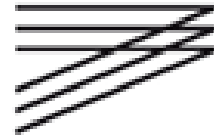




HS PF



Hochschule Pforzheim
Fakultät für Wirtschaft und Recht
Life Cycle and Sustainability (M.Sc.)

Ökobilanzielle Bewertung von Tennisplatzbelägen

Masterthesis
- bereinigte Version -

Sommersemester 2026
Erstprüfer: Prof. Dr. -Ing. Claus Lang-Koetz
Zweitprüfer: Prof. Dr. Tobias Viere

Tabea Kury
Matrikelnummer: 332872
kurytabe@hs-pforzheim.de

Bearbeitungszeitraum: 09.10.2025 – 09.03.2026

Praxispartner
Deutscher Tennis Bund e.V.
Isabell Faßhauer
Referentin Vereins- und Mitgliederentwicklung

Die vorliegende Arbeit wurde im Auftrag des Deutschen Tennis Bundes e.V. ausgearbeitet und enthält firmeninterne Informationen und vertrauliche Daten folgender Firmen:

- In dieser bereinigten Version wurden alle sensiblen Informationen der Praxispartner entfernt.

In dieser bereinigten Version wurden alle sensiblen Informationen der Praxispartner entfernt.

Um eine inklusive Sprache zu gewährleisten, wurde in der vorliegenden Masterthesis eine geschlechtersensible Ausdrucksweise angewendet. Alle personenbezogenen Begriffe wurden daher in geschlechtsneutraler Form verwendet. Begriffe, die sich auf Unternehmen oder juristische Personen beziehen, wie beispielsweise "Lieferant", wurden hingegen nicht geändert.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Tabea Kury, die vorliegende Masterarbeit selbständig verfasst zu haben. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Texte, Gedankengänge, Konzepte, Grafiken usw. habe ich als solche gekennzeichnet und mit vollständigen Verweisen auf die jeweilige Quelle versehen. Weiter wurde die Arbeit bisher nicht an einer anderen Stelle zur Prüfung vorgelegt.

Ich habe Künstliche Intelligenz als Ausführungs- und Gestaltungswerkzeug eingesetzt, bin mir jedoch bewusst, dass die Nutzung maschinell generierter Texte, Grafiken, Bilder, Bewegtbilder, Codes etc. keine Garantie für Qualität und Korrektheit gewährleistet. Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage Verantwortung, falls es zu fehlerhaften Inhalten, zu Verstößen gegen das Datenschutzrecht, das Urheberrecht oder zu wissenschaftlichem Fehlverhalten (z.B. Plagiate) kommt. Ich versichere, dass in der vorliegenden Arbeit mein intellektueller und gestalterischer Einfluss überwiegt und ich beim Einsatz KI-gestützter Werkzeuge steuernd gearbeitet habe. Ich habe keine KI-Tools verwendet, deren Nutzung der Prüfer explizit schriftlich ausgeschlossen hat. Zusätzlich versichere ich, dass ich KI-gestützte Werkzeuge in der Rubrik „Übersicht verwendeter Hilfsmittel“ mit ihrem Produktnamen und Angaben zu genutzten Funktionen der Software sowie zum Nutzungsumfang vollständig aufgeführt habe. Weitere Vorgaben der Prüfer zur Dokumentation habe ich entsprechend beachtet.

Pforzheim, den 09.03.2026

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Zielsetzung	3
2 Grundlagen	4
2.1 Klassifizierung von Tennisplatzbelägen.....	4
2.2 Geografische Verteilung Belagtypen.....	7
2.3 Aufbau	10
2.3.1 Ziegelmehlplatz	10
2.3.2 Ganzjahresziegelmehlplatz: Red Clay Pro	13
2.3.3 Hartplatz: ConiRAce	13
2.3.4 Kunstrasen: Ligagrass Pro R	14
2.3.5 Künstlicher Sandplatz: Top Sand	16
2.4 Umweltwirkung von Tennissport und -infrastruktur	16
3 Methodik	20
3.1 Ökobilanz	20
3.2 Entwicklung der Entscheidungshilfe.....	24
3.3 Verwendete Hilfsmittel.....	26
4 Ökobilanzierung	28
4.1 Ziel und Untersuchungsrahmen	28
4.1.1 Funktionelle Einheit und Referenzflüsse	28
4.1.2 Systemgrenzen	30
4.1.3 Bewertungsmethoden	30
4.2 Sachbilanz	31
4.2.1 Belag.....	32

4.2.2	Unterkonstruktion.....	33
4.2.3	Platzbau	34
4.2.4	Transport.....	35
4.2.5	Jährliche Platzpflege und Sanierung	36
4.3	Wirkungsabschätzung.....	37
4.4	Auswertung	37
4.4.1	Szenarioanalysen.....	43
5	Entwicklung der Entscheidungshilfe.....	47
5.1	Ziel, Zielgruppe und Anforderungen.....	47
5.2	Strukturierung der Ergebnisse	49
5.3	Kriterienauswahl	50
5.4	Ergebnisdarstellung	52
5.5	Aufbau und Struktur.....	53
6	Diskussion	54
6.1	Einordnung in den Forschungsstand	54
6.2	Diskussion der Ergebnisse.....	55
6.3	Diskussion Methodik und Datenunsicherheiten.....	57
7	Fazit, Handlungsempfehlungen und Ausblick	61
	Literaturverzeichnis.....	V
	Anhang	XII

Abkürzungsverzeichnis

ATP	Association of Tennis Professionals
BTV	Bayrischer Tennis Verband e.V.
CPR	Court Pace Rating
DTB	Deutscher Tennis Bund e.V.
ISO 14040	DIN EN ISO 14040:2021-02
ISO 14044	DIN EN ISO 14044:2021-02
ITF	International Tennis Federation
PU	Polyurethan
SBR	styrene-butadiene rubber, dt. Styrol-Butadien-Kautschuk
TNB	Tennisverband Niedersachsen-Bremen e.V.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Belagtypen ITF Klassifizierung	6
Tabelle 2: Informationsmatrix	25
Tabelle 3: Übersicht verwendete Hilfsmittel.....	27
Tabelle 4: Referenzflüsse	29
Tabelle 5: Midpoint Umweltwirkungskategorien nach ReCiPe 2016.....	31
Tabelle 6: Belagaufbau.....	32
Tabelle 7: Verwendete Datensätze Belag	32
Tabelle 8: Verwendete Datensätze Unterkonstruktion	34
Tabelle 9: Prozesse Platzbau	34
Tabelle 10: Verwendete Datensätze Platzbau	35
Tabelle 11: Verwendete Datensätze Transport.....	36
Tabelle 12: Arbeitsschritte Nutzungsphase	36
Tabelle 13: Verwendete Datensätze jährliche Platzpflege.....	36
Tabelle 14: Verwendete Datensätze Sanierung.....	37
Tabelle 15: Szenarioanalyse Lebensdauer.....	44
Tabelle 16: Strukturierte Ökobilanzergebnisse	49
Tabelle 17: Kriterien Entscheidungshilfe	50
Tabelle 18: Umweltkriterien Entscheidungshilfe	51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung von Tennisplatzbelägen weltweit.....	7
Abbildung 2: Verteilung von Tennisplatzbelägen nach Region	8
Abbildung 3: In Betracht gezogene Beläge.....	10
Abbildung 4: Schichtenfolge Tennenplatz	12
Abbildung 5: Schichtenfolge Kunststoffrasen	15
Abbildung 6: Vorgehensweise Datensatzauswahl	22
Abbildung 7: Vorgehen.....	23
Abbildung 8: Systemgrenzen	30
Abbildung 9: Normiertes Gesamtergebnis	38
Abbildung 10: Umweltwirkungen für die verschiedenen ReCiPe Midpoint Kategorien	39
Abbildung 11: Wirkungskategorie Klimawandel.....	40
Abbildung 12: Wirkungskategorie Klimawandel Ziegelmehl.....	41
Abbildung 13: Vergleich Modellierung Ziegelmehl.....	42
Abbildung 14: Vergleich Ziegelmehl nach Lebenszyklusphase.....	42
Abbildung 15: Auswertung Szenariovergleich Lebensdauer nach Lebenszyklusphase	45
Abbildung 16: Auswertung Szenariovergleich Lebensdauer	45
Abbildung 17: Auswertung Szenariovergleich Lebensdauer Nutzung	46
Abbildung 18: Vorgehen Visualisierung nach Holberg et al. (2021).....	52

1 Einleitung

Sport ist ein zentraler Bestandteil unserer Gesellschaft. Neben den positiven Auswirkungen auf die körperliche Gesundheit fördert sportliche Betätigung auch die soziale Teilhabe, Integration und das persönliche Wohlbefinden bedeutend. Gleichzeitig geht auch dieser Lebensbereich wie alle anderen menschlichen Aktivitäten mit erheblichen Umweltwirkungen einher. Diese unterscheidet sich jedoch je nach Art der Sportausübung: Während Individualsport, welcher oft in öffentlichen und Naturräumen stattfindet, meist mit verstärkter Umweltverschmutzung oder Erosion einhergeht, verursachen beim Profisport vor allem große Sportveranstaltungen und das Zuschaueraufkommen die größten Emissionen. Im Breitensport liegen die größten Treiber dagegen hauptsächlich im Bau, der Nutzung, Pflege und Instandhaltung von Sportanlagen und anderer Sportinfrastruktur, welche von Sportvereinen und -verbänden organisiert und bereitgestellt wird (Fuchs & Hodeck, 2024). Da diese Art Sport zu treiben stark verbreitet ist, liegt gerade hier ein großer Hebel, um negative Umweltwirkungen zu reduzieren und den Breitensport nachhaltiger zu gestalten.

In Deutschland zählt Tennis zu den beliebtesten Sportarten im Breitensport und ist weit verbreitet (IfD Allensbach, 2024). Der Deutsche Tennis Bund als Dachorganisation der deutschen Verbände zählte 2024 um die 1,5 Millionen Mitglieder in insgesamt 8.640 Vereinen und ist damit der drittgrößte Sportverband des Landes (Deutscher Tennis Bund e.V., o. J.-b). Dabei umfasst die bestehende Infrastruktur für diesen Sport aktuell 44.454 Tennisplätze, sowohl Indoor- als auch Außenplätze, was die bedeutende infrastrukturelle Verankerung von Tennis in Deutschland verdeutlicht (Deutscher Tennis Bund, 2025).

Aufgrund dieser umfangreichen Infrastruktur für Tennis ergibt sich hier ein relevanter Handlungsbereich, um ökologische Verbesserungen im Breitensport umzusetzen. Dabei kann besonders die Wahl des Belagtyps eines Tennisplatzes die Umweltwirkungen maßgeblich beeinflussen, da sich Beläge in Materialzusammensetzung, Herstellungsprozessen und Pflegeaufwand erheblich unterscheiden. Zugleich werden aufgrund zunehmender Wasserknappheit in vielen Kommunen immer häufiger Bewässerungsverbote ausgesprochen, weshalb herkömmliche Tennisplätze zeitweise nicht mehr bewässert werden dürfen. Beispielsweise sind in Niedersachsen besonders viele Regionen durch eine niedrige Grundwasserverfügbarkeit betroffen (Lütkemeyer & Kuhn, 2025), weshalb beispielsweise für Hannover im Sommer zeitliche Beschränkungen für die Bewässerung von Grün- und Sportanlagen gelten. So darf zwischen dem 1. Juni

und dem 30. September bei Temperaturen über 27 °C zwischen 11 und 17 Uhr keine flächige Bewässerung erfolgen (Landeshauptstadt Hannover, o. J.). Um den Spielbetrieb im Sommer aufrecht zu erhalten, müssen sich Vereine mit Veränderungen in der Organisation und auch verstärkt mit alternativen Belagsystemen auseinandersetzen.

Da ein großer Teil der bestehenden Tennisanlagen darüber hinaus während der Boomphase des Tennissports in Deutschland in den 1980er- und 1990er-Jahren errichtet wurde, erreichen viele Plätze derzeit das Ende ihrer technischen Lebensdauer und müssen grundlegend saniert oder erneuert werden (Deutscher Tennis Bund e.V., o. J.-b; Hübner & Wulf, 2014). Gerade in dieser Situation eröffnet sich die Möglichkeit, neben herkömmlichen Kriterien wie Kosten oder Spielbarkeit auch ökologische Aspekte systematisch in den Entscheidungsprozess einzubinden.

1.1 Problemstellung

Obwohl bereits erste Studien zur ökologischen Bewertung von Sportstätten und Sportplatzbelägen vorliegen, wurden Tennisplatzbeläge bislang kaum spezifisch untersucht. Die bisherige Forschung konzentriert sich überwiegend auf den ökologischen Vergleich von Natur- und Kunstrasen, insbesondere im Kontext von Fußballplätzen, sowie auf die Analyse der Umweltwirkungen großer Sportveranstaltungen (Edwards et al., 2016; Gandola & Asdrubali, 2024; Itten et al., 2020; Russo et al., 2022). Dabei stehen vor allem Aspekte wie Materialeinsatz, Energieverbrauch, Pflegeaufwand oder Treibhausgasemissionen im Fokus.

Sportarten mit anderen infrastrukturellen Anforderungen, wie beispielsweise der Tennissport, wurden in diesen Untersuchungen bislang nur am Rande berücksichtigt. Dies ist insofern relevant, als Tennisplätze eine große Bandbreite unterschiedlicher Belagssysteme aufweisen, die sich sowohl im konstruktiven Aufbau als auch im Materialeinsatz und im Pflegeaufwand deutlich unterscheiden. Dadurch können sich auch die Umweltwirkungen über den Lebenszyklus hinweg erheblich unterscheiden.

Diese Arbeit setzt an dieser Forschungslücke an und untersucht die Umweltwirkungen verschiedener Tennisplatztypen systematisch im Rahmen verschiedener Ökobilanzen. Ziel ist es, die Unterschiede zwischen den Belagssystemen über Herstellungs- und Nutzungsphase hinweg vergleichend herauszuarbeiten und zentrale Einflussfaktoren sowie potenzielle Hotspots der Umweltwirkungen zu identifizieren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zudem dazu beitragen, eine fundierte Grundlage für zukünftige

Entscheidungen im Tennisplatzbau zu schaffen und ökologische Aspekte stärker in die Planung von Tennisanlagen zu integrieren.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Ermittlung der Umweltwirkungen verschiedener Tennisplatzbeläge mittels Ökobilanzen sowie die Aufbereitung der Ergebnisse in einer praxisorientierten Entscheidungshilfe, der Vereinen und Verbänden als fundierte Entscheidungsgrundlage bei der Auswahl eines neuen Platzsystems dient.

Daraus abgeleitet ergeben sich die zentralen Forschungsfragen, die den Aufbau dieser Arbeit strukturieren:

1. Welche Umweltwirkungen entstehen durch den Bau und die Nutzung verschiedener Tennisplatzbeläge und wodurch werden diese maßgeblich beeinflusst?
 - a. Wie unterscheidet sich die Umweltwirkung der verschiedenen Tennisplatzbeläge über den gesamten Lebenszyklus hinweg?
 - b. Welche Materialien und Herstellungsprozesse tragen am stärksten zu den Umweltwirkungen der einzelnen Belagtypen bei?
 - c. In welchen Lebenszyklusphasen entstehen die größten Umweltbelastungen für die verschiedenen Beläge?
 - d. Welche Wirkungskategorien sind für die Umweltbewertung besonders relevant?
2. Wie können die Erkenntnisse der ökobilanziellen Bewertung genutzt werden, um Vereine bei der Auswahl geeigneter Tennisplätze zu unterstützen?
 - a. Wie lassen sich die Ergebnisse der Ökobilanzierung vergleichbar für die Vereine darstellen?
 - b. Welche Kriterien sollten in einer Entscheidungshilfe zur Auswahl neuer Tennisplatzbeläge berücksichtigt werden?

2 Grundlagen

Dieses Kapitel legt die theoretischen und fachlichen Grundlagen für die Untersuchung der Umweltwirkungen verschiedener Tennisplatzbeläge sowie deren Aufbereitung in einer praxisorientierten Entscheidungshilfe. Ziel ist es, einen Überblick über zentrale Aspekte und Unterschiede in der Bauweise der verschiedenen Beläge und deren Klassifikation zu geben und zugleich deren geografische Verbreitung darzustellen. Darüber hinaus werden die aktuelle öffentliche Debatte sowie der Stand der Forschung zur Umweltbewertung im Tennissport, insbesondere im Hinblick auf die Tennisinfrastruktur betrachtet.

2.1 Klassifizierung von Tennisplatzbelägen

Für die meisten Sportarten existieren verbindliche Regelwerke, die detailliert festlegen, wie Spielfelder gestaltet sein müssen. Abmessungen, Gefälle sowie insbesondere die Beschaffenheit der Spielfläche sind, vor allem im Wettkampf- und Turnierbetrieb, streng normiert. Zwar finden sich im Freizeit- und Amateursport vereinzelt Abweichungen, etwa Fußballplätze mit Sandoberfläche oder Volleyballfelder auf Asphalt, diese gelten jedoch nicht als regelkonform und sind für den offiziellen Spielbetrieb nicht zugelassen. So wird beispielsweise in den internationalen Spielregeln für Volleyball explizit darauf hingewiesen, dass bei Wettkämpfen der Fédération Internationale de Volleyball (FIVB) der Sportboden ausschließlich aus Holz oder Kunststoff bestehen darf (Deutscher Volleyball-Verband, 2022, S. 16). Ähnlich restriktiv sind die Vorgaben im Fußball: Das Reglement des Deutschen Fußball-Bund schreibt Naturrasen als Standard für Spielflächen vor, während Kunstrasen nur unter bestimmten Voraussetzungen für den Turnierbetrieb zugelassen ist (Deutscher Fußball-Bund, 2025, S. 5).

Im Tennissport stellt sich die Situation grundlegend anders dar. In den Regeln der International Tennis Federation (ITF) existieren keine vergleichbar restriktiven Vorgaben zur Art der Spielfläche. Vielmehr gilt die Diversität der Bodenbeläge als charakteristisches Merkmal des Tennissports. Diese werden gezielt eingesetzt, um die Spieldynamik zu beeinflussen. Unterschiedliche Oberflächen weisen spezifische physikalische Eigenschaften auf, wodurch Variationen in Spieltempo, Spin und Ballabsprunghöhe resultieren. Diese Unterschiede wirken sich unmittelbar auf Technik, Taktik und die physische Belastung der Spieler:innen aus (Vaverka et al., 2018, S. 1).

Im professionellen Tennissport werden diese belagsspezifischen Unterschiede nicht nur akzeptiert, sondern bewusst genutzt. So finden bedeutende Turniere, beispielsweise die vier Grand-Slam-Turniere, auf unterschiedlichen Platzbelägen statt. Daraus resultieren jeweils spezifische Anforderungsprofile, die unterschiedliche Spielertypen sowie taktische Ausrichtungen begünstigen. Die Fähigkeit, sich an wechselnde Beläge anzupassen, gilt daher als zentrale Herausforderung und als wesentliches Qualitätsmerkmal im Leistungstennis.

Zur systematischen Einordnung der verschiedenen Tennisplatzbeläge verfolgt die ITF zwei Ansätze, die sich insbesondere in ihrer Zielsetzung unterscheiden. Zum einen findet das sogenannte Court Pace Rating (CPR) Anwendung. Dabei handelt es sich um ein standardisiertes Test- und Zertifizierungsverfahren, welches die Spielgeschwindigkeit eines Belags unter definierten Bedingungen ermittelt. Auf Basis dieser Messungen werden Beläge einer von fünf Kategorien zugeordnet, die von „langsam“ (Kategorie 1) bis „schnell“ (Kategorie 5) reichen. Typischerweise fallen Ziegelmehlplätze in die langsameren Kategorien, während (Kunst-)Rasenbeläge häufig den schnelleren Klassen zugeordnet werden. Ziel des CPR ist es, die Spieleigenschaften unterschiedlicher Beläge objektiv vergleichbar zu machen und eine einheitliche Grundlage für deren Zertifizierung sowie für die Planung und Durchführung von Wettkämpfen zu schaffen (International Tennis Federation, 2025b, S. 20 ff.).

Zum anderen unterscheidet die ITF Tennisplatzbeläge anhand eines baulich orientierten Klassifikationsansatzes, der unabhängig von den spieltechnischen Eigenschaften ausschließlich den konstruktiven Aufbau der Plätze berücksichtigt. Diese Einteilung dient nicht der Zertifizierung, sondern der Standardisierung von Baubeschreibungen und stellt eine systematische Orientierungshilfe dar. Im Mittelpunkt stehen dabei die Struktur der einzelnen Belagsschichten sowie die jeweils verwendeten Materialien (International Tennis Federation, 2025b, S. 45). Dementsprechend fungiert die in Tabelle 1 aufgeführte Klassifikation der ITF als Grundlage für die Bezeichnung der Platzbeläge in dieser Arbeit.

Tabelle 1: Belagtypen ITF Klassifizierung

Belagstyp	Beschreibung
Acryl/ Polyurethan¹	Strukturierte, pigmentierte, harzgebundene Beschichtung
Künstlicher Sandplatz²	Mit Sand und/ oder Gummigranulat eingestreute Oberfläche mit dem Erscheinungsbild eines Ziegelmehlplatzes
Kunstrasen²	Synthetische Oberfläche mit dem Erscheinungsbild von Naturrasen
Asphalt³	Bitumengebundene Gesteinskörnung
Teppich	Textil- oder Polymermaterial, das in Rollen oder als Bahnen als Fertigprodukt geliefert wird
Ziegelmehl⁴	Ungebundenes mineralisches Material
Beton³	Zementgebundenes Material
Naturrasen	Natürlicher Rasen, aus Saatgut gewachsen
Hybrid-Ziegelmehlplatz	Mit Ziegelmehl eingestreute Systeme, die durch eine Trägermatrix (bspw. Teppichmatrix) gestützt werden
Andere	z.B. modulare Systeme (Fliesen), Holz, Leinwand

Anmerkungen:
 Alle Plätze können durchlässig oder undurchlässig sein, mit Ausnahme von „Ziegelmehl“ und „Naturrasen“, welche immer durchlässig sind.
¹ bildet in der Regel nur die obersten wenigen Millimeter des Platzes
² Der Begriff „Erscheinungsbild“ bezieht sich ausschließlich auf die Form des obersten Oberflächenmaterials und nicht auf andere Eigenschaften (bspw. Farbe). Diese Beläge bestehen typischerweise aus einer Teppichmatrix, die mit Sand und/ oder Gummigranulat verfüllt bzw. abgestreut ist
³ wird nur klassifiziert, wenn das Material selbst die Spieloberfläche bildet. Wird es als Tragschicht für andere Beläge (bspw. Acryl) genutzt, bezieht sich die Bezeichnung ausschließlich auf den Spielbelag.
⁴ Dieser Begriff bezeichnet einen Belagstyp, der aus natürlich gewonnenen Materialien besteht und als oberste (spielrelevante) Schicht ein ungebundenes, feinkörniges Material. Die Stabilität des Belags darf dabei nicht von einer zusätzlichen Teppich- oder Membranschicht innerhalb des Aufbaus abhängen.

(in Anlehnung an: International Tennis Federation, 2025b, S. 45)

Nach dieser Einteilung werden insgesamt zehn verschiedene Tennisplatzbelagtypen unterschieden. Acryl- und Polyurethanplätze werden dabei häufig unter dem Sammelbegriff Hartplatz zusammengefasst. Diese Beläge basieren auf einer gebundenen Tragschicht, beispielsweise aus Asphalt, worauf eine Funktionsbeschichtung aufgetragen wird. Diese verleiht dem Platz seine charakteristischen Spieleigenschaften. Ähnlich wie reine Asphalt- oder Betonplätze zeichnen sich Hartplätze durch eine hohe Robustheit und Langlebigkeit aus, gelten jedoch als vergleichsweise hart und weniger komfortabel (Stadionwelt, 2024, S. 17).

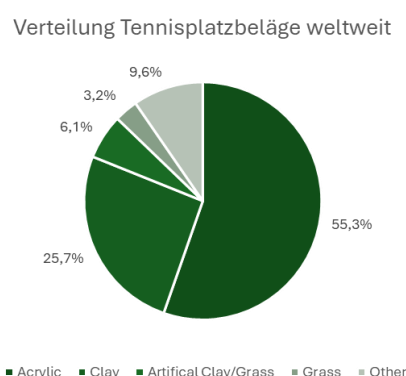
Demgegenüber verfügen Ziegelmehlplätze über eine ungebundene mineralische Deckschicht, die eine bessere Trittdämpfung ermöglicht. Das kontrollierte Rutschen auf der Oberfläche gilt als gelenkschonend, der Platz geht jedoch mit einem höherem Pflegeaufwand einher (Stadionwelt, 2024, S. 16 ff.). Künstliche Sandplätze sowie Hybrid-Ziegelmehlplätze verfolgen das Ziel, dieses Spielgefühl nachzuahmen. Während

Hybridbeläge ebenfalls mit Ziegelmehl abgestreut sind, verwenden künstliche Sandplätze häufig Quarzsand oder Gummigranulat. Beide Varianten verfügen über eine stabile Trägerschicht und sind daher deutlich wartungsärmer als klassische Ziegelmehlplätze. Kunstrasen (auch Kunststoffrasen genannt) stellt schließlich eine langlebige und witterungsunabhängige Alternative zum Naturrasen dar und ist durch ein hohes Spieltempo bei moderatem Pflegeaufwand gekennzeichnet.

2.2 Geografische Verteilung Belagtypen

Betrachtet man die weltweite Verbreitung verschiedener Tennisplatzbeläge, lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Wie in Abbildung 1 dargestellt, stellen Hartplätze mit einem Anteil von 55 % den größten Belagtyp dar und erst mit größerem Abstand folgen Ziegelmehlplätze, die rund 25 % des weltweiten Platzbestands ausmachen.

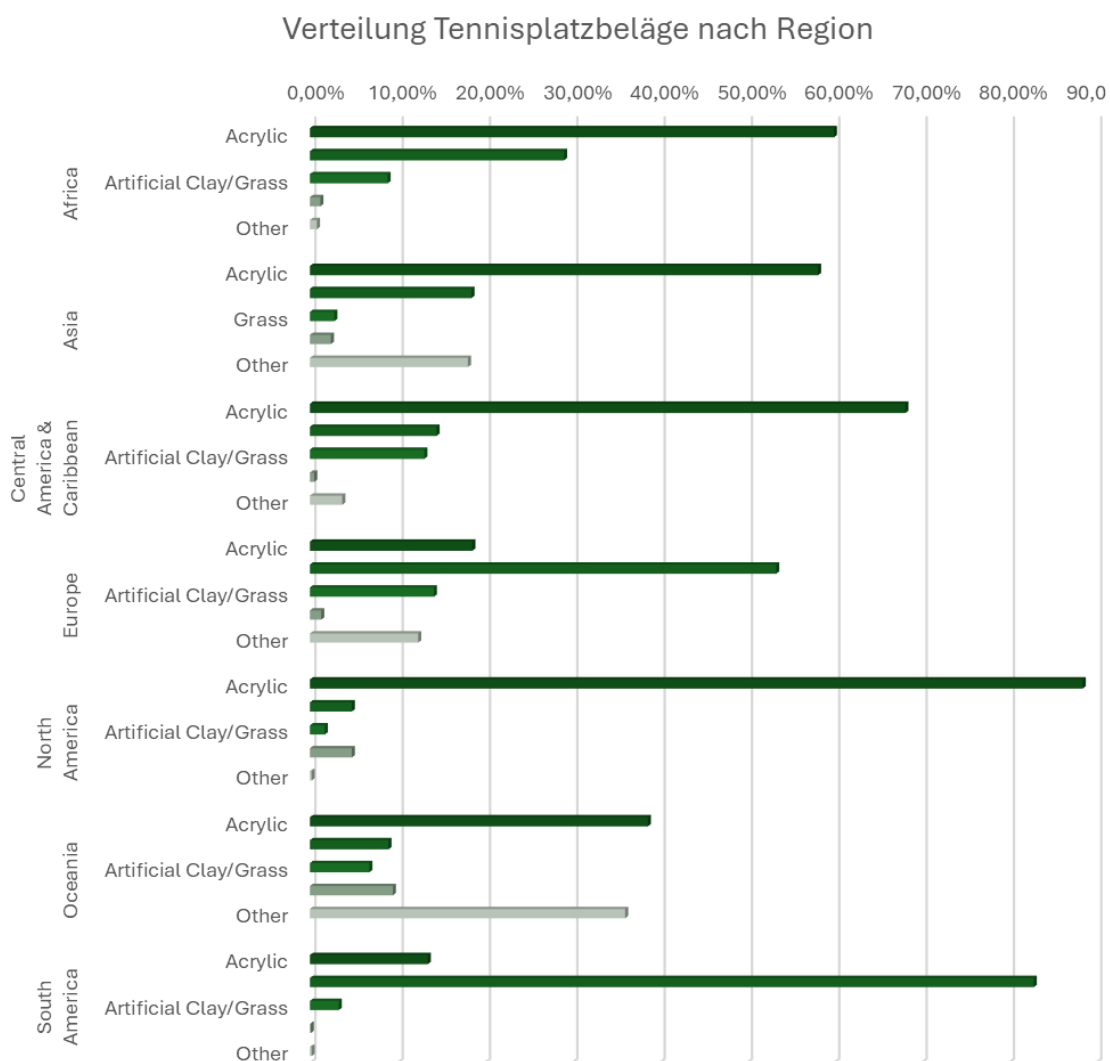
Abbildung 1: Verteilung von Tennisplatzbelägen weltweit



In Anlehnung an: (International Tennis Federation, 2024, S. 41)

Wird die Verteilung jedoch regional differenziert betrachtet zeigt sich, dass diese Verteilung nicht für alle Regionen gleichermaßen gilt und teils erhebliche regionale Unterschiede bestehen. So zeigt Abbildung 2, dass Hartplätze insbesondere in Nord- und Zentralamerika weit verbreitet sind, gefolgt von Asien und Afrika, während ihr Anteil in Europa und Südamerika mit 13 % bzw. 18 % vergleichsweise gering ist. In den beiden letztgenannten Regionen dominieren hingegen Ziegelmehlplätze, während sie in anderen Regionen – beispielsweise in Nordamerika – mit einem Anteil von rund 5 % kaum eine Rolle spielen (International Tennis Federation, 2024, S. 40).

Abbildung 2: Verteilung von Tennisplatzbelägen nach Region



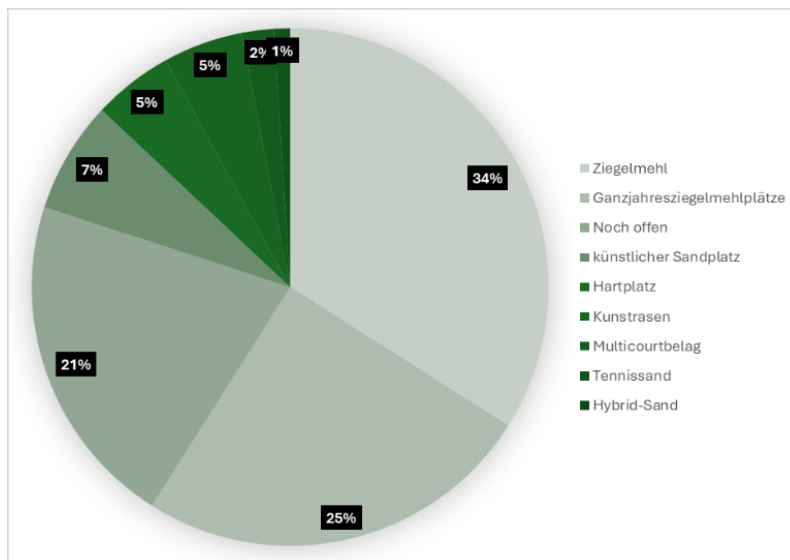
In Anlehnung an: (International Tennis Federation, 2024, S. 41)

Schlüsselt man den Platzbestand zudem nach Ländern auf, zeigen sich zudem auch innereuropäische Unterschiede. In Deutschland besteht der Großteil der Tennisplätze aus Ziegelmehl und auch bspw. in Dänemark, Italien sowie in zahlreichen osteuropäischen Ländern wie Polen, Ungarn, Serbien und der Slowakei liegt der Anteil von Ziegelmehlplätzen teilweise über 90 %. Demgegenüber gibt es europäische Länder, in denen Hartplätze deutlich stärker vertreten sind, etwa Griechenland, Schweden, Finnland oder Estland. In den Niederlanden und in Irland werden hingegen überwiegend Kunstrasen- bzw. künstliche Sandplätze genutzt (International Tennis Federation, 2024, S. 90–488).

Nach ITF (2024) besteht der überwiegende Teil des deutschen Platzbestands mit 80 % aus Ziegelmehlplätzen, während Hartplätze sowie Kunstrasen bzw. künstliche Sandplätze jeweils nur etwa 10 % ausmachen. Aktuelle Vereinsumfragen des Bayerischen Tennisverbandes (BTV) sowie des Tennisverbandes Niedersachsen-Bremen (TNB) aus dem Jahr 2025 deuten auf einen noch höheren Anteil hin. In beiden Erhebungen geben die Vereine an, dass rund 90 % ihrer Plätze Ziegelmehlplätze sind. Zudem liegen die Anteile von Hartplätzen bei unter 1 % (siehe Anhang A5.1. und A5.2). Abweichungen zu den ITF-Daten lassen sich unter anderem durch unterschiedliche Definitionen und Zusammenfassungen von Belagtypen erklären. Zudem berücksichtigt die ITF-Erhebung sowohl Indoor- als auch Outdoorplätze, während die Vereinsumfrage des TNB explizit auf Outdoorplätze beschränkt ist. Ungeachtet dieser Unterschiede wird deutlich, dass Ziegelmehlplätze in Deutschland den Tennissport klar dominieren.

Gleichzeitig zeichnet sich seit einigen Jahren der Trend ab, bei Sanierungsmaßnahmen und Neubauprojekten verstärkt alternative Belagsarten zu berücksichtigen. Besonders aufgrund des hohen Pflege- und Bewässerungsaufwands sowie vor dem Hintergrund zunehmender Bewässerungsverbote, wird der Ziegelmehlplatz immer mehr hinterfragt. Die Umfrage des TNB zeigt, dass lediglich 34 % der Vereine, die in den kommenden drei Jahren eine Platzsanierung oder einen Neubau planen, erneut einen Ziegelmehlplatz vorsehen. Obwohl ein erheblicher Teil der befragten Vereine noch unentschlossen hinsichtlich der künftigen Belagswahl ist, verdeutlicht Abbildung 3, dass insbesondere ziegelmehlähnliche Ganzjahresplätze sowie künstliche Sandplätze zunehmend als Alternativen in Betracht gezogen werden. Vor diesem Hintergrund ist es besonders relevant, jene Belagsarten in die Analyse aufzunehmen, die für viele Vereine zukünftig eine Option darstellen. Auch wenn diese im bisherigen Bestand nur in geringem Umfang vertreten sind.

Abbildung 3: In Betracht gezogene Beläge



In Anlehnung an: Anhang A5.2. TNB Vereinsbefragung

2.3 Aufbau

Das folgende Kapitel befasst sich mit der Analyse des technischen Aufbaus verschiedener Tennisplatzsysteme. Dabei wird neben dem Belag auch die mehrschichtige Unterkonstruktion betrachtet. Diese ist essenziell für die Ebenflächigkeit, die Kraftabbauwerte und die Langlebigkeit des Platzes.

Die bauliche Grundlage für Neubau und Sanierung bildet die DIN 18035 „Sportplätze“. Diese Normenreihe regelt technische Parameter wie den Schichtaufbau, die Wasserdurchlässigkeit sowie notwendige Gefälle zur Entwässerung (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021a). Es ist jedoch zu beachten, dass die Ausführung der Unterkonstruktion selbst bei identischem Belagtyp variieren kann. Dies hängt stark von den lokalen Baugrundverhältnissen und der Bestandssituation ab. Insbesondere bei der Sanierung oder Umwandlung alter Plätze kann oft auf vorhandene Tragschichten aufgebaut werden, sofern diese noch intakt sind. Die folgenden Unterkapitel beschreiben die verschiedenen Belagsarten und deren typische Aufbauten in Anlehnung an die normativen Vorgaben, mögliche bauliche Alternativen werden nicht näher berücksichtigt.

2.3.1 Ziegelmehlplatz

Der Ziegelmehlplatz wird bautechnisch als Tennenfläche gemäß DIN 18035-5 „Sportplätze – Teil 5: Tennenflächen“ klassifiziert. Gemäß der Einordnung der ITF gilt dieser klassischerweise als langsamer Belag (Kategorie 1), da die granulare Beschaffenheit der Deckschicht die Reibung zwischen Ball und Untergrund erhöht. Dies

reduziert die Horizontalgeschwindigkeit des Balles nach dem Absprung signifikant und begünstigt gleichzeitig einen vergleichsweise hohen Ballabsprung (vgl. Stadionwelt, 2024, S. 16 f. Vaverka et al., 2018, S. 2).

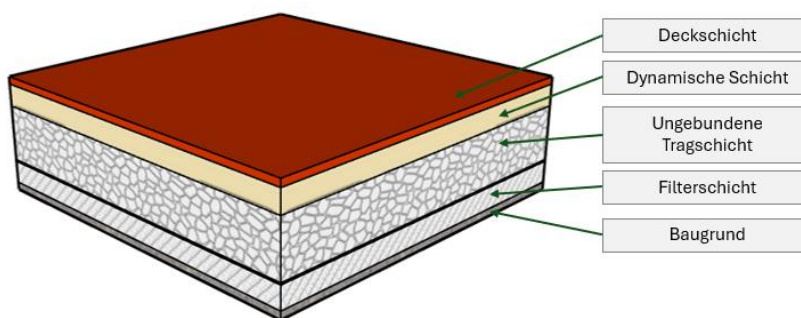
Die Basis der Konstruktion bildet der Baugrund, dem eine zentrale Rolle für die langfristige Ebenflächigkeit der gesamten Platzanlage zukommt. Fachsystematisch wird hierbei zwischen dem Untergrund, dem natürlich anstehenden Boden, und dem Unterbau unterschieden. Letzterer umfasst jene Schichten, die zusätzlich aufgeschüttet werden, um Unebenheiten des Geländes auszugleichen und die erforderliche Tragfähigkeit sowie Frostsicherheit zu gewährleisten. Als Materialien für den Unterbau finden in der Regel gut verdichtbare, mineralische Böden oder kornstabile Erdstoffe Verwendung, die den Anforderungen der DIN 18035-5 entsprechen (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021a, S. 8 ff.). Die technisch bearbeitete Oberfläche des Baugrunds wird als Erdplanum bezeichnet. Um eine einwandfreie Funktion der Entwässerung zu garantieren, muss dieses Planum mit einem definierten Gefälle hergestellt werden. Während die DIN 18035-5 für allgemeine Tennenflächen ein Mindestgefälle von 0,8 % fordert, hat sich im spezialisierten Tennisplatzbau ein Quergefälle von typischerweise 0,5 % etabliert. Dieses Gefälle ermöglicht das kontrollierte Abfließen von Sickerwasser zu den Entwässerungseinrichtungen, ohne die sportfunktionelle Ebenflächigkeit der Spielfläche zu beeinflussen (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021a, S. 9; International Association for Sports and Leisure Facilities & Deutscher Tennis-Bund, 2002, S. 109).

Über dem Erdplanum kann optional eine Filterschicht aus frostsicherem Material (z. B. Kiessand 0/32 mm) mit einer Dicke von etwa 60 mm bis 100 mm eingebaut werden; diese verhindert nach Frostperioden oder Starkregen, dass Feinbestandteile aus dem Untergrund in die darüberliegenden Schichten aufsteigen und deren Wasserdurchlässigkeit beeinträchtigen. Diese Schicht ist laut DIN 18035 – 5 nicht zwingend vorgeschrieben, sollte aber nach Ermessen des Bauunternehmens trotzdem eingebaut werden (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021a, S. 10).

Der Oberbau setzt sich aus Tragschicht, dynamischer Schicht und dem Tennenbelag zusammen, wie in Abbildung 4 ersichtlich. Die Tragschicht besteht aus einem mineralischen, ungebundenen Gemisch, welches meist aus Lava-Schotter oder Hartgestein der Körnung 0/32 mm. In einer Dicke von 100 mm bis 150 mm gewährleistet die Lastverteilung sowie die primäre Entwässerung des Platzes. Darauf folgt die ca. 40 mm bis 60 mm starke dynamische Schicht aus Lava-Granulat oder gemahlenem Klinker

(0/16 mm). Diese Schicht fungiert als elastisches Bindeglied, welches die Tritt-Dämpfung unterstützt und als kapillarer Wasserspeicher dient, um die Deckschicht auch bei trockener Witterung feucht zu halten. Die oberste Deckschicht bildet das eigentliche Ziegelmehl (Körnung 0/2 mm), das in einer Stärke von ca. 25 mm bis 40 mm aufgetragen wird. Von ihr hängen die wesentlichen sportfunktionellen Eigenschaften, wie bspw. das kontrollierte Rutschverhalten ab (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021a, S. 10 ff.; International Association for Sports and Leisure Facilities & Deutscher Tennis-Bund, 2002, S. 113 ff.).

Abbildung 4: Schichtenfolge Tennisplatz



In Anlehnung an: (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021a, S. 7)

Die jährliche Pflege ist beim Ziegelmehlplatz vergleichsweise aufwendig. Zu Beginn der Saison muss eine sogenannte Frühjahrsinstandsetzung durchgeführt werden, bei der etwa 1,5 t bis 2,0 t verbrauchtes Altmaterial von der Oberfläche abgetragen und durch rund 2,0 t bis 2,5 t neues Ziegelmehl ersetzt werden. Anschließend wird die Deckschicht neu verteilt, der Platz nivelliert, gewalzt und bewässert, um wieder eine gleichmäßige, feste und gut bespielbare Oberfläche herzustellen. Diese Maßnahmen sind notwendig, da Witterungseinflüsse und die Nutzung während der Saison zu Materialverlusten und Unebenheiten in der Deckschicht führen können. Im laufenden Spielbetrieb ist darüber hinaus neben dem täglichen Abziehen mit Schleppnetzen zur Egalisierung der Oberfläche die Erhaltung eines "erdfeuchten" Zustands essenziell, da die Bindung des Materials und die Staubfreiheit direkt vom Wassergehalt abhängen. Deshalb muss, besonders zu trockenen und heißen Tagen, zusätzlich bewässert werden. Aufgrund der Witterungsabhängigkeit, insbesondere der Frostanfälligkeit, können Ziegelmehlplätze nur saisonal in der Zeit zwischen März und Oktober genutzt werden (Stadionwelt, o. J.).

2.3.2 Ganzjahresziegelmehlplatz: Red Clay Pro

Eine technologische Weiterentwicklung des klassischen Ziegelmehlplatzes stellt das Ganzjahressystem PORPLASTIC RedClay Pro des Herstellers Viacor dar, das die sportfunktionellen Vorteile eines Ziegelmehlbelags mit der Witterungsbeständigkeit moderner Kunststoffbeläge kombiniert. Das System ist von der ITF in die Kategorie 1 („Langsam“) eingestuft und repliziert damit das gewohnte Spielverhalten eines Ziegelmehlplatzes hinsichtlich Ballgeschwindigkeit und Gleitreibung (International Tennis Federation, 2025a). Der konstruktive Unterbau folgt prinzipiell dem von Tennenflächen, da der Platz besonders für Sanierungen von Ziegelmehlplätzen konzipiert ist und so auf die bestehende Unterkonstruktion aufgebaut werden kann. Während die mineralische Tragschicht und die dynamische Schicht zur Entwässerung und als hydraulischer Puffer erhalten bleiben, wird die klassische lose Deckschicht jedoch durch einen gebundenen, mehrstufigen Oberbau ersetzt.

Dieser besteht aus einer ca. 30 mm starken, flächenelastischen Basisdecke, die vor Ort aus SBR-Granulaten, Ziegelsplitt und einem Polyurethan (PU) – Bindemittel angemischt wird. Während diese auf dem Platz aushärtet, wird Quarzsand ausgestreut, welcher die Haftung der Deckschicht auf der Basisdecke erhöht. Diese Schicht ist für die Gelenkschonung des Systems verantwortlich und garantiert gleichzeitig eine ebene Spielfläche. Die finale Spielfläche wird durch eine fest verklebte PVC-Linierung und eine Einstreuung aus feinem Ziegelmehl vervollständigt.

Die ganzjährige Nutzbarkeit des Red Clay Pro resultiert primär aus der Frostunempfindlichkeit der gebundenen Schichten sowie der hohen Wasserdurchlässigkeit, die eine Wiederaufnahme des Spielbetriebs unmittelbar nach Regenfällen ermöglicht. Da der Belag zudem keine klassische Frühjahrsinstandsetzung benötigt und der Wasserbedarf durch die geringere Schichtdicke des losen Ziegelmehls reduziert ist, gilt der Belag im Vergleich zum herkömmlichen Ziegelmehlplatz als wartungsärmer (T. Martin, persönliche Kommunikation, 21. Oktober 2025, persönliche Kommunikation, 3. Februar 2026).

2.3.3 Hartplatz: ConiRAce

Der Aufbau eines modernen Hartplatzes unterliegt in Deutschland der DIN 18035-6. Die konstruktive Basis folgt einem ähnlichen Prinzip wie bei Tennenflächen und beginnt mit der Nivellierung sowie Verdichtung des Baugrunds. Oberhalb des Erdplanums wird anschließend eine ungebundene Tragschicht errichtet, die gemäß der aktuellen Fassung

der DIN 18035-6 zwingend zweischichtig ausgeführt werden muss. Diese Zweischichtigkeit ist bautechnisch notwendig, um die für dünne Kunststoffbeläge geforderten Ebenheitstoleranzen zu gewährleisten: Während die untere, gröbere Lage (z. B. Lava-Schotter 0/45 mm) die statische Stabilität sicherstellt, verhindert die obere, feinere Schicht ein Durchzeichnen von Unebenheiten sowie das Einsickern von Bindemitteln in grobe Hohlräume (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021b, S. 13).

Bei dem hier betrachteten ConiRAce-System (AV Syntec) wird die klassische Asphaltschicht, die standardmäßig oberhalb der Tragschicht liegt, durch eine elastische Basisdecke ersetzt. Diese ca. 30–35 mm starke Schicht besteht aus einem Gemisch aus Hartstein-Splitt und SBR-Granulat, das mit einem Polyurethan-Bindemittel gebunden wird. Der Vorteil gegenüber herkömmlichen Asphaltflächen ist zum einen der niedrigere Preis und der im Vergleich zur Asphaltierung einfachere Umbau von herkömmlichen Sandplätzen auf ein Hartplatzsystem (AV Syntec Sportbodensysteme GmbH Europa, 2026; C. Graff, persönliche Kommunikation, 11. November 2025).

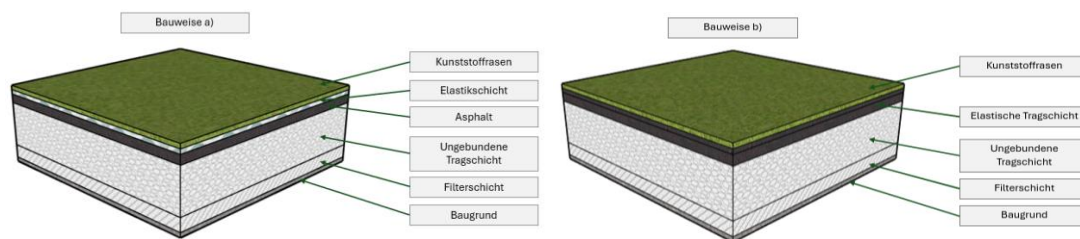
Die Spielfläche wird durch ein mehrlagiges Acrylsystem gebildet. Nach einer Grundierung zur Haftvermittlung werden mehrere Deckschichten gegossen, die aus einer Mischung von Acrylharz und feinstem Quarzsand bestehen. Über die Körnung und Menge des beigemischten Sandes kann die Platzgeschwindigkeit individuell gesteuert werden. In Bezug auf die Instandhaltung gelten Hartplätze als wartungsarm und erfordern lediglich eine jährliche Reinigung der Oberfläche. Zudem sind sie ganzjährig bespielbar, da das System frostunempfindlich ist.

2.3.4 Kunstrasen: Ligagrass Pro R

Kunststoffrasensysteme sind eine vielseitige Alternative im modernen Sportplatzbau und werden im Tennis meist mit geringer Polhöhe eingesetzt. Die kurzen Fasern bewirken einen harten Ballsprung und hohe Spielgeschwindigkeit, wodurch sich das Spielverhalten dem von Naturrasen annähert (Stadionwelt, 2024, S. 18). Dennoch können Kunstrasen allen Court-Pace-Rating-Kategorien zugeordnet werden, da die Spieleigenschaften stark vom Systemaufbau abhängen (International Tennis Federation, 2025a). Dabei spielen insbesondere der Unterschied zwischen unverfüllten und verfüllten Systemen, die Faserart, das Infill-Material sowie die Elastik- und Tragschichten eine entscheidende Rolle für Tempo, Dämpfung und Ballabsprung. Bei verfüllten Tennisplätzen wird darüber hinaus hauptsächlich Quarzsand genutzt, was auch bei dem in dieser Arbeit betrachteten Kunstrasen Ligagrass Pro R der Firma Polytan der Fall ist.

Bautechnisch unterliegen diese Flächen in Deutschland der DIN 18035-7, welche die stofflichen Anforderungen und die zulässigen Unterkonstruktionen regelt. Der Unterbau ist identisch wie bei Tennenflächen, jedoch unterscheidet die Norm bei dem Oberbau zwischen zwei primären Bauweisen: der klassischen Bauweise (a) mit einer wasserdurchlässigen Asphalttschicht und einer separaten Elastikschicht (ES) sowie der alternativen Bauweise (b) ohne Asphalt (Deutsches Institut für Normung e.V., 2025, S. 18). Die Unterschiede werden in Abbildung 5 deutlich.

Abbildung 5: Schichtenfolge Kunststoffrasen



In Anlehnung an: (Deutsches Institut für Normung e.V., 2025, S. 46).

Bei der alternativen Bauweise wird die starre Asphalttschicht durch eine gebundene elastische Tragschicht (ET) ersetzt. Entgegen reinen Elastikschichten handelt es sich hierbei um ein heterogenes Verbundmaterial, das aus Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), einer mineralischen Gesteinskörnung (z. B. Lava oder Hartgesteinssplitt) und einem PU-Bindemittel besteht. Die mineralischen Zuschlagsstoffe sind essenziell, um die notwendige Standfestigkeit und Tragfähigkeit des Systems ohne Asphaltunterstützung zu gewährleisten, während die Elastomer-Komponente den erforderlichen Kraftabbau sicherstellt. Die vorgeschriebene Nenndicke dieser Schicht beträgt mindestens 35 mm (Deutsches Institut für Normung e.V., 2025).

Bei dem hier betrachteten Ligagrass Pro R wird jedoch lediglich eine Asphalttschicht ohne Elastikschicht verbaut, um die gewünschten Spieleigenschaften zu erreichen (P. Eberhardt, persönliche Kommunikation, 13. Februar 2026). Darüber wird der Kunstrasen verklebt, welcher aus Polyethylen besteht und mit Quarzsand gefüllt ist.

Hinsichtlich der Instandhaltung gelten Kunststoffrasenplätze als wartungsarm, da die aufwendige jährliche Frühjahrsinstandsetzung entfällt. Die Pflege beschränkt sich im laufenden Betrieb auf das regelmäßige Abschleppen mit Bürsten zur Sandverteilung. Aufgrund der witterungsbeständigen Materialien und der hohen Drainagekapazität ist das System ganzjährig bespielbar.

2.3.5 Künstlicher Sandplatz: Top Sand

Ähnlich wie der Ganzjahresziegelmehlplatz soll auch der künstliche Sandplatz Top Sand die Spielcharakteristik eines klassischen Ziegelmehlplatzes mit einem minimierten Wartungsaufwand kombinieren. Künstliche Sandplätze unterscheiden sich dahingehend, dass sie keine Deckschicht aus Ziegelmehl besitzen, sondern auf Keramiksandsystemen basieren, bei denen verschiedene Oberflächenbeläge mit Keramiksand eingestreut werden. Im Falle des Top Sand wird eine permanente Textilmatrix verwendet, welche aus Polypropylenfasern besteht.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Ziegelmehlplätzen erfordert der Belag einen modifizierten Unterbau. Da die Textilmatrix mit dem Untergrund verklebt werden muss, ist eine gebundene Schicht erforderlich. Der Aufbau der Unterkonstruktion orientiert sich an der DIN 18035 – 7 und entspricht in weiten Teilen dem eines Kunstrasenplatzes. Genau wie beim Ligagrass Pro R wird dabei auch auf eine Elastikschicht verzichtet und die Textilmatrix wird direkt mithilfe eines PU-Klebers auf der Asphaltschicht fixiert (C. Schulte, persönliche Kommunikation, 20. Januar 2026).

Durch den Ersatz von Ziegelmehl durch Quarzsand als Deckschicht ergeben sich deutliche Vorteile im Betrieb und Unterhalt. Zu den wesentlichen Vorteilen zählen die vollständige Einsparung von Bewässerungswasser sowie der Wegfall der aufwendigen jährlichen Frühjahrsinstandsetzung. Aufgrund der Frostunempfindlichkeit der gebundenen Schichten und der hohen Wasserdurchlässigkeit ist der Belag zudem ganzjährig nutzbar.

2.4 Umweltwirkung von Tennissport und -infrastruktur

Nachdem die bautechnischen Grundlagen von Tennisplätzen dargelegt wurden, widmet sich dieses Kapitel dem aktuellen Forschungsstand hinsichtlich der ökologischen Bewertung von Tennisanlagen und vergleichbarer Sportinfrastruktur im Allgemeinen. Dabei soll zunächst erläutert werden, welche Themen in der Nachhaltigkeitsdebatte im Tennissport im Zentrum stehen. Ein besonderer Fokus liegt auf bereits durchgeführten ökobilanziellen Bewertungen von Tennisanlagen bzw. vergleichbarer Sportanlagen. Es soll analysiert werden, inwiefern bereits Studien zu verschiedenen Belagtypen durchgeführt wurden und wo signifikante Forschungslücken bestehen. Zudem soll identifiziert werden, welche Wirkungskategorien besonders im Fokus dieser Analysen standen und welche ökologischen Hotspots im Lebenszyklus der Beläge herausgearbeitet wurden.

Die aktuelle öffentliche Debatte zur ökologischen Nachhaltigkeit im professionellen Tennissport fokussiert sich in hohem Maße auf die durch den globalen Reiseverkehr verursachten Emissionen, die maßgeblich durch die internationale Turnierstruktur beeinflusst werden (Carayol, 2023; Mair, 2024). Der bestehende Turnierkalender zwingt Spieler, Betreuerteams und Offizielle zu geografisch ineffizienten Reisebewegungen, bei denen wiederholt interkontinentale Strecken zurückgelegt werden müssen. So finden allein die jährlich rund 60 Turniere der Association of Tennis Professionals (ATP), die in über 29 Ländern auf sechs Kontinenten statt. Häufig finden zeitlich aufeinanderfolgende Turniere auf unterschiedlichen Kontinenten statt, was eine besonders hohe Reiseintensität zur Folge hat (Association of Tennis Professionals, 2025a, 2025b, S. 16–17). Dadurch entfallen Schätzungen der ATP zufolge etwa 90 % des gesamten CO₂-Fußabdrucks der Organisation auf die Mobilität (Association of Tennis Professionals, 2023, S. 12 ff.). Trotz der ökologischen Relevanz dieser Reisetätigkeiten gibt es bisher kaum Veröffentlichungen, in denen diese systematisch erfasst und die Umweltwirkungen quantifiziert wurden.

Im Tennisbreitensport stehen demgegenüber vor allem Maßnahmen zur Energie- und Wassereinsparung im Mittelpunkt, da diese für Vereine unmittelbar relevant sowie organisatorisch und finanziell vergleichsweise leicht umsetzbar sind. Zunehmend rücken jedoch auch ein strukturiertes Abfallmanagement sowie der Umgang mit gebrauchten Tennisbällen in den Fokus nachhaltigkeitsbezogener Bestrebungen (Deutscher Tennis Bund e.V., o. J.-a). Allein in Deutschland werden jährlich schätzungsweise 12 bis 15 Millionen Tennisbälle entsorgt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2024, S. 29). Vor diesem Hintergrund haben sich in den vergangenen Jahren verstärkt Initiativen zur Sammlung und zum Recycling von Tennisbällen etabliert. Beispiele hierfür sind die Advantage Earth Box, bei der gebrauchte Tennisbälle getrennt gesammelt und zu Tennisbodenbelägen weiterverarbeitet werden. Ferner verfolgt Renewaball das Ziel, Tennisbälle in einem Closed-Loop-Prozess vollständig neu herzustellen (Deutscher Tennis Bund e.V., o. J.-a; Ecochain Technologies B.V., 2026; Tennis-Point Europe GmbH, o. J.).

In der wissenschaftlichen Literatur fehlen bislang jedoch fundierte Analysen dazu, wie sich die Umweltwirkungen eines Tennisballs durch den Einsatz von Recyclingmaterial konkret verändern. Zwar existieren einige aktuelle Studien zur Downcycling-Nutzung des Materials: So zeigen Rodríguez Aybar et al. (2023), dass geschredderte Tennisbälle als Zuschlagstoff in Gipsplatten in der Bauindustrie eingesetzt werden können. Zudem

beschreiben Aviñó-Calero et al. (2025), dass Tennisbälle als Strukturmaterial in Kompostierungsprozessen die Belüftung verbessern und dadurch sowohl Methanemissionen als auch den Energieverbrauch reduzieren können. Dennoch besteht insbesondere im Hinblick auf echte Closed-Loop-Recyclingprozesse weiterhin ein erheblicher Forschungsbedarf, der in den kommenden Jahren adressiert werden sollte.

Die Umweltwirkungen der Tennisinfrastruktur, insbesondere der Tennisplätze selbst, stehen dagegen bislang kaum im Fokus wissenschaftlicher Analysen. Derzeit existieren keine umfassenden Studien, welche die ökologischen Auswirkungen unterschiedlicher Belagsarten, etwa Sand-, Hart- oder Rasenplätze, über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg systematisch und vergleichend untersuchen. In der praktischen Anwendung werden stattdessen überwiegend einzelne Umweltaspekte isoliert betrachtet, wie beispielsweise Unterschiede im Wasserverbrauch, potenzielle Mikroplastikeinträge oder der Grad der Flächenversiegelung. Diese Vergleiche erfolgen jedoch in der Regel ohne belastbare quantitative Daten oder eine umfassende Umweltwirkungsbewertung, stattdessen beschränken sie sich häufig auf qualitative Einschätzungen und Richtwerte. In der Vereinsberatung dienen solche vereinfachten Darstellungen primär dazu, ein grundlegendes Bewusstsein für ökologische Fragestellungen zu schaffen und die zentralen Vor- und Nachteile der jeweiligen Belagsarten in groben Zügen zu verdeutlichen.

Um dennoch fundierte Aussagen zur ökologischen Wirkung von Sportflächen treffen zu können, wird häufig auf Erkenntnisse aus dem Fußballsektor zurückgegriffen, beispielweise auf die Analysen von Russo et al. (2022) sowie Itten et al. (2020). Beide Studien vergleichen die Umweltwirkungen von Naturrasen- und Kunstrasenflächen. Trotz der beschränkten Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Tennisplätze, weist insbesondere die Analyse von Kunstrasenfeldern relevante Parallelen auf. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Unterkonstruktion der Spielflächen in beiden Sportarten typischerweise nach der DIN 18035 ausgeführt wird, wodurch eine grundsätzliche Vergleichbarkeit gegeben ist. Itten et al. (2020) arbeiten dabei heraus, dass bei Naturrasen insbesondere die Nutzungsphase aufgrund des hohen Pflegeaufwands, etwa durch regelmäßiges Mähen und Düngen, die Umweltwirkung dominiert. Infolgedessen tragen vor allem die Wirkungskategorien Ökotoxizität und Eutrophierung erheblich zur Gesamtbelastung bei. Im Gegensatz dazu entstehen beim Kunstrasen die größten Umweltwirkungen in der Herstellungs- und Renovationsphase, bedingt durch den Einsatz von Primärkunststoffen sowie einen hohen Energieverbrauch. Dies führt

insbesondere zu einem erhöhten Treibhauspotenzial. Darüber hinaus wird das Mikroplastikpotenzial als zentraler Umweltaspekt von Kunstrasen hervorgehoben, da sowohl der Abrieb der Kunststofffasern als auch das Kunststoff-Infill bei verfüllten Systemen potenziell in die Umwelt eingetragen werden kann.

Ferner ist für die Übertragung dieser Ergebnisse auf die Bewertung von Tennisplätzen insbesondere der von Itten et al. (2020) identifizierte Schlüsselfaktor der Beispielbarkeit und der damit verbundenen Nutzungsintensität von Bedeutung. Aufgrund der potenziell deutlich höheren Nutzungsintensität im Vergleich zu Naturrasen weist unverfüllter Kunstrasen bei maximaler Auslastung eine vorteilhaftere Umweltbilanz auf. Werden hingegen beide Flächentypen mit gleicher Nutzungsintensität betrachtet, weist Naturrasen in den meisten Wirkungskategorien geringere Umweltbelastungen auf. Daraus lässt sich ableiten, dass auch bei der ökologischen Bewertung von Tennisplätzen Unterschiede in der Nutzungsintensität und Lebensdauer eine zentrale Rolle spielen. Da diese Faktoren je nach Belagsart variieren ist zu erwarten, dass dies entscheidend für das Ergebnis einer vergleichenden Umweltbewertung sein wird.

3 Methodik

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen in dieser Arbeit dargestellt. Dabei wird zunächst die Vorgehensweise zur Durchführung der Ökobilanzierung beschrieben. Anschließend wird erläutert, wie auf Grundlage dieser Ergebnisse die Entscheidungshilfe entwickelt wird.

3.1 Ökobilanz

Das Ziel einer Ökobilanz ist es, die Umweltwirkungen eines Produkts oder einer Dienstleistung ganzheitlich zu erfassen, wobei das Produkt sowohl über alle Lebenszyklusphasen hinweg als auch in verschiedensten Wirkungskategorien umfassend betrachtet wird. Die Anforderungen und die Struktur einer Ökobilanz sind dabei in den Normen DIN EN ISO 14040:2021-02 (ISO 14040) und DIN EN ISO 14044:2021-02 (ISO 14044) geregelt, woran sich die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Ökobilanzen orientieren (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021c, 2021d). Demnach wird eine Ökobilanzstudie in vier Phasen erarbeitet:

1. Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

In der ersten Phase der Ökobilanz wird der Untersuchungsrahmen festgelegt, wobei insbesondere die funktionelle Einheit zu definieren ist. Diese beschreibt die Vergleichseinheit, auf die die Umweltwirkungen der Studie bezogen werden (Frischknecht, 2020, S. 30, 2020). In der vorliegenden Arbeit steht die Nutzungsfunktion der Sportfläche im Mittelpunkt des Vergleichs, sodass die funktionelle Einheit so gewählt wird, dass unterschiedliche Lebensdauern und Pflegeanforderungen der betrachteten Belagssysteme angemessen berücksichtigt werden können. Ziel ist es, die Umweltwirkungen nicht der reinen Konstruktion, sondern der Bereitstellung einer dauerhaft nutzbaren Tennisfläche unter praxisüblichen Bedingungen gegenüberzustellen. Darüber hinaus werden die Systemgrenzen so festgelegt, dass insbesondere jene Lebenszyklusphasen und Prozesse betrachtet werden, in denen sich die Belagssysteme maßgeblich unterscheiden, etwa hinsichtlich Materialaufbau, Pflegeintensität, und Instandhaltung.

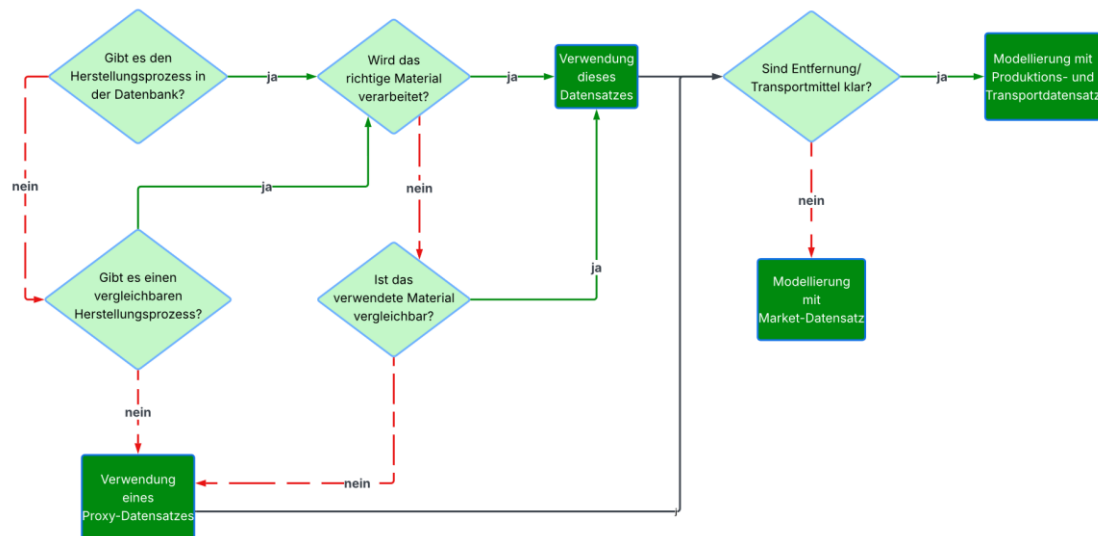
Aufbauend darauf erfolgt in der Sachbilanzphase die strukturierte Erfassung und Modellierung aller relevanten Stoff- und Energieflüsse innerhalb der definierten

Systemgrenzen. Methodisch wird dabei zwischen Vordergrund- und Hintergrundprozessen unterschieden. Vordergrundprozesse umfassen jene Prozessschritte, die unmittelbar durch das untersuchte System beeinflusst werden und für die spezifische, prozessnahe Daten erhoben oder berechnet werden können. Hintergrundprozesse hingegen betreffen vorgelagerte oder nachgelagerte Prozesse, auf die kein direkter Einfluss besteht, bspw. die Bereitstellung von Energie, Rohstoffen oder Transportdienstleistungen (Kaltschmitt & Schebek, 2015, S. 223).

In der vorliegenden Arbeit wird der Transport, der Bau sowie der Betrieb der Tennisplätze als Vordergrundsystem definiert. Die hierfür erforderlichen Daten stammen überwiegend von den Herstellern der eingesetzten Belagssysteme und werden durch persönliche Befragungen (persönlich, telefonisch und per E-Mail) sowie durch die Auswertung von System- und Produktdatenblättern erhoben, was in den Anhängen (A1 und B) dokumentiert ist. Ergänzend werden zur Modellierung, besonders zu der Untergrundkonstruktion, Literaturwerte herangezogen. Informationen zur Nutzungsphase, insbesondere zu Pflege, Instandhaltung und Betriebsaufwand, werden durch Befragungen von Belagherstellern, Vereinsmitglieder:innen sowie Mitarbeiter:innen verschiedener Landesverbände gewonnen. Werden dabei Spannweiten angegeben, bspw. bei Materialmengen, wird, sofern nicht anders ausgewiesen, der Wert verwendet, der zu einer höheren Umweltwirkung führt, um eine konservative Abschätzung sicherzustellen.

Für die Auswahl geeigneter Hintergrunddatensätze wird eine systematische Vorgehensweise definiert, wie in Abbildung 6 dargestellt. Danach wird zunächst geprüft, ob ein Datensatz vorhanden ist, der den (Herstellungs-)prozess sachgerecht abbildet. Ist ein solcher Datensatz verfügbar, wird anschließend untersucht, ob darin bereits das tatsächlich verwendete Material eingesetzt ist oder ob dies ergänzt werden muss. Wird im Datensatz ein anderes Material eingesetzt als im realen Prozess, erfolgt eine Bewertung der stofflichen und verarbeitungstechnischen Vergleichbarkeit. So kann beispielsweise ein Datensatz zur Herstellung von Nadelfilz verwendet werden, auch wenn dort Polyethylen statt des tatsächlich eingesetzten Polypropylens modelliert ist, sofern beide Materialien hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Verarbeitung als hinreichend vergleichbar gelten.

Abbildung 6: Vorgehensweise Datensatzauswahl



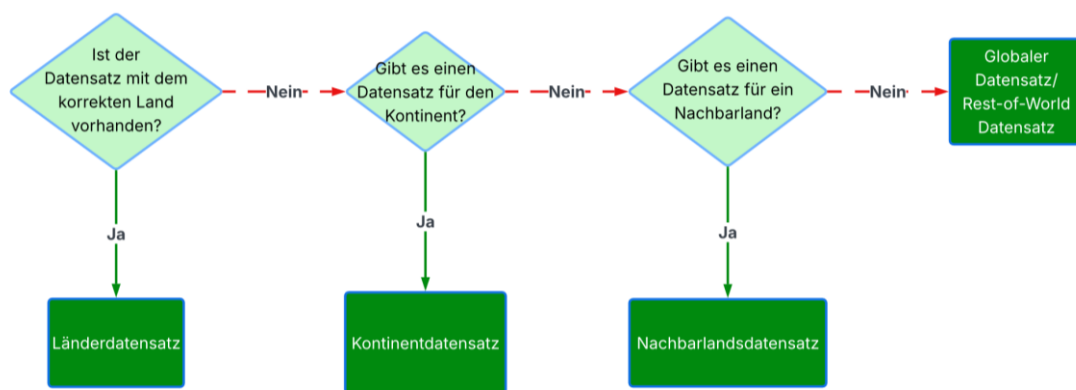
Eigene Darstellung.

Ist kein geeigneter (Herstellungs-)prozess in der Datenbank vorhanden und lässt sich auch kein vergleichbarer Prozess identifizieren, wird ein Proxy-Datensatz eingesetzt. Im Rahmen dieser Arbeit sind Proxys so definiert, dass nicht lediglich ein ähnlicher Prozess substituiert wird, sondern ein alternativer Modellierungsansatz erforderlich ist. In solchen Fällen erfolgt eine eigenständige Modellierung auf Basis des Materialeinsatzes, des Energieverbrauchs sowie weiterer Parameter unter Verwendung von Literaturwerten. Diese Vorgehensweise wird bewusst von der Nutzung lediglich „ähnlicher“ Datensätze abgegrenzt, die streng genommen auch als Proxys gelten.

Nach der Modellierung des Herstellungsprozesses wird geprüft, ob spezifische Vordergrunddaten zu Transportdistanzen und eingesetzten Transportmitteln vorliegen. Sind diese Informationen verfügbar, wird der Transport separat modelliert. Sind entsprechende projektspezifische Informationen nicht verfügbar, werden Market-Datensätze verwendet, sofern diese im Wesentlichen aus dem jeweiligen Herstellungsdatensatz in Kombination mit typischen Transportszenarien bestehen. In diesen Fällen wird das Transportszenario somit implizit mitmodelliert. Dies betrifft beispielsweise den Datensatz für Leitungswasser bei der Bewässerung, in dem verschiedene Aufbereitungsprozesse enthalten sind, zu denen keine näheren Informationen vorlagen.

Zudem wird ein systematisches Vorgehen zur Auswahl der geografisch passenden Datensätze festgelegt, wie in Abbildung 7 ersichtlich. Demnach wird zunächst geprüft, ob ein Datensatz für das Land verfügbar ist, in dem der jeweilige Prozess stattfindet. Ist dies nicht der Fall, wird ein Datensatz mit kontinentalem Bezug herangezogen. Sofern auch ein solcher Datensatz nicht verfügbar ist, wird auf einen Datensatz eines geografisch vergleichbaren Nachbarlandes zurückgegriffen, beispielsweise auf die Schweiz für einen in Deutschland stattfindenden Prozess. Sind auch hierfür keine geeigneten Daten vorhanden, wird ein globaler beziehungsweise ein „Rest-of-World“-Datensatz verwendet.

Abbildung 7: Vorgehen



Eigene Darstellung.

Die Wirkungsabschätzung dient dazu, die in der Sachbilanz erfassten Stoff- und Energieströme in potenzielle Umweltwirkungen zu überführen und damit eine Grundlage für den Vergleich der untersuchten Belagssysteme zu schaffen. Die Auswahl der betrachteten Wirkungskategorien orientiert sich an den für Tennisplatzkonstruktionen relevanten Umweltaspekten, insbesondere den materialbedingten Aufwendungen der Herstellung sowie den nutzungs- und pflegebedingten Einflüssen während der Betriebsphase. Zur Sicherstellung von Transparenz und Vergleichbarkeit werden die Wirkungskategorien einzeln ausgewertet, während auf eine Zusammenführung oder normative Gewichtung der Ergebnisse verzichtet wird. Auf diese Weise wird eine möglichst objektive Gegenüberstellung der Umweltwirkungen erreicht, ohne dass deren Aussagegehalt durch aggregierende Bewertungen verzerrt wird.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt leistungsbezogen auf die definierte funktionelle Einheit und zielt darauf ab, Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Umweltwirkungen der verschiedenen Belagssysteme systematisch herauszuarbeiten. Im

Mittelpunkt steht die Identifikation relevanter Einflussfaktoren entlang des Lebenszyklus, um Hotspots sowie systembedingte Unterschiede zwischen Herstellung, Nutzung, Pflege und Erneuerung herauszuarbeiten. Darüber hinaus werden zentrale Annahmen und variierende Rahmenbedingungen, wie etwa die Nutzungsdauer, mit Szenarioanalysen überprüft, um die Robustheit der Ergebnisse einzuordnen. Die Interpretation erfolgt dabei stets relativ zwischen den untersuchten Systemen und verfolgt nicht das Ziel einer absoluten Umweltbewertung, sondern die Ableitung belastbarer Aussagen zu deren vergleichender Umweltperformance unter definierten Nutzungsbedingungen.

3.2 Entwicklung der Entscheidungshilfe

Zur Entwicklung einer adressatengerechten Entscheidungshilfe für die Ergebnisse der vorliegenden Ökobilanzstudie wird ein strukturierter Aufbereitungsprozess durchgeführt, der sich methodisch an dem Ansatz von Uchil und Chakrabarti (2013) orientiert und durch Empfehlungen zur Visualisierung von Ökobilanzergebnissen nach Hollberg et al. (2021) ergänzt wird. Ziel dieses Vorgehens ist es, die in den Ökobilanzen ermittelten, fachlich komplexen und umfangreichen Informationen in eine Form zu überführen, die auch von fachfremden Akteur:innen verstanden und im Rahmen von Entscheidungsprozessen genutzt werden kann.

Ausgangspunkt des Vorgehens bildet die Festlegung der Zielgruppe sowie der Entscheidungssituation, die durch die Entscheidungshilfe unterstützt werden soll. Da sich die Anforderungen an den Informationsumfang, die Detailtiefe sowie die Darstellungsform maßgeblich unterscheidet, je nachdem für welche Nutzung die Informationen bereitgestellt werden, muss festgelegt werden, welches Vorwissen anzunehmen ist und in welchem Rahmen die Anwendung stattfindet. Diese Kontextdefinition dient als Bezugsrahmen für alle weiteren Schritte der Informationsauswahl und -aufbereitung.

Anschließend werden die durch die Ökobilanzen vorliegenden Ergebnisse systematisch gesichtet und zusammengetragen. Hierzu werden die ausgewiesenen Wirkungsindikatoren, Ergebnisaggregationen sowie die methodischen Informationen vollständig erfasst, ohne zunächst eine inhaltliche Eingrenzung vorzunehmen. Ziel ist es, eine umfassende Ausgangsbasis aller verfügbaren Informationen zu schaffen, die grundsätzlich zur Unterstützung der betrachteten Entscheidung relevant sein können. Dadurch wird gewährleistet, dass die anschließende Auswahl auf einer strukturierten und

transparenten Grundlage erfolgt und nicht durch eine vorzeitige Vorselektion beeinflusst wird.

Zur Strukturierung dieser Informationen wird anschließend die von Uchil und Chakrabarti (2013) entwickelte Matrix (siehe Tabelle 2) angewendet. Hierbei werden drei Entscheidungsebenen definiert: (1) Verstehen, (2) Bewerten und (3) Validieren. Die in den Ökobilanzen erarbeiteten Informationen werden dabei systematisch nach ihrer Detailtiefe den drei Ebenen zugeordnet. Auf diese Weise werden die Ergebnisse in eine klar strukturierte Form überführt, von stark verdichteten Kernaussagen über erläuternde Analysen bis hin zu detaillierten Fachdaten. Durch diese dreistufige Strukturierung werden sämtliche Ökobilanzinformationen übersichtlich aufbereitet und eindeutig verortet. Dies schafft Transparenz darüber, welche Informationen auf welcher Ebene liegen und welche Funktionen sie im Entscheidungsprozess erfüllen. Auf dieser Grundlage kann anschließend gezielt ausgewählt werden, welche Ebene die von der Zielgruppe benötigten Informationen am besten abdeckt.

Tabelle 2: Informationsmatrix

Entscheidungen	Beispielhafte Informationsanforderungen	Beispielhafte Darstellungen	Beispielhafte Anwendungen	Beispielhafte Validierungsfragen
Verstehen	• Endpunkt-Bewertungen • Entscheidende Lebenszyklusphasen • Ziel und Untersuchungsrahmen	• Interaktive 2D-Diagramme (Kreis/Balken) • Interaktives Baumdiagramm • Übersicht	• Festlegung von Umweltzielen • Festlegung von Umweltzielen • Umweltkennzeichnung	• Was sind die Hotspots? • Welche sind die Schlüsselprozesse? • Welche Szenarien gibt es?
Bewerten	• Prozess Input/Output • Umweltpfade • Produkt Input/Output	• Interaktiver Baum & Karten • Zoom/Filterung • Mehrfachansicht	• Bewertung der Designalternativen • Wettbewerbsvergleich • Bewertung von Lebenszyklusszenarien	• Was sind die Ursachen für Hotspots? • Was sind die wichtigsten Designparameter? • Welche besseren Designalternativen gibt es?
Validieren	• Sachbilanzdaten • Methodische Daten • Datenqualität	• Interaktiver Baum & Karten • Zoom/Filterung • Mehrfachansicht	• Kritische Prüfung • Kommunikation von Marktinformationen • Einhaltung von ISO-Standards	• Sind die Ergebnisse zuverlässig? • Sind die Daten repräsentativ? • Wie umfassend sind die Ergebnisse?

In Anlehnung an: (Uchil & Chakrabarti, 2013, S. 7)

Aufbauend auf dieser strukturellen Einordnung wird anschließend untersucht, welche Formen der visuellen Darstellung geeignet sind, die gewählte Informationsebene verständlich zu kommunizieren. Hierzu werden die aus der Matrix resultierenden Beispieldarstellungen durch die von Hollberg et al. (2021) beschriebenen Gestaltungsprinzipien für die Visualisierung erweitert, die unterschiedliche Darstellungsformen in Abhängigkeit von Aussageziel und Datenstruktur vorschlagen.

Dafür wird zunächst festgelegt, welches Ziel mit der Darstellung erreicht werden soll, etwa die Identifikation von Hotspots oder der Vergleich verschiedener Produktausführungen. Anschließend erfolgt die Auswahl geeigneter Visualisierungen anhand von vier zentralen Merkmalen der darzustellenden Daten: (1) die Anzahl der darzustellenden Wirkungsindikatoren, (2) die Art der Variablen, (3) die Anzahl der betrachteten Variablen sowie (4) vorhandener hierarchischer Strukturen in den Ergebnissen. Diese Merkmale bestimmten die Komplexität der Darstellung und begrenzen zugleich, welche Visualisierungstypen sinnvoll eingesetzt werden können. Auf dieser Grundlage lassen sich die möglichen Diagrammformen systematisch einordnen und für den jeweiligen Anwendungsfall auswählen.

Abschließend werden die identifizierten Informationen sowie die dafür ausgewählten Darstellungen in die bestehenden Inhalte des Deutschen Tennis Bunds (DTB) zu den verschiedenen Platzbelägen integriert. Dadurch werden die neuaufbereiteten Ergebnisse der Ökobilanz systematisch mit den bereits vorhandenen technischen und anwendungsbezogenen Informationen verknüpft, sodass die ökologischen Bewertungsergebnisse nicht isoliert stehen, sondern direkt mit anderen für die Entscheidung relevanten Informationen dargestellt werden können. Dadurch entsteht eine zusammenhängende Entscheidungsgrundlage, die es den Nutzenden ermöglicht, die analysierten Platzbeläge unter Einbeziehung der vorhandenen Fachinformationen sowie der ergänzenden Umweltwirkungen vergleichend zu betrachten.

3.3 Verwendete Hilfsmittel

Bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene digitale Hilfsmittel und Softwareanwendungen genutzt. Zur transparenten Darstellung ihrer Verwendung sind sämtliche eingesetzten Werkzeuge in Tabelle 3 aufgeführt und ihr jeweiliger Einsatzbereich kurz beschrieben.

Tabelle 3: Übersicht verwendete Hilfsmittel

Hilfsmittel	Anwendungsbereich	Art der Nutzung
Chat GPT (Webanwendung)	– Unterstützung im Schreib- und Strukturierungsprozess – Unterstützung bei Auswahl der Datensätze	– Formulierungshilfe, sprachliche Überarbeitung – Unterstützung bei der Identifikation alternativer Suchbegriffe zur Proxy-Suche sowie zur Gegenüberstellung potenzieller Datensätze
Google Gemini (Webanwendung)	– Ergänzende Rechercheunterstützung (Gemini Deep Research) – Unterstützung bei Auswahl der Datensätze	– Selektive Unterstützung bei der Identifikation relevanter Quellen – Unterstützung bei der Identifikation alternativer Suchbegriffe zur Proxy-Suche sowie zur Gegenüberstellung potenzieller Datensätze
Lucidchart (Webanwendung)	Visualisierung	Erstellung von schematischen Abbildungen
Microsoft Excel	Datenverarbeitung	Datenstrukturierung, Berechnungen, Erstellung von Abbildungen
Microsoft PowerPoint	Visualisierung	Erstellung von Abbildungen und Tabellen
Microsoft Word	Textverarbeitung	Verfassen und Formatieren der schriftlichen Ausarbeitung
SketchUp (Webanwendung)	Visualisierung	Schematische Darstellung des Platzaufbaus
Umberto 11	Ökobilanzierung	Modellierung und Berechnung der Ökobilanzen
Zotero	Literaturverwaltung	Quellenorganisation und Zitationsmanagement

Eigene Darstellung.

Die im Rahmen der Recherche eingesetzten KI-gestützten Anwendungen dienten ausschließlich der Unterstützung bei der Identifikation potenziell relevanter Informationsquellen und Datensätze. Sämtliche darüber gewonnenen Hinweise wurden in einem nachgelagerten Schritt eigenständig überprüft und anhand weiterer, unabhängiger Quellen validiert. Eine direkte Übernahme von durch KI generierten Inhalten erfolgte nicht.

Hintergrund dieses Vorgehens ist, dass im Untersuchungsfeld des Tennissports, der Tennisplatzkonstruktionen und -nutzung nur in begrenztem Umfang wissenschaftliche Fachliteratur im engeren Sinne verfügbar ist. Ein erheblicher Teil der relevanten Informationen liegt in Form von technischen Merkblättern, Richtlinien, Projektbeschreibungen oder praxisbezogenen Veröffentlichungen von Verbänden, Organisationen, Herstellern und Fachinstitutionen vor. Diese Inhalte sind über klassische wissenschaftliche Suchmaschinen wie Google Scholar häufig nicht oder nur unzureichend auffindbar, stellen jedoch eine zentrale Wissensbasis für die reale Bau- und Nutzungspraxis dar. In Fällen, in denen über konventionelle Recherchewege keine ausreichenden Informationen identifiziert werden konnten, wurde gezielt und ausschließlich zur Auffindung entsprechender Quellen die Funktion „Gemini Deep Research“ genutzt. Die dort ermittelten Hinweise wurden anschließend manuell geprüft, durch zusätzliche Quellen abgesichert und hinsichtlich ihrer fachlichen Belastbarkeit bewertet. Die endgültige Auswahl und Verwendung der Informationen erfolgte somit ausschließlich auf Grundlage einer eigenständigen inhaltlichen Prüfung durch die Autorin.

4 Ökobilanzierung

4.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Untersuchung ist es, eine vergleichende ökobilanzielle Bewertung von verschiedenen Tennisplatzsystemen zu erstellen, um Unterschiede in ihrer Umweltwirkung herauszuarbeiten. Dabei sollten verschiedene Belagtypen betrachtet werden, um nicht nur verschiedene Hersteller zu vergleichen, sondern besonders verschiedene Belagarten zu analysieren und die Unterschiede herauszuarbeiten. Deshalb wurden folgende Beläge betrachtet:

- Herkömmlicher Ziegelmehlplatz
- Ganzjahresziegelmehlplatz: Red Clay Pro
- Hartplatz: ConiRAce
- Kunstrasen: Ligagrass Pro R
- Künstlicher Sandplatz: Top Sand

4.1.1 Funktionelle Einheit und Referenzflüsse

Um die unterschiedliche Lebensdauer und jährliche Nutzungsdauer in die Analyse einzubeziehen wurde die funktionelle Einheit wie folgt definiert:

Eine Nutzungsstunde des jeweiligen Tennisplatzes mit den Maßen eines Turnierplatzes (669 m²) über die jeweilige Lebensdauer des Platzbelags

In dieser Arbeit wurden die Maße des Turnierplatzes (18,29 m x 36,57 m) als Standard herangezogen, da dieser als Grundeinheit gilt. Jedoch ist zu beachten, dass die Abmessungen von Tennisplätzen unterschiedlich sein können, je nach Größe der Auslaufzone (International Association for Sports and Leisure Facilities & Deutscher Tennis-Bund, 2002, S. 28). Die berücksichtigte Lebensdauer bezieht sich ausschließlich auf den Belag und schließt die Unterkonstruktion aus, da diese häufig eine deutlich längere Lebensdauer aufweist und in der Praxis bei Defekten des Belags nicht komplett ausgetauscht wird, sondern für andere Tennisplätze weiterverwendet werden kann.

Um die Modellierung der Platzbeläge auf die funktionelle Einheit zu beziehen, wird für jeden Belag ein Referenzfluss definiert. Dafür muss für jeden Platzbelag neben der Lebensdauer die jährlichen Nutzungsstunden definiert werden. Da die täglichen und jährlichen Nutzungsstunden sehr stark davon abhängig sind, wie viele Tennisplätze an einem Standort verfügbar sind, wie viele aktive Tennisspieler eine Anlage nutzen und ob

auch vereinsfremde Personen und Schulen die Plätze mitnutzen, ist es sehr schwer eine allgemeine Aussage darüber zu treffen, wie viel ein Platz bespielt wird. Hübner & Wulf (2014) rechnen bei der Ermittlung des Sportstättenbedarfs für Bremerhaven bspw. mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von ca. 5,5 Stunden pro Tag. Auch Liepert et al. (2024) ermitteln für drei Standorte durchschnittliche Nutzungsdauern von 4 Stunden pro Tag bis 6,9 Stunden pro Tag, was in einem ähnlichen Bereich liegt. Nach Rücksprache mit Vertreter:innen der Landesverbände wurden diese Werte für die Sommersaison als realistisch angenommen, weshalb sich in dieser Arbeit auf 5,5 Stunden pro Tag an 7 Tagen in der Woche festgelegt wurde. Die Sommersaison, in der Ziegelmehlplätze ausschließlich bespielt werden können, wurde für die Zeit vom 15.03. – 15.10. festgelegt.

Die anderen in dieser Arbeit betrachteten Plätze können theoretisch ganzjährig bespielt werden. Bisher ist dies jedoch nicht wirklich der Fall, da es typisch ist, außerhalb der Sommersaison in eine Tennishalle auszuweichen. Deshalb sind die Nutzungsstunden in diesen Zeiten deutlich schwieriger zu bestimmen, da dies stark davon abhängt, ob bspw. das Training im Winter auch auf den Außenplätzen stattfindet oder ob Flutlichtanlagen vorhanden sind. Um die Unterschiede in der Nutzungsmöglichkeit trotzdem darzustellen, wurden für die Wintersaison ebenfalls Nutzungsstunden abgeschätzt, die jedoch sehr grob zu verstehen sind. Dafür wurden für den Zeitraum 15.10. – 15.02. lediglich 5 Stunden pro Woche und für den Zeitraum 15.02. – 15.03. 12h/ Woche angesetzt. Die Nutzungsstunden für die Sommersaison bleiben unverändert.

Daraus lässt sich die Nutzungsdauer berechnen, die in dieser Arbeit als die tatsächliche Nutzung eines Tennisplatzes über die gesamte Lebensdauer definiert ist. Diese bildet die Grundlage für die Berechnung der Referenzflüsse wie in Tabelle 4 dargestellt. Dadurch kann die Lebensdauer und die jährliche Nutzung in den Vergleich der Umweltwirkungen der verschiedenen Plätze miteinfließen.

Tabelle 4: Referenzflüsse

	Ziegelmehlplatz	Ganzjahresziegelmehlplatz	Künstlicher Sandplatz	Hartplatz	Kunstrasenplatz
Lebensdauer	30 Jahre	20 Jahre	30 Jahre	30 Jahre	15 Jahre
Nutzungszeitraum	15.03. – 15.10. (38,5 h/Woche)	15.03. – 15.10. (38,5 h/Woche) 15.10. – 12.02. (5 h/Woche) 12.02. – 15.03. (12 h/Woche)	15.03. – 15.10. (38,5 h/Woche) 15.10. – 12.02. (5 h/Woche) 12.02. – 15.03. (12 h/Woche)	15.03. – 15.10. (38,5 h/Woche) 15.10. – 12.02. (5 h/Woche) 12.02. – 15.03. (12 h/Woche)	15.03. – 15.10. (38,5 h/Woche) 15.10. – 12.02. (5 h/Woche) 12.02. – 15.03. (12 h/Woche)
Nutzungsstunden pro Jahr	1155 h	1293 h	1293 h	1293 h	1293 h
Nutzungsdauer	30 x 1155 h = 34650 h	20 x 1293 h = 25860 h	30 x 1293 h = 38790 h	30 x 1293 h = 38790 h	15 x 1293 h = 19395 h
Referenzfluss	$\frac{1}{34650}$ Tennisplatz	$\frac{1}{25860}$ Tennisplatz	$\frac{1}{38790}$ Tennisplatz	$\frac{1}{38790}$ Tennisplatz	$\frac{1}{19395}$ Tennisplatz

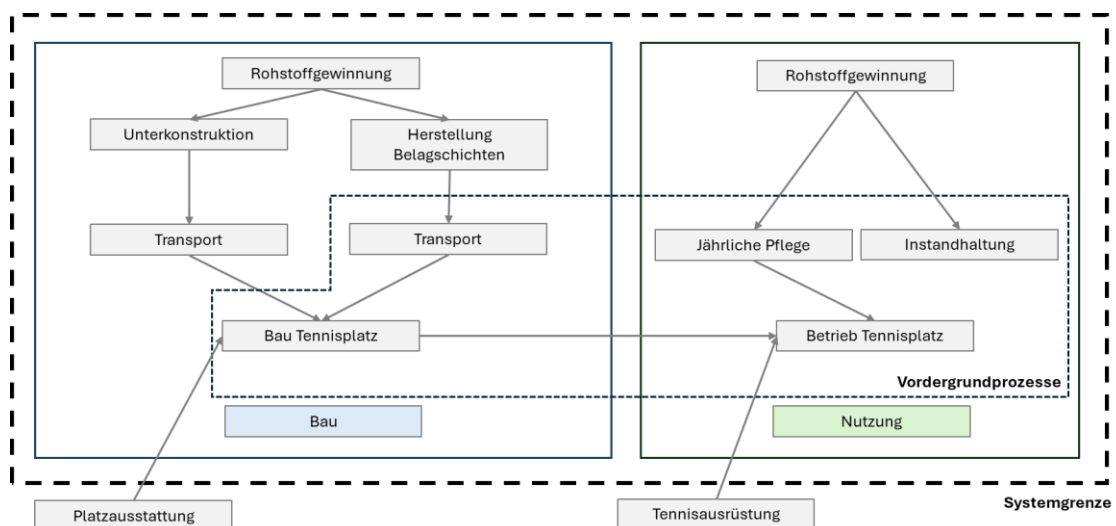
Eigene Darstellung.

4.1.2 Systemgrenzen

Im Rahmen der Ökobilanzierung wird der Bau und die Pflege der Plätze mit ggf. anfallenden Instandhaltungsmaßnahmen betrachtet. Dabei wird nur die Errichtung der Unterkonstruktion und des Belags untersucht, sonstige Infrastruktur wie Netze, Zäune, Bewässerungssysteme sowie die Tennisausrüstung werden nicht miteinbezogen. Die jährliche Pflege schließt insbesondere die Bewässerung und das Nachsandten mit ein, während durch Instandhaltung Renovierungsmaßnahmen, die nicht jährlich anfallen, abgedeckt sind.

Der Bau des Tennisplatzes mit den verwendeten Materialien und evtl. verwendeten Baumaschinen fallen in die Vordergrundprozesse. Zudem wird der Transport der Belagsysteme und der gesamte Betrieb durch Vordergrunddaten abgebildet. Die Gewinnung der Rohstoffe, die Herstellung der verwendeten Materialien und Halbzeugnisse sowie der Transport der Unterkonstruktion wird durch Hintergrunddaten abgedeckt. Der Rückbau und die Entsorgung der verschiedenen Plätze werden in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Sie sind somit für die vergleichende Bewertung im Rahmen der Zielsetzung dieser Arbeit von untergeordneter Bedeutung.

Abbildung 8: Systemgrenzen



Eigene Darstellung.

4.1.3 Bewertungsmethoden

Die Wirkungsabschätzung erfolgt anhand der Methode ReCiPe 2016 Midpoint (H) unter Berücksichtigung aller 18 Midpoint-Wirkungskategorien (siehe Tabelle 5). Auf eine weiterführende Aggregation auf die Endpoint-Ebene wird bewusst verzichtet. Eine solche

Schadensbewertung der Schutzgüter, wie etwa der menschlichen Gesundheit oder der Ökosystemqualität, setzt zusätzliche Modellannahmen voraus und geht dadurch mit höheren Unsicherheiten einher (Hauschild & Huijbregts, 2015, S. 9). Durch die Fokussierung auf die Midpoint-Ebene wird stattdessen eine transparente und differenzierte Analyse der umweltrelevanten Unterschiede zwischen den betrachteten Belagsystemen gewährleistet.

Tabelle 5: Midpoint Umweltwirkungskategorien nach ReCiPe 2016

Umweltwirkungskategorien nach ReCiPe 2016 Midpoint (H)			
Klimawandel	Ökosysteme	Menschliche Gesundheit	Ressourcen
Klimawandel, inkl. biogenem Kohlenstoff	Süßwasser-Ökotoxizität	Ionisierende Strahlung	Landnutzung
	Marine Ökotoxizität	Humantoxizität, karzinogen	Erschöpfung fossiler Ressourcen
	Terrestrische Ökotoxizität	Humantoxizität, nicht-karzinogen	Erschöpfung metallischer Ressourcen
	Süßwasser-Eutrophierung	Feinstaubbildung	Süßwasserverbrauch
	Marine Eutrophierung	Photochemische Ozonbildung, Gesundheit	
	Terrestrische Versauerung	Stratosphärischer Ozonabbau	
	Photochemische Ozonbildung, Ökosysteme		

Eigene Darstellung.

4.2 Sachbilanz

Im Rahmen der Sachbilanz werden die für die untersuchten Tennisplatzsysteme relevanten Stoff- und Energieströme, die durch Herstellung, Platzbau, Transport sowie während der Nutzungsphase entstehen, abgebildet. Ziel ist die vollständige und nachvollziehbare Darstellung aller zu der Bereitstellung der definierten funktionellen Einheit erforderlichen Prozesse und Materialflüsse. Im folgenden Kapitel wird daher beschrieben, wie die Modellierung der Plätze umgesetzt wird, welche Datensätze bei der Modellierung genutzt und welche konkreten Annahmen gemacht werden.

Die Modellierung und Auswertung der Ökobilanzen erfolgen in der Software Umberto 11. Für die Abbildung der Hintergrundprozesse wird die Datenbank ecoinvent Version 3.9.1. verwendet. Die Berechnungen basieren dabei auf dem Cut-Off-Systemmodell von ecoinvent, bei dem Sekundärmaterialien lastenfrei in das Produktsystem eingehen und keine Gutschriften für potenzielle Recyclingprozesse vergeben werden.

Die Modellierung in Umberto wird dabei zunächst auf einen vollständigen Tennisplatz bezogen durchgeführt. Entsprechend beziehen sich die im nachfolgenden Kapitel dargestellten Stoff- und Energiemengen auf einen Tennisplatz mit einer Fläche von 669 m². Die Skalierung auf die definierte funktionelle Einheit erfolgt erst im Anschluss, wodurch die Werte in einer anschaulicheren Größenordnung dargestellt werden können und somit eine bessere Nachvollziehbarkeit der angesetzten Mengen gewährleistet ist.

4.2.1 Belag

Um die verschiedenen Beläge zu modellieren, wurden die verschiedenen Belagsschichten nach den verwendeten Materialien aufgeschlüsselt und mit dem anteiligen Gewicht und dem passenden Herstellungsprozessen modelliert. Tabelle 6 stellt den Aufbau der untersuchten Plätze sowie die verwendeten Materialien gegenüber.

Tabelle 6: Belagaufbau

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

Auf dieser Basis wurden entsprechende Datensätze ausgesucht, die den Herstellungsprozess der verwendeten Materialien am genauesten abbildet. In Tabelle 7 werden alle für die Modellierung des Belags verwendeten Datensätze abgebildet.

Tabelle 7: Verwendete Datensätze Belag

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

Im Folgenden werden lediglich solche Annahmen und Proxy-Modellierungen erläutert, die einen besonders großen Einfluss auf die Ergebnisse haben oder mit erhöhten Unsicherheiten verbunden sind. Alle weiteren verwendeten Datensätze, sowie die Berechnung der angesetzten Mengen sind im Anhang vollständig und übersichtlich dokumentiert sowie bei Bedarf kurz erläutert.

Ziegelmehlproduktion:

Häufig wird Ziegelbruch zu Ziegelmehl aufbereitet, das als postindustrielles Recyclingmaterial eingesetzt und häufig für die Deckschicht von Ziegelmehlplätzen verwendet wird (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., o. J.; Umweltbundesamt, 2019, S. 6). Da in dieser Arbeit die Cut-off-Methodik angewendet wird, wird die ursprüngliche Herstellung des Dachziegels nicht in die Berechnung einbezogen. Berücksichtigt wird deshalb ausschließlich die Weiterverarbeitung der Bruchziegel zu Ziegelmehl, insbesondere der mechanische Zerkleinerungsprozess. Zur Abbildung dieses Prozessschritts wird der Datensatz „rock crushing (RER)“ verwendet. Da in dem Datensatz der Energiebedarf des Zerkleinerungsprozesses nicht enthalten ist, wird der Stromverbrauch separat über den Datensatz „market for electricity, low voltage (DE)“ modelliert. Der zugrunde gelegte Energiebedarf basiert auf Angaben aus dem Abschlussbericht des Projekts „R-ZiEMENT – Ziegelhaltige Recyclingbaustoffe als Rohstoff für ressourceneffiziente Zemente in dauerhaften Betonen“ (Müller et al., 2025, S. 46).

Künstlicher Sandplatz, Linierung:

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

4.2.2 Unterkonstruktion

Bei der Modellierung der Unterkonstruktion musste aufgrund fehlender Primärinformationen vollständig auf Literaturwerte zurückgegriffen werden. Daher konnten nur die Schichten berücksichtigt werden, für die belastbare Angaben vorlagen. In die Modellierung einbezogen wurden deshalb jeweils die beiden Lavagesteinsschichten der Tragschichten bzw. der dynamischen Schicht, sowie evtl. eine Asphaltsschicht. Der Unterbau zur Stabilisierung des Erdplanums, wie in Kapitel 2.3.1. beschrieben, wurde hingegen nicht modelliert, da dessen Ausführung von den individuellen Bodenverhältnissen abhängt, sodass keine allgemein gültigen Daten zu Schichtdicke o.ä. verfügbar waren. Da dieser Unterbau jedoch bei allen betrachteten Belagsystemen gleichermaßen aufgebaut ist, beeinflusst seine Nichtberücksichtigung den relativen Vergleich der Beläge nicht, ist jedoch bei der Interpretation der absoluten Umweltwirkungen zu berücksichtigen.

Wie in Tabelle 8 dargestellt, wurde beim Ganzjahres- und dem Ziegelmehlplatz sowie des Hartplatzes die Tragschicht und die dynamische Schicht berücksichtigt. Beim künstlichen Sandplatz und beim Kunstrasen wurde zusätzlich eine Asphaltschicht modelliert, da diese Belagtypen, wie in Kapitel 2.3.4. beschrieben, eine gebundene Tragschicht erfordern, auf der das jeweilige Belagsystem verklebt wird. Dieser konstruktive Unterschied ist für den Vergleich der Platzsysteme wesentlich und wurde daher trotz der vereinfachten Abbildung der Unterkonstruktion ausdrücklich berücksichtigt.

Tabelle 8: Verwendete Datensätze Unterkonstruktion

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

Zur Festlegung von Material und Materialeinsatzes wurde die Normen-Reihe DIN 18035 hinzugezogen (Deutsches Institut für Normung e.V., 2021a, S. 11 ff., 2025, S. 17 ff.). Da für Lavagestein kein spezifischer ecoinvent Datensatz verfügbar ist, wurde in Anlehnung an Itten et al. (2020, S. 72) der Datensatz „market for limestone, crushed, washed (CH)“ als geeignete Näherung verwendet.

4.2.3 Platzbau

Zur Abbildung der Bauphase der Tennisplätze wurden die notwendigen Arbeitsschritte erhoben und modelliert. Wie im vorherigen Kapitel erläutert, lagen für die Unterkonstruktion keine detaillierten Primärinformationen vor, sodass sich die Darstellung des Platzbaus ausschließlich auf den Einbau des Belags bezieht. Für die Modellierung war dabei insbesondere der Energieeinsatz der eingesetzten Maschinen relevant.

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Tabelle 9: Prozesse Platzbau

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Zudem wird auch beim Ziegelmehlplatz ein Energieverbrauch modelliert, da dieser sowohl während der Erstellung als auch die ersten Wochen danach regelmäßig mit einer motorisierten Walze bearbeitet werden muss. Dabei wird damit gerechnet, dass der Platz ca. 6 Wochen lang jeden Tag gewalzt werden muss, um die Deckschicht anforderungsgemäß zu verdichten (Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau, 2005, S. 4 f.). Für einen Walzvorgang des gesamten Platzes wurde 1h angesetzt (N. Sanchez de la Torre, persönliche Kommunikation, 26. Februar 2026).

Tabelle 10: Verwendete Datensätze Platzbau

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

4.2.4 Transport

Um die Transportstrecke zu modellieren, wurden zunächst die Standorte der Lieferanten der einzelnen Belagskomponenten erhoben. Da kein konkreter Anlagenstandort betrachtet wird, sollen ein durchschnittlicher, in Deutschland errichteter Tennisplatz abgebildet werden. Hierfür wurden die aktuellen Bestandszahlen der Außenplätze in den 17 Landesverbänden für das Jahr 2024 als Grundlage herangezogen. Dabei entfallen die größten Platzbestände auf die Verbände Bayern, Württemberg, Niedersachsen-Bremen, Westfalen und Hessen, während die niedrigsten Bestände, mit Ausnahme Hamburgs, ausschließlich im Osten Deutschlands liegen (vgl. Deutscher Tennis Bund e.V., 2025). Da sich zudem insgesamt eine ausgeglichene Nord-Süd-Verteilung ergibt, wurde ein Standort im zentralen Westen Deutschlands als repräsentativer Bezugspunkt gewählt. Für das Transportszenario dient daher die Stadt Kassel als Referenzort, auf den sämtliche Transportdistanzen aller Beläge bezogen werden.

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Tabelle 11: Verwendete Datensätze Transport

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

4.2.5 Jährliche Platzpflege und Sanierung

In der Nutzungsphase werden sowohl jährliche Pflegearbeiten als auch Sanierungsmaßnahmen abgebildet, die für eine Verlängerung der Lebensdauer der Plätze notwendig sind. Dabei unterscheiden sich diese Arbeiten je nach Belagtyp deutlich. Analog zur Bauphase wurden in der Modellierung ausschließlich solcher Arbeitsschritte berücksichtigt, bei denen ein Material- oder Energieeinsatz erforderlich ist. Reine manuelle Tätigkeiten wie Abziehen, Bürsten, oder Laubentfernung bleiben daher unberücksichtigt. Die anfallenden Maßnahmen sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Tabelle 12: Arbeitsschritte Nutzungsphase

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

Tabelle 13: Verwendete Datensätze jährliche Platzpflege

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Tabelle 14: Verwendete Datensätze Sanierung

Hier wurden Inhalte entfernt, da diese vertrauliche Informationen der Praxispartner beinhalten.

Eigene Darstellung.

4.3 Wirkungsabschätzung

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden die in der Sachbilanz erfassten Stoff- und Energieströme in potenzielle Umweltwirkungen überführt, wofür die in der Methode ReCiPe 2016 hinterlegten Charakterisierungsfaktoren angewendet werden. Die Berechnung erfolgt softwaregestützt in Umberto und die Analyse wird ausschließlich auf Midpoint-Ebene durchgeführt. Sämtliche Ergebnisse der Wirkungsabschätzung basieren auf den zuvor auf die funktionelle Einheit skalierten Modellen und repräsentieren damit die Umweltwirkungen bezogen auf die definierte Nutzungsleistung der jeweiligen Tennisplätze.

Für den Vergleich der fünf untersuchten Plätze wurden primär die charakterisierten Ergebnisse herangezogen. Ergänzend erfolgte eine nachträgliche Normierung unter Verwendung der ReCiPe 2016 Normierungsfaktoren (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu - Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, 2024), um die Größenordnung der verschiedenen Wirkungskategorien untereinander vergleichbar zu machen. Eine Gewichtung der Ergebnisse erfolgte nicht.

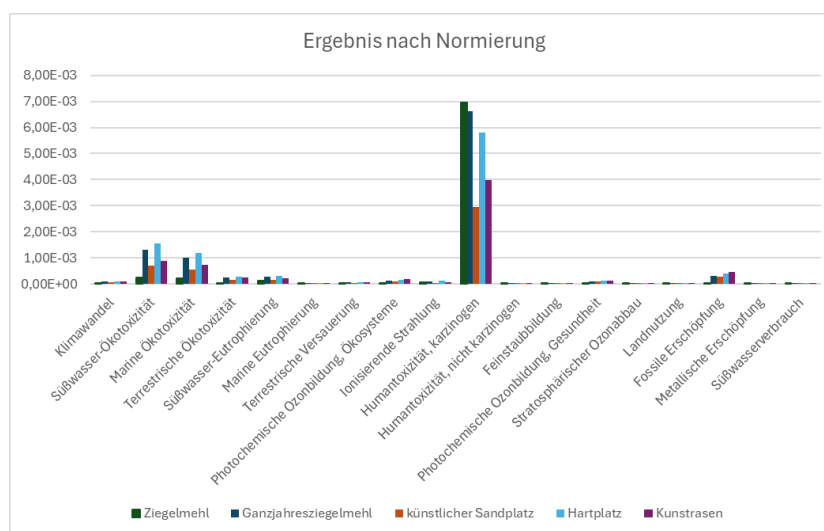
Zur Identifikation wesentlicher Einflussfaktoren wurden die Ergebnisse der Charakterisierung beitragsbasiert ausgewertet. Hierbei erfolgte eine differenzierte Betrachtung nach Lebenszyklusphasen, einzelnen Prozessen sowie zur vertieften Hotspotanalyse nach ausgewählten Material- und Energieflüssen. Dadurch konnten sowohl phasenbezogene als auch prozess- und materialbezogene Einflussgrößen innerhalb der untersuchten Belagsysteme systematisch herausgearbeitet werden.

4.4 Auswertung

Basierend auf den charakterisierten und normierten Werten erfolgt im Anschluss eine vergleichende Analyse der Wirkungsabschätzung. Hierbei gilt es, die systemspezifischen Abweichungen zu verdeutlichen und die für die Umweltbilanz wesentlichen Faktoren zu isolieren.

Die normierten Ergebnisse (vgl. Abbildung 9) zeigen zunächst, dass sich die untersuchten Platzsysteme trotz ihrer konstruktiven Unterschiede in ähnlicher Weise auf die einzelnen Umweltwirkungskategorien verteilen. Die höchsten relativen Beiträge treten bei allen Belagtypen in der Kategorie karzinogene Humantoxizität, gefolgt von Kategorien der Ökotoxizität wie Süßwasser oder marine Ökotoxizität. Da diese Kategorien jedoch bei der Normierung oft durch die Berechnung der Normierungsfaktoren überschätzt werden, ist ihre Aussagekraft nur begrenzt (Kim et al., 2013; Prado et al., 2020). Trotzdem wird deutlich, dass sich die untersuchten Plätze insgesamt weniger in der Art ihrer Umweltwirkungen unterscheiden, sondern vielmehr darin, welche spezifischen Materialien und Prozesse diese Wirkungen maßgeblich verursachen.

Abbildung 9: Normiertes Gesamtergebnis

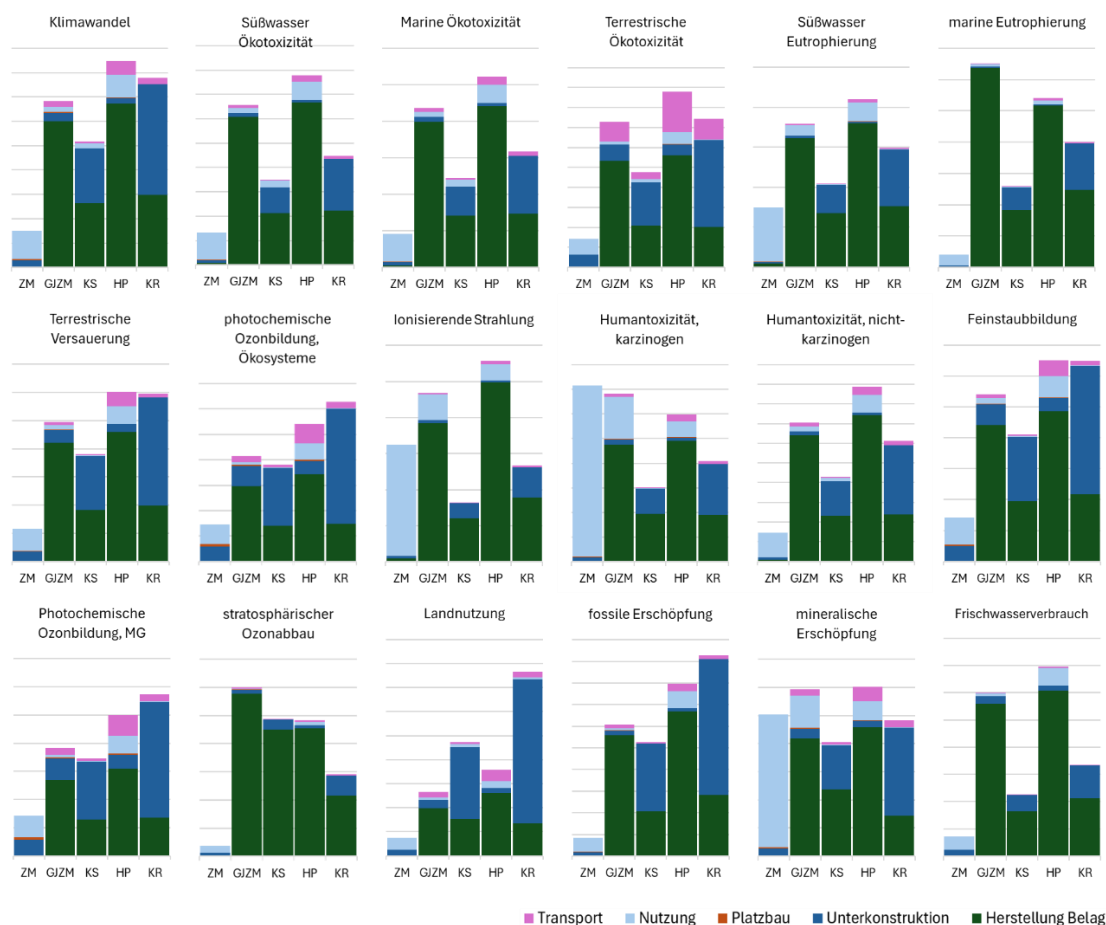


Eigene Darstellung.

Eine Gesamtübersicht über alle 18 betrachteten Midpoint-Kategorien sowie deren Aufschlüsselung nach Lebenszyklusphasen ist in Abbildung 10 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass der Hartplatz in vielen Wirkungskategorien mit den höchsten absoluten Beiträgen dominiert. Besonders in den Kategorien Toxizität und Eutrophierung zeigt der Hartplatz hohe Wirkungspotenziale. Die Unterschiede zu den restlichen Belägen fallen jedoch häufig moderat aus und bewegen sich meist innerhalb eines ähnlichen Wertebereichs. Gleichzeitig verzeichnet in anderen Kategorien, wie beispielsweise der photochemischen Ozonbildung oder der Landnutzung, der Kunstrasen oder der künstliche Sandplatz die Maximalwerte. Auffällig ist, dass sich bestimmte Systeme paarweise verhalten: Der Hartplatz und der Ganzjahresziegelmehlplatz zeigen vergleichbare

Ausprägungen, während sich der künstliche Sandplatz und der Kunstrasenplatz in ihren Wirkungsmustern ähnlich sind.

Abbildung 10: Umweltwirkungen für die verschiedenen ReCiPe Midpoint Kategorien



Eigene Darstellung.

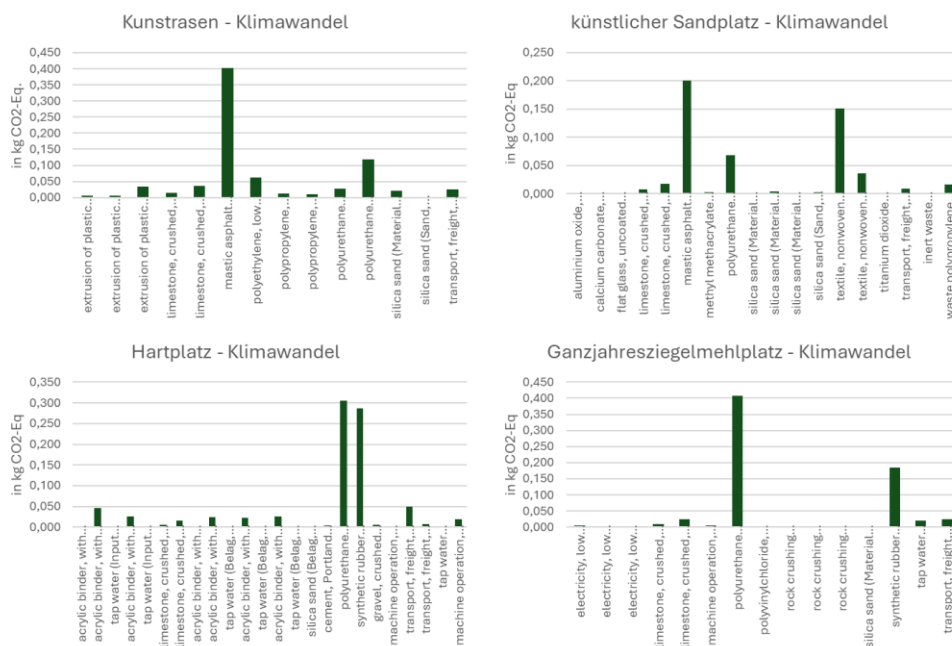
Diese Zusammenhänge spiegeln sich auch in der Analyse der Lebenszyklusphasen wider. Bei dem Hartplatz sowie dem Ganzjahresziegelmehlplatz dominiert deutlich die Herstellungsphase des Belags, wohingegen beim Kunstrasen und dem künstlichen Sandplatz primär die Unterkonstruktion als Hauptverursacher der Umweltwirkungen identifiziert werden kann. Die unterschiedlichen Schwerpunkte lassen sich auf konstruktive Besonderheiten der jeweiligen Platzaufbauten zurückführen.

Dies lässt sich besonders anschaulich am Beispiel des Klimawandelpotenzials verdeutlichen, wie in Abbildung 10 illustriert. In dieser Kategorie bewegen sich die Ergebnisse, mit Ausnahme des herkömmlichen Ziegelmehlplatzes, weitgehend in einem vergleichbaren Wertebereich. Bei einer differenzierten Betrachtung auf Flussebene werden jedoch deutliche Unterschiede in den verursachenden Materialien sichtbar, die

die Beiträge verursachen. Sowohl beim Kunstrasen als auch beim künstlichen Sandplatz ist hier die Asphaltschicht maßgeblich, wie in Abbildung 11 ersichtlich, da deren energieintensive Herstellung sowie die enthaltenen Bitumenanteile zu hohen Kohlenstoffdioxid (CO₂) – Emissionen führen. Dadurch konzentrieren sich die Umweltwirkungen überwiegend auf die Unterkonstruktion.

Demgegenüber wird beim Hartplatz und dem Ganzjahresziegelmehlplatz auf Flussebene ersichtlich, dass insbesondere das eingesetzte PU-Bindemittel sowie das SBR-Gummigranulat maßgeblich zu den Treibhausgasemissionen beitragen. Diese Materialien werden in großen Mengen für die elastische Tragschicht benötigt, welche die Asphaltschicht funktional als einen Teil der klassischen Hartplatzunterkonstruktion ersetzt. Da diese Schicht in der vorliegenden Modellierung der Belagherstellung zugerechnet wurde, verlagern sich die Emissionen entsprechend in diese Lebenszyklusphase. Da beim Ganzjahresziegelmehlplatz in der vergleichbaren Basisschicht identische Materialien zum Einsatz kommen, lassen sich die parallelen Wirkungsmuster dieser beiden Systeme schlüssig erklären.

Abbildung 11: Wirkungskategorie Klimawandel

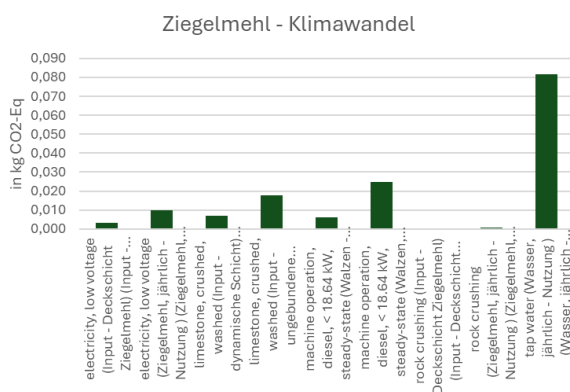


Eigene Darstellung.

Einzig der herkömmliche Ziegelmehlplatz hebt sich von den übrigen Varianten durch deutlich geringere potenzielle Umweltwirkungen ab. Im Vergleich zu den anderen Systemen weist die Herstellungs- und Bauphase hier eine geringere Relevanz auf,

wohingegen ein größerer Anteil der Umweltwirkungen in der Nutzungsphase liegt. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der Platz ohne elastische Tragschicht oder Asphaltbasis auskommt und stattdessen eine ungebundene Tragschicht sowie eine dynamische Schicht zur Stabilisierung ausreichen. Somit besteht der Belag lediglich aus der Ziegelmehldeckschicht, die auf die Unterkonstruktion aufgebracht wird. Gleichzeitig ist der Platz deutlich pflegeintensiver. Der regelmäßige Materialeintrag, die Bewässerung und das Walzen der Deckschicht verursachen Aufwände, die sich deutlich in der Nutzungsphase zeigen (siehe Abbildung 12).

Abbildung 12: Wirkungskategorie Klimawandel Ziegelmehl



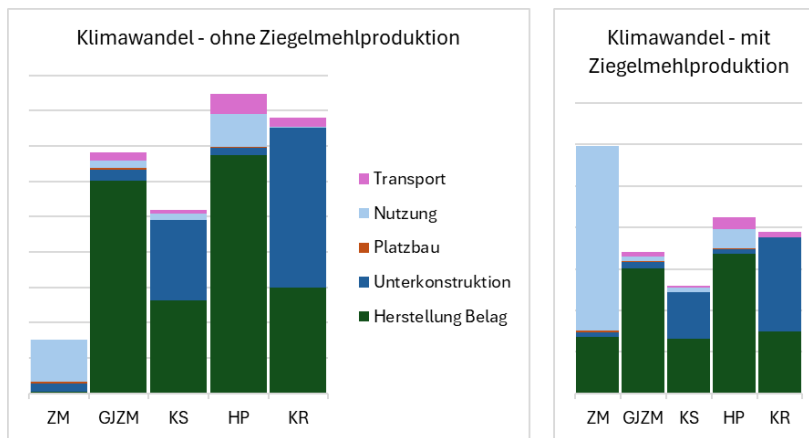
Eigene Darstellung.

Zusätzlich wirken sich an dieser Stelle methodische Annahmen maßgeblich auf das Ergebnis aus. Das verwendete Ziegelmehl wird als Sekundärmaterial eingestuft. Da dieser Bilanzierung ein Cut-Off-Modell zugrunde liegt, wird die ursprüngliche Herstellung der Ziegel dem Platzsystem nicht zugerechnet. Berücksichtigt werden lediglich die Aufbereitungsschritte wie die Zerkleinerung der Bruchziegel und der damit verbundene Energieverbrauch. Dies führt zu deutlich geringeren Emissionen in der Herstellungsphase im Vergleich zu den anderen Belagsystemen. In Kategorien, die stark durch den Wasserverbrauch beeinflusst werden, wie etwa die karzinogene Humantoxizität oder die Erschöpfung mineralischer Ressourcen, erreicht der Ziegelmehlplatz hingegen ähnliche oder teilweise höhere Werte.

Um die Auswirkungen der methodischen Annahmen zu evaluieren und deren Einfluss auf die vergleichenden Schlussfolgerungen zu prüfen, wurde für den Ziegelmehlplatz ergänzend zum Cut-Off-Ansatz ein Alternativszenario modelliert. In diesem Zusatzmodell wurde angenommen, dass die Umweltwirkungen des Ziegelherstellungsprozesses vollständig der Herstellung des Belags angerechnet werden.

In der Auswertung des Ergebnisses dieses Modells ist deutlich zu erkennen, dass der Einbezug der Ziegelherstellung das Gesamtergebnis des Ziegelmehlplatzes deutlich erhöht. Am Beispiel des Klimawandelpotenzials wird dies in Abbildung 13 dargestellt.

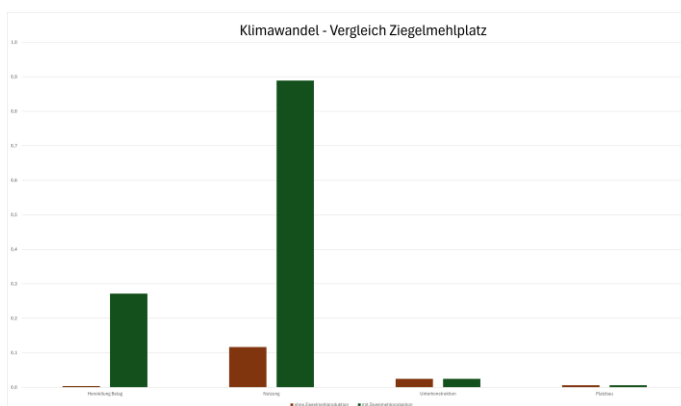
Abbildung 13: Vergleich Modellierung Ziegelmehl



Eigene Darstellung.

Durch den Einbezug der Primärherstellung wird das zuvor niedrige Belastungsniveau des Ziegelmehlplatzes bis hin zur vollständigen Umkehrung relativiert. Während sich die Werte in einigen Kategorien nun in einem ähnlich hohen Bereich wie die der übrigen Belagsysteme bewegen, werden in anderen Kategorien sogar neue Höchstwerte erreicht. Wie zu erwarten war, nimmt insbesondere der Anteil der Herstellungsphase an der Gesamtwirkung deutlich zu, während sie zuvor kaum Einfluss auf das Ergebnis hatte. Zudem ist deutlich zu erkennen, dass auch die Umweltwirkungen in der Nutzungsphase stark ansteigen, wie in Abbildung 14 dargestellt. Dies ist auf den hohen jährlichen Ziegelmehleinsatz zurückzuführen, der während der Frühjahrsinstandsetzung anfällt.

Abbildung 14: Vergleich Ziegelmehl nach Lebenszyklusphase



Eigene Darstellung.

Mit dieser Auswertung wird deutlich, dass sich die Höhe der Emissionen des Ziegelmehlplatzes je nach getroffenen methodischen Annahmen deutlich verändert, wodurch insbesondere der Vergleich mit den anderen Platzbelägen verzerrt wird. Unabhängig davon bleibt jedoch die zentrale Erkenntnis bestehen: Im Gegensatz zu den anderen Belagtypen wird die Ökobilanz des Ziegelmehlplatzes nicht durch die Herstellung des Belags oder der Unterkonstruktion geprägt, sondern maßgeblich durch die Nutzungsphase. Diese Erkenntnis ist insbesondere für die Ableitung möglicher Handlungsmaßnahmen von großer Bedeutung.

Die materialbedingten Unterschiede erklären dabei die spezifischen Ausprägungen einzelner Wirkungskategorien. Die Platzsysteme mit hohen Anteilen an PU-Bindemittel und gummibasierten Komponenten (Hartplatz und Ganzjahresziegelmehlplatz) weisen verstärkt Beiträge in den toxikologisch relevanten Wirkungskategorien auf. Ursache hierfür sind vor allem die energie- und emissionsintensiven chemischen Herstellungsprozesse dieser Materialien sowie deren vorgelagerte Produktionsketten (Adetunji et al., 2021; Corapi et al., 2023). Der künstliche Sand- und der Kunstrasenplatz beeinflussen die photochemische Ozonbildung besonders stark, da bei der Herstellung und Verarbeitung bituminöser Materialien flüchtige organische Verbindungen freigesetzt werden, welche wiederum die Ozonbildung begünstigen (Lasne et al., 2023). Auch Kategorien wie die Landnutzung werden hier maßgeblich durch die vorgelagerten Prozesse der Rohölgewinnung und -verarbeitung geprägt. Der Einfluss des hohen Wasserverbrauchs beim herkömmlichen Ziegelmehlplatz auf die karzinogenen humantoxikologischen Effekte sowie den mineralischen Ressourcenverbrauch lässt sich dabei insbesondere durch die infrastrukturellen Aufwendungen der Wasserversorgung erklären (Jeong et al., 2015).

4.4.1 Szenarioanalysen

Um die unterschiedliche unterjährliche Nutzung sowie die verschiedenen Lebensdauern der Belagsysteme in die Berechnung einzubeziehen, wurde die funktionelle Einheit auf eine Nutzungsstunde festgelegt. Die Wahl der jährlichen Nutzungsstunden sowie der Lebensdauer ist daher zentral für die Modellierung und Berechnung der Umweltwirkungen. Da diese Werte in der Praxis stark variieren und in hohem Maße von der Nutzung des jeweiligen Vereins und der Pflege des Platzes abhängen, ist die Datengrundlage der Berechnungen mit entsprechenden Unsicherheiten verbunden. Vor diesem Hintergrund wurde überprüft, wie sensibel die Modelle auf Veränderungen der

Nutzungsdauer reagieren. Hierzu wurde in allen Modellen die Lebensdauer sowohl um 10 Jahre verringert als auch um 10 Jahre erhöht. Daraus ergeben sich folgende Szenarien (siehe Tabelle 15):

Tabelle 15: Szenarioanalyse Lebensdauer

Szenario 1: 10 Jahre längere Lebensdauer					
	Ziegelmehlplatz	Ganzjahres-ziegelmehlplatz	Künstlicher Sandplatz	Hartplatz	Kunstrasenplatz
Lebensdauer	40 Jahre	30 Jahre	40 Jahre	40 Jahre	25 Jahre
Nutzungsstunden pro Jahr	1.155 h	1.293 h	1.293 h	1.293 h	1.293 h
Nutzungsdauer	46.200 h	38.790 h	51.720 h	51.720 h	32.325 h
Referenzfluss	2,16E-05 Tennisplätze	2,58E-05 Tennisplätze	1,93E-05 Tennisplätze	1,93E-05 Tennisplätze	3,09E-05 Tennisplätze

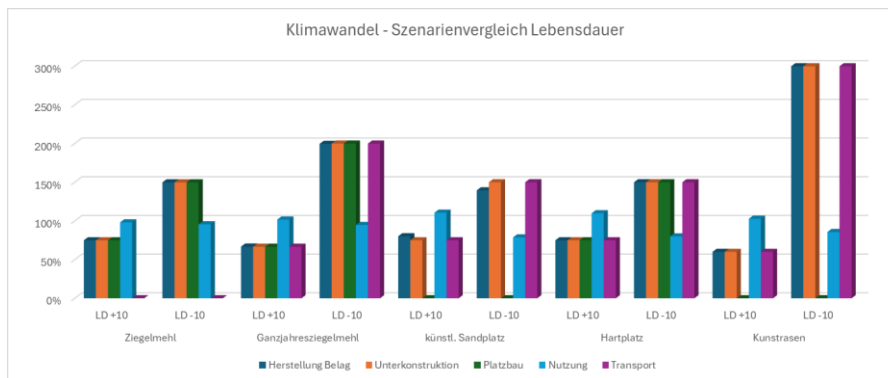
Szenario 2: 10 Jahre kürzere Lebensdauer					
	Ziegelmehlplatz	Ganzjahres-ziegelmehlplatz	Künstlicher Sandplatz	Hartplatz	Kunstrasenplatz
Lebensdauer	20 Jahre	10 Jahre	20 Jahre	20 Jahre	5 Jahre
Nutzungsstunden pro Jahr	1.155 h	1.293 h	1.293 h	1.293 h	1.293 h
Nutzungsdauer	23.100 h	12.930 h	25.860 h	25.860 h	6.465 h
Referenzfluss	4,33E-05 Tennisplätze	7,73E-05 Tennisplätze	3,87E-05 Tennisplätze	3,87E-05 Tennisplätze	1,55E-04 Tennisplätze

Eigene Darstellung.

Neben dem Referenzfluss, der unmittelbar von der veränderten Lebensdauer abhängt, müssen in der Modellierung auch für die Nutzungsphase entsprechende Anpassungen vorgenommen werden. Beim Ziegelmehlplatz, dem Ganzjahresziegelmehlplatz und dem Kunstrasen wird lediglich ein konstanter jährlicher Pflegeaufwand angesetzt, der entsprechend der variierten Lebensdauer kumuliert werden muss. Beim Hartplatz und dem künstlichen Sandplatz wird zudem für alle 10 Jahre eine Sanierung modelliert. Bei einer Verkürzung der Lebensdauer entfällt die entsprechende Sanierungsmaßnahme, während bei einer Verlängerung eine zusätzliche Sanierung hinzukommt.

Diese Unterschiede spiegeln sich auch in den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung wider. In Abbildung 15 ist das Ergebnis der beiden Szenarien für das Klimawandelpotenzial im Verhältnis zum Basisszenario in Prozent dargestellt. Bei der Aufschlüsselung nach Lebenszyklusphasen wird deutlich, dass sich die Herstellung von Belag und Unterkonstruktion, der Platzbau sowie der Transport in allen Szenarien gleich verhalten. Da hier die entsprechenden Modellparameter unberührt bleiben, verändern sich diese Anteile lediglich im Verhältnis zum Referenzfluss. Dennoch unterscheidet sich, wie stark die einzelnen Belagsysteme insgesamt vom Basisszenario abweichen.

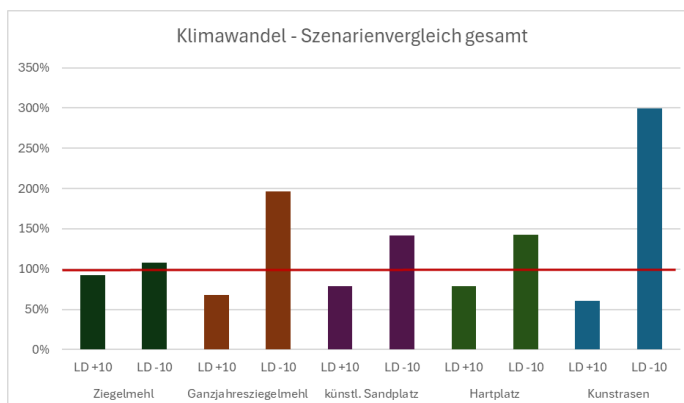
Abbildung 15: Auswertung Szenariovergleich Lebensdauer nach Lebenszyklusphase



Eigene Darstellung.

In Abbildung 16, welche die Abweichungen vom Basisszenario im Gesamtergebnis darstellt, wird dies noch deutlicher. Das Ergebnis des Kunstrasens reagiert am stärksten auf die Veränderung der Lebensdauer, gefolgt vom Ganzjahresziegelmehlplatz. Der künstliche Sandplatz und der Hartplatz weisen eine ähnlich starke Abweichung auf, während beim Ziegelmehlplatz kaum eine Reaktion auf die Veränderung der Lebensdauer zu beobachten ist. Dies ist auf die im Basisszenario angenommene Lebensdauer zurückzuführen. Da in den Szenarien mit einer absoluten Veränderung von 10 Jahren gerechnet wurde, weist der Kunstrasenplatz die höchste Sensitivität auf, gefolgt vom Ganzjahresziegelmehlplatz. Dies ist wenig überraschend, da der Kunstrasenplatz mit 15 Jahren die kürzeste Lebensdauer im Basisszenario aufweist. Hier entspricht eine Änderung von 10 Jahren einem Anteil von zwei Dritteln der ursprünglichen Lebensdauer. Während der künstliche Sandplatz, der Hartplatz sowie der Ziegelmehlplatz mit einer Lebensdauer von 30 Jahren im Basisszenario lediglich eine relative Änderung um ein Drittel erfahren.

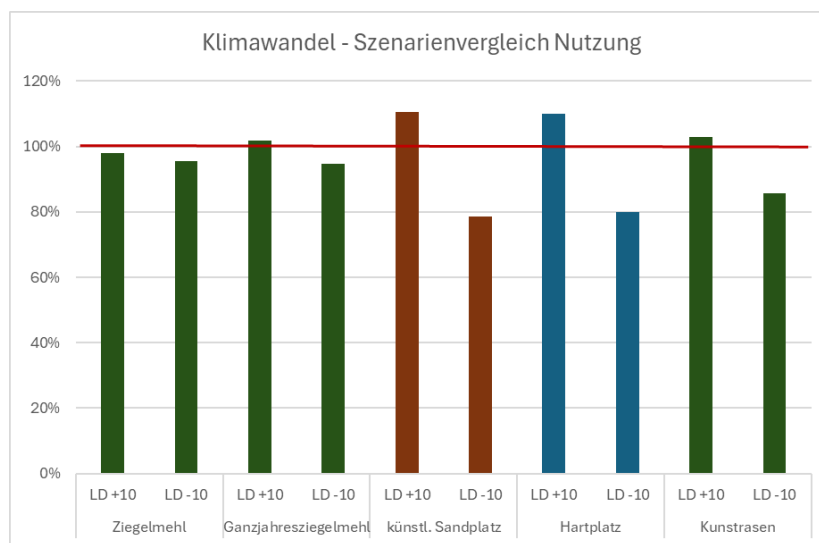
Abbildung 16: Auswertung Szenariovergleich Lebensdauer



Eigene Darstellung.

Dass der Ziegelmehlplatz am wenigsten auf die Veränderung der Lebensdauer reagiert, wird bei der Analyse der Nutzungsphase deutlich. Bei den in Abbildung 17 in grün dargestellten Platzbelägen ist in der Nutzungsphase lediglich eine jährliche Platzpflege erforderlich. Da sich deren Umfang im gleichen Verhältnis wie der Referenzfluss verändert, reagieren diese Plätze vergleichsweise unempfindlich auf Veränderungen der Lebensdauer. Beim künstlichen Sandplatz sowie beim Hartplatz fallen in der Nutzungsphase hingegen alle zehn Jahre zusätzliche Sanierungsarbeiten an. Infolgedessen reagieren diese Systeme sensibler auf die Veränderung der Lebensdauer.

Abbildung 17: Auswertung Szenariovergleich Lebensdauer Nutzung



Eigene Darstellung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse von Belagsystemen mit rein jährlichem Pflegeaufwand geringere Sensitivitäten gegenüber Veränderungen der Lebensdauer aufweisen als Systeme mit zusätzlichen Sanierungsaufwänden. Zudem zeigt sich, dass Beläge mit einer kürzeren Lebensdauer im Basisszenario insgesamt stärker auf Veränderungen reagieren.

Darüber hinaus wurde anhand zweier Szenarien untersucht, wie sich die Umweltwirkungen verändern, wenn die vier ganzjährig beispielbaren Plätze eine gesteigerte Nutzungsintensität während der Wintermonate aufweisen. Hierfür wurden die wöchentlichen Nutzungsstunden im Winter um jeweils zehn Stunden erhöht. Dadurch verändert sich der Referenzfluss, während die Modellierung selbst unverändert bleibt. Erwartungsgemäß sinken die Umweltwirkungen pro Nutzungsstunde antiproportional zur Steigerung der jährlichen Auslastung. Eine Erhöhung der Nutzungsstunden führt somit

im gleichen Verhältnis zu einer Senkung der spezifischen Belastung. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Anzahl der jährlichen Nutzungsstunden zwar das absolute Ergebnis beeinflusst, der relative Vergleich zwischen den vier Ganzjahresplätzen jedoch unverändert bleibt. Eine Ausnahme bildet der Ziegelmehlplatz, da dieser im Winter nicht nutzbar ist, weshalb seine jährlichen Nutzungsstunden in diesen Szenarien konstant bleibt. Im Vergleich zu den ganzjährig beispielbaren Systemen verschiebt sich dadurch dessen relative ökologische Bewertung zu Ungunsten des Ziegelmehlplatzes.

5 Entwicklung der Entscheidungshilfe

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die verschiedenen Belagsysteme hinsichtlich ihres konstruktiven Aufbaus sowie der dafür erforderlichen Materialien und Prozesse betrachtet und darauf aufbauend ihre Umweltwirkungen quantifiziert. Die Ergebnisse wurden auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen, von der Gesamtplatzebene, über die Lebenszyklusphasen bis hin zur Materialebene, gegenübergestellt. Auf diese Weise konnte ein möglichst vollständiges Bild darüber gewonnen werden, welche Materialien und Prozesse in der Herstellung und Nutzung der Plätze maßgebliche Hotspots darstellen und wodurch sich die unterschiedlichen Ausprägungen der Umweltwirkungen zwischen den Bauweisen erklären lassen. Darüber hinaus wurde untersucht, welchen Einfluss methodische Annahmen, wie die Wahl der Nutzungsdauer und der Cut-Off Methode auf das Ergebnis der Analyse haben.

Die umfassende Analyse der Ergebnisse bildet eine zentrale Grundlage für Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Studie, jedoch ist sie aufgrund ihres Umfangs und der fachliche Tiefe in dieser Form nur eingeschränkt für die praktische Anwendung Fachfremder geeignet. Es gilt deshalb in diesem Teil der Arbeit herauszuarbeiten, wie die gewonnenen Erkenntnisse praxisnah, anwenderfreundlich und auch für fachfremde Personen nachvollziehbar aufbereitet werden können, ohne die Ergebnisse zu stark zu vereinfachen

5.1 Ziel, Zielgruppe und Anforderungen

Mit der in Deutschland zunehmenden Verbreitung von Alternativen zum klassischen Ziegelmehlplatz, gewinnen in Deutschland immer mehr unterschiedliche Belagsysteme an Bedeutung. Hierbei treten vermehrt hybride Bauweisen auf, die sich nicht eindeutig den traditionellen Kategorien zuordnen lassen, beispielsweise der in dieser Arbeit betrachtete Ganzjahresziegelmehlplatz oder Hartplätze, die nicht auf einer klassischen

Asphaltschicht aufgebaut werden. Diese Entwicklung erweitert zwar die Gestaltungsmöglichkeiten für Vereine, erschwert jedoch zugleich die Übersicht und Vergleichbarkeit der verfügbaren Systeme.

Um Tennisvereine bei der Auswahl geeigneter Platzsysteme zu unterstützen, arbeitet der DTB gemeinsam mit den Landesverbänden an einer einheitlichen Aufbereitung der unterschiedlichen Bauweisen. Dafür wurden bereits umfangreiche Übersichten erarbeitet, die insbesondere klassische Kriterien wie Spieleigenschaften oder Pflegeintensität der verschiedenen Belagtypen gegenüberstellen. Hierbei werden bereits erste Umweltaspekte berücksichtigt, wobei besonders der Wasserbedarf während der Nutzung der Plätze thematisiert wird. Vor dem Hintergrund zunehmender Trockenperioden und regionalen Bewässerungsbeschränkungen wird dieser Aspekt verstärkt in Entscheidungsprozesse einbezogen. Diese Umweltaspekte sind bislang jedoch überwiegend auf nutzungsbezogene Faktoren beschränkt. Das Ziel der in dieser Arbeit entwickelten Entscheidungshilfe ist es, die bereits vorhandenen Informationen des DTB durch die Ökobilanzergebnisse zu erweitern, um die Umweltkomponente als zusätzliche Entscheidungsdimension für Vereine nutzbar zu machen.

Die Ergebnisdarstellung richtet sich dabei vorwiegend an Verbandsmitarbeiter:innen, die die Vereine zu Platzbauthemen beraten und Vereinsfunktionär:innen von Tennisvereinen, die sich gerade im Entscheidungsprozess für einen neuen Tennisplatz befinden. Zudem soll sie darüber hinaus auch an interessierte Tennisspieler:innen gerichtet sein, die sich zu der Umweltwirkung von Tennisinfrastruktur informieren möchten. Daraus ergeben sich mehrere Anforderungen, die die Entscheidungshilfe erfüllen soll:

Die Entscheidungshilfe soll spieltechnische, ökonomische und ökologische Kriterien miteinander verbinden und einen Überblick über die zentralen Kernaussagen der Studie geben. Durch eine Gegenüberstellung der verschiedenen Platzbeläge sollen die Informationen gezielt im Entscheidungsprozess genutzt werden können. Gleichzeitig soll die Darstellung so aufbereitet sein, dass sie auch ohne spezifische Kenntnisse der Ökobilanzierung verständlich ist. Ziel ist dabei nicht, eine Empfehlung für einen bestimmten Platzbelag oder ein bestimmtes Material auszusprechen, sondern über die Umweltwirkungen unterschiedlicher Bauweisen zu informieren und dafür zu sensibilisieren. Eine transparente Darstellung der jeweiligen Vor- und Nachteile verschiedener Materialien und Bauweisen soll zudem eine eigenständige und fundierte Entscheidungsfindung unterstützen.

5.2 Strukturierung der Ergebnisse

Um zu bestimmen, welche Informationen für die zuvor definierte Zielgruppe und zur Erfüllung der Anforderungen notwendig sind, werden die erarbeiteten Ökobilanzinformationen in Anlehnung an Uchil und Chakrabarti (2013) in drei Ebenen unterteilt, wie in Tabelle 16 dargestellt. Diese Unterteilung dient als Vorbereitung, um anschließend eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu haben, welche Informationen konkret in den Leitfaden eingearbeitet werden. Auf Ebene (1) „Verstehen“ werden dabei alle Informationen aufgeführt, die erforderlich sind, um die grundlegenden Aussagen der Ökobilanzstudie nachzuvollziehen und eine erste Einschätzung zu verschiedenen Materialien und Bauweisen zu ermöglichen. Ebene (2) „Bewerten“ erweitert Ebene (1) und liefert zusätzliche Informationen, die einen tieferen Einblick in die getroffenen methodischen Entscheidungen ermöglichen. Auf Ebene (3) „Validieren“ werden schließlich sämtliche Informationen, einschließlich der detaillierten Datenbasis und der zugrunde liegenden Rohdaten, bereitgestellt.

Tabelle 16: Strukturierte Ökobilanzergebnisse

	Verstehen	Bewerten	Validieren
Funktionelle Einheit	Berechnung auf eine Nutzungsstunde, Einbezug von Nutzungsdauer	Berechnung der Referenzflüsse	Datenbasis für Referenzflüsse
Systemgrenzen	Betrachtung von Herstellung, Platzbau, Transport, Nutzung	Begründung für Systemgrenzen, Abbildung der Systemgrenzen	
Modellierung		Basierend auf Literaturwerten und unternehmensspezifischen Daten, Verwendung von ecoinvent-Datenbank, Umberto	Gesamte Datenbasis
Wirkungsabschätzung		Verwendung von ReCiPe Midpoint – Wirkungskategorien, Auswertung sowohl der charakterisierten Ergebnisse und dem normierten Gesamtergebnis	
Auswertung	Normiertes Ergebnis, Auswertung nach Lebenszyklusphasen, Darstellung der wichtigsten Unterschiede in einer Beispielskategorie, Zieglmehlplatz im Vergleich	Darstellung aller Wirkungskategorien, Erklärung des Cut Offs	Ausführliche Diskussion der Ergebnisse, Unsicherheiten,
Szenarienvergleich	Einfluss von Nutzungsstunden auf das Ergebnis	Darstellung der unterschiedlichen Szenarien, Einordnung der Sensitivität der Lebensdauer	
	Was?	Warum?	Wie?

Eigene Darstellung.

Auf Ebene (1) werden deshalb ausschließlich Informationen aufgeführt, die einen Überblick über das Ergebnis der Analyse geben, beispielsweise die Auswertung nach Lebenszyklusphasen oder der Einfluss von Nutzungsstunden auf das Ergebnis. Zusätzlich werden hier Informationen eingeordnet, die für das Verständnis dieser Auswertung absolut notwendig sind. Dazu zählt die Definition der Berechnung auf eine

Nutzungsstunde und die Erklärung, welche Lebenszyklusphasen in die Berechnung mit eingeflossen sind. Dabei soll die Frage beantwortet werden, was durch die Studie erarbeitet wurde. Jedoch sind die Begründungen für die Wahl des Untersuchungsrahmens, die tatsächliche Aufschlüsselung der Berechnung der Referenzflüsse und die Darstellung der Systemgrenzen auf Ebene (2). Diese Informationen sind sehr relevant für das Verständnis der Methodik und der Nachvollziehbarkeit, da sie die Frage beantworten, warum etwas durchgeführt wurde. Erst auf Ebene (3) werden darüber hinaus die gesamte Datengrundlage, die Informationen über alle Datenquellen und eine genaue Aufschlüsselung der Berechnungen aufgeführt, um eine volle Reproduzierbarkeit der Studie zu ermöglichen. Durch diese Informationen soll es möglich sein, die Frage, wie die Studie durchgeführt wurde, vollständig zu beantworten.

5.3 Kriterienauswahl

Nachdem die durch die Ökobilanzen gewonnenen Informationen strukturiert wurden, erfolgt im nächsten Schritt die Auswahl der spezifischen Kriterien und Informationen, anhand derer die verschiedenen Platztypen verglichen und in der Entscheidungshilfe aufbereitet werden sollen. Für die allgemeinen Informationen, spieltechnischen und ökonomischen Kriterien wurde hierzu das Dokument „Platzarten Eigenschaften“ sowie die zugrunde liegende, interne Quelle des DTB „Übersicht Platzarten Eigenschaften“ (Anhang A4.1.) herangezogen, da darin bereits zentrale Informationen für den Vergleich zusammengestellt sind. Allerdings wurden nicht alle dort aufgeführten Angaben in die Entscheidungshilfe übernommen, da einige zu ungenau oder zu allgemein formuliert waren, um einen belastbaren Vergleich zu ermöglichen. Daher wurden ausschließlich jene Kriterien berücksichtigt, für die durch weitere Quellen bestätigte Informationen vorlagen. Lediglich die Informationen zu den Kosten wurden aus der Übersicht entnommen. Aufbauend auf dieser Grundlage wurden die folgenden Kriterien ausgewählt und wie in Tabelle 17 dargestellt in drei Themenbereiche zugeordnet:

Tabelle 17: Kriterien Entscheidungshilfe

Allgemeine Eigenschaften	Aufwand	Kosten
Beispielbarkeit	Sanierung	Baukosten
Lebensdauer	Pflegeaufwand	Jährliche Pflegekosten
Flächenversiegelung	Wasserverbrauch	
	Nachsanden	

Eigene Darstellung.

Darüber hinaus wurden für die Darstellung der Ökobilanzinformationen, auf Grundlage der zuvor vorgenommenen Strukturierung die relevanten Inhalte ausgewählt. In den Anforderungen wurde festgelegt, dass die Ergebnisse in der Entscheidungshilfe zwar transparent aufbereitet werden sollen, die Darstellung jedoch auf das wesentliche reduziert und so gestaltet werden muss, dass sie auch ohne tieferes Verständnis für Ökobilanzierung verständlich ist. Zudem sollen ausschließlich die zentralen Kernaussagen, wie beispielsweise die wichtigsten Hotspots vermittelt werden. Für die zuvor definierte Zielgruppe sind daher ausschließlich die Informationen aus Ebene (1) relevant. Die Informationen aus Ebene (2) und (3) werden in der weiteren Entwicklung der Entscheidungshilfe deshalb nicht weiter berücksichtigt. In Tabelle 18 werden alle Informationen aus Ebene (1), die die Basis für die Entscheidungshilfe bilden, aufgeführt.

Tabelle 18: Umweltkriterien Entscheidungshilfe

Funktionelle Einheit	Systemgrenzen	Auswertung	Szenarienvergleich
Bezug auf 1 Nutzungsstunde	Betrachtung von Belag, Unterkonstruktion, Platzbau, Transport, Nutzung	Normiertes Ergebnis	Einfluss der jährlichen Nutzungsstunden
Einbezug von Nutzungsdauer		Nach Lebenszyklusphasen	
		Vergleich mit/ ohne Ziegelherstellung	

Eigene Darstellung.

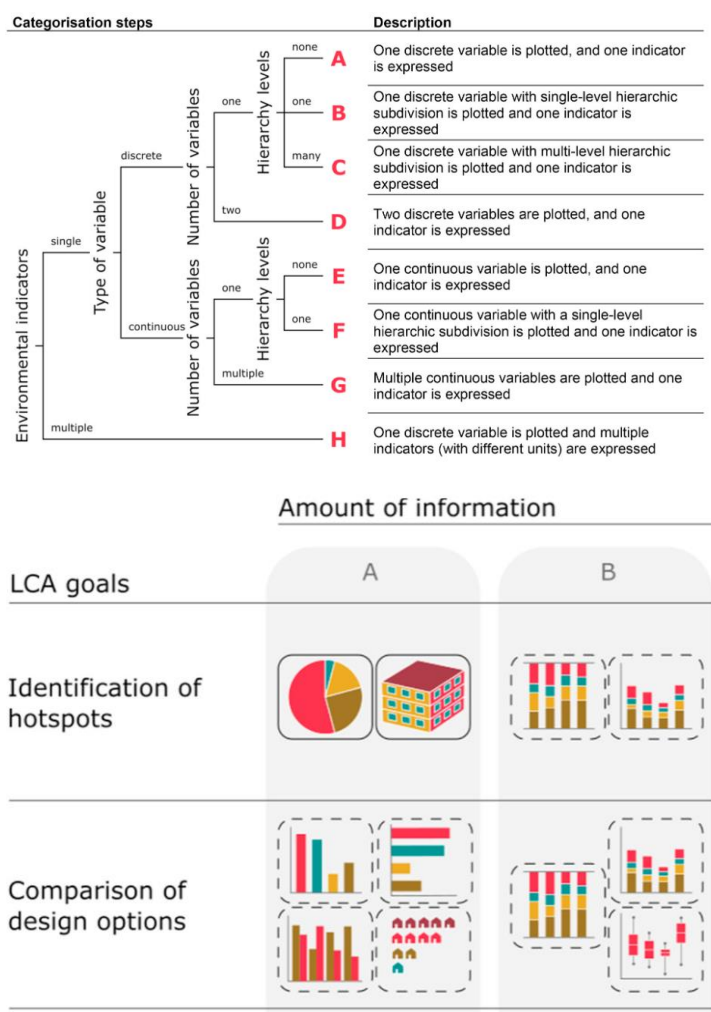
Neben den ausgewählten Kriterien wird das Klimawandelpotenzial einer Nutzungsstunde mit dem einer durchschnittlichen Pkw-Anfahrt zum Tennisplatz verglichen. Damit wird die Empfehlung von Prado et al. (2022) aufgegriffen, abstrakte Werte in alltagsnahe funktionelle Maßstäbe zu übersetzen und so für Entscheidungsträger verständlicher zu machen. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass bei solchen Vergleichen grundsätzlich das Risiko besteht, die Wahrnehmung der Ergebnisse zu verzerren, sodass beispielsweise potenzielle Verbesserungen der Platzinfrastruktur als weniger bedeutsam wahrgenommen werden könnten. Daher werden die Ergebnisse zusätzlich qualitativ eingeordnet und die Modernisierung der Platzinfrastruktur als langfristig wirksame und direkt durch Vereine beeinflussbare Maßnahme hervorgehoben, während zugleich auch auf bestehende Verbesserungspotenziale im Bereich der Anfahrt hingewiesen wird.

5.4 Ergebnisdarstellung

Nicht alle Informationen der Entscheidungshilfe lassen sich sinnvoll in Schaubildern darstellen, noch ist dies in jedem Fall notwendig. Insbesondere die allgemeinen Informationen wie die Eigenschaften der verschiedenen Beläge, Kosten oder die Erklärung der funktionellen Einheit, werden daher in Form von Infoboxen mit kurzen Erläuterungen dargestellt. Auf diese Weise können die Inhalte kompakt und verständlich vermittelt werden, ohne dass eine grafische Darstellung erforderlich ist.

Eine Visualisierung durch Diagramme ist jedoch vor allem bei der Darstellung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung notwendig. Hier dienen Schaubilder dazu, Unterschiede zwischen den Platzbelägen sowie zentrale Zusammenhänge der Ergebnisse anschaulich darzustellen. Für die Auswahl geeigneter Diagrammtypen wurde daher die Systematik von Hollberg et al. (2021) herangezogen (siehe Abbildung 18).

Abbildung 18: Vorgehen Visualisierung nach Holberg et al. (2021)



(Hollberg et al., 2021, S. 6 ff.)

In den Diagrammen wird jeweils nur eine diskrete Variable betrachtet. In den meisten Darstellung erfolgt die Analyse zudem lediglich auf einer Hierarchieebene, weshalb hierfür Schaubilder aus Kategorie A nach Hollberg et al. (2021) ausgewählt wurden. Bei der Darstellung der Beiträge der einzelnen Lebenszyklusphasen wird hingegen eine zusätzliche Hierarchieebene abgebildet, sodass in diesem Fall Diagrammtypen aus Kategorie B verwendet werden.

Da das Ziel der Visualisierung sowohl in der Identifikation zentraler Hotspots als auch im Vergleich verschiedener Designoptionen liegt, wurden insbesondere Diagrammtypen aus den entsprechenden Vorschlägen dieses Bereichs genutzt. Für die konkrete Darstellung erweisen sich Balkendiagramme als besonders geeignet, welche je nach Kategorisierung als einfache, gruppierte sowie gestapelte Balkendiagramme verwendet werden.

5.5 Aufbau und Struktur

Bezüglich des Aufbaus der Entscheidungshilfe wurde entschieden, diesen nicht, wie im Ausgangsdokument des DTB, nach einzelnen Belagsystemen zu strukturieren. Stattdessen werden innerhalb der jeweiligen Kapitel die verschiedenen Platzbeläge anhand der ausgewählten Kriterien direkt gegenübergestellt. Dadurch soll der direkte Vergleich der unterschiedlichen Belagtypen erleichtert werden und es ermöglichen, bei Interesse an einem bestimmten Thema alle relevanten Informationen zu den betrachteten Platztypen auf einen Blick zu erfassen.

Diese Strukturierung erlaubt zudem eine differenziertere Aufbereitung der Umweltwirkungen der Plätze. Dabei wurde bewusst darauf verzichtet, absolute Werte darzustellen, da diese missverständlich sein können. In der vorliegenden Arbeit wurde jeweils nur ein spezifisches Belagsystem pro Kategorie, bspw. ein spezifischer Hartplatz oder Kunstrasen untersucht. Aufgrund der großen Vielfalt an Bauweisen und Materialien innerhalb einer Kategorie ist eine Übertragung absoluter Werte auf andere Belagsysteme nur eingeschränkt möglich und sollte daher vermieden werden.

Stattdessen erfolgt eine vereinfachte und allgemein verständlich Aufbereitung der Ökobilanzergebnisse, die vor allem der Sensibilisierung für zentrale Umweltwirkungen und Hotspots dient. Auf diese Weise können informative Einblicke vermittelt, ohne direkte Aussagen über konkrete Plätze zu treffen. Zur Veranschaulichung der wichtigsten Erkenntnisse wird dabei häufig das Klimawandelpotenzial herangezogen, sofern sich entsprechende Trends auch in den übrigen Wirkungskategorien in ähnlicher Weise zeigen. Dadurch wird das Verständnis der dargestellten Ergebnisse erleichtert.

6 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Ökobilanz sowie die entwickelte Entscheidungshilfe hinsichtlich ihrer Relevanz für die Beantwortung der Leitfragen diskutiert. Diese Diskussion dient dazu, die Ergebnisse einzuordnen, kritisch zu reflektieren und ihre Aussagekraft fundiert zu bewerten. Dabei werden insbesondere die zugrunde liegenden Annahmen, methodischen Entscheidungen sowie datenbezogenen Vereinfachungen betrachtet, welche im Rahmen der Arbeit getroffen wurden.

Zunächst werden die zentralen Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst. Anschließend erfolgt eine vertiefte Einordnung und Bewertung der Ergebnisse unter Berücksichtigung der genannten Unsicherheiten und Annahmen.

6.1 Einordnung in den Forschungsstand

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung lassen sich nur eingeschränkt mit bestehender Literatur vergleichen, da bislang keine Studien zur Umweltwirkung von Tennisplatzbelägen vorliegen. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Analyse stellt daher einen ersten Ansatz dar, dieses Thema systematisch zu betrachten und einen vergleichenden Überblick über die ökologischen Auswirkungen verschiedener Belagsysteme zu ermöglichen.

Trotz der begrenzten Vergleichbarkeit ist eine Plausibilisierung der wichtigsten Erkenntnisse teilweise möglich, wenn Studien zu Fußballfeldern herangezogen werden. So zeigen sowohl Russo et al. als auch Itten et al., dass bei Kunststoffsystemen ein Großteil der Umweltwirkung bereits in der Herstellungsphase entsteht, während die Nutzungsphase vergleichsweise geringe Beiträge verursacht. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, nach denen bei allen betrachteten Systemen, mit Ausnahme des Ziegelmehlplatzes, die Herstellung von Belag und Unterkonstruktion den größten Anteil an den Umweltwirkungen aufweist. Gleichzeitig weist der Ziegelmehlplatz teilweise Parallelen zu Naturrasenfeldern auf, da für die Pflege im Vergleich zur entsprechenden Alternative deutlich mehr Bewässerung erforderlich ist. Entsprechend deckt sich auch hier die Beobachtung, dass die Nutzungsphase in den meisten Wirkungskategorien den größten Beitrag zu den Umweltwirkungen leistet.

Darüber hinaus wurde durch Itten et al. hervorgehoben, dass die Nutzungsintensität einen erheblichen Einfluss auf die Umweltwirkung von Sportflächen hat. Auf dieser Grundlage wurde zu Beginn dieser Arbeit die These aufgestellt, dass dieser Zusammenhang auch auf

Tennisplätze übertragbar ist. Die Ergebnisse der Szenarioanalyse bestätigen diese, da sich zeigt, dass sich bei einer längeren Nutzung über die Wintermonate die Umweltwirkung antiproportional verhält. Der Einfluss der Nutzungsintensität auf die Umweltwirkung ist deshalb auch in dieser Arbeit eine zentrale Erkenntnis.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei zentrale Ergebnisse erarbeitet. Zum einen wurde eine Ökobilanz verschiedener Tennisplatzbeläge durchgeführt, um deren Umweltwirkungen über die Herstellungs- und Nutzungsphase hinweg zu vergleichen. Zum anderen wurde auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse sowie weiterer relevanter Kriterien eine Entscheidungshilfe entwickelt, welche Verbands- und Vereinsmitglieder:innen eine strukturierte Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Platzsysteme bieten soll.

Die Resultate der Ökobilanz verdeutlichen zunächst, dass sich die untersuchten Belagsysteme hinsichtlich der normierten Umweltwirkungen grundsätzlich ähnlich verhalten. Zwar treten innerhalb einzelner Wirkungskategorien Unterschiede auf, jedoch bewegen sich die normierten Umweltwirkungen meist in ähnlichen Größenordnungen.

Um die nachfolgende Diskussion einzuordnen, werden die wesentlichen Erkenntnisse der Wirkungsabschätzung im Folgenden kurz rekapituliert. In zahlreichen Wirkungskategorien, insbesondere im Bereich der Ökotoxizität, weist der Hartplatz die höchsten Umweltwirkungen auf, dicht gefolgt vom Ganzjahresziegelmehlplatz. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beide Platzsysteme eine auf PU und SBR basierende Basisschicht enthalten. In den Kategorien der photochemischen Ozonbildung, Landnutzung und Erschöpfung fossiler Ressourcen weist hingegen der Kunstrasen die höchsten Werte auf. Ein ähnliches Muster lässt sich beim künstlichen Sandplatz beobachten, wobei dieser in keiner Kategorie Spitzenwerte erreicht. Der klassische Ziegelmehlplatz weist in den meisten Wirkungskategorien, abgesehen von der karzinogenen Humantoxizität, die geringsten Umweltwirkungen auf. Dieses Ergebnis verändert sich jedoch, sobald man die Ziegelherstellung vollständig in die Bilanzierung einbezieht. In diesem Fall fallen die Umweltwirkungen deutlich höher aus und haben teilweise, beispielsweise beim Klimawandelpotenzial, die höchsten Werte.

Unterschiede zeigen sich zudem zwischen den Lebenszyklusphasen. Während beim Hartplatz und beim Ganzjahresziegelmehlplatz vor allem die Herstellungsphase entscheidend ist, entstehen die größten Beiträge beim Kunstrasen und künstlichen

Sandplatz durch die Unterkonstruktion, insbesondere durch den Einsatz von Asphalt. Beim Ziegelmehlplatz liegt der Schwerpunkt dagegen in der Nutzungsphase, was vor allem auf die regelmäßige Bewässerung und die regelmäßige Nachfüllung von Ziegelmehl zurückzuführen ist.

Die Szenarioanalyse zeigt zudem, dass Annahmen zur Lebensdauer einen relevanten Einfluss auf die Ergebnisse haben, wobei die Platztypen mit geringer Lebensdauer sensibler reagieren. Gleichzeitig führt eine intensivere Nutzung der Ganzjahresplätze, beispielsweise in den Wintermonaten zu geringeren Umweltwirkungen pro Nutzungseinheit und kann deren Ergebnis im Vergleich zum klassischen Ziegelmehlplatz verbessern.

Die erste Forschungsfrage und deren Unterfragen fokussiert sich auf die Ergebnisse der Ökobilanz, hierbei steht insbesondere die Aufschlüsselung der Umweltwirkungen auf verschiedenen Ebenen im Vordergrund. Durch die umfassende Analyse der Ergebnisse nach Lebenszyklusphase, die Aufbereitung nach Herstellungsprozessen und Materialien und die Aufschlüsselung aller Beläge nach allen 18 Wirkungskategorien und der Herausarbeitung von Hotspots konnte die erste Hauptleitfrage mit seinen Teilfragen durch die Analyse in dieser Arbeit beantwortet werden.

Zudem wurde erarbeitet, wie die Ergebnisse der Ökobilanz thematisch und visuell strukturiert werden müssen, um alle zentralen Erkenntnisse abzubilden, ohne dabei zu tief in die methodische und fachliche Komplexität einer Ökobilanz einzusteigen. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurde untersucht, wie die Ergebnisse aufbereitet werden können, sodass sie für Verbands- und Vereinsakteur:innen verständlich und für den Entscheidungsprozess nutzbar sind. Dafür wurden die ökobilanziellen Ergebnisse zusammen mit weiteren, nicht umweltbezogenen Kriterien kombiniert, um eine ganzheitliche Bewertung der verschiedenen Platzsysteme zu gewährleisten. Dabei wird deutlich, dass eine Darstellung der Ergebnisse nach Themenbereichen anstelle einer rein platzbezogenen Struktur zu bevorzugen ist. Da die Ergebnisse der ökobilanziellen Bewertung keine allgemeingültige Aussage über die Umweltwirkungen eines bestimmten Platztyps ermöglichen, sondern stark davon abhängig sind, welches spezifische Belagsystem betrachtet wurde, ist eine differenziertere Darstellung notwendig. Durch die separate Darstellung wird vermieden, dass der Eindruck einer konkreten Empfehlung für oder gegen einen bestimmten Belag entsteht. Vielmehr zielt die Aufbereitung darauf ab, für relevante Umweltaspekte zu sensibilisieren, zentrale Einflussfaktoren sichtbar zu

machen und Vereinen eine Grundlage zu geben, gezielte Fragen an Planende und Platzbauer zu stellen.

Zudem wurde deutlich, dass ein wichtiger Aspekt der Aufbereitung darin besteht, die Informationen möglichst kompakt darzustellen und durch visuelle Elemente wie Schaubilder zu unterstützen. Diese erleichtern das Verständnis der Ergebnisse und helfen dabei zentrale Zusammenhänge und Hotspots der Umweltwirkungen zu verdeutlichen. Trotzdem müssen ausreichend Hintergrundinformationen verfügbar bleiben, um die Herleitung der Daten transparent darzustellen und zu verdeutlichen, dass die Ergebnisse keine pauschale Empfehlung für einen bestimmten Platzbelag darstellen.

Um die zweite Forschungsfrage zu beantworten, wurde zudem untersucht, welche spezifischen Kriterien in eine Entscheidungshilfe einfließen sollten, um eine fundierte Auswahl eines Belagsystems zu ermöglichen. Dabei wurden bereits existierende Übersichten herangezogen und in die Entscheidungshilfe integriert. Aufgrund limitierter Datenverfügbarkeit konnten bestimmte Aspekte nicht vollumfänglich integriert werden. Dies betrifft insbesondere die spieltechnischen Kriterien, welche in der aktuellen Fassung der Entscheidungshilfe nur eingeschränkt berücksichtigt werden konnten. Während die wesentlichen Grundsatzkriterien erfolgreich identifiziert werden konnten, fungiert die vorliegende Auswahl in der Entscheidungshilfe als basisorientierter Rahmen und nicht als abschließender Katalog. Die Forschungsfrage wurde somit in ihren Kernaspekten beantwortet, wobei für eine vollumfängliche Abdeckung (insbesondere der spieltechnischen Details) weitere Datenerhebungen notwendig sind.

6.3 Diskussion Methodik und Datenunsicherheiten

Die Ergebnisse der durchgeführten Ökobilanzen und die daraus entwickelte Entscheidungshilfe sind mit verschiedenen Unsicherheiten und Limitationen verbunden. Diese ergeben sich insbesondere aus Annahmen innerhalb der Modellierung, der Verfügbarkeit und Qualität der zugrunde liegenden Daten sowie aus notwendigen Vereinfachungen bei der Abbildung im Modell. So waren für einige Prozesse bspw. keine spezifischen Datensätze verfügbar, weshalb auf Vereinfachungen zurückgegriffen werden musste.

Eine kritische Betrachtung dieser Unsicherheiten ist wichtig, um die Aussagekraft der Ergebnisse realistisch einordnen zu können. Hierfür werden innerhalb dieses Kapitels zentrale Unsicherheiten, methodische Annahmen sowie die Datenqualität diskutiert, die

im Rahmen der Modellierung und der Entwicklung der Entscheidungshilfe maßgeblich sind.

Die kritische Auseinandersetzung beginnt mit der Betrachtung der methodischen Vereinfachungen und Annahmen, die im Rahmen der Modellierung getroffen wurden. Bei der Wahl der Systemgrenzen wurde der Fokus auf die Herstellung der Beläge und der Unterkonstruktion sowie den Platzbau und die Nutzung gelegt. Die Entsorgung der verschiedenen Beläge konnte aufgrund fehlender Datengrundlage nicht bei der Analyse berücksichtigt werden. Da davon auszugehen ist, dass zwischen den Belägen in der Entsorgung und Verwertung Unterschiede bestehen, insbesondere im Hinblick auf das Recyclingpotenzial der eingesetzten Materialien, ist dies bei der Betrachtung der absoluten Umweltwirkungen zwingend zu berücksichtigen.

Zudem hat die in dieser Arbeit angewendete Cut-Off Methode einen deutlichen Einfluss auf den Vergleich der verschiedenen Plätze. Wie in der Auswertung der Ökobilanzen bereits eingehend beleuchtet, verursacht das Weglassen der Ziegelmehlherstellung in den meisten Wirkungskategorien ein deutlich niedrigeres Ergebnis als bei den anderen Platzbelägen. Wird dagegen das Modell, welches die Ziegelherstellung mitberücksichtigt, für den Vergleich verwendet, fällt das Ergebnis gänzlich anders aus. Besonders im Hinblick auf die zunehmende Konkurrenz bei der Verwendung von Bruchziegeln als Sekundärrohstoff (Muchow et al., 2024) wäre bei weitergehender Untersuchung zu prüfen, ob eine andere Allokationsmethode, bspw. eine ökonomische Allokation besser geeignet wäre, die Realität der Ziegelmehlherstellung präziser abzubilden.

Darüber hinaus ist festzuhalten, dass die Datengrundlage für den herkömmlichen Ziegelmehlplatz mit hohen Unsicherheiten verbunden ist. Da hier keine Primärinformationen von Herstellern bzw. Platzbaufirmen vorliegen, musste im Gegensatz zu den anderen Belagsystemen vollständig auf Literaturwerte zurückgegriffen werden. Aus diesem Grund konnte für diesen Belag kein Transportszenario in die Modellierung miteinbezogen werden. In der Auswertung wurde allerdings deutlich, dass bei den anderen Plätzen der Transport nur zu einem kleinen Teil zu den Umweltwirkungen beiträgt. Deshalb ist davon auszugehen, dass der fehlende Transport bei der Ziegelmehlplatz Modellierung keinen wesentlichen Einfluss auf die Interpretation der Ergebnisse hat.

Dasselbe trifft auf die Modellierung der Unterkonstruktion zu. Auch hierfür standen keine Informationen durch Platzbaufirmen zur Verfügung, weshalb vollständig auf

Literaturwerte zurückgegriffen wurde. Aus diesem Grund konnten für die Unterkonstruktion lediglich die verwendeten Materialmengen modelliert werden, während der Transport der Materialien zur Baustelle und die Erstellung des Unterbaus nicht berücksichtigt werden konnten. Die Modellierung erfolgte auf Basis der normierten Schichtdicken gemäß DIN 18035. Da die Filterschicht und der Unterbau jedoch an spezifische Standortgegebenheiten angepasst werden müssen, konnten für diese kein Standardwert für die Berechnung ermittelt werden. Dementsprechend beschränkt sich die Modellierung auf die ungebundene Tragschicht sowie ggf. die dynamische Schicht oder die Asphaltschicht, je nach systemspezifischen Anforderungen. Da diese Datenunsicherheiten jedoch konsistent für alle fünf Belagsysteme gelten, ist davon auszugehen, dass das absolute Ergebnis der Plätze bei einer Modellierung dieser Schichten höher ausfallen würde. Für die Gegenüberstellung der verschiedenen Beläge fällt dies jedoch nicht stark ins Gewicht.

Dennoch ist anzuführen, dass dadurch ein Ungleichgewicht zwischen der Belag- und der Unterkonstruktion möglich ist, da für die Belagherstellung Primärdaten zur Verfügung stehen. Infolgedessen ist davon auszugehen, dass jene Plätze, bei denen die Unterkonstruktion einen dominanten Einfluss auf die Umweltwirkung hat, im Vergleich zu belagsintensiven Systemen tendenziell unterschätzt werden könnten.

Gleichzeitig ist anzubringen, dass für die elastischen Tragschichten in Sportplatzbelägen häufig SBR-Sekundärmaterial aus Altreifen verwendet wird (Burkhardt et al., 2024). Da aufgrund fehlender Daten hierzu jedoch keine gesicherte Aussage darüber getroffen werden konnte, ob und wie viel Recyclingmaterial bei der Erstellung der elastischen Tragschicht des Hartplatzes und der Basisschicht des Ganzjahresziegelmehlplatzes verwendet wird, wurde wie in der Methodik festgelegt, die konservativste Rechnung mit Primärmaterial durchgeführt. Bei weiterer Untersuchung sollte dies auf jeden Fall berücksichtigt werden, da sich hierdurch das Verhältnis der Belagtypen untereinander stark verändern könnte, da der SBR-Gummi einen wesentlichen Einfluss auf die teilweise am höchsten ausfallenden Umweltwirkungen dieser Plätze hat.

Abschließend stellen die Berechnung der jährlichen Nutzungsstunden sowie die Festlegung der Lebensdauer für die verschiedenen Platzbeläge eine Unsicherheit dar, die der gesamten Modellierung zugrunde liegt. Da die wöchentlichen Nutzungsstunden stark von der Größe des Vereins, der Trainingsstruktur und weiteren individuellen Faktoren abhängig sind, variieren diese erheblich. Noch ausgeprägter ist dies der Fall bei der

Platznutzung in den Wintermonaten. Hier ist die Ermittlung eines Durchschnittswerts erschwert, da die Nutzungsintensität maßgeblich von der Witterung sowie der Verfügbarkeit lokaler Hallenkapazitäten abhängt. Da keine detaillierten Informationen vorlagen, wurden hier Schätzwerte herangezogen, deren Repräsentativität für die reale Nutzung nur eingeschränkt verifiziert werden kann. Da diese jedoch für alle Plätze über die gleichen Daten ermittelt wurden, gilt diese Unsicherheit für alle Plätze auf dieselbe Weise, wodurch davon auszugehen ist, dass die Vergleichbarkeit der Plätze nicht so stark durch die Unsicherheit betroffen ist. Im Gegensatz dazu gestaltet sich die Festlegung der Lebensdauer wesentlich komplexer, da die unterschiedlichen Beläge unterschiedliche Lebensdauern haben. Die tatsächliche Lebensdauer der Beläge wird jedoch stark durch die regelmäßige Pflege, die reale Nutzungsintensität sowie standortspezifische Faktoren beeinflusst, wodurch die Festlegung eines allgemeingültigen Werts erschwert wird. Zudem wurde vernachlässigt, dass sich der jährliche Pflegeaufwand über den Lebenszyklus hinweg verändern dürfte. Es ist zu vermuten, dass insbesondere bei älteren Plätzen ein erhöhter Instandhaltungsaufwand erforderlich ist, um die funktionalen Eigenschaften aufrechtzuerhalten. Die Verwendung eines rechnerischen Durchschnittswerts führt hierbei zu einer Linearisierung, welche den realen Aufwandstrend als progressive Zunahme des Pflegebedarfs in der späten Nutzungsphase nicht korrekt widerspiegelt. Bei weiterführender Analyse kann eine genauere Erhebung von Nutzungsdaten, beispielsweise über die Auswertung von Buchungssystemdaten, deshalb von großer Relevanz sein, da die tatsächliche Nutzung eines Platzes besonders wesentlich für dessen Umweltwirkung ist.

Zusammenfassend wird deutlich, dass bei der Analyse wesentliche methodische und besonders datenbezogene Unsicherheiten vorliegen, weshalb davon auszugehen ist, dass die Ergebnisse die Realität nicht exakt abbilden. Gleichzeitig sind alle fünf Modelle von ähnlichen Datenunsicherheiten betroffen, wodurch die Vergleichbarkeit zwischen den Belägen trotz allem gewährleistet sein sollte. Dennoch ist bei der Betrachtung der Ergebnisse zu berücksichtigen, dass besonders die absoluten Werte einzelner Umweltwirkungen mit Vorsicht zu bewerten sind. Aus diesem Grund war es wichtig, die Entscheidungshilfe so zu gestalten, dass eine differenzierte Betrachtung der allgemeinen Hotspots gewährleistet werden kann und keine verallgemeinernden Aussagen zu den absoluten Umweltwirkungen getroffen werden, um Missverständnisse zu vermeiden.

7 Fazit, Handlungsempfehlungen und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, für verschiedene Tennisplatzbeläge Ökobilanzen durchzuführen und deren Umweltwirkungen vergleichend gegenüberzustellen. Darauf aufbauend wurde eine praxisorientierte Entscheidungshilfe entwickelt, die Verbänden und Vereinen als fundierte Grundlage bei der Auswahl neuer Platzsysteme dient.

Obwohl die Datengrundlage der Ökobilanzierung große Unsicherheiten beinhaltet, konnten dennoch aussagekräftige Ergebnisse aus den Ökobilanzen abgeleitet werden. So zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Lebenszyklusphasen und der zugrunde liegenden Prozesse, in denen die Umweltwirkungen anfallen. Während bei dem Hartplatz und dem Ganzjahresziegelmehlplatz besonders die Herstellungsphase, vor allem durch die Basisschicht aus PU und SBR-Gummi, einen großen Anteil an den Umweltwirkungen hat, spielt beim Ziegelmehlplatz vor allem die Nutzungsphase eine entscheidende Rolle, was auf die intensive Bewässerung und die jährliche Frühjahrsinstandsetzung zurückzuführen ist. Bei dem Kunstrasen sowie dem künstlichen Sandplatz wird die Umweltwirkung maßgeblich durch die Herstellung der Unterkonstruktion und insbesondere durch die Verwendung einer Asphaltschicht geprägt.

Eine zentrale Erkenntnis dieser Arbeit ist zudem der Einfluss der Nutzungsintensität auf die Umweltbewertung der Tennisplätze. Höhere jährliche Nutzungsstunden führen dazu, dass sich die Umweltwirkungen der Herstellung auf eine größere Anzahl an Nutzungsstunden verteilt, wodurch die Umweltwirkungen pro Nutzungsstunde sinken. Dieser Zusammenhang, der bereits in Studien zu anderen Sportflächen beschrieben wurde, konnte auch für Tennisplätze bestätigt werden und stellt eine wichtige Grundlage für die weiterführenden Handlungsempfehlungen dar.

Um die Ergebnisse der Ökobilanzen für Verbände und Vereine nutzbar zu machen, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Entscheidungshilfe entwickelt. Diese verknüpft die Ergebnisse der Umweltbewertung mit weiteren relevanten spieltechnischen und ökonomischen Kriterien und fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Analyse in einer verständlichen Form zusammen. Sie stellt dabei weniger eine klare Empfehlung für oder gegen einen bestimmten Platzbelag dar und bildet bewusst keine absoluten Werte einzelner Wirkungskategorien ab. Vielmehr sensibilisiert sie für die Umweltwirkungen verschiedener Platzsysteme, zeigt zentrale Einflussfaktoren auf und ermöglicht so eine fundierte Entscheidungsfindung.

Darüber hinaus lassen sich aus den Ergebnissen der Ökobilanz mehrere Handlungsempfehlungen für Planende ableiten, insbesondere im Hinblick auf die Auswahl der verwendeten Materialien. Ein zentraler Ansatzpunkt liegt hierbei in den Substitutionen von Primärrohstoffen durch Sekundärmaterialien. Vor allem im Bereich der Kunststoffkomponenten und des SBR-Gummis sind entsprechende Recyclinglösungen teilweise bereits etabliert. Eine verstärkte Berücksichtigung solcher Materialien kann dazu beitragen, die Umweltwirkungen der Herstellungsphase erheblich zu reduzieren.

Zudem zeigt sich besonders beim Ziegelmehlplatz ein erheblicher Einfluss der Bewässerung auf die Umweltwirkung. Zur Steigerung der Ressourceneffizienz sollte hierbei eine Abkehr von der ausschließlichen Leitungswassernutzung geprüft werden. So ermöglicht der Einsatz von Zisternensystemen die Nutzung von Regenwasser, das letztlich mit einem signifikanten Minderungspotenzial verbunden ist. Dadurch lassen sich insbesondere Umweltwirkungen vermeiden, die mit der Infrastruktur zur Bereitstellung von Trinkwasser verbunden sind.

Auch eine fachgerechte und regelmäßige Pflege der Tennisplätze kann einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von Umweltwirkungen leisten. Eine optimierte Pflege maximiert die Lebensdauer der Beläge und kann somit dazu beitragen, dass sich ressourcenintensive Sanierungs- oder Neubauarbeiten hinausschieben lassen. Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Nutzungsintensität. Da die ökologischen Lasten aus Herstellung und Bau über den gesamten Lebenszyklus eines Platzes verteilen, kann eine höhere Auslastung dazu beitragen, die Umweltwirkungen pro Nutzungsstunde zu reduzieren. Vereine sollten daher Strategien entwickeln, um eine gleichmäßigere Nutzung der Plätze über den Tages- und Saisonverlauf zu fördern. Insbesondere die verstärkte Nutzung der Ganzjahresplätze in den Wintermonaten bietet hier hohes Potenzial. Diese Effizienzsteigerung der Infrastruktur generiert neben ökologischen Entlastungen auch ökonomische Vorteile, da eine Glättung der Auslastungsspitzen ebenfalls die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht.

Während die genannten Handlungsempfehlungen vor allem praktische Implikationen für Vereine betreffen, ergeben sich darüber hinaus auch Ansatzpunkte für zukünftige Forschung. Die vorliegende Arbeit stellt einen ersten Schritt dar, die Umweltwirkungen verschiedener Tennisplatzbeläge systematisch zu untersuchen. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Datengrundlage und der bisherige Forschungsstand in diesem Bereich noch

begrenzt sind. Daher besteht weiterer Forschungsbedarf, um die Umweltwirkungen von Tennisplatzsystemen künftig differenzierter zu untersuchen und die vorliegenden Ansätze weiter zu vertiefen.

Ein entscheidender Fortschritt ließe sich erzielen, wenn künftige Untersuchungen auf spezifischen Primärdaten basieren. Insbesondere detailliertere Kennwerte zu Materialien und Bauprozessen würden es ermöglichen, die Modellierung der verschiedenen Platzsysteme weiter zu verfeinern und Unsicherheiten zu minimieren. Besonders die Berücksichtigung von Sekundärmaterialien, die in der Praxis teilweise bereits eingesetzt werden, kann einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben und würden eventuell eine realitätsnähere Abbildung der Systeme ermöglichen. Zudem sollte die Nutzung von Tennisplatzbelägen, insbesondere von Ganzjahresplätzen eingehender untersucht werden, um Nutzungsmuster besser zu verstehen und die Modellierung entsprechend präziser zu gestalten.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Arbeit, dass die Betrachtung der Umweltwirkungen von Tennisplatzbelägen eine wichtige Grundlage darstellt, um die zentralen Einflussfaktoren entlang des Lebenszyklus zu verstehen und darauf basierend gezielt Maßnahmen ableiten zu können. Durch die Verbindung von ökobilanzieller Analyse mit einer praxisorientierten Entscheidungshilfe wird eine Grundlage geschaffen, um ökologische Aspekte stärker in die Entscheidungsprozesse von Vereinen und Planenden einzubeziehen. Auch wenn in einigen Bereichen noch großer Forschungsbedarf besteht, liefert diese Arbeit erste Ansatzpunkte, um Umweltwirkungen im Tennisplatzbau transparenter zu machen und entsprechende Entscheidungen bewusster zu gestalten.

Literaturverzeichnis

- Adetunji, C. O., Olaniyan, O. T., Anani, O. A., Inobeme, A., & Mathew, J. T. (2021). Environmental Impact of Polyurethane Chemistry. In R. K. Gupta & P. K. Kahol (Hrsg.), *ACS Symposium Series* (Bd. 1380, S. 393–411). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2021-1380.ch014>
- Association of Tennis Professionals. (2023). *ATP Sustainability Report 2023*. <https://sustainability.atptour.com/2023/6-1>
- Association of Tennis Professionals. (2025a, Januar 16). *2025 Media Guide*. <https://www.atptour.com/-/media/files/media-guide/2025/2025-atp-media-guide-full-final.pdf>
- Association of Tennis Professionals. (2025b, Februar 4). *2026 ATP Tour calendar announced*. ATP Tour. <https://www.atptour.com/en/news/2026-atp-tour-calendar-announced>
- AV Syntec Sportbodensysteme GmbH Europa. (2026). *Sportbodensysteme*. AV Syntec Europa. <https://www.reboundace.de/sportsfloorsystem>
- Aviñó-Calero, J., Santateresa, E., Orden, L., Marks, E. A. N., Martínez-Sabater, E., Andreu-Rodriguez, F. J., Saéz-Tovar, J. A., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. Á., & Moral, R. (2025). Addition discarded tennis balls as an inert bulking agent to olive mill waste and pig slurry during composting reduces the energy consumption related to ventilation and the generation of anaerobic gases. *Journal of Environmental Management*, 395, 127905. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127905>
- Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (o. J.). *Re-Use und Recycling von Ziegeln*. Ziegel.de. Abgerufen 24. Februar 2026, von <https://ziegel.de/recycling#info>
- Burkhardt, M., Englert, A., & Patrick, M. (2024). *Kunststoffrasenflächen für Fussball: Qualität und Beurteilung des Sickerwassers*. https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/vZZmeljjxwPE/KuSiM_Untersuchungsbericht_Kunststoffrasenfl%C3%A4chen

%20f%C3%BCr%20Fussball%20-

%20Qualit%C3%A4t%20und%20Beurteilung%20des%20Sickerwassers_final.pdf

Carayol, T. (2023, Juni 20). Is the ATP Carbon Tracker a genuine attempt by tennis to be transparent? *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/sport/2023/jun/20/is-the-atp-carbon-tracker-a-genuine-attempt-by-tennis-to-be-transparent>

Corapi, A., Gallo, L., Lucadamo, L., Tursi, A., & Chidichimo, G. (2023). Evaluation of the Ecotoxicity of New Polyurethane Composites on Target Organisms for Aquatic and Atmospheric Environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 42(2), 421–436. <https://doi.org/10.1002/etc.5532>

Deutscher Fußball-Bund. (2025). *Fußball-Regeln 2025/2026*. https://assets.dfb.de/uploads/000/322/119/original_Regelheft_2025_2026.pdf?1752044844

Deutscher Tennis Bund e.V. (o. J.-a). *Ökologische Nachhaltigkeit*. tennis.de. Abgerufen <https://vereine.tennis.de/nachhaltigkeit-%C3%B6kologisch>

Deutscher Tennis Bund e.V. (o. J.-b). *Zahlen und Fakten*. tennis.de. Abgerufen <https://www.tennis.de/dtb/verband/ueber-uns/zahlen-und-fakten.html>

Deutscher Tennis Bund e.V. (2025). *Bestandserhebung Deutscher Tennis Bund e.V. Vereine und Plätze 2025*. <https://doi.org/https://www.tennis.de/dtb/verband/ueber-uns/zahlen-und-fakten.html>

Deutscher Volleyball-Verband (Hrsg.). (2022). *Offizielle Spielregeln Volleyball: 2021-2024* (Deutsche Ausgabe Juli 2022). DVV Deutscher Volleyball Verband.

Deutsches Institut für Normung e.V. (2021a). *DIN 18035-5:2021-03, Sportplätze - Teil 5: Tennenflächen*. DIN Media GmbH. <https://doi.org/10.31030/3232447>

Deutsches Institut für Normung e.V. (2021b). *DIN 18035-6:2021-08, Sportplätze - Teil 6: Kunststoffflächen*. DIN Media GmbH. <https://doi.org/10.31030/3272978>

- Deutsches Institut für Normung e.V. (2021c). *Umweltmanagement—Ökobilanz—Anforderungen und Anleitungen*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.31030/3179656>
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2021d). *Umweltmanagement—Ökobilanz—Grundsätze und Rahmenbedingungen*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.31030/3179655>
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2025). *DIN 18035-7:2025-05, Sportplätze - Teil 7: Kunststofffrasensysteme*. DIN Media GmbH. <https://doi.org/10.31030/3610388>
- Ecochain Technologies B.V. (2026, Januar 12). *Renewaballs have a 29% lower environmental footprint than regular tennis balls: This is how they do it*. Ecochain. <https://ecochain.com/customers/renewaball-the-first-circular-tennis-ball/>
- Edwards, L., Knight, J., Handler, R., Abraham, J., & Blowers, P. (2016). The methodology and results of using life cycle assessment to measure and reduce the greenhouse gas emissions footprint of “Major Events” at the University of Arizona. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(4), 536–554. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1038-4>
- Friskhnecht, R. (2020). *Lehrbuch der Ökobilanzierung*. Springer Spektrum. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-54763-2>
- Fuchs, M., & Hodeck, A. (2024). Ökologische Nachhaltigkeit von Sportstätten. In A. Behrens, S. B. Bauers, & G. Hovemann (Hrsg.), *Entwicklungstendenzen im Sportmanagement* (S. 151–169). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-42798-6_8
- Gandola, D. M., & Asdrubali, F. (2024). A Methodology to Evaluate GHG Emissions for Large Sports Events. *Sustainability*, 16(4), 1504. <https://doi.org/10.3390/su16041504>
- Hauschild, M. Z., & Huijbregts, M. A. J. (Hrsg.). (2015). *Life Cycle Impact Assessment*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9744-3>
- Hollberg, A., Kiss, B., Röck, M., Soust-Verdaguer, B., Wiberg, A. H., Lasvaux, S., Galimshina, A., & Habert, G. (2021). Review of visualising LCA results in the design process of

- buildings. *Building and Environment*, 190, 107530.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107530>
- Hübner, H., & Wulf, O. (2014). *Grundlagen der Sportentwicklung in Bremerhaven*.
<https://www.bremerhaven.de/sixcms/media.php/94/Grundlagen+der+Sportentwicklung+in+Bremerhaven.pdf>
- IfD Allensbach. (2024, Juni 19). *Beliebteste Sportarten in Deutschland nach Interesse der Bevölkerung an dem Sport in den Jahren 2022 bis 2024 [Graph]*. statista.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171072/umfrage/sportarten-fuer-die-besonderes-interesse-besteht/>
- International Association for Sports and Leisure Facilities & Deutscher Tennis-Bund (Hrsg.). (2002). *Handbuch Tennis-Anlagen: Planung, Modernisierung, Bau, Pflege, Erhaltung* (2., vollständig überarb. Aufl.). Sportverlag Schmidt & Dreisilker.
- International Tennis Federation. (2024, Oktober). *ITF Global Tennis Report 2024*.
- International Tennis Federation. (2025a). *Classified Surfaces*. International Tennis Federation.
<https://www.itftennis.com/en/about-us/tennis-tech/classified-surfaces/>
- International Tennis Federation. (2025b). *ITF approved tennis balls, classified surfaces & recognised courts—A guide to products & test methods*.
- Itten, R., Glauser, L., & Stucki, M. (2020). *Ökobilanzierung von Rasensportfeldern: Natur-, Kunststoff- und Hybridrasen der Stadt Zürich im Vergleich* [124,application/pdf].
<https://doi.org/10.21256/ZHAW-20774>
- Jeong, H., Minne, E., & Crittenden, J. C. (2015). Life cycle assessment of the City of Atlanta, Georgia's centralized water system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(6), 880–891. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0874-y>
- Kaltschmitt, M., & Schebek, L. (2015). *Umweltbewertung für Ingenieure: Methoden und Verfahren*. Springer Vieweg.

- Kim, J., Yang, Y., Bae, J., & Suh, S. (2013). The Importance of Normalization References in Interpreting Life Cycle Assessment Results. *Journal of Industrial Ecology*, 17(3), 385–395. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00535.x>
- Landeshauptstadt Hannover. (o. J.). *Fragen und Antworten rund um die Allgemeinverfügung „Berechnung“*. Hannover. Abgerufen <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Wasser-Abwasser/Fragen-und-Antworten-rund-um-die-Allgemeinverf%C3%BCgung-%22Berechnung%22>
- Lasne, J., Lostier, A., Romanias, M. N., Vassaux, S., Lesueur, D., Gaudion, V., Jamar, M., Derwent, R. G., Dusanter, S., & Salameh, T. (2023). VOC emissions by fresh and old asphalt pavements at service temperatures: Impacts on urban air quality. *Environmental Science: Atmospheres*, 3(11), 1601–1619. <https://doi.org/10.1039/D3EA00034F>
- Liepert, M., Huth, C., Kuhlmann, J., Bilik, J., Schreckenberger, D., & Schuette, S. (2024). *Evaluation der Sportanlagenlärmschutzverordnung*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluation-der-sportanlagenlaermschutzverordnung>
- Lütke-meier, R., & Kuhn, D. (2025). *Grundwasserstress in Deutschland—Überblickstudie: Struktureller und akuter Grundwasserstress durch öffentliche und nicht-öffentliche Entnahmen auf Ebene der Landkreise*. BUND e.V. <https://www.bund-niedersachsen.de/fileadmin/niedersachsen/publikationen/wasser/grundwasserstress-deutschland-studie-wasser-analyse-strukturell-entnahme-landkreise-bund-isoe-2025.pdf>
- Mair, G. (2024, März 22). *Unforced Error: Assessing the climate actions of the men's tennis tour*. Carbon Market Watch. <https://carbonmarketwatch.org/2024/03/22/unforced-error-assessing-the-climate-actions-of-the-mens-tennis-tour/>
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2024, Oktober). *Mikroplastik im Spiel: Was Sportvereine und Aktive tun können*. <https://um.baden->

wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-

um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Mikroplastik-im-Spiel.pdf

Muchow, N., Knappe, F., & Reinhardt, J. (2024). *Ziegel-Roadmap zur Ressourceneffizienz*.

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH.

[https://ziegel.de/sites/default/files/2025-02/Langfassung-](https://ziegel.de/sites/default/files/2025-02/Langfassung-Studie%20Ressourceneffizienz%20Ziegel_1.pdf)

[Studie%20Ressourceneffizienz%20Ziegel_1.pdf](https://ziegel.de/sites/default/files/2025-02/Langfassung-Studie%20Ressourceneffizienz%20Ziegel_1.pdf)

Müller, C., Severins, K., Winkel, A., Walter, B., Gross, N., Kreßer, S., Butters, V., Franzke, M.,

& Schuster, T. (2025). *Gesamtbericht R-ZiEMENT - Ziegelhaltige Recyclingbaustoffe*

als Rohstoff für ressourceneffiziente Zemente in dauerhaften Betonen. [https://www.vdz-](https://www.vdz-online.de/fileadmin/user_upload/Abschlussbericht_RZiEMENT.pdf)

[online.de/fileadmin/user_upload/Abschlussbericht_RZiEMENT.pdf](https://www.vdz-online.de/fileadmin/user_upload/Abschlussbericht_RZiEMENT.pdf)

Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau. (2005). *Richtlinien für die Pflege und*

Instandhaltung von *Tennendecken*.

[https://www.schulsportinfo.at/fileadmin/content/Downloads/01_sportstaettenbau/05_s](https://www.schulsportinfo.at/fileadmin/content/Downloads/01_sportstaettenbau/05_sportboeden/04_pflege%20tennendecken.pdf)

[portboeden/04_pflege%20tennendecken.pdf](https://www.schulsportinfo.at/fileadmin/content/Downloads/01_sportstaettenbau/05_sportboeden/04_pflege%20tennendecken.pdf)

Prado, V., Cinelli, M., Ter Haar, S. F., Ravikumar, D., Heijungs, R., Guinée, J., & Seager, T. P.

(2020). Sensitivity to weighting in life cycle impact assessment (LCIA). *The*

International Journal of Life Cycle Assessment, 25(12), 2393–2406.

<https://doi.org/10.1007/s11367-019-01718-3>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu - Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en

Sport. (2024, Oktober 28). *Normalization Scores ReCiPe 2016*.

<https://www.rivm.nl/en/documents/normalization-scores-recipe-2016>

Rodríguez Aybar, M., Porras-Amores, C., Moreno Fernández, E., & Pérez Raposo, Á. (2023).

Physical-mechanical properties of new recycled materials with additions of padel-tennis

ball waste. *Journal of Cleaner Production*, 413, 137392.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137392>

- Russo, C., Cappelletti, G. M., & Nicoletti, G. M. (2022). The product environmental footprint approach to compare the environmental performances of artificial and natural turf. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106800. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106800>
- Silikal GmbH. (2016, Juni). *Silikal MMA resins for cold plastic road markings and traffic area coatings—Technical Documentation*. <https://silikal.com/wp-content/uploads/2021/08/SI-TechDoku-RoadMarkings-E.pdf>
- Stadionwelt. (o. J.). *Die Frühjahrsinstandsetzung*. Sportplatzwelt. Abgerufen <https://www.sportplatzwelt.de/fachwissen/28227/die-fruehjahrsinstandsetzung>
- Stadionwelt. (2024). *Racket Sports*. <https://www.stadionwelt.de/publication/86503/racket-sports-2024>
- Tennis-Point Europe GmbH. (o. J.). *Advantage earth recycling*. Tennis Point. Abgerufen https://www.tennis-point.de/advantage-earth-recycling/?srsId=AfmBOooWnF1Bcy_55HzzRt-gCeP0XgQsSWbO-givcpBl5Yaz9SQyKEnf
- Uchil, P., & Chakrabarti, A. (2013). *Communicating Life Cycle Assessment results to design decision makers: Need for an information visualization approach*. https://www.designsociety.org/download-publication/34991/communicating_life_cycle_assessment_results_to_design_decision_makers_need_for_an_infomration_visualization_approach
- Umweltbundesamt. (2019). *Ziegel—Factsheet*. https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/3521/dokumente/factsheet_ziegel_fi.pdf
- Vaverka, F., Nykodym, J., Hendl, J., Zhanel, J., & Zahradnik, D. (2018). Association between serve speed and court surface in tennis. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(2), 262–272. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1467995>

Anhang