Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

Life Sciences und
Facility Management

IUNR Institut für Umwelt und
Natürliche Ressourcen

Ökobilanzierung von Rasensportfeldern: Natur-, Kunststoff- und Hybridrasen der Stadt Zürich im Vergleich

für Grün Stadt Zürich

Version 1.0

Ausgearbeitet durch

René Itten, Lukas Glauser und Matthias Stucki

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW

Wädenswil, 8. Oktober 2020

IMPRESSUM

Titel	**Ökobilanzierung von Rasensportfeldern: Natur- Kunststoff- und Hybridrasen der Stadt Zürich im Vergleich**
Auftraggeber	**Grün Stadt Zürich, Tiefbau- und Entsorgungsdepartement, Stadt Zürich, Beatenplatz 2, CH-8001 Zürich**
Auftragnehmer	**ZHAW Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen**
Autoren	**René Itten, Lukas Glauser und Matthias Stucki der ZHAW Forschungsgruppe Ökobilanzierung, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften**
Projekt-Begleitung	**Stefan Brunner, Johannes Neher (beide Grün Stadt Zürich), Martin Rinderknecht (Sportrasen Architektur) und Stefanie Jurthe (Sportrasen-Coaching)**
Gutachter-Panel	**Thomas Kägi, Carbotech AG, Zürich, Ökobilanzexperte** **Jürgen Sutter, ÖKO-INSTITUT E.V., Darmstadt, Ökobilanzexperte** **Hans-Jörg Kolitzus, Institut für Sportbodentechnik, Diessenhofen, Gutachter und Experte für Sportböden**
Titelbilder	**Bild: Grün Stadt Zürich**
Projektleitung	**René Itten, Forschungsgruppe Ökobilanzierung, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften**
Kontakt	**rene.itten@zhaw.ch** **https://www.zhaw.ch/iunr/lca** **IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Grüental, Postfach CH-8820 Wädenswil**
Haftungsausschluss	**Dieser Bericht beruht auf als verlässlich eingeschätzten Quellen. Die ZHAW und die Autoren geben keine Garantie bezüglich der Vollständigkeit der aufgeführten Informationen und lehnen eine rechtliche Haftung für Schäden jeglicher Art ab.**
Dank der Autoren	**Die Autoren bedanken sich bei Madleine Berg und Jasper Hamlet (beide FIDRA) für den Austausch zu Mikroplastik.**
Zitierung	**Itten R., Glauser L. und Stucki M. 2020. Ökobilanzierung von Sportrasen-Anlagen: Natur- Kunststoff- und Hybridrasen der Stadt Zürich im Vergleich. Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil**
Version	**Version 1 vom 08.10.2020 10:32:00**

Copyright © 2020

ZUSAMMENFASSUNG

Fussball ist die beliebteste Team-Sportart der Schweiz. Für ein Fussballspiel braucht es nur Spieler, einen Ball und ein Rasensportfeld. Letzteres ist jedoch nicht einfach nur Rasen, sondern ein genau definiertes und konstruiertes Bauwerk, welches aus Natur-, Hybrid- oder Kunststoffrasen bestehen kann. Die Stadt Zürich will den Primärenergieverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen pro Person reduzieren. Um die Umweltauswirkungen der verschiedenen Arten von Rasensportfeldern zu analysieren und zu vergleichen, beauftragte Grün Stadt Zürich die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften mit einer Ökobilanz-Studie.

In Zusammenarbeit mit den Rasensportfeld-Experten und -Expertinnen, die die Rasensportfelder in der Stadt Zürich bauen und unterhalten, wurden Primärdaten über den gesamten Lebenszyklus der Sportrasen gesammelt. Basierend auf diesen Daten wurden Sachbilanzen für je zwei verschiedene Naturrasen und Kunststoffrasen sowie einen Hybridrasen erstellt, die alle Lebenszyklusphasen abdecken. Die Ökobilanz umfasst eine Auswahl der vom Joint Research Council der Europäischen Kommission empfohlenen Indikatoren für den organisatorischen und produktbezogenen ökologischen Fussabdruck (Fazio et al., 2018) sowie die aggregierte Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologische Knappheit in Umweltbelastungspunkten nach Frischknecht et al. (2013) und Human- und Ökotoxizität nach USEtox (Rosenbaum et al., 2011).

Berücksichtigt werden die Umweltauswirkungen anhand der untersuchten Wirkungskategorien von der Produktion und dem Bau der Rasensportfelder über die Pflege und Renovation bis zum Rückbau und der Entsorgung. Nicht in diese Ökobilanz-Studie einbezogen werden indirekte Umweltauswirkungen, welche durch die Nutzer der Rasensportfelder entstehen, z.B. während der An- und Rückfahrt sowie durch die benötigte Sportkleidung oder Ernährung. Die Datengrundlage dieser Studie basiert auf Werten der Stadt Zürich. Die Resultate können daher nur bedingt auf andere geografische Regionen adaptiert werden.

Bei theoretisch maximal möglicher Nutzungsdauer, die sich je nach Rasentyp unterscheidet, verursacht bei allen untersuchten Indikatoren ausser Treibhausgasemissionen und Primärenergiebedarf über den gesamten Lebenszyklus gesehen das unverfüllte Kunststoffrasensportfeld die tiefsten Umweltauswirkungen. Danach ist das Resultat unterschiedlich für die weiteren Rasensportfelder in Abhängigkeit der untersuchten Umweltauswirkungen.

Die Erstellung von Naturrasensportfeldern, mit oder ohne Dränschicht, hat bei allen untersuchten Indikatoren die geringsten Umweltauswirkungen pro Quadratmeter. Der Bau von Hybrid- oder

Kunststoffrasenspielfeldern (unverfüllt oder verfüllt) hat vergleichbar oder deutlich höhere Umweltauswirkungen für die unterschiedlichen Indikatoren, da grosse Mengen an synthetischen Materialien benötigt werden.

Während des Betriebs sind die Umweltauswirkungen bei Natur- und Hybridrasen im Vergleich zu Kunststoffrasen deutlich höher, insbesondere im Hinblick auf die Eutrophierung, da die Herstellung des erforderlichen Mineraldüngers energieintensiv ist und die Emissionen bei seiner Ausbringung eine stark eutrophierende Wirkung haben.

Der wichtigste Faktor für die Umweltauswirkungen ist jedoch die jährliche Nutzungszeit. Kunststoff- und Hybridrasen können im Vergleich zu Naturrasen wesentlich länger bespielt werden pro Jahr. Bei optimaler Auslastung haben Kunststoffrasensportfelder deutlich geringere Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde.

Die jährliche Nutzungszeit ist jedoch nicht nur abhängig vom Rasensportfeld, sondern auch von der vorhandenen Infrastruktur. So sind die jährlichen Nutzungsstunden von Rasensportfeldern ohne Beleuchtung deutlich einschränkt. Des Weiteren sind zusätzliche Faktoren ausschlaggebend für die Nutzungsintensität und die daraus resultierende Qualität der Rasensportfelder. Auffallend ist bspw., dass Rasensportfelder, die ausschliesslich für das Training verwendet werden, eher übernutzt werden, während Felder, die auch für Meisterschaftsspiele genutzt werden, zum Teil (deutlich) unter dem Maximum ausgelastet sind.

INHALT

1 EINLEITUNG 1

2 ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN 3

2.1 Übersicht und Ziele 3

2.2 Organisation, Anwendung und Zielgruppe der Studie 4

2.3 ISO-Norm und Kritische Prüfung 5

2.4 Funktionelle Einheit 5

2.5 Systemgrenzen und -bilder 6

2.6 Sachbilanz, Allokation und Software 9

2.7 Bewertungsmethoden 10

2.8 Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen 12

2.9 Limitierungen dieser Studie 12

3 SACHBILANZ 13

3.1 Erstellung 14

3.2 Pflege 15

3.3 Entsorgung 17

3.4 Nutzungsstunden 17

4 UMWELTAUSWIRKUNGEN AUF MIDPOINT EBENE (ISO KONFORM) 20

4.1 Jährliche Umweltauswirkungen pro Rasensportfeld 20

4.2 Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde theoretisch 22

4.3 Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde effektiv 24

5 GESAMTUMWELTBELASTUNG NACH METHODE DER ÖKOLOGISCHEN KNAPPHEIT (NICHT ISO KONFORM) 27

5.1 Gesamtumweltbelastung pro Rasensportfeld 27

5.2 Gesamtumweltbelastung pro Nutzungsstunde 29

6 WEITERE UMWELTAUSWIRKUNGEN 31

6.1 Mikroplastik ... 31

6.2 Stadtklima ... 35

7 DISKUSSION 36

7.1 Vergleich mit Literatur ... 36

7.2 Sensitivitätsanalysen ... 39

7.2.1 Lebensdauer ... 39

7.2.2 Nutzungsstunden ... 40

7.2.3 Rasenmähen ... 43

7.2.4 Pflanzenschutz ... 46

7.3 Unsicherheitsanalyse (Monte-Carlo-Simulation) ... 47

7.4 Unsicherheiten und Datenqualität ... 50

7.5 Empfehlungen für die Stadt Zürich ... 51

8 LITERATURVERZEICHNIS 54

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 59

10 TABELLENVERZEICHNIS 65

ANHANG 1 SACHBILANZ ERSTELLUNG 68

ANHANG 2 SACHBILANZ PFLEGE 84

ANHANG 3 ERGEBNISSE MIT ABSOLUTEN ZAHLEN 95

ANHANG 4 MONTE-CARLO-SIMULATION 96

ANHANG 5 BERICHT ZU KRITISCHEM REVIEW NACH ISO 110

1 EINLEITUNG

Mit einer Mehrheit von 76.4% Ja-Stimmen haben die Zürcherinnen und Zürcher im Jahr 2008 ja zu einer nachhaltigen Entwicklung und zur 2000-Watt-Gesellschaft gesagt. Dies heisst konkret, dass die Stadt Zürich den Primärenergieverbrauch pro Person auf 2000 Watt senken möchte[1]. Die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft sind ehrgeizig und verlangen nach Engagement seitens Bevölkerung, Institutionen und Unternehmen um diese zu erreichen. Deshalb arbeitet die Stadt Zürich auf mehreren Ebenen und setzt eine Reihe von Massnahmen zur Senkung des Primärenergieverbrauchs um.

Jungbluth et al. (2012) haben im Auftrag der Energieforschung Stadt Zürich die Umweltbelastung des Konsums in Zürich und der Schweiz berechnet. Freizeitaktivitäten und Kultur (ohne Freizeitverkehr) tragen dabei rund 6 % zur Gesamtumweltbelastung durchschnittlicher Haushalte bei. Ein Teil der Umweltauswirkungen des Freizeitverhaltens ist auf die Bereitstellung von Freizeitanlagen zurückzuführen. Ziel der vorliegenden Studie ist es, eine Grundlage zu schaffen, um die Umweltauswirkungen von verschiedenen Rasensportfeldern in der Stadt Zürich zu beurteilen. Mit einer umfassenden Ökobilanz kann aufgezeigt werden, wo die grössten Umweltauswirkungen der Rasensportfelder auftreten und wie diese wirkungsvoll reduziert werden können im Sinne einer ökologischen Optimierung. Zusätzlich werden die verschiedenen Typen von Rasensportfeldern in Form von Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen miteinander verglichen.

Grün Stadt Zürich (GSZ) pflegt insgesamt 3773 Hektar Grünflächen, wovon ca. 130 Hektaren Sportflächen sind. Rasensportfelder gibt es 103 Stück, davon sind 69 Naturrasen (30 in Dränschichtbauweise inklusive einem Hybridrasen und 39 mit bodennahem Aufbau) und 33 Kunststoffrasen sowie einen Sandplatz. Über den gesamten Lebenszyklus eines Rasensportfeldes – vom Rohstoffabbau bis zur Entsorgung – werden Ressourcen verbraucht und Emissionen verursacht. Mit einer Ökobilanz werden diese Umweltauswirkungen systematisch quantifiziert. Dadurch wird es möglich, die Umweltauswirkungen von verschiedenen Alternativen quantitativ zu vergleichen und ökologische Optimierungsmöglichkeiten zu identifizieren.

Das Öko-Institut e.V. hat im Jahr 2008 eine vergleichende Ökobilanz von Natur- und Kunststoffrasenspielfeldern veröffentlicht (Schüler & Stahl, 2008). Diese Ergebnisse zeigen, dass bei den meisten Umweltindikatoren die Auswirkungen der Kunststoffrasen höher sind als die der Naturrasen. Ein gegenteiliges Resultat gab es bei der Kategorie Eutrophierung. Für diesen Indikator sind die Auswirkungen

[1] www.stadt-zuerich.ch/2000watt

der Naturrasen höher als diejenigen der Kunststoffrasen. Bei den Kunststoffrasen spielt die Herstellung der Rohmaterialien die entscheidende Rolle und bei den Naturrasen ist der Grossteil der Umweltauswirkungen auf die Pflege sowie den Unterhalt und in geringerem Masse auf den Transport zurückzuführen.

Die neue Ökobilanzstudie zum Vergleich der Kunststoff- und Naturrasenspielfelder in der Stadt Zürich ist durch folgende Gründe motiviert:

- Die verwendeten Sachbilanzdaten und Wirkungsabschätzungsmethoden der Studie aus dem Jahr 2008 sind über 10 Jahre alt und entsprechend teilweise veraltet oder müssen aktualisiert werden. In der Zwischenzeit gibt es Änderungen zu Pflege, Bauweise, Materialien usw.
- Die neue Studie gibt Erkenntnisse für die spezifische Situation in der Stadt Zürich.
- Die neue Studie stellt einen Bezug zur 2000-Watt-Strategie der Stadt Zürich.
- Die Studie des Öko-Instituts e.V. aus dem Jahr 2008 zeigte einen Trade-Off für verschiedene Umweltindikatoren. Die neue Studie soll daher eine Beurteilung der Gesamtumweltbelastung gemäss mit der vollaggregierenden Methode der ökologischen Knappheit ermöglichen.
- Die neue Studie stellt eine unabhängige Überprüfung der Ergebnisse des Öko-Instituts e.V. von 2008 für die Situation 2019 in Zürich dar.

Der Aufbau dieser Ökobilanzstudie orientiert sich an den Phasen einer Ökobilanz gemäss ISO 14040 (ISO, 2006) mit Kapiteln zur Ziel und Untersuchungsrahmen (Kapitel 2), Sachbilanz (Kapitel 3), Wirkungsabschätzung (Kapitel 4) und Interpretation (Kapitel 7).

2 ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

2.1 ÜBERSICHT UND ZIELE

Ziel des Projekts ist es, eine vergleichende Ökobilanz für die Kunststoff- und Naturrasenspielfelder in der Stadt Zürich zu erstellen und die Möglichkeiten für ökologische Optimierungen aufzuzeigen.

Die vorliegende Studie hat folgende Teilziele:

1) Die Studie soll ein umfassendes Bild der Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder liefern, welches sich auf eine Reihe verschiedener Umweltindikatoren stützt. Dabei soll der gesamte Lebenszyklus, vom Abbau der Rohstoffe über die Renovation, die Nutzung und Pflege bis hin zum Rückbau und Entsorgung der Rasensportfelder berücksichtigt werden.
2) Die Studie soll repräsentative Ergebnisse für die Natur- und Kunststoffrasensportfelder in der Stadt Zürich liefern.
3) Sie soll Empfehlungen für Grün Stadt Zürich abgeben, wie die Wahl des Rasentyps sowie der Betrieb der Sportplätze ökologisch optimiert werden kann.
4) Sie soll zeigen wo die ökologischen Hotspots der Rasensportfelder liegen und wie die Umweltbelastung durch verschiedene Parameter beeinflusst wird.
5) Sie soll ein Instrument in der Form eines Kennwertmodells liefern mit welchem die Ökobilanzergebnisse anhand von Schlüsselparametern für spezifische Sportplätze berechnet werden können.

Die Ökobilanzergebnisse sollen für folgende fünf Varianten von Rasensportfelder gezeigt werden:

- Naturrasen, bodennaher Aufbau
- Naturrasen, Dränschichtbauweise
- Kunststoffrasen, unverfüllt
- Kunststoffrasen, verfüllt
- Hybridrasen mit armierter Rasentragschicht aus Kunststofffasern

Eine Gegenüberstellung der verschiedenen untersuchten Rasensportfelder ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Übersicht über die verschiedenen untersuchten Rasensportfelder in der Stadt Zürich

<table>
<tr><th></th><th>Naturrasen, bodennaher Aufbau</th><th>Naturrasen, Dränschichtbauweise</th><th>Hybridrasen</th><th>Kunststoffrasen unverfüllt</th><th>Kunststoffrasen verfüllt</th></tr>
<tr><td>Anzahl</td><td>39</td><td>30</td><td>1</td><td>27</td><td>5</td></tr>
<tr><td>Fläche</td><td colspan="5">7420 m²</td></tr>
<tr><td>Lebensdauer</td><td colspan="5">30 Jahre</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Bauweise</td><td colspan="5">In die grüne Wiese, ebene Topografie</td></tr>
<tr><td colspan="5">Sauger- und Sammelleitungen, Sickerschlitze und 150 m Zuleitung</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Dränschicht 12 cm</td><td colspan="2">Kiesfundation 45 cm, Strassenkies 5 cm, Dränasphalt 5cm, Elastikschicht 25 mm</td></tr>
<tr><td>Rasentragschicht mit 50 % Oberboden (vor Ort) und 50 % kalk. Rheinsand, 18 cm</td><td>Rasentragschicht 12 cm, im Werk gemischt</td><td>Rasentragschicht 12 cm, im Werk gemischt, mit PP Fasern verstärkt</td><td>Kunststoffrasen unverfüllt ca. 36 mm</td><td>Kunststoffrasen verfüllt 40 mm, davon 12 mm Sand und 12 mm EPDM</td></tr>
<tr><td colspan="3">Betonplatten als Mähkanten inkl. Fundationsschicht</td><td>Klemmschienen</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Ansaat und Folgepflege bis 3 Monate</td><td colspan="2">keine</td></tr>
<tr><td colspan="5">Beleuchtung LED 4 Mast Anlage</td></tr>
<tr><td colspan="5">Bewässerungsanlage</td></tr>
<tr><td colspan="5">Zaun nach SFV Minimalanforderung</td></tr>
<tr><td colspan="5">Zwei Fussballtore</td></tr>
<tr><td colspan="2">Renovation: Rasendecke abfräsen, Rollrasen (alle 15 Jahre)</td><td>Renovation: Rasendecke abfräsen und Neuansaat alle 2 Jahre</td><td colspan="2">Renovation: Kunststoffrasenteppich und Füllstoffe (wenn verfüllt), alle 10 Jahre</td></tr>
<tr><td colspan="5">Rückbau: alles bis Rohplanie</td></tr>
</table>

Die Systembilder für Kunststoffrasen sowie Natur- und Hybridrasen sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

2.2 Organisation, Anwendung und Zielgruppe der Studie

Die Ökobilanzstudie wurde von Grün Stadt Zürich in Auftrag gegeben und durchgeführt durch die Forschungsgruppe Ökobilanzierung an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW). Am Projekt waren folgende Personen beteiligt:

- Stefan Brunner (Projektleiter, GSZ)

- Johannes Neher (GSZ)
- Martin Rinderknecht (Sportrasen Architektur)
- Stefanie Jurthe (Sportrasencoaching)
- Madleine Berg (FIDRA)
- Lukas Glauser (ZHAW)
- René Itten (ZHAW)
- Matthias Stucki (ZHAW)

Der Bericht zur Ökobilanz wurde im Frühling 2020 abgeschlossen und im Sommer 2020 durch ein Panel unabhängiger Gutachter kritisch geprüft.

Die Studie richtet sich an den Auftraggeber Grün Stadt Zürich. Sie soll GSZ bei ökologischer Optimierung der Planung sowie der Bewirtschaftung ihrer Sportplätze unterstützen und ist zur Veröffentlichung vorgesehen einschliesslich der vergleichenden Aussagen.

2.3 ISO-Norm und Kritische Prüfung

Die Studie richtet sich weitgehend nach den Anforderungen gemäss ISO 14040 / 14044 (ISO, 2006; ISO, 2017). Die Bewertung mit der vollaggregierenden Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) beinhaltete einen Gewichtungs-Schritt und ist daher nicht ISO-konform. Die Ergebnisse zu dieser Wirkungsabschätzungsmethode werden daher in einem separaten Kapitel (Kapitel 5) getrennt ausgewiesen.

Die Studie wurde einer kritischen Prüfung nach ISO 14040 / 14044 (ISO, 2006; ISO, 2017) unterzogen durch einen Ausschuss von drei unabhängigen Experten:

- Thomas Kägi, Carbotech AG, Zürich, Ökobilanzexperte, Leiter des Teams
- Jürgen Sutter, ÖKO-INSTITUT E.V., Darmstadt, Ökobilanzexperte
- Hans-Jörg Kolitzus, Institut für Sportbodentechnik, Diessenhofen, Gutachter und Experte für Sportböden

Die kritische Prüfung erfolgte begleitend zur Studie.

2.4 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit dieser Studie ist folgendermassen definiert:

«eine Nutzungsstunde des jeweiligen Sportrasens für Fussball-Training oder Spielbetrieb in der Stadt Zürich»

Da sich die Lebensdauer sowie die Nutzungsintensität der Spielfelder je nach Rasensportfeld unterscheiden, wird für Kunststoffrasensportfelder mit einer höheren Nutzungsdauer gerechnet. Dies ermöglicht einen fairen Vergleich der verschiedenen Rasentypen. Die Studie zeigt die Wirkungsabschätzungsergebnisse sowohl für die theoretisch möglichen Nutzungsstunden pro Rasen-Typ sowie auch für die effektiven Nutzungsstunden aus dem zweiten Halbjahr 2019.

Eine unterschiedlich intensive Nutzung durch verschiedene Aktivitäten wie Trainings oder Meisterschaftsspiele, durch sich unterscheidende Anzahl der Nutzenden oder durch unterschiedliche Sportarten wird nicht differenziert.

Zusätzlich werden die Umweltauswirkungen der verschiedenen Rasensportfelder pro Rasensportfeld ausgewiesen, da dies eine relevante Bezugsgrösse für den Unterhalt der Rasensportfelder durch GSZ ist.

2.5 SYSTEMGRENZEN UND -BILDER

In dieser Studie werden der Bau, die Pflege und die Entsorgung von Kunststoff-, Natur- und Hybridrasensportfelder untersucht. Das Spielfeld selbst, Bewässerungsanlagen, Zaun (Minimum gemäss dem Schweizerischen Fussballverband, SFV), sowie zwei Tore, eine 4-Mast LED Beleuchtungsanlage und wenn nötig Mähkanten werden berücksichtigt. Sonstige Infrastruktur, wie zum Beispiel. Tribünen oder Umkleide wird nicht miteinbezogen, da diese nicht bei jedem Sportfeld vorhanden ist.

Beim Bau werden alle Komponenten berücksichtigt: Der Unterbau, Sauger- und Sammlerleitungen, die Rasentragschicht, und die Rasenfläche bzw. -decke. Bei Kunststoffrasen werden zusätzlich die Elastikschicht und allfällige Füllstoffe miteinbezogen, wobei für Natur- sowie Hybridrasensportfelder Dränschicht und Kunststofffasern in der Analyse berücksichtigt werden. Der Transport der Bauelemente sowie die für die Erstellung verwendeten Maschinen und deren Treibstoffverbrauch sind berücksichtigt.

Bei der Pflege und Wartung des Rasens werden die Bewässerungs- bzw. Befeuchtungsanlagen, deren Wasserverbrauch, sämtliche Ersatz- bzw. Verbrauchsmaterialien, wie Füllstoff, Saatgut, Düngermittel, Pflanzenschutzmittel und Linienfarbe sowie deren Transport miteinbezogen. Auch Pflegemassnahmen wie zum Beispiel Aerifizieren, Düngen, Nachsäen und Striegeln werden berücksichtigt. Der Rückbau und die Entsorgung von Abfall sowie die nötigen Maschinen und der Treibstoffverbrauch für die Pflege und den

Rückbau werden berücksichtigt. Sämtliche Emissionen, die beispielsweise durch den Einsatz von Maschinen oder Düngemitteln entstehen, werden erfasst.

Das Systembild für die beiden Kunststoffrasensportfelder ist in Abbildung 1 dargestellt. Es umfasst fünf Schichten für den Bau eines unverfüllten Kunststoffrasensportfeldes sowie den Einsatz eines Füllstoffs für das verfüllte Kunststoffrasensportfeld. Es wird davon ausgegangen, dass die Füllstoffe und der Kunststoffrasenteppich im Zuge der Renovation ersetzt oder ausgebessert werden. Für die Pflege und Wartung des Kunststoffrasens wird nur die Befeuchtung explizit aufgeführt. Es werden aber weitere nötige Arbeiten zur Pflege und Wartung berücksichtigt. Auf eine vollständige Darstellung sämtlicher Teilprozesse im Systembild wurde verzichtet, um die Lesbarkeit des Systembilds zu erhalten.

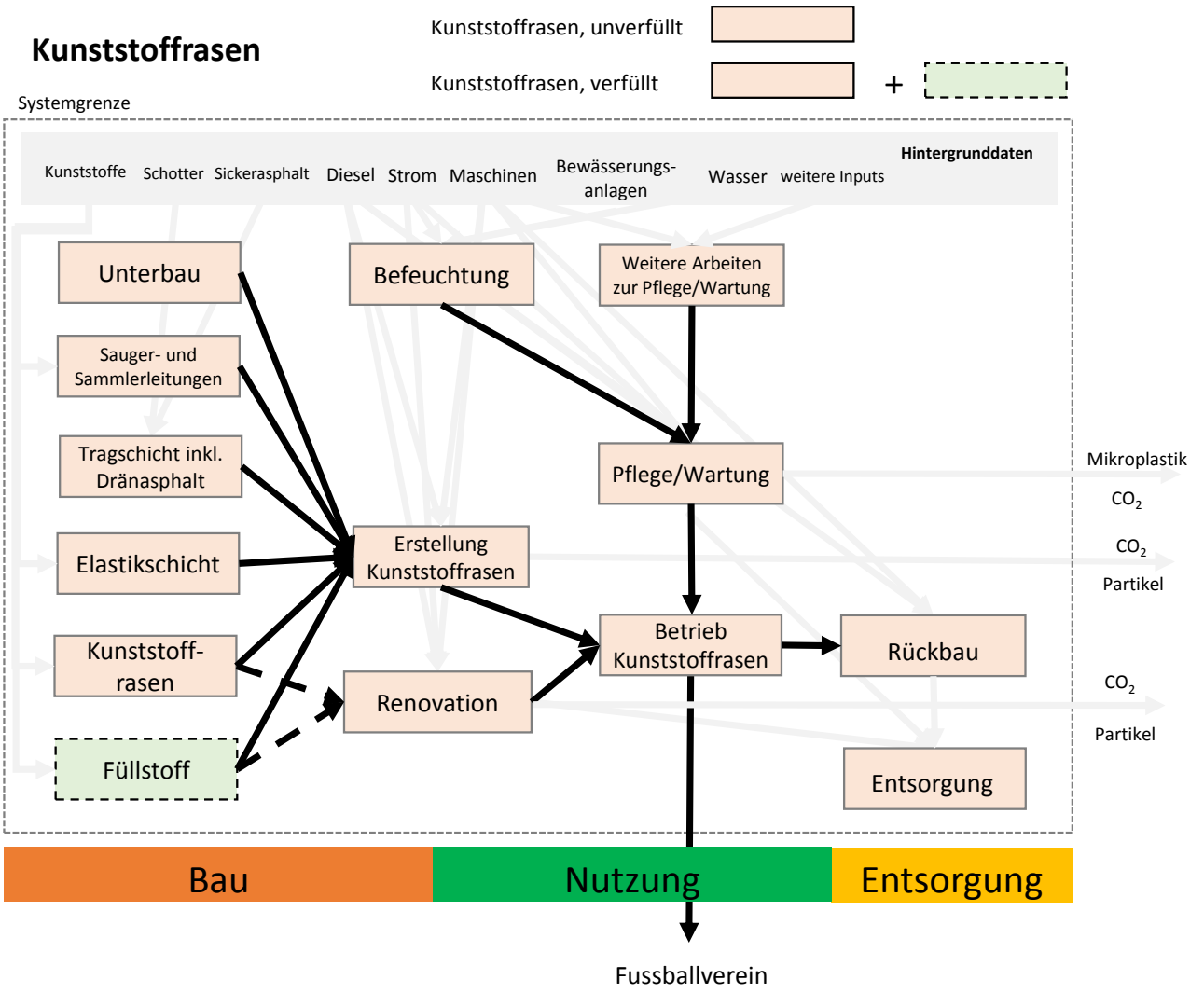

Abbildung 1: Systembild des Kunststoffrasensportfeldes. Orangegefärbte Prozesse sind bei allen Kunststoffrasen vorhanden, hellgrüngefärbte Prozesse sind nur bei den verfüllten Kunststoffrasen vorhanden.

Das Systembild für die Natur- und Hybridrasensportfelder ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Prozess Pflege und Wartung ist wie in Abbildung 1 ebenfalls zusammengefasst dargestellt, um die Lesbarkeit des Systembilds zu verbessern. Das Systembild für Natur- und Hybridrasen fasst drei Varianten zusammen mit unterschiedlichem Aufbau. Dies ist der Naturrasen mit bodennahem Aufbau, der Naturrasen mit Dränschichtbauweise und der Hybridrasen.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten stammen aus dem Aufbau. Der bodennahe Naturrasen hat keine dedizierte Dränschicht wie der Naturrasen mit Dränschichtbauweise. Der Hybridrasen verfügt zusätzlich über eine Armierung in Form von Kunststofffasern, die in die Rasentragschicht eingemischt sind. Es wird davon ausgegangen, dass die Rasendecke im Zuge der Renovation ersetzt oder ausgebessert werden. Im Falle des Hybridrasen ist auch die Kunststoffarmierung von der Renovation betroffen.

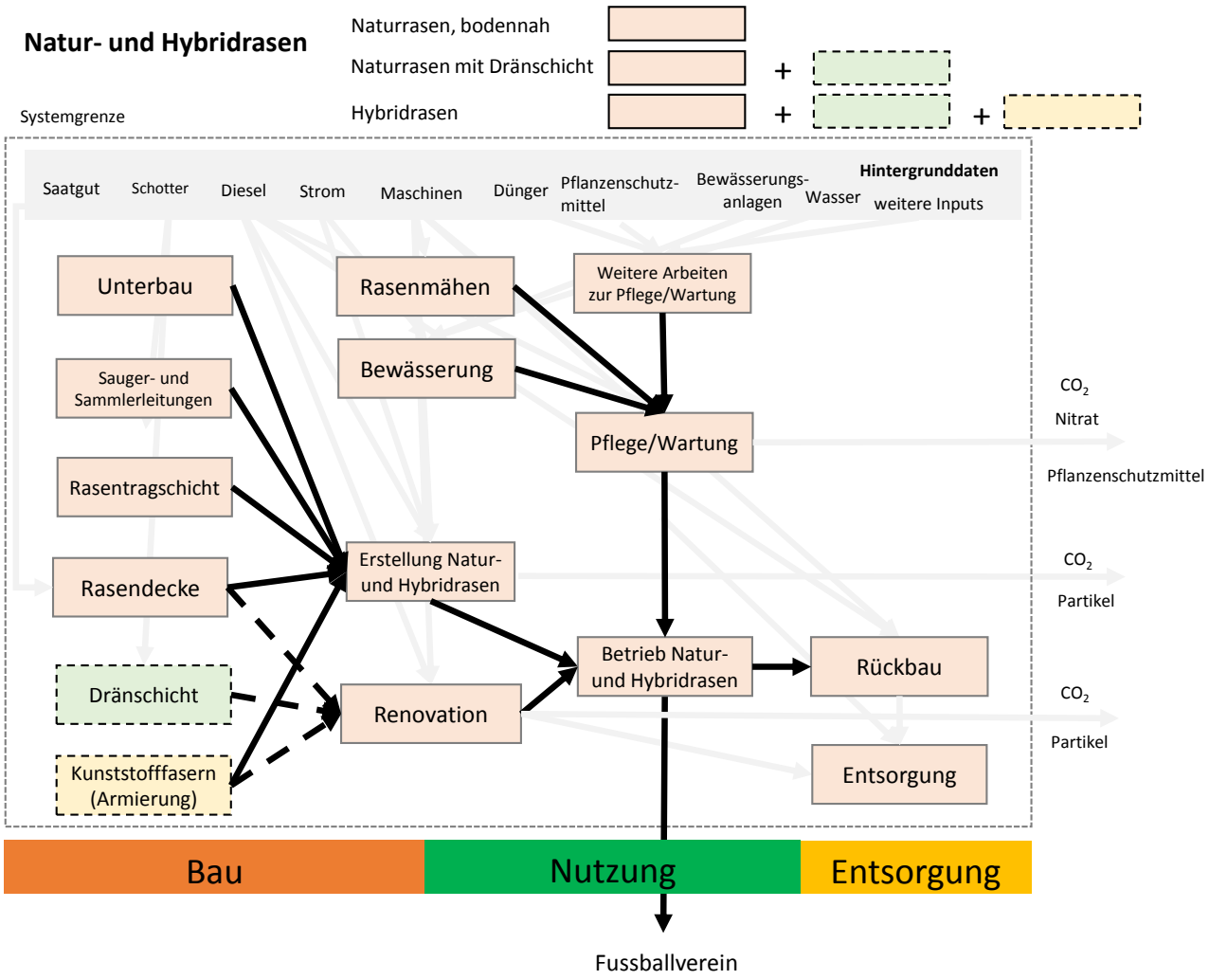

Abbildung 2: Systembild der Natur- und Hybridrasen. Orangegefärbte Prozesse sind bei allen Natur- und Hybridrasen vorhanden, hellgrüngefärbte nur bei den Naturrasen mit Dränschichtbauweise und den Hybridrasen, gelbgefärbte Prozesse sind nur bei den Hybridrasen vorhanden.

2.6 Sachbilanz, Allokation und Software

Die Vordergrunddaten für die Sachbilanz zur Erstellung, Betrieb und Entsorgung der Rasensportfelder basieren auf spezifischen Daten für die Stadt Zürich von GSZ. Der Zeithorizont für die Pflege- und Betriebsdaten ist der Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019. Die Nutzungsstunden stammen aus dem zweiten Halbjahr 2019 und wurden auf ein Jahr extrapoliert. Die Daten zur Erstellung wiederspiegeln den aktuellen Stand der Technik. Für die Lebensdauer der Rasensportfelder wird eine Dauer von 30 Betriebsjahren angenommen.

Allokation beschreibt die Zuordnung der Input- oder Output Flüsse von Prozessen zu Produkten, wenn in einem Prozess mehrere Produkte entstehen. Im Vordergrundsystem der vorliegenden Ökobilanz-Studie sind keine Prozesse enthalten, bei denen mehrere Produkte entstehen. Entsprechend ist keine Zuordnung nach Allokationsregeln nötig.

Für die Hintergrunddaten werden Daten aus dem ecoinvent v3.5 Datenbestand (ecoinvent Centre, 2018) mit dem Cut-Off-Systemmodell verwendet, für welche eine Zuteilung der Flüsse nach dem Cut-Off Ansatz umgesetzt ist.

Die Modellierung und Auswertung erfolgte mit der Ökobilanzsoftware SimaPro v9 (PRé Consultants, 2019).

2.7 BEWERTUNGSMETHODEN

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen der verschiedenen Sportrasen wurden die Wirkungs-abschätzungsmethoden aus Tabelle 2 angewendet. Die Auswahl der Wirkungsabschätzungsmethoden basiert auf der Empfehlung des Joint Research Council der Europäischen Kommission für die Berechnung der ökologischen Fussabdrücke von Produkten für den Product Environmental Footprint (PEF) nach Fazio et al. (2018) und Hauschild et al. (2011). Die Auswahl der Wirkungsabschätzungsmethoden umfasst zwölf verschiedene Umweltauswirkungen: (1) Treibhausgasemissionen, (2) Luftschadstoffe, (3) radioaktive Strahlung, (4) Eutrophierung von Süsswasser, (5) Eutrophierung in Meeren, (6) terrestrische Eutrophierung, (7) Landnutzung, (8) Nutzung von mineralischen Ressourcen, (9) toxische Emissionen für Menschen und (10) Ökosysteme sowie (11) nicht-erneuerbaren und (12) totalen Primärenergiebedarf. Diese Wirkungsabschätzungsmethoden wurden ausgewählt um die relevanten Umweltauswirkungen aus dem Material-, Treibstoff und Stromverbrauch sowie der Dünger- und Pflanzenschutzmittelanwendung adäquat wiederzugeben. Nicht explizit dargestellt in den Resultatabbildungen sind ozonschichtabbauende Substanzen, Sommersmog erzeugende Substanzen sowie die Nutzung von Wasserressourcen aufgrund deren untergeordneter Bedeutung für Rasensportfelder in der Schweiz. Die Resultate zu diesen Umweltauswirkungen sind nur in den Tabellen im Anhang 3 ab Seite 95 dargestellt.

Zusätzlich wird die Gesamtumweltbelastung in Umweltbelastungspunkten nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) ausgewiesen. Die Gewichtung von verschiedene Umweltauswirkungen in eine aggregierte Zahl entspricht den ISO Standards für Ökobilanzen (ISO, 2006) und daher werden die Resultate nach der Methode der ökologischen Knappheit in einem separaten Kapitel beschrieben.

Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Wirkungsabschätzungsmethoden.

Indikatoren	Methode	Beschreibung
Treibhausgasemissionen	IPCC (2013)	Die Wirkungskategorie Klimawandel nach IPCC 2013 berücksichtigt alle Emissionen, die zum Klimawandel beitragen. Die potenzielle Klimawirkung eines Treibhausgases wird dabei mit den Klimawirkungen von CO_2 verglichen und in CO_2-Äquivalenten ausgedrückt.
Luftschadstoffe	(Fantke et al., 2016)	Bewertet die Veränderung der Mortalität aufgrund von PM-Emissionen, ausgedrückt in Todesfällen/kg PM2,5-Emissionen.
Radioaktive Strahlung	Frischknecht et al. (2000)	Diese Wirkungskategorie berücksichtigt die Auswirkungen von ionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit in kBq U-235 eq.
Eutrophierung, Süsswasser	Goedkoop et al. (2009)	Eutrophierung Süsswasser bewertet die Nährstoffe in Süsswasser (Phosphor als limitierender Nährstoff) in Kg P eq
Eutrophierung Meere	Goedkoop et al. (2009)	Die Wirkungskategorie Eutrophierung der Meere bewertet Nährstoffe in Meeresgewässern (Stickstoff als limitierender Nährstoff).Kg N eq.
Eutrophierung, terrestrisch	Posch et al. (2008); Seppälä et al. (2006)	Bewertet die Wirkung von Nährstoffen in empfindlichen terrestrischen Ökosystemen in Mol N eq
Landnutzung	Bos et al. (2016)	Das LANCA-Modell berücksichtigt verschiedene Indikatoren für eine Reihe von Bodeneigenschaften. Es bewertet die Auswirkungen aufgrund der Nutzung des Bodens: Erosionsbeständigkeit, mechanische Filterung, physikalisch-chemische Filterung, Grundwasserregeneration und biotische Produktion. Die Werte werden in Punkten (Pt.)
Mineralische Ressourcen	Van Oers et al. (2002)	Diese Wirkungskategorie bewertet das mengenmässige Verhältnis vom Referenzfluss Antimon zwischen den abbaufähigen Reserven und der Ressourcenentnahme. Die Werte werden in Kg Sb eq angegeben.
USETox, Menschliche Gesundheit USEtox, Ökosysteme	Rosenbaum et al. (2011)	USEtox ist eine Wirkungsabschätzungsmethode für die Charakterisierung von toxischen Auswirkungen von Chemikalien auf die menschliche Gesundheit sowie Ökosysteme. USETox ist die empfohlene Methode nach der UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.
Primärenergie total Primärenergie, nicht-erneuerbar	Frischknecht et al. (2007)	Diese Methode bewertet die Energieentnahme aus der Natur auf dem gesamten Lebensweg. Es wird zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern unterschieden. Die Ergebnisse werden in Megajoule Öl-eq angegeben. Der Primärenergiebedarf ist ausschlaggebend für die 2000W Gesellschaft.
Gesamtumweltbelastung (UBP) nach Methode der ökologischen Knappheit 2013	Frischknecht et al. (2013)	Die Methode der ökologischen Knappheit gewichtet die Emissionen und Ressourcenverbräuche anhand der politischen Zielwerte. Das Ergebnis wird dabei in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt. Diese Wirkungsabschätzungsmethode beinhaltet eine Gewichtung und ist somit nicht ISO-konform. Die Ergebnisse dazu werden daher in einem separaten Kapitel ausgewiesen.

2.8 SENSITIVITÄTS- UND UNSICHERHEITSANALYSEN

Sensitivitätsanalysen werden durchgeführt, um die Robustheit und Verlässlichkeit der Resultate zu prüfen sowie einzelne Massnahmen zur ökologischen Optimierung in einen Kontext zu setzten. Die folgenden Szenarien wurden gewählt:

- Verkürzte und verlängerte Lebensdauer von 20 respektive 40 Jahren
- Variable Nutzungsdauer für alle untersuchten Rasensportfelder
- Nutzung von strombetriebenen Mährobotern anstelle von dieselbetrieben Rasenmähern
- Nutzung von verschiedenen Fungiziden

Um die Unsicherheit der verwendeten Daten zu bewerten, werden Monte Carlo Analysen durchgeführt. Die Monte Carlo Analyse wird so durchgeführt, dass abhängige Unsicherheiten ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse der Analysen zeigen die Auswirkungen der unabhängigen Unsicherheiten der beiden verglichenen Alternativen.

Um eine Monte Carlo Analyse durchzuführen, muss die Standardabweichung für jeden Inventareintrag in den ecoinvent Hintergrunddaten sowie in den Vordergrunddaten zu Erstellung, Renovation und Pflege der Rasensportfelder definiert werden. Die Standardabweichungen wurden nach dem Pedigree Ansatz entsprechend der Methodology Guidelines nach ecoinvent v2.2 (Frischknecht et al., 2004) sowie ecoinvent v3.5 bestimmt (Wernet et al., 2016) und in SimaPro erfasst.

Lebensdauer, Fläche und Nutzungsstunden der Rasensportfelder sind nicht Teil dieser Unsicherheitsanalyse. Es wird angenommen, dass die Unsicherheiten für die Lebensdauer, Fläche und Nutzungsstunden der Rasensportfelder für beide Varianten vergleichbar sind.

2.9 LIMITIERUNGEN DIESER STUDIE

Die Aussagen beziehen sich auf die Rasensportfelder in der Stadt Zürich. Die Bauweisen und Aufwände für den Unterhalt sind sehr verschieden und nur mit entsprechender Vorsicht übertragbar auf andere Städte oder Länder. Die Resultate dieser Studie erlauben ebenfalls keine verallgemeinerte Aussage, welches Rasensportfeld im Einzelfall aus ökologischer Sicht zu bevorzugen ist. Für eine entsprechende Abwägung müssen verschiedene Faktoren für den Einzelfall berücksichtigt werden. Weiter gelten die Aussagen nur in Verbindung mit den berücksichtigten Wirkungskategorien und den verwendeten Systemgrenzen.

3 SACHBILANZ

Die Sachbilanz der unterschiedlichen Sportrasentypen ist in Erstellung und Pflege unterteilt. Eine Übersicht über den Aufbau und die Pflege der verschiedenen Sportrasen ist in Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Prozesse inklusive Inputs mit den verschiedenen Sportrasentypen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nicht alle Pflegearbeiten in dieser Tabelle aufgeführt.

Prozess	Unterprozess	Naturrasen		Hybridrasen	Kunststoffrasen	
		bodennaher Aufbau	Dränschicht bauweise		unverfüllt	verfüllt
Erstellung	Unterbau	Kies, Sand				
	Sauger- und Sammlerleitungen	Polyethylene, Polypropylen				
	Dränschicht	keine	Sand		keine	
	(Rasen)Tragschicht	Sand- und Oberboden-gemisch	Sand und Zuschlagsstoffe		Kies, Sickerasphalt	
	Kunststoffarmierung	keine		Polyethylene	keine	
	Elastikschicht	keine			SBR Granulat	
	(Kunststoff-) Rasendecke	Saatgut, Dünger, Linienfarbe			Polyethylen, Polypropylen, Nylon, Latex	
	Füllstoffe	keine				EPDM, Quarzsand
Renovation		Erneuerung der (Kunststoff)Rasendecke und der Füllstoffe				
Pflege / Wartung	Bewässerung / Befeuchtung	Wasser, Bewässerungsinfrastruktur, Strom, Steuerungsleitung				
	Rasenmähen	Rasenmäher, Diesel, Mähroboter, Strom			keine	
	Aerifizieren	Rasenlüfter, Diesel			keine	
	Düngen	N-Dünger, P-Dünger, K-Dünger, Mg-Dünger, Düngerstreuer, Diesel			keine	
	Pflanzenschutz / Pflanzenstärkung	Pflanzenschutzmittel, Maschinen, Diesel			keine	
	Übersaat	Saatgut, Maschinen, Diesel			keine	
	Striegeln	Rasenstriegel, Diesel			keine	
	Weitere Pflege	Maschinen, Diesel, Material				
	Betrieb Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen	Emissionen aus Dünger- und Herbizid- und Pflanzenschutzanwendung			Wasser- und CO_2-Eluat, DOC, Cd, Cr, Zn, Sn, Pb, Mikroplastik	
Entsorgung	Rückbau	Maschinen, Diesel				
	Entsorgung	Recycling, Entsorgung KVA, Kompostierung			Recycling, Entsorgung KVA	

Detaillierte Tabellen zu den Sachbilanzmodellen für die Erstellung und Pflege der verschiedenen Rasensportfelder sind im Anhang ab Seite 59 ersichtlich. Alle Daten und Mengen basieren, falls nicht anders deklariert, auf Daten aus den von GSZ ausgefüllten Fragebogen[2]. Eine Übersicht zur Art und Anzahl der Rasensportfelder in der Stadt Zürich ist in Tabelle 4 dargestellt. Bei der sportlichen Nutzung sowie deren Unterhalt, Pflege und Wartung wurden 48 Grossspielfelder (Norm-Spielfeldgrösse) von den gesamt 103 existierenden Spielfeldern der Stadt Zürich zur Betrachtung ausgewählt. 40 Naturrasenspielfelder, davon 1 Hybrid, 19 DIN-Aufbauten, 20 bodennahe Aufbauten sowie 8 Kunststoffrasensportfelder.

Tabelle 4: Art und Anzahl der Rasensportfelder in der Stadt Zürich

Art der Rasensportfelder	Anzahl in der Stadt Zürich
Rasenplätze Dränschichtbauweise	30 (inkl. 1 Hybridrasen, mit armierter Rasentragschicht mit Hilfe von Kunststofffasern)
Rasenplätze bodennah	39
Sandplätze	1
Kunststoffrasen unverfüllt	27
Kunststoffrasen verfüllt	5
Kunststoffrasen Quarzsand	1
Total	**103**

Dieselverbräuche werden mit einem unteren Heizwert von 35.95 MJ/l berechnet bei einer Dichte von 0.84 kg/l entsprechend der Methodology Guidelines von ecoinvent 2.2 (ecoinvent Centre, 2007).

Als Dichte von Beton wird der Wert von 2'440 kg/m^3 aus dem Datensatz «Concrete, normal {CH} market for | Cut-off, U» verwendet (ecoinvent Centre, 2018). Für Kies wird die Dichte entsprechend der Methodology Guidelines von ecoinvent 2.2 von 2’000 kg/m^3 verwendet (ecoinvent Centre, 2007).

Falls nicht anders erwähnt, wurde für die Gütertransporte auf der Strasse angenommen, dass diese mit einem Lastwagen (LKW) der Klasse EURO 5 und einem Gewicht von über 32 Tonnen ausgeführt werden.

3.1 ERSTELLUNG

Bei der Erstellung der Sportrasen wird mit dem Unterbau begonnen. Dabei wird auf einer brachen Fläche der Oberboden abgetragen und eine Rohplanie erstellt. Die Aushubtiefe variiert je nach Rasensportfeld. Nach dem Unterbau werden Sauger- und Sammlerleitungen eingebaut und bei Naturrasen mit Dränschicht und

[2] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

bei Hybridrasen eine Dränschicht erstellt. Darauf folgt die Rasentragschicht bei Natur- sowie Hybridrasen aus Sand und/oder Lavamaterialien und die Tragschicht, die bei Kunststoffrasen aus Kies sowie Asphaltbelag besteht. Am Schluss wird bei Natur- und Hybridrasen der Naturrasen angelegt und bei Kunststoffrasen der Kunststoffrasenbelag eingebaut.

Neben dem eigentlichen Sportrasen werden auch folgende Ausstattungen bei der Ökobilanz berücksichtigt: Betonplatten als Mähkanten, Bewässerungs- bzw. Befeuchtungsanlagen, Zaun, Beleuchtung und zwei Tore.

Der Dieselverbrauch, welcher bei der Erstellung der Sportrasen anfällt, ist in Abbildung 3 dargestellt. Für die Erstellung von bodennahem Naturrasen wird weniger Diesel benötigt als für die anderen Rasensportfelder.

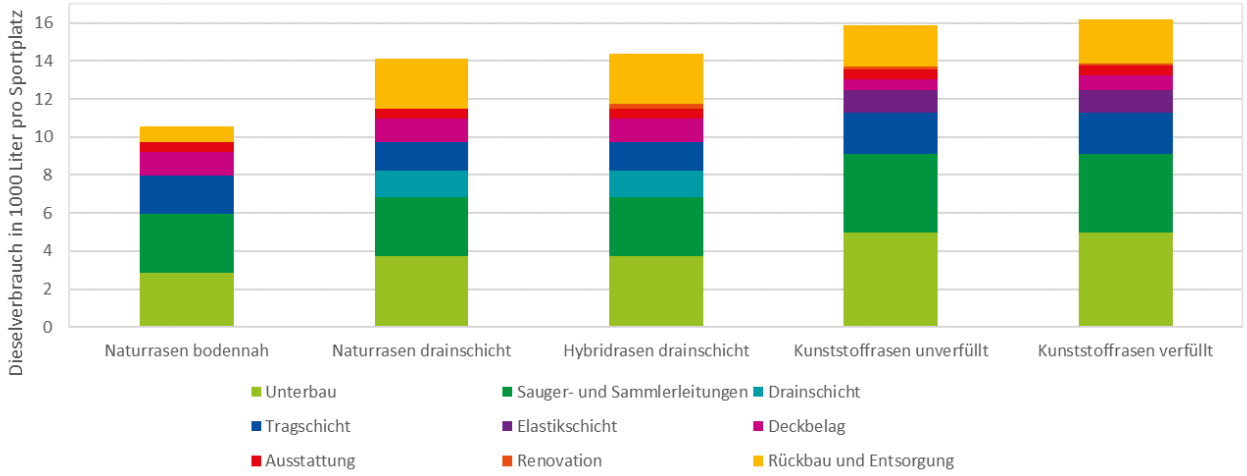

Abbildung 3: Dieselverbrauch in 1000 Liter dargestellt, welcher bei der Erstellung eines Rasensportfeldes anfällt. Die Dieselverbräuche sind anhand des Aufbaus unterteilt und nach Rasenportfeld gruppiert.

Die Sportplätze werden in regelmässigen Abständen renoviert. Bei bodennahem Naturrasen und solchem mit Dränschicht geschieht das alle 15 Jahre, bei Hybridrasen alle zwei Jahre und bei unverfüllten und verfüllten Kunststoffrasen alle zehn Jahre. Die detaillierte Sachbilanz der Erstellung ist im Anhang ab Seite 68 ersichtlich.

3.2 PFLEGE

Die Pflege wird für bodennahen Naturrasen, Naturrasen in Dränschichtbauweise und Hybridrasen einheitlich modelliert basierend auf Durchschnittwerten für den Pflegeaufwand in der Stadt Zürich. Die Pflege der unverfüllten Kunststoffrasen entspricht, bis auf das Ergänzen von Füllstoffen, der Pflege von verfülltem Kunststoffrasen. Wenn nicht anderweitig erwähnt basieren alle Daten auf der Arbeitserfassung pro

Sportplatz durch die ausführenden Mitarbeiter von Grün Stadt Zürich über die Sportrasenapp von 2017 bis 2019[3].

Folgende Pflege wird berücksichtigt: Abfall entfernen, Abschleppen/Abtauen, Aerifizieren, Aufbürsten, Aufnehmen, Ausmähen, Befeuchten, Düngen, Fertigrasen verlegen, Granulat ergänzen, Lauben, Mähen, Oberflächenreinigung, Pflanzenschutz, Sanden, Schnee räumen, Striegeln, Tiefenlockern, Tiefenreinigung, Topdressing, Übersaat, Vertikutieren, Wässern und Zeichnen.

Bei der Pflege kommen meist dieselbetriebene Maschinen zum Einsatz. Die bei der Pflege von Sportrasen anfallenden Dieselverbräuche sind in der Abbildung 4 dargestellt. Der in dieser Studie untersuchte Hybridrasen weist eine identische Rasendecke wie die Naturrasen auf. Entsprechend sind auch die Pflegearbeiten nahezu identisch. Lediglich bei der Renovation bestehen Unterschiede.

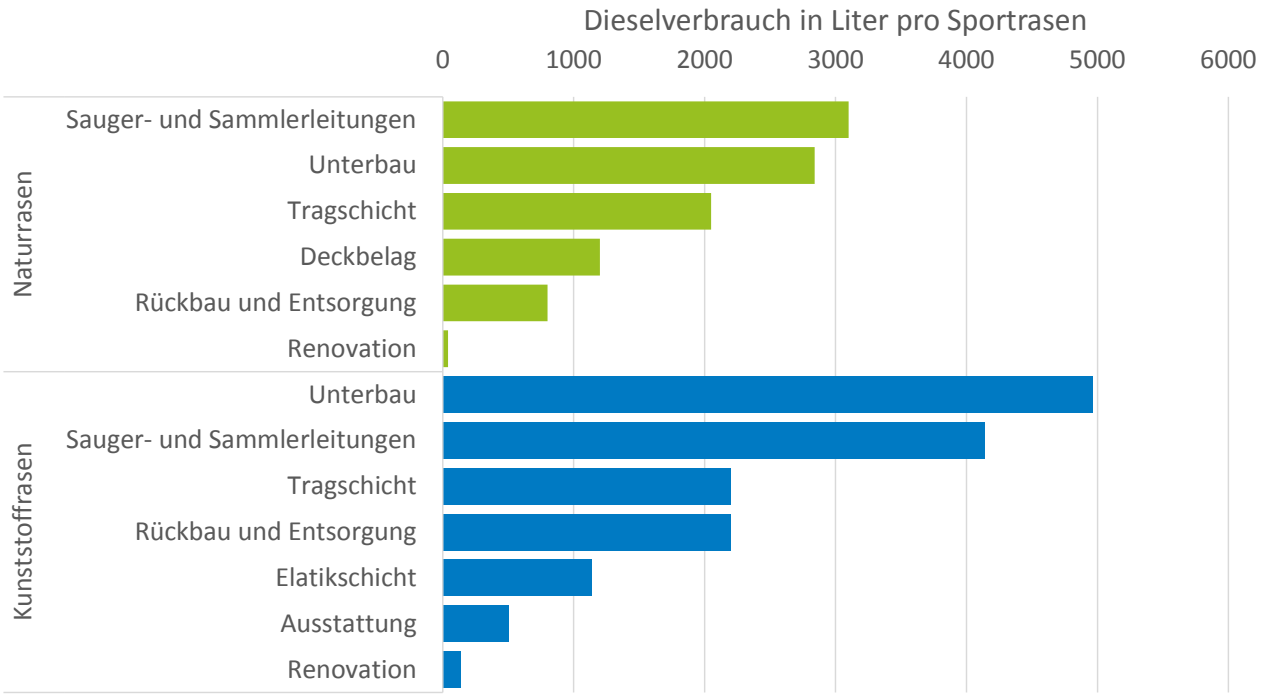

Abbildung 4: Dieselverbrauch pro Sportplatz und Pflegejahr. Die Pflege von Hybrid- und Naturrasen ist identisch und verursacht einen deutlich höheren Dieselverbrauch als die Pflege von Kunststoffrasen. Das Mähen, sowie das Aufnehmen beim Natur- und Hybridrasen sind dabei die grössten Faktoren.

Weiter wurden der Materialverbrauch und der anfallende Abfall während der Pflege berücksichtigt. Pflegearbeit welche nur Arbeitskräfte aber kein Material und keine Maschinen benötigt, wurde nicht

[3] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 28. Februar 2020

berücksichtigt. Details zu den verschiedenen Pflegegängen und den Berechnungen des Dieselverbrauchs sind im Anhang ab Seite 84 zu finden.

3.3 ENTSORGUNG

Während dem Betrieb der unterschiedlichen Sportrasen und bei der Renovation fallen diverse Abfälle an. Am Ende der Lebensdauer der Sportrasen werden diese zurückgebaut und entsorgt. Berücksichtigt werden die Maschinen, welche für den Rückbau benötigt werden, der Transport der Abfallmaterialen und deren Entsorgung. Schnittgut und sonstige organische Abfälle werden in einer Biogasanlage entsorgt. Kunststoffrasen inklusive Füllmaterialien und andere brennbare Materialien werden in einer Kehrichtverbrennungsanlage verwertet. Nach Bundesamt für Energie (2019) hat der Strom aus KVA den Emissionsfaktor null. Aus diesem Grund wird die Energierückgewinnung nicht berücksichtigt und die gesamten Emissionen durch die Entsorgung werden den Rasen angerechnet. Rasennarben, welche Kunststoffe enthalten können (Hybridrasen) sowie Rasentragschicht mit Lavamaterialien werden als Inert-Material deponiert. Beton und Metalle werden anhand von Marktdatensätzen zu einem Teil recycelt und zu einem anderen Teil in Sortieranlagen weiterverarbeitet und in Deponien entsorgt. Asphalt wird deponiert.

3.4 NUTZUNGSSTUNDEN

Die Nutzungsstunden sind in theoretische und effektive Werte unterteilt und in Tabelle 5. In der Literatur gibt es eine grosse Bandbreite von theoretischen Nutzungsstunden, wie zum Beispiel 3’000 Stunden pro Jahr für Kunststoffrasen (Kay & Vamplew, 2006). Diese Werte bedeuten jedoch, dass die Fussballplätze täglich mehr als acht Stunden bespielt werden, was in der Stadt Zürich nicht plausibel ist. Für diese Ökobilanz wurden die Werte der theoretischen Nutzungsstunden anhand von Erfahrungswerten durch Grün Stadt Zürich[4] sowie basierend auf den Planungsgrundlagen für Naturrasen des Bundesamtes für Sport (Graber, 2016) definiert. Die Nutzungsstunden umfassen die Nutzung für Trainings, Meisterschaftsspiele, Sportcamps, Schulveranstaltungen und sonstige Sportveranstaltungen durch Aktiva oder Junioren.

Die effektiven Werte basieren auf Daten des zweiten Halbjahres 2019 und wurden auf ein Jahr extrapoliert, um Jahresdaten zu generieren. Die Verteilung der Werte für die effektiven Nutzungsstunden ist in Abbildung 5 dargestellt. Für die Extrapolation wurden die Nutzungsstunden von 20 bodennahen Naturrasen, 19 Naturrasen mit Dränschichtbauweise, sieben Kunststoffrasen und einem Hybridrasen verwendet. Einige

[4] Persönliche Kommunikation: Gespräch mit Stefan Brunner, Grün Stadt Zürich, 20. Februar 2020

Sportrasen weisen sehr tiefe effektive Nutzungsstunden aus, ein möglicher Grund unter anderen ist die Einschränkung der Nutzungsstunden durch eine fehlende Beleuchtung. Die effektiven Nutzungsstunden unterscheiden sich daher teilweise deutlich von den theoretischen Nutzungsstunden. Die effektiven Nutzungsstunden für bodennahe Naturrasen sind höher als die theoretisch möglichen Nutzungsstunden. Im Gegenzug sind die effektiven Nutzungsstunden für Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefer als die theoretischen Nutzungsstunden.

Die Gründe für die unterschiedliche Auslastung der verschiedenen Rasensportfeldtypen können neben einer fehlenden Beleuchtung vielseitig sein und wurden im Rahmen dieser Studie nicht weiter untersucht. Dass eine intensivere Nutzung der Rasensportfelder zu einem erhöhten Unterhalt führen könnte, wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt. Der Unterhalt hängt auch vom jeweiligen Platzwart ab. Die Durchschnittswerte für den Unterhalt basieren auf Angaben zu unterschiedlich intensiv genutzten Rasensportfeldern, welche von verschiedenen Platzwarten gewartet werden.

Zusätzlich sind die Daten der effektiven Nutzungsstunden sowie zum Unterhalt und zur Erstellung für das Hybridrasensportfeld nur exemplarisch, da nur ein Hybridrasen untersucht wurde.

Tabelle 5: Theoretische und effektive Nutzungsstunden der untersuchten Sportrasen anhand von Erfahrungswerten durch Grün Stadt Zürich[4] sowie basierend auf den Planungsgrundlagen für Naturrasen des Bundesamtes für Sport (Graber, 2016) . Die effektiven Werte beziehen sich auf das zweite Halbjahr 2019 und wurden extrapoliert[5]

	Nutzungsstunden				
	Theoretisch	Effektiv			
		Ø	Min	Max	Median
Naturrasen, bodennah	480	561	54	1581	518
Naturrasen, Dränschichtbauweise	800	413	136	1355	413
Hybridrasen	1000	327	327	327	327
Kunststoffrasen, unverfüllt	1600	1382	1031	1675	1417
Kunststoffrasen, verfüllt	1600	1382	1031	1675	1417

[5] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 28. Februar 2020

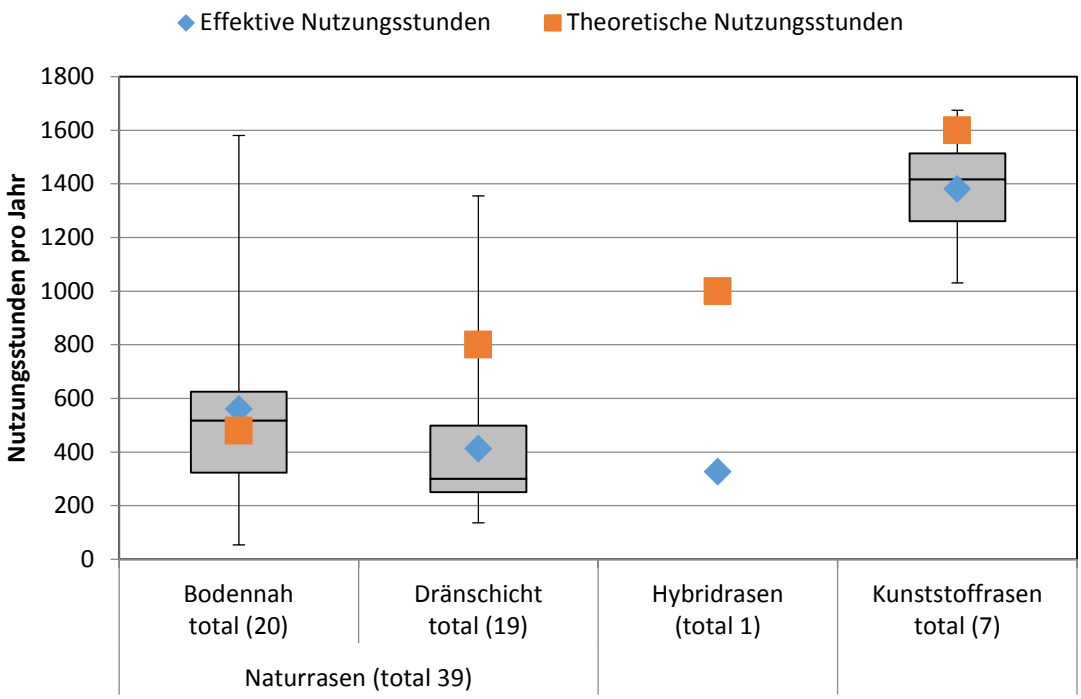

Abbildung 5: Boxplot für die Verteilung der effektiven Nutzungsstunden für die unterschiedlichen Rasenportfelder. 50 % der Werte für die effektiven Nutzungsstunden liegen innerhalb der grauen Box, die blauen Punkte entsprechen dem Mittelwert und die schwarze Linie dem Median. Die Balken zeigen die entsprechenden Minima und Maxima.

4 UMWELTAUSWIRKUNGEN AUF MIDPOINT EBENE (ISO KONFORM)

Im folgenden Kapitel werden die Wirkungsabschätzungsergebnisse dieser Ökobilanz aufgezeigt und erklärt. Die Resultate sind in drei Unterkapitel aufgeteilt, welche die Umweltauswirkungen pro Rasenspielfeld (Unterkapitel 4.1), pro theoretische Nutzungsstunde (Unterkapitel 4.2) und pro effektive Nutzungsstunde (Unterkapitel 4.3) beschreiben. Die Resultate umfassen Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013) sowie ausgewählte Midpoints basierend auf der Empfehlung für die Wirkungsabschätzung für den Product Environmental Footprint (PEF) nach Fazio et al. (2018), den Primärenergiebedarf nach Frischknecht et al. (Frischknecht et al., 2007) und Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011). Die Auswahl von Midpoints umfasst zwölf verschiedenen Umweltauswirkungen: (1) Treibhausgasemissionen, (2) Luftschadstoffe, (3) radioaktive Strahlung, (4) Eutrophierung von Süsswasser, (5) Eutrophierung in Meeren, (6) terrestrische Eutrophierung, (7) Landnutzung, (8) Nutzung von mineralischen Ressourcen, (9) toxische Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nach USEtox, (10) toxische Auswirkungen auf Ökosysteme nach USEtox, (11) den totalen Primärenergieverbrauch sowie (12) den nicht-erneuerbaren Primärenergieverbrauch.

4.1 JÄHRLICHE UMWELTAUSWIRKUNGEN PRO RASENSPORTFELD

Abbildung 6 zeigt die jährlichen Umweltauswirkungen verursacht durch ein Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m^2 über den ganzen Lebenszyklus mit einer Lebensdauer von 30 Jahren unterteilt in Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung für die zwölf verschiedene Midpoints und die unterschiedlichen Varianten von Rasenspielfeldern. Bei den Naturrasen zeigt sich bei allen Midpoint-Kategorien eine ähnliche Verteilung der Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung. Den grössten Beitrag hat bei allen Midpoint-Kategorien, mit Ausnahme von mineralischer Ressourcennutzung und Primärenergiebedarf, die Pflege der Rasenspielfelder. Besonders ausgeprägt ist der hohe Beitrag der Pflege bei den eutrophierenden Emissionen sowie bei der Ökotoxizität aufgrund des verwendeten Kunstdüngers und der verwendeten Pflanzenschutzmittel bei der Pflege der Rasensportfelder. Bei den Kunststoffrasenvarianten verursacht jeweils die Erstellung des Kunststoffrasensportfeldes den grössten Beitrag für alle Midpoint-Kategorien aufgrund der für die Erstellung benötigten Kunststoffe, gefolgt von der Renovation, bei welcher der Kunststoffrasenbelag sowie im Fall der verfüllten Kunststoffrasensportfelder auch das Kunststoffgranulat ersetzt wird. Die Entsorgung der Kunststoffrasensportfelder spielt bei den Treibhausgasemissionen und den Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit eine grössere Rolle, da

dabei grosse Mengen an Kunststoffen verbrannt werden. Die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung für den Hybridrasen teilen sich ähnlich auf wie im Falle der Naturrasenspielfelder.

Der Vergleich der Umweltauswirkungen von Natur- und Kunststoffrasenspielfeldern über alle untersuchten Midpoints zeigt ein unterschiedliches Resultat in Abhängigkeit der verschiedenen Umweltauswirkungen. Im Falle der Treibhausgasemissionen, der Emissionen von radioaktive Strahlung, der Nutzung von mineralischen Ressourcen sowie gesamten und nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarfs sind die Umweltauswirkungen pro Naturrasenspielfeld tiefer als pro Kunststoffrasenspielfeld. Bei der eutrophierenden Wirkung auf Meere und terrestrische Ökosysteme sowie bei der Landnutzung und der Emission von toxischen Substanzen in die Umwelt sind hingegen die Umweltauswirkungen von Kunststoffrasenspielfeldern tiefer im Vergleich zu Naturrasenspielfeldern. Aufgrund dieses Ergebnisses mit unterschiedlichen Resultaten in Abhängigkeit der untersuchten Umweltauswirkung, eines sogenannten Trade-Offs, kann keine eindeutige Empfehlung gemacht werden basierend auf den untersuchten Midpoints ohne eine übergeordnete Gewichtung der einzelnen Midpoints. Ein gewichteter Vergleich der Umweltauswirkungen der verschiedenen Midpoints nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) ist im Kapitel 5 beschrieben.

Die Treibhausgasemissionen sind mit 23.1 und 29.8 Tonnen CO_2-eq für bodennahen und drainierten Naturrasen im Falle der Naturrasenspielfelder deutlich tiefer im Vergleich zu den unverfüllten und verfüllten Kunststoffrasenspielfeldern mit 58.6 und 85.5 Tonnen CO_2-eq. Die Hauptquelle von Treibhausgasemissionen im Falle der Naturrasenspielfelder ist der Dieselverbrauch bei der Erstellung sowie bei Pflege und die Lachgasemissionen aus der Düngeranwendung bei der Pflege. Die Hauptquelle von Treibhausgasemissionen im Falle der Kunststoffrasenspielfelder ist der benötigte Kunststoff für den Kunststoffrasen sowie für das Granulat zur Verfüllung gefolgt vom Dieselverbrauch bei der Erstellung und bei der Pflege des Kunststoffrasens.

Die potenziell toxischen Emissionen für Ökosysteme stammen hauptsächlich aus der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln bei der Pflege. Speziell Fungizide werden häufig eingesetzt um den Rasen vor Pilzbefall zu schützen. Besonders hervorzuheben ist das Fungizid Chlorothalonil, welches mehr als 70 % der öko-toxischen Emissionen verursacht. Der Einsatz von Chlorothalonil ist seit Ende 2019 in der Schweiz verboten. Da sich die Daten für diese Studie auf die Referenzjahre 2017 bis 2019 beziehen, wurden die Emissionen für Chlorothalonil entsprechend der Ausbringung in den Jahren 2017 bis 2019 modelliert. Durch den Verzicht auf Chlorothalonil werden die Emissionen von ökotoxischen Substanzen stark reduziert, aber die Naturrasenspielfelder verursachen dennoch deutlich höhere ökotoxische Emissionen im Vergleich zu Kunststoffrasenspielfeldern.

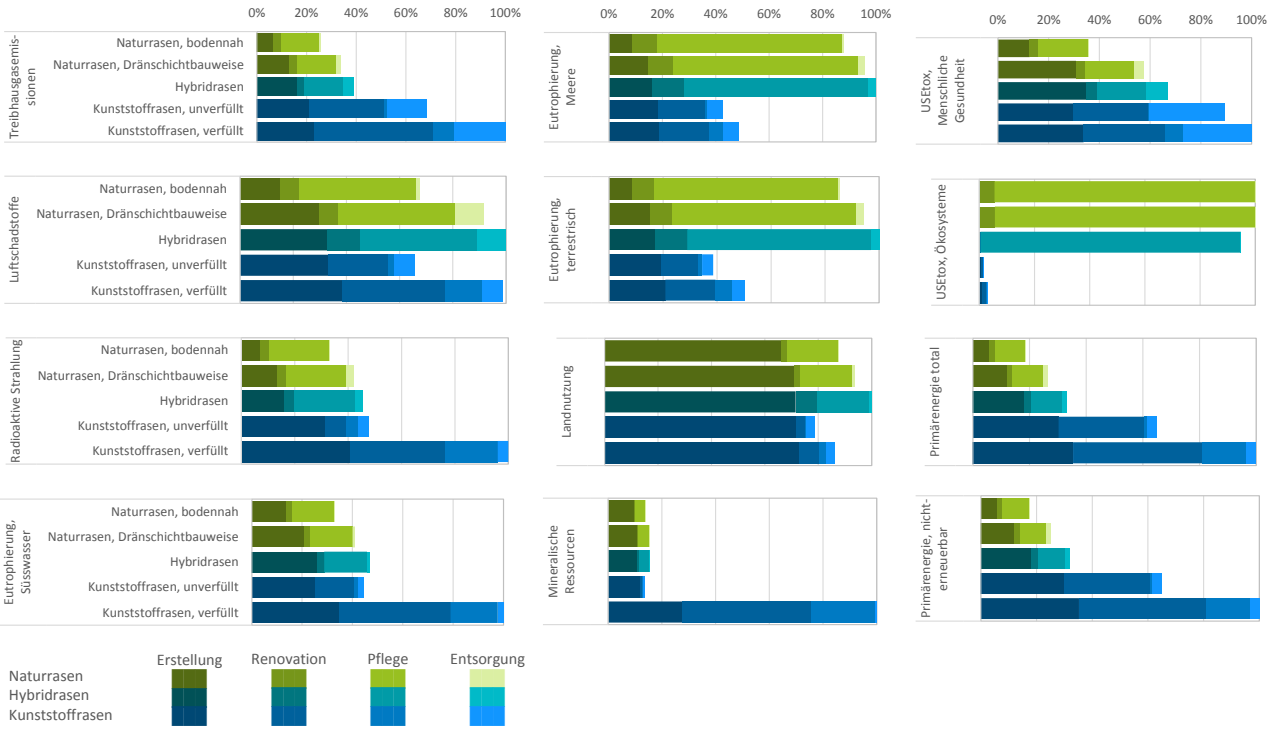

Abbildung 6: Umweltauswirkungen pro Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m² für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) für die fünf verschiedenen Rasensportfelder unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung.

4.2 UMWELTAUSWIRKUNGEN PRO NUTZUNGSSTUNDE THEORETISCH

Die Natur- und Kunststoffrasenspielfelder sind nicht gleich belastbar, was zu einer unterschiedlichen Anzahl Nutzungsstunden pro Jahr führt. Die Übersicht der Nutzungsstunden in Abhängigkeit des Rasenspielfeldes sind in Tabelle 5 Seite 18 dargestellt. Für eine lebenszyklusbasierte Betrachtung muss entsprechend die unterschiedliche Nutzungsintensität für die verschiedenen Rasensportfelder berücksichtigt werden. In Abbildung 7 sind Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder für dieselben zwölf Midpoints wie in Abbildung 6 pro theoretische Nutzungsstunde dargestellt. Die relativen Beiträge der Erstellung, Renovation und Pflege ändern sich dabei nicht, aber der Vergleich von Natur- und Kunststoffrasen ändert sich, da die Kunststoffrasenspielfelder eine deutlich höhere Anzahl Nutzungsstunden pro Jahr aufweisen.

Für die Midpoint-Kategorien, bei denen die Naturrasenspielfelder pro Spielfeld tiefere Umweltauswirkungen verursachte, sind die Umweltauswirkungen von Natur- und Kunststoffrasenspielfeldern pro Nutzungsstunde

nun ähnlich hoch. Dies betrifft die Treibhausgasemissionen, die radioaktive Strahlung, den Primärenergiebedarf total und nicht-erneuerbar sowie die Süsswasser-Eutrophierung. Bei den Kategorien der Eutrophierung von Meeren und terrestrischen Ökosystemen, Landnutzung, Ökotoxizität sowie Luftschadstoffe sind die Ergebnisse pro Nutzungsstunde für Kunststoffrasenspielfelder deutlich tiefer als für Naturrasen.

Die Treibhausgasemissionen sind mit 45.1 und 35.3 kg CO_2-eq pro theoretische Nutzungsstunde für bodennahen und drainierten Naturrasen ähnlich oder tiefer im Vergleich zu den unverfüllten und verfüllten Kunststoffrasenspielfeldern mit 35.8 und 52.5 kg CO_2-eq pro Nutzungsstunde.

Pro Nutzungsstunde verursacht das Hybridrasenspielfeld tendenziell tiefere Umweltauswirkungen im Vergleich zu den Naturrasenspielfeldern, da die theoretische Anzahl Nutzungsstunden 25 % höher bzw. mehr als doppelt so hoch ist im Vergleich zu Naturrasen in Dränschichtbauweise bzw. bodennahem Naturrasen.

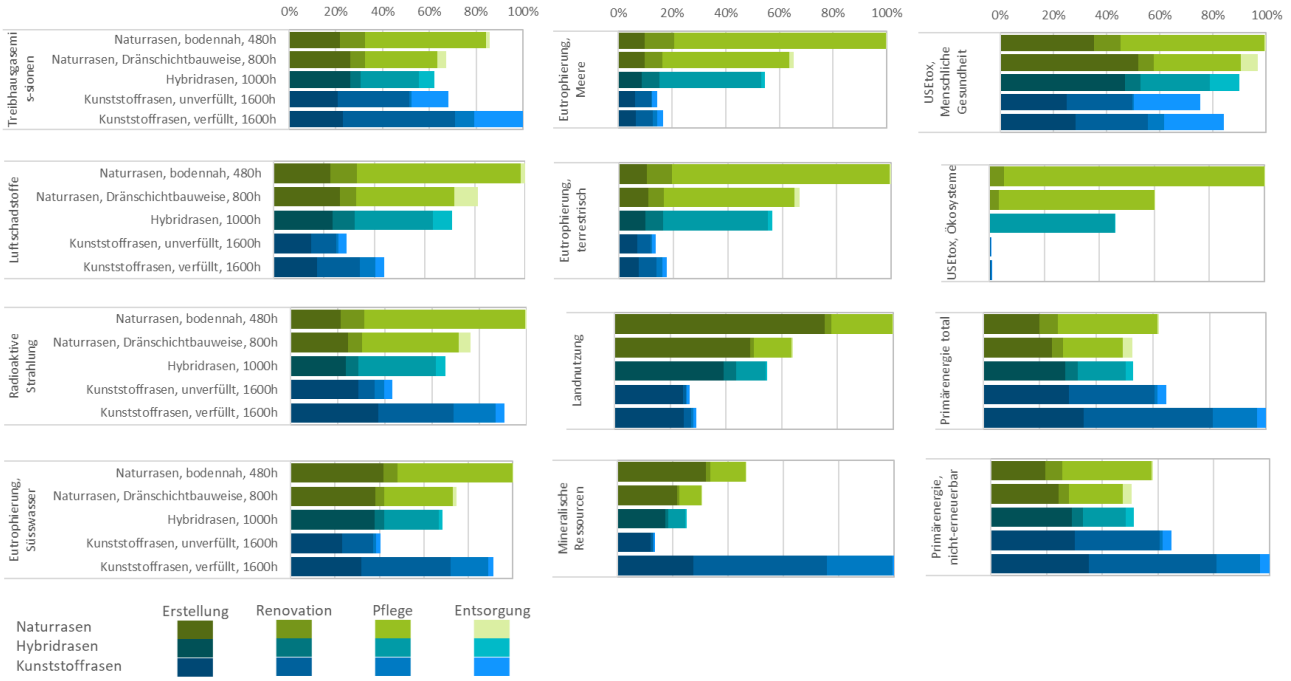

Abbildung 7: Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung. Die theoretische Anzahl Nutzungsstunden betragen 480 und 800 Stunden für Naturrasen bodennah und Dränschichtbauweise sowie 1'000 und 1'600 Stunden für Hybrid-und Kunststoffrasenspielfelder

4.3 UMWELTAUSWIRKUNGEN PRO NUTZUNGSSTUNDE EFFEKTIV

Die effektiven Nutzungsstunden in der Stadt Zürich weichen deutlich von den theoretisch möglichen Nutzungsstunden ab (siehe Tabelle 5). Entsprechend sind in Abbildung 8 die Umweltauswirkungen für die zwölf Midpoints pro effektive Nutzungsstunde dargestellt. Gründe für die Unterschiede bei den Nutzungsstunden sind neben der Bauweise auch die Lage, Spielfeldgrösse, Gräserbestand, Pflegeintensität, bauliche Infrastruktur und Witterungsbedingungen. Zusätzlich werden bodennahe Naturrasenspielfelder als Trainingsplätze teilweise zu stark bespielt und übernutzt, während die Naturrasenspielfelder in Dränschichtbauweise trotz der theoretisch höheren Anzahl Nutzungsstunden nicht entsprechend ausgelastet werden.

Der Hybridrasen hat durch die tiefen effektiven Nutzungsstunden die höchsten Umweltauswirkungen pro effektive Nutzungsstunde für alle Midpoints mit Ausnahme von mineralischer Ressourcennutzung. Da sich die Nutzungsstunden auf ein einzelnes Hybridrasenspielfeld bezieht, ist dieses Resultat nicht repräsentativ. Zusätzlich sind die effektiven Nutzungsstunden für das Hybridrasensportfeld weit unterhalb der theoretisch möglichen Anzahl Nutzungsstunden.

Die Treibhausgasemissionen sind mit 38.6 und 68.5 kg CO_2-eq pro effektive Nutzungsstunde für bodennahen und drainierten Naturrasen in einer ähnlichen Bandbreite wie die unverfüllten und verfüllten Kunststoffrasenspielfeldern mit 41.5 und 60.8 kg CO_2-eq pro effektive Nutzungsstunde.

Der Vergleich der Umweltauswirkungen pro theoretische und effektive Nutzungsstunde zeigt, dass die Anzahl Nutzungsstunden ein entscheidender Faktor für den Vergleich von Natur- und Kunststoffrasenspielfeldern ist. Ebenfalls wird deutlich, dass das unverfüllte Kunststoffrasensportfeld pro effektive Nutzungsstunde die tiefsten Umweltauswirkungen verursacht, mit Ausnahme des nicht-erneuerbaren und totalen Primärenergieverbrauchs sowie der Treibhausgasemissionen.

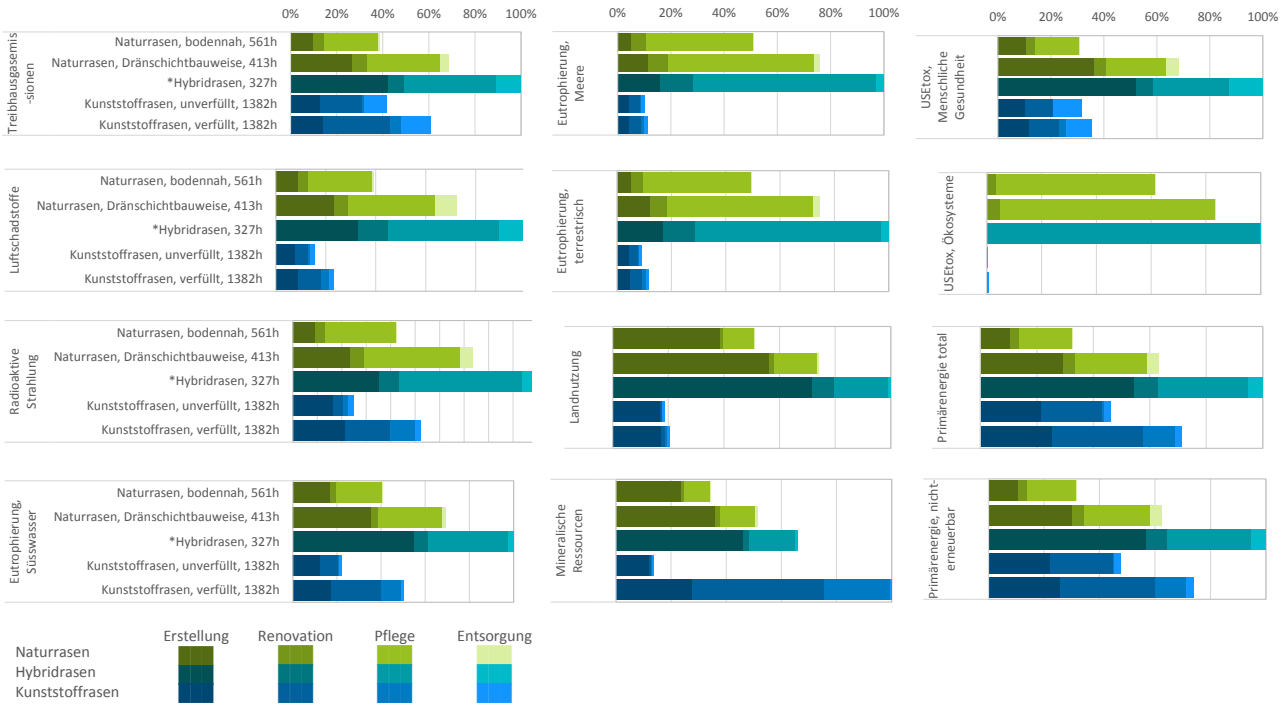

Abbildung 8: Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro effektive Nutzungsstunde nach den Nutzungsdaten von Grün Stadt Zürich für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung. Die effektive Anzahl Nutzungsstunden betragen 561 und 413 Stunden für Naturrasen bodennah und in Dränschichtbauweise sowie 327 und 1382 Stunden für Hybrid-und Kunststoffrasensportfelder. * die Nutzungsstunden für das Hybridrasensportfeld basieren auf nur einer Anlage und sind daher nur exemplarisch

5 GESAMTUMWELTBELASTUNG NACH METHODE DER ÖKOLOGISCHEN KNAPPHEIT (NICHT ISO KONFORM)

Im folgenden Kapitel sind die Resultate dieser Ökobilanz nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) aufgeführt. Diese Methodik fasst die Umweltauswirkungen der untersuchten Sportrasen aus verschiedenen Wirkungskategorien zu einem nummerischen Einzelwert zusammen. Dieses Vorgehen beinhaltet einen Gewichtungs-Schritt, weshalb dieser Auswertungsteil nicht den Anforderungen gemäss ISO 14040 entspricht (ISO, 2006).

5.1 GESAMTUMWELTBELASTUNG PRO RASENSPORTFELD

In Abbildung 9 sind die Umweltauswirkungen der fünf untersuchten Sportrasen dargestellt. Die Gesamtumweltbelastung pro Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m^2 und Jahr sind für den bodennahen Naturrasen am tiefsten, während das verfüllte Kunststoffrasenspielfeld die höchste Gesamtumweltbelastung verursacht. Die Gesamtumweltbelastung pro Rasensportfeld und Jahr variiert zwischen 43 und 100 Millionen Umweltbelastungspunkten für die verschiedenen Rasensportfelder, als Vergleich beträgt die Gesamtumweltbelastung pro Jahr, welche durch den durchschnittlichen Konsum pro Person in der Schweiz verursacht wird, etwa 20 Millionen Umweltbelastungspunkte (Jungbluth et al., 2012).

Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffe haben einen Beitrag von zwischen 24 und 24 % sowie 25 und 25 % für naturnahe und drainierte Naturrasenspielfelder, gefolgt von Wasserschadstoffen zwischen 15 und 13 % und mineralischen Ressourcen zwischen 12 und 14 %.

Bei den unverfüllten und verfüllten Kunststoffrasenspielfeldern verursachen die Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffe einen Beitrag zwischen 39 und 39% sowie 16 und 16 %, gefolgt mineralischen Ressourcen zwischen 13 und 18 %. Wasserschadstoffe und Schwermetall haben einen Beitrag tiefer als 3 % im Falle der Kunststoffrasenspielfelder.

Die Betrachtung der Beiträge der unterschiedlichen Umweltauswirkungen zeigt, dass die Natur- und Hybridrasenspielfelder mehr Luft- und Wasserschadstoffe verursachen als die Kunststoffrasensportfelder. Durch die verwendeten Kunststoffe sind jedoch der Beitrag der Treibhausgasemissionen sowie der Nutzung von mineralischen Ressourcen bei den Kunststoffrasenspielfeldern höher im Vergleich zu den Naturrasenspielfeldern.

Die Emissionen durch Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle haben für das Total der Gesamtumweltbelastung nur eine untergeordnete Bedeutung mit Beiträgen tiefer als 5 %.

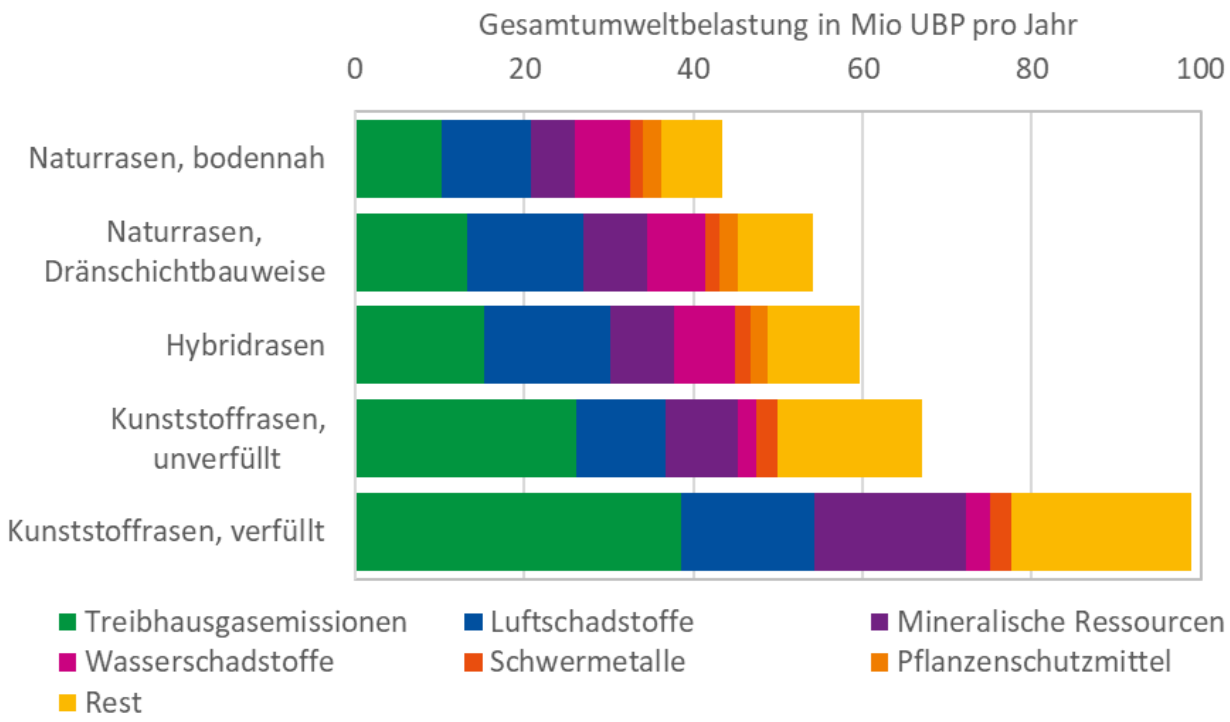

Abbildung 9: Umweltbelastung der untersuchten Rasenspielfelder pro Rasenspielfeld und Jahr über einen Nutzungsdauer von 30 Jahren nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) unterteilt in die Beiträge von Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffen, mineralischen Ressourcen, Wasserschadstoffe, Schwermetalle, Pflanzenschutzmitteln und übrige Umweltauswirkungen.

Pro Rasensportfeld verursacht der bodennahe Naturrasen die tiefste Gesamtumweltbelastung, während der verfüllte Kunststoffrasen die höchste Umweltbelastung verursacht. Bei der Betrachtung der verschiedenen Lebenszyklus-Schritten (Abbildung 10) fällt auf, dass die Natur- und Hybridrasen vor allem im Betrieb eine grosse Umweltbelastung verursachen. Die Kunststoffrasen hingegen verursachen bei der Erstellung, Renovation sowie Rückbau und Entsorgung eine hohe Umweltbelastung. Besonders der verfüllte Kunststoffrasen hat bei der Renovation eine hohe Umweltbelastung, weil dabei zusätzlich zum Kunststoffrasenteppich das Kunststoffgranulat entsorgt und neu eingebaut wird.

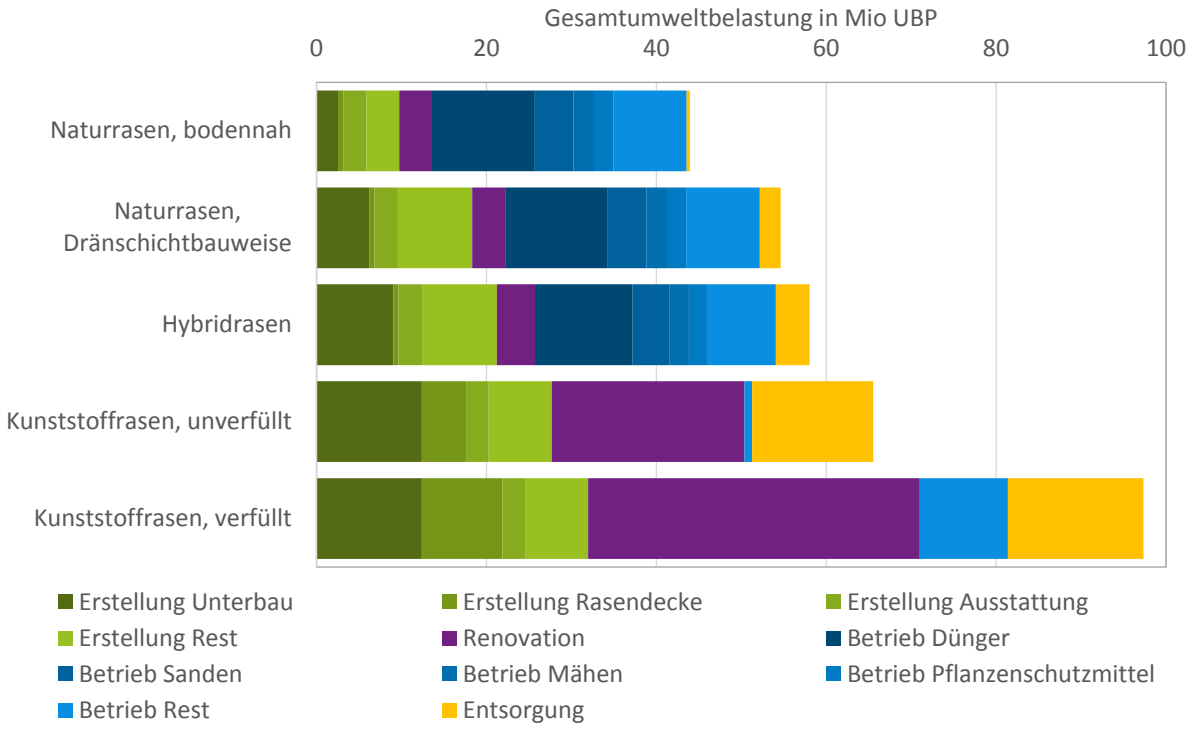

Abbildung 10: Gesamtumweltbelastung pro Rasenspielfeld und Jahr über einen Nutzungsdauer von 30 Jahren nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) unterteilt in die Beiträge von Erstellung (grüner Farbton), Renovation (violett), Pflege (blauer Farbton) sowie Rückbau und Entsorgung (gelber Farbton).

5.2 Gesamtumweltbelastung pro Nutzungsstunde

Der Ökobilanzvergleich pro Nutzungsstunde berücksichtig neben den Umweltauswirkungen durch Erstellung, Betrieb und Entsorgung der Sportplätze auch deren Nutzungsintensität. Die verschiedenen Rasentypen sind nicht gleich belastbar, wodurch die Nutzungsstunden unterschiedlich sind. Auch gibt es Differenzen zwischen theoretischen und effektiven Werten für die Nutzungsstunde. Die Gesamtumweltbelastung der Rasensportfelder pro theoretische und effektive Nutzungsstunde nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) sind in Abbildung 11 dargestellt.

Bei Betrachtung der Abbildung 11 fällt auf, dass der Hybridrasen durch den sehr tiefen Wert der effektiven Nutzungsstunden eine hohe Gesamtumweltbelastung verursacht. Da jedoch für diesen Typ nur Nutzungsstunden von einem Sportplatz vorliegen, ist dieses Ergebnis mit Unsicherheit behaftet. Aussagekräftiger sind die Unterschiede zwischen den Naturrasen und den Kunststoffrasen. Bei diesen fällt

auf, dass Kunststoffrasen effektiv weniger genutzt werden, als theoretisch möglich und der bodennahe Naturrasen mehr genutzt wird, als dies die theoretischen Werte vermuten lassen.

Da Naturrasen generell weniger beansprucht werden können als Kunststoffrasen, kann die Umweltbelastung auf weniger Stunden aufgeteilt werden. Sowohl bei Berücksichtigung der theoretischen als auch bei Berücksichtigung der effektiven Nutzungsstunden hat der unverfüllte Kunststoffrasen die tiefste Umweltbelastung pro Nutzungsstunde.

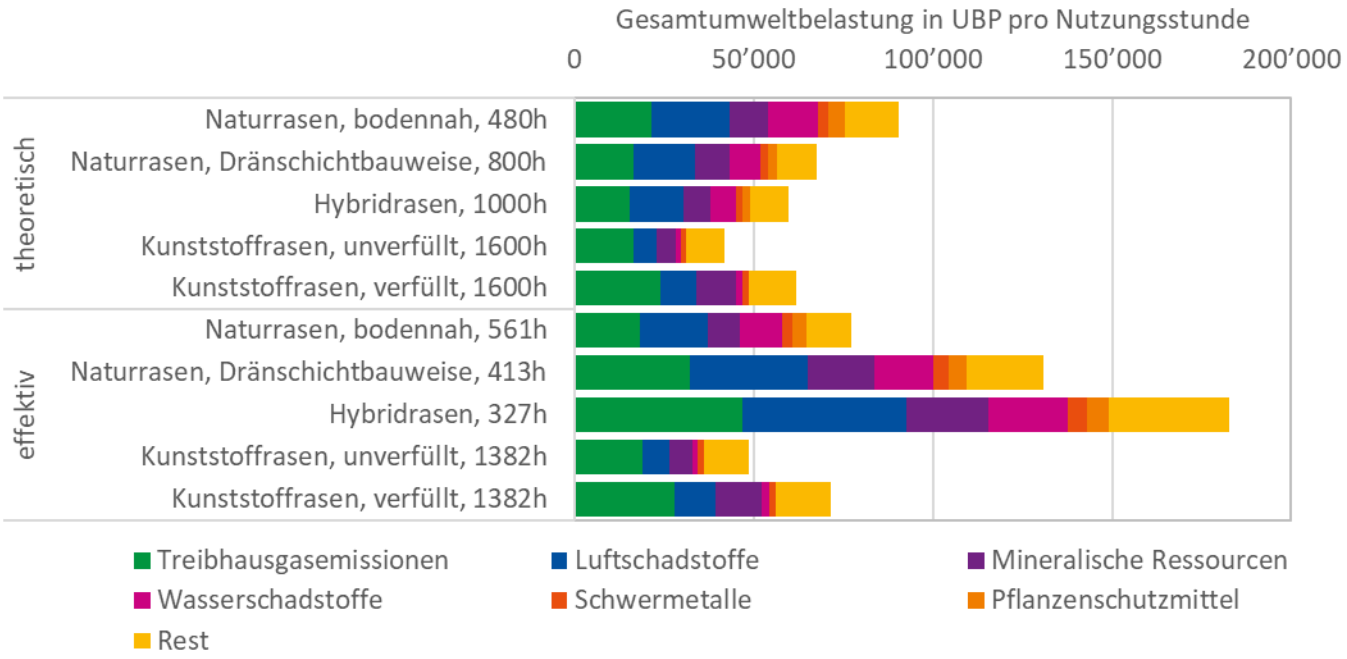

Abbildung 11: Gesamtumweltbelastung der untersuchten Rasenspielfeldern nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) pro theoretische und effektive Nutzungsstunde unterteilt in die Beiträge von Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffen, mineralischen Ressourcen, Wasserschadstoffe, Schwermetalle, Pflanzenschutzmittel und übrige Umweltauswirkungen

6 WEITERE UMWELTAUSWIRKUNGEN

Neben den in der Kapitel 4 und 5 dargestellten Umweltauswirkungen haben Rasensportfelder weitere Umweltauswirkungen, welche mit der bestehenden Ökobilanzmethodik und Datengrundlage nicht umfassend bewertet werden können. Dies betrifft insbesondere den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt und die Auswirkungen auf das lokale Stadtklima. Diese beiden Umweltauswirkungen werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

6.1 MIKROPLASTIK

Bertling et al. (2018) haben in der Studie des Fraunhofer UMSICHT die grössten Quellen für primäres Mikroplastik[6] in der Umwelt abgeschätzt. Die Abschätzung wurde hierbei mittels eines Top-down-Ansatzes ausgehend von Produktions- oder Verbrauchsdaten getroffen. Am meisten Mikroplastik gelangt nach dieser Studie durch den Abrieb von Fahrzeugreifen in die Umwelt. Kunststoffrasenplätze belegen den fünften Platz der grössten Quellen für primäres Mikroplastik. Es wurden Emissionen von zirka 3.15 Tonnen pro Kunststoffrasenplatz (Grossspielfeld) und Jahr berechnet (Bertling, 2019). Dieser Wert wurde anhand von Verbrauchsmengen des Kunststoffgranulats abgeschätzt, mit dem durch Abtragung über Schuhe der Spieler sowie Wind und Regen verloren gegangenes Material ersetzt wird.

Neben den Granulaten trägt auch der Abrieb der Kunststofffasern zum Mikroplastikeintrag in die Umwelt bei. Bertling et al. (2019) berichten von sehr heterogenen Verhältnissen auf Kunststoffrasenplätzen. Je nach Kunststoffrasenplatz konnten unterschiedlich grosse Raten für den Austrag von Granulat und den Abrieb künstlicher Fasern festgestellt werden. Es konnten zwar Einflussfaktoren für die Emission identifiziert werden, allerdings ist noch unklar wie diese zusammenwirken. Es zeigte sich zudem, dass durch die mechanische Belastung der Unterschicht von Kunststoffrasenplätzen, welche beim Bau und Rückbau auftritt, Granulate aus der Unterschicht freigesetzt werden können. Eine mengenmäßige Bilanzierung der Emissionen von Kunststoffrasenplätzen über alle Lebenszyklusphasen existiert bislang allerdings nicht (Bertling, 2019).

Fath (2019) gibt ebenfalls an, dass der Reifenabrieb von Autoreifen zu den Hauptquellen von Mikroplastik in der Umwelt zählt. Problematisch ist hierbei nicht allein das Mikroplastik, sondern auch dessen Inhaltsstoffe. Autoreifen enthalten polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Das Rezyklat von Altreifen wird häufig in Form von geschreddertem Granulat als Füllmaterial für Kunststoffrasensportplätze verwendet

[6] Bei Primären Mikroplastik handelt es sich um Mikroplastik, welches entweder bei der Herstellung eines Produktes oder während der Nutzung freigesetzt wird.

(Fath, 2019). Fath berichtet, dass in einer Untersuchung PAK in Kunststoffrasengranulaten nachgewiesen werden konnten. PAK sind aufgrund ihrer Hydrophobie nicht wasserlöslich, allerdings können sie im Granulat als Nahrungsmittel in den Verdauungstrakt von Wasserorganismen gelangen. Dort existieren veränderte Umgebungsbedingungen, welche zu einer etwa zwölfmal schnellen Desorption als im Wasser führt (Fath, 2019).

Das Bundesamt für Gesundheit hat Ergebnisse von Studien aus den USA und Europa evaluiert und kommt zu dem Schluss, dass Kunststoffrasen mit PAK-haltigen Granulat aus Altreifen kein spezielles Risiko für die Gesundheit von Sportlern und Publikum darstellen (Bundesamt für Gesundheit, 2017).

In der Stadt Zürich wird kein Rezyklat aus Altreifen für die Verfüllung der Kunststoffrasensportfelder verwendet. Entsprechend sind die Erkenntnisse von Fath (2019) und dem Bundesamt für Gesundheit (2017) für diese Studie von untergeordneter Bedeutung.

Es gibt weitere Studien, die direkte Mikroplastikemissionen aus Kunststoffrasensportfeldern untersuchen mit Abschätzungen zu den individuellen Emissionspfaden. Die Studien sind aber limitiert auf den Betrieb der Kunststoffrasensportfelder und es sind keine Studien vorhanden, welche die Mikroplastikemissionen mit einer konsistenten Methodik über den ganzen Lebenszyklus einschliesslich Bau, Renovation und Entsorgung quantifizieren.

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht zu Studien und Untersuchungen zum Thema Mikroplastikemissionen inklusive der geschätzten Verluste sowie dem Berechnungsansatz. Die verschiedenen Studien kommen zu unterschiedlichen Resultaten, diese in vergleichbaren Grössenordnungen. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung sind Mikroplastikemissionen in der Höhe von 1000 bis 3000 kg pro Spielfeld und Jahr als eine robuste Schätzung einzustufen.

Tabelle 6: Übersicht von Studien zum Austrag von Mikroplastik aus Rasensportfeldern

Studie	Geschätzte Verluste	Berechnungsansatz
Bertling et al. (2018)	3150 kg pro Feld und Jahr	Massenbilanz
(Løkkegaard et al., 2018)	300-700 kg pro Feld und Jahr 10-200 kg pro Feld und Jahren enden in Gewässern	Massenbilanz Indirekte Emissionspfade nicht untersucht
(Hann et al., 2018)	1000-5000 kg pro Feld und Jahr Abfallentsorgung (45%), Oberflächengewässer (10%) & umliegendes Gras (45%)	Massenbilanz Verluste durch Abrieb 0.5-0.8% pro Jahr
(Lassen et al., 2015)	1500-2500 kg pro Feld und Jahr	Massenbilanz
(Magnusson et al., 2016)	1640-2460kg pro Feld und Jahr	Massenbilanz
(Regnell, 2017)	Max 340-370kg in Oberflächengewässer.	Feldversuch
(Regnell, 2019)	2000-4000 kg pro Feld und Jahr in Oberflächengewässer 750 kg in Kanalisation 1000-3000 kg in umliegendes Gras	Feldversuch in Schweden Verlust von 11% durch Schneeräumung

Basierend auf den Angaben zum jährlich ersetzen Füllmaterial haben wir über die Massenbilanz die Mikroplastikemissionen aus verfüllten Kunststoffrasensportfeldern für die Situation in Zürich abgeschätzt und in der Abbildung 12 visualisiert. Jährlich werden bei den verfüllten Kunststoffrasensportfeldern in der Stadt Zürich pro Jahr etwa 2200 kg Füllmaterial ersetzt bzw. nachgefüllt. Es kann aber nicht differenziert werden, in welche Umweltkompartimente das Füllmaterial emittiert wird.

Für die übrigen Rasensportfelder kann keine genaue Abschätzung zu möglichen Mikroplastikemissionen aus den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen gemacht werden, da hierfür bisher keine konsistente Methodik in Ökobilanzen besteht. Entsprechend ist hier lediglich ein Fragezeichen aufgeführt, da eine effektive Quantifizierung der Emissionen nicht möglich ist.

Im Falle der Hybrid- und Kunststoffrasensportfelder können zusätzlich während des Betriebes ebenfalls Mikroplastikemissionen entstehen durch die Abnutzung der Kunststofffasern. Zur genauen Menge der Emissionen sind aber keine Daten verfügbar. Die Emissionen aus dem Abrieb der Kunststofffasern sind durch ein zweites Fragezeichen bei den Kunststoff- und Hybridrasensportfeldern repräsentiert.

Nichtsdestotrotz werden im Falle des verfüllten Kunststoffrasens mengenmässig die grössten Mikroplastikemissionen erwartet, welche zu Umweltauswirkungen über unterschiedliche Emissionspfade führen.

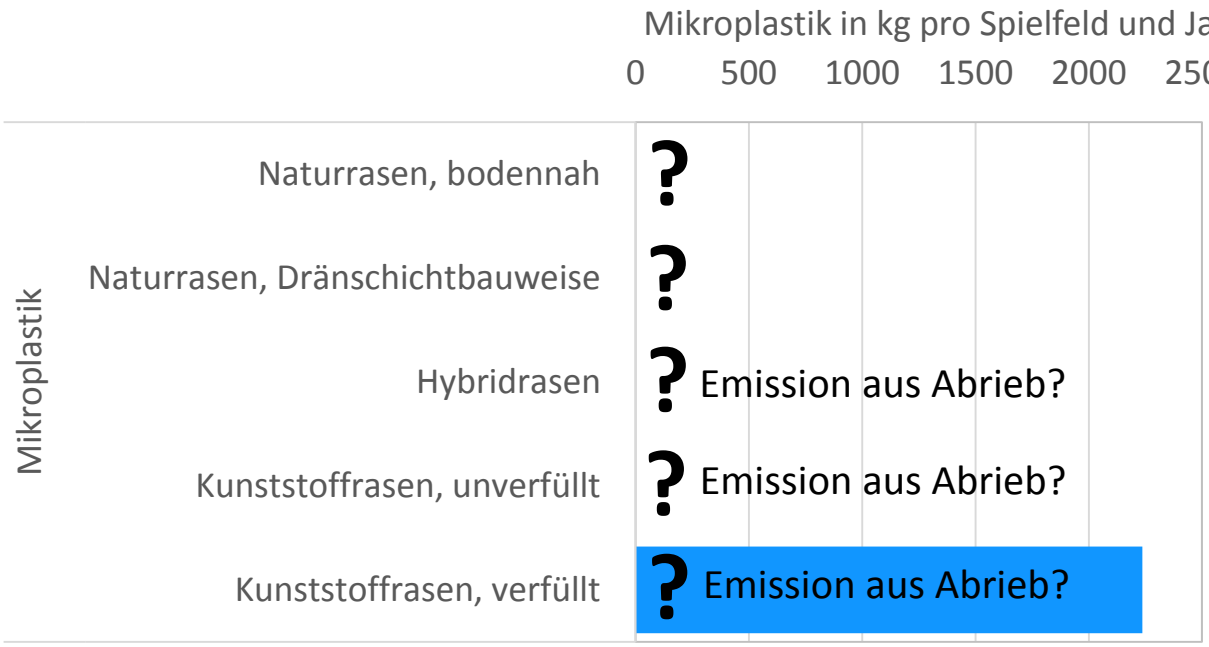

Abbildung 12: Abgeschätzte Emissionen von Mikroplastik pro Rasensportfeld und Jahr basierend auf dem ersetzten Füllmaterial für die untersuchten Rasenspielfelder unterteilt in die Beiträge von Erstellung (dunkler Farbton), Renovation (mittlerer Farbton) und Pflege (heller Farbton). Disclaimer: Mikroplastikemissionen für den verfüllten Kunststoffrasen sind abgeschätzt und differenzieren nicht zwischen Emissionspfaden; Mikroplastikemissionen für Naturrasen sowie Hybrid- und unverfüllten Kunststoffrasen sind pro Memoria aufgeführt, können aber nicht quantifiziert werden.

Auch wenn die genauen Emissionspfade für Mikroplastik aus Rasensportfeldern nicht genau erfasst und die daraus folgenden Umweltauswirkungen nicht vollständig erforscht sind, sollten die Emissionen von Mikroplastik aus Rasensportfeldern im Sinne des Vorsorgeprinzips so stark wie möglich reduziert oder vermieden werden. Als Hilfestellung zur Reduktion und Vermeidung von Mikroplastikemissionen aus Rasensportfeldern veröffentlicht FIDRA Richtlinien mit Empfehlung zur Verringerung des Verlustrisikos in mehreren (aber nicht allen) Lebenszyklusphasen[7].

[7] https://www.fidra.org.uk/artificial-pitches/cleaner-pitch-guidelines/

6.2 STADTKLIMA

Für das Umgebungsklima stellen Kunststoffrasenplätze, im Gegensatz zur Naturrasen, keine wirksame Kühlfläche dar, sondern eine zusätzliche Aufheizungsfläche. Das Material des Kunststoffrasens erhitzt sich in der Sonne und strahlt diese Wärme aus. Thoms et al. (2014) haben in einer Studie die Oberflächentemperaturen von Kunststoffrasen untersucht. Es ergaben sich Oberflächentemperaturen zwischen -9,8 und 86,4° C bei einer Umgebungslufttemperatur von -0,4 bis 37,1° C (Thoms et al., 2014).

Die Hitzesituationen führen dazu, dass Füllmaterialien, welche beispielsweise aus Altreifen bestehen, zusätzlich Schadstoffe absondern. Eine weitere Quelle von Emissionen geht von dem Mikroplastik des Kunststoffrasens aus. Im Sonnenlicht emittieren die Mikroplastik-Partikel Methangas. Das Voranschreiten des Zerfalls der Mikroplastik-Partikel resultiert in einer grösseren Methanproduktion, da mehr Oberfläche bestrahlt wird (Grüne Fraktion Leipzig, 2019). Mit der vorhandenen Datengrundlage konnten die Emissionen von Methangas aus Mikroplastikpartikeln nicht berechnet werden und diese sind in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Ein Kunststoffrasenplatz hat ein Versiegelungsgrad von etwa 60 % (Baumüller & Ahmadi, 2016). In Abhängigkeit der Bauweise des Kunststoffrasensportfeldes kann aufgrund der möglichen Bodenversiegelung das Regenwasser schlechter versickern und fliesst oberflächig rasch ab. Somit gehen die wesentlichen Ökosystemleistungen eines Bodens verloren. Die Reduzierung der Ökosystemleistungen betrifft insbesondere die Verschlechterung der Biodiversität, der Bodenbildung, der Regulation des Mikroklimas sowie des Wasserhaushalts und der Grundwasserbildung.

Bezogen auf die Auswirkungen auf das Stadtklima sollte der Naturrasen gegenüber dem Kunststoffrasen bevorzugt werden. Allerdings kann mit Kunststoffrasen eine intensivere Nutzbarkeit von Sportflächen erreicht werden, was die benötigte Fläche für Rasensportfelder reduziert und damit mehr Flächen für optimale Klimamassnahmen belässt.

7 DISKUSSION

Die Wirkungsabschätzungsergebnisse variieren je nach Midpoint-Kategorie. In neun der zwölf untersuchten Midpoint-Kategorien verursacht der unverfüllte Kunststoffrasen unter Berücksichtigung der theoretischen und effektiven Nutzungsstunden die tiefsten Umweltauswirkungen. Der totale und nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf sowie die Treibhausgasemissionen sind unter Berücksichtigung der theoretischen Nutzungsstunden beim Naturrasensportfeld mit Dränschichtaufbau sowie dem Hybridrasensport am tiefsten mit einem marginalen Unterschied zwischen den beiden Varianten. Eine detaillierte Unsicherheitsanalyse zum Vergleich der verschiedenen Rasensportfelder ist in Kapitel 7.3 beschrieben.

Allgemein lässt sich festhalten, dass Fussballspielen auf einem oft genutzten Fussballplatz tiefere Umweltauswirkungen hat als auf einem Fussballplatz, welcher wenig benutzt wird. Durch eine Konzentration der Nutzung auf wenige, intensiv genutzte Flächen kann der Bedarf nach zusätzlichen Sportflächen vermindert werden. Die Frage nach dem umweltfreundlichsten Rasensportfeld, kann entsprechend nur beantwortet werden, wenn die Nutzungsintensität am Standort bekannt ist.

Bei Standorten mit tiefer Nutzungsintensität verursacht das naturnahe Rasensportfeld die tiefsten Umweltauswirkungen, während bei Standorten mit hoher Nutzungsintensität der unverfüllte Kunststoffrasen tendenziell die tiefsten Umweltauswirkungen verursacht, da dieser intensiver genutzt werden kann als Naturrasen.

Bei den Kunststoffrasen hat ein unverfüllter Rasen stets deutlich geringere Umweltauswirkungen als ein verfüllter, da für diese Bauweise kein Füllmaterial benötigt wird.

Je nach Rasen verursacht eine Nutzungsstunde zwischen 32 und 52 kg CO_2-eq an Treibhausgasemissionen. Bei 30 Spielern pro Rasensportfeld entspricht dies zirka 1 bis 1.7 kg CO_2-eq pro Person und Stunde. Diese Menge an Treibhausgasemissionen entspricht einer durchschnittlichen Autofahrt mit einer Person im Fahrzeug von 3.25 bis 5.5 Kilometern (Treeze, 2017).

7.1 VERGLEICH MIT LITERATUR

In einer Ökobilanz aus dem Jahr 2008 verglichen Schüler & Stahl (2008) Rasensportfelder aus Natur- und verfülltem Kunststoffrasen, wobei der Naturrasen in fünf von sechs untersuchten Wirkungskategorien tiefere Umweltauswirkungen hatte (Schüler & Stahl, 2008). In Abbildung 13 sind die berechneten Treibhausgasemissionen und Eutrophierung dieser Studie den Ergebnissen von Schüler & Stahl

gegenübergestellt. Nach Schüler & Stahl (2008) sind die Treibhausgasemissionen sowohl von Naturrasen als auch von Kunststoffrasen deutlich tiefer als in dieser aktuellen Studie berechnet.

Schüler & Stahl (2008) verwendeten vergleichbare Anzahl von 1500 Nutzungsstunden für Kunststoffrasen aber eine tiefere Anzahl von 500 Nutzungsstunden für den Naturrasen und berechneten 50 % tiefere Treibhausgasemission für Naturrasensportfelder im Vergleich zu verfüllten Kunststoffrasensportfelder. In dieser Studie der ZHAW sind die berechneten Treibhausgasemission für das Naturrasensportfeld mit Dränschicht etwa 30 % tiefer im Vergleich zum verfüllten Kunststoffrasenspielfeld.

Ein Grund für die deutlich tieferen Treibhausgasemissionen von Naturrasensportfeldern bei der Studie von Schüler & Stahl (2008) ist die Modellierung einer Kohlenstofffixierung für das Naturrasensportfeld basierend auf der Studie von Qian & Follett (2002). Durch die Berücksichtigung der Kohlenstoffsenke erfolgt eine Gutschrift in der Höhe von rund einem Drittel der Treibhausgasemissionen von Naturrasensportfeldern. Die Untersuchungen von Qian & Follett (2002) basieren auf Daten für Golfrasen.

Für die vorliegende Studie wird eine mögliche Fixierung von Kohlenstoff in Naturrasensportfeldern nicht berücksichtigt. Einerseits ist durch das Vertikutieren der Rasensportfelder in der Stadt Zürich die Fixierung von Kohlenstoff eingeschränkt, andererseits ist die Aufnahme von Kohlendioxid durch Photosynthese Bestandteil des natürlichen Kohlenstoffkreislaufes. Beim Abbau der Schnittguts und bei der Entsorgung des Rasens nach Lebensende gelangt der Kohlenstoff wieder zurück in die Atmosphäre. Dadurch resultiert keine Netto-Aufnahme von Kohlenstoff, falls nicht ein langfristiger Bodenaufbau über grosse Zeiträume stattfindet. Ein langfristiger Aufbau von Kohlenstoff im Boden wird durch die Autoren im städtischen Kontext als nicht realistisch beurteilt und wurde entsprechend nicht bilanziert.

Weitere Ursachen für die Unterschiede zur aktuellen Studie der ZHAW sind die unterschiedliche Renovationsintervalle: in der aktuellen Studie liegt der Renovationsintervall von Naturrasen bei 15 Jahren und von Kunststoffrasen bei 10 Jahren, während Schüler & Stahl (2008) bei Naturrasen mit 25 Jahren und bei Kunststoffrasen mit 13 Jahren rechnen. Schüler & Stahl (2008) rechnen damit, dass 80 % des Rasenschnitts auf dem Spielfeld liegen bleibt. In der aktuellen Studie wird davon ausgegangen, dass die sämtliche Schnittgutmenge entsorgt wird.

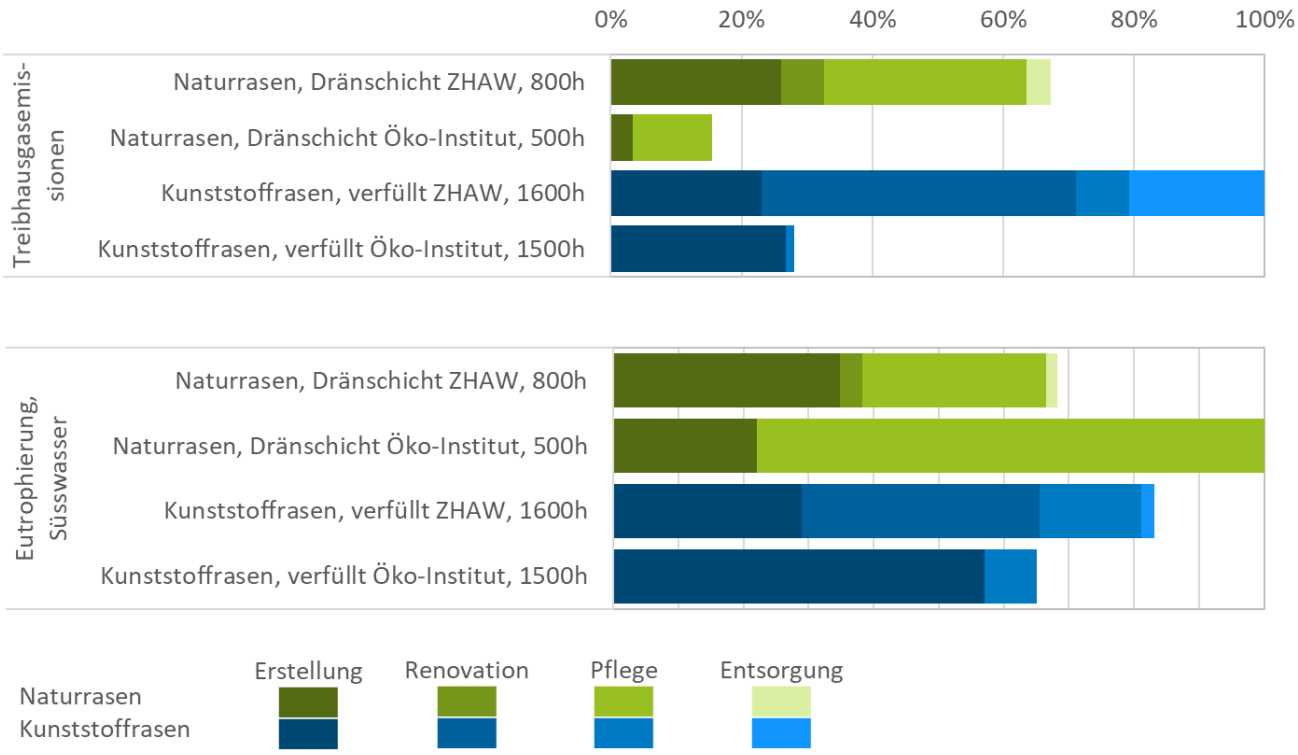

Abbildung 13: Vergleich der Resultate dieser Studie mit den Resultaten von Schüler & Stahl (2008) unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung für Treibhausgasemissionen und die Eutrophierung von Süsswasser. Anhand der Daten von Schüler & Stahl (2008) konnten diese nur in Erstellung und Pflege unterteilt werden. Die Renovation und Entsorgung sind in der Erstellung und der Pflege enthalten.

Neben den methodischen Unterschieden sowie den unterschiedlichen Wartungszyklen gibt es ebenfalls Unterschiede auf der Sachbilanzebene. Am entscheidendsten sind die Differenzen der Dieselverbräuche, welche die Resultate der Treibhausgasemissionen stark beeinflussen. Schüler & Stahl (2008) rechnen mit einem Dieselverbrauch von 2'000 Liter für die Erstellung eines Naturrasensportfeldes und 2'800 Liter für die Erstellung eines Kunststoffrasensportfeldes. In der aktuellen Studie wird 11'000 bis 14’000 Liter Diesel für Naturrasensportfelder sowie 16'000 Liter Diesel für Kunststoffrasensportfelder benötigt. Der Einfluss der Dieselverbräuche auf die Eutrophierung sind nur minim, weshalb bei der Eutrophierung die Resultate dieser Studie näher bei den Resultaten von Schüler & Stahl (2008) sind.

Neben den bereits erwähnten Unterschieden zwischen dieser Studie und der Ökobilanz von Schüler & Stahl sind in Tabelle 7 weitere Differenzen aufgeführt, welche zu den unterschiedlichen Resultaten führen.

Tabelle 7: Auszug aus den Sachbilanzmodellen dieser Studie im Vergleich mit der Ökobilanz von Schüler & Stahl (2008).

	Einheit	Diese Studie	Schüler & Stahl (2008)
Spielfeldgrösse	m^2	7’420	7’630
Infrastruktur für Beleuchtung und Zaun		Ja	Nein
Nutzungsstunden, Naturrasen mit Dränschichtbauweise	h/a	800 (theoretisch)	330 – 830
Nutzungsstunden, Kunststoffrasen verfüllt	h/a	1'600 (theoretisch)	1'000 – 2’500
Lebensdauer Belag Kunststoffrasen verfüllt	a	10	13
Renovation Belag Naturrasen mit Dränschichtbauweise	a	15	25
Lebensdauer Unterbau Natur- und Kunststoffrasen	a	30	39
Unterbau Kunststoffrasen	cm	50	30
Dieselverbrauch Erstellung Naturrasen	l	11'000 bis 14’000	2’000
Dieselverbrauch Erstellung Kunststoffrasen	l	16’000	2’800
Dieselverbrauch bei Pflege von Naturrasen	l/a	455	225
Rückbau von Naturrasen mit Dränschichtbauweise nach Lebensdauer		Ja	Nein
Gutschrift für Kohlenstofffixierung	kg/m^2*a	-	0.095
Einsatz von Pflanzenschutzmittel		Mehrmals pro Jahr	Einmal alle 5 Jahre
Düngerverbrauch pro Jahr	kg N/P/K	231/42/160	153/38/61
Sandverbrauch pro Jahr (1500 kg/m^3)	t	50	28.6

7.2 SENSITIVITÄTSANALYSEN

In diesem Kapitel werden die Einflüsse von Lebensdauer, Nutzungsstunden und Rasenmähen auf die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung genauer untersucht.

7.2.1 Lebensdauer

Die Lebensdauer der Sportrasen hat einen direkten Einfluss auf die Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde. Bei den untersuchten Sportrasen wurde mit einer Lebensdauer von 30 Jahren gerechnet. Es gibt aber Rasensportfelder, welche deutlich älter als 30 Jahre sind und noch immer verwendet werden.

Ebenfalls besteht die Möglichkeit, dass ein Rasensportfeld weniger als 30 Jahre benutzt wird. Aus diesem Grund wurde die Lebensdauer als Parameter für eine Sensitivitätsanalyse gewählt.

In Abbildung 14 sind die Treibhausgasemissionen und die Süsswasser-Eutrophierung von Naturrasen mit Dränschichtbauweise und unverfülltem Kunststoffrasen in Abhängigkeit mit der Lebensdauer dargestellt. Die Auswirkungen beziehen sich jeweils auf eine Nutzungsstunde des entsprechenden Rasensportfeldes (800 h beim Naturrasen mit Dränschicht und 1600 h beim unverfüllten Kunststoffrasen). Je länger die Lebensdauer ist, desto geringer sind die Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde. Ein Naturrasen mit einer Lebensdauer von 40 Jahren verursacht tiefere Treibhausgasemissionen, als ein Kunststoffrasen mit einer Lebensdauer von 20 oder 30 Jahren. Bei der Eutrophierung bleibt die Rangfolge beinahe gleich, da der Unterschied zwischen den eutrophierenden Emissionen von Natur- und Kunststoffrasensportfeldern pro Nutzungsstunde zu ausgeprägt ist. Lediglich ein Naturrasen mit Dränschicht mit einer doppelt so hohen Lebensdauer (40 Jahre) wie ein unverfüllter Kunststoffrasen (20 Jahre) verursacht tiefere eutrophierende Emissionen in Süsswasser.

Generell lässt sich festhalten, dass mit längerer Lebensdauer die Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde kleiner werden. Wenn die verschiedenen Rasentypen unterschiedliche Lebensdauer haben, ändern sich die Resultate. Je nach Indikator sind die Änderungen genügend gross, um die Rangfolge zu beeinflussen.

Abbildung 14:Treibhausgasemissionen in kg CO_2-eq (links) und Süsswasser-Eutrophierung in kg P-eq (rechts) pro theoretische Nutzungsstunde (800 h für Naturrasen mit Dränschicht und 1600 h für unverfüllten Kunststoffrasen) in Abhängigkeit zur Lebensdauer. Je länger die Lebensdauer, desto kleiner sind die Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde.

7.2.2 Nutzungsstunden

Die Nutzungsstunden haben einen grossen Einfluss auf die Umweltauswirkungen von Sportrasen insbesondere, weil die verschiedenen Rasentypen unterschiedliche maximale Nutzungsstunden zulassen. Bei

identischer Anzahl an Nutzungsstunden ist der bodennahe Naturrasen stets die beste und der verfüllte Kunststoffrasen die schlechteste Wahl für Treibhausgasemissionen sowie Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Abbildung 15 und Abbildung 16). Da aber Natur- und Hybridrasen weniger Nutzungsstunden ertragen, kann bei einer hohen Nutzung ein Kunststoffrasen tiefere Treibhausgasemissionen und eine tiefere Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit verursachen als ein Natur- oder Hybridrasen.

Ein Naturrasen mit Dränschichtbauweise, welcher 800 h pro Jahr bespielt wird, verursacht pro Nutzungsstunde etwa die gleiche Menge Treibhausgasemissionen wie ein unverfüllter Kunststoffrasen, der 1'600 h bespielt wird. Wird auf einem Kunststoffrasen nur eine Nutzungszeit von 800 h pro Jahr erreicht, verursacht dieser aber deutlich mehr Treibhausgasemissionen pro Nutzungsstunde als ein Naturrasen mit Dränschicht oder ein Hybridrasen (Abbildung 15).

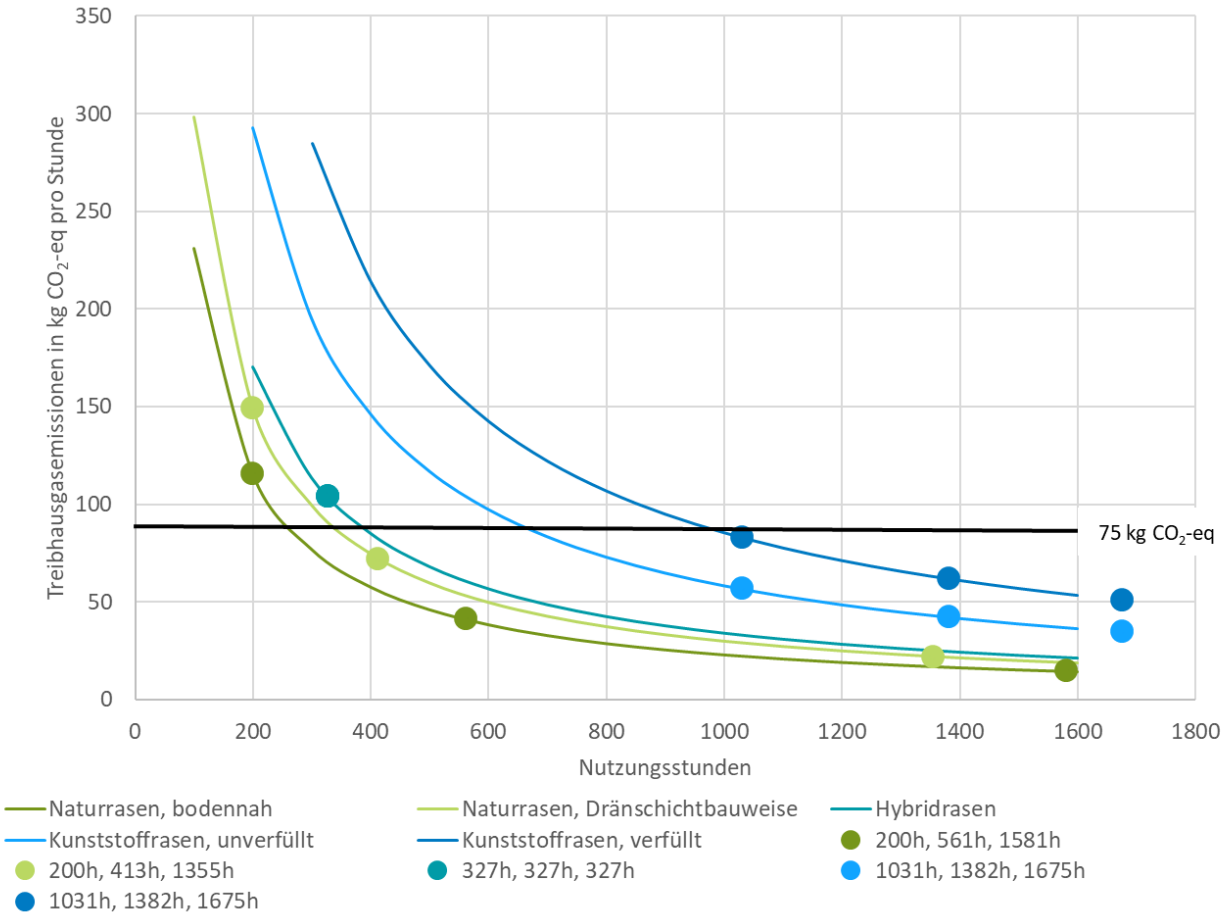

Abbildung 15: Treibhausgasemissionen in kg CO_2-ep. nach IPCC (2013), pro Nutzungsstunde in Abhängigkeit der Nutzungsintensität der Sportrasen. Visualisiert für die untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen mit Datenpunkten bei den effektiven Nutzungsstunden der untersuchten Sportrasen.

In Abbildung 16 ist die Gesamtumweltbelastung für die unterschiedlichen Rasensportfelder in Abhängigkeit der Nutzungsstunden dargestellt. Die tiefste und höchste Gesamtumweltbelastung verursachen der bodennahe Naturrasen und der verfüllte Kunststoffrasen wie bei den Treibhausgasemissionen in Abbildung 15. Der Verlauf der Gesamtumweltbelastung des Naturrasensportfelds mit Dränschichtbauweise, des Hybridrasensportfeldes und des unverfüllten Kunststoffrasensportfeldes sind beinahe identisch. Durch die höhere theoretische Anzahl Nutzungsstunden ist die erwartete Gesamtumweltbelastung tiefer für den unverfüllten Kunststoffrasen. Sofern die effektiven Nutzungsstunden aber nicht höher sind als 800 Stunden und bei allen drei Rasensportfeldern erreicht werden, resultiert für das Naturrasensportfeld mit Dränschichtbauweise, das Hybridrasensportfeld und das unverfüllte Kunststoffrasensportfeld nur ein marginaler Unterschied in der Gesamtumweltbelastung.

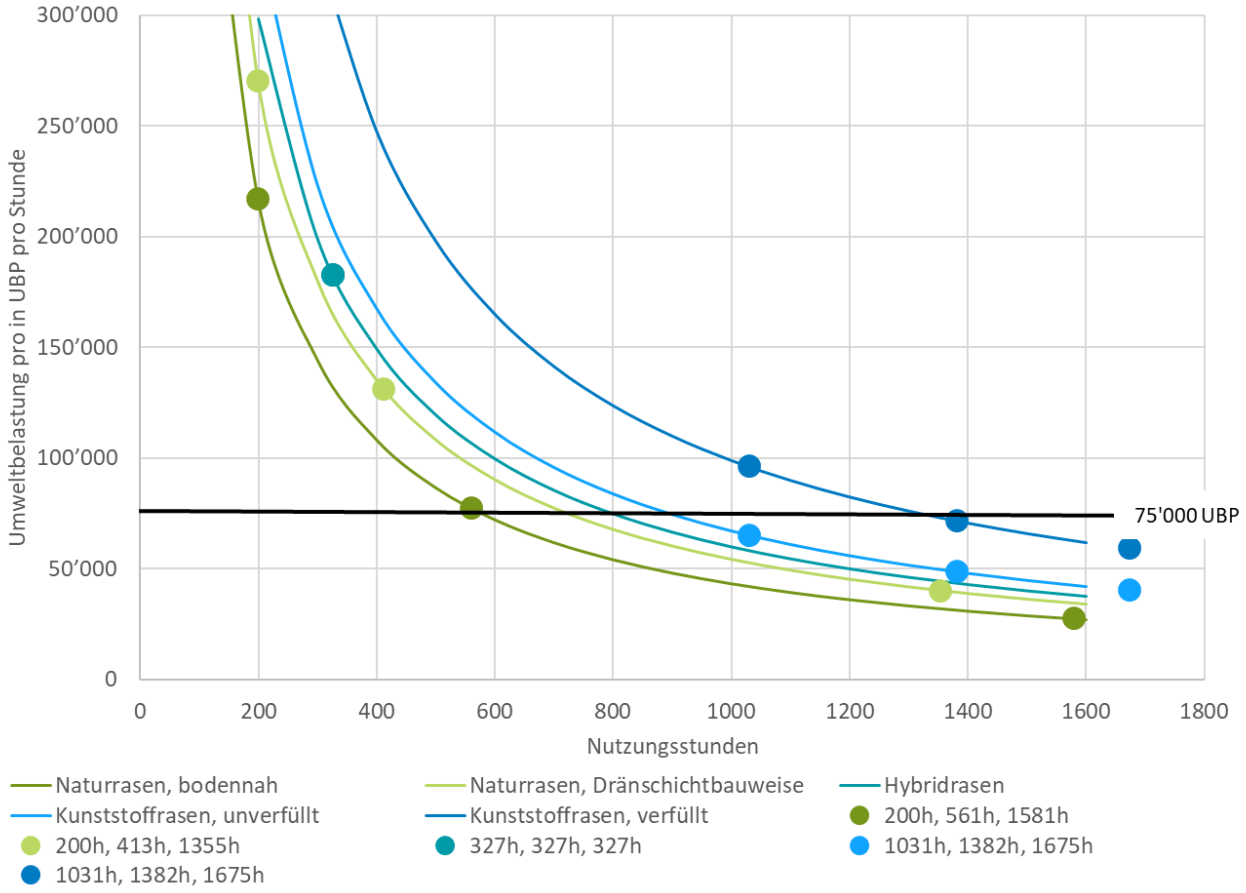

Abbildung 16: Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) pro Nutzungsstunde in Abhängigkeit der Nutzungsintensität der Sportrasen. Visualisiert für die untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen mit Datenpunkten bei den effektiven Nutzungsstunden der untersuchten Sportrasen. Bei identischer Anzahl an Nutzungsstunden ist der bodennahe Naturrasen stets die beste Wahl und der verfüllte Kunststoffrasen die schlechteste Wahl.

7.2.3 Rasenmähen

Grün Stadt Zürich mäht 90 % der untersuchten Natur- und Hybridsportrasen manuell mit einer dieselbetriebenen Maschine und 10 % mit einem Rasenmähroboter.

Abbildung 17 zeigt die Differenz der aktuellen Rasenpflege zu einer Rasenpflege, welche zu 100 % mit Rasenmähroboter gemäht wird. Da Grün Stadt Zürich bereits heute auf Ökostrom setzt, wurde dies bei den Berechnungen berücksichtigt. Durch das Ersetzen der dieselbetriebenen Mähmaschine mit einem elektrischen Mähroboter können die Umweltauswirkungen des bodennahen Naturrasens, je nach Indikator,

um bis zu 5 % reduziert werden. Beim Naturrasen mit Dränschichtbauweise und bei Hybridrasen wären die Reduktionen etwas kleiner, da bei diesen Rasentypen die Umweltauswirkungen aus Erstellung und Renovation mehr Gewicht haben.

Über den ganzen Lebenszyklus betrachtet, ist entsprechend die Wahl der Rasenmäher relevant aber nicht entscheidend. Die Treibhausgasemissionen sowie Luftschadstoffe, Primärenergieverbrauch und Eutrophierung können bis zu 5 % reduziert werden. Bezogen auf die gesamten Umweltauswirkungen sind die Düngung sowie der Erstellung relevanter als die Wahl des Rasenmähers.

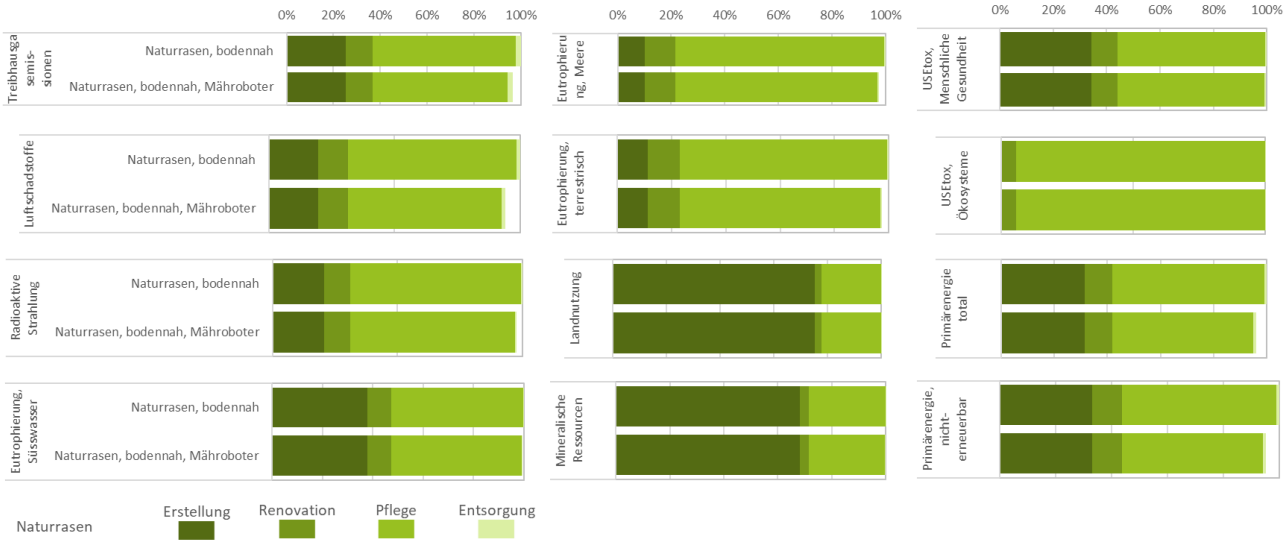

Abbildung 17: Umweltauswirkungen pro Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m² für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) für den bodennahen Naturrasen und den mit Mähroboter (Betrieb mit Ökostrom) gemähten bodennahen Naturrasen unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung.

Bei einem direkten Vergleich von herkömmlichem Mähen mit dieselbetriebener Maschine zu Mähen mit elektrischem Roboter ohne den Beitrag der weiteren Lebenszyklusphasen zeigt sich, wie stark die Umweltauswirkungen durch diese Massnahme reduziert werden können. Bei allen Indikatoren werden die Umweltauswirkungen um mindestens 40 % bis zu mehr als 90 % reduziert, wenn vom herkömmlichen Mähen auf das Mähen mit Roboter umgestiegen wird (Abbildung 18).

Für die Berechnung der Umweltauswirkungen des Rasenmähroboters, wurde die benötigte Energie berücksichtigt, sowie anteilmässig eine Baumaschine. Zudem wurde ein Akku mit einer geschätzten Lebensdauer von 2 Jahren berücksichtigt, was einer Mähleistung von zirka 80'000 m^2 entspricht.

Der Dieselverbrauch beim herkömmlichen Mähen ist höher als der Stromverbrauch beim elektrischen Mähroboter, da das Schnittgut beim herkömmlichen Mähen abtransportiert wird und die Maschine deutlich grösser ist. Entsprechend ist der Vergleich nicht ganz fair, da der Dieselverbrauch reduziert würde, falls das Schnittgut wie beim Mähroboter auf dem Rasensportfeld liegen bleibt. Durch Einsatz von Mährobotern anstelle von herkömmlichem Mähen sollten die Umweltauswirkungen dennoch reduziert werden können.

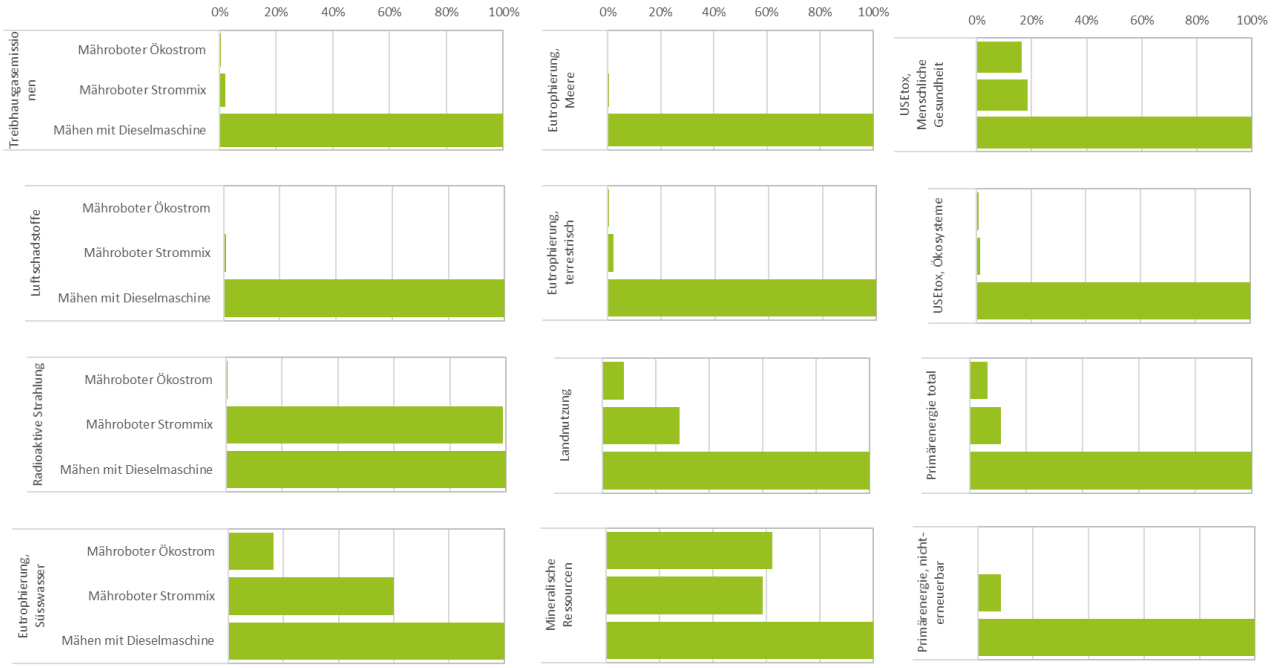

Abbildung 18: Umweltauswirkungen des Mähens von einem Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m^2 für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011). Das Mähen mit Mähroboter mit Ökostrom, mit Mähroboter mit Schweizer Strommix und mit dieselbetriebener Maschine.

Über den gesamten Lebenszyklus von Naturrasen hat das Mähen einen geringeren Einfluss, wie in Abbildung 17 ersichtlich ist. Da beim Mähen mit Roboter das Schnittgut liegen bleibt, gelangen Nährstoffe zurück in den Rasen, welche normalerweise abgeführt werden. Durch diesen Nährstoffrückfluss kann die Düngermenge reduziert werden. Der Studie von Heckman et al. (2000) zufolge liegt die Düngerersparnis bei 50 %. Dabei werden nicht nur durch die geringere Düngerproduktion Umweltauswirkungen reduziert, sondern auch

durch die resultierende Reduktion von Düngeremissionen. Derzeit führt in Zürich der Einsatz von Mährobotern zu keiner relevanten Reduktion des Düngereinsatzes, da der Düngereinsatz beim Einsatz von Mährobotern im Vergleich zum konventionellen Mähen nicht reduziert wird. In Abbildung 19 ist der untersuchte bodennahe Naturrasen gegenüber optimiertem, bodennahem Naturrasen gestellt. Der optimierte bodennahe Naturrasen wird mit elektrischem Rasenmähroboter (Ökostrom) gemäht und nur mit halber Düngermenge gedüngt. Dadurch werden die Treibhausgasemissionen und Luftschadstoff um 20 % reduziert. Die Umweltauswirkungen durch marine und terrestrische Eutrophierung sind um die 30 % geringer.

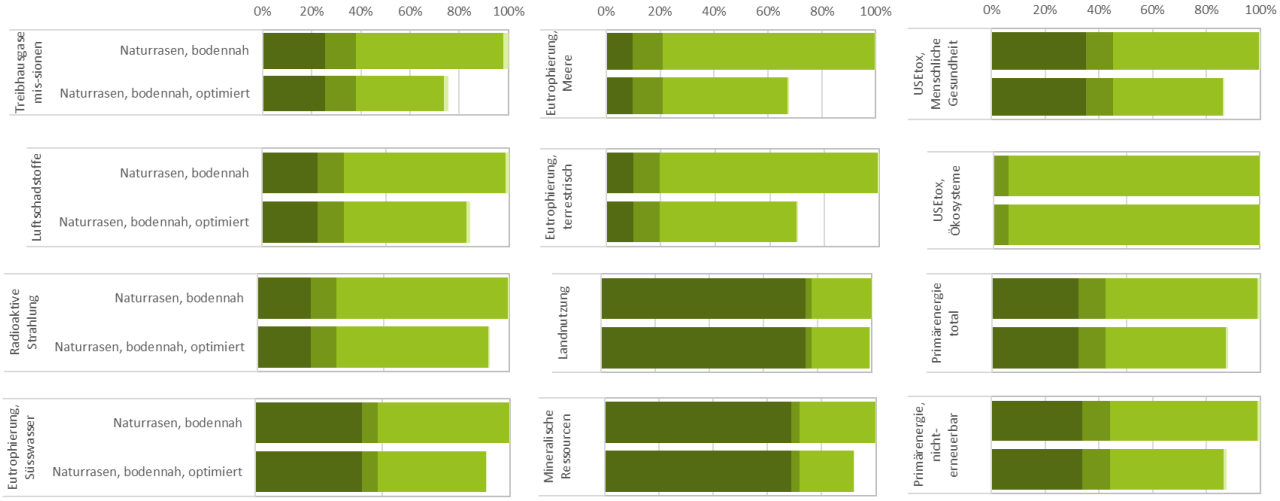

Abbildung 19: Umweltauswirkungen pro Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m² für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011). Für den bodennahen Naturrasen und den optimierten (50% weniger Düngeraufwand und Mähen mit Rasenmähroboter) bodennahen Naturrasen unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung.

7.2.4 Pflanzenschutz

Die untersuchten Natur- und der Hybridrasen wurden mit verschiedenen Fungiziden behandelt. Dabei wurden die Wirkstoffe Azoxystrobin, Chlorothalonil, Cyprodinil und Fludioxonil eingesetzt. Während der Erarbeitungszeit dieser Studie wurde dem Wirkstoff Chlorothalonil die Zulassung entzogen, dies aufgrund von überschrittenen Grenzwerten von Abbauprodukten im Grundwasser (Bundesamt für Landwirtschaft, 2019). GSZ wird in Zukunft kein Ersatzprodukt einsetzen, sondern die Dosierung der anderen Wirkstoffe

erhöhen. Da sich die vorliegende Studie auf die Jahre 2017 bis 2019 bezieht, wurde der Einsatz von Chlorothalonil bilanziert wie dies in den Jahren 2017 bis 2019 der Fall war.

Ein Vergleich der verschiedenen Fungizide, unter Berücksichtigung der Wirkstoffkonzentration und Aufwandmenge pro Fläche, zeigt grosse Differenzen. Unter Verwendung der Methode USEtox 2 nach Rosenbaum et al. (2011) können durch die Verwendung der Fungizide mit den Wirkstoffen Azoxystrobin, Cyprodinil und Fludioxonil die Umweltauswirkungen der Spritzmittel auf die menschliche Gesundheit um 70 - 77 % und die Umweltauswirkungen der Pflanzenschutzmittel auf die Ökosysteme um 68 - 97 % reduziert werden.

Der Einsatz der Pflanzenschutzmittel verursacht bei der Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit jedoch weniger als 5 % der gesamten Umweltbelastung eines Naturrasens. Der Wechsel vom Wirkstoff Chlorothalonil zu anderen Wirkstoffen hat zwar einen grossen Einfluss auf den Beitrag der Pflanzenschutzmittel, jedoch nur einen untergeordneten Einfluss auf die Gesamtumweltbelastung des gesamten Rasensportfeldes inklusive Erstellung, Renovation sowie Rückbau und Entsorgung.

7.3 Unsicherheitsanalyse (Monte-Carlo-Simulation)

Um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu beurteilen, wurde eine Monte-Carlo-Simulation für den gesamten Lebenszyklus des Rasensportfeldes durchgeführt. In der Monte-Carlo-Simulation wird ein Zufallswert innerhalb des angegebenen Unsicherheitsbereichs für jeden Sachbilanzeintrag zufällig gewählt. Insgesamt werden 10’000 Monte Carlo-Läufe berechnet, um eine Unsicherheitsverteilung abbilden zu können.

Die Unsicherheiten in der Fläche, der Lebensdauer und den Nutzungsstunden der Rasensportfelder sind in der Monte-Carlo-Simulation nicht berücksichtigt.

Aufgrund der Tendenz zur Unternutzung der Naturrasensportfelder mit Dränschichtaufbau sowie der exemplarischen effektiven Nutzungsstunden für Hybridrasensportfelder wurde für die Unsicherheitsanalyse die theoretischen Nutzungsstunden anstelle der effektiven Nutzungsstunden gewählt. Ebenfalls sind in Abschnitt 7.2.2 die Umweltauswirkungen in Abhängigkeit der Nutzungsstunden als Sensitivitätsanalyse beschrieben.

Die Monte-Carlo-Simulation bestätigt die tiefen Umweltauswirkungen des unverfüllten Kunststoffrasensportfeldes für alle betrachteten Wirkungsabschätzungsmethoden mit wenigen Ausnahmen,

bei welchen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten innerhalb der Unsicherheitsbereichs liegen. Dies betrifft hauptsächlich die Treibhausgasemissionen sowie den Primärenergiebedarf.

Das unverfüllte Kunststoffrasensportfeld verursacht unter Einbezug der Unsicherheiten tiefere Umweltauswirkungen für alle untersuchten Wirkungsabschätzungsmethoden als der bodennahe Naturrasen mit Ausnahme von Primärenergiedarf sowie als das Naturrasensportfeld mit Dränschicht mit Ausnahme von Treibhausgasemissionen und Primärenergiebedarf. Beim Primärenergiedarf im Falle des bodennahen Naturrasens und beim Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen im Falle des Naturrasensportfeldes mit Dränschicht liegen der Unterschiede zwischen bodennahem Naturrasen bzw. Naturrasensportfeld mit Dränschicht im Vergleich zum unverfüllten Kunststoffrasensportfeld innerhalb des Unsicherheitsbereichs.

Die Monte-Carlo-Simulation bestätigt ebenfalls die tieferen Umweltauswirkungen des unverfüllten Kunststoffrasensportfeldes im Vergleich zum verfüllten Kunststoffrasensportfeld mit Ausnahme der Landnutzung, bei welcher das unverfüllte Kunststoffrasensportfeld nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 60 % eine tiefere Landnutzung verursacht im Vergleich zum verfüllten Kunststoffrasensportfeld.

Abbildung 20 zeigt die Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) für den Vergleich von Naturrasensportfeld mit Dränschicht und unverfülltem Kunststoffrasensportfeld.

Basierend auf einer Monte-Carlo-Simulation mit 10’000 Durchgängen sind die Luftschadstoffe, die Radioaktive Strahlung, die Eutrophierung der Meere, des Süsswassers und die terrestrische Eutrophierung, die landnutzung, die mineralischen Ressourcen, USEtox Ökosysteme und die Gesamtumweltbelastung in mehr als 95 % der Fälle bei unverfülltem Kunststoffrasen tiefer als bei Naturrasen mit Dränschicht. Die Treibhausgasemissionen sind in 60 % der Fälle tiefer bei Naturrasen mit Dränschichtbauweise und Naturrasen mit Dränschichtbauweise hat in über 90 % der Fälle einen tieferen totalen Primärenergieverbrauch.

Die detaillierten Resultate der Monte-Carlo-Simulation für den Vergleich der übrigen Rasensportfelder sind in Anhang 4 ab Seite 96 dargestellt.

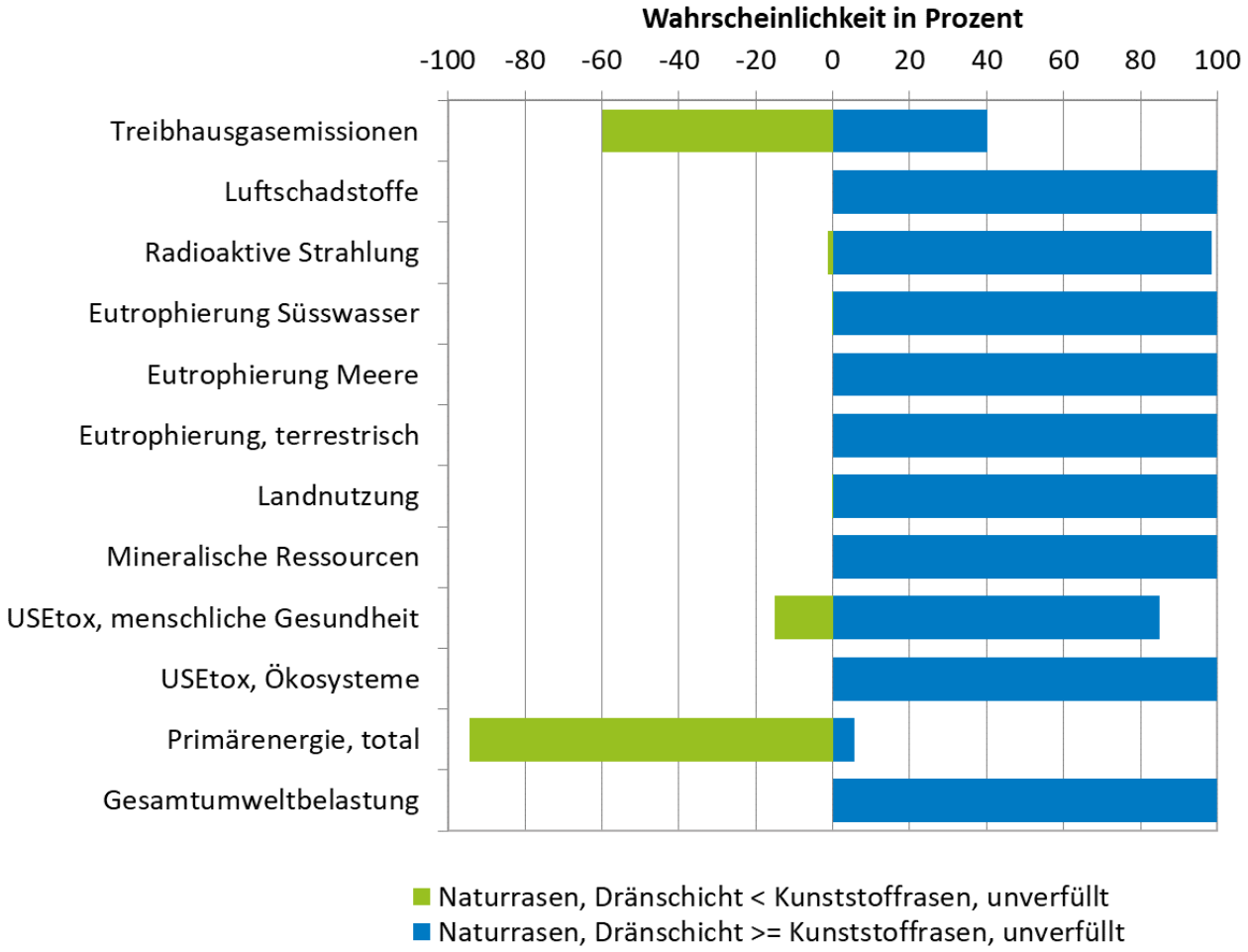

Abbildung 20: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen hat. Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

7.4 Unsicherheiten und Datenqualität

Im Allgemeinen sind die Daten zur Erstellung und zum Betrieb der Sportrasen von hoher Qualität, da diese direkt von Grün Stadt Zürich stammen und sehr detailliert erhoben wurden. Lediglich die Nutzungsstunden sowie die verwendeten Materialen für Hybridrasen sind exemplarisch, da die Angaben nur auf einem einzelnen Hybridrasen-Standort basieren.

Die Daten zum Dieselverbrauch bei der Erstellung der Rasensportfelder stammen ebenfalls von Grün Stadt Zürich. Der Dieselverbrauch für den Betrieb wurde basierend auf den Betriebsstunden der Maschinen abgeschätzt. Als Grundlage für die Annäherung wurden Verbrauchsdaten für kleine landwirtschaftliche Geräte verwendet. Über einen bekannten Verbrauch eines Aufsitz-Rasenmähers wurden die landwirtschaftlichen Daten auf den Sportplatz Betrieb transformiert. Die Datenqualität für den mengenmässig wichtigsten Dieselverbrauch (Vergleich Abbildung 4, Seite 16) ist hoch.

Die Herstellung der meisten Materialien, welche bei der Erstellung und dem Betrieb von den untersuchten Rasen verwendet werden, basiert auf Hintergrunddaten aus der ecoinvent-Datenbank. Eine Annäherung von Materialien musste nur in wenigen Fällen gemacht werden, welche im Folgenden erläutert werden.

Für die Rasentragschicht werden bei Naturrasen mit Dränschicht und bei Hybridrasen Lavamaterialien verwendet. Detaillierte Daten über die Gewinnung der Lavamaterialien sind nicht verfügbar. Da dieses Material aber nicht künstlich hergestellt, sondern im Steinbruch abgebaut wird, wurde für die Berechnungen Daten von Kalkstein verwendet. Die Umweltauswirkungen der Tragschicht entsteht bei allen berücksichtigten Midpoint-Kategorien zu mindestens 90 % durch den Quarzsand und die Transporte. Der Einfluss der Lavamaterialien ist daher nicht relevant.

Beim verfüllten Kunststoffrasen kommt Füllmaterial zum Einsatz. Bei dem untersuchten verfüllten Kunststoffrasen handelt es sich dabei um Ethylen-Propylen-Dien-(Monomer)-Kautschuk (EPDM). Dieses Material verursacht bei der Midpoint-Kategorie mineralische Ressourcen 72 % der Umweltbelastungen des Deckbelags. Bei allen anderen Midpoint-Kategorien liegt der Einfluss zwischen 5 % und 37 %. Für das EPDM wurde der ecoinvent-Datensatz «synthetic rubber» verwendet, welcher unter anderem aus Polyethylen und Polypropylen besteht. Die Umweltbelastung durch PE und PP ist sehr ähnlich, wodurch unterschiedliche Anteile keinen Einfluss auf das Resultat haben. Andere Stoffe im EPDM könnten die Umweltbelastung des Deckbelages beeinflussen.

Die Auswirkungen, welche durch den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt entstehen, wurden mit den in dieser Studie verwendeten Wirkungsabschätzungs-Methoden nicht bewertet. Um Mikroplastikemissionen

zu minimieren sollten unverfüllte Kunststoffrasen gegenüber verfüllten Kunststoffrasen bevorzugt werden, oder Natur- und Hybridrasen verwendet werden.

Bei der Pflege von Naturrasen hat der Düngerverbrauch einen grossen Einfluss auf verschiedene Umweltindikatoren. In fünf der untersuchten zwölf Midpoint-Kategorien liegt der Anteil des Düngens bei 40 % und mehr. Bei der marinen und der terrestrischen Eutrophierung liegt der Anteil des Düngens sogar bei 75 % und 64 %. Für die Berechnung der Düngermenge wurde für jedes Düngeprodukt, welches die Grün Stadt Zürich einsetzte, die Nährstoffmengen berücksichtigt. Daraus leitete sich eine genaue durchschnittliche Düngergabe ab. Die Emissionsberechnung erfolgte nach Nemecek & Schnetzer (2011) und Nemecek et al. (2007).

Die Lebensdauer der Sportrasen wurde bei 30 Jahren angesetzt, obwohl die tatsächliche Lebensdauer variiert und in der Stadt Zürich gemäss Erfahrungswerten von GSZ zum Teil höher sein kann. Die 30 Jahren wurden als durchschnittlicher Annäherungswert gewählt. Im Einzelfall kann bei einem Neubau eines Sportrasens kaum eine Aussage gemacht werden, wie die Situation am konkreten Standort nach mehr als 30 Jahren aussieht. Da die Lebensdauer einen grossen Einfluss auf die Ökobilanz hat, wurden in einer Sensitivitätsanalyse die Auswirkungen einer verlängerten Lebensdauer aufgezeigt (siehe Abschnitt 7.2.1).

7.5 Empfehlungen für die Stadt Zürich

Die Umweltauswirkungen der Rasensportfelder in Stadt Zürich können wirkungsvoll durch eine Optimierung der Nutzungsintensität der bestehenden Felder reduziert werden. Mit einer optimierten Nutzung wird zudem effizient der Druck nach zusätzlichen Rasensportflächen verringert. Generell gilt, dass intensiv genutzte Plätze pro Nutzungsstunde deutlich geringere Umweltauswirkungen haben als extensiv genutzte.

Die Daten zu den Nutzungsstunden legen den Schluss nahe, dass die vorhandene Rasensportinfrastruktur in der Stadt noch nicht optimal genutzt wird. Deshalb sollte, bevor Neu- oder Umbauten durchgeführt werden, zuerst die Belegung der vorhandenen Spielfelder optimiert werden.

Bei der Planung neuer Sportrasen sollte immer eine möglichst genaue Abschätzung erfolgen, wie viele Nutzungsstunden erfolgen werden, damit der optimale Typ Rasen für das Feld gewählt werden kann. Das heisst, bei hoher Nutzungsintensität eher ein Kunststoffrasen, bei nicht ganz so hoher Nutzung eine Form des Naturrasens. Grundsätzlich sollten Standorte gewählt werden, welche eine möglichst hohe Anzahl an Nutzungsstunden ermöglichen.

Ein Naturrasen (bodennah oder mit Dränschichtbauweise) hat bei derselben Anzahl Nutzungsstunden eine tiefere Gesamtumweltbelastung als ein Kunststoffrasen. Wenn ein Rasensportfeld weniger als die theoretisch möglichen Nutzungsstunden eines Naturrasens bespielt wird, kann daher ein Naturrasen empfohlen werden.

Muss ein Rasensportfeld sowohl eine hohe Qualität haben als auch mehr genutzt werden als die theoretischen 800 h für Naturrasen mit Dränschicht oder 1000 h für Hybridrasen, so wird unverfüllter Kunststoffrasen empfohlen. Bei Kunststoffrasen ist aus Umweltsicht in jedem Fall ein unverfüllter Kunststoffrasen zu bevorzugen.

Verfüllte und – wenn auch in geringerem Masse - unverfüllte Kunststoffrasen verursachen Mikroplastikemissionen. Bei den verfüllten Kunststoffrasen gibt es zwei direkte Quellen: (1) Abrieb aus dem Kunststoffrasenteppich sowie (2) Austrag von Füllgranulat. Bei den unverfüllten Kunststoffrasen entstehen die direkten Mikroplastikemissionen nur durch den Abrieb aus dem Kunststoffrasenteppich.

Zurzeit werden nahezu alle Kunststoffrasen aus neuem Kunststoff produziert. Durch die Verwendung von Recyclingkunststoffen könnten Ressourcen eingespart werden. Eine Kundin wie die Stadt Zürich könnte oder sollte bei den Kunststoffrasenproduzenten aktiv werden, damit diese ihre Produkte umweltfreundlicher gestalten. Auch könnte untersucht werden, ob bestehende Kunststoffrasen erneuert oder rezykliert werden könnten, ohne dass diese nach wenigen Jahren in der Kehrichtverbrennungsanlage entsorgt werden müssen.

Die Wahl des Rasenfeldtyps kommt nur beim Neubau oder dem Ersatz von Sportrasen zum Tragen. Bei bestehenden Sportrasen gibt es aber Möglichkeiten, den Unterhalt des bestehenden Typs in Hinsicht auf die Umweltbelastung zu optimieren.

Bei den untersuchten Natur- und dem Hybridrasen verursacht das Düngen zwischen 16 % - 27 % der Treibhausgasemissionen und 44 % und 61 % der terrestrischen und marinen Eutrophierung (Abbildung 6, Seite 22). Den grössten Anteil der Umweltbelastung des Düngens hat der Stickstoffdünger. Hier besteht ein wesentlicher Hebel zur Verbesserung der Ökobilanz, notabene ein Hebel der jederzeit betätigt werden kann. Laut Heckman et al. (2000) könnte die Menge des Stickstoffdüngers halbiert werden, wenn das Schnittgut nicht abgeführt wird, sondern als Mulch auf dem Rasen liegenbleibt. Wenn die jährliche Düngermenge reduziert werden könnte ohne, dass die Qualität des Rasens abnimmt, würde damit die Umweltbelastung der Natur- und Hybridrasen deutlich gesenkt. Die zitierte Studie untersuchte lediglich eine Grasart, daher müsste der Nutzen des Mulchens noch genauer untersucht werden (Kapitel 7.2.1).

Durch eine Umstellung von Mähen mit Grasaufnahme zu Mulchen ergibt sich ein weiter Vorteil: Zum Mulchen bräuchte es nicht mehr eine dieselbetriebene Maschine, sondern ein elektrischer Mähroboter

würde für diesen Arbeitsgang ausreichen. Das Mähen der Sportrasen trägt zwar nur einen Anteil von knapp 6 % zur Gesamtumweltbelastung bei (Naturrasen in Dränschichtbauweise), dennoch könnte dieser Anteil durch die Umstellung von Diesel auf zertifizierten Ökostrom und den Wegfall von Rasenschnitt als Grüngut signifikant reduziert werden. Ein Vergleich in Abbildung 19 auf Seite 45 zeigt, dass durch das Mulchen mit elektrischem Rasenmähroboter und dem dadurch um potenziell 50 % reduzierten Düngeeinsatz die Umweltbelastung von bodennahem Naturrasen um 30 % reduziert werden kann.

Mit diesen Empfehlungen unterstützt die Ökobilanzstudie den Auftraggeber Grün Stadt Zürich bei der ökologischen Optimierung der Planung und Bewirtschaftung ihrer Rasensportfelder. Mit dieser Studie ist ein Baustein gelegt, um die Anlagen für Fussball und weitere Rasensportarten, den Sportanlagen, die den grössten Fussabdruck auf der Stadtkarte hinterlassen, auf den Pfad einer nachhaltigen Entwicklung zu einer 2000-Watt-Gesellschaft zu führen. Neben GSZ und Sportamt als Betreiber dieser Infrastruktur sind auch die einzelnen Sportlerinnen und Sportler gefordert, ihren Beitrag für einen nachhaltigen Sport mit tiefem ökologischem Fussabdruck zu leisten, indem sie sich auf den Anlagen umweltschonend verhalten und umweltfreundliche Verkehrsmittel für die Anreise wählen.

8 LITERATURVERZEICHNIS

Baumüller, J., & Ahmadi, Y. (2016). *Beitrag von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen Und Freiraumplanerischen Gestaltungselementen Zur Verbesserung Des Stadtklimas* (SAMUWA Publikation). im Rahmen des Forschungsprojekts „Stadt als hydrologisches System im Wandel. Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts“ (SAMUWA).

Bertling, J. (2019). *Kunststoffemissionen Aus Kunstrasenplätzen*. Oberhausen: Fraunhofer UMSICHT.

Bertling, J., Bertling, R., & Hamann, L. (2018). *Kunststoffe in Der Umwelt: Mikro- Und Makroplastik* (Konsortialstudie). Oberhausen: Fraunhofer UMSICHT.

Bos, U., Horn, R., Beck, T., Lindner, J., & Fischer, M. (2016). *LANCA. Characterization Factors for Life Cycle Impact Assessment, Version 2.0*.

Bundesamt für Energie. (2019). *FW-Emissionsfaktoren-2018 Kurzbericht* (p. 11). Bern.

Bundesamt für Gesundheit. (2017). *Gesundheitsgefährdung Durch Kunstrasen?* (Faktenblatt Kunstrasen). Eidgenössisches Departement des Innern EDI.

Bundesamt für Landwirtschaft. (2019, December 12). Zulassung Für Chlorothalonil Wird Mit Sofortiger Wirkung Entzogen.

ecoinvent Centre. (2007). *Ecoinvent Data v2.01, Ecoinvent Reports No. 1-25*. Duebendorf, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

ecoinvent Centre. (2018). *Ecoinvent Data v3.5*. Zürich: ecoinvent Centre, the Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Fantke, P., Evans, J., Hodas, N., Apte, J., Jantunen, M., Jolliet, O., & McKone, T. E. (2016). *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators - Health Impacts of Fine Particulate Matter* (No. Volume 1). UNEP-SETAC Life Cycle Initiative.

Fath, A. (2019). *Mikroplastik: Verbreitung, Vermeidung, Verwendung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Fazio, S., Castellani, V., Sala, S., Schau, E., Zampori, L., & Diaconu, E. (2018). *Supporting Information to the Characterisation Factors of Recommended EF Life Cycle Impact Assessment Method*. Ispra, Italy: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.

Frischknecht, R., Braunschweig, A., Hofstetter, P., & Suter, P. (2000). Modelling Human Health Effects of Radioactive Releases in Life Cycle Impact Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, *20*(2), 159–189.

Frischknecht, R., Büsser Knöpfel, S., Flury, K., Stucki, M., & Ahmadi, M. (2013). *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., & Spielmann, M. (2004). The Ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework. *Int J LCA*, *10*(1), 3–9.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., & Spielmann, M. (2007). *Overview and Methodology*. Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M. A. J., De Schryver, A., Struijs, J., & van Zelm, R. (2009). *ReCiPe 2008 - A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level. First Edition. Report I: Characterisation*. NL.

Graber, H. (2016). *121 – Naturrasen Planungsgrundlagen*. Basel: Wolf Hunziker AG im Auftrag des Bundersamtes für Sport (BASPO).

Grüne Fraktion Leipzig. (2019, June 7). Anfrage: Konsequenzen Aus Drohendem Verbot von Kunstrasenplätzen Aus Mikroplastik.

Hann, S., Sherrington, C., Jamieson, O., Hickman, M., Kershaw, P., Bapasola, A., & Cole, G. (2018). *Investigating Options for Reducing Releases in the Aquatic Environment of Microplastics Emitted by (but Not Intentionally Added in) Products*. London, UK: Eunomia Research & Consulting Ltd.

Hauschild, M., Goedkoop, M., Guinée, J., Heijungs, R., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O., Margni, M., & De Schryver, A. (2011). *Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context - Based on Existing Environmental Impact Assessment Models and Factors*. European Commission - DG Joint Research Centre, JRC, Institute for Environment and Sustainability (IES).

Heckman, J. R., Liu, H., Hill, W., DeMilia, M., & Anastasia, W. L. (2000). Kentucky Bluegrass Responses to Mowing Practice and Nitrogen Fertility Management. *Journal of Sustainable Agriculture*, *15*(4), 25–33.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

ISO. (2006). *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. ISO 14040:2006;* Geneva: International Organization for Standardization (ISO).

ISO. (2017). *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. ISO 14044:2006/AMD 1:2017*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO).

Jungbluth, N., Itten, R., & Stucki, M. (2012). *Umweltbelastungen des privaten Konsums und Reduktionspotenziale*. Uster, CH: ESU-services Ltd. im Auftrag des BAFU.

Kay, J., & Vamplew, W. (2006). Under the Weather: Combating the Climate in British Sport [1]. *Sport in Society*, *9*(1), 94–107.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). (2017). KTBL-Dieselbedarf.

Lassen, C., Hansen, S., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Rehne Jensen, P., Nielsen, T. G., & Brinch, A. (2015). *Microplastics - Occurrence, Effects and Sources of Releases to the Environment in Denmark*. Copenhagen, DK: Danish Environmental Protection Agency.

Løkkegaard, H., Malmgren-Hansen, B., & Nilsson, N. H. (2018). *Mass Balance of Rubber Granulate Lost from Artificial Turf Fields, Focusing on Discharge to the Aquatic Environment*. Viborg, Denmark: Teknologisk Institut (Danish Technological Institute).

Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Stadmark, J., & Voisin, A. (2016). *Swedish Sources and Pathways for Microplastics to the Marine Environment*. Copenhagen, DK: Swedish Environmental Protection Agency.

Nemecek, T., Heil, A., Huguenin, O., Meier, S., Erzinger, S., Blaser, S., Dux., D., & Zimmermann, A. (2007). *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems*. Dübendorf, CH: Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Nemecek, T., & Schnetzer, J. (2011). *Methods of Assessment of Direct Field Emissions for LCIs of Agricultural Production Systems*. Zurich: Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART.

Posch, M., Seppälä, J., Hettelingh, J.-P., Johansson, M., Margni, M., & Jolliet, O. (2008). The Role of Atmospheric Dispersion Models and Ecosystem Sensitivity in the Determination of Characterisation Factors for Acidifying and Eutrophying Emissions in LCIA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *13*(6), 477.

PRé Consultants. (2019). *SimaPro 9 Multi User*. Stationsplein 121, 3818 LE Amersfoort, The Netherlands 2014.

Qian, Y., & Follett, R. (2002). Assessing Soil Carbon Sequestration in Turfgrass Systems Using Long-Term Soil Testing Data. *Agronomy Journal - AGRON J*, *94*.

Regnell, F. (2017). *Mikroplaster från konstgräsplaner : Orsaker till spridning av mikroplaster samt en kvalitativ analys av spridningen till dränerings- och dagvattenbrunnar*.

Regnell, F. (2019). *Dispersal of Microplastic from a Modern Artificial Turf Pitch with Preventive Measures - Case Study Bergaviks IP, Kalmar*. ecoloop.

Rosenbaum, R. K., Huijbregts, M. A. J., Henderson, A. D., Margni, M., McKone, T. E., van de Meent, D., Hauschild, M. Z., Shaked, S., Li, D. S., Gold, L. S., & Jolliet, O. (2011). USEtox - the UNEP-SETAC Toxicity Model: Recommended Characterisation Factors for Human Toxicity and Freshwater Ecotoxicity in Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *16*(8), 710–727.

Schüler, D., & Stahl, H. (2008). *Ökobilanz für den Vergleich der Umweltauswirkungen von Natur-und Kunstrasenspielfeldern. Endbericht.* Darmstadt, Deutschland: Öko-Institut eV.

Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M., & Hettelingh, J.-P. (2006). Country-Dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator (14 Pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *11*(6), 403–416.

Thoms, A. W., Brosnan, J. T., Zidek, J. M., & Sorochan, J. C. (2014). Models for Predicting Surface Temperatures on Synthetic Turf Playing Surfaces. *Procedia Engineering*, *72*, 895–900.

Treeze. (2017). Transportation Calculator.

van Oers, L., de Koning, A., Guinée, J. B., & Huppes, G. (2002). *Abiotic Resource Depletion in LCA - Improving Characterisation Factors for Abiotic Resource Depletion as Recommended in the New Dutch LCA Handbook*. Leiden, NL: Road and hydraulic engineering institute.

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The Ecoinvent Database Version 3 (Part I): Overview and Methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *21*(9), 1218–1230.

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Systembild des Kunststoffrasensportfeldes. Orangegefärbte Prozesse sind bei allen Kunststoffrasen vorhanden, hellgrüngefärbte Prozesse sind nur bei den verfüllten Kunststoffrasen vorhanden. 8

Abbildung 2: Systembild der Natur- und Hybridrasen. Orangegefärbte Prozesse sind bei allen Natur- und Hybridrasen vorhanden, hellgrüngefärbte nur bei den Naturrasen mit Dränschichtbauweise und den Hybridrasen, gelbgefärbte Prozesse sind nur bei den Hybridrasen vorhanden. 9

Abbildung 3: Dieselverbrauch in 1000 Liter dargestellt, welcher bei der Erstellung eines Rasensportfeldes anfällt. Die Dieselverbräuche sind anhand des Aufbaus unterteilt und nach Rasenportfeld gruppiert. 15

Abbildung 4: Dieselverbrauch pro Sportplatz und Pflegejahr. Die Pflege von Hybrid- und Naturrasen ist identisch und verursacht einen deutlich höheren Dieselverbrauch als die Pflege von Kunststoffrasen. Das Mähen, sowie das Aufnehmen beim Natur- und Hybridrasen sind dabei die grössten Faktoren...16

Abbildung 5: Boxplot für die Verteilung der effektiven Nutzungsstunden für die unterschiedlichen Rasenportfelder. 50 % der Werte für die effektiven Nutzungsstunden liegen innerhalb der grauen Box, die blauen Punkte entsprechen dem Mittelwert und die schwarze Linie dem Median. Die Balken zeigen die entsprechenden Minima und Maxima. 19

Abbildung 6: Umweltauswirkungen pro Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m^2 für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) für die fünf verschiedenen Rasensportfelder unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung.....22

Abbildung 7: Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung. Die theoretische Anzahl Nutzungsstunden betragen 480 und 800 Stunden für Naturrasen bodennah und Dränschichtbauweise sowie 1'000 und 1'600 Stunden für Hybrid-und Kunststoffrasenspielfelder.....24

Abbildung 8: Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro effektive Nutzungsstunde nach den Nutzungsdaten von Grün Stadt Zürich für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und

Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung. Die effektive Anzahl Nutzungsstunden betragen 561 und 413 Stunden für Naturrasen bodennah und in Dränschichtbauweise sowie 327 und 1382 Stunden für Hybrid-und Kunststoffrasensportfelder. * die Nutzungsstunden für das Hybridrasensportfeld basieren auf nur einer Anlage und sind daher nur exemplarisch.....26

Abbildung 9: Umweltbelastung der untersuchten Rasenspielfelder pro Rasenspielfeld und Jahr über einen Nutzungsdauer von 30 Jahren nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) unterteilt in die Beiträge von Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffen, mineralischen Ressourcen, Wasserschadstoffe, Schwermetalle, Pflanzenschutzmitteln und übrige Umweltauswirkungen.....28

Abbildung 10: Gesamtumweltbelastung pro Rasenspielfeld und Jahr über einen Nutzungsdauer von 30 Jahren nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) unterteilt in die Beiträge von Erstellung (grüner Farbton), Renovation (violett), Pflege (blauer Farbton) sowie Rückbau und Entsorgung (gelber Farbton).....29

Abbildung 11: Gesamtumweltbelastung der untersuchten Rasenspielfeldern nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) pro theoretische und effektive Nutzungsstunde unterteilt in die Beiträge von Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffen, mineralischen Ressourcen, Wasserschadstoffe, Schwermetalle, Pflanzenschutzmittel und übrige Umweltauswirkungen 30

Abbildung 12: Abgeschätzte Emissionen von Mikroplastik pro Rasensportfeld und Jahr basierend auf dem ersetzten Füllmaterial für die untersuchten Rasenspielfelder unterteilt in die Beiträge von Erstellung (dunkler Farbton), Renovation (mittlerer Farbton) und Pflege (heller Farbton). Disclaimer: Mikroplastikemissionen für den verfüllten Kunststoffrasen sind abgeschätzt und differenzieren nicht zwischen Emissionspfaden; Mikroplastikemissionen für Naturrasen sowie Hybrid- und unverfüllten Kunststoffrasen sind pro Memoria aufgeführt, können aber nicht quantifiziert werden. 34

Abbildung 13: Vergleich der Resultate dieser Studie mit den Resultaten von Schüler & Stahl (2008) unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung für Treibhausgasemissionen und die Eutrophierung von Süsswasser. Anhand der Daten von Schüler & Stahl (2008) konnten diese nur in Erstellung und Pflege unterteilt werden. Die Renovation und Entsorgung sind in der Erstellung und der Pflege enthalten. 38

Abbildung 14:Treibhausgasemissionen in kg CO_2-eq (links) und Süsswasser-Eutrophierung in kg P-eq (rechts) pro theoretische Nutzungsstunde (800 h für Naturrasen mit Dränschicht und 1600 h für unverfüllten Kunststoffrasen) in Abhängigkeit zur Lebensdauer. Je länger die Lebensdauer, desto kleiner sind die Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde. 40

Abbildung 15: Treibhausgasemissionen in kg CO_2-ep. nach IPCC (2013), pro Nutzungsstunde in Abhängigkeit der Nutzungsintensität der Sportrasen. Visualisiert für die untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen mit Datenpunkten bei den effektiven Nutzungsstunden der untersuchten Sportrasen. 42

Abbildung 16: Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013) pro Nutzungsstunde in Abhängigkeit der Nutzungsintensität der Sportrasen. Visualisiert für die untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen mit Datenpunkten bei den effektiven Nutzungsstunden der untersuchten Sportrasen. Bei identischer Anzahl an Nutzungsstunden ist der bodennahe Naturrasen stets die beste Wahl und der verfüllte Kunststoffrasen die schlechteste Wahl.....43

Abbildung 17: Umweltauswirkungen pro Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m^2 für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) für den bodennahen Naturrasen und den mit Mähroboter (Betrieb mit Ökostrom) gemähten bodennahen Naturrasen unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung. 44

Abbildung 18: Umweltauswirkungen des Mähens von einem Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m^2 für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011). Das Mähen mit Mähroboter mit Ökostrom, mit Mähroboter mit Schweizer Strommix und mit dieselbetriebener Maschine. 45

Abbildung 19: Umweltauswirkungen pro Rasenspielfeld mit einer Fläche von 7420 m^2 für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011). Für den bodennahen Naturrasen und den optimierten (50% weniger Düngeraufwand und Mähen mit Rasenmähroboter) bodennahen Naturrasen unterteilt in die Beiträge von Erstellung, Renovation, Pflege und Entsorgung. 46

Abbildung 20: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen

hat. Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 49

Abbildung 21: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 97

Abbildung 22: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 98

Abbildung 23: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 100

Abbildung 24: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen

hat. Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 102

Abbildung 25: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 103

Abbildung 26: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 105

Abbildung 27: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 106

Abbildung 28: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der

hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 107

Abbildung 29: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen. 109

10 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht über die verschiedenen untersuchten Rasensportfelder in der Stadt Zürich 4

Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Wirkungsabschätzungsmethoden. 11

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Prozesse inklusive Inputs mit den verschiedenen Sportrasentypen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nicht alle Pflegearbeiten in dieser Tabelle aufgeführt. 13

Tabelle 4: Art und Anzahl der Rasensportfelder in der Stadt Zürich.....14

Tabelle 5: Theoretische und effektive Nutzungsstunden der untersuchten Sportrasen anhand von Erfahrungswerten durch Grün Stadt Zürich[4] sowie basierend auf den Planungsgrundlagen für Naturrasen des Bundesamtes für Sport (Graber, 2016) . Die effektiven Werte beziehen sich auf das zweite Halbjahr 2019 und wurden extrapoliert 18

Tabelle 6: Übersicht von Studien zum Austrag von Mikroplastik aus Rasensportfeldern 33

Tabelle 7: Auszug aus den Sachbilanzmodellen dieser Studie im Vergleich mit der Ökobilanz von Schüler & Stahl (2008). 39

Tabelle 8: Sachbilanz des Unterbaus der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 68

Tabelle 9: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung des Unterbaus von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich.....69

Tabelle 10: Sachbilanz der Sauger- und Sammlerleitungen der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 70

Tabelle 11: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Sauger- und Sammlerleitungen von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich. 70

Tabelle 12: Sachbilanz der Dränschicht der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 71

Tabelle 13: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Dränschicht von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne

Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich.....71

Tabelle 14: Sachbilanz der Tragschicht der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 72

Tabelle 15: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der (Rasen)Tragschicht von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich.....73

Tabelle 16: Die Tabelle zeigt die Elastikschicht des Unterbaus der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 74

Tabelle 17: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Elastikschicht von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich 75

Tabelle 18: Sachbilanz des Deckbelages der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 76

Tabelle 19: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung des Deckbelags von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich 76

Tabelle 20: Sachbilanz der Ausstattungen der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 78

Tabelle 21: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Ausstattungen von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich.....78

Tabelle 22: Sachbilanz der Renovationder untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen. 80

Tabelle 23: Berücksichtige Transportwege für die Renovation der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich.....80

Tabelle 24: Sachbilanz des Rückbaus und der Entsorgung der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.....82

Tabelle 25: Berücksichtige Transportwege für den Rückbau und die Entsorgung der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich.....83

Tabelle 26: Sachbilanz der Pflege der untersuchten Natur- und Hybridrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für die Pflege eines Quadratmeters Sportrasen pro Jahr.....85

Tabelle 27: Sachbilanz der Pflege der untersuchten Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für die Pflege eines Quadratmeters Sportrasen pro Jahr.....87

Tabelle 28: Dieselverbrauch der verschiedenen Pflegearbeiten. Berechnet mit dem Dieselbedarfsrechner (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), 2017) und an kleinere Flächen angeglichen anhand des Dieselbedarfs eines Aufsitzmähers mit dem Faktor 1.306. Die Umrechnung in den Verbrauch pro Stunde erfolgte mit dem Zeitaufwand, welcher für die Pflegearbeiten für Sportplätze benötigt wird.....88

Tabelle 29: Verwendete Wirkstoffe und Mengen für den Pflanzenschutz / die Pflanzenstärkung eines Natur- / Hybridrasen pro Jahr. Referenzjahr 2018.....91

Tabelle 30: Resultate der untersuchten Rasensportfelder pro Quadratmeter. Die Fläche der untersuchten Sportrasen beträgt 7420m^2. Die Umweltauswirkungen richten sich nach den Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), nach der Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), nach der Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011). nach dem Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) und nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013).....95

ANHANG 1 SACHBILANZ ERSTELLUNG

A1.1 UNTERBAU

In einem ersten Schritt bei der Erstellung eines Rasensportfeldes wird der Unterbau (Tabelle 8) erstellt, für welchen Dieselbetriebene Baumaschinen und Transporte benötigt werden. Die bestehende Wiese wird in Form von Grüngut mit einer Dichte von 650 kg/m^3 entsorgt.

Tabelle 8: Sachbilanz des Unterbaus der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, ground-like	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH	CH	CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no	no	no	no
	Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Production	Substructure, football pitch, natural turf, ground-like {CH}	m2	1.0				
	Substructure, football pitch, natural turf, drain-layer-construction {CH}	m2		1.0			
	Substructure, football pitch, hybrid turf, drain-layer-construction {CH}	m2			1.0		
	Substructure, football pitch, synthetic turf, unfilled {CH}	m2				1.0	
	Substructure, football pitch, synthetic turf, filled {CH}	m2					1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	1.36E+01	2.54E+01	2.54E+01	3.35E+01	3.35E+01
	Quicklime, milled, packed {RER}| market for q	kg				8.09E+00	8.09E+00
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| market for | Cut-off, U	MJ	1.37E+01	1.81E+01	1.81E+01	2.40E+01	2.40E+01
Waste	Biowaste {CH}| market for | Cut-off, U	kg	3.50E+01	3.50E+01	3.50E+01	3.50E+01	3.50E+01

Die berücksichtigten Transporte sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung des Unterbaus von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich[8].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]					Transportmittel
				Naturrasen		Hybridrasen	Kunststoffrasen		
				bodennah	Drän-schicht		unverfüllt	verfüllt	
Aushub	Zürich	Rafzerfeld	50	1’350	2’700	2’700	3’902	3’902	LKW
Oberboden	Zürich	Umgebung	20	1’013	2’025	2’025	2’025	2’025	LKW
Grüngut	Zürich	Rafzerfeld	50	260	260	260	260	260	LKW
Kalk	Annahme 50km	Zürich	50	-	-	-	60	60	LKW

A1.2 SAUGER- UND SAMMLERLEITUNGEN

Auf den Unterbau werden die Sauger- und Sammelleitungen (Tabelle 10) installiert. Es wird angenommen, dass die Leitungen je zur Hälfte aus Polypropylen und Polyethylene bestehen. Die Drainageschächte bestehen aus Beton und das Packungsmaterial besteht aus Kies.

[8] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

Tabelle 10: Sachbilanz der Sauger- und Sammlerleitungen der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, ground-like	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH	CH	CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no	no	no	no
	Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Production	Suction and collecting pipes, football pitch, nat	m2	1.0				
	Suction and collecting pipes, football pitch, nat	m2		1.0			
	Suction and collecting pipes, football pitch, hyb	m2			1.0		
	Suction and collecting pipes, football pitch, syr	m2				1.0	
	Suction and collecting pipes, football pitch, syr	m2					1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	8.11E+00	8.11E+00	8.11E+00	8.11E+00	8.11E+00
	Polyethylene, high density, granulate {GLO}| m	kg	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01
	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | C	kg	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01
	Extrusion, plastic pipes {GLO}| market for | Cu	kg	4.31E-01	4.31E-01	4.31E-01	4.31E-01	4.31E-01
	Concrete, normal {CH}| market for | Cut-off, U	m3	8.29E-05	8.29E-05	8.29E-05	8.29E-05	8.29E-05
	Gravel, round {CH}| market for gravel, round | (	kg	1.62E+02	1.62E+02	1.62E+02	1.62E+02	1.62E+02
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	1.50E+01	1.50E+01	1.50E+01	2.00E+01	2.00E+01

Der Transportaufwand, welcher für die Erstellung der Sauger- und Sammlerleitungen anfällt, ist in Tabelle 11 aufgeführt.

Tabelle 11: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Sauger- und Sammlerleitungen von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich[9].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]					Transport-mittel
				Naturrasen		Hybrid-rasen	Kunststoffrasen		
				bodennah	Dränschicht		unverfüllt	verfüllt	
Rohre	Thurgau	Zürich	60	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	LKW
Formteile	Thurgau	Zürich	60	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	LKW
Schächte	Kt. Zürich	Zürich	10	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	LKW
Dränpackungs-material	Rafzerfeld	Zürich	50	1'200	1'200	1'200	1'200	1'200	LKW

[9] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

A1.3 DRÄNSCHICHT

Für den Naturrasen in dränschichtbauweise und den Hybridrasen wird jeweils eine Dränschicht erstellt, welche aus Sand besteht. Die dazu notwendigen Prozesse sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Sachbilanz der Dränschicht der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction
	Location		CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no
	Unit		m2a	m2a
	Drain layer, football pitch, natural turf, drain-lay	m2	1.0	
	Drain layer, football pitch, hybrid turf, drain-laye	m2		1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	7.08E+01	7.08E+01
	Sand {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	2.02E+02	2.02E+02
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	6.78E+00	6.78E+00

Der Sand für die Dränschicht stammt aus Deutschland und wurde 350 km transportiert. Die Distanz- und Mengenangaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich. Die Tabelle 13 zeigt die benötigten Transporte für die Erstellung der Dränschicht.

Tabelle 13: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Dränschicht von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich[10].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]					Transportmittel
				Naturrasen		Hybridrasen	Kunststoffrasen		
				bodennah	Drän-schicht		unverfüllt	verfüllt	
Sand	Deutschland	Zürich	350	-	1’500	1’500	-	-	LKW

A1.4 RASENTRAGSCHICHT / TRAGSCHICHT

[10] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

Für die Rasentragschicht wird, je nach Rasentyp, Sand, Quarzsand oder Lavamaterialien mit Oberboden vor Ort oder im Werk gemischt und eingebaut. Die Lavamaterialien stammen aus der Natur und wurden nicht künstlich hergestellt. Daher wird der Ecoinvent-Datensatz «Limestone, crushed, washed {CH} | market for» (ecoinvent Centre, 2018) für die Berechnung der Lavamaterialien verwendet. Beim Hybridrasen werden zusätzlich PP-Fasern in die Tragschicht eingebaut. Die Tragschicht der Kunststoffrasen setzt sich aus einer Kieskofferung mit einem Dränasphaltbelag zusammen. Es wird angenommen, dass das Material für die Kieskofferung je zur Hälfte aus Sand und gebrochenem Kies besteht (Tabelle 14).

Tabelle 14: Sachbilanz der Tragschicht der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, ground-like	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH	CH	CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no	no	no	no
	Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Production	003 Base layer, football pitch, natural turf, grou	m2	1.0				
	003 Base layer, football pitch, natural turf, drai	m2		1.0			
	003 Base layer, football pitch, hybrid turf, drain	m2			1.0		
	003 Base layer, football pitch, synthetic turf, ur	m2				1.0	
	003 Base layer, football pitch, synthetic turf, fill	m2					1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	2.36E+01	7.55E+01	8.05E+01	3.49E+01	3.49E+01
	Sand {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	1.35E+02			2.07E+02	2.07E+02
	Silica sand {GLO}| market for | Cut-off, U	kg		1.94E+02	1.94E+02		
	Limestone, crushed, washed {CH}| market for	kg		2.16E+01	2.16E+01		
	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | C	kg			3.37E+00		
	Extrusion of plastic sheets and thermoforming	kg			3.37E+00		
	Gravel, crushed {CH}| market for gravel, crush	kg				4.65E+02	4.65E+02
	Mastic asphalt {CH}| production | Cut-off, U	kg				1.15E+02	1.15E+02
	Concrete block {GLO}| market for | Cut-off, U	kg				1.08E+00	1.08E+00
	Concrete, high exacting requirements {CH}| m	m3				5.98E-03	5.98E-03
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	9.92E+00	7.26E+00	7.26E+00	1.07E+01	1.07E+01

In Tabelle 15 sind die Transportwege aufgeführt. Die Lavamaterialien sowie der Sand und Quarzsand stammen aus Deutschland, die PP Fasern aus dem Vereinigten Königreich und der Asphalt, Betonstellriemen, sowie Beton aus dem Kanton Zürich.

Tabelle 15: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der (Rasen)Tragschicht von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich[11].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]					Transport mittel
				Naturrasen		Hybrid-rasen	Kunststoffrasen		
				bodennah	Dränschicht		Unver-füllt	verfüllt	
Sand	Deutschland	Zürich	175	1’000	-	-	-	-	LKW
Lavamaterialien	Deutschland	Zürich	350	-	160	160	-	-	LKW
Quarzsand	Deutschland	Zürich	350	-	1’440	1’440			LKW
			50				1'533	1'533	
PP Faser	UK	Zürich	1480	-	-	25	-	-	LKW
Kies	*	Zürich	50	-	-	-	3’450	3’450	LKW
Asphalt	Birmensdorf	Zürich	10	-	-	-	850	850	LKW
Betonstellriemen	Regensdorf	Zürich	11	-	-	-	8	8	LKW
Beton	Zürich	Zürich	10	-	-	-	108.3	108.3	LKW

A1.5 ELASTIKSCHICHT

Bei den Kunststoffrasen wird auf die Tragschicht eine Elastikschicht (Tabelle 16) erstellt, welche aus recycelten LKW-Pneus besteht. Zu diesem Zweck werden im Datensatz «Synthetic rubber, recycled {GLO}| market for | Cut-off, U», welcher auf dem Ecoinvent-Datensatz «Synthetic rubber {GLO}| market for | Cut-off, U» (ecoinvent Centre, 2018) basiert, nur die Transportwege der Materialien berücksichtigt. Als Bindemittel wird Polyurethan verwendet. Verwendet wird der Ecoinvent-Datensatz «Polyurethane, flexible foam {RER}| market for Polyurethane, flexible foam | Cut-off, U» (ecoinvent Centre, 2018) unter der Annahme, dass in einem Kilogramm Polyurethan-Bindemittel die ähnlichen Rohstoffe enthalten sind wie im einem Kilogramm Polyurethan-Schaum.

[11] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

Tabelle 16: Die Tabelle zeigt die Elastikschicht des Unterbaus der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no
	Unit		m2a	m2a
	Elastic layer, football pitch, synthetic turf, unfill	m2	1.0	
	Elastic layer, football pitch, synthetic turf, filled	m2		1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	1.64E+01	1.64E+01
	Synthetic rubber, recycled {GLO}| market for |	kg	1.35E+01	1.35E+01
	Polyurethane, flexible foam {RER}| market for |	kg	2.02E-01	2.02E-01
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	5.52E+00	5.52E+00

Die Transporte, welche für die Erstellung der Elastikschicht des Unterbaus benötigt werden, sind in Tabelle 17 ersichtlich. Das SBR Material sowie das Bindemittel stammen aus Polen mit einer abgeschätzten Transportdistanz von 1’200 km.

Tabelle 17: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Elastikschicht von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich [12].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]					Transportmittel
				Naturrasen		Hybridrasen	Kunststoffrasen		
				bodenna h	Drän-schicht		unverfüllt	verfüllt	
SBR Material	Polen	Zürich	1200	-	-	-	100	100	LKW
Bindemittel	Polen	Zürich	1200	-	-	-	1.5	1.5	LKW

A1.6 KUNSTSTOFFRASENBELAG / RASENDECKE

Der Deckbelag besteht je nach Rasentyp aus natürlichem Rasen oder aus Kunststoffrasen. Der Naturrasen und Hybridrasen wird angesät und während drei Monaten durch die Erstellungspflege mit Nährstoffen und Wasser versorgt. Die durch die Düngung entstehenden Emissionen wurden nach Nemecek & Schnetzer (2011) und Nemecek et al. (2007) berechnet. Die berücksichtigten Prozesse und Emissionen sind in Tabelle 18 aufgeführt. Die Kunststoffrasenschicht (004 Synthetic turf, football pitch {CH}) besteht aus 7.5 % Polypropylen, 40 % Polyethylen, 25 % Nylon 6-6 und 27.5 % Latex[13,14]. Der unverfüllte Kunststoffrasen wird zusätzlich mit einer Aluminiumschiene am Rand befestigt. Der verfüllte Kunststoffrasen wird mit granuliertem Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) und Quarzsand verfüllt.

[12] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

[13] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 11.06.2020

[14] Annahme: Polyamid (PA) ist Nylon 6-6: http://www.americanturfco.com/consumer_alert.html & https://www.openpr.de/news/990537/Kunstrasen-Putting-Greens-aus-Nylon-fuer-serioeses-Putt-Training.html

Tabelle 18: Sachbilanz des Deckbelages der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, ground-like	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH	CH	CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no	no	no	no
	Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Production	003 Cover, football pitch, natural turf, ground-li	m2	1.0				
	003 Cover, football pitch, natural turf, drain-lay	m2		1.0			
	003 Cover, football pitch, hybrid turf, drain-laye	m2			1.0		
	003 Cover, football pitch, synthetic turf, unfillec	m2				1.0	
	003 Cover, football pitch, synthetic turf, filled {(	m2					1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	8.58E-02	2.71E-02	2.71E-02	2.20E+00	9.44E+00
	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GL(	tkm	4.40E-01	4.40E-01	4.40E-01		
	Grass seed, organic, for sowing {GLO}| marke	kg	2.96E-02	2.96E-02	2.96E-02		
	Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Cut	kg	1.80E-02	1.80E-02	1.80E-02		
	Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for	kg	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02		
	Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market f	kg	1.00E-02	1.00E-02	1.00E-02		
	Irrigation {CH}| market for | Cut-off, U	m3	2.70E-01	2.70E-01	2.70E-01		
	004 Synthetic turf, football pitch {CH}	kg				5.00E+00	2.50E+00
	Aluminium, wrought alloy {GLO}| market for | C	kg				2.99E-04	
	Sheet rolling, aluminium {GLO}| market for | Cu	kg				2.99E-04	
	Synthetic rubber {GLO}| market for | Cut-off, U	kg					6.00E+00
	Silica sand {GLO}| market for | Cut-off, U	kg					1.80E+01
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	5.81E+00	5.81E+00	5.81E+00	2.90E+00	3.87E+00
Emisisons to Air	Ammonia	kg	4.00E-03	4.00E-03	4.00E-03		
	Nitrogen dioxide	kg	1.94E-04	1.94E-04	1.94E-04		
	Dinitrogen monoxide	kg	9.23E-04	9.23E-04	9.23E-04		
Emisisons to Water	Nitrate	kg	4.71E-02	4.71E-02	4.71E-02		
	Phosphate	kg	1.50E-06	1.50E-06	1.50E-06		

Die unterschiedlichen Transporte, welche für die Deckbeläge nötig sind, sind in Tabelle 19 aufgeführt. Das Rasensaatgut stammt aus den USA. Es wird angenommen, dass diese per Frachtschiff nach Hamburg und von dort mit dem LKW nach Zürich transportiert werden. Kunststoffrasenteppich und Aluklemmschine kommen aus der EU und werden mit dem LKW nach Zürich transportiert. Die Füllstoffe sowie der Dünger stammen aus Deutschland.

Tabelle 19: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung des Deckbelags von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich [15].

Material	Ziel	Menge [t/7420m^2]

[15] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

	Herkunft		Distanz [km]	Naturrasen		Hybridrasen	Kunststoffrasen		Transportmittel
				bodennah	Dränschicht		unverfüllt	verfüllt	
Rasensaatgut	USA	Hamburg	14'825	0.2	0.2	0.2	-	-	Frachtschiff
	Hamburg	Zürich	870						LKW
Dünger	Deutschland	Zürich	600	0.7	0.7	0.7	-	-	LKW
Kunststoffrasenteppich	EU	Zürich	416				37.1	18.55	LKW
Aluklemmschiene	EU	Zürich	416	-	-	-	2.2	-	LKW
Füllstoff EPDM und Quarzsand	Deutschland	Zürich	350	-	-	-	-	178.1	LKW

A1.7 AUSSTATTUNGEN

Als Ausstattung wurden folgende Bauten berücksichtigt:

- Mähkanten aus Beton mit einer Grösse von 100 cm x 50 cm x 5 cm
- Bewässerungsanlagen aus Polyethylen
- Zaun nach Schweizerischem Fussballverband (SFV) –Minimum aus verzinkten Stahlpfosten und verzinktem Knotengitter. Es wird angenommen, dass der Beton für die Zaunfundamente aus dem Kanton Zürich bezogen wird.
- 4-Mast-LED-Beleuchtungsanlage aus Stahlrohrkandelaber, Betonfundamenten (P300) und 50 kg schweren Scheinwerfer. Es wird angenommen, dass die Scheinwerfer zu 10 % aus elektrischen Komponenten und zu 90 % aus einem Aluminiumgehäuse bestehen. Für das Aufstellen der Masten kommt ein Helikopter zum Einsatz.
- Zwei Fussballtore aus Aluminium mit einem Gewicht von je 80 kg.

Die Ausstattungen sind bis auf eine Ausnahme über alle Sportrasen identisch: Die beiden Kunststoffrasen besitzen keine Beton-Mähkanten (Tabelle 20).

Tabelle 20: Sachbilanz der Ausstattungen der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, ground-like	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH	CH	CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no	no	no	no
	Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Production	003 Equipment, football pitch, natural turf, grou	m2	1.0				
	003 Equipment, football pitch, natural turf, drai	m2		1.0			
	003 Equipment, football pitch, hybrid turf, drain	m2			1.0		
	003 Equipment, football pitch, synthetic turf, ur	m2				1.0	
	003 Equipment, football pitch, synthetic turf, fill	m2					1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	1.45E+00	1.45E+00	1.45E+00	3.37E-01	3.37E-01
	Transport, helicopter {GLO}| market for | Cut-c	h	2.70E-04	2.70E-04	2.70E-04	2.70E-04	2.70E-04
	Polyethylene, high density, granulate {GLO}| m	kg	1.75E-01	1.75E-01	1.75E-01	1.75E-01	1.75E-01
	Polypropylene, granulate {GLO}| market for | C	kg	9.03E-02	9.03E-02	9.03E-02	9.03E-02	9.03E-02
	Extrusion, plastic pipes {GLO}| market for | Cu	kg	2.65E-01	2.65E-01	2.65E-01	2.65E-01	2.65E-01
	Concrete, normal {CH}| market for | Cut-off, U	m3	2.02E-03	2.02E-03	2.02E-03	2.02E-03	2.02E-03
	Concrete, high exacting requirements {CH}| m	m3	4.04E-03	4.04E-03	4.04E-03	4.04E-03	4.04E-03
	Concrete block {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	2.16E+00	2.16E+00	2.16E+00		
	Steel, low-alloyed {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	6.06E-01	6.06E-01	6.06E-01	6.06E-01	6.06E-01
	Electronic component, passive, unspecified {C	kg	8.09E-03	8.09E-03	8.09E-03	8.09E-03	8.09E-03
	Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EF	kg	9.43E-02	9.43E-02	9.43E-02	9.43E-02	9.43E-02
	Metal working, average for aluminium product	kg	9.43E-02	9.43E-02	9.43E-02	9.43E-02	9.43E-02
	Reinforcing steel {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	5.39E-01	5.39E-01	5.39E-01	5.39E-01	5.39E-01
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	2.52E+00	2.52E+00	2.52E+00	2.42E+00	2.42E+00

Für die Ausstattungen benötigten Transporte sind in Tabelle 21 aufgeführt. Material für Bewässerungs- und Befeuchtungsanlagen, Zaun und Schweinwerfer stammen aus Deutschland, Mähkanten und Beton aus dem Kanton Zürich und die Fundamente und Scheinwerferrohre aus der Schweiz. Die Ausstattungen sind bis auf die Mähkanten, welche bei Kunststoffrasen nicht benötigt werden, bei allen Sportrasen identisch.

Tabelle 21: Berücksichtige Transportwege für die Erstellung der Ausstattungen von den untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich[16].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]			Transportmittel
				Naturrasen		Kunststoffrasen	

[16] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

				bodennah	Drän-schicht	Hybridrasen	unverfüllt	verfüllt	
Betonplatten als Mähkanten	Kt. Zürich	Zürich	10	16	16	16	-	-	LKW
Bewässerung	Deutschland	Zürich	600	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	LKW
Zaun	Deutschland	Zürich	600	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	LKW
Beton für Zaun	Kt. Zürich	Zürich	10	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	LKW
Schweinwerfer	Deutschland	Zürich	600	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	LKW
Fundament und Rohre für Scheinwerfer	Schweiz	Zürich	82	77.9	77.9	77.9	77.9	77.9	LKW

A1.8 RENOVATION

Für die nötige Renovation der Naturrasen nach 15 Jahren wird die Rasennarbe entfernt, entsorgt und durch neuen, zwölf Monate alten, Rollrasen ersetzt. Für die Berechnung des Rollrasens wird dieselbe Modellierung wie für die Rasendecke und Erstellungspflege verwendet, in Kombination mit einem Pflegeaufwand von neun Monaten (Kapitel 3.2).

Der untersuchte Hybridrasen wird alle zwei Jahre saniert. Dazu wird die Rasennarbe entfernt und als Inert-Material entsorgt. Da sich die Kunststofffasern aus der Rasentragschicht im abgeschälten Material befinden, können diese nicht separiert werden und werden zusammen entsorgt.

Die Kunststoffrasenbeläge werden alle 10 Jahre ausgetauscht. Dazu wird der Kunststoffrasenteppich (beim verfüllten Kunststoffrasen inklusive Füllstoffe EDPM und Quarzsand) entfernt und in der KVA verwertet. Der neue Kunststoffrasenteppich wird analog dem Neubau erstellt.

In Tabelle 22 sind die Aufwendungen für die Renovation der verschiedenen Sportrasen ersichtlich.

Tabelle 22: Sachbilanz der Renovationder untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, ground-like	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH	CH	CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no	no	no	no
	Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Production	002 Renovation, football pitch, natural turf, gro	m2a	1.0				
	002 Renovation, football pitch, natural turf, drai	m2a		1.0			
	002 Renovation, football pitch, hybrid turf, drair	m2a			1.0		
	002 Renovation, football pitch, synthetic turf, u	m2a				1.0	
	002 Renovation, football pitch, synthetic turf, fi	m2a					1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	3.25E-01	3.25E-01	5.66E-01	2.13E-01	9.71E-01
	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GL(	tkm			2.20E-01		
	Grass seed, organic, for sowing {GLO}| marke	kg			2.96E-02		
	Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Cut	kg			1.50E-03		
	Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for	kg			1.00E-03		
	Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market f	kg			1.00E-03		
	Irrigation {CH}| market for | Cut-off, U	m3			3.50E-02		
	004 Synthetic turf, football pitch {CH}	kg				5.00E-01	2.50E-01
	Synthetic rubber {GLO}| market for | Cut-off, U	kg					6.00E-01
	Silica sand {GLO}| market for | Cut-off, U	kg					1.80E+00
	004 Rolled turf, football pitch {CH}	m2	6.67E-02	6.67E-02			
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	1.94E-01	1.94E-01	1.45E+00	6.78E-01	6.78E-01
Emisisons to Air	Ammonia	kg			3.33E-04		
	Nitrogen dioxide	kg			1.61E-05		
	Dinitrogen monoxide	kg			7.69E-05		
Emisisons to Water	Nitrate	kg			3.93E-03		
	Phosphate	kg			1.25E-07		
Waste	Biowaste {CH}| treatment of biowaste by anae	kg	1.46E+00	1.46E+00			
	Inert waste {CH}| market for inert waste | Cut-(	kg			1.10E+01		
	Waste plastic, mixture {CH}| treatment of, mur	kg				5.00E-01	2.50E-01
	Waste rubber, unspecified {CH}| market for wa	kg					6.00E-01

Die notwendigen Transporte für die Renovation sind in Tabelle 23 aufgeführt. Grüngut und Inert-Material werden in Rafzerfeld entsorgt. Brennbarer Kehricht sowie Füllstoffe inklusive Quarzsand werden in eine Kehrichtverbrennungsanlage[17] im Kanton Zürich (Annahme) überführt.

Tabelle 23: Berücksichtige Transportwege für die Renovation der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich[18].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]					Transportmittel
				Naturrasen		Hybrid rasen	Kunststoffrasen		
				bodennah	Drän-schicht		unverfüllt	verfüllt	

[17] Persönliche Kommunikation: Gespräch mit Stefan Brunnner, Grün Stadt Zürich, 20.02.2020

[18] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

Grüngut	Zürich	Rafzerfeld	50	162.5	162.5	-	-	-	LKW
Inert-Material	Zürich	Rafzerfeld	50	-	-	162.5	-	-	LKW
Kunststoffrasen und Füllstoffe alt	Zürich	Kanton Zürich	10	-	-	-	31.2	196.6	LKW
Rollrasen	*	Zürich	350	80	80	-	-	-	LKW
Rasensaatgut	USA	Hamburg	14’825	-	-	0.2	-	-	Frachtschiff
	Hamburg	Zürich	870						LKW
Dünger	Deutschland	Zürich	600	-	-	0.1	-	-	LKW
Kunststoffrasenteppich	EU	Zürich	416	-	-	-	31.2	18.6	LKW
Füllstoffe	Deutschland	Zürich	350	-	-	-	-	178.1	LKW

A1.9 RÜCKBAU UND ENTSORGUNG

Die Lebensdauer der Naturrasen, Hybridrasen sowie der Kunststoffrasen beträgt 30 Jahre. Nach dieser Zeit wird die gesamte Anlage zurückgebaut und entsorgt. Die Aufwendungen sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 24: Sachbilanz des Rückbaus und der Entsorgung der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für einen Quadratmeter Sportrasen.

	Name	Unit	natural turf, ground-like	natural turf, drain-layer-construction	hybrid turf, drain-layer-construction	synthetic turf, unfilled	synthetic turf, filled
	Location		CH	CH	CH	CH	CH
	InfrastructureProcess		no	no	no	no	no
	Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Production	003 Dismantling and disposal, football pitch, n	m2	1.0				
	003 Dismantling and disposal, football pitch, n	m2		1.0			
	003 Dismantling and disposal, football pitch, h	m2			1.0		
	003 Dismantling and disposal, football pitch, s	m2				1.0	
	003 Dismantling and disposal, football pitch, s	m2					1.0
Materials	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {	tkm	7.09E-01	2.16E+01	2.18E+01	7.00E+01	7.11E+01
Electricity / Heat / Fuels	Diesel, burned in building machine {GLO}| mar	MJ	3.87E+00	1.26E+01	1.26E+01	1.07E+01	1.11E+01
Waste	Inert waste {CH}| market for inert waste | Cut-c	kg		2.16E+02	2.16E+02		
	Waste reinforced concrete {CH}| market for w	kg	1.05E+01	1.05E+01	1.05E+01	1.05E+01	1.05E+01
	Scrap steel {CH}| market for scrap steel | Cut-	kg	8.76E-01	8.76E-01	8.76E-01	8.76E-01	8.76E-01
	Waste polyethylene {CH}| market for waste po	kg	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01
	Waste polypropylene {CH}| market for waste p	kg	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	2.16E-01	1.47E+00
	Waste concrete {CH}| market for waste concr	kg	2.36E+00	2.05E+02	2.05E+02	1.57E+01	3.37E+01
	Waste plastic, mixture {CH}| treatment of, mur	kg			3.37E+00	1.85E+01	1.60E+01
	Waste rubber, unspecified {CH}| market for wa	kg					6.00E+00
	Aluminium (waste treatment) {GLO}| recycling	kg				2.99E-01	
	Waste asphalt {CH}| market for waste asphalt	kg				1.15E+02	1.15E+02

Die Transporte während der Entsorgung der Sportrasen sind in Tabelle 25 ersichtlich.

Tabelle 25: Berücksichtige Transportwege für den Rückbau und die Entsorgung der untersuchten Natur-, Hybrid- und Kunststoffrasen. Für mit * gekennzeichnete Ortsfelder ist eine Distanzangabe ohne Ortsbezeichnung gegeben. Alle Angaben stammen aus dem Fragebogen ausgefüllt durch Grün Stadt Zürich[19].

Material	Herkunft	Ziel	Distanz [km]	Menge [t/7420m²]					Transport-mittel
				Naturrasen		Hybridrasen	Kunststoffrasen		
				bodennah	Drän-schicht		unverfüllt	verfüllt	
Beton armiert	Zürich	*	50	78.1	78.1	78.1	78.1	78.1	LKW
Stahl	Zürich	*	50	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	LKW
Rohre und Formteile	Zürich	*	50	3.2	3.2	6.5	3.2	3.2	LKW
Mähkanten und Drainageschächte	Zürich	*	50	17.5	17.5	17.5	1.5	1.5	LKW
RTS und Dränschicht	Zürich	*	50	-	1’500	1’500	-	-	LKW
Kies	Zürich	*	50	-	-	-	9’200	9’200	LKW
Asphalt	Zürich	*	50	-	-	-	850	850	LKW
Aluklemmschiene	Zürich	*	50	-	-	-	2.2		LKW
Elastikschicht mit Bindemittel	Zürich	*	50	-	-	-	100	100	LKW
Kunststoffrasen und Füllstoffe	Zürich	*	50	-	-	-	31.2	196.6	LKW
Stellriemen	Zürich	*	50	-	-	-	8	8	LKW
Beton	Zürich	*	50	-	-	-	107.4	107.4	LKW

[19] Persönliche Kommunikation per E-Mail: Fragebogen ausgefüllt von Johannes Neher, Grün Stadt Zürich, 20.09.2019

ANHANG 2 SACHBILANZ PFLEGE

A2.1 DIESELVERBRAUCH UND EMISSIONEN DURCH PFLEGE

Im folgenden Unterkapitel wird der benötigte Unterhalt für die verschiedenen untersuchten Sportrasen aufgeführt. Dieser ist identisch für bodennahen Naturrasen, Naturrasen in Dränschichtbauweise und Hybridrasen (Tabelle 26). Die Pflege der unverfüllten Kunststoffrasen entspricht, bis auf das Ergänzen von Füllstoffen, der Pflege von verfülltem Kunststoffrasen (Tabelle 27). Die Pflegegänge sind zudem anhand der Intervalle unterteilt. Wenn nicht anderweitig erwähnt basieren alle Daten auf der Arbeitserfassung pro Sportplatz durch die ausführenden Mitarbeiter von Grün Stadt Zürich über die Sportrasenapp von 2017 bis 2019[20].

Für die Gütertransporte auf der Strasse angenommen, dass diese mit einem LKW der Klasse EURO 5 und einem Gewicht von über 32 Tonnen ausgeführt werden.

[20] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 28. Februar 2020

Tabelle 26: Sachbilanz der Pflege der untersuchten Natur- und Hybridrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für die Pflege eines Quadratmeters Sportrasen pro Jahr.

002 Care process, football pitch, natural turf {CH}

Name Location InfrastructureProcess Unit	Unit	waste cleaning CH m2a	tow / defrost CH m2a	aerify CH m2a	brush up CH m2a	take up CH m2a	mowing out CH m2a	moisten CH m2a	fertilise CH m2a	turf laying CH m2a	removing leaves CH m2a	mowing CH m2a
003 Waste cleaning, football pitch, natural turf, care pı	m2a	1.0										
003 Tow / defrost, football pitch, natural turf, care proc	m2a		1.0									
003 Aerify, football pitch, natural turf, care process {Cl	m2a			1.0								
003 Brush up, football pitch, natural turf, care process	m2a				1.0							
003 Take up, football pitch, natural turf, care process	m2a					1.0						
003 Mowing out, football pitch, natural turf, care proce	m2a						1.0					
003 Moisten, football pitch, natural turf, care process {	m2a							1.0				
003 Fertilise, football pitch, natural turf, care process {	m2a								1.0			
003 Turf laying, football pitch, natural turf, care proces	m2a									1.0		
003 Removing leaves, football pitch, natural turf, care	m2a										1.0	
003 Mowing, football pitch, natural turf, care process	m2a											1.0
Inputs from technosphere												
Diesel, burned in building machine, burned by towing/	MJ		8.62E-02									
Diesel, burned in building machine, burned in aerifier {	MJ			1.06E-01								
Diesel, burned in building machine, burned by mowing	MJ						1.69E-01					
Diesel, burned in building machine, burned in lawn mc	MJ											1.03E+00
Diesel, burned in building machine, burned in rolled tu	MJ									3.33E-02		
Diesel, burned in building machine, burned in gras pic	MJ					3.10E-01						
Diesel, burned in building machine, burned in other lav	MJ				3.09E-02				4.50E-02			
Electricity, low voltage, label-certified {CH}| market for	kWh										2.08E-04	2.23E-03
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}|	tkm	2.28E-04		1.01E-03					9.95E-02	7.01E-02	1.33E-04	2.65E-02
Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| marl	tkm											
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}| market for | Cut-o				5.93E-04								
Irrigation {CH}| market for | Cut-off, U	m3							4.83E-03				
Tap water {CH}| market for | Cut-off, U	kg											
Fosetyl-Al {GLO}| market for | Cut-off, U	kg											
Chlorothalonil {GLO}| market for | Cut-off, U	kg											
Pesticide, unspecified {GLO}| market for | Cut-off, U	kg											
Sand {GLO}| market for | Cut-off, U	kg											
Grass seed, organic, for sowing {GLO}| market for | C	kg											
Football pitch, rolled turf {CH}	m2									1.86E-02		
Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Cut-off, U	kg								3.07E-02			
Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for | Cut-c	kg								2.12E-02			
Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Cut-	kg								5.58E-03			
Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution sta	kg											
Emissions to air												
Ammonia, CH	kg								6.17E-03			
Nitrogen dioxide, CH	kg								2.45E-04			
Dinitrogen monoxide	kg								1.17E-03			
Emissions to soil												
Fosetyl-aluminium	kg											
Azoxystrobin	kg											
Chlorothalonil	kg											
Cyprodinil	kg											
Fludioxonil	kg											
Pesticides, unspecified	kg											
Emissions to water												
Water, CH	m3											
Nitrate	kg								4.05E-02			
Phosphate	kg								3.48E-05			
Outputs to technosphere												
Municipal solid waste {CH}| market for | Cut-off, U	kg	2.28E-02										
Biowaste {CH}| market for | Cut-off, U	kg			1.01E-01							1.33E-02	2.65E+00

Tabelle 26: Sachbilanz der Pflege der untersuchten Natur- und Hybridrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für die Pflege eines Quadratmeters Sportrasen pro Jahr.

002 Care process, football pitch, natural turf {CH}

Name	Unit	t managem	sanding	slitting	harrow	eep loosenir	topdressing	sown over	scarify	soak	painting
Location		CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
InfrastructureProcess											
Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
003 Pest management, football pitch, natural turf, care	m2a	1.0									
003 Sanding, football pitch, natural turf, care process	m2a		1.0								
003 Slitting, football pitch, natural turf, care process {(	m2a			1.0							
003 Harrow, football pitch, natural turf, care process {(	m2a				1.0						
003 Deep loosening, football pitch, natural turf, care pr	m2a					1.0					
003 Topdressing, football pitch, natural turf, care proc	m2a						1.0				
003 Sown over, football pitch, natural turf, care proces	m2a							1.0			
003 Scarify, football pitch, natural turf, care process {(	m2a								1.0		
003 Soak, football pitch, natural turf, care process {CH	m2a									1.0	
003 Painting, football pitch, natural turf, care process	m2a										1.0
Inputs from technosphere											
Diesel, burned in building machine, burned by towing/	MJ										
Diesel, burned in building machine, burned in aerifier {	MJ										
Diesel, burned in building machine, burned by mowing	MJ										
Diesel, burned in building machine, burned in lawn mc	MJ										
Diesel, burned in building machine, burned in rolled tu	MJ										
Diesel, burned in building machine, burned in gras pic	MJ										
Diesel, burned in building machine, burned in other lav	MJ	1.08E-02	4.23E-02	1.42E-02	3.74E-02	3.52E-02	1.27E-01	4.84E-02	1.86E-02		
Electricity, low voltage, label-certified {CH}| market for	kWh										
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}|	tkm		2.32E+00		2.65E-03		3.15E-02	1.73E-02	6.80E-05		
Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| marl	tkm						5.37E-01	2.95E-01			
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}| market for | Cut-o						3.58E-04					
Irrigation {CH}| market for | Cut-off, U	m3									3.87E-01	
Tap water {CH}| market for | Cut-off, U	kg	1.60E-01									2.50E-02
Fosetyl-Al {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	5.60E-05									
Chlorothalonil {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	9.65E-05									
Pesticide, unspecified {GLO}| market for | Cut-off, U	kg	4.20E-04									
Sand {GLO}| market for | Cut-off, U	kg		6.64E+00								
Grass seed, organic, for sowing {GLO}| market for | C	kg						3.62E-02	1.99E-02			
Football pitch, rolled turf {CH}	m2										
Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Cut-off, U	kg										
Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for | Cut-c	kg										
Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Cut-	kg										
Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution sta	kg										6.24E-03
Emissions to air											
Ammonia, CH	kg										
Nitrogen dioxide, CH	kg										
Dinitrogen monoxide	kg										
Emissions to soil											
Fosetyl-aluminium	kg	5.60E-05									
Azoxystrobin	kg	1.15E-05									
Chlorothalonil	kg	9.65E-05									
Cyprodinil	kg	2.71E-05									
Fludioxonil	kg	1.81E-05									
Pesticides, unspecified	kg	6.46E-05									
Emissions to water											
Water, CH	m3	1.60E-04									
Nitrate	kg										
Phosphate	kg										
Outputs to technosphere											
Municipal solid waste {CH}| market for | Cut-off, U	kg										
Biowaste {CH}| market for | Cut-off, U	kg				2.65E-01				6.80E-03		

Tabelle 27: Sachbilanz der Pflege der untersuchten Kunststoffrasen der Stadt Zürich. Grün: resultierende Prozesse. Gelb: In- und Outputs in die Technosphäre sowie Emissionen. Blau: Mengenangabe der In- und Outputs für die Pflege eines Quadratmeters Sportrasen pro Jahr.

002 Care process, football pitch, synthetic turf {CH}

Name	Unit	waste cleaning	tow / defrost	brush up	mowing out	moisten	granulate supplement	removing leaves	surface cleaning	nowploughir	harrow	eep cleanin
Location		CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
InfrastructureProcess												
Unit		m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2	m2a
003 Waste cleaning, football pitch, synthetic turf, care pr	m2a	1.0										
003 Tow / defrost, football pitch, synthetic turf, care proc	m2a		1.0									
003 Brush up, football pitch, synthetic turf, care process	m2a			1.0								
003 Mowing out, football pitch, synthetic turf, care proces	m2a				1.0							
003 Moisten, football pitch, synthetic turf, care process {(	m2a					1.0						
003 Granulate supplement, football pitch, synthetic turf, (	m2a						1.0					
003 Removing leaves, football pitch, synthetic turf, care p	m2a							1.0				
003 Surface cleaning, football pitch, synthetic turf, care p	m2a								1.0			
003 Snowploughing, football pitch, synthetic turf, care pr	m2a									1.0		
003 Harrow, football pitch, synthetic turf, care process {(	m2a										1.0	
003 Deep cleaning, football pitch, synthetic turf, care pro	m2a											1.0
Inputs from technosphere												
Diesel, burned in building machine, burned by towing/del	MJ		2.97E-02									
Diesel, burned in building machine, burned by mowing o	MJ				3.97E-02							
Diesel, burned in building machine, burned by snowplou	MJ									8.91E-02		
Diesel, burned in building machine, burned by deep clea	MJ											9.92E-02
Diesel, burned in building machine, burned in other lawn	MJ			1.10E-01			4.31E-02		9.72E-02		6.44E-03	
Electricity, low voltage, label-certified {CH}| market for | C								1.88E-03				
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}| ma	tkm	2.16E-04					1.05E-01	1.35E-04	3.65E-05	6.06E-05		1.13E-04
Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market	tkm											
Irrigation {CH}| market for | Cut-off, U	m3					1.25E-01						
Synthetic rubber {GLO}| market for | Cut-off, U	kg						3.01E-01					
Outputs to technosphere												
Municipal solid waste {CH}| market for | Cut-off, U	kg	2.16E-02							3.65E-03	6.06E-03		1.13E-02
Biowaste {CH}| market for | Cut-off, U	kg							1.35E-02				

Für die unterschiedlichen Maschinen, welche während den Pflegearbeiten zum Einsatz kommen, wurden die Energieverbräuche berechnet. Als Grundlage diente der Dieselbedarfsrechner vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, 2017) für Arbeitsgänge, welche nicht im Dieselbedarfsrechner aufgeführt sind, wurde eine möglichst ähnliche Tätigkeit in Hinsicht auf Zapfwellenverwendung und Fahrwiderstand gewählt. Aufgrund der Flächenunterschiede zwischen der Landwirtschaft und der Sportplatzpflege und der daraus resultierenden Effizienzunterschiede wurden die Dieselverbräuche im Sportplatzbau mit folgendem Faktor multipliziert:

$$\frac{Dieselverbrauch\ Aufsitzmäher}{Dieselverbrauch\ mähen\ nach\ KTBL}^{21} = 1.306$$

Alle Dieselverbräuche sind in Tabelle 28 aufgeführt. Der Dieselverbrauch wird mit einem unteren Heizwert von 35.95 MJ/l berechnet bei einer Dichte von 0.84 kg/l entsprechend der Methodology Guidelines von ecoinvent 2.2 (ecoinvent Centre, 2007)

[21] https://www.grasshoppermower.com/fuel-calculator/

Tabelle 28: Dieselverbrauch der verschiedenen Pflegearbeiten. Berechnet mit dem Dieselbedarfsrechner (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), 2017) und an kleinere Flächen angeglichen anhand des Dieselbedarfs eines Aufsitzmähers mit dem Faktor 1.306. Die Umrechnung in den Verbrauch pro Stunde erfolgte mit dem Zeitaufwand[22], welcher für die Pflegearbeiten für Sportplätze benötigt wird.

Pflegearbeit	Datensatz KTBL	Verbrauch nach KTBL [l/ha]	Zeitbedarf GSZ [h/ha]	Verbrauch [l/h]
Ausmähen	Futterwerbung, Mähen mit Rotationsmähwerk, 1.7m 23kW	3.3	1.3	3.2
Abschleppen	Pflege, Abschleppen von Grünland, 3m 37kW	4.3	1.3	4.2
Aufbürsten	Annahme wie mähen. Rotierende Bürste… Kunststoff-Grashalme als Widerstand	3.9	4.0	1.3
Aufnehmen	Futterbergung und -einlagerung, Frischfutter bergen, Ladewagen 12m3 45kW	4.7	1.3	4.6
Düngen	Düngung, Mineraldünger (Haarmehlpellets) ausbringen Sackware ab Feld, Anbauschleuderstreuer 0.6m3 37kW	0.9	0.7	1.7
Rasen verlegen	Gemüse - Pflege, Mulchfolienablage 1-reihig, Mulchfolienlegegerät 1-reihig 45kW	4.9	2.7	2.4
Mähen	Futterwerbung, Mähen mit Rotationsmähwerk, 1.7m 37kW	3.9	1.3	3.8
Schlitzen	Bodenbearbeitung, Eggen mit Scheibenegge flach, 2m 37kW	4.1	6.7	0.8
Striegeln	Pflege, Striegeln, 3m 37kW	2.8	4.0	0.9
Übersaat	Bestellung, Übersaat von Gras pneumatisch mit Striegel, 2.5m 37kW	3.8	2.7	1.8
Verticutieren	Pflege, Hacken und Striegeln von Kartoffeln Nachauflauf, 4-reihig 37kW	4	5.4	1.0
Aerifizieren	Pflege, Hacken und Striegeln von Kartoffeln Nachauflauf, 4-reihig 54kW	5.1	5.2	1.3
Sanden	Düngung, Festmist ausbringen ab Feld, Stalldungstreuer 6t 54kW	6.1	3.9	2.0
Tiefenlockern	Bodenbearbeitung, Eggen mit Scheibenegge flach, 2m 54kW	5.6	3.9	1.9
Topdressing	Bestellung, Übersaat von Gras pneumatisch mit Striegel, 3m 54kW	5	1.3	5.0
Pflanzenschutz	Pflege, Pflanzenschutzmassnahmen ab Feld, Anbaupflanzenschutzspritze 12m 600l 37kW	1.1	3.9	0.4

A2.2 WÖCHENTLICHE PFLEGEGÄNGE VON NATUR- UND HYBRIDRASEN

[22] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 28. Februar 2020

Bei der Abfallreinigung wird ohne Maschinen durchschnittlich fünf Kilogramm Abfall pro Arbeitsgang zusammengesammelt[23]. Pro Jahr finden 34.4 einstündige Arbeitsgänge statt. Es wird angenommen, dass dieser Abfall über eine Distanz von zehn Kilometer in die Kehrichtverbrennung transportiert wird.

Ausgemäht wird mit einem kleinen Mäher während 11.3 Stunden pro Jahr. Der Transport und die Entsorgung von anfallendem Grüngut werden bei diesem Arbeitsschritt nicht betrachtet. Es wird angenommen, dass dies im Arbeitsgang «Mähen» eingerechnet ist.

Das Befeuchten findet im Durchschnitt 4.5-mal pro Jahr statt. Dabei werden acht Kubikmeter Wasser pro Arbeitsgang auf dem Sportrasen versprüht.

Die grosse Mehrheit (27/30) der Natur- und Hybridrasen-Sportplätze werden manuell gemäht. Pro Jahr wird während 58.5 Stunden manuell gemäht. Pro Jahr fallen pro Sportrasen 20 Tonnen Schnittgut an. Es wird angenommen, dass das Schnittgut über eine Distanz von 10 km zur Entsorgungsstelle transportiert wird.

Die restlichen drei Natur- und Hybridrasen werden mit Rasenmähroboter gemäht. Nach Herstellerangaben hat ein Rasenmähroboter eine Leistung von 35 Watt[24]. Es wird angenommen, dass pro Fussballplatz drei Rasenmähroboter eingesetzt werden und der Wirkungsgrad von Lade- und Entladevorgang 80% beträgt. Die Rasenmähroboter sind während 160.1 Tage pro Jahr und acht Stunden pro Tag im Einsatz.

Beim Stopfen werden keine Maschinen verwendet und der Einfluss auf die Ökobilanz ist daher sehr klein. Entsprechend wird das Stopfen nicht in die Ökobilanz miteinbezogen, obwohl es einen grossen Zeitaufwand von 72.4 Stunden pro Sportrasen und Jahr verursacht.

A2.3 Regelmässige Pflegegänge von Natur- und Hybridrasen

Das Abschleppen / Abtauen geschieht während 4.4 Stunden pro Jahr und Sportrasen. Dabei wird lediglich eine dieselbetriebene Maschine verwendet (Tabelle 28).

Beim Aerifizieren werden Belüftungslöcher in die Rasenfläche gestanzt. Dies geschieht mit einer Dieselbetriebenen Aerifiziermaschine (Tabelle 28), welche als Verbrauchsmaterial sogenannte Spoons benötigt. Pro Arbeitsgang wird für diese Spoons 1 kg Stahl[25] benötigt. Ein Arbeitsgang dauert 4 Stunden und pro Jahr wird durchschnittlich 17.9 Stunden pro Sportrasen aerifiziert. Die ausgestochenen

[23] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefan Brunner, Grün Stadt Zürich, 4. September 2019

[24] https://www.husqvarna.com/de/produkte/maehroboter/automower-550/967650212/

[25] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefan Brunner, Grün Stadt Zürich, 10. September 2019

Rasenzapfen werden als Schnittgut entsorgt (Annahme Transportdistanz: 10 Kilometer). Als Schnittgutmenge wird 170 kg pro Arbeitsgang geschätzt (300 Löcher pro m^2 mit 23mm Durchmesser und 125mm tiefe, bei einem spezifischen Gewicht von 1500 kg/m^3).

Pro Jahr werden Sportrasen während 5.25 Stunden aufgebürstet. Dazu wird eine dieselbetriebene Maschine verwendet (Tabelle 28).

Das Aufnehmen benötigt pro Jahr und Sportplatz 14.5 Stunden Zeit. Dazu wird eine dieselbetriebene Maschine benötigt. Das Schnittgut und der Transport wird beim Mähen berücksichtigt.

Pro Jahr werden die Natur- und Hybridrasenplätze mit durchschnittlich 231 kg Stickstoff (N), 42 kg Phosphat (P2O5), 160 kg Kali (K2O) und 15 kg Magnesium (Mg) pro Sportrasen gedüngt (Referenzjahr 2018)[26]. Der Dünger stammt analog zur Erstellung des Deckbelags aus Deutschland. Die Transportdistanz beträgt 600 km und das Gesamtgewicht des Düngers 1'250 kg. Die durch die Düngung entstehenden Emissionen wurden nach Nemecek & Schnetzer (2011) und Nemecek et al. (2007) berechnet. Der Dünger wird mit einer dieselbetriebenen Maschine ausgebracht (Tabelle 28).

Während 3.8 Stunden pro Jahr wird ein Natur- und Hybridsportrasen geschlitzt. Dies geschieht mit einer dieselbetriebenen Maschine.

Gestriegelt wird ein Sportrasen während 8.8 Stunden pro Jahr. Dies geschieht mit einer dieselbetriebenen Maschine. Dabei werden pro Jahr 2000 kg Schnittgut entfernt und nach einem zehn Kilometer langen Transportweg entsorgt (Annahme).

Pro Jahr wird durchschnittlich 19.4-mal gewässert. Pro Durchgang werden 150 m^3 Wasser ausgebracht.

Während 25 Stunden pro Jahr werden die Sportplätze gezeichnet. Dazu werden 235 Kilogramm Farbe pro Jahr verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass die Farbe im Verhältnis 1:5 mit Wasser verdünnt ist[27].

A2.4 Jährliche Pflegegänge von Natur- und Hybridrasen

Pro Jahr werden pro Sportrasen 140 m^2 Fertigrasen verlegt. Beim Fertigrasen handelt es sich um zirka ein Jahr alten Rasen. Dazu wird die Erstellung des Deckbelages mit dem Pflegeaufwand von Naturrasen während neun Monaten addiert, da bei der Erstellung die ersten drei Monate Pflege bereits inkludiert sind. Das Verlegen des Fertigrasens nimmt pro Jahr zwölf Stunden in Anspruch, wobei während drei

[26] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 10. September 2019

[27] https://www.point-x.shop/mediafiles/TDB/TD_PointX_Rasenmarkierung_konzentrat.pdf

Stunden Maschinen eingesetzt werden[28]. Der Fertigrasen wird über eine Distanz von 350 km transportiert. Die In- sowie Ausserbetriebnahme der Bewässerungen wird nicht berücksichtig.

Die Sportplätze werden während 4.1 Stunden pro Jahr mit einem elektrischen Laubbläser von Laub befreit. Ein Laubbläser mit einem 1527 Wh grossen Akku hat eine Laufzeit von sechs Stunden[29]. Die durchschnittliche Leistung des Geräts beträgt 0.38 kW unter der Annahme, dass 80% der Laufzeit erreicht wird und das Laden und Entladen einen Wirkungsgrad von 80% hat. Die Geräte werden mit zertifiziertem Ökostrom betrieben. Pro Jahr und Sportrasen fallen 100 kg Laub an[30]. Es wird angenommen, dass das Laub über eine Distanz von 10 km transportiert wird.

Auf Natur- und Hybridrasen wird der Pflanzenschutz / Pflanzenstärkung während 8.3 Stunden pro Jahr mit einer dieselbetriebenen Maschine durchgeführt. Die dabei eingesetzten Wirkstoffe sind in Tabelle 29 aufgeführt. Für die Wirkstoffe polyethermodifiziertes Trisiloxan, Azoxystrobin, Cyprodinil, Fludioxonil und die Trägerstoffe wird der Ecoinvent-Datensatz «Pesticide, unspecified {GLO}» verwendet.

Tabelle 29: Verwendete Wirkstoffe und Mengen für den Pflanzenschutz / die Pflanzenstärkung eines Natur- / Hybridrasen pro Jahr. Referenzjahr 2018[31]

Wirkstoff	Menge [g/Jahr]
Polyethermodifiziertes Trisiloxan	487
Aluminiumfosetyl	422
Azoxystrobin	86
Chlorothalonil	727
Cyprodinil	205
Fludioxonil	136
Trägerstoffe	2’250

Zur Berechnung der Emissionen wird davon ausgegangen, dass die Gesamtmengen der Wirkstoffe in den Boden gelangen. Die Trägerstoffe werden bei den Emissionen nicht berücksichtigt. Die

[28] Persönliche Kommunikation: Sitzung mit Stefan Brunner, Grün Stadt Zürich, 20. Februar 2020

[29] https://pellenc.com/de/catalogue-gct/

[30] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefan Brunner, Grün Stadt Zürich, 4. September 2019

[31] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 10. September 2019

Ausbringung des Wirkstoffes Chlorothalnoil wurde per Januar 2020 in der Schweiz verboten. Es gibt kein Ersatzprodukt, sondern die anderen Wirkstoffe werden häufiger eingesetzt. Da sich die Sachbilanzen auf die Jahre 2017 bis 2019 beziehen wurde die Anwendung von Chlorothalonil dennoch bilanziert.

Die Reparatur wird in dieser Ökobilanz nicht berücksichtigt, da dabei keine Maschinen verwendet werden.

Beim Sanden wird mit einer dieselbetriebenen Maschine (Tabelle 28) Sand auf der Rasenfläche verteilt. Pro Jahr und Sportplatz werden 50 Tonnen Sand[32] eingesetzt. Analog zur Sachbilanz Erstellung beträgt die Transportdistanz vom Sand 350 km.

Pro Jahr wird während vier Stunden ein Natur- und Hybridsportplatzfeld mit einer dieselbetriebenen Maschine tiefengelockert (Tabelle 28). Die dabei verwendeten Vollspoons werden abgenutzt. Dadurch wird pro Durchgang zwei Kilogramm Stahl[33] benötigt.

Beim Topdressing werden Substrat und Rasensaatgut auf der Rasenfläche mit einer dieselbetriebenen Maschine verteilt (Tabelle 28). Pro Arbeitsgang werden 50 Kilogramm Rasensaatgut verwendet. Diese stammen analog zur Erstellung aus den USA. Die Transportdistanz beträgt 870 km per LKW und 14’825 km mit dem Frachtschiff.

Während 5.6 Stunden Übersaat werden pro Jahr und Sportrasen 150 Kilogramm Rasensaatgut mit einer dieselbetriebenen Maschine verteilt (Tabelle 28).

Vertikutieren wird mit einer dieselbetriebenen Maschine während 4.1 Stunden pro Jahr. Dabei wird pro Jahr 1500 Kilogramm Schnittgut entfernt und entsorgt. Es wird angenommen, dass die Transportdistanz zur Entsorgungsstelle zehn Kilometer beträgt.

A2.5 Wöchentliche Pflegegänge von Kunststoffrasen

Bei der Abfallreinigung wird ohne Maschinen durchschnittlich fünf Kilogramm Abfall pro Arbeitsgang zusammengesammelt[34]. Pro Jahr finden 23 einstündige Arbeitsgänge statt. Es wird angenommen, dass dieser Abfall über eine Distanz von zehn Kilometer in die Kehrichtverbrennung transportiert wird.

[32] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 10. September 2019

[33] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefan Brunner, Grün Stadt Zürich, 10. September 2019

[34] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefan Brunner, Grün Stadt Zürich, 4. September 2019

Das Abschleppen / Abtauen geschieht während 1.5 Stunden pro Jahr und Sportrasen. Dabei wird lediglich eine dieselbetriebene Maschine verwendet (Tabelle 28).

Pro Jahr werden Kunststoffrasen während 18 Stunden aufgebürstet. Dazu wird eine Dieselbetriebene Maschine verwendet (Tabelle 28).

Ausgemäht wird mit einem kleinen Mäher während 2.6 Stunden pro Jahr. Der Transport und die Entsorgung von anfallendem Schnittgut werden bei diesem Arbeitsschritt nicht betrachtet.

Das Befeuchten findet im Durchschnitt 116-mal pro Jahr statt. Dabei werden acht Kubikmeter Wasser pro Arbeitsgang auf dem Sportrasen versprüht.

A2.6 Regelmässige Pflegegänge von Kunststoffrasen

Während 16.3 Stunden pro Jahr findet bei Kunststoffrasen eine Oberflächenreinigung statt. Dabei wird mit einer dieselbetriebenen Maschine (Tabelle 28) 27 Kilogramm Abfall[35] pro Jahr entfernt. Es wird angenommen, dass die Transportstrecke vom Abfall zehn Kilometer beträgt.

A2.7 Jährliche Pflegegänge von Kunststoffrasen

Die In- sowie Ausserbetriebnahme der Bewässerungsanlagen wird nicht berücksichtig.

Die Sportplätze werden mit einem elektrischen Laubbläser von Laub befreit. Dies während 36.5 Stunden pro Jahr. Ein Laubbläser mit einem 1527 Wh grossen Akku hat eine Laufzeit von sechs Stunden[36]. Unter der Annahme, dass 80% der Laufzeit erreicht wird und durch das Laden und Entladen einen Wirkungsgrad von 80% hat, beträgt die durchschnittliche Leistung des Geräts 0.38 kW. Die Geräte werden mit zertifiziertem Strom betrieben. Pro Jahr und Sportrasen fallen 100 kg Laub an. Es wird angenommen, dass das Laub über eine Distanz von 10 km transportiert wird.

Bei verfüllten Kunststoffrasen wird EPDM-Granulat jährlich (4.5 Stunden) ergänzt. Dabei wird eine dieselbetriebene Maschine eingesetzt (Tabelle 28). Pro Arbeitsgang müssen 2’000 kg Granulat[37] aufgefüllt werden. Der Transport des Granulates erfolgt analog zur Erstellung des Deckbelages per LKW von Deutschland.

[35] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 10. September 2019

[36] https://pellenc.com/de/catalogue-gct/

[37] Persönliche Kommunikation: E-Mail von Stefanie Jurthe, Sportrasen Coaching, 10. September 2019

Die Kunststoffrasen werden mit einer dieselbetriebenen Maschine (Tabelle 28) während 1.5 Stunden pro Jahr gestriegelt.

Während 11.2 Stunden pro Jahr findet bei Kunststoffrasen eine Tiefenreinigung statt. Dabei wird mit einer dieselbetriebenen Maschine (Tabelle 28) 84.1 Kilogramm Abfall pro Jahr entfernt. Es wird angenommen, dass die Transportstrecke vom Abfall zehn Kilometer beträgt.

Pro Jahr wird auf einem Kunststoffrasen während 4.5 Stunden Schnee geräumt. Dabei fällt eine Abfallmenge von 45 Kilogramm pro Jahr an, welche unter Annahme über eine Strecke von zehn Kilometer transportiert wird. Das Schneeräumen wird mit einer dieselbetriebenen Maschine gemacht (Tabelle 28).

ANHANG 3 ERGEBNISSE MIT ABSOLUTEN ZAHLEN

Tabelle 30: Resultate der untersuchten Rasensportfelder pro Quadratmeter. Die Fläche der untersuchten Sportrasen beträgt 7420m^2. Die Umweltauswirkungen richten sich nach den Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), nach der Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), nach der Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011). nach dem Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) und nach der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013).

Wirkungskategorien	Einheit	Naturrasen		Hybridrasen	Kunststoffrasen	
		bodennah	Dränschicht		unverfüllt	verfüllt
Treibhausgasemissionen	kg CO_2 eq	2.92E+00	3.81E+00	4.40E+00	7.73E+00	1.13E+01
Ozonschichtabbau	kg CFC11 eq	3.34E-07	5.07E-07	5.38E-07	6.05E-07	1.35E-06
Sommersmog	kg NMVOC eq	1.32E-02	1.82E-02	2.08E-02	2.36E-02	3.42E-02
Luftschadstoffe	disease inc.	3.63E-07	4.92E-07	5.37E-07	3.52E-07	5.30E-07
Radioaktive Strahlung	kBq U-235 eq	2.58E-01	3.28E-01	3.53E-01	3.71E-01	7.79E-01
Eutrophierung, Süsswasser	kg P eq	5.07E-04	6.32E-04	7.23E-04	6.83E-04	1.54E-03
Eutrophierung, Meere	kg N eq	1.71E-02	1.87E-02	1.95E-02	8.31E-03	9.51E-03
Eutrophierung, terrestrisch	mol N eq	1.64E-01	1.82E-01	1.93E-01	7.45E-02	9.65E-02
Landnutzung	Pt	2.67E+02	2.86E+02	3.05E+02	2.40E+02	2.63E+02
Mineralische Ressourcen	kg Sb eq	1.53E-05	1.68E-05	1.71E-05	1.48E-05	1.09E-04
USEtox, Menschliche Gesundheit	DALY	2.83E-09	4.56E-09	5.30E-09	7.09E-09	7.92E-09
USEtox, Ökosysteme	PDF.m3.day	5.42E-01	5.43E-01	5.15E-01	7.78E-03	1.68E-02
Wassernutzung	m3 eq.	1.73E+00	2.34E+00	2.42E+00	3.96E+00	4.68E+00
Primärenergie total	MJ	3.39E+01	4.80E+01	6.03E+01	1.18E+02	1.82E+02
Primärenergie, nicht-erneuerbar	MJ	3.07E+01	4.44E+01	5.62E+01	1.14E+02	1.76E+02
Gesamtumweltbelastung	UBP	5.84E+03	7.28E+03	8.04E+03	9.03E+03	1.33E+04

ANHANG 4 MONTE-CARLO-SIMULATION

A4.1 BODENNAHER NATURRASEN UND UNVERFÜLLTER KUNSTSTOFFRASEN

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen sind die Umweltauswirkungen von unverfülltem Kunststoffrasen bis auf die Kategorien USEtox menschliche Gesundheit und Primärenergieverbrauch total in mehr als 95 % der Fälle tiefer als für den bodennahen Naturrasen. Bodennaher Naturrasen hat in 15 % der Fälle tiefere Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nach USEtox und in knapp 60 % der Fälle einen tieferen totalen Primärenergieverbrauch.

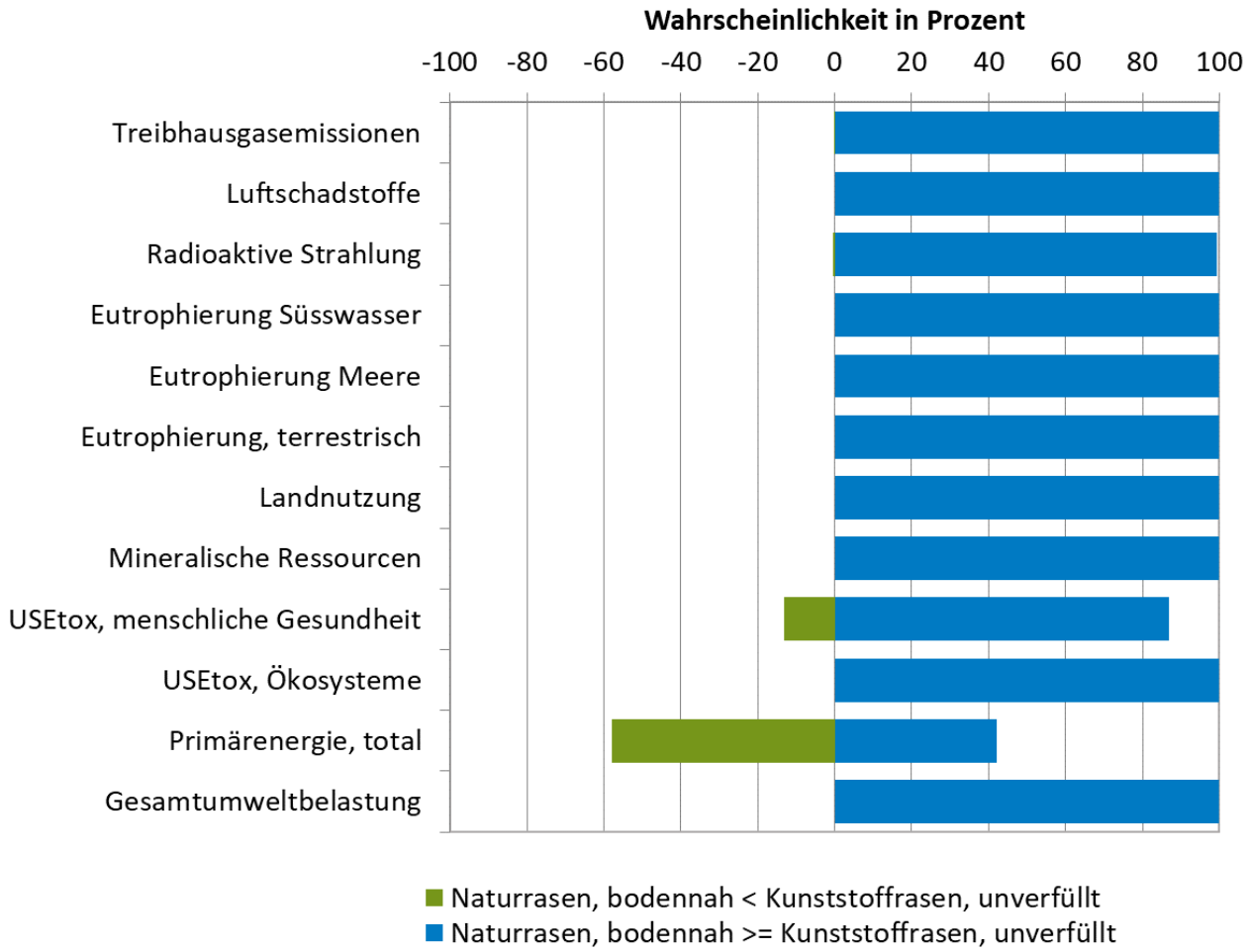

Abbildung 21: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.2 Hybridrasen und unverfüllter Kunststoffrasen

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen sind die Treibhausgasemissionen und der Primärenergiebedarf in mehr als 90 % der Fälle tiefer für den Hybridrasen. Unverfüllter Kunststoffrasen hat bei den Luftschadstoffen, bei der Eutrophierung der Meere, des Süsswassers und

der terrestrischen Eutrophierung sowie Landnutzung, mineralische Ressourcen, USEtox bei Ökosystemen und Gesamtumweltbelastung in mehr als 95% der Fälle eine tiefere Umweltauswirkung als der Hybridrasen. Radioaktive Strahlund ist in über 90 % und USEtox, menschliche Gesundheit in über 80 % der Fälle bei unverfülltem Kunststoffrasen tiefer als bei Hybridrasen.

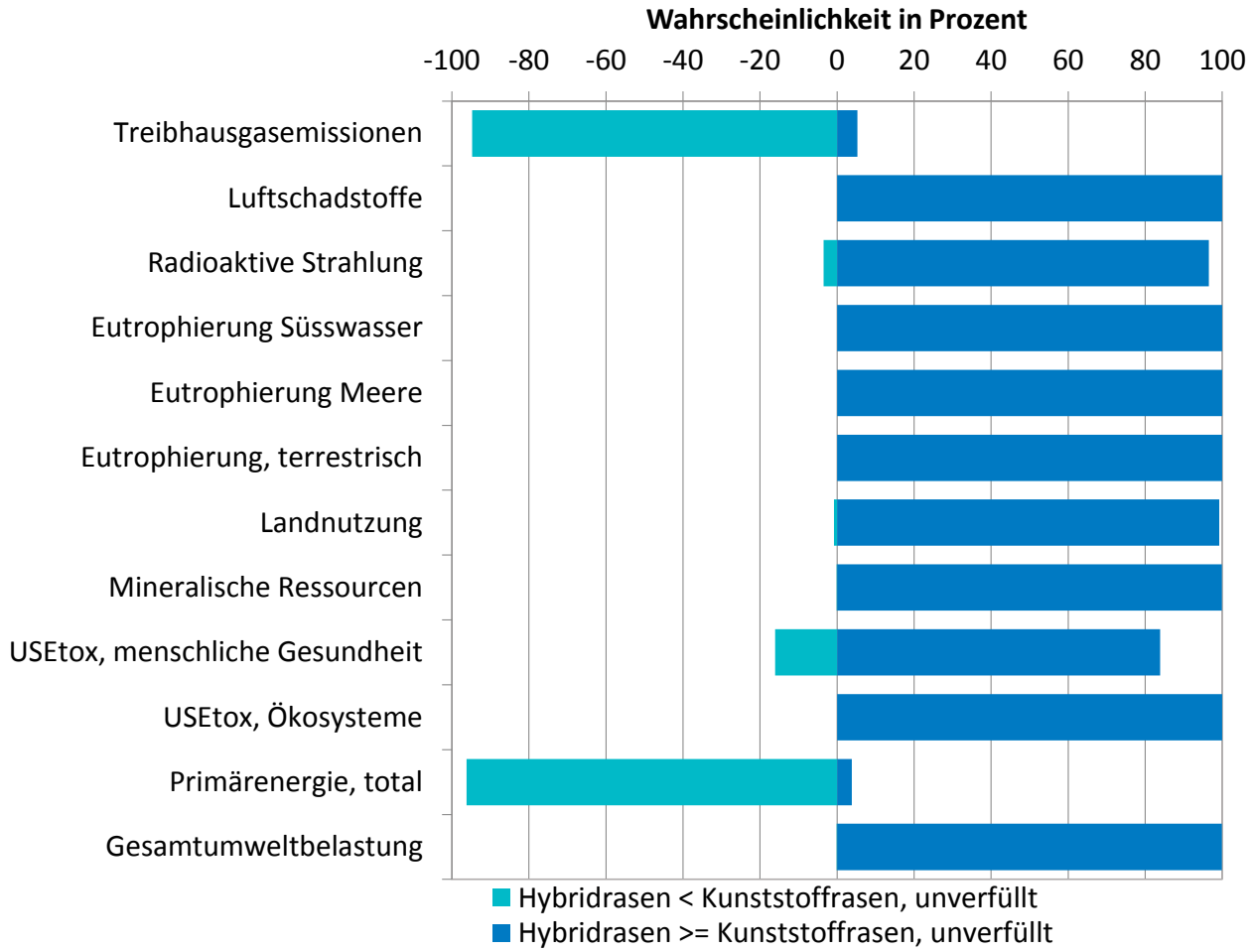

Abbildung 22: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.3 UNVERFÜLLTER KUNSTSTOFFRASEN UND VERFÜLLTER KUNSTSTOFFRASEN

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen sind die Umweltauswirkungen bis auf die Midpoint-Kategorien Landnutzung und USEtox menschliche Gesundheit in mehr als 95 % der Fälle tiefer für den unverfüllten Kunststoffrasen. Bei USEtox menschlicher Gesundheit ist der unverfüllte Kunststoffrasen in knapp 90 % der Fälle besser als der verfüllte Kunststoffrasen. Bei der Landnutzung ist der unverfüllte Kunststoffrasen in knapp 70% besser als der verfüllte.

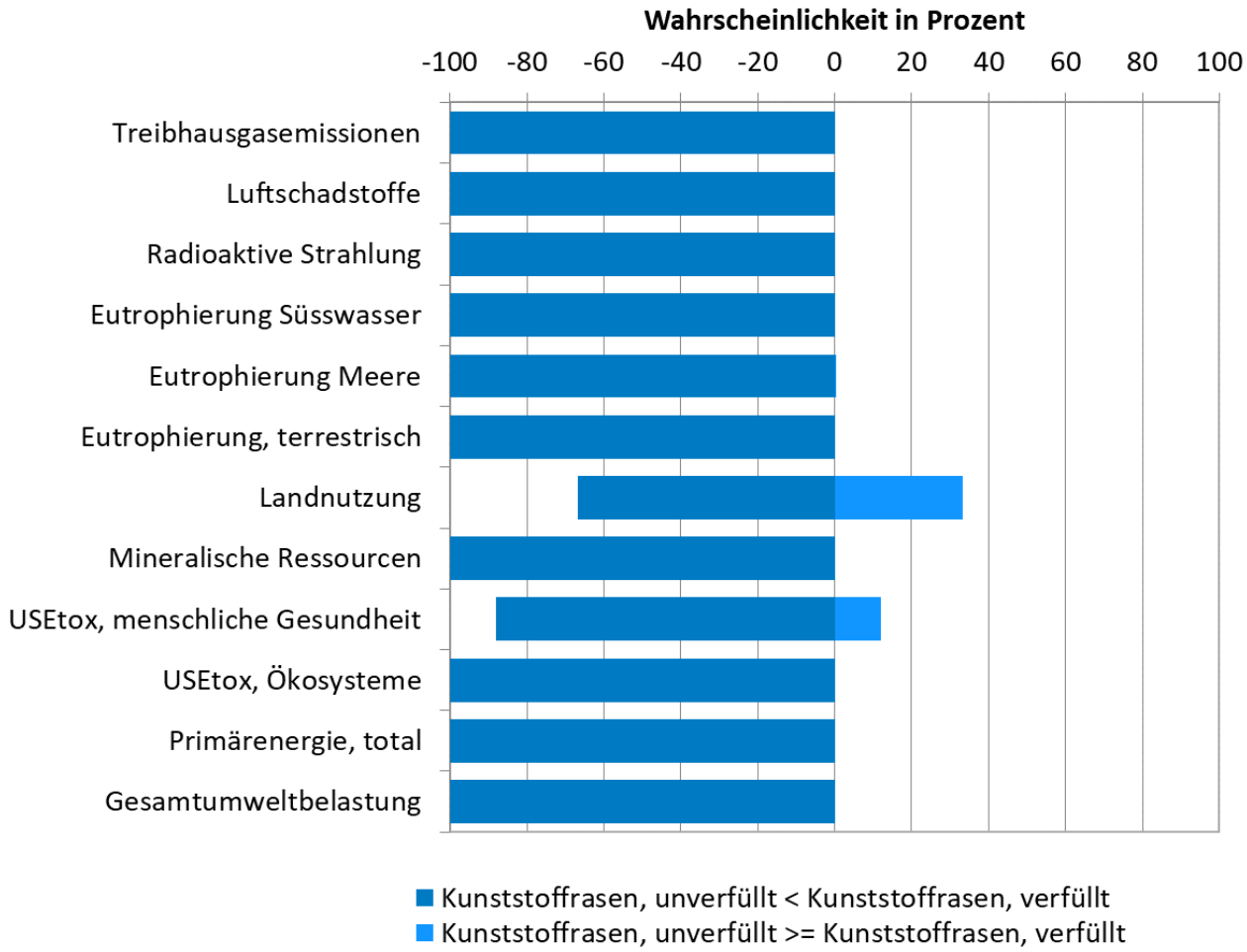

Abbildung 23: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der unverfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.4 Naturrasen mit Dränschichtbauweise und Hybridrasen

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen sind die Treibhausgasemissionen, die Luftschadstoffe, die radioaktive Strahlung, die Eutrophierung der Meere, des Süsswassers und die terrestrische Eutrophierung, sowie USETox bei der Ökosysteme und die Gesamtumweltbelastung

meist in mehr als 95 % der Fälle tiefer beim Hybridrasen als beim Naturrasen mit Dränschicht. Die Landnutzung ist in gut 20 % der Fälle tiefer beim Naturrasen mit Dränschicht, die mineralischen Ressourcen und USEtox, menschliche Gesundheit sind in 10 bis 15 % der Fälle tiefer für das Naturrasenspielfeld mit Dränschichtbauweise. Der totale Primärenergieverbrauch ist in fast 60 % der Fälle tiefer beim Naturrasen mit Dränschicht als beim Hybridrasen.

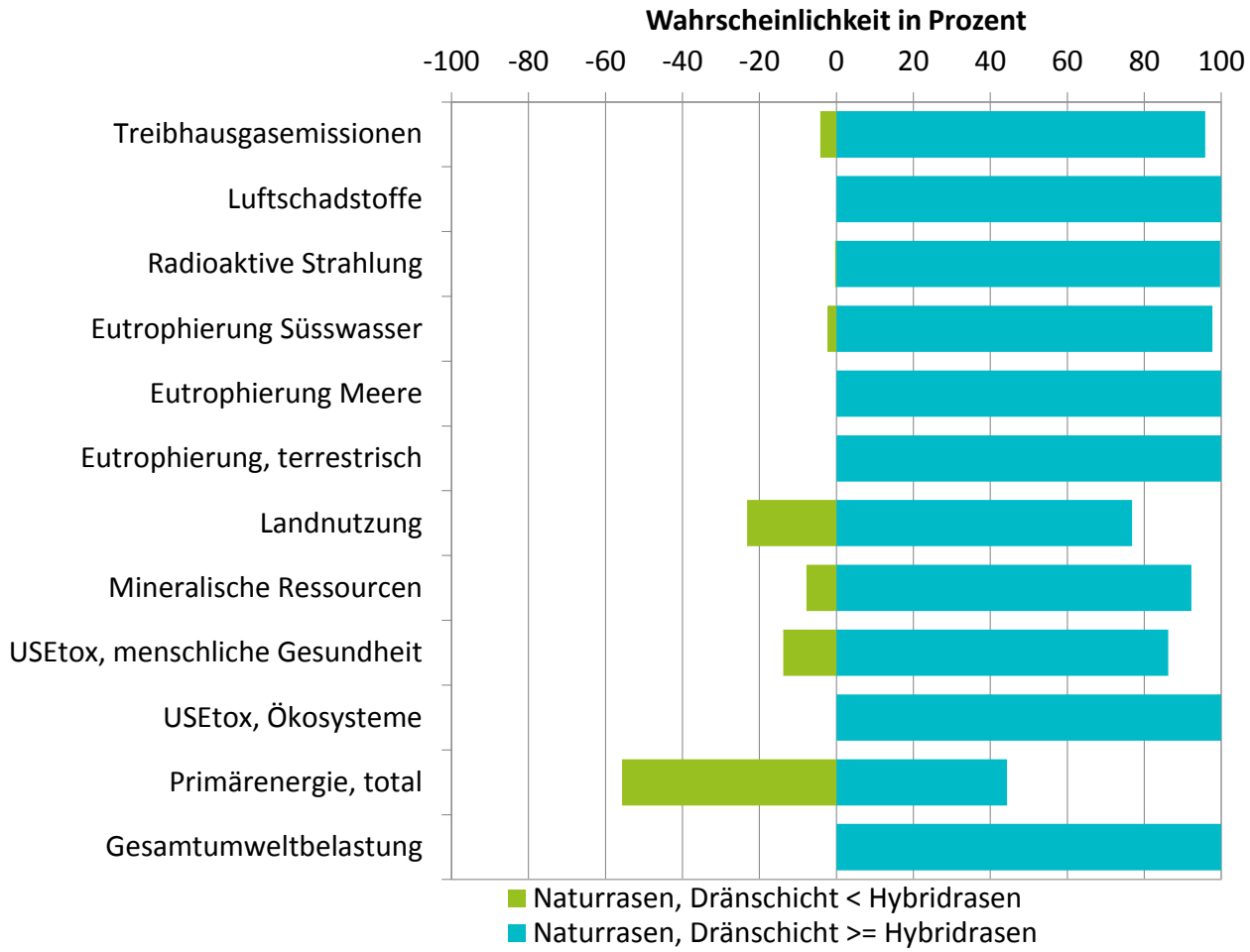

Abbildung 24: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen hat. Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.5 Bodennaher Naturrasen und Hybridrasen

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen sind die Umweltauswirkungen mit Ausnahme von USETox, menschliche Gesundheit in mehr als 95 % der Fälle tiefer für den

Hybridrasen. Bodennaher Naturrasen hat bei der Kategorie USETox menschliche Gesundheit in gut 10 % der Fälle eine tiefere Umweltauswirkung als der Hybridrasen.

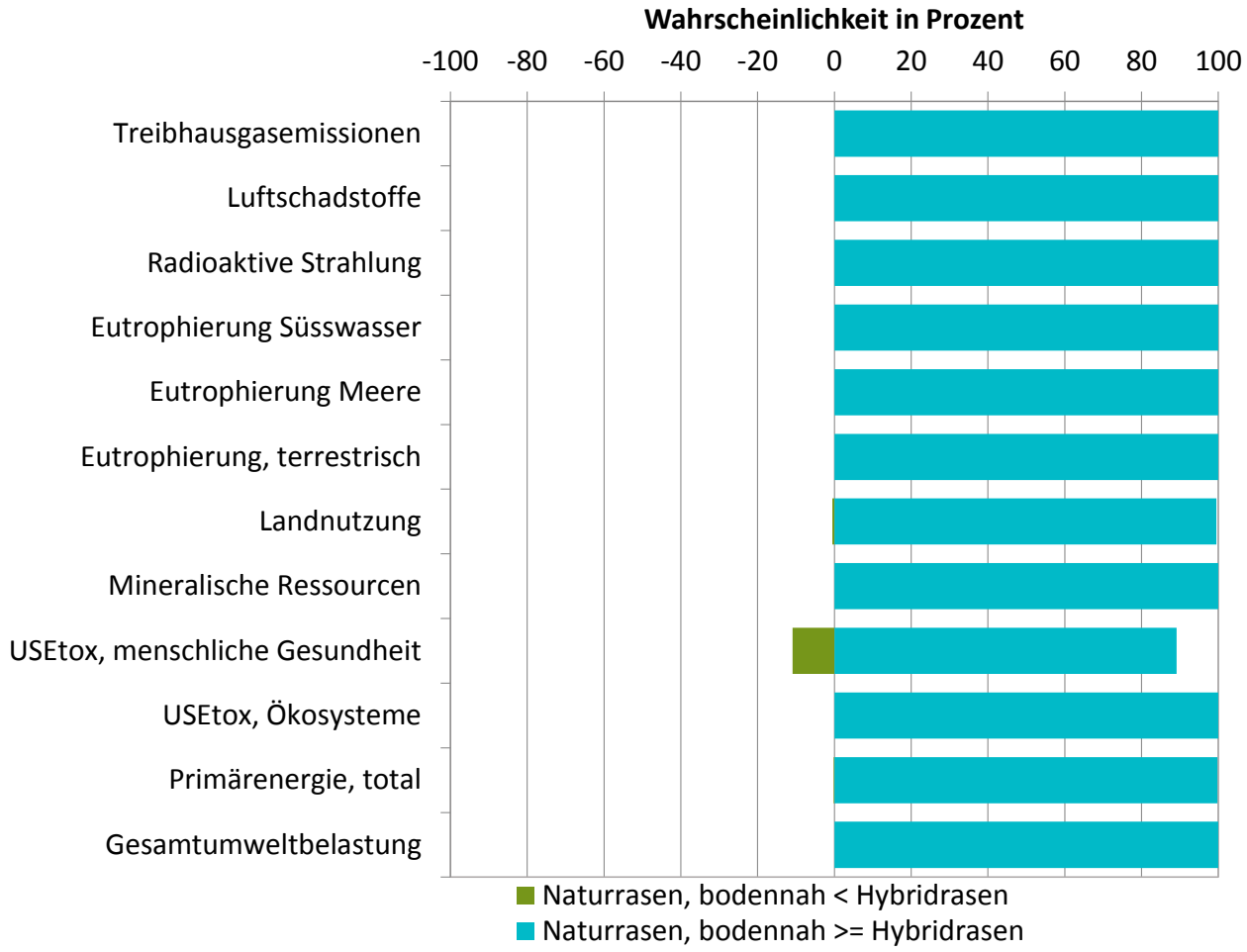

Abbildung 25: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.6 HYBRIDRASEN UND VERFÜLLTER KUNSTSTOFFRASEN

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen sind die Treibhausgasemissionen, radioaktive Strahlung, die Eutrophierung von Süsswasser, mineralische Ressourcen und der Primärenergiebedarf in mehr als 95 % der Fälle tiefer für den Hybridrasen. Verfüllter Kunststoffrasen hat bei den Luftschadstoffen, der Eutrophierung der Meere und der terrestrischen Eutrophierung sowie der Landnutzung und bei USEtox von Ökosystemen in mehr als 95% der Fälle eine tiefere Umweltauswirkung als der Hybridrasen. Die Auswirkungen nach USEtox, menschliche Gesundheit ist bei verfülltem Kunststoffrasen in über 70 % der Fälle tiefer als bei Hybridrasen. Die Gesamtumweltbelastung ist in knapp 70 % tiefer bei Hybridrasen als bei verfülltem Kunststoffrasen.

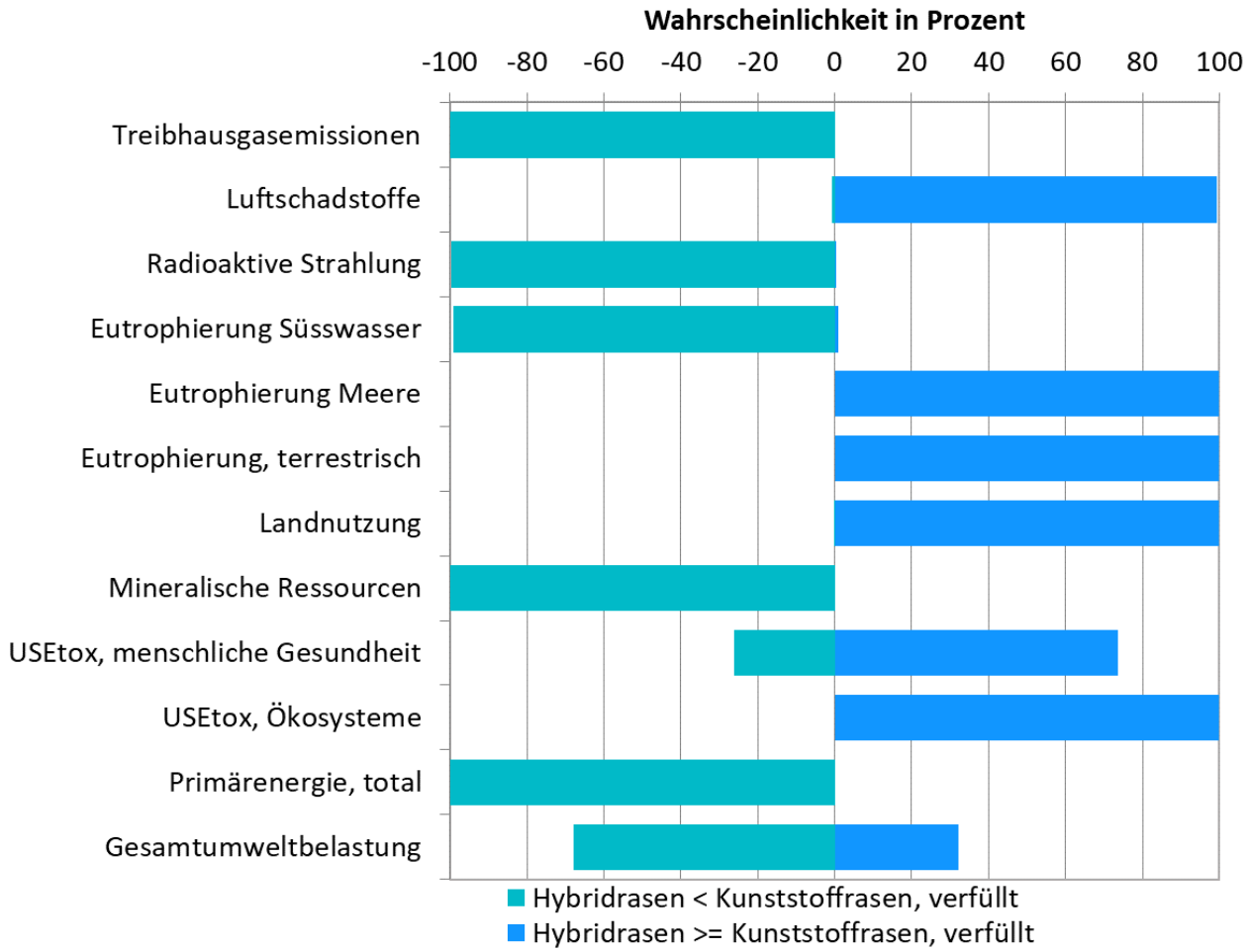

Abbildung 26: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der türkise Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Hybridrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.7 Bodennaher Naturrasen und Naturrasen mit Dränschichtbauweise

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen sind die Umweltauswirkungen, bis auf die Kategorie USETox menschliche Gesundheit, in mehr als 95 % der Fälle tiefer für den Naturrasen mit Dränschichtbauweise. Bodennaher Naturrasen hat in knapp 30 % der Fälle eine tiefere Auswirkung auf die menschliche Gesundheit nach USETox als Naturrasen mit Dränschicht.

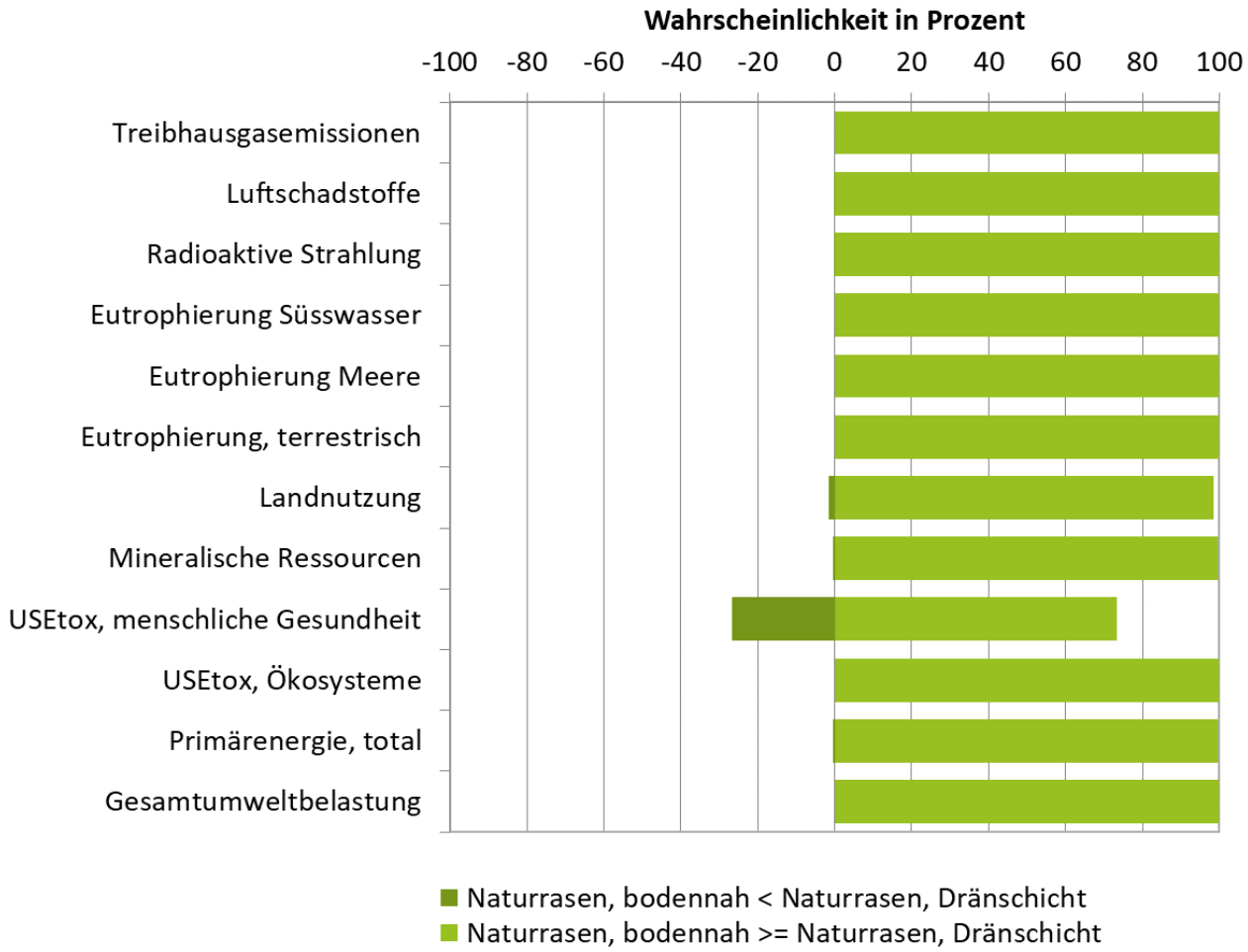

Abbildung 27: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.8 Bodennaher Naturrasen und verfüllter Kunststoffrasen

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen sind die Treibhausgasemissionen, mineralische Ressourcen und der Primärenergiebedarf in mehr als 95 % der Fälle tiefer für den bodennahen Naturrasen. In etwa 30 % der Fälle hat der bodennahe Naturrasen tiefere Auswirkungen

auf die radioaktive Strahlung, in knapp 25 % der Fälle tiefere Auswirkungen auf die Eutrophierung von Süsswasser und in unter 20 % der Fälle tiefere Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nach USEtox. In den Kategorien Luftschadstoffe, Eutrophierung der Meere und terrestrische Eutrophierung, Landnutzung, USEtox Ökosysteme und Gesamtumweltbelastung hat der verfüllte Kunststoffrasen in mehr als 95 % der Fälle tiefere Auswirkungen.

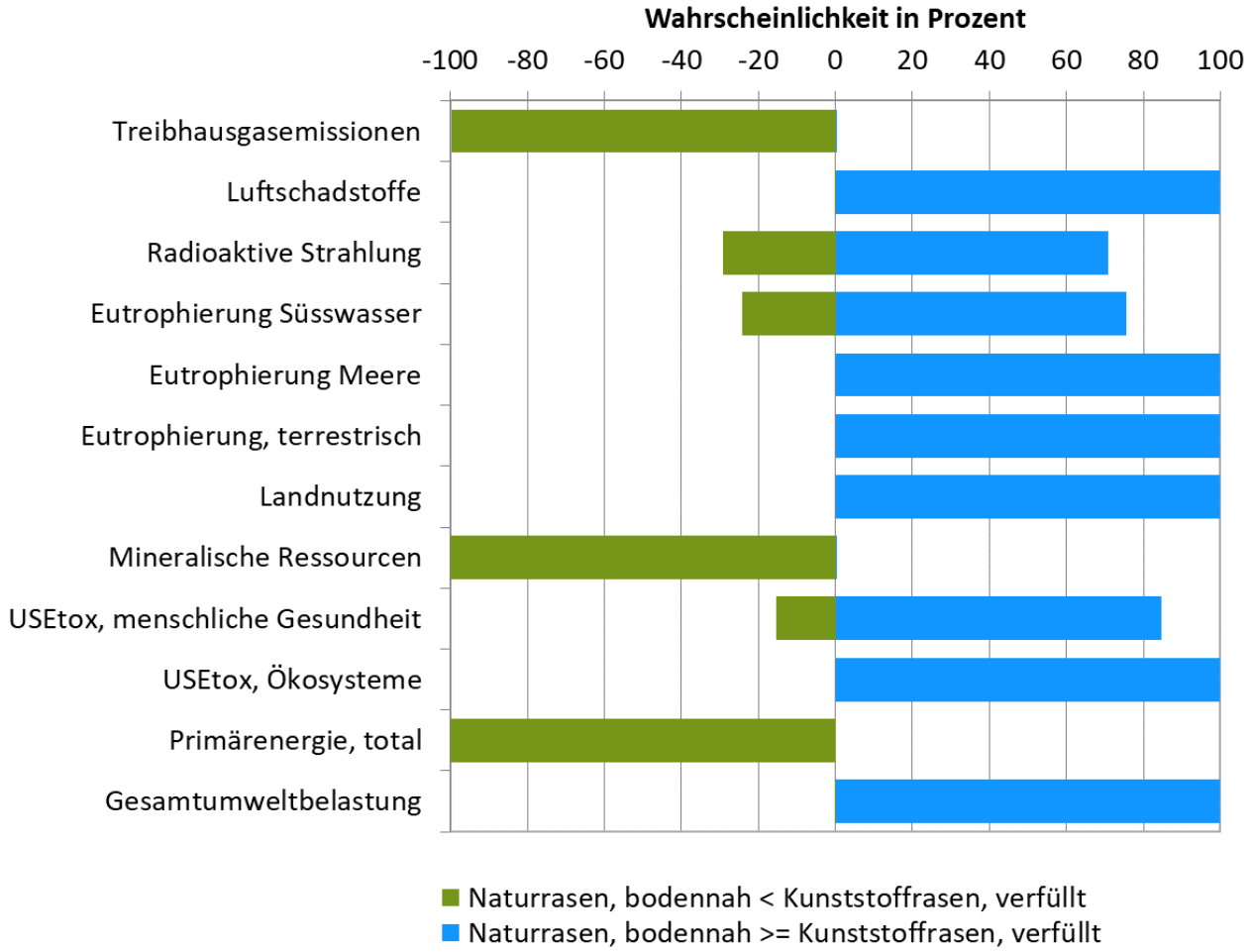

Abbildung 28: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der dunkelgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der bodennahe Naturrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

A4.9 NATURRASEN MIT DRÄNSCHICHTBAUWEISE UND VERFÜLLTER KUNSTSTOFFRASEN

Basierend auf einer Monte Carlo Simulation mit 10’000 Durchgängen sind die Treibhausgasemissionen, mineralische Ressourcen und der totale Primärenergiebedarf in mehr als 95 % der Fälle tiefer für den Naturrasen mit Dränschichtbauweise. Radioaktive Strahlung und die Eutrophierung von Süsswasser sind in zirka 90 % der Fälle tiefer für Naturrasen mit Dränschichtbauweise. Luftschadstoffe, Eutrophierung der Meere und terrestrische Eutrophierung sowie USEtox, Ökosysteme sind in mehr als 95 % der Fälle tiefer bei verfülltem Kunststoffrasen. In 80 % der Fälle ist USEtox, menschliche Gesundheit und in 90 % der Fälle die Gesamtumweltbelastung bei verfülltem Kunststoffrasen tiefer.

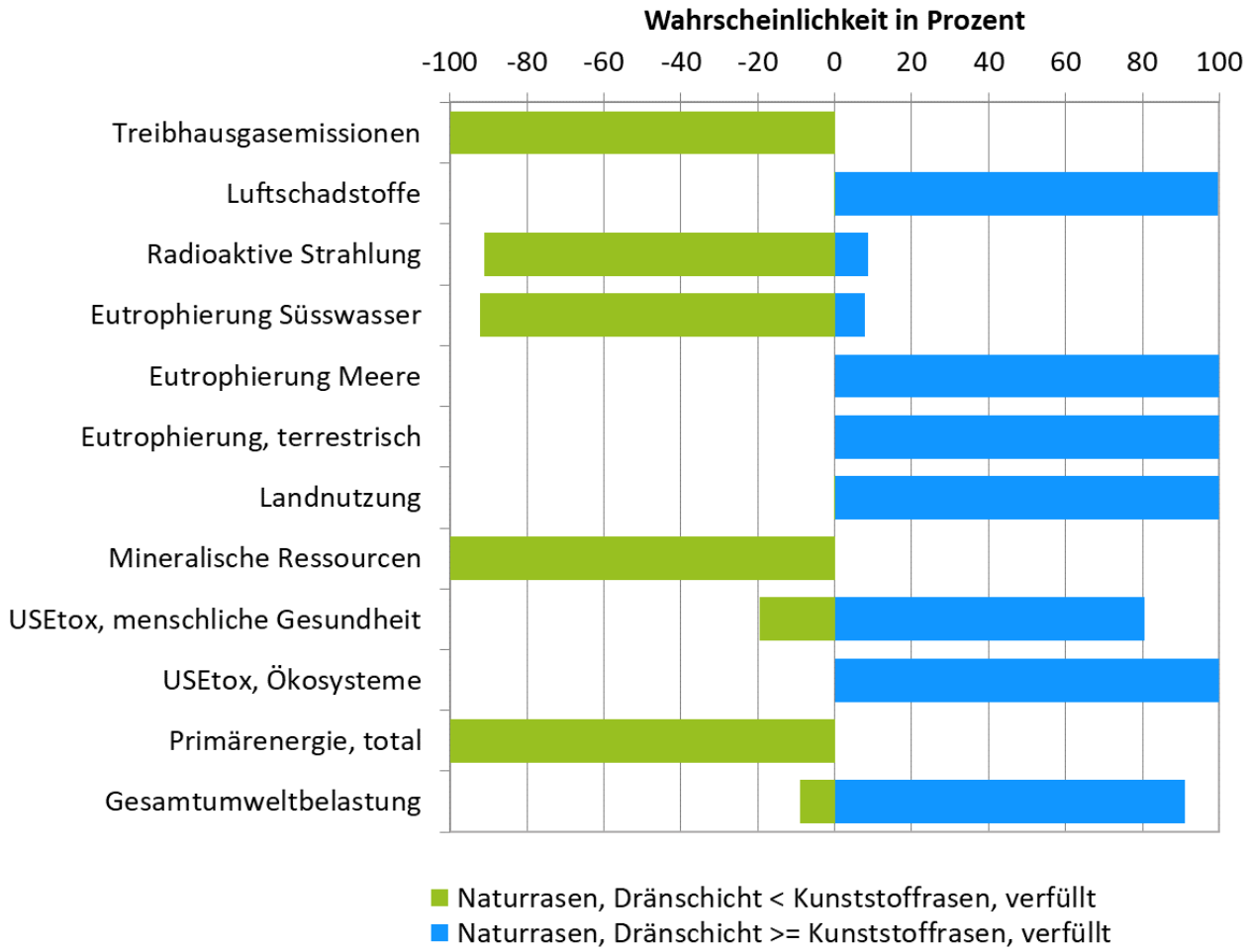

Abbildung 29: Unsicherheitsanalyse für die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Rasenspielfelder pro theoretische Nutzungsstunde für die verschiedenen Midpoint-Kategorien nach Empfehlung für Product Environmental Footprint nach Fazio et al. (2018), Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013), Primärenergieverbrauch nach Frischknecht et al. (2007) sowie Human- und Ökotoxizität nach USETox (Rosenbaum et al., 2011) und Gesamtumweltbelastung nach Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2013). Der hellgrüne Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Naturrasen mit Dränschichtbauweise tiefere Umweltauswirkungen hat. Der hellblaue Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass der verfüllte Kunststoffrasen tiefere Umweltauswirkungen hat. Monte Carlo Simulation mit 10'000 Durchgängen.

ANHANG 5 BERICHT ZU KRITISCHEM REVIEW NACH ISO

Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

IST
INSTITUT FÜR SPORTBODENTECHNIK

carbotech
Umweltprojekte und Beratung

Kritischer Review nach ISO 14'040 ff

Ökobilanzierung von Rasensportfeldern: Natur-, Kunst- und Hybridrasen der Stadt Zürich im Vergleich

Auf der Basis des Berichtes vom 3.7.2020

Autoren des geprüften Berichtes
René Itten, Lukas Glause und Matthias Stucki, ZHAW Forschungsgruppe Ökobilanzierung, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Verfasser des Reviewberichtes
Thomas Kägi, Carbotech AG, Zürich
Jürgen Sutter, Öko-Institut e. V., Darmstadt
Hans-Jörg Kolitzus, Institut für Bodensporttechnik, Diessenhofen

Anzahl Seiten: 7
Interne Referenz: 288.27
Zürich, 14. Juli 2020

Carbotech AG
www.carbotech.ch
info@carbotech.ch

Büro Basel
St. Alban-Vorstadt 19, CH-4052 Basel
T +41 61 206 95 25

Büro Zürich
Gasometerstrasse 9, CH-8005 Zürich
T +41 44 444 20 10

1 Einleitung

Die Forschungsgruppe Ökobilanzierung am Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) hat eine vergleichende Ökobilanz zu unterschiedlichen Rasensportfeldern im Auftrag von Grün Stadt Zürich (GSZ) durchgeführt.
Mit der vergleichenden Ökobilanz wird die Grundlage geschaffen, um den Primärenergieverbrauch und die Umweltauswirkungen von verschiedenen Sportrasentypen zu beurteilen. Die Ökobilanz soll aufzeigen, wo die grössten Umweltauswirkungen der Rasensportfelder auftreten und wie die Umweltbelastung wirkungsvoll reduziert werden kann. In der Studie werden Natur- und Kunststoffrasen miteinander verglichen und Möglichkeiten einer ökologischen Optimierung aufgezeigt.

Um eine hohe Qualität dieser Auswertung und eine Akzeptanz der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde diese Studie durch ein externes Review überprüft. Dieses Review sollte sich gemäss Auftrag an die Normenreihe ISO 14'040 und 14'044 und die darin genannten Forderungen halten, da in dieser Norm die heutigen Qualitätsanforderungen festgelegt sind, die an eine Ökobilanz gestellt werden. Entsprechend wurde die Studie auch bezüglich der Kompatibilität mit dieser Norm überprüft. Jedoch wird im Folgenden nicht auf alle Details der Normforderungen eingegangen, sondern das Schwergewicht auf die wesentlichen Punkte gelegt, welche auf die folgende zentrale Frage eine Antwort geben soll:

Wurde die Studie nach dem heutigen Stand des Wissens erarbeitet, so dass die Ergebnisse einen so hohen Grad an Objektivität besitzen, dass die Schlussfolgerungen für die untersuchten Systeme aussagekräftig sind?

Entsprechend soll der kritische Review sicherstellen, dass:

- die Systeme so gewählt werden, dass die Fragen beantwortet werden können,
- die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie angepasst und vernünftig sind,
- die verwendeten Methoden dem internationalen Standard entsprechen,
- die verwendeten Methoden wissenschaftlich und technisch auf den aktuellen Kenntnisstand sind,
- die gewählten Methoden für die Fragestellung geeignet sind,
- die Schlussfolgerungen das Ziel und die Grenzen der Studie berücksichtigen,
- der Bericht transparent und konsistent ist.

Die Norm wird diesbezüglich als Messlatte verwendet.

Im Folgenden wird der LCA Bericht der ZHAW als Bericht bezeichnet. Das vorliegende Dokument in dem die Ergebnisse des Reviews beschrieben werden, wird als Review Bericht bezeichnet.

2 Vorgehen

Das Review wurde entsprechend den Anforderungen Abschnitt 6.3 der ISO 14044 bzw. gemäss der Technischen Spezifikation in DIN CEN ISO/TS 14071 als Prüfung durch einen Ausschuss interessierter Kreise vorgenommen, da die Ökobilanz-Studie als Grundlage für zur Veröffentlichung vorgesehene vergleichende Aussagen bestimmt ist. Dieser Prüfungsbericht gilt ausschliesslich für den Abschlussbericht der Studie in der am 3. Juli 2020 vorgelegten Fassung. Folgende drei Fachleute waren Mitglieder des Panels:

- Thomas Kägi, Carbotech AG, Basel
  Ökobilanzexperte und Leiter des Teams
- Jürgen Sutter, Öko-Institut e. V., Darmstadt, Ökobilanzexperte
- Hans-Jörg Kolitzus, Institut für Sportbodentechnik, Diessenhofen, Gutachter und Experte für Sportböden

2.1 Art des Reviews

Es gibt zwei mögliche Vorgehen, der kritischen Prüfung einer LCA-Studie:

- Version I:
  kontinuierlich und parallel zur Entwicklung der Ökobilanz.
- Version II:
  separat nach Abschluss der Ökobilanz und getrennt von dieser.

Im vorliegenden Fall wurde die Vorgehensweise gemäss Version I gewählt, indem die Reviewer während der Ökobilanzerstellung beigezogen wurden.

Das führt zum zeitgleichen Abschluss von Ökobilanz und kritischer Prüfung. Zudem führt die Prozessbegleitung der Reviewer dazu, dass deren kritische Bemerkungen eingearbeitet werden können, so dass die Studie beim Abschluss die zu Beginn gesetzten Qualitätsansprüche erfüllt. So wurde es auch im vorliegenden Fall gemacht. Im endgültigen Review Bericht sind nur noch diejenigen Kommentare erwähnt, welche nicht oder für die Reviewer nicht zufriedenstellend berücksichtigt wurden.

2.2 Umfang der Prüfung

Bei der Durchführung einer Ökobilanz müssen einerseits grosse Datenmengen verarbeitet und andererseits Berechnungen der Umweltauswirkungen durchgeführt werden. Eine Überprüfung aller Berechnungen ist für die Reviewer nicht möglich. Entscheidend sind jedoch die Überprüfung und Diskussion des methodischen Vorgehens. Zudem können die verwendeten Daten zumindest stichprobenartig bezüglich Plausibilität geprüft werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den Vordergrund- und den Hintergrunddaten.
Als Vordergrunddaten werden diejenigen Angaben bezeichnet, welche direkt erhoben oder vom Auftraggeber der Studie zur Verfügung gestellt werden. Dabei handelt es sich z. B. um die Art und Menge der verwendeten Materialien, der Transporte und der benötigten Energieträger. Für die Prüfung der Plausibilität sowie Transparenz und somit Nachvollziehbarkeit der materialtechnischen Aspekte wurde Herr Hans-Jörg Kolitzus beigezogen.

Als Hintergrunddaten werden die Informationen über die Umweltauswirkungen bezeichnet, die für die Vordergrunddaten als Emissionen und Ressourcenbedarf für die Bereitstellung der Materialien und Dienstleistungen auftreten. Die Hintergrunddaten stammen normalerweise aus anerkannten Datenbanken wie ecoinvent. Im Rahmen des Review Prozesses wurde die Verknüpfung der Vordergrunddaten mit den Hintergrunddaten stichprobenartig geprüft. Dazu hatten die Reviewer Einblick in die gesamte Ökobilanzmodellierung. Dafür waren in diesem Review Jürgen Sutter und Thomas Kägi zuständig. Die Berechnungen der Sachbilanz und der Wirkbilanz erfolgte durch anerkannte Softwaretools; eine detaillierte Überprüfung war entsprechend nicht notwendig. Zudem wurde die Plausibilität der Daten und die Transparenz und damit Nachvollziehbarkeit der Studie begutachtet.

Der Bericht zur Ökobilanz wurde dem Review-Panel am 22. Mai 2020 zur Verfügung gestellt. Am 3. Juni 2020 erfolgte die Rückmeldung des Panels an die Ersteller mit insgesamt 47 einzelnen Anmerkungen, auf die die Ersteller in einer Stellungnahme vom 17. Juni 2020 ausführlich eingegangen sind. Die Bemerkungen und Anregungen der Reviewer wurden bei der Erstellung der Ökobilanzierung berücksichtigt und flossen entsprechend in den Schlussbericht ein. Der vorliegende Review Bericht basiert auf dem definitiven Schlussbericht vom 3. Juli 2020 und beinhaltet nur die abschliessende Beurteilung des Schlussberichtes. Die Anregungen, welche in den Schlussbericht eingeflossen sind, werden nicht mehr aufgeführt.

3 Resultat der kritischen Überprüfung

In diesem Kapitel wird zuerst die Arbeit als Ganzes kritisch gewürdigt. Anschliessend wird auf die verschiedenen Schritte bei der Erstellung einer Ökobilanz detaillierter eingegangen.

3.1 Allgemeine Kommentare und Würdigung

Die Vordergrunddaten sind umfassend und nachvollziehbar aufbereitet. Der Detaillierungsgrad der einzelnen Datensätze und Prozesse ist sehr gut. Die Herkunft der Daten ist, wo immer möglich, offen nachgewiesen.
Die Schlussfolgerungen werden mittels mehrerer Sensitivitätsanalyse und unter Verwendung ergänzender Bewertungsmethoden auf ihre Robustheit geprüft. Bei Berücksichtigung von heute als realistisch eingestufter Schwankungen in sensitiven Parametern und basierend auch auf ergänzenden Bewertungsmethoden halten wir die Hauptschlussfolgerungen für robust.
Als positiv zu erwähnen sind die am Schluss des Berichtes aufgezeigten Optimierungsmassnahmen.

3.2 Methode

Die Norm ISO 14'040 verlangt ein vierstufiges Vorgehen:

1. Festlegung der Ziele und der Rahmenbedingungen
2. Sachbilanz (Datenerhebung)
3. Wirkbilanz
4. Interpretation

wobei die Norm dieses Vorgehen nicht als linearen Ablauf versteht, sondern als iterativen Prozess, bei dem bei jedem Schritt geprüft werden muss, ob die Ergebnisse eine Anpassung der vorigen Schritte notwendig machen. Die vorliegende Studie richtete sich nach diesem iterativen Vorgehen.

3.2.1 Ziele und Rahmenbedingungen

Die Fragestellungen der Studie und damit deren Ziele sind klar definiert.
Als Vergleichsbasis für die verschiedenen Varianten dient eine Nutzungsstunde des jeweiligen Sportrasens für Fussball-Training oder Spielbetrieb in der Stadt Zürich. Diese sogenannte funktionelle Einheit (FE) wird als sinnvoll für die Fragestellung erachtet.
Für weitergehende Fragestellungen wurden zudem Auswertungen der verschiedenen Rasensportfelder pro Quadratmeter Rasensportfeld ausgewiesen.

In der Studie werden der Bau, die Pflege und die Entsorgung von Kunst-, Natur- und Hybridrasensportfelder untersucht. Das Spielfeld selbst, Bewässerungsanlagen, Zaun (Minimum gemäss dem Schweizerischen Fussballverband, SFV) sowie eine 4-Mast LED Beleuchtungsanlage und wenn nötig Mähkanten sowie die Fussballtore wurden berücksichtigt. Sonstige Infrastruktur, wie zum Beispiel Tribünen, Umkleide wurde nicht miteinbezogen. Die Reviewer erachten die Systemgrenzen für diese Studie grundsätzlich als korrekt gewählt.

3.2.2 Sachbilanz

Die Vordergrunddaten (Material- und Energiebedarf und Transporte) basieren auf spezifischen Daten für die Stadt Zürich und weisen einen sehr hohen Detailierungsgrad auf. Dabei widerspiegeln die Daten zur Erstellung den aktuellen Stand der Technik. Es wurde eine Lebensdauer von 30 Jahren angenommen.

Mit ecoinvent 3.5 wurde eine international anerkannte Datenbank für die Modellierung der Umweltwirkungen verwendet. Wo immer möglich, wurden Datensätze verwendet, die für Herstellungs- und Entsorgungsprozesse in der Schweiz repräsentativ sind. Sämtliche Vordergrunddaten konnten mit repräsentativen Hintergrunddatensätzen aus ecoinvent 3.5 oder vertretbaren Proxys verknüpft werden.

3.2.3 Wirkbilanz

Es wurden 12 Umweltwirkungen auf Midpoint Ebene betrachtet, die als für die Studie relevant eingestuft wurden. Zusätzlich wurde auf Wunsch des Auftraggebers die Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit betrachtet. Diese Methode bewertet die Umweltrelevanz der betrachteten Alternativen im Hinblick auf die Ziele der Schweizer Umwelt- und Ressourcenpolitik und wird oft für die Entscheidungsfindung herangezogen. Entsprechend begrüssen es die Reviewer, dass gesamtaggregierende Bewertungsmethoden verwendet wurden, auch wenn dies nach der Norm ISO 14044 nicht vorgesehen ist.
Die verwendeten Methoden sind aktuell und entsprechen dem heutigen Stand der Ökobilanzierung.

3.2.4 Interpretation

Die Interpretation der Resultate erfolgte sehr sorgfältig, indem verschiedenste Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden, um die Einflüsse der Annahmen zu überprüfen. Zudem wurden Unsicherheitsanalysen durchgeführt und die Resultate unter Berücksichtigung dieser Analysen diskutiert. Sehr positiv zu erwähnen sind auch die vorgeschlagenen Optimierungspotentiale, welche zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen führen können.
Positiv zu erwähnen ist die qualitative Diskussion der Mikroplastikthematik bei Kunststoffrasen sowie der Vergleich mit Resultaten aus anderen Studien.

4 Beurteilung

Aufgrund der gemachten Prüfungen, die dank der hohen Transparenz der Studie und der zur Verfügung gestellten Unterlagen sehr gut durchgeführt werden konnten, erfüllt die vorliegende Studie alle in Kapitel 1 aufgeführten Anforderungen an eine Ökobilanzstudie. In gewisser Hinsicht, wie z. B. der Qualität und Detaillierungsgrad der Vordergrunddaten sowie der Umgang mit Unsicherheiten ist sie vorbildlich. Neben der Verwendung der Monte Carlo Methode zur Bestimmung der Aussagekraft aufgrund von Ungenauigkeiten in der Sachbilanz, wurden auch Sensitivitätsanalysen durchgeführt und damit die Robustheit von Annahmen geprüft. Soweit dies aufgrund der Prüfung beurteilt werden kann, sind unter den Rahmenbedingungen der Studie die folgenden, wesentlichen Resultate und Empfehlungen korrekt und stabil:

- Pro theoretische Nutzungsstunde verursacht bei allen untersuchten Indikatoren, mit Ausnahme der Treibhausgasemissionen sowie des nicht-erneuerbaren und totalen Primärenergieverbrauchs, über den gesamten Lebenszyklus gesehen das unverfüllte Kunststoffrasensportfeld die tiefsten Umweltauswirkungen. Danach ist das Resultat unterschiedlich für die weiteren Rasensportfelder, in Abhängigkeit der untersuchten Umweltauswirkungen.

- Die Erstellung von Naturrasensportfeldern, mit oder ohne Dränschicht, hat bei allen untersuchten Indikatoren die geringsten Umweltauswirkungen pro Quadratmeter. Der Bau von Hybrid- oder Kunststoffrasenspielfeldern (unverüllt oder verfüllt), hat vergleichbar oder deutlich höhere Umweltauswirkungen für die unterschiedlichen Indikatoren, da grosse Mengen an synthetischen Materialien benötigt werden.

- Während des Betriebs sind die Umweltauswirkungen bei Natur- und Hybridrasen im Vergleich zu Kunststoffrasen deutlich höher, insbesondere im Hinblick auf die Eutrophierung, da die Herstellung des erforderlichen Mineraldüngers energieintensiv ist und die Emissionen bei seiner Ausbringung eine stark eutrophierende Wirkung haben.

- Der wichtigste Faktor für die Umweltauswirkungen ist jedoch die jährliche Nutzungszeit. Kunststoff- und Hybridrasen können im Vergleich zu Naturrasen wesentlich länger bespielt werden pro Jahr. Durch die höhere Anzahl Nutzungsstunden haben Kunststoffrasensportfelder deutlich geringere Umweltauswirkungen pro Nutzungsstunde.

- Die Umweltauswirkungen der Rasensportfelder in der Stadt Zürich können durch eine Erhöhung der Nutzungsintensität der Rasensportflächen optimiert werden, ohne dass ein Ausbau der Rasensportflächen nötig ist. Intensiv genutzte Fussballplätze verursachen pro Nutzungsstunde deutlich geringere Umweltauswirkungen als extensiv genutzte Fussballplätze.

- Bei der Planung neuer Sportrasen sollte immer eine möglichst genaue Abschätzung erfolgen, wie viele Nutzungsstunden erfolgen werden, damit das optimale Rasensportfeld gewählt werden kann. Zudem sollten Standorte gewählt werden, welche eine möglichst hohe Anzahl an Nutzungsstunden ermöglichen.

- Ein Naturrasen (bodennah oder mit Dränschichtbauweise) hat bei derselben Anzahl Nutzungsstunden eine tiefere Gesamtumweltbelastung als ein Kunststoffrasen. Wenn ein Rasensportfeld weniger als die theoretisch möglichen Nutzungsstunden eines Naturrasens bespielt wird, kann daher ein Naturrasen empfohlen werden.

- Bei Kunststoffrasen ist aus Umweltsicht in jedem Fall ein unverfüllter Kunststoffrasen zu bevorzugen.

- Die Menge des Stickstoffdüngers könnte halbiert werden, wenn das Schnittgut nicht abgeführt wird, sondern als Mulch auf dem Rasen liegenbleibt. Wenn die jährliche Düngermenge reduziert werden könnte, ohne, dass die Qualität des Rasens abnimmt, würde damit die Umweltbelastung der Natur- und Hybridrasen deutlich gesenkt.

- Durch eine Umstellung von Mähen mit Grasaufnahme zu Mulchen ergibt sich ein weiterer Vorteil: Zum Mulchen bräuchte es nicht mehr eine dieselbetriebene Maschine, sondern ein elektrischer Mähroboter würde für diesen Arbeitsgang ausreichen.

Auch bei etwas anderen Annahmen ergeben sich keine gegenteiligen Schlussfolgerungen. Der Auftraggeber kann sich somit auf diese Hauptaussagen der Studie verlassen.