

Erdberührte Bodenaufbauten - eine Bewertung aus der Sicht der Kreislaufwirtschaft

Building components with ground contact - an assessment from the perspective of circular economy

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science in Engineering (BSc)

der Fachhochschule FH Campus Wien

Bachelorstudiengang: Architektur - Green Building

Vorgelegt von:

Amelia Paulina Jedras

Personenkennzeichen

2110733083

Erstbegutachter:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Steiner

Eingereicht am:
05.09.2023

Erklärung:

Ich erkläre, dass die vorliegende Abschlussarbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe (wie z.B. ChatGPT oder ähnlichen auf künstlicher Intelligenz basierenden Programmen) bedient habe. Ich versichere, dass diese Arbeit keine personenbezogenen Daten enthält und dass ich sämtliche urheber-, lizenz- sowie bildrechtliche Fragen im Zusammenhang mit der elektronischen Veröffentlichung dieser Arbeit geklärt habe, widrigenfalls werde ich die FH Campus Wien von Ersatzansprüchen Dritter schad- und klaglos halten. Ich versichere, dass ich diese Abschlussarbeit bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass die von mir eingereichten Exemplare (ausgedruckt und elektronisch) identisch sind.

Datum: 11.07.2023

Unterschrift.....

Danksagung

Ohne die Unterstützung folgender Personen wäre mir das Schreiben dieser Arbeit in der Form nicht möglich gewesen. Dafür möchte ich an dieser Stelle Danke sagen.

Mein hauptsächlichster Dank geht an meinen Betreuer, Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Steiner für seine konstruktive Kritik sowie die hilfreichen Anregungen während des gesamten Betreuungszeitraums.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mir mit Ratschlägen zur Seite standen, wann immer ich nicht mehr weiterwusste.

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der kreislaufwirtschaftlichen Bewertung erdberührter Aufbauten. Die Forschungsfrage hierbei lautet ob erdberührte Bodenaufbauten nachhaltiger gestaltet werden können und welche Voraussetzungen dafür benötigt werden. Wie hoch ist tatsächlich das Potenzial der Kreislaufwirtschaft im Bereich der erdberührten Bodenaufbauten?

Nach einer allgemeinen Einführung in das Thema der Kreislaufwirtschaft, wird die Ausgangslage global sowie national, dargestellt. Anschließend erfolgt die Erläuterung der Kreislauf(bau)wirtschaft. Es wird erklärt, wie die Bewegung zu Stande gekommen ist und warum ein Übergang von der linearen zur kreislauffähigen Wirtschaft notwendig ist. Anbei werden Prinzipien, die für die Transformation nötig sind, deutlich gemacht. Letztlich werden Auswirkungen auf die Umwelt, verursacht vom Bausektor geschildert.

Im Zuge dieser Arbeit werden die einzelnen Schichten zuerst hinsichtlich ihrer Materialität, Lebensdauer, Verbindungstechnik und Verlegung sowie deren Wiederverwendung- und Verwertung untersucht. Weiters werden die Baustoffe aus ökologischer Sicht auf die Auswirkung auf die Umwelt, sowie Ressourcenverbrauch analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabellen übersichtlich dargestellt. Abschließend erfolgt ein Vergleich drei diverser Bodenaufbauten.

Es wird deutlich, dass nachhaltige Alternativen in diesem Bereich möglich sind, jedoch bisher nicht zur Anwendung kommen. Es wird deutlich, dass es im Bauwesen noch einige Herausforderungen gibt, die der Einführung der Kreislaufwirtschaft im Wege stehen.

Abstract

The thesis deals with the circular evaluation of building components in contact with the ground. The research question here is whether structures in contact with the ground can be made more sustainable and what prerequisites are required for this. How high is the potential of the circular economy in the field of building components in contact with the ground?

After a general introduction to the topic of the circular economy, the initial situation is presented globally as well as nationally. This is followed by an explanation of the circular (construction) economy. It explains how the movement came about and why a transition from the linear to the circular economy is necessary. The principles that are necessary for the transformation are made clear. Ultimately, effects on the environment caused by the construction sector are described.

In the course of this work, the individual layers are first examined regarding materiality, service life, connection technology and laying as well as their ability to reuse and recycle. Furthermore, the building materials are analyzed from an ecological point of view on the impact on the environment, as well as resource consumption. The results are clearly presented in bar charts. In the end, a comparison of three distinct building structures with ground Contact is made.

It becomes clear that sustainable alternatives are possible in this area but have not yet been applied. It is evident that there are still some challenges in the construction industry that stand in the way of implementing the circular economy.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AP	Versauerungspotenzial
Äq.	Äquivalente
Bzw.	Beziehungsweise
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EPS	Expandiertes Polystyrol
GWP	Global Warming Potential
MF	Material – Fußabdruck
PEI	Primärenergiegehalt
PERNT	nicht erneuerbare Primärenergie - total
SO ₂	Schwefeldioxid

Schlüsselbegriffe

Abfall	Waste
Erdberührte Bodenaufbauten	Structural components in contact with the ground
Klimawandel	Climate change
Kreislaufwirtschaft	Circular economy
Lebensdauer	Lifespan
Nachhaltigkeit	Sustainability
Ressourcenverbrauch	Resource consumption

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	I
KURZFASSUNG	II
ABSTRACT	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
SCHLÜSSELBEGRIFFE	V
INHALTSVERZEICHNIS	VI
1. EINLEITUNG	1
1.1. Relevanz des Themas.....	1
1.2. Zielsetzung und Forschungsfrage	2
1.3. Abgrenzung des Themengebiets.....	2
1.4. Struktur der Arbeit.....	3
2. KREISLAUFWIRTSCHAFT	5
2.1. Anfang der Bewegung der Kreislaufwirtschaft	6
2.2. Ausgangslage global.....	7
2.3. Die Entwicklung in Österreich	8
2.3.1. Der Jetzt - Stand national.....	8
2.3.2. Die festgelegten Ziele	10
2.4. DOTANK CIRCULAR CITY WIEN 2020 – 2030	12
2.4.1. Ursprung des Projektes.....	12
2.4.2. Circular City.....	12
2.4.3. Die Umsetzung.....	13
2.4.4. Der Zeitplan.....	14
3. KREISLAUF (BAU) WIRTSCHAFT	15
3.1. Urban Mining	15
3.1.1. Das Gebäude als Schichtenmodell	16
3.1.2. Ressourcenintensivste Phase bestimmen	17
3.2. Kreislauffähiges Bauen	19
3.2.1. Nutzung bestehender Gebäude	20
3.2.2. Präzise Planung	20
3.2.3. Materialaufwand minimieren	21
3.2.4. Bevorzugung nachwachsender Rohstoffe	22
3.2.5. Bevorzugen von Materialien aus dem Recycling.....	22
3.2.6. Wiederverwendung ganzer Bauteile	23
3.2.7. Einstoffliche Bauweisen	23

3.2.8.	Lösbarkeit von Verbindungen und Konstruktionen.....	24
3.2.9.	Langlebige Materialien	24
3.2.10.	Flächeneffizienz	25
3.2.11.	Nutzungsflexibilität.....	25
3.2.12.	Reinigung- und Instandhaltungsoptimierung.....	26
3.3.	Gütesiegel auf der Produkt- und Gebäudeebene.....	26
3.3.1.	Umweltkennzeichen.....	26
3.3.2.	Systeme zur Gebäudebewertung.....	28
3.4.	Auswirkungen des Bausektors auf die Umwelt	29
3.4.1.	Ressourcenverbrauch.....	29
3.4.2.	Luftverschmutzung.....	30
3.4.3.	Verlust der Biodiversität	31
3.4.4.	Verschmutzung durch Abfall	33
4.	DIE BEWERTUNG ERDBERÜHRTER AUFBAUTEN.....	35
4.1.	Mögliche Schadstoffe.....	35
4.2.	Die Beurteilungskriterien	39
4.2.1.	Beurteilung des Entsorgungsweges.....	40
4.2.2.	Beurteilung der Umweltwirkung und Ressourcennutzung.....	41
4.3.	Die Beurteilung einzelner Schichten.....	43
4.3.1.	Fußbodenbeläge	43
4.3.2.	Estrich.....	50
4.3.3.	PAE – Folie	55
4.3.4.	Trittschalldämmung.....	58
4.3.5.	Dampfdichte Schichte	63
4.3.6.	XPS - G.....	66
4.3.7.	Bewehrter Unterbeton.....	70
4.3.8.	Abdichtung	73
4.3.9.	Rollierung.....	77
4.4.	Vergleich der Aufbauten	81
4.5.	Ergebnisse	87
5.	FAZIT.....	90
	QUELLENVERZEICHNIS	93
	Literaturquellen	93
	Internetquellen.....	94
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	100
	TABELLENVERZEICHNIS	101

1. Einleitung

Seit Beginn der industriellen Revolution hat sich die Welt und deren ökologischer Zustand drastisch verändert. Die durch Menschen verursachten Schäden, hinsichtlich der Umwelt sind irreversibel. Aufgrund der Klimakrise werden die Menschen des 21. Jahrhunderts mit anspruchsvollen Herausforderungen konfrontiert.

Themen wie die Erderwärmung, Umweltverschmutzung sowie Zerstörung von Ökosystemen und folglich hervorgerufene Verluste der Biodiversität sind aktueller als je zuvor. Vage Zielsetzungen und Maßnahmen mit beschränkten Einwirkungen sind nicht ausreichend. Es ist an der Zeit zu handeln.

Die Folgen der Klimakrise lassen sich immer deutlicher spüren. Um die Zukunft zu sichern, ist es notwendig die Treibhausgasemissionen auf ein Minimum zu reduzieren. Der Verzicht auf Nutzung fossiler Energieträger ist ebenso erforderlich. Des Weiteren sind Anpassungen bezüglich der Auswirkungen vorzunehmen und eine nachhaltige Umgestaltung der Wirtschaft notwendig.

Eine fundamentale Transformation von der linearen Wirtschaft auf die Kreislaufwirtschaft ist dringend erforderlich.

1.1. Relevanz des Themas

Um die Relevanz des Themas zu erläutern, ist es wichtig nachzuvollziehen, weshalb der Bausektor eine wesentliche Rolle hinsichtlich zukünftiger Umweltauswirkungen spielt.

Da die Baubranche eine der größten Anteile an den Emissionen von Treibhausgasen hat, ist eine zukunftsorientierte Lösung dringend notwendig. Tatsache ist, dass das Bauwesen viele der vorhandenen Ressourcen nutzt und aus diesem Grund ein hohes Kreislaufpotenzial besitzt.

Zement gehört beispielsweise zu den wichtigsten Materialien im Baubereich. Gemischt mit Sand entsteht Beton. Trotz seiner Relevanz wird er auch „Klimakiller“ bezeichnet. Durch seine aufwändige Herstellung werden enorme Mengen an CO₂ in die Luft aufgestoßen.

Die durch Produktion von Zement in einem Jahr entstandene Menge an CO₂ kann mit der jährlichen Menge an ausgestoßenen Emissionen von Indien verglichen werden.¹

Fakt ist, dass das Bauwesen für **40 – 50%** des gesamten österreichischen Energie- und Ressourcenverbrauches zuständig ist. Außerdem macht durch Bautätigkeiten entstandener Abfall, inklusive Aushubmaterialien, ungefähr **72%** des gesamten Abfallaufkommens aus. Im Jahr 2015 betrug die Menge an Bau- und Abbruchabfällen fast 10 Milliarden Tonnen.²

Doch einer der wichtigsten Gesichtspunkte ist, dass die Baubranche auch für ca. 40% aller Treibhausgasemissionen zuständig ist.³

1.2. Zielsetzung und Forschungsfrage

Das Ziel besteht hauptsächlich darin, die einzelnen Schichten sowie darauffolgend verschiedene erdberührte Aufbauten bezüglich des Nachhaltigkeitaspektes miteinander zu vergleichen. Daraus folgt die Forschungsfrage: „Können erdberührte Bodenaufbauten nachhaltiger gestaltet werden? Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?“ Ziel dieser Arbeit ist die Analyse der Aufbauten, um daraus Rückschlüsse zu ziehen und die Problematik aufzugreifen.

1.3. Abgrenzung des Themengebiets

Um eine bessere Aussagekraft zu gewährleisten, ist es notwendig die zahlreichen Aufbauten auf das Wesentliche zu beschränken. Um einen Überblick über die möglichen Schichten der erdberührten Fußbodenaufbauten zu schaffen, wurde eine Bodenplatte eines nicht unterkellerten Gebäudes in Massivbauweise analysiert.

¹ Pramer, Philip: Böser Beton: Warum Zement der geheime Klimakiller ist. In: <https://www.derstandard.at/story/2000102411187/boeser-beton-warum-zement-der-geheime-klimakiller-ist> (letzter Zugriff: 25.05.2023)

² Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Hersg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/aws/bundes_awp/bawp.html (letzter Zugriff: 25.05.2023)

³ Hebel, Dirk E./Heisl, Felix/Webster, Ken: Besser - Weniger - Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft. Basel: Verlag Birkhäuser 2022. S.6. (letzter Zugriff: 25.05.2023)

Nach Analyse der einzelnen Schichten werden drei diverse Bodenplatten miteinander verglichen. Zur Bewertung wurden die Kenngrößen Treibhausgaspotenzial GWP, das Versauerungspotenzial AP und Summe an nicht erneuerbaren Primärenergie PERNT gewählt.

1.4. Struktur der Arbeit

Diese Bachelorarbeit besteht aus fünf Kapiteln.

Im zweiten Kapitel wird die **Kreislaufwirtschaft** im Allgemeinen erläutert. Dabei wird gezeigt, wie die kreislaufwirtschaftliche Bewegung zu Stande gekommen ist. Die momentane Ausgangslage global und national wird ebenso dargelegt. Außerdem wird in diesem Kapitel das Projekt „DoTank Circular City Wien 2020 – 2030“ behandelt.

Im dritten Kapitel wird die Relevanz der Kreislaufwirtschaft im **Bauwesen** verdeutlicht. Dabei werden die Prinzipien zur kreisläufigen Transformation entfaltet. Darüber hinaus werden die durch das Bauwesen entstandenen Auswirkungen auf die Umwelt thematisiert.

Im vierten Kapitel folgt die **Analyse und der Vergleich der erdberührten Aufbauten**. Als Einstieg werden mögliche Schadstoffe, die sich in den bereits produzierten Baustoffen befinden können, erläutert. Danach folgt eine Analyse der einzelnen Schichten in Hinsicht auf die Materialität, Nutzungsdauer, Wiederverwendung- und -verwertung, sowie Vergleiche auf Basis der Umwelteinwirkung und Ressourceneinsatz. Indikatoren, die zur Beurteilung der **Umwelteinwirkung** herangezogen wurden, sind:

- GWP – fossil [kg CO₂ Äq./kg]
- GWP – biogenic [kg CO₂ Äq./kg]
- **GWP – total** [kg CO₂ Äq./kg]
- ODP [kg CFC-11 Äq./kg]
- **AP** [kg SO₂Äq./kg]
- EP [kg PO₄Äq./kg]
- POCP [kg C₂H₄ Äq./kg]

Indikatoren zur Beurteilung des **Ressourceneinsatzes**:

- PERE [MJ/kg]
- PERM [MJ/kg]
- PERT [MJ/kg]
- PENRE [MJ/kg]
- PENRM [MJ/kg]
- **PERNT** [MJ/kg]

Die nähere Erläuterung der Indikatoren erfolgt im Unterkapitel 4.1. Die Ergebnisse werden mithilfe von Balkendiagrammen dargestellt und erläutert.

Nach der Analyse der Schichten folgt eine Gegenüberstellung dreier unterschiedlicher Bodenplattenaufbauten. Diese werden anhand von GWP – total, AP sowie PERNT verglichen.

Am Ende dieser Arbeit, im Kapitel 5, folgen Ergebnis sowie anschließend ein **Fazit**.

2. Kreislaufwirtschaft

Die Gesellschafts- und Wirtschaftssysteme müssen in der Zukunft optimierter und effizient gestaltet werden. Das derzeitig immer noch führende lineare Wirtschaftssystem wird fatale Auswirkungen auf unsere Lebens- und Arbeitsbedingungen haben.

Kreislauffähiges Denken beschäftigt sich mit den Problemen wie Rohstoffabbau, Abfallaufkommen und Schadstoffproduktion. Die Merkmale des linearen Wirtschaftssystems sind Nutzen der Rohstoffe, als wären diese unendlich vorhanden sowie anschließendes Abbauen und schlussendlich billige Entsorgung. Durch vorausschauende Planung und intelligente Gestaltung sollen mithilfe von Kreislaufwirtschaft Abfall und Emissionen vermieden werden. Dabei ist es essenziell die Produkte so lange wie möglich zu nutzen, um ihren Produktionswert langlebig hochzuhalten.⁴

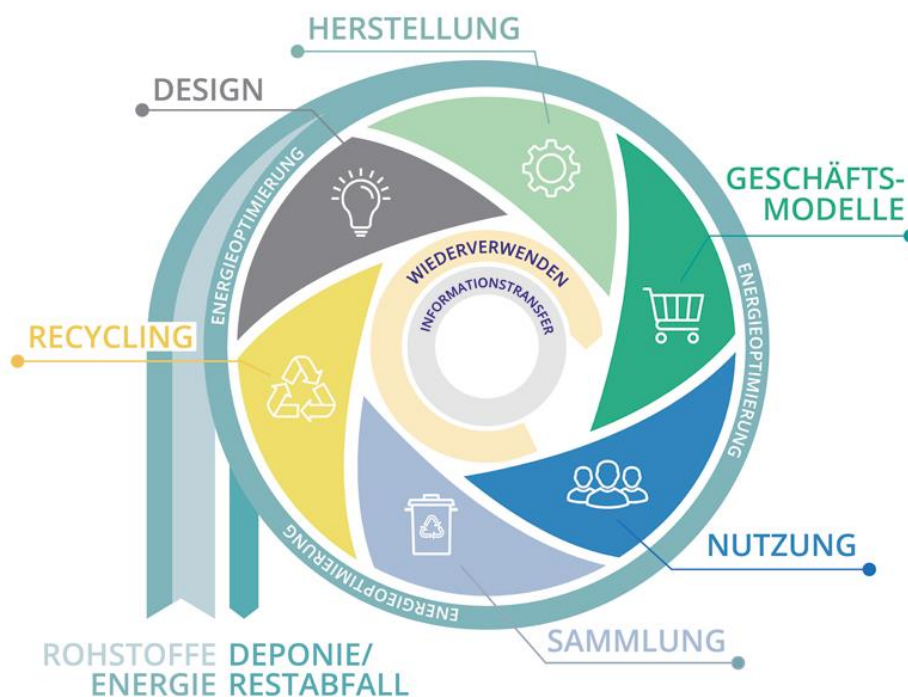


Abb. 1: Das Prinzip der Kreislaufwirtschaft

Quelle: <https://partizipation.at/anwendungsfelder/umwelt-und-nachhaltige-entwicklung/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 31.05.2023)

⁴ Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.circularfutures.at/themen/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 15.05.2023)

Zwar werden in vielen Unternehmen Maßnahmen für saubere Produktionsweise angewendet, jedoch gleichen die fortsetzenden Produktionen und Verkäufe die positiven Umweltauswirkungen wieder aus.

Daher ist es von höchster Bedeutung die gesamte Wertschöpfungskette zu modifizieren. Dabei sollte das Augenmerk auf Nachhaltigkeit und Langfristigkeit, statt auf schnelle Gewinne gelegt werden.

2.1. Anfang der Bewegung der Kreislaufwirtschaft

Die Bewegung fand ihren Beginn in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts. Die industrielle und wirtschaftliche Entwicklung hat sich in den letzten Jahrzehnten rasant verändert. Der Grund dafür ist die rasche Veränderung durch die Industrialisierung und der Anstieg der Bevölkerung. Aus den beiden Faktoren resultierend hat sich der Flächenverbrauch vervielfältigt.

Von diesem Moment an haben die Begriffe „Umweltschutz“ und „Recycling“ entscheidend an Bedeutung gewonnen. Am 22. April 1970 wurde erstmals „der Tag der Erde“ eingeführt⁵, welcher heute noch eine große Bedeutung hat. Die Intention hinter diesem Tag ist, dass die Bevölkerung die natürliche Umwelt schätzt und ihr Konsumverhalten überdenkt. Im selben Jahr wurde auch das „Europäische Naturschutzjahr“ ausgerufen. Bereits zwei Jahre später, im Jahr 1972, fand der erste, durch die UNO veranstaltete, Umweltgipfel in Schweden statt.

Daraus resultierend entstanden die ersten regionalen Verordnungen und Bestimmungen hinsichtlich des Schutzes der Umwelt und eines ressourcenschonenden Umgangs mit Materialien. Zunächst wurde das Ziel einer umweltverträglichen Entsorgung von Abfällen vereinbart. Im Laufe der Zeit wurde festgestellt, dass die Deponieflächen knapp werden und die Müllverbrennungsanlagen nicht in genügender Anzahl zu Verfügung stehen.

⁵ Geschichte & Meilensteine. In: <https://www.umweltdachverband.at/ueber-uns/wer-wir-sind/geschichte/> (letzter Zugriff: 15.05.2023)

Im Laufe der Zeit wurde deutlich, dass die „saubere Entsorgung“ kostenintensiv ist und der Gedanke der Rückführung der Rohstoffe in den Wirtschaftsprozess wurde immer mehr ein Thema. Die sichere Beseitigung reichte nicht mehr aus, von nun an war Abfallvermeidung von höchster Bedeutung.

2.2. Ausgangslage global

Es wurden bereits einige internationale Ziele hinsichtlich einer nachhaltigen Wirtschaft gesetzt. Dazu zählen vor allem:

- **Pariser Klimaabkommen**

Das Abkommen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), das in Paris im Jahr 2015 stattgefunden hat, wurde von 189 Vertragsparteien unterzeichnet.⁶ Von der EU inkl. Österreich wurde es ein Jahr später ratifiziert.

Das Ziel ist es die durchschnittliche Erdtemperatur unter 2° Grad über dem vorindustriellen Niveau zu halten. Zudem wird von den Staaten, die das Abkommen unterzeichnet haben, erwartet, dass sie intensiv versuchen, die durchschnittliche Temperatur unter 1,5° C über dem vorindustriellen Niveau zu stabilisieren.

- **Aktionsplan der Europäischen Kommission**

Bereits im Jahr 2015 veröffentlichte die EU den ersten Kreislaufwirtschaftsaktionsplan. Fünf Jahre später, im Jahr 2020 wurde erneut ein verbesserter und aktualisierter Plan „Für ein sauberes und wettbewerbsfähigeres Europa“ veröffentlicht. Dieser war die Grundlage des später festgelegten „europäischen Grünen Deals“. Die darin thematisierten Bereiche sind unter anderem nachhaltige Produktpolitik, Abfallvermeidung, Bioökonomie sowie Nutzung der Sekundärstoffe.⁷

⁶ Hauke, Bernard: Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz: Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen - Aktueller Stand der Technik. Berlin: Verlag Wiley 2021. S.148 (letzter Zugriff: 17.05.2023)

⁷ Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Die österreichische Kreislaufwirtschaft. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html (letzter Zugriff: 18.05.2023)

- **Der europäische Grüne Deal**

Die Europäische Union ist ein Partner des Pariser Klimaabkommens und hat sich im Jahr 2019 aus dem Grund dazu erklärt, in den kommenden 30 Jahren klimaneutral zu werden. Der europäische Green Deal soll dazu beitragen, diesen Übergang zu ermöglichen.

Das präsentierte Maßnahmenpaket enthält diverse ökologische und ökonomische Handlungen für einen nachhaltigen Wandel in Europa. Die zu verfolgenden Ziele sind unter anderem Umänderung der Produktions- und Verbrauchssysteme sowie das Wachstum der Ressourcennutzung herabzumindern. Im Vordergrund des Deals stehen vor allem Mobilisierung von Forschung sowie Förderung von Innovation und darüber hinaus Finanzierung der Wende, einschließlich eines gerechten Übergangs für alle.

2.3. Die Entwicklung in Österreich

Die Geschichte der Kreislaufwirtschaft in Österreich beginnt im Jahr 1973/74 und wird durch den Ölpreisschock hervorgerufen. Mit diesem Ereignis werden die Fragen des Umweltschutzes vermehrt thematisiert und die Menschen fangen an die Grenzen des ökonomischen Wachstums zu hinterfragen. Weitere entscheidende Vorfälle waren unter anderem die Volksabstimmung über das AKW Zwentendorf 1978 oder auch die Besetzung der Hainburger Au im Jahre 1984/85.

Im Jahr 1972 wird das Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz eingerichtet. Im darauffolgenden Jahr wird ÖGNU - Österreichische Gesellschaft für Natur- und Umweltschutz⁸ gegründet. Die Themen, die erstmal durch ÖGNU thematisiert wurden, sind Abfallwirtschaftspolitik, Deponietechnik und Müllvermeidung sowie Wasser- und Abwasserfragen.

2.3.1. Der Jetzt - Stand national

Im Vordergrund stehen die globalen Ziele und Anforderungen, die eingehalten werden sollen. Zusätzlich dazu, gibt es national festgelegte Maßnahmen und Richtlinien.

⁸ ÖGNU. In: <https://www.umweltdachverband.at/> (letzter Zugriff: 16.05.2023)

So gibt es die im Regierungsplan verankerte Kreislaufwirtschaftsstrategie 2020-2024⁹. Mithilfe dieser Strategie soll Österreich eine nachhaltige Wirtschaft anstreben und dazu beitragen bis 2040 Klimaneutralität zu schaffen.

Die in Österreich geltenden Programme und Pläne hinsichtlich Kreislaufwirtschaft sind vielfältig und können in folgende Bereiche eingeteilt werden:

- Abfallvermeidungsprogramm
- Aktionsplan Mikroplastik
- Biodiversitätsstrategie
- Bioökonomiestrategie
- Bundes – Abfallwirtschaftsplan
- Digitaler Aktionsplan
- Energieforschungs- und Innovationsstrategie
- Klima- und Energiestrategie
- MUT – Masterplan Umwelttechnologie
- naBe-Aktionsplan für eine nachhaltige öffentliche Beschaffung
- Nationaler Energie- und Klimaplan
- Masterplan Rohstoffe 2030
- Mobilitätsmasterplan 2030
- Plattform Grüne Chemie und schließlich
- Standortstrategie

Um den Ressourcenverbrauch in Österreich zu beschreiben, werden hierbei Indikatoren wie Material – Fußabdruck (MF), der inländische Materialverbrauch (Domestic Material Consumption, DMC) und Rohmaterialverbrauch (Raw Material Consumption, RMC) herangezogen.

⁹ Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Die österreichische Kreislaufwirtschaft. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html (letzter Zugriff: 18.05.2023)

Ausschlaggebend ist ebenso die Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe (Circular Material Use Rate, CMU). Hierbei schneidet Österreich im EU – Vergleich schwach ab. Die CMU betrug in Österreich im Jahr 2020 nur rund 12%.¹⁰ Die Tatsache ist also, dass nur 12% aller Stoffe wiederverwendet wurden.

Zu den Transformationsschwerpunkten gehören:

- **Bauwirtschaft und Bauliche Infrastruktur**
- Mobilität
- Abfallmanagement
- Biomasse
- Textilien und Bekleidung
- Kunststoffe und Verpackungen
- Elektro- und Elektronikgeräte

2.3.2. Die festgelegten Ziele

Die vier primären auf nationaler Ebene festgelegten Ziele sind:

- **Minimierung des inländischen Ressourcenverbrauches**

Es ist bekannt, dass Österreich im europäischen Vergleich einen hohen Ressourcenverbrauch aufweist. Laut dem Bericht „Ressourcennutzung in Österreich 2020“ verbrauchte die Bevölkerung im Jahr 2018 jährlich 19 Tonnen an Ressourcen pro Kopf (t/cap/a).¹¹

Es ist von großer Bedeutung diesen Wert auf den europäischen Durchschnitt, 14 t/cap/a, zu senken. Resultierend daraus würde der inländische Materialverbrauch um rund 25% fallen.

¹⁰ EU's circular material use rate increased in 2020. In: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20211125-1> (letzter Zugriff: 14.05.2023)

¹¹ Ressourcennutzung in Österreich 2020. Band 3. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/publikationen/bericht2020.html (letzter Zugriff: 10.06.2023)

Der Zielwert, der bis 2050 im besten Fall erreicht werden sollte, liegt bei 5 t/cap/a. Somit würde der gesamte Ressourcenverbrauch unter Voraussetzung, dass Verlagerungseffekte ins Ausland vermieden werden, auf 69 Tonnen/Jahr sinken.¹²

- **Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Wirtschaft**

Die Ressourceneffizienz soll zusammen mit dem sinkenden Ressourcenverbrauch von 127 Mio. Tonnen, bis 2030 um die Hälfte steigern.

- **Anstieg der Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe**

Aufgrund der geringen Wiederverwendungsrate der Ressourcen in Österreich wurde es als Ziel festgelegt, mehr als 16% der eingesetzten Stoffe in den Kreislauf rückzuführen. Um diese Steigerung zu erreichen, muss der Materialverbrauch um 20% kleiner werden und gleichzeitig soll die Recyclingrate um 10% größer werden.

- **Reduktion des Materialverbrauches pro Kopf**

Es ist bekannt, dass das Abfallaufkommen aus den privaten Haushalten stärker als das Bevölkerungswachstum steigt.

Aufgrund dieser Tatsache muss der private Konsum um 10% abnehmen. Das eigentliche Ziel hierbei ist es, den Menschen zu verdeutlichen, wie sie die Menge an Abfall senken können.¹³

¹² Ressourcennutzung in Österreich 2020. Band 3. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/publikationen/bericht2020.html (letzter Zugriff: 10.06.2023)

¹³ Ressourcennutzung in Österreich 2020. Band 3. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/publikationen/bericht2020.html (letzter Zugriff: 18.05.2023)

2.4. DOTANK CIRCULAR CITY WIEN 2020 – 2030

DTCC30 ist ein vom OSR DI Bernhard Jarolim, dem Wiener Stadtbaudirektor, magistratweit ausgerufenes Programm. Die Kernaufgabe des Projekts liegt in der Betrachtung und Verbesserung der Prozesse hinter der Errichtung eines Bauwerkes und nicht daran, das Gebäude als Produkt neuzudenken.

2.4.1. Ursprung des Projektes

Wien als eine nahezu abfallfreie Stadt. Das setzte im Jahr 2019 die Stadt Wien mithilfe von Rahmenstrategie Smart City und der Wirtschaftsstrategie „WIEN 2030 – Wirtschaft & Innovation“ als eines der Ziele fest. Allerdings, um dies zu erreichen, müsse die Stadt den materiellen Fußabdruck deutlich senken. Solch eine Herausforderung kann nur mittels kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien gemeistert werden.

Ab dem Jahr 2050 sollen die Materialien und Bauteile beim Rückbau eines Gebäudes bis zu 80% wiederverwendet oder wiederverwertet werden. Daher ist es ausschlaggebend, Bauwerke endlich als „Materiallager“ statt „Materialverbraucher“ zu betrachten. „Neben natürlichen Lagerstätten - Abbaugelände für Primärressourcen - spricht man von anthropogenen - vom Menschen geschaffenen - Lagerstätten, die Sekundärressourcen beinhalten. Ein Überwinden des Business as usual in der Bauwirtschaft und Stadtentwicklung ist unumgänglich.“¹⁴

2.4.2. Circular City

Die Ziele einer Circular City sind vor allem mehr Wohlstand zu bewerkstelligen, Lebensfähigkeit zu steigern und Widerstandsfähigkeit der Stadt sowie ihrer Bürger zu erhöhen. Der DTCC30 fördert ein Nachhaltigkeitskonzept, das den Ressourcenkreislauf des Gebäudes, des Freiraumes und der Infrastruktur von Produktion bis hin zur Entsorgung ausbaut und stärkt.

¹⁴ DoTank Circular City Wien 2020-2030 - Ein 10 Jahres Programm der Baudirektion. Hrsg. Stadt Wien. In: <https://www.wien.gv.at/bauen/dotankcircularcity/pdf/dtcc30-kurzbeschreibung.pdf> (letzter Zugriff: 20.05.2023)



Abb. 2: Definition einer Circular City

Quelle: <https://www.wien.gv.at/bauen/dotankcircularcity/pdf/dtcc30-kurzbeschreibung.pdf> (letzter Zugriff: 21.05.2023)

2.4.3. Die Umsetzung

Die Kreislaufwirtschaft soll in den nächsten zehn Jahren in Wien stark vorangetrieben werden. Um das Projekt zu realisieren, wurde ein interdisziplinäres Team aus verschiedenen VertreterInnen und Unternehmen der Stadt gegründet, das zusammen als Ziel hat, sich diesen großen Themen zu Stellen. So soll etwa die Bewusstseinsbildung in die Hinsicht auf die Kreislaufwirtschaft in der gebauten Umwelt gefördert werden. Die mit der gestellten Herausforderung entstehenden innovativen Startprojekte bilden eine Vorlage für eine neu definierte Wiener Baukultur.

Die Phasenleitungen gliedern sich in sieben Bereiche. Die Bereiche sind hierbei:

- Programmmanagement
- Informationsmanagement, Kommunikation
- Kollaboration & Strategische Vernetzung
- Fallstudien & Startprojekte
- Digitalisierung & Regulative
- Ökonomie
- Strategie, Raodmap, Governance

Die Führung des Projektes wird von Programmleiterin DI Dr. Anna-Vera Deinhammer und der Programmmanagerin Ing. Claudia Schrenk übernommen.

2.4.4. Der Zeitplan

Das Projekt wird in vier Phasen unterteilt:

Die **Phase eins** (2020 – 2023), die bereits zu Ende geht, hat das Ziel Wien überhaupt als eine Circular City zu definieren. Diesbezüglich sollte die Stadt Wien und die unmittelbaren Organisationen in das Thema eingeführt werden. Zur gleichen Zeit werden Studien und Startprojekte durchgeführt und kommuniziert.

Die **Phase zwei** (2024 – 2026) beschäftigt sich mit der Aktualisierung und Fortführung der Prozesse und Projekte. Es muss sichergestellt werden, dass das festgelegte langfristige Ziel bestmöglich eingehalten werden kann.

Die **Phase drei** (2027 – 2029) beinhaltet die Beurteilung der Wirkung, des Projektes durch die letzten Jahre. Ein weiterer wichtiger Schritt besteht darin, einen detaillierten Plan zu entwickeln, der sich auf das Ziel für das Jahr 2050 konzentriert, die Wiederverwendungsrate von Baustoffen und Bauteilen auf 80% zu erhöhen.¹⁵



Abb. 3: Zeitablauf für die Realisierung des DOTANK Circular City Wien 2020 – 2030 – Projektes.

Quelle: <https://www.wien.gv.at/bauen/dotankcircularcity/pdf/dtcc30-kurzbeschreibung.pdf> (letzter Zugriff: 21.05.2023)

¹⁵ DoTank Circular City Wien 2020-2030 - Ein 10 Jahres Programm der Baudirektion. Hrsg. Stadt Wien. In: <https://www.wien.gv.at/bauen/dotankcircularcity/pdf/dtcc30-kurzbeschreibung.pdf> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

3. Kreislauf (bau) Wirtschaft

Die gesamte gebaute Umwelt besteht aus dem Gebäude und der Infrastruktur inklusive Transport-, Telekommunikations-, Energie-, (Ab)Wasser und Abfallsystemen. Die Gestaltung und Errichtung von Bauwerken beeinflussen Gesundheit, Wohlbefinden sowie Produktivität der Menschen.

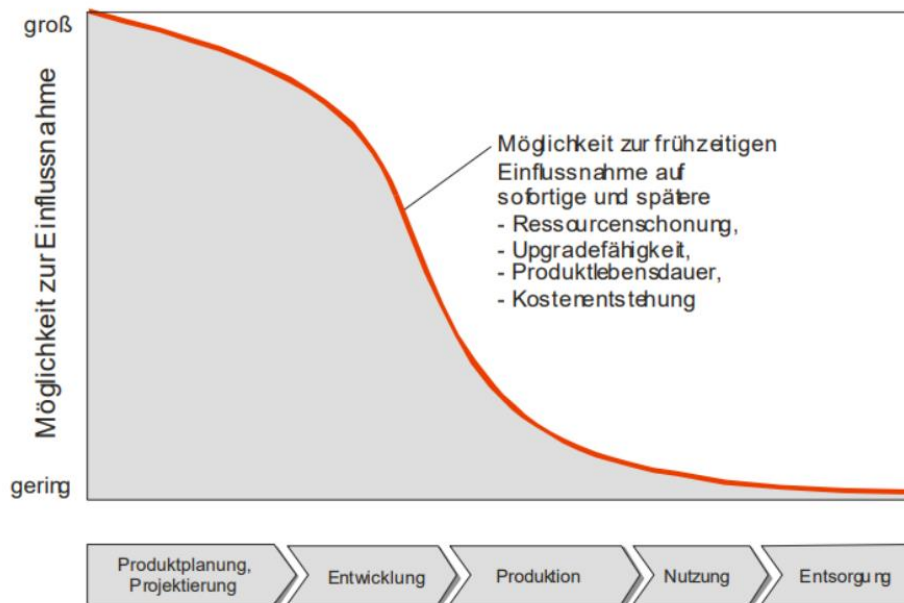


Abb. 4: Einfluss der Produktplanung auf die Lebensphasen.

Quelle:

<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce>
(letzter Zugriff: 21.05.2023)

3.1. Urban Mining

Da Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung bei Bestandsnutzung anfangen ist es von höchster Bedeutung jede Neubautätigkeit zu hinterfragen. Neubau sollte erst dann in Erwägung gezogen werden, wenn Sanierung oder Nachnutzung nicht möglich sind. Im Falle eines Neubaus sollten möglichst ressourcenschonende Materialien verwendet werden, um die längst mögliche Nutzungsdauer zu erreichen. Die Aussage bezieht sich in dem Sinne auf das Gesamtgebäude, aber auch auf die verwendeten Elemente und Ressourcen.

„Urban Mining“ – da zukünftig Rohstoffe eher aus von Menschen errichteten Lagerstätten statt aus ihrer natürlichen Umgebung gewonnen werden, sollten die zukünftigen Bauten als „Rohstofflager“ geplant und wahrgenommen werden.¹⁶ Um die eingesetzten Rohstoffe wiederverwenden zu können, muss auf Trennbarkeit, Schadstofffreiheit und Rückbaubarkeit geachtet werden.

3.1.1. Das Gebäude als Schichtenmodell

In erster Linie ist es wichtig das Gebäude nicht als einen einfachen Block zu sehen, sondern als ein komplexes Bauwerk aus veränderbaren Schichten. Die Schichten haben hierbei verschiedene Funktionen und werden durch ihre Lebensdauer unterschieden. Die Aufteilung hat die Aufgabe zu verdeutlichen, dass die verschiedenen Funktionen trennbar und zugänglich geplant werden müssen, um eine lange Lebensdauer bieten zu können.¹⁷

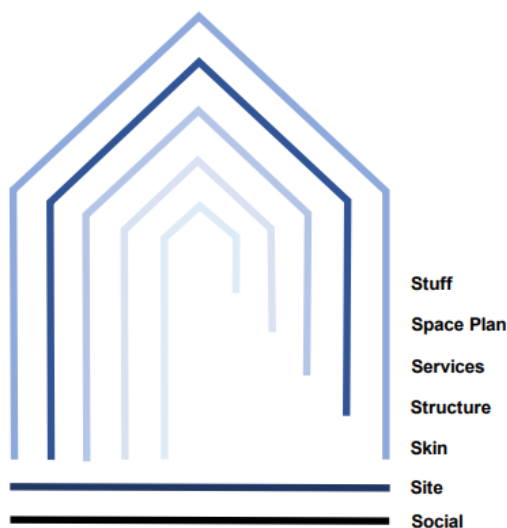


Abb. 5: das Schichtenmodell (zuletzt angepasst im Jahr 2018)

Quelle:

<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce>
(letzter Zugriff: 24.05.2023)

¹⁶ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign: In:

<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 17.06.2023)

¹⁷ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign: In:

<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 17.06.2023)

Das Modell besteht aus sieben Teilen – Sachen (Stuff), Raumaufteilung (Space Plan), Haustechnik (Services), Tragwerk (Structure), Außenhülle (Skin), Standort (Site) und zu guter Letzt sozialer Kontext (Social).

3.1.2. Ressourcenintensivste Phase bestimmen

Um die richtigen Entscheidungen hinsichtlich Kreislaufwirtschaftlichkeit zu treffen, muss am Anfang jenes Projektes die Phase bestimmt werden, die die meisten Ressourcen verbraucht. Grundsätzlich wird es in drei Phasen unterschieden: Bauphase, Nutzungsphase und Rückbauphase.

Bauphase	Rohstoffbereitstellung /-verarbeitung
	Transport zum Produkthersteller
	Produktherstellung
	Transport zur Baustelle
	Einbau im Gebäude
Nutzungsphase	Nutzung des Produktes
	Instandhaltung
	Reparatur
	Ersatz
	Umbau / Erneuerung
	Energieeinsatz während der Nutzung
	Wassereinsatz während der Nutzung
Rückbauphase	Rückbau / Abriss
	Wiederverwendung / Recycling
	Transport
	Abfallbehandlung
	Deponierung

Tab. 1: Lebenszyklusphasen von Gebäuden.

Quelle:

<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce>
(letzter Zugriff: 25.05.2023)

Faktoren, die den Primärenergiebedarf eines Gebäudes in seinen Lebensphasen beeinflussen, sind Nutzungsart, Bauweise, Lebensdauer sowie Rückbaukeit.

So ist bei Bauten mit einem hohen Energiebedarf und zugleich langer Nutzungsdauer die Nutzungsphase von größter Bedeutung, während im Gegensatz bei temporären Bauten die Rückbauphase die wichtigste ist.

In Bezug auf den Primärenergiebedarf können Gebäuden in folgend eingestuft werden:

1. **Hochenergieverbraucher** (zB. Krankenhäuser, Schwimmbäder, etc.)
2. **Geringer Energieverbrauch** bei langer Lebensdauer (moderne Wohngebäude)
3. **Kurzlebige Bauten**
4. **Hoher Energieverbrauch** mit hohem Nutzungswechsel (zB. Einkaufszentren)

Resultierend aus dem kann also behauptet werden, dass es sehr wichtig ist, die ressourcenintensivste Phase am Anfang eines Projektes festzulegen, um die richtigen Rückschlüsse zu ziehen und die zukünftigen Verbesserungen besser einschätzen zu können.

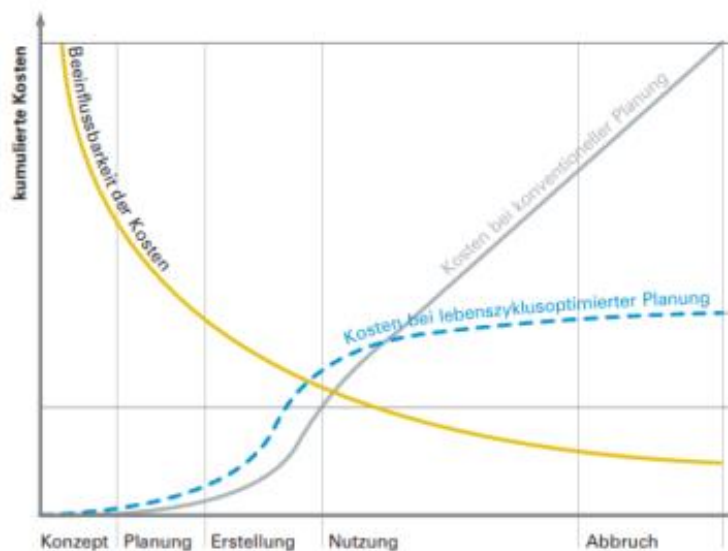


Abb. 6: Beeinflussbarkeit der Kosten in Abhängigkeit von Lebenszyklusphasen.

Quelle:
<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce>
(letzter Zugriff: 27.05.2023)

Die obere Grafik zeigt, dass bei einer lebenszyklusorientierten Planung die anfallenden Kosten über die Lebensdauer exponentiell abnehmen.

Obwohl die Kosten am Anfang der Planung hoch sind, fallen diese im Laufe der Nutzung und bringen Vorteile in der Hinsicht des Ressourcenverbrauches.

3.2. Kreislauffähiges Bauen

Es wird zwischen zwölf kreislaufwirtschaftlichen Prinzipien des Bauens unterschieden. Die nachfolgende Tabelle zeigt welchen Einfluss die Lebenszyklusphasen auf die Ressourceneinsparung haben.

Legende	Wenig bis kaum Einfluss	Mäßiger Einfluss	Hoher Einfluss
Prinzipien	Bauphase	Nutzungsphase	Rückbauphase
1. Nutzung bestehender Gebäude und Infrastruktur			
2. Gute Planung			
3. Materialaufwand minimieren			
4. Bevorzugung von nachwachsenden Rohstoffen			
5. Bevorzugung recyclingfähiger Materialien			
6. Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen			
7. Einstoffliche Bauweisen			
8. Lösbare Verbindungen und Konstruktionen			
9. Langlebige Bauteile und Materialien			
10. Flächeneffizienz			
11. Nutzungsflexibilität			
12. Reinigungs- und Instandhaltungsoptimierung			

Tab. 2: Einfluss der Phasen auf die Ressourceneinsparung

Quelle:

<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce>
(letzter Zugriff: 27.05.2023)

Die Tabelle bietet einen Leitfaden zur kreislaufwirtschaftlichen Planung, jedoch besitzt sie keine Allgemeingültigkeit. Sie dient dazu einen groben Überblick zu schaffen, da zwischen den einzelnen Gruppen auch Konflikte entstehen können, da nicht alle Bedingungen genauer betrachtet sind.

3.2.1. Nutzung bestehender Gebäude

Das erste in Bezug auf die Ressourcenschonung ist Nutzung schon bestehender Bauwerke. Weiternutzung sollte vor jeglichen Neubauten vorgezogen werden. Weiternutzung statt neu bauen hat einen entscheidenden Einfluss auf die immer mehr wachsende Flächeninanspruchnahme.

Wenn die Möglichkeit besteht, sollte immer erst renoviert werden. Erst wenn dies nicht möglich ist, kann ein Neubau in Betracht gezogen werden. Wichtig bei neuen Bauvorhaben ist vor allem die Wahl des Bauplatzes und die damit verbundene bestehende Infrastruktur.¹⁸

3.2.2. Präzise Planung

Kreislaufwirtschaft im Bauwesen ist mit einem höheren Grad an Komplexität verbunden. Aus diesem Grund ist eine präzise Planung am Anfang bei der Projektvorbereitung und des Entwurfes dringend notwendig. Die Möglichkeiten nachhaltiges Bauen in diesen Phasen zu fördern, sind zum Beispiel bei der Ausschreibung, dem One-Site-Recycling aber auch der ausführlichen Gebäudedokumentation vorhanden.

In den Ausschreibungen bei öffentlichen Bauvorhaben können kreislauffähige Konstruktionen vorangetrieben werden, indem Vorgaben an die Nachhaltigkeit definiert werden. Vorgaben wie Minimierung der Transportwege, getrennte Deponierung der Baurestmassen oder Gebäudemodellierung mittels bestehenden Aushubmaterial sind schon öfter ein Teil der Ausschreibungen.

Zusätzlich dazu können beispielhaft Definition der verwendeten Materialien, Angabe der Füge-Techniken (um so gut wie möglich Klebeverbindungen zu vermeiden) oder Garantie in Form von Wartungsverträgen von Firmen, um eine möglichst Lebensdauer zu gestatten.

¹⁸ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign: In: <https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 27.05.2023)

„One-Site-Recycling“ gibt vor die bereits genutzten Ressourcen vor Ort wiederzuverwenden. Das bedeutet, dass bei einem Rückbau die Abrissmaterialien, sobald sie wiederverwendungsfähig sind, beim Neubau wieder einsetzen zu können. Diese Praxis ist jedoch noch nicht im Bauwesen gängig. Ein Unternehmen aus Österreich, Baukarussell¹⁹, beschäftigt sich genau mit dem Ansatz des One-Site-Recyclings.²⁰

Durch eine umfassende Gebäudeautomation wird es möglich, bereits während der Planungsphase eine vorausschauende Wiederverwendungsstrategie für Baustoffe und Bauteile zu entwickeln. Durch Dokumentieren der Eigenschaften und des Materialbestandes kann beim Rückbau ein Überblick über die verwendeten Stoffe gewährleistet werden.

3.2.3. Materialaufwand minimieren

Die Tatsache ist, dass geringer Materialaufwand, weniger Umweltauswirkungen bedeutet. Die Menge errechnet sich hierbei aus Baukörpergestaltung, der Tragwerksplanung und der Materialwahl. Der Baukörper sollte so kompakt wie möglich geplant werden. Um die Kompaktheit des Gebäudes zu bestimmen, wird der A/V Wert herangezogen. Das A/V Verhältnis ist von Bedeutung für den Materialaufwand.

$$A/V \text{ Verhältnis} = \frac{A: \text{Oberfläche [m}^2\text{]}}{V: \text{Volumen [m}^3\text{]}}$$

Formel 1: Formel zum Ausrechnen des A/V Verhältnisses

¹⁹ BauKarussell. In: <https://www.baukarussell.at/> (letzter Zugriff: 27.05.2023)

²⁰ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign: In: <https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 27.05.2023)

Typische Werte für das A/V Verhältnis²¹ sind zB.

- Freistehende Einfamilienhäuser: 0,7 – 1,2
- Reihenhäuser: 0,5 – 1,0
- Mehrfamilienhäuser: 0,2 – 0,6

3.2.4. Bevorzugung nachwachsenden Rohstoffe

Die Auswahl an nachwachsenden Rohstoffen (NAWARO) ist vielfältig. Zum einem gibt es Holz und zum anderen können Dämmmaterialien aus zB. Schafwolle, Stroh oder Hanf angewendet werden.

Bei Verwendung von Holz gibt es Zertifizierungen, wie FSC – Siegel²², die sich mit den Prinzipien des nachhaltiger Fortwirtschaft beschäftigen. Somit kann garantiert werden, dass das geerntete Holz die Zeit zum Regenerieren und zum Nachwachsen bekommt.

Wichtig zu erwähnen ist aber, dass Bauen mit Holz in dem Sinne auch viele Herausforderungen mit sich bringt. So müssen spezielle Anforderungen an Schall- und Brandschutz getroffen werden. Auch auf die Verbindungen bei Holzelementen ist zu achten. Diese Faktoren erschweren heutzutage noch die Bauweise aus Holz.

3.2.5. Bevorzugen von Materialien aus dem Recycling

Eine weitere Art, um die negativen Umweltauswirkungen des Klimawandels weiter einzudämmen, sollen in der Zukunft öfter rezyklierte oder allgemein recyclebare Baustoffe zur Verwendung kommen.

Materialien können grundsätzlich in zwei Arten eingeteilt werden – endlich verfügbare und nachwachsende Rohstoffe. Mineralische, metallische und fossile Rohstoffe gehören zur Gruppe der endlichen Ressourcen.

Metallische Erzeugungen werden aus Erz erzeugt. Diese sind für enorme Umweltauswirkungen verantwortlich.

²¹ A/V Verhältnis. In: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/a/a-v-verhaeltnis-4424101> (letzter Zugriff: 20.06.2023)

²² FSC. In: <https://www.fsc-deutschland.de/> (letzter Zugriff: 20.06.2023)

Daher sollte ein effizientes stoffliches Recycling in Betracht gezogen werden. Unter der Voraussetzung sortenreiner Trennung, können Metalle ohne Qualitätsverlust immer wieder neu verarbeitet werden.

Bitumen und Kunststoffe gelten als die wichtigsten fossilen Materialien im Bausektor. Die Wiederverwendung von Kunststoffen hängt von ihrer Art und ihrer Reinheit ab. Bitumen werden beispielsweise ausschließlich energetisch verwertet, obwohl die stoffliche Verwertung in dem Fall einfacher wäre.

Mineralische Materialien wie Zement, Beton oder Kalksandstein werden in den meisten Fällen dem Downcycling überlassen. Zwar wird ein ansprechender Anteil an Recyclingkörnungen wiederverwendet, jedoch nur im Straßenbau.

Eine weitere Herausforderung, die dem Recycling von Baustoffen heutzutage gegenübersteht, ist der Preis. Die wiederaufbereiteten Materialien sind vergleichsweise sehr teuer.

3.2.6. Wiederverwendung ganzer Bauteile

Zwar ist Wiederverwendung ganzer Bauteile die ressourcenschonendste Methode, jedoch ist es heute noch nicht verbreitet, da diverse Erschwernisse im Weg stehen. Erstens wurden die Gebäude damals so gebaut, dass zerstörungsfreier Rückbau nicht wirklich möglich ist. Zudem gibt es für die Sekundärnutzung der Bauteile keine etablierten Vermarktungsstrukturen. Die Wiederverwendung von ganzen Bauteilen wird derzeit durch einzelne online Plattformen wie Willhaben oder Baukarussell gefördert.²³

Es ist also wichtig, in Zukunft die Bauten so zu gestalten, dass die einzelnen Elemente leichter voneinander getrennt werden können.

3.2.7. Einstoffliche Bauweisen

Die Komplexität im Baubereich nimmt immer wieder zu. Die einzelnen Schichten müssen variable gesetzlich normierten Anforderungen erfüllen.

²³ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign: In: <https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 18.06.2023)

Einerseits können die komplexen Bauteile positive Auswirkungen auf die Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit haben, andererseits wird dadurch die Bauphase verlängert und die sortenreine Trennung erschwert.

Einstoffliche Bauweisen streben nach einer Kompromisslösung. Die wichtigste Frage, die dabei zu bedenken ist, ist, inwiefern ein einziges Material alle biophysikalischen Anforderungen erfüllen kann. Baustoffe, die bei dieser Vorgehensweise in Frage kommen, sind Lehm, Ziegel, Holz, Leicht- und Porenbeton.

3.2.8. Lösbarkeit von Verbindungen und Konstruktionen

Dieser Punkt ist von besonderer Bedeutung für kreislauffähige Konstruktionen. Um eine Wiedernutzung ermöglichen zu können, müssen Bauteile durch lösbare Verbindungen gebunden sein.

Nach dem physikalischen Wirkprinzip wird zwischen Formschlüssen, Kraft- oder Reibschlüssen und Stoffschlüssen unterschieden. Dabei sind bis auf wenige Ausnahmen die Stoffschlussverbindungen gegenüber den anderen zwei Arten, praktisch unlösbar. Es sollte jedoch beachtet werden, dass eine Trennung im Endeffekt vom verwendeten Material und anderen Faktoren wie Witterungsbeständigkeit, abhängt.

3.2.9. Langlebige Materialien

Wie bereits erwähnt, sollten Baustoffe auf eine möglichst lange Lebensdauer angelegt sein und sich am Ende wiederverwenden lassen. Baustoffe weisen unterschiedliche Eigenschaften auf und somit auch unterschiedliche Lebensdauer. So haben zum Beispiel manche eine einen geringen PEI – Primärenergiegehalt, die anderen besitzen einen besonders langen Lebenszyklus. Je nach Verwendungsbereich können diese Eigenschaften dazu beitragen, die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes zu optimieren.

Bei stark beanspruchten Schichten sollte bei der Materialwahl besonders auf Langlebigkeit und zeitloses Design geachtet werden.²⁴

3.2.10. Flächeneffizienz

Durch eine hohe Flächeneffizienz wird eine hohe Auslastung der zu Verfügung stehenden gebauten Fläche hergestellt. Es sollten so viele Nutzflächen wie möglich erstellt werden. Daraus resultierend sollten Verkehrs- und Funktionsflächen minimiert werden.

Ein weiter Aspekt beim Thema ist multifunktionelle Nutzung bestimmter Flächen. Durch unterschiedliche Nutzungszeiten und gleichartige Lage sowie Beschaffenheit können Räume mehrfach unterschiedlich genutzt werden. Auch Nutzung von Dritten ist eine weitere Möglichkeit zur effizienten Flächennutzung.

3.2.11. Nutzungsflexibilität

Leicht veränderbare und anpassbare Bauten sind am langlebigsten.²⁵ Um diese Eigenschaften zu erzielen, müssen bereits in der Planungsphase richtige Entscheidungen getroffen werden.

Bei Wohngebäuden ist es sinnvoll die Räume nutzungsneutral zu gestalten. So können diese im Nachhinein, in kleinere Nutzeinheiten geteilt werden. Bei Bürobauten werden die Grundrisse oft mit einem Stützenraster geteilt. So können nicht tragende Innenwände ausgeführt werden, was dazu führt, dass die Büroräume langfristig über eine flexible Raumgestaltung verfügen.²⁶

²⁴ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign: In: <https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 02.06.2023)

²⁵ Brand, Stewart: How Buildings Learn: What Happens After They're Built. New York: Verlag Viking Press 1994. (Letzter Zugriff: 14.06.2023)

²⁶ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign: In: <https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 02.06.2023)

3.2.12. Reinigung- und Instandhaltungsoptimierung

Reinigungsaufwand, abhängig von der Gebäudenutzung und dem Gebäudetyp, kann einen beachtenswerten Teil der Nutzungskosten und Ressourcen ausmachen. Bei der Betrachtung der Außenhülle fällt auf, dass Beton- und Metallverkleidungen aufwendiger zum Reinigen sind als beispielsweise Holzfassaden.

Auch im Innenbereich sind jegliche pflegeintensive Materialien zu vermeiden, da sie auch als ein wesentlicher Ressourcenfaktor gelten.

Instandhaltung sollte in Zukunft mithilfe von lösbaren Verbindungen erleichtert werden. Hierbei sind die besonders intensiv beanspruchten Schichten des Gebäudes von großer Bedeutung.

3.3. Gütesiegel auf der Produkt- und Gebäudeebene

3.3.1. Umweltkennzeichen

Aktuell gibt es einige Instrumente der Umweltkommunikation zur Beurteilung der Produkte sowie des Gebäudes selbst. Das Wiedergeben der Umweltinformationen kann anhand von drei Typen erfolgen, und zwar:

Typ 1 : Umweltkennzeichen – ISO 14024²⁷

Umweltkennzeichen werden von unabhängigen Drittorganisationen aufgrund verbesserter Umweltperformance an Bauprodukte vergeben. In Österreich wird dieses Attribut von Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)²⁸ ausgestellt.

²⁷ ISO 14024: Regeln für eine Zertifizierung durch Dritte. In: <https://tcocertified.com/de/iso-14024/> (letzter Zugriff: 21.05.2023)

²⁸ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: <https://www.bmk.gv.at/> (letzter Zugriff: 21.05.2023)



Abb. 7: österreichisches Umweltzeichen

Quelle: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start> (Letzter Zugriff: 12.06.2023)

Typ 2 : Selbstdeklarationen – ISO 14021

Die Selbstdeklaration wird vom Hersteller vergeben und nicht durch dritte Organisationen überprüft, weshalb sie nur wenig relevant ist.

Typ 3 : **Produktdeklaration basierend auf Ökobilanz - Ergebnissen – ISO 14025**

Die Deklaration erfolgt anhand von ausführlich überprüften Ergebnissen einer Ökobilanz und wird anschließend auf Richtigkeit von Dritten überprüft. Wichtig zu erwähnen ist aber, dass die Produkte hierbei nicht mit anderen Produkten verglichen werden. Vergeben werden diese an Bauprodukte, aber vor allem werden sie zur Begutachtung der Nachhaltigkeit von Bauwerken herangezogen.²⁹ In Österreich wird diese Deklaration von Bau – EPD GmbH³⁰. ausgeteilt und gilt nur für Bauprodukte.



Abb. 8: EPDs der Bau EPD GmbH

Quelle: <https://www.bau-epd.at/> (letzter Zugriff: 12.06.2023)

Die sogenannte Umweltdeklaration wird auch EPD (eng. Environmental Product Declaration) genannt und wird in der Norm ISO 14025 geregelt. Ein integraler

²⁹ Was beinhaltet die ISO 14025? In: <https://ibu-epd.com/faq-items/was-beinhaltet-die-iso-14025/> (letzter Zugriff: 23.05.2023)

³⁰ Bau – EPD. In: <https://www.bau-epd.at/> (letzter Zugriff: 23.05.2023)

Bestandteil dieser Erklärung sind Umweltkennzahlen, die von externen Organisationen geprüft wurden und auf Ökobilanzen gemäß ISO 14040 basieren. Der europäische Standard für Bauprodukte lautet EN 15804 (Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte).



Abb. 9: The International EPD System

Quelle: <https://www.environdec.com/home> (letzter Zugriff: 12.06.2023)

3.3.2. Systeme zur Gebäudebewertung

Gebäudebewertungs- und -zertifizierungssysteme sind heutzutage maßgebend bei neuen Stadtentwicklungs- und Immobilienprojekten.

Fokus dieser Systeme liegt zwar hauptsächlich auf der Energieeffizienz eines Bauwerkes während seiner Nutzungsphase, jedoch gewinnt die ganzheitliche Betrachtung immer größere Bedeutung. Zurzeit ist die Kreislaufwirtschaftlichkeit nur in Teilbereichen zum Beispiel in Form von Anteil des verwendeten Recyclingmaterialien oder nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRos) gegeben.

Zurzeit gibt es einige relevante Zertifizierungssysteme. BREEAM³¹ wurde im Jahr 1990 entwickelt und war das erste System zur Zertifizierung von Gebäuden. Heute ist es weltweit bekannt und für verschiedene Gebäudearten verfügbar. LEED³² ist das am meisten verbreitete System weltweit und kann zur Beurteilung von Neubauten aber auch Sanierungen herangezogen werden. In Österreich gibt es derzeit vier Zertifizierungssysteme, nämlich IBO Ököpass³³, TQB - Total Quality Building³⁴ und ÖGNI³⁵.

³¹ BREEAM. In: <https://bregroup.com/products/breeam/> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

³² LEED rating system. In: <https://www.usgbc.org/leed> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

³³ IBO Ököpass. In: <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/ibo-oekopass> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

³⁴ TQB-Bewertung. In: <https://www.oegnb.net/tqb.htm> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

³⁵ ÖGNI. In: <https://www.ogni.at/leistungen/zertifizierung/> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

3.4. Auswirkungen des Bausektors auf die Umwelt

Die Auswirkungen auf das Klima, welche vom Bauwesen verursacht sind, sind vielfältig. Der Bau- und Gebäudesektor ist vor allem für einen hohen Energieverbrauch sowie enormen Ausstoß an klimaschädlichen Emissionen verantwortlich.

Laut dem Bericht „2020 Global Status Report for Buildings and Construction“, das vom UN-Umweltprogramm veröffentlicht wurde, werden 38% aller Treibhausgase vom Bausektor verursacht.

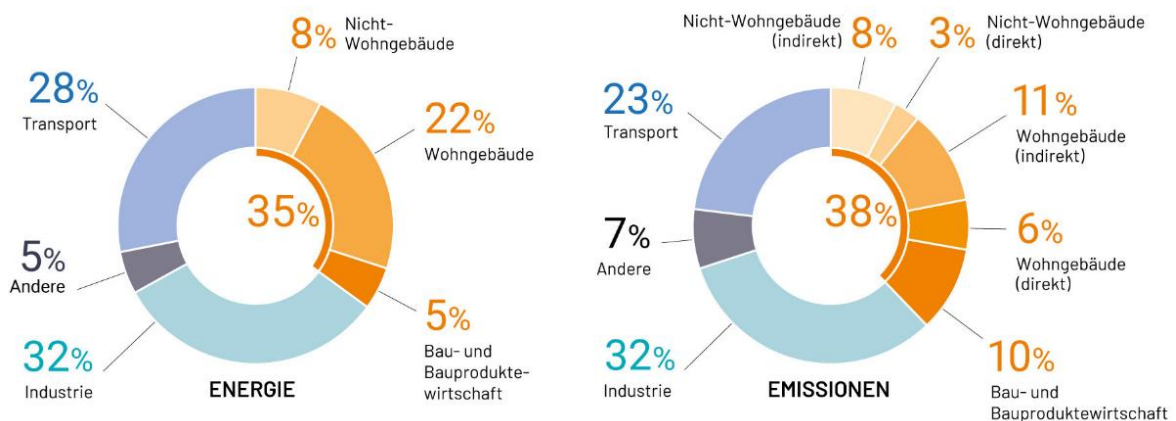


Abb. 10: Globaler Anteil an Emissionen und Endenergie von Gebäuden und der Bauwirtschaft im Jahr 2019

Quelle: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics-and-balances> (letzter Zugriff: 13.04.2023)

3.4.1. Ressourcenverbrauch

Der Bausektor gehört zu den Branchen, die für den meisten Ressourcenverbrauch verantwortlich sind. Die Behauptung bezieht sich auf erneuerbare sowie nicht erneuerbare Ressourcen. Aufgrund exzessiver Nutzung der Rohstoffe hat sich der Primärmaterialeinsatz seit den 70er Jahren verdreifacht.

Die Gewinnung und Verarbeitung fossiler Rohstoffe verursachen laut International Resource Panels der Vereinten Nationen, etwa die Hälfte aller Treibhausgasemissionen.

Im Jahr 1950 betrug der globale Anteil der Emissionen 5Gt CO_{2e}. In nur 20 Jahren verdoppelte sich dieser Wert und stieg auf 11Gt CO_{2e} allein durch Entnahme der Ressourcen.³⁶

Die Problematik der Rohstoffübernutzung wird in einem, von der Organisation Global Footprint Network errichteten „Earth Overshoot Day“ drastisch geschildert. Dies ist jener Tag eines Jahres, an dem die Nachfrage an nachwachsenden Rohstoffen größer wird als die Kapazität zur Reproduktion dieser Ressourcen.

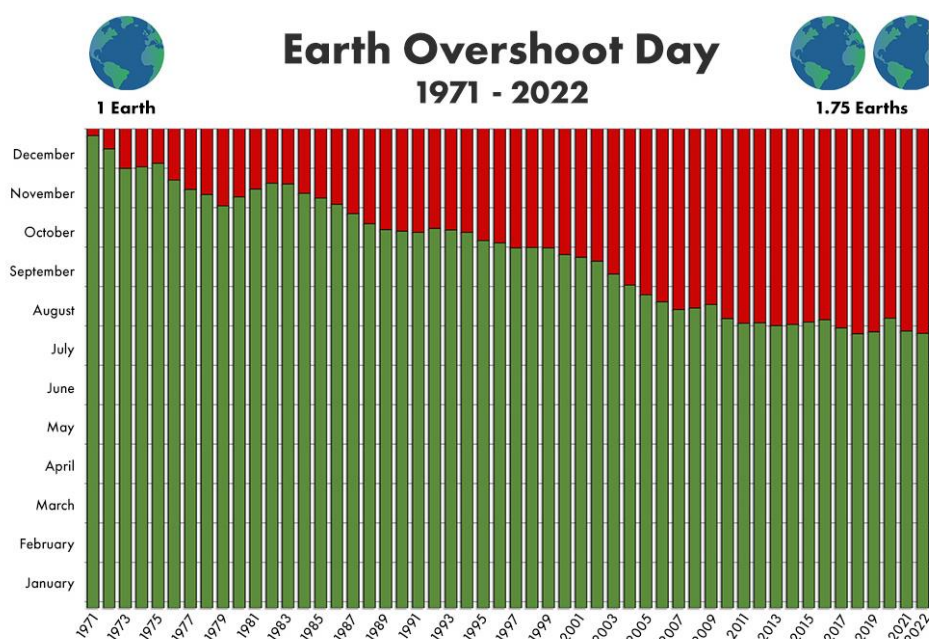


Abb. 11: Die Erdüberlastungstag seit 1971
Quelle: <https://www.overshootday.org/> (Letzter Zugriff: 06.04.2022)

3.4.2. Luftverschmutzung

Der Bausektor ist für einen erheblichen Teil der Luftverschmutzung zuständig. Besonders in den städtischen Gebieten tragen sie durch Emissionen von Luftschadstoffen wie Stickoxiden, Feinstaub oder Lärm zu den Umweltbelastungen bei.

Das Bauwesen ist für 23% der gesamten Luftverschmutzung verantwortlich.

³⁶ Ressourcen im Bauwesen. In: [https://www.gebaeudeforum.de/wissen/ressourcen-und-emissionen/ressourcen-im-bauwesen/#:~:text=Zwischen%202006%20und%202018%20entstanden,Prozent%20Holzabf%C3%A4lle%20\(Destatis%202018\)](https://www.gebaeudeforum.de/wissen/ressourcen-und-emissionen/ressourcen-im-bauwesen/#:~:text=Zwischen%202006%20und%202018%20entstanden,Prozent%20Holzabf%C3%A4lle%20(Destatis%202018).). (letzter Zugriff: 06.04.2023)

Es ist auf jede Handlung zu achten, die Dioxin produziert. Dioxine sind hoch giftig und entstehen im Zuge von diversen Verbrennungsprozessen.

Auch der PM10 Feinstaub stellt ein enormes Problem dar. Dadurch, dass sein Durchmesser rund 10 µm beträgt, kann dieser schnell und tief in die Lunge gelangen. Der Feinstaub im Bausektor entsteht hauptsächlich durch luftchemische Prozesse aus gasförmig emittierten Vorläufersubstanzen. Seit dem Jahr 1990 sind die daraus entstandenen Emissionen um knapp 40% gesunken.³⁷

3.4.3. Verlust der Biodiversität

Die Basis für unsere natürliche Lebensgrundlagen bilden gesunde Ökosysteme. Sie sind ausschlaggebend für die Lebensqualität und Gesundheit der Menschen. Zudem dienen sie als Luft- und Wasserreiniger, sind an dem Wasserrückhalt und der Bodenbildung beteiligt und bieten Schutz vor Naturgefahren an. Außerdem liefern Ökosysteme neue Rohstoffe und ermöglichen dem Menschen wichtigen Erholungsräume.

Der Zustand der biologischen Vielfalt verschlechtert sich jedoch zusehends. Die Ursachen dafür sind direkte Ressourcenentnahme, Änderung der Landnutzung, Einträge durch Schadstoffe und vor allem der Klimawandel.

Ein wichtiger Aspekt in Bezug auf die Zerstörung der Biodiversität ist die durch das Bauwesen verursachte Bodenversiegelung.

Laut Weltbiodiversitätsrat (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) ist bereits 75% der gesamten Landfläche verbaut.³⁸

Seit dem Jahr 2001 schwankte in Österreich der Prozentsatz, der jährlich insgesamt verbauten Fläche, zwischen 36,3 km² und 104 km².

³⁷ Luftschadstoffe in Österreich. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luftguete/luftguete_oe.html (letzter Zugriff: 18.04.2023)

³⁸ Völler, Sonja/Oberleitner, Irene/Felderer, Astrid et. al.: Klimawandelanpassung und Biodiversität: Anpassung an den Klimawandel geht mit Naturschutz Hand in Hand. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/klimawandelanpassung-biodiversitaet.html (letzter Zugriff: 11.04.2023)

Um die Versiegelung, trotz der großen Schwankungen, besser darstellen zu können, benutzt das Umweltbundesland die Mittelwerte der vergangenen Jahre. Im Jahr 2021 entsprach der 3-Jahresmittelwert 41km² - einer Fläche, die so groß ist, wie beispielweise Eisenstadt.

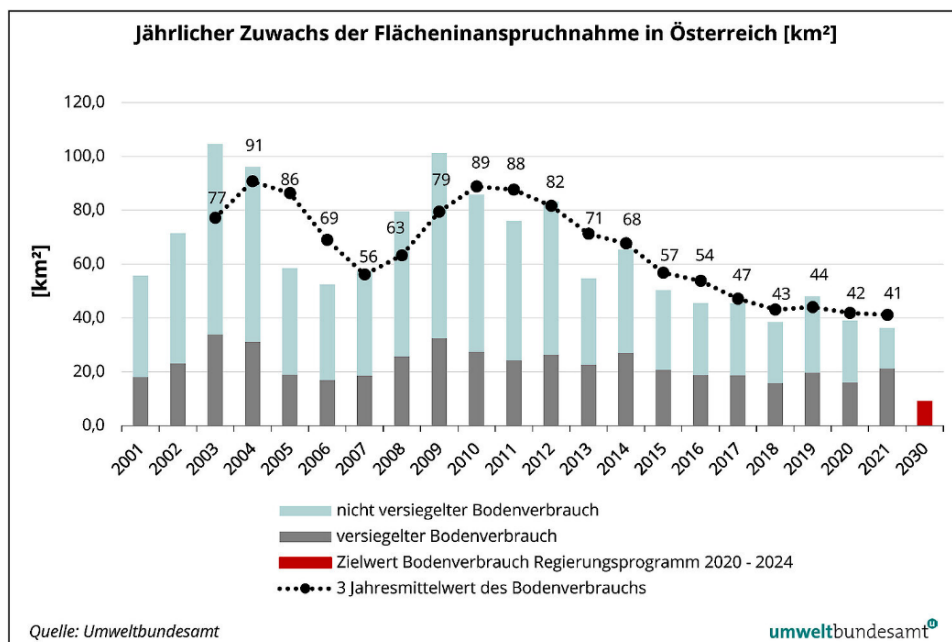


Abb. 12: Jährlicher Zuwachs der Flächeninanspruchnahme in Österreich von 2001 bis 2021
Quelle: <https://www.umweltbundesamt.at/> (letzter Zugriff: 11.04.2023)

Laut Regierungsprogramm 2020-2024 soll der Flächenverbrauch möglichst klein gehalten werden. Diese Maßnahme soll die Bodenversiegelung bis Jahr 2030 auf 9km²/Jahr senken.

Die Folgen auf die Natur durch den Eingriff von Menschen sind erschreckend. Sowohl Tiere als auch Pflanzen sind gefährdet.

Bereits eine Million aller Tier- und Pflanzenarten ist vom Aussterben bedroht. Auch Österreich ist spürbar vom Rückgang der Artenvielfalt betroffen. Viele Tierarten kämpfen bereits um ihr Fortbestehen. Auch sind etliche naturnahe Lebensräume und Biotoptypen vom Erlöschen bedroht. Um weiteren Umweltschaden zu vermeiden wurden bereits nationale und internationale Ziele festgelegt. Die Europäische Union legte bereits die „EU-Biodiversitätsstrategie 2030“ fest. Auf nationaler Ebene gilt derzeit die „Biodiversitäts-Strategie 2020+“, welche Maßnahmen für das Erhalten der verbleibenden biologischen Vielfalt enthält. Außerdem ist auch schon die „Biodiversitäts-Strategie 2030“ in der Planung.

Diese soll weitere Maßnahmen und Ziele hinsichtlich des Schutzes der Biodiversität enthalten und beschäftigt sich mit Verbesserung des Schutzgebietnetzwerkes sowie Reduktion der Flächeninanspruchnahme.

Der Verlust der Biodiversität und der Klimawandel hängen eng miteinander. Die Wiederherstellung der Biodiversität bessert gleichzeitig die negativen Folgen des Klimawandels aus. Um die Folgen des Klimawandels zu bewältigen, sind die naturbasierten Lösungen anzuwenden.

Zu den natur based solutions gehören beispielsweise Wassermanagement, Landwirtschaft, Begrünung städtischer Gebiete oder Ausweitung der Wald- und Forstwirtschaft.³⁹

3.4.4. Verschmutzung durch Abfall

Das Bauwesen trägt zum Abfallaufkommen enorm bei. Die Baubranche produziert eine beträchtliche Menge an Müll, da sie auf billige und schnelle Lösungen angewiesen ist. Trotz möglichem Recyclingpotenzial ist der Fortschritt noch schleppend.

Etwa ein Drittel aller Abfälle in der EU ist durch das Bauen verursacht.

Wichtig zu erwähnen ist, dass nur knapp 40% des entstehenden Bauschutts wiederverwendet wird. Zudem sollen die recycelten Materialien in den meisten Fällen nicht für den Neubau verwendet werden, sondern lediglich als Füllmaterial im Straßenbau.

In Österreich sind rund 70% aller Abfälle dem Bausektor zuzuordnen. Im Jahr 2020 gab es 40,79 Mio. t an Aushubmaterialien und 11,4 Mio. t an Bau- und Abbruchmaterialien.⁴⁰

³⁹ Völler, Sonja/Oberleitner, Irene/Felderer, Astrid et. al.: Klimawandelanpassung und Biodiversität: Anpassung an den Klimawandel geht mit Naturschutz Hand in Hand. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/klimawandelanpassung-biodiversitaet.html (letzter Zugriff: 11.04.2023)

⁴⁰ Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:04ca87f4-fd7f-4f1681ec57fca79354a0/BAWP_Statusbericht2021.pdf (letzter Zugriff: 11.04.2023)

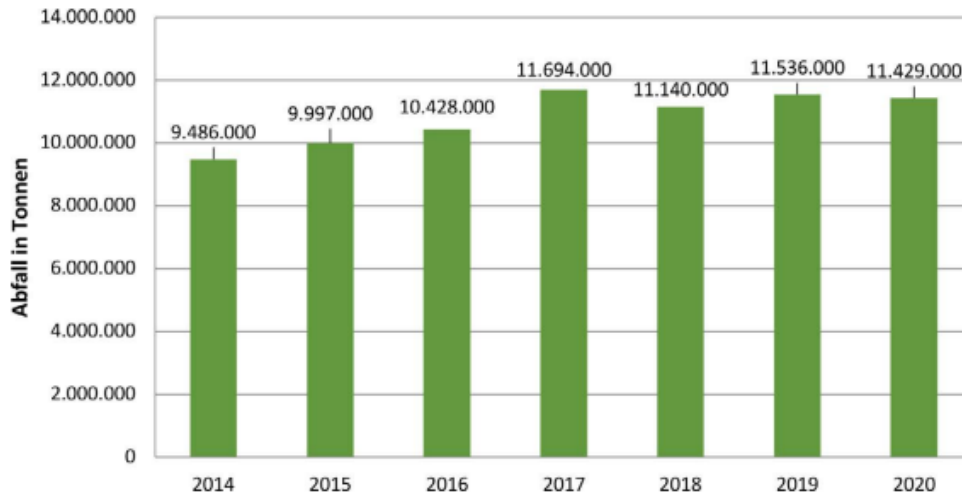


Abbildung 1: Aufkommen der Bau- und Abbruchabfälle in den Jahren 2014–2020

Quelle: <https://www.bmk.gv.at/> (letzter Zugriff: 12.04.2023)

Die Bauabfälle werden in zwei Arten eingeteilt, die gefährlichen und die nicht gefährlichen. Die richtige Entsorgung von Bauabfällen hat viele positive Auswirkungen bezüglich der Umwelt. Erstens kann sie dazu beitragen, dass weniger Müll in den Deponien landet, was die Überfüllung dieser reduzieren würde. Weiters können auf diese Weise auch Ressourcen geschont werden, da die recycelten Stoffe wiederverwendet werden können. Durch die ordnungsgemäße Beseitigung können Luft- und Wasserverschmutzungen vermieden werden.

4. Die Bewertung erdberührter Aufbauten

Zu den erdberührten Aufbauten gehören erdberührte Böden und Wände. Diese Arbeit beschäftigt sich speziell mit den erdberührten Fußbodenaufbauten.

4.1. Mögliche Schadstoffe

Da in der Vergangenheit einige schädliche Stoffe bei der Produktion von Baustoffen verwendet wurden, ist es beim Rückbau älterer Bauwerke auf deren Zusammensetzung zu achten. Zu den gefährlichen Bestandteilen gehören⁴¹:

- **Metalle**

Schwermetalle gehören zu den anorganischen Schadstoffen und sind in Gebäuden vor allem in Form von Farben und Lacke zu finden. Über die Zeit wurden viele Schichten mit schwermetallhaltigen Pigmenten hergestellt. Die Schwermetalle sind in der Hinsicht gesundheitsschädlich, da die meisten kanzerogene und toxische Eigenschaften aufweisen.

Zu den Schwermetallen gehören Blei (Pb), Chrom (Cr), Quecksilber (Hg) und Zink (Zn).

Diese sind in Trag- und Dränschichten sowie in nutzungsbedingten Kontaminationen zu finden.⁴²

- **Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**

Diese entstehen bei unvollständigen Verbrennungsprozessen und durch Pyrolyse (Verkohlung). Zudem können diese in kleinen Mengen im Erdöl oder Naturasphalt auftreten. Zu der Gruppe PAK gehören: Teer, Pech, Bitumen und Asphalt.

Grundsätzlich wurden diese erstmals in den Vorkriegsbauten eingesetzt. Am meisten zu finden sind diese in Bauwerken, die von 1950 bis 1970 errichtet wurden.

⁴¹ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. Erdberührte Bauteile. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201
(letzter Zugriff: 02.05.2023)

⁴² Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. Schwermetalle. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201
(letzter Zugriff: 02.05.2023)

Die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe sind in vielen Fällen ein Bestandteil von Trag- und Dränschichten, Schwarzanstrichen bei Fundamenten, Sperrschichten und Isolierungen, Dämmungen und auch von Fugen- und Vergussmassen.⁴³

- **Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)**

Mineralölkohlenwasserstoffe werden durch Raffination als Fraktionen unterschiedlicher Siedebereiche von Mineralölen isoliert. Diese können flüssig und leicht sein, aber auch fest.

Mineralölkohlenwasserstoffe können in Trag- und Dränschichten zu finden sein.⁴⁴

- **Asbest**

Asbest war im Bauwesen in der Vergangenheit ein erstklassiger Zuschlagsstoff. Dieser hatte auf der einen Seite hervorragende Eigenschaften, und war auf der anderen Seite auch kostengünstig.

Asbest beschreibt die Gruppe anorganischer Silikate mit natürlichem Vorkommen in Form von Fasern. Seit den frühen 2000er Jahren gilt das Verwendungsverbot für diesen Stoff.

Die Asbestfasern gelten als besonders gesundheitsschädlich. Sie können verschiedene Arten von Krebs auslösen, wobei die Inkubationszeit mehrere Jahrzehnte beträgt.

Besonders bei Sperrschichten und Isolierungen ist auf Asbest zu achten. Auch in Fugen- und Vergussmassen wie Trennfugen an Betonplatten kann dieser enthalten sein.⁴⁵

⁴³ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. PAK. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

⁴⁴ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. MKW. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

⁴⁵ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. Asbest. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

- **Künstliche Mineralfasern (KMF)**

Darunter versteht man industriell gefertigte Fasern aus Silikat mit andersartiger chemischer Zusammensetzung. MKF können in vier Arten unterschieden werden: Glaswolle, Steinwolle, Schlackenwolle und Keramikfasern. Diese wurden grundsätzlich als Wärme- und Schalldämmung verwendet.

Vor dem 21. Jahrhundert hergestellte Produkte mit enthaltenen künstlichen Mineralfasern wurden als krebserregend eingestuft.

Die künstlichen Mineralfasern sind vorwiegend in Dämmungen zu finden.⁴⁶

- **Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)**

Die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe fanden ihre Verwendung vor allem als Löse- und Entfettungsmittel. Viele der LHKWs sind kanzerogen und toxisch.

Die LHKW können die Bodenplatten durchdringen und zur Bodenverunreinigung führen.⁴⁷

- **BTEX – Aromaten**

Die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzole und Xylole finden ihre Verwendung genau wie LHKW als Löse- und Entfettungsmittel.

Der Stoff Benzol ist als kanzerogen eingestuft. Auch durch BTEX – Aromaten gelingt es durch Eindringen in den Boden zur Untergrundverunreinigung.⁴⁸

⁴⁶ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. KMF. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

⁴⁷ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. LHKW. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

⁴⁸ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. BTEX - Aromaten. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

- **Hexabromcyclododecan (HBCDD)**

HCBDD wurde in vielen Dämmstoffen als Flammschutzmittel angewendet. Sowohl expandierten (XPS) sowie extrudierten (EPS) Polystyrol Produkte enthalten hohe Konzentrationen an HCBDD. Erst vor wenigen Jahren wurde Hexabromcyclododecan als toxisch, persistent sowie bioakkumulierbar eingestuft. Aus dem Grund müssen Baustoffe, die diese enthalten, beim Rückbau eines Gebäudes, getrennt deponiert und entsorgt werden.⁴⁹

- **Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Chlorparaffine (CP)**

Die aus insgesamt 209 bestehenden Verbindungen Stoffgruppe PCB wurde vor allem als Weichmacher, Flammschutzmittel aber auch in Farben und Lacken eingesetzt. Diese Stoffgruppe ist besonders für die Umwelt belastend, da sie persistent und toxisch ist, zudem steht sie unter Verdacht, krebserregend zu sein. Außerdem entstehen bei Erhitzen enorme Mengen an unerwünschten Nebenprodukten, wie Dioxine.⁵⁰

⁴⁹ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. HBCDD. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

⁵⁰ Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. PCB und CP. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In: https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

4.2. Die Beurteilungskriterien

Zur Beurteilung der Kreislaufwirtschaft der erdberührten Bauteile wurden folgende Kriterien verwendet:

- Materialität
- Verbindungstechnik / Verlegung
- Nutzungsdauer
- Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit
- Indikatoren für die Umweltwirkung und Ressourceneinsatz

Die Beurteilung erfolgt anhand des folgenden Bodenplatten Aufbaus eines Streifenfundaments:

Schichte	Dicke [cm]
Fußbodenbelag	1,0 cm
Estrich	6,0 cm
PAE – Folie	-
Trittschalldämmung	3,0 cm
Dampfdichte Schichte	-
Wärmedämmung XPS-G	Mind. 10,0 cm
Bewehrter Unterbeton	20,0 cm
Abdichtung	-
Rollierung	10,0 – 20,0 cm

Tab. 3: Aufbau der Bodenplatte in Massivbauweise, nicht unterkellert.

Quelle: Mezzera, Karl/ Riccabona, Christof: Baukonstruktion Buch 2: Grundlagen des Bauens und Bauelemente. Wien: Verlag MANZ 2016. S.278. (letzter Zugriff: 25.05.2023)

Als Indikatoren zur Beurteilung von Umweltwirkung und Ressourceneinsatz wurden Werte des jeweiligen Baustoffes aus dem Baubook⁵¹ herangezogen. Die Beurteilung erfolgt anhand von drei Tabellen. Diese sind jeweils in Indikatoren für die Umweltwirkung und Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes geteilt.

⁵¹ Baubook. In: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 15.06.2023)

4.2.1. Beurteilung des Entsorgungsweges

Zur Bewertung des Entsorgungsweges wurde die fünf – stufige Tabelle „ABC-Disposal“ (Eng. (Assessment of Buildings and Constructions - Disposal)⁵² hergenommen. Die Bewertungsmatrix bewertet die Baustoffe nach dem Grad zu dem Recycling, Verbrennung und Deponierung. Klasse 1 präsentiert die Baustoffe, die am besten abschneiden und die Klasse 5 zeigt die Bauteilschichten, die hinsichtlich ihrer Entsorgung am unwirtschaftlichsten sind.

	Recycling	Verbrennung	Depomierung
1	Wiederverwendung bzw. -verwertung zu technisch gleichwertigem Sekundärprodukt oder -rohstoff	Hoher Heizwert (> 2000 MJ / m ³); natürliche Metall- und Halogengehalte im ppm Bereich, sortenreines Material	Zur Ablagerung auf Inertabfalldeponie geeignete Abfälle
2	Recyclingmaterial wird mit geringem Aufwand sortenrein gewonnen und kann hochwertig verwertet werden.	Wie 1, jedoch nicht sortenrein, Anteil an nicht organischen Fremdstoffen beträgt max. 3 M.-%	Ablagerung auf Baurestmassen geeignete Abfälle ohne Verunreinigungen
3	Recyclingmaterial ist verunreinigt, kann mit höherem Aufwand rückgebaut und nach Aufbereitung verwertet werden	Wie 1 oder 2, jedoch mittlerer Heizwert (500 - 2000 MJ/m ³) oder geringfügige Metall- oder Halogengehalte (< 3 M%)	Materialien mit geringen nicht mineralischen Bestandteilen, z.B. Mineralische Baurestmassen mit organischen Verunreinigungen durch Bitumen oder WDVS-Resten
4	Downcycling	Hoher Stickstoffgehalt, hoher Anteil mineralischer Bestandteile oder erhöhter Metall- oder Halogengehalte (3-10 M%)	Gipshaltige, faserförmige oder mineralisierte organische Materialien sowie Mat. mit höheren nicht-mineralischen Verunreinigungen.
5	kein Recycling möglich	Hoher Metall- oder Halogengehalt	Organisch-Mineralischer Verbund, Metalle als Verunreinigungen von Baurestmassen

Tab. 4: Bewertungsmatrix zur Beurteilung des Entsorgungsweges eines Materials.

Quelle: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/enderbericht_1121_recyclingfaehig_konstruieren.pdf (letzter Zugriff: 13.06.2023)

⁵² ABC – Disposal - Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung. Hrsg. IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. In: <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/abc-disposal-assessment-of-buildings-and-constructions-disposal> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Wichtig zu bemerken ist, dass diese Tabelle kein offizielles Instrument zur Beurteilung ist und nur zur Hilfe dient. Die Tabelle basiert auf dem heutigen Stand der Technik im Bereich der Entsorgung. Es ist bekannt, dass viele der neuen Technologien trotz guter Lösungen wirtschaftlich eher uninteressant sind. Aufgrund des fehlenden wirtschaftlichen Antriebes für die Verwendung neuer Technik, können Schichten, die zu diesem Zeitpunkt nur bedingt schlechter bewertet werden, in 50 Jahren besser beurteilt werden.⁵³

4.2.2. Beurteilung der Umweltwirkung und Ressourcennutzung

Für die Tabellen zur Erläuterung der Umweltwirkung wurden folgende ökologische Kennwerte gewählt:

GWP = Globales Erwärmungspotenzial. Dieser ist in GWP- biogenic und GWP - fossil geteilt. Die Einheit für die Angabe des GWP lautet kg CO₂ – Äq. /kg. Das bedeutet, dass die Beiträge der Treibhausgase in einem Zeitintervall von 100 Jahren und in kg CO₂ Äquivalenten angegeben werden.

„**GWP – fossil**“ beschreibt das, durch die Treibhausgasemissionen entstandene globale Erwärmungspotenzial. Dabei werden sowohl jene Emissionen berücksichtigt, die durch Oxidation und Reduktion von fossilen Brennstoffen und fossilen Kohlenstoff entstanden sind. (z. B Verbrennung, Lagerung auf Deponien usw.), aber auch die Emissionen von Treibhausgasen in anorganischen Materialien. (z. B Karbonatisierung von Baustoffen).

„**GWP – biogenic**“ gibt die Menge an CO₂ an, die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommen und über die gesamte Lebensdauer eines Materials gebunden wurde. Zusätzlich dazu zählen auch die biogenen Emissionen, die in die Luft durch Oxidation oder Zerfall gelangen (z. B Verbrennung) Auch die Emissionen, die durch Recycling der Baustoffe entstanden sind, gehören zu diesem Indikator. Dabei zeigen die negativen Werte die Aufnahme von biogenem CO₂ sowie Übergänge von früheren Produktsystemen.

⁵³ Schneider, Ursula/ Böck, Margit/ Mötzl, Hildegund et al: recyclingfähig konstruieren - Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero. In: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1121_recyclingfaehig_konstruieren.pdf. (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Die positiven Werte verdeutlichen hingegen die Emissionen von biogenen CO₂ und Übergänge von Biomasse in nachfolgende Produktsysteme.

„**GWP – total**“ ergibt sich aus den Anteilen des „GWP – fossil“ und „GWP – biogenic“.

„**ODP**“ (eng. Ozone Depletion Potential) steht für das Ozonschichtabbaupotenzial und beschreibt den schädlichen Einfluss eines Baustoffes auf die Ozonschicht. Die durch Ausdünnung der Ozonschicht auf die Erdoberfläche auftreffenden ultraviolett Strahlen, steigern das Risiko von Hautkrebsbildung. Die Einheit, in der das Potenzial angegeben wird, lautet kg CFC-11 Äquivalent.

„**AP**“ (Eng. Acidification Potential) beschreibt das Versauerungspotenzial von Boden und Wasser. Hierbei kommen die Stickoxide-(NO_x) und Schwefeldioxidgasen (SO₂) mit anderen Bestandteilen der Luft in Verbindung. Die Verschmutzung der Gewässer führt zu einer gewaltigen Minimierung der Artenvielfalt und den Fischbeständen. Das Versauerungspotenzial wird in kg SO₂ Äquivalent angeführt.

„**EP**“ (Eng. Eutrophication Potential) gibt die Menge an, die ein Baustoff zur Übersättigung eines Ökosystems mittels nicht organischer Nährstoffe wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen beiträgt. Die Einheit nennt sich kg (PO₄)₃₋-Äq.

„**POCP**“ (Eng. Photochemical Ozone Creation Potential) steht für Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon. POCP beschreibt die photochemischen Reaktionen von Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen unter Sonneneinstrahlung, wodurch gesundheitsschädliche Gasgemische entstehen. Die Einheit lautet kg C₂H₄ Äquivalent.⁵⁴

Für die Tabellen zur Erläuterung der **Ressourcennutzung** wurden folgende ökologische Kennwerte gewählt:

„**PERE**“ (Eng. Primary Energy Renewable, Energy Resources) ist der erneuerbare Primärenergiegehalt und beschreibt jenen erforderlichen Energiebedarf, der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung an energetisch genutzten Ressourcen gebraucht wird.

⁵⁴ Baubook. In: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

„**PERM**“ (Eng. Primary Energy Renewable, Material) bezieht sich auf den erneuerbaren Primärenergiegehalt, der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung an stofflich genutzten Ressourcen nötig ist.

„**PERT**“ (Eng. Primary Energy Renewable, Total) ist die summierte Menge an PERE und PERM.

„**PENRE**“ (Eng. Primary Energy Non-Renewable, Energy Resources) und „**PENRM**“ (Eng. Primary Energy Non-Renewable, Material) stellen den nicht erneuerbaren Anteil an Primärenergiegehalt, der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung an energetisch und stofflich genutzten Ressourcen benötigt wird, dar.

„**PENRT**“ (Eng. Primary Energy Non-Renewable, Total) ergibt sich aus PENRE und PENRM.

PERE, PERM, PERT, PENRE, PENRM und PENRT werden in MJ/kg angegeben.⁵⁵

4.3. Die Beurteilung einzelner Schichten

4.3.1. Fußbodenbeläge

- **Materialität**

Fußbodenbeläge können aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Man unterscheidet zwischen Holzfußböden, keramischen Bodenbelägen, elastischen Bodenbelägen und textilen Bodenbelägen.

- **Verbindungstechnik**

Holzböden können auf Estrichen, bestehenden Holzböden oder auf Holzunterböden wie Polsterholz oder Blindboden verlegt werden.

Parkettböden können auf Estrichen vollflächig mittels Spezialkleber verklebt werden oder schwimmend verlegt werden. Die schwimmende Verlegung erfolgt jedoch meistens nur bei dickeren Parkettarten und die einzelnen Elemente sollten in den Nuten verleimt werden. Laminatböden werden meistens schwimmend auf einer Dämmunterlage verlegt. Die einzelnen Dielen werden dabei mit Nut und Feder System miteinander verbunden.

⁵⁵ Baubook. In: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Keramische Bodenbeläge können entweder im Mörtelbett oder mithilfe Dünnbettmethode verlegt werden. Bei der sogenannten Dickbettmethode wurden die Platten in 30mm starken Mörtelbett verlegt. Heutzutage wurde diese Anwendungsweise fast vollständig durch die Dünnbettmethode ersetzt. Dabei werden die Platten auf einem hydraulisch erhärtenden Dünnbettmörtel montiert. Dieser kann auf Basis von Epoxidharz- oder Polyurethan verarbeitet sein oder aus Kunststoff- Zementklebemörtel bestehen.

Die elastischen Beläge werden mit einem Neopren – Kleber oder Spezial – Einseit – Kleber eingestrichen, bevor sie auf Stoß verlegt werden. Folgend werden in die Stöße PVC – Schweißdrähte mithilfe von einem Heißluftschweißgerät eingebunden.

Textile Beläge können durch Verlegung auf Zementestrichen, Anhydritestrichen, Gussasphaltestrichen, Spannplatten oder auf Parkettboden erfolgen. Dabei unterscheidet man zwischen den Methoden Fixieren, Verspannen, loses Auslegen und Kleben.⁵⁶

- **Nutzungsdauer**

Beläge, Fußbödenmaterialien	Nutzungsdauer in Jahren
Fliesen + Kleber	50
Gummi – Bodenbelag	25
Holzboden	25
Keramische Fliesen	50
Kork Linoleum, Korkment	25
Linoleum	10
Massivparkett	25
Mehrschichtparkett	25
Parkettkleber	10
Polyamidteppich	10
PVC – Belag	10
Wollteppich	10

Tab. 5: Nutzungsdauer von Bodenbelägen, Textilien und Materialien

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdf (Letzter Zugriff: 25.05.2023)

⁵⁶ Mezzera, Karl/ Riccabona, Christof: Baukonstruktion Buch 2: Grundlagen des Bauens und Baelemente. Wien: Verlag MANZ 2016. S.95 (letzter Zugriff: 25.05.2023)

- **Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit**

Holzböden können je nach Art wiederverwendet werden. Im Gegensatz zum verklebten Holzboden können Holzböden, die schwimmend verlegt wurden, wiederverwendet werden. Da keine feste Verbindung zwischen den Platten und dem Boden vorliegt, lassen sich diese leichter entfernen und wieder zurückgebaut werden.

Verleimte Holzböden mit einer Nut – Feder – Verbindung sind sehr aufwendig unbeschädigt wieder aufzubereiten. Hierbei müssen die einzelnen Dielen an den verleimten Stellen gestemmt werden und die Klebereste müssen entfernt werden. Aufgrund von großem Aufwand, dem Schwierigkeitsgrad sowie vorhandenen schädlichen Substanzen können diese meistens nicht nochmal verwendet werden.

Keramische Bodenbeläge lassen sich nicht wiederverwenden. Bei dem Abbruch der keramischen Beläge zerbrechen diese. Sie eignen sich aber hervorragend als Sekundärmaterial.

Elastische Bodenbeläge können mittlerweile recycelt werden. Dabei werden die alten Beläge gesammelt und in eine spezielle Recyclinganlage transportiert. Dort werden sie zuerst in kleine Stücke zerkleinert und anschließend werden die Estrich- und Kleberreste mithilfe einer Hammermühle entfernt. Zu guter Letzt wird das Material anhand flüssigen Stickstoffs gekühlt, damit die einzelnen Teile kurzzeitig verspröden können, um in eine Feinmühle zu gelangen. Das Feinmahlgut kann somit wieder bei der Produktion von PVC – Belägen eingesetzt werden.⁵⁷

Textile Bodenbeläge lassen sich auch wiederverwenden, jedoch werden die meisten am Ende ihrer Lebensdauer thermisch verwertet. Das Problem liegt daran, dass die meisten textilen Beläge aus Polymeren bestehen, die zusammen kombiniert sich nur sehr schwer trennen lassen.⁵⁸

⁵⁷ Recycling von PVC – Belägen. In:

https://www.baunetzwissen.de/boden/fachwissen/_pvc/recycling-von-pvc-bodenbelaeagen-1001843
(letzter Zugriff: 13.06.2023)

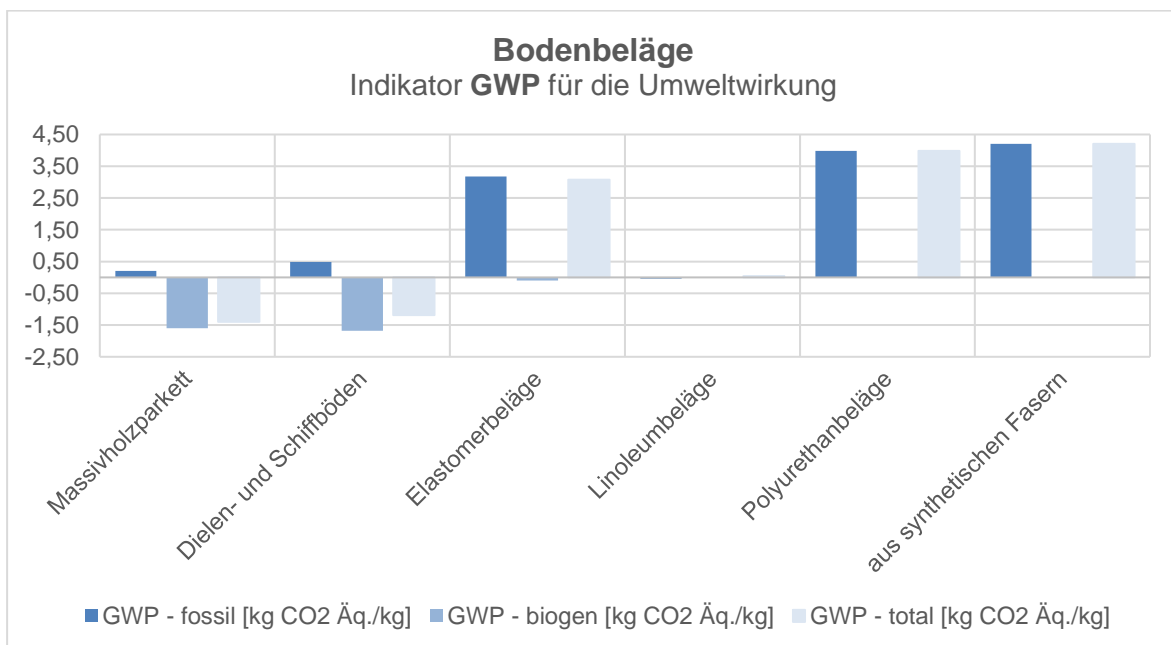
⁵⁸ Wie recyclingfähig sind textile und elastische Bodenbeläge? In: https://sn-home.de/artikel-record_id-72871-database-Wirtschaft.htm (letzter Zugriff: 13.06.2023)

- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baubook Name	Belagsart	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
	Holzbeläge			
Bauwerk 2- Schicht Fertigparkett	Holzfertigparkett	0,949	-1,510	-0,557
Abwarte Massiv Parkett - europ.Edelhölzer	Massivholzparkett	0,207	-1,600	-1,400
Bawart 3schicht Dielen OSMO endgeölt	Dielen- und Schiffböden	0,488	-1,680	-1,190
	Elastische Bodenbeläge			
norament 926	Elastomerbeläge	3,18	-0,097	3,08
Forbo Walton	Linoleumbeläge	-0,0425	0,00	-0,0425
Purline wineo 1000 zum klicken	Polyurethanbeläge	3,98	0,00	3,98
	Textile Bodenbeläge			
DESSO Teppichfliesen	Aus synthetischen Fasern	4,21	0,00	4,21

Tab. 6: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Bodenbelägen

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)

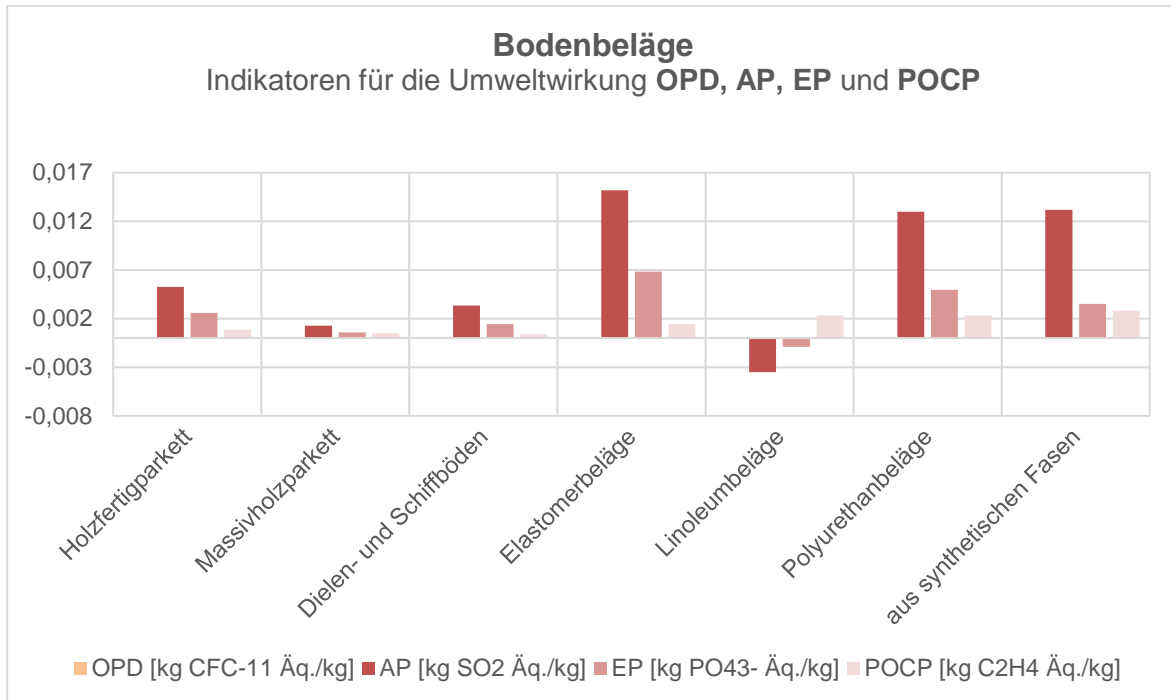


Das Diagramm zeigt, dass hinsichtlich der Umweltwirkung die elastischen und textilen Beläge für die meisten CO₂ Emissionen verantwortlich sind.

Bei Baustoffen aus nachwachsenden Materialien sind die Werte negativ, das bedeutet, dass sie insgesamt eine positive CO₂ Bilanz aufweisen. Die Werte variieren bei GWP fossil zwischen -0,0425 und 3,98 kg CO₂ Äq./kg, bei GWP biogenic zwischen -1,680 und 0,00 kg CO₂ Äq./kg und bei GWP – total zwischen 1,40 und 4,21 kg CO₂ Äq./kg.

Baobook Name	Bodenbeläge	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³⁻ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
	Holzbeläge				
Bauwerk 2- Schicht Fertigparkett	Holzfertigparkett	9,91·10 ⁻⁸	0,0052 5	0,00216	0,000836
Bawart Massiv Parkett - europ. Edelhölzer	Massivholzparkett	1,77·10 ⁻⁸	0,0012 6	0,00057 2	0,000495
Bawart 3schicht Dielen OSMO endgeölt	Dielen- und Schiffböden	4,10·10 ⁻⁸	0,0033 3	0,00145	0,00038
	Elastische Bodenbeläge				
norament 926	Elastomerbeläge	1,42·10 ⁻⁷	0,0152	0,00682	0,00144
Forbo Walton	Linoleumbeläge	-10,0·10 ⁻⁹	-0,0035	-0,0009	-10,00·10 ⁻⁵
Purline wineo 1000 zum klicken	Polyurethanbeläge	4,80·10 ⁻⁷	0,013	0,00496	0,00234
	Textile Bodenbeläge				
DESSO Teppichfliesen	Aus synthetischen Fasern	2,138·10 ⁻⁷	0,0132	0,0035	0,00283

Tab. 7: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Bodenbelägen
Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



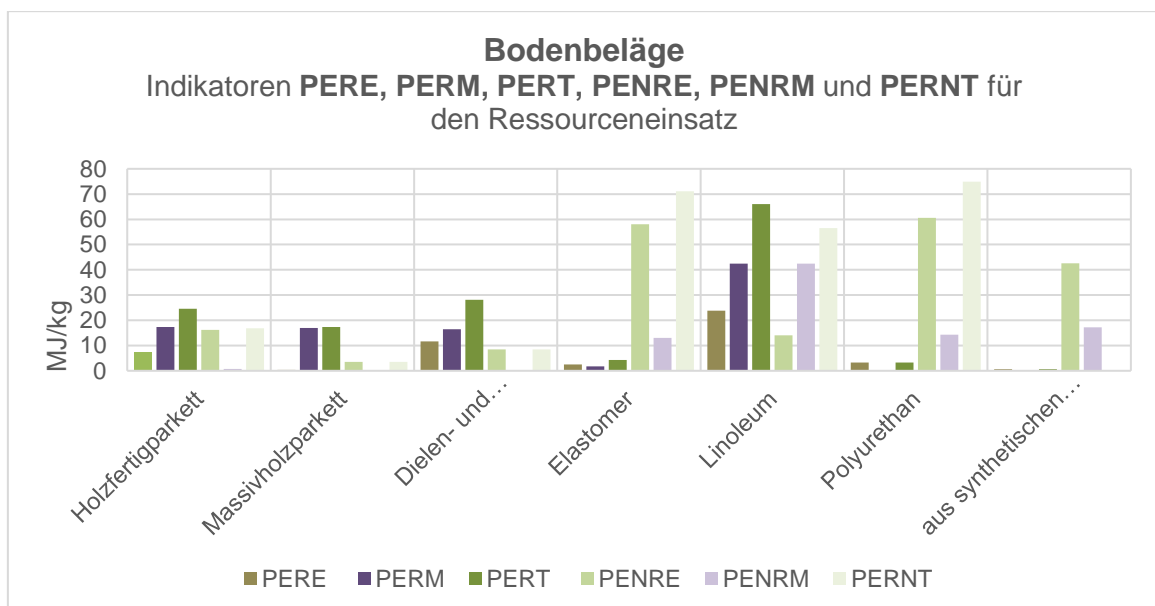
Die Tabelle zeigt, dass die elastischen und textilen Bodenbeläge auch in der Bewertung am schlechtesten abschneiden. Diese besitzen den größten Versauerungspotenzial AP und Überdüngungspotenzial EP. Holzfertigparkett schneidet schlechter als die anderen Holzbeläge ab, Linoleumbeläge weisen hingegen eine positive AP – Bilanz auf.

- **Indikatoren für den Ressourceneinsatz**

Baubook Name	Bodenbeläge	PERE	PERM	PER	PENRE	PENR	PENRT
	Holzbeläge						
Bauwerk 2- Schicht Fertigparkett	Holzfertigparkett	7,25	17,30	24,60	16,20	0,695	16,90
Bawart Massiv Parkett - europ. Edelhölzer	Massivholzparkett	0,39	17,0	17,40	3,52	0,00	3,52
Bawart 3schicht Dielen endgeölt OSMO	Dielen- und Schiffböden	11,60	16,50	28,10	8,49	0,00	8,49
	Elastische Bodenbeläge						
norament 926	Elastomerbeläge	2,50	1,79	4,30	58,10	13,0	71,10
Forbo Walton	Linoleumbeläge	23,80	42,20	66,00	14,10	42,40	56,50
Purline wineo 1000 zum klicken	Polyurethanbeläge	3,33	0,00	3,33	60,60	14,30	74,90
	Textile Bodenbeläge						
DESSO Teppichfliesen	Aus synthetischen Fasern	0,65	0,00	0,65	42,60	17,20	59,80

Tab. 8: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Bodenbelägen

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



Die Ergebnisse dieser Tabelle hinsichtlich der Ressourcennutzung zeigen, dass Linoleumbeläge deutlich die größten Werte in Summe aufzeigen.

Die höchsten PERNT- Werte erzielen Elastomer- und Polyurethan Beläge. Holzböden erzielen in dem Fall ähnliche Werte, die deutlich niedriger sind als die anderen Beläge.

4.3.2. Estrich

- **Materialität**

Estrich ist eine Masseschicht, die die Unebenheiten des Untergrundes ausgleicht und traditionell aus Wasser, Sand und Zement besteht. Je nach Konstruktion, Einbauweise oder Nutzung können verschiedene Zusatzmittel und Zusatzstoffe additiv zugegeben werden. Nach Bindemittel können fünf Estricharten unterschieden werden⁵⁹

- CT – **Zementestrich**
- CA – **Calciumsulfat Estrich**
- AS – **Gussasphaltestrich**
- MA – **Magnesiaestrich**
- SR - **Kunsthazestrich**

Zusätzlich können Estriche nach der Verbindung und nach der Unterlage in drei Arten gegliedert werden: Schwimmender Estrich, Verbundestrich sowie Estriche auf Trennschichten.

Estriche lassen sich auch anhand von Herstellungsart: Baustellenestrich, Fließestrich und Fertigteilestrich, unterscheiden.

- **Verbindungstechnik**

Schwimmende Estriche sind frei beweglich und liegen auf Trennschichten. Dabei werden Dämmschichten oder Beschüttungen auf der Rohdecke platziert und daher von anderen Schichten getrennt. Eine Ummantelung seitlich zu den Wänden ist bei dieser Ausführung erforderlich, um mögliche Entstehung der Wärmebrücken zu verhindern.

Verbundestrich sind hingegen fest mit dem Untergrund verbunden. Um den besten Haftverbund zu erzielen, muss der Untergrund im Idealfall rau und offenporig sein.

⁵⁹ Mezzera, Karl/Riccabona, Christof: Baukonstruktion. Grundlagen des Bauens und Bauelemente. Band 2. Wien: Verlag MANZ 2016. S.86 (letzter Zugriff: 25.05.2023)

Diese kommen bei hohen Lasten zur Verwendung, sofern keine besonderen Anforderungen an Schall- und Wärmeschutz gestellt werden.

Estriche auf Trennschichten werden „gleitend verlegt“, das bedeutet, dass sie nur auf zwei Gleitschichten direkt auf dem Unterbeton aufgebracht werden. Laut ÖNORM B 3733 muss diese Art von zwei Lagen getrennt werden, außer es handelt sich um Gussasphaltestrich.⁶⁰

- **Nutzungsdauer**

	Frequentierung und Beanspruchung		
	leicht	mittel	hoch
Wohnungsbau			
Verbundestrich mit Belag	50	45	40
Verbundestrich ohne Belag	45	40	35
Estriche auf Trennschicht mit Belag	45	40	35
Estriche auf Trennschicht ohne Belag	40	32	25
Schwimmende Estriche	40	30	20
Zement – Heizestriche	30	25	20
Fertigteilestriche	30	25	20

Tab. 9: Nutzungsdauer von Estrichen

Quelle: <https://www.boden-wand-decke.de/wie-lange-betraegt-die-nutzungsdauer-326270/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)

Die obere Grafik zeigt in dem Fall die Nutzungsdauer von Estrichen abhängig von ihrer Beanspruchung. Die mögliche Frequentierung und Beanspruchung werden in drei Klassen eingeteilt, leicht, mittel und hoch. Grundsätzlich kann man sagen, dass die Nutzungsdauer minimal von 15 Jahren bis maximal 50 Jahren dauern kann. Wichtig zu erwähnen ist, dass die Nutzungsdauer eine Zeitspanne ist, die bei gebrauchsbüblicher Beanspruchung genutzt wird. Zu entnehmen ist es ebenso, dass der Verbundestrich mit Belag die längste Nutzungsdauer aufweist.

⁶⁰ Mezzera, Karl/Riccabona, Christof: Baukonstruktion. Grundlagen des Bauens und Bauelemente. Band 2. Wien: Verlag MANZ 2016. S.82 – 83. (letzter Zugriff: 25.05.2023)

Eine gleiche Nutzungsdauer erreichen Verbundestriche ohne Belag und Estriche auf Trennschicht mit Belag. Danach folgen Estriche auf Trennschicht ohne Belag, schwimmende Estriche, Zement – Heizestriche und zuletzt mit geringster Nutzungsdauer die Fertigteilestriche.

- **Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit**

Allgemein gehört Estrich zur Gruppe von Bauschutt. Estrichabbruch kann unter bestimmten Kriterien zur Wiederaufbereitung genutzt werden. Grundlegend können nur Estriche, die keine Reste des Fußbodenbelages aufweisen und ausschließlich nur noch mit PE – Folie verbunden sind, recycelt werden.

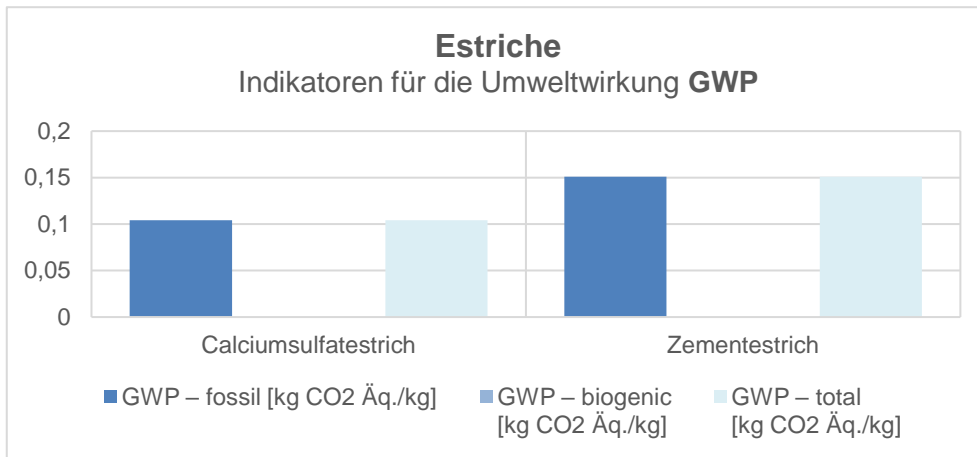
Estriche, auf denen die Bodenbeläge schwimmend verlegt wurden, können problemlos aufbereitet werden. Weiters können Estriche, auf denen die Beläge nicht verklebt oder mit lösbaren Klebern ausgeführt wurden, ebenso eiwandfrei weiterverarbeitet werden. Auch Kunstharzestriche können dem Kreislauf wiederzugeführt werden.

Bei den Estrichen mit Heizungs- und Fußbodenheizungsrohren ist die Verwertung aufgrund der Verrohrung sehr schwer oder gar unmöglich. Darüber hinaus können Estriche, auf denen Beläge verklebt wurden, aufgrund der Rückständen an der Oberfläche auch nicht wiederverwertet werden.

- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baobook Name	Estriche	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
Baomit FließEstriche CSFE	Calciumsulfatestrich	0,104	0,00	0,104
Baomit Estriche	Zementestrich	0,151	0,00	0,151

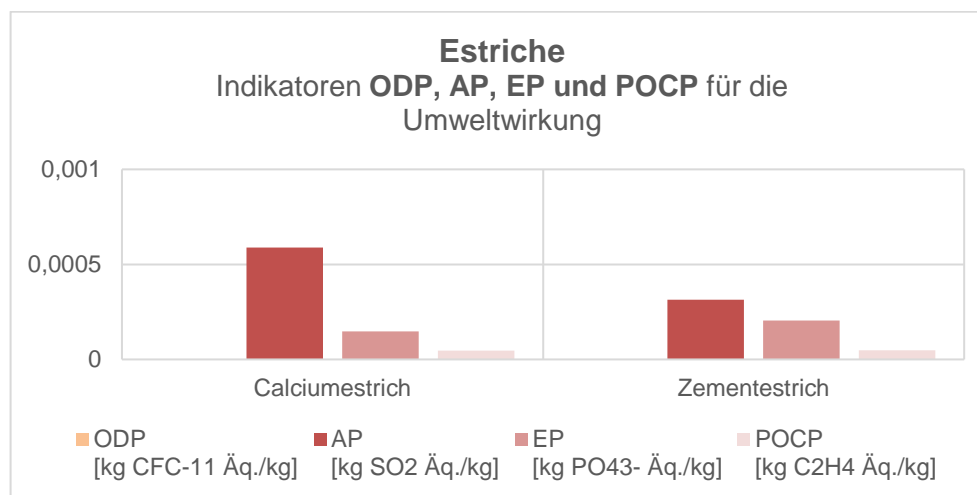
Tab. 10: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Estrichen
Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



Das oben gezeigte Diagramm zeigt, dass Zementestriche einen höheren GWP – total Wert besitzen. Zudem muss man erwähnen, dass GWP - biogenic von Estrichen 0 beträgt.

Baubook Name	Estriche	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³⁻ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
Baumit FließEstriche CSFE	Calciumsulfatestrich	$9,88 \cdot 10^{-9}$	0,000588	0,000147	0,0000464
Baumit Estriche	Zementestrich	$4,85 \cdot 10^{-9}$	0,000315	0,000204	0,0000482

Tab. 11: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Estrichen
Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



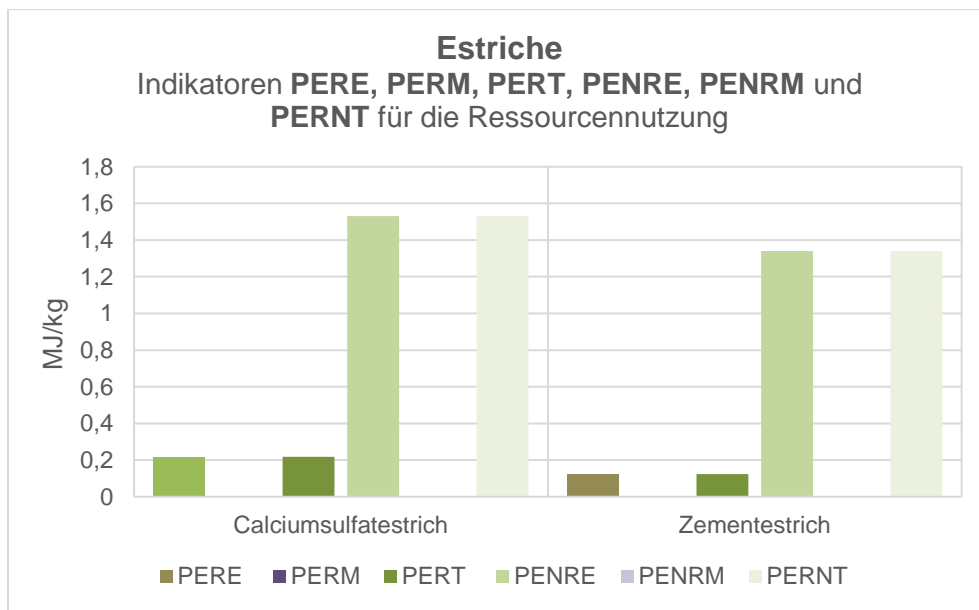
Estriche weisen ziemlich kleine ODP, AP, EP und POCP-Werte auf. Dabei hat Calciumestrich höheres Versauerungspotenzial AP als das Zementestrich.

- **Indikatoren für den Ressourceneinsatz**

Baobook Name	Estriche	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PENRT
Baumit FließEstriche CSFE	Calciumsulfatestrich	0,217	0,00	0,217	1,53	0,00	1,53
Baumit Estriche	Zementestrich	0,124	0,00	0,124	1,34	0,00	1,34

Tab. 12: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Estrichen

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



Die Tatsache ist, dass Estriche höhere Werte PENRE und PERT haben. Das bedeutet, dass sie sowohl energetisch als auch stofflich mehr nicht erneuerbare Ressourcen nutzen. Dieser Werte liegen bei Calciumerstrich bei 1,53 MJ/kg für PENRE und PERNT und bei Zementestrich bei 1,34 MJ/kg.

4.3.3. PAE – Folie

- **Materialität**

PAE – Folie ist eine Abkürzung für Polyethylen Folien. Polyethylen ist ein unpolarer und teilkristalliner Thermoplast und gehört zur Gruppe der Polyolefine. Es gilt als nicht gesundheitsschädlich und umweltverträglich. PE – Folien eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften zum Schutz vor Nässe. Die Herstellung erfolgt durch Polymerisation von Ethen. Polyethylen besitzt außerdem eine Wärmeleitfähigkeit λ im Bereich von 0,031 bis 0,040 W/mK.⁶¹

- **Verbindungstechnik**

Die PAE – Folien sollten bei der Verlegung ungefähr 3 cm an der Wand hochstehen. Weiters zu beachten ist, dass sich die Bahnen an Stoßstellen mind. 20 cm überlappen sollten, diese Stellen sind zusätzlich mit einem speziellen Klebeband abgesichert werden.⁶²

- **Nutzungsdauer**

Materialität	Nutzungsdauer in Jahren
Dampfbremse PE	50
Dampfbremse PE flammgeschützt	50
PE – Dichtungsbahn	30
Polyethylenbahn	50

Tab. 13: Nutzungsdauer von Estrichen

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdf (letzter Zugriff: 17.06.2023)

- **Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit**

Obwohl Folien aus Polyethylen sich für Wiederverwertung eignen, werden nur wenige davon wirklich wiederverwertet.

⁶¹ PE. In: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/pe-5515615> (letzter Zugriff: 27.05.2023)

⁶² Polyethylenfolie als dampfbremse. In: <https://www.besser-boden.de/blog/polyethylenfolie-als-dampfbremse/> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

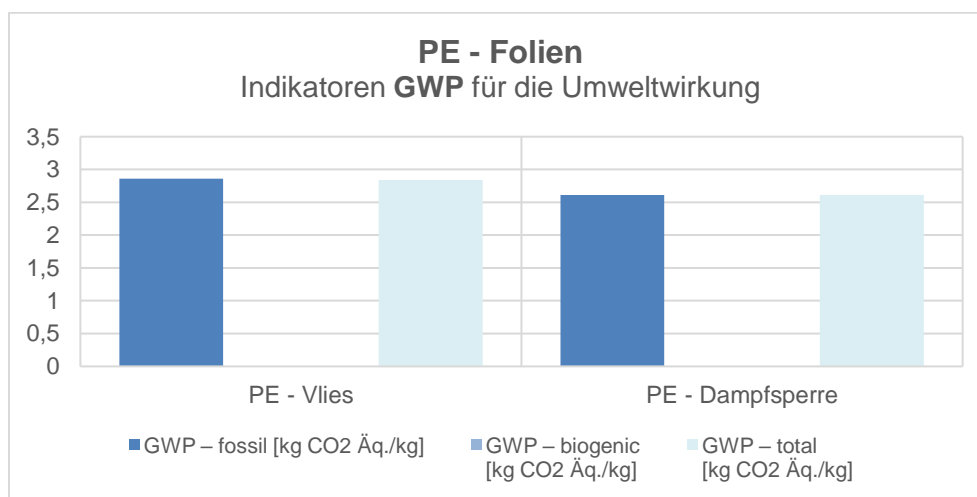
Ein Beispiel aus der Schweiz zeigt, dass die Folien zu einem Granulat verarbeitet werden können, aus dem Kabelschutzrohre hergestellt werden.⁶³ Auch können aus gebrauchten PE – Folien wieder neue Baufolien hergestellt werden. Hierbei werden gepresste Ballen aus Folienabfällen zuerst auf eine Wunschgröße mittels Zerkleinerer geschreddert. Danach kommen die Teile auf ein Förderband mit einem Metallschneider, der die restlichen Drahtstücke entfernt. Eine Zentrifuge säubert die vorerst geschnittenen Folienteile und trennt sie von möglichen Papierstäuben. Am Schluss gelangen die sauberen Stücke in eine Recyclinganlage, wo sie verdichtet, geschmolzen, filtriert und granuliert werden. Diese Granulate können wiederrum in einer Blasfolienanlage zu neuen, funktionsfähigen Folien erzeugt werden.⁶⁴

- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baobook Name	Folien	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
KEMPEROL 165 Vlies	PE - Vlies	2,86	-0,017	2,84
ECOVPAP blue	PE - Dampfbremse	2,61	0,00	2,61

Tab. 14: Indikator GWP für die Umweltwirkung von PE - Folien

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



⁶³ PE – Folien wiederverwenden. In: <https://www.schweizerbauer.ch/politik-wirtschaft/agrarpolitik/bericht-pf-folien-wiederverwenden/> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

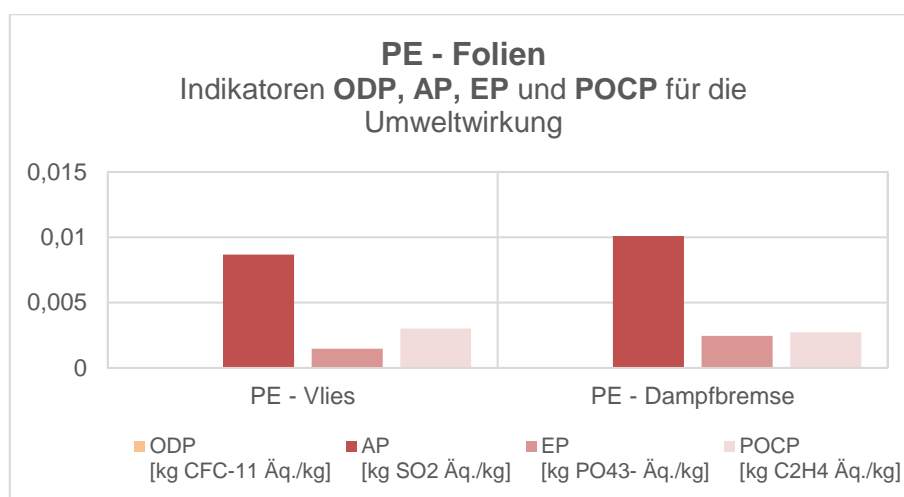
⁶⁴ PE-Folien - Recycling für den Einsatz in Neuware. In: <https://www.kunststoffmagazin.de/zerkleinerung-recycling/pe-folien---recycling-fuer-den-einsatz-in-neuware.htm> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

Das Diagramm verdeutlicht, dass die Folien ziemlich einen ähnlichen GWP – Wert aufweisen. Beim PE – Vlies liegt das Treibhauspotenzial bei 2,84 kg CO₂ Äq./kg und bei der PE – Dampfsperre bei 2,61 kg CO₂ Äq./kg.

Baobook Name	Estriche	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³⁻ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
KEMPEROL 165 Vlies	PE - Vlies	3,93·10 ⁻⁸	0,00868	0,00147	0,00302
ECOVAP blue	PE - Dampfbremse	4,43·10 ⁻⁸	0,0101	0,00245	0,00273

Tab. 15: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von PE - Folien

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



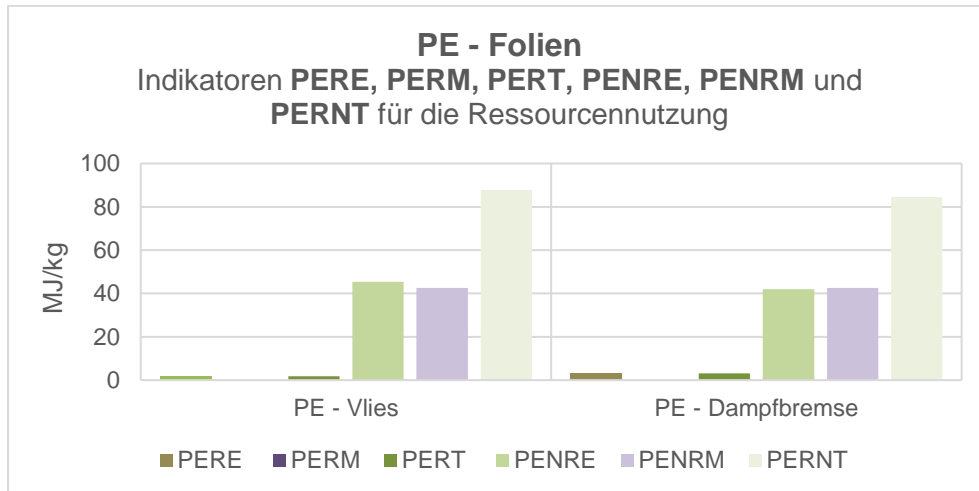
Die Folien weisen den größten Versauerungspotenzial AP – Wert auf. Beim PE – Vlies liegt dieser bei 0,00868 kg SO₂ Äq. je kg und bei der PE – Dampfbremse bei 0,0101 kg SO₂ Äq. je kg.

• Indikatoren für den Ressourceneinsatz

Baobook Name	Estriche	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PERNT
KEMPEROL 165 Vlies	PE - Vlies	1,74	0,00	1,74	45,3	42,5	87,8
ECOVAP blue	PE - Dampfbremse	3,17	0,00	3,17	42,0	42,5	84,5

Tab. 16: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Estrichen

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



Das Diagramm verdeutlicht, dass die PE – Folien einen hohen PENRE und PENRM Wert haben, was in einem hohen Treibhauspotenzial resultiert. Der Treibhauspotenzial liegt bei beiden Polyethylen Folien ungefähr bei 85,0 MJ pro kg.

4.3.4. Trittschalldämmung

- **Materialität**

Erstens gibt es die TSD aus Kunststoff oder Schaumstoff. Diese weisen trotz einer geringen Dicke gute Wärmedämmeigenschaften auf. Ein weiterer Vorteil ist, dass diese Dämmung in Rollen erhältlich ist und somit in die Wunschlänge zugeschnitten werden kann. Was jedoch gegen eine Kunststoffdämmung spricht, ist die geringe Umweltfreundlichkeit.

Trittschalldämmungen aus Kork und Holzfaser sind eine weitere Möglichkeit. Kork ist eine nachhaltige Alternative und wird aus der Rinde der Korkeiche entnommen. Korkdämmung besitzt ebenso wärmedämmende Eigenschaften, jedoch muss die Dicke etwas größer sein, um dieselben schalldämmenden Ergebnisse wie die Trittschalldämmung aus Kunststoff zu erzeugen. Die Dämmung aus Holzfaser besitzt genau wie die Korkdämmung eine wärmeisolierende Wirkung und darüber hinaus bietet diese aufgrund ihrer Beschaffenheit einen Ausgleich für die möglichen Unebenheiten. Auch Holzfaser ist ein nachhaltiges Material, da es durch Erhitzen und Erpressen von Restholz hergestellt wird.⁶⁵

⁶⁵ Trittschalldämmung. In: <https://www.obi.at/magazin/bauen/boden/trittschalldaemmung> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

- **Verbindungstechnik**

Vor der Verlegung der Trittschalldämmung sollte der Untergrund gereinigt und getrocknet werden. Danach wird die Dämmung bahnenweise und im rechten Winkel zur unterliegenden Dampfbremse angebracht. Weiters sollten weitere Bahnen Stoß an Stoß verlegt werden. Anschließend sollten die Stoßfugen mit einem Klebeband gesichert werden.

- **Nutzungsdauer**

Baustoff	Nutzungsdauer, durchschnittlicher Maximalwert in Jahren
Polystyrol expandiert (EPS) Trittschalldämmung	50
Polyurethan-Hartschaum	50
Korkplatte	50
Korkschröt expandiert	50
Holzfasen-Dämmplatte 160 kg/m ³	50
Schafwolle Trittschalldämmung	50
Glaswolle Trittschall	50

Tab. 17: Nutzungsdauer von verschiedenen Trittschalldämmungen

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdf (letzter Zugriff: 17.06.2023)

- **Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit**

Grundsätzlich können EPS – Platten wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden. Wenn sie lose verlegt worden sind, können diese beim Rückbau zerstörungsfrei ausgebaut werden. Solche Platten können entweder für denselben Zweck verwendet werden oder sie werden als Aussparungskörper in der Betonindustrie herangezogen. Eine weitere Möglichkeit für Sekundärnutzung der alten Polystyrol Dämmung ist Verarbeitung zu Granulat. Die Voraussetzung dafür ist jedoch die Sauberkeit der Platten. Schließlich kann das Granulat als Dämmschüttung, Porosierungsmittel oder auch Zuschlagsstoff eingesetzt werden.

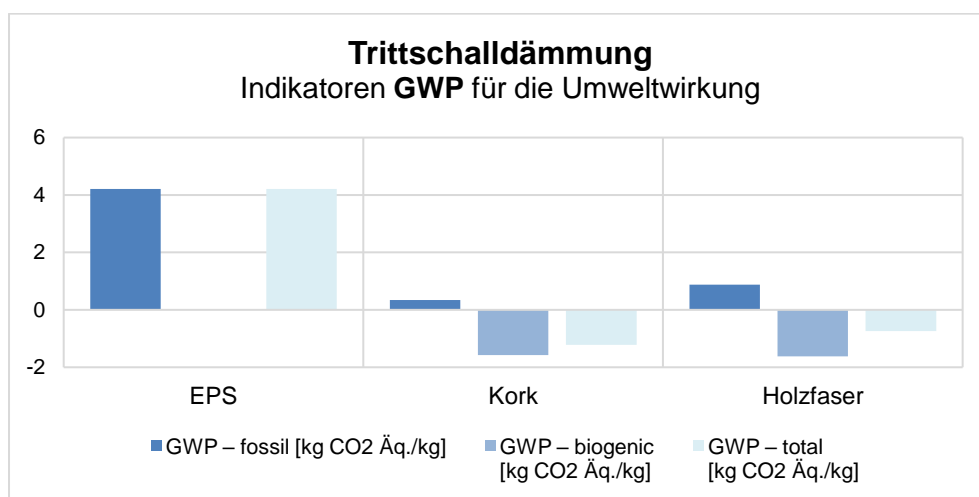
Kork- und Holzfaserdämmplatten können ebenso leicht rückgebaut werden. Sobald sie während ihrer Nutzung nicht zu großer Feuchtigkeit ausgesetzt wurden, können die biogenen Dämmstoffe wiederverwendet werden.⁶⁶

- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baubook Name	Trittschalldämmung	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
BACHL neoStep® T650 Trittschall-Dämmplatten	EPS	4,21	0,00	4,21
Dämmkork (130 kg/m ³)	Kork	0,346	-1,57	-1,22
STEICOisorel	Holzfaser	0,879	-1,62	-0,741

Tab. 18: Indikator GWP für die Umweltwirkung von TSD

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



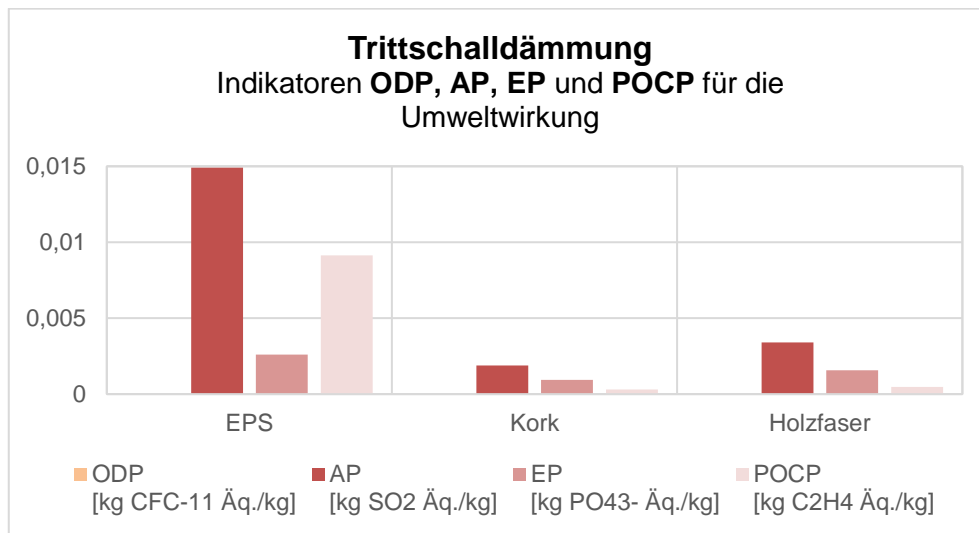
Es ist ersichtlich, dass die EPS – Trittschalldämmung einen GWP – Wert von 4,21 kg CO₂ Äq pro kg besitzt und somit eine negative Bilanz aufweist, während die Kork- und Holzfaserdämmung fast ausschließlich negative Zahlen, also positive Bilanz aufweist.

⁶⁶ ABC – Disposal - Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung. In: <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/abc-disposal-assessment-of-buildings-and-constructions-disposal> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Baobook Name	Estriche	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³⁻ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
BACHL neoStep® T650 Trittschall-Dämmplatten	EPS	1,32·10 ⁻⁷	0,0149	0,00261	0,00914
Dämmkork (130 kg/m ³)	Kork	2,59·10 ⁻⁸	0,00189	0,000938	0,000306
STEICOisorel	Holzfaser	6,73·10 ⁻⁸	0,00341	0,00157	0,000483

Tab. 19: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von TSD

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



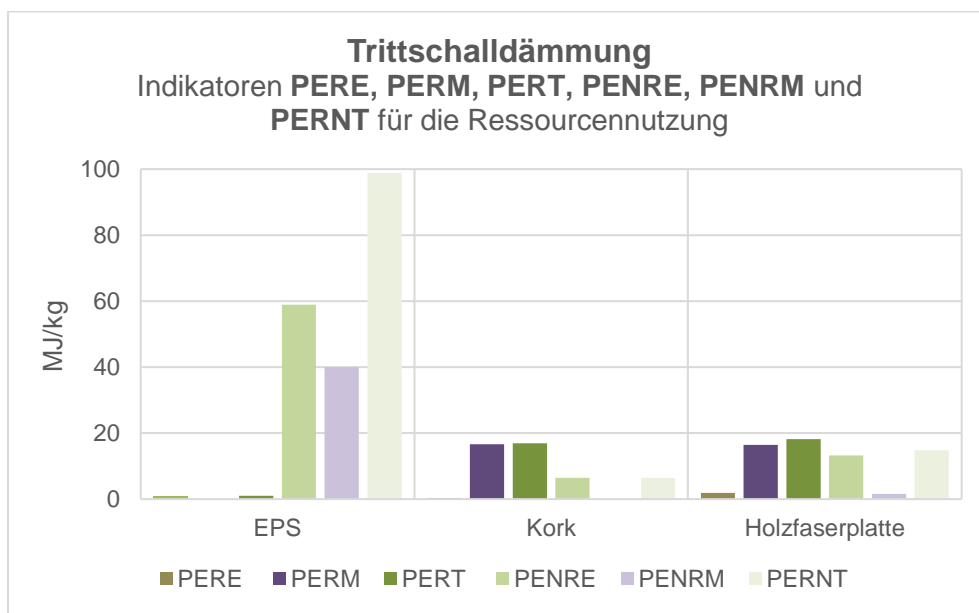
Auch dieses Diagramm verdeutlicht die negative Umweltauswirkungen der EPS - Dämmungen. Die Werte der vier Bewertungskriterien von EPS sind um einiges größer als die von Kork oder Holzfaser.

• Indikatoren für den Ressourceneinsatz

Baobook Name	Estriche	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PERNT
BACHL neoStep® T650 Trittschall- Dämmplatten	EPS	0,959	0,00	0,959	58,9	40,0	98,9
Dämmkork (130 kg/m³)	Kork	0,334	16,6	16,9	6,45	0,00	6,45
STEICOisorel	Holzfaser	1,85	16,4	18,2	13,2	1,55	14,80

Tab. 20: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von TSD

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



Nicht nur die Umweltauswirkungen, sondern auch die Ressourcennutzung von EPS ist gravierend. Im Vergleich zu den anderen zwei Dämmstoffen hat die EPS einen PERNT – Wert von fast 100 MJ/kg, was fast 15-mal als die Korkdämmung ist und 7-mal mehr als die Holzfaserdämmung.

4.3.5. Dampfdichte Schichte

- **Materialität**

Dampfdichte Schichten, auch Dampfsperren genannt, sorgen für eine dampfhemmende Wirkung. Wichtig ist dabei zwischen dampfdichten und dampfhemmenden Schichten zu unterscheiden.

Der S_d - Wert eines Baustoffes gibt die Luftschichtdicke an, die dem Wasserdampfdiffusion äquivalent ist. Die Formel zum Ausrechnen des S_d – Wertes lautet: $S_d = \mu * d$. Dabei ist μ die Diffusionswiderstandszahl und d gibt die Dicke des Baustoffs in [m] an.

Flächendichtung	Wasserdampfdiffus= =widerstand μ	Materialdicke [mm]	S_d – Wert [m]
Aluminiumfolie	prakt. dampfdicht	> 0,05	> 1 500
PE - Folie	300 000	0,25	100
PVC - Folie	200 000	0,25	30
Polyamidfolie	nicht konstant	-	2,8 / 0,2

Tab. 21: Materialien und Eigenschaften der Dampfsperren und Dampfbremsen

Quelle: Mezzera, Karl/Riccabona, Christof: Baukonstruktion. Grundlagen des Bauens und Bauelemente. Band 2. Wien: Verlag MANZ 2016. S.12 (letzter Zugriff: 17.06.2023)

- **Verbindungstechnik**

Um die gewünschte Wirkung zu erzielen, müssen die Folien vollflächig dicht verlegt werden. An den Ecken und Anschlüssen ist besondere Rücksicht zu nehmen, indem man diese mit passenden Klebebändern abdichtet.

Baustoff	Nutzungsdauer, durchschnittlicher Maximalwert in Jahren
Alu-Dampfsperre	50
PE-Dichtungsbahn	30
PVC-Dichtungsbahn	30
Polyamid	50

Tab. 22: Nutzungsdauer der Dampfbremsen

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdf (letzter Zugriff: 20.06.2023)

- **Wiederverwendung und Verwertung**

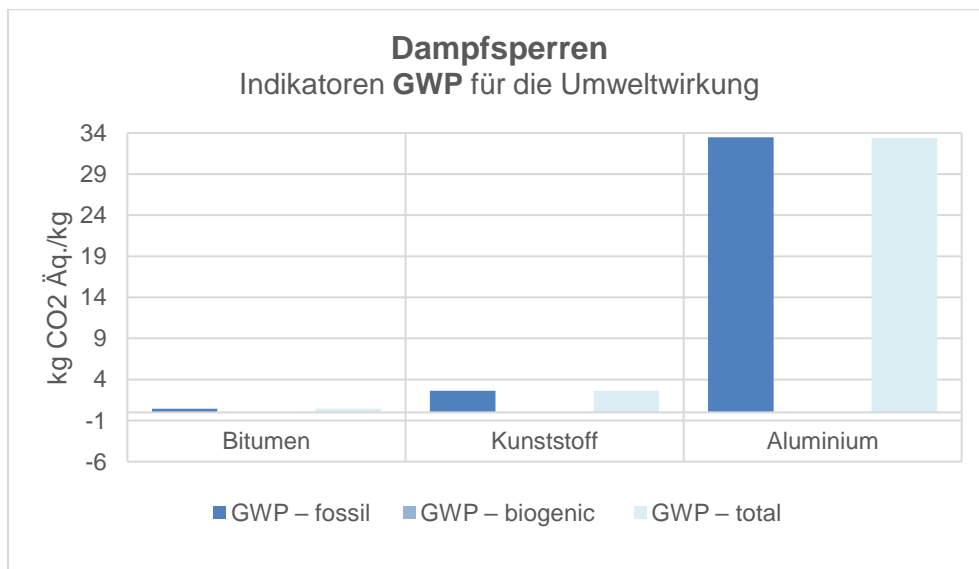
Im Prinzip können Kunststoffe werkstofflich oder rohstofflich recycelt werden. Die Wiederverwendung der Baufolien ist jedoch unwahrscheinlich.

- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baubook Name	Dampfsperre	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
BauderSuper AL E	Bitumen	0,43	0,00	0,43
ISOVER Vario KM Duplex UV Klimamembran	Kunststoff	2,61	0,00	2,61
Valutect Isolierfolie 5- lagig (ohne Kleber)	Aluminium	33,5	-0,056	33,4

Tab. 23: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Dampfsperren

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 20.06.2023)

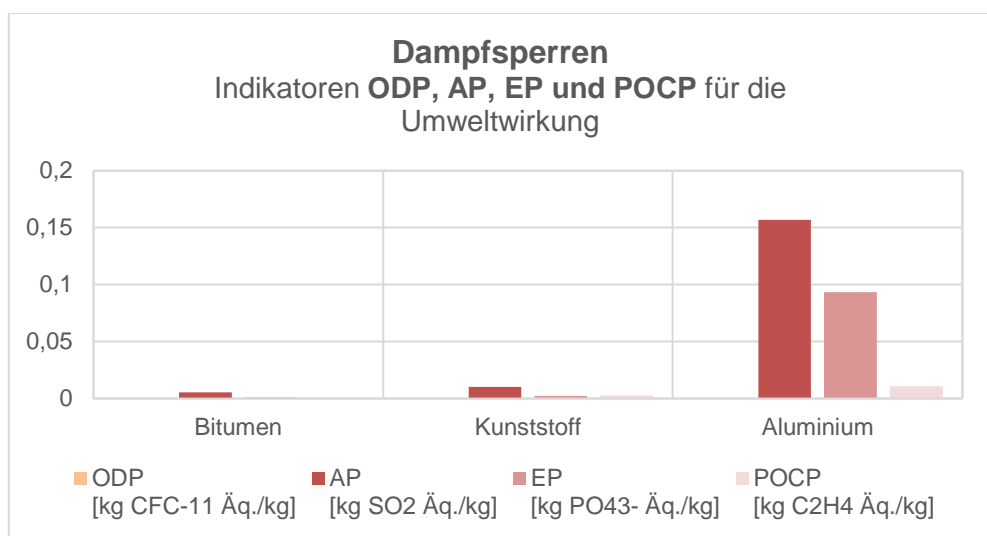


Das Diagramm zeigt, dass Folien aus Aluminium im Vergleich zu den Folien aus Kunststoff und Bitumen einen rasanten Unterschied hinsichtlich des Treibhausgaspotenzials aufweisen. Während die Dampfsperre aus Bitumen GWP – Wert von 0,43 kg CO₂ Äq. pro kg besitzt, ist es bei der Dampfsperre aus Aluminium fast das 78-fache mehr.

Baobook Name	Dampfsperren	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
BauderSuper AL E	Bitumen	4,41·10 ⁻⁷	0,00537	0,000803	0,000784
ISOVER Vario KM Duplex UV Klimamembran	Kunststoff	4,43·10 ⁻⁸	0,0101	0,00245	0,00273
Valutect Isolierfolie 5-lagig (ohne Kleber)	Aluminium	1,79·10 ⁻⁶	0,157	0,0933	0,0109

Tab. 24: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Dampfsperren

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 20.06.2023)



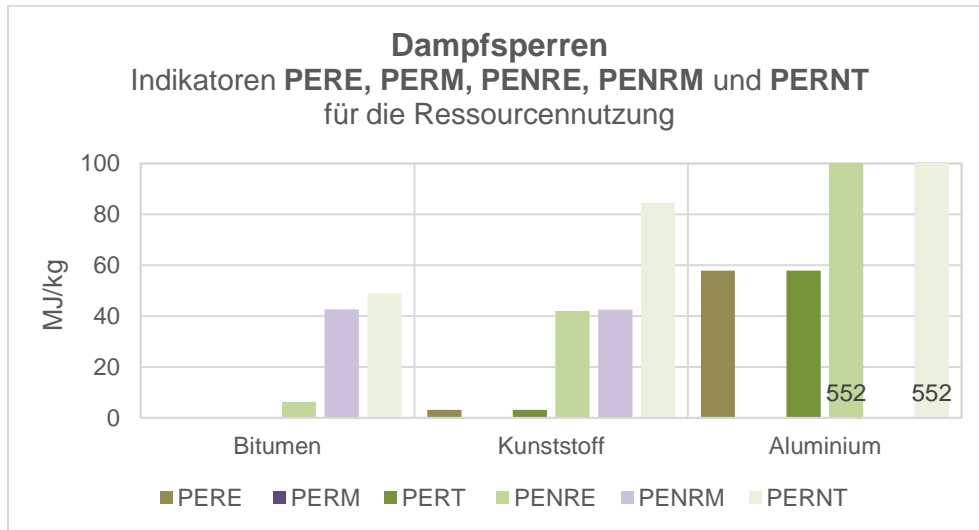
Auch hier ist es gut zu erkennen was für ein Unterschied verschiedene Materialien der Dampfbremsen ausmachen. Auch hierbei haben die Dampfsperren aus Aluminium die größten Werte für die Umweltwirkung.

• Indikatoren für den Ressourceneinsatz

Baobook Name	Estriche	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PERNT
BauderSuper AL E	Bitumen	0,107	0,00	0,107	6,35	42,6	48,9
ISOVER Vario KM Duplex UV Klimamembran	Kunststoff	3,17	0,00	3,17	42	42,5	84,5
Valutect Isolierfolie 5-lagig (ohne Kleber)	Aluminium	57,9	0,00	57,9	552,0	0,00	552,0

Tab. 25: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Dampfsperren

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 20.06.2023)



Das oben sichtbare Diagramm zeigt, dass auch hier die Alufolien am schlechtesten abschneiden. Die Dampfsperre aus Bitumen hat einen PERNT – Wert von 48,9 MJ pro kg und die Dampfsperre aus Bitumen 84,5 MJ pro kg, während die aus Alu schon 552 MJ/kg erreicht. Was anzumerken ist, dass die Dampfsperren aus Bitumen und Kunststoff einen PENRM – Wert in der Höhe von 42,5 MJ pro kg besitzen, während die aus Bitumen keinen besitzen.

4.3.6. XPS - G

- **Materialität**

Die Abkürzung XPS steht für Polystyrol - Extruderschaumstoff. Dieser Dämmstoff ist hart und geschlossenzellig. Die Herstellung erfolgt in einem Extruder, wo das Polystyrol – Granulat mit Zusatz von Kohlendioxid zu Platten oder Böcken aufgeschäumt wird. Die Vielzahl geschlossener Zellen, die durch die Extrusion entstehen, bewirken hohe mechanische Festigkeit und gute Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeit.⁶⁷

- **Verbindungstechnik**

Auf die Bodenplatte wird zunächst eine Abdichtung angebracht und dann die Dämmung als geschlossene Fläche verlegt.

⁶⁷ Extrudiertes Polystyrol (XPS). In: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/extrudiertes-polystyrol-xps-152204> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

• **Nutzungsdauer**

Baustoff	Nutzungsdauer, durchschnittlicher Maximalwert in Jahren
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)	40
Polystyrol extrudiert HFKW-geschäumt (XPS)	40
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS) Perimeter hochbelastbar unter Bodenplatte	100

Tab. 26: Nutzungsdauer von XPS – G Dämmungen

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdf (letzter Zugriff: 22.06.2023)

• **Wiederverwendung und Verwertung**

Beim Recycling der XPS-Platten ist es entscheidend, ob diese FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) oder HFCKW (teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe) enthalten.

	XPS	XPS	XPS
Herstellung in der EU	ab 22.03.2016	ab 2009 bis 21.03.2016 (inkl. Nachlaufzeit)	bis Ende 2008 (inkl. Nachlaufzeit)
Flammschutzmittel	PolyFR	HBCDD	HBCDD
Sonstige einstufigsrelevante Schadstoffe	nein	Nein	FCKW / HCCKW
Gefährliche Abfälle	nein	nein	ja
Wiederverwendung	ja	nein	nein
Recycling ohne Abtrennung halogenorganischer Inhaltsstoffe (zum Beispiel Mahlgut)	ja	nein	nein
Recycling nach Abtrennung halogenorganischer Inhaltsstoffe (zum Beispiel CreaSolv-Prozess)	ja	ja	ja

Tab. 27: Einstufung und Behandlung der XPS – Dämmstoffabfällen

Quelle: EPS- und XPS-Dämmstoffabfälle ab der Baustelle. Hrsg: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). In: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:2cee7fc0-633b-4cb3-8797-18d4cd011aad/Merkblatt_EPS_XPS_UA.pdf (letzter Zugriff: 20.06.2023)

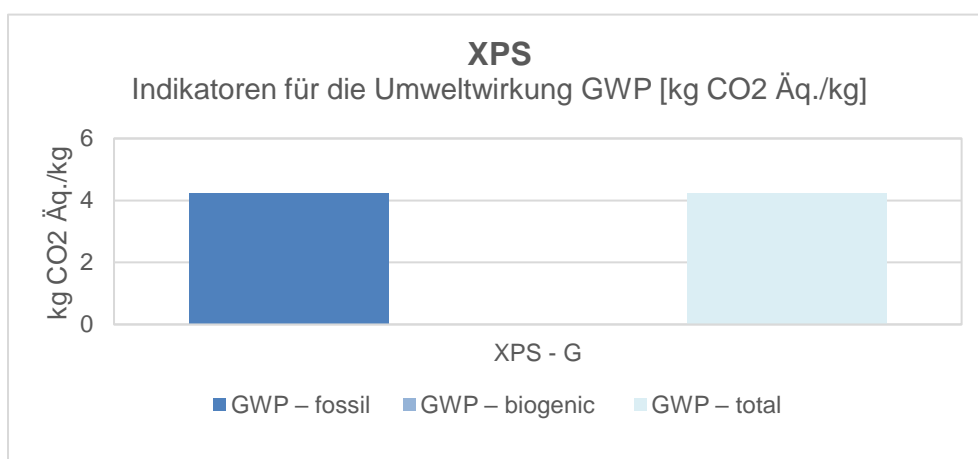
Das ÖXPS – Österreichische Fachvereinigung Polystyrol – Extruderschaum, ist ein Verband, der im Jahr 2007 gegründet wurde und seitdem für die Einhaltung der Ansprüche an Qualität und Sicherheit sowie Einhaltung der österreichischen Normen zuständig ist. Alle Dämmungen, die seit 2015 von Mitgliedern des Verbandes produziert wurden, gelten als voll recyclebar und können wiederverwendet werden. Die sauberen Platten können dabei für die Herstellung neuer Dämmplatten eingesetzt werden.⁶⁸

• **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Bauelement Name	Dämmung	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
AUSTROTHERM XPS PLUS 30 SF	XPS - G	4,24	0,00	4,24

Tab. 28: Indikator GWP für die Umweltwirkung von XPS - Platten

Quelle: <https://www.bauelement.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 22.06.2023)



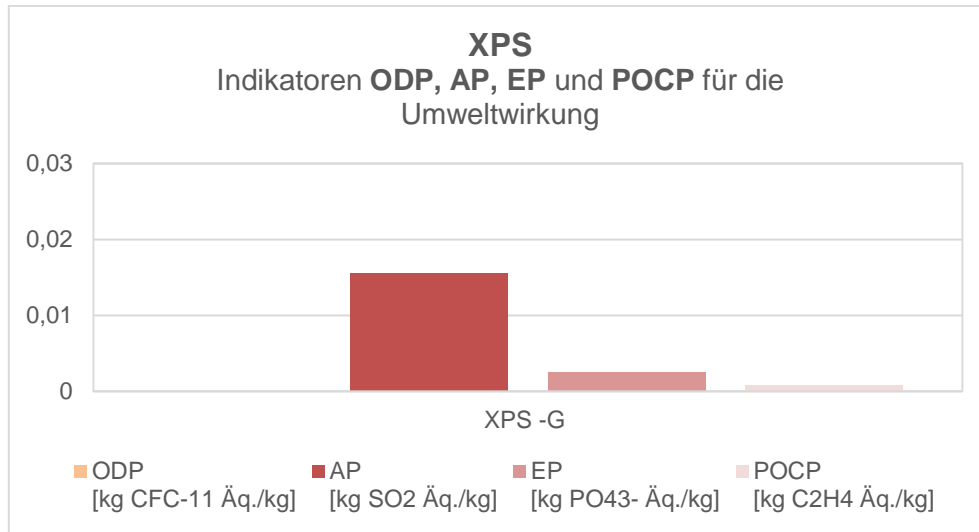
Die GWP – Werte von XPS – Dämmung liegen bei 4,24 kg CO₂ Äq pro kg. Dabei beträgt GWP – fossil 0.

Bauelement Name	Dämmung	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
AUSTROTHERM XPS PLUS 30 SF	XPS – G	6,13·10 ⁻⁸	0,0155	0,00257	0,00816

Tab. 29: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von XPS - Platten

Quelle: <https://www.bauelement.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 22.06.2023)

⁶⁸ ÖXPS. In: <https://www.oexps.at/> (letzter Zugriff: 22.06.2023)

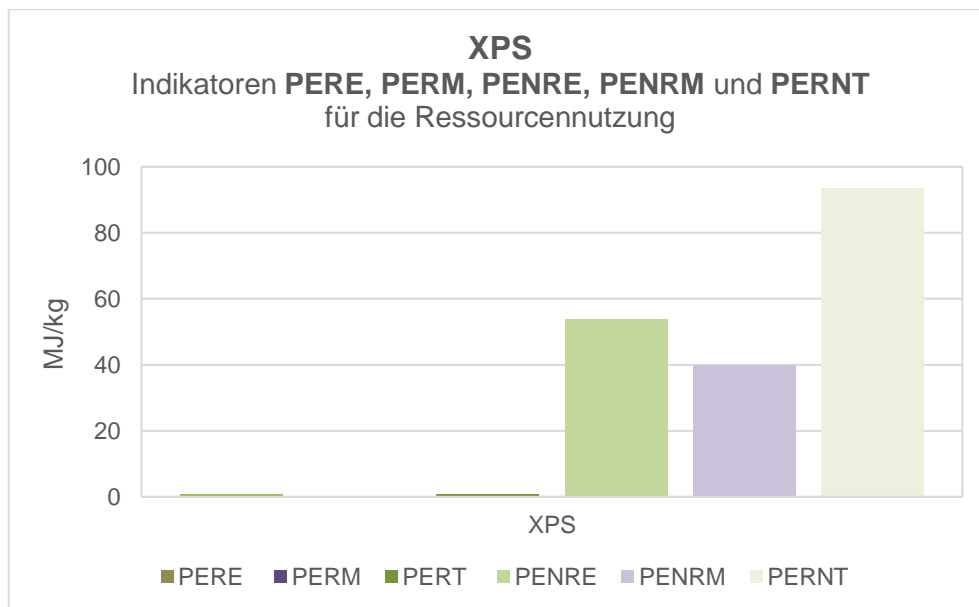


• **Indikatoren für den Ressourceneinsatz**

Baubook Name	Estriche	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PERNT
AUSTROTHERM XPS PLUS 30 SF	XPS – G	0,879	0,00	0,88	53,60	40,0	93,60

Tab. 30: Indikatoren PERE, PERM, PERT, PENRE, PENRM und PERNT für die Ressourcennutzung von XPS – Dämmung.

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 22.06.2023)



Das Diagramm zeigt, dass die XPS – Dämmung auch einen großen Beitrag zur Ressourceneinsatz beitragen. Es steht fest, dass der PERNT – Wert bei 93,60 MJ pro kg liegt. Auch PENRE mit 53,60 MJ pro kg und PERM mit 40,0 MJ pro kg sind in der Hinsicht hohe Zahlen.

4.3.7. Bewehrter Unterbeton

- **Materialität**

Bewehrter Beton wird unter anderem auch als Stahlbeton bezeichnet. Beton an sich wird grundsätzlich aus Wasser, Zement und Gesteinskörnungen hergestellt. Zuerst wird hierbei aus Wasser und Zement das Zementleim hergestellt. Dieser hat die Funktion die Hohlräume zwischen den einzelnen Körnungen auszufüllen. Aus dem Leim entsteht durch das Erhärten ein Zementstein. Anschließend wird dazu eine kleine Menge an Wasser hinzugefügt. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass zu viel Wasser die Betoneigenschaften verschlechtert. Daher ist es von großer Bedeutung, das Wasser – Bindemittelwert auszurechnen.

$$\frac{W}{B} = \frac{\text{wirksamer Wassergehalt}}{\text{anreichernder Bindemittelgehalt}}$$

Formel 2: die Formel zum Ausrechnen des Wassers – Bindemittelwertes

Im Idealfall sollte dieser Wert zwischen 0,45 und 0,55 liegen.⁶⁹ Als Bewehrten Beton bezeichnet man Beton, der die Mindestbewehrung besitzt.

- **Verlegung**

Auf die abgedichtete Rollierung wird die Bodenplatte gegossen. Die Bewehrung wird hierbei nach dem ersten Guss in den Beton eingelegt.⁷⁰

- **Lebensdauer**

Baustoff	Nutzungsdauer durchschnittlicher Maximalwert in Jahren
Stahlbeton Fundament	100
Stahlbeton in WU-Qualität	100
Slagstar Ökobeton Klasse 0 (PP 2008) Transport gemittelt	100

Tab. 31: Nutzungsdauer von Massivbaustoffen im Bereich des Sockels

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdfv (Letzter Zugriff: 23.06.2023)

⁶⁹ Mezzera, Karl/Bednar, Thomas/ Riccabona, Christof: Baukonstruktion. Grundlagen des Bauens, Darstellung und Planung, Bauphysik, Baustoffe, Baugrund, Bauelemente, Technischer Ausbau. Band 1. Wien: Verlag MANZ 2015. S.160. (letzter Zugriff: 29.05.2023)

⁷⁰ Wayan, Stephan: Aufbau der Bodenplatte ohne Keller. In: <https://www.hausjournal.net/aufbau-bodenplatte-ohne-keller> (letzter Zugriff: 29.05.2023)

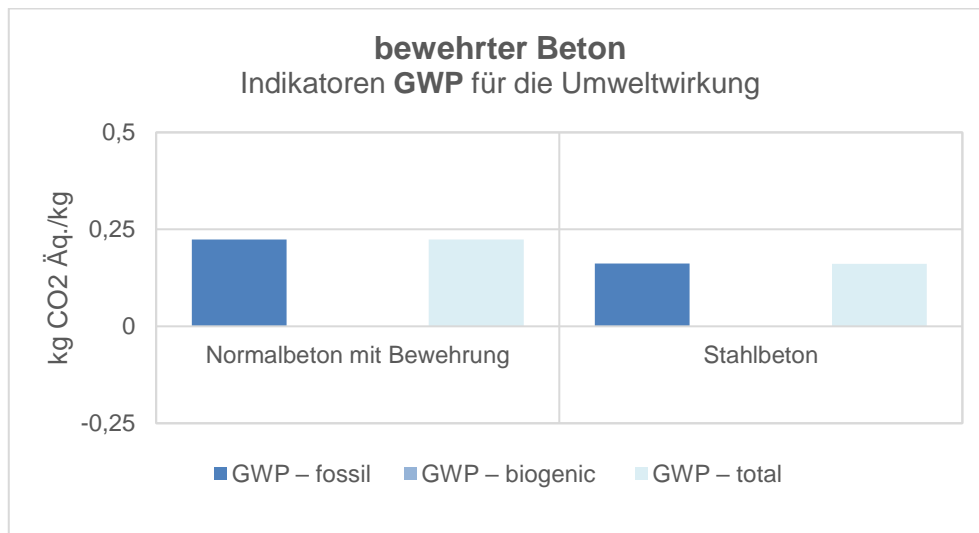
- **Wiederverwendung und Verwertung**

Bewehrter Beton kann beim Rückbau von der Bewehrung getrennt werden. Die Bewehrung kann von Betonresten getrennt werden, was jedoch viel Aufwand erfordert. Die gereinigten Eisenteile können dann wiederum dem Recycling in der Stahlerzeugung wiederzugeführt werden. Die Betonreste können schließlich in den Recycling - Werken zerkleinert werden und wieder neu aufbereitet werden. Die sogenannten entstandenen RC – Betone können wieder im Hochbau⁷¹ oder können im Straßen- und Wegebau eingesetzt werden.

- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baubook Name	Bewehrter Beton	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
ECOPact + C30/37/XC1/RB-A2	Normalbeton mit Bewehrung	0,224	0,00	0,224
Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	Stahlbeton	0,162	-0,000281	0,161

Tab. 32: Indikator GWP für die Umweltwirkung von bewehrtem Beton
Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)

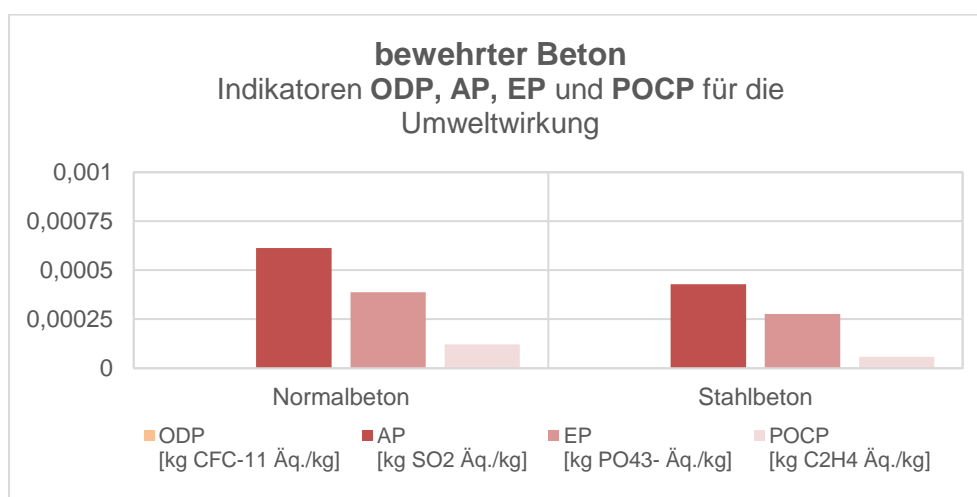


⁷¹ Recyclingbeton. In: <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/betonarten/recyclingbeton-930267> (letzter Zugriff: 29.05.2023)

Es kann gesagt werden, dass Normalbeton mit Bewehrung und Stahlbeton über ähnliche GWP – Werte verfügen. Bei Normalbeton liegt das Treibhausgaspotenzial bei 0,224 kg CO₂ Äq. pro kg und bei Stahlbeton bei 0,161 0,224 kg CO₂ Äq. pro kg.

Baobook Name	Bewehrter Beton	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
ECOPact + C30/37/XC1/RB-A2	Normalbeton mit Bewehrung	7,87·10 ⁻⁹	0,000613	0,000388	0,000122
Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	Stahlbeton	5,98·10 ⁻⁹	0,000429	0,000277	0,000058

Tab. 33: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von bewehrtem Beton
Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)



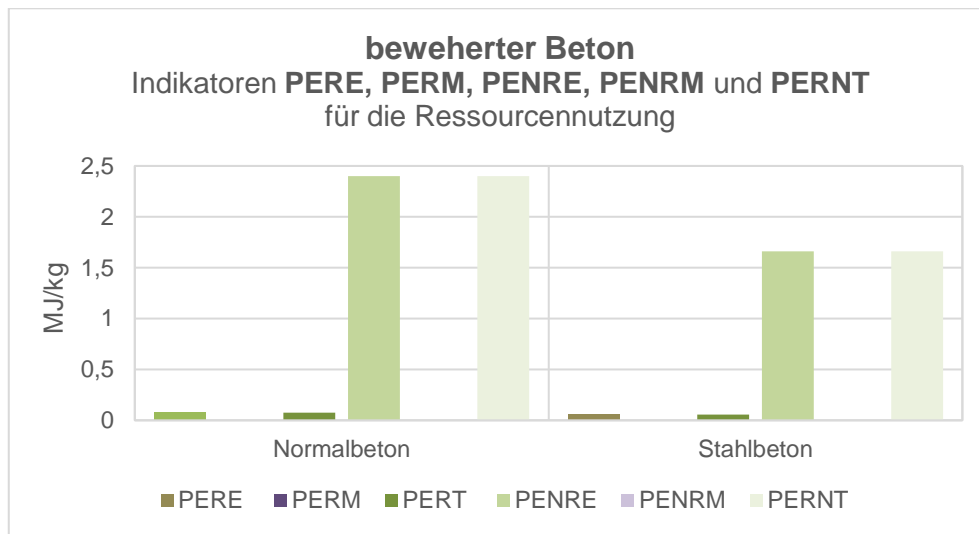
Es lässt sich argumentieren, dass sowohl Normalbeton mit Bewehrung als auch Stahlbeton in Bezug auf die Ressourcennutzung angemessene Werte aufweisen. Das Versauerungspotenzial AP liegt bei Normalbeton bei 0,000613 kg SO₂ Äq. pro kg und bei Stahlbeton bei 0,000429 kg SO₂ Äq. pro kg.

- **Indikatoren für den Ressourceneinsatz**

Baobook Name	Estriche	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PERNT
ECOPact C30/37/XC1/RB-A2 +	Normalbeton mit Bewehrung	0,0768	0,00	0,0768	2,40	0,00	2,40
Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	Stahlbeton	0,0549	0,00	0,0549	1,66	0,00	1,66

Tab. 34: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von bewehrtem Beton

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)



Es kann behauptet werden, dass beide, Normalbeton mit Bewehrung und Stahlbeton sich in Maß haltende Werte in der Hinsicht auf Ressourcennutzung besitzen. Diese liegen bei Normalbeton bei 2,40 MJ pro kg und bei Stahlbeton bei 1,66 MJ pro kg.

4.3.8. Abdichtung

- **Materialität**

Abdichtungen haben die Aufgabe je nach Art vor Bodenfeuchtigkeit, nicht drückendem Wasser und Druckwasser bis/über 4m die Bodenplatte zu schützen.

Es wird zwischen Bitumendichtungsbahnen, geklebten und losen Kunststoffbahnen sowie Polymerbitumen – Spachtelmassen unterschieden.

- **Verbindungstechnik**

Die Abdichtung wird unter der Bodenplatte eingelegt. Mittels eines längsseitigen Klebebandes werden die Überlappungsstöße abgesichert.

Mit dem Erhärten des Betons entsteht in Folge eine Verbindung mit der Abdichtungsbahn.⁷²

- **Nutzungsdauer**

Baustoff	Nutzungsdauer, durchschnittlicher Maximalwert in Jahren
Bitumen	50
Alu-Bitumendichtungsbahn	50
PE-Dichtungsbahn	30
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	50
PVC-Dichtungsbahn	30

Tab. 35: Nutzungsdauer von Abdichtungen

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdf (letzter Zugriff: 23.06.2023)

- **Wiederverwendung und Verwertung**

Lose verlegte oder mechanisch befestigte Abdichtungen können einfach rückgebaut werden. Durch die feste Verbindung mit der Bodenplatte werden Bitumenbahnen und flüssige Abdichtungen beim Rückbau aufgrund hohen Aufwandes nicht getrennt. Durch die feste Verbindung verbleiben an der Bodenplatte Verunreinigungen. Diese müssen in Folge deponiert werden.

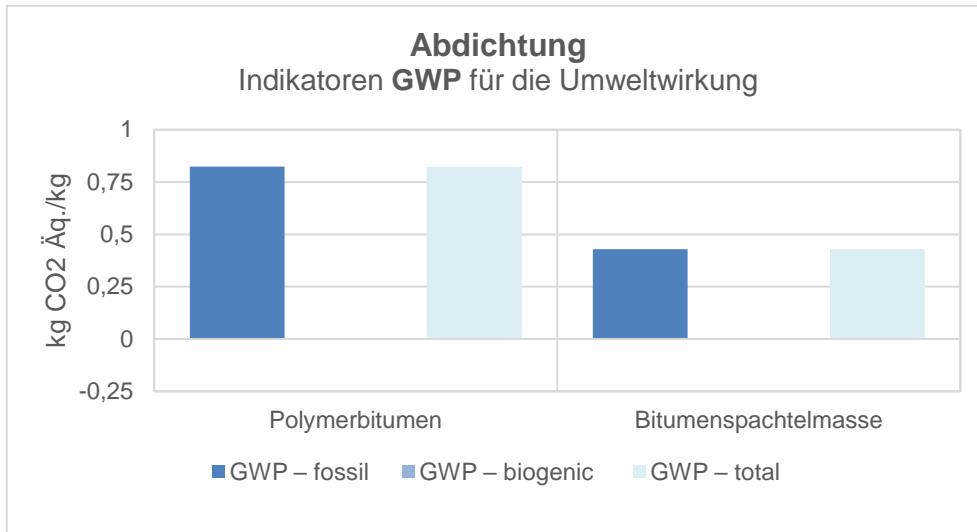
- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baobook Name	Abdichtung	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
IZOELAST E-KV-4K	Polymerbitumen - Dichtungsbahn	0,82	-0,002	0,82
Würth Dichtschlämme Bitudicht 1K	Bitumenspachtelmasse	0,43	0,00	0,43

Tab. 36: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Abdichtungen

Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)

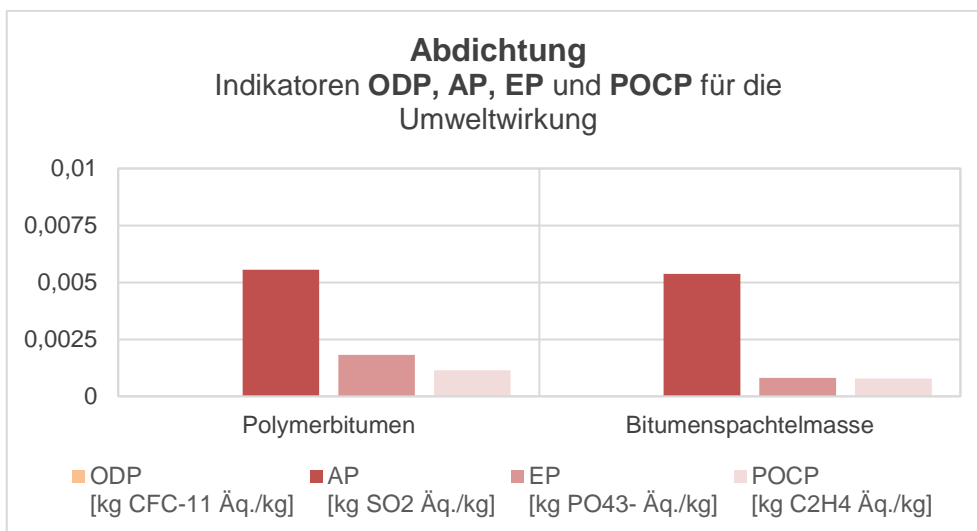
⁷² Abdichtung von Stahlbetonbauten. In: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/tipps/news-produkte/abdichtung-von-stahlbetonbauten-4797654> (letzter Zugriff: 29.05.2023)



Es kann gesagt werden, dass Polymerbitumen in dem Fall eine doppelt so große Umweltwirkung als Bitumenspachtelmasse erzielt.

Baobook Name	Abdichtung	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
IZOELAST E-KV-4K	Polymerbitumen - Dichtungsbahn	3,16·10 ⁻⁷	0,00556	0,00182	0,00114
Würth Dichtschlämme Bitudicht 1K	Bitumenspachtelmasse	4,41·10 ⁻⁷	0,00537	0,000803	0,000784

Tab. 37: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Abdichtungen
Quelle: <https://www.baobook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)

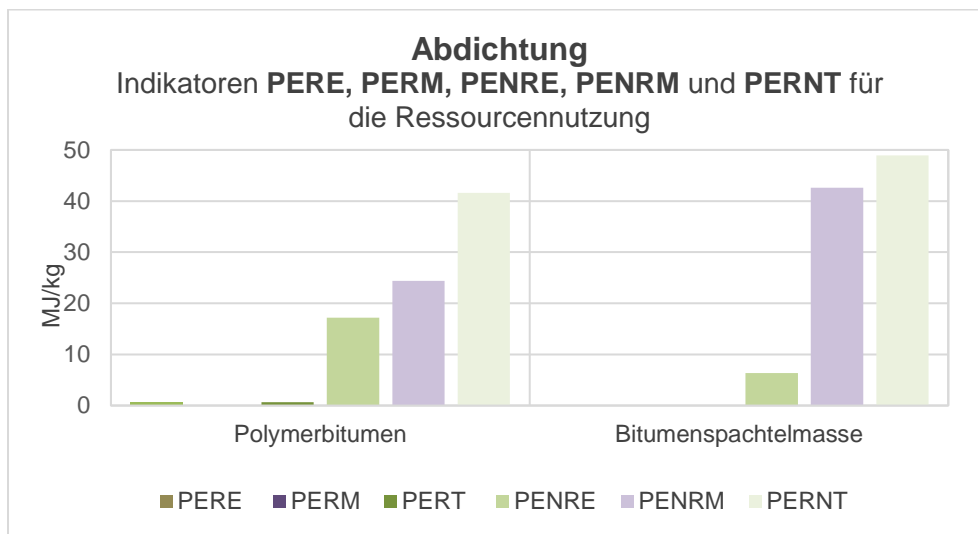


- **Indikatoren für den Ressourceneinsatz**

Baubook Name	Abdichtung	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PERNT
IZOELAST E-KV-4K	Polymerbitumen - Dichtungsbahn	0,664	0,00	0,664	17,2	24,4	41,6
Würth Dichtschlämme Bitudicht 1K	Bitumenspachtel- masse	0,107	0,00	0,107	6,35	42,6	48,9

Tab. 38: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Abdichtungen

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023)



Das Diagramm verdeutlicht, dass Bitumenspachtelmasse höhere Werte hinsichtlich Ressourcennutzung als Polymerbitumen erzielt. Der PERNT- Wert von Polymerbitumen liegt bei 41,6 MJ pro kg und von Bitumenspachtelmasse 48,9 MJ pro kg.

4.3.9. Rollierung

- **Materialität**

Rollierung wird auch kapillARBrechende Schicht genannt. Die Rollierung kann aus Filterkies, Schotter oder auch Schaumglassschotter bestehen.

Schaumglassschotter wird aus Recyclingglas und einem kleinen Anteil an mineralischen Zusätzen hergestellt. Das Gemisch wird auf Temperaturen zwischen 700°C und 1000°C erhitzt und somit entsteht sogenannter Glasschaumkuchen. Nach der Abkühlung wird das entstandene Material zerbrochen und in Schotter mit Durchmesser von 10 – 75 mm verarbeitet.

- **Verlegung**

Die kapillARBrechende Schicht wird unterhalb der Bodenplatte verlegt. Oben auf der Rollierung kommt eine Trennlage und anschließend wird das Unterbeton angebracht.

- **Nutzungsdauer**

Baustoff	Nutzungsdauer, durchschnittlicher Maximalwert in Jahren
Kies	100
Schaumglasschotter	50
Splitt	60

Tab. 39: Nutzungsdauer von Schüttungen im Bereich des Sockels

Quelle: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/NachhaltigMassiv_AP3Nutzungsdauer_Endbericht_20091022-1_AnhTabelle.pdf (letzter Zugriff: 23.06.2023)

- **Wiederverwendung und Verwertung**

Rollierung gilt als „technisches Schüttmaterial“. Da es als nicht gefährliches Aushubmaterial eingestuft ist, kann Rollierung für die Herstellung von Recycling-Baustoffen verwendet werden.

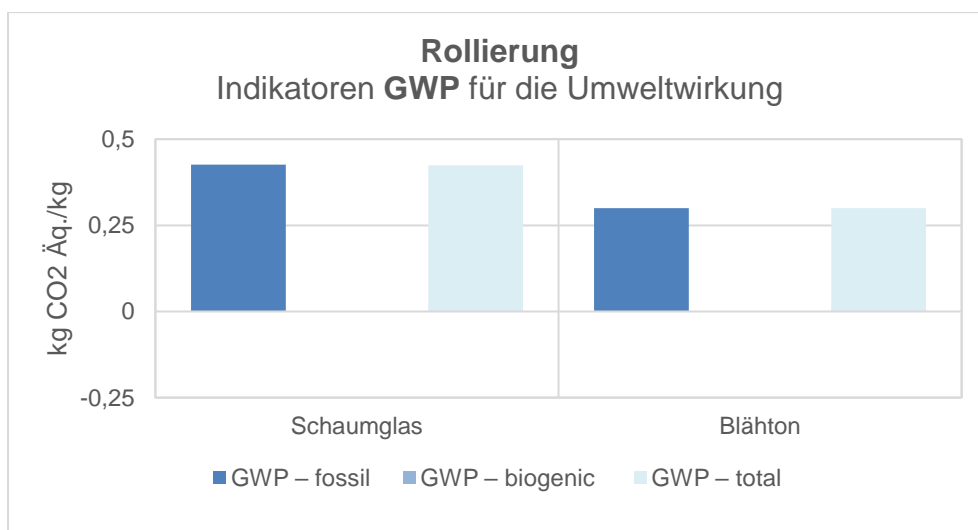
SN	Sp.	g/gn	Abfallbezeichnung	Spezifizierung
31411	34		Bodenaushub	Technisches Schüttmaterial, das weniger als 5 Vol-% bodenfremde Bestandteile enthält
31411	35		Bodenaushub	Technisches Schüttmaterial, das weniger als 5 Vol-% bodenfremde Bestandteile enthält
31499	10		schlackenhaltiges technisches Schüttmaterial	Anhang 1 Tabelle 1 der Recycling-Baustoffverordnung

Tab. 40: Ausschnitt Tabelle der zulässigen Abfallarten für Herstellung des Recyclings – Baustoffe.
Quelle: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20009212> (letzter Zugriff: 23.06.2023)

- **Indikatoren für die Umweltwirkung**

Baubook Name	Schüttung	GWP – fossil [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – biogenic [kg CO ₂ Äq./kg]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./kg]
GLAPOR Dämmschott. SG 600 P (lastabtragend)	Schaumglas	0,426	-0,0020	0,424
Liapor Ground (bei 23° u. 80% rel. Luftfeuchte)	Blähton	0,300	0,00	0,300

Tab. 41: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Rollierung
Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)

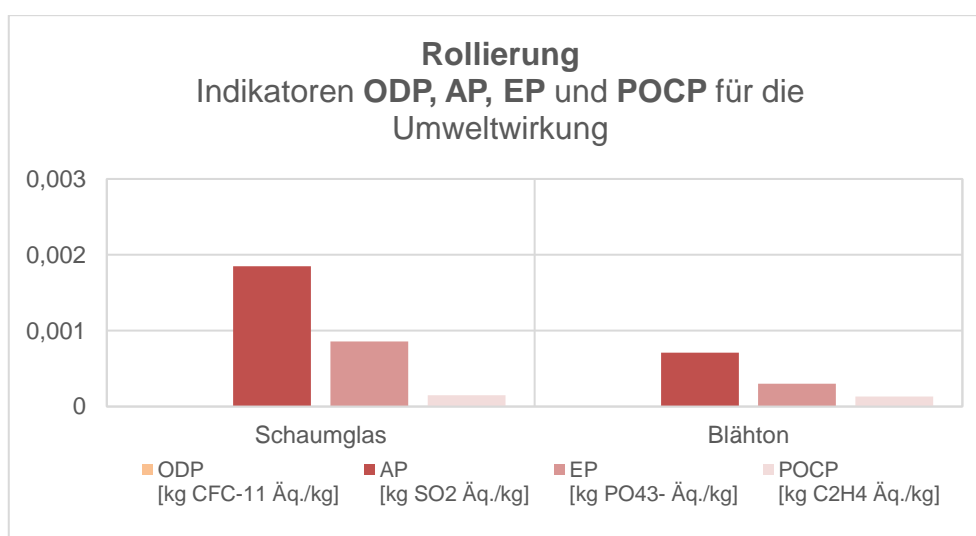


Dämmschott aus Schaumglas hat einen Treibhausgaspotenzial GWP in Höhe von 0,424 kg CO₂ Äq. pro kg und Dämmschott aus Blähton 0,300 0,424 kg CO₂ Äq. pro kg.

Baubook Name	Material	ODP [kg CFC-11 Äq./kg]	AP [kg SO ₂ Äq./kg]	EP [kg PO ₄ ³ Äq./kg]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äq./kg]
GLAPOR Dämmschott. SG 600 P (lastabtragend)	Schaumglas	4,56·10 ⁻⁸	0,00185	0,000886	0,000149
Liapor Ground (bei 23° u. 80% rel. Luftfeuchte)	Blähton	1,17·10 ⁻⁸	0,000711	0,000302	0,000131

Tab. 42: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Rollierung

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)



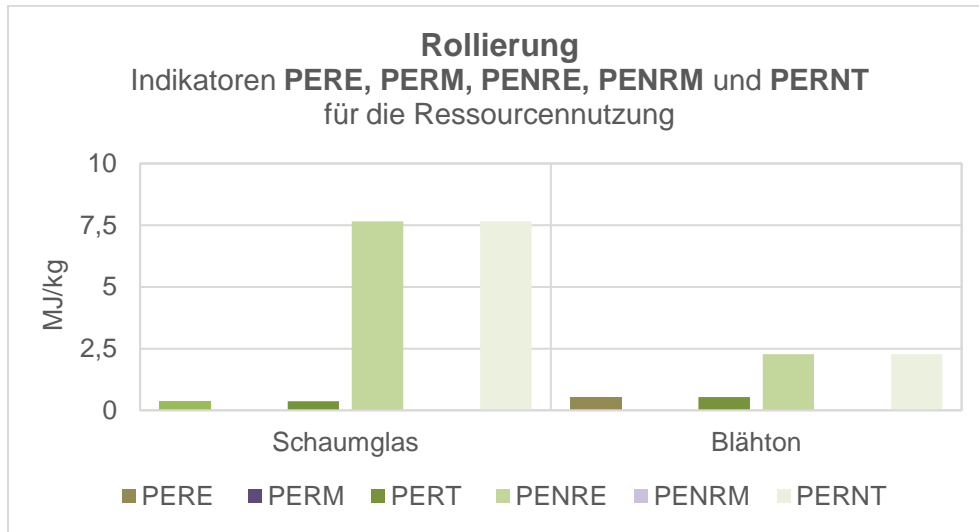
Das Diagramm zeigt, dass Schaumglas ein doppelt so hohes Versauerungspotenzial hat als Blähton. Schaumglas besitzt einen AP – Wert in der Höhe von 0,00185 kg SO₂ Äq. pro kg und Blähton 0,000711 kg SO₂ Äq. pro kg.

- **Indikatoren für den Ressourceneinsatz**

Baubook Name	Abdichtung	PERE	PERM	PERT	PENRE	PENRM	PERNT
GLAPOR Dämmschott. SG 600 P (lastabtragend)	Schaumglas	0,363	0,00	0,363	7,65	0,00	7,65
Liapor Ground (bei 23° u. 80% rel. Luftfeuchte)	Blähton	0,535	0,00	0,535	2,27	0,00	2,27

Tab. 43: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Rollierungen

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)



Das Diagramm zeigt, dass die PENRE und somit PERNT – Werte von Schaumglas dreifach so groß sind wie die von Blähton. Die Werte von Schaumglas betragen 7,65 MJ pro kg, während die von Blähton 2,27 MJ pro kg erzielen.

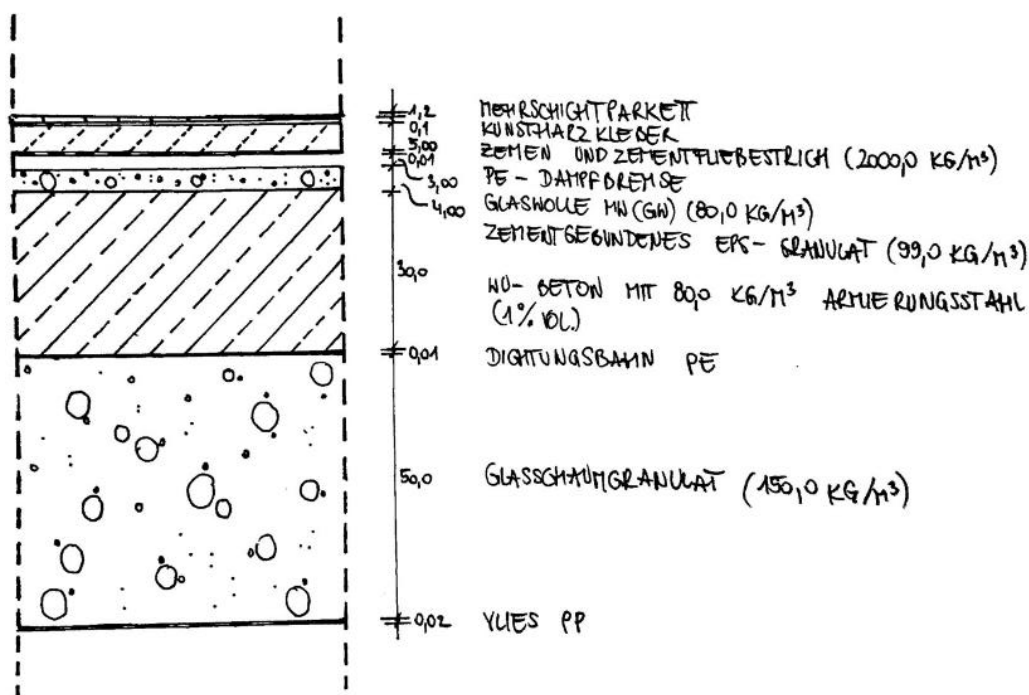
4.4. Vergleich der Aufbauten

Zum Vergleich werden schließlich drei unterschiedliche Bodenaufbauten von Baubook herangezogen. Der erste Aufbau ist ein Plattenfundament mit WU – Beton und Holzfaser auf Glasschaumgranulat. Der zweite Aufbau ist ein Plattenfundament mit Normalbeton und unterseitig gedämmt mit Schaumglasplatten. Der dritte und letzte Aufbau ist hingegen ein oberseitig gedämmtes Plattenfundament mit XPS und Normalbeton.

Aufbau 1: Plattenfundament auf Glasschaumgranulat (Efu 11b)

Baustoff	Dicke [cm]	GWP – total [kg CO ₂ /m ²]	AP [kg SO ₂ /m ²]	PERNT [MJ/m ²]
Mehrschichtparkett	1,2	141,0	0,467	1810,0
Kunstharzkleber	0,10			
Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m ³)	5,0			
Baupapier	0,02			
Holzfaser WF-T (130 kg/m ³)	3,00			
Schüttdämmstoff aus expandierten Perliten (100 kg/m ³)	4,00			
WU-Beton mit 80 kg/m ³ Armierungsstahl (1 Vol.%)	30,0			
Baupapier	0,02			
Glasschaumgranulat - erdfeucht (150 kg/m ³)	50,0			
Vlies - PP	0,02			
Σ	93,36			

Zum Erkennen ist in dem Fall, dass ein Plattenfundament mit Glasschaumgranulat ein Treibhauspotenzial in Höhe von 141,0 kg pro m² aufweist.



Zudem beträgt die Summe des Versauerungspotenziales fast rund 0,5 kg an SO₂ pro m² und die nicht erneuerbare Energie weist einen Wert von 1810,0 MJ pro m² auf.

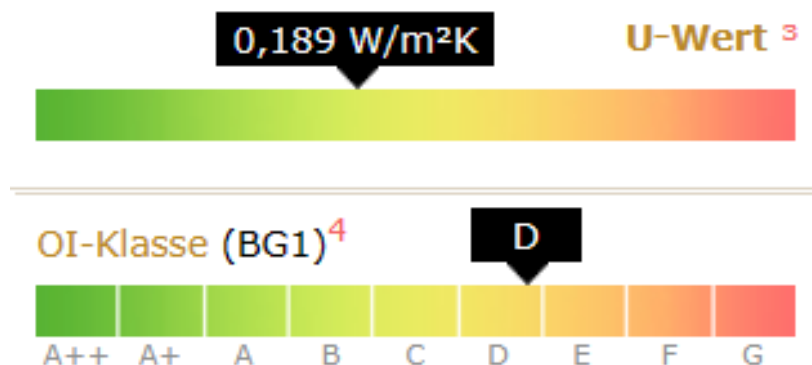


Abb. 13: U - Wert und die OI – Klasse des Plattenfundamentes mit Glasschaumgranulat.
Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 17.06.2023) (letzter Zugriff: .23.06.2023)

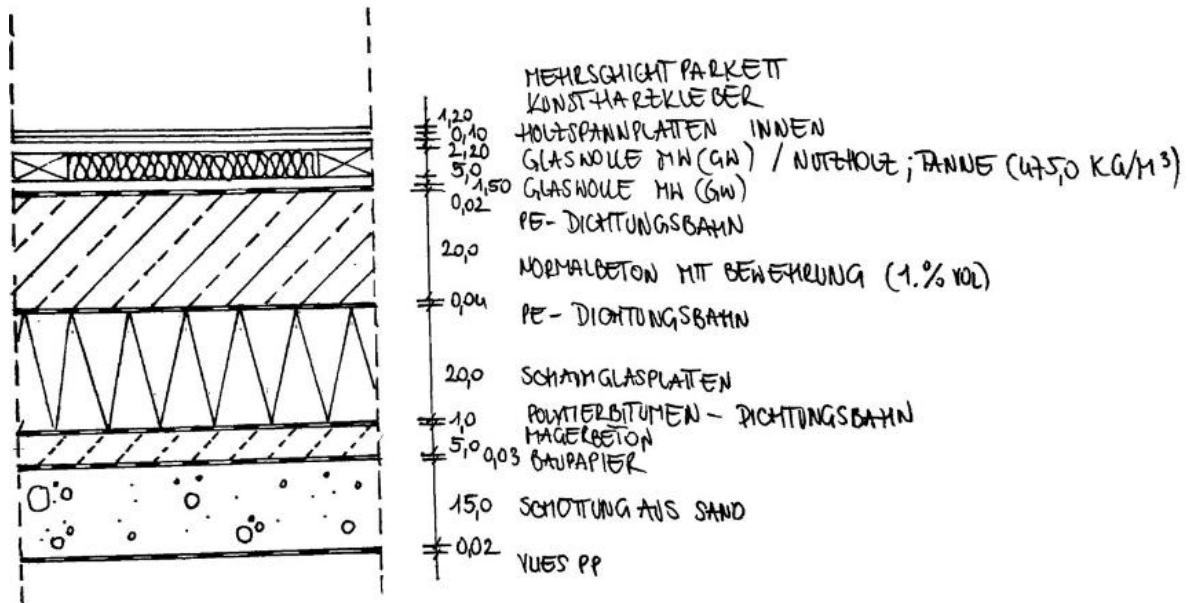
Aus der oberen Abbildung kann man rauslesen, dass das U – Wert dieser Bodenplatte bei 0,189 W/m²K liegt und somit nicht ganz ungünstig ist, aber trotzdem besser werden könnte. Die sogenannte OI – Klasse erreicht die Stufe D und gilt als unzufriedenstellend.

**Aufbau 2: Plattenfundament, unterseitig gedämmt, Holzfußboden auf Staffel.
(Efu 03a)⁷³**

Baustoff	Dicke [cm]
Mehrschichtparkett	1,20
Kunstharzkleber	0,10
Holzspannplatten	2,20
Inhomogen (Elemente quer)	5,00
49,8cm (80 %) Glaswolle	5,00
MW(GW)-W (18,0 kg/m ³)	5,00
12,8 (20%) Nutzholz (475 kg/m ³ – z.B Fichte Tanne)	
Glaswolle MW(GW)-T (80 kg/m ³)	1,50
PE – Dichtungsbahn	0,02
Normalbeton mit Bewehrung 1% (2300 kg/m ³)	20,0
PE – Dichtungsbahn	0,04
Schaumglasplatten (Foamglas T4+)	20,0
Polymerbitumen - Dichtungsbahn	1,0
Magerbeton	5,0
Baupapier	0,03
Schüttung aus Kies (1800 kg/m ³)	15,0
PP - Vlies	0,02
Σ	71,11

GWP – total [kg CO ₂ Äq./m ²]	AP [kg SO ₂ Äq./m ²]	PERNT [MJ/m ²]
115,0	0,550	2433,0

⁷³ Baubook. In: <https://www.baubook.at/> (letzter Zugriff: 15.06.2023)



Der Aufbau Nummer 2, weist mit 115,0 kg CO₂/m² zwar kleinere Werte für GWP – total auf, jedoch ist sind die Werte für AP und PERNT um einiges höher. Diese betragen in dem Fall 0,550 kg SO₂ pro m² für das Versauerungspotenzial und 2433,0 kg pro m² für Anteil an nicht erneuerbarer Energie.

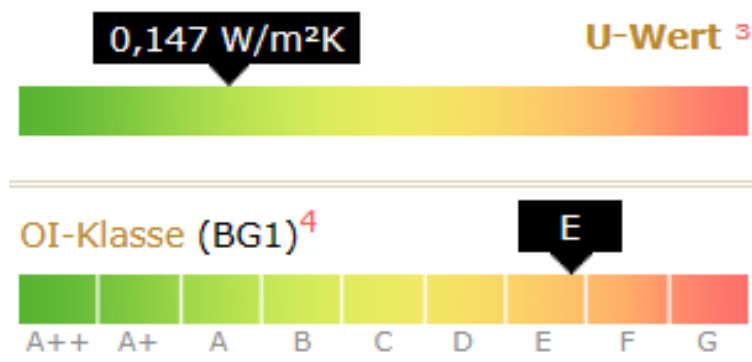


Abb. 14: U - Wert und die OI – Klasse eines unterseitig gedämmtes Plattenfundamentes.

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)

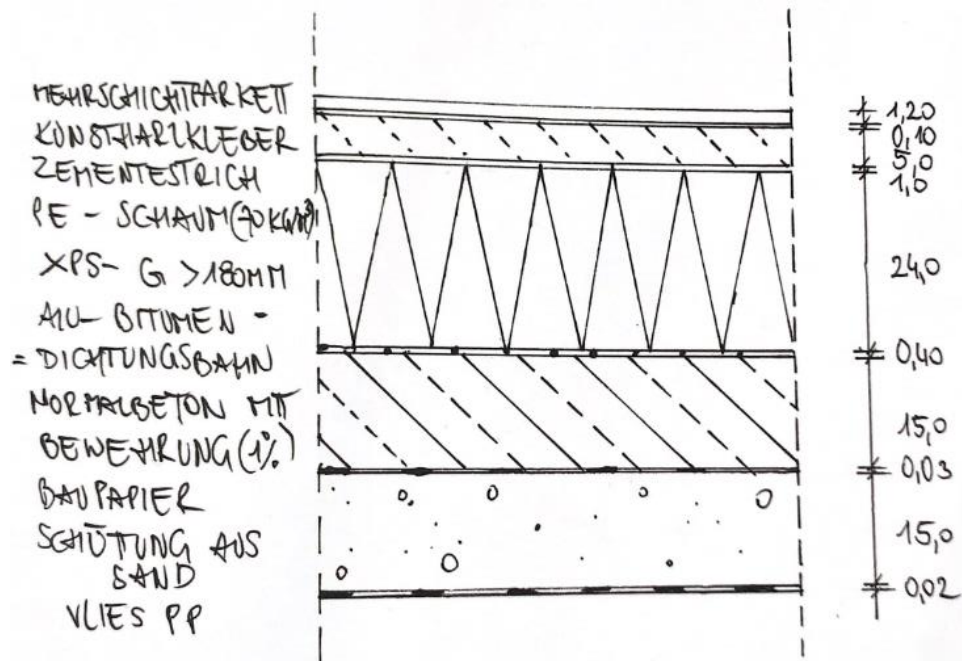
Die Grafik zeigt, dass das U – Wert hierbei bei 0,147 W/m²K liegt. Das ist zwar ein besserer Wert als bei der ersten Bodenplatte, jedoch ist die OI – Klasse mit Einstufung bei E, schlechter.

**Aufbau 3: Plattenfundament, oberseitig gedämmt, Nassestrich
(Efo 01a)⁷⁴**

Baustoff	Dicke [cm]	GWP – total [kg CO ₂ Äq./m ²]	AP [kg SO ₂ Äq.m ²]	PERNT [MJ/m ²]
Mehrschichtparkett	1,20	104,0	0,368	1772,0
Kunstharzkleber	0,10			
Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m ³)	5,0			
Polyethylenschaum (70 kg/m ³)	1,0			
XPS - G > 180 mm (32 kg/m ³)	24,0			
Alu - Bitumendichtungsbahn	0,40			
Normalbeton mit 1% Bewehrung (2300 kg/m ³)	15,00			
Baupapier	0,03			
Schüttung aus Sand (1800 kg/m ³)	15,0			
PP - Vlies	0,02			
Σ	61,75			

Der dritte Aufbau schneidet bei den Werten am besten ab. Das Treibhauspotenzial erreicht durchschnittlich einen Wert in Höhe von 104,0 CO₂ pro m². Auch das Versauerungspotenzial ist mit 0,368 SO₂ pro m² und der Anteil an nicht erneuerbarer Energie mit 1722,0 MJ pro m² ist in dem Fall um einiges geringer als bei den vorherigen zwei Bodenplatten.

⁷⁴Baubook. In: <https://www.baubook.at/> (letzter Zugriff: 15.06.2023)



0,159 W/m²K

U-Wert ³



OI-Klasse (BG1) ⁴

C

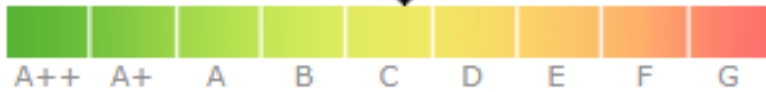


Abbildung 2: U - Wert und die OI – Klasse eines unterseitig gedämmtes Plattenfundamentes.

Quelle: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)

Der U – Wert mit 0,159 W/m²K ist in dem Fall kleiner als von Aufbau 1, jedoch größer als bei Aufbau 2. Obgleich der U – Wert mittelmäßig abschneidet, erreicht die oberseitige gedämmte Platte hinsichtlich der ökologischen Qualität, die beste Klasse – C.

4.5. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Überprüfung sind vorerst nicht zufriedenstellend. Man kann beobachten, dass die ausgewählten Aufbauten eine enorme Auswirkung auf die Umwelt und auch hinsichtlich Wiederverwendung- und -verwertung haben.

Um die Ergebnisse zu verdeutlichen, wird ein Einfamilienhaus mit beispielweise 100 m² herangezogen.

Die Werte für das Treibhauspotenzial reichen von 104,0 bis 114,0 CO₂ pro m². So kann gesagt werden, dass eine Bodenplatte für dieses für etwa 120kg an CO₂ pro m² verantwortlich ist. Das ergibt in Summe 12000,0 kg an CO₂ insgesamt, die zur Erderwärmung beitragen.

Das Versauerungspotenzial variiert zwischen 0,368 und 0,550 SO₂ pro m². Im Durchschnitt kommt es also auf 0,461 m² und in der Summe 46,17 kg an SO₂ pro Bodenplatte.

Bei PERNT, also den totalen Anteil an nicht erneuerbarer Energie, unterscheidet sich der Beitrag zwischen 1772,0 MJ/kg und 2433,0 MJ/kg, was im Durchschnitt ungefähr 2000 MJ pro m² ergibt. Insgesamt gesehen, sind es also 200000 MJ nur für eine Bodenplatte.

Am besten schneidet der Aufbau des oberseitig gedämmten Plattenfundamentes mit Nassestrich ab.

Es lässt sich anhand dieser Daten also feststellen, dass die meisten Baustoffe und daraus folgend die Aufbauten, so wie sie jetzt sind, als sehr umweltbelastend gelten. Die Probleme beginnen bei der Herstellung und der Zusammensetzung sowie Verbindung. Viele der Baustoffe lassen sich nicht wiederverwenden und verwerten, daher müssen die meisten deponiert werden.

Bei **Fußbodenbelägen** hängt es je nach Funktion des Materials ab. Man sollte hierbei auf die Verlegung achten. Kleber sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Fliesen erzielen die höchste Nutzungsdauer, Holzböden halten im Durchschnitt 25 Jahre. Linoleum und Teppiche sowie PVC – Beläge haben hingegen eine kürzere Nutzungsdauer, nämlich nur 10 Jahre. Fußbodenbeläge lassen sich nur in wenigen Fällen wiederverwenden. Meistens kommt es zu einem Downcycling.

Holzböden erzielen die besten GWP, AP und PERNT - Werte wobei, die elastischen und textilen Bodenbeläge am schlechtesten in allen Kategorien abschneiden.

Estriche können je nach Verbindungstechnik, Bindemittel sowie Herstellungsart unterschieden werden. Verbundestriche erzielen abhängig von der Frequentierung die längste Nutzungsdauer von 35 bis 50 Jahren im Durchschnitt. Bei schwimmenden Estrichen beträgt diese 20 bis 40 Jahre. Estriche gelten als Bauschutt und können unter bestimmten Bedingungen wiederaufgearbeitet oder wiederverwertet werden. Estriche erzielen einen Treibhauspotenzial rund bei 0,104 bis 0,151 kg CO₂ Äg. pro kg. Das Versauerungspotenzial liegt im Rahmen von 0,000588 bis 0,000315 kg SO₂ Äq. pro kg. Hingegen liegen die Werte für den Anteil PERNT für nicht erneuerbare Energie insgesamt bei 1,34 bis 1,53 MJ pro kg.

PE – Folien haben eine durchschnittliche Nutzungsdauer von ungefähr 50 Jahren. Polyethylen Folien gehören zur Gruppe der Kunststoffen und werden in den meisten Fällen entweder mithilfe von Downcycling verwertet oder verbrannt. PE – Folien haben ein Treibhausgaspotenzial in Höhe von 2,61 bis 2,84 kg CO₂ Äg. pro kg. Das Versauerungspotenzial beträgt in dem Fall 0,000868 bis 0,0101 kg SO₂ Äq. je kg. Anhand der Ergebnisse lässt sich auch zeigen, dass diese einen relativ hohen PERNT – Wert über 80 MJ pro kg erzielen.

Trittschalldämmung kann auch je nach Material unterscheiden werden. Zum einen gibt es Trittschalldämmungen aus Kunst- und Schaumstoff und zum anderen gibt es nachhaltigere Alternativen wie Kork- und Holzfaserdämmungen. Die übliche Nutzungsdauer von TSD beträgt 50 Jahre. Der Recyclinggrad hängt von der Verbindung ab. Es ist deutlich sichtbar, dass Trittschalldämmungen aus Kunststoff einen höheren Treibhausgaspotenzial besitzen als die nachhaltigeren Alternativen. Während EPS einen Wert von 4,21 kg CO₂ Äg. pro kg. aufweisen, haben die Dämmungen aus Kork und Holzfaser negative Werte, also eine positive Bilanz. Ebenso hat die EPS – Dämmung den größten Versauerungspotenzial sowie fast 15-mal größeren PERNT- Wert als Korkdämmung und 7-mal größeren Wert als die Holzfaserdämmung.

Dampfdichte Schichten unterscheiden sich ebenso durch Material und den Sd-Wert. Ihre Nutzungsdauer beträgt durchschnittlich 50 Jahre.

Diese Folien können werkstofflich oder rohstofflich recycelt werden, die Wiederverwendung ist unwahrscheinlich. Es sticht heraus, dass Aluminiumfolien deutlich größere Umweltwirkung als die Folien aus Bitumen und Kunststoff ausmachen. Auch hinsichtlich des Versauerungspotenziales ist Aluminium an erster Stelle. Die Folien Bitumen haben einen PERNT –Wert von 48,9 MJ pro kg, die aus Kunststoff 84,5 MJ pro kg, während die aus Aludampfsperren schon 552 MJ/kg erreichen.

XPS kann eine Nutzungsdauer bis von 40 bis hin zur 100 Jahren erreichen. Für Wiedernutzung der XPS – Platten ist es ausschlaggebend, ob diese Schadstoffe enthalten. Das Treibhauspotenzial der Dämmung liegt bei 4,24 kg CO₂ Äq. pro kg. Die Tatsache ist auch, dass der PERNT- Wert die erhebliche Höhe von 93,60 MJ pro kg hat.

Bewehrter Beton hat eine maximale Nutzungsdauer von 100 Jahren. Beton gehört auch zur Gruppe des Bauschutts. Dieser kann als RC – Beton wiedervorkommen oder wird in Straßen- und Wegebau eingesetzt. Das Treibhausgaspotenzial variiert dabei zwischen 0,161 und 0,224 kg CO₂ Äq pro kg. Normalbeton mit Bewehrung erzielt einen höheren PERNT – Wert als Stahlbeton.

Abdichtungen haben eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 50 Jahren. Es ist nicht üblich dieser wiederzuverwenden also werden sie meistens verwertet. Polymerbitumenabdichtungen haben einen GWP – Wert von 0,82 kg CO₂ Äq. pro kg und Bitumenspachtelmassen 0,43 kg CO₂ Äq. pro kg.

Rollierung kann unter anderem aus Kies, Schotter oder Schaumglasschotter bestehen. Die Nutzungsdauer variiert zwischen 50 und 100 Jahren. Rollierung gilt als technisches Schüttmaterial und lässt sich unter bestimmten Bedingungen wiederverwenden. Die GWP – Werte von Schaumglas und Blähton betragen zwischen 0,300 und 0,424 [kg CO₂ Äq. pro kg. Schaumglas hat einen doppelt so hohen Versauerungspotenzial wie Blähton und ist auch in der Hinsicht auf die Ressourcennutzung größer.

5. Fazit

Nach näheren Recherchen und Untersuchung im Zuge der Arbeit kann gesagt werden, dass es bei der Ausführung der erdberührten Aufbauten nach Prinzip der Kreislaufwirtschaft noch Luft nach oben gibt. Das ist aber nicht nur spezifisch auf die Bodenplatten und erdberührten Wände bezogen, sondern auf das Bauwesen allgemein.

Durch die Analyse der einzelnen Bauteilschichten, kann gesagt werden, dass es viele Hindernisse hinsichtlich kreislauffähigen Bauens gibt. Die Probleme beginnen bei bereits vorhandenen Bauten. Die Problematik bei Weiternutzung und/oder Sanierung des Bestandes besteht darin, dass damit oft sehr hohe Investitionskosten verbunden sind. Zudem treten oft unvorhersehbare Umstände aufgrund fehlender Dokumentation in der Planung auf. Ein Grund dafür ist, dass in der Vergangenheit viele Schadstoffe zur Produktion eingesetzt wurden, die heutzutage eine Sanierung beziehungsweise eine gerechte Wiederverwendung- und -verwertung deutlich erschweren. Oft fehlen in dem Zusammenhang die nötigen Kenntnisse über die Zusammensetzung der eingesetzten Baustoffe, da nur unzusammenhängende Einzelmaßnahmen durchgeführt wurden.

Zudem stellt sich heraus, dass auch die Kosten der recycelten Baustoffe einen erheblichen Faktor darstellen. Oft entscheiden sich Bauherren für Neuware, weil der Preis der aufbereiteten Baustoffe für Sekundärnutzung genauso hoch oder sogar höher aufgelistet ist. Daher ist es grundlegend, in Zukunft passende steuerliche Rahmenbedingungen für die Primärressourcen zu schaffen.

Die Verbindung der Baustoffe spielt in dem Zusammenhang auch eine große Rolle. Um die möglichen Schichten wiederverwenden und verwerten zu können, müssen diese mit leicht lösbarer Verbindung ausgeführt sei. Da dies in der Vergangenheit kein Thema war, ist es heutzutage nur bedingt möglich die Bauteile bestmöglich zu recyceln. Leider gibt es auf diesem Gebiet noch keine innovativen Lösungen. Ansätze, die verfolgt werden können, sind zum Beispiel die Nutzung von Klebern als Verbindungsmethode oder auch Stoffschlussverbindungen weitgehend zu vermeiden.

Die zukünftige Aufgabe liegt darin, neue innovative Wege zu erforschen, indem einzelne Schichten und daraus resultierend auch ganze Bauteile so zu verbinden sind, dass sie leicht wieder zu lösen sind, um sie wieder in den Kreislauf rückführen zu können.

Die Barrieren beginnen zwar bei Bestandsbauten, jedoch zeigen Neubauten auch deutliche Hindernisse hinsichtlich klimaneutralen Bauens auf.

Mangelndes Wissen über die Aspekte der Kreislaufwirtschaft in der Planungsphase stellt das nächste ausschlaggebende Erschwernis dar. Das Erstellen eines kreislauffähigen Konzeptes für das Quartier, das Gebäude und die Nutzungsphasen sollte eine Grundlage für das ganze Projekt sein. Eine integrale Planung mithilfe von BIM von Anfang hin bis zur Instandhaltung, Sanierung und Rückbau ist notwendig. So wie es Energiepässe gibt, sollten möglichst bald auch Materialpässe eingeführt werden.

Um in Zukunft, Kreislauffähigkeit von Anfang an gewährleisten zu können, müssen entsprechende Ausbildungen angeboten werden. Es ist von höchster Bedeutung die angehenden Planer zu lehren, um die Veränderung schnellstmöglich in Gang zu bringen. Grundsätzlich kann gesagt werden, **dass es auch einfach an Bereitschaft zur Transformation mangelt**. Die jetzigen Teilnehmer an allen baulichen Prozessen sind oft nicht bereit, ihre Gewohnheiten zu ändern und Weiterbildungen in Anspruch zu nehmen.

Kreislaufwirtschaftliche Aspekte sind zudem noch nicht standardisiert und rechtlich verankert. Einerseits gibt es in der Hinsicht noch keine fertigen Textbausteine, andererseits widersprechen diese Ansätze oft den rechtlichen Bestimmungen.

Erdberührte Bodenaufbauten können in der Zukunft nachhaltiger ausgeführt werden. Dafür fehlt aber noch der Stand an Wissen. Der Stand der Technik ist noch nicht so weit. Von großer Bedeutung ist hier die richtige Wahl der Materialien und wie diese miteinander verbunden sind. Durch Forschung wird es künftig möglich sein, ganze Bauteilsschichten wiederverwenden zu können, um die längst mögliche Lebensdauer zu erzielen. Auch die Produktion und Wiederverwertung kann eventuell so gestaltet werden, dass möglichst wenige Schadstoffe dabei ausgestoßen werden und die Umweltauswirkung minimal gehalten wird. Dies sind aber alles nur Spekulationen.

Abschließend ist daher festzustellen, dass der Übergangspunkt von linearen zur kreislauffähigen Wirtschaft **jetzt** erfolgen muss. In Bereichen, in denen es möglich ist, muss jetzt gehandelt werden, in Bereichen mit mangelndem Wissen muss geforscht werden. Vor allem die Menschen müssen den Willen zeigen, etwas ändern zu wollen. Es ist jetzt an der Zeit zu handeln, um die Zukunft zu retten.

Quellenverzeichnis

Literaturquellen

Brand, Stewart: How Buildings Learn: What Happens After They're Built. New York: Verlag Viking Press 1994 (letzter Zugriff: 17.06.2023)

Hauke, Bernard: Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Klimaschutz: Konstruktive Lösungen für das Planen und Bauen - Aktueller Stand der Technik. Berlin: Verlag Wiley 2021 (letzter Zugriff: 17.05.2023)

Hebel, Dirk E/Heisl, Felix/Webster, Ken: Besser - Weniger - Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft. Basel: Verlag Birkhäuser 2022. S.6. (letzter Zugriff: 25.05.2023)

Mezzera, Karl/Riccabona, Christof: Baukonstruktion. Grundlagen des Bauens und Bauelemente. Band 2. Wien: Verlag MANZ 2016 (letzter Zugriff: 25.05.2023)

Mezzera, Karl/Bednar, Thomas/ Riccabona, Christof: Baukonstruktion. Grundlagen des Bauens. Darstellung und Planung, Bauphysik, Baustoffe, Baugrund, Bauelemente, Technischer Ausbau. Band 1. Wien: Verlag MANZ 2015 (letzter Zugriff: 29.05.2023)

Internetquellen

ABC – Disposal - Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung. Hrsg. IBO-österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. In: <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/abc-disposal-assessment-of-buildings-and-constructions-disposal> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Abdichtung von Stahlbetonbauten. In: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/tipps/news-produkte/abdichtung-von-stahlbetonbauten-4797654> (letzter Zugriff: 29.05.2023)

A/V Verhältnis. In: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/a/a-v-verhaeltnis-4424101> (letzter Zugriff: 20.06.2023)

Baubook: <https://www.baubook.at/zentrale/> (letzter Zugriff: 23.06.2023)

Bau – EPD: <https://www.bau-epd.at/> (letzter Zugriff: 23.05.2023)

BauKarussell: <https://www.baukarussell.at/> (letzter Zugriff: 20.06.2023)

Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/aws/bundes_awp/bawp.html (letzter Zugriff: 25.05.2023)

BREEAM. In: <https://bregroup.com/products/breeam/> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:04ca87f4-fd7f-4f1681ec57fca79354a0/BAWP_Statusbericht2021.pdf (letzter Zugriff: 11.04.2023)

Die österreichische Kreislaufwirtschaft: Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html (letzter Zugriff: 17.05.2023)

DoTank Circular City Wien 2020-2030 - Ein 10 Jahres Programm der Baudirektion. In: <https://www.wien.gv.at/bauen/dotankcircularcity/pdf/dtcc30-kurzbeschreibung.pdf> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

EU's circular material use rate increased in 2020. In: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20211125-1> (letzter Zugriff: 14.05.2023)

Extrudiertes Polystyrol (XPS). In: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/extrudiertes-polystyrol-xps-152204> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

FSC: <https://www.fsc-deutschland.de/> (letzter Zugriff: 20.06.2023)

Geschichte & Meilensteine. In: <https://www.umweltdachverband.at/ueberuns/wer-wir-sind/geschichte/> (letzter Zugriff: 15.05.2023)

IBO Ököpass. In: <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/ibo-oekopass> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

ISO 14024: Regeln für eine Zertifizierung durch Dritte. In: <https://tcocertified.com/de/iso-14024/> (letzter Zugriff: 21.05.2023)

Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.circularfutures.at/themen/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 15.05.2023)

LEED rating system. In: <https://www.usgbc.org/leed> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich.
Hrsg. TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign. In:
<https://www.tuwien.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=126876&token=dd9beaf21fd6ef976ad3b743ec7a2b3d84f075ce> (letzter Zugriff: 17.06.2023)

Luftschadstoffe in Österreich. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz,
Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie: In:
https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luftguete/luftguete_oe.html
(letzter Zugriff: 18.04.2023)

ÖGNI. In: <https://www.ogni.at/leistungen/zertifizierung/> (13.06.2023)

ÖGNU. In: <https://www.umweltdachverband.at/> (18.05.2023)

Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft.
Die österreichische Kreislaufwirtschaft. Hrsg. Bundesministerium für
Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In:
https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html (letzter Zugriff: 18.05.2023)

ÖXPS. In: <https://www.oexps.at/> (22.06.2023)

PE. In: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/pe-5515615> (letzter Zugriff:
27.05.2023)

PE-Folien - Recycling für den Einsatz in Neuware. In: <https://www.kunststoffmagazin.de/zerkleinerung-recycling/pe-folien---recycling-fuer-den-einsatz-in-neuware.htm> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

PE – Folien wiederverwenden. In: <https://www.schweizerbauer.ch/politik-wirtschaft/agrarpolitik/bericht-pf-folien-wiederverwenden/> (letzter Zugriff:
28.05.2023)

Pramer, Philip: Böser Beton: Warum Zement der geheime Klimakiller ist. In:
<https://www.derstandard.at/story/2000102411187/boeser-beton-warum-zement-der-geheime-klimakiller-ist> (letzter Zugriff: 25.05.2023)

Recyclingbeton. In:

<https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/betonarten/recyclingbeton-930267> (letzter Zugriff: 29.05.2023)

Recycling von PVC – Belägen. In:

https://www.baunetzwissen.de/boden/fachwissen/_pvc/recycling-von-pvc-bodenbelaeagen-1001843 (letzter Zugriff: 17.06.2023)

Ressourcen im Bauwesen. In:

[https://www.gebaeudeforum.de/wissen/ressourcen-und-emissionen/ressourcen-im-Bauwesen/#:](https://www.gebaeudeforum.de/wissen/ressourcen-und-emissionen/ressourcen-im-Bauwesen/#:~:text=Zwischen%202006%20und%202018%20entstanden,Prozent%20Holzabf%C3%A4lle%20(Destatis%202018).)

[~:text=Zwischen%202006%20und%202018%20entstanden,Prozent%20Holzabf%C3%A4lle%20\(Destatis%202018\).](https://www.gebaeudeforum.de/wissen/ressourcen-und-emissionen/ressourcen-im-Bauwesen/#:~:text=Zwischen%202006%20und%202018%20entstanden,Prozent%20Holzabf%C3%A4lle%20(Destatis%202018).) (letzter Zugriff: 06.04.2023)

Ressourcennutzung in Österreich 2020. Band 3. Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. In:

https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/publikationen/bericht2020.html (letzter Zugriff: 10.06.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. Asbest. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. BTEX - Aromaten. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. Erdberührte Bauteile. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. HBCDD. Hrsg. Bayrisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. KMF. Hrsg. Bayrisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. LHKW. Hrsg. Bayrisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. MKW. Hrsg. Bayrisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. PAK. Hrsg. Bayrisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. Schwermetalle. Hrsg. Bayrisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schadstoffratgeber Gebäuderückbau. PCB und PC. Hrsg. Bayrisches Landesamt für Umwelt. In:

https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/201 (letzter Zugriff: 02.05.2023)

Schneider Ursula/ Böck Margit/ Mötzl Hildegund et al: recyclingfähig konstruieren - Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero. In: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1121_recycling_faehig_konstruieren.pdf. (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Sonja Völler/ Irene Oberleitner/ Astrid Felderer et. al.: Klimawandelanpassung und Biodiversität: Anpassung an den Klimawandel geht mit Naturschutz Hand in Hand. In: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/klimawandelanpassung-biodiversitaet.html (letzter Zugriff: 11.04.2023)

Wayan, Stephan: Aufbau der Bodenplatte ohne Keller. In: <https://www.hausjournal.net/aufbau-bodenplatte-ohne-keller> (letzter Zugriff: 29.05.2023)

Was beinhaltet die ISO 14025? In: <https://ibu-epd.com/faq-items/was-beinhaltet-die-iso-14025/> (letzter Zugriff: 23.05.2023)

Wie recyclingfähig sind textile und elastische Bodenbeläge? In: https://sn-home.de/artikel-record_id-72871-dbname-Wirtschaft.htm (letzter Zugriff: 17.06.2023)

Trittschalldämmung. In: <https://www.obi.at/magazin/bauen/boden/trittschalldaemmung> (letzter Zugriff: 28.05.2023)

TQB-Bewertung. In: <https://www.oegnb.net/tqb.htm> (letzter Zugriff: 13.06.2023)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Prinzip der Kreislaufwirtschaft.....	5
Abb. 2: Definition einer Circular City	13
Abb. 3: Zeitablauf für die Realisierung des DOTANK Circular City Wien 2020 – 2030 – Projektes.	14
Abb. 4: Einfluss der Produktplanung auf die Lebensphasen.	15
Abb. 5: das Schichtenmodell (zuletzt angepasst im Jahr 2018)	16
Abb. 6: Beeinflussbarkeit der Kosten in Abhängigkeit von Lebenszyklusphasen.	18
Abb. 7: österreichisches Umweltzeichen	27
Abb. 8: EPDs der Bau EPD GmbH.....	27
Abb. 9: The International EPD System	28
Abb. 10: Globaler Anteil an Emissionen und Endenergie von Gebäuden und der Bauwirtschaft im Jahr 2019	29
Abb. 11: Die Erdüberlastungstag seit 1971	30
Abb. 12: Jährlicher Zuwachs der Flächeninanspruchnahme in Österreich von 2001 bis 2021	32
Abb. 13: U - Wert und die OI – Klasse des Plattenfundamentes mit Glasschaumgranulat.....	82
Abb. 14: U - Wert und die OI – Klasse eines unterseitig gedämmtes Plattenfundamentes.....	84

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Lebenszyklusphasen von Gebäuden.	17
Tab. 2: Einfluss der Phasen auf die Ressourceneinsparung.....	19
Tab. 3: Aufbau der Bodenplatte in Massivbauweise, nicht unterkellert.	39
Tab. 4: Bewertungsmatrix zur Beurteilung des Entsorgungsweges eines Materials.	40
Tab. 5: Nutzungsdauer von Bodenbelägen, Textilien und Materialien	44
Tab. 6: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Bodenbelägen	46
Tab. 7: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Bodenbelägen	47
Tab. 8: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Bodenbelägen	49
Tab. 9: Nutzungsdauer von Estrichen	51
Tab. 10: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Estrichen	52
Tab. 11: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Estrichen	53
Tab. 12: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Estrichen	54
Tab. 13: Nutzungsdauer von Estrichen	55
Tab. 14: Indikator GWP für die Umweltwirkung von PE - Folien	56
Tab. 15: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von PE - Folien	57
Tab. 16: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Estrichen	57
Tab. 17: Nutzungsdauer von verschiedenen Trittschalldämmungen.....	59
Tab. 18: Indikator GWP für die Umweltwirkung von TSD.....	60
Tab. 19: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von TSD	61
Tab. 20: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von TSD	62
Tab. 21: Materialien und Eigenschaften der Dampfsperren und Dampfbremsen .	63
Tab. 22: Nutzungsdauer der Dampfbremsen	63
Tab. 23: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Dampfsperren	64
Tab. 24: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Dampfsperren	65
Tab. 25: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Dampfsperren.....	65
Tab. 26: Nutzungsdauer von XPS – G Dämmungen.....	67
Tab. 27: Einstufung und Behandlung der XPS – Dämmstoffabfällen	67
Tab. 28: Indikator GWP für die Umweltwirkung von XPS - Platten.....	68
Tab. 29: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von XPS - Platten	68
Tab. 30: Indikatoren PERE, PERM, PERT, PENRE, PENRM und PERNT für die Ressourcenutzung von XPS – Dämmung.	69
Tab. 31: Nutzungsdauer von Massivbaustoffen im Bereich des Sockels	70

Tab. 32: Indikator GWP für die Umweltwirkung von bewehrtem Beton	71
Tab. 33: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von bewehrtem Beton	72
Tab. 34: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von bewehrtem Beton	73
Tab. 35: Nutzungsdauer von Abdichtungen.....	74
Tab. 36: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Abdichtungen	74
Tab. 37: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Abdichtungen	75
Tab. 38: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Abdichtungen.....	76
Tab. 39: Nutzungsdauer von Schüttungen im Bereich des Sockels	77
Tab. 40: Ausschnitt Tabelle der zulässigen Abfallarten für Herstellung des Recyclings – Baustoffe.....	78
Tab. 41: Indikator GWP für die Umweltwirkung von Rollierung	78
Tab. 42: Indikatoren für die Umweltwirkung OD, AP, EP und POCP von Rollierung	79
Tab. 43: Indikatoren für den Ressourceneinsatz von Rollierungen	79