



Informationspapier Vergleichende Ökobilanz
Bericht

Terrassenaufbauten mit unterschiedlichen Deckschichten

Fassung Juli 2025



Betonstein
NATÜRLICH, NUR BESSER.

Impressum

Herausgeber:

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG)

erstellt von:

LifeCycle-Competence GmbH

Dansenberger Straße 50

67661 Kaiserslautern

Titelbild: SLG

Fassung Juli 2025

Zitierung:

Informationspapier Vergleichende Ökobilanz – Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten – Langfassung. Juli 2025. Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (Hrsg.), Bonn.

Haftungsausschluss / Hinweise zur Verwendung der Ergebnisse

Diese Ökobilanz wurde nach bestem Wissen und auf Grundlage, der zum Zeitpunkt der Erstellung verfügbaren Daten und Methoden erstellt. Trotz größter Sorgfalt kann keine Gewähr für die Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität der zugrunde liegenden Informationen übernommen werden. Die Ergebnisse stellen keine allgemeingültige Bewertung dar, sondern gelten ausschließlich im Rahmen der getroffenen Annahmen, Systemgrenzen und Datenquellen. Eine Weiterverwendung der Ergebnisse oder ein Vergleich mit anderen Produkten ist nur unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen zulässig.

Vorbemerkungen

Die vorliegende Ökobilanzstudie wurde von der LifeCycle-Competence GmbH (LCC) im Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG) erstellt.

Sie wurde entsprechend den Anforderungen für Ökobilanzen gemäß den dafür gültigen Normen angefertigt. Es wurden ausschließlich öffentlich verfügbare Daten für diese Studie verwendet, damit die ermittelten Ergebnisse transparent und nachvollziehbar sind.

Die in dieser Studie ökobilanziell miteinander verglichenen Terrassenaufbauten sind im privaten und öffentlichen Umfeld typisch und häufig vorkommend. Die dafür beispielhaft gewählten Bauweisen und Oberbaukonstruktionen entsprechen den Anforderungen der einschlägigen Technischen Regelwerke des Garten- und Landschaftsbaus.

Die in dieser Studie veröffentlichten Angaben wurden nach bestem Wissen erstellt und mit größter Sorgfalt überprüft. Ein Ausschuss interessierter Kreise, bestehend aus einem Panel von drei externen Sachverständigen, bestätigte nach der Durchführung eines Critical Reviews die wissenschaftliche Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung und die Belastbarkeit der Ergebnisse.

Alle Rechte bleiben vorbehalten. Die Verbreitung und Vervielfältigung, auch auszugsweise, oder eine sonstige Teilnutzung ist nur nach vorheriger Genehmigung durch den Herausgeber unter Angabe der Quelle gestattet.

Bonn, Juli 2025

© 2025 Betonverband Straße, Landschaft und Garten e. V. (SLG), Bonn

Inhalt

1	Grundsätze einer Ökobilanz	10
2	Allgemeines zur Ökobilanz	10
3	Ziel und Umfang dieser Studie	13
3.1	Ziel	13
3.2	Umfang und Untersuchungsrahmen	13
4	Nachvollziehbarkeit und Konsistenz	14
4.1	Allgemeines	14
4.2	Gleichwertigkeit der Vergleichssysteme	15
4.3	Funktionale Einheit	17
4.4	Beschreibung der untersuchten Terrassenaufbauten	19
4.4.1	Allgemeines	19
4.4.2	Beispiel 1a – Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten (ungebundene Bauweise)	20
4.4.3	Beispiel 1b – Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten (gebundene Bauweise)	21
4.4.4	Beispiel 2a – Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten (ungebundene Bauweise)	22
4.4.5	Beispiel 2b – Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten (gebundene Bauweise)	22
4.4.6	Beispiel 3a – Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen (ungebundene Bauweise)	23
4.4.7	Beispiel 3b – Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen (gebundene Bauweise)	24
4.4.8	Beispiel 4 – Terrassenaufbau mit Holzdielen	24
4.4.9	Beispiel 5 – Terrassenaufbau mit WPC-Dielen	25
4.4.10	Beispiel 6 – Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen	26
4.5	Beschreibung der einzelnen Schichten und Datensätze	26
4.6	Transporte	42
4.7	Annahmen und Abschätzungen	44
4.8	Datenquelle und Datenqualität	47

4.9	Unsicherheiten und Einschränkungen	47
4.10	Bewertungsrahmen für die Datenqualität	48
4.11	Beurteilung der Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfung	50
5	Sachbilanz	53
5.1	Allgemeines	53
5.2	Beschreibung der Datensätze und deren Anwendung	53
5.2.1	Allgemeines	53
5.2.2	Materialien der Deckschichten	53
5.2.3	Transport zum Einbauort	59
5.2.4	Einbau der einzelnen Schichten	59
5.2.5	Nutzungsphase	59
5.2.6	Entsorgungsphase und Belastungen außerhalb der Systemgrenze	59
5.3	Beschreibung der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	60
5.4	Auswerteindikatoren der Sach-bilanz nach DIN EN 15804	60
5.5	Auswerteindikatoren der Wirkungsabschätzung nach DIN EN 15804	61
5.6	Unsicherheiten bei Ergebnissen einer Wirkungsabschätzung	62
5.7	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen	63
5.8	Interpretation der Ergebnisse	64
	Literaturverzeichnis	68
	Anhang A – Berechnungsgrundlagen für die Sachbilanz	70
	Anhang B – Beschreibung der Auswertegrößen	71
	Anhang C – Übersicht unterschiedlicher EPD-/Datensatztypen	74
	Anhang D – Tabellarische Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen	76
	Anhang E – Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zum Modul A4	83
	Anhang F – Zusätzlich untersuchte End of Life-Szenarien	90
	Anhang G – Critical Review	99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Terrassenaufbau zu Beispiel 1a – Betonwerksteinplatten in ungebundener Bauweise	21
Abbildung 2:	Terrassenaufbau zu Beispiel 1b – Betonwerksteinplatten in gebundener Bauweise	21
Abbildung 3:	Terrassenaufbau zu Beispiel 2a – Naturwerksteinplatten in ungebundener Bauweise.....	22
Abbildung 4:	Terrassenaufbau zu Beispiel 2b – Naturwerksteinplatten in gebundener Bauweise.....	23
Abbildung 5:	Terrassenaufbau zu Beispiel 3a – Keramische Fliesen in ungebundener Bauweise	23
Abbildung 6:	Terrassenaufbau zu Beispiel 3b – Keramische Fliesen in gebundener Bauweise	24
Abbildung 7:	Terrassenaufbau zu den Beispielen 4 bis 6 – Dielen-Belag auf aufgestellter Unterkonstruktion.....	25
Abbildung 8:	Vergleich des GWP der untersuchten Terrassenaufbauten	66
Abbildung 9:	Vergleich des PENRT der untersuchten Terrassenaufbauten	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	In dieser Studie berücksichtigte Systemgrenzen (Module) der Ökobilanzberechnungen	16
Tabelle 2:	Schichtenaufbau der gebundenen und ungebundenen Varianten nach ZTV-Wegebau	20
Tabelle 3:	Annahmen zu Transportmittel und Transportdistanzen für Herkunftsmix 1 & 2 für Natursteine	31
Tabelle 4:	Herkunftsmix-Szenarien für Holzdielen mit Herkunftsland, Transportmittel und Transportentfernung.....	33
Tabelle 5:	Annahmen zu Transportmittel und Transportdistanzen für Thermowood ...	37
Tabelle 6:	Transportentfernungen der in Abschnitt 4.4.2ff. beschriebenen Materialien zum Einbauort (Modul A4)	43
Tabelle 7:	Verwendete Datensätze mit Angaben, u. a. zur Identifikation, Quelle und Gültigkeit	51
Tabelle 8:	Umweltindikatoren der Sachbilanz.....	61

Tabelle 9:	Umweltwirkungen der Sachbilanz	62
Tabelle 10:	Vorgehensweise zur Erstellung der Sachbilanz	70
Tabelle 11:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten in ungebundener Bauweise.....	76
Tabelle 12:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten in gebundener Bauweise	76
Tabelle 13:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten Herkunftsmix 2 in ungebundener Bauweise	77
Tabelle 14:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten Herkunftsmix 2 in gebundener Bauweise	77
Tabelle 15:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen in ungebundener Bauweise.....	78
Tabelle 16:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen in gebundener Bauweise.....	78
Tabelle 17:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus Deutschland	79
Tabelle 18:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus Skandinavien	79
Tabelle 19:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus Nordamerika/Kanada	80
Tabelle 20:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus dem Baltikum.....	80
Tabelle 21:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit WPC-Dielen aus Deutschland	81
Tabelle 22:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen aus Dänemark	81
Tabelle 23:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen aus Lettland.....	82
Tabelle 24:	Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m ² Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen aus Schweden	82
Tabelle 25:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Betonwerksteinplatten.....	84

Tabelle 26:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Naturwerksteinplatten nach Herkunftsmix 2.....	84
Tabelle 27:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit keramischen Fliesen.....	85
Tabelle 28:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus Deutschland	85
Tabelle 29:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus dem Baltikum.....	86
Tabelle 30:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus Skandinavien	86
Tabelle 31:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus Nordamerika/Kanada	87
Tabelle 32:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit WPC-Dielen aus Deutschland	87
Tabelle 33:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Thermowood aus Dänemark	88
Tabelle 34:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Thermowood aus Lettland	88
Tabelle 35:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Thermowood aus Schweden	89
Tabelle 36:	EoL-Szenario D1, Keramische Fliesen, ungebunden. Szenario D1 berücksichtigt 93,9% stoffliche Verwertung mit Gutschrift von Gesteinskörnung und eine Deponierung von 6,1 %	90
Tabelle 37:	EoL-Szenario D1, Keramische Fliesen, gebunden. Szenario D1 berücksichtigt 93,9% stoffliche Verwertung mit Gutschrift von Gesteinskörnung und eine Deponierung von 6,1 %	90
Tabelle 38:	EoL-Szenario D2, Keramische Fliesen, ungebunden. Szenario D2 beinhaltet die Gutschrift infolge der thermischen Verwertung der Verpackung aus Modul A5.....	91
Tabelle 39:	EoL-Szenario D2, Keramische Fliesen, gebunden. Szenario D2 beinhaltet die Gutschrift infolge der thermischen Verwertung der Verpackung aus Modul A5.....	91
Tabelle 40:	EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss.....	92

Tabelle 41:	EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss.....	92
Tabelle 42:	EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss.....	93
Tabelle 43:	EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss.....	93
Tabelle 44:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Baltikum, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	94
Tabelle 45:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	94
Tabelle 46:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	95
Tabelle 47:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	95
Tabelle 48:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	96
Tabelle 49:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	96
Tabelle 50:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich energetisch, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	97
Tabelle 51:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich energetisch, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	97
Tabelle 52:	EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen stofflich energetisch, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss	98

1 Grundsätze einer Ökobilanz

Die Ökobilanz betrachtet den gesamten Lebensweg eines Produktes, von der Rohstoffgewinnung und -erzeugung über die Energieerzeugung und Materialherstellung bis zur Anwendung, Abfallbehandlung und endgültigen Beseitigung. Durch einen systematischen Überblick und eine Vorausschau kann die Verlagerung einer möglichen Umweltbelastung zwischen den Abschnitten oder einzelnen Prozessen des Lebensweges identifiziert und möglicherweise vermieden werden.

Eine Ökobilanz bezieht sich auf die Umweltaspekte und -wirkungen eines Produktsystems. Üblicherweise liegen ökonomische und soziale Aspekte und Wirkungen außerhalb des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz. Für eine umfassendere Einschätzung können auch andere Instrumente mit der Ökobilanz kombiniert werden.

Die Ökobilanz ist ein relativer Ansatz, der um eine funktionelle Einheit aufgebaut ist. Diese funktionelle Einheit legt fest, was zu untersuchen ist. Sämtliche nachfolgenden Analysen sind dann auf diese funktionelle Einheit bezogen, da alle Inputs und Outputs in der Sachbilanz und demzufolge auch das Wirkungsabschätzungsprofil auf die funktionelle Einheit bezogen sind.

Die Ökobilanz ist eine iterative Methode. In den einzelnen Phasen einer Ökobilanz werden die Ergebnisse der anderen Phasen verwendet. Der iterative Ansatz innerhalb der und zwischen den Phasen trägt zur Ganzheitlichkeit und Konsistenz der Studie und der im Bericht angegebenen Ergebnisse bei.

Wegen der eigenen Komplexität einer Ökobilanz ist die Transparenz ein wichtiges

Leitprinzip bei der Erstellung von Ökobilanzen, um eine angemessene Auswertung der Ergebnisse sicherzustellen.

2 Allgemeines zur Ökobilanz

In der hier vorliegenden Studie werden verschiedene Terrassenaufbauten auf gewachsenem Boden mit unterschiedlichen Belägen untersucht und betrachtet. Hierzu werden alle Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstige Umweltinformationen sowie die Kernindikatoren für die Umweltwirkung zur Herstellung und Nutzung einer bewitterten Terrasse (Nutzungskategorie N1 = begehbare, nicht befahrbare Verkehrsfläche) gemäß ZTV-Wegebau ermittelt.

Terrassenoberflächen werden abhängig von der geplanten Nutzung und den zu erwartenden Belastungen in der Regel mit Betonwerksteinplatten, Naturwerksteinplatten, keramischen Fliesen, Holzdielen, WPC oder Thermowood gestaltet. Dabei wird grundsätzlich zwischen Plattenbelägen und Dielen unterschieden. Je nach Nutzung einer Terrasse, z. B. als Aufenthaltsbereich im Freien oder als Anlage eines Gartens, den persönlichen Präferenzen und der prognostizierten Belastung können die genannten Oberflächengestaltungen alternativ angewendet werden.

Die verschiedenen Oberflächenbeläge erfordern den Einsatz unterschiedlicher Baustoffe und Bauverfahren. Für zahlreiche Anwendungsfälle können prinzipiell alle der vorgenannten Terrassenaufbauten ausgewählt werden. Die Entscheidung für eine bestimmte Oberflächengestaltung wird

oftmals anhand der zu erwartenden Baukosten getroffen, aber auch regionale Belange und gestalterische Aspekte haben Einfluss.

Bei der Entscheidung für eine Oberflächengestaltung für eine Terrassenflächenbefestigung wird zukünftig selbstverständlich auch eine Ökobilanz über den gesamten Lebenszyklus relevant sein. Daher hat der Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG) die vorliegende Studie initiiert und beauftragt.

Diese Studie beschreibt die Ökobilanz für die Herstellung von Terrassenaufbauten mit unterschiedlichen Belägen und Szenarien für deren Nachnutzungsphase. Innerhalb der Studie wird der Lebenszyklus der Terrassenaufbauten untersucht (cradle-to-grave), der die Herstellungs-, Bauphase, Nutzungsphase, Recycling- und Entsorgungsphase umfasst.

Die hier verwendeten Daten sind öffentlich verfügbar. Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Ergebnisse sind transparent und nachvollziehbar.

Es werden die Umweltwirkungen von typischen Terrassenaufbauten auf gewachsenem Boden für eine rein fußläufige Belastung nach Nutzungskategorie N1 der ZTV-Wegebau bewertet. Untersucht werden die folgenden sechs beispielhaft gewählten Varianten:

- Beispiel 1: Terrassenaufbau mit der Befestigungsart Betonwerksteinplatten (gebunden und ungebunden)
- Beispiel 2: Terrassenaufbau mit der Befestigungsart Naturwerksteinplatten (gebunden und ungebunden)

- Beispiel 3: Terrassenaufbau mit der Befestigungsart keramische Fliesen (gebunden und ungebunden)
- Beispiel 4: Terrassenaufbau mit der Befestigungsart Holzdielen (ungebunden)
- Beispiel 5: Terrassenaufbau mit der Befestigungsart WPC-Dielen (ungebunden)
- Beispiel 6: Terrassenaufbau mit der Befestigungsart Thermowood-Dielen (ungebunden)

Es werden typische Bauweisen und Baustoffe für jede der genannten Terrassenaufbauten gemäß den Anforderungen des Technischen Regelwerks festgelegt.

Die Studie beschreibt die Methodik und Rechenregeln, die für die Erstellung der Ökobilanz verwendet werden. Sie entsprechen den Rechenregeln der EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021, der DIN EN ISO 14040:2006 + A1:2020 und der DIN EN ISO 14044.

Die vorliegende Ökobilanzstudie wurde im Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG) durch die LifeCycleCompetence GmbH entsprechend den Anforderungen für Ökobilanzen gemäß DIN EN ISO 14040:2006 + A1:2020 und DIN EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020 erstellt.

Die Auswahl und Darstellung der Umweltindikatoren erfolgt gemäß den Vorgaben der Norm DIN EN 15804+A2:2019 in Verbindung mit der internationalen Norm DIN EN ISO 21930:2017 sowie den Anforderungen an EPDs und Hintergrunddaten der ÖKO-BAUDAT. Dabei wurden sowohl die in DIN EN 15804+A2:2019 definierten Wirkungskategorien (z. B. GWP-total) als auch

ergänzende Indikatoren zur Ressourcennutzung und zu Stoffströmen (z. B. PENRT) berücksichtigt. Letztere sind in DIN EN ISO 21930 spezifiziert und werden im Rahmen der ÖKOBAUDAT sowie von EPD-Programmen wie dem Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU) regelmäßig bereitgestellt und verlangt. Die verwendeten Indikatoren entsprechen denjenigen, die in produktbezogenen Umweltdeklarationen (EPDs) nach DIN EN 15804+A2:2019 und den PCR-Vorgaben des IBU ausgewiesen werden.

- Globales Erwärmungspotenzial - total (GWP-total)
- Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)
- Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)
- Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung (AP)
- Eutrophierungspotenzial - Süßwasser (EP-freshwater)
- Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen nicht fossile Ressourcen (ADPE)
- Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen fossile Brennstoffe (ADPF)
- Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)
- Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)
- Total erneuerbare Primärenergie (PERT)
- Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)
- Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)

- Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT)
- Einsatz von Sekundärstoffen (SM)
- Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)
- Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW)

Die vorliegende Ökobilanz wird mit öffentlich verfügbaren Daten, insbesondere aus der ÖKOBAUDAT), durchgeführt. Als Referenzgröße werden 17,5 m² Terrassenaufbau inklusive des Bodenaushubs (Modul A5 Bau-/Einbauprozess¹) gewählt.

Die Wahl von 17,5 m² als Referenzgröße für die Terrassenaufbauten basiert auf dem „Konstruktionsbeispiel Holzterrasse“ in Anhang A2 der FLL-Empfehlungen für Holz im GaLaBau. Diese Größe entspricht einer gängigen Dimension für Terrassen, die in der Regel in Einfamilienhäusern oder kleineren Wohnungen zu finden ist. Eine Fläche dieser Größe ist im privaten Bereich häufig ausreichend für Freizeitnutzung und ermöglicht eine einfache Pflege durch die Bewohner selbst.

In der Praxis wird davon ausgegangen, dass solche Terrassen in der Regel ohne den Einsatz von Maschinen instandgehalten werden können, da sie für den privaten Gebrauch konzipiert sind und der Pflegeaufwand überschaubar bleibt. Die Größe von 17,5 m² spiegelt somit die realistische Nutzung und Wartung von Terrassen im privaten Bereich wider.

Grundsätzlich muss jeder Terrassenaufbau so gestaltet sein, dass er den Anforderungen gemäß den Technischen Regeln erfüllt,

¹ Vgl. DIN EN 15804:2022-03 Kapitel 6.2.3

wie beispielsweise in Bezug auf Frostsicherheit, Ebenheit und Tragfähigkeit.

Die untersuchten Oberbaukonstruktionen sind im Abschnitt 4.4 beschrieben und bildlich dargestellt.

3 Ziel und Umfang dieser Studie

3.1 Ziel

Die durchgeführte Studie dient der Ermittlung der Umweltwirkungen und des Ressourceneinsatzes für die beschriebenen Oberbaukonstruktionen für Terrassenflächenbefestigungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufbauten und Materialien. Die Ermittlung der Umweltwirkungen erfolgt mit Datensätzen (EPD), die nach DIN EN 15804 erstellt wurden.

Die untersuchten Terrassenaufbauten wurden vom Auftraggeber entsprechend den Aufbauhöhen und geforderten Mindestdicken der mineralischen Belagselemente in gebundener und ungebundener Bauweise der ZTV-Wegebau, Ausgabe 2022, bzw. dem Konstruktionsbeispiel in Anhang A2 der FLL-Empfehlungen für Holz im GaLaBau festgelegt.

Die Studie ist nach Durchführung eines Critical Reviews gemäß DIN EN ISO 14044, Abschnitt 6.1, für eine Veröffentlichung vorgesehen und kann sowohl zur Kommunikation als auch zum Beispiel zur Anwendung und Auswertung der untersuchten Terrassenaufbauten genutzt werden.

Die vorliegende Studie richtet sich an Planer, Bauherren und Entscheidungsträger im

Bereich des Garten- und Landschaftsbaus. Ziel ist es, eine ökologisch fundierte Auswahl geeigneter Bauweisen für Terrassenaufbauten auf Basis einer normkonformen Ökobilanzierung zu ermöglichen. Die Analyse trägt dazu bei, relevante Umweltwirkungen – wie etwa Treibhausgasemissionen, Ressourcenverbrauch oder den Beitrag zur Versauerung – zu quantifizieren, Phasen mit erhöhter Umweltauswirkungen zu identifizieren und daraus Optimierungspotenziale abzuleiten.

Dabei werden sowohl belastende als auch entlastende Wirkungen gemäß den Vorgaben der DIN EN 15804+A2:2019 und DIN EN ISO 14044 berücksichtigt, beispielsweise durch die Anrechnung von Gutschriften im Modul D für die Wiederverwendung, das Recycling oder die Energierückgewinnung. Eine ökobilanziell vorteilhafte Bauweise erfordert in der Regel keine Abstriche in Bezug auf Funktionalität und Dauerhaftigkeit der Terrassenflächen.

3.2 Umfang und Untersuchungsrahmen

Die funktionelle Einheit wurde in Bezug auf das Konstruktionsbeispiel in Anhang A2 der FLL-Empfehlungen für Holz im GaLaBau auf 17,5 m² festgelegt. Bei den verglichenen Systemen handelt es sich um Terrassenaufbauten mit unterschiedlichen Deckschichten. Die Systemgrenzen reichen von Modul A bis Modul D (cradle-to-grave).²

Den Terrassenaufbauten in dieser Studie entsprechen den Anforderungen in Abschnitt 3.1 genannten Regelwerken.

² Vgl. DIN EN 15804:2022-03 Kapitel 6.2.3

Da deren Bau damit primär im privaten Bereich stattfindet, wurde für den Aushub des Erdreichs ein maschineller und für die Verlegung der Deckschichten ein manueller Vorgang vorausgesetzt.

In Übereinstimmung mit den methodischen Anforderungen der DIN EN ISO 14044 (Kapitel 5.2.1.2) sowie den allgemeinen Prinzipien der DIN EN ISO 14040 wurden die Umweltwirkungen den einzelnen Baumaterialien nach einem physikalischen Allokationsverfahren auf Basis der Masse zugewiesen.

Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da

- eine direkte physikalische Beziehung zwischen den Baumaterialien und ihren Umweltwirkungen besteht,
- keine systemübergreifende Allokation oder Marktpreis basierte Allokation erforderlich ist und
- die Methode robust und reproduzierbar ist.

Dabei wurde folgende Vorgehensweise angewandt:

- Ermittlung der Materialmengen/-volumina inkl. Verdichtung und Befestigungsmaterialien.
- Verknüpfung mit EPD-Datensätzen, in denen die Umweltindikatoren pro Masseinheit hinterlegt sind.
- Multiplikation der Materialmengen mit den Umweltindikatoren aus den EPDs zur Berechnung der Gesamtumweltauswirkungen des betrachteten Terrassenaufbaus.

Die für diese vergleichende Ökobilanz verwendeten Umweltindikatoren basieren auf Umweltproduktdeklarationen (EPDs) gemäß DIN EN 15804. EPDs unterliegen einer unabhängigen Verifizierung durch

anerkannte Dritte, wodurch sichergestellt wird, dass

- die zugrunde liegenden Ökobilanzstudien nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 durchgeführt wurden,
- die angewendeten Berechnungsmethoden den Anforderungen der DIN EN 15804 entsprechen und
- die Datensätze konsistent und transparent sind.

Da die Umweltwirkungen der Baumaterialien direkt aus diesen geprüften EPDs entnommen und auf die ermittelten Materialmengen/-volumina angewendet werden, ist die Validität der Umweltindikatoren gewährleistet.

4 Nachvollziehbarkeit und Konsistenz

4.1 Allgemeines

Es wurde sichergestellt, dass:

- die Zuordnung der Umweltindikatoren auf Basis der physikalischen Allokation nach Masse gemäß DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 erfolgte,
- die Berechnungen transparent und anhand reproduzierbarer Methoden durchgeführt wurden.

In der vorliegenden Studie werden folgende Lebenszyklusphasen gemäß DIN EN 15804 berücksichtigt:

- Herstellungsphase (A1-A3)
- Bauphase (A4-A5)
- Nutzungsphase (B1-B7)
- Entsorgungsphase (C1-C4)
- Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen (D)

Die Systemgrenzen folgen dem modularen Ansatz der DIN EN 15804:2022-03, Kapitel 5.2, Bild 1, S.17. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die in dieser Studie berücksichtigten Systemgrenzen (Module).

4.2 Gleichwertigkeit der Vergleichssysteme

Die Vergleichbarkeit der betrachteten Bauweisen gemäß DIN EN ISO 14044, Kapitel 5.3.1 c, ergibt sich aus ihrer normativen Einordnung in die standardisierten Oberbaukonstruktionen der ZTV-Wegebau und der FLL-Empfehlungen für Holz im GaLa-Bau. Es kann jedoch nicht zwangsläufig von einer vollständigen Gleichwertigkeit ausgegangen werden, da unterschiedliche Bauweisen innerhalb derselben Nutzungskategorie variierende mechanische Eigenschaften aufweisen können. In der vorliegenden Ökobilanzierung wurde diese Einschränkung wie folgt berücksichtigt:

- Für alle Varianten wurde eine identische funktionale Einheit mit einer angenommenen Nutzungsdauer von 25 Jahren angesetzt.
- Unterschiede in mechanischem Verhalten, Tragfähigkeit oder Setzungsverhalten, die sich potenziell auf die tatsächliche Lebensdauer oder Wartungshäufigkeit auswirken könnten, wurden im Sinne einer vereinfachten Vergleichbarkeit nicht weiter differenziert.
- Instandhaltungsmaßnahmen wurden, mit Ausnahme der regelmäßigen Holzschutzbehandlung bei Holzdielen, nicht berücksichtigt, da sie im Regelfall bei den betrachteten Bauweisen innerhalb des Nutzungszeit-

raums entweder nicht erforderlich oder normativ nicht vorgesehen sind.

Bei der Auswahl der Bauweise innerhalb einer Nutzungskategorie sind neben normativen Vorgaben weitere Faktoren zu berücksichtigen, darunter die Verfügbarkeit geeigneter Baustoffe, die Größe und örtliche Lage des Bauvorhabens sowie die Erfahrungen der beteiligten Akteure. Diese Kriterien beeinflussen maßgeblich die Entscheidung für eine spezifische Bauweise und damit die Vergleichbarkeit der betrachteten Konstruktionen.

Die Auswahl der untersuchten Bauweisen basiert auf einer langjährigen Markterfahrung und orientiert sich an gängigen Anwendungsszenarien. So werden speziell im privaten Bereich alle untersuchten Varianten in der Praxis vorgefunden und richten sich nach gestalterischen Aspekten, Verfügbarkeit und Preis aus.

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Konstruktionsansätze und der getroffenen Annahmen in der vergleichenden Ökobilanz objektiv bewerten zu können, wurden Sensitivitätsanalysen (siehe Anhang E) durchgeführt. Diese Analysen untersuchen die Auswirkungen unterschiedlicher Herkunftsländer und deren Transportstrecken (nach aktuell üblicher Marktlage) sowie unterschiedliche End of Life-Szenarien (EoL-Szenarien) auf die Umweltindikatoren.

Die Ermittlung der Kernindikatoren für die Umweltwirkung und der Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes sowie der sonstigen Umweltinformationen umfasst folgende Phasen:

Herstellungsphase A1 – A3: Die Herstellungsphase umfasst A1 Rohstoffgewinnung und -verarbeitung und Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen (z. B. Recyclingprozesse), A2 Transport zum Hersteller und A3 Herstellung, einschließlich der Bereitstellung von allen Stoffen, Produkten und Energie sowie die

vollständige Abfallbehandlung bis zum Ende des Abfallstatus oder die Beseitigung der Restabfälle während der Herstellungsphase. Die Module A1, A2 und A3 dürfen gemäß DIN EN 15804 als ein aggregiertes Modul A1-3 ausgewiesen werden, wohingegen der Bodenaushub dem Modul A5 Einbau zugeordnet wird.

Tabelle 1: In dieser Studie berücksichtigte Systemgrenzen (Module) der Ökobilanzberechnungen ³

INFORMATIONEN ZUR BAUWERKSBEURTEILUNG																
ANGABEN ZUM LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS														ERGÄNZENDE INFORMATIONEN AUSSERHALB DES LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS		
A1 - A3 HERSTELLUNGS- PHASE			A4 - A5 BAUPHASE		B1 - B7 NUTZUNGSPHASE							C1 - C4 ENTSORGUNGSPHASE				
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau-/Einbauprozess	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz ¹	Umbau/Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Rückbau, Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung	VORTEILE UND BELASTUNGEN AUSSERHALB DER SYSTEMGRENZE
Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	Szenario	D
von der Wiege bis zum Werkstor mit den Modulen C1-C4 und Modul D	Pflicht	Pflicht	Pflicht									Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht
von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen, den Modulen C1-C4 und Modul D	Pflicht	Pflicht	Pflicht	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht
von der Wiege bis zur Baure und Modul D	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht	Pflicht
von der Wiege bis zum Werkstor ²	Pflicht	Pflicht	Pflicht													
von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen ²	Pflicht	Pflicht	Pflicht	optional	optional											

Transport A4: In Modul A4 sind die Transporte der Materialien und Vorprodukte zur Herstellung des Oberbaus zur Baustelle berücksichtigt.

Bau-/Einbauprozess A5: Modul A5 beinhaltet den Einbau und die Verdichtung der Schichten sowie den notwendigen Bodenaushub zur Erstellung der Terrassenfläche.

³ Bild 1 Arten der EPD nach einbezogenen Phasen des Lebenszyklus und Phasen des Lebenszyklus und Module für die Bewertung von Bauwerken DIN EN 15804:2022-03

Instandhaltung B2: Modul B2 beinhaltet ausschließlich den Instandhaltungsaufwand durch Lasieren der Holzdielen.

Rückbau/Abriss C1: Der Rückbau der einzelnen Schichten des Oberbaus erfolgt teilweise maschinell und teilweise manuell. Im Modul C1 sind nur die maschinellen Aufwendungen aus ökobilanzieller Sicht bewertbar. Die Tragschichten und die Frostschutzschicht werden nicht zurückgebaut, sondern verbleiben an Ort und Stelle.

Transport zur Abfallbehandlung C2: In Modul C2 sind die Transporte der Schichten des Oberbaus zum Ort der Nachnutzung berücksichtigt. Eine Ausnahme bilden die ungebundenen Tragschichten, da diese nicht zurückgebaut werden.

Abfallbehandlung C3: Modul C3 beinhaltet Aufwendungen für die Aufbereitung des ausgebauten Deckschichtmaterials. Bspw. können die ausgebauten Pflastersteine bzw. Großformate entweder gewaschen und wiederverwendet werden, oder sie werden im Rahmen einer Bauschuttaufbereitung zu wiederverwertbaren Gesteinskörnungen aufgearbeitet. Für die Holz-, WPC- und Thermowood-Dielen ist bspw. eine energetische, thermische oder stoffliche Verwertung möglich. Die Details zu den jeweiligen Abfallbehandlungsszenarien sind den verwendeten Umweltproduktdeklarationen entnommen.

Deponierung/Beseitigung C4: Prozesse zur Abfallbeseitigung sind dem Modul C4 zugeordnet, einschließlich der Bereitstellung aller Stoffe, Produkte und des dazugehörigen Energie- und Wasserverbrauchs.

Vorteile und Lasten außerhalb der Systemgrenze D: Gutschriften für rezyklierte

Gesteinskörnungen oder direkt wiederverwendbares Deckschichtmaterial sind in Modul D adressiert. Einflüsse von Abfällen werden in den Modulen berücksichtigt, in denen diese anfallen.

Die Nutzungsphase wird für alle Terrassenaufbauten gemäß DIN EN 15804 betrachtet. Da für Betonwerksteine, Fliesen, WPC und Thermowood als Deckschicht keine Werte vorliegen, wird angenommen, dass an allen regelrecht hergestellten Terrassenaufbauten mit Ausnahme von Holzdielen keine nennenswerten Instandhaltungs- oder Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind. Pflege- und Wartungsarbeiten, die durch das regelmäßige Kehren und das Entfernen von Unrat, Laub oder Aufwuchs die Gebrauchstauglichkeit der Terrassenflächen über einen möglichst langen Zeitraum hinweg ermöglichen, erfolgen angesichts der überschaubaren Fläche von 17,5 m², für die es keinen Einsatz von Maschinen bedarf, manuell. Im Gegensatz dazu benötigen Holzdielen als Instandhaltungsmaßnahme ein regelmäßiges Lasieren der Holzoberfläche, weshalb hierfür entsprechende Werte berücksichtigt werden.

4.3 Funktionale Einheit

Als Referenzgröße für die betrachteten Terrassenaufbauten wurde eine Fläche von 17,5 m² gemäß dem Konstruktionsbeispiel in Anhang A2 der FLL-Empfehlungen für Holz im GaLaBau den ökobilanziellen Berechnungen zugrunde gelegt. Diese entspricht typischen durchschnittlichen Terrassengrößen für Ein- und Zweifamilienhäuser, wie sie beispielsweise in der Fachliteratur sowie in Wohnbau-Planungsleitfäden angegeben werden.

Der Terrassenaufbau wurde gemäß Nutzungskategorie 1 der ZTV-Wegebau für eine ausschließlich fußläufige Belastung konzipiert und weist eine robuste Struktur auf, die den üblicherweise zu erwartenden Belastungen über einen Zeitraum von 25 Jahren standhält.

Nach Ablauf der 25 Jahre sind jedoch erste signifikante Eingriffe oder bauliche Veränderungen an der Terrasse zu erwarten. Darüber hinaus spielen gestalterische Aspekte eine entscheidende Rolle, da Terrassenaufbauten bzw. insbesondere die Belagsdecken häufig einer ästhetischen Neugestaltung unterzogen werden, um veränderten Nutzungsanforderungen oder gestalterischen Trends gerecht zu werden.

Im Gegensatz zum häufig verwendeten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für Bauwerke wurde daher für diese vergleichende Ökobilanzstudie dieser kürzere Betrachtungszeitraum von 25 Jahren gewählt, um den spezifischen Lebenszyklus von Terrassenaufbauten realitätsnäher abzubilden.

Die funktionale Einheit sowie alle Nutzungsvorgänge, Instandhaltungen und Entsorgungsprozesse wurden entsprechend auf diesen Betrachtungszeitraum normiert. Die Wahl des Betrachtungszeitraums ist gemäß DIN EN 15804 zulässig, sofern sie plausibel begründet und einheitlich angewendet wird.

Innerhalb dieses Zeitraums sind bei privaten Terrassen üblicherweise keine umfangreichen Sanierungs-, Ersatz- oder Erneuerungsmaßnahmen erforderlich; es genügt

eine regelmäßige Instandhaltung im Hinblick auf Reinigung und Wartung.

Während bei Belägen aus Beton- und Naturwerkstein, keramischen Fliesen sowie WPC- und Thermowood-Dielen üblicherweise keine turnusmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen zur Lebensdauererhaltung über den gesamten Nutzungszeitraum von 25 Jahren erforderlich sind und dies durch Herstellerangaben bzw. Erfahrungswerte aus der Praxis gestützt wird, erfordert die Holz-Dielen (aus Lärche) zur Erreichung dieser Nutzungsdauer eine regelmäßige Behandlung mit Holzschutzmitteln.⁴

Daher wurde ausschließlich für das Beispiel mit Holz-Dielen eine gesonderte Pflegekomponente modelliert, bestehend aus einem zweijährlichen Aufbringen einer Holzschutzlasur über die gesamte Nutzungsdauer. Die damit verbundenen Material- und Energieaufwendungen wurden in die Ökobilanz aufgenommen.

Die Arbeiten zur Vorbereitung des Terrassenaufbaus (Aushub der Baugrube) werden bilanziell berücksichtigt. Generell muss der Baugrund so beschaffen sein, dass er für die darüber zu errichtende Befestigung und für deren Nutzung geeignet ist. Der Aufwand für die Vorbereitung des Baugrundes ist bei den in dieser Studie gewählten Terrassenaufbauten gleich und hat daher keinen Einfluss auf das Ergebnis. Als Baugrund wird anstehender Boden berücksichtigt, der die entsprechenden Anforderungen der ZTV-Wegebau erfüllt. Da es sich um eine Terrassenfläche im privaten Bereich handelt, ist aufgrund der überschaubaren

⁴ Baulicher Holzschutz – Merkblatt DGfH e.V., 2019

Fläche ein maschineller Aushub mit einem Minibagger inklusive der Herstellung des Planums angenommen.

Für das EoL-Szenario wird kein vollständiger Rückbau der Terrassenaufbauten zu Grunde gelegt. Die ungebundene Tragschicht sowie die Fundamentierung der Einfassungen samt Rückenstützen werden nicht rückgebaut.

Der Vergleich der Ökobilanzen erfolgt jeweils innerhalb der nachfolgend beschriebenen Beispiele, d. h. innerhalb vergleichbarer Nutzung und funktionalen Ansprüchen.

4.4 Beschreibung der untersuchten Terrassenaufbauten

4.4.1 Allgemeines

Die Bauweisen der in der Ökobilanzstudie „Terrassenaufbauten“ enthaltenen Pflasteraufbauten mit Belagselementen aus Beton- und Naturwerkstein sowie keramischen Platten entsprechen den Mindestanforderungen der ZTV-Wegebau, Ausgabe 2022, für die Nutzungskategorie N1.

[Definition „Nutzungskategorie N1“ nach Abschnitt 1, S. 18: Begehbare, nicht für Kraftfahrzeuge und vergleichbare Beanspruchungen vorgesehene Flächenbefestigungen außerhalb des Straßenverkehrs (z. B. Terrassen, Gartenwege, Wege im Hausgarten, Sitzplätze in Parkanlagen).]

Zu dem Bauablauf zugehörigen, aber in der Ökobilanzierung unberücksichtigten Bestandteilen und Arbeitsschritten, zählen der Einbau der Entwässerungsrinne vor dem Haus, das Abstecken und höhengerechte Einschnüren und der für die geplante Terrasse zuzüglich Arbeitsraum benötigten

Fläche. Der Aushub der Baugrube und das Vorbereiten des Baugrunds werden berücksichtigt.

Der Oberbau besteht aus mehreren Schichten, die auf dem Planum des Baugrunds aufgebracht werden. Da sich dieser bei den Beispielen mit Betonwerksteinplatten, Naturwerksteinplatten und keramischen Fliesen lediglich in der Oberflächengestaltung unterscheidet und die grundlegenden Arbeitsschritte für alle Beispiele, einschließlich der mit Holz- und WPC-Dielen, bis zur Oberkante des anstehenden Bodens identisch sind, erfolgt an dieser Stelle eine einheitliche Beschreibung des Bauablaufs für alle einbezogenen Beispiele.

Die Mindestdicke für den frostfreien Oberbau für F2-Böden beträgt in allen Varianten 30 cm. Die einzelnen Schichthöhen für die gebundene und die ungebundenen Bauweisen können Tabelle 2 entnommen werden.

Bei allen Beispielen wird in der ungebundenen Bauweise eine im verdichteten Zustand 23 cm dicke Schottertragschicht eingebaut. In der gebundenen Bauweise wird für die Beispiele mit Beton- und Naturwerkstein sowie mit keramischen Platten hingegen auf einer im verdichteten Zustand 13 cm dicken Frosttragschicht eine zweite 10 cm dicke gebundene Tragschicht aus Dränbeton eingebaut.

In beiden Bauweisen sollen die Tragschichten ohne und mit Bindemitteln über den gesamten Zeitraum der Nutzung einerseits einen gleichmäßigen, verformungsstabilen Lastabtrag in den Untergrund sowie andererseits eine schadensfreie Ableitung des über die Fugen eventuell eindringenden Niederschlagswassers gewährleisten.

Vor dem Einbau der Oberbauschichten werden bei allen Beispielen Randsteine aus Beton auf ein 8 cm dickes Betonfundament gesetzt und höhengerecht ausgerichtet.

Zudem werden die Randsteine zu beiden Seiten mit einer 8 cm dicken Rückenstütze aus Beton versehen, um eine stabile Einfassung des Plattenbelags zu gewährleisten.

Tabelle 2: Schichtenaufbau der gebundenen und ungebundenen Varianten nach ZTV-Wegebau

Mindestanforderungen Belagselemente und Fugen sowie Mindest- schichtdicken Oberbau inkl. Quellenbezügen	Ungebundene Bauweise auf Tragschicht ohne Bindemittel nach Abschnitt 3.2			Gebundene Bauweise mit gebundener Bettung und gebundenen Fugen auf Tragschicht aus hydraulischen Bindemitteln nach Abschnitt 3.3		
	Betonplatten	Natursteinplatten	Keramikplatten	Betonplatten	Natursteinplatten	Keramikplatten
Nennstärke Belagselement	30 mm nach Abschnitt 2.6	30 mm nach Abschnitt 2.7.3	30 mm nach Abschnitt 2.8	20 mm nach Abschnitt 2.6	20 mm nach Abschnitt 2.7.3	20 mm nach Abschnitt 2.8
Breite Fugen	4 mm ± 2 mm bei Platten ≤ 100 mm Nennstärke (10 mm ± 5 mm bei Platten aus Naturstein mit nicht gesägten Seitenflächen ≤ 120 mm Nennstärke) nach Abschnitt 3.2.3					
Mindeststärke für den frostfreien Oberbau für F2-Böden (gemäß ZTV E-StB)	30 cm nach Tabelle 9, Nr. 2 für die Verwendung von Schottertragschichten gemäß Fußnote 1					
Bettung	40 mm ± 10 mm (bei Verwendung von spaltfreien Platten aus Naturstein 50 mm ± 15 mm) im verdichteten Zustand nach Abschnitt 3.2.2			50 mm ± 10 mm (bei Verwendung von spaltfreien Platten aus Naturstein 50 mm ± 15 mm) nach Tabelle 14, Nr. 3 in Abschnitt 3.3.2 [zzgl. Haftbrücke nach Abschnitt 2.4.2 zwischen Plattenunterseite und Bettung]		
Tragschicht(en)	23 cm [keine offizielle Anforderung, aber als Differenz aus Mindeststärke für frostfreien Oberbau für F2-Böden abzüglich Mindestdicken Bettung und Belagselement (s.o.)]			Dränbetontragschicht (DBT) ≥ 100 mm nach Tabelle 13, Nr. 8 13 cm [keine offizielle Anforderung, aber als Differenz aus Mindeststärke für frostfreien Oberbau für F2-Böden abzgl. Mindestdicken Bettung, Belagselement und DBT (s.o.)]		

4.4.2 Beispiel 1a – Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten (ungebundene Bauweise)

Auf der Tragschicht wird eine 4 cm dicke Splittbettung aufgebracht. Diese sorgt für einen höhengerechten Ausgleich der zulässigen Maßtoleranzen der Betonwerksteinplatten und ermöglicht gleichzeitig eine flächige Auflage der Belagselemente zum gleichmäßigen Lastabtrag in die Unterlage.

Die Betonwerksteinplatten mit den Abmessungen 40/40/3 cm werden anschließend auf der Bettungsschicht verlegt.

Nachdem die Betonwerksteinplatten verlegt sind, wird Fugensand aufgebracht, eingekehrt und eingeschlämmt, um die Platten durch Abrütteln höhengerecht auszurichten und zu fixieren sowie die Fugenfüllung zu stabilisieren.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

Querschnitt

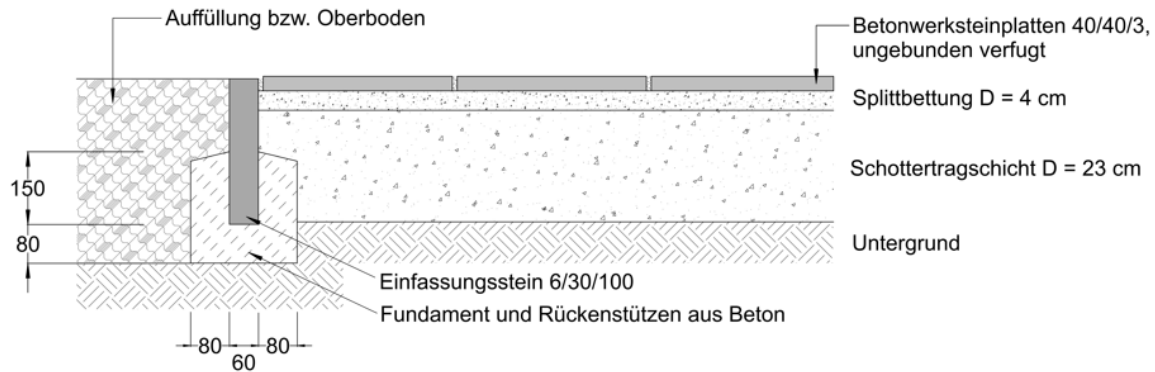


Abbildung 1: Terrassenaufbau zu Beispiel 1a –Betonwerksteinplatten in ungebundener Bauweise

4.4.3 Beispiel 1b – Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten (gebundene Bauweise)

Auf der 10 cm dicken Dränbetonträgerschicht wird eine weitere 5 cm dicke Schicht aus Bettungsmörtel aufgetragen. Die Mörtelschicht sorgt für einen höhengerechten Ausgleich der zulässigen Maßtoleranzen der Betonwerksteinplatten und ermöglicht durch den flächigen Verbund mit den Belagselemente nach ihrer Aushärtung eine hohe Lagestabilität und einen gleichmäßigen Lastabtrag in die Unterlage.

Die mit einem Haftvermittler versehenen Betonwerksteinplatten mit den Abmessungen 40/40/2 cm werden anschließend in den frischen Bettungsmörtel hammerfest und höhengerecht verlegt. Die vorgeschriebene Fugenbreite von 4 mm entspricht hier einem Fugenanteil von ca. 2 %.

Nachdem die Betonwerksteinplatten verlegt sind, werden die Fugen mit Fugenmörtel verfüllt.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist Abbildung 2 zu entnehmen.

Querschnitt

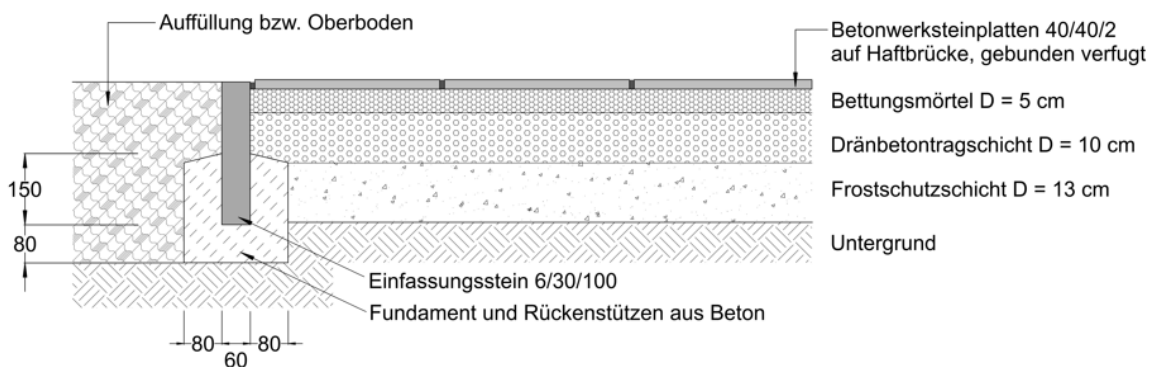


Abbildung 2: Terrassenaufbau zu Beispiel 1b –Betonwerksteinplatten in gebundener Bauweise

4.4.4 Beispiel 2a – Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten (ungebundene Bauweise)

Auf der Tragschicht wird eine 4 cm dicke Splittbettung aufgebracht. Diese sorgt für einen höhengerechten Ausgleich exakte Ausrichtung der zulässigen Maßtoleranzen der Naturwerksteinplatten und ermöglicht gleichzeitig eine flächige Auflage der Belagselemente zum gleichmäßigen Lastabtrag in die Unterlage.

Die Naturwerksteinplatten mit den Abmessungen 40/40/3 cm werden anschließend auf der Bettungsschicht verlegt.

Nachdem die Naturwerksteinplatten verlegt sind, wird Fugensand aufgebracht, eingekehrt und eingeschlämmt, um die Platten durch Abrütteln höhengerecht auszurichten und zu fixieren sowie die Fugenfüllung zu stabilisieren.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 3 zu entnehmen.

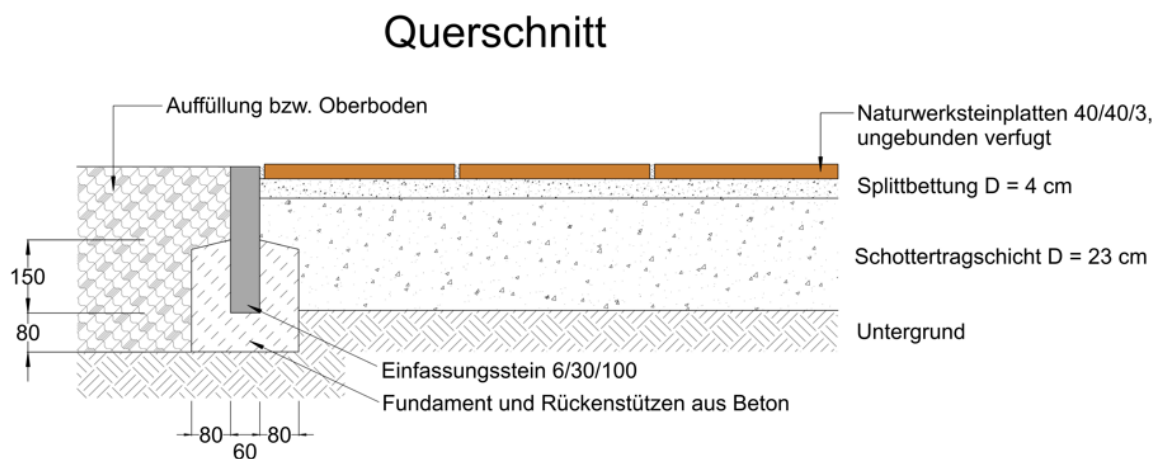


Abbildung 3: Terrassenaufbau zu Beispiel 2a –Naturwerksteinplatten in ungebundener Bauweise

4.4.5 Beispiel 2b – Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten (gebundene Bauweise)

Auf der 10 cm dicken Dränbetonträgerschicht wird eine weitere 5 cm dicke Schicht aus Bettungsmörtel aufgetragen. Die Mörtelschicht sorgt für einen höhengerechten Ausgleich der zulässigen Maßtoleranzen der Naturwerksteinplatten und ermöglicht durch den flächigen Verbund mit den Belagselemente nach der Aushärtung eine hohe Lagestabilität und einen gleichmäßigen Lastabtrag in die Unterlage. Die mit einem Haftvermittler versehenen

Naturwerksteinplatten mit den Abmessungen 40/40/2 cm werden anschließend in den frischen Bettungsmörtel hammerfest und höhengerecht verlegt. Die vorgeschriebene Fugenbreite von 4 mm entspricht hier einem Fugenanteil von ca. 2 %.

Nachdem die Naturwerksteinplatten verlegt sind, werden die Fugen mit Fugenmörtel verfüllt.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 4 zu entnehmen.

Querschnitt

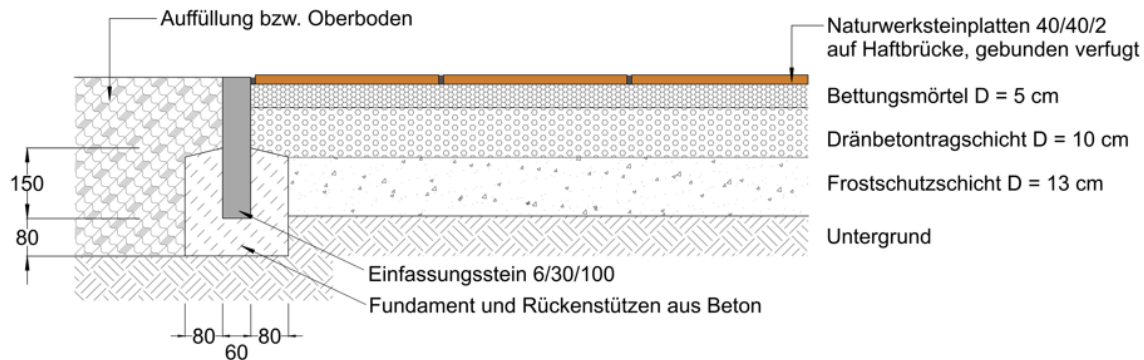


Abbildung 4: Terrassenaufbau zu Beispiel 2b –Naturwerksteinplatten in gebundener Bauweise

4.4.6 Beispiel 3a – Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen (ungebundene Bauweise)

Auf der Tragschicht wird eine 4 cm dicke Splittbettung aufgebracht. Diese sorgt für einen höhengerechten Ausgleich exakte Ausrichtung der zulässigen Maßtoleranzen der Naturwerksteinplatten und ermöglicht gleichzeitig eine flächige Auflage der Be-lagselemente zum gleichmäßigen Lastab-trag in die Unterlage. Die keramischen Fliesen mit den Abmessungen 40/40/3 cm werden anschließend auf der Bettungsschicht

verlegt. Diese Platten zeichnen sich durch ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber den typischen Belastungen von Fußgängerver-kehr aus und sorgen für eine langlebige, be-lastbare Oberfläche.

Nachdem die keramischen Fliesen verlegt sind, wird Fugensand aufgebracht, einge-kehrt und eingeschlämmt, um die Platten durch Abrütteln höhengerecht auszurichten und zu fixieren sowie die Fugenfüllung zu stabilisieren.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 5 zu entnehmen.

Querschnitt

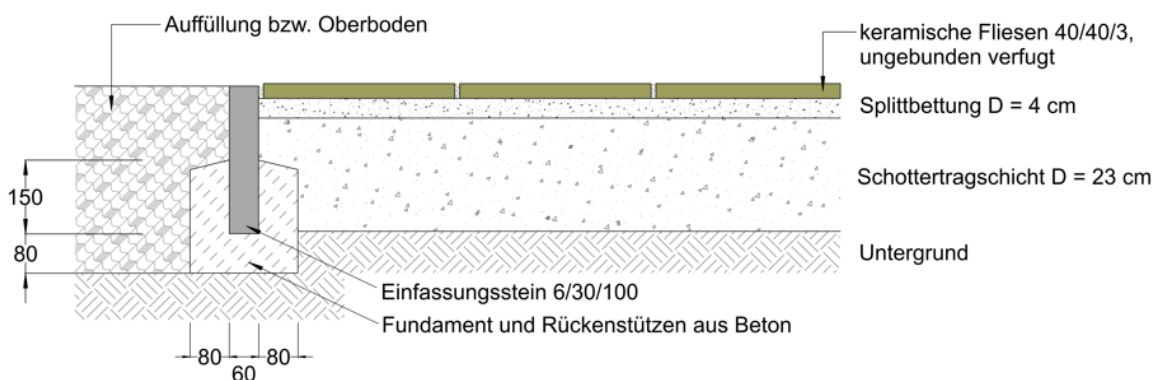


Abbildung 5: Terrassenaufbau zu Beispiel 3a –Keramische Fliesen in ungebundener Bauweise

4.4.7 Beispiel 3b – Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen (gebundene Bauweise)

Auf der 10 cm dicken Dränbetonträgerschicht wird eine weitere 5 cm dicke Schicht aus Bettungsmörtel aufgetragen. Die Mörtelschicht sorgt für einen höhengerechten Ausgleich der zulässigen Maßtoleranzen der Betonwerksteinplatten und ermöglicht durch den flächigen Verbund mit den Belagselemente nach ihrer Aushärtung eine hohe Lagestabilität und einen gleichmäßigen Lastabtrag in die Unterlage.

Die mit einem Haftvermittler versehenen keramischen Fliesen mit den Abmessungen 40/40/2 cm werden anschließend in den frischen Bettungsmörtel hammerfest und höhengerecht verlegt. Die vorgeschriebene Fugenbreite von 4 mm entspricht hier einem Fugenanteil von ca. 2 %.

Nachdem die Naturwerksteinplatten verlegt sind, werden die Fugen mit Fugenmörtel verfüllt und damit fixiert.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 6 zu entnehmen.

Querschnitt

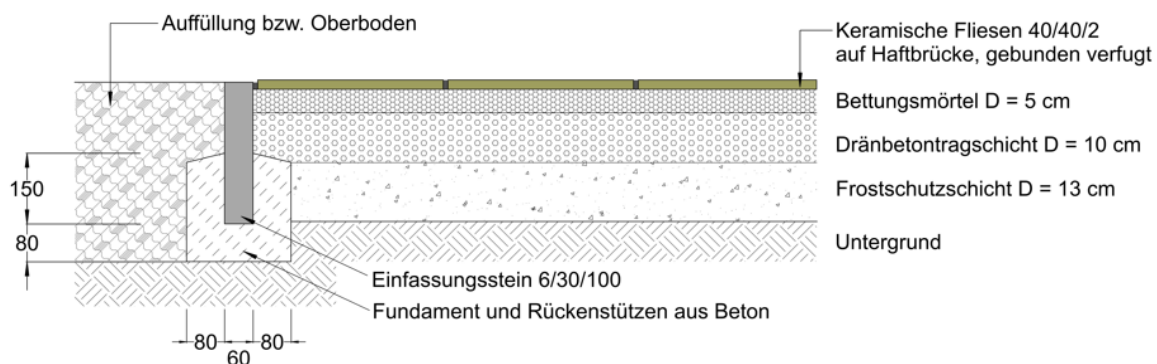


Abbildung 6: Terrassenaufbau zu Beispiel 3b –Keramische Fliesen in gebundener Bauweise

4.4.8 Beispiel 4 – Terrassenaufbau mit Holzdielen

Auf einer 4 cm dicken Splittbettung werden Beton-Gehwegplatten mit den Abmessungen 40/40/3 cm ausgelegt und mit einem Gummihammer höhengerecht gesetzt. Sie dienen als stabile Basis für die aufgestellte Unterkonstruktion des Holzdielenbelags

Die Unterlegstreifen, beispielsweise Anti-vibrationsmatten, werden zugeschnitten und auf den Betonplatten ausgelegt. Die Streifen dienen als Feuchtigkeitssperre und werden entsprechend der späteren Position der Kanthölzer der Unterkonstruktion ausgerichtet. Die Kanthölzer der Unterkonstruktion werden hochkant auf die Unterlegstreifen gelegt und mit den Betonplatten mittels Stahlwinkeln sicher verschraubt.

Der Abstand der Kanthölzer beträgt 50 cm, um die Stabilität der Konstruktion zu gewährleisten.⁵

Danach werden die zur Feuchtigkeitssperre und zur Abtrocknung der Konstruktion dienenden linienförmigen Abstandhalter, beispielsweise aus Bautenschutzmatte, auf den Kanthölzern angebracht, um die Langlebigkeit der Kanthölzer zu erhöhen.

Die Holzdielen mit den Abmessungen 14,5/2,8 cm werden mit vorgebohrten Schraublöchern auf der Unterkonstruktion verschraubt. Ein Fugenabstand von 7 mm zwischen den Dielen soll ausreichend Platz

für Materialausdehnung und Wasserabfluss gewährleisten. Die Abstände der Schrauben zu den Rändern und zwischen den Schraublöchern werden nach Herstellervorgaben eingehalten. Eine Blende aus Lochblech wird an den offenen Seiten der Unterkonstruktion angebracht. Sie schützt diese vor der Besiedlung mit Nagetieren und gewährleistet eine ausreichende Hinterlüftung, wodurch das Holz besser trocknen kann, und die Haltbarkeit der Terrassenkonstruktion verlängert wird.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 7 zu entnehmen.

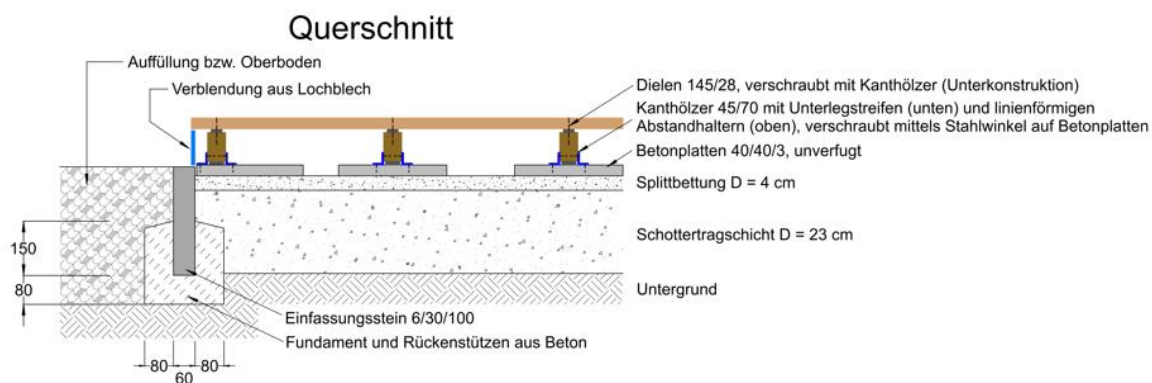


Abbildung 7: Terrassenaufbau zu den Beispielen 4 bis 6 – Dielen-Belag auf aufgestellter Unterkonstruktion

4.4.9 Beispiel 5 – Terrassenaufbau mit WPC-Dielen

Auf einer 4 cm dicken Splittbettung werden Beton-Gehwegplatten mit den Abmessungen 40/40/3 cm ausgelegt und mit einem Gummihammer höhengerecht gesetzt. Sie dienen als stabile Basis für die aufgestellte Unterkonstruktion des WPC-Dielenbelags.

Die Unterlegstreifen, beispielsweise Antivibrationsmatten, werden zugeschnitten und auf den Betonplatten ausgelegt. Die Streifen dienen als Feuchtigkeitssperre und werden entsprechend der späteren Position der Kanthölzer der Unterkonstruktion ausgerichtet. Die Kanthölzer der Unterkonstruktion werden hochkant auf die Unterlegstreifen gelegt und mit den Betonplatten mittels Stahlwinkeln sicher verschraubt.

⁵ Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2019.

Der Abstand der Kanthölzer beträgt 50 cm, um die Stabilität der Konstruktion zu gewährleisten.⁶

Danach werden die zur Feuchtigkeitssperre und zur Abtrocknung der Konstruktion dienenden linienförmigen Abstandshalter, beispielsweise aus Bautenschutzmatte, auf den Kanthölzern angebracht, um die Langlebigkeit der Kanthölzer zu erhöhen.

Die WPC-Dielen werden mit vorgebohrten Schraublöchern auf der Unterkonstruktion verschraubt. Ein Fugenabstand von 7 mm zwischen den Dielen soll ausreichend Platz für Materialausdehnung und Wasserabfluss zu gewährleisten. Die Abstände der Schrauben zu den Rändern und zwischen den Schraublöchern werden nach Herstellervorgaben eingehalten. Eine Blende aus Lochblech wird an den offenen Seiten der Unterkonstruktion angebracht. Sie schützt die diese vor der Besiedlung mit Nagetieren.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 7 zu entnehmen.

4.4.10 Beispiel 6 – Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen

Auf einer 4 cm dicken Splittbettung werden Beton-Gehwegplatten mit den Abmessungen 40/40/3 cm ausgelegt und mit einem Gummihammer höhengerecht gesetzt. Sie dienen als stabile Basis für die Unterkonstruktion des WPC-Dielenbelags.

Die Unterlegstreifen, beispielsweise Antivibrationsmatten, werden zugeschnitten und auf den Betonplatten ausgelegt. Die

Streifen dienen als Feuchtigkeitssperre und werden entsprechend der späteren Position der Kanthölzer der Unterkonstruktion ausgerichtet. Die Kanthölzer der Unterkonstruktion werden hochkant auf die Unterlegstreifen gelegt und mit den Betonplatten mittels Stahlwinkeln sicher verschraubt. Der Abstand der Kanthölzer beträgt 50 cm, um die Stabilität der Konstruktion zu gewährleisten.⁷

Danach werden die zur Feuchtigkeitssperre und zur Abtrocknung der Konstruktion dienenden linienförmigen Abstandshalter, beispielsweise aus Bautenschutzmatte, auf den Kanthölzern angebracht, um die Langlebigkeit der Kanthölzer zu erhöhen.

Die Thermowood-Dielen werden mit vorgebohrten Schraublöchern auf der Unterkonstruktion verschraubt. Ein Fugenabstand von 7 mm zwischen den Dielen soll ausreichend Platz für Materialausdehnung und Wasserabfluss zu gewährleisten. Die Abstände der Schrauben zu den Rändern und zwischen den Schraublöchern werden nach Herstellervorgaben eingehalten. Eine Blende aus Lochblech wird an den offenen Seiten der Unterkonstruktion angebracht. Sie schützt die diese vor der Besiedlung mit Nagetieren.

Der entsprechende Terrassenaufbau ist der Abbildung 7 zu entnehmen.

4.5 Beschreibung der einzelnen Schichten und Datensätze

Da die untersuchten Terrassenaufbauten einen ähnlichen Schichtenaufbau auf-

⁶ Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2019.

⁷ Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2019.

weisen, erfolgt die ausführliche Beschreibung der verschiedenen Befestigungsarten basierend auf den einzelnen Schichten. Die Zuordnung von spezifischen Prozess- und Fertigungsschritten zu den Modulen gemäß DIN EN 15804 ist in jedem Textabschnitt verzeichnet.

Beton der Druckfestigkeitsklasse C20/25

Beton wird hergestellt durch Mischen von Zement, grober und feiner Gesteinskörnung und Wasser, mit oder ohne Zugabe von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen. Der Frischbeton wird auf der Baustelle oder im Fertigteilwerk in Schalungen eingebracht, verdichtet und erhärtet in der gewünschten Form durch Hydratation des Zements zu einem festen künstlichen Gestein. Das deklarierte Produkt ist unbewehrter Beton, der als Transportbeton oder als Fertigteil auf die Baustelle geliefert wird. Bei bewehrten Bauteilen ist der Anteil des Bewehrungsstahls gesondert zu berücksichtigen. Zur Berechnung der Ökobilanz des durchschnittlichen Betons wurden die Ökobilanzen für Transportbeton und für Fertigteilbeton für die betrachtete Druckfestigkeitsklasse auf Grundlage der Produktionsdaten ermittelt. Die Durchschnittsbildung erfolgte gewichtet nach Produktionsvolumen von Transportbeton und Fertigteilbeton für die Druckfestigkeitsklasse C20/25. Dabei wird der aktuelle Produktionsanteil von Transportbeton und Fertigteilbeton in Deutschland in der Ökobilanzierung für die Druckfestigkeitsklasse C25/30 statistisch berücksichtigt.

Der verwendete Datensatz bezieht sich auf durchschnittliche Zusammensetzungen für Beton der Druckfestigkeitsklasse C20/25 in Deutschland zur Verwendung für Bauteile des üblichen Hoch-, Tief- und

Ingenieurbaus als Transportbeton oder Beton in Fertigteilen. Es beruht auf Daten, die für das Jahr 2021 von den Mitgliedern des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie e. V. und der Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e. V. erhoben wurden. Systemgrenze, bzw. Typ der EPD, ist Wiege bis Werkstor mit Optionen (vgl. Tabelle 1). Die gewählten Systemgrenzen umfassen die Herstellung des Betons einschließlich der Rohstoffgewinnung bis zum Einbau des fertigen Produktes.

Modul A1: Gewinnung und Aufbereitung der Betonausgangsstoffe, Produktion von Zement, Zusatzmitteln und Zusatzstoffen.

Modul A2: Transport der Rohstoffe zum Transportbeton-/Fertigteilwerk und interne Transporte.

Modul A3: Betonherstellung im Werk (im Fertigteilwerk: inkl. energetische Aufwendungen für Verdichtung und ggf. Wärmebehandlung).

Modul A4: Transport zur Baustelle. Es wird ein gewichtetes Mittel für den Transport zur Baustelle ausgewiesen.

Modul A5: Einbau von Transportbeton/Fertigteilen auf der Baustelle. Für die Umweltwirkungen werden die konservativeren Werte aus "Einbau Transportbeton" und "Einbau Fertigteilen" angegeben.

Modul B1: Karbonatisierung während der Nutzungsphase

B2–B7: Für Betonbauteile sind Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen während der Referenznutzungsdauer i. d. R. nicht erforderlich, sodass in diesen Modulen keine Umweltlasten anfallen.

Modul C1: Rückbau/Abbruch von Betongebäuden/-bauteilen

Modul C2: Transport von Betonabbruch zur

Aufbereitung

Modul C3: Brechen und Aufbereiten von Betonabbruchmaterial.

Modul D: Gutschrift für Verwendung von Betonabbruch⁸

Dränbeton

Dränbeton zeichnet sich durch eine offporige Struktur aus, die durch einen reduzierten Feinanteil und einen geringeren Zementgehalt erreicht wird. Mangels verfügbarer EPD-Datensätze für Dränbeton wurden die Umweltkennwerte anhand eines Mauermörtel-Dünnbettmörtels/Mörtels mit besonderen Eigenschaften aus der ÖKOBAUDAT verwendet. Diese Klasse wurde gewählt, da sie den charakteristischen Eigenschaften von Dränbeton – insbesondere der geringen Dichte und Druckfestigkeit infolge des erhöhten Porenanteils – am ehesten entspricht. Die Auswahl ermöglicht eine realistische Näherung aller relevanten Umweltindikatoren unter normkonformen Rahmenbedingungen.

Einfassungssteine/Betonrandsteine

Im Rahmen dieser Studie wird als Datengrundlage für die Ermittlung der Umweltwirkungen die in der ÖKOBAUDAT enthaltene Umweltproduktdeklaration für „A2-Betonpflaster-Standardstein grau mit Vorsatz“ herangezogen. Diese wurde gemäß DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804+A2 erstellt und extern verifiziert. Die EPD besitzt eine Gültigkeit bis 2026 und bezieht sich auf 1m² Betonpflastersteine, grau, mit Vorsatz, bei einer Dicke von 10 cm mit einem Flächengewicht von 230 kg/m². Sollte eine Umrechnung auf andere Formate bzw. Dicken

notwendig sein, erfolgt diese über eine Umrechnung der EPD-Werte in m³.

Die EPD bildet die Phasen Herstellung (Modul A1-A3), sowie Entsorgung (Modul C1-C4) und das Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial (Modul D) ab. Beim Modul C1 wird ein maschineller Ausbau, bei C2 ein Lkw-Transport von 100 km zur Aufbereitung, bei C3 ein 100 % Recycling im Zuge einer Bauschuttaufbereitung (Brechen der Betonsteine) und infolgedessen keine weiteren Aufwände in C4 berücksichtigt. Das EoL-Szenario umfasst ein 100 % Recycling durch Bauschuttaufbereitung mit stofflichen Gutschriften in D aus dem Einbau als Sekundärmaterial im Straßenbau. Die Betonprodukte werden mittels Lkw 100 km zum Einbauort transportiert (Modul A4). Die Verlegung der Produkte kann von Hand oder maschinell erfolgen. In dieser Studie wird ein Einbau von Hand (Modul A5) berücksichtigt.⁹

Schottertragschicht

Die Schottertragschicht besteht aus überwiegend gebrochenen Gesteinskörnungen (Brechsand, Splitt, Schotter) (Module A1-A3), welche 20 km mittels Lkw zum Einbauort transportiert werden (Modul A4). Für den Einbau und die Verdichtung werden Baumaschinen auf Dieselbasis eingesetzt.

Die Lebenszyklusanalyse von Schotter umfasst den Prozess der Kalkstein-Gewinnung im Steinbruch, die Reinigung und die Verkleinerung. Die Systemgrenze bildet das fertige Produkt Schotter am Werkstor. Transporte vom Werk zur Baustelle sind nicht berücksichtigt und müssen bei

⁸ siehe Tabelle 7: Fundamentierung

⁹ siehe Tabelle 7: Randsteine

Systembetrachtungen eingerechnet werden. In der Entsorgungsphase wird in Modul C1 ein maschineller Rückbau (Bagger) bilanziert. Der Transport in Modul C2 zur Aufbereitungsanlage erfolgt mit einem LKW (50 km). In Modul C3 wird das Material aufbereitet, eventuelle Bewehrung wird einer Senke (keine Lasten, keine Gutschriften) zugeführt. Es wurde ein Aufbereitungsverlust von 25 % angenommen. Dieser Verlust wird einer Inertstoffdeponie innerhalb von Modul C3 zugeführt (durchschnittliche Deponieemissionen). In Modul D erfolgt eine Gutschrift für die Netto-Materialmenge (ohne Bewehrungsanteil und abzüglich Aufbereitungsverluste) für die Substitution von natürlichem Kies als Verfüllmaterial (z. B. im Straßen- oder Deponiebau).¹⁰

Splittbettung

Als ungebundenes Bettungsmaterial für die Plattenbeläge wird ein Brechsand 0/2 mm (getrocknet) angenommen, da hierfür im Gegensatz zu einem Splitt 2/5 mm valide Datensätze vorliegen und er gemäß ATV DIN 18318 grundsätzlich geeignet und zulässig ist. Das Bettungsmaterial wird mittels LKW über 20 km zum Einbauort transportiert (Modul A4), und dort verarbeitet.

Die Lebenszyklusanalyse von Sand umfasst den Prozess der Rohkies-Gewinnung und die Aufbereitung im Kieswerk. Die Systemgrenze bildet das fertige Produkt Sand 0/2 mm am Werkstor. Transporte vom Werk zur Baustelle sind nicht berücksichtigt und müssen bei Systembetrachtungen eingerechnet werden. In der Entsorgungsphase wird in Modul C1 ein maschineller Rückbau (Bagger) bilanziert. Der Transport in Modul

C2 zur Aufbereitungsanlage erfolgt mit einem LKW (50km). In Modul C3 wird das Material aufbereitet. Es wurde ein Aufbereitungsverlust von 25 % angenommen. Dieser Verlust wird einer Inertstoffdeponie innerhalb von Modul C3 zugeführt (durchschnittliche Deponieemissionen). In Modul D erfolgt eine Gutschrift für die Netto-Materialmenge (abzüglich Aufbereitungsverluste) für die Substitution von natürlichem Kies als Verfüllmaterial (z. B. im Straßen- oder Deponiebau).¹¹

Fugenfüllung

Als ungebundenes Fugenmaterial für die Plattenbeläge wird ein Sand 0/2 mm angesetzt, da für ein Gesteinskörnungsgemisch 1/3 mm keine Daten zur Verfügung stehen. Der prozentuale Fugenanteil der einzelnen Plattenbeläge innerhalb der Beispiel 1 bis 3 ist abhängig von der jeweiligen Fugenbreite und den jeweiligen Abmessungen der verwendeten Platten. Für die Fugenbreiten wurden die einschlägigen Technischen Regeln zugrunde gelegt. Es ist ein Fugenanteil von 2,0 % pauschal angenommen worden (entspricht bei der gebundenen und ungebundenen Plattenverlegung einer Fugenbreite von 4 mm).

Der Bedarf an Platten zur Errichtung der Referenzfläche von 17,5 m² wird in dieser Studie um den jeweiligen prozentualen Volumenanteil abgemindert.

Das Fugenmaterial wird mittels LKW über 20 km Entfernung zum Einbauort

¹⁰ siehe Tabelle 7: Schottertragschicht

¹¹ siehe Tabelle 7: Bettungsschicht

transportiert (Modul A4) und dort manuell eingebaut (Modul A5).¹²

Für die Ökobilanzierung der gebundenen Plattenbeläge wurde eine Fugenbreite von 4 mm angenommen. Da für die Fugenfüllung lediglich geringe Materialmengen erforderlich sind und die Umweltwirkungen in diesem Kontext als marginal einzustufen sind, wurde zur Modellierung einheitlich auf den Datensatz für Flachbettmörtel zurückgegriffen. Dies ist aufgrund der materialtechnischen Ähnlichkeit gerechtfertigt, da zementgebundene Baustoffe derselben Produktgruppe angehören und vergleichbare ökobilanzielle Eigenschaften aufweisen.

Betonwerksteinplatten

Im Rahmen dieser Studie wird als Datengrundlage für die Ermittlung der Umweltwirkungen die in der ÖKOBAUDAT enthaltene Umweltproduktdeklaration für „A2-Betonpflaster-Standardstein grau mit Vorsatz“ herangezogen. Diese wurde gemäß DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804+A2 erstellt und extern verifiziert. Die EPD besitzt eine Gültigkeit bis 2026 und bezieht sich auf 1m² Betonpflastersteine, grau, mit Vorsatz, bei einer Dicke von 10 cm mit einem Flächengewicht von 230 kg/m². Sollte eine Umrechnung auf andere Formate bzw. Dicken oder durch eine zusätzliche Oberflächenbearbeitung notwendig sein, erfolgt diese über die Werte aus der EPD auf m³.¹³

Die EPD bildet die Phasen Herstellung (Modul A1-A3), sowie Entsorgung (Modul C1-C4), wobei bei C1 ein maschineller Ausbau mit einer Baumaschine, bei C2 ein Lkw-Transport von 100 km zur Aufbereitung, bei

C3 ein 100 % Recycling im Zuge einer Bauschuttauflbereitung (Brechen der Betonsteine) und infolgedessen keine weiteren Aufwände in C4 berücksichtigt wurden, und das Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial (Modul D) ab. Das EoL-Szenario umfasst ein 100 % Recycling durch Bauschuttauflbereitung mit stofflichen Gutschriften in D aus dem Einbau als Sekundärmaterial im Straßenbau. Die Betonsteine bzw. Betonplatten werden mittels Lkw 100 km zum Einbauort transportiert (Modul A4). Die Verlegung der Produkte kann von Hand oder maschinell erfolgen. In dieser Studie wird ein Einbau von Hand (Modul A5) berücksichtigt.

Naturwerksteinplatten

Im Rahmen dieser Studie wird als Datengrundlage für die Ermittlung der Umweltwirkungen der Datensatz aus der ÖKOBAUDAT bezüglich „Natursteinplatten, hart, Außenbereich, Dicke 8 cm“ verwendet. Dieser Datensatz wurde nach EN 15804+A2 für Nachhaltiges Bauen modelliert. Die Ergebnisse werden in Modulen abgebildet, die den strukturierten Ausdruck von Ergebnissen über den gesamten Lebenszyklus zulassen. Die Daten werden somit als belastbar eingestuft und können zur Durchführung einer Ökobilanzierung verwendet werden.

Der Datensatz für Natursteine, hart, Außenbereich, besitzt eine Gültigkeit bis 2024 und bezieht sich auf 1m² Fläche bei einer Dicke von 8 cm mit einem Flächengewicht von 208 kg/m². Für die Ökobilanzierung des Naturwerksteinbelags wurde ein EPD-Datensatz verwendet, dessen Gültigkeit gemäß IBU bis 2024 befristet war. Zum Zeitpunkt

¹² siehe Tabelle 7: Fugenmaterial

¹³ vgl. Anhang A Berechnungsgrundlagen für die Sachbilanz

der Analyse im Jahr 2025 lag keine aktualisierte Fassung vor. Da sich an den relevanten Produktionsprozessen sowie den eingesetzten Rohstoffen erfahrungsgemäß keine wesentlichen Veränderungen ergeben haben, wurde der Datensatz weiterhin als technisch repräsentativ und für den Vergleich verwendbar eingestuft. Die Berücksichtigung erfolgt unter Beachtung der Anforderungen aus DIN EN 15804, insbesondere im Hinblick auf Datenaktualität, Konsistenz und Transparenz.

Die vorliegende EPD für Natursteine bezieht sich auf eine definierte Produktkonfiguration mit festgelegter Dicke und Flächengewicht. Zur Vergleichbarkeit und zur flexiblen Anwendung auf unterschiedliche Konstruktionsvarianten wurde die EPD zunächst auf die Bezugsgröße 1 m³ umgerechnet. Diese Vorgehensweise erlaubt es, die Umweltauswirkungen bei abweichenden Bauteildicken proportional und konsistent zu skalieren, sofern keine grundlegend unterschiedlichen Rezepturen oder Produktionsprozesse anzunehmen sind. Die Lebenszyklusanalyse von Naturwerksteinplatten für

den Außenbereich berücksichtigt im verwendeten Datensatz die Abschnitte der Rohstoffgewinnung von Granit sowie dessen Weiterverarbeitung (Gatter, Schleifstraße, Mehrblattsäge). Zudem wird der Transport nach Deutschland (Modul A4) auf Grundlage der in der ÖKOBAUDAT festgelegten Werte sowie eines alternativen Szenarios berücksichtigt. Zwischen Abbauort und Bearbeitungsort wurde eine mittlere Entfernung von 20 km festgelegt.

Der Betrachtung liegen die in der Tabelle 3: Annahmen zu Transportmittel und Transportdistanzen für Herkunftsmix 1 & 2 für Natursteine beschriebenen Herkunftsmix-Szenarien zu Grunde. Dabei stammen im 1. Szenario 50 % der Natursteine aus China, 43 % aus Europa (ohne Deutschland) und 7 % aus Deutschland. In Szenario 2 stammen 40 % aus China, 30 % aus Europa (ohne Deutschland) und 30 % aus Deutschland. Szenario 1 spiegelt die verwendeten Transportdistanzen des in der ÖKOBAUDAT vorhandenen Datensatzes wider. Szenario 2 ist mit aufgenommen worden, um ein gegenüber Szenario 1 alternativen Ansatz mit entsprechend kürzeren Transportwegen zu untersuchen

Tabelle 3: Annahmen zu Transportmittel und Transportdistanzen für Herkunftsmix 1 & 2 für Natursteine

Herkunftsmix-Szenarien und Transportmittel	Herkunftsland und Verteilung		
	China	Europa	Deutschland
Herkunftsmix 1	50%	43%	7%
Herkunftsmix 2	40%	30%	30%
Transportmittel	Herkunftsland und Transportentfernung		
Containerschiff	18.880 km		-
Bahntransport	500 km	1.000 km	-
LKW	60 km	100 km	350 km

In der Entsorgungsphase wird in Modul C1 ein maschineller Rückbau (Bagger) bilanziert. Der Transport in Modul C2 zur Aufbereitungsanlage erfolgt mit einem Lkw (50 km). In Modul C3 wird das Material aufbereitet. Es wurde ein Aufbereitungsverlust von 25 % angenommen. Dieser Verlust wird einer Inertstoffdeponie innerhalb von Modul C3 zugeführt (durchschnittliche Deponieemissionen). In Modul D erfolgt eine Gutschrift für die Netto-Materialmenge

Keramische Fliesen

Keramische Fliesen und Platten werden durch Strangpressen, Trockenpressen oder andere Verfahren geformt, anschließend getrocknet und dann einfach oder zweifach gebrannt, um die gewünschten und geforderten Eigenschaften zu entwickeln. Die hier betrachteten Produkte erfassen Wand- und Bodenfliesen in sämtlichen Formaten, Oberflächen (z. B. glasiert bzw. vergütet und unglasiert) und Farben sowie alle definierten Klassifizierungs- und Bewertungsgruppen. Die übliche Eingruppierung keramischer Fliesen in Steingut, Steinzeug, Feinsteinzeug und Spaltplatten hat sich aus dem Sprachgebrauch entwickelt. Steingut ist poröser und hat eine höhere Wasseraufnahmefähigkeit. Es wird glasiert und überwiegend im Innenbereich eingesetzt. Steinzeug sowie Feinsteinzeug nehmen dagegen wesentlich weniger Wasser auf. Dies macht sie frostbeständiger und auch als Bodenbelag besonders strapazierfähig. Bei Spaltplatten, also bei stranggepressten Produkten, verhält es sich ähnlich.

Die verwendete Umweltproduktdeklaration bezieht sich auf keramische Fliesen und

(abzüglich Aufbereitungsverluste) für die Substitution von natürlichem Kies als Füllmaterial (z. B. im Straßen- oder Deponiebau).

In der Regel können ungebunden verlegte Naturwerksteine nach ihrem Ausbau direkt wiederverwendet werden. Die in der ÖKOBAUDAT hinterlegten Daten gehen jedoch nicht davon aus, und berücksichtigen das zuvor beschriebene EoL-Szenario.¹⁴

Platten des Bundesverbands Keramische Fliesen e. V. Die Ökobilanzdaten wurden im Jahr 2020 in Mitgliedswerken des Verbands erfasst. Die EPD besitzt eine Gültigkeit bis 2027 und bezieht sich auf 1 m² keramische Fliesen mit einer Dicke von 12 cm und einem Flächengewicht von 17,97 kg/m². Sollte eine Umrechnung auf andere Formate bzw. Dicken notwendig sein, erfolgt diese über eine Umrechnung der Werte aus der EPD auf m³.

Die Ökobilanz ist repräsentativ für sechs Firmen und neun Werke des Verbandes, die insgesamt rund 65 % des gesamten inländischen Produktionsvolumens herstellen.¹⁵

Holzdielen

Da keine spezifischen, durchschnittlichen oder generischen Umweltproduktdeklarationen für Holzterrassendielen vorliegen, erfolgt die Bewertung anhand eines Durchschnittswerts aus fünf verfügbaren EPDs für vergleichbare Holzprodukte. Diese Produkte weisen ähnliche Materialeigenschaften und Umweltwirkungen auf, sodass eine belastbare Abschätzung der ökologischen Auswirkungen möglich ist. Für den Durchschnittsdatensatz wurde mit einer

¹⁴ siehe Tabelle 7: Natursteinplatte

¹⁵ siehe Tabelle 7: Keramische Fliesen

gemittelten Dichte von 484,41 kg/m³ für den Transport gerechnet. Die herangezogenen EPDs umfassen: ¹⁶

- Nadelschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE) mit 484,51 kg/m³
- Balkenschichtholz (Durchschnitt DE) mit 500,36 kg/m³
- Brettschichtholz – Standardformen (Durchschnitt DE) mit 507,11 kg/m³
- Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) mit 492,92 kg/m³
- Brettspertholz (Durchschnitt DE) mit 489,41 kg/m³

Die Berechnung basiert zusätzlich zu den in der ÖKOBAUDAT angegebenen Daten auf drei weiteren Herkunftsszenarien, die die gängige Marktpraxis¹⁷ widerspiegeln und eine differenzierte Analyse der Umweltwirkungen ermöglichen. Die gewählten Szenarien sind nachfolgend aufgeführt:

- Szenario 1: Deutschland
- Szenario 2: Baltikum
- Szenario 3: Skandinavien
- Szenario 4: Nordamerika

Die verwendeten durchschnittlichen Transportstrecken, die in die Berechnung der Ökobilanzergebnisse für das Modul A4 für Holzprodukte aus den verschiedenen Herkunftsregionen einfließen, sind in Tabelle 4 aufgeführt. Sie ermöglichen eine realitätsnahe Einschätzung der Umweltauswirkungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Lieferketten und Herkunftsquellen.

Die gewählte Methode stellt trotz fehlender spezifischer Daten eine fundierte Grundlage für die ökologische Bewertung von Holzterrassendielen dar. Dabei werden Holz anderer Herkunft als Deutschland die gleichen Werte unterstellt, sofern keine spezifischen Informationen zu den jeweiligen Herkunftsländern vorliegen, wobei Annahmen zu Transportwegen und den damit verbundenen Emissionen getroffen werden, um die Umweltauswirkungen entsprechend realistisch abzubilden.

Tabelle 4: Herkunftsmix-Szenarien für Holzdielen mit Herkunftsland, Transportmittel und Transportentfernung

Herkunftsszenarien Holzdielen	Containerschiff	LKW
Deutschland		111 km
Baltikum	900 km	350 km
Skandinavien	850 km	350 km
Nordamerika/Kanada	8.500 km	350 km

Bei der Ermittlung der zu Grunde gelegten Transportdistanz für die betrachteten Szenarien wurde wie folgt vorgegangen:

Szenario 1: Es wurden die in der EPD hinterlegten Transportdistanzen von 111 km für Modul A4 verwendet.

¹⁶ siehe Tabelle 7: Terrassendiele (Durchschnittsbildung)

¹⁷ Bösch, 2023.

Szenario 2: Für Holz aus dem Baltikum gibt es mehrere typische Transportwege nach Deutschland. Die Distanzen hängen stark von den jeweiligen Herkunfts- und Zielorten sowie den gewählten Transportmitteln ab. Da in dieser Studie keine expliziten Herkunftsorte, sondern nur Regionen betrachtet werden, wurde für das Baltikum (Estland, Lettland, Litauen) mit folgenden Annahmen gerechnet. Als Haupthäfen für die getroffenen Annahmen sind Riga (Lettland), Klaipėda (Litauen) und Tallinn (Estland) gewählt worden. Als Zielhäfen wurden Rostock und Hamburg definiert. Der Transport findet in der Regel über den Seeweg vom Baltikum nach Deutschland statt. Die Transportdistanzen von Riga / Klaipėda / Tallinn nach Rostock / Hamburg betragen ca. 800 bis 1.200 km. Nach der Ankunft in Deutschland wird das Holz über durchschnittliche Distanzen von 200 bis 500 km per Lkw oder Bahn zu den Endabnehmern transportiert. Alternativ wäre auch ein Bezug per Bahntransport über Polen über ca. 1.300 bis 1.700 km möglich. Die Berechnungen in dieser Studie beziehen sich jedoch auf den Ansatz per Seeweg und die Weiterverteilung per Lkw. Die Berechnungen der Emissionen in Modul A4 werden für die festgelegten Transportmittel mit dem Mittelwert der recherchierten Angaben durchgeführt.

Szenario 3: Für Holz aus dem skandinavischen Raum gibt es mehrere typische Transportwege nach Deutschland. Die Distanzen hängen stark von den jeweiligen Herkunfts- und Zielorten sowie den gewählten Transportmitteln ab. Da in dieser Studie keine expliziten Herkunftsorte, sondern nur Regionen betrachtet werden, wurde für Skandinavien (Dänemark,

Schweden, Norwegen, Finnland) mit folgenden Annahmen gerechnet.

Dänemark verfügt über eine gut ausgebaute Infrastruktur, die den Transport von Holzprodukten nach Deutschland erleichtert. Typischerweise erfolgt der Transport per Lkw, da die geografische Nähe und die effizienten Straßennetze dies begünstigen. Die durchschnittliche Transportdistanz zwischen dänischen Produktionsstätten und deutschen Importeuren liegt bei etwa 300 bis 500 km.

Der Transport von Holzprodukten von Schweden, Norwegen und Finnland erfolgt in der Regel per Seeweg.

Als Haupthäfen für Schweden werden Göteborg, Trelleborg und Malmö definiert. Als Zielhäfen in Deutschland werden Rostock, Kiel und Hamburg definiert. Somit ergibt sich eine Transportdistanz für den Schiffs-transport von ca. 500 bis 800 km. Nach der Ankunft in Deutschland wird das Holz über durchschnittliche Distanzen von 200 bis 500 km überwiegend per Lkw zu den Endabnehmern transportiert.

Als Haupthäfen für Norwegen werden Oslo und Bergen definiert. Als Zielhäfen in Deutschland werden Rostock, Kiel und Hamburg definiert. Somit ergibt sich eine Transportdistanz für den Schiffs-transport von 700 bis 1.000 km. Nach der Ankunft in Deutschland wird das Holz über durchschnittliche Distanzen von 200 bis 500 km überwiegend per Lkw zu den Endabnehmern transportiert.

Als Haupthäfen für Finnland werden Helsinki und Turku definiert. Als Zielhäfen in Deutschland werden Lübeck und Rostock definiert. Somit ergibt sich eine Transport-

distanz für den Schifftransport von 900 bis 1.400 km. Nach der Ankunft in Deutschland wird das Holz über durchschnittliche Distanzen von 200 bis 500 km überwiegend per Lkw zu den Endabnehmern transportiert.

Werden alle diese Annahmen aggregiert und auf die Region Skandinavien übertragen ergeben sich durchschnittliche Transportdistanzen von 700 bis 1.000 km Seetransport und durchschnittliche Transportdistanzen von 200 bis 500 km für den Lkw-Transport in Deutschland. Für die Modellierung der Ergebnisse in Modul A4 wird jeweils mit dem Mittelwert der angegebenen Durchschnittsdistanzen gerechnet.

Szenario 4: Der Import von Holz aus Nordamerika/Kanada nach Deutschland erfolgt primär über den Seeweg mittels Containerschiffs. Die transatlantische Strecke von kanadischen Häfen (z. B. Vancouver) zu deutschen Häfen (z. B. Hamburg) beträgt etwa 8.000 bis 9.000 km. Nach der Ankunft in Deutschland wird das Holz über durchschnittliche Distanzen von 200 bis 500 km überwiegend per Lkw zu den Endabnehmern transportiert.

WPC (Wood Plastic Composite)

Bei dem deklarierten Produkt handelt es sich um speziell für den Außenbereich geeignete Holz- Kunststoff-Terrassendielen. Die Kunststoffmatrix kann entweder aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polyvinylchlorid (PVC) bestehen.

Modul A1-3: Für die Herstellung findet die aggregierte Darstellung in Form von A1-3 Verwendung. Darunter fallen die Rohstoffversorgung, die Herstellung der WPC-

Terrassendiele, alle Transporte zum Hersteller, die benötigten Energieverbräuche und Ressourcen sowie jegliche anfallende Produktionsabfälle.

Modul A4: Transport des Produktes von dem Hersteller zur Baustelle

Modul B2: Instandhaltung der WPC-Terrassendielen während der Nutzungsphase: Reinigung der WPC-Terrassendiele

Modul C2: Transport des ausrangierten Produktes zum Recyclinghof oder Hersteller

Modul C3 – Abfallbehandlung, wie thermische oder stoffliche Verwertung: Auf Grund der gewählten Systemgrenzen (Definition des End-of-waste Status) findet keine Abfallbeseitigung (Modul C4) der WPC-Terrassendiele statt. Es wird somit nur der Export der materialinhärenten Eigenschaften bilanziert. Nach Herstellerangaben kann davon ausgegangen werden, dass 70 % der WPC-Produkte stofflich und 30 % thermisch verwertet werden. Es werden in Teil 5 jeweils 100 % Szenarien zur stofflichen und thermischen Verwertung deklariert. Der durchschnittliche Transportweg zwischen Endverbraucher und Entsorgungsanlage beträgt 250 km.

Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb des betrachteten Systems durch thermische und stoffliche Verwertung.¹⁸

Für das WPC wird von einer Herstellung in Deutschland ausgegangen. WPC wird von mehreren Herstellern in Deutschland produziert. Es wird deutschlandweit vertrieben. Die Produktionsstandorte liegen oft in Ballungsräumen mit guter Verkehrsanbindung.

¹⁸ siehe Tabelle 7: Terrassendiele: Alternative aus WPC

WPC wird in der Regel per Lkw transportiert, da es für den Bahntransport eher unüblich ist. Hersteller liefern entweder direkt an Baustellen oder an Baumärkte/Zwischenhändler, von wo aus Endkunden es beziehen. Da sich Produktion und Absatz in ganz Deutschland verteilen, wird von folgenden Transportdistanzen ausgegangen:

- Kurze Strecke (lokaler Einbau, direkte Nähe zur Fabrik): 50 bis 150 km
- Mittlere Distanz (bundesweiter Vertrieb, größere Städte): 200 bis 400 km
- Weite Distanzen (weniger frequentierte Regionen): 500 bis 700 km

Als realistische Durchschnittsdistanz wird in dieser Vergleichenden Ökobilanz von einer durchschnittlichen Transportdistanz von 300 bis 400 km ausgegangen. Daher wird für die Modellierung der Ergebnisse mit einem Mittelwert von 350 km gerechnet.

Thermowood

Thermowood ist Holz, das durch ein spezielles thermisches Verfahren (Thermobehandlung) behandelt wurde, um seine Eigenschaften zu verbessern und es widerstandsfähiger gegen Witterungseinflüsse zu machen. Diese Behandlung erfolgt bei hohen Temperaturen (180 bis 230°C) in einem sauerstoffarmen Umfeld, wodurch chemische Reaktionen im Holz ausgelöst werden.

Da hier keine Durchschnitts-EPDs von Verbänden existieren, werden in diesem Fall drei öffentlich verfügbare und zugängliche verifizierte spezifischen EPD-Datensätze verwendet. Um die Marktsituation realistisch abzubilden, wurde hierbei auf EPDs

aus den Ländern Dänemark, Schweden und Lettland zurückgegriffen (EPD-Nr. siehe Tabelle 7). Die Umweltproduktdeklarationen wurden nach DIN EN 15804 erstellt und extern verifiziert und sind somit für eine Vergleichbarkeit geeignet.

Modul A1-3: In der Produktionsstätte wird das Holz gehobelt/profilert und zur Verbesserung der Holzeigenschaften thermisch modifiziert. Schließlich wird das Holz für den Versand verpackt. Die angenommenen Transportentfernungen können Tabelle 5 entnommen werden. Die Herstellungsphase umfasst die Beschaffung aller Rohstoffe, Produkte und Energie, den Transport zur Produktionsstätte, die Verpackung und die Abfallbehandlung bis zum "End-of-Waste"-Zustand oder zur endgültigen Entsorgung. Die LCA-Ergebnisse werden in aggregierter Form für die Produktstufe deklariert, was bedeutet, dass die Teilmodule A1, A2 und A3 als ein Modul A1-A3 angegeben werden.

Modul A4: Transport des Produktes von dem Hersteller zur Baustelle unter Berücksichtigung der Szenarien der Herkunftsländer Dänemark, Lettland und Schweden.

Modul C1-4: Die verwendeten EPDs legen unterschiedliche Szenarien für die Entsorgungsphase fest und können den angehängten EPDs entnommen werden. Da es sich hierbei um spezifische EPDs handelt, werden die Energiemixe und Gutschriften für die jeweiligen Herkunftsländer berücksichtigt.

Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb des betrachteten Systems.

Tabelle 5: Annahmen zu Transportmittel und Transportdistanzen für Thermowood

Herkunftsland Thermowood	Containerschiff	LKW
Dänemark	-	600 km
Lettland	900 km	350 km
Schweden	650 km	350 km

Unterlegstreifen

Der Datensatz repräsentiert ein Cradle-to-Gate-Inventar. Er kann verwendet werden, um die Lieferkette des jeweiligen Produktes in einer repräsentativen Weise zu charakterisieren. Die Kombination mit einzelnen Einheitenprozessen und diesem Produkt ermöglicht die Erstellung von anwenderspezifischen (Produkt-) LCAs.

Dieser Datensatz wurde nach dem European Standard DIN EN 15804+A2 für Nachhaltiges Bauen modelliert. Ergebnisse werden in Modulen abgebildet, die den strukturierten Ausdruck von Ergebnissen über den gesamten Lebenszyklus zulassen.

Die Lebenszyklusanalyse der CR-Profile umfasst die Herstellung eines Kunststoff-Extrusionsprofils unter Verwendung von Chloropren-Kautschuk sowie dessen Entsorgung. Die energetischen und stofflichen Aufwendungen für die Extrusion sind in der Bilanz berücksichtigt. In Modul C1 wird ein manueller Rückbau (lastenfrei) angenommen. Sammelverluste werden vernachlässigt. Der Transport in Modul C2 zur Verwertungsanlage erfolgt mit einem Lkw (50 km). In Modul C3 wird die Zerkleinerung und thermische Behandlung (Verbrennung) des Materials berücksichtigt. In Modul D erfolgen Gutschriften für die Substitution von

Strom (deutscher Strommix) und thermischer Energie (aus Erdgas).¹⁹

Kanthölzer

Aufgrund der hohen Abdeckung bildet der Datensatz die durchschnittlichen Produktionsverhältnisse und die damit verbundenen Umweltwirkungen repräsentativ für Deutschland ab. Liegen keine herstellereinspezifischen Ökobilanzergebnisse des verwendeten Produkts vor, empfiehlt sich die Verwendung dieses Durchschnittsdatensatzes.

Der Datensatz wurde 2023 als Aktualisierung mit gleichbleibendem Vordergrundssystem erstellt. Alle Hintergrunddaten entstammen der GaBi Professional Datenbank in der Content Version 2023.1. Die Modellierung und Berechnung der Ökobilanz basiert auf den europäischen Normen DIN EN 15804:2012 +A2:2019 und DIN EN 16485:2014.

Konstruktionsvollholz ist ein industriell gefertigtes Produkt für tragende Konstruktionen. Es besteht aus in der Länge kraftschlüssig mittels Keilzinkenverbindungen gestoßenen, kammergetrockneten Kanthölzern aus Nadelholz. Die im Produkt enthaltenen Bindemittel sind vorwiegend auf Basis von Melamin-Harnstoff-Formaldehyd und Polyurethan. Vereinzelt kommen Phenol-Resorzin-Harze zum Einsatz. Das

¹⁹ siehe Tabelle 7: Unterlegstreifen

Produkt wird nicht mit Holzschutzmitteln oder ähnlichen Mitteln behandelt. Das auf weniger als 18 % Holzfeuchte getrocknete konventionelle Schnittholz (kammergetrocknetes Schnittholz) wird zunächst vorgehobelt und visuell bzw. maschinell nach der Festigkeit sortiert (Hobelware). Identifizierte Kantholzabschnitte mit festigkeitsvermindernden Stellen werden abhängig von der erwünschten Festigkeitsklasse ausgekappt und die entstandenen Kanthölzer werden je nach gewünschter Länge ggf. durch Keilzinkenverbindung zu endlos langen Lamellen gestoßen. Nach Aushärtung, bei nicht keilgezinktem Konstruktionsvollholz unmittelbar nach der Festigkeitssortierung, wird der Rohling gehobelt, gefast, abgebunden und verpackt. Die Holzfeuchte des Produktes liegt bei 12 %.²⁰

Winkel zum Verschrauben

Diese Umweltproduktdeklaration bezieht sich auf Baustahl-Profile und Stabstahl, die zu 100 % aus Stahlschrott recycelt werden. Es ist anzumerken, dass für Stahlwinkel keine spezifischen Umweltproduktdeklarationen vorliegen. Aus diesem Grund war es notwendig, mittels Umrechnungen diese Werte entsprechend auf Stahlwinkel zu übertragen. Es wird betont, dass diese Umrechnung mit Unsicherheiten behaftet ist, wodurch eine quantitativ schwer zu beziffernde Unsicherheit in den Ergebnissen besteht. Potenzielle Abweichungen und Risiken sind daher zu berücksichtigen.

Die Module A1-A3 umfasst die Herstellungsphase einschließlich der vorgelagerten Belastungen durch eingekaufte Rohstoffe (Ferrolegierungen, Kalk, Dolomit usw.), ihre

Transporte und die Herstellung an den untersuchten Produktionsstätten. Material- und Energieflüsse für den Elektrolichtbogenofen und die Warmbreitbandstraßen werden berücksichtigt. Der Stromverbrauch wird über den residualen Netzmix modelliert (z. B. Produktion in Deutschland + Importe - Exporte - zertifizierter „grüner“ Strom).

Die Module C1-C4 berücksichtigen die Demontage des betrachteten Produktes (C1), den Transport der demontierten Komponenten zu ihrem endgültigen EoL-Bestimmungsort (C2), die Abfallverarbeitung zur Wiederverwendung, Verwertung oder Recycling (C3) sowie die Entsorgung (C4). Modul D bezieht sich auf das EoL, einschließlich Recycling und/oder Wiederverwendung.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die zugrunde liegende Umweltproduktdeklaration drei EoL-Szenarien unterscheidet. Dabei wird Szenario 3 herangezogen, das die europäische Praxis (Durchschnitt) am Ende der Lebensdauer von Stahlprodukten abbildet. In Europa werden 88 % der Stahlprodukte in einem geschlossenen Kreislauf recycelt, während 11 % der strukturellen Stahlelemente direkt wiederverwendet werden. Diese Daten beruhen auf Schätzungen der Industrie und Angaben der Europäischen Kommission, Technische Stahlforschung.²¹

Schrauben aus Edelstahl

Diese EPD bezieht sich auf Holzbauschrauben, Spanplattenschrauben, Bohr- und Blechschrauben, Schrauben für Kunststoffe, metrische Schrauben und stift-

²⁰ siehe Tabelle 7: Kanthölzer

²¹ siehe Tabelle 7: Winkel zum Verschrauben

förmige Verbindungsmittel mit Gewinde aus Stahl oder Edelstahl. Je nach Schraubentyp werden diese Produkte in der Regel zur Befestigung zweier oder mehrerer Bauteile aus Holz, Stahl oder Kunststoff verwendet. Beispielhafte Anwendungsbereiche sind der Holzbau, Möbel-, Fenster- oder Dachbau sowie Metalleicht- und Stahlbau. Beispielhafte Würth Produktgruppen sind ASSY, Pias und Piasta Schrauben. Die deklarierten Umweltdaten, bezogen auf 1 kg Edelstahl, basieren auf einem gewichteten Durchschnitt des Herstellungsprozesses von Edelstahlschrauben in einem Würth-Produktionswerk, z. B. der SWG Schraubenwerk Gaisbach GmbH. Die EPD wurde in Übereinstimmung mit DIN EN 15804 + A2: 2022-03 erstellt.

Systemgrenze: Cradle-to-Gate – mit Optionen, Module C1-C4 und Modul D (A1-A3 + C + D und zusätzliche Module: A4, A5).

Die Herstellungsphase (A1-A3) umfasst:

- A1 Rohstoffbeschaffung und -verarbeitung (hauptsächlich Stahl),
- A2 Transport der Rohstoffe zum Hersteller,
- A3 Produktion von Edelstahlschrauben (inkl. Energiebereitstellung, Behandlung von Produktionsabfällen, Herstellung von Verpackungsmaterial).

Die Bauphase (A4-A5) umfasst:

- A4 Transport zur Baustelle 100 km mit Lkw,
- A5 Entsorgung der Verpackung und Einbau der Edelstahlschrauben.

Die EoL-Phase (C1-C4) umfasst:

- C1 maschinengestützter Rückbau (Handschauber; batteriebetrieben)
- C2 Transport zur Abfallverwertung (50 km mit LKW). Die Transportdistanz kann bei Bedarf auf Gebäudeebene angepasst werden (z. B. für 100 km tatsächliche Transportdistanz: LCA-Werte mit Faktor 2 multiplizieren)
- C3 Abfallverwertung zur Wiederverwertung des Edelstahls
- C4 keine Bestandteile des Produkts werden deponiert.

Nutzen und Lasten jenseits der Systemgrenze (Modul D) beinhaltet:

- Materialrückgewinnungspotenziale durch Metallrecycling und Energierückgewinnungspotenziale durch die thermische Verwertung der Verpackung.

Während in der ÖKOBAUDAT von einer Rohdichte von $1,00 \text{ kg/m}^3$ ausgegangen wird, wird mit einer abweichenden, für Edelstahl üblichen Rohdichte von 7.850 kg/m^3 , aus Gründen der Materialgenauigkeit und praxisnahen Annahmen gerechnet.²²

Abstandhalter

REGUPOL-Bahnenware wird verwendet zum Schutz von Flachdächern, als Beläge zur Erhöhung des Gleitreibwertes (Ladungssicherung), als Nutz-/Sichtbelag im Sport-/Fitnessbereich, als Belag im Innen-/Außenbereich sowie zur Entkopplung von Gebäuden (Schwingungsisolierung).

²² siehe Tabelle 7: Schrauben

Bei REGUPOL-Bahnen handelt es sich um einen elastischen Bodenbelag, hauptsächlich hergestellt aus recyceltem Gummi. Die REGUPOL-Bahnenware setzt sich wie folgt zusammen:

- ca. 10 % Polyurethan (PU)-Binder
- ca. 90 % Rezyklate (Kautschuk/Schäume, Ethylen-Vinylacetat (EVA), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)-Gummi + Neuware, Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM), Holz, Kork)

Zur Berechnung der Ökobilanz wurden folgende Module berücksichtigt:

- A1: Rohstoffversorgung
- A2: Transport
- A3: Herstellung
- A5: Montage
- C2: Transport
- C3: Abfallbehandlung
- D: Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenziale

Dabei gehören alle Rohstoffe und benötigten Verpackungen dieser Rohstoffe sowie Prozessaufwände zur Aufbereitung der Rezyklate zu A1. Die Herstellung der Verpackungsmaterialien für das Produkt ist ebenfalls in A1 berücksichtigt. Des Weiteren sind alle Energieträger und der benötigte Wasserverbrauch in A3 berücksichtigt. Der Transport der Rohstoffe zum Produktionsort ist A2 zugeordnet. Während der Produktion wird das Material nahezu abfallfrei verarbeitet, da mögliche Abfälle intern wieder dem Produktionsprozess zugeführt werden. Aus diesem Grund entstehen auch keine Verluste (z. B. in der Startphase der Anlagen bzw. während der Produktion), die in den Berechnungen berücksichtigt werden

müssen. Für die Entsorgung der Kunststoffverpackungen und der nicht wiederverwendeten Paletten zur Verpackung des Produktes (Modul A5) wird jeweils eine Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage angenommen.

Die Nutzenphase wird in den Ökobilanzberechnungen nicht berücksichtigt.

Alle außerhalb des betrachteten Produktsystems anfallenden Energierückgewinnungen (Strom und Wärme) aus Verbrennungsprozessen des Produktes sind in Modul D deklariert. Für alle Umweltauswirkungen durch den Einsatz bzw. die Rückgewinnung von Strom wurde der Residual-Mix Deutschlands zugrunde gelegt.

Für den Transport der Inputmaterialien und für Produktionsprozesse vor Ort bei der REGUPOL Germany GmbH & Co. KG (Modul A3) wurden Primärdaten über alle Lieferformen verwendet. Für die Produktion der Eingangsprodukte (Modul A1) wurden generische Daten verwendet, da diese nicht von der REGUPOL Germany GmbH & Co. KG selbst produziert werden und keine detaillierten Informationen zur Verfügung standen. Für die Aufbereitungsprozesse der eingesetzten Rezyklate (Kautschuk / Schäume, EVA und SBR-Gummi in Modul A1) wurde von einem Aufwand von 0,0446 kWh/kg (Zerkleinerung) ausgegangen. Transporte zur Entsorgung am Lebensende (Modul C2, 50 km, Auslastung 55 %) wurden als Annahmen gewählt.

Gutschriften für die vermiedene Erzeugung von Elektrizität und Dampf in einem anderen Produktsystem durch die Verbrennungsprozesse von Produktionsabfällen wurden ebenfalls berücksichtigt (Modul D).

Hierbei wurde von einer Verbrennung von 100 % inklusive Energierückgewinnung (Strom- und Dampf) ausgegangen.²³

Lochblende

Die Durchschnitts-EPD bezieht sich auf 1 kg Aluminiumlochblech mit eloxierter dekorativer Oberflächenbeschichtung oder Pulverbeschichtung. Die Produkte unterscheiden sich hierbei allein in dem Prozess der Oberflächenbeschichtung. Die sich daraus ergebenden Unterschiede in den Ergebnissen der Ökobilanzierung sind vernachlässigbar. Das in der EPD dargestellte Ergebnis bezieht sich auf das Aluminiumlochblech mit eloxierter Oberflächenbeschichtung, da dieses aufgrund seiner schlechteren Umweltbilanz gewählt wurde, um eine konservative Schätzung der Umweltauswirkungen zu gewährleisten. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass potenzielle Umweltauswirkungen nicht unterschätzt werden und alle relevanten Szenarien adäquat abgebildet sind. Das Produkt wird an drei verschiedenen Standorten produziert. Die Produktionsstandorte lauten wie folgt:

- Bulgarien, Mezhdunarodnoshose Nr. 31, 2210 Dragoman (~5%)
- Niederlande, Adriaan-Tripweg 13, 9641 Veendam (~25%)
- Deutschland, Franz-Méguin-Straße 20, 66763 Dillingen (~70%)

Das Produkt ist für den Innen- und Außenbereich vorgesehen und kann in den Bereichen Dach, Wand, Decke, Geländer und Fassade eingesetzt werden. Es handelt sich um ein perforiertes, flaches oder

dreidimensionales, kalt umgeformtes Aluminiumblech, welches anschließend beschichtet wird.

Nach einer internen Bearbeitung, in welcher das Aluminium gestanzt, geschnitten, gerichtet, genibbelt und gekantet wird, wird es an einen externen Dienstleister versendet, welcher die elektrolytische Oxidation oder Pulverbeschichtung vornimmt.²⁴

Unterlegscheiben

Da ein expliziter Datensatz für Unterlegscheiben nicht vorliegt, wird in dieser Analyse auf die für Schrauben verfügbaren Daten zurückgegriffen. Dies ist möglich, da Unterlegscheiben und Schrauben in Bezug auf ihre Herstellung und Materialeigenschaften ähnliche Parameter aufweisen, wie etwa das verwendete Material oder die Fertigungsprozesse. Diese Ähnlichkeiten ermöglichen es, die Daten für Schrauben als Proxy für Unterlegscheiben zu verwenden, ohne die Genauigkeit der Analyse signifikant zu beeinträchtigen.

Es wird darauf geachtet, dass die Unterlegscheiben in Bezug auf Größe und andere relevante Merkmale mit den für die verwendeten Holzdielen benötigten Schrauben abgestimmt sind.²⁵

Holzlasur

Die Lebenszyklusanalyse von 1 kg Lasursystem Holzfassade halb-pigmentiert umfasst die Lebenszyklusphasen Cradle-to-Gate mit Optionen, d. h. Herstellung von Roh- und Hilfsstoffen, sowie die Produktion einschließlich Verpackung, die Verarbeitung auf der Baustelle (Lösemittel-Emissionen)

²³ siehe Tabelle 7: Abstandhalter

²⁴ siehe Tabelle 7: Lochblende

²⁵ siehe Tabelle 7: Unterlagscheiben

und Entsorgung. Die Beschichtung (Streichen) von Holzoberflächen, wie z. B. Fenstern oder Parkett, wird in der Regel auf der Baustelle von Hand durchgeführt.

Die Emissionen durch das Aufbringen der Beschichtung wurden durch Modellieren aller NMVOCs im Beschichtungsmaterial als NMVOC-Emissionen in die Luft angenommen und in Modul A5 ausgewiesen. Die Transportdistanz wird in dieser Analyse auf 20 km festgelegt, basierend auf der Annahme, dass gängige Produkte in Baumärkten üblicherweise aus dieser Entfernung bezogen werden.

In Modul C1 wird ein manueller Rückbau (lastenfrei) angenommen. Sammelverluste werden vernachlässigt. Der Transport in Modul C2 zur Verwertungsanlage erfolgt mit einem Lkw (50 km). In Modul C3 wird die Zerkleinerung und thermische Behandlung (Verbrennung) des Materials berücksichtigt. Bei der Berechnung der Verbrennungsemissionen und Gutschriften werden der spezifische Heizwert des jeweiligen Materials sowie die Materialzusammensetzung berücksichtigt. In Modul D erfolgen Gutschriften für die Substitution von Strom (deutscher Strommix) und thermischer Energie (aus Erdgas).

Weiterhin wird angenommen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums von 25 Jahren alle zwei Jahre eine Auffrischung der Holzlasur erfolgt. Dabei werden jeweils zwei Anstriche aufgetragen, sodass über die gesamte Nutzungsdauer hinweg eine kontinuierliche Instandhaltung gewährleistet ist. Die für die Durchführung der Anstriche

benötigte Menge an Holzlasur wird entsprechend der Fläche und der Häufigkeit der Auffrischungen berechnet.

Unter der Prämisse, dass beim zweiten Anstrich auf die bereits behandelte Oberfläche in der Regel weniger Lasur benötigt wird als beim ersten, wird für den ersten Anstrich eine Menge von 1,5 l und für den zweiten Anstrich eine Menge von 1,2 l pro Anstrich und Fläche angenommen. Diese Annahmen basieren auf typischen Verbrauchswerten und sind in die Berechnungen für den gesamten Betrachtungszeitraum integriert.²⁶

4.6 Transporte

Transporte werden sowohl für die wesentlichen Basismaterialien (Ausgangsstoffe), d. h. deren Lieferung zu den Produktionsstätten (innerhalb der Module A1-A3), als auch für die jeweiligen Fertigprodukte zur Baustelle eingerechnet (Modul A4).

Des Weiteren sind Transporte vom Ort der Nutzung zum Ort der Nachnutzung in Form eines Szenarios angenommen.

Alle Transporte, die in den Modulen A1-A3 und C1-C4 stattfinden, sind in den jeweils verwendeten Datensätzen bereits inkludiert.

Für die Transporte zur Baustelle bzw. zum Einbauort sind die in Tabelle 6 aufgeführten Transportentfernungen zugrunde gelegt worden. Die vorgegebenen Transportentfernungen basieren auf typischen Lieferdistanzen in Deutschland, Europa und international. Sie spiegeln die übliche Verteilung der Produktionsstätten und logistischen

²⁶ siehe Tabelle 7: Holzlasur

Knotenpunkte wider. Betonpflastersteine werden häufig in regionalen Werken produziert, weshalb hier eine typische Lieferentfernung von 100 km angesetzt wurde.

Natursteinplatten weisen stark variierende Transportwege auf, weshalb die Transportentfernungen direkt in den Datensätzen berücksichtigt sind.

Tabelle 6: Transportentfernungen der in Abschnitt 4.4.2ff. beschriebenen Materialien zum Einbauort (Modul A4)

Material	Lkw
<i>Belagselemente</i>	
Betonwerksteinplatten	100 km
Naturwerksteinplatten	in Datensatz inkludiert + Szenarien: siehe Herkunftsmix in Tabelle 3
Keramische Fliesen	in Datensatz inkludiert
Holz-Terrassendielen	Siehe Tabelle 4
Thermowood-Terrassendielen	Siehe Tabelle 5
WPC-Terrassendiele	In EPD inkludiert (für innerhalb DE: 350 km)
<i>Sonstige Baustoffe und -teile</i>	
Blende aus Lochblech	20 km
Gesteinskörnungen für Bettung und Fugenfüllung	20 km
Gesteinskörnungen für Tragschichten	20 km
Holzlasur	20 km
Kanthölzer	Annahme aus ÖKOBAUDAT für Nadel schnittholz (innerhalb DE 111 km) übernommen
Linienförmige Abstandhalter	20 km
Randsteine aus Beton	50 km
Schrauben aus Edelstahl	100 km
Unterlegscheiben	20 km
Unterlegstreifen	20 km
Winkel zum Verschrauben der Kanthölzer	20 km

Da für Kanthölzer in der ÖKOBAUDAT keine spezifische Transportdistanz angegeben ist, wird als Referenz die ausgewiesene Distanz für Nadel schnittholz herangezogen, das als

Bestandteil des Durchschnittswerts für Holzterrassendielen dient.

Das Gewicht und die Transportkosten spielen eine wesentliche Rolle bei der Wahl der

Transportdistanzen. Materialien mit hoher Dichte und großem Volumen, wie z. B. Frostschutz- und Tragschichtmaterial, werden in der Regel aus nahegelegenen Gewinnungsstätten oder Kieswerken bezogen, um Transportkosten und Emissionen zu minimieren. Daher sind hier Transportentfernungen von 20 km realistisch.

Die gewählten Entfernungen basieren zudem auf Markterfahrungen und typischen und in der Praxis beobachteten Transportwegen in Deutschland, Europa und international unter Berücksichtigung typischer logistischer Gegebenheiten. Vergleichbare Ökobilanzen und Umweltproduktdeklarationen (EPDs) bestätigen diese Entfernungen als repräsentativ. Ebenso wird Bezug auf bereits veröffentlichte und einer kritischen Prüfung unterzogene Vergleichende Ökobilanzierungen genommen, welche einen identischen ökobilanziellen Vergleich aufgestellt haben. (vgl. Vergleichende Ökobilanz – Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit unterschiedlichen Deckschichten)

Da Transportentfernungen je nach Bauvorhaben variieren können, wurde zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Diese dient der Abschätzung möglicher Auswirkungen abweichender Transportdistanzen auf die Umweltwirkungen und erlaubt eine erste Einordnung der Robustheit der zugrunde gelegten Annahmen.

4.7 Annahmen und Abschätzungen

Innerhalb der Studie soll der Lebenszyklus der einzelnen Terrassenaufbauten untersucht werden (cradle- to-grave), der die Phasen von der Herstellungs- bis zur Entsorgungsphase umfasst. Folgende

Annahmen und Abschätzung liegen der vorliegenden Berechnung zugrunde:

Bodenaushub

Entsprechend der Gesamtdicke der einzelnen Oberbaukonstruktionen wird vor dem Einbau der einzelnen Schichten der Aushub des anstehenden Bodens berücksichtigt. Der anstehende Boden wird auf einer Fläche von 17,5 m² in Tiefe der Trag- und Deckschicht maschinell ausgehoben und die Tragschicht maschinell eingebracht.

Einbau

Der Einbau der mineralischen Deckschichtplatten und Dielenarten erfolgt in allen Beispielen manuell. Für die Ausführung der Fugenfüllung wird das manuelle Einbringen des Fugenmaterials bzw. -mörtels unterstellt. Für das Einbringen der Tragschicht und der Betonrandsteine wird ein maschineller Einbau unterstellt. Für die Unterkonstruktion für die Dielenbeläge wird ein manueller Einbau unterstellt. Die Emissionen von Elektrokleinengeräten wie Rüttelplatte oder Akkuschrauber werden nicht bilanziert.

Nutzung

Für den in dieser Studie durchgeführten Vergleich der Ökobilanzen wird davon ausgegangen, dass alle Terrassenaufbauten eine ausreichende Dauerhaftigkeit für die zugrunde gelegte Nutzungsdauer von 25 Jahren aufweisen. Damit ist sichergestellt, dass die sechs zu vergleichenden Bauweisen dieselbe Funktion erfüllen.

Da für die Ausführungsvarianten mit mineralischen Platten als Deckschicht keine Werte vorliegen, wird angenommen, dass an den regelrecht hergestellten Plattenbelägen sowie an den Dielenbelägen aus

Thermowood und WPC keine Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich sind. Unterhaltungsarbeiten, die durch das regelmäßige Kehren und das Entfernen von Unrat, Laub oder eventuellem Aufwuchs die Gebrauchstauglichkeit der Belagsflächen über einen möglichst langen Zeitraum hinweg ermöglichen, erfolgen angesichts der überschaubaren Fläche von 17,5 m² manuell. Im Gegensatz dazu benötigt der Terrassenaufbau mit Holzdielen regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen in Form von Lasieren, weshalb hierfür entsprechende Werte berücksichtigt werden.

End of Life

Für die vorliegende Studie wird kein vollständiger Rückbau der Terrassenaufbauten zu Grunde gelegt. Die ungebundenen Schichten (Bettungsschicht sowie Frostschutz- oder Schottertragschicht) werden nicht ausgebaut. Bei den gebundenen Varianten findet ein Rückbau des Bettungsmörtels und Dränbetons statt.

Für die Deckschicht gelten folgende praxisbezogene Annahmen:

Betonwerksteinplatten

Entsorgungsstadium der Betonpflastersteine grau mit Vorsatz (EoL-Szenario: 100 % Recycling, Bauschuttaufbereitung mit stofflichen Gutschriften in Modul D aus dem Einbau als Sekundärmaterial im Straßenbau) umfasst

C1 maschineller Ausbau, C2 Lkw-Transport (100 km) zur Aufbereitung, C3 Aufbereitung der Betonsteine: 100 % Recycling (Bauschuttaufbereitung: Brechen der

Betonsteine), C4 keine weiteren Aufwände durch Deponierung/ Entsorgung.

Natursteinplatten

In der Entsorgungsphase wird in Modul C1 ein maschineller Rückbau (Bagger) bilanziert. Der Transport in Modul C2 zur Aufbereitungsanlage erfolgt mit einem Lkw (50 km). In Modul C3 wird das Material aufbereitet. Es wurde ein Aufbereitungsverlust von 25 % angenommen. Dieser Verlust wird einer Inertstoffdeponie innerhalb von Modul C3 zugeführt (durchschnittliche Deponieemissionen). In Modul D erfolgt eine Gutschrift für die Netto-Materialmenge (abzüglich Aufbereitungsverluste) für die Substitution von natürlichen Gesteinskörnungen als Verfüllmaterial (z. B. im Straßen- oder Deponiebau).²⁷

Wie bereits erwähnt, können und werden Natursteine in der Regel direkt wiederverwendet, das verwendete EoL-Szenario aus der ÖKOBAUDAT sieht jedoch eine Verwendung als Verfüllmaterial vor.

Keramische Fliesen

Modul C1 beinhaltet den Aufwand für den Rückbau, vornehmlich den Dieserverbrauch der Abbruchmaschinen. Modul C2 schließt den Transport zur Deponie bzw. zur Verwertung ein. Modul C3 umfasst die Baustoffaufbereitung zur späteren Verwendung als mineralisches Schüttgut. Modul C4 umfasst die Abfallentsorgung, d. h. die Entsorgung auf der Bauschuttdeponie.

Modul D beinhaltet die Gutschrift für ersparte Aufwendungen, d. h. die Einsparung von Primärmaterial und Primärenergie

²⁷ EPD Natursteinplatte, hart, außen, Dicke 80 mm, ÖKOBAUDAT UUID f82e3ab8-d7bb-4765-a60c-bfe78ede1565

durch die Nutzung von Recyclingschotter sowie durch die thermische Nutzung der Verpackung. Einflüsse von Abfällen werden in den Modulen berücksichtigt, in denen diese anfallen.²⁸

Holzdielen

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die verwendeten EPDs keine näheren Erläuterungen zu den Phasen C1-C4 beinhalten. Werte für diese Phasen liegen jedoch vor und werden angewendet.

Thermowood

Szenario Dänemark: Die Berechnungen des EoL-Szenarios basieren auf einer Transportentfernung von 100 km zur Abfallverarbeitung.

Das EoL-Szenario für die Behandlung der Produkte nach Ende ihrer Nutzungsdauer ist die Verbrennung mit Energierückgewinnung. Dies ist eine in Dänemark übliche Behandlungsmethode, obwohl die Produkte auch recycelt werden können, was eine gängige Behandlungsmethode für Holzabfälle ist.

In Modul C4 wird kein Abfall deponiert.

Modul D umfasst die Nettoauswirkungen und den Nutzen der vermiedenen durchschnittlichen dänischen Stromerzeugung und der thermischen Energierückgewinnung.²⁹

Szenario Lettland: Es wurden drei alternative Szenarien für die EoL-Phase entwickelt. Das in dieser Studie betrachtete Szenario ist das Recycling-Szenario zur Verwertung

als Hackschnitzel. C1 Abriss, C2 Transport zur Sortierung 50 km, C3 Vorbereitung zum Recycling, C4 Hackschnitzel zum Recycling, D Verwertung von Hackschnitzeln, Substitution von Neuware.³⁰

Szenario Schweden: C1 Rückbau/Abbruch des Thermowood, C2 Transport zur Abfallverarbeitung, C3 Abfallbehandlung, C4 Endlagerung/ Deponierung.

D Nutzen und Lasten außerhalb der Systemgrenze: Emissionsgutschriften werden aus der energetischen Verwertung und dem Recycling von Abfallstoffen gewonnen. Bei der energetischen Verwertung wird davon ausgegangen, dass Wärme und Elektrizität aus der Abfallverbrennung die thermische Energie aus Erdgas bzw. den durchschnittlichen schwedischen Stromnetzmix ersetzen.³¹

WPC-Dielen

Nach Herstellerangaben kann davon ausgegangen werden, dass 70 % der WPC-Produkte stofflich und 30 % thermisch verwertet werden. Es werden jeweils 100 % Szenarien zur stofflichen und thermischen Verwertung deklariert. Der durchschnittliche Transportweg zwischen Endverbraucher und Entsorgungsanlage beträgt 250 km.

In Modul D werden die aus der thermischen und stofflichen Verwertung der Abfälle resultierende Energien (elektrische und thermische) bzw. das entstehende Recyclingmaterial gutgeschrieben. Der Wirkungsgrad der Abfallverwertungsanlagen liegt bei 66 % für deutsche und 69 % für europäische

²⁸ EPD Keramische Fliesen und Platten, ÖKOBAUDAT UUID 3f07b058-0e84-48ca-bffe-9672b0affc71

²⁹ EPD Frøslev Træ, Deklarationsnummer: MD-23014-DE_rev2

³⁰ EPD Thermowood Stora Enso Registration Number: S-P-02155

³¹ EPD Thermowood Södra Wood EPD Registration Number: S-P-11801

Anlagen. Bei den verwendeten Datensätzen handelt es sich um deutsche und europäische Verwertungsanlagen. Als Datensätze für Strom und Wärme werden DE: Strommix (Produktionsmix) verwendet sowie DE: Prozessdampf aus Erdgas 85 % (GaBi 6.4).³²

4.8 Datenquelle und Datenqualität

Zur Ermittlung der Umweltindikatoren und des Ressourceneinsatzes der verschiedenen Terrassenaufbauten werden in dieser Studie aus Gründen der Transparenz und der Nachvollziehbarkeit ausschließlich öffentlich zugängliche Daten verwendet. Ein Großteil der verwendeten Datensätze entstammt der ÖKOBAUDAT. Wenn in der Datenbank kein passender Datensatz vorhanden ist, wird ein extern verifizierter Datensatz aus einer veröffentlichten Umweltproduktdeklaration (EPD) gewählt. Welche Datensätze für welche Rohstoffe bzw. welchen Prozess in dieser Studie verwendet werden, kann Tabelle 7 entnommen werden. Hier sind die Datensätze unter anderem mit Identifikation, Quelle und Gültigkeit aufgelistet.

Da alle in der ÖKOBAUDAT hinterlegten Datensätze sowie auch die verwendeten Umweltproduktdeklarationen nach der DIN EN 15804 für Nachhaltiges Bauen modelliert wurden, kann die Datenqualität als gut eingestuft werden.

Die Sachbilanz basiert auf qualitätsgesicherten und extern verifizierten Datenquellen.

Umweltproduktdeklarationen (EPDs): Soweit verfügbar, wurden Durchschnitts-EPDs

gemäß DIN EN 15804+A2 verwendet, da sie eine verlässliche Datenquelle für die Umweltbewertung von Baustoffen darstellen. Falls für einzelne Materialien keine Durchschnitts-EPD vorlag, wurden spezifische Datensätze genutzt. Dadurch kamen beispielsweise bei Thermowood spezifische EPDs zum Einsatz, da hierzu in Deutschland keine Durchschnitts-EPD existiert. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass Thermowood nahezu ausschließlich aus den in Tabelle 4 genannten Herkunftsländern stammt.

4.9 Unsicherheiten und Einschränkungen

Die Sachbilanz basiert auf qualitätsgesicherten und extern verifizierten Datenquellen, die wenn möglich, Durchschnitts-EPDs oder produktspezifische EPDs gemäß DIN EN 15804+A2 umfassen. Falls für einzelne Materialien keine produktspezifischen EPDs verfügbar waren, wurden generische Datensätze aus der ÖKOBAUDAT herangezogen. Generische Datensätze bieten standardisierte Durchschnittswerte, können aber zu Unsicherheiten führen, da sie mit einem Sicherheitszuschlag versehen sein können, bewertet nach Vollständigkeit (wenige Prozesse / Flüsse fehlen oder wichtige Prozesse / Flüsse fehlen) und Repräsentativität (technologisch, zeitlich und geografisch).³³

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Umweltbilanz eines Bauvorhabens sind die Transportdistanzen der eingesetzten Materialien. Da projektspezifische Transportdaten nicht in jedem Fall verfügbar waren, wurden für diese Untersuchung

³² EPD WPC-Terrassendielen Deklarationsnummer: EPD-VHI-20210249-IBE1-DE

³³ Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank Version 2.1

branchenübliche Durchschnittswerte angesetzt. Allerdings können Transportentfernungen je nach Standort der Produktionsstätten und Baustellen erheblich variieren. Um die Auswirkungen dieser Unsicherheiten zu bewerten, wurden mehrere Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei wurden alternative Szenarien mit kürzeren und längeren Transportdistanzen berechnet (+/- 75% zur Annahme) und verschiedene Herkunftsszenarien berücksichtigt, um deren Einfluss auf die Gesamtergebnisse der Ökobilanz zu quantifizieren. Die Ergebnisse zeigen, dass Transportemissionen in bestimmten Wirkungskategorien, insbesondere beim Treibhauspotenzial (GWP), eine signifikante Rolle spielen, während in anderen Kategorien die Auswirkungen vergleichsweise gering sind (siehe Anhang D).

Zusätzlich basieren die Annahmen zum EoL-Szenario auf den derzeitigen Wiederverwertungsquoten in Deutschland bzw. im Fall von Thermowood auf den Szenarien der Herkunftsländer der spezifischen EPDs. Es wurde davon ausgegangen, dass ein Teil der Baumaterialien am Lebensende recycelt wird, wodurch eine Gutschrift im Modul D erfolgt. Einschränkungen ergeben sich insbesondere durch die begrenzte Verfügbarkeit spezifischer Daten für den Rückbau und das Recycling. Auch hierbei wurden soweit möglich alle zur Verfügung stehenden EoL-Szenarien berücksichtigt und in Sensitivitätsanalysen bewertet.

Alle verwendeten EPDs mit Ausnahme der der Naturwerksteinplatten besitzen zum Zeitpunkt der Berechnung Gültigkeit. Da diese jedoch bis 2024 gültig war und es bisher für diese keine Ersatz-EPD gibt, wurden

alle der Sachbilanz zugrundeliegenden EPDs als repräsentativ eingestuft.

4.10 Bewertungsrahmen für die Datenqualität

Vor der Datenprüfung wurden die Qualitätsanforderungen definiert. Diese orientieren sich an den Zielsetzungen der Studie und der Notwendigkeit, belastbare und konsistente Aussagen über Umweltwirkungen verschiedener Terrassenaufbauten zu treffen. Die Datengrundlage basiert primär auf Daten der Datenqualität average und generic aus der ÖKOBAUDAT, aber auch aus anderen öffentlich zugänglichen generic oder specific EPDs.

Die Bewertung der Datenqualität erfolgte anhand der nachfolgend genannten Kriterien:

Zeitbezogener Erfassungsbereich

Die Gültigkeit der verwendeten EPDs wurde geprüft. Alle verwendeten Daten sind mit Ausnahme der der Naturwerksteinplatten aktuell und decken den betrachteten Zeitraum ab.

Geographischer Erfassungsbereich

Die Daten sind auf den regionalen Kontext abgestimmt, insbesondere durch die Nutzung von ÖKOBAUDAT, die sich auf europäische bzw. deutsche Durchschnittswerte stützt.

Technologischer Erfassungsbereich

Es wurde sichergestellt, dass die Datensätze den tatsächlich eingesetzten Technologien entsprechen. EPDs wurden auf Basis der DIN EN 15804 erstellt und verifiziert, so dass sie als belastbare Quelle dienen.

Präzision

Da verifizierte EPDs verwendet wurden,

kann von einer hohen Genauigkeit der Daten ausgegangen werden. Allerdings unterliegen generische Datensätze einer gewissen Unsicherheit, da sie Durchschnittswerte repräsentieren und nicht für jedes spezifische Produkt zutreffen müssen.

Vollständigkeit:

Alle relevanten Stoff- und Energieströme sind in den betrachteten EPDs enthalten. Datenlücken wurden identifiziert und, wo erforderlich, durch plausible Abschätzungen oder eine Sensitivitätsanalyse (z. B. für A4 – Transport) geschlossen. Die Module B1–B7 wurden grundsätzlich nicht näher betrachtet, da hierzu keine belastbaren Daten verfügbar waren.

Repräsentativität

Average- und generic-Datensätze wurden verwendet, wenn keine spezifischen EPDs verfügbar waren. Dies ermöglicht eine realistische Abbildung der durchschnittlichen Umweltwirkungen, kann jedoch in Einzelfällen zu Abweichungen von produktspezifischen Werten führen.

Konsistenz

Um die Vergleichbarkeit sicherzustellen, wurden für alle Alternativen einheitliche Systemgrenzen und Methodiken angewendet. Wann immer möglich, wurde mit Average-Daten gearbeitet, andernfalls mit Generic-Daten.

Vergleichspräzision

Da es sich um eine vergleichende Ökobilanz handelt, wurde sichergestellt, dass für alle betrachteten Terrassenaufbauten einheitliche Datenquellen herangezogen wurden. Die Systemgrenzen sind für alle Szenarien identisch, sodass Verzerrungen durch

methodische Unterschiede ausgeschlossen werden können.

Datenquellen

Die verwendeten Daten stammen aus verifizierten EPDs oder aus öffentlich zugänglichen, anerkannten Datenbanken wie der ÖKOBAUDAT.

Unsicherheit der Informationen

Die Verwendung generischer Datensätze bringt systembedingte Unsicherheiten mit sich, da diese auf gemittelten Werten beruhen, die mehrere Hersteller, Technologien, Regionen und Zeiträume abbilden. Die daraus resultierenden Unsicherheiten betreffen insbesondere die Repräsentativität in Bezug auf technologische, geografische und zeitliche Rahmenbedingungen. Diese Einschränkungen wurden bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt und entsprechend in der Ergebnisdarstellung eingeordnet.

Auf Basis der vorgenannten Kriterien wurde eine abschließende Gesamtbewertung der Datenqualität durchgeführt. Die verwendeten Datensätze (siehe Tabelle 7) erfüllen die Anforderungen an eine vergleichende Ökobilanz, insbesondere hinsichtlich Konsistenz und Transparenz. Im Rahmen der vergleichenden Ökobilanz mussten teilweise generische Datensätze verwendet werden, insbesondere dort, wo keine belastbaren Primärdaten verfügbar waren. Diese generischen Daten – beispielsweise aus anerkannten Datenbanken wie der ÖKOBAUDAT – unterliegen gewissen Unsicherheiten hinsichtlich zeitlicher Aktualität, geografischer Relevanz, technologischer Abbildung sowie zugrunde liegender Annahmen.

Solche Unsicherheiten können die Genauigkeit der Ergebnisse beeinflussen und insbesondere bei direkten Vergleichen zu Verzerrungen führen. Um dennoch eine möglichst

transparente und nachvollziehbare Bewertung zu ermöglichen, wurden die verwendeten Datenquellen dokumentiert und für alle untersuchten Varianten möglichst konsistent angewendet. Die Ergebnisse sind daher im Kontext dieser Datenbasis zu interpretieren. Die Unsicherheiten generischer Daten wurden erkannt und formuliert.

4.11 Beurteilung der Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfung

Die Vollständigkeitsprüfung der verwendeten EPDs zeigt, dass diese den Anforderungen entsprechen. EPDs werden gemäß den Standards DIN EN 15804 oder DIN EN ISO 14025 erstellt und von Dritten verifiziert, was eine hohe Qualität der Daten gewährleistet. Die relevanten Lebenszyklusphasen A1–A5, C1–C4 sowie D sind vollständig abgedeckt, sodass alle wesentlichen Phasen des Produktlebenszyklus mit Ausnahme der Nutzungsphase berücksichtigt werden, für die keine ausreichende Datengrundlage vorlag.

Im Hinblick auf die Sensitivitätsprüfung kann festgestellt werden, dass die Unsicherheiten innerhalb der EPDs in der Regel gering ausfallen. Dies liegt daran, dass die

meisten Daten aus gemessenen oder modellierten Prozessen stammen, die wiederum durch den Einsatz standardisierter Verfahren und eine breite Datenbasis verlässliche Ergebnisse liefern. Darüber hinaus beinhalten viele EPDs Mittelwerte, die auf verschiedenen Produktionsstandorten basieren, wodurch Einzelabweichungen minimiert werden. Eine detaillierte Sensitivitätsanalyse wurde jedoch speziell in Bezug auf die Transportstrecken durchgeführt, da diese in der Regel eine variable Größe darstellen. Die Ergebnisse dieser Analyse werden im Bericht berücksichtigt und erläutert.

Im Sinne der DIN EN ISO 14044 wurde eine vereinfachte Konsistenzprüfung durchgeführt. Dabei wurde geprüft, ob die eingesetzten Methoden, Systemgrenzen, funktionalen Einheiten und Allokationsregeln über die betrachteten Terrassenaufbauten hinweg einheitlich angewendet wurden. Die verwendeten EPDs entsprechen den methodischen Anforderungen der DIN EN 15804 und ermöglichen dadurch grundsätzlich eine Vergleichbarkeit. Unterschiede in der Datentiefe, Aktualität oder Herkunft wurden dokumentiert und bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigt. Eine formale externe Validierung der Datenkonsistenz erfolgte nicht.

Tabelle 7: Verwendete Datensätze mit Angaben, u. a. zur Identifikation, Quelle und Gültigkeit

Prozess/ Schicht	Name Datensatz	Identifikation	Quelle	Gültig- keit	Eigentümer
Abstandhalter	Regupol Bahnenware	EPD-REG- 20230194-IBC1-DE	EPD (specific)	2028	REGUPOL BSW GmbH
Betonrand- steine	A2-Betonpflaster- Stan- dardstein grau mit Vorsatz	0fdca580-3027- 493d-a3c7- 815758bac55d	ÖKOBAUDAT (average)	2026	Betonverband Straße, Land- schaft, Garten e.V.
Betonwerk- steinplatte	A2-Betonpflaster- Standardstein grau mit Vorsatz	0fdca580-3027- 493d-a3c7- 815758bac55d	ÖKOBAUDAT (average)	2026	Betonverband Straße, Land- schaft, Garten e.V.
Splittbettung	Brechsand (0/2) getrocknet	b461219e-87df- 4a40-b12a- 5c6a10a99bf1	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Bodenaushub (A5)	Bagger 15 kW Aushub	e6d99030-e78c- 4aa7-87da- c6a69208b569	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Dränbeton / Bettungs- / Fugenmörtel	Mauermörtel-Dünnbett- mörtel/Mörtel mit beson- deren Eigenschaften	1ebab79c-2c74- 42ec-b023- a5c8f62a6066	ÖKOBAUDAT (template)	2029	Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. (VDPM)
Fugenmaterial	Sand 0/2 (getrocknet)	0d027c8c-89dc- 486e-8390- b4649f5e6ed8	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Fundamentie- rung	Beton der Druckfestigkeits- klasse C20/52	d5d98d4b-a9ba- 4fb3-b2d2- 6766f8ef5a59	ÖKOBAUDAT (average)	2028	Informations-Zent- rum Beton GmbH
Holzlasur	Lacksysteme Holzfassade, halb-pigmentiert (Lasursystem)	d0f21725-9c8e- 41b7-9e38- 83878b95930b	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Kanthölzer	Konstruktionsvollholz	7aba3603-0689- 4da5-8d24- fd92ae398d07	ÖKOBAUDAT (representative)	2028	Thünen-Institut für Holzforschung
Keramische Fliesen	Keramische Fliesen und Platten	3f07b058-0e84- 48ca-bffe- 9672b0affc71	ÖKOBAUDAT (average)	2027	Bundesverband Keramische Flie- sen e. V.
Lochblende	Lochblech aus Aluminium mit Oberflächen-Verede- lung	EPD-Kiwa-EE- 178093-de	EPD (average)	2029	Dillinger Fabrik Ge- lochter Bleche GmbH
Naturwerk- steinplatte	Natursteinplatte, hart, Außenbereich	f82e3ab8-d7bb- 4765-a60c- bfe78ede1565	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Schottertrag- schicht	Schotter 16/32	f4461491-586a- 4770-9a04- 716565e58c24	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Schrauben	Schrauben aus Edelstahl	ed6d477a-a4c3- 4a96-9a28- 24e256db88e3	ÖKOBAUDAT (specific)	2029	Würth Group/ Adolf Würth GmbH & Co. KG

Prozess/ Schicht	Name Datensatz	Identifikation	Quelle	Gültig- keit	Eigentümer
Terrassendiele aus Holz*	Nadelschnittholz (getrocknet)	2bd4c91f-16e5- 4e01-b8b5- 0c01aac363ce	ÖKOBAUDAT (representative)	2028	Thünen-Institut für Holzforschung
Terrassendiele aus Holz*	Balkenschichtholz (Durchschnitt)	5845e582-d877- 44c2-a8a7- f5c5ef3a6463	ÖKOBAUDAT (representative)	2028	Thünen-Institut für Holzforschung
Terrassendiele aus Holz*	Brettschichtholz (Standardformen)	78bfe151-3cf3- 46cb-a1a5- 61a79bbd5476	ÖKOBAUDAT (representative)	2028	Thünen-Institut für Holzforschung
Terrassendiele aus Holz*	Konstruktionsvollholz (Durchschnitt)	7aba3603-0689- 4da5-8d24- fd92ae398d07	ÖKOBAUDAT (representative)	2028	Thünen-Institut für Holzforschung
Terrassendiele aus Holz*	Brettsperrholz	8c4eb262-9ae6- 4ace-8f3d- 0b06f2007f3e	ÖKOBAUDAT (representative)	2028	Thünen-Institut für Holzforschung
Terrassendiele aus WPC (Deutschland)	WPC (Wood Plastic Com- posite) Terrassendielen	EPD-VHI- 20210249-IBE1-DE	EPD (average)	2027	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)
Thermowood aus Dänemark	FRØSLEV Embla® Ther- moWood®	MD-23014-DE_rev2	EPD (specific)	2028	Frøslev Træ A/S
Thermowood aus Lettland	ThermoWood® by Stora Enso	S-P-02155	EPD (specific)	2026	Stora Enso Division Wood Products
Thermowood aus Schweden	Thermowood from Södra Wood A/S	S-P-11801	EPD (specific)	2028	Södra Wood A/S
Transport (A4)	LKW	bb74d2a2-249a- 4245-a1bb- 7bde61f2f613	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Transport (A4)	Klein-LKW	96115e68-18fe- 4cdb-a1e4- ef38d0965929	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Transport (A4)	Bahntransport	b04a12ef-0842- 4ee9-b411- 02d8073f0f96	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Transport (A4)	Containerschiff	c1bfdecc-e167- 4c3a-8792- 5dc06b97b4b8	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Unterlegschei- ben	Schrauben aus Edelstahl	ed6d477a-a4c3- 4a96-9a28- 24e256db88e3	ÖKOBAUDAT (specific)	2029	Würth Group/ Adolf Würth GmbH & Co. KG
Unterlegstreif- en	Kunststoffprofil CR (Chloropren-Kautschuk)	2630158e-fc89- 4b2d-bb7d- 4a193fb58324	ÖKOBAUDAT (generic)	2026	Sphera Solutions GmbH
Winkel zum Verschrauben	Baustahlprofile und Stab- stahl	EPD-BFS- 20230271-IBG1-EN	EPD (specific)	2028	bauforumstahl e.V.

5 Sachbilanz

5.1 Allgemeines

Die funktionale Einheit beträgt $17,5 \text{ m}^2$ Terrassenaufbau über einen Nutzungszeitraum von 25 Jahren, die je nach Präferenz des Bauherrn unterschiedlich konzipiert sein kann. In Kapitel 4.4 sind die hier analysierten Beispiele mit den jeweils darin zu vergleichenden Varianten und ihrem Schichtenaufbau beschrieben. Die aus der Sachbilanz resultierende Wirkungsabschätzung wird im Abschnitt 5.7 dieses Berichts dargestellt.

5.2 Beschreibung der Datensätze und deren Anwendung

5.2.1 Allgemeines

Für die Ermittlung der Umweltwirkung und des Ressourceneinsatzes zur Herstellung der untersuchten Terrassenaufbauten werden die vorhandenen Datensätze aus Tabelle 7 verwendet. Soweit vorhanden werden für die jeweiligen Module immer die Werte aus den Datensätzen verwendet. Eine Ausnahme bildet hierbei das Modul A4, da dieses für jede Verkehrsflächenbefestigung individuell gerechnet wird. Hierbei werden die in den Tabellen 4 bis 6 definierten Transportentfernungen zugrunde gelegt.

Die jeweiligen Daten wurden durch mathematische Umrechnungen auf die benötigten Einheiten umgerechnet. Beispielsweise wurden Flächengewichte von Betonsteinen in kg/m^2 unter Berücksichtigung der jeweiligen Produktdicken in Volumenangaben [kg/m^3] überführt. Dies ermöglicht eine vergleichbare Darstellung der Umweltwirkungen je funktionaler Einheit, auch wenn die ursprünglichen EPD-Daten auf spezifische Produktausführungen bezogen waren. Diese Daten multipliziert mit den jeweils benötigten relevanten Mengen ergeben somit für jedes Modul die Umweltwirkung und den Ressourceneinsatz für das jeweilige Material und in Summe die Umweltwirkung und den Ressourceneinsatz für die definierte funktionale Einheit von $17,5 \text{ m}^2$ Terrassenaufbau unter der Randbedingung, dass die ungebundenen Tragschichten nicht zurückgebaut werden. Die Module C1-C4 werden also bei der Ökobilanz für die Schottertragschicht und die Fundamentierung nicht berücksichtigt. Lediglich die jeweilige Deckschicht und bei den Varianten in gebundener Bauweise zusätzlich die Trag- und Bettungsschicht aus Mörtel werden zurückgebaut.

5.2.2 Materialien der Deckschichten

Die Datensätze der Deckschichten berücksichtigen die alle Lebenszyklusphasen.

Der Einbau der einzelnen Schichten wird über ein parametrisiertes Modell eingestellt. Die Tabelle 7 stellt eine Übersicht der verwendeten Datensätze dar.

Betonsteine

Die für diese Studie verwendete Umweltproduktdeklaration (EPD-SLG_20210055-CBE1-DE) bezieht sich auf graue Betonpflastersteine mit Vorsatzschicht, die von den Mitgliedern des Betonverbandes Straße, Landschaft, Garten e. V. (SLG), Bonn hergestellt werden. Sie beruht auf Produktionsdaten mit dem Bezugsjahr 2021, die in Betonsteinwerken

verschiedener Regionen und Größe in Deutschland erhoben und nach massenseitiger Produktionsmenge gewichtet wurden. Die System-grenzen der EPD folgen dem modularen Ansatz der DIN EN 15804 unter der Prämisse Wiege bis Werkstor mit Optionen. In der genannten EPD werden die Herstellung in den Betonsteinwerken der beteiligten SLG-Mitgliedsfirmen und das Lebensende betrachtet.

Die Herstellungsphase (Modul A1 - A3) umfasst:

- A1 Rohstoffbereitstellung und -verarbeitung sowie Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen, (z. B. Recyclingprozesse)
- A2 Transporte der Rohstoffe zu den Werken (Bezugsraum Deutschland)
- A3 Herstellung der Betonsteine im Werk, (inkl. Energiebereitstellung, Wasserbereitstellung, Bereitstellung von Hilfsstoffen, Entsorgung der Produktionsabfälle, Herstellung der Verpackungsmaterialien).

Die Entsorgungsphase (Modul C1 - C4) umfasst mit dem EoL-Szenario 100 % Recycling, Bauschutttaufbereitung mit stofflichen Gutschriften in D aus dem Einbau als Sekundärmaterial im Straßenbau:

- C1 maschineller Ausbau mit einer Baumaschine
- C2 Lkw-Transport (100 km) zur Aufbereitung
- C3 Aufbereitung der Betonsteine: 100% Recycling (Bauschutttaufbereitung: Brechen der Betonsteine)
- C4 keine weiteren Aufwände durch Deponierung/Entsorgung Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen (D).

Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen (Modul D) umfassen:

- Rückgewinnungspotentiale/stoffliche Gutschriften aus dem Einbau als Sekundärmaterial im Straßenoberbau.

Einflüsse von Abfällen werden in den Modulen berücksichtigt, in denen diese anfallen. Transportaufwendungen werden für alle Basismaterialien einbezogen. Der Transport der Hilfsstoffe und der Verpackungen wird wegen der geringen Mengen und damit verbundenen geringen Relevanz nicht berücksichtigt.

Die Erhebung der Vordergrunddaten bezieht sich auf das Jahr 2018. Es handelt sich in allen Fällen um jährliche Durchschnittszahlen. Alle Produktionsstätten liegen in Deutschland.

Natursteine

Der Datensatz repräsentiert ein Cradle-to-Gate-Inventar. Er kann verwendet werden, um die Lieferkette des jeweiligen Produktes in einer repräsentativen Weise zu charakterisieren. Die Kombination mit einzelnen Einheitenprozessen und diesem Produkt ermöglicht die Erstellung von anwenderspezifischen (Produkt-) LCAs.

Die Lebenszyklusanalyse von Naturwerksteinplatten für Anwendungen im Außenbereich umfasst die Lebenswegabschnitte Gewinnung von Granit und die weitere Bearbeitung (Gatter, Schleifstraße, Mehrblattsäge) sowie den Transport nach Deutschland (Modul A4). Zwischen Abbauort und Bearbeitungsort wurde eine mittlere Entfernung von 20 km festgelegt. Der Betrachtung für den Transport nach Deutschland (Modul A4) liegt jeweils ein Herkunfts-Mix-1 und ein Herkunfts-Mix-2 (siehe auch Tabelle 3) zu Grunde.

In der Entsorgungsphase wird in Modul C1 ein maschineller Rückbau (Bagger) bilanziert. Der Transport in Modul C2 zur Aufbereitungsanlage erfolgt mit einem Lkw (50 km). In Modul C3 wird das Material aufbereitet. Es wurde ein Aufbereitungsverlust von 25 % angenommen. Dieser Verlust wird einer Inertstoffdeponie innerhalb von Modul C3 zugeführt (durchschnittliche Deponieemissionen). Der Transport der Hilfsstoffe und der Verpackungen wird wegen der geringen Mengen und damit verbundenen geringen Relevanz nicht berücksichtigt.

In Modul D erfolgt eine Gutschrift für die Netto-Materialmenge (abzüglich Aufbereitungsverluste) für die Substitution von natürlichem Kies als Verfüllmaterial (z. B. im Straßen- oder Deponiebau).

Keramische Fliesen

Die folgenden Lebenszyklusphasen werden in den Ökobilanzdaten berücksichtigt: Herstellungs-, Bau-, Nutzungs- und Entsorgungsphase sowie Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen. Die Systemgrenzen der EPD folgen dem modularen Ansatz der DIN EN 15804. Nachfolgend werden die deklarierten Module kurz beschrieben. Art der EPD: „Cradle-to-Gate- (von der Wiege bis zum Werkstor) – mit Optionen“.

Module A1 bis A3 umfassen die Herstellungsphase: A1, Rohstoffgewinnung und -verarbeitung und ggf. Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen, (z. B.

Recyclingprozesse); A2, Transport zum Hersteller; A3, Herstellung, Emissionen Modul; A4 beinhaltet den Transport zur Baustelle. Die EPD lässt keine Rückschlüsse über die angenommene Transportdistanz zum Einbauort zu, ist jedoch mit dem Hinweis, dass es sich um inländische Transporte zum Einbauort handelt, deklariert und im Modul A4 bewertet worden und fließt so in die Berechnungen mit ein.

Modul A5 enthält die Verpackungsentsorgung. In der vorliegenden EPD wird ausschließlich des Einflusses der Verpackungsentsorgung aus Kunststoff und Papier inkl. Transport der Verpackung zur Entsorgung bewertet. Für die Verpackungen (Ausnahme Papier/Karton) wird eine thermische Behandlung in einer Anlage mit $R1 > 0,6$ angenommen. Die Lasten aus dem Verbrennungsprozess werden in Modul A5 deklariert, die resultierenden Gutschriften in Modul D.

Modul B1 betrifft die Nutzung der Fliesen hinsichtlich der Emissionen in die Umwelt. Das Modul ist deklariert. Bei der Verwendung von Fliesen sind keine Emissionen zu erwarten.

Modul B2 beinhaltet die Reinigungsaufwendungen mittels Wasser und Reinigungsmittel. Ein typischer Reinigungssturnus ist getrennt für Boden- und Wandfliesen in der EPD angegeben. In der Ökobilanz wird die Umweltwirkung für den jährlichen Reinigungsaufwand von 1 m² Fliesen ausgewiesen.

Module B3 bis B5 betreffen die Reparatur, den Ersatz und den kompletten Austausch des Fliesenbodens. Diese Module werden in der Studie betrachtet und in der EPD deklariert. Bei sachgerechtem Einbau ist keine Reparatur, und kein Ersatz oder Austausch notwendig.

Die Module B6 und B7 werden in der Studie betrachtet und in der EPD deklariert. Hier gibt es keine Umweltwirkungen, da das Produkt funktionell weder Wasser noch Strom beansprucht. Der Aufwand für die Reinigung ist in B2 deklariert.

Die C-Module und das Modul D beziehen sich auf die Bewertung der Entsorgung der Fliesen nach der Nutzung. Das EoL-Life-Szenario bezieht sich auf die stoffliche Verwertung als mineralischer Füllstoff in der Bauindustrie. Einzelheiten zu den Nachnutzungs-Modulen:

Modul C1 beinhaltet den Aufwand für den Rückbau, vornehmlich den Dieserverbrauch der Abbruchmaschinen.

Modul C2 schließt den Transport zur Deponie bzw. zur Verwertung ein. Modul C3 umfasst die Baustoffaufbereitung zur späteren Verwendung als mineralisches Schüttgut.

Modul C4 umfasst die Abfallentsorgung, d. h. die Entsorgung auf der Bauschuttdeponie. Modul D beinhaltet die Gutschrift für ersparte Aufwendungen, d. h. die Einsparung von Primärmaterial und Primärenergie durch die Nutzung von Recyclingschotter sowie durch die thermische Nutzung der Verpackung. Einflüsse von Abfällen werden in den Modulen berücksichtigt, in denen diese anfallen.

Holz(dielen)

Da keine spezifische Umweltproduktdeklaration für Holzterrassendielen vorliegt, erfolgt

die Bewertung anhand eines Durchschnittswerts aus fünf verfügbaren EPDs für vergleichbare Holzprodukte. Diese Produkte weisen ähnliche Materialeigenschaften und Umweltwirkungen auf, sodass eine belastbare Abschätzung der ökologischen Auswirkungen möglich ist. Die herangezogenen EPDs umfassen:

- Nadelschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE)
- Balkenschichtholz (Durchschnitt DE)
- Brettschichtholz – Standardformen (Durchschnitt DE)
- Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)
- Brettsperrholz (Durchschnitt DE)

Die Berechnung basiert zusätzlich zu den in der ÖKOBAUDAT angegebenen Daten auf drei weiteren Herkunftsszenarien, die die gängige Marktpraxis widerspiegeln und eine differenzierte Analyse der Umweltwirkungen ermöglichen:

- Szenario 2: Baltikum
- Szenario 3: Skandinavien
- Szenario 4: Nordamerika/Kanada

Diese Szenarien, wie in Tabelle 4 beschrieben, ermöglichen eine realitätsnahe Einschätzung der Umweltauswirkungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Lieferketten und Herkunftsquellen. Die gewählte Methode stellt trotz fehlender spezifischer Daten eine fundierte Grundlage für die ökologische Bewertung von Holzterrassendielen dar. Dabei werden für Holzimporte aus anderer Herkunft als Deutschland für alle Lebenszyklusphasen außer Modul A4 die gleichen Werte unterstellt, sofern keine spezifischen Informationen zu den jeweiligen Herkunftsländern vorliegen. In Modul A4 werden Annahmen zu Transportwegen und den damit verbundenen Emissionen getroffen, um die Umweltauswirkungen entsprechend realistisch abzubilden.

WPC

Bei dem deklarierten Produkt handelt es sich um speziell für den Außenbereich geeignete Holz-Kunststoff-Terrassendielen. Die Kunststoffmatrix kann entweder aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polyvinylchlorid (PVC) bestehen.

Modul A1-3: Für die Herstellung findet die aggregierte Darstellung in Form von A1-3 Verwendung. Darunter fallen die Rohstoffversorgung, die Herstellung der WPC-Terrassendiele, alle Transporte zum Hersteller, die benötigten Energieverbräuche und Ressourcen sowie jegliche anfallende Produktionsabfälle.

Modul A4: Transport des Produktes von dem Hersteller zur Baustelle

Modul B2: Instandhaltung der WPC-Terrassendielen während der Nutzungsphase: Reinigung der WPC-Terrassendiele

Modul C2: Transport des ausrangierten Produktes zum Recyclinghof oder Hersteller

Modul C3 - Abfallbehandlung, wie thermische oder stoffliche Verwertung: Auf Grund der gewählten Systemgrenzen (Definition des End-of-waste Status) findet keine Abfallbeseitigung (Modul C4) der WPC-Terrassendiele statt. Es wird somit nur der Export der materialinhärenten Eigenschaften bilanziert. Nach Herstellerangaben kann davon ausgegangen werden, dass 70 % der WPC-Produkte stofflich und 30 % thermisch verwertet werden. Der durchschnittliche Transportweg zwischen Endverbraucher und Entsorgungsanlage beträgt 250 km

Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb des betrachteten Systems durch thermische und stoffliche Verwertung

Thermowood

Thermowood ist Holz, das durch ein spezielles thermisches Verfahren (Thermobehandlung) behandelt wurde, um seine Eigenschaften zu verbessern und es widerstandsfähiger gegen Witterungseinflüsse zu machen. Diese Behandlung erfolgt bei hohen Temperaturen (180 bis 230°C) in einem sauerstoffarmen Umfeld, wodurch chemische Reaktionen im Holz ausgelöst werden.

Da hier keine Durchschnitts-EPDs von Verbänden existieren, werden in diesem Fall drei öffentlich verfügbare und zugängliche verifizierte spezifischen EPD-Datensätze verwendet. Um die Marktsituation realistisch abzubilden, wurde hierbei auf EPDs aus den Ländern Dänemark, Schweden und Lettland zurückgegriffen (EPD-Nr. siehe Tabelle 7). Die Umweltproduktdeklarationen wurden nach DIN EN 15804 erstellt und extern verifiziert und sind somit für eine Vergleichbarkeit geeignet.

Modul A1-3: In der Produktionsstätte wird das Holz gehobelt/profilert und zur Verbesserung der Holzeigenschaften thermisch modifiziert. Schließlich wird das Holz für den Versand verpackt. Die angenommenen Transportentfernungen können Tabelle 5 entnommen werden. Die Herstellungsphase umfasst die Beschaffung aller Rohstoffe, Produkte und Energie, den Transport zur Produktionsstätte, die Verpackung und die Abfallbehandlung bis zum "End-of-Waste"-Zustand oder zur endgültigen Entsorgung. Die LCA-Ergebnisse werden in aggregierter Form für die Produktstufe deklariert, was bedeutet, dass die Teilmodule A1, A2 und A3 als ein Modul A1-A3 angegeben werden.

Modul A4: Transport des Produktes von dem Hersteller zur Baustelle unter Berücksichtigung der Szenarien der Herkunftsländer Dänemark, Lettland und Schweden.

Modul C1-4: Die verwendeten EPDs legen unterschiedliche Szenarien für die Entsorgungsphase fest und können den angehängten EPDs entnommen werden. Da es sich hierbei um spezifische EPDs handelt, werden die Energiemixe und Gutschriften für die jeweiligen Herkunftsländer berücksichtigt.

Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb des betrachteten Systems

5.2.3 Transport zum Einbauort

In Modul A4 sind die Transporte der Materialien und Vorprodukte zur Baustelle berücksichtigt. Die entsprechenden Transportdistanzen der einzelnen Baustoffe können den Tabellen 3 bis 6 entnommen werden.

5.2.4 Einbau der einzelnen Schichten

Das Modul A5 beinhaltet den Einbau der einzelnen Schichten der untersuchten Terrassenaufbauten. Etwaige Umweltwirkungen durch Anpassungs- und Installationsarbeiten bleiben auf Grund fehlender Daten unberücksichtigt. Für das Einbringen der Tragschichten und Betonrandsteine wird ein maschineller Einbau unterstellt.

Für das Verlegen der Platten aus Beton- und Naturwerkstein und keramischen Fliesen in gebundener und ungebundener Bauweise wird aus Ermangelung an belastbaren Daten ein manueller Einbau unterstellt. Ebenso für die Belagsarten Holzdielen, Thermowood und WPC. Dies ist bei derartigen Produkten im privaten Bereich üblich und häufig und benachteiligt somit keine der untersuchten Terrassenaufbauten.

5.2.5 Nutzungsphase

Die Nutzungsphase wird für alle Terrassenaufbauten gemäß DIN EN 15804 betrachtet. Weil für die Ausführungsvarianten mit Plattenbelägen keine Werte vorliegen, wird angenommen, dass an den hergestellten Terrassenaufbauten keine Erhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich sind. Pflegearbeiten, die durch das regelmäßige Kehren und das Entfernen von Unrat, Laub oder Aufwuchs die Gebrauchstauglichkeit der Terrassenfläche über einen möglichst langen Zeitraum hinweg ermöglichen, erfolgen angesichts der überschaubaren Fläche von 17,5 m² manuell. Im Gegensatz dazu benötigt der Terrassenaufbau mit Holzdielen eine regelmäßige Behandlung mit Holzschutzmitteln (Lasur), weshalb hierfür entsprechende Werte berücksichtigt werden.

5.2.6 Entsorgungsphase und Belastungen außerhalb der Systemgrenze

In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass die Schottertragschicht und die Fundamentierung nicht gezielt zurückgebaut werden, sondern an Ort und Stelle verbleiben. Es erfolgt demnach keine Entsorgung aber auch keine Aufbereitung infolgedessen etwaige Gutschriften erfolgen würden.

Demnach umfassen die Module C und D Lasten und Gutschriften infolge der Nachnutzung der Deckschichten aus Beton, Natursteinen, keramischen Fliesen, Holzdielen, Thermowood und WPC.

Der Rückbau der benannten Materialien erfolgt teilweise maschinell und teilweise manuell. Im Modul C1 sind nur die maschinellen Aufwendungen aus ökobilanzieller Sicht bewertbar. Der Transport vom Ort der Nutzung zum Ort der Aufbereitung in Modul C2 beträgt die in den jeweils verwendeten EPDs angegebene Entfernung.

Die aus der Nachnutzung resultierenden Gutschriften sind Modul D zugeordnet.

5.3 Beschreibung der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Die beschriebene Vorgehensweise ermöglicht die Berechnung verschiedener Wirkungskategorien und Umweltindikatoren. Eine Wirkungskategorie beschreibt den potenziellen Effekt eines Produkts oder Prozesses über dessen gesamten Lebenszyklus auf die Umwelt. Der Einfluss unterschiedlicher Ressourcen und Emissionen wird je Umweltwirkungskategorie normalisiert und zu einer spezifischen Ressource/Emission in Form von „Äquivalenten“ addiert; beispielsweise werden die Treibhausgase mit der Einheit „kg CO₂-Äquivalente“ ausgewiesen.

Wirkungskategorien werden durch sogenannte „Elementarflüsse“ der Material- und Energiemengen berechnet. Elementarflüsse beschreiben sowohl die Menge an Ressourcen, die für die Herstellung und die Erzeugung von Energie aus der Umwelt entnommen werden, als auch die Emissionen in die Umwelt, welche durch das Produktsystem verursacht werden.

Innerhalb der Studie werden die nach DIN EN 15804 geforderten Wirkungskategorien und Umweltindikatoren betrachtet.

5.4 Auswerteindikatoren der Sach-bilanz nach DIN EN 15804

Die Bewertung der Sachbilanz in einer vergleichenden Ökobilanz erfolgt anhand standardisierter Indikatoren gemäß DIN EN 15804. Diese Indikatoren ermöglichen eine systematische und transparente Erfassung der Energie- und Stoffströme über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Bauweise.

Die Norm unterscheidet dabei zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen, die entweder als Energieträger genutzt oder stofflich im Produkt gebunden werden. Neben dem Primärenergieverbrauch werden auch weitere Kennwerte wie der Wasserverbrauch und das Abfallaufkommen berücksichtigt.

Die folgende

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die relevanten Indikatoren der Sachbilanz und deren Bedeutung für die vergleichende Bewertung der betrachteten Terrassenaufbauten.

Tabelle 8: Umweltindikatoren der Sachbilanz

Umweltindikator	Einheit
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ
Total erneuerbare Primärenergie (PERT)	MJ
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ
Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT)	MJ
Einsatz von Sekundärstoffen (SM)	kg
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)	MJ
Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³

5.5 Auswerteindikatoren der Wirkungsabschätzung nach DIN EN 15804

Die in Tabelle 9 enthaltenen Umweltwirkungen wurden in dieser Studie berücksichtigt. Sie decken die wesentlichen Kategorien ab, die zur Beurteilung der ökologischen Nachhaltigkeit eines Produkts oder Prozesses notwendig sind. Sie entsprechen den Anforderungen der einschlägigen DIN-Normen sowie internationalen Standards für die Ökobilanzierung. Die Berücksichtigung dieser Indikatoren ermöglicht eine umfassende und differenzierte Bewertung der Umweltwirkungen und trägt dazu bei, fundierte Entscheidungen in der Planung und Umsetzung von Bauprojekten zu treffen.

Die Indikatoren Treibhauspotential, Primärenergiebedarf und Abiotisches Ressourcenpotential lassen Aussagen im Hinblick auf Klimawandel und Energie- und Ressourceneffizienz zu, die von hohem politischem Interesse sind und zu den drängendsten Umweltfragen unserer heutigen Zeit gehören.

Überdüngung, Versauerung und Sommersmog (photochemisches Ozonbildungspotential)

stehen im Zusammenhang mit Umweltwirkungen, die die Luft, den Boden und die Wasserqualität beeinflussen.

Das Ozonabbaupotential hat eine politische Relevanz im Hinblick auf das weltweite Verbot von Ozon zerstörenden Substanzen.

Der Wasserverbrauch, d. h. durch den Menschen verursachter Rückgang der Wasserverfügbarkeit durch Verfrachtung oder Verdunstung, ist von hoher politischer Relevanz. Im Zuge des Klimawandels wird Wasser immer knapper werden, sowohl in Gebieten, in denen heute noch ausreichend Wasser vorhanden ist als auch verstärkt an Orten, an denen es heute schon zu wenig Wasser gibt. Dies führt zu einer Vielzahl von Problemen in den Ökosystemen, der Gesundheit und der Ernährung.

Aufgrund der Tatsache, dass in der ÖKOBAUDAT für Betonpflaster anstelle der in der DIN EN 15804+A2 vorgeschriebenen Einheit kg P-Äq. für das Eutrophierungspotenzials (EP-freshwater) die Einheit kg PO₄-

Äq. verwendet wird, ist eine Umrechnung der Werte für die in dieser Ökobilanzierung betrachteten Betonrandsteine und -belagselemente erforderlich. Die Umrechnung der Phosphor-Äquivalente in Form von Phosphat erfolgt mittels eines Umrechnungsfaktors, der auf der molaren Masse von Phosphor basiert. Das bedeutet, dass der angegebene Wert mit etwa 0,326 multipliziert werden muss, um den normkonformen Wert in Phosphor-Äquivalenten (P-Äq.) zu erhalten:

$$1 \text{ kg PO(4)} - \text{Äq.} = \frac{30,97}{94,97} \text{ kg P-Äq.} \sim 0,326 \text{ kg P-Äq.}$$

Es wird betont, dass die genannten Kategorien Wirkungspotenziale darstellen, d. h. die Zahlenwerte sind Annäherungen an die Umwelteffekte, die auftreten können, wenn die emittierten Stoffe erstens dem im Modell hinterlegten Übertragungswegen folgen und zweitens auf bestimmte Bedingungen in der Umwelt treffen.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung stellen relative Angaben bzw. Potenziale dar, die keine Information zu konkreten Umweltwirkung abbilden; daraus können keine Grenzwertüberschreitungen oder Risikoanalysen abgeleitet werden.

Tabelle 9: Umweltwirkungen der Sachbilanz

Umweltwirkung	Einheit
Globales Erwärmungspotenzial - total (GWP-total)	kg CO ₂ eq.
Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg CFC-11 eq.
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg NMVOC eq.
Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung (AP)	mol H ⁺ eq.
Eutrophierungspotenzial - Süßwasser (EP-freshwater)	kg P eq.
Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen nicht fossile Ressourcen (ADPE)	kg Sb eq.
Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen fossile Brennstoffe (ADPF)	MJ

5.6 Unsicherheiten bei Ergebnissen einer Wirkungsabschätzung

Datenqualität und Unsicherheit der Ergebnisse bedingen sich gegenseitig. Die Genauigkeit von Daten hängt ab von Messtoleranzen, Annahmen, Vollständigkeit, Detailtiefe des betrachteten Systems und der Repräsentativität der verwendeten Daten.

Unsicherheiten werden zudem über die Methoden und Modelle der Wirkungsab-

schätzung verursacht – und diese variieren zwischen den ausgewiesenen Wirkungskategorien.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung unterliegen verschiedenen Unsicherheiten, die sich aus der Datenqualität, Modellierungsannahmen und methodischen Grenzen der Ökobilanz ergeben. Eine zentrale Quelle der Unsicherheit liegt in der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen. Während spezifische EPDs auf produktspezifischen Messungen beruhen, basieren

durchschnittliche und generische Datensätze oft auf Mittelwertbildungen, was zu Abweichungen führen kann.

Die Güte der Datensätze ist ein entscheidender Faktor für die Aussagekraft der Ökobilanzierung (siehe Anhang C). Je spezifischer die EPD, desto präziser lassen sich Umweltwirkungen eines bestimmten Produkts bestimmen. Gleichzeitig steigt mit zunehmender Spezifität die eingeschränkte Übertragbarkeit auf andere Produkte oder Hersteller. Branchenweite und generische Daten ermöglichen dagegen eine höhere Vergleichbarkeit, gehen jedoch mit größeren Unsicherheiten einher.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor sind Modellierungsannahmen. Beispielsweise erfordert die Berücksichtigung des EoL-Szenarios Abschätzungen über zukünftige Entsorgungs- und Recyclingraten. Solche Annahmen sind mit Unsicherheiten behaftet, da technologische Entwicklungen oder politische Rahmenbedingungen Änderungen bewirken können.

Auch die Systemgrenze beeinflusst die Unsicherheit der Ergebnisse. So kann die schlechte Datenverfügbarkeit bestimmter Module (z. B. B1-B7) in dieser Studie dazu führen, dass nicht alle Umweltwirkungen vollständig abgebildet sind. Die Wahl der Allokationsmethoden kann ebenfalls zu Unsicherheiten führen, insbesondere wenn Umweltauswirkungen zwischen verschiedenen Produkten oder Lebenszyklusphasen aufgeteilt werden müssen.

Zusätzlich spielen Wirkungsmodelle und Charakterisierungsfaktoren eine Rolle. Die Zuordnung von Emissionen zu Umweltwirkungen, beispielsweise über Global

Warming Potential (GWP) oder Eutrophierungspotenzial (EP), basiert auf wissenschaftlichen Modellen, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Einige Wirkungsmechanismen sind noch nicht vollständig erforscht, was zu Abweichungen zwischen verschiedenen Datenbanken oder Methoden führen kann.

Um diesen Unsicherheiten zu begegnen, wurden Sensitivitätsanalysen bzgl. Transportdistanzen und EoL-Szenarien berücksichtigt und durchgeführt. Dadurch konnte überprüft werden, wie stark sich Schwankungen einzelner Parameter auf das Gesamtergebnis auswirken. Insgesamt zeigt die Analyse, dass die getroffenen Annahmen robust sind und die Ergebnisse eine ausreichende Vergleichbarkeit der untersuchten Alternativen ermöglichen.

5.7 Ergebnisse der ökobilanzzielen Ermittlungen

Die Auswahl geeigneter Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen ist ein zentraler Aspekt in der vergleichenden Ökobilanzierung. In der vorliegenden Analyse wurde die Darstellung der Umweltwirkungen als Säulendiagramme auf das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) und den nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauch (PENRT) beschränkt.

Das GWP stellt eine der etabliertesten und am weitesten verbreiteten Kenngrößen in der Umweltbewertung dar. Es quantifiziert die Klimawirkung von Treibhausgasemissionen über einen definierten Zeitraum (in der Regel 100 Jahre) und ermöglicht eine direkte Vergleichbarkeit der Klimarelevanz verschiedener Baustoffe und Bauweisen. Aufgrund der überragenden Bedeutung des

Klimawandels als globale Umweltproblematik ist das GWP eine der zentralen Entscheidungsgrößen in umweltbezogenen Bewertungen und politischen Strategien.

Des Weiteren wurde der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch (PENRT) als Indikator gewählt, da er einen unmittelbaren Zusammenhang zur Ressourcennutzung und damit zur langfristigen Nachhaltigkeit von Baustoffen und Bauweisen herstellt. Die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern ist ein entscheidender Faktor für Umweltwirkungen wie Treibhausgasemissionen, Versauerung oder Smogbildung. Die Reduzierung des nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauchs stellt daher ein wesentliches Ziel in der Entwicklung nachhaltiger Systeme dar.

Außerdem spricht für die Fokussierung auf GWP und PENRT die Relevanz dieser Indikatoren für eine breite Stakeholder-Gruppe, einschließlich Entscheidungsträgern aus Politik, Industrie und Wissenschaft. Während andere Umweltindikatoren, wie beispielsweise das Versauerungspotenzial (AP) oder das Eutrophierungspotenzial (EP), in spezifischen Kontexten relevant sein können, bieten GWP und PENRT eine allgemein verständliche und breit akzeptierte Grundlage für ökologische Bewertungen.

Zusätzlich ermöglicht die Beschränkung auf diese beiden Indikatoren eine klare und prägnante Darstellung der Ergebnisse. Eine Vielzahl an Umweltindikatoren kann die Interpretation erschweren und von den zentralen Aussagen ablenken. Durch die Konzentration auf die zwei aussagekräftigsten und breit etablierten Indikatoren wird die Kommunikation der Ergebnisse verbessert,

ohne dabei wesentliche ökologische Aspekte zu vernachlässigen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Wahl von GWP und PENRT sowohl aus methodischer als auch aus kommunikativer Perspektive begründet ist. Sie ermöglichen eine fundierte und gut verständliche Bewertung der Umweltwirkungen und tragen dazu bei, die wesentlichen ökologischen Herausforderungen – insbesondere den Klimawandel und die Ressourcenverknappung – in den Mittelpunkt der Analyse zu rücken.

Die Ergebnisse für die betrachteten Module der untersuchten Terrassenaufbauten sind in Anhang D – Tabellarische Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für alle in den Tabellen genannten Umweltwirkungen in tabellarischer Form je Aufbaubeispiel und -variante abgebildet sowie zusätzlich noch einmal in den Abbildungen 8 und 9 in Form von Säulendiagrammen, die einen einfachen Vergleich der untersuchten Terrassenaufbauten in Bezug auf GWP und PENRT ermöglichen.

5.8 Interpretation der Ergebnisse

Die Ökobilanzierung erlaubt sowohl einen systemischen Vergleich von baulichen Lösungen wie beispielsweise hier Oberbaukonstruktionen für Terrassenflächen als auch die Analyse der Herstellung von Bauprodukten, wie Betonwerksteinplatten oder anderen Baustoffen für die Terrassenherstellung. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Ökobilanz neben objektiven Sachverhalten auch auf Werthaltungen und Annahmen beruht und somit die Ergebnisse als relativ anzusehen sind.

Mit Hilfe der erhobenen Daten konnte die Umweltperformance, wie beispielsweise das Treibhauspotenzial und der Primärenergiebedarf, über den Lebenszyklus von Terrassenaufbauten mit unterschiedlichen Deckschichten für die Referenzfläche von 17,5 m² und einen Nutzungszeitraum von 25 Jahren ermittelt werden.

Der Vergleich der untersuchten Terrassenaufbauten zeigt am Beispiel der Treibhausgasemissionen (siehe Abbildung 8) sowie des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (siehe Abbildung 9), dass mit Bauweisen unter Verwendung von Betonprodukten aus Sicht der Ökobilanz vorteilhafte Gesamtlösungen zu erzielen sind.

Die in dieser Studie ermittelten Ökobilanzergebnisse (siehe Anhang D) lassen aber auch die Auswertung der in den Tabelle 8 und 9 aufgeführten Umweltindikatoren und -wirkungen gemäß der DIN EN 15804 zu.

Bei Betrachtung der dargestellten Ergebnisse der Module des Lebenszyklus fällt auf, dass die insbesondere Terrassenaufbauten unter Verwendung von Betonsteinprodukten in der ungebundenen Ausführung aufgrund der sehr guten Wiederverwendbarkeit im EoL-Szenario die Aufwendungen in der Herstellungsphase der Betonwerksteinplatten gut kompensieren können.

Naturwerksteinplatten können nahezu vollständig wiederverwendet werden, wodurch erneute Aufwendungen in der Herstellungsphase sowie teilweise lange Transportwege entfallen. Zusammenfassend ergeben sich bei der Betrachtung „cradle-to-grave“ für die beiden Aufbaubeispiele mit Betonwerksteinplatten als Deckschichtbelag

innerhalb der miteinander verglichenen Befestigungen vorteilhafte Bilanzergebnisse.

Um bei Naturwerksteinplatten, Holz- und Thermowood-Dielen den Einfluss von Transporten bzw. Importen in Bezug auf die Umweltwirkungen der Herstellung herauszuarbeiten, wurden innerhalb der betrachteten Beispiele verschiedene-Szenarien angelegt, wobei für diese die in den Tabellen 3 bis 6 aufgeführten typischen Transportentfernungen und Herkunftsländer bilanziert wurden. Die Naturstein- oder Holztransporte aus Übersee zeigen am Beispiel China für Natursteinprodukte und Nordamerika für Holz deutlich, dass diese Bezugsform ökobilanziell erheblich nachteilig ist. Ein lokaler Bezug von Baustoffen ist daher in jedem Fall vorzuziehen. Dies gilt prinzipiell für alle in Frage kommenden Baustoffe.

Bei der Bewertung von Verbundwerkstoffen – insbesondere Wood-Plastic-Composites (WPC) – ist die Trennung der einzelnen Materialkomponenten am Ende der Lebensdauer ein zentraler Aspekt.

Aufgrund der stoffschlüssigen Verbindung von Holzfasern und Kunststoffen ist eine sortenreine Trennung in der Praxis technisch aufwendig oder wirtschaftlich nicht darstellbar.

Dies erschwert ein werkstoffliches Recycling und führt häufig dazu, dass WPC-Produkte thermisch verwertet oder deponiert werden müssen, wodurch potenzielle Sekundärrohstoffe verloren gehen.

Aus ökologischer Sicht ist die eingeschränkte Recyclingfähigkeit ein relevanter Unsicherheitsfaktor, der insbesondere in der End-of-Life-Betrachtung berücksichtigt wird.

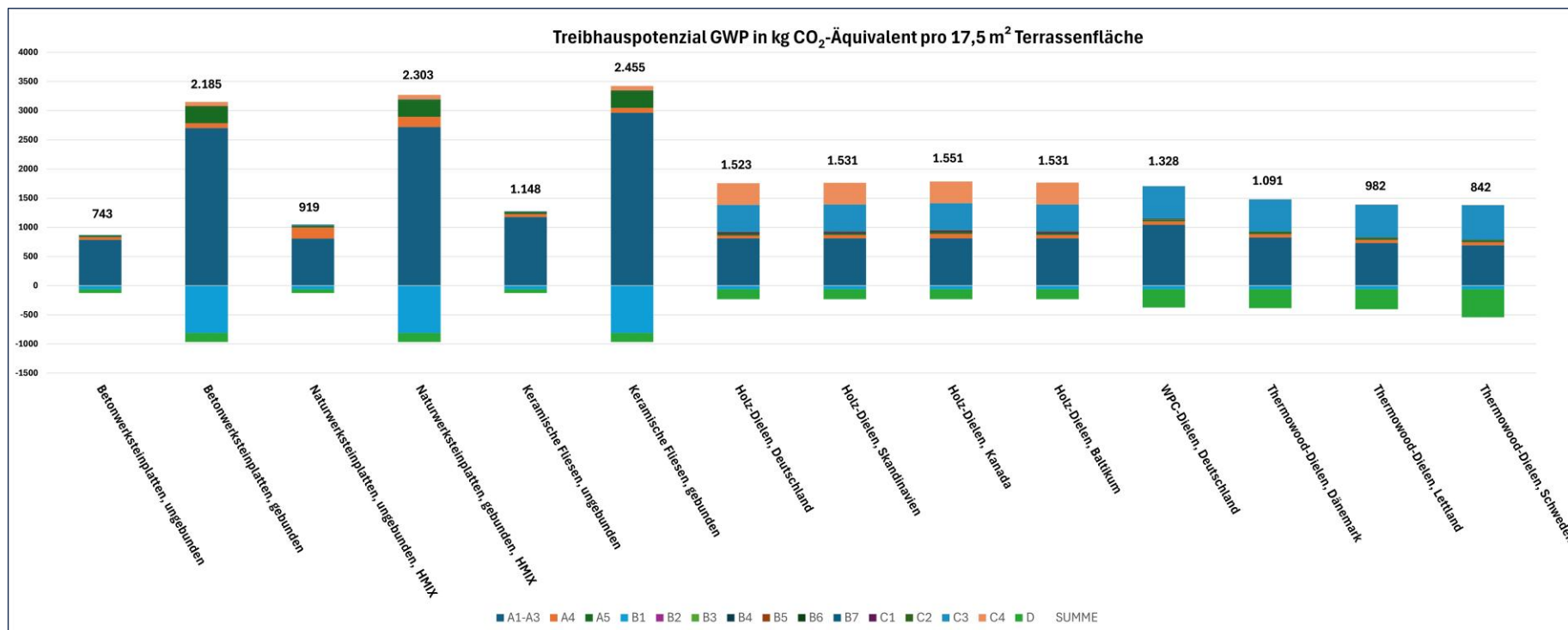


Abbildung 8: Vergleich des GWP der untersuchten Terrassenaufbauten

Hinweis zum Lesen des Diagramms: Die abgebildeten Zahlen über den Säulen repräsentieren die kumulierten Umweltwirkungen, d.h. es werden für die ausgewählten Betrachtungsfälle die Belastungen der Module A, B und C mit den Gutschriften aus Modul D verrechnet. Die Säulen selbst bilden jeweils die tatsächlichen Emissionen und Gutschriften ab.

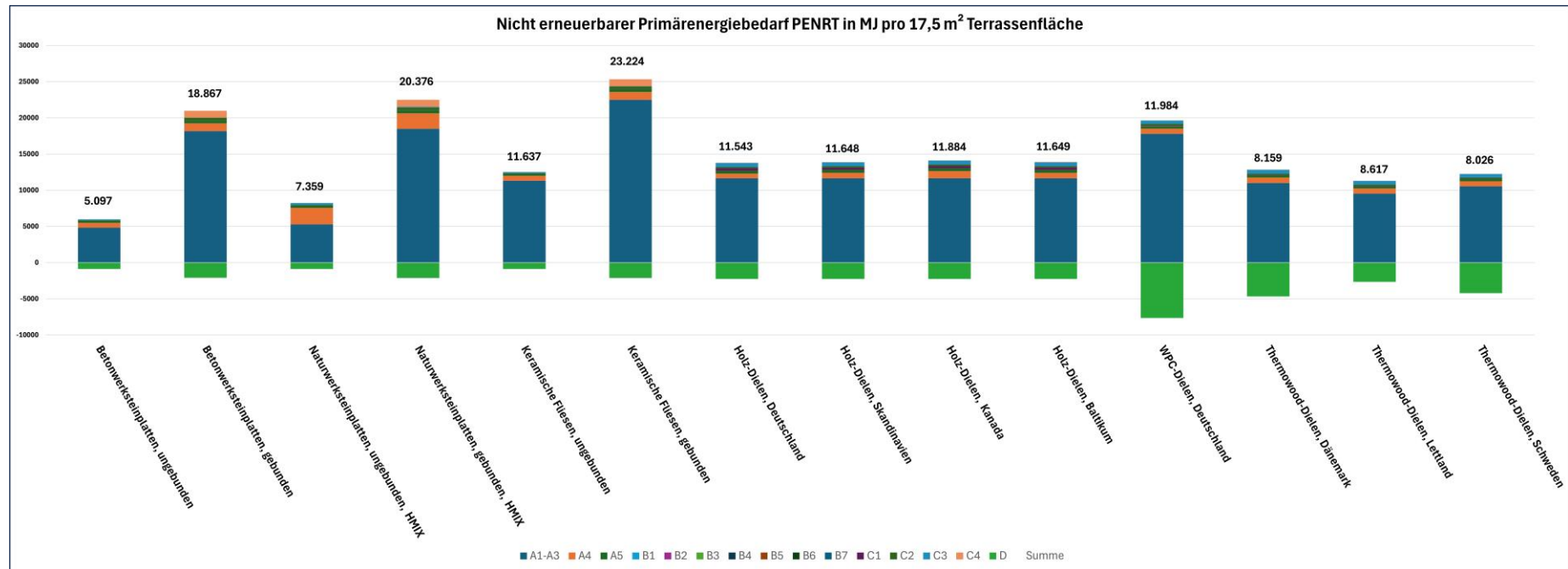


Abbildung 9: Vergleich des PENRT der untersuchten Terrassenaufbauten

Hinweis zum Lesen des Diagramms: Die abgebildeten Zahlen über den Säulen repräsentieren die kumulierten Umweltwirkungen, d.h. es werden für die ausgewählten Betrachtungsfälle die Belastungen der Module A, B und C mit den Gutschriften aus Modul D verrechnet. Die Säulen selbst bilden jeweils die tatsächlichen Emissionen und Gutschriften ab.

Literaturverzeichnis

ISO 21930 (Juli 2017). *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Grundregeln für die Umweltdeklaration von in Bauwerken verwendeten Bauprodukten und technischen Anlagen*. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: DIN Media.

DIN EN ISO 14040 (Februar 2021). *Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020*. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: DIN Media.

DIN EN ISO 14044 (Februar 2021). *Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020*. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: DIN Media.

DIN EN 15804 (März 2022). *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021*. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: DIN Media.

ATV DIN 18318 (September 2019). *VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Pflasterdecken und Plattenbeläge, Einfassungen*. (Deutsches Institut für Normung e. V., Hrsg.) Berlin: DIN Media.

ZTV-Wegebau – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs. 2. Ausgabe, November 2022. (Forschungsgesellschaft Landschaftspflege Landschaftsbau e. V., Hrsg.) Bonn.

Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Bauwerken und Bauteilen aus Hölzern, Holz- und Verbundwerkstoffen im Garten- und Landschaftsbau (Empfehlungen für Holz im GaLaBau); 1. Ausgabe, Juni 2019. (Forschungsgesellschaft Landschaftspflege Landschaftsbau e. V., Hrsg.) Bonn.

DGfH e.V. (Hrsg.): *Baulicher Holzschutz – Merkblatt*. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, 2019.

Bösch, Matthias; Englert, Hermann; Weimar, Holger; Dieter, Matthias (2023): Where does the wood come from? A physical accounting model to trace the origin of wood-based products. In: *Journal of Cleaner Production* 384; Beuth Verlag, Berlin, 2022.

ÖKOBAUDAT-Handbuch Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank Version 2.1, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Berlin, Wien, Freiburg am 28.06.2021.

Informationspapier Vergleichende Ökobilanz – Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit unterschiedlichen Deckschichten – Langfassung. März 2025. (Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V., Hrsg.) Bonn.

Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit unterschiedlichen Deckschichten (Aktualisierung des Berichts „Vergleichende Ökobilanz: Oberbaukonstruktionen mit unterschiedlichen Deckschichten, Fassung 2009/2011“, bestehend aus Vergleichende Ökobilanz – Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit unterschiedlichen Deckschichten; Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. – SLG (Hrsg.); Bonn 2009, und Tabellarische Aufstellung von Informationen für die Erstellung modularer Ökobilanzen von Pflastersteinen und Platten aus Beton mit vergleichbaren Lösungen aus Naturstein, Klinker und Asphalt für Oberbaukonstruktionen).

Kittelberger, Siegrun; Goymann, Melanie: *Vergleichende Ökobilanz: Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit unterschiedlichen Deckschichten. Aktualisierung des Berichts „Vergleichende Ökobilanz: Oberbaukonstruktionen mit unterschiedlichen Deckschichten, Fassung 2009/2011“.* BetonMarketing Deutschland GmbH; Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), PE INTERNATIONAL, Erkrath/Bonn, Juli 2014.

Anhang A – Berechnungsgrundlagen für die Sachbilanz

Berechnung der Sachbilanz										Annahmen				
	Beschreibung	Phase	Segment	Richtg.	Länge	Breite	Höhe	Dichte	Gewicht	Multiplikator	Arbeits- [Stück]	Transportweg [km]	Reaktor für 77,5 m ³	eventuelle Umwandlung zur physikalischen Einheit entsprechend [LPG, GJ, kWh, pro t, etc.]
Aluminium geliefert bei ungetriebenen Schichten	Grundmaterial (Bent C22 Z)				0,359	x 12							x 4,389 t ¹	CO ₂ -Äqu. pro t ²
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
Aluminium geliefert bei ungetriebenen Schichten	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
Aluminium geliefert bei ungetriebenen Schichten	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
Aluminium geliefert bei ungetriebenen Schichten	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001
	Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001				12	1,5	0,001							Aluminium-Blech 1,5 x 1,5 x 0,001

Tabelle 10: Vorgehensweise zur Erstellung der Sachbilanz

Anhang B – Beschreibung der Auswertegrößen

Global Warming Potential (GWP) – Treibhauspotential

Das GWP beschreibt die Klimawirkung eines Stoffes basierend auf seiner Fähigkeit, Wärme in der Atmosphäre zu absorbieren und die Erderwärmung zu verstärken. Ein hoher GWP-Wert bedeutet, dass der Stoff in der Lage ist, mehr Wärme zu speichern und somit den Klimawandel stärker zu beeinflussen. Der GWP wird oft über einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet. Emissionen von CO₂ haben ein GWP von 1, während andere Gase wie Methan oder Lachgas ein höheres GWP aufweisen.

Ozone Depletion Potential (ODP) – Ozonabbaupotenzial

Das ODP gibt an, wie stark ein Stoff zur Zerstörung der Ozonschicht beiträgt, die die Erde vor schädlicher UV-Strahlung schützt. Ozonabbauende Substanzen wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) oder Stickoxide können das Ozon in der Stratosphäre abbauen. Ein hoher ODP-Wert bedeutet, dass ein Stoff die Ozonschicht erheblich beeinträchtigt.

Photooxidant Creation Potential (POCP) – Photooxidantienbildung

Der POCP misst die Fähigkeit eines Stoffes, in der Atmosphäre bodennahes Ozon zu bilden, das für den sogenannten Sommersmog verantwortlich ist. Hohe Ozonwerte in der Troposphäre sind schädlich für Menschen und Pflanzen und können zu Atemwegserkrankungen und Schädigungen der Vegetation führen. Der POCP bewertet, wie sehr eine Substanz zur Bildung von Ozon beiträgt, das als Photooxidant schädlich wirkt.

Acidification Potential (AP) – Versauerungspotenzial

Das AP gibt an, wie stark eine Substanz zur Versauerung von Böden und Gewässern beiträgt. Versauerung kann durch Emissionen von Stickstoffoxiden (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂) und Ammoniak (NH₃) verursacht werden. Ein hoher AP-Wert bedeutet, dass die betreffende Substanz die Versauerung von Ökosystemen fördert, was negative Auswirkungen auf die Biodiversität und die Bodenfruchtbarkeit hat.

Eutrophication Potential (EP) – Eutrophierungspotenzial

Das EP beschreibt, wie stark eine Substanz zur Überdüngung von Gewässern beiträgt, was das Algenwachstum fördert und zu Sauerstoffmangel führt. Dies kann die Lebensqualität aquatischer Organismen beeinträchtigen und die Wasserqualität verringern. Der EP-Wert berücksichtigt die Emissionen von Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor, die in Gewässern das Wachstum von Algen begünstigen.

Abiotic Depletion Potential, Elements (ADPE) – Abbaupotenzial von Nicht-Energie-Rohstoffen (Elemente)

Das ADPE bewertet, wie stark die Gewinnung von Materialien aus nicht erneuerbaren Rohstoffen wie Metallen und Mineralien die Vorräte dieser Rohstoffe erschöpft. Ein hoher ADPE-Wert bedeutet, dass ein Produkt/Bauwerk oder ein Prozess zu einer stärkeren Erschöpfung von nicht-energetischen, nicht erneuerbaren Ressourcen beiträgt.

Abiotic Depletion Potential, Fossil Fuels (ADPF) – Abbaupotenzial von fossilen Brennstoffen

Das ADPF beschreibt, wie stark ein Prozess zur Erschöpfung fossiler Brennstoffe beiträgt. Fossile Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas sind nicht erneuerbar und ihre Verwendung führt zu einer langfristigen Verringerung der globalen Energiequelle. Der ADPF-Wert hilft zu verstehen, wie ressourcenintensiv eine Aktivität oder ein Produkt/Bauwerk im Hinblick auf fossile Energiequellen ist.

Primary Energy Renewable (PERE) – Erneuerbare Primärenergie

Das PERE beschreibt die Menge an erneuerbarer Primärenergie, die während des Lebenszyklus eines Produkts/Bauwerks oder einer Dienstleistung verwendet wird. Hierbei handelt es sich um Energiequellen wie Wind, Sonne, Wasser und Biomasse. Der PERE-Wert gibt an, wie stark ein Prozess auf nachhaltige Energiequellen angewiesen ist.

Primary Energy Renewable Material (PERM) – Erneuerbare Primärenergie für Materialien

Der PERM zeigt, wie viel erneuerbare Primärenergie in Materialien enthalten ist, die für die Herstellung eines Produkts/Bauwerks verwendet werden. Dies bezieht sich auf Materialien, die aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Ein hoher PERM-Wert bedeutet, dass das Produkt/Bauwerk stärker auf nachhaltige und erneuerbare Materialien angewiesen ist.

Primary Energy Renewable Total (PERT) – Gesamt erneuerbare Primärenergie

Der PERT gibt an, wie viel erneuerbare Primärenergie insgesamt für die Herstellung eines Produkts/Bauwerks, einschließlich Materialien und Energie, benötigt wird. Der Wert zeigt, wie sehr der gesamte Lebenszyklus eines Produkts/Bauwerks auf erneuerbare Energiequellen angewiesen ist.

Primary Energy Non-Renewable (PENRE) – Nicht-erneuerbare Primärenergie

Das PENRE beschreibt die Menge an nicht-erneuerbarer Primärenergie, die im Lebenszyklus eines Produkts/Bauwerks verwendet wird. Dies umfasst fossile Brennstoffe sowie nuklearen Brennstoff. Der PENRE-Wert ist ein Maß für die Umweltbelastung, da fossile Brennstoffe begrenzt sind und ihre Nutzung zur Erderwärmung beiträgt.

Primary Energy Non-Renewable Material (PENRM) – Nicht-erneuerbare Primärenergie für Materialien

Das PENRM gibt an, wie viel nicht-erneuerbare Primärenergie in den verwendeten Materialien eines Produkts/Bauwerks enthalten ist. Dies bezieht sich auf Rohstoffe wie Metalle, die für die Herstellung von Produkten/Bauwerken benötigt werden und deren Vorkommen begrenzt ist.

Primary Energy Non-Renewable Total (PENRT) – Gesamt nicht-erneuerbare Primärenergie

Der PENRT gibt an, wie viel nicht-erneuerbare Primärenergie insgesamt für die Herstellung eines Produkts/Bauwerks und seiner Materialien verwendet wird. Der Wert zeigt die

Gesamtmenge an nicht erneuerbarer Energie, die über den Lebenszyklus eines Produkts/Bauwerks verbraucht wird.

Scrap (SM) – Abfall

Der SM zeigt, wie viel Abfallmaterial während des Produktionsprozesses anfällt. Abfall, der nicht wiederverwendet oder recycelt wird, trägt zur Belastung der Deponien und zur Verschmutzung bei. Der SM-Wert zeigt, wie effizient der Produktionsprozess Abfälle minimiert und recycelt.

Net Regional Soil Fertility (NRSF) – Nettoregionale Bodenfruchtbarkeit

Der NRSF bewertet den Einfluss eines Produkts/Bauwerks oder Prozesses auf die Bodenfruchtbarkeit in einem bestimmten geografischen Gebiet. Ein negativer Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit könnte durch intensive Landwirtschaft oder industrielle Abfälle verursacht werden, was langfristige Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktivität und Ökosysteme hat.

Freshwater Use (FW) – Nutzung von Süßwasser

Der FW beschreibt, wie viel Süßwasser für die Herstellung eines Produkts/Bauwerks verwendet wird. Die Nutzung von Süßwasser ist kritisch, da in vielen Regionen der Welt Wasserknappheit herrscht. Ein hoher FW-Wert kann auf eine hohe Belastung der regionalen Wasserressourcen sowie auf den Bedarf an nachhaltigen Wassermanagementpraktiken hinweisen.

Anhang C – Übersicht unterschiedlicher EPD-/Datensatztypen

Spezifische EPDs (specific)

Spezifische Umweltproduktdeklarationen (EPDs) beziehen sich auf ein konkretes Produkt eines bestimmten Herstellers und basieren auf produktionsspezifischen Daten aus einem definierten Werk oder einer bestimmten Produktionslinie. Diese Datengrundlage ermöglicht eine hohe Genauigkeit und eine realitätsnahe Abbildung der tatsächlichen Umweltwirkungen. Da jedoch die Produktionsprozesse je nach Standort oder Hersteller variieren können, ist die Übertragbarkeit auf ähnliche Produkte oder andere Werke desselben Unternehmens begrenzt. Zudem können Änderungen in den Produktionsbedingungen oder der Rohstoffbeschaffung im Zeitverlauf zu Abweichungen führen, die nicht unmittelbar in der EPD berücksichtigt werden.

Repräsentative EPDs (representativ)

Repräsentative EPDs erfassen Durchschnittswerte für Produkte eines Herstellers oder mehrerer Unternehmen, die nach ähnlichen Verfahren produziert werden. Diese EPDs bieten eine gute Balance zwischen Genauigkeit und Übertragbarkeit, da sie eine breitere Datenbasis nutzen. Dennoch können innerhalb der betrachteten Produktgruppe Unterschiede bestehen, beispielsweise durch abweichende Rohstoffquellen, unterschiedliche Energieverbräuche oder technologische Variationen in den Produktionsprozessen. Dies kann dazu führen, dass einzelne Produkte innerhalb dieser Kategorie leicht höhere oder niedrigere Umweltwirkungen aufweisen als der deklarierte Durchschnittswert.

Branchen- oder produktgruppenspezifische EPDs (average)

Diese EPDs repräsentieren eine gesamte Branche oder Produktgruppe und basieren auf aggregierten Daten mehrerer Hersteller. Ihr Vorteil liegt in der breiten Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit innerhalb einer Branche, da sie einen übergeordneten Standard für Umweltbewertungen setzen. Allerdings können die zugrunde liegenden Daten eine größere Bandbreite aufweisen, da Unterschiede in Produktionsstandorten, verwendeten Materialien oder Energieträgern nicht vollständig erfasst werden. Dadurch ergibt sich eine erhöhte Unsicherheit hinsichtlich der tatsächlichen Umweltwirkungen einzelner Produkte, insbesondere wenn diese von der branchenüblichen Produktion abweichen.

Generische Daten (generic)

Generische EPDs beruhen oft auf Modellierungen und allgemeinen Annahmen, die aus Durchschnittswerten oder Literaturquellen abgeleitet wurden. Sie sind für erste Abschätzungen in frühen Planungsphasen nützlich, wenn keine repräsentativen oder spezifischen EPDs vorliegen. Da sie jedoch auf Durchschnittsannahmen beruhen, können sie methodische Vereinfachungen oder regionale Unterschiede enthalten, die die Genauigkeit der Umweltbewertung beeinflussen. Zudem können einzelne Prozessschritte oder spezifische Materialzusammensetzungen nicht immer präzise wiedergegeben werden, was zu Unsicherheiten in der Ökobilanzierung führt.

Standardisiertes Grundmodell (template)

EPDs vom Typ „Template“ basieren auf standardisierten Produktgruppen und modularen Aufbauten. Sie dienen als Vorlage für die Erstellung produkt- oder herstellerepezifischer EPDs, insbesondere wenn mehrere ähnliche Produkte oder Varianten existieren.

Die zugrunde liegenden Daten können generisch oder durchschnittlich sein, wobei das Template durch produktspezifische Ergänzungen (z. B. Mengenangaben, Rezepturen oder Transportdistanzen) zur anwendbaren Einzel-EPD erweitert wird.

Mangels spezifischer oder repräsentativer EPDs wurde für Dränbeton ein verwandter in der ÖKOBAUDAT verfügbarer Template-Datensatz verwendet. Es handelt sich hierbei um eine standardisierte Vorlage gemäß den Anforderungen der EN 15804, die auf allgemeinen Branchendaten basiert. Aufgrund der einheitlichen Datengrundlage für alle Varianten ist eine konsistente Vergleichbarkeit gewährleistet.

Anhang D – Tabellarische Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen

Um Missverständnisse zwischen fehlenden Werten und einer fehlenden Einflussnahme auf das Ergebnis zu vermeiden, wird in den nachfolgenden Tabellen anstelle der Zahl Null der Hinweis „-“ (No Data) verwendet. Dieser Zusatz kennzeichnet eindeutig, dass an dieser Stelle keine relevanten Daten vorliegen. Er deutete nicht darauf hin, dass diese Phasen keine Auswirkungen auf das Gesamtergebnis haben. So wird eine klare Unterscheidung zwischen fehlenden Informationen und einer tatsächlichen Nichtbeeinflussung des Ergebnisses gewährleistet.

Tabelle 11: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten in ungebundener Bauweise

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	7,84E+02	5,01E+01	2,14E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	5,30E-01	5,60E+00	8,50E+00	-6,67E+01
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,60E-07	1,37E-11	9,09E-11	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,99E-14	1,51E-12	2,33E-11	-7,63E-10
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	1,23E+00	1,83E-01	3,39E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	9,28E-03	7,89E-03	5,14E-02	-1,68E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	1,40E+00	1,89E-01	2,32E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	6,64E-03	8,29E-03	5,24E-02	-1,81E-01
EP	[kg P-Äq.]	1,10E-03	1,18E-04	5,71E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,05E-06	1,35E-05	2,04E-05	-2,21E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	7,62E-05	7,23E-06	4,67E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,30E-08	8,70E-07	4,46E-06	-1,84E-05
ADPF	[MJ]	4,84E+03	6,46E+02	2,66E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	6,88E+00	7,20E+01	1,29E+02	-8,64E+02

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	1,41E+03	6,21E+01	6,39E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	6,25E-01	7,49E+00	1,98E+01	-3,92E+02
PERM	[MJ]	4,99E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,79E+01
PERT	[MJ]	9,13E+02	6,21E+01	6,39E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	6,25E-01	7,49E+00	1,98E+01	-3,34E+02
PENRE	[MJ]	4,84E+03	6,46E+02	2,66E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	6,88E+00	7,20E+01	1,29E+02	-8,69E+02
PENRM	[MJ]	9,14E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	7,20E+01	1,29E+02	0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,84E+03	6,46E+02	2,66E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	6,88E+00	7,20E+01	1,29E+02	-8,69E+02
SM	[kg]	3,23E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	4,60E+00	2,69E-01	1,09E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,86E-04	6,98E-03	3,57E-02	-6,46E+00

Tabelle 12: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Betonwerksteinplatten in gebundener Bauweise

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	2,70E+03	8,28E+01	2,65E+02	-8,14E+02	-	-	-	-	-	-	1,45E+00	2,74E+01	3,43E-01	-1,52E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,65E-07	1,61E-11	1,44E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,74E-13	3,84E-12	3,76E-13	-1,64E-09
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	3,17E+00	1,73E-01	2,35E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,63E-02	2,37E-02	3,58E-03	-2,27E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	3,40E+00	1,81E-01	1,89E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,92E-02	2,70E-02	2,77E-03	-2,42E-01
EP	[kg P-Äq.]	3,56E-03	1,77E-04	6,49E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,75E-06	5,58E-05	4,89E-07	-3,89E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	2,25E-04	9,71E-06	4,71E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,44E-07	2,81E-06	2,97E-07	-3,95E-05
ADPF	[MJ]	1,82E+04	1,08E+03	3,60E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,93E+01	3,62E+02	5,94E+00	-2,10E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	4,72E+03	7,90E+01	1,99E+03	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,26E+00	2,16E+01	6,45E-01	-7,88E+02
PERM	[MJ]	5,57E+03	3,63E+01	2,58E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,16E+00	2,11E+01	0,00E+00	-4,67E+02
PERT	[MJ]	2,50E+03	4,27E+01	-1,62E+03	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,02E-01	4,63E-01	6,45E-01	-3,21E+02
PENRE	[MJ]	1,80E+04	1,08E+03	5,92E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,93E+01	3,62E+02	5,94E+00	-2,11E+03
PENRM	[MJ]	2,18E+02	0,00E+00	-2,17E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	3,62E+02	5,94E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,82E+04	1,08E+03	3,75E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,93E+01	3,62E+02	5,94E+00	-2,11E+03
SM	[kg]	2,59E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,63E+00	2,83E-01	2,35E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	9,93E-04	1,88E-02	1,59E-03	-6,62E+00

Tabelle 13: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten
Herkunftsmix 2 in ungebundener Bauweise

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,08E+02	1,88E+02	2,14E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	7,52E-01	1,06E+01	1,77E+01	-	-6,72E+01
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,60E-07	4,12E-10	9,09E-11	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,72E-13	3,27E-12	5,03E-11	-	-7,82E-10
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	1,32E+00	2,75E+00	3,39E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,36E-02	1,33E-02	1,02E-01	-	-1,73E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	1,48E+00	2,42E+00	2,32E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	9,92E-03	1,37E-02	1,07E-01	-	-1,86E-01
EP	[kg P-Äq.]	1,18E-03	2,38E-04	6,25E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,99E-06	2,82E-05	4,36E-05	-	-2,27E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	7,45E-05	1,40E-05	4,67E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,25E-07	1,76E-06	8,88E-06	-	-1,83E-05
ADPF	[MJ]	5,29E+03	2,27E+03	2,66E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	9,62E+00	1,36E+02	2,66E+02	-	-8,72E+02

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	1,43E+03	2,40E+02	6,39E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,04E+00	1,50E+01	4,18E+01	-	-3,93E+02
PERM	[MJ]	4,99E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-5,79E+01
PERT	[MJ]	9,36E+02	2,40E+02	6,39E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,04E+00	1,50E+01	4,18E+01	-	-3,35E+02
PENRE	[MJ]	5,29E+03	2,27E+03	2,66E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	9,62E+00	1,36E+02	2,66E+02	-	-8,76E+02
PENRM	[MJ]	3,68E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	1,36E+02	2,66E+02	-	0,00E+00
PENRT	[MJ]	5,29E+03	2,27E+03	2,66E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	9,62E+00	1,36E+02	2,66E+02	-	-8,76E+02
SM	[kg]	1,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00
FW	[m ³]	4,63E+00	3,36E-01	1,09E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	9,93E-04	1,41E-02	7,38E-02	-	-6,46E+00

Tabelle 14: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Naturwerksteinplatten
Herkunftsmix 2 in gebundener Bauweise

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	2,72E+03	1,75E+02	2,65E+02	-8,14E+02	-	-	-	-	-	-	1,59E+00	3,07E+01	6,47E+00	7,13E+01	-1,52E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,65E-07	2,82E-10	1,44E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,35E-13	5,01E-12	1,84E-11	1,74E-10	-1,65E-09
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	3,23E+00	1,88E+00	2,35E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,92E-02	2,73E-02	3,73E-02	4,04E-01	-2,30E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	3,45E+00	1,67E+00	1,89E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,14E-02	3,06E-02	3,91E-02	5,20E-01	-2,46E-01
EP	[kg P-Äq.]	3,61E-03	2,58E-04	7,03E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,38E-06	6,56E-05	1,59E-05	1,24E-04	-3,92E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	2,24E-04	1,42E-05	4,71E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,79E-07	3,40E-06	3,25E-06	7,58E-06	-3,94E-05
ADPF	[MJ]	1,85E+04	2,16E+03	3,60E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,11E+01	4,05E+02	9,73E+01	9,62E+02	-2,11E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,74E+03	1,97E+02	1,99E+03	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,54E+00	2,66E+01	1,53E+01	1,45E+02	-7,89E+02
PERM	[MJ]	5,57E+03	3,63E+01	2,58E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,16E+00	2,11E+01	0,00E+00	1,45E+02	-4,67E+02
PERT	[MJ]	2,52E+03	1,61E+02	-1,62E+03	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,82E-01	5,50E+00	1,53E+01	0,00E+00	-3,22E+02
PENRE	[MJ]	1,83E+04	2,16E+03	5,92E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,12E+01	4,05E+02	9,73E+01	9,62E+02	-2,11E+03
PENRM	[MJ]	2,17E+02	0,00E+00	-2,17E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	4,05E+02	9,73E+01	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,85E+04	2,16E+03	3,75E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,12E+01	4,05E+02	9,73E+01	9,62E+02	-2,11E+03
SM	[kg]	1,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,65E+00	3,27E-01	2,35E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,26E-03	2,35E-02	2,70E-02	2,44E-01	-6,62E+00

Tabelle 15: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen in ungebundener Bauweise

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	1,17E+03	5,34E+01	3,06E+01	-6,03E+01	1,12E-02	-	-	-	-	-	4,07E-01	5,85E+00	1,01E+01	7,03E-01	-6,72E+01
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,60E-07	1,03E-11	9,08E-11	0,00E+00	2,83E-17	-	-	-	-	-	7,99E-14	1,51E-12	2,33E-11	2,82E-15	-7,63E-10
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	1,70E+00	2,54E-01	3,27E-01	0,00E+00	1,45E-05	-	-	-	-	-	6,39E-03	1,36E-02	7,30E-02	4,03E-03	-1,67E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	1,84E+00	2,65E-01	2,25E-01	0,00E+00	1,25E-05	-	-	-	-	-	4,74E-03	1,43E-02	6,74E-02	5,14E-03	-1,79E-01
EP	[kg P-Äq.]	1,31E-04	1,22E-04	6,10E-05	0,00E+00	5,96E-08	-	-	-	-	-	1,55E-06	1,50E-05	2,46E-05	1,21E-06	-2,20E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	1,31E-04	6,65E-06	4,58E-06	0,00E+00	1,65E-09	-	-	-	-	-	8,46E-08	8,96E-07	6,24E-06	6,81E-08	-1,81E-05
ADPF	[MJ]	1,13E+04	6,95E+02	2,60E+02	0,00E+00	3,08E-01	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,81E+02

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
PERE	[MJ]	2,11E+03	5,75E+01	1,46E+02	0,00E+00	2,37E-01	-	-	-	-	-	7,20E-01	7,69E+00	2,26E+01	1,29E+00	-3,82E+02
PERM	[MJ]	5,81E+02	0,00E+00	-8,27E+01	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,79E+01
PERT	[MJ]	1,69E+03	5,75E+01	6,35E+01	0,00E+00	2,37E-01	-	-	-	-	-	7,20E-01	7,69E+00	2,26E+01	1,29E+00	-3,24E+02
PENRE	[MJ]	8,54E+03	6,95E+02	2,78E+02	0,00E+00	4,07E+00	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,86E+02
PENRM	[MJ]	1,76E+01	0,00E+00	-1,76E+01	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	7,55E+01	1,60E+02	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,13E+04	6,95E+02	2,60E+02	0,00E+00	4,07E+00	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,86E+02
SM	[kg]	5,66E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	5,80E+00	2,64E-01	1,35E-01	0,00E+00	2,10E-04	-	-	-	-	-	6,70E-04	7,15E-03	4,36E-02	2,35E-03	-6,45E+00

Tabelle 16: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit keramischen Fliesen in gebundener Bauweise

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	2,96E+03	8,46E+01	2,72E+02	-8,14E+02	7,49E-03	-	-	-	-	-	1,36E+00	2,75E+01	1,43E+00	7,17E+01	-1,52E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,65E-07	1,37E-11	1,44E-10	0,00E+00	1,89E-17	-	-	-	-	-	2,74E-13	3,84E-12	3,80E-13	1,74E-10	-1,64E-09
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	3,48E+00	2,20E-01	2,28E-01	0,00E+00	9,66E-06	-	-	-	-	-	2,44E-02	2,75E-02	1,80E-02	4,07E-01	-2,26E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	3,69E+00	2,32E-01	1,84E-01	0,00E+00	8,34E-06	-	-	-	-	-	1,79E-02	3,10E-02	1,28E-02	5,23E-01	-2,41E-01
EP	[kg P-Äq.]	2,62E-04	1,80E-04	6,93E-05	0,00E+00	3,97E-08	-	-	-	-	-	3,08E-06	5,68E-05	3,24E-06	1,25E-04	-3,88E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	2,62E-04	9,28E-06	4,65E-06	0,00E+00	1,10E-09	-	-	-	-	-	1,52E-07	2,83E-06	1,48E-06	7,62E-06	-3,92E-05
ADPF	[MJ]	2,25E+04	1,11E+03	3,56E+02	0,00E+00	2,05E-01	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,64E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,12E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
PERE	[MJ]	5,19E+03	7,55E+01	2,04E+03	0,00E+00	1,58E-01	-	-	-	-	-	1,32E+00	2,17E+01	2,45E+00	1,45E+02	-7,82E+02
PERM	[MJ]	5,62E+03	3,63E+01	2,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	1,16E+00	2,11E+01	0,00E+00	1,45E+02	-4,67E+02
PERT	[MJ]	3,02E+03	3,92E+01	-1,62E+03	0,00E+00	1,58E-01	-	-	-	-	-	1,65E-01	5,98E-01	2,45E+00	8,60E-01	-3,15E+02
PENRE	[MJ]	1,95E+04	1,11E+03	6,00E+02	0,00E+00	2,71E+00	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,65E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,12E+03
PENRM	[MJ]	2,29E+02	0,00E+00	-2,29E+02	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	3,65E+02	2,62E+01	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,25E+04	1,11E+03	3,71E+02	0,00E+00	2,71E+00	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,65E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,12E+03
SM	[kg]	4,20E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	8,43E+00	2,79E-01	2,36E+00	0,00E+00	1,40E-04	-	-	-	-	-	1,05E-03	1,89E-02	6,84E-03	2,45E-01	-6,56E+00

Tabelle 17: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus Deutschland

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	4,93E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,35E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,54E-08
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,52E+00	1,80E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,24E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	3,06E+00	1,86E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,29E-01
EP	[kg P-Äq.]	2,61E-03	1,20E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	7,07E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,08E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,08E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	6,35E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,68E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,58E+00

Tabelle 18: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus Skandinavien

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	5,76E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,57E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,54E-08
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,52E+00	2,51E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,24E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	3,06E+00	2,51E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,29E-01
EP	[kg P-Äq.]	2,61E-03	1,37E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,15E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,97E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,97E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	7,40E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,76E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,58E+00

Tabelle 19: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus Nordamerika/Kanada

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO2-Äq.]	8,10E+02	7,80E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,87E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,54E-08
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,52E+00	6,91E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,24E-01
AP	[kg mol H+-Äq.]	3,06E+00	6,31E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,29E-01
EP	[kg P-Äq.]	2,61E-03	1,41E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,68E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	9,76E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	7,13E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	7,13E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	9,76E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	9,76E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,42E+00	2,77E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,58E+00

Tabelle 20: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Holzdielen aus dem Baltikum

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO2-Äq.]	8,10E+02	5,78E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,57E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,54E-08
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,52E+00	2,54E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,24E-01
AP	[kg mol H+-Äq.]	3,06E+00	2,53E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,29E-01
EP	[kg P-Äq.]	2,61E-03	1,37E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,15E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	7,41E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,97E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,97E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	7,41E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	7,41E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,42E+00	2,76E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,58E+00

Tabelle 21: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit WPC-Dielen aus Deutschland

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	1,05E+03	5,56E+01	2,40E+01	-6,03E+01	3,75E+00	-	-	-	-	-	3,40E+00	1,90E+01	5,53E+02	2,69E-03	-3,16E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	4,10E-07	2,37E-11	9,66E-11	0,00E+00	7,44E-11	-	-	-	-	-	8,30E-11	2,34E-10	1,86E-09	1,22E-11	-1,99E-08
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,12E+00	1,56E-01	3,44E-01	0,00E+00	8,92E-04	-	-	-	-	-	4,79E-02	2,40E-02	1,13E-01	1,52E-05	-4,92E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	3,33E+00	2,14E-01	2,36E-01	0,00E+00	9,05E-03	-	-	-	-	-	3,34E-02	5,31E-02	1,03E-01	1,96E-05	-9,56E-01
EP	[kg P-Äq.]	9,34E-02	1,09E-02	6,37E-05	0,00E+00	1,47E-03	-	-	-	-	-	4,13E-06	5,27E-03	3,86E-05	8,24E-09	-3,88E-02
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,14E-01	7,05E-06	4,74E-06	0,00E+00	1,75E-05	-	-	-	-	-	3,18E-07	1,85E-06	9,68E-06	1,10E-09	-1,82E-03
ADPF	[MJ]	1,72E+04	7,21E+02	2,82E+02	0,00E+00	1,05E+02	-	-	-	-	-	5,38E+01	2,49E+02	2,55E+02	3,63E-02	-8,20E+03

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	2,84E+03	6,61E+01	8,31E+01	0,00E+00	4,24E+00	-	-	-	-	-	4,35E+00	1,90E+01	5,77E+01	5,31E-03	-3,05E+00
PERM	[MJ]	5,12E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	-1,30E+03	0,00E+00	-3,73E+03
PERT	[MJ]	6,98E+03	6,61E+01	6,60E+01	0,00E+00	4,24E+00	-	-	-	-	-	4,35E+00	1,90E+01	-1,24E+03	5,31E-03	-3,60E+03
PENRE	[MJ]	1,23E+04	7,21E+02	2,85E+02	0,00E+00	6,02E+01	-	-	-	-	-	5,39E+01	2,49E+02	1,13E+03	3,66E-02	-3,01E+03
PENRM	[MJ]	5,48E+03	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	2,49E+02	4,57E+02	0,00E+00	-4,64E+03
PENRT	[MJ]	1,78E+04	7,21E+02	2,82E+02	0,00E+00	6,02E+01	-	-	-	-	-	5,39E+01	2,49E+02	4,57E+02	3,66E-02	-7,64E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,27E+03
FW	[m ³]	1,50E+03	5,72E+00	1,17E-01	0,00E+00	2,65E+00	-	-	-	-	-	5,27E-03	2,66E+00	2,06E-01	1,00E-05	5,61E+02

Tabelle 22: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen aus Dänemark

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,24E+02	5,95E+01	2,40E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	3,40E+00	1,57E+01	5,51E+02	2,69E-03	-3,27E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	3,78E-06	1,66E-11	9,66E-11	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	8,30E-11	2,28E-10	1,89E-09	1,22E-11	-5,59E-08
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,66E+00	2,17E-01	3,44E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,79E-02	3,46E+00	4,43E+00	1,52E-05	-5,09E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	3,16E+00	2,24E-01	2,36E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,34E-02	3,77E-02	1,04E-01	1,96E-05	-7,16E-01
EP	[kg P-Äq.]	4,67E-03	1,47E-04	6,37E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,13E-06	2,39E-05	4,90E-05	8,24E-09	-6,24E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,12E-01	8,77E-06	4,74E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,18E-07	1,72E-06	1,06E-05	1,10E-09	2,22E-04
ADPF	[MJ]	1,12E+04	7,66E+02	2,82E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,38E+01	2,05E+02	3,27E+02	3,63E-02	-4,67E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
PERE	[MJ]	5,71E+03	7,53E+01	8,31E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,35E+00	1,52E+01	8,87E+01	5,31E-03	-1,66E+03
PERM	[MJ]	5,30E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	-4,79E+03	0,00E+00	-5,79E+01
PERT	[MJ]	1,00E+04	7,53E+01	6,60E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,35E+00	1,52E+01	-4,70E+03	5,31E-03	-1,60E+03
PENRE	[MJ]	1,03E+04	7,66E+02	2,85E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,39E+01	2,05E+02	1,20E+03	3,66E-02	-4,68E+03
PENRM	[MJ]	7,04E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	2,05E+02	5,28E+02	0,00E+00	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,10E+04	7,66E+02	2,82E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,39E+01	2,05E+02	5,28E+02	3,66E-02	-4,68E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,15E+00	2,82E-01	1,17E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,27E-03	1,42E-02	1,04E+00	1,00E-05	-7,89E+00

Tabelle 23: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen aus Lettland

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	7,30E+02	5,62E+01	2,40E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	3,40E+00	1,53E+01	5,58E+02	2,69E-03	-3,45E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	7,44E-06	1,53E-11	9,66E-11	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,17E-10	2,13E-07	5,34E-07	1,22E-11	-3,21E-06
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,12E+00	2,42E-01	3,44E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,79E-02	3,31E-02	1,46E-01	1,52E-05	-5,47E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	2,71E+00	2,43E-01	2,36E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,34E-02	3,66E-02	1,28E-01	1,96E-05	-7,94E-01
EP	[kg P-Äq.]	4,10E-03	1,33E-04	6,37E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,14E-06	9,05E-05	1,46E-04	8,24E-09	-1,18E-02
ADPE	[kg Sb Äq.]	2,81E+00	7,93E-06	4,74E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,18E-07	3,28E-06	1,05E-05	1,10E-09	1,31E-04
ADPF	[MJ]	9,71E+03	7,21E+02	2,82E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,39E+01	2,03E+02	2,89E+02	3,63E-02	-2,57E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
PERE	[MJ]	3,28E+03	6,78E+01	8,31E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,35E+00	1,45E+01	5,79E+01	5,31E-03	-2,58E+03
PERM	[MJ]	5,37E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	-4,87E+03	0,00E+00	-5,79E+01
PERT	[MJ]	7,66E+03	6,78E+01	6,60E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,35E+00	1,45E+01	-4,81E+03	5,31E-03	-2,52E+03
PENRE	[MJ]	8,83E+03	7,21E+02	2,85E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,39E+01	2,03E+02	1,17E+03	3,66E-02	-2,66E+03
PENRM	[MJ]	6,90E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	2,03E+02	4,91E+02	0,00E+00	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	9,52E+03	7,21E+02	2,82E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,39E+01	2,03E+02	4,91E+02	3,66E-02	-2,66E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	6,72E+00	2,74E-01	1,17E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,27E-03	1,32E-02	2,06E-01	1,00E-05	-7,57E+00

Tabelle 24: Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlungen für 17,5 m² Terrassenaufbau mit Thermowood-Dielen aus Schweden

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	6,90E+02	5,54E+01	2,43E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	3,47E+00	1,45E+01	5,93E+02	3,87E+00	-4,82E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,69E-07	1,51E-11	9,64E-11	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	8,30E-11	2,28E-10	1,87E-09	1,23E-11	-5,58E-08
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	2,23E+00	2,28E-01	3,44E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,87E-02	3,08E-02	1,26E-01	3,01E-03	-8,91E-01
AP	[kg mol H ⁺ -Äq.]	2,80E+00	2,31E-01	2,35E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,40E-02	3,41E-02	1,19E-01	2,43E-03	-1,03E+00
EP	[kg P-Äq.]	2,30E-03	1,33E-04	6,33E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,56E-06	2,05E-05	4,14E-05	3,91E-06	-1,23E-03
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	7,89E-06	4,72E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,26E-07	1,63E-06	9,78E-06	4,58E-08	2,30E-04
ADPF	[MJ]	1,07E+04	7,12E+02	2,74E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,55E+01	1,90E+02	2,80E+02	8,02E+00	-4,23E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
PERE	[MJ]	2,50E+06	6,75E+01	8,18E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,46E+00	1,46E+01	6,39E+01	5,00E-01	-5,56E+03
PERM	[MJ]	2,68E+06	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	-1,30E+03	0,00E+00	-5,79E+01
PERT	[MJ]	7,20E+03	6,75E+01	6,47E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,46E+00	1,46E+01	-1,24E+03	5,00E-01	-5,51E+03
PENRE	[MJ]	9,83E+03	7,12E+02	2,77E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,55E+01	1,90E+02	1,16E+03	8,02E+00	-4,22E+03
PENRM	[MJ]	6,97E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	1,90E+02	4,82E+02	0,00E+00	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,05E+04	7,12E+02	2,74E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,55E+01	1,90E+02	4,82E+02	8,02E+00	-4,22E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,54E+00	2,74E-01	1,14E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	5,40E-03	1,35E-02	2,06E-01	4,05E-04	-8,48E+00

Anhang E – Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zum Modul A4

Sensitivitätsanalysen sind ein bewährtes Instrument zur Überprüfung der Robustheit und Aussagekraft von Modellrechnungen – insbesondere in der Ökobilanzierung, wo eine Vielzahl von Annahmen und Datenquellen in das Ergebnis einfließen. Ziel von Sensitivitätsanalysen ist es, systematisch zu untersuchen, wie empfindlich die Ergebnisse auf Änderungen einzelner Eingangsparameter reagieren. Dies ermöglicht eine transparente Einschätzung der Unsicherheiten und eine Identifikation besonders einflussreicher Faktoren.

Gerade bei vergleichenden Ökobilanzen ist die Durchführung von Sensitivitätsanalysen von großer Bedeutung, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse nicht allein von spezifischen Annahmen abhängen. Sie tragen somit zur Validierung der Ergebnisse bei und erhöhen deren Aussagekraft für die Entscheidungsfindung. In der vorliegenden Ökobilanzstudie haben mit Ausnahme von Modul A4 zu allen einbezogenen Lebenszyklusphasen valide Daten vorgelegen.

Aufgrund fehlender Daten wurden für das Modul A4 die in den Tabellen 3 bis 6 enthaltenen Annahmen zu Transportdistanzen getroffen, deren Einfluss auf die Gesamtbilanzergebnisse in den nachfolgenden Tabellen aufgezeigt wird.

Für die Variante Naturwerksteinplatten ist die Sensitivitätsanalyse bereits im Bericht enthalten, da hier grundsätzlich zwei unterschiedliche Varianten bezüglich der Herkunft der Natursteine berücksichtigt wurden. Die Transportdistanzen für alle weiteren benötigten Materialien wurden der Vollständigkeit halber auch jeweils um 75% erhöht, bzw. abgemindert. Bei keramischen Fliesen können nur bedingt Sensitivitätsanalysen bezüglich Modul A4 durchgeführt werden, da die verwendete EPD für Modul A4 bereits Werte angibt, die EPD allerdings keine Informationen darüber liefert, mit welchen Transportdistanzen gerechnet wurde. Auch hier wurde aus Gründen der Vollständigkeit der Einfluss der Transportdistanzen der übrigen benötigten Materialien untersucht und deren Einfluss abgebildet. Lediglich für die restlichen Deckschichtmaterialien wurden somit Sensitivitätsanalysen durchgeführt, bei denen auch die Transportdistanz des Herkunftslandes jeweils um 75%. Dabei wurden grundsätzlich alle Transportentfernungen im Inland jeweils um +/- 75% erhöht bzw. reduziert. Für die Szenarien aus anderen Herkunftsländern wurden die Minimal- und Maximalwerte der Transportdistanzen mittels Containerschiffs und LKW untersucht.

Die konkreten Szenarien und deren Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

Tabelle 25: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Betonwerksteinplatten

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75%)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75%)
GWP	+03,43%	-03,43%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+05,52%	-05,52%
AP	+05,68%	-05,68%
EP	+06,21%	-06,21%
ADPE	+05,63%	-05,63%
ADPF	+06,42%	-06,42%
PERE	+03,08%	-03,08%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+04,94%	-04,94%
PENRE	+06,42%	-06,42%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+06,42%	-06,42%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+02,35%	-02,35%

Tabelle 26: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Naturwerksteinplatten nach Herkunftsmix 2

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75%)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75%)
GWP	+01,65%	-01,65%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+01,11%	-01,11%
AP	+01,27%	-01,27%
EP	+03,05%	-03,05%
ADPE	+03,03%	-03,03%
ADPF	+02,53%	-02,53%
PERE	+01,49%	-01,49%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+02,12%	-02,12%
PENRE	+02,53%	-02,53%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+02,53%	-02,53%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+01,64%	-01,64%

Tabelle 27: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit keramischen Fliesen

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75%)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75%)
GWP	+01,36%	-01,36%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+02,54%	-02,54%
AP	+02,66%	-02,66%
EP	+30,39%	-30,39%
ADPE	+01,97%	-01,97%
ADPF	+01,73%	-01,73%
PERE	+01,13%	-01,13%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+01,46%	-01,46%
PENRE	+02,26%	-02,26%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+01,73%	-01,73%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+10,21%	-10,21%

Tabelle 28: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus Deutschland

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75%)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75%)
GWP	+01,56%	-01,56%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+02,21%	-02,21%
AP	+02,78%	-02,78%
EP	+02,42%	-02,42%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+02,63%	-02,63%
PERE	+00,76%	-00,76%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+02,03%	-02,03%
PENRE	+02,64%	-02,64%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+02,63%	-02,63%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+04,55%	-04,55%

Tabelle 29: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus dem Baltikum

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75% & min-Werte)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75% & max-Werte)
GWP	+01,68%	-01,68%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+02,47%	-02,47%
AP	+03,07%	-03,07%
EP	+02,58%	-02,58%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+02,82%	-02,82%
PERE	+00,82%	-00,82%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+02,17%	-02,17%
PENRE	+02,83%	-02,83%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+02,82%	-02,82%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+04,82%	-04,82%

Tabelle 30: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus Skandinavien

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75% & min-Werte)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75% & max-Werte)
GWP	+01,65%	-01,65%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+02,55%	-02,55%
AP	+03,15%	-03,15%
EP	+02,59%	-02,59%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+02,84%	-02,84%
PERE	+00,82%	-00,82%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+02,17%	-02,17%
PENRE	+02,84%	-02,84%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+02,84%	-02,84%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+04,83%	-04,83%

Tabelle 31: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Holzdielen aus Nordamerika/Kanada

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75% & min-Werten)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75% & max-Werten)
GWP	+01,89%	-01,89%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+02,33%	-02,33%
AP	+02,77%	-02,77%
EP	+02,07%	-02,07%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+02,32%	-02,32%
PERE	+00,65%	-00,65%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+01,74%	-01,74%
PENRE	+02,32%	-02,32%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+02,32%	-02,32%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+03,86%	-03,86%

Tabelle 32: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit WPC-Dielen aus Deutschland

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75% & min-Werte)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75% & max-Werte)
GWP	+02,14%	-02,14%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+02,88%	-02,88%
AP	+03,68%	-03,68%
EP	+11,27%	-11,27%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+03,44%	-03,44%
PERE	+01,22%	-01,22%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+01,64%	-01,64%
PENRE	+03,12%	-03,12%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+03,07%	-03,07%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+00,20%	-00,20%

Tabelle 33: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Thermowood aus Dänemark

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75% & min-Werten)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75% & max-Werten)
GWP	+02,57%	-02,57%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+00,72%	-00,72%
AP	+02,65%	-02,65%
EP	+01,32%	-01,32%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+03,39%	-03,39%
PERE	+00,71%	-00,71%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+00,79%	-00,79%
PENRE	+03,39%	-03,39%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+03,38%	-03,38%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+03,96%	-03,96%

Tabelle 34: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Thermowood aus Lettland

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75% & min-Werten)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75% & max-Werte)
GWP	+02,55%	-02,55%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+03,22%	-03,22%
AP	+03,15%	-03,15%
EP	-+00,78%	--00,78%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+03,17%	-03,17%
PERE	+03,28%	-03,28%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+06,29%	-06,29%
PENRE	+03,20%	-03,20%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+03,20%	-03,20%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+11,87%	-11,87%

Tabelle 35: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu Modul A4 für Terrassenaufbauten mit Thermowood aus Schweden

Umweltindikator	Pessimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz + 75% & min-Werte)	Optimistisches Szenario für Modul A4 (Transportdistanz - 75% & max-Werte)
GWP	+03,23%	-03,23%
ODP	+00,00%	-00,00%
POCP	+03,62%	-03,62%
AP	+03,36%	-03,36%
EP	+04,28%	-04,28%
ADPE	+00,00%	-00,00%
ADPF	+03,44%	-03,44%
PERE	+00,00%	-00,00%
PERM	+00,00%	-00,00%
PERT	+04,98%	-04,98%
PENRE	+03,44%	-03,44%
PENRM	+00,00%	-00,00%
PENRT	+03,43%	-03,43%
SM	+00,00%	-00,00%
NRSF	+00,00%	-00,00%
FW	+08,98%	-08,98%

Anhang F – Zusätzlich untersuchte End of Life-Szenarien

Zusätzlich zu den in Anhang E durchgeführten Sensitivitätsanalysen zu Modul 4 werden nachfolgend auch die Unterschiede bei der Annahme unterschiedlicher EoL-Szenarien, wie sie in den verwendeten EPDs aufgeführt sind, abgebildet. Die davon ausgehenden Änderungen an den Gesamtergebnissen sind jedoch im Gegensatz zu den Transportentfernungen als marginal zu bewerten.

Tabelle 36: EoL-Szenario D1, Keramische Fliesen, ungebunden. Szenario D1 berücksichtigt 93,9% stoffliche Verwertung mit Gutschrift von Gesteinskörnung und eine Deponierung von 6,1 %

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	1,17E+03	5,34E+01	3,06E+01	-6,03E+01	1,12E-02	-	-	-	-	-	4,07E-01	5,85E+00	1,01E+01	7,03E-01	-6,72E+01
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,60E-07	1,03E-11	9,08E-11	0,00E+00	2,83E-17	-	-	-	-	-	7,99E-14	1,51E-12	2,33E-11	2,82E-15	-7,63E-10
POCP	[kg Ethen-Äq.]	1,70E+00	2,54E-01	3,27E-01	0,00E+00	1,45E-05	-	-	-	-	-	6,39E-03	1,36E-02	7,30E-02	4,03E-03	-1,67E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	1,84E+00	2,65E-01	2,25E-01	0,00E+00	1,25E-05	-	-	-	-	-	4,74E-03	1,43E-02	6,74E-02	5,14E-03	-1,79E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	1,31E-04	1,22E-04	6,10E-05	0,00E+00	5,96E-08	-	-	-	-	-	1,55E-06	1,50E-05	2,46E-05	1,21E-06	-2,20E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	1,31E-04	6,65E-06	4,58E-06	0,00E+00	1,65E-09	-	-	-	-	-	8,46E-08	8,96E-07	6,24E-06	6,81E-08	-1,81E-05
ADPF	[MJ]	1,13E+04	6,95E+02	2,60E+02	0,00E+00	3,08E-01	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,81E+02

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
PERE	[MJ]	2,11E+03	5,75E+01	1,46E+02	0,00E+00	2,37E-01	-	-	-	-	-	7,20E-01	7,69E+00	2,26E+01	1,29E+00	-3,82E+02
PERM	[MJ]	5,81E+02	0,00E+00	-8,27E+01	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,79E+01
PERT	[MJ]	1,69E+03	5,75E+01	6,35E+01	0,00E+00	2,37E-01	-	-	-	-	-	7,20E-01	7,69E+00	2,26E+01	1,29E+00	-3,24E+02
PENRE	[MJ]	8,54E+03	6,95E+02	2,78E+02	0,00E+00	4,07E+00	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,86E+02
PENRM	[MJ]	1,76E+01	0,00E+00	-1,76E+01	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	7,55E+01	1,60E+02	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,13E+04	6,95E+02	2,60E+02	0,00E+00	4,07E+00	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,86E+02
SM	[kg]	5,66E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	5,80E+00	2,64E-01	1,35E-01	0,00E+00	2,10E-04	-	-	-	-	-	6,70E-04	7,15E-03	4,36E-02	2,35E-03	-6,45E+00

Tabelle 37: EoL-Szenario D1, Keramische Fliesen, gebunden. Szenario D1 berücksichtigt 93,9% stoffliche Verwertung mit Gutschrift von Gesteinskörnung und eine Deponierung von 6,1 %

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	2,96E+03	8,46E+01	2,72E+02	-8,14E+02	7,49E-03	-	-	-	-	-	1,36E+00	2,75E+01	1,43E+00	7,17E+01	-1,52E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,65E-07	1,37E-11	1,44E-10	0,00E+00	1,89E-17	-	-	-	-	-	2,74E-13	3,84E-12	3,80E-13	1,74E-10	-1,64E-09
POCP	[kg Ethen-Äq.]	3,48E+00	2,20E-01	2,28E-01	0,00E+00	9,66E-06	-	-	-	-	-	2,44E-02	2,75E-02	1,80E-02	4,07E-01	-2,26E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,69E+00	2,32E-01	1,84E-01	0,00E+00	8,34E-06	-	-	-	-	-	1,79E-02	3,10E-02	1,28E-02	5,23E-01	-2,41E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,62E-04	1,80E-04	6,93E-05	0,00E+00	3,97E-08	-	-	-	-	-	3,08E-06	5,68E-05	3,24E-06	1,25E-04	-3,88E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	2,62E-04	9,28E-06	4,65E-06	0,00E+00	1,10E-09	-	-	-	-	-	1,52E-07	2,83E-06	1,48E-06	7,62E-06	-3,92E-05
ADPF	[MJ]	2,25E+04	1,11E+03	3,56E+02	0,00E+00	2,05E-01	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,64E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,12E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (D1)
PERE	[MJ]	5,19E+03	7,55E+01	2,04E+03	0,00E+00	1,58E-01	-	-	-	-	-	1,32E+00	2,17E+01	2,45E+00	1,45E+02	-7,82E+02
PERM	[MJ]	5,62E+03	3,63E+01	2,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	1,16E+00	2,11E+01	0,00E+00	1,45E+02	-4,67E+02
PERT	[MJ]	3,02E+03	3,92E+01	-1,62E+03	0,00E+00	1,58E-01	-	-	-	-	-	1,65E-01	5,98E-01	2,45E+00	8,60E-01	-3,15E+02
PENRE	[MJ]	1,95E+04	1,11E+03	6,00E+02	0,00E+00	2,71E+00	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,65E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,12E+03
PENRM	[MJ]	2,29E+02	0,00E+00	-2,29E+02	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	3,65E+02	2,62E+01	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,25E+04	1,11E+03	3,71E+02	0,00E+00	2,71E+00	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,65E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,12E+03
SM	[kg]	4,20E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	8,43E+00	2,79E-01	2,36E+00	0,00E+00	1,40E-04	-	-	-	-	-	1,05E-03	1,89E-02	6,84E-03	2,45E-01	-6,56E+00

Tabelle 38: EoL-Szenario D2, Keramische Fliesen, ungebunden. Szenario D2 beinhaltet die Gutschrift infolge der thermischen Verwertung der Verpackung aus Modul A5

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (S2)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	1,17E+03	5,34E+01	3,06E+01	-6,03E+01	1,12E-02	-	-	-	-	-	4,07E-01	5,85E+00	1,01E+01	7,03E-01	-6,68E+01
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,60E-07	1,03E-11	9,08E-11	0,00E+00	2,83E-17	-	-	-	-	-	7,99E-14	1,51E-12	2,33E-11	2,82E-15	-7,63E-10
POCP	[kg Ethen-Äq.]	1,70E+00	2,54E-01	3,27E-01	0,00E+00	1,45E-05	-	-	-	-	-	6,39E-03	1,36E-02	7,30E-02	4,03E-03	-1,71E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	1,84E+00	2,65E-01	2,25E-01	0,00E+00	1,25E-05	-	-	-	-	-	4,74E-03	1,43E-02	6,74E-02	5,14E-03	-1,83E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	1,31E-04	1,22E-04	6,10E-05	0,00E+00	5,96E-08	-	-	-	-	-	1,55E-06	1,50E-05	2,46E-05	1,21E-06	-2,24E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	1,31E-04	6,65E-06	4,58E-06	0,00E+00	1,65E-09	-	-	-	-	-	8,46E-08	8,96E-07	6,24E-06	6,81E-08	-1,83E-05
ADPF	[MJ]	1,13E+04	6,95E+02	2,60E+02	0,00E+00	3,08E-01	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,67E+02

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (S2)
PERE	[MJ]	2,11E+03	5,75E+01	1,46E+02	0,00E+00	2,37E-01	-	-	-	-	-	7,20E-01	7,69E+00	2,26E+01	1,29E+00	-3,88E+02
PERM	[MJ]	5,81E+02	0,00E+00	-8,27E+01	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,79E+01
PERT	[MJ]	1,69E+03	5,75E+01	6,35E+01	0,00E+00	2,37E-01	-	-	-	-	-	7,20E-01	7,69E+00	2,26E+01	1,29E+00	-3,31E+02
PENRE	[MJ]	8,54E+03	6,95E+02	2,78E+02	0,00E+00	4,07E+00	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,71E+02
PENRM	[MJ]	1,76E+01	0,00E+00	-1,76E+01	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	7,55E+01	1,60E+02	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,13E+04	6,95E+02	2,60E+02	0,00E+00	4,38E+00	-	-	-	-	-	8,52E+00	7,55E+01	1,60E+02	9,56E+00	-8,71E+02
SM	[kg]	5,66E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,09E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	5,80E+00	2,64E-01	1,35E-01	0,00E+00	2,10E-04	-	-	-	-	-	6,70E-04	7,15E-03	4,36E-02	2,35E-03	-6,46E+00

Tabelle 39: EoL-Szenario D2, Keramische Fliesen, gebunden. Szenario D2 beinhaltet die Gutschrift infolge der thermischen Verwertung der Verpackung aus Modul A5

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (S2)
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	2,96E+03	8,46E+01	2,72E+02	-8,14E+02	7,49E-03	-	-	-	-	-	1,36E+00	2,75E+01	1,43E+00	7,17E+01	-1,52E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,65E-07	1,37E-11	1,44E-10	0,00E+00	1,89E-17	-	-	-	-	-	2,74E-13	3,84E-12	3,80E-13	1,74E-10	-1,64E-09
POCP	[kg Ethen-Äq.]	3,48E+00	2,20E-01	2,28E-01	0,00E+00	9,66E-06	-	-	-	-	-	2,44E-02	2,75E-02	1,80E-02	4,07E-01	-2,28E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,69E+00	2,32E-01	1,84E-01	0,00E+00	8,34E-06	-	-	-	-	-	1,79E-02	3,10E-02	1,28E-02	5,23E-01	-2,44E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,62E-04	1,80E-04	6,93E-05	0,00E+00	3,97E-08	-	-	-	-	-	3,08E-06	5,68E-05	3,24E-06	1,25E-04	-3,91E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	2,62E-04	9,28E-06	4,65E-06	0,00E+00	1,10E-09	-	-	-	-	-	1,52E-07	2,83E-06	1,48E-06	7,62E-06	-3,94E-05
ADPF	[MJ]	2,25E+04	1,11E+03	3,56E+02	0,00E+00	2,05E-01	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,64E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,11E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D (S2)
PERE	[MJ]	5,19E+03	7,55E+01	2,04E+03	0,00E+00	1,58E-01	-	-	-	-	-	1,32E+00	2,17E+01	2,45E+00	1,45E+02	-7,86E+02
PERM	[MJ]	5,62E+03	3,63E+01	2,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	1,16E+00	2,11E+01	0,00E+00	1,45E+02	-4,67E+02
PERT	[MJ]	3,02E+03	3,92E+01	-1,62E+03	0,00E+00	1,58E-01	-	-	-	-	-	1,65E-01	5,98E-01	2,45E+00	8,60E-01	-3,19E+02
PENRE	[MJ]	1,95E+04	1,11E+03	6,00E+02	0,00E+00	2,71E+00	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,65E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,11E+03
PENRM	[MJ]	2,29E+02	0,00E+00	-2,29E+02	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	3,65E+02	2,62E+01	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,25E+04	1,11E+03	3,71E+02	0,00E+00	5,88E+00	-	-	-	-	-	2,04E+01	3,65E+02	2,62E+01	9,69E+02	-2,11E+03
SM	[kg]	4,20E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,06E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	8,43E+00	2,79E-01	2,36E+00	0,00E+00	1,40E-04	-	-	-	-	-	1,05E-03	1,89E-02	6,84E-03	2,45E-01	-6,62E+00

Tabelle 40: EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	4,93E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,35E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,54E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	1,80E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,24E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	1,86E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,29E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,20E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	7,07E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,08E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,08E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	6,35E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,68E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,58E+00

Tabelle 41: EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	4,93E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-2,90E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,35E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,84E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	1,80E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,89E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	1,86E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-7,13E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,20E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-1,08E-03
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	7,07E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,22E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-4,13E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,08E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	1,65E+03
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,08E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	1,71E+03
PENRE	[MJ]	1,07E+04	6,35E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-4,12E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-4,12E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,68E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,18E+00

Tabelle 42: EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	4,93E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	-2,15E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,35E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	-5,64E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	1,80E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	-4,46E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	1,86E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	-6,57E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,20E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	-6,60E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	7,07E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	2,34E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	-2,86E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,08E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	-8,76E+00
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,08E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	4,92E+01
PENRE	[MJ]	1,07E+04	6,35E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	-2,87E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	-4,73E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,04E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,68E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	-7,46E+00

Tabelle 43: EoL Holzdurchschnitt DE, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	4,93E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	-3,32E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,35E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	-5,94E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	1,80E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	-5,11E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	1,86E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	-7,41E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,20E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	-1,28E-03
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	7,07E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	2,15E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	-4,75E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,08E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	2,47E+03
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,08E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	2,53E+03
PENRE	[MJ]	1,07E+04	6,35E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	-4,73E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	6,35E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	-4,73E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,68E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	-7,05E+00

Tabelle 44: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Baltikum, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	5,78E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,57E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,54E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	2,54E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,24E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	2,53E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,29E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,37E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,15E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	7,41E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,97E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,97E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	7,41E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	7,41E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,42E+00	2,76E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,58E+00

Tabelle 45: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	5,76E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,57E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,54E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	2,51E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,24E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	2,51E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,29E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,37E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,15E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,97E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,97E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	7,40E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,42E+00	2,76E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,58E+00

Tabelle 46: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	5,76E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-2,90E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,57E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,84E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	2,51E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,89E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	2,51E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-7,13E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,37E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-1,08E-03
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,15E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,22E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-4,13E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,97E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	1,65E+03
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,97E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	1,71E+03
PENRE	[MJ]	1,07E+04	7,40E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-4,12E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-4,12E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,42E+00	2,76E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,18E+00

Tabelle 47: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	5,76E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-2,15E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,57E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,64E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	2,51E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,46E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	2,51E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,57E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,37E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-6,60E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,15E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,34E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,86E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,97E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,76E+00
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,97E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	4,92E+01
PENRE	[MJ]	1,07E+04	7,40E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,87E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,87E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,04E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,42E+00	2,76E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,46E+00

Tabelle 48: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Skandinavien, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen energetisch verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	5,76E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	-3,32E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,57E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	-5,94E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	2,51E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	-5,11E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	2,51E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	-7,41E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,37E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	-1,28E-03
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,15E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	2,15E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	-4,75E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,97E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	2,47E+03
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,97E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	2,53E+03
PENRE	[MJ]	1,07E+04	7,40E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	-4,73E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	7,40E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	-4,73E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,76E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	-7,05E+03

Tabelle 49: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich verwertet, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	7,42E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	-1,73E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,75E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	-5,54E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	6,77E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	-4,24E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	6,16E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	-6,29E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,31E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	-4,55E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,04E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	2,40E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	-2,25E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz															
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,59E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	-8,23E+02
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,59E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-7,65E+02
PENRE	[MJ]	1,07E+04	9,27E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	-2,25E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	-2,25E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,72E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	-7,58E+00

Tabelle 50: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich energetisch, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	7,42E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-2,90E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,75E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,84E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	6,77E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,89E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	6,16E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-7,13E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,31E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-1,08E-03
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,04E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,22E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-4,13E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,59E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	1,65E+03
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,59E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	1,71E+03
PENRE	[MJ]	1,07E+04	9,27E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-4,12E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-4,12E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,72E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,18E+00

Tabelle 51: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer stofflich verwertet, Holzdielen stofflich energetisch, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	7,42E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-2,15E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,75E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,64E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	6,77E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-4,46E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	6,16E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-6,57E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,31E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-6,60E-04
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,04E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,34E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-2,86E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,59E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	-8,76E+00
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,59E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	4,92E+01
PENRE	[MJ]	1,07E+04	9,27E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-2,87E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-2,87E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,04E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,72E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,46E+00

Tabelle 52: EoL Holzdurchschnitt DE, Transport aus Nordamerika, Szenario Kanthölzer thermisch verwertet, Holzdielen stofflich energetisch, Winkel zum Verschrauben recycling+reuse+loss

Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	8,10E+02	7,42E+01	2,71E+01	-6,03E+01	-	-	-	-	-	-	2,25E+01	1,54E+01	4,58E+02	3,74E+02	-3,32E+02
ODP	[kg CFC11-Äq.]	2,52E-07	1,75E-11	1,02E-10	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,59E-10	2,28E-10	1,96E-09	1,39E-10	-5,94E-08
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,52E+00	6,77E-01	1,18E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	2,16E-01	3,21E-02	1,24E-01	5,56E-03	-5,11E-01
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,06E+00	6,16E-01	2,83E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,69E-01	3,55E-02	1,15E-01	7,09E-03	-7,41E-01
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,61E-03	1,31E-04	9,01E-05	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	1,18E-04	2,14E-05	6,49E-05	2,77E-05	-1,28E-03
ADPE	[kg Sb Äq.]	3,11E-01	8,04E-06	5,28E-06	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	4,91E-06	1,66E-06	1,04E-05	8,44E-07	2,15E-04
ADPF	[MJ]	1,19E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,93E+02	3,16E+02	6,52E+01	-4,75E+03

Ergebnisse der Bilanz Ressourceneinsatz																
Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	4,18E+03	6,59E+01	9,35E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,09E+02	1,79E+01	1,03E+02	6,14E+01	2,47E+03
PERM	[MJ]	5,76E+03	0,00E+00	-5,83E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,85E+00	-3,14E+00	-3,69E+03	-3,88E+03	-5,79E+01
PERT	[MJ]	8,96E+03	6,59E+01	7,65E+01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,17E+02	1,47E+01	-3,59E+03	-3,82E+03	2,53E+03
PENRE	[MJ]	1,07E+04	9,27E+02	3,94E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,25E+02	1,96E+02	1,46E+03	6,53E+01	-4,73E+03
PENRM	[MJ]	9,63E+02	0,00E+00	-3,29E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,35E+00	1,93E+02	5,29E+02	-1,76E+01	-1,29E-13
PENRT	[MJ]	1,17E+04	9,27E+02	3,91E+02	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	3,33E+02	1,93E+02	5,29E+02	4,76E+01	-4,73E+03
SM	[kg]	3,03E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+04
NRSF	[MJ]	1,24E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m ³]	7,42E+00	2,72E-01	1,29E-01	0,00E+00	-	-	-	-	-	-	7,56E-02	1,51E-02	3,41E-01	2,15E-02	-7,05E+00

Anhang G – Critical Review



Ergebnis der kritischen Prüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten

Mai 2025



UGB PLAN Ingenieurgesellschaft mbH

Dipl.-Ing. Atiq-Ur Rehman.

Karim Sedki, M. Sc.

Dr.-Ing. Daniel Walter

**Ergebnis des kritischen Prüfungsverfahrens in Anlehnung an DIN EN ISO
14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbau-
konstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten**

April 2025

Auftraggeber:

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG)

Alexander Winzer (Geschäftsführer)
Mittelstraße 2-10
53175 Bonn

Ersteller:

UGB PLAN Ingenieurgesellschaft mbH

Dipl.-Ing. Atiq-Ur Rehman (Geschäftsführender Gesellschafter)
Entenmühlstr. 57, 66424 Homburg
Tel.: 06841-922 47-0
Fax: 06841-922 47-29
Mail: info@ugb-plan.de
Web: www.ugb-plan.de

Alle Inhalte (Texte, Bilder, Illustrationen, freie Arbeiten und Grafiken) sind urheberrechtlich geschützt. Die Rechte liegen bei den jeweiligen Autoren. Ohne deren ausdrückliche Zustimmung ist der Abdruck und die sonstige Vervielfältigung auf analogem oder elektronischem Wege nicht gestattet. Die Veröffentlichung der Inhalte des Dokumentes ist untersagt. Einzelne Zitate und / oder Verweise dürfen nur mit Verweis auf die Herausgeber und die jeweiligen Autoren verwendet werden.

Ergebnis des kritischen Prüfungsverfahrens in Anlehnung an DIN EN ISO 14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten



In den Normen DIN EN ISO 14040:2021 und DIN EN ISO 14044:2021 werden Anforderungen beschrieben, denen eine Ökobilanz (LCA) gemäß DIN EN ISO 14040:2021 zu folgen hat. Insbesondere im Falle veröffentlichter vergleichender Studien müssen diese eine Reihe von Kriterien erfüllen und es werden Anforderungen an den Bericht der Studie gestellt. Das sogenannte Critical Review dient der Sicherstellung der Erfüllung der genannten Anforderungen und ist in den Normen DIN EN ISO 14071:2023 sowie der DIN EN ISO 14044:2021 geregelt.

Gegenstand des Reviews ist der Bericht "Vergleichende Ökobilanz: Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten":

- vorläufige Fassung vom März 2025
- endgültige Fassung vom Juni 2025

Die Erstellung des Berichts erfolgte durch die UGB PLAN Ingenieurgesellschaft mbH im Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG). Gegenstand der kritischen Prüfung ist eine vom SLG in Auftrag gegebene Ökobilanz (SLG, 2025), die von der LifeCycle-Competence GmbH (LCC) nach den geltenden Normen und methodischen Anforderungen erstellt wurde.

Mitglieder des Prüfungsausschusses

Mit der Zusammenstellung eines Review Panels und der Durchführung des Critical Reviews wurde die UGB PLAN Ingenieurgesellschaft mbH beauftragt.

Auftraggeber des Critical Review:

- Betonverbands Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG).

Mitglieder des Prüfungsausschusses:

- Externer, unabhängiger Sachverständiger (Vorsitz):
Dipl.-Ing. Atiq-Ur Rehman,
- Unabhängiger, qualifizierter Sachverständiger: **Karim Sedki, M. Sc.,**
- Unabhängiger, qualifizierter Sachverständiger: **Dr.-Ing. Daniel Walter.**

Ergebnis des kritischen Prüfungsverfahrens in Anlehnung an DIN EN ISO 14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten



Anforderungen

Die kritische Prüfung ist ein systematischer Prozess zur Überprüfung, ob eine Ökobilanz die methodischen, datenbezogenen, analytischen und berichtsrelevanten Anforderungen erfüllt und mit den in der DIN EN ISO 14040:2021 und DIN EN ISO 14044:2021 definierten Grundsätzen übereinstimmt. Das kritische Prüfungsverfahren stellt sicher, dass

- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewandten Methoden den Vorgaben der internationalen Normen entsprechen,
- die angewandten Methoden wissenschaftlich fundiert und technisch valide sind,
- die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind,
- die Auswertungen, die identifizierten Einschränkungen sowie die Zielsetzung der Studie angemessen berücksichtigen, und
- die Berichterstattung transparent, konsistent und in sich schlüssig ist.

Im Rahmen der kritischen Prüfung wird besonderer Wert darauf gelegt, dass die getroffenen Annahmen und Abgrenzungen für alle untersuchten Alternativen einheitlich und konsistent formuliert sind. Sollte eine vollständige Konsistenz nicht gewährleistet werden können, müssen die Annahmen und Abgrenzungen fair, nachvollziehbar und ergebnisneutral getroffen werden, sodass keine methodische Verzerrung zugunsten einer spezifischen Lösung entsteht.

Vorgehensweise bei der kritischen Prüfung

Die vorliegende Ökobilanz-Studie stellt eine Aktualisierung einer bereits veröffentlichten vergleichenden Ökobilanz dar. Im Zuge dieser Aktualisierung wurden insbesondere:

- die Konstruktionslösungen an aktuelle Regelwerke angepasst,
- die Datenbasis aktualisiert, und
- neue Umweltindikatoren in die Analyse integriert.

Ergebnis des kritischen Prüfungsverfahrens in Anlehnung an DIN EN ISO 14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten



Dem Prüfungsausschuss wurde eine Vorabversion des Endberichts zur Verfügung gestellt, auf deren Grundlage die kritische Prüfung durchgeführt wurde. Die dabei identifizierten Fragen und Anmerkungen wurden anschließend in direktem Austausch mit dem Ersteller der Studie, der LifeCycle-Competence GmbH (LCC), erläutert.

Im Rahmen der Prüfung wurde der Bericht überarbeitet, dass die durch den Ausschuss interessierter Kreise geäußerten Fragen und Anmerkungen durch ergänzende Erläuterungen im Bericht präziser adressiert wurden. Diese inhaltlichen Klarstellungen tragen dazu bei, dass auch für externe Leser eine bessere Nachvollziehbarkeit der Untersuchungsergebnisse gewährleistet ist.

Ein besonderer Fokus der Prüfung lag auf der methodischen Konsistenz der Ökobilanzierung sowie der Transparenz-fördernden Darstellung der Ergebnisse. Dabei wurde insbesondere darauf geachtet, dass:

- die modellierten Unterschiede und Szenarien in der Analyse der betrachteten Lösungen neutral und methodisch ausgewogen dargestellt sind,
- keine systematischen Vorteils- oder Nachteilswirkungen durch die getroffenen Modellierungsentscheidungen entstehen,
- die Methodik und Ergebnisse der Ökobilanz für externe Leser nachvollziehbar erläutert sind.

Die vom Ausschuss interessierter Kreise formulierten Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge wurden von den Autoren angenommen. Zudem wurde zugesichert, dass die gewünschten Anpassungen im finalen Bericht entsprechend umgesetzt werden, um die Prüfanforderungen vollständig zu erfüllen. Es wird darauf hingewiesen, dass der vollständige Prüfbericht vom Auftraggeber der Studie aufzubewahren ist und auf Anfrage Einsicht zu gewähren ist. An dieser Stelle wird lediglich das Ergebnis der Prüfung festgehalten.

Wirkungsbilanz

Entsprechend der Struktur der DIN EN 15804:2022-03 werden neben den Umweltindikatoren auch die Umweltwirkungen angegeben.

Ergebnis des kritischen Prüfungsverfahrens in Anlehnung an DIN EN ISO 14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten



- Umweltindikatoren der Sachbilanz:
 - Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)
 - Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)
 - Total erneuerbare Primärenergie (PERT)
 - Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)
 - Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)
 - Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT)
 - Einsatz von Sekundärstoffen (SM)
 - Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)
 - Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW)
- Umweltwirkungen der Sachbilanz:
 - Globales Erwärmungspotenzial - total (GWP-total)
 - Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)
 - Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)
 - Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung (AP)
 - Eutrophierungspotenzial - Süßwasser (EP-freshwater)
 - für die Verknappung abiotischer Ressourcen nicht fossile Ressourcen (ADPE)
 - Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen fossile Brennstoffe (ADPF)

Zusammenfassung der kritischen Prüfung

Die überarbeitete Studie sowie der zugehörige Bericht erfüllen nach der Revision die Anforderungen der DIN EN ISO 14040:2021. Die analysierten Oberbaukonstruktionen für Terrassenaufbauten basieren auf den standardisierten Vorgaben der 'Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs'

Ergebnis des kritischen Prüfungsverfahrens in Anlehnung an DIN EN ISO 14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten



(ZTV-Wegebau, 2022, FLL). Dadurch ist gewährleistet, dass die untersuchten Bauweisen methodisch vergleichbar und für die vorgesehenen Anwendungsbereiche geeignet sind.

Die verwendeten Datenquellen umfassen die aktuelle ÖKOBAUDAT-Datenbank sowie bereits publizierte Umweltproduktdeklarationen (EPD). Zur Modellierung, Charakterisierung und Bewertung der Umweltwirkungen wurde eine Auswahl relevanter Indikatoren aus den Normen DIN EN ISO 14040:2021, DIN EN ISO 14044:2021 sowie DIN EN 15804:2022-03 herangezogen. Diese Auswahl basiert auf einer fundierten methodischen Begründung.

Die Ergebnisse werden stellenweise interpretiert und es wird aufgezeigt, unter welchen Rahmenbedingungen eine bestimmte Materialwahl aus ökologischer Sicht vorteilhaft sein kann. Sensitivitätsanalysen werden eingesetzt, um die Auswirkungen zentraler Annahmen und Modellierungsparameter auf die Ergebnisse zu prüfen. Dabei wird explizit darauf hingewiesen, dass die in der Studie definierten Szenarien und Annahmen von potenziellen Entscheidungsträgern auf ihre Eignung für konkrete Anwendungen überprüft werden sollten, da sie einen erheblichen Einfluss auf die resultierenden Umweltbewertungen haben können.

Die Studie erfüllt die wesentlichen methodischen und datentechnischen Anforderungen und gewährleistet eine nachvollziehbare und transparente Berichterstattung. Die getroffenen Annahmen, die Auswahl der Indikatoren sowie die Ableitungen aus den Ergebnissen sind schlüssig dokumentiert und ermöglichen eine fundierte Entscheidungsfindung im Kontext nachhaltiger Bauweisen.

Der Ausschuss stellt daher einstimmig fest:

Es kann von einer Konformität mit den geltenden internationalen Normen DIN EN ISO 14040:202, DIN EN ISO 14044:2021, DIN EN ISO 14071:2023-Entwurf ausgegangen werden. Die Studie ist zudem als wissenschaftlich und technisch korrekt einzuordnen.

Ergebnis des kritischen Prüfungsverfahrens in Anlehnung an DIN EN ISO 14071:2023-12 (Entwurf) der vergleichenden Ökobilanzierung von Oberbaukonstruktionen von Terrassenflächen mit unterschiedlichen Deckschichten



Für den Ausschuss:

Dipl.-Ing. Atiq-Ur Rehman

UGB PLAN Ingenieurgesellschaft mbH

Entenmühlstraße 57, 66424

Homburg



Homburg, Mai 2025

Referenzen

DIN EN ISO 14025:2006, Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14025:2011. Berlin: DIN Media GmbH.

DIN EN ISO 14040:2021-02, Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020. Berlin: DIN Media GmbH.

DIN EN ISO 14044:2021-02, Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020. Berlin: DIN Media GmbH.

DIN EN ISO 14071:2023-Entwurf, Umweltmanagement - Ökobilanz - Kritische Überprüfungsverfahren und Kompetenzen der Prüfer (ISO/DIS 14071:2023); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14071:2023. Berlin: DIN Media GmbH.

DIN EN 15804:2022-03, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021. Berlin: DIN Media GmbH.

RStO (2012): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Infrastrukturmanagement. Köln.

RASt (2006): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Straßenentwurf. Köln.

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. – SLG (Hrsg.) (2024): Informationspapier Vergleichende Ökobilanz – Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit unterschiedlichen Deckschichten. Bonn.

Notizen



Herausgeber:

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG)

Fassung Juli 2025

SLG Betonverband
Straße, Landschaft,
Garten e.V.