als auf Naturrasen. Zudem liege der Anteil an Schürfwunden deutlich höher. Für Plätze der vierten Generation ist noch keine eindeutige Aussage möglich, da die bisherigen Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen und auf einer zu geringen Zahl an Untersuchungen basieren. Weiterhin differenzieren die Studien nicht ausreichend zwischen Untergrundart, Nutzungsart und Konstitution der Nutzenden. 185

Analysen zur Mikrobiologie von Kunstrasenplätzen fanden deutliche Unterschiede zu Naturrasenplätzen. Zwar sei die gefundene Keimkonzentration zwischen beiden Untergrundarten vergleichbar, allerdings war auf Kunstrasenflächen der relative Anteil pathogener Keime höher. <sup>189</sup> Wissenschaftliche Untersuchungen gehen davon aus, dass auf Kunstrasenplätzen ein deutlich höheres Risiko für Infektionen allgemein und für Infektionen mit multiresistenten Keimen durch Schürfwunden besteht. <sup>190,191,192</sup> Ähnliche Erkenntnisse wurde neuerdings auch für andere Kunststoffe in der Umwelt publiziert. <sup>193</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>185</sup> Twomey et al. 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>186</sup> Roberts et al. 2014.

<sup>&</sup>lt;sup>187</sup> Zanetti 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>188</sup> Williams et al. 2011.

<sup>&</sup>lt;sup>189</sup> Valeriani et al. 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>190</sup> Cohen 2008.

<sup>&</sup>lt;sup>191</sup> Meyers 2013.

<sup>&</sup>lt;sup>192</sup> Bass und Hintze 2013.

<sup>&</sup>lt;sup>193</sup> Gkoutselis et al. 2021.



# 12 Wie ist der Stand beim Recycling?

»Die Kunstrasenbranche strebt eine möglichst vollständige werkstoffliche Verwertung des Kunstrasens und mittelfristig auch der elastischen Tragschicht an. Ein Closed-Loop-Ansatz für den gesamten Kunstrasen oder auch einzelne Komponenten – mit Ausnahme des Infill-Sandes - ist noch nicht erkennbar.

Die werkstoffliche Verwertung wird zu höheren EoL-Kosten führen und die Verwertung von ELT-Granulaten aus Kunstrasenplätzen könnte mit der direkten Verwertung von Altreifengranulaten konkurrieren.«

### 12.1 EoL-Optionen

Die European Synthetic Surf Organization (ESTO) hat bis 2009 die energetische Verwertung von Kunstrasenplätzen empfohlen.<sup>194</sup> Als Gründe wurden angeführt:

- hohe Kosten und Energieaufwände für Trennung, Reinigung und Verarbeitung der Komponenten sowie
- chemische Zersetzung und oxidative Schädigung der Komponenten (Kunstrasen, Infill, Shockpad)

In 2019 hat die Nachfolgeorganisation ESTC ihre Einschätzung geändert und verweist nun auf die fünfstufige Abfallhierarchie. Dies bedeutet, dass Kunstrasensysteme erstens so gestaltet werden sollten, dass sie eine möglichst lange Lebensdauer besitzen, dass sie zweitens wiederverwertet (Re-Use) und drittens gut rezykliert werden sollten. Erst wenn diese Optionen vollständig ausgeschöpft sind, sollte eine energetische Verwertung oder - wenn diese nicht möglich sein sollte – eine Beseitigung in Betracht gezogen werden.

Die Lebensdauer von Kunstrasen wurde vor 10 Jahren noch mit 10 bis 12 Jahren bei 1.300 bis 1.400 Stunden pro Jahr angegeben. <sup>196</sup> Burillo et al. (2012) stellten in einer umfassenden Untersuchung von Kunstrasenplätzen in Spanien fest, dass das Alter der Plätze in Bezug auf die mechanischen und sportfunktionellen Eigenschaften ein besonders relevanter Wert ist. <sup>197</sup> Bei den fünf bis zehn Jahre alten Plätzen verschlechterten sich die Eigenschaften im Gegensatz zu Plätzen mit einem Alter von bis zu fünf Jahren deutlich. Die Autoren gehen daher davon aus, dass die meisten Plätze übernutzt werden und eine Lebensdauer von 6 bis 7 Jahren sinnvoll wäre. Insbesondere in Bezug auf die sicherheitsrelevante Stoßdämpfung erkannten sie eine deutliche Reduktion bei älteren Plätzen. Auch eine Arbeit zu Kunstrasenplätzen in der Schweiz kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Detaillierte Analysen dazu, durch welche Maßnahmen und Bauweisen sich die Lebensdauer verbessern lässt, liegen nicht vor.

Die im Rahmen dieser Studie untersuchten Plätze wurden im Mittel 1.830 Stunden genutzt. Drei der 17 Plätze waren älter als 10 Jahre. Bei den beteiligten Plätzen mit »FIFA Quality« bzw. »FIFA

<sup>195</sup> ESTC 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>194</sup> ESTO 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>196</sup> Sportrasen GmbH.

<sup>&</sup>lt;sup>197</sup> Burillo 2012.



Quality Pro«-Standard konnte innerhalb der ersten vier Nutzungsjahre die sportfunktionellen Eigenschaften erhalten werden. Bei einem der Plätze war dazu allerdings zunächst noch eine zusätzliche Wartung notwendig, da der Platz bei der ersten Untersuchungbei zwei von fünf Parametern die seitens der FIFA vorgegebenen Spezifikationen nicht einhalten konnte.

Welche Lebensdauer ökologisch sinnvoll ist, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Einerseits wirkt sich eine längere Lebensdauer positiv auf den Carbon Footprint aus (vgl. Kap. 13). In Bezug auf die Verluste an Performance-Infill haben die Untersuchungen in dieser Studie zwar gezeigt, dass sie weitgehend unabhängig vom Platzalter sind (vgl. Kap. 8.3). Es ist aber wahrscheinlich, dass durch die Fragmentierung zunehmend feinere Partikel emittieren und auch der Faserverlust ansteigt (vgl. Kap. 9). Des Weiteren können mit steigender Nutzungsdauer oder auch beim Rückbau des Kunstrasens ggf. auch die elastische Tragschicht oder die Shockpads geschädigt und fragmentiert werden und so der emissionsfreie Rückbau erschwert werden. 198 Der Re-Use von Kunstrasensystemen findet häufig in der Form statt, dass Plätze, die nicht mehr den Qualitätsansprüchen (z. B. gemäß FIFA-Quality-Programm) genügen, für Anwendungen mit niedrigeren Qualitätsansprüchen eingesetzt werden (bspw. als Trainings- oder Freizeitplätze). Inwieweit dadurch wirklich eine Kreislaufführung erreicht wird oder ob durch diese Vorgehensweise, die Zahl der Kunstrasenplätze nochmals insgesamt weiter erhöht wird, ist bislang nicht untersucht. Grundsätzlich sollte die Wiederverwendung aber an Kriterien gebunden werden. Denn die Argumentation der ESTO aus 2009, dass die Komponenten degradieren und oxidativer Schädigung unterliegen, dürfte nach wie vor gelten. Die entsprechenden Schädigungen könnten dazu führen, dass in einer zweiten oder gar dritten Nutzungsphase die Versprödung und Fragmentierung von Granulaten und Kunstrasenfasern zunehmen und die Emissionen deutlich ansteigen. Eine mögliche Wiedernutzung sollte laut ESTC aber auch anhand der spieltechnischen Eigenschaften sechs Monate vor Demontage des Platzes untersucht werden.

Eine weitere EoL-Strategie wäre die Nutzung unverfüllter Plätze. Hier würde der Aufwand zur Trennung und getrennten Aufbereitung der Komponenten entfallen. Bislang geht die ESTC allerdings von einer geringeren Lebensdauer aus. 199 Diese wäre im Sinne einer Kreislaufwirtschaft kontraproduktiv. Allerdings gibt es bislang keine systematischen Untersuchungen dazu und die Aussage deckt sich nicht mit den Erfahrungen an einem der im Rahmen dieser Studie untersuchten Plätze. Auch ein geschäumtes Monomaterial als Shockpad an Stelle einer elastischen Tragschicht oder eine Kombination aus Drainasphalt mit SBR/PUR-Shockpads ist eine vielversprechende Option. Solche Systeme weisen einen deutlich geringeren Ressourceneinsatz auf, der sich bspw. auch positiv auf den Carbon Footprint auswirkt (vgl. Kap. 13). Gleichzeitig wären solche Systeme besser rückbaubar. Shockpads auf Basis geschäumter Polyethylene gibt es heute sowohl aus Neuware als auch aus Produktionsabfällen. 200, 201 Ein Recycling aus EoL-Shockpads findet bislang noch nicht statt. Da die geschäumten Shockpads aus vernetztem Polyethylen bestehen, ist fraglich, ob sie erneut thermoplastisch verarbeitet und geschäumt werden können. Letztlich würde ein Verzicht auf Altreifen-basierte Gummigranulate als Infill oder Bestandteil von Shockpad oder elastischer Tragschicht, diesen wichtigen Verwertungsweg für Altreifen beenden.<sup>202</sup> Inwieweit sich daher ein Verzicht auf Altreifengranulate in

<sup>&</sup>lt;sup>198</sup>Vgl. dazu bspw.: <a href="https://www.svburgsteinfurt.de/die-arbeiten-am-kunstrasenplatz-im-volksbank-stadion-wurden-wieder-aufgenom-men/">https://www.svburgsteinfurt.de/die-arbeiten-am-kunstrasenplatz-im-volksbank-stadion-wurden-wieder-aufgenom-men/</a>; Letzter Zugriff: 09.07.2021

<sup>&</sup>lt;sup>199</sup> ESTC 2019.

<sup>200</sup> https://progame-shockpads.com/; Letzter Zugrriff: 08.07.2021.

<sup>201</sup> https://www.schmitzfoam.com/Letzter Zugriff: 08.07.2021

<sup>&</sup>lt;sup>202</sup> EuRIC 2020.



Kunstrasensystemen insgesamt positiv oder negativ auf die Umwelt auswirken würde, ist schwer abschätzbar. Insbesondere fehlende ökologisch vorteilhafte Verwertungsalternativen könnten für die Verwendung im Kunstrasenbau sprechen.

Ca. 98 Prozent der EoL-Kunstrasenplätze werden durch neue Kunstrasenflächen ersetzt. Daher wäre ein echtes Recycling (Wiedereinsatz für den gleichen Zweck) sinnvoll. Insbesondere die elastischen Tragschichten (Verbund von mineralischem Schotter, Altreifengranulat und Polyurethan) sowie der Rücken des Kunstrasens (PE-/PP-Faser, PP-Gewebe und SBR-Latex) aber auch die zum Teil mit Elektronenstrahlen vernetzten PE-Shockpads stellen für das Recycling problematische Fraktionen dar. Auch die Stabilisatoren des Performance-Infills und der Kunstrasenfasern gegen photooxidative Schädigung dürften verbraucht sein. Vor allem bei nicht-thermoplastischen Komponenten (bspw. EPDM, Altreifengranulate oder SBR-Rückbeschichtung, elektronenstrahlvernetztem Shockpads) ist eine erneute Additivierung technisch aufwändig und die Wiederverwertung in der gleichen Anwendung eher unwahrscheinlich.

Grundsätzlich dürfte sich das Recycling des Sandes am einfachsten darstellen. Allerdings ist fraglich, ob die aus dem Sandanteil erzielbare Wertschöpfung genügen würde, um die Kosten eines Recyclingverfahren zu kompensieren. Um die Kosten für die Trennung von Performance-Infill und Sand zu reduzieren, wird empfohlen, Kork oder eine anderes biogenes bzw. bioabbaubares Performance-Infill zu verwenden. Da diese nicht vom ECHA-Beschränkungsvorschlag betroffen wären, könnten sie weiterverwendet werden.<sup>203</sup> Je nach avisierter Verwertung ist aber zu prüfen, ob das Gemisch eine ausreichende Performance garantiert oder – im Falle einer Sekundärverwertung - ob die Anforderungen an einen zulässigen Gesamtkohlenstoffgehalt eingehalten werden können.

Verwertungslösungen, in denen die Kunststoffkomponenten in einer anderen als der ursprünglichen Anwendung verwertet werden, sind – unabhängig davon, ob es sich aus Sicht der Betreiber um Down- oder Upcycling handelt – grundsätzlich nur dann sinnvoll, wenn sie eine bestehende weniger umweltverträgliche Ressource ersetzen. Derzeit diskutiert wird bspw. die Verwendung des Granulats in Industrieböden oder als Paneele für Gründächer.<sup>204</sup> In diesen Anwendungen stände es in Konkurrenz mit der direkten Verwendung von Altreifengranulat. Da die anfallenden Mengen an Altreifengranulaten erheblich sind und der Entsorgungsdruck hoch ist, besteht hier eine Konkurrenz um die Senken.<sup>205</sup> Die Fasern des Kunstrasenteppichs sollen in Elastikschichten oder elastischen Tragschichten eingesetzz werden. Ein positivet Effekt auf die Rezyklierbarkeit der elastischen Tragschicht würde sich dann ergeben, wenn auf den mineralischen Zuschlagstoff verzichtet werden könnte, ohne die elastischen Eigenschaften der Tragschicht zu verschlechtern.<sup>204</sup> Ob die PUR-gebundenen elastischen Tragschichten allerdings wirklich nach bis zu 45 Jahren nochmals werkstofflich rezykliert werden, ist fraglich.

### 12.2 Stand beim Recycling

Insgesamt existieren in Deutschland und der Schweiz etwa 60 Millionen Quadratmeter Kunstrasenplätze. Geht man davon aus, dass die Lebensdauer für den Kunstrasen durchschnittlich 12 Jahre beträgt und für die Elastikschicht 24 Jahre, so sollten nach heutigem Stand jährlich ca. 5 Millionen Quadratmeter Kunstrasen inkl. Infill und 2,5 Millionen Quadratmeter elastische Tragschichten bzw. Shockpads mit oder ohne Drainasphaltschicht anfallen (Tabelle 12).

<sup>&</sup>lt;sup>203</sup> https://www.heiler-sport.de/de/rueckbau-recycling.html: Letzter Zugriff: 08.07.2021

<sup>&</sup>lt;sup>204</sup> Weitzel 2020

<sup>&</sup>lt;sup>205</sup> <u>EuRIC - Position papers - EuRIC Factsheet - LCA Tyre Recycling Environmental Benefits (euric-aisbl.eu)</u>



Tabelle 12: Mengenanfall beim End-of-Life von Kunstrasen pro Jahr in D und CH

Komponente	Gesamtfläche zur Entsor- gung/Verwertung in D+CH	Flächengewichte der Materialien	Masse
Kunstrasen			
Kunstrasenteppich	5 000 000 (100 %)	PO: 1,4 kg/qm PP: 0,3 kg/qm Latex: 1,0 kg/qm	7000 t/a 1500 t/a 5000 t/a
Synthetisches Performance-Infill	4 750 000 (95 %)	7,5 kg/qm	35 600 t/a
(EPDM, TPE, SBR(/PUR))			
Sand	5 000 000 (100 %)	20,0 kg/qm	100 000 t/a
Dämpfungsschicht			
Elatische Tragschicht (Schotter, SBR-Granu- lat+PUR)	2 000 000 (80 %)	SBR: 15,0 kg/qm PUR: 2,3 kg/qm Schotter: 13,0 kg/qm	SBR+PUR: 34 600 t/a Schotter: 26 000 t/a
Shockpad elastisch (SBR+PUR)	375 000 (15 %)	SBR: 9,8 kg/qm PUR: 1,2 kg/qm	SBR+PUR: 4100 t/a
Shockpads – geschäumt (PE-X)	125 000 (5 %)	PE-X: 0,6 kg/qm	PE-X: 750 t/a
Gesamtabfallmengen au in D+CH pro Jahr	ıs Kunstrasen		off/Gummi: 88 500 t/a /Schotter: 126 000 t/a

Legt man die heutigen Entsorgungskosten zugrunde, ergeben sich für Ausbau, Entsorgung bzw. Verwertung der elastischen Tragschicht ca. 5,35 Euro pro Quadratmeter und für den Kunstrasen ca. 3,13 Euro pro Quadratmeter.<sup>206</sup> Die Gesamtkosten pro Platz liegen bei einer Bezugszeit von zwölf Jahren bei ca. 45 000 Euro für die Entsorgung (die Kosten für die Tragschicht wurden aufgrund der höheren Lebensdauer hälftig angesetzt).

Die Gesamtkosten für die Entsorgung von ca. 88.500 Tonnen Gummi- und Mischkunststoffen sowie 126 000 Tonnen Sand und Schotter betragen jährlich etwa 29,1 Millionen Euro oder 135 Euro pro Tonne. Die erzielbaren Preise lassen sich für die Gummi-/Kunststofffraktion im besten Falle zu etwa 200 Euro pro Tonne²07 und für die Sand-/Schotterfraktion zu ca. 5 Euro pro Tonne abschätzen. Insgesamt ergäben sich Einnahmen aus dem Verkauf von ca. 18,3 Millionen Euro bzw. 85 € pro Tonne. Die Summe aus Annahmevergütung und Verkauf der Rezyklate von ca. 220 Euro pro Tonne wird kaum ausreichen, um Transport, Trennung, Sortierung und Aufbereitung der Kunstrasenabfälle zu Sekundärrohstoffen zu finanzieren. Gleichzeitig ist kaum vorstellbar, dass sich aus Kunstrasensystemen Sekundärrohrstoffe herstellen lassen, die im Vergleich zu Altreifengranulaten – die ja häufig bereits ein Ausgangsmaterial für Kunstrasenplätze darstellen – höhere Preise am Markt erzielen. Es ist daher davon auszugehen, dass eine zukünftige werkstoffliche

<sup>&</sup>lt;sup>206</sup> Berechnung mit dem Sportstättenrechner

<sup>&</sup>lt;sup>207</sup> Entspricht dem Preis für Gummigranulate aus Altreifen



(statt der heutigen energetischen) Verwertung zu deutlich höheren EoL-Kosten führen wird. Inwieweit durch das Recycling ökologische Vorteile entstehen, hängt davon ab, ob durch die Rezyklate Primärrohstoffe substituiert würden.

Derzeit bieten vier Unternehmen das Recycling von Kunstrasenspielfeldern an oder haben dies für die nahe Zukunft angekündigt: das dänische Unternehmen Re-Match<sup>208</sup>, das niederländische Unternehmen GBN<sup>209</sup>, FormaTurf<sup>210</sup>, die zur deutschen Sport-Group-Holding gehören sowie das süddeutsche Unternehmen PR-Recycling<sup>211</sup>. Die Unternehmen bewerben diverse Sekundärrohstoffe. Ökobilanzen zu konkreten Anwendungen und Produkten, in die diese Sekundärrohstoffe einfließen oder Stoffstrombilanzen, die über die Verbleibswege der verwerteten Mengen Auskunft geben, liegen jedoch noch nicht vor. Die Firma PR-Recycling kündigte ein Verfahren zum on-site-Recycling der elastischen Tragschicht an, was ein deutlicher Fortschritt wäre.

<sup>208</sup> https://www.re-match.dk/; Letzter Zugriff: 08.07.2021

<sup>209</sup> https://www.gbn-agr.nl/de/;\_Letzter Zugriff: 08.07.2021

<sup>210</sup> https://www.formaturf.com/, Letzter Zugriff: 08.07.2021

<sup>211</sup> http://www.pr-recycling.com/de/; Letzter Zugriff: 08.07.2021



## 13 Welchen Carbon Footprint besitzen Kunstrasenplätze?

»Je nach Kunstrasentyp liegen die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke zwischen 9,4 und 29,8 Kilogramm Kohlendioxidäquivalenten pro Nutzungsstunde.

Die Art der Füllmaterialien spielt dabei eine große Rolle. Kork hat als biogenes Produkt einen geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck im Vergleich zu Füllmaterialien auf fossiler Basis. Die mit der Entsorgung verbundenen Treibhausgasemissionen sind bei Infilltypen wie SBR, EPDM oder TPE besonders relevant.

Die Verwendung eines geschäumten Polyethylens ohne oder mit Drainasphalt anstatt einer ET führt zu deutlich geringeren Emisisonen sowohl in der Produktionsphase als auch in der Entsorgung.

Ein hochwertiges Recycling der Komponenten und eine längere Nutzungsdauer von Füllmaterial und Dämpfungssystem kann den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutlich senken.«

### 13.1 Ziel und funktionelle Einheit

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick zum Carbon Footprint verschiedener Kunstrasensystem. Grundsätzlich umfasst eine Ökobilanzierung (englisch: Life Cycle Analysis, LCA) die Definition von Ziel und Systemgrenzen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Interpretation der Ergebnisse nach der Norm DIN EN ISO14040/44.<sup>212,213</sup> Ziel der hier durchgeführten Ökobilanzierung war die Berechnung und der Vergleich der Treibhausgasemissionen sieben verschiedener Varianten von Kunstrasensystemen. Die Bezugsgröße für die Ökobilanz (funktionelle Einheit, FU) wird in dieser Studie wie folgt definiert: »Spielzeit von einer Stunde auf dem jeweiligen Kunstrasensystem mit einer Spielfeldgröße von 7500 Quadratmetern«.

Die Kunstrasensysteme in dieser Analyse wurden nach den folgenden Kriterien unterschieden:

- Art der Verfüllung (ungefüllt vs. gefüllt, Typ und Menge des Infillmaterials)
- Faserdichte der Kunstrasenmatten
- Art und Typ der Dämpfungsschicht (elastische Tragschicht, Elastikschicht mit Drainasphalt, geschäumtes Shockpad)

Der Unterbau des Kunstrasens wurde nicht variiert, sondern eine typische Ausführungsform für alle Varianten festgelegt. Tabelle 13 zeigt die festen Parameter und Tabelle 14 die freien Parameter für die untersuchten Kunstrasensysteme. Vernachlässigt wurde dabei, dass bei der Verwendung einer Asphaltschicht die Höhe der ungebundenen Tragschicht ggf. geringfügig verringert ausgeführt werden könnte.

<sup>&</sup>lt;sup>212</sup> ISO 14040:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework

<sup>&</sup>lt;sup>213</sup> ISO 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines



Tabelle 13: Eine Übersicht der untersuchten festen Parameter (ET: Elastische Tragschicht; EL: Elastikschicht; KR: Kunstrasen)

Komponente	Einheit	Variante 1-7	Quelle
Funktionelle Einheit	[Nutzstunden]	1	214
Systemgrenzen	[-]	Cradle-to-Grave	214
Nutzungsintensität	[Stunden/Jahr]	1600	214
Fläche	[m <sup>2</sup> ]	7500	214
Lebensdauer (ET, EL)	[Jahre]	30	214
Lebensdauer (KR-Matte)	[Jahre]	10	214
Lebensdauer Sand-Infill	[Jahre]	10	214
Lebensdauer Performance-Infill	[Jahre]	10	215
Lebensdauer Kork-Infill	[Jahre]	4	215
Unterbau & Plenum	[m]	0,53	216
Drainage	[kg/m²]	0,11	216
Geotextil	[kg/m²]	0,25	216

Ein wichtiger Aspekt in der LCA ist die Berücksichtigung der Multifunktionalität. Dies ist notwendig, wenn ein System mehrere Produktausgänge erzeugt oder Eingänge verwendet, die aus einem anderen Produktlebenszyklus stammen. So werden z. B. in bestimmten Kunstrasensystemen Füllmaterialien verwendet, die aus recycelten Altreifen hergestellt werden. Die Nebenprodukte (Stahl, Textil), die bei der Verarbeitung der Altreifen entstehen, werden nicht weiter berücksichtigt. Alle Prozessbelastungen, die mit der Herstellung des Gummigranulats aus Altreifen zusammenhängen, werden ihnen auch massenanteilig zugerechnet. Der Sekundärrohstoff Altreifen wird hingegen als belastungsfrei angenommen. Die durch die vermiedene thermische Verwertung im Primärprozess eingesparte Kohlendioxidemission, kann allerdings auch nur im Primärprozess berücksichtigt werden (sog. Cut-Off-Ansatz). Die Ökobilanz macht keine Aussagen dazu, wie sich bspw. eine Nichtnutzung von Altreifengranulaten in Kunststoffrasensystemen auf die Treibhausgasemissionen in den vorgelagerten Primäranwendungen auswirken würden. Hierzu wären umfassende Systemanalysen ganzer Nutzungskaskaden für alle Werkstoffkomponenten erforderlich, die im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden können.

### 13.2 Untersuchte Systeme

Die Bewertung bestand aus einer "Cradle-to-Grave-Analyse" einschließlich der End-of-Life-Behandlung. Abbildung 35 zeigt eine Illustration des untersuchten Systems.

<sup>&</sup>lt;sup>214</sup> Eigene Schätzung/Berechnung

<sup>&</sup>lt;sup>215</sup> [Johansson 2018]: Life cycle assessment of two end-of-life tyre applications: artificial turfs and asphalt rubber, Ragn-Sells AB, <a href="https://www.sdab.se/media/1323/2018-1511-sdabs-annex-4-lca-granulat-foer-konstgraesplaner-ragn-sells.pdf">https://www.sdab.se/media/1323/2018-1511-sdabs-annex-4-lca-granulat-foer-konstgraesplaner-ragn-sells.pdf</a>

<sup>&</sup>lt;sup>216</sup> [Magnusson 2016]: Environmental perspectives on urban material stocks used in construction – Granular materials https://www.diva-portal.org/smash/qet/diva2:1045893/FULLTEXT02



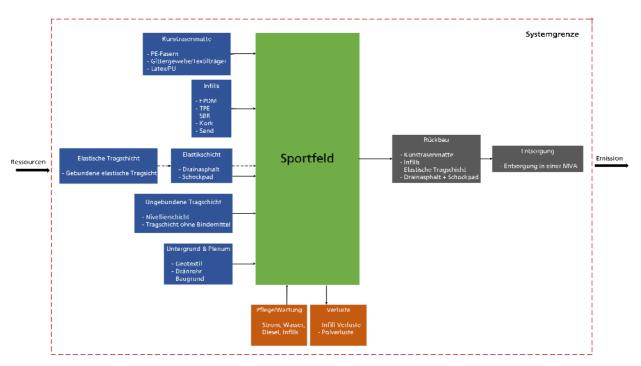


Abbildung 35: Systemgrenzen des Kunstrasensportplatzes

Berücksichtigt wurden Produktion, Bau, Wartung und Entsorgung der Kunstrasenkomponenten. Aspekte der Nutzungsphase, die auf Seiten der Spieler lagen ,wie z.B. Anfahrtswege, die Reinigung von verschleppten Kunstrasenfasern oder -granulaten etc., wurden nicht modelliert. Im Einzelnen wurde die Herstellung folgender Komponenten berücksichtigt:

- Rohre f
  ür die Entwässerung
- Geotextil
- Elastische Tragschicht (ET)
- Elastikschicht (Shockpad)
- Drainasphalt
- Infillmaterial
- Kunstrasenmatte

Für das Performance-Infill wurde eine Reihe von Materialien untersucht: EPDM, SBR, TPE, Kork und Sand. Ebenso kann der Kunstrasenteppich selbst, neben unterschiedlichen Polhöhen (Faserlänge über dem Teppichrücken), aus den Materialien Polyethylen, Polypropylen oder Polyamid (Nylon) bestehen. Die elastische Tragschicht (ET) kann entweder vor Ort hergestellt oder vorgefertigt werden. Typischerweise wird die ET durch die Bindung eines Gemisches aus SBR und Schotter mittels Polyurethan gefertigt. Die Elastikschicht (EL) kann ebenfalls aus SBR mit Polyurethanbindemittel oder aus geschäumtem PE bestehen.

Die Bauphase umfasst den Aushub des Spielfeldes, den Einbau eines Drainagerohrsystems, das Einbringen der Tragschicht aus Schotter und einer Nivellierungsschicht aus Feinkies. Es beinhaltet auch die Verlegung von Geotextil, ET-Schicht oder Drainasphaltschicht mit Shockpad. Schließlich umfasst es auch die Verlegung der Kunstrasenmatte und die Auffüllung mit entsprechendem Infillmaterial.



Für die Pflege und Instandhaltung der Kunstrasenflächen wurde der jährliche Bedarf an Strom, Diesel und Wasser abgeschätzt. Auch das Nachfüllen von entsprechendem Infillmaterial wurde berücksichtigt, um den Verlust des Infills zu kompensieren. Darüber hinaus beinhaltet die Pflegephase auch die Entsorgung von beschädigtem Kunstrasen und Infillmaterial, das nicht wiederverwendet werden kann. Für die Pflege wurde mangels besser ausdifferenzierter Daten für alle Plätze ein Wasserbedarf von 400 Kubikmeter pro Jahr abgeschätzt. Dies entspricht etwa 10 Prozent des Wertes von Naturrasenflächen.<sup>217</sup>

In Bezug auf das Infill wurde der in Kapitel 7.2 bestimmte Medianwert von 1,75 Tonnen pro Jahr für die Nachverfüllung und 1,78 Tonnen für die Granulatverluste unabhängig vom Infilltyp verwendet. Für die Faserverluste wurde der von Thieme-Hack bestimmte niedrigere Wert für jüngere Plätze von 1,9 Prozent pro Jahr angesetzt, da der höhere Wert nach Expertenbefragungen unrealistisch erscheint. Schließlich wurde für die meisten Materialien (auch Kork) am Ende ihrer Lebensdauer (s.Tabelle 13 für die Lebensdauer der jeweiligen Komponenten) angenommen, dass sie in einer Müllverbrennungsanlage thermisch behandelt werden. Für Sandfüllungen wurde angenommen, dass sie werkstofflich weiterverwendet werden (bspw. in einer Reitanlage).

<sup>&</sup>lt;sup>217</sup> [Klapproth 2015]



Tabelle 14: Eine Übersicht der untersuchten freien Parameter

Komponente		Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Florida de Tura	SBR	[kg/m <sup>2</sup> ]	15	15	-	-	-	-	-
Elastische Trag- schicht	PUR	[kg/m <sup>2</sup> ]	2,25	2,25	-	-	-	-	-
SCHICIT	Schotter	[kg/m²]	13	13	-	-	-	-	-
Drainasphalt		[kg/m <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	-	101,5	-
EL elle Liste	PE-Schaum (*re- cycelt PE)	[kg/m²]	-	-	0,5	0,6	-	-	*2,3
Elastikschicht	SBR	[kg/m <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	-	9,8	-
	PUR	[kg/m²]	-	-	-	-	-	1,2	-
	PP-Polfasern	[kg/m <sup>2</sup> ]	1,38	1,22	1,22	2,06	2	1,4	2,85
Kunstrasenmatte	PP-Gittergewebe	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,27	0,27	0,27	0,27	0,2	0,27	0,3
	Latex	[kg/m²]	1	1	1	1	1	1	1
	EPDM	[kg/m <sup>2</sup> ]	-	6	-	-	-	-	-
	SBR	[kg/m <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	14,9	-	-
Infills	TPE	[kg/m <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	-	8,45	-
	Kork	[kg/m²]	2,52	-	2,52	-	-	-	-
	Sand	[kg/m²]	22	25	22	22	25	15	13
Pflege/Wartung	Dieselverbrauch	[L/Jahr]	1850	1850	925	580	1850	1850	1850
Thege waitung	Wasserverbrauch	[m³/Jahr]	400	400	400	400	400	400	400
	EPDM	[kg/Jahr]	-	1750	-	-	-	-	-
	SBR	[kg/Jahr]	-	-	-	-	1750	-	-
Infill-Nachfüllung	TPE	[kg/Jahr]	-	-	-	-	-	1750	-
	Kork	[kg/Jahr]	1750	-	1750	-	-	-	-
	Sand	[kg/Jahr]	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Faserverlust		[%/Jahr]	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9

### 13.3 Wirkungskategorie

In dieser Studie wird ausschließlich die Wirkungskategorie Treibhausgasemissionen und der Global Warming Impact (GWI) als Indikator für die Umweltbelastung betrachtet.<sup>218</sup> Das Ergebnis ergibt eine Schätzung sämtlicher Treibhausgasemissionen (z.B. Kohlendioxid, Lachgas, Methan, Halogenkohlenwasserstoffe), die bei jedem der untersuchten Prozesse innerhalb der Systemgrenzen auftreten können. Sie werden als Kohlendioxidäquivalente ausgewiesen, um verschiedene Emissionen vergleichbar zu machen.

### 13.4 Ergebnisse

Wie in Tabelle 13 dargestellt, waren die Parameter Feldgröße und Lebensdauer (Kunstrasenmatte, ET oder EL mit Drainasphalt) über alle sieben Varianten gleich. Ebenso wurden die Abmessungen und die Ausführung von Unterbau und Planum über alle Kunstrasenvarianten gleich angenom-

-

<sup>&</sup>lt;sup>218</sup> IPCC, 2007a



men. Sie dienen ausschließlich dazu die Relevanz bestimmter Komponenten in Bezug auf das Gesamtsystem bewerten zu können und einen (vorsichtigen) Vergleich mit anderen Studien durchführen zu können (vgl. Kap. 13.5).

Generell kann festgestellt werden, dass die jährlichen Spielstunden umgekehrt proportional zu den Treibhausgasemissionen sind. Das heißt, eine Erhöhung der Nutzungsintensität (innerhalb der von den Herstellern vorgegebenen Grenzen) senkt den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutlich. In dieser Studie wurde eine durchschnittliche Spielzeit von 1600 Stunden pro Jahr angenommen.

Abbildung 36 zeigt den Vergleich der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Kunstrasensystem-Varianten. Es ist zu beachten, dass Variante 3 (EL/Sand+Kork-Infill) und Variante 4 (EL/nur Sand-Infill) mit 9,4 kg CO<sub>2</sub>-äq/Stunde bzw. 10,5 kg CO<sub>2</sub>-äq/Stunde die geringsten Emissionen aufweisen. Mehr als zweimal höhere Umweltwirkungen (ca. 29,8 kg CO<sub>2</sub>-äq/Stunde) weist die Variante 6 (EL+Drainasphalt/TPE+Sand-Infill) auf. Die Treibhausgasemissionen der Varianten 2 (ET/EPDM+Sand-Infill) und 5 (-/SBR+Sand-Infill) liegen in einem ähnlichen Bereich um ca. 26,9 und 22.3 kg CO<sub>2</sub>-äq/Stunde. Die Treibhausgasemissionen für die korkgefüllte Variante 1 mit elastischer Tragschicht (ET/Sand+Kork-Infill) ist mit 20,7 kg CO<sub>2</sub>-äq/Stunde nur unwesentlich niedriger. Die ungefüllte Variante 7 (EL/ungefüllt) schneidet hingegen mit 11,9 kg CO<sub>2</sub>-äq/Stunde deutlich besser ab.

### KUNSTRASENSYSTEM VERGLEICH

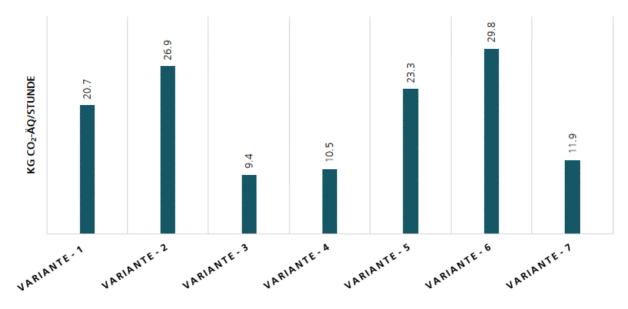


Abbildung 36: Vergleich der Treibhausgasemissionen verschiedener Kunstrasensystem-Varianten

Abbildung 37 zeigt eine detaillierte Beitragsanalyse verschiedener Kunstrasenvarianten für jede Komponente innerhalb der Lebenszyklusphase.



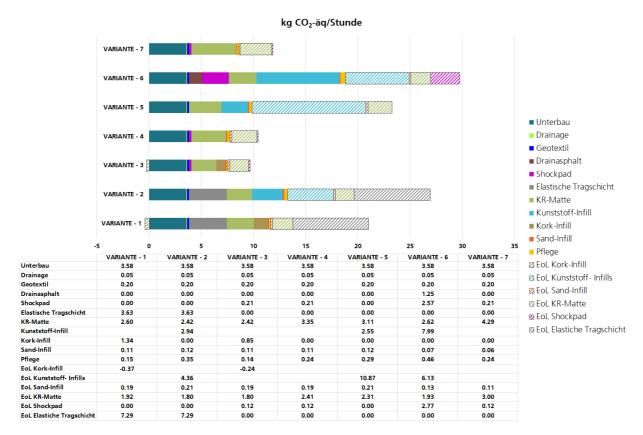


Abbildung 37: Vergleich von Beitragsanalysen aus verschiedenen Kunstrasensystem-Varianten

Bei Variante 1 (ET/Sand + Korkfüllung) und Variante 2 (ET/EPDM+Sand-Infill) trägt die Entsorgung der elastischen Tragschicht am meisten zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bei. Bei Variante 3 (EL/Sand+Kork-Infill), Variante 4 (EL/Sand-Infill) und Variante 7 (EL/ungefüllt) stammen die höchsten Beiträge aus der Herstellung der Kunstrasenmatte. Bei Variante 5 (-/SBR+Sand-Infill) entsteht der höchste Beitrag durch die thermische Entsorgung des Infills. Bei Variante 6 (EL/DA/TPE+Sand-Infill) besitzt die Herstellung des TPE-Infills den höchsten Beitrag.

Abbildung 38 zeigt einen Vergleich der durch die Herstellung bedingten Treibhausgasemissionen verschiedener Dämpfungssysteme pro funktionelle Einheit (die Umrechnung auf 1 Quadratmeter würde zu einem identischen Ergebnis in Bezug auf den Vergleich führen). Im Vergleich zu einer elastischen Tragschicht (ET) oder einer Kombination aus Drainasphalt kombiniert mit rein polymerer Elastikschicht (EL) aus SBR weisen die PE-basierten EL-Schichten (Shockpads) einen geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf. In letzter Zeit gibt es auch die Möglichkeit, recycelte PE-Schäume im Kunstrasensystem zu verwenden. Aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit von geeigneten Datensätzen für die Ökobilanzsoftware basierte die Modellierung von PE-Schaum in dieser Studie jedoch auf Virgin-Materialien. Da es sich um Produktionsabfälle und nicht um Post-Consumer-Rezyklate handelt, scheint dieser Ansatz – unabhängig davon, ob es um Neu- oder Rezyklatschaum geht – gerechtfertigt. Vermutlich würde der Rezyklatschaum etwas schlechter abschneiden, da die zweite Verarbeitung zusätzlichen Aufwand erfordert und deutlich höhere Schaumdichten vorliegen und daher die eingesetzte Masse größer ist. Es ist zu berücksichtigen, dass sich der Vergleich aufgrund der derzeit noch hohen Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen EoL-Optionen, nur auf die Herstellungsphase bezieht. Tendenziell darf aber erwartet werden, dass sich der Trend aus der Herstellungsphase auch über den gesamten Lebenszyklus fortsetzt.



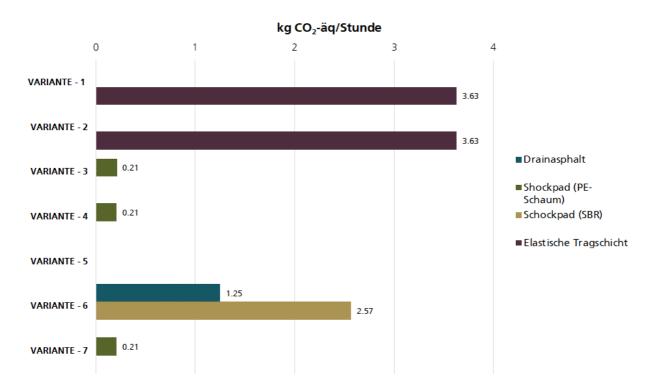


Abbildung 38: Vergleich der Treibhausgasemissionen von verschiedenen Dämpfungsschichten aus der Herstellungsphase

In Abbildung 39 ist ein Vergleich der Treibhausgasemissionen von verschiedenen Füllungsmaterialien dargestellt. Um die Auswirkungen verschiedener Infillmaterialien unabhängig von der eingesetzten Menge – die in Abhängigkeit von Gesamtsystem und den Präferenzen der Betreiber stark variieren kann – darzustellen, werden die Treibhausgasemissionen pro Kilogramm dargestellt. Die Füllmenge für jede Variante ist in Tabelle 14 zu sehen, die Abbildungen 35 und 36 berücksichtigen diese unterschiedlichen Füllmengen.

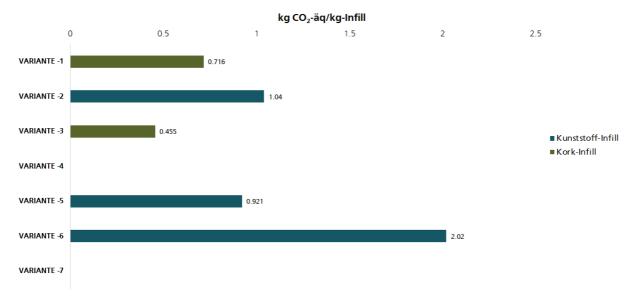


Abbildung 39: Vergleich der Treibhausgasemissionen von verschiedenen Infill-Varianten aus der Herstellungsphase

Es wird deutlich, dass das Kork-Infill (Variante 1 und 3) den geringsten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck (0,455 bis 0,716 kg CO<sub>2</sub>-äq/kg-Infill) hat, da es aus biogenen Materialien hergestellt wird. Beim Vergleich von



Kunststoff-Infills haben SBR-basierte Infills (Variante 5) mit 0,921 kg CO<sub>2</sub>-äq/kg-Infill den geringsten und TPE-basierte Infills (Variante 6) mit 2,02 kg CO<sub>2</sub>-äq/kg-Infill den höchsten Fußabdruck. EPDM-basierte Infills haben mit 1,04 kg CO<sub>2</sub>-äq/kg-Infill (Variante 2) einen nur geringfügig höheren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als SBR-Granulate.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Punkte können die wesentlichen Ergebnisse dieser Analyse wie folgt zusammengefasst werden:

- 1. Je nach Kunstrasentyp liegen die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke zwischen 9,4 und 29,8 kg CO<sub>2</sub>-äq./Stunde
- 2. Die Art der Füllmaterialien spielt eine Rolle, z. B. haben Korkfüllungen als biogenes Produkt einen geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als Füllmaterialien auf fossiler Basis
- 3. Die Verwendung eines geschäumten Polyethylen ohne oder mit Drainasphalt anstatt ET hat geringere Auswirkungen sowohl in der Produktionsphase als auch in der Entsorgung.
- 4. Die mit der Entsorgung verbundenen Treibhausgasemissionen sind bei Infilltypen wie SBR, EPDM oder TPE besonders relevant
- 5. Ein hochwertiges Recycling der Komponenten und eine längere Nutzungsdauer von Füllmaterial und Dämpfungsmaterial kann den CO₂-Fußabdruck deutlich senken

Die durchgeführte Analyse beschränkte sich auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der verschiedenen Kunstrasensysteme.

Es muss jedoch erwähnt werden, dass es mehrere andere, ebenso wichtige Wirkungskategorien gibt (Versauerung, Eutrophierung, Feinstaub etc.), die im Rahmen dieser Analyse nicht untersucht worden sind. Weiterhin wurde in dieser Studie als funktionale Einheit die "Spielzeit von einer Stunde auf dem jeweiligen Kunstrasen mit einer Spielfeldgröße von 7500 m²" verwendet. Die funktionelle Einheit berücksichtigt keine spieltechnischen Unterschiede zwischen den Varianten wie Ballreflexion und -rollverhaltendämpfung, Drehwiderstand, Bespielbarkeit bei schlechter Witterung, Oberflächenerwärmung usw. Auch die Mikroplastikproblematik kann bis heute in Ökobilanzen nicht abgebildet werden. Daher muss sie ergänzend – wie in dieser Studie gemacht – in einer ganzheitlichen Bewertung berücksichtigt werden.

### 13.5 Ergebnisse anderer Studien

Bisher gibt es noch vergleichsweise wenige Studien, die sich mit der Ökobilanzierung von Kunstrasensystemen befassen.<sup>219,220,221,222</sup> Schüler & Stahl (2008) haben synthetische Rasensysteme mit Naturrasen verglichen.<sup>203</sup> Magnusson (2017) analysierte ein typisches Kunstrasensystem in Skandinavien. <sup>204</sup> Itten et al. (2020) verglichen verschiedene Kunstrasensysteme und Naturrasen in der Region Zürich.<sup>205</sup> Johansson (2018) untersuchte die Auswirkungen verschiedener Infill-Typen auf die Treibhausgasemissionen.<sup>206</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>219</sup> [Öko-Institut 2008]: Ökobilanz für den Vergleich der Umweltauswirkungen von Natur und Kunstrasenspielfeldern

<sup>&</sup>lt;sup>220</sup> [Magnusson 2017]: Analysis of energy use and emissions of greenhouse gases, metals and organic substances from construction materials used for artificial turf, <a href="https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.03.007">https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.03.007</a>

<sup>&</sup>lt;sup>221</sup> [ZHAW 2020]: Ökobilanzierung von Rasensportfeldern: Natur-, Kunststoff- und Hybridrasen der Stadt Zürich im Vergleich, https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/20774

<sup>&</sup>lt;sup>222</sup> [Johansson 2018]: Life cycle assessment of two end-of-life tyre applications: artificial turfs and asphalt rubber, Ragn-Sells AB, <a href="https://www.sdab.se/media/1323/2018-1511-sdabs-annex-4-lca-granulat-foer-konstgraesplaner-ragn-sells.pdf">https://www.sdab.se/media/1323/2018-1511-sdabs-annex-4-lca-granulat-foer-konstgraesplaner-ragn-sells.pdf</a>



Tabelle 15 gibt einen kurzen Überblick über die Parameter und Ergebnisse anderer ähnlicher Studien in der Literatur. Es ist zu beachten, dass ein Eins-zu-eins-Vergleich der Ergebnisse kaum möglich ist, da die Studien unterschiedliche Parameter verwenden (Fläche, Nutzungsintensität, Kunstrasenkomponenten usw.). Neben den Abweichungen in der Sachbilanz gibt es auch methodische Unterschiede zwischen den Studien und den verwendeten Datensätzen.

Generell zeigen die Ergebnisse, dass die Treibhausgasemissionen eines Kunstrasenplatzes in hohem Maße mit der Materialauswahl, der Pflege und der Verwertung der Materialien des Rasensystems am Ende ihrer Lebensdauer korrelieren. Darüber hinaus trägt auch die Art des Füllmaterials zu höheren Treibhausgasemissionen bei. Studien zeigen, dass TPE-basierte Infills die höchsten Emissionen aufweisen, gefolgt von EPDM-basierten Infills. SBR-Infills aus Altreifen wiesen die geringsten Emissionen unter den synthetischen Infills auf. Diese Ergebnisse stimmen mit den Erkenntnissen dieser Studie überein.

Zusammengefasst könnte die Verwendung natürlicher Materialien, die Rezyklierung der eingesetzten Materialien und eine Vor-Ort-Wiederverwendung von Boden und Gestein die Treibhausgasemissionen verringern. Die Massivität der Dämpfungssysteme aus Asphalt bzw. Schotter und ELT-Granulat und Polyurethan-Bindemittel wirkt sich in allen Ökobilanzen deutlich negativ auf das Ergebnis aus.

Tabelle 15: Vergleich mit Literatur

Komponente	Öko-Institut 2008 <sup>219</sup>	ZHAW 2020 <sup>221</sup>	Diese Studie
Funktionelle Einheit [Nutzstunden]	1	1	1
Systemgrenzen	Cradle-to-Grave	Cradle-to-Grave	Cradle-to-Grave
Nutzungsintensität, [Stunden/Jahr]	1500	1600	1600
Fläche, [m²]	7650	7420	7500
Lebensdauer (ET, EL), [Jahre]	30	30	30
Lebensdauer (KR-Matte), [Jahre]	10	10	10
Unterbau & Plenum	✓	✓	✓
Drainage	✓	✓	✓
Geotextil	-	-	✓
Elastische Tragschicht	✓	✓	✓
Drainasphalt	-	✓	✓
Elastikschicht	-	✓	✓
Kunstrasenmatte	✓	✓	✓
Infills	✓	✓	✓
Betonstellriemen, Zaun, Lichtanlage	-	✓	-
Pflege/Wartung	✓	✓	✓
Infill-Nachfüllung	✓	✓	✓
Rückbau & End-of-Life Betrachtung	✓	✓	✓
Treibhausgasemissionen, [kg CO <sub>2</sub> äq/Stunde]	15	32 bis 52	9,4 bis 29,8



# 14 Wie werden Umweltaspekte in Normen und Standards berücksichtigt?

»Die Normen, Standards und Gütezeichen gehen in ihren Umweltanforderungen kaum über gesetzliche Mindestanforderungen hinaus. Mikroplastikemissionen in Form von Fasern und Granulaten werden nur am Rande und ohne Zielvorgaben adressiert.

In der deutschen Norm und im FIFA-Quality-Programm werden Ausführungsformen festgelegt, die zum Beispiel vorgefertigte Shockpads ohne Asphaltschicht und unverfüllte Plätze de facto vom Wettbewerb (auch um die ökologisch beste Lösung) ausschließen, obwohl diese Konzepte Vorteile aufweisen können.

Vor dem Hintergrund, dass sich Umweltregulierungen im Laufe der Zeit und mit zunehmendem Erkenntnisgewinn häufig verschärfen, haben die für Kunstrasenplätze relevanten Normen bisher weder für Hersteller noch Betreiber ausreichende Planungssicherheit geschaffen.«

### 14.1 EN 15330-1 und DIN 18035-7

Für Kunstrasenplätze existieren verschiedene Normen und Standards. In Deutschland und der Schweiz sind hier insbesondere die europäische EN 15330-1 und die deutsche DIN 18035-7 relevant. Die 15330-1 thematisiert im Wesentlichen das Kunstrasensystem: Rasenschicht plus Infill und Elastikschicht/Elastische Tragschicht. Die Norm 18035-7 umfasst zusätzlich den Erdbau und die damit verbundenen Schichten, also das Komplettsystem. Die Norm 18035-7 bildet in Deutschland in der Regel die Grundlage für Ausschreibungstexte. Derzeit ist die EN 15330 in Überarbeitung. Insbesondere wird ein Teil 4 erstellt, der sich explizit mit den Elastikschichten auseinandersetzt. Gegebenenfalls könnte dies dazu führen, dass die deutsche Norm 18035-7 angepasst (harmonisiert) werden muss oder zurückgezogen wird. 223 Die Schweiz orientiert sich ebenfalls an beiden Normen. Eigene Schweizer Normen für Kunstrasenplätze gibt es bislang nicht. 224 In Deutschland wird ergänzend zu den Normen ein RAL-Gütezeichen angewendet. Das Gütezeichen basiert auf einem Kriterien-Katalog, der sich an die Normen anlehnt. Für Kunstrasenplätze, auf denen UEFA- oder FIFA-Spiele ausgetragen werden, ist das FIFA-Quality-Programm von großer Bedeutung. Darüber hinaus wurde 2020 der technische Bericht CEN/TR 17519 des europäischen Normungsinstituts zur Minimierung von Infillverlusten veröffentlicht, der Eingang in das Beschränkungsvorhaben der ECHA gefunden hat.<sup>225</sup>

 $<sup>\</sup>frac{223}{www.beuth.de/de/erweiterte-suche/272754!search?alx.searchType=complex\&searchAreald=1\&query=DIN+EN+15330-4+\&facets[276612]=\&hitsPerPage=10: Letzter Zugriff: 08.07.2021$ 

<sup>&</sup>lt;sup>224</sup> BASPO 111- Kunststoffrasen: Übersicht

<sup>&</sup>lt;sup>225</sup> https://www.estc.info/wp-content/uploads/2020/03/FprCENTR-17519-Public.pdf; Letzter Zugriff: 09.07.29021



#### **DIN EN 15330-1** Kunstrasenschicht mit Infill Sportfunktionelle Systemanforderung Schutzfunktionelle Systemanforderung Elastische Tragschicht/Elastikschicht Einzelne Anforderungen an Einzelkomponenten = Kunstrasensystem DIN FN 18035-7 Anforderung an einzelne Schichten Ungebundene Tragschicht Anforderung an Einzelkomponenten Umweltverträglichkeit = Komplettsystem Baugrund

Abbildung 40: Geltungsbereich der Normen (Eigene Darstellung nach https://fixgreen.de/kunstrasen-abc-din-normen.html)

Die europäische Normen EN 15330-1/-2 und zukünftig auch die EN 15330-4 legen vor allem Anforderungen für die sportfunktionelle Performance, die Werkstoffeigenschaften und die Dauerhaftigkeit von Kunststoffrasensystemen für den Breitensport fest. Umweltaspekte werden nicht adressiert. In Bezug auf die Elastikschicht schreiben die obigen Normen nur eine Zugfestigkeit vor, ob diese auch für elastische Tragschichten anzuwenden und sinnvoll ist, wird nicht ausgeführt. Einfüllmaterialien werden nicht behandelt. Im Anhang A, der ausschließlich informativen Charakter hat, werden Ausführungen von Kunstrasenplätzen empfohlen. Eine mittlere bis hohe Eignung für Fußball haben demgemäß mit Gummi und Sand teilverfüllte Kunstrasensysteme mit einer Polhöhe von 35 bis 70 Millimetern bei niedrigem bis mittlerem Fasergewicht, dabei ist die Elastikschicht optional. Rein sandverfüllte oder unverfüllte Systeme werden nur als bedingt geeignet bewertet.

Es ist zu prüfen, ob die Norm bezüglich der Ausführungsformen den Stand der Technik und die aus Umweltsicht beste Technik angemessen berücksichtigt, da unverfüllte und rein sandverfüllte Plätze durchaus praktische Relevanz im Fußball besitzen. Im Rahmen einer Beschaffung unter Bezugnahme auf die Norm sollte daher der informative Charakter des Anhangs berücksichtigt werden und ggf. nicht als auschließendes Vergabekriterium herangezogen werden.

In der Überarbeitung der europäischen Norm wird auch das Kriterium Dauerbeständigkeit diskutiert. Es ist fraglich, wie sich dieses Kriterium auf den möglichen Einsatz von natürlichen und vor allem bioabbaubaren Kunststoffen auswirken wird.<sup>226</sup>

In Deutschland existiert für gefüllte und unverfüllte Kunstrasensysteme ergänzend zur europäischen Norm die **DIN 18035-7.** Die Norm adressiert technische und sportfunktionelle Eigenschaften sowie die Umweltverträglichkeit. Aufgrund der aktuellen Überarbeitung der EN 15330-4, finden derzeit keine Aktualisierungen dieser Norm statt, da diese mit den übergeordneten europäischen Normen harmonisiert werden muss. Sie stellt daher aus Expertensicht nicht mehr den Stand der Technik dar.<sup>226</sup> Direkt zu Beginn der Norm werden bei den allgemeinen Anforderungen ausschließlich zwei Bauweisen aufgeführt: a) eine Kombination aus Asphaltschicht und Elastikschicht und b) mit elastischer Tragschicht (s. Abbildung 40).<sup>227</sup> Außerhalb von Deutschland und der Schweiz besitzen aber auch Plätze ohne Asphalt-/Elastikschicht-Kombination oder ohne elastische Tragschicht sowie solche, bei denen die (geschäumte) Elastikschicht direkt auf dem Feinplanum (Nivellierschicht) aufgebracht oder ganz auf Elastikschichten verzichtet wird, durchaus Relevanz und Marktverbreitung (bspw. in Skandinavien und Großbritannien). Für Elastikschichten und elastische Tragschichten werden in der Norm weiterhin nur solche Systeme berücksichtigt, die aus Gummigranulat und Bindemittel bestehen. Geschäumte Elastikschichten werden gar nicht berück-

<sup>&</sup>lt;sup>226</sup> Persönliche Auskunft: d. Schockmann (Fa. Genan); 23.05.2021

<sup>&</sup>lt;sup>227</sup>Im Anhang wird die Darstellung der Bauweisen im Gegensatz dazu als »informativ« charakterisiert.



sichtigt. Für synthetische Füllstoffe werden unter anderen Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Abrieb vorgegeben. Dies sind Größen, die für natürliche Infillmaterialien wie Kork, Rezyklate oder zukünftige bioabbaubare Infillmateralien kaum einzuhalten oder mit etablierten Messverfahren nicht messbar sind. Dennoch wird die Anwendung dieser Werte auch für alternative Infillmaterialien in der Norm empfohlen. Insbesondere die Angabe von Zugfestigkeit und Bruchdehnung sind eher überflüssig, da es hier auf die Systemeigenschaften des gesamten Kunstrasensystems in Bezug auf Ballreflexion, Rollverhalten, Kraftabbau und Drehwiderstand ankommt und diese durch sehr unterschiedliche werkstoffliche Kombinationen erreichbar sein dürften.

Die vorbeschriebene Darstellung von Ausführungen in der Norm dürften eigentlich nur informativen Charakter haben, in der Praxis werden sie aber in Beschaffungen häufig als Ausschlusskriterium genutzt. Die Ausführung als kombinierte Asphalt-/Elastikschicht bzw. mit elastischer Tragschicht oder die Wahl der Infillmaterialien besitzen hohe Relevanz für die Freisetzung von Schadstoffen und Mikroplastik sowie den Carbon Footprint (vgl. Kap. 8 und 13). Im Ergebnis werden durch die Norm potenziell umweltverträglichere Lösungen behindert. In der DIN 820-2\_2020-03, die als Meta-Norm die Gestaltung von Normen regelt, wird explizit gefordert, dass Anforderungen, wann immer möglich, mit Hilfe von Leistungsmerkmalen anstatt mit gestalterischen oder beschreibenden Merkmalen ausgedrückt werden müssen.<sup>228</sup> Wird bei Beschaffungsvorgängen auf die DIN 18035-7 Bezug genommen, sollte in der Bekanntmachung explizit ausgeführt werden, dass soweit in der Norm Ausführungsformen beschrieben sind, diese nicht als Bewertungsmaßstab herangezogen werden. Andernfalls ist nicht sichergestellt, dass die nach dem Stand der Technik kostengünstigste und umweltverträglichste Lösung angeboten werden kann.

In Bezug auf Umweltverträglichkeit schreibt die Norm Untersuchungen des Sickerwassers vor. Die Empfehlung für einzuhaltende Werte orientiert sich an den im Anhang 2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser vorgegebenen Prüfwerten. Phthalate und Chlorparaffine sollen laut Norm bestimmt werden, aber es werden keine Grenzwerte vorgegeben. Für polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), durch die Kunstrasensysteme bereits häufiger in die Kritik geraten sind, werden bislang keine Vorgaben gemacht (um nicht im Widerspruch zu einer geplanten Ergänzung der EU-REACH-Verordnung zu stehen). Leichtflüchtige Schadstoffe werden ebenfalls nicht quantitativ bestimmt, sondern die Norm fordert Angaben zu Gerüchen zu machen. Für Mikroplastikemissionen gibt es bislang keine Vorgaben.

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob eine Bewertung, die ausschließlich anhand von Eluatanalysen erfolgt, genügt. Das System Kunstrasen ist teilweise über Jahrzehnte in umweltoffener Anwendung. Nach heutigen Kenntnisstand und den in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen und Begehungen sind Verluste an Mikroplastik (Fasern und Granulate) üblich und eine unvollständige Bergung der elastischen Tragschicht nicht auszuschließen. Ergänzend oder alternativ zu den Konzentrationen im Sickerwasser könnten daher die Gesamtgehalte des installierten Systems in den Blick genommen werden, ähnlich wie dies bei der Ausbringung von Böden gemacht wird. Dies würde dem Vorsorgeprinzip besser gerecht werden.<sup>229</sup> Auch eine ggf. steigende Freisetzung durch zunehmende Verwitterung der polymeren Bindemittel am Ende der Lebensdauer oder in

<sup>&</sup>lt;sup>228</sup> Email von L. Bornmann, Deutsches Institut für Normung DIN e. V. vom 09.12.2020

<sup>&</sup>lt;sup>229</sup> Das Vorsorgeprinzip findet sich in Art. 191 AEUV und wurde durch den Vertrag von Maastricht in das Europarecht eingefügt. Die EU-Chemikalienpolitik führt in der Verordnung EG Nr. 1907/2006 (REACH-VO) im Art. 1 (Ziel und Geltungsbereich) aus, dass den Bestimmungen der REACH-VO das Vorsorgeprinzip zugrunde liegt.



einer zweiten Nutzungsphase<sup>230</sup> oder die Aufbringung von Neumaterial<sup>231</sup> könnte so berücksichtigt werden.

### 14.2 RAL Gütezeichen RAL-GZ 944

Ergänzend zu den zuvor genannten Normen existiert das Gütezeichen **RAL-GZ 944 (05/2018).** Der Zweck der Gütebestimmung ist, durch eine Erstprüfung die Qualität, Umweltverträglichkeit und fachgerechte Herstellung deren Module, Erstellung von Kunststoffrasensystemenund Pflege von Kunststoffrasenflächen nachzuweisen. Die fortlaufende Sicherung soll durch kontinuierliche Maßnahmen der Eigenüberwachung sowie turnusmäßige jährliche Fremdüberwachungen erfolgen. Im Wesentlichen fasst das Gütezeichen 944 die Anforderungen der europäischen und deutschen Norm zusammen. Insbesondere in Bezug auf die Umweltverträglichkeit replizieren die Gütekriterien die Empfehlungen gemäß DIN 18035-7.

2017 hat die RAL-Gütegemeinschaft angekündigt, vor dem Hintergrund der ECHA-Aktivitäten zu polyaromatischen Kohlenwasserstoffen in Einstreugranulaten<sup>232</sup>, ab sofort eine PAK-Analyse im Rahmen der Gütesicherung als verpflichtend zu ergänzen. Als Zielkriterium wird ein Grenzwert von 20 Milligramm pro Kilogramm als Summenparameter für 8 besondere relevante PAK vorgegeben.<sup>233</sup> Damit sind die Anforderungen bspw. höher als die für Kinderspielzeug (100 Milligramm pro Kilogramm), die in RL 2009/48/EG festgeschrieben sind. Letztere werden allerdings vom Umweltbundesamt als korrekturbedürftig kritisiert. Im Weiteren wurde die angekündigte Neuerung in die Überarbeitung der Gütekriterien von 05/2018 nicht aufgenommen. Da die Beschränkung der PAK-Gehalte gemäß des Beschränkungsvorschlages der ECHA bisher nicht in Kraft gesetzt wurde, liegt eine Regulierungslücke vor.<sup>234</sup> Darüber hinausgehende Untersuchungen zu Umweltwirkungen sind im Gütezeichen nicht vorgesehen. Besondere Vorgaben für das EoL (End-of-Life), insbesondere für das Recycling oder zumindest die Recyclingfähigkeit von Kunstrasen, gibt es in den Gütekriterien nicht. Sie sollen aber im Rahmen einer Überarbeitung des Gütezeichens zukünftig berücksichtigt werden.<sup>235</sup>

In Bezug auf Verschleiß und Verwitterung sind im RAL-Gütezeichen über die Anforderungen in den Normen hinausgehende Tests vorgesehen. Mittels des so genannten Lisport-Tests, einem Abrieb-Test für Kunstrasen, der ebenfalls in einer europäischen Norm (EN 15306) beschrieben ist, wird der Verschleiß durch den Spielbetrieb simuliert. Bei dem Test wird der Kunstrasen einer rollenden Belastung durch eine mit Stollen bestückte Walze unterzogen. Bislang fehlen aber Übertragungsfunktionen zwischen den Tests und Laborbedingungen und dem realen Verschleißverhalten. Hierfür sind Langzeitfeldstudien erforderlich. Es ist daher zwar eine vergleichende Bewertung verschiedener Kunstrasenteppiche möglich, aber kaum eine Prognose des in der Praxis auftretenden Verschleißes. Ein realitätsnäherer Test (Lisport XL) ist derzeit in der Einführung und soll auch Bestandteil von Normen werden. Ob der Test die Verschleißprüfung nur schneller und realistischer

<sup>&</sup>lt;sup>230</sup> Kalbe 2013.

<sup>&</sup>lt;sup>231</sup> Kalbe et al. 2016.

<sup>232</sup> https://echa.europa.eu/de/hot-topics/granules-mulches-on-pitches-playgrounds; Letzter Zugriff: 22.07.20212

<sup>&</sup>lt;sup>233</sup> https://www.ral-ggk.eu/en/news-2/49-news/199-aktuelle-informationen-zu-moeglichen-gesundheitsrisiken-auf-kunstrasenplaetzenin-sportfreianlagen.html; Letzter Zugriff: 14.04.2021

<sup>&</sup>lt;sup>234</sup> https://echa.europa.eu/de/hot-topics/granules-mulches-on-pitches-playgrounds; Letzter Zugriff: 22.07.2021

<sup>&</sup>lt;sup>235</sup> Persönliche Auskunft: d. Schockmannn, Fa. Genan; 03.05.2021

<sup>&</sup>lt;sup>236</sup> https://labosport.com/reference/lisport-xl-designed-by-labosport letzter Zugriff 16.4.2021



macht, oder ob auch Übertragungsfunktionen zur Vorhersage der Lebensdauer entwickelt werden, ist noch unbekannt.<sup>237</sup> Ergänzend wird bei gefüllten Kunstrasensystemen, der Einfluss der Kontaktdiffusion auf die Alterung mittels simulierter Sonnen-Exposition untersucht, bevor der Lisport-Test durchgeführt wird. Hiervon erhofft man sich Informationen über negative Wechselwirkungen zwischen Faser und Füllmaterial.

In Summe werden im Rahmen des RAL-Gütezeichen 944 vor allem die Erst- und Wiederholungsprüfungen organisiert. Über die Anforderungen aus den beiden Normen geht das Gütezeichen leicht hinaus. Der wesentliche Nutzen des Gütezeichens liegt in einer fortlaufenden Fremdüberwachung, die sicherstellt, dass zugesicherte Produkteigenschaft auch tatsächlich in der Realisierung umgesetzt werden. Der selbst gesetzte Anspruch der RAL für besonders hohe Qualität (»ein weitreichendes Güteversprechen«) zu stehen und aktuelle Anforderungen in die Gütesicherung einfließen zu lassen, ist im Falle von Kunstrasensystemen erst im Ansatz erkennbar.<sup>238</sup> Derzeit finden allerdings erste Überlegungen zu einem Umweltzeichen (Blauer Engel) statt, der hier Abhilfe schaffen könnte.

### 14.3 BASPO-Empfehlungen

Empfehlungen zu Kunstrasensystemen werden in der Schweiz vom Bundesamt für Sport herausgegeben. Empfehlungen zur Umweltverträglichkeit sind in der Schrift BASPO 112, die 2008 erschienen ist, zusammengefasst. Grundsätzlich wird keine Umweltgefährdung durch Kunstrasen erwartet. Die Infillverluste werden mit dem Reifenabrieb in Relation gesetzt und als unproblematisch charakterisiert. In Bezug auf Polyurethane als Bindemittel für Elastikschichten und elastische Tragschichten sowie zur Beschichtung von Altreifengranulaten wird in der Reduktion der Quecksilbergehalte in den letzten Jahrzehnten eine ausreichende Verbesserung gesehen. Die Verwendung von Reifengranulat halten die Autoren bei fortwährender Kontrolle auf Schadstoffe für vertretbar. Darüber hinaus werden bestimmte Materialien als Bestandteile von Kunstrasensystemen allerdings komplett ausgeschlossen, bspw. Cadmium oder Blei. Da diese Metalle aber mit anderen Metallen vergesellschaftet sind (bspw. mit Zink), lassen sie sich insbesondere bei Verwendung von Altreifengranulaten als Bestandteil der Elastikschicht oder als Einfüllmaterial nicht vollständig ausschließen. Stattdessen können Grenzwerte vorgegeben werden. Explizit ausgeschlossen werden Einfüllgranulate aus halogenierten Elastomeren (Fluor- und Chloroprenkautschuk). In einer Lysimeterversuchsreihe an verschiedenen Kunstrasensystemen, die in Bern von 2006 bis 2008 durchgeführt wurden (BASPO 113), konnte an keinem der untersuchten Systeme eine kritische Konzentration ermittelt werden, sodass die BASPO empfiehlt vollständig auf Eluattests zu verzichten und stattdessen einfache Entscheidungshilfen bei der System- und Materialwahl zu etablieren.

### 14.4 FIFA-Qualitätsprogramm

Das **FIFA Quality Programme**<sup>239</sup> fokussiert vor allem auf die Eignung von Kunstrasensystemen für das Fußballspielen. Dabei stehen die sportfunktionellen Eigenschaften im Vordergrund. Fußballspiele der FIFA und UEFA erfordern zwingend eine Zertifizierung der Plätze nach diesem Programm. Eine Grundbedingung dafür ist, dass der Hersteller des Platzes von der FIFA lizenziert wurde. Darüber hinaus weist die FIFA bevorzugte Hersteller aus. Für die Prüfung hat die FIFA geeignete Institute akkreditiert. Umweltrelevant in den Standards sind Tests zur Auszugskraft der

<sup>&</sup>lt;sup>237</sup> https://labosport.com/innovation/lisport-xl; Letzter Zugriff: 22.07.2021

<sup>&</sup>lt;sup>238</sup> https://www.ral-guetezeichen.de/; Letzter Zugriff: 13.04.2021

<sup>&</sup>lt;sup>239</sup> FIFA 2018.



Kunstrasenfasern aus dem beschichteten Teppichrücken sowie die Änderung der Bruchkraft nach künstlicher Alterung der Fasern. Auf diese Weise werden indirekt auch Vorgaben zur Reduktion von Faserverlusten gemacht. Inwieweit Vorgaben zum Infillsplash sich auf die Granulatverluste auswirken, ist unklar.<sup>240</sup> Bei den regelmäßigen Wiederholungsprüfungen werden die freie Polhöhe, die Infillhöhe und der Stand bei Maßnahmen zur Vermeidung von Infillverlusten informationshalber(bislang ohne Vorgabe von Zielwerten) einem Monitoring unterzogen. Die Maßnahmen zur Infillvermeidung orientieren sich am technischen Bericht der CEN (vgl. folg. Kap.). Ausführungsvorschriften, wie in der deutschen DIN, sind im FIFA-Quality-Programme in Bezug auf die Dämpfungsschicht nicht enthalten. Allerdings werden im FIFA Quallity Programme unverfüllte Systeme überhaupt nicht behandelt, sodass diese Systeme den entsprechenden Standard gar nicht erhalten können. Hier wäre eine größere Systemoffenheit wünschenswert.

# 14.5 Technischer Bericht zur Minimierung von Infillverlusten CEN/TR 17519

Das europäische Komitee für Standardisierung hat Ende 2020 den technischen Bericht CEN/TR 17519 zur Minimierung von Infillverlusten herausgegeben.<sup>241</sup> Auf Grundlage dieses Berichts hat die Europäische Chemikalienagentur ECHA den Ausschuss für Risikobewertung (RAC) gebeten seine Stellungnahme zum Beschränkungsvorschlag, der ein Verbot des Inverkehrbringens von Infill nach einer Übergangsfrist von sechs Jahren vorsieht, erneut zu prüfen und ggf. zu überarbeiten.<sup>242</sup> Im Protokoll des relevanten RAC-Treffens ist vermerkt, dass in dem vorgelegten technischen Bericht, ergänzt um eine aktuelle Studie zur Maßnahmeneffizienz von Magnusson et al.<sup>243</sup>, kein Anlass gesehen wird, den bisherigen Beschränkungsvorschlag, der ein Verbot der Inverkehrbringung nach einer sechsjährigen Übergangsperiode vorsieht, zu ändern.<sup>244</sup> Der CEN-Bericht, der im Wesentlichen mit den Anforderungen aus dem FIFA-Quality-Programme aus 2020 übereinstimmt, adressiert die Problematik der Einstreugranulate, motiviert durch die empfohlene Beschränkung des Inverkehrbringens von Einstreugranulaten seitens der Europäischen Chemikalienagentur ECHA. Die von der ECHA nicht adressierten Kunststoffemissionen in Form von sekundären Makro- und Mikroplastiken (bspw. durch Abrieb, Verwitterung von Fasern sowie eine denkbare unvollständige Bergung von Elastikschichten oder elastischen Tragschichten) werden in dem technischen Bericht ebenfalls nicht behandelt.

In der Optimierung der Faserdichte und des Fasertyps wird eine Möglichkeit zur besseren Fixierung der Reduktion von Infillverlusten gesehen. Bislang ist allerdings nicht klar, ob eine höhere Faserdichte nach einem Infillsplash (Aufwirbelung des Granulats durch den Spielbetrieb) ggf. sogar das Zurückfallen in den Kunstrasenteppich behindert und das Infill bis zum nächsten Wartungsintervall sogar eine höhere Mobilität aufweist. Umgeknickte Fasern und durch den Spielbetrieb verdichtete Plätze könnten diesen Effekt verstärken. Es wird im technischen Bericht ein Infill-Splash

<sup>&</sup>lt;sup>240</sup> Es wird allgemein erwartet, dass eine geringe Infillmobiität und damit ein niedriger Splash-Wert die Granulatverluste vermindert. Es ist aber ebenfalls denkbar, dass bei niedrigen Splash-Werten das Rückfallen zwischen die Teppichfasern behindert wird und Granulate so leichter den Kunstrasenplatz verlassen.

<sup>&</sup>lt;sup>241</sup> https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0::::FSP\_PRO-JECT.FSP\_ORG\_ID:70580,6198&cs=13A5071A2FBA0B20C87852C3572E4230A; Letzter Zugriff: 23.09.2021

<sup>242</sup> https://echa.europa.eu/documents/10162/13579/rac mandate follow up microplastics en.pdf/c3a72330-8eca-3872-49ed-d10ea1a74843; Letzter Zugriff: 14.04.2021

<sup>&</sup>lt;sup>243</sup> Magnusson et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>244</sup> 5618cedf-c4b2-becf-968d-bf7a5a1493c8 (europa.eu); Letzter Zugriff: 233.07.2021



von 1,5 Prozent empfohlen. Dies entspricht dem etablierten Standard für FIFA-Quality Pro-Kunstrasenplätze.<sup>245</sup> Die Verwendung von Shockpads, durch die geringere Kunstrasenhöhen und damit niedrigere Infillgehalte möglich sind, wird in dem technischen Bericht ebenfalls angeführt. Es ist allerdings bis heute unklar und strittig, ob die insgesamt auf dem Platz befindliche Infillmenge, die Oberfläche oder die Infillmobilität eines Kunstrasenplatzes den Infillaustrag bestimmen (Analogie zur Verdunstung). Der technische Bericht führt für die Wirksamkeit von Shockpads gegen den Infillaustrag vereinzelte Hinweise an (»anecdotal evidence«).

In der Infillform und dem Feinanteil werden relevante Parameter für Infillverluste gesehen. Aspekte, wie niedrige Dichte oder eine spezifische Oberfläche, die vor allem die Mobilität durch Wasser und Wind begünstigen, werden nicht diskutiert. Feinanteile sollen im Einstreugranulat reduziert werden. Welche Anforderungen gestellt werden, um Verwitterung und Abrieb und damit die fortwährende Entstehung neuer Feinanteile über die lange Nutzungsdauer zu reduzieren, bleibt unklar.

Als konkrete Maßnahme wird der Einbau von Filtersystemen in umlaufenden Platzentwässerungen vorgeschlagen. Darüber hinaus werden Vorschläge für Bandensysteme, die direkt an den Kunstrasenplatz oder die umgebenden Wege anschließen, gemacht. Entsprechende Lösungen sind sicherlich sinnvoll, doch auch hier liegen bislang keine Untersuchungen vor, die die im technischen Bericht vorgeschlagenen Höhen von 200 bis 500 Millimeter hinsichtlich ihrer Eignung bestätigen. Für die Eingangsbereiche werden umfassende Sauberlaufzonen und Schuhreinigungsstände vorgesehen. Es wird herausfordernd sein, diese Lösungen für Plätze, die der breiten Öffentlichkeit zugänglich sind zu realisieren.

Darüber hinaus wird auch auf die Wartungspraktiken wie Reinigung und Schneeräumung eingegangen. Die Verwendung von Laubbläsern, die häufig für die Reinigung empfohlen und eingesetzt werden, wird im Bericht kritisch bewertet. Im Zusammenhang mit der Schneeräumung wird ausgeführt, dass auf eine vollständige Schneeräumung, soweit möglich, verzichtet werden sollte. Mindestens 5 bis 10 Millimeter sollten auf dem Kunstrasen verbleiben. Dies bedeutet, dass ein Spielbetrieb bei Schnee nur dann möglich sein wird, wenn die restliche Schneedecke durch ausreichend hohe Umgebungstemperaturen oder eine Platzbeheizung taut. In anderen Fällen sollte der geräumte Schnee auf jeden Fall innerhalb der Banden verbleiben und nach dem Tauen die Granulate auf den Platz rückverfrachtet werden.

Die im technischen Bericht des Komitees 217 des europäischen Normungsinstituts vorgeschlagenen technischen Maßnahmen zur Gestaltung der Platzumgebung erscheinen als erster Vorschlag sinnvoll. Zukünftig sollten aber noch Anforderungen an zulässige Austragsraten und ihre Nachweisbarkeit ergänzt werden. Darüber hinaus wäre seine Erweiterung auf nicht intendierte Kunststoffemissionen als vorausschauende Maßnahme zu empfehlen.

<sup>245</sup> https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/football-turf-handbook-of-requirements-2015/



## 15 Wie hoch ist der Bedarf an Kunstrasenplätzen?

»Tennenplätze (=Hartplatz, Aschenplatz) werden von Vereinen und Spielern als nicht mehr zeitgemäß angesehen und werden daher seit geraumer Zeit in Natur- oder Kunstrasenplätze umgewandelt.

Kunstrasenflächen ermöglichen daher insbesondere in stark verdichteten Städten und/oder Städten mit hohen Bodenpreisen ein ganzjährliches sportliches Bewegungsangebot für Teamsportarten.«

Die anhaltenden Individualisierungstendenzen in der Gesellschaft lassen erwarten, dass der selbstorganisierte Sport auch zukünftig starke Zuwachsraten verzeichnen wird. Vor diesem Hintergrund und zur Verbesserung des Sportangebotes für Freizeitsportler, insbesondere für Familien und Kinder, werden seit Jahren zusätzliche Bewegungsräume außerhalb der klassischen Sportstätten geschaffen, die durch die jeweiligen Angebote Bürger\*innen animieren, sich sportlich zu betätigen. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den Mitgliederzahlen wider: Bei vielen Vereinen stagnieren die Mitgliedszahlen des gemeinnützigen Sports, gleichzeitig steigt vor allem in den Ballungsgebieten die Zahl der Mitgliedschaften bei kommerziellen Sportanbietern kontinuierlich. Dennoch sind die Gemeinwohlfunktionen des gemeinnützigen Sports in Vereinen nach wie vor unbestritten.<sup>246</sup> Dies spiegelt sich auch in den immer noch hohen Vereins- und Mitgliederzahlen wider (Tabelle 16).

Tabelle 16: Nutzungs-, Bedarfsanalyse: Vereinszahlen in Deutschland und der Schweiz

Sport	Land	Vereine	Mitglieder	Teams	Spiele
Fußball	D	25.544	7.131.936	149.735	1,45 Mio
Tubball	S	1.440	281.521	14.593	
Tennis	D	8.946	1.370.801	i.d.R. Einzel	
TCTTTIS	S	900	165 000	i.d.R. Einzel	330 000
Rugby	D	137	16 500		
nagby	S	47	4750	72	470
Hockey	D	376	85 950		
Hockey	S	22	1773	111	388
Reiten	D	6.963	682 348	i.d.R. Einzel	68 000
Herteri	S	568	39 275	i.d.R. Einzel	5515
Golf	D	852	642 240	460	460
Goil	S	96	89 579		

Die veränderte Nachfragestruktur bei sportlichen Aktivitäten in Kombination mit demografischen Veränderungen haben in vielen Städten eine Anpassung und Modernisierung auch der sportlichen

<sup>&</sup>lt;sup>246</sup> Die Gemeinnützigkeit ist in Deutschland in § 52 Abs. 1 AO legal definiert. Es heißt: "eine Körperschaft verfolgt gemeinnützige Zwecke, wenn ihre Tätigkeit darauf gerichtet ist, die Allgemeinheit auf materiellem, geistigem oder sittlichem Gebiet selbstlos zu fördern."



Infrastruktur zur Folge gehabt. In Kommunen mit angespannten Haushaltssituation ist in den letzten Jahren eine Reduzierung von Sportplätzen bei gleichzeitiger Optimierung der Sportstättenversorgung zu beobachten gewesen. In wirtschaftlich prosperierenden Städten ließ sich eine ähnliche Tendenz erkennen, die jedoch nicht vorwiegend haushaltspolitisch, sondern auch durch den Druck ausgelöst wurde, an ehemaligen Sportstätten neuen Wohnraum zu erschließen und gleichzeitig neuen Raumansprüchen, unter anderem verursacht durch Individual- und Trendsportarten, Rechnung zu tragen.

Seit mehr als einem Jahrzehnt wurden unter diesen Voraussetzungen vor allem bei zur Sanierung anstehenden Tennensportplätzen geprüft, inwiefern eine Schließung, Verlagerung oder ein Umbau in Kunstrasenplätze sinnvoll ist. Im Vergleich mit älteren Sportstätten sind moderne Sportstätten mit Kunstrasenbelag in der Lage, größere Kapazitäten abzudecken bzw. ist auf Kunstrasenbelägen eine höhere Nutzungsintensität möglich. Vereine, die zuvor auf eigenen Plätzen spielten, wurden so häufig an einem neuen, mit Kunstrasen ausgestatteten Platz zusammengezogen. Die Vorteile von Kunstrasen wurden beispielsweise durch den DFB<sup>247</sup> bereits vor 15 Jahren darin gesehen, dass die Kunstrasenplätze überzeugen mit

- ihrem hohen Aufforderungscharakter
- hoher Nutzungsintensität
- geringen Pflegeaufwendungen gegenüber anderen Belägen
- gleichmäßigen Spieleigenschaften auf dem gesamten Platz
- einer weitgehend witterungsunabhängigen, ganzjährigen Nutzung (keine Probleme bei Frost-/Tauwechselperioden und Starkregenzeiten und somit eine Minimierung von Spielausfällen, Platzsperrungen und Trainingsbeschränkungen)
- kaum Verschmutzung der Sportkleidung
- Attraktivitätssteigerung durch multifunktionale Nutzung.

Auf Kunststoffrasenplätzen lässt sich eine vergleichsweise hohe Nutzungsintensität, unabhängig von lokalen klimatischen Gegebenheiten, erreichen, die die Nutzungszeiten von Naturrasenflächen um den Faktor 2-3 übersteigt. In der Folge kann der Flächenbedarf zur Sportausübung an anderer Stelle reduziert werden. Damit ist mit der Errichtung von Kunstrasenplätzen eine Möglichkeit des Flächenrecyclings gegeben, da mit dem Bau der Kunststoffrasenplätze bisher für Naturrasenspielfelder genutzte Flächen zu anderer ökologisch höherwertiger Nutzung frei werden.

Diese Vorteile sowie die reduzierten Gefahren von Unfällen und Verletzungen, vor allem im Vergleich zur alten Tennensportplätzen, führten in Kombination mit städtebaulichen Rahmenbedingungen zum Boom der Kunstrasenplätze in vielen Ländern. Die geschilderte Entwicklung und damit verbundene Aufgabe oder Umwandlung von Plätzen ist vielerorts weit fortgeschritten. Brauchen wir also Kunstrasen? Die geschilderten Zusammenhänge zeigen, dass in den meisten Kommunen diese Frage mit "Ja" beantwortet wurde. Ohne Kunstrasen wären die Entwicklungen nicht in dieser Form möglich gewesen und erfolgt. Insbesondere die hohen Nutzungsstunden pro Jahr scheinen ein entscheidender Faktor gewesen zu sein.

Aktuell stellt sich in immer mehr Kommunen die Frage, ob ältere Kunstrasenplätze erneuert oder Naturrasenflächen in Kunstrasenflächen umgewandelt werden sollen, um weitere innerstädtische

247 DFR 2006		



Flächen zu erschließen. Letzteres trifft jedoch häufig auf den Unmut von Anwohner\*innen. Jedoch gibt es in einigen Kommunen innerhalb der Verwaltung<sup>248</sup> und auf politischer Ebene<sup>249</sup> auch Gegentendenzen, die einer weiteren Zunahme an Kunstrasenstandorten entgegenwirken wollen. Sofern keine Einschränkung des Vereinssports zu erwarten ist, sollte zumindest die Umwandlung von Kunst- in Naturrasenflächen wegen ökologischer (vgl. Kap. 10) und stadtklimatischer Vorteile geprüft werden.

<sup>248</sup> mündliche Mitteilung aus den an der Studie beteiligten Kommunen

<sup>&</sup>lt;sup>249</sup> zahlreiche öffentliche Äußerungen dokumentiert, exemplarisch: www.westfalen-blatt.de/owl/kreis-minden-luebbecke/luebbecke/kunstrasen-grune-wollen-mikroplastik-verhindern-1104567



### 16 Was sagen die Nutzer?

»Sowohl aktive als auch ehemalige Fußballspieler\*innen sind in der Debatte um Relevanz und Umweltwirkungen von Kunstrasenplätzen engagiert. Kunstrasen spielt in der Lebenswirklichkeit vieler Menschen eine zentrale Rolle und ermöglicht es ihnen ihren Sport ganzjährig draußen zu betreiben.

Gummigranulate sind noch der bevorzugte Infilltyp, doch die Spieler\*innen sehen in Kork und unverfüllten Plätzen durchaus eine Alternative. Grundsätzlich erwartet die Mehrzahl der Befragten, dass Kunstrasenplätze umweltfreundlicher werden.«

Im Rahmen der Studie wurde eine Befragung von Fußballspielenden durchgeführt. Es beteiligten sich an der Umfrage insgesamt 105 aktive oder ehemalige Spieler\*innen. Bei den über 30-Jährigen dominieren die ehemaligen Spieler\*innen, bei den 19- bis 30-Jährigen spielen die meisten 3 bis 6 Stunden pro Woche, bei den bis 18-Jährigen sogar 6 bis 9 Stunden pro Woche (Abbildung 41). Fußball ist – nicht überraschend – vor allem der Sport der Jugend und der Heranwachsenden. Nichtsdestoweniger werden Debatten im Fußball auch von ehemals Spielenden mitbestimmt, die sich dem Sport weiterhin verbunden fühlen.

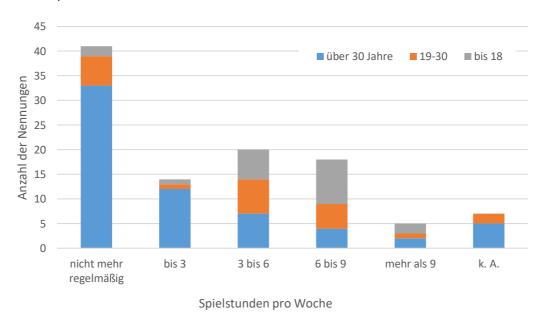


Abbildung 41: Häufigkeit von Aktivitätsniveaus (Spielstunden pro Woche) in Abhängigkeit des Alters (n = 95)

Ein erstaunliches Ergebnis der Befragung ist der Grad der Unverzichtbarkeit der verschiedenen Mikroplastik emittierenden Aktivitäten zugeschrieben wird (Abbildung 42). Hier stellte sich heraus, dass Kunstrasen (2,69) von den aktiven oder ehemals Fußballspielenden als deutlich unverzichtbarer als Kosmetik (4,07) und insbesondere auch Fleece-Kleidung (3,60) und etwas weniger unverzichtbar als das Autofahren (1,97) eingestuft wird. Bei denjenigen, die über 9 Stunden pro Woche spielen, war der Kunstrasen gleich unverzichtbar wie das Autofahren. Der geringe Abstand zum Autofahren zeigt, welche hohe Relevanz Kunstrasenplätze in der Lebenswirklichkeit



der Befragten spielen. Nicht mehr aktiv Spielende – also weitgehend die Gruppe der über 30-Jährigen können sich einen Verzicht auf Kunstrasen eher vorstellen. Erstaunlicherweise ist für sie aber auch bei allen anderen Aktivitäten ein Verzicht eher vorstellbar.

Bei der Frage, was die Spieler bevorzugen würden, wenn ein Naturrasenplatz im Winter nicht bespielbar wäre, war nur für etwa 3 Prozent das Nicht-Spielen eine Option und nur etwa 7 Prozent konnten sich vorstellen, in der Halle zu spielen. Mehr als 90 Prozent gaben hingegen dem Kunstrasen den klaren Vorzug. Das "Durchspielen" unabhängig vom Wetter gehört ganz offensichtlich zum Selbstverständnis der Fußballer\*innen, sodass es bei Verfügbarkeit von Kunstrasen eine der wenigen Sportarten ist, die ganzjährig draußen betrieben werden kann.

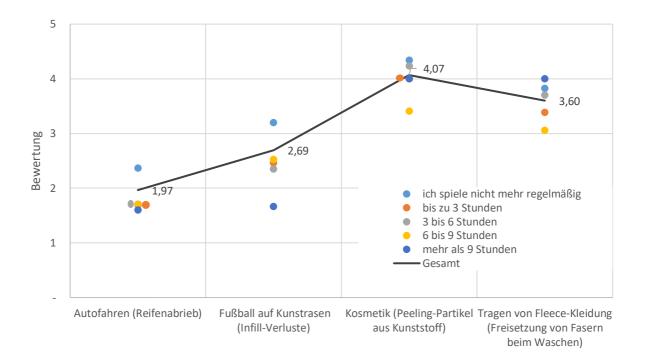


Abbildung 42: Bewertung der Verzichtbarkeit auf bestimmte Aktivitäten (1 = unverzichtbar, 5 = gut verzichtbar; n = 87)

Die Meinung der Befragten zum bevorzugten Infilltyp ist relativ ausgeglichen (Abbildung 43). Insgesamt besteht eine leichte Präferenz für Gummigranulate (28 Prozent), doch auch Kork+Sand (13 Prozent) oder unverfüllter Kunstrasen (20 Prozent) ist für die Spieler\*innen eine Alternative. Dennoch stellt die unentschiedene Gruppe mit 29 Prozent die größte dar. Dies zeigt, dass Gummigranulat als Infill zwar bevorzugt wird, aber nicht alternativlos ist. Differenziert man die Daten nach dem Aktivitätsniveau der Spieler\*innen, so wird die Präferenz für das Gummigranulat bei aktiven Spielern etwas deutlicher (29 bis 41 Prozent), doch auch hier besitzen die Alternativen deutliche Anteile. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass sowohl Kork als auch unverfüllter Kunstrasen von den Spielenden akzeptiert werden würde. Nur mit Sand verfüllte Plätze besitzen hingegen keine Akzeptanz.



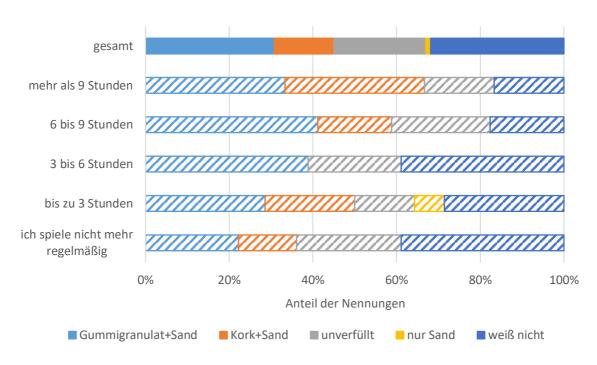
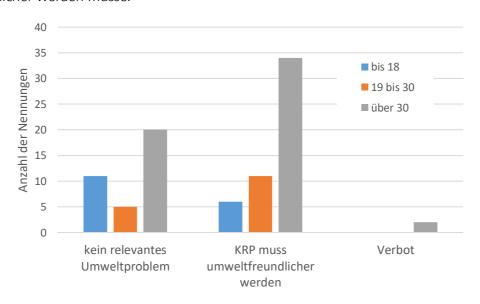


Abbildung 43: Bevorzugter Infilltyp der Spieler\*innen unter Berücksichtigung ihres Aktivitätsniveaus (n = 91)

Auch wenn Kunstrasen von den Befragten als im hohen Maße unverzichtbar eingestuft wird und Gummigranulat derzeit der bevorzugte Infilltyp ist, bedeutet dies nicht, dass den Spielenden die ökologischen Belange nicht wichtig sind (Abbildung 44). Mehr als 57 Prozent der Befragten unterstützen die Aussage, dass Kunstrasenplätze umweltfreundlicher werden müssen, nur etwa 2 Prozent machen sich gar für ein Verbot stark. Nur bei der Gruppe der bis 18-Jährigen erhält die Aussage, das Kunstrasen kein relevantes Problem sei, mehr Zustimmung als die Aussage, dass er umweltfreundlicher werden müsse.



 $Abbildung \ 44: H\"{a}ufigkeit \ der \ Nennung \ bei \ der \ \"{o}kologischen \ Bewertung \ von \ Kunstrasen \ unter \ Ber\"{u}cksichtigung \ des \ Alters \ (n=89)$ 



# 17 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau eines Kunstrasenplatzes, Bauweise A und B, gemäß DIN 18035-7 sowie Bauweise C mit Feinplanum (Eigene Darstellung)	.17
Abbildung 2: Schematische Darstellung des schichtweisen Aufbaus von Kunstrasenplätzen	.18
Abbildung 3: Boxplotdarstelllung zu den Spielstunden pro Jahr (n = 17)	.21
Abbildung 4: Pflasterung um einen Kunstrasenplatz (l.), umlaufendes Blech zum Rückhalt von In (r.)	
Abbildung 5: Möglichkeiten der Entwässerung bei Kunstrasenplätzen	.23
Abbildung 6: Unterschiedliche Entwässerungselemente: An Platz grenzende Entwässerungsrinne Muldenrinne mit Gullyschacht, Muldenrinne mit Gitterschacht, Entwässerungsrinne offen, Sickerschacht offen, kleiner Gitterschacht (von o. l. im UZS)	
Abbildung 7: Drainagesystem von Kunstrasenplätzen	.26
Abbildung 8: Lage der als Kunstrasen und kunstrasenähnlichen identifzierten Flächen in Deutschland und der Schweiz; in blau sind Standorte von Vor-Ort Analysen markiert	.30
Abbildung 9: Beispielkarte: Flächennutzung in der Umgebung von Kunstrasenflächen	.31
Abbildung 10: Durchschnittliche Flächenzusammensetzung in 100 m Umkreis von Kunstrasenplätzen in Deutschland	.32
Abbildung 11: Beispiel Berlin: Wohnbevölkerung in der Umgebung von Kunstrasenflächen (GIS- Analyse)	
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Entfernungen von Kunstrasenstandorten zu größeren Fließgewässern	.33
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Entfernungen zu größeren Fließ- und Stehgewässern	.34
Abbildung 14: Beispiele nahe gelegener Kunstrasenplätze zu Oberflächengewässern. Kunstrasenplatz in Rot, nahe Oberflächengewässern in Blau	.35
Abbildung 15: Vergleich der jährlichen Gesamtkosten bei 15, 30, 45 Jahren Nutzungsdauer	.37
Abbildung 16: Vergleich der Gesamtkosten pro Nutzungsstunde bei 15, 30, 45 Jahren Nutzungsdauer	.38
Abbildung 17: Lage der Messpunkte innerhalb eines Platzviertels	40
Abbildung 18: Infillmenge und Anteil je Platz und Jahr der Fertigstellung	41
Abbildung 19: Reduzierung und Anreicherung von Infill im Vergleich zur Situation bei Fertigstellung	.43
Abbildung 20: Anteil an Performance-Infill je Messstelle und Variationskoeffizient je Platz	.44
Abbildung 21: Variationskoeffizient (COV) der Performance über dem Variationskoeffizienten fü die Infillmenge für drei FIFA-Quality-Pro-Plätze	
Abbildung 22: Infillverluste (gefüllt) und Nachfüllmengen (schraffiert) je Platz, nach Alter und Infilltyp	.49
Abbildung 23: Infillverluste als Funktion der Nutzungsstunden	.50



Abbildung 24: Faseranhaftung an Kleidung und Schuhen. [Quelle: Zimmermann, Ökopool 2021]52
Abbildung 25:Spleißen von Fasern (Platz F) (l.), herausgezogene Fasern (Platz H; gelb eingerahmt sind weiße Fasern von der Spielfeldmarkierung erkennbar) (r.)
Abbildung 26: Gummigranulat in Schächten und Rinnen56
Abbildung 27: Infill neben dem Platz auf befestigten und unbefestigten Flächen57
Abbildung 28: Barriere um einen Kunstrasenplatz (l.), Granulate in der Dachrinne einer Garage in einer Entfernung von ca. 15 Metern zum Kunstrasenplatz (r.)
Abbildung 29: Ansammlung von Granulatmassen am Spielfeldrand bei großen Schneemassen (l.), Verunreinigungen mit Laub (r.)60
Abbildung 30: Massenbilanz zu Verbrauch, Transfer und Verbleib von Infill – Fallbeispiel vom DTI für Dänemark
Abbildung 31: Massenbilanz zu Verbrauch, Transfer und Verbleib von Infill – Fallbeispiel vom IVL für Schweden64
Abbildung 32: Massenbilanz zu Verbrauch und Transfer von Infill für Kunstrasenplätze in Deutschland65
Abbildung 33: Transferpfade und Verbleib von Infill, schematische Darstellung [Fraunhofer UMSICHT]66
Abbildung 34 - Verklebtes Granulat unter den Schuhen einer Nutzerin (WDR 2020)
Abbildung 35: Systemgrenzen des Kunstrasensportplatzes86
Abbildung 36: Vergleich der Treibhausgasemissionen verschiedener Kunstrasensystem- Varianten89
Abbildung 37: Vergleich von Beitragsanalysen aus verschiedenen Kunstrasensystem-Varianten90
Abbildung 38: Vergleich der Treibhausgasemissionen von verschiedenen Dämpfungsschichten aus der Herstellungsphase91
Abbildung 39: Vergleich der Treibhausgasemissionen von verschiedenen Infill-Varianten aus der Herstellungsphase91
Abbildung 40: Geltungsbereich der Normen (Eigene Darstellung nach https://fixgreen.de/kunstrasen-abc-din-normen.html)95
Abbildung 41: Häufigkeit von Aktivitätsniveaus (Spielstunden pro Woche) in Abhängigkeit des Alters (n = 95)
Abbildung 42: Bewertung der Verzichtbarkeit auf bestimmte Aktivitäten (1 = unverzichtbar, 5 = gut verzichtbar; n = 87)105
Abbildung 43: Bevorzugter Infilltyp der Spieler*innen unter Berücksichtigung ihres Aktivitätsniveaus (n = 91)106
Abbildung 44: Häufigkeit der Nennung bei der ökologischen Bewertung von Kunstrasen unter Berücksichtigung des Alters (n = 89)106
Abbildung 45: Siebanalyse graphisch dargestellt als prozentuale Partikelgrößenverteilung133
Abbildung 46: Mittels Siebanalyse fraktionierte Infill-Proben
Abbildung 47: Probenahmekörper auf Eckpunkt (l.); Probenahme mit Sauger (r.)134



Abbildung 48: Probenahmepunkt nach Probenahme (l.); verpackte Infill-Proben vor der Fraktionierung (r.)	35
Abbildung 49: Sickerschacht mit Drainageauslässen (l.); Schmutzfänger mit zurückgehaltenem Performance-Infill (r.)13	35
Abbildung 50: Begutachtung Revisionsschacht (l.); Entnahme einer Wasserprobe aus dem Revisionsschacht (r.)13	35
Abbildung 51: Performance-Infill neben dem Platz (l.); Abstreifgitter mit Bürsten (r.)13	36
18 Tabellenverzeichnis	
Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Plätze (Angaben der Platzbetreiber)	15
Tabelle 2: Wartung und Pflege von Kunstrasenplätzen – Auswertung der Befragung	۱9
Tabelle 3: Vorgaben zur Wasserdurchlässigkeit für Kunst- und Naturrasenplätze	24
Tabelle 4: Anzahl identifizierter Kunstrasenplätze und kunstrasenähnliche Flächen in Deutschland und der Schweiz basierend auf einer Satellitendatenauswertung	
Tabelle 5: Vergleich der Natur-, Kunst- und Hybridrasenplätze	36
Tabelle 6: Beispiel für Eigenschaften, die bei der Investitionsentscheidung für ein Rasensystem zu berücksichtigen sind	
Tabelle 7: Ergebnisse der Siebanalysen des Performance-Infills von zwei Plätzen unterschiedlicher Alters	
Tabelle 8: Angaben zu Infillverlusten in der Literatur (*Kompaktierung wurde berücksichtigt; **Studie zur gezielten Minimierung der Emissionen an einem Modellplatz, Austräge über Wind und Regel auf umliegende Flächen wurden nicht betrachtet)	48
Tabelle 9: Abschätzung der Faserverluste pro Jahr	53
Tabelle 10: Durchschnittliche Partikelbelegung (= Partikelanzahl pro Quadratmeter) in Abhängigkeit des Anteils der auf die umgebenden Flächen verfrachtet wird und der Häufigkeit der Reinigung bei einer Verlustmenge von 2.9 Tonnen pro Jahr	58
Tabelle 11: Nachgewiesene und freigesetzte Schadstoffe in verschiedenen Kunstrasenkomponenten	73
Tabelle 12: Mengenanfall beim End-of-Life von Kunstrasen pro Jahr in D und CH	32
Tabelle 13: Eine Übersicht der untersuchten festen Parameter (ET: Elastische Tragschicht; EL: Elastikschicht; KR: Kunstrasen)	35
Tabelle 14: Eine Übersicht der untersuchten freien Parameter	38
Tabelle 15: Vergleich mit Literatur	€
Tabelle 16: Nutzungs-, Bedarfsanalyse: Vereinszahlen in Deutschland und der Schweiz10	)1
Tabelle 17: In den Kapiteln angewendete Methoden mit Spezifikation12	24
Tabelle 18: Infillmengen und Nachfüllmengen auf den Plätzen12	28
Tabelle 19: Infillmassen und -zusammensetzung an den Messpunkten12	29



Tabelle 20: Dichtbestimmung	130
Tabelle 21: Gummimassenanteilbestimmung	130
Tabelle 22: Berechnung der Performance-Infillmasse pro Quadratmeter	131
Tabelle 23: Berechnung der Sandmasse pro Quadratmeter	131
Tabelle 24: Tabellarische Auswertung der Siebanalyse	132
Tabelle 25: Schwermetall-Konzentrationen und -Nachweise in SBR-Infill aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen	137
Tabelle 26: PAK-Konzentrationen und -Nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen	138
Tabelle 27: VOC-Nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlich Untersuchungen	en <b>139</b>
Tabelle 28: PCB-Konzentrationen und -Nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen	139
Tabelle 29: Feinstaubkonzentrationen und -nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen	139
Tabelle 30: Phenolkonzentrationen und -nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen	139
Tabelle 31 - Phthalatkonzentrationen und -nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen	140
Tabelle 32: Furannachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftliche Untersuchungen	
Tabelle 33: PFAS-Nachweise in Kunstrasen-Komponenten aus verschiedenen wissenschaftliche Untersuchungen	
Tabelle 34: Vorkommen von HALS in Kunstrasenfasern	140
Tabelle 35. Vorkommen von Isocyanaten in Kunstrasen-Komponenten	.140



## 19 Abkürzungsverzeichnis

ADMET absorption, distribution, metabolism, extraction, toxicity

AfPS Ausschuss für Produktsicherheit

CEN European Committee for Standardization

CL Chlor und Chlorverbindungen

DFB Deutscher Fußballbund

DMI digitales Landschaftsmodell

DTI Danish Technological Institute

ECHA Europäische Chemikalienagentur

EL elastische Tragschicht

ELT end of life tire (Altreifengranulat)
EPD Environmental Product Declaration
EPDM Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk

ESTO European Synthetic Turf Organization

ET Elastikschicht/Shockpad

FIFA Fédération Internationale de Football

GFK glasfaserverstärkter Kunststoff

GWI global warming impact

HALS hindered amine light stabilizers (sterisch gehinderte Amine)

HDI Hexamethylen-1,6-diisocyanat

HM heavy metals

lso lsocyanate, Diisocyanate und lsocyanatverbindungen

IVL schwedisches Umweltforschungsinstitut

KRP Kunstrasenplatz

LCA Life Cycle Assessment

MAK maximale Arbeitsplatzkonzentration

MDI Diphenylmethandiisocyanat bzw. Methylendiphenyldiisocyanat

NDVI Normalized Difference Vegetation Index

PAK Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PCB polychlorierte Biphenyle

PE Polyethylen

PFAS Per- and Polyfluoralkylsubstanzen (per- und polyfluorierte Alkylverbindungen)

PLA polylactic acid (Polylactide)



PM particulate matter (Feinstaub)

PP Polypropylen
PUR Polyurethan

REACH Europäische Chemikalienverordnung

recPE rezykliertes Polyethylen

RPU rigid Polyurethane (gehärtetes Polyurethan)

SBR Styrol-Butadien-Kautschuk

SVHC substances of very high concern (besonders besorgniserregende Stoffe)

SVOC semi volatile organic compounds

TDI Toluol-2,4-diisocyanat

THG Treibhausgas

TPE Thermoplastische Elastomere VOC volatile organic compounds



### 20 Glossar

Kunstrasenplatz (KRP) Ein künstlicher, aus synthetischen Materialien bestehender

Rasenplatz mit Kunststoffgrasfasern, mit oder ohne Infill und einem Unterbau zu verschiedenen Anwendungszwecken

(meist Sportanwendungen).

Kunstrasensystem Gesamtsystem eines Kunstrasenplatzes i.d.R. bestehend aus

dem Kunstrasen (Fasern und Backing), dem Infill (optional), einem Unterbau (Elastikschicht/ elastische Tragschicht) und

ggf. einem Drainagesystem.

Kunstrasen Allgemein die umgangssprachliche Bezeichnung für das Ge-

samtsystem Kunstrasen. Teilweise wird das komplette System, teilweise nur der sichtbare Teil des Gesamtsystems (Kunstrasenteppich) als Kunstrasen bezeichnet. Innerhalb dieser Studie wird der Begriff als Synonym zum Begriff

Kunstrasenteppich verwendet.

Kunstrasenteppich Bestehend aus Kunststoffgrasfasern, befestigt und verklebt

auf einem Trägergewebe (Backing).

Infill Füllmaterialien, welche zur Erreichung bestimmter Eigen-

schaften in den Kunstrasen eingefüllt/eingebürstet werden. I.d.R. handelt es sich dabei um Sand, ein Elastomer, ein ther-

moplastisches Elastomer oder ein Naturstoff.

Performance-Infill Füllmaterial, welches die sicherheitsrelevanten Eigenschaften

des Kunstrasens bestimmt. I. d. R ein Elastomer, ein thermo-

plastisches Elastomer oder ein Naturstoff.

Stabilisierendes Infill Füllmaterial, welches zur Stabilisierung der künstlichen Gras-

fasern in den Kunstrasen eingefüllt/eingebürstet wird. I. d. R. handelt es sich dabei um Sand, ein Elastomer, ein thermo-

plastisches Elastomer oder ein Naturstoff.

Kunstrasenfaser Kunststoffasern, i. d. R aus PE oder PP und verschiedenen

Additiven, welche die natürliche Grasfaser nachahmen soll. Zum Einsatz kommen unterschiedliche Faserquerschnittsgeo-

metrien und Fibrillierungen.

Kunstrasen-Backing Trägergewebe auf welchem die Kunstrasenfasern befestigt

werden.

Unterbau Bodenaufbau/Schichtaufbau unterhalb des verlegten Kunst-

rasenteppichs.

Elastikschicht Dämpfende Schicht unterhalb des Kunstrasenteppichs i.d.R.

bestehend aus Kunststoffgranulat und einem Bindemittel o-

der aus Polyethylenschaum.

Shockpad Die internationale Bezeichnung für die Elastikschicht.



Elastische Tragschicht Dämpfende Schicht unterhalb des Kunstrasenteppichs beste-

hend aus Kunststoffgranulat, einem Bindemittel und minera-

lischen Zuschlagstoffen.

Nivellierschicht Feinplanum des Baugrundes.

Asphaltschicht Eine Schicht aus Asphalt unterhalb der Elastikschicht.

Tragschicht Aufbereitete mineralische Schicht unterhalb der Elastik-

schicht/der Asphaltschicht/der elastischen Tragschicht.

Planum Planebene zur Installation der Elastikschicht/der Asphalt-

schicht/der elastischen Tragschicht.

Polhöhe Gemessene Länge der künstlichen Grasfasern über dem Trä-

germaterial (Backing).

Freie Polhöhe Gemessener Überstand der künstlichen Grasfasern über dem

Infill.



### 21 Literaturverzeichnis

BAG (2017): Gesundheitsgefährdung durch Kunstrasen. Hg. v. Bundesamt für Gesundheit. Schweiz. Online verfügbar unter file:///C:/Users/LOCAL\_~1/Temp/Mai-2017-Faktenblatt-Kunstrasen.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Bass, Jason D.; Hintze, David W. (2013): Determination of microbial populations in a synthetic turf system. In: *Skyline - The Big SkyUndergraduate Journal* (1). Online verfügbar unter https://sportsturfnw.com/wp-content/uploads/2015/11/bass-paper-in-big-sky-journal.pdf.

Bertling, Jürgen; Bertling, Ralf; Hamann, Leandra (2018a): Plastics in the environment: micro- and macroplastic. Reasons, quantities, environmental fates, effects, possible solutions, recommendations. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Online verfügbar unter https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2018/kunststoffe-id-umwelt-konsortialstudie-mikroplastik.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2018.

Bertling, Jürgen; Hamann, Leandra; Bertling, Ralf (2018b): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

Bertling, Jürgen; Hamann, Leandra; Hiebel, Markus (2018c): Mikroplastik und synthetische Polymere in Kosmetikprodukten sowie Wasch-, Putz- und Reinigungsmitteln. Fraunhofer UMSICHT. Oberhausen. Online verfügbar unter https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2018/umsicht-studie-mikroplastik-in-kosmetik.pdf, zuletzt geprüft am 30.08.2019.

BIR Tyre & Rubber Committee (2019): The quantity of microplastics used as synthetic turf infill. Hg. v. BIR Tyre & Rubber Committee. Online verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjytZalo9Px AhWKhv0HHXwtCs4QFjADegQlBRAD&url=https%3A%2F%2Fdeutschland.iaks.sport%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdownloads%2FBest%2520practices%2F2019-07%2FBIR%2520document%2520microplastic%2520restriction%2520-%2520BIR.pdf&usg=AOvVaw08GAtj4Ori284ittOGKvVR.

Bocca, Beatrice; Forte, Giovanni; Petrucci, Francesco; Costantini, Sergio; Izzo, Paolo (2009): Metals contained and leached from rubber granulates used in synthetic turf areas. In: *Sci Total Environ* 407 (7), S. 2183–2190. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.12.026.

Borowski, Hans-Günter (2020): Leichlinger Sportplatz gesperrt Kunstrasen schmilzt in der Gluthitze. In: *Leverkusener Anzeiger*, 2020. Online verfügbar unter https://www.ksta.de/region/leverkusen/leichlinger-sportplatz-gesperrt-kunstrasen-schmilzt-in-der-gluthitze-37174186?cb=1618832753363, zuletzt geprüft am 19.04.2021.

Brakeman, L. (2004): Infill systems spark debate at STMA conference.

Brandt, B.; Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U. (2013): Messung und Beurteilung von Isocyanaten an Arbeitsplätzen unter Beachtung der TRGS 430. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* (5), S. 209–218, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Burillo, Pablo (2012): Mechanical assessment of artificial turf football pitches: The consequences of no quality certification. In: *Sci. Res. Essays* 7 (28).



Buskirk, Elsworth R.; McLaughlin, Everett R.; Loomis, Joseph L. (1971): Microclimate over Artificial Turf. In: *Journal of Health, Physical Education, Recreation* 42 (9), S. 29–30. DOI: 10.1080/00221473.1971.10617177.

Bußmann, J.; Müller, B.; Thieme-Hack; M.: Verschleiß von Kunststoffrasen. In: *Neue Landschaft* 2019 (5).

Calderón-Pellegrino, Gabriel; Gallardo, Leonor; Paredes-Hernández, Víctor; García-Unanue, Jorge; Giménez, Jesus Vicente; Colino, Enrique et al. (2020): Influence of artificial turf temperature on physical performance and muscle contractile properties in football players after a repeated-sprint ability test. In: *Sci Rep* 10 (1), S. 12747. DOI: 10.1038/s41598-020-69720-6.

ChemBK (2021): HALS 944. Online verfügbar unter https://www.chembk.com/en/chem/HALS%20944, zuletzt aktualisiert am 08.04.2021, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Cheng, Hefa; Hu, Yuanan; Reinhard, Martin (2014): Environmental and health impacts of artificial turf: a review. In: *Environmental science & technology* 48 (4), S. 2114–2129. DOI: 10.1021/es4044193.

Claudio, Luz (2008): Synthetic turf: health debate takes root. In: *Environ. Health Perspect.* 116 (3), A116-22. DOI: 10.1289/ehp.116-a116.

Clercq, Geert de; Rambour, Stijn; Louwagie, Johanna; Casetta, Mathilde; Paturel, Angeline; Duquesne, Sophie et al. (2019): GRASS: flame retardant artificial turf: safe and sustainable. In: *Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference 2019*. Online verfügbar unter https://biblio.ugent.be/publication/8637377.

Cohen, Philip R. (2008): The skin in the gym: a comprehensive review of the cutaneous manifestations of community-acquired methicillin-resistant Staphylococcus aureus infection in athletes. In: *Clinics in Dermatology* 26 (1), S. 16–26. DOI: 10.1016/j.clindermatol.2007.10.006.

Deutscher Bundestag (2020): Drucksache 19/16387. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Luksic, Britta Katharina Dassler, Frank Sitta, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP. Online verfügbar unter

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwjtl5SDkNPxAhUvgP0HHQULB\_sQFjAAegQlAhAD&url=https%3A%2F%2Fdip21.bundes-tag.de%2Fdip21%2Fbtd%2F19%2F163%2F1916387.pdf&usg=AOvVaw1qMLwSf-TpKy23iaLB-zUl1.

DFB (Hg.) (2017): Sportplatzbau und Erhaltung. Frankfurt a. M. Online verfügbar unter www.dfb.de/fileadmin/\_dfbdam/165905-Sportplatzbau\_und\_Erhaltung.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2021.

DFB (Hg.) (2019): Gemeinsame Stellungnahme des DFB und des DStGB im Rahmen der Konsultation zum Be-schränkungsvorschlag der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) "Mikroplastik". Frankfurt a. M. Online verfügbar unter www.saar-fv.de/aktuelles/aktuelle-meldungen/meldung/tx\_news/stellungnahme-dfb-zu-mikroplastik-und-kunstrasen, zuletzt geprüft am 29.04.2021.

DFB (Hg.) (2020): Kunstrasen und Mikroplastik. Frankfurt a. M. Online verfügbar unter www.dfb.de/sportstaetten/kunstrasenmikroplastik, zuletzt geprüft am 29.04.2021.

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) (Hg.) (2019): Kunststoffflächen und Kunststoffrasenflächen. Online verfügbar unter www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/-kunststoffflaechen-und-kunststoffrasenflaechen--340390, zuletzt geprüft am 08.07.2021.



DOSB; Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hg.) (2020): Faktenpapier Füllstoffe in Kunststoffrasensystemen im Sport – Informationen und aktuelle Ent-wicklungen. Online verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwjmjpH5ktPxAhV7\_rslHY7tARoQFjAAegQlBBAD&url=https%3A%2F%2Fcdn.dosb.de%2Fu-ser\_upload%2FSportstaetten-Umwelt%2FDOSB\_BISp\_\_Faktenpapier\_Fuellstoffe\_in\_Kunststoffrasen\_.pdf&usq=AOvVaw0RfVNlBpxDKgHNqs-N0sy5, zuletzt geprüft am 08.07.2021.

ESTC (2019): End of Life Statement for Synthetic Turf Sports Surfaces, zuletzt geprüft am 08.07.2021.

ESTO (Hg.) (2009): end-of-life-options for synthetic turf. Position Paper. Online verfügbar unter https://www.royaco.com/uploads/product%20sheet/Fivestargrass/END\_OF\_LIFE\_final-March2009.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2021.

EU-Kommission; EU-Parlament (08.05.2019): Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003. Online verfügbar unter https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-76-2018-INIT/de/pdf, zuletzt geprüft am 19.09.2019.

Euric (Hg.) (2020): LCA STUDY DEMONSTRATES POSITIVE CLIMATE AND ENVIRONMENTAL BEN-EFITS OF THE RECYCLING OF END-OF-LIFE TYRES FOR ARTIFICIAL TURF PITCHES. Online verfügbar unter https://www.euric-aisbl.eu/position-papers/item/398-euric-factsheet-lca-tyre-recycling-environmental-benefits, zuletzt geprüft am 08.07.2021.

Europäische Kommission (2000): Die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. Mitteilung der Kommission. Luxemburg: Amt für Amtliche Veröff. der Europ. Gemeinschaften (Dokumente / Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2000,1).

Europäische Kommission (2020): VERORDNUNG (EU) 2020/1149 DER KOMMISSION. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R1149&from=DE, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Europäische Kommission (EC) (2004): Verordnung (EG) Nr. 648/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 31. März 2004 über Detergenzien.

Europäische Kommission (EC): Verordnung (EG) Nr. 907/2006 der Kommission vom 20. Juni 2006 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 648/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über Detergenzien zwecks ANpassung der Anhänge III und VII. Online verfügbar unter http://bookshop.europa.eu/en/-pbCR1297002/.

Europäische Kommission (EC) (Hg.) (2014): Datenbank für Reinigungsmittelinhaltsstoffe. Teil B.

Europäische Kommission (EC) (Hg.) (2019): Ennvironmental Health Risks of Microplastic Pollution.

FIFA (2018): FIFA-Qualitätskonzept Kunstrasen. Online verfügbar unter https://de.fifa.com/mm/document/affederation/pitch&equipment/50/15/94/fqcbookletde.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2018.

Fleming, Paul R.; Forrester, Stephanie E.; McLaren, Nicholas J. (2015): Understanding the effects of decompaction maintenance on the infill state and play performance of third-generation artificial grass pitches. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology* 229 (3), S. 169–182. DOI: 10.1177/1754337114566480.

Frias, J. P. G. L.; Nash, Roisin (2019): Microplastics: Finding a consensus on the definition. In: *Mar Pollut Bull* 138, S. 145–147. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.022.



BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz). Online verfügbar unter www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\_2009/BNatSchG.pdf.

Gezolan AG (2015): Gezofill EPDM for Infill Systems. Technisches Datenblatt 0.5 - 2.5 mm, farbides EPDM Gummigranulat Kompakte Version. Hg. v. Gezolan AG, zuletzt geprüft am 17.08.2021.

Gkoutselis, Gerasimos; Rohrbach, Stephan; Harjes, Janno; Obst, Martin; Brachmann, Andreas; Horn, Marcus A.; Rambold, Gerhard (2021): Microplastics accumulate fungal pathogens in terrestrial ecosystems. In: *Sci Rep* 11 (1), S. 13214. DOI: 10.1038/s41598-021-92405-7.

GMBI (2009): Isocyanate - Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen. TRSG 430. Hg. v. GMBI. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-430.pdf?\_\_blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

GMBI (2021): Arbeitsplatzgrenzwerte. TRSG 900. Hg. v. GMBI. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf?\_\_blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Gomes, Filipa O.; Rocha, M. Rosário; Alves, Arminda; Ratola, Nuno (2021): A review of potentially harmful chemicals in crumb rubber used in synthetic football pitches. In: *Journal of Hazardous Materials* 409, S. 124998. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124998.

Grandjean, Philippe; Clapp, Richard (2015): Perfluorinated Alkyl Substances: Emerging Insights Into Health Risks. In: *New solutions : a journal of environmental and occupational health policy : NS* 25 (2), S. 147–163. DOI: 10.1177/1048291115590506.

Heiler-Sport (Hg.) (2020): Sporthybrid Turf - Hybridrasen für alle Ligen. Online verfügbar unter https://www.heiler-sport.de/de/sporthybrid-t.html, zuletzt geprüft am 29.04.2021.

Hensler, Ortner (1995): Beurteilung von Kunststoffbränden. Hg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU).

Hibbert, K.; M. Morgan; Greg Grissom; S. Utile. (2017): Athletes' Selected Micro-Activities on Turf Fields: Utilizing Extant Videography for Quantification of Events During Soccer, American Football, and Field Hockey Play. Hg. v. United States Environmental Protection Agency (EPA). United States Environmental Protection Agency (EPA). Online verfügbar unter https://cfpub.epa.gov/si/si\_public\_record\_report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=337981, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

IAKS (Hg.) (2019): Stellungnahme der IAKS Deutschland zum Thema "Mikroplastik in Kunststoffrasen". Online verfügbar unter file:///C:/Users/bj/Downloads/Stellungnahme%20Mikroplastik%20in%20Kunstrasen%20-%20IAKS%20Deutschland%20final%20(1).pdf.

Jim, C. Y. (2016): Solar–terrestrial radiant-energy regimes and temperature anomalies of natural and artificial turfs. In: *Applied Energy* 173, S. 520–534. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.04.072.

Jim, C. Y. (2017): Intense summer heat fluxes in artificial turf harm people and environment. In: *Landscape and Urban Planning* 157, S. 561–576. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.09.012.

Kalbe, Ute (2013): Umweltverträglichkeit von Kunststoff- und Kunststoffrasenbeläge auf Sportfreianlagen. Hg. v. Bundesinstitut für Sportwissenschaft, zuletzt geprüft am 22.07.2021.

Kalbe, Ute; Susset, Bernd; Bandow, Nicole (2016): Umweltverträglichkeit von Kunststoffbelägen auf Sportfreianlagen. Modellierung der Stofffreisetzung aus Sportböden auf Kunststoffbasis zur



Bewertung der Boden- und Grundwasserverträglichkeit: Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp) Bonn. Stand Oktober 2016. Hellenthal: Sportverlag Strauß (Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 2016, 05).

Keatinge, William R. (2003): Death in heat waves. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 327 (7414), S. 512–513. DOI: 10.1136/bmj.327.7414.512.

Klapproth, Andreas (2017): Wassersparkonzepte für den Sportrasen. Ansätze für einen ressourcenschonenden Umgang. Osnabrück, zuletzt geprüft am 26.04.2021.

KTBL (Hg.) (2019): Abstandsaufl agen im Pfl anzenschutz. PAMrobust. Online verfügbar unter www.ktbl.de/fileadmin/user\_upload/Artikel/Pflanzenbau/PAM/PAMrobust\_2019.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2021.

Lefebre, C.; Jurkisch, G.; Schmidt, H.; Morgeneyer, B.; Ulbricht-Essing; M. (1983): Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft. Hg. v. Deutscher WEtterdienst (Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 165). Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb\_verlag\_berichte/pdf\_einzelbaende/165\_pdf.pdf;jsessionid=C772CAFC450BE5FC40CCE6A2FFF1D485.live31093?\_\_blob=publicationFile&v=3.

Lokkegaard, Hanne; Malmgren-Hansen, Bjorn; Nilsson, Nils H. (2019): Mass balance of rubber granulate lost from artificial turf fields, focusing on discharge to the quatic environment. Hg. v. Teknologisk Institut, zuletzt geprüft am 08.08.2019.

Magnusson, S.; Macsik; J. (2020): Determining the effectiveness of Risk Management Measures ot minimize inill migration from synthetic turf sport fields. Hg. v. Ecoloop. Online verfügbar unter https://www.estc.info/wp-content/uploads/2020/09/Ecoloop-Report-Effectiveness-RMMs.pdf.

Marsili, Letizia; Coppola, Daniele; Bianchi, Nicola; Maltese, Silvia; Fossi, Maria Cristina (2014): Release of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metals from Rubber Crump in Synthetic Turf Fields: Preliminary Assessment for Athletes (5). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/275581397\_Release\_of\_Polycyclic\_Aromatic\_Hydrocarbons\_and\_Heavy\_Metals from Rubber Crump in Synthetic Turf Fields Preliminary Assessment for Athletes.

Massey, Rachel; Pollard, Lindsey; Jacobs, Molly; Onasch, Joy; Harari, Homero (2020): Artificial Turf Infill: A Comparative Assessment of Chemical Contents. In: *New solutions : a journal of environmental and occupational health policy : NS* 30 (1), S. 10–26. DOI: 10.1177/1048291120906206.

McNitt, A. S.; Petrunak, D. M.; Serensits, T. J. (2006): Temperature Amelioration of Synthetic Turf Surfaces through Irrigation. Hg. v. The Pennsylvania State University. The Pennsylvania State University. Online verfügbar unter https://plantscience.psu.edu/research/centers/ssrc/documents/temperature-irrigation.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2021.

Melos GmbH (2019): Häufige Fragen rund um Natürlich Kunstrasen. Hg. v. Melos GmbH. Online verfügbar unter https://www.melos-kunstrasen.de/haeufige-fragen.html#, zuletzt geprüft am 13.09.2019.

Menichini, Edoardo; Abate, Vittorio; Attias, Leonello; Luca, Silvia de; Di Domenico, Alessandro; Fochi, Igor et al. (2011): Artificial-turf playing fields: contents of metals, PAHs, PCBs, PCDDs and PCDFs, inhalation exposure to PAHs and related preliminary risk assessment. In: *Sci Total Environ* 409 (23), S. 4950–4957. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.07.042.

Meyers, Michael C. (2013): Incidence, mechanisms, and severity of match-related collegiate women's soccer injuries on FieldTurf and natural grass surfaces: a 5-year prospective study. In: *The American Journal of Sports Medicine* 41 (10), S. 2409–2420. DOI: 10.1177/0363546513498994.



Mohr, Magni; Krustrup, Peter (2013): Heat Stress Impairs Repeated Jump Ability After Competitive Elite Soccer Games. In: *The Journal of Strength & Conditioning Research* 27 (3), S. 683–689. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31825c3266.

MUEEF (2019): Leitfaden\_Brandschaden. Hg. v. Miniterium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten des Landes Rheinland-Pflaz.

Norwegian Institute for Air Research (2005): Measurement of air pollution in indoor artificial turf halls. Hg. v. Norwegian Institute for Air Research, zuletzt geprüft am 28.07.2021.

Onyshko, Jessica; Hewlett, Rob: Toxics in Carpets in the European Union. Hg. v. Anthesis. 2018. Online verfügbar unter https://www.duh.de/fileadmin/user\_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Teppich-Recycling/180302\_Study\_Toxics\_in\_Carpets\_EU\_\_Anthesis\_Final.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2021.

Osterthun (2020): Automatisierte Identifizierung von Kunstrasenplätzen in frei verfügbaren Geodatensätzen und darauf basierende Anwendung von Nachbarschaftsanalysen am Beispiel von Nordrhein-Westfalen. Bachelorarbeit. Hg. v. Universität zu Köln, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Geographisches Institut.

Penn State's (2012): Synthetic Turf Heat Evaluation –Progress Report. Online verfügbar unter https://plantscience.psu.edu/research/centers/ssrc/documents/heat-progress-report.pdf, zuletzt geprüft am 23.04.2021.

Perkins, Alaina N.; Inayat-Hussain, Salmaan H.; Deziel, Nicole C.; Johnson, Caroline H.; Ferguson, Stephen S.; Garcia-Milian, Rolando et al. (2019): Evaluation of potential carcinogenicity of organic chemicals in synthetic turf crumb rubber. In: *Environmental Research* 169, S. 163–172. DOI: 10.1016/j.envres.2018.10.018.

Petrass, Lauren A.; Twomey, Dara M.; Harvey, Jack T. (2014): Understanding how the Components of a Synthetic Turf System Contribute to Increased Surface Temperature. In: *Procedia Engineering* 72, S. 943–948. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.06.159.

Private Greens & FiberGrass International GmbH (2017): Haltbarkeit von Kunstrasen. Online verfügbar unter http://kunstrasen-partner.de/kunstrasen/haltbarkeit.html, zuletzt geprüft am 23.07.2019.

Pronk, Marja E. J.; Woutersen, Marjolijn; Herremans, Joke M. M. (2020): Synthetic turf pitches with rubber granulate infill: are there health risks for people playing sports on such pitches? In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 30 (3), S. 567–584. DOI: 10.1038/s41370-018-0106-1.

Rasenprojekt.de (2019): Wie dauerhaft ist Kunstrasen? Online verfügbar unter https://rasenprojekt.de/Fragen-und-Antworten, zuletzt geprüft am 23.07.2019.

Regnell, F. (2019): Dispersal of microplastic from a modern artificial turf pitch with preventive measures. Case study Bergaviks IP, Kalmar. Hg. v. Ecoloop. Online verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi2lfDKp9PxAhVjh\_0HHZPgCp4QFjABegQlAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.genan.eu%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F02%2FMP-dispersal-from-Bergavik-IP-Kalmar-Report.pdf&usg=AOvVaw1qN4B0B976EoAPXm\_--iOz.

Rijn, L. C. (2019): Aeolian Transport over a flat Sediment Surface. Online verfügbar unter https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Aeoliansandtransport2018.pdf.

Rikkert, Marcel G. M. Olde; Melis, René J. F.; Claassen, Jurgen A. H. R. (2009): Heat waves and dehydration in the elderly. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 339, b2663. DOI: 10.1136/bmj.b2663.



Roberts, Jonathan; Osei-Owusu, Paul; Harland, Andy; Owen, Alun; Smith, Aimée (2014): Elite Football Players' Perceptions of Football Turf and Natural Grass Surface Properties. In: *Procedia Engineering* 72, S. 907–912. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.06.150.

RP online (2018): Hitzeproblem bei Kunstrasen: Granulat klebt wie Teer am Schuh. Hg. v. RP Digital GmbH. Online verfügbar unter https://rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/kunstrasen-granulat-geschmolzen-auf-fussballplaetzen-in-duesseldorf\_aid-32219135, zuletzt geprüft am 22.07.2019.

Schlummer, M.; Fiedler, D.; Barwitz, M.; Smolic, S.; Franz, r. (2018): Untersuchungen zru Migration von PAK aus Gummiprodukten, die EKT enthalten. Fraunhofer IVV.

Schlumpf, Margret; Jarry, Hubert; Wuttke, Wolfgang; Ma, Risheng; Lichtensteiger, Walter (2004): Estrogenic activity and estrogen receptor beta binding of the UV filter 3-benzylidene camphor. Comparison with 4-methylbenzylidene camphor. In: *Toxicology* 199 (2-3), S. 109–120. DOI: 10.1016/j.tox.2004.02.015.

Schneider, Klaus; Bierwisch, Anne; Kaiser, Eva (2020): ERASSTRI - European risk assessment study on synthetic turf rubber infill - Part 3: Exposure and risk characterisation. In: *Sci Total Environ* 718, S. 137721. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137721.

Schneider, O. (2019): Präsentation Vergleich verschiedener Rasensysteme. Hg. v. Labor Lehmacher | Schneider GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter https://sigridbusch.de/wp-content/uplo-ads/2019/06/praesentation\_rasensysteme.pdf, zuletzt geprüft am 29.04.2021.

Senthilkumar, Chinnu Sugavanam; Sah, Nand Kishore; Ganesh, Narayanan (2012): Methyl isocyanate and carcinogenesis: bridgeable gaps in scientific knowledge. In: *Asian Pacific journal of cancer prevention:* APJCP 13 (6), S. 2429–2435. DOI: 10.7314/APJCP.2012.13.6.2429.

Sharma, Brij Mohan; Bharat, Girija K.; Tayal, Shresth; Larssen, Thorjørn; Bečanová, Jitka; Karásková, Pavlína et al. (2016a): Perfluoroalkyl substances (PFAS) in river and ground/drinking water of the Ganges River basin: Emissions and implications for human exposure. In: *Environ Pollut* 208 (Pt B), S. 704–713. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.10.050.

Sharma, Prateek; Fleming, Paul; Forrester, Steph; Gunn, Jon (2016b): Maintenance of Artificial Turf – Putting Research into Practice. In: *Procedia Engineering* 147, S. 830–835. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.298.

Sportplatzwelt/Stadionwelt (Hg.) (2020a): Bio-Hybrid-Rasen mit Naturbaustoff statt Plastik. Online verfügbar unter www.sportplatzwelt.de/news/20365/bio-hybrid-rasen-mit-naturbaustoff-statt-plastik, zuletzt geprüft am 29.04.2021.

Sportplatzwelt/Stadionwelt (Hg.) (2020b): Kunstrasen. Online verfügbar unter www.sportstaettenrechner.de/kostenrechner/sportplatzrechner, zuletzt geprüft am 29.04.2021.

Sportrasen GmbH: Sanierung Kunstrasen. Online verfügbar unter https://rasencoachdotch.files.wordpress.com/2018/04/kunstrasensanierung.pdf.

Sportstättenrechner (Hg.) (2020): Neubau Kunstrasenplatz. Online verfügbar unter www.sportstaettenrechner.de/kostenrechner/sportplatzrechner, zuletzt geprüft am 29.04.2021.

Sturm, Heidi (2019): Granulat schmilzt: Kunstrasenplatz in Winzenheim gesperrt. In: *Allgemeine Zeitung*, 2019. Online verfügbar unter https://www.allgemeine-zeitung.de/lokales/bad-kreuznach/stadt-bad-kreuznach/granulat-schmilzt-kunstrasenplatz-in-winzenheim-gesperrt\_20303094, zuletzt geprüft am 19.04.2021.



TURI (2020): Per- and Poly-fluoroalkyl Substances (PFAS) in Artificial Turf Carpet. Hg. v. Toxics Use Reduction Institute. Toxics Use Reduction Institute. Online verfügbar unter https://www.turi.org/content/download/12963/201149/file/TURI+fact+sheet+-+PFAS+in+artificial+turf.pdf, zuletzt geprüft am 15.04.2021.

Twomey, Dara M.; Petrass, Lauren A.; Fleming, Paul; Lenehan, Kurt (2019): Abrasion injuries on artificial turf: A systematic review. In: *Journal of Science and Medicine in Sport* 22 (5), S. 550–556. DOI: 10.1016/j.jsams.2018.11.005.

Valeriani, Federica; Margarucci, Lory Marika; Gianfranceschi, Gianluca; Ciccarelli, Antonello; Tajani, Filippo; Mucci, Nicolina et al. (2019): Artificial-turf surfaces for sport and recreational activities: microbiota analysis and 16S sequencing signature of synthetic vs natural soccer fields. In: *Heliyon* 5 (8), e02334. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02334.

Verschoor, Anja J.; van Gelderen, Alex; Hofstra, Ulbert (2021): Fate of recycled tyre granulate used on artificial turf. In: *Environ Sci Eur* 33 (1), S. 1–15. DOI: 10.1186/s12302-021-00459-1.

Villacañas, Víctor; Sánchez-Sánchez, Javier; García-Unanue, Jorge; López, Jorge; Gallardo, Leonor (2017): The influence of various types of artificial turfs on football fields and their effects on the thermal profile of surfaces. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology* 231 (1), S. 21–32. DOI: 10.1177/1754337115624819.

Wagner, Swetlana; Schlummer, Martin (2020): Legacy additives in a circular economy of plastics: Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures. In: *Resour, Conserv Recycl* 158, 5. 104800. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104800.

Watterson, Andrew (2017): Artificial Turf: Contested Terrains for Precautionary Public Health with Particular Reference to Europe? In: *International journal of environmental research and public health* 14 (9). DOI: 10.3390/ijerph14091050.

WDR (2020): Kunstrasen schmilzt: Grüne Klumpen-Schuhe beim Fußball. Hg. v. WDR. WDR. Online verfügbar unter https://kinder.wdr.de/radio/kiraka/nachrichten/klicker/kunstrasen-schmilzt-zuklumpen-100.html, zuletzt geprüft am 19.04.2021.

WECOBIS (2021): Polyurethan-Klebstoffe - WECOBIS - Ökologisches Baustoffinformationssystem. Hg. v. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Online verfügbar unter https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/klebstoffe/polyurethan-klebstoffe.html, zuletzt aktualisiert am 08.04.2021, zuletzt geprüft am 08.04.2021.

Weijer, Annet; Knol, Jochem (2017): Verspreiding van infill en indicatieve massbalans. Hg. v. Sweco Nederland B.V., zuletzt geprüft am 13.09.2019.

Weitzel (2020): Revolutionäres Material aus recyceltem Kunstrasen für eine nachhaltige Zukunft. In: *Stadionwelt*, zuletzt geprüft am 08.07.2021.

Williams, C. Frank; Pulley, Gilbert E. (2002): Synthetic Surface Heat Studies. Hg. v. Brigham Young University. Online verfügbar unter https://aces.nmsu.edu/programs/turf/documents/brigham-young-study.pdf, zuletzt geprüft am 23.04.2021.

Williams, Sean; Hume, Patria A.; Kara, Stephen (2011): A review of football injuries on third and fourth generation artificial turfs compared with natural turf. In: *Sports Med* 41 (11), S. 903–923. DOI: 10.2165/11593190-000000000-00000.



Yaghoobian, Neda; Kleissl, Jan; Krayenhoff, E. Scott (2010): Modeling the Thermal Effects of Artificial Turf on the Urban Environment. In: *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49 (3), S. 332–345. DOI: 10.1175/2009JAMC2198.1.

Zanetti, Elisabetta M. (2009): Amateur football game on artificial turf: players' perceptions. In: *Applied Ergonomics* 40 (3), S. 485–490. DOI: 10.1016/j.apergo.2008.09.007.



# 22 Anhang

### 22.1 Hinweise zu den Methoden

Tabelle 17: In den Kapiteln angewendete Methoden mit Spezifikation

Kapitel	Methode	Spezifikation von Datenquelle oder Messgerät			
Kapitel 3					
Aufbau von Kunstrasen- systemen	Literatur- und Internetquellen, Normen	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar, Beuth-Verlag, Fraunhofer- Fachinformationen			
	Informationen zu den untersuchten Plätzen	Durch die Auftraggeber übergebene Dokumentation und Vergabeunterlagen			
Wartung und Pflege	Interviews und Platzbegehung	Befragung von Platzbetreibenden und Platzwarten im Rahmen der Platzbegehung; Protokollierung der erhobenen Daten (→ Kap. 22.2 Begehungsprotokoll)			
Nutzung und Lebens- dauer	Literatur- und Internetquellen	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar Angabe der jährlichen Nutzungsstunder durch die Auftraggeber			
Kapitel 4					
Gestaltung Platzumfeld	Platzbegehungen und Fotodokumentation von 20 Plätzen Protokollierung der erhobenen Daten (→ Kap. 22.2 Begehungsprotokoll)	30.6.2020 Kunstrasenplätze Deutschland: Hannover und Braunschweig 2426.8.2020 Kunstrasenplätze Schweiz: Aarau, Bern, Chur, St. Gallen, Winterthur, Zürich			
Entwässerung von Kunstrasenplätzen	Platzbegehungen und Fotodokumentation von 20 Plätzen Interviews mit Platzbetreibenden Protokollierung der erhobenen Daten (→ Kap. 22.2 Begehungsprotokoll)	30.6.2020 Kunstrasenplätze Deutschland: Hannover und Braunschweig 2426.8.2020 Kunstrasenplätze Schweiz: Aarau, Bern, Chur, St. Gallen, Winterthur, Zürich			
Kapitel 5					
Räumliche Einbindung von KRP	Methode: Bestimmung des Vegetationsindex NDVI und der Rotwerte aus Spektraldaten Daten: ATKIS Basis-DLM, Spektralbänder von Sentinel-2	Räumliche Analyse mit Geoinformati- onssystem ArcGIS Pro			
Abstände zu Gewässern	ATKIS Basis-DLM	Räumliche Analyse mit Geoinformationssystem ArcGIS Pro			
Kapitel 6					
Wirtschaftlichkeit	Literatur- und Internetquellen; Daten der beteiligten Kommu- nen	Durch die Auftraggeber übergebene Dokumentation			
Kapitel 7					
Infillmenge auf den Plätzen	Aussaugung des Infills an 5 Pro- benahmestellen (vgl. Abbildung 17)	Kärcher-Industriesauger			



	T	T
	Trocknung bis zur Gewichts- konstanz	Trockenschrank ED400, Fa. Binder; Bestimmung der Trockensubstanz nach DIN EN 14346
	Bestimmung der Dichte	Helium-Pyknometrie nach DIN 66137-2
	Abtrennung von Performance-Infill, Separation von Quarzsand und Verschmutzungen Vergleich mit Literatur und Produktdaten	Analyse-Siebmaschine AS200, Fa. Retsch; Siebanalyse nach DIN 66165-2
	Berechnung der Massen und des Anteils von Performance-Infill und Sand für jeden Messpunkt Bestimmung eines gewichteten Mittelwertes für jeden Platz	$\frac{m_{Gummi}}{m_{gesamt}} = \frac{1/\rho_{gesamt} - 1/\rho_{Sand}}{1/\rho_{Gummi} - 1/\rho_{Sand}}$
	Bestimmung von Korrelation und Signifikanz mit dem Alter	Korrelation: r-Wert nach Pearson Signifikanz: p-Wert nach Fisher
Anreicherung von Infill	Vergleich der Mengen nach Fer- tigstellung zu den Mengen bei Messung	Betreiberangaben und Vergabeunterlagen, Dokumentation der untersuchten Plätze Massenbestimmung: s. zuvor
Fragmentierung des Infills	Siebanalye von neuem und ge- brauchtem Performance-Infill, Vergleich der Massenanteile in den Siebfraktionen	Analyse-Siebmaschine AS200, Fa. Retsch; Siebanalyse nach DIN 66165-2
Infillverteilung und spiel- technische Eigenschaften	Vergleich des Koeffizient of Variation (COV = (Max-Min)/Mittelwert) der Performance-Infillmenge an 5 Messpunkten und der spieltechnischen Eigenschaften an sechs Messpunkten für drei Plätze	Spieltechnische Eigenschaften aus Untersuchungsprotokollen zum FIFA-Qualitätsprogramm für drei Plätze Massenbestimmung: s. zuvor
	Untersuchung der Korrelation zwischen Alter und COV der In- fillmenge	Korrelation: r-Wert nach Pearson Signifikanz: p-Wert nach Fisher
Analyse zu Infill-Alterna- tiven	Literaturauswertung	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar, Produktinformationen der Her- steller
Kapitel 8		
Mikroplastikverluste – theoretisch	Literaturauswertung	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar Von Auftraggebern und Experten be- nannte Studien
Mikroplastikverluste - experimentell	Bestimmung der insgesamt aufgebrachten Infillmenge (Herstellung und Nachfüllmenge) über die gesamte Laufzeit Bestimmung der aktuellen Masse Bestimmung der Differenz von insgesamt aufgebrachter Masse und aktueller Masse und Division durch die Lebensdauer (-jährliche Infillverluste)	Betreiberangaben und Vergabeunterlagen, dokumentation der untersuchten Plätze Vertiefende Befragung der Betreibenden, Freigabe der Daten durch die Auftraggeber Massenbestimmung: s. zuvor
Kapitel 9		



Bestimmung des Wissenstandes zu Faserverlusten	Literaturauswertung Fotodokumentation nach Trai- ningseinheiten	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar Eigene Erfahrungen, Till Zimmermann (Ökopol)			
Kapitel 10					
Identifikation von Austragspfaden und Akkumulationsräumen	Platzbegehungen und Fotodokumentation von 20 Plätzen Protokollierung der erhobenen Daten (→ Kap. 22.2 Begehungsprotokoll) Befragung von Platzbetreibenden, Platzwarten	30.6.2020 Kunstrasenplätze Deutschland: Hannover und Braunschweig 2426.8.2020 Kunstrasenplätze Schweiz: Aarau, Bern, Chur, St. Gallen, Winterthur, Zürich			
	Auswertung aktueller Studien	Europäische Studien aus Dänemark (DTI) und Schweden (IVL)			
Erstellung eines eigenen Schemas zu Transferpfa- den und zum Infillver- bleib	Auf Basis der qualitativen Be- obachtungen aus den Platzbege- hungen.				
Kapitel 11					
Stand bei Schadstoffen	Literaturauswertung Zusammenstellung des Datenbe- standes	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar			
Kapitel 12					
Stand bei Recycling	Literaturauswertung, Pressemit- teilungen	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar, Produktinformationen der Her- steller			
Kapitel 13					
Berechnung der Carbon Footprint	Literaturauswertung zu Beschaf- fung erforderlicher Daten	Fraunhofer eLib, Scopus, Google- Scholar, Produktinformationen der Her- steller			
	Expertengespräche zu fehlenden Daten	Auftraggeber, weitere Experten: Oliver Schimmelpfenning, Björn Kuhlmey			
	Ökobilanzierung	DIN EN ISO14040/44 GaBi-Software und –Datenbank (Version: 10.5.0.78)			
Kapitel 14					
Analyse zu Normen	Normenauswertung	Beuth-Verlag, Fachinformationen der Fraunhofer-Gesellschaft, Internetrecher- che Expertenmeinung von DIN e. V. (Lieven Bornmann)			
Kapitel 15	Literatur- und Internetquellen, Befragungen	Interviews mit Vertretern der beteiligten Kommunen			
Kapitel 16					
Spielerbefragung	Offene Online-Befragung unter 105 Spielern	Software: Mentimeter Direktansprache von Spieler*innen durch die Autoren und Auftraggeber Bewerbung über Social Media (LinkedIn)			



### 22.2 Begehungsprotokoll

Das Begehungsprotokoll wurde den Auftraggebern vor der Platzbegehung zur Ausfüllung zugeschickt. Offene Punkte im Protokoll wurden bei der Platzbegehung mit den Platzbetreibern und weiterem fachkundigem Mitarbeitenden erörtert und ergänzt. Das fünfseitige Protokoll enthält 7 Themenbereiche: 0) Randdaten, 1) Umfeld, 2) Entwässerungssystem, 3) Aufbau des Kunstrasenplatzes, 4) Pflege, 5) Sonstiges und 6) Probenahme (Abb. 2). Die erhobenen Daten wurden in ein Excel-Sheet überführt und gemeinsam mit den Analysedaten ausgewertet.

	Fraunhofe
Protokoli zur Begehung von	
0 Randdaten	
Ort, Datum, Uhrzeit:	
Name und Adresse des Platze	25:
Baujahr/e (ggf. n. Anlage, Trag	gschicht, Kunstrasen, Elastikschicht):
Neubau ( ) Teilneubau ( ) San	nierung ( )
Platzgeneration: 1G ( ) 2G ( )	3G ( ) 4G ( ) unbekannt ( )
Bau nach Norm: EN 15330 ( )	) DIN 18035 ( ) Keine ( )
Kosten Kunstrasenplatz:	
Kosten Bau:	
Gesamtkosten:	
Platzbauer (ausführendes Unt	ternehmen):
Platzhersteller (Lieferant des I	Kunstrasensystems):
Platzabmessungen:	
Monate der Platznutzung:	
Nutzungsfrequenz (Wochenta	age und Zeitraum):
	Woche: Fußball ( ) h Hockey ( ) h Leichtathletik ( ) h ;( ) h ( ) h
Gibt es Stunden nicht organisi h/Woche	sierter Sportnutzung durch die Bevölkerung? ja ( ) nein ( ), wenn ja,
Nutzung pro Jahr insgesamt: o	cah
1 Umfeld	
Umfriedung des Platzes (z. B.	Zaun, Wand etc.): ja ( ) nein ( )
Art der Umfriedung:	
Einfassung, Umrandung: Pflas Bahn ( ) Tribüne ( ) Barrieren	sterung ( ) Beton ( ) Rinne (Steinmulde) ( ) Rinne (Schacht mit Gitter) 1 ( )( )
Reihenfolge der Einfassung (v	vom Platz aus betrachtet): 1 2 3.
Beschreibung des Platzumfeld	des (Bäume, Freifläche, Fluss, Höhenlage etc.):
MCS Kunstrasen/berr	Seite 1 von 5 15. Juni 2

# 22.3 Rohdaten und Rechengrößen



Tabelle 18: Infillmengen und Nachfüllmengen auf den Plätzen

Platz-Code		D							G		Q	1							K			A	В			-	и		N		0
Tiotz couc		-																						<u> </u>							
Spielstunden pro Jahr	2.0	420	19	20	19	20	24	20	215	50	1650	)	15	84	1.5	80	20	00	25	00	16	500	1080	18	:00	20	000	20	000	20	000
Typenbezeichnung	Fieldturf 3	60 XL 42-17		Qualifloor MaX S 40	Fieldturf	860 42-20	Polytan Lig RS+ 2		Filed Turf 3	60 XL 42- Gr	eenfields R slide r		Greenfield 40 Slide		Polytan Lig 240		Fieldturf C FG/	ore 42/17 OG	Greenfield 46 V		Tarkett		Sports	Limonta Sport		Pol	ytan	JU	ITA		iga Turf RS+ IPlus
Fasertyp	Monofilan	nent gerade	gerade						Monofilar Wicke	ment mit	Monofilam gerade/V u gekräus	und PA	Momofi ger				Monofila ment						T-FACE			ger	rade	ger	ade	Monofi ger	ilament, rade
Fasergewicht									1338		2970		1010		1365		1550													1000	
Polhöhe	42		42		42		40		42		32		40		40		42				45		42	40		40		40		40	
Polüberstand	14		13		12						32		16		15				gerade				13	13		11		11		11	
Infil			17	Granulat							0	kein		Granulat	15	Granulat							15	15							
Größe (brutto) [qm]	7.	420	7.	120	7.4	20	7.4	20	7.4	20	7.420		7.5	79	7.4	20	12.		7.5	08	7.:	208	4.716	7.4	420	4.9	930	5.8	860	5.6	i40
	Sand	TPE grün	Sand	TPE grün	Sand	SBR+PU	Sand	?	Sand	EPDM	unverfü	üllt	Sand	EPDM grün	Sand	EPDM grün	Sand	EPDM gr/br	Sand	RPU	Sand	)M braun/g	Sand TPE grün	Sand	EPDM grün	Sand	EPDM grün	Sand	EPDM grün	Sand	Kork
2005																															$\vdash$
2006																															$\vdash$
2007																								1							$\vdash$
2009							15	9,5											15	8,5											
2010								2																							
2011								2																				25	5		
2012								2												8			25 7,0	)					0,75		
2013			11,5	8,5				2					14,7	9,63	18	9,75				0,2	18,75	6,8	0,5	5		25	5		0,75		
2014				0	11,5	8,5		2						1,75		1,75				0,2		1,75	0,5	5			0,75		0,75		
2015				11		10,8		2						1,75		1,75				0,2		1,75	0,5	5			0,75		0,75		
2016	16,2	15,3		0		0		2						1,75		1,75				0,2		1,75	0,5	5			0,75		0,75		
2017		0		12,5		8,75		2						1,75		1,75				0,2		1,75	0,5	_			0,75		0,75		
2018		7,25		7		7,2		30	19,6	8,1				1,75		1,75	20,7	6,3		11,3		1,75	0,5		8		0,75		0,75		$\vdash$
2019		2,5	20	10	27	5		5		2,64				1,75		1,75		6,35		0,05		1,75	0,5		4		0,75		0,75	25	-
2020 2021														1,75		1,75		0,05		0,05		1,75	0,5	•	12,5		0,75		0,75		0,25
[kg/qm]	16,2	15.3	11.5	8,5	11,5	8,5	15	9.5	19.6	8.1			14.7	9.63	18	9.75	20.7	6.3	15	8.5	18.75	6.8	25 7.0	18	8	25	5	25	5	25	2
[t/Platz]	120,2		85,3	63,1			_	70,5		60,1			111,4	73,0	133,6	72,3	262,9	80,0	112,6	-,-	135,2	49,0	117,9 33,0					146,5		141,0	-
[kg/qm]	_		14,2	14,0		12,8	_	16,4	-	8,5			14,7	11,2	18,0	11,4	20,7	6,8	15,0		18,8		25,0 7,85			25,0	_	25,0	6,2	25,0	
[t/Platz]	120,2	123,3	105,3	103,6	112,3	94,8	111,3	121,5		62,7			111,4	85,2	133,6	84,6	262,9	86,4	112,6	84,2	135,2	61,26	117,9 37,0	133,6	75,9	123,3	29,9	146,5	36,1	141,0	11,5
[kg/qm]	12,96	11,16	10,96	12,28	11,55	6,15	9,42	7,15	12,93	8,06			4,90	10,85	9,07	8,27	15,62	6,83	0,89	5,48	13,27	6,71	10,91 7,03	15,81	10,04	30,88	3,52	19,85	5,27	23,30	1,23
[t/Platz]	96,13	82,81	81,35	91,14	85,74	45,64	69,87	53,04	95,94	59,79			37,17	82,26	67,30	61,34	198,34	86,75	6,71	41,12	95,64	48,36	51,45 33,16	117,33	74,52	152,22	17,37	116,30	30,87	131,41	6,95
[kg/qm]	3,24	5,45	3,23	1,68	3,58	6,63	5,58	9,22	-12,93	0,40			9,80	0,39	8,93	3,13	5,08	-0,03	14,11	5,74	5,48	1,79	14,09 0,82	2,19	0,18	-5,88	2,54	5,15	0,88	1,70	0,81
[t/Platz]	24,08	40,46	23,98	12,43	26,59	49,18	41,43	68,45	-95,94	2,95			74,24	2,97	66,26	23,26	64,55	-0,34	105,91	43,10	39,51	12,90	66,45 3,85	16,23	1,34	-28,97	12,53	30,20	5,18	9,59	4,58
[kg/qm]	0,81		0,46	0,24	0,60	1,10		0,84	-1,18	0,04			1,40	0,06	1,12	0,45	0,64	0,00	1,76	0,82	0,78	0,26	1,76 0,10			-0,65		0,57	0,10	0,19	-
[t/Platz]	6,02		3,43					6,22	-8,72	0,27			10,61	0,42	9,47	3,32	9,22	-0,05	15,13	6,16	5,64	-	8,31 0,48					3,36		4,79	
[t/a]	6,02	10,12	3,43	1,78	4,43	8,20	3,77	6,22	-8,72	0,27	0,00	0,00	10,61	0,42	9,47	3,32	9,22	-0,05	15,13	6,16	5,64	1,84	8,31 0,48	2,03	0,17	-3,22	1,39	3,36	0,58	4,79	2,29



Tabelle 19: Infillmassen und -zusammensetzung an den Messpunkten

		G	Gesamtmasse [g	]	
Platzcode	16er	Mitte	Ecke	S.Mitte	Tor
Α	908,60	892,10	789,90	1207,70	762,90
В	1156,65	485,54	908,70	1096,61	264,20
С	977,20	962,90	571,60	692,90	1004,20
D	1259,88	1094,45	1316,90	1192,24	1067,87
E	836,73	696,26	980,03	885,78	761,84
F	1182,31	1025,39	1523,37	1164,70	1052,76
G	1131,87	777,33	1259,55	1104,35	1253,55
Н	828,65	635,72	996,31	786,20	962,99
I	760,48	630,00	1093,03	1114,53	888,14
J	1282,53	994,78	1185,53	1016,30	1079,94
K	320,80	299,85	394,30	324,69	184,93
L	1180,18	1457,8	1015,1	1254,6	1000,55
М	1715,00	1850,00	2005,00	1540,00	1120,00
N	1432,00	1143,00	1760,00	1085,00	924,00
0	1162,00	1297,00	1201,00	1114,00	1434,00



Tabelle 20: Dichtbestimmung

			Dichte	bestimmung	[kg/L]		
Platzcode	Sand	Gummi	16er	Mitte	Ecke	S.Mitte	Tor
Α	2,63494	1,58298	2,26	1,99	1,96	2,25	2,01
В	2,60431	1,56467	2,18	1,79	2,13	2,11	1,59
С	2,64471	1,23425	2,01	1,91	1,45	1,80	1,89
D	2,63905	1,52076	1,93	1,90	2,02	2,08	1,94
E	2,60539	1,23	1,94	1,57	1,53	1,81	1,79
F	2,56088	1,53919	1,87	1,86	2,15	1,91	1,85
G	2,64765	1,20346	1,85	1,70	1,82	1,92	1,54
Н	2,63597	1,64111	1,93	1,83	2,17	1,73	2,11
I	2,5998	1,68257	1,94	1,90	2,30	2,22	2,15
J	2,63981	1,55851	2,24	2,13	2,31	2,12	2,25
К	2,32478	1,18662	1,24	1,23	1,93	1,26	1,31
L	2,65105	1,57434	2,17	1,98	2,10	2,18	2,05
М	2,64339	1,68485	2,51	2,49	2,55	2,48	
N	2,62853	1,74949	2,38	2,43	2,56	2,27	2,44
0	2,64769	0,32254	2,10	1,75	1,91	2,06	1,93

Tabelle 21: Gummimassenanteilbestimmung

		Bestimmung Gummimassenanteil											
Platzcode	16er	Mitte	Ecke	S.Mitte	Tor								
A	25%	49%	52%	26%	47%								
B	29%	69%	33%	35%	96%								
С	28%	34%	72%	41%	35%								
D	50%	53%	42%	37%	49%								
E	31%	59%	63%	39%	41%								
F	55%	57%	29%	51%	58%								
G	36%	46%	38%	31%	60%								
Н	61%	73%	35%	87%	41%								
1	62%	68%	24%	32%	39%								
J	26%	34%	21%	35%	25%								
K	91%	92%	22%	88%	81%								
L	32%	50%	38%	32%	43%								
М	9%	11%	6%	12%	12%								
N	21%	16%	5%	31%	15%								
0	4%	7%	5%	4%	5%								



Tabelle 22: Berechnung der Performance-Infillmasse pro Quadratmeter

	Best	timmung der	Performance	-Infillmasse p	ro Quadratm	eter	
Infill über Lebenszykl us	16er	Mitte	Ecke	S.Mitte	Tor	Mittelwert	Gewichtet
	30%	30%	5%	30%	5%		
6,80	4,62	8,87	8,34	6,34	7,28	7,09	6,73
7,00	6,90	6,81	6,13	7,85	5,17	6,57	7,03
8,50	5,54	6,58	8,38	5,80	7,16	6,69	6,15
15,30	12,78	11,86	11,14	8,90	10,76	11,09	11,16
9,50	5,26	8,35	12,57	7,07	6,29	7,91	7,15
8,50	13,37	11,93	8,88	12,10	12,37	11,73	12,28
8,10	8,23	7,36	9,81	7,08	15,37	9,57	8,06
9,63	10,27	9,50	7,13	13,89	8,05	9,77	10,85
9,75	9,58	8,70	5,40	7,21	7,01	7,58	8,27
6,30	6,80	6,98	5,03	7,24	5,42	6,29	6,83
8,50	5,96	5,65	1,74	5,85	3,06	4,45	5,48
8,00	7,73	14,84	7,94	8,12	8,79	9,48	10,04
5,00	3,16	4,03	2,66	3,67	2,67	3,24	3,52
5,00	6,19	3,72	1,93	6,85	2,86	4,31	5,27
2,00	0,86	1,88	1,30	0,89	1,51	1,29	1,23

Tabelle 23: Berechnung der Sandmasse pro Quadratmeter

		Bestimmu	ng der Sandm	nasse pro Qua	dratmeter	•	
Platzcode	16er	Mitte	Ecke	S.Mitte	Tor	Mittelwert	Gewichtet
	30%	30%	5%	30%	5%		
Α	13,90	9,32	7,76	18,28	8,27	11,50	13,25
В	16,67	3,09	12,39	14,51	0,22	9,37	10,91
С	14,37	13,05	3,27	8,33	13,31	10,47	11,55
D	12,89	10,44	15,70	15,40	11,01	13,09	12,96
E	11,79	5,84	7,41	10,98	9,23	9,05	9,42
F	10,73	8,97	22,17	11,64	9,09	12,52	10,96
G	14,84	8,49	15,86	15,43	10,18	12,96	12,93
Н	6,62	3,46	13,18	2,14	11,57	7,40	4,90
I	5,92	4,14	16,88	15,51	11,09	10,71	9,07
J	19,34	13,29	19,14	13,47	16,59	16,37	15,62
K	0,58	0,47	6,30	0,77	0,71	1,76	0,89
L	16,33	14,87	12,75	17,45	11,60	14,60	15,81
М	31,79	33,68	38,21	27,72	20,16	30,31	30,88
N	22,99	19,57	33,95	15,27	15,98	21,55	19,85
0	22,82	24,55	23,17	21,81	27,71	24,01	23,30



#### 22.4 Siebanalyse

Beispiel einer Siebanalyse für einen beliebigen Platz. Bei der Siebanalyse werden die Sand-/Performance-Infill-Proben mittels Siebkaskade in unterschiedliche Korngrößen fraktioniert.

Durch die Siebanalyse wurde bestimmt, welche prozentualen Anteile unterschiedlicher Partikelgrößenfraktonen sich an unterschiedlichen Probenahmestellen befinden. Zur Auswertung gehören Wertetabelle (Tabelle 24) und ein daraus erstelltes Diagramm (Abbildung 45).

Dies gibt zusätzlichen Aufschluss über das Verhältnis von Sand zu Performance-Infill und ergänzt die Analysen zur Infillmenge und -verteilung die mittels Dichtemessung gemacht wurden. Darüber hinaus geben die Partikelgrößenanalysen Aufschluss über Abrieb und Fragmentierung des Infills, größenabhängige Partikelbewegung und Pflegezustand der Kunstrasenlätze.

Tabelle 24: Tabellarische Auswertung der Siebanalyse

Platz X: Sand + EPDM	Dichte EPDM	1,	6967 g	/cm³		
Probe	X1	X2	X	3	X4	X5
Feuchtgewicht (in g)	2011,74	172	23,28	1860,93	1552,63	1128,26
Trockengewicht (in g)	2005,00	173	15,00	1850,00	1540,00	1120,00
Wassergehalt (in g)	6,74		8,28	10,93	12,63	8,26
Wassergehalt (in %)	0,34		0,48	0,59	0,82	0,74

Probe	Eckfahne	Sechzehner	Mittelpunkt	Mittellinie	Mitte Tor	
Fraktion		Trockengewicht (in g)				
> 2mm	2,13	2,47	2,41	3,4	1,36	
> 1 mm	105,98	145,66	147,37	168,28	167,13	
> 0,5 mm	1060,44	657,80	626,53	434,55	383,04	
> 0,3 mm	781,24	844,6	986,56	869,82	251,93	
> 0,1 mm	47,5	61,47	84,77	61,52	43,1	
> 63 μm	1,71	0,36	0,44	0,36	0,22	
< 63 μm	0,84	0,09	0,15	0,17	0	
Summe	1999,84	1712,45	1848,23	1538,1	846,78	

Probe	Eckfahne	Sechzehner	Mittelpunkt	Mittellinie	Mitte Tor	
Fraktion		Anteile (in %)				
> 2mm	0,11	0,14	0,13	0,22	0,16	
> 1 mm	5,30	8,51	7,97	10,94	19,74	
> 0,5 mm	53,03	38,41	33,90	28,25	45,23	
> 0,3 mm	39,07	49,32	53,38	56,55	29,75	
> 0,1 mm	2,38	3,59	4,59	4,00	5,09	
> 63 μm	0,09	0,02	0,02	0,02	0,03	
< 63 μm	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	



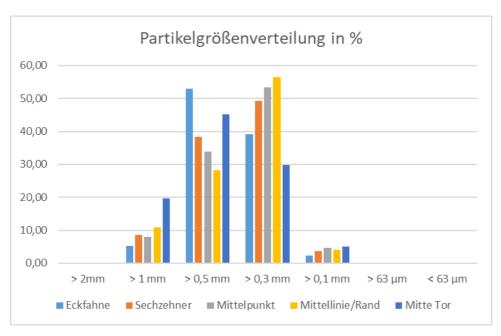


Abbildung 45: Siebanalyse graphisch dargestellt als prozentuale Partikelgrößenverteilung

Jede vom Kunstrasenplatz entnommene Probe wurde mittels Analysensiebmaschine in die Korngrößen < 63  $\mu$ m, > 63  $\mu$ m, > 100  $\mu$ m, > 300  $\mu$ m, > 500  $\mu$ m, > 1 mm und > 2 mm fraktioniert (Abb. 45).







Abbildung 46: Mittels Siebanalyse fraktionierte Infill-Proben

### 22.4.1 Fotodokumentation

### Fotoauswahl



Abbildung 47: Probenahmekörper auf Eckpunkt (I.); Probenahme mit Sauger (r.)





Abbildung 48: Probenahmepunkt nach Probenahme (I.); verpackte Infill-Proben vor der Fraktionierung (r.)



Abbildung 49: Sickerschacht mit Drainageauslässen (I.); Schmutzfänger mit zurückgehaltenem Performance-Infill (r.)



Abbildung 50: Begutachtung Revisionsschacht (I.); Entnahme einer Wasserprobe aus dem Revisionsschacht (r.)





Abbildung 51: Performance-Infill neben dem Platz (l.); Abstreifgitter mit Bürsten (r.)



### 22.4.2 Literaturauswertung zu Schadstoffgehalten

Tabelle 25: Schwermetall-Konzentrationen und -Nachweise in SBR-Infill aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

		SBR		SI	3R
	Quelle: Bocca et	al. 2009 <sup>250</sup> ; Menic	hini et al. 2011 <sup>251</sup>	Quelle: Marsi	li et al 2014 <sup>252</sup>
Schwermetall	Median	Min	Max	Min	Max
		[mg	g/kg]		
Al	755	1,2	6680		
As	0,24	0,1	1,21		
Ва	22	2,4	4778		
Be	2,04	0,001	0,37		
Cd	0,37	0,11	1,89	0,47	2,68
Co	15	3,5	234		
Cr	6,2	0,4	56	1,91	17,52
Cu	12	0,8	60	5,49	84,49
Fe	305	15	4318	129,12	7256
Hg	0,07	0,03	0,16		
Li	1,5	0,6	11		
Mg	456	123	966		
Mn	5,2	3	30		
Mo	0,2	0,04	6,6		
Ni	2	0,6	5,8	3.9	26,12
Pb	22	12	46	10,76	38,99
Rb	1,7	0,7	26		
Sb	1,1	0,3	7,7		
Sn	0,3	0,3	3		
Sr	1,2	3,2	90		
TI	0,06	0,01	0,21		
V	2,2	0,4	22		
W	0,13	0,02	2		
Zn	12,229	118	19,375	3.474	13.202
		Sonstige	Quellen		

Gomes et al. 2021<sup>253</sup>: Zn-Gehalt in SBR-Granulat bei 14,49 mg/kg gemessen.

Massey et al. 2020<sup>254</sup>: Qualitative Aussage zu EPDM-Granulaten: Schwermetalle in vergleichbaren Konzentrationen wie in SBR-Granulaten vorhanden; Qualitative Aussage zu TPE-Granulaten: Schwermetalle in vergleichbaren bis leicht geringeren Konzentrationen wie in SBR-Granulaten vorhanden;

BAG 2017<sup>255</sup>: Schwermetalle in SBR-, EDPM, TPE-Granulaten und Fasern in unbedenklichen Konzentrationen nachgewiesen. VerpackungsV: Blei-, Cadmium-, Quecksilber- und Chrom VI- Konzentrationen dürfen für Kunststoffe im Verpackungsbereich kumulativ nicht über 100 mg/kg liegen.

<sup>&</sup>lt;sup>250</sup> Bocca et al. 2009.

<sup>&</sup>lt;sup>251</sup> Menichini et al. 2011.

<sup>&</sup>lt;sup>252</sup> Marsili et al. 2014.

<sup>&</sup>lt;sup>253</sup> Gomes et al. 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>254</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>255</sup> BAG 2017.



Tabelle 26: PAK-Konzentrationen und -Nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

	SB Quelle: Ma 2014	arsili et al	SB Quelle: Men 201	ichini et al.	SBR Quelle: Go- mes et al. 2021 <sup>258</sup>	EPDM Quelle: Pro- duktdaten- blatt GEZO- FILL
	[ng,	/g]		[m <sub>g</sub>	g/kg]	
PAK/ PAH	Min	Max	Min	Max		
Naphthalene	246,14	2039,61				
Acenaphthene	352,12	11025,47				< 0,1
Fluorene	426,81	11025,47				< 0,1
Phenanthrene	37,92	1560,01				< 0,1
Anthracene	7,64	282,62				< 0,1
Fluoranthene	710,43	3740,04				< 0,1
Pyrene	1643,56	10280,99	0,02	11,2		
Benzo(a)anthracene	5,38	1166,03	0,001	0,43		< 0,1
Chrysene	243,57	3422,21	0,01	2,38		0,1 - 1,6
Benzo(b)fluoranthene	1149,65	15715,42				< 0,1
Benzo(k)fluoranthene	68,25	3615,88				
Benzo(a)pyrene	51,72	662,56	0,001	10,7		
Dibenz(a,h)anthracene	72,75	573,26	0,001	0,03		
Benzo(g,h,i)perylene	239,69	902,89	0,01	8,36		
Total PAHs	8020,6	58211,37	0,04	28,5	1,91 – 14,67	
Carcinogenic PAHs	2545,89	22780,35				

#### Sonstige Quellen

Massey et al. 2020<sup>259</sup>: SBR-Granulat weist die höchsten Konzentrationen an PAKs unter den überprüften Granulaten (SBR, EPDM, TPE) auf. Gesamtkonzentration an PAKs 51-71 mg/kg. EPDM Granulat weist in Summe eine Konzentration an PAKs von 1 mg/kg auf.

BAG 2017<sup>260</sup>: Qualitative Aussage: EPDM- und TPE-Granulate haben eine ca. 50 mal geringere PAK-Konzentration als SBR-Granulate

Bundesamt für Risikobewertung: Grenzwert für Kategorie I (Produkte, welche dazu bestimmt sind, in den Mund genommen zu werden, oder Materialien in Spielzeug mit bestimmungsgemäßem und längerfristigem Hautkontakt (länger als 30 Sekunden).: Summe PAK < 0,2 mg

<sup>&</sup>lt;sup>256</sup> Marsili et al. 2014.

<sup>&</sup>lt;sup>257</sup> Menichini et al. 2011.

<sup>&</sup>lt;sup>258</sup> Gomes et al. 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>259</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>260</sup> BAG 2017.



Tabelle 27: VOC-Nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

	SBR Quelle: Gomez et al. 2021 <sup>261</sup>	SBR, EPDM, TPE Quelle: Massey et al. 2020 <sup>262</sup>	Kork
VOC	Nur qualitative Aussage: VOC nachgewiesen	Nur qualitative Aussage: VOC nachgewiesen; in EPDM und TPE in geringerer Konzentration als in SBR	Terpene sind natürliche Inhalts- stoffe des Holzes, daher enthält auch Kork VOC.

Tabelle 28: PCB-Konzentrationen und -Nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

	SBR Quelle: Gomes et al. 2021 <sup>263</sup>	SBR Quelle: Menichini et al. 2011 <sup>264</sup>
PCB	Nur qualitative Aussage: PCB nachgewiesen	Gemessene Konzentration: 0,18 – 0,67 *10^(- 5) mg/kg

Tabelle 29: Feinstaubkonzentrationen und -nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

	SBR Quelle: Norwegian Institute for Aor Re- search 2005 <sup>265</sup>	SBR, TPE Quelle: Massey et al. 2020 <sup>266</sup>			
PM <sub>10</sub>	Feinstaub bis $PM_{2,5}$ nachgewiesen. Konzentration 31,26 – 40,1 $\mu g/m^3$	Feinstaub bis PM <sub>2,5</sub> nachgewiesen.			
Sonstige Quellen:					
Eigene Laboruntersuchungen: Staub >> 2 mm nachgewiesen, allerdings ohne Detektion der exakten Größe.					
Platzbegehungen: Staub >> 2 mm optisch identifizierbar.					

Tabelle 30: Phenolkonzentrationen und -nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

	SBR Quelle: Massey et al. 2020 <sup>267</sup>	EPDM Quelle: Massey et al. 2020 <sup>268</sup>
Phenole	[µg	/kg]
4-t-ocylphenol	19.600 – 33.700	49,8
Iso-nonylphenol	9.120 – 21.600	1.120
total		Konzentration geringer als bei SBR

<sup>&</sup>lt;sup>261</sup> Gomes et al. 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>262</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>263</sup> Gomes et al. 2021.

<sup>&</sup>lt;sup>264</sup> Menichini et al. 2011.

 $<sup>^{265}</sup>$  Norwegian Institute for Air Research 2005.

<sup>&</sup>lt;sup>266</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>267</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>268</sup> Massey et al. 2020.



Tabelle 31 - Phthalatkonzentrationen und -nachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

changen			
	SBR Quelle: Massey et al. 2020 <sup>269</sup>	EMDP Quelle: Massey et al. 2020	TPE Quelle: Massey et al. 2020
Phthalate		[mg/kg]	
Dimethylphthalate	Unterhalb der Nachweis- grenze	3,4 mg/kg	Nur qualitative Aussage: Phthalate nachgewiesen.
Diethylphthalate	Unterhalb der Nachweis- grenze	1,5 mg/kg	
Dibutylphthalate	2,6 – 3,9 mg/kg	1,6 mg/kg	
Benzylbutylphthalate	1,3 – 2,8 mg/kg	Unterhalb der Nach- weigrenze	
Diethylhexylohthalate	21-29 mg/kg	3,9 mg/kg	
Di-n-octylphthalate	Unterhalb der Nachweis- grenze	3,2 mg/kg	
Diisononylphthalate	57-78 mg/kg		
Total		In geringerer Konzentration als bei SBR nachgewiesen	

Tabelle 32: Furannachweise in Kunstrasen-Infillmaterialien aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

	SBR
	Quelle: Perkins et al. 2019 <sup>270</sup>
Furane	Nur qualitative Aussage: Furane nachgewiesen.

Tabelle 33: PFAS-Nachweise in Kunstrasen-Komponenten aus verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen

	Fasern, Backing Quelle: TURI 2020 <sup>271</sup>
PFAS	Nur qualitative Aussage: PFAS nachgewiesen.

Tabelle 34: Vorkommen von HALS in Kunstrasenfasern

	Fasern Quelle: Als Inhaltsstoff in verschiedenen Patenten zu Kunstrasenfasern aufgelistet.
HALS	Nur qualitative Aussage: HALS vorhanden.

Tabelle 35: Vorkommen von Isocyanaten in Kunstrasen-Komponenten

	Elastikschicht/elastische Tragschicht
Isocyanate	Vorhanden, sofern als Bindemittel polyurethanbasierte Bindemittel zum Einsatz kommen.

<sup>&</sup>lt;sup>269</sup> Massey et al. 2020.

<sup>&</sup>lt;sup>270</sup> Perkins et al. 2019.

<sup>&</sup>lt;sup>271</sup> TURI 2020.



