

DIPLOMARBEIT



Re:Use, Re:Duce, Com:pare

-

Verpackungsmaterial in der Architektur

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades des Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karin Stieldorf

E253 - Institut für Architektur und Entwerfen

Eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

Eingereicht von:

Jelena Stojanovic, BSc

Matr.Nr.: 0825038

Hasengasse 28/19, 1100 Wien

Wien, Mai 2021

Kurzfassung

Diese Arbeit erörtert die wesentlichen Eigenschaften von Verpackungsmaterialien in der Architektur. Als Anwendungsbeispiel werden existierende Projekte besprochen, die Verpackungsmaterial als wesentliches architektonisches Material verwenden.

Eine Erklärung der Kreislaufwirtschaft, sowie Betrachtung der Müllproduktion und ihren Branchen gibt Aufschlüsse darüber welchen Stellenwert Verpackungsmaterial, Siedlungs- und Bauabfälle haben.

Anhand einer Ökobilanz an einem Wandaufbau mit definiertem U-Wert wurde ein Materialvergleich erstellt. Es wurde dabei mit dem Eco2soft Tool gearbeitet.

Diese Diplomarbeit zeigt, wie viele Faktoren die Ökokennwerte eines Materials beeinflussen können und, dass Umweltfreundlichkeit wesentlich komplexer ist als man zunächst annimmt. Die Bewertung der Ökobilanz hat ergeben, dass durch den Einsatz von Recycling Materialien gute Ökobilanzen bei den untersuchten Wandaufbauten erzielt werden konnten.

Des Weiteren sind in der Arbeit genauere Aufschlüsse darüber zu finden wie Materialien aus nachwachsenden, fossilen, sowie sekundären Rohstoffen zueinander stehen.

Abstract

This thesis discusses the essential properties of packaging materials in architecture. As an example of application, existing projects are discussed that use packaging material as an essential architectural material.

An explanation of the circular economy, as well as an examination of waste production and its sectors, provides information on the significance of packaging materials, municipal and construction waste.

A comparison of materials was made on the basis of a life cycle assessment of a wall construction with a defined U-value. The Eco2soft tool was used for this purpose.

This diploma thesis shows how many factors can influence the LCA values of a material and that environmental friendliness is much more complex than initially assumed.

The evaluation showed that good life cycle assessments could be achieved for the examined wall constructions by using recycled materials.

Furthermore, the study provides more detailed information on how materials made from renewable, fossil and secondary raw materials relate to each other.

Danksagung

Ich bedanke mich bei Frau Prof. Stiefdorf für die Möglichkeit die Diplomarbeit über dieses sehr aktuelle Thema zu schreiben, sowie die Betreuung und die fachlichen Ratschläge.

Ich danke besonders meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	2
1 EINLEITUNG	7
1.1 PROBLEMSTELLUNG, ZIELDEFINITION UND GLIEDERUNG DER ARBEIT	7
2 KREISLAUFWIRTSCHAFT – RECYCLING – MÜLL	9
2.1 GESCHICHTE DER MÜLLVERWERTUNG	9
2.2 ABFALLWIRTSCHAFTSGESETZ 2002 (AWG)	13
2.3 ALLGEMEINER ÜBERBLICK: WAS IST KREISLAUFWIRTSCHAFT? WIEVIEL MÜLL PRODUZIEREN WIR?	15
2.3.1 LINEARWIRTSCHAFT VS. KREISLAUFWIRTSCHAFT	15
2.3.2 BEGRIFFSDEFINITIONEN	16
2.4 GRENZEN DER LINEARWIRTSCHAFT	18
2.5 MÜLLVERBRAUCH ZAHLEN DATEN FAKTEN	22
2.5.1 BEGRIFFSDEFINITIONEN	23
2.5.2 BEHANDLUNG	26
2.5.3 BAU UND ABRUCHMATERIAL	29
2.5.4 ALLGEMEINER ÜBERBLICK ÜBER DIE VERWERTUNG	31
3 BEWUSSTSEIN ZUR NACHHALTIGKEIT	33
3.1 FRIDAYS FOR FUTURE	33
3.2 ICCP REPORT	34
3.3 ÖKOLOGISCHER FUßABDRUCK	35
3.4 AGENDA 2030 – SUSTAINABILITY GOALS	37
3.5 BAUPRODUKTRICHTLINIE OIB 7	38
3.6 ZERO-WASTE COMMUNITY	39
3.7 GREENWASHING	39
3.8 LEBENSMITTEL	41
3.8.1 ORGANISATIONEN GEGEN DIE LEBENSMITTEL- UND RESSOURCENVERSCHWENDUNG	42
3.9 EXKURS: CORONA PANDEMIE	44
4 KUNSTSTOFF	46
4.1 EINLEITUNG	46
4.2 GESCHICHTE DER KUNSTSTOFFE	47
4.3 UNTERTEILUNG DER KUNSTSTOFFE	49
4.3.1 POLYETHYLENTEREPHTHALAT (PET)	50
4.3.2 WEITERE KUNSTSTOFFVERPACKUNGEN	50
4.4 BIOPLASTIK	53
4.4.1 RECYCLING	55
4.5 VERWENDUNGSBEISPIELE VON PET FLASCHEN IN DER ARCHITEKTUR	56
4.5.1 POLLI BRICK BY MINIWIZ / ECO ARK BY ARTHUR HUANG	56
4.5.2 UNITED BOTTLE	60
5 GLAS	63

5.1	ALTGLASHERSTELLUNG	63
5.2	VORTEILE VON GLAS	64
5.3	WIEDERVERWENDUNG VON ALTGLAS IN DER ARCHITEKTUR	64
5.3.1	EARTHSHIPS	64
5.4	PRODUKTE	65
5.4.1	GLASGRANULATPLATTEN	66
5.4.2	GLASWOLLE	66
5.4.3	SCHAUMGLAS	67
6	ALUMINIUM	69
6.1	VERGLEICH ALUMINIUM UND WEIßBLECH	70
6.2	VERWENDUNG VON TETRA PAK IN DER ARCHITEKTUR	71
7	ALTPAPIER	73
7.1	PAPIERHERSTELLUNG	73
7.2	VERWERTUNG	73
7.3	VERWENDUNG VON ALTPAPIER IN DER ARCHITEKTUR	74
7.4	ZELLULOSEFASERPLATTEN	76
8	BEWERTUNG	79
8.1	ERKLÄRUNG DER KENNWERTE DER ÖKOBILANZ	80
8.2	AUSWERTUNG	85
8.2.1	VERGLEICH DER HAUPTKENNWERTE	86
8.2.2	VERGLEICH DES PRIMÄRENERGIEINHALTS	88
8.2.3	TREIBHAUSGASPOTENTIAL	91
8.2.4	EUTHROPIERUNGSPOTENTIAL	92
8.2.5	VERSÄUERUNGSPOTENTIAL	93
8.2.6	BODENNAHES OZONBILDUNGSPOTENTIAL	94
8.2.7	OZONABBAUPOTENTIAL	95
9	SCHLUSSFOLGERUNG	96
9.1	ZUSAMMENFASSUNG DER ANTWORTEN	96
9.2	SCHLÜSSE AUS DIESER BEWERTUNG	98
9.3	SCHLUSSWORT UND AUSBLICK	99
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	101
11	TABELLENVERZEICHNIS	102
12	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	103
13	LITERATURVERZEICHNIS	106
14	ANHANG	112

1 Einleitung

1.1 Problemstellung, Zieldefinition und Gliederung der Arbeit

Über die Jahre wuchs nicht nur die Bevölkerung, sondern auch der Abfall. Vieles von den Stoffen, die auf Deponien landen benötigen einen sehr langen Zeitraum, um sich zu zersetzen. Sie können giftige Toxine an ihre Umgebung abgeben oder beinhalten seltene Rohstoffe, die schwer extrahiert werden können und somit gehen vor allem bei Elektro-Schrott viele wertvolle Ressourcen verloren. Unser verschwenderischer Lebensstil wird gerne von Umweltkritikern und Medien als Kern des Problems gesehen. Dabei geht es nicht nur um die Ware selbst, die wir kaufen, sondern auch wie diese Ware ankommt und angeboten wird – nämlich verpackt. Ein Großteil des Abfalls, den wir bewusst oder unbewusst produzieren ist Verpackungsmaterial. Da dieser nur einen sehr kurzen Verwendungszeitraum hat, fehlt uns allerdings der Überblick wieviel sich tatsächlich innerhalb eines Jahres an Verpackungsmaterial ansammelt.

In den Medien (Nachrichten und Werbung) wird primär der Verbraucher ermahnt, man solle Müll trennen, weniger aus dem Ausland über das Internet bestellen und umweltfreundlichere Konsumententscheidungen treffen. Man soll zum Bioprodukt aus regionalem Anbau, und lieber zur Glasflasche, als zur Kunststoffflasche greifen. Bilder des Great Pacific Garbage Patch gehen um die Welt und mit dem Mahnenden Finger wird primär der Konsument „angeschwärzt“. Es wirkt als sage dieses Bild „wir sind in dieser Situation weil du das falsche Produkt gekauft hast“. Doch wer produziert die Verpackungen und welcher Teil der Entsorgungskette funktioniert nicht und sorgte dafür, dass diese Packung im Meer landet? Die Frage stellt sich ob durch diese Aufmerksamkeitsverschiebung das Gesamtbild verzerrt wird, da dem Ottonormalverbraucher der Einblick in andere Branchen verhältnismäßig weniger oft gezeigt wird. Medialer Aufruhr zu Großkonzernen entsteht oft erst wenn Skandale aufgedeckt werden oder Umweltkatastrophen passieren.

Aus diesem Grund ist es wichtig zunächst einen neutralen Überblick über die Abfallströme zu zeigen. Kapitel 2 dieser Arbeit bietet eine Einführung in die Thematik der Kreislaufwirtschaft, einen geschichtlichen Rückblick, eine Bestandsaufnahme der Müllströme weltweit, sowie das Müllaufkommen in Österreich werden gezeigt. Es wird erläutert welche Branchen die größten Müllproduzenten sind und welchen Stellenwert hier zum einen die Baubranche und zum anderen Verpackungen bzw. Siedlungsabfälle einnehmen und die Forschungsfrage 1 beantwortet:

1) Welche Branchen sind allgemein die größten Müllproduzenten?

In Kapitel 3 wird der Blick auf die Gesellschaft gerichtet. Aktuelle Themen wie die weltweiten Klima Proteste werden angesprochen, sowie Soziale Organisationen erwähnt, dessen Ziel die Aufklärung zum Thema Ressourcenschonung und Müllreduktion ist.

Verpackungsmaterial kann auf viele Arten recycelt werden. Auch in der Architektur gibt es viele Bereiche für die Verpackungen herangezogen werden können. In den Kapiteln 4 bis 8 werden, die am häufigsten genutzten Verpackungsmaterialien besprochen. Am Anfang des Kapitels erfolgt eine kurze Erklärung über die Materialarten und ihre Herstellung. Danach werden Verwendungsbereich, Recyclingmöglichkeiten und Probleme, die dabei entstehen können (Giftstoffe, zu hoher Ressourcenverbrauch etc.) erörtert.

Zum Schluss folgen Anwendungsbeispiele in gebauten Architekturprojekten, die zumeist experimenteller Natur sind. Ebenfalls werden Baustoffen exemplarisch vorgestellt, die recyceltes Sekundärmaterial beinhalten. Die Materialien, die hier besprochen werden, sind: Plastik, Glas, Aluminium und Altpapier. In diesem Kapitel werden die Forschungsfragen 2 behandelt.

- 2) Welche Beispiele gibt es für Wiederverwendung von Verpackungsmaterial in der Architektur? Wie könnten Verpackungsmaterialien im Gebäudebau in Form von Dämmstoffen verwendet werden?

Gezeigt wird, dass einige Produkthersteller Baustoffe anbieten, die Recycling-Anteile im Material enthalten. Aus diesem Sachverhalt ergab sich folgende Frage

- 3) Welches der verglichenen Materialien ist das „nachhaltigste“? Sind die in dieser Arbeit verglichenen Recyclingdämmstoffe nachhaltiger als Dämmungen aus pflanzlichen oder fossilen Rohstoffen?

Auf der Suche nach der Antwort ob dieser Lösungsansatz umweltschonender ist, wurde mir klar, dass es keine eindeutigen Antworten gibt. Man muss die Parameter genau definieren, um Vergleiche ziehen zu können. Aus diesem Grund wird exemplarisch ein Wandaufbau in Holzrahmenbauweise definiert der als Dämmstoff Materialien verwendet, die aus Recyceltem Sekundärstoff hergestellt sind. In Kapitel 9 werden die Ökobilanzen der in den Kapiteln 4-8 erwähnten Baumaterialien anhand dieses Wandaufbaus miteinander verglichen und bewertet.

Kapitel 10 enthält eine Zusammenfassung der Erkenntnisse, eine Schlussfolgerung sowie Antworten auf die Forschungsfrage 3.

2 Kreislaufwirtschaft – Recycling – Müll

2.1 Geschichte der Müllverwertung

Die Geschichte des Abfalls bzw. der Abfallbeseitigung ist so alt wie die Menschheit selbst. Das Größte Problem war über viele Jahrtausende die Beseitigung des körpereigens produzierten Unrats. Die ersten Kanalisationssysteme gab es in der ägyptischen Hochkultur im Euphrat Tal 3000 v. Chr. Und später in der Indus Zivilisation 2600 - 1800 v. chr. Im heutigen Pakistan. In Europa gab es jedoch bis ins 1. Jhd. n. Chr. (Rom, Cloaca Maxima) keine Kanalisation. [33]

Probleme begannen immer dort wo die Menschen sesshaft wurden und die Bevölkerungsanzahl größer wurde. Früher zogen noch die nomadisierten Jäger und Hirten durchs Land und verließen einen Ort einfach, wenn er zu viel Müll hortete.

Die älteste Form der „Müllentsorgung“ war die Senkgrube. Eine Lücke im Fußboden bzw. eine Falltür bot Platz für so manchen Abfall an und wurde zugeschüttet. Zum größten Teil wurden diese Abfälle vom Wasser fortgetrieben, wenn der Abfall den Wasserspiegel übertrumpfte kam es zu Fäulnisprozessen und somit zu starker Geruchsbelastung und gesundheitlichen Risiken. Nicht selten wurden solche Siedlungen von Seuchen heimgesucht, was oft zu einem raschen Verlassen der Bewohner führte, die sich schließlich einen neuen Siedlungsplatz suchten. Die Rede ist von der ersten bekannten Umweltverschmutzung. Die Mentalität der heutigen Wegwerfgesellschaft ist also viel tiefer und ursprünglicher in uns verankert als vermutet.

Die bis heute günstigste und zugleich älteste Form der Müllentsorgung sind Deponien. Archäologen fanden in Mitteleuropa große Abfallhaufen aus Muschelschalen, die sich auf 5000-2000 v.Chr. zurückdatieren lassen. Eine dieser Deponien soll 320m lang, 65m breit und 8m hoch gewesen sein, also ein Volumen von 200 000m³. Eine regelmäßige Schichtenfolge von Asche und Muscheln zeigt, dass die Abfälle verbrannt wurden sobald die Ausdünstungen unerträglich wurden [33].

Das erste Mal von Recycling wurde zu den Zeiten der ersten Hochkulturen gesprochen. Früher ein sehr unproblematisches Thema denn Abfall war früher aus vorwiegend biologisch abbaubarem Material. Im Alten Jerusalem wurden z.B. Schwebstoffe, die sich in den Bereichen absetzten, wo Kanäle in Teiche mündeten als Dünger für Landwirtschaft verwendet, das vom Schlamm abgezogene Wasser wurde zur Bewässerung von Pflanzen verwendet.

Zu Zeiten des Alten Roms (Kaiser Augustus) wurde die Abfallbeseitigung eine wichtige Aufgabe der Stadtverwaltung. Je höher die Bevölkerungsdichte wurde, umso größer wurden die Probleme mit der Müllverwaltung. Zu Zeiten Kaiser Augustus in Rom betrug die Bevölkerungsdichte 80 000 Einwohner pro Quadratkilometer [33] (bis zu 20 mal höher als heute). Siebenstöckige Gebäude hatten keinen Wasseranschluss oder Toiletten. Menschen, die nicht für den Besuch einer öffentlichen Toilette zahlen wollten, entleerten ihre Nachttöpfe in Stiegenhäusern. Ebenfalls übliche Entsorgungsmethoden waren Misthaufen in Nachbarsiedlungen oder das Kippen aus dem Fenster, was bei teilweise siebenstöckigen Gebäuden, zu erheblichen Körperschäden und auch zum Tod von Passanten führen konnte.

Diese Art der Müllentsorgung hat sich in vielen Europäischen Städten bis ins 19. Jahrhundert erhalten.

Durch die wachsende Bevölkerung verschwanden Gärten und Innenhöfe, was die Tierzucht erschwerte. Dennoch wollten viele Bürger nicht darauf verzichten, was sich schließlich nicht nur zu einem Verkehrsproblem entwickelte, sondern auch ein gesundheitliches Problem wurde. Die Pest durchzog viele Städte Europas in regelmäßigen Abständen. 1350 wurde die Bevölkerung weltweit um knapp ein Drittel dezimiert durch den schwarzen Tod. [33]

Im 14. Jahrhundert unternahm die Stadt Paris verschiedene Aktionen um Herr des Gestanks zu werden, Strafen wurden erhöht, Gesetze erlassen, dennoch empfanden viele, dass es unter ihrer Würde sei sich mit dem eigenen Dreck zu befassen, so entstand im 16. Jahrhundert ein Gewerbe, dass sich gegen Bezahlung mit der Abfallentsorgung befasste. Es war die Geburtsstunde der ersten geregelten Müllabfuhr.

Berlin beschäftigte z.B. sogenannte Gassenmeister. Ihre Aufgabe war es dafür zu sorgen, dass jeder Bürger sich seines Unrats selbst entledigt, wenn jemand dieses aus dem Fenster auf die Straße hinauskippt hatte der Gassenmeister die Erlaubnis den Müll über das Fenster wieder in die Wohnung zu schaufeln.

Neuzeit

Schon damals war die große Schwierigkeit das negative Image der Müllbeseitigung und die Bereitschaft gerne für etwas zu bezahlen dem man sich entledigen wollte. Man zog für diese Arbeiten oft Bettler, Sträflinge und Prostituierte heran mit dem Argument, dass diese die Straße öfter nützen als das gemeine Volk.

Im 19. Jahrhundert suchte die Cholera Europa heim und sorgte dafür das Müllproblem in geordnete Bahnen zu leiten. Häusliche nicht verwertbare Abfälle landeten nach wie vor in Gruben jedoch wurde ab 1890 der Platz für Müllabladeplätze rar. Nachbargemeinden wo diese Abfälle oft abgeladen wurden setzten sich zur Wehr.

Es entstanden sogenannte Kehrrichthügel, die ersten Deponien der Welt. Einer der bekanntesten ist der 15m hohe Kehrrichthügel in Leipzig der später liebevoll als Rosenhügel bezeichnet wurde und mit einem Aussichtsturm gekrönt sogar ein beliebter Touristenhotspot wurde. Noch 1951 wollte man tatsächlich einen 2. Solchen Hügel mit 60m Höhe aufschütten, der als Wintersportarena dienen sollte.

Auch in Hamburg setzten sich Bauern zur Wehr, die nicht vom städtischen Müll mit der Cholera angesteckt werden möchten, sie jagten die Müllwagen wieder zurück in die Stadt, die sonst zum Düngern der Felder verwendet wurden und der Stadt blieb keine andere Wahl als den Müll zu verbrennen. Die erste Müllverbrennungsanlage wurde 1874 in Nottingham gebaut [33] . Die erste Müllverbrennungsanlage in Deutschland wurde 1 Jahr nach Ausbruch der Cholera in Hamburg in Betrieb genommen [33] . Knapp 10 Jahre später wurde auch in Zürich die bis dahin 4. Müllverbrennungsanlage auf dem Europäischen Kontinent gebaut. Die Anlage verfügte über einen Rauchabscheider und die Abwärme wird durch eine Dampfturbine genutzt. Das Nebenprodukt, die Schlacke wurde als **Abfüllmaterial** und **Baustoff** verwendet.

Noch bis hinein ins Jahr 1937 blieben Müllverbrennungsanlagen eher die Ausnahme, ein Beispiel zeigt die Schweiz: von 380 Gemeinden gab es 2 Müllverbrennungsanlagen, 7 Kompostanlagen und die restlichen Gemeinden überließen den Müll hinter Flusssämen oder Seeufern sich selbst, was sich nicht lange danach wieder an den Bürgern rächte, denn mehr als die Hälfte dieser Aufschüttungen gefährdeten nicht nur oberirdische Gewässer, sondern auch 1/3 der Grundwasserströme. Doch erst 20 Jahre später trat das erste Grundwasserschutzgesetz in Kraft, welches die Müllabladung in Gewässer verbat.

Fünziger Jahre bis heutige Zeit

In der Schweiz erlebten Kehrichtkompostanlagen in den Fünfzigern einen erheblichen Aufschwung. Mit dem Konjunkturaufschwung der 60er landeten jedoch immer mehr nicht kompostierbare Materialien wie Kunststoff im Kehricht, der wieder entfernt werden musste. Ende der 70er wurde alles noch schwieriger durch die Frage der Schwermetalle. Im Jahre 1986 wurde die Stoffverordnung für Schwermetallgrenzwerte eingeführt und Kehrichtkompostwerte verschwanden allmählich aus der Schweiz [33].

Seither hat die Entsorgungstechnik erhebliche Fortschritte erzielt. Anforderungen an die Rauchgasreinigung in den KVA wurden mehrmals verschärft und wie noch Anfang der 80er Jahre die KVA einen beträchtlichen Einfluss auf den Schadstoffausstoß genommen hatten sank dieser auf weniger als 1% Belastung mit Ausnahme der Stickoxide. Die Regionale Zusatzbelastung durch ein KVA ist heute kaum noch messbar.

In Österreich dauerte es ca. 40 Jahre von der ersten Materialabfalltrennung bis zum ersten Abfallwirtschaftsgesetz, der Werdegang über die Jahre war wie folgt: 1964 wurde Altpapier getrennt erfasst und ab 1966 wurden Alttextilien im großen Umkreis gesammelt. Fast 10 Jahre später gab es die erste Regranulierungsanlage für Plastik in Österreich und ab 1976 wurde Altglas getrennt gesammelt. Ab 1980 gab es schließlich die erste getrennte Erfassung von Altstoffen durch mehrere karitativen Organisationen. Im Jahr 1990 tritt das erste Abfallwirtschaftsgesetz in Kraft und 3 Jahre später tritt die erste Verpackungsverordnung in Kraft [40]. Im selben Jahr wird die ARA (Altstoff Recycling Austria) als Non Profit Organisation gegründet. Es handelt sich dabei um ein österreichisches Sammel- und Verwertungsunternehmen für Verpackungen [43].

Ebenfalls in den 60ern entstand die erste Müllverbrennungsanlage in Österreich am Flötzersteig in Wien. Die Technische Universität Wien untersuchte zuvor den Heizwert von Müll in Bern. Nach 3 jahrelanger Test Phase in Kooperation mit der MA48, wurde schließlich 1959 mit dem Bau nach Plänen von Josef Becvar begonnen. 1964 wurde die Müllverbrennungsanlage schließlich in Betrieb genommen. Der Standort wurde so gewählt, dass drei nahe gelegene Großkrankenhäuser (Wilhelminenspital, Pulmologisches Zentrum Baumgartnerhöhe, Psychiatrische Klinik Steinhof), sowie das Ottakringer Bad mit der entstehenden Wärme beheizt werden können. Jährlich werden dort 200 000 Tonnen Restmüll aus Wien in 430 000 MWh Fernwärme verwandelt [41].

1971 wurde schließlich die wohl bekannteste Müllverbrennungsanlage in Österreich gebaut, die va. das allgemein Medizinische Krankenhaus versorgt. Zunächst nur als karger Industriebau bekannt wurde die Müllverbrennungsanlage Spittelau nach einem Großbrand 1987 wieder neu aufgebaut. Helmut Zilk wollte, dass die Anlage den Bürgern freundlich begegnen soll und da die Müllverbrennung eine der umweltfreundlichsten Maßnahmen zur Müllentsorgung ist konnte er den Künstler und Umweltschützer Friedrich Hundertwasser zu einem Entwurf überzeugen, den er übrigens ehrenamtlich machte. 1992 war der Umbau abgeschlossen und bis heute ist die Anlage mit ihrem goldenen Turm nicht nur ein Wahrzeichen Wiens, sondern ein großartiges Beispiel wie Industrie, Kunst, und Umweltbewusstsein harmonisch kombiniert werden können. Jährlich werden dort 250 000 Tonnen Haushaltsabfall verbrannt, was ca. 132kg Pro Wiener jährlich entspricht. Dieser jährliche Abfall wird in 40 000MWh Strom und 470 000 MWh Fernwärme umgewandelt [42].



**Abbildung 1 (links) Müllverbrennungsanlage Flötzersteig [6],
Abbildung 2 (rechts) Müllverbrennungsanlage Spittelau - Selbsterstellt**

Dieser geschichtliche Rückblick zeigt, zum einen, dass Müllprobleme proportional zur Bevölkerungsdichte sind, und zum anderen, dass man sich nicht der Verantwortung entziehen kann ein System für die Abfallbeseitigung oder Verwertung zu schaffen, da sonst fatale Folgen entstehen. Sich stets mit dem Endscenario zu befassen ist früher oder später essenziell.

2.2 Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG)

Die Kompetenzverteilung in der Abfallwirtschaft ist in Österreich im groben folgende:
Der Bund ist zuständig für gefährliche Abfälle und Altöle, während die einzelnen Länder für alle nicht gefährlichen Abfälle zuständig sind.

Ziele

Das Abfallwirtschaftsgesetz, kurz AWG wurde 2002 aufgestellt, die Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes beinhalten:

- 1) Schutz für Menschen, Tiere und Pflanzen (Schädliche Einwirkungen so gering wie möglich halten)
- 2) Luftverschmutzung so gering wie möglich halten (Emissionen von Luftschadstoffen)
- 3) Ressourcenschonung (Wasser, Rohstoffe, Energie)
- 4) Stoffliche Verwertung von Primärrohstoffen (Stoffe die kein höheres Gefährdungspotential aufweisen)
- 5) Abfälle die zurückbleiben sollen keine Gefährdung nachfolgender Generationen darstellen (Ablagerung, Deponie, etc.)

Die Grundsätze des AWGs sind:

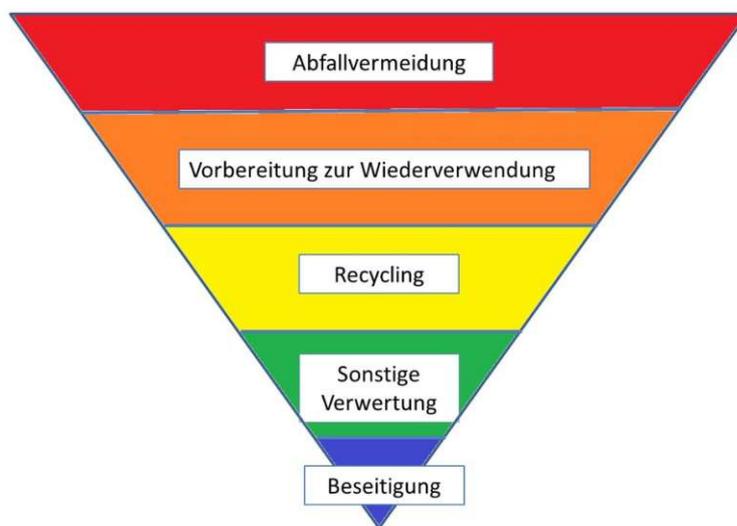


Abbildung 3 Grafik Hierarchie Grundsätze AWG [40]

- 1) Abfallvermeidung - Abfallmengen sollen so gering wie möglich gehalten werden.
- 2) Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling – Abfälle sollen sofern es ökologisch zweckmäßig ist soweit wie mögliche wiederverwendet werden.
- 3) Recycling: das Ziel des Recyclings ist es Stoffkreisläufe zu schließen, jedoch ist auch hier zu beachten, dass dies nicht um jeden Preis stattfinden kann oder soll. Bedingungen die hier beachtet werden sind folgende:
 - technische Machbarkeit
 - Wirtschaftlichkeit - Entstehende Mehrkosten werden mit anderen Abfallbehandlungen verglichen und abgewogen
 - ein vorhandener Markt für die neu gewonnenen Stoffe und Produkte

- 4) Sonstige Verwertung: Abfälle, die nicht verwertbar sind sollen soweit wie möglich durch biologische, Thermische, Chemische, oder Physikalische Einwirkung zersetzt und beseitigt werden
- 5) Beseitigung – als letzte Lösung wird hier die Deponierung gesehen. Hierbei werden feste Rückstände möglichst reaktionsarm und konditioniert geordnet abgelagert.[40]

Österreich gilt als weltweiter Vorreiter im Recycling. Firmen und Organisationen wie die ARA Altstoffrecycling, PET to PET, APR Austria Papier Recycling GmbH ermöglichen es Abfälle in neue Produkte umzuwandeln. Die Zusammenarbeit mit der MA48 sorgt für die entsprechende Infrastruktur um die Stoffe sammeln und trennen zu können. Interessant ist ebenfalls, dass sich die meisten Recyclinganlagen in Wien Umgebung befinden, also dort wo die Populationsdichte am höchsten ist.

Recycling ist in diesem Maße nur möglich wenn auch eine entsprechende Infrastruktur gegeben ist. In Dritte-Weltländer fehlen solche Anlagen oft weshalb dort die Deponierung die primäre Müllentsorgung darstellt. Oft löst dies einen Domino-Effekt aus, und die dadurch entstehende Umweltverschmutzung sorgt zusätzlich für Erkrankungen der Bewohner und schlechtere Lebensqualität.

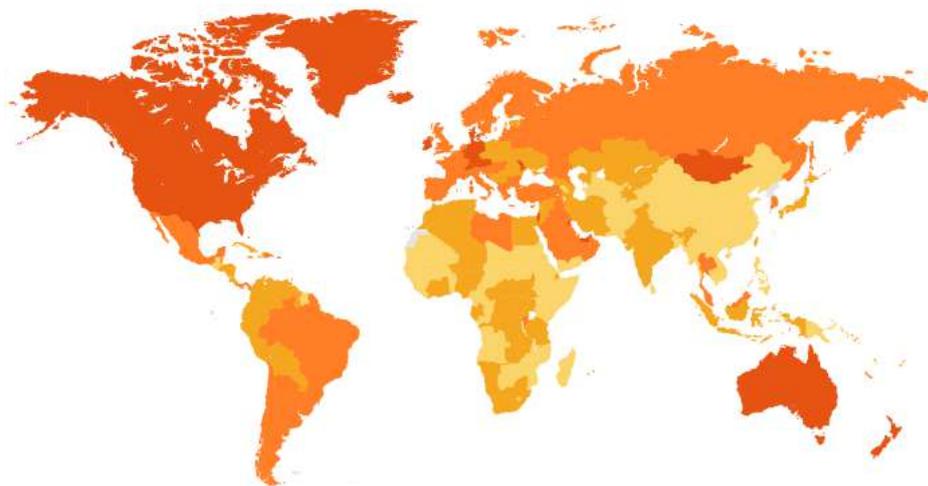
Die Mülldeponierung ist die gängigste Form der Müllbeseitigung weltweit, da sie die günstigste ist und vergleichsweise die geringste Wartung bedarf. Aus diesen Gründen wird sie in vielen Ländern für unsortierten Restmüll als primäre und manchmal sogar einzige Form der Abfallbeseitigung gesehen.

Die Deponierung steht dort nicht am Ende der Pyramide. Ebenfalls darf nicht außer Acht gelassen werden, dass diese Länder auch weniger Haushaltsmüll produzieren. Der „Wohlstand“ eines Landes hängt also mit seiner Müllproduktion zusammen.

Wohlstand und Müll

Müllproduktion pro Kopf und Tag in 2016

■ < 0,5 kg
 ■ 0,5-1 kg
 ■ 1-1,5 kg
 ■ > 1,5 kg
 ■ keine Daten



info.BILD.de | Quelle: Plastikatlas 2019, Weltbank

Abbildung 4 Müllproduktion pro Kopf und Tag in 2016 – Weltweiter Vergleich, [19]

2.3 Allgemeiner Überblick: Was ist Kreislaufwirtschaft? Wieviel Müll Produzieren wir?

2.3.1 Linearwirtschaft vs. Kreislaufwirtschaft



Abbildung 5 Linearwirtschaft – eigene Darstellung

Wir leben zurzeit vorwiegend in einem Wirtschaftssystem, das linear arbeitet, die sogenannte Wegwerfgesellschaft. Ressourcen werden an einem Ort entnommen, zu Produkten verarbeitet, gekauft und schließlich weggeschmissen. Die wertvollen Rohstoffe auf der einen Seite werden immer knapper und die Müllberge auf der anderen Seite immer größer.

Auch als Durchlaufwirtschaft bezeichnet, entsteht durch dieses System somit eine doppelte Belastung für die Natur, die in weiterer Folge Lebensgrundlagen des Menschen zerstören.

Die Nachteile, die sich aus dieser Wirtschaftsform ergeben sind:

- Umweltbelastung durch Deponien: Deponiegas und Sickerwasser → Gesundheitsrisiko durch Luft und Wasserverschmutzung
- Schadstoffbelastung durch Transport → CO₂ Emissionen → Treibhausgaseffekt → Klimaveränderung
- Verknappung von primären Rohstoffen → Potentielle Sekundärstoffe gehen auf Deponie verloren
- Verknappung von Deponieflächen → gleichzeitiges Bevölkerungswachstum

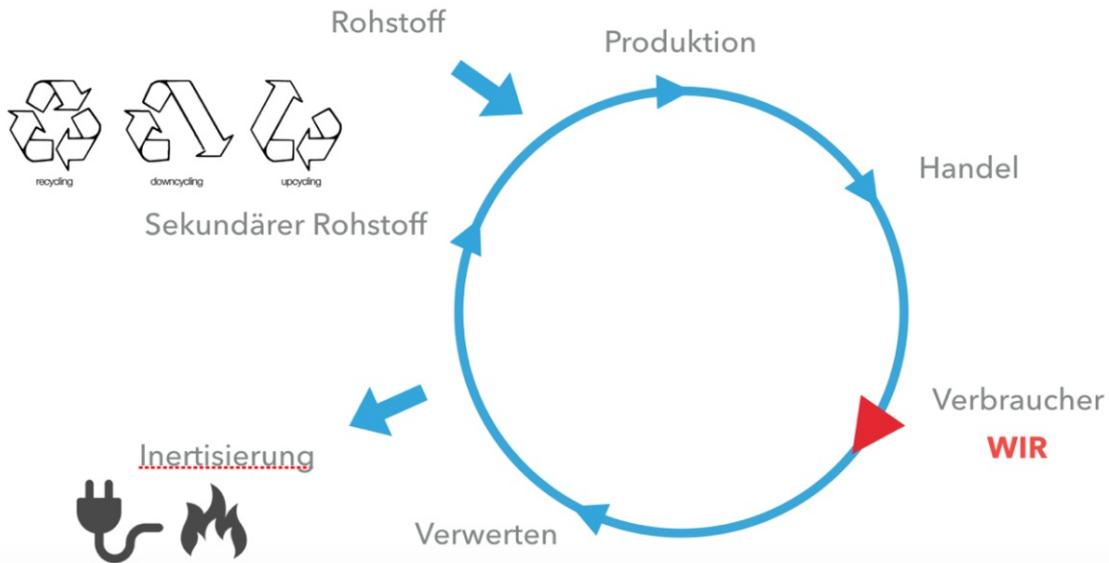


Abbildung 6 Kreislaufwirtschaft

Der Kerngedanke der Kreislaufwirtschaft besteht aus Schonung und Effizienter Nutzung der Ressourcen, sowie Recycling. Zusammengefasst, soll möglichst wenig der Natur entnommen werden. Das was entnommen wurde soll möglichst effizient genutzt werden und möglichst lange im Nutzungskreislauf bleiben. Schlussendlich soll im besten Fall erreicht werden keinen Abfall zu haben, denn das Endprodukt soll dem Kreislauf wieder zugeführt werden, entweder als materielle Ressource oder in Form von Energie (Verbrennung).

Als Vorbild sieht sie den Stoffkreislauf der Natur, in dem Ressourcen geschont und effizient genutzt werden. Die Abfallprodukte werden als Ressource verstanden und dem Kreislauf wieder zugefügt und wiederverwendet. Die Wiederverwendung ist der Entsorgung stets vorzuziehen. Nicht-wiederverwertbare Abfallprodukte entstehen allerdings auch hier, jedoch sind diese wesentlich geringer als in der Durchlaufwirtschaft. Idealerweise werden auch weniger Rohstoffe verbraucht, weshalb dieses System wesentlich umweltschonender ist.

„Um diese Entwicklung in vernünftige Bahnen zu lenken, sind alle gefordert. Die Politik kann den Rahmen vorgeben, die Herausforderung dabei liegt jedoch vor allem bei der Wirtschaft in Bereichen der Produktion bzw. Reduktion und des Handels, aber auch bei den Verbrauchern in der Wahl ihrer Konsumform.“ [45]

2.3.2 Begriffsdefinitionen

Recycling

Recycling steht für Wiederverwertung oder Wiederaufbereitung. Laut dem deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz wird Recycling so verstanden, dass Abfälle zu Erzeugnissen Materialien oder Stoffen so aufbereitet werden, dass sie für den Ursprünglichen oder einem anderen Zweck verwendet werden, nicht jedoch zur energetischen Verwertung (z.B. Energieerzeugung durch Verbrennung).

Der Unterschied zur Wiederverwendung ist der, dass bei Wiederverwendung der Ausgangsstoff nicht als Abfall deklariert wird. Abfall wird nämlich aus dem Kreislauf entnommen und entsorgt (Deponie oder Verbrennung). Bei der Wiederverwertung wird der Abfall dem Kreislauf als Rohstoff wieder zugeführt [44].

Upcycling

Beim Upcycling werden ähnlich wie bei einem Ready-Made¹ ein oder mehrere nicht mehr genutzte Produkte in ein neues Produkt umgewandelt. Der Vergleich zum Ready-Made wurde deshalb gewählt, weil es oft zu einer Zweckentfremdung des Ursprungsgegenstandes kommt. In manchen Fällen ergibt sich dadurch sogar eine Wertsteigerung. Als Beispiel für die Wertsteigerung kann das Trink-Set von „Once Upon a Bottle“ verstanden werden. Das Trink-Set wurde aus 5 Flaschen erzeugt und hat einen Wert von .49€. Das Verpackungsmaterial selbst würde zusammen ca. 2,7€ kosten, man hat somit eine Wertsteigerung um das 18 Fache durch einen „einfachen“ Schnitt und das Schleifen der Ränder.

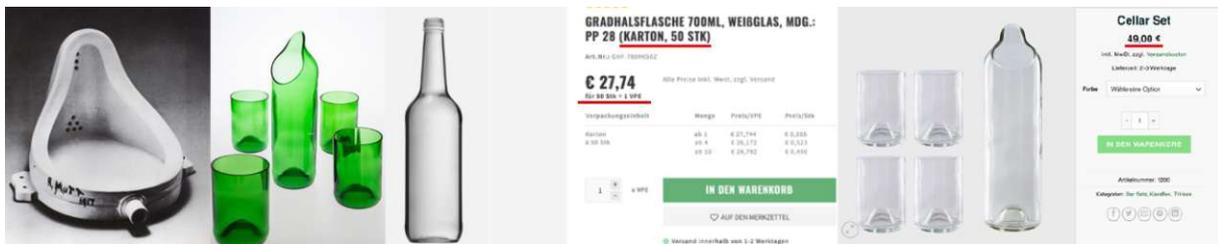


Abbildung 7 Beispiele Für Wertsteigerung Vergleich Ready-Made von Duchamps und Upcycling Product von Once-Upon-a-Bottle, [20]

Downcycling

Das „down“ im Wort Downcycling kommt daher, dass auf eine Art recycelt wird, bei der das aufbereitete Material bzw. Produkt eine schlechtere Qualität aufweist als das Ausgangsmaterial. Gerade bei Kunststoffen ist die Schwierigkeit die verschiedenen Kunststoffarten sortenrein zu trennen groß. Deshalb entstehen aus dem Downcycling meist Produkte, die keine besonders hohen Anforderungen erfüllen müssen.

Diese Qualitätsminderung, die leider in vielen Branchen sehr präsent und nimmt einige Probleme mit sich. Besonders die **Baubranche** wird mit großen Herausforderungen konfrontiert. Durch die Qualitätsminderung entsteht auch eine Verkürzung der Nutzungsdauer, durch häufigere Sanierungen, wodurch sich wieder Instandhaltungs- und Reparaturkosten erhöhen. Nicht bei jedem Material entsteht ein Downcycling bei der Wiederverwendung. Aluminium weist z.B. großartige Recycling Quoten auf und kann praktisch endlos recycelt werden mit minimalen Qualitätseinbußen.

¹ Ready-Made – zu einem Kunstobjekt erklärter Alltagsgegenstand. Marcel Duchamp ist einer der bekanntesten Ready Made Künstler

Urban Mining

Im Urban Mining wird die Stadt als Rohstoffquelle betrachtet. Speziell sind dabei die vom Menschen entstandenen Lagerstätten wie Deponien oder Gebäude gemeint. Ein Intelligenter Umgang mit Ressourcen und Sekundärstoffen soll erzielt werden indem bereits das Design des Produktes so angelegt ist, dass sich diese wertvollen Stoffe leicht extrahieren lassen[81] .

Urban Mining stützt sich auf 4 Grundpfeilern:

- Produkte so gestalten, dass eine langfristige Mehrfachnutzung möglich ist. (z.B. leichte Trennung und Zerlegbarkeit in Einzelstoffe)
- Ressourcenkataster - Bewahrung der Stofflichen Information (Zusammensetzung und Menge) um die Wiederverwendung zu erleichtern.
- Prospektion – Suche und Erkundung neuer Lagerstätten
- Weiterentwicklung und Erforschung neuer Hightech Lösungen zur Trennung und Rückgewinnung der Stoffe.

2.4 Grenzen der Linearwirtschaft

Vor der eigenen Haustür kehren



Abbildung 8 Illegale "Recyclinganlage" in Jenjarom, Malaysia [48]

Leider landen nicht in allen Ländern die Stoffe, die so sorgfältig von den Bürgern in die entsprechenden Tonnen geschmissen werden, auch in Recycling Anlagen. Berichte von CNN zeigen, dass in Ländern wie Malaysia ein Illegaler Recyclingmarkt entstanden ist. Müll wird günstig angekauft und landet schließlich auf Deponien oder wird ohne jegliche toxischen Filter verbrannt. Die illegalen Briefkastenfirmen machen riesige Gewinne, während das Grundwasser der malaysischen Bevölkerung verschmutzt wird. Vielen Kanadiern und Australiern ist das nicht Bewusst. Durch diverse Dokumentationen wird versucht für Aufklärung zu Sorgen und auch die malaysische Regierung versucht viele dieser illegalen Einrichtungen zu schließen [47]. Eine Sinnvolle dauerhafte Lösung ist, dass jedes Land seinen Müll innerhalb seiner Grenzen behandelt.

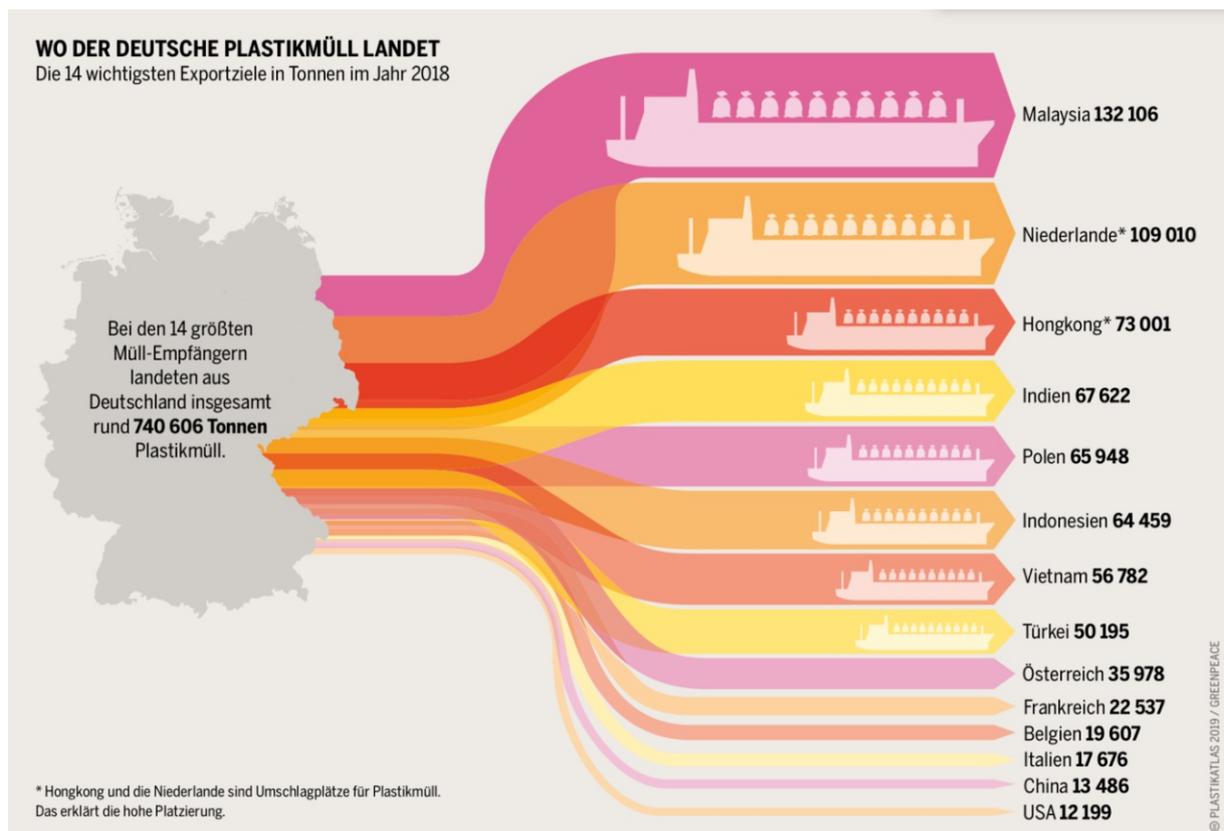


Abbildung 9 Müllexport Deutschland [21] Eberle, Ulrike; Jepsen, Dirk; Volz, Suzanne; Ausberg, Laura; Reintjes Norbert:

Die deutsche Bevölkerung trennt ihren Haushaltsmüll gerne und gründlich, jedoch wissen die wenigsten, dass nur ein Drittel dessen was im „gelben Sack“² landet, auch tatsächlich recycelt wird. Der Rest wird in Müllverbrennungsanlagen verbrannt und in Energie verwandelt, jedoch gibt es mehr Müll als Verbrennungsanlagen und oft ist der Export in andere Länder lukrativer als die Müllverbrennung. Zwar leitete China 2019 den Import-Stopp für Plastikmüll ein, jedoch entschied sich Deutschland einen anderen günstigen Abnehmer in Asien zu suchen, statt neue Recyclinganlagen zu bauen, denn der Verkauf von Müll ist gewinnbringender. So geschah es, dass Malaysia einer der Hauptmüllabnehmer Deutschlands wurde wie in Abbildung 9 zu sehen ist.

² Transparenter Behälter zur Haushaltsnahen Sammlung von Leichtverpackungen

Über mehrere Jahrzehnte wurde fast die Hälfte des globalen Plastikmülls nach China transportiert. Mit dem Importstopp verlagerte sich das Problem allerdings nur in die Nachbarländer, denn der Export sei zu lukrativ für die Firmen. Entsorgungsfirmen zahlen im Durchschnitt 150 Euro pro Tonne Müll, während sie beim Export nach Asien sogar Gewinn machen. Dort ansässige Firmen kaufen nicht nur den Müll, sondern bezahlen auch den Transport. In Asien angekommen wird dieser für einen geringen Lohn von Menschen händisch sortiert und schließlich an die umliegende Industrie als Rohstoff weiterverkauft. Abgesehen vom CO₂ Abdruck, der beim Transport entsteht, wäre das ein grundsätzlich guter Kreislauf allerdings gibt es Kriminelle, die sich in diesen Kreislauf einschleusen und die Reste des angekauften Abfalls nicht ordnungsgemäß entsorgen. Es entstehen illegale Deponien wie in Abbildung 8 zu sehen ist.

Der Müllexport in andere Länder ist erlaubt, sofern diese ihn rechtmäßig verwerten. Der transportierte Abfall wird dann automatisch als recycelt gezählt und bei der Recyclingquote einbezogen. Ob diese Quote allerdings der Realität entspricht ist fragwürdig, vor allem wenn man bedenkt, dass einige dieser Firmen den Restmüll, der nicht wiederverwertet werden kann, illegal verbrennen oder deponieren und damit die Umwelt und Gesundheit der malaysischen Bevölkerung gefährden. Die Reporter haben auf der zwei Hektar großen illegalen Deponie in Jenjarom Lebensmittelverpackungen aus Deutschland gefunden [49]. Die betreffenden Firmen wurden um Stellungnahme gebeten, bestätigten aber, dass sie Ihre Verpackungen innerhalb Deutschlands recyceln und deshalb den Sachverhalt nicht nachvollziehen können.

Es wird klar, dass sobald der Export ins Ausland ins Spiel kommt die Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Abfallströme und Recyclingquoten schwinden und sich das Problem nicht verbessert, sondern nur verlagert. Aus diesem Grund ist die Entsorgung und Wiederverwertung **vor Ort** unerlässlich. Ein noch besserer Ansatz ist es das Problem an der Wurzel zu packen und den Müll in erster Linie allg. zu verhindern oder zu minimieren.

Was bei Abbildung 10 ins Auge fällt ist, dass Deutschland auch nach Österreich Müll zum Recycling transportiert. Wie diese Müllströme aussehen zeigt die nachstehende Grafik:



Abbildung 10 Müllexport Österreich, [21] Eberle, Ulrike; Jepsen, Dirk; Volz, Suzanne; Ausberg, Laura; Reintjes Norbert:

Zu sehen ist, dass Österreich mehr Plastikmüll importiert, als es exportiert. Gründe dafür sind nicht nur, dass Österreich ein gut ausgebautes Netz an Recyclinganlagen und Müllverbrennungsanlagen besitzt, sondern auch, dass der Verkauf und Ankauf von Müll ein lukratives Geschäft ist, dass weltweit betrieben wird.

Wenn man den gesamt Müllexport betrachtet wird auch hierzulande mehr Müll exportiert als importiert. Wohin die österreichischen Müllströme laufen zeigt Abbildung 11.

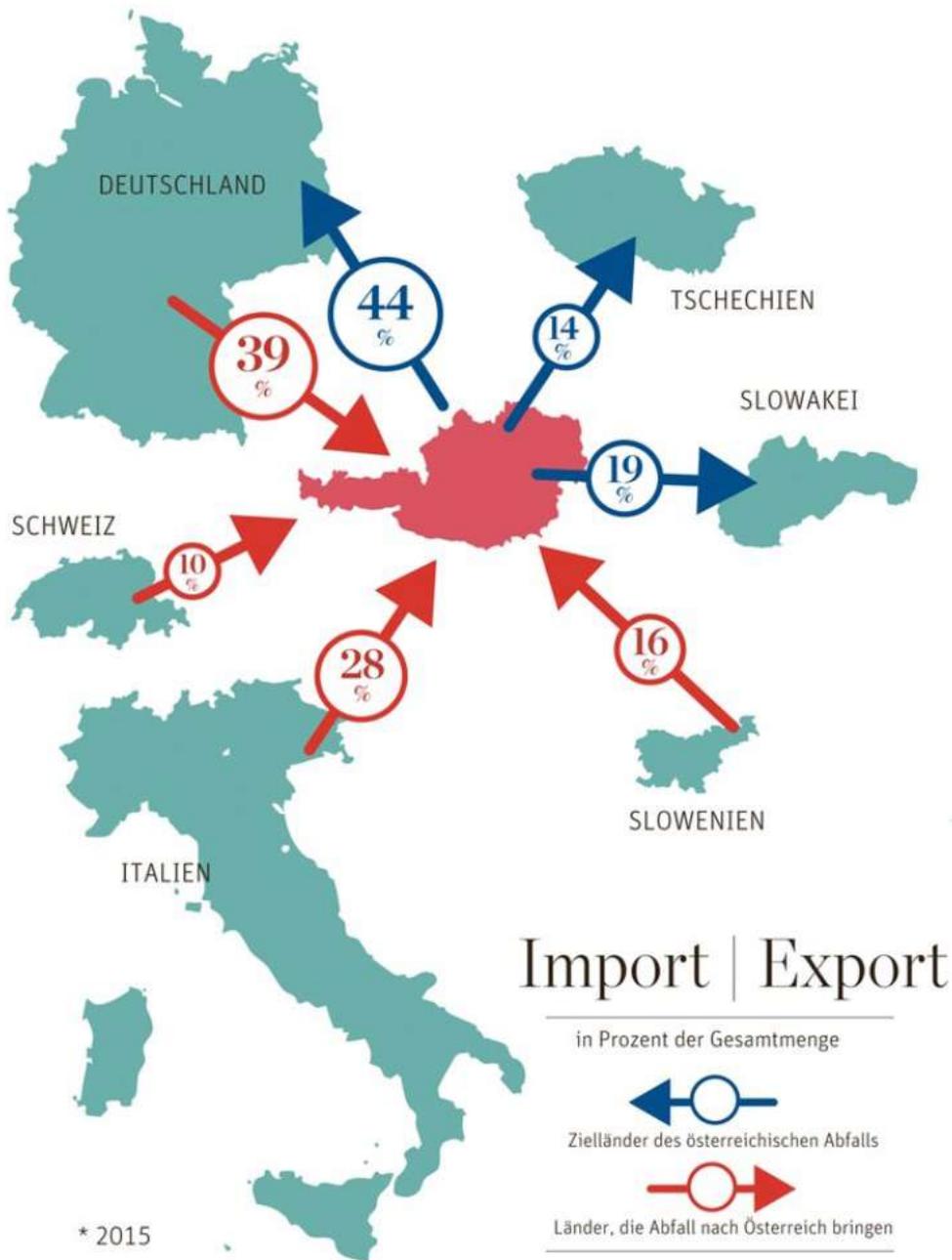


Abbildung 11 Müllströme Export Österreich [53]

2.5 Müllverbrauch Zahlen Daten Fakten

1, 3 Billionen Tonnen an festen Siedlungsabfällen werden jedes Jahr Weltweit von Städten produziert, Tendenz steigend [35]. Eine astronomische Ziffer, die schwer vorstellbar und noch schwerer zu Vergleichen ist. Auch kommen diese großen Zahlen beim Ottonormalverbraucher nicht wirklich an. Schnell kommt die Frage auf „Was hat das mit mir zu tun?“. Um diese Frage besser beantworten zu können und auch allgemein einen besseren Überblick in die Thematik zu bekommen, wird in diesem Kapitel der Müllverbrauch einer Person pro Jahr in Österreich zusammengefasst. Weiteres werden diese Zahlen visuell veranschaulicht und verglichen.

In diversen Zeitungsartikeln wird oft an einen weniger verschwenderischen Lebensstil appelliert indem der Ottonormalverbraucher über seinen Konsum und die Abfallproduktion informiert wird. Allerdings fehlt einem oft die Relation zu diesen Zahlen. Es ist durchaus eine gute Idee, jedoch wäre es nahe liegend sich zuerst einen Überblick über die gesamte Situation zu verschaffen. In diesem Kapitel werden vor allem Siedlungsabfälle und **Baurestmassen** und dabei entstehende **Aushubmaterialien** betrachtet. Die Daten dieses Kapitels wurden dem Statusbericht 2020 der Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich entnommen. Hier werden die Entwicklungen des Abfallaufkommen von 2015 – 2018 verglichen. Die Aussagen in diesem Kapitel beziehen sich auf diesen Vergleich [51].

Gesamtabfallaufkommen

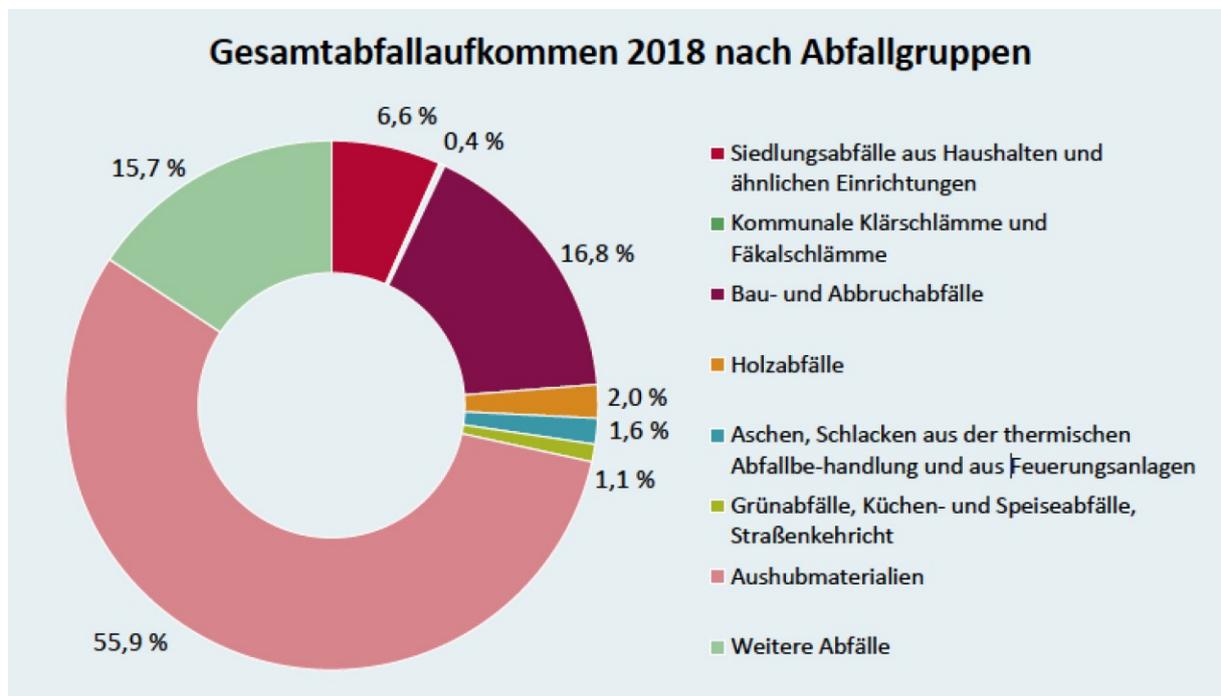


Abbildung 12 Gesamtabfallaufkommen nach Abfallgruppen [51]

Vor allem die Aushubmaterialien sind um 13% gestiegen (37,14 Mio. t im Jahr 2018). Auch die Abfälle aus dem Bauwesen sind um 11% (11,14 Mio. t im Jahr 2018) gestiegen. Diesen Anstieg haben vor allem große Bauvorhaben zu verbuchen wie z.B. der Bau des Semmering und Brenner- Basistunnels durch die ÖBB.

Bei Siedlungsabfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen betrug der Anstieg 6%. Insbesondere stieg die getrennte Sammlung von Glas, Metall und Kunststoffverpackungen im Haushaltsbereich um 4% an (419 100t im Jahr 2018).

Abbildung 12 zeigt, dass Aushubmaterialien mehr als die Hälfte des Gesamt-Abfall-Aufkommens beträgt. Circa ein Drittel bestimmen Bau und Abbruchabfälle, sowie Kommunale Klär und Fäkalschlämme und nur 6,6% kommen aus Siedlungsabfällen von Haushalten und ähnlichen Einrichtungen. Aushubabfall entsteht überall dort, wo Neues gebaut wird, somit liegt die **Baubranche** ganz klar an der Spitze der **Müllproduzenten**.

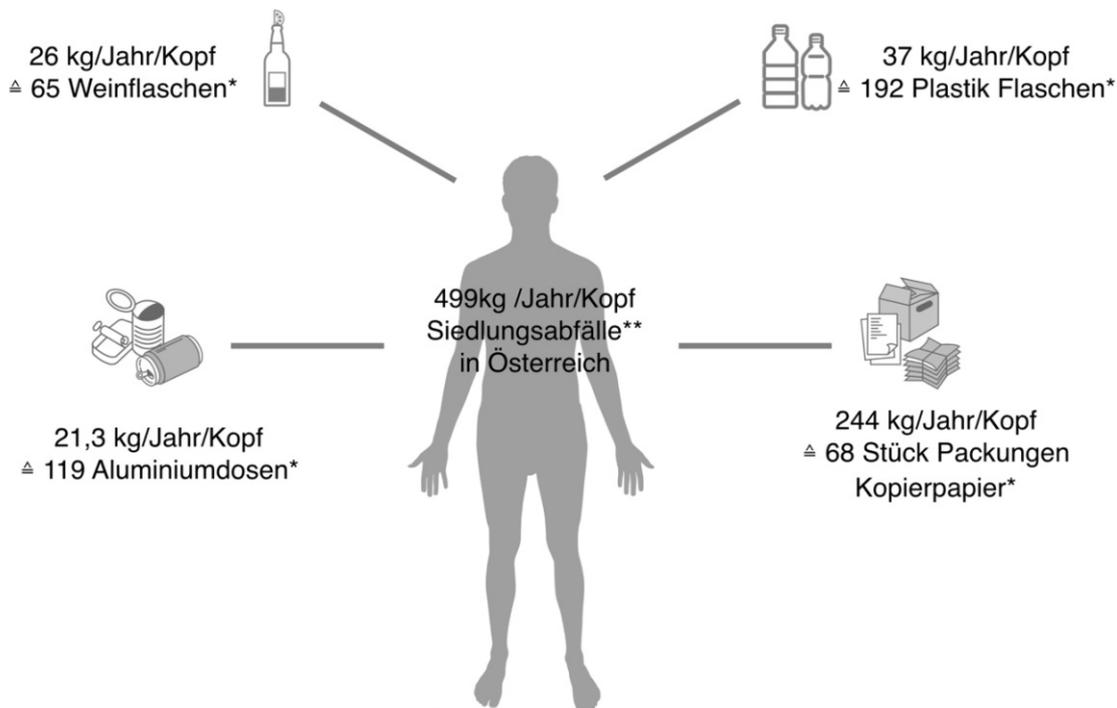
2.5.1 Begriffsdefinitionen

2.5.1.1 Siedlungsabfälle

Als Siedlungsabfälle werden lt. AWG 2002 alle Abfälle aus privaten Haushalten, Schulen, Kindergärten, öffentlichen Gebäuden und ähnliches bezeichnet. Gemischte Siedlungsabfälle bezeichnen Abfälle, die nur aus privaten Haushalten entstehen.

Siedlungsabfälle setzen sich im Allgemeinen aus Sperrmüll, biogene Abfälle, Problemstoffe, Elektrogeräte, Altbatterien und Altstoffe zusammen.

Besonderes Augenmerk wird in dieser Arbeit auf die Altstoffe gelegt. Diese Kategorie beschreibt vor allem Verpackungen wie Altpapier, Altglas, Altmetall, Altkunststoffe, Alttextilien usw.



*0,75l Weinflasche: 400g, 0,5l Aluminiumdose: 16g, 1,5l Plastikflasche 19,3g, 500 Blatt Packung Kopierpapier: 2,5kg

** Siedlungsabfälle beinhalten sowohl Abfälle aus privaten Haushalten (gemischter Siedlungsabfall), sowie Abfälle aus öffentlichen Einrichtungen wie Schulen, Kindergärten, Gastronomie, Tourismus, usw.

Abbildung 13 Siedlungsabfälle Verpackungen pro Kopf pro Jahr

Aufkommen

Im Jahr 2018 betrug die Menge der gemischten Siedlungsabfälle 1,46 t. Die Ziffern variieren stark von 72kg pro Einwohner in Vorarlberg und 282kg pro Einwohner in Wien.

Interessant ist auch die Entwicklung von 1991 bis 2018, zu sehen in Damals wurde die Verordnung des getrennten Müllsammelns wirksam und zu sehen ist eine starke Abnahme des Müllaufkommens. Danach stieg das Müllaufkommen stetig an (Zunahme von 5,8%), während die Bevölkerung um 6,2% wuchs und auch heute sind wir immer noch unter dem Wert von 1991.

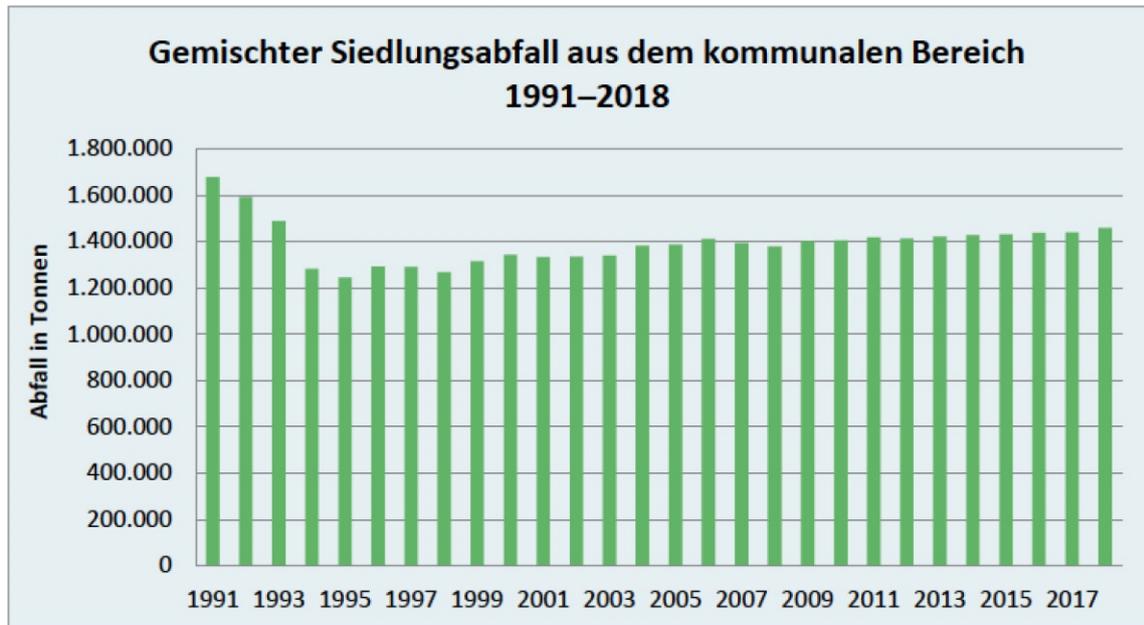


Abbildung 14 Abfallaufkommen Siedlungsabfall – Gemischter Siedlungsabfall aus dem kommunalen Bereich 1991 – 2018 [51]

Der Sperrmüll gibt Rückschlüsse darauf wie das Wachstum des Lebensstandards und die Verkürzung der Nutzungsdauer von Konsumgütern die Abfallmengen beeinflusst. Sperrmüll bezeichnet Abfall, der nicht in Containern entsorgt werden kann, sondern zu Sammelzentren gebracht werden muss wie z.B. Möbel. In der nachstehenden Grafik ist die Zunahme des Sperrmülls aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen zu sehen.

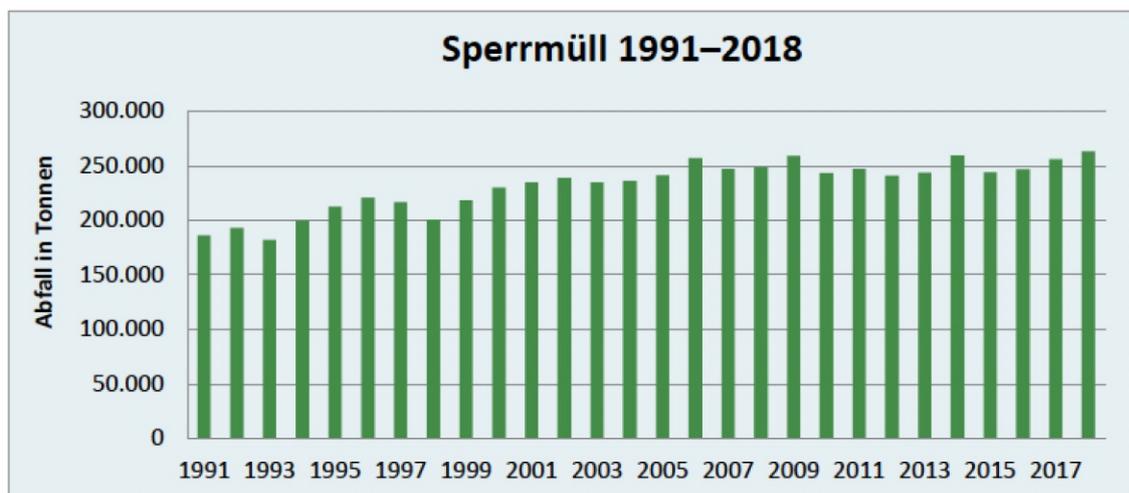


Abbildung 15 Sperrmüll 1991 – 2018 [51]

Im Jahr 2018 fielen 4,4 Mio. t Siedlungsabfälle an, das entspricht einer Menge von 499kg Pro Person. Interessant dabei ist, dass sich die Unterschiede der einzelnen Bundesländer aus Abfallsammelsystemen, Zweitwohnsitzen und Tourismus ergeben. Die nachstehende Tabelle gibt einen kurzen Überblick.

Bundesländer	Aufkommen [t]	Aufkommen [kg/EW]
Burgenland	168.338	575
Kärnten	243.919	435
Niederösterreich	898.595	537
Oberösterreich	758.420	513
Salzburg	280.553	506
Steiermark	594.275	479
Tirol	391.007	520
Vorarlberg	142.139	362
Wien	902.006	477
Ohne regionale Zuordnung	28.434	3
Österreich (gerundet)	4.407.686	499

Tabelle 1 Abfallaufkommen pro Person Bundesländer Österreich [51]

Die größte Menge an Abfall Produzieren die Bundesländer mit der höchsten Einwohnerzahl, nämlich Wien und Niederösterreich. Das höchste Müllaufkommen Pro Kopf ist jedoch in einem der Bundesländer mit der geringsten Einwohnerzahl, nämlich das Burgenland. Eine Erklärung dafür könnte der Tourismus geben, denn der Neusiedlersee ist durch seine natürlichen Begebenheiten ein beliebter Anziehungspunkt für verschiedene Wasser und Segelsportarten wie z.B. das Kitesurfen.

2.5.1.2 Verpackungsabfälle

Laut der Verpackungsverordnung 2014, BGBl. II Nr. 184/2014 werden Verpackungen folgendermaßen definiert. „Verpackungen aus verschiedenen Packstoffen hergestellte Packmittel, Packhilfsmittel oder Paletten zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung und zur Darbietung von Waren.“ ([51] S.52). Die Materialien, die hierbei verwendet werden, sind Papier, Glas, Holz (z.B. Paletten), Keramik, Metalle, Textile Faserstoffe (z.B. Jute), Kunststoffe, Getränkeverbundkarton (z.B. Tetra Pak) sowie andere Verbundstoffe (z.B. beschichtete Papierbecher, Gemischte Kunststoffe) und sonstige Packstoffe insbesondere auf biologischer Basis.

In Österreich fallen jährlich ca. 1,38 Mio. t Verpackungsabfälle sowohl aus Restmüll sowie Gewerbeabfälle an. Einen Überblick darüber wie sich die einzelnen Materialfraktionen über die Jahre hinweg entwickelt haben, gibt folgende Tabelle. Zu sehen ist die Entwicklung der Abfallmenge von 2013 bis 2017 in Tonnen. In allen Materialfraktionen ist eine Erhöhung des Müllaufkommens zu sehen.

Packstoff	2013	2014	2015	2016	2017
Papiere, Pappe und Kartonagen	518.101	542.419	55.267	564.333	575.620
Glas	272.639	272.676	274.485	275.365	278.337
Metall	57.400	55.982	56.840	61.969	63.188
Kunststoff	288.714	291.968	294.888	297.837	302.306
Holz	89.820	93.338	89.352	96.888	112.960
Sonstige	45.022	47.145	42.414	44.319	44.594
Gesamt	1.271.696	1.303.528	1.311.246	1.340.711	1.377.005

Tabelle 2 Packstoffe Aufkommen [51]

2.5.2 Behandlung

Altglas wird in mehreren Sortierprozessen getrennt, Handsortierung, Magnetabscheider, Siebe. Hier werden Störstoffe entfernt. Die Getrennte Sammlung von Weiß und Bunt Glas ist deshalb nötig, da Bunt Glas das Weiß Glas verfärben würde. Nach dem Sortierprozess wird das Altglas mit Quarzsand, Dolomit, Kalk und Soda bei 1600 Grad C eingeschmolzen und für neue Glasverpackungen eingesetzt. Der Altglasanteil bei Grün Glas beträgt bis zu 90%, bei Weiß Glas bis zu 60%.

Metallverpackungen werden zu 100% recycelt. Ferrometall wird als hochwertiger Werkstoff in der Stahlerzeugung eingesetzt.

Unsortierte Plastik Verpackungstoffe können zerkleinert werden und zu einem geformten Produkt wie Patten oder Rinnen hergestellt werden oder als Sekundärbrennstoff zur Energieerzeugung verwendet werden. Eine hochwertige Stoffliche Verwertung ist das „Bottle to Bottle Prinzip“, zu dem die Wiederverwertung von PET Flaschen zählt.

Holzverpackungen werden sortiert zerkleinert und in Form von Holzspänen oder Sägemehl zu OSB oder Spanplatten verarbeitet, als Strukturmaterial in Böden oder in Verbrennungsanlagen gebracht.

Kunststoffe

Kunststoffe in Form von Primärabfällen fielen im Jahr 2018 an 0,95 Mio. Tonnen an. 80% davon waren gemischte Kunststoffe aus festen Abfällen (z.B. Altfahrzeuge), 18% waren reine Kunststoffe wie Kunststofffolien und Behälter, der Rest waren Farben Lacke und Weichmacher (siehe Tabelle 3 Kunststoffabfälle [51])

Bei Altfahrzeugen ist ebenfalls zu erwähnen, dass der Prozentuelle Anteil an Kunststoffen und Gummi 10-20% beträgt und, dass Fahrzeuge überwiegend aus Stahl bestehen (50-60%) [51]. Das Problem bei Plastik auf geregelten oder ungeregelten Deponien ist, dass sich nach und nach Additive herauslösen, die in weiterer Folge das Grundwasser verseuchen können [3].

Abfallbezeichnung	Primäraufkommen [t]
KS-Abfall („sortenreine“ Kunststoffabfälle z.B Kunststofffolien)	170.317
KS-h-Abfall (gemischte Abfälle mit unterschiedlich hohen Kunststoffanteilen z.B Sperrmül)	762.493
F&L (Kunststoffe in Farben und Lacken)	14.329
F&L ausgehärtet (Kunststoffe in Farben und Lacken ausgehärtet)	5.775
KS-Schlämme (Kunststoffschlämme)	557
Weichmacher	83
Gesamt	953.553

Tabelle 3 Kunststoffabfälle [51]

Die festen Kunststoffabfälle setzen sich aus den in Abbildung 16 gezeigten Materialien zusammen. Aus welchen Branchen diese Abfälle stammen zeigt Abbildung 17. Siedlungs- und Gewerbeabfälle machen den größten Teil aus. Ein nicht unwesentlicher Teil von 19% entstammt der Verpackungsindustrie.

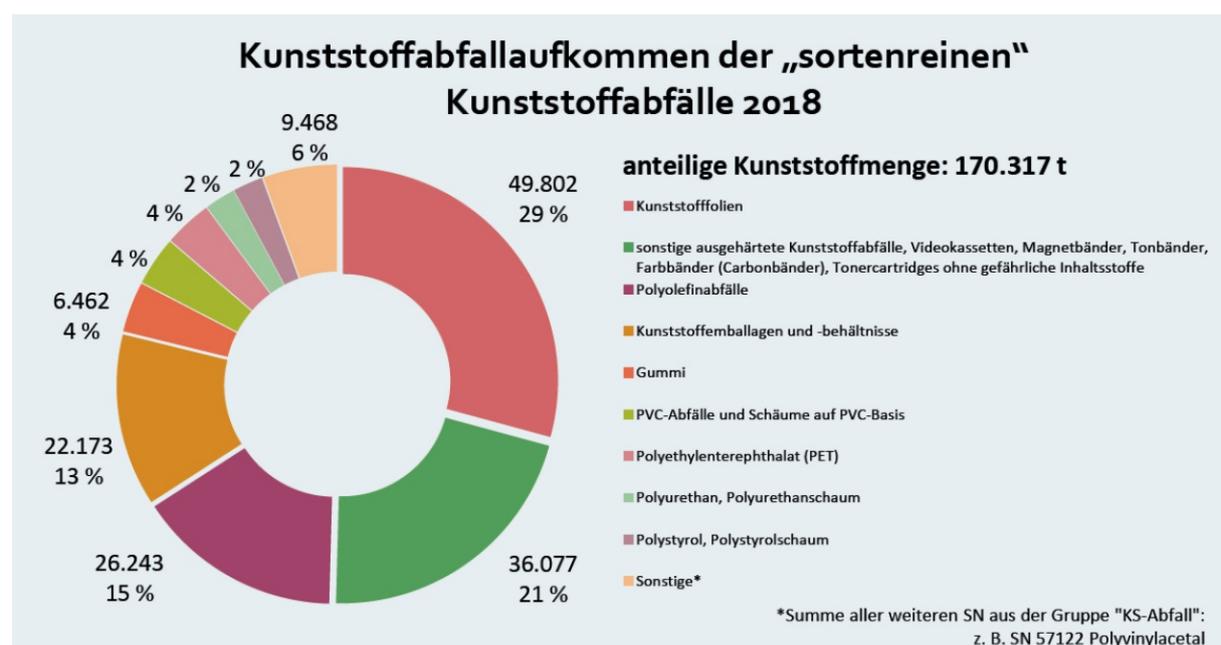


Abbildung 16 – Kunststoffaufkommen 2018 [51]

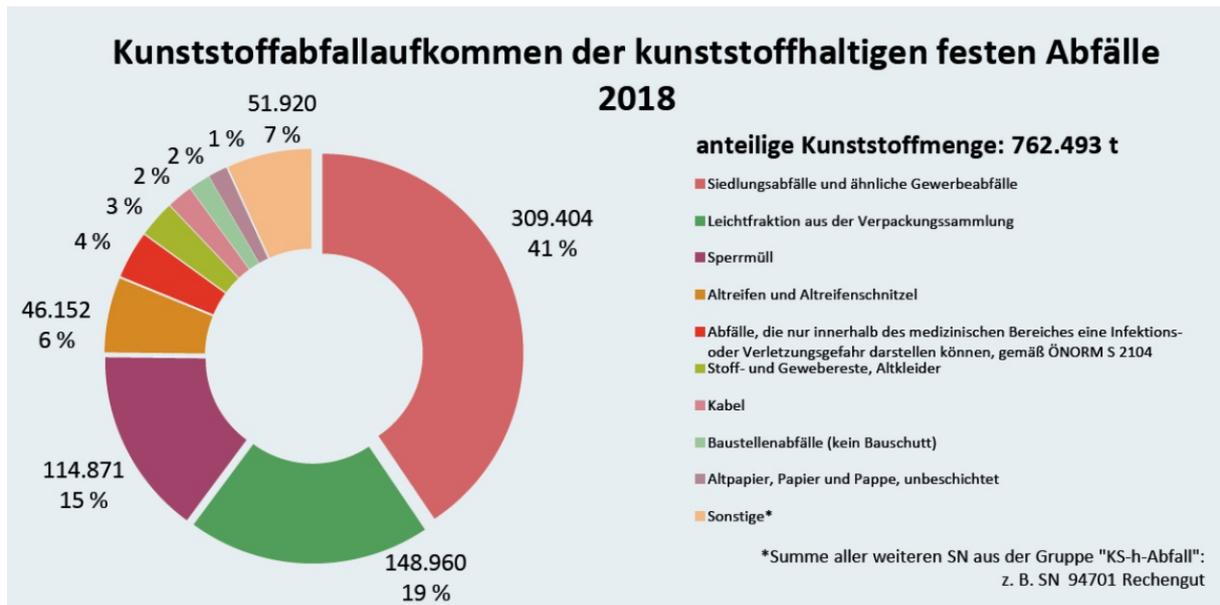


Abbildung 17 Kunststoffabfallaufkommen Kunststoffhaltige feste Abfälle 2018 [51]

2017 fielen 302 300 Tonnen an Kunststoffabfällen im Verpackungsbereich an. 25 700 Tonnen stammen aus Haushalten, Kunststoffanteile in Elektro und Elektronikaltgeräten betragen 29 900 t und das Aufkommen an Altreifen Betrug 65 930t.

Die Behandlung der Kunststoffabfälle ist im Wesentlichen die Thermische Verwertung. Abbildung 18 veranschaulicht diesen Sachverhalt.

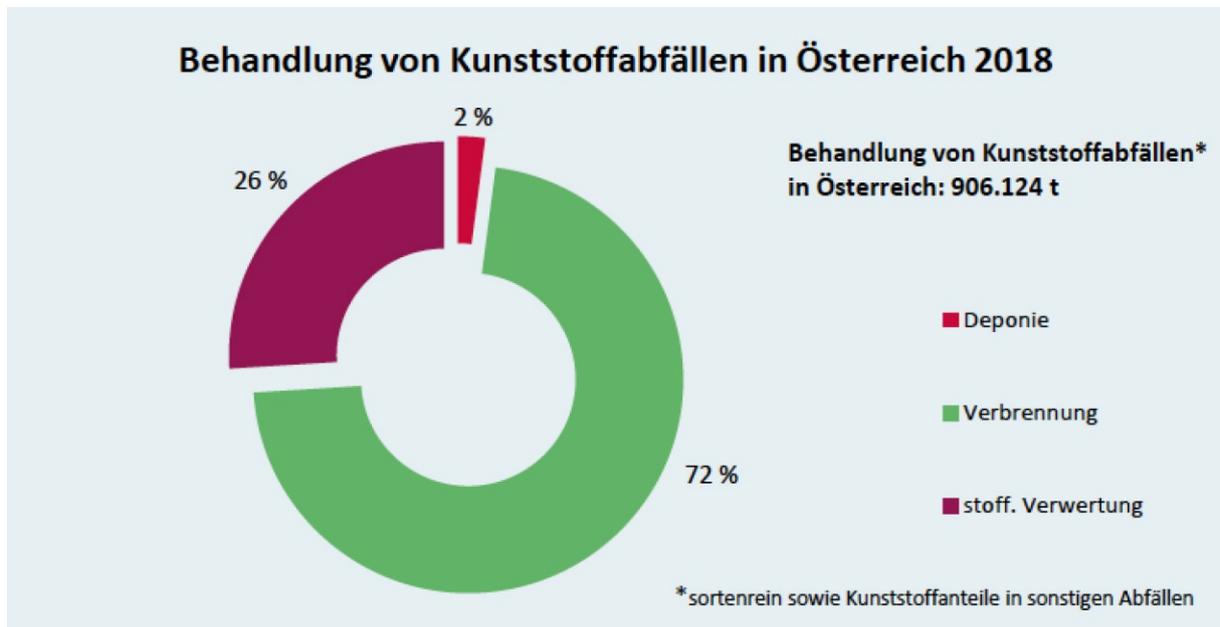


Abbildung 18 Behandlung von Kunststoffabfällen [51]

2.5.3 Bau und Abbruchmaterial

Bau und Abbruchabfälle entstehen bei Bau- und Abbruchtätigkeiten im Hochbau oder Tiefbau. Auch Straßen und Brücken werden hier mit einbezogen. 90% dieser Abfälle entstehen beim Umbau, Abbruch und bei Sanierung von Bauwerken. 10% der Abfälle entstehen bei der Errichtung neuer Bauwerke. (Studie Bauwerk Österreich, GUA Gesellschaft für umfassende Analysen, 2003). Im Hochbau fallen Mineralische Abfälle in Form von Ziegel, Beton und Mauerwerksabbrüchen und Aushubmaterialien an, sowie Holz, Metalle, Kunststoffe und gefährliche Abfälle. Im Tiefbau fallen hauptsächlich Aushubmaterial, Verschnitte von Schalholz, Bewehrungseisen und Betonabbruch an. Im Straßenbau umfassen Abfälle Asphalt, Betonabbruch und ebenfalls Aushubmaterial. Beim Rückbau von Gleisanlagen fallen Gleisschotter und Gleisaushubmaterial an.

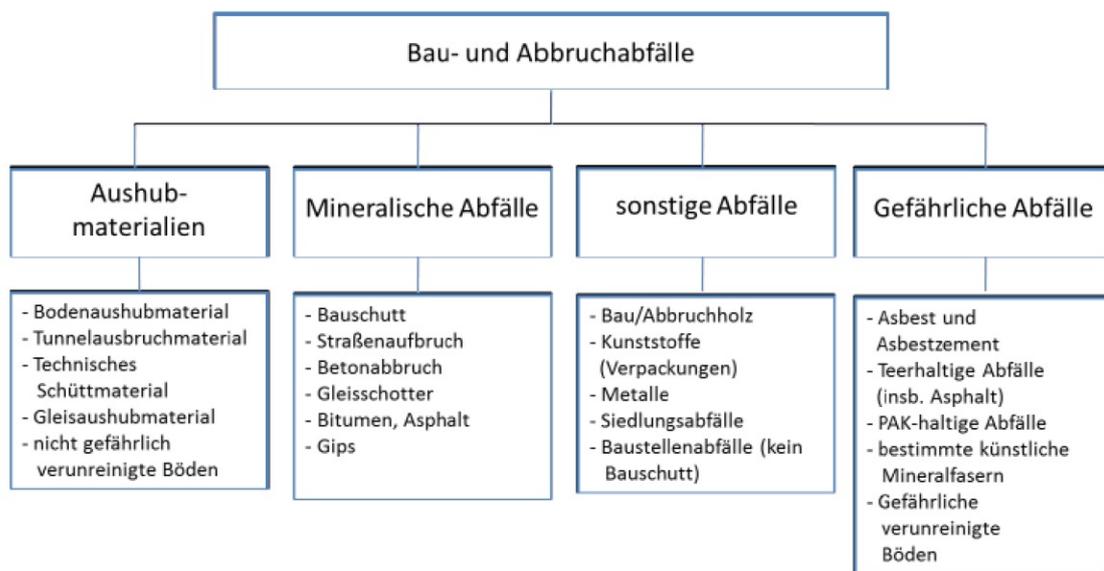


Abbildung 19 Bau und Abbruchabfälle Zusammensetzung [51]

Seit Jänner 2016 ist die Recycling- Baustoffverordnung BGBl. II Nr. 181/2015 idgF. In Kraft getreten. Ihr Ziel ist es eine qualitätsvolle Verwertung von Baumaterialien zu gewährleisten. Die getrennte Sammlung auf der Baustelle sowie ein verwertungsorientierter Rückbau sind dabei ausschlaggebend. Bei Abbruchtätigkeiten im Hochbau ab 750t anfallenden Abfall ist diese sogar verpflichtend. In der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) ist für nicht gefährliche Bau und Abbruchabfälle ein Recyclingziel von 70% festgelegt.

Im Jahr 2018 fielen 11,1 Mio. t mineralische Bau und Abbruchabfälle an (ohne Aushubmaterial und gefährliche Abfälle). Dieser Wert beträgt auf die österreichische Bevölkerung gerechnet rund 1260kg pro Person. Der Großteil wurde in Behandlungsanlagen für mineralische Abfälle gebracht, rund 1,1mio t wurden deponiert.

Aus den 9 Mio. t der Behandlungsanlage entstanden 7,1 Mio. t Recyclings Baustoffe und 483 000 Tonnen wurden bautechnisch verwendet.

Asbest

Asbest wurde in den 80ern in vielen Produkten und Bauteilen verwendet. Es ist Hitze und feuerbeständig, chemisch stabil und wird teilweise auch als Dichtmaterial verwendet. Asbest kommt als faserförmiges Mineral in der Natur vor. Asbest gilt als krebserregend (Einnahme über die Atemluft) und ist seit 1990 verboten. Das Aufkommen von Asbest Zement hat sich dennoch seit 2011 verfünffacht [51].

Aushubmaterial

Als Aushubmaterialien werden Stoffe, die beim Ausheben und Abräumen des Bodens bzw. Untergrundes entstehen, bezeichnet. Sie bestehen überwiegend aus mineralischen Bestandteilen wie Kies, Sand, Lehm, Humus und Steine verschiedener Arten.

Nicht verunreinigtes Aushubmaterial mit geringen organischen Anteilen eignet sich für die Herstellung von Recycling Baustoffen als Zuschlagstoff für Beton, Asphalt, sowie Schüttmaterial.

Nicht verunreinigtes Aushubmaterial mit hohem organischem Anteil (humoser Boden, Torfböden) eignet sich für die Verwertung zur Herstellung von Rekultivierungsschichten und Maßnahmen zur Bodenverbesserung.

Verunreinigtes Aushubmaterial fällt an bei Bauvorhaben auf gewerblichen Altstandorten, Sanierung und Sicherung von Altlasten (z.B. Tankstellen, Gaswerke), Unfälle, Betriebsstörungen und Katastrophenereignissen (z.B. Muren Abgang). Je nach chemischer Qualität müssen diese Materialien auf hochwertigen Deponien abgelagert, oder behandelt werden.

Im Jahr 2018 fielen 37,1 Mio. t Aushubmaterialien in Österreich an.

3,6 Mio. t. Bau und Abbruchabbruchfälle, 4,6 Mio. t Untergrundverfüllung und Rekultivierung, und 25,9 Mio. Tonnen wurde deponiert.

Die Differenzen zwischen Aufkommen und der Behandlung von Aushubmaterial sind auf Import und Export zurückzuführen.

2.5.3.1 Verwertungswege

Aushubmaterial besitzt viele Anwendungs- und Recyclingmöglichkeiten, abhängig von seiner Zusammensetzung. Es kann sowohl als Rohstoff für industrielle Anwendungen, als auch als Recycling Baustoff, Untergrundverfüllung und zur Bodenrekultivierung verwendet werden.

Aushubmaterial wird direkt an der Baustelle gesammelt, auf LKWs aufgeladen und zur Deponie, Zwischenlager, Behandlungsanlage oder zu einer anderen Baustelle zur Verwertung gebracht.

Mineralische Bau und Abbruchabfälle werden mittels Brecher und einer nachgestellten Siebanlage aufbereitet. Für Aushubmaterial ist meistens nur die Siebanlage ausreichend. In stationären Anlagen kommen ebenfalls Wäscher und Windlichter zum Einsatz.

2.5.4 Allgemeiner Überblick über die Verwertung

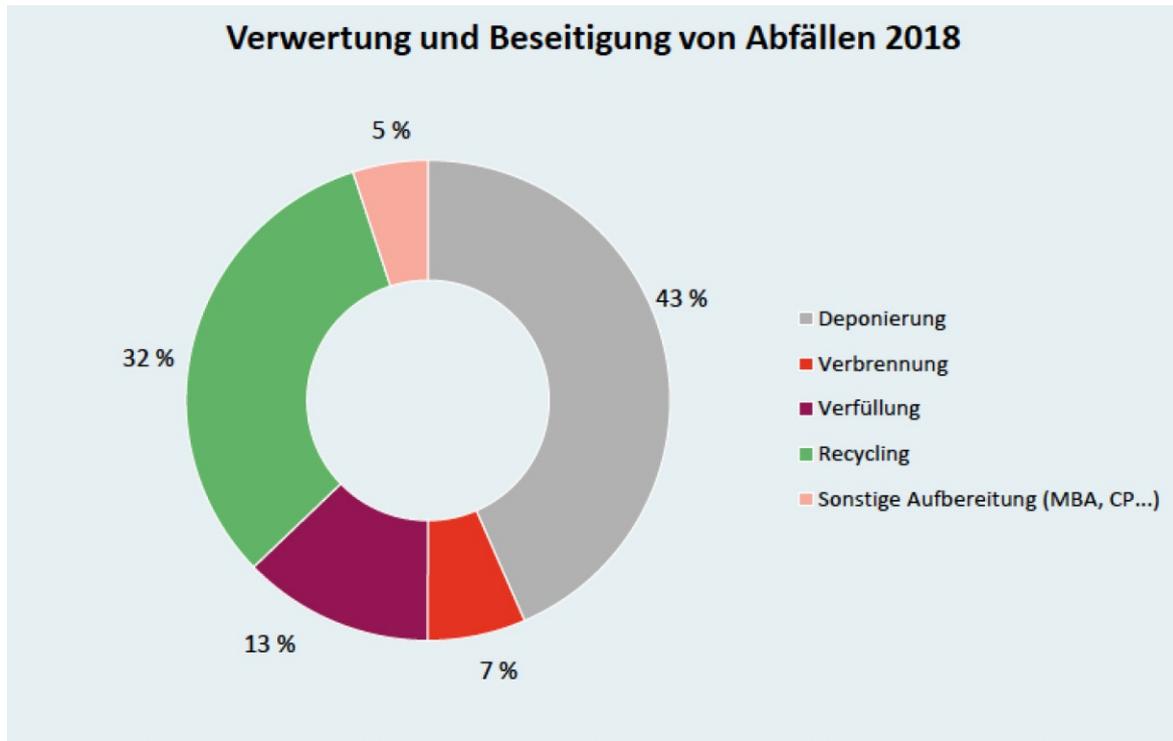


Abbildung 20 Verwertung und Beseitigung von Abfällen 2018 [51]

Abbildung 20 zeigt die Behandlungen der Müllströme in Österreich. 43% werden deponiert, zu betonen ist allerdings, dass die Aushubmaterialien ausschlaggebend für diese Prozentuelle Verteilung sind, denn sie machen auch den größten Anteil des Abfallaufkommens aus. In Österreich gibt es 1020 Deponien und über 900 Behandlungsanlagen für mineralische und Bauabfälle.

Entfernt man die Aushubmaterialien aus der Betrachtung sieht die Verteilung folgendermaßen aus.

Verwertung und Beseitigung von Abfällen im Jahr 2018 (ohne Aushubmaterialien)

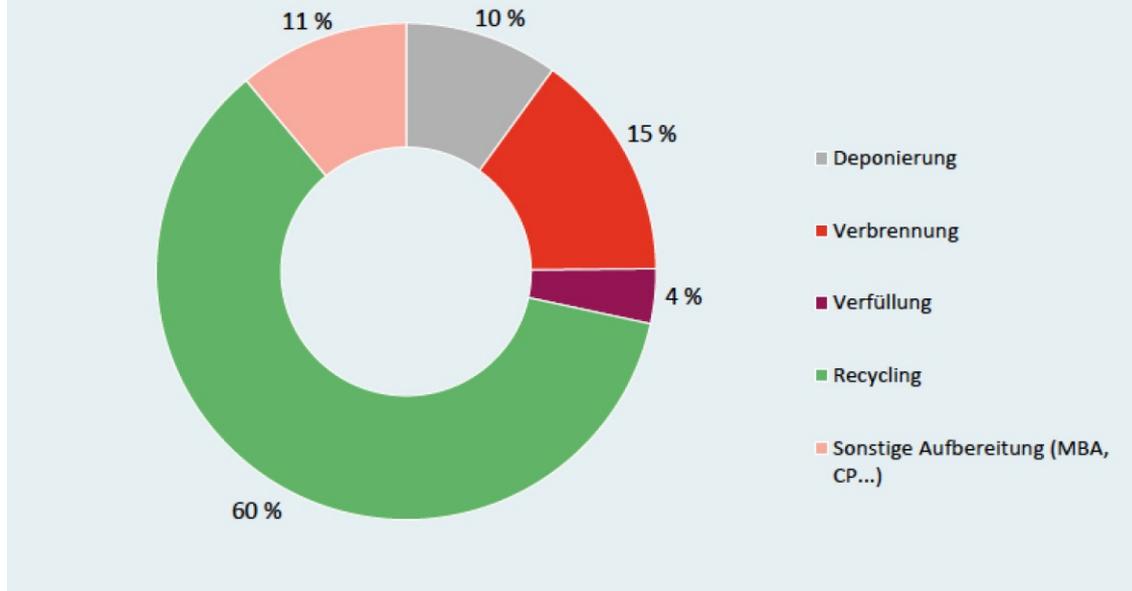


Abbildung 21 Verwertung von Abfällen ohne Aushubmaterialien [51]

Zu erkennen ist, dass in Österreich tatsächlich viel recycelt wird. Insgesamt gibt es in Österreich 3100 Behandlungsanlagen, die meisten Stoffe werden innerbetrieblich behandelt.

Kunststoff wird in Kunststofftrennungsanlagen in PET, PE, HDPE, LDPE, GVK (=Getränkeverbundkartone), PS/PP, NE Verpackungen gegliedert und getrennt. Die einzelnen Kunststoffarten werden in Kapitel 4.3 genauer besprochen und erklärt.

Ersichtlich wird, dass die Baubranche mit wesentlich größeren Abfallmengen hantiert als der Ottonormalverbraucher. Hinzuzufügen ist ebenfalls, dass die Kreisläufe hier bereits äußerst gut geschlossen werden. Mineralische Abfälle sind zum Großteil nicht gesundheitsgefährdend und können vielerlei weiter und wieder verwendet werden.

Auch ist die allgemeine Situation der Müllverwertung ist Österreich eine sehr gute. Der ewig haltbare Kunststoff wird bei PET Flaschen im Bottle-to-Bottle Prinzip sortenrein gesammelt und demselben Kreislauf rückgeführt. Im Falle einer Verwertung geschieht dies mittels Verbrennung.

3 Bewusstsein zur Nachhaltigkeit

3.1 Fridays for Future

Die sogenannten „Fridays for Future“ waren eine wöchentliche Protestbewegung. Jeden Freitag gingen Schüler, Studenten, Klimaaktivisten und Bürger auf die Straße um für ein Umdenken und schnelleres Handeln seitens der Politik in Bezug auf die Klimakrise, zu protestieren. Ihre Forderungen beziehen sich auf den IPCC Report [1].

Die plötzliche mediale Aufmerksamkeit begann mit dem Schulstreik von Greta Thunberg, die sich zunächst im Alleingang im Herbst 2018 mit einem Plakat dessen Aufschrift „Schulstreik für das Klima“ lautete, vor das schwedische Parlament setzte. Ihre Aktion fand schnell Anklang und kurze Zeit später schlossen sich nicht nur in Schweden, sondern auch weltweit Menschen dieser Protestaktion an und es entwickelte sich zu einer Protestbewegung, von der Zeitungen weltweit berichteten. Zu verdanken war die Geschwindigkeit dieser Bewegung den sozialen Medien. Die Zahl der protestierenden Schüler stieg rasant an, als Greta ihr Vorhaben auf Twitter unter dem Hashtag #FridaysforFuture verbreitete.

Laut der Zeitung „The Guardian“ haben sich 4 Monate später mehr als 20 000 Menschen aus 25 Ländern an den wöchentlichen Protest angeschlossen [1].

Die Klimaproteste hielten an und ein Jahr später am 20. September gingen 4 Millionen Menschen aus 161 Ländern auf die Straße welches in vielen Zeitungen als einer der größten globalen Klima Proteste in der Geschichte bezeichnet wird [2].



Abbildung 22 Fridays for Future - eigene Darstellung aus diversen Zeitungsberichten

3.2 ICCP Report

Es handelt sich beim ICCP Report um einen Sonderbericht darüber welche Folgen eine globale Erwärmung von 1,5 Grad Celsius für unseren Planeten hätte. Verglichen wird die Erwärmung mit dem vorindustriellen Wärmeniveau.

Kern dieser Zusammenfassung ist der Vergleich zwischen einer durchschnittlichen globalen Temperatur Erhöhung von 1,5 Celsius und 2 Grad Celsius und die daraus resultierenden Konsequenzen für Umwelt und Menschen.

Es wird ebenfalls berichtet, dass negative Effekte für natürliche und menschliche Systeme bereits beobachtet wurden. Manche dieser Folgen könnten irreversibel sein. Die durch den Menschen verursachte Erderwärmung, wird noch für Jahrhunderte bis Jahrtausende bestehen bleiben mit langfristigen Veränderungen für das Klimasystem. Als Beispiel wird der Meeresspiegelanstieg durch die Polarkappenschmelzung erwähnt, sowie der Temperaturanstieg zu bis zu 4-6 Grad Celsius in Landregionen.

Ein verstärktes Risiko für Niederschlagsdefizite und Dürren in manchen Regionen und Starkniederschlagsereignisse vor allem in Überschwemmungsgebieten wird in B.1.3. des Berichtes erwähnt. Beim Meeresspiegelanstieg ist es wichtig, dass dieser langsam geschieht damit sich der Mensch und die Ökosysteme anpassen können. Dies – so wird vermutet kann durch Emissionsverringern erreicht werden. Probleme, die durch den Meeresspiegelanstieg entstehen sind Salzwassereintrag, Überflutung und Schädigung der Infrastruktur.

Ein weiteres Thema ist das Artensterben und die daraus resultierenden Folgen für die Biodiversität, die Ökosysteme und letztendlich für den Menschen.

Die gefährdete terrestrische Landfläche würde sich um 50% verringern. Tundra und boreale Wälder in hoch gelegenen Breiten wären besonders gefährdet. Bei einer Begrenzung der globalen Erwärmung von 2 Grad Celsius auf 1,5 würde das über Jahrhunderte andauernde Tauen der Permafrost Fläche sich um 1,5 bis 2,5 Millionen Quadratkilometer verringern. Das entspricht ungefähr der Fläche von Ägypten oder der Hälfte Grönlands.

Die Globale Erwärmung hat auch eine Erwärmung der Wasser Temperatur zur Folge welche zur Ozeanversauerung und Abnahmen des Sauerstoff Gehalts der Ozeane sorgt. Das wirkt sich wiederum negativ auf die marine Biodiversität und Fischerei aus.

Man merkt, dass jede dieser Veränderungen auch den Lebensraum des Menschen negativ beeinflusst, denn wir sind, wie auch jedes andere Lebewesen, ein Teil dieses Ökosystems. Jede Unachtsamkeit des Menschen, fällt am Schluss wieder auf ihn zurück.

Ein Thema, dass in den letzten Jahren immer präsenter in den Medien wurde ist die Verschmutzung der Meere. Immer günstiger werdende Preise von Flugreisen verhalfen dem Tourismus zu einem regelrechten Boom, der sich in einigen Ländern besonders in der Verschmutzung der Meere durch Siedlungsabfälle bemerkbar machte. Der Großteil dieser Abfälle sind leichte und günstige Einwegprodukte, die aus diversen Kunststoffen gefertigt wurden.

Abbildung 23 zeigt wie lange diese Produkte im Meer verweilen bis sie sich zersetzen. Durch die Meeresströmungen und das UV-Licht der Sonne zerfallen diese Produkte in kleinere Partikel, jedoch zersetzen sie sich nicht. Fische und andere Meeresbewohner halten diese Partikel für Nahrung, diese bleibt dann im Magen ohne sich zu zersetzen, oder dem Fisch nötige Nährstoffe zu geben. Trotz vollem Magen verhungern die Tiere dadurch.

So lange bleibt der Müll im Meer



Abbildung 23 Zerfall Dauer Müll im Meer [54]

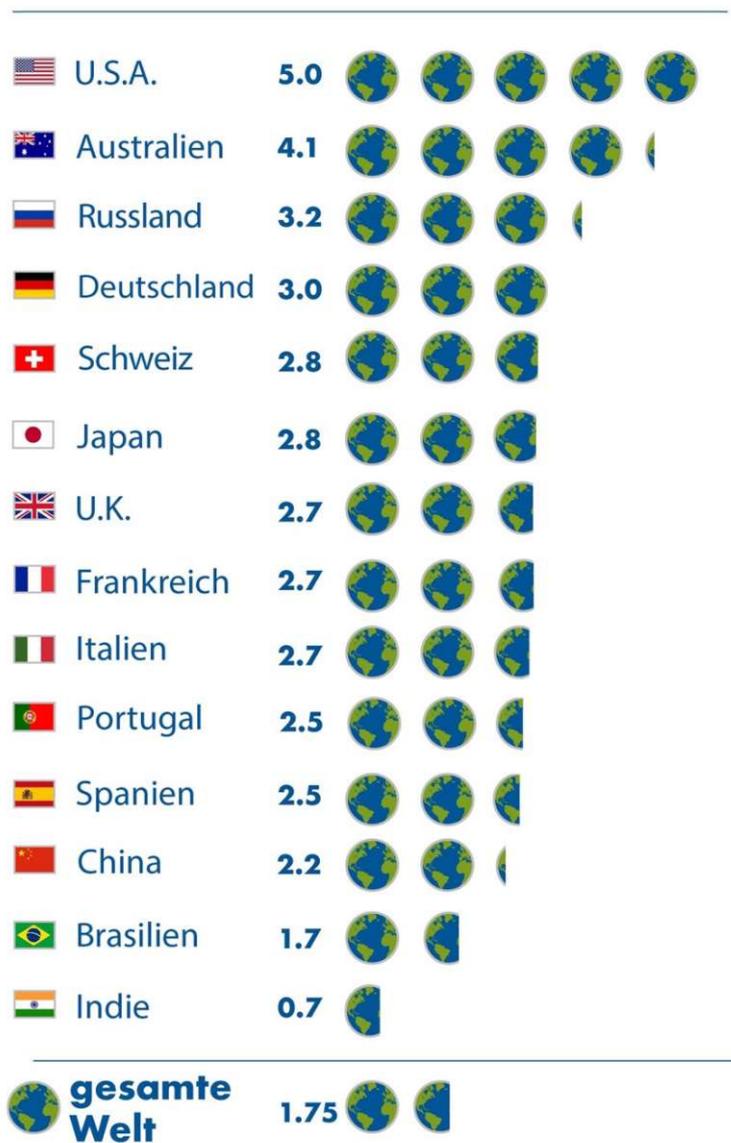
3.3 Ökologischer Fußabdruck

Im Jahr 1994 entwickelte William Rees 1994 das Konzept des Ökologischen Fußabdrucks. Im Ökologischen Fußabdruck wird gezeigt wieviel Land benötigt wird um eine Stadt zu versorgen. Dabei werden essenzielle Ressourcen und Dienstleistungen betrachtet. Zusammengesetzt wird das ganze aus den notwendigen Flächen, die benötigt werden um

- eine Stadt zu ernähren
- sie mit den forstwirtschaftlichen Produkten zu versorgen wie z.B. Papier,
- und ihren Abfall zu resorbieren (ua. Der Kohlendioxidausstoß)

London hat beispielsweise nach Giradets Schätzungen einen Ökologischen Fußabdruck einer 125fachen Größe der eigentlichen Stadtfläche, allein die CO₂ Absorption macht dabei die halbe Fläche aus. Wenn Entwicklungsländer den selben Verbrauch hätten wie westliche Länder, würden wir 3 Planeten brauchen um den Bedarf zu decken. Klar ist, dass eine Lebensstiländerung von hoher Bedeutung ist und klar ist, dass die Verringerung des CO₂ Ausstoßes einen großen Beitrag dazu leisten würde [3] .

Wie viele Erden bräuchten wir, wenn alle Leute der Welt so leben würden wie die Bewohner von...



Source: Global Footprint Network National Footprint Accounts 2019

Abbildung 24 Wieviele Planeten braucht die Welt? [75]

Die Klimaproteste haben noch einmal intensiv den Fokus, der Politik und besonders der Medien auf die Klimatische Situation und den Umweltschutz gelenkt. Gerne wird darauf appelliert, dass jeder Bürger sich hier beteiligen soll, allerdings zeigt uns auch die Datenerhebung aus Kapitel 2, dass die größten Müllverursacher nicht die Ottonormalverbraucher, sondern die Baubranche und Großkonzerne sind.

3.4 Agenda 2030 – Sustainability Goals

Die Agenda 2030 ist ein Aktionsplan der Vereinten Nationen und fasst Entwicklungsziele für die Menschen, den Planeten und Wohlstand zusammen. Österreich setzt sich diesbezüglich schon seit Jahren erfolgreich für die nachhaltige Entwicklung ein. Sie ist verfassungsrechtlich als Staatsziel deklariert. So werden Innovationen zur Wahrung der Vielfalt der natürlichen Ressourcen, Ökosysteme und sozialen Fortschritts gefordert. Unter anderem wird besonders die Digitalisierung gefördert, denn diese unterstützt die Senkung der CO₂ Emissionen, nicht zuletzt durch vereinfachte Kommunikation und Smart-City-Konzepte. Die Corona-Pandemie zeigte, dass die Digitalisierung einen wesentlichen Beitrag zur Krisenbekämpfung leisten kann und einige Branchen, die besonders schwer von dem Lockdown getroffen wurden, wie die Gastronomie, konnten sich dank Lieferservice und die zugehörigen Online Plattformen über Wasser halten. Die Ziele der Agenda 2030 sind vielfältig und enthalten Themen wie die Armutsbekämpfung, ein gut ausgebautes Gesundheits- und Sozialsystem, sowie Ausgrenzung durch Behinderung, Geschlecht, Alter usw. zu verhindern oder zumindest zu minimieren[76].



Abbildung 25 Agenda 2030 Ziele [76]

In Bezug zu Klimaschutzmaßnahmen hat sich Österreich das Ziel gesetzt bis 2040 Klimaneutral zu sein. Um dieses Ziel zu erreichen wurden folgendes Programm definiert:

- Nachhaltigkeit durch **Gesetze**: Öko-soziale Steuerreformen
- Nachhaltigkeit durch Förderung umweltfreundlicher **Mobilität**:
 - Förderung des öffentlichen Verkehrs durch attraktive Preise und Jahreskarte für ganz Österreich
 - Erstellung eines Mobilitätsmasterplans für 2030
- Nachhaltigkeit durch bessere Energiequellen:
 - Investition und intensiver Ausbau erneuerbarer Energien
 - Erstellung eines Ausstiegsplans für Öl, Kohle und fossile Energieträger zur Raumwärmeerzeugung

Dass solche Ziele durchaus zweckmäßig sind, zeigen die positiven Entwicklungen, die seit 2017 verzeichnet werden konnten. Österreich ist europäischer Spitzenreiter im Bereich digitale Verwaltung, Steigendes Bildungsniveau, hoher Anteil an Bioflächen in der Nahrungsproduktion und der Anteil erneuerbarer Energieträger liegt bei einem Drittel des Bruttoendenergieverbrauches, wodurch CO₂Emissionen in der Industrie signifikant gesenkt werden konnten.

Bereiche, in denen in Österreich noch immer großer Handlungsbedarf besteht sind der Gender-Pay-Gap (Frauen leisten noch immer signifikant mehr unbezahlte Arbeit als Männer) und der Energieverbrauch, sowie die Treibhausgasemissionen des Verkehrs, der zwischen 2010 und 2018 zugenommen hat [76] .

3.5 Bauproduktrichtlinie OIB 7

In der Bauproduktrichtlinie des OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik) wurde unter den Grundanforderungen für Gebäude die „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen als siebte Grundanforderung hinzugefügt.

Es werden nicht nur Emissionen von gefährlichen Stoffen, sondern auch Treibhausgase angesprochen. Unter dem Punkt Nutzungssicherheit ist seit einigen Jahren die Barrierefreiheit als OIB Richtlinie 4 „Sicherheit und Barrierefreiheit der Nutzung vertreten“. Diese offizielle Richtlinie deckt sich z.B. mit Punkt 11 der Agenda 2030, welche das Ziel hat Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähiger und nachhaltiger zu gestalten.

Auch der Auf- und Rückbau wird unter dem Punkt „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ besprochen, nämlich soll dabei möglichst wenig Energie verbraucht werden. Sei es durch einfache Trennung oder durch die Möglichkeit der Wiederverwendung dieser Produkte.[77]

3.6 Zero-Waste Community

Der „Zero-Waste“ Lebensstil beschäftigt sich damit seinen eigenen Müllverbrauch auf ein Minimum zu reduzieren. Denn wer Müll erzeugt, verbraucht auch Ressourcen. Im weiteren Sinne bedeutet Zero-Waste auch „keine Verschwendung“. Man beschränkt sich nur auf das Nötigste, wer weniger einkauft schmeißt auch weniger weg. Zero-Waste beschreibt die Utopie eines geschlossenen Kreislaufs, in dem keine Ressourcen mehr verloren gehen. „Es geht darum die weltweiten Auswirkungen unseres Konsumverhaltens zu erkennen (...) und entsprechend zu handeln (...) nicht das tun was wir immer schon getan haben.“ ([5] S.26)

Die Zero-Waste-Community packt das Problem an der Wurzel, denn Stoffe die gar nicht erst eingesetzt wurden, müssen auch nicht recycelt werden. Der Leitspruch basiert auf den 3 R's: **Reuse, Reduce, Recycle**. Recycle steht ganz klar am Ende der Kette als „letzter Ausweg“. Denn Recycling ist immer mit Verlusten verbunden. Sei es die Qualitätsminderung, des Ausgangsproduktes, der Energie Verbrauch bei der Herstellung oder die Entstehung giftiger Nebenprodukte.

Reduce (=engl. Reduzieren) bedeutet Produkte nur dann zu kaufen, wenn es wirklich nötig ist. Das von der Wirtschaft aktuell angestrebte Konsumverhalten überstrapaziert nicht nur die Ressourcen (Umwelt und den eigenen Geldbeutel) sondern auch die Psyche. Immer mehr Menschen neigen dazu Dinge zu horten, bis man irgendwann förmlich daran erstickt und keinen Platz zum Leben mehr hat. Zero-Waste lebt nach dem Grundsatz – das Beste Produkt ist immer kein Produkt“. Wichtig ist sich darauf zu besinnen ob man ein Produkt wirklich braucht und ob man nicht bereits etwas anderes besitzt, dass die gewünschte Anforderung bereits erfüllt.

Reuse – Verpackungen und den Kauf neuer Produkte durch Wiederverwendung reduzieren. Alles was bereits produziert wurde soll, möglichst lange im Nutzungskreislauf bleiben. Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten Einwegprodukte durch Mehrwegprodukte zu ersetzen.

Recycle – Das Produkt dem Kreislauf wieder hinzufügen durch Wiederverwertung. (Siehe Kapitel 2.3.2Begriffsdefinition)

3.7 Greenwashing

Das aktuelle Umweltbewusstsein kann als Trend bezeichnet werden, der ein durchaus positives Ziel verfolgt. Auch die Werbebranche geht mit diesem Trend mit und gibt fast jedem Produkt eine Aussage zum Thema Nachhaltigkeit mit. Sei es eine Art Siegel (siehe Abbildung 26) , Zertifikat, Werbeaussagen, oder eine generelle Imageveränderung, es gibt kaum ein Produkt, auf dem heutzutage nicht Bezug zum Umweltschutz genommen wird.



Abbildung 26 Öko-Siegel [79]

Einige Branchen, die wegen der Schnellebigkeit ihrer Produkte medial ihre Wirkung verbessern möchten, betreiben das sogenannte „Greenwashing“. Hierbei geht es darum die nachhaltigen Aspekte eines Produkts besonders hervor zu heben, bzw. sie als positive Neuerung darzustellen. Die Kollage in Abbildung 27 zeigt wie sich die Aufmerksamkeit in der Werbung verschoben hat von Attraktivität zu Nachhaltigkeit, oder von Oberflächlichkeit zu Inhalt. Es suggeriert, dass die Kernbestrebung der Gesellschaft, nicht mehr das Aussehen, sondern die Sinnhaftigkeit in seinem Handeln und seinen Konsumentenscheidungen ist. Auffällig ist ebenfalls die Farbgebung. Während die linke Seite (dabei handelt es sich um ältere Werbeplakate – 2015 abwärts) Signalfarben wie rot und gelb enthält, zeigt sich die rechte Seite zurückhaltend, minimalistisch in Grüntönen, die bewusst mit Natur assoziiert werden sollen und eine beruhigende Wirkung haben [78]



Abbildung 27 Greenwashing in der Werbung - Kollage

3.8 Lebensmittel

Durch den ständigen Überfluss verlieren wir oft den Bezug zu den Mengen, die wir verwenden und wegschmeißen. Vor allem beim Essen wird dies ersichtlich. Den größten Anteil der Haushaltsabfälle machen Lebensmittel aus.

Ein Grund, dass das Bewusstsein zum Thema Müll so gering ist, liegt einerseits daran, dass durch die Kurzlebigkeit vieler Produkte, die wir in Anspruch nehmen, sie durch das schnelle Wegschmeißen buchstäblich in Vergessenheit geraten. Andererseits liegt es auch an dem Hygiene Wahn und der Bequemlichkeit vieler Käufer. Obwohl unsere Ware im Laufe der Herstellung und dem Transport von vielen Menschen berührt wird, liegt dennoch eine gewisse Hemmung vor unverpackte Ware zu kaufen. Auch greifen Viele lieber zu bereits zurechtgeschnittenen Lebensmitteln (Beispiel: Käseaufschnitt). Die Problematik hierbei ist, dass auf den kg Lebensmittel mehr Verpackungsmaterial anfällt, da sich weniger Ware innerhalb einer Verpackung befindet.

Besonders Einweg Ware wie Kaffeebecher oder Salatschüsseln, die wir oft für die schnelle Mahlzeit in der Mittagspause kaufen erleichtern uns zwar den Alltag, jedoch stellen sie eine sich summierende Belastung für die Umwelt dar. Ein regelmäßig verwendetes Einwegprodukt, das ebenfalls mit einer „Sucht“ verbunden ist, sind Kaffeebecher. Bei ihnen liegt das Problem darin, dass es sich nicht um reines Papier handelt. Die Plastikbeschichtung macht die Möglichkeit den Becher in seine Ausgangsstoffe zu trennen und zu recyceln schwer bis unmöglich.



Abbildung 28 Verpackt – Unverpackt

3.8.1 Organisationen gegen die Lebensmittel- und Ressourcenverschwendung



Abbildung 29 Organisationen gegen Lebensmittelverschwendung [55]

Eine Fülle an Organisationen und Interventionen zeigen uns, dass das Interesse zur nachhaltigen Lebensweise präsent und im Wachstum ist. Neben Lebensweisen wie dem Vegetarismus, dessen Motivation in Nachhaltiger Sicht die Schließung des Ozonlochs ist durch die Methangasproduktion des Zuchtviehs und der in Kapitel 3.2. vorgestellten Zero-Waste Denkweise gibt es zahlreiche Bürgerbeteiligungen, Firmen sowie Non-Profit Organisationen, die vor Allem der Lebensmittelverschwendung die Stirn bieten.

Foodsharing

Foodsharing ist eine Bürgerinitiative, die sich gegen Lebensmittelverschwendung einsetzt. Sie retten ungewollte und überproduzierte Lebensmittel von großen Betrieben bis hin zu kleinen Haushalten. Sie versteht sich ebenfalls als bildungspolitische Bewegung mit nachhaltigen Umwelt- und Konsumzielen. Sie befassen sich mit Themen wie den Wegwerfstopp und dem Verpackungswahn in Supermärkten. Die Organisation dieser Aktivitäten läuft weitgehend über eine Online Plattform. „Die Foodsharing initiative findet ihren Anfang 2012 in Berlin und wurde mittlerweile zu einer Bewegung von über 200 000 registrierten Nutzerinnen und Nutzern in ganz Europa.

Die Initiative möchte kostenfrei und werbefrei bleiben, so arbeiten alle ehrenamtlich und unentgeltlich.“

[57]

Wiener Tafel

Die Wiener Tafel versucht ebenfalls die Lebensmittelverschwendung zu bekämpfen mit einem humanitären Ansatz. Die überflüssigen Lebensmittel der Supermarktketten sollen für Menschen in Not weitergegeben werden. Bis zu 3 Tonnen Lebensmittel Pro Tag werden an 190 000 Armutsbetroffene in 100 Sozialeinrichtungen in Wien verteilt, wie Mutter-Kindhäuser, Flüchtlingsherbergen und Obdachlosenbetreuungseinrichtungen. Es soll so eine Brücke zwischen dem Leben im Überfluss und dem Leben in Armut geschaffen werden [56].

Tauschmärkte

Durch die Möglichkeit sich Online zu vernetzen sind einige Plattformen wie Willhaben und Kleiderkreisel sehr erfolgreich geworden. Die Rede ist von Tauschmärkten und den Verkauf von Second-Hand Ware. Einerseits ist es eine Möglichkeit für viele Leute zu sparen, andererseits ein ökologischer Ansatz zur Wiederverwendung und Müllvermeidung. Das besondere Erfolgsgeheimnis dieser Plattformen ist, dass es keinen Zwischenhändler gibt. Es wird direkt von der Person, die z.B. das Kleidungsstück nicht mehr tragen möchte an die nächste Person verkauft, verschenkt oder gegen eine andere Ware getauscht.

Lokaler Anbau – Hut und Stil

Es häufen sich immer mehr Organisationen und Firmen, die das globale Umweltproblem in der Logistik und den langen Zufahrtswegen sehen.

Hut und Stiel ist ein Unternehmen, dass Pilze in Wiener Altbau Kellern auf Kaffeesatz anbaut. Die Keller von Gründerzeitbauten haben zumeist ein feuchtes Klima, welches perfekte Bedingungen für die Pilzzucht anbietet. Eine andere Sache für die Wien bekannt ist sind die vielen Kaffeehäuser. Dementsprechend entsteht viel Kaffeesatz, der für den Anbau von Speisepilzen wie z.B. Austernseitling verwendet werden kann. Es entsteht ein geschlossener Kreislauf[58] .

Tridea

Tridea ist ein Unternehmen in Brüssel, dass sich auf den 3D Druck von Filamenten, aus recyklierten PET Flaschen spezialisiert. Sie arbeiten dabei mit diversen Sammelstellen zusammen, die PET Flaschen zerkleinern und daraus Pellets produzieren, die schließlich zu Filamenten für den 3D Drucker verarbeitet werden. Es entsteht ein geschlossener Kreislauf, der dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft entspricht [59].

3.9 Exkurs: Corona Pandemie

Obwohl die Erderwärmung und die durch den Menschen verursachte Umweltverschmutzung, nicht nur dokumentiert und seit Jahren messbar sind, gibt es dennoch viele Leugner dieser Theorie. Seit dem Ausbruch der Corona Pandemie im März 2020, die u.a. einen plötzlichen weltweiten Stopp des Tourismus und miteinhergehend den Flugverkehr stark reduzierte, wurden die Abgase auf einen Schlag weltweit reduziert. Die positiven Auswirkungen auf die Umwelt und die verschiedenen Großstädte weltweit waren augenblicklich zu spüren. Es heißt oft, dass sich die Natur alles zurückholt, und genauso war es auch mit der Fauna. In dem sonst von Touristen überfülltem Venedig wurde von noch nie zu vor gesehenem klarem Wasser in den Kanälen und Delfin-Sichtungen berichtet [83] . Mehr Vögel und Vogelarten kehrten in die Städte zurück, die Luft verbesserte sich und in von Smog besonders belasteten Großstädten war der Himmel plötzlich klar. So wurde berichtet, dass das das Himalaya Gebirge zum ersten Mal seit Jahrzenten von Nordindien aus sichtbar war [82] . Die untere Grafik zeigt wie sich die Pandemie auf den Earth Overshoot Day auswirkte. Der Earth Overshoot Day bezeichnet den Tag im Jahr, ab dem die natürlichen Ressourcen aufgebraucht sind, die die Erde innerhalb eines Jahres zur Verfügung stellen kann. Er wird als Messwert für die Grenzen unseres Planeten verstanden. [75]

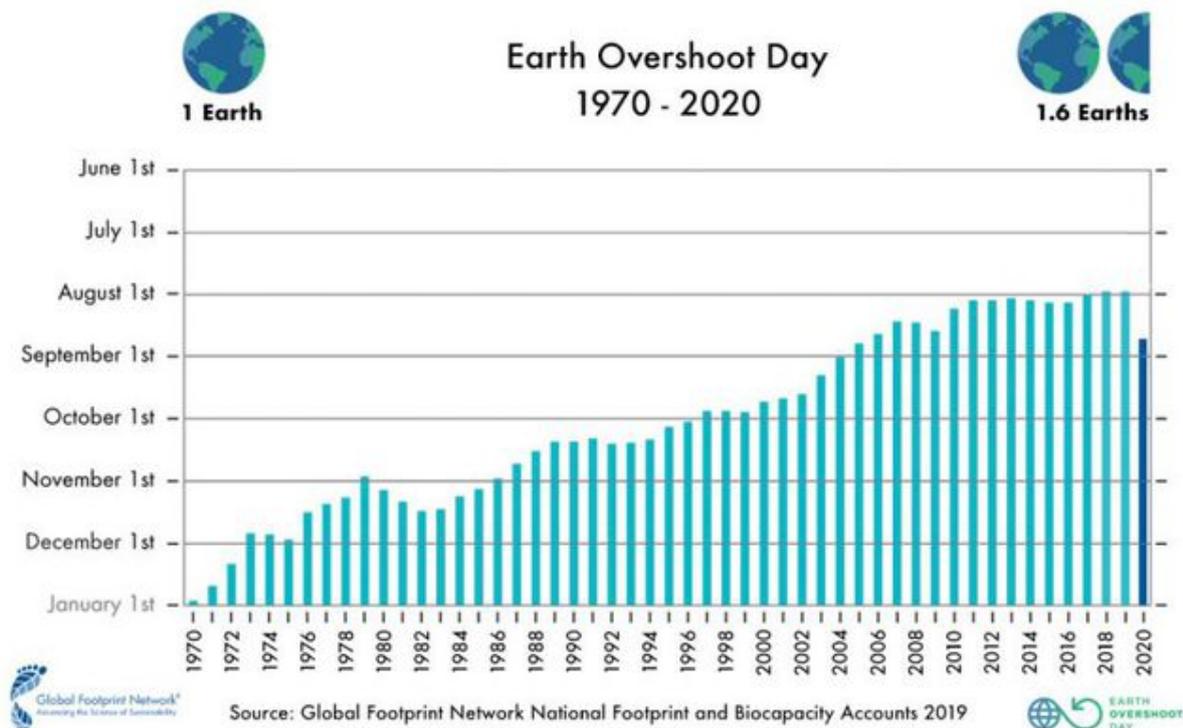


Abbildung 30 Overshootday – Vergleich [75]



Abbildung 31 Himalaya Blick aus Jalandhar (Nordindien) während dem Lock-Down 2020 [82]



Abbildung 32 klares Wasser in Venedig während dem Lock-Down 2020 [83]

4 Kunststoff

4.1 Einleitung

Im folgenden Kapitel werden die verschiedenen Plastikarten besprochen. Da Kunststoff ein sehr umfangreiches Material ist, gibt es anfangs einen kurzen geschichtlichen Rückblick über die Entwicklung der Kunststoffarten. Danach wird ein Überblick über die Verwendung, Recycling sowie Gesundheitsproblematik der verschiedenen Polymere gegeben. Besonderer Fokus wird dabei auf den Stoff PET gelegt, da dieser ein Hauptbestandteil unseres täglichen Lebens und letzten Endes auch des Abfalls ist.

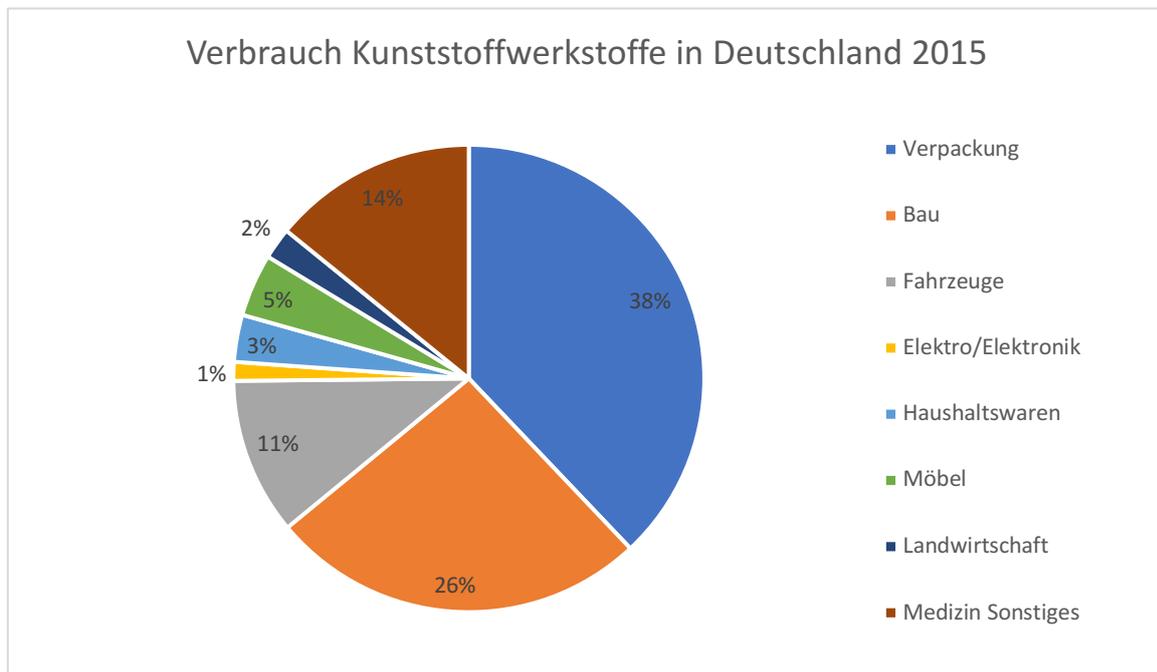


Abbildung 33 Verwertungswege von Kunststoff nach Angaben von PlasticsEurope 2015 [39]

In Abbildung 33 wird am Beispiel Deutschland gezeigt, dass Verpackungen einen wesentlichen Anteil des Kunststoffverbrauchs ausmachen. Der zweitgrößte Anwendungsbereich ist die Baubranche. Würde man den Bau- und den Verpackungssektor im Abfallrecycling miteinander verbinden wären ungefähr zwei Drittel des Gesamt-Kunststoffabfall-Aufkommens gedeckt. Innerhalb der einzelnen Branchen (Bau- und Verpackungsbranche) gibt es bereits zahlreiche Einrichtungen zur Stoffverwertung und Wiederaufbereitung (in Österreich z.B. PET-to-PET für Getränkeflaschen).

Innerhalb der jeweiligen Verwendungskreisläufe gibt es in Österreich bereits zahlreiche Recycling Einrichtungen. Die MA48 sammelt Bauabfall nach Material (bei Kunststoff: Folien, sowie Styropor wird gesondert gesammelt). In gelben Containern können PET Flaschen gesammelt werden.

Es wirkt plausibel diese Bereiche im Recyclingprozess miteinander zu verbinden.

Wir haben auf der einen Seite die Nutzungsdauer von Verpackungen, die äußerst kurz ist und auf der anderen Seite die vergleichsweise lange Nutzungsdauer von Gebäuden.

Wenn wir annehmen, dass die Nutzungsdauer eines Gebäudes mind. 60 Jahre beträgt, und die Nutzungsdauer einer Kunststofftragetasche 25 min. würde die Nutzungsdauer von dem Plastiksack 1,2 Millionen Mal verlängert werden ³ [39]

Plastik ist allgegenwärtig

In unserer heutigen modernen Gesellschaft sind Kunststoffe kaum wegzudenken, es gibt fast keinen Verwendungsbereich, in dem sie nicht verwendet werden. Von Verpackungsmaterialien, Wärmedämmung, Textilfasern, Rohre, Bodenbeläge, über Kosmetika, Lacke und Klebstoffe bis hin zu Reifen, Polsterungen und Kunstharze sind sie in jeder Branche vertreten [21].

Ausgangsstoff für Plastik ist das Erdöl, daraus werden Kohlenstoffverbindungen hergestellt, die verschiedene Zusätze erhalten [8]

4.2 Geschichte der Kunststoffe

Der erste bekannte Kunststoff war das sogenannte Birkenpech, das sowohl Neandertaler als auch der Homo Sapiens als Klebstoff für die Herstellung von Werkzeugen verwendeten. In Mesopotamien wurden Wasserbecken und Kanäle mit natürlichem Asphalt abgedichtet. Fossiles Harz, das auch als Bernstein bekannt ist wird gerne als Schmuck verwendet. Tier Horn wurde im Mittelalter in einen plastisch verformbaren Stoff verwandelt. [68]

Mithilfe von Fermentation von Stärke und Zucker können biobasierende Kunststoffe wie Polymilchsäure oder Polyhydroxybuttersäure hergestellt werden.

Im 17. und 18. Jahrhundert kam der elastische Stoff Kautschuk erstmals aus Malaysia und Brasilien nach Europa und Nordamerika. Der Erfinder **Charles Goodyear** stellte 1839 fest, dass **Kautschuk** bei Vulkanisation (Hitzeeinwirkung und Schwefelzusatz) zu einem elastischen Abriebfesten Material wird - das sg. Gummi. Ebenfalls entdeckte er auch das Hartgummi. Seit dem 19. Jahrhundert wuchs die Gummi Industrie stark an, nicht zuletzt wegen der Erfindung des Autos. Anfangs wurde dieser Stoff nur für Gummihandschuhe und später für Autoreifen verwendet.

Im Jahr 1844 wurde **Linoleum** (= Leinöle Sikkativen und Zellulose durch Lufteinblasung) entwickelt. Welches bis heute ein oft verwendetes Material für Bodenbeläge ist.

Max Fremery und Johann Urban lösten ammoniakalkalische Kupferhydroxidlösung und Zellulose auf. So konnten Kupfer-Rayon-Fäden als erste **Viskosefaser** hergestellt werden.

³ In einer Stunde sind 25 Minuten 2,4 mal enthalten ($60\text{min}:25\text{min}=2,4$), 1 Tag hat 24 Stunden ($2,4*24=57,6$)
1 Jahr hat 365 Tage, zur Vereinfachung der groben Schätzung werden Schaltjahre ignoriert ($57,6*365=21024$)
60 Jahre ist das Gebäude in Verwendung ($21024*60=1261440$)

Im Jahr 1872 entwickelte Hendrik Baekeland **Bakelit** (Polykondensation von Phenol und Formaldehyd) welches zu dem dem ersten in großen Mengen industriell hergestellten Synthetische **Duroplast** wurde. Dieser erlebte in der aufstrebenden Elektroindustrie große Erfolge durch seine Eigenschaft als elektrischer Isolator.

1909 wurde der erste vollsynthetische Autoreifen aus **Kautschuk Buna** hergestellt Der Name Buna leitet sich aus den Inhaltsstoffen Butadien und Natrium ab, welche mittels Polymerisation sich zu Synthetikautschuk verarbeiten lassen.

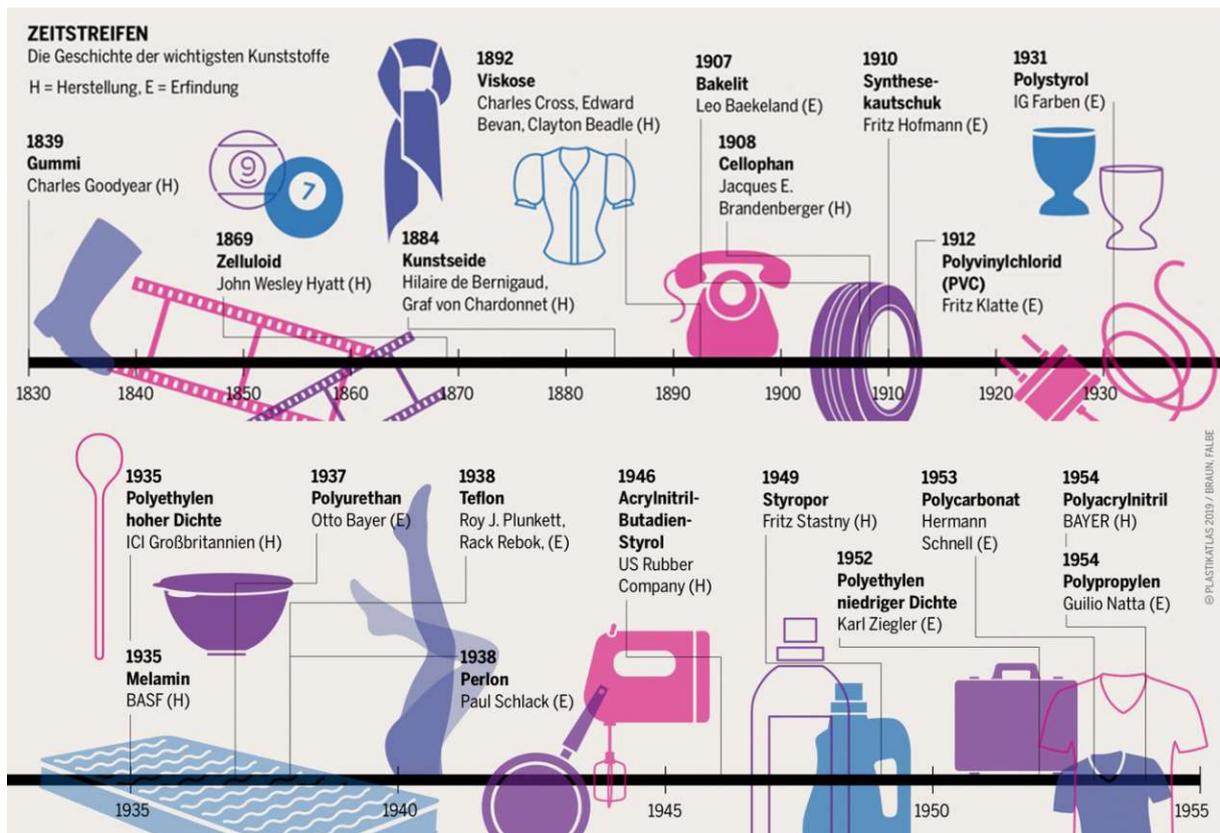


Abbildung 34 Geschichte Plastik

Quelle: PLASTIKATLAS | Appenzeller/Hecher/Sack, CC BY 4.0

Eduard Simon entdeckte 1839 **Polystyrol**, jedoch wurde erst 20 Jahre später die Erfindung Industriell genutzt.

Durch die Entwicklung der **Thermoplaste** in den 50ern nahm die Plastik Herstellung stark zu, da durch neue Verfahren Formteile zu sehr günstigen Preisen hergestellt werden konnten. Plastik erlebte in fast allen Branchen einen regelrechten Boom, da es plötzlich viele Dinge in diversen Produktionen leistbar machte. Unter anderem ermöglichte das kleinere Gewicht dieser Produkte (z.B. Verpackungen) eine Einsparung von Sprit, wodurch die Distanzen der zu verkaufenden Produkte größer wurden.

In Jahr 1940 begann die Plastikproduktion. Knapp 20 Jahre später wurden bereits 1,7 Millionen Tonnen Plastik jährlich produziert, nur 52 Jahre später stieg diese Zahl auf das 165- Fache an. 2014 wurden 311 Millionen Tonnen jährlich produziert.

4.3 Unterteilung der Kunststoffe

In der Literatur wird Kunststoff in diese drei Gruppen unterteilt:

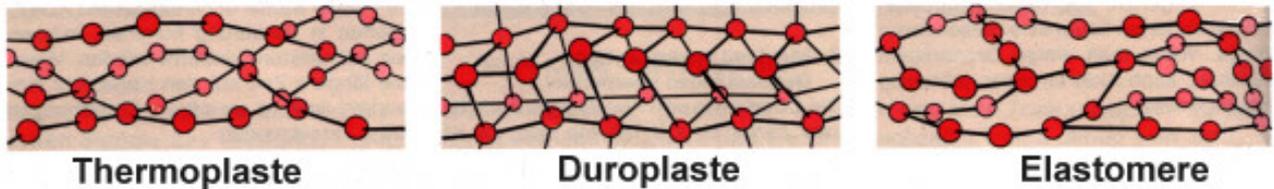


Abbildung 35 Plastikarten [73]

Duroplaste

Duroplaste bezeichnet die Kunststoffe, die durch eine thermische oder chemische Vernetzungsreaktion entstehen. Sie sind hart und Spröde und Hitzebeständig. Beispiele sind Bakelit, Polyurethanharze, Polyester und Epoxide. Duroplaste sind frei von Schwermetallen und Flammschutzmitteln, weshalb sie relativ gut recycle bar sind.

Elastomere

Die Gruppe der Elastomere bezeichnet formfeste aber elastisch verformbare Kunststoffe, die sich unter Druck- und Zugbelastung verformen können und danach wieder in ihre ursprüngliche Form zurückkehren ([9] S. 212). Beispiele sind Autoreifen, Dichtungsringe, Gummibänder. Kautschuk, Gummi und Elasthan.

Thermoplaste

Thermoplaste bestehen aus langkettigen Makromolekülen und sind in einem bestimmten Temperatur Bereich formbar. Durch Erkaltung behalten sie ihre Form und können beim Erhitzen wieder verformt werden. Dieser Prozess ist unendlich oft wiederholbar, sofern sie nicht überhitzt werden. Die Mehrzahl der heute verwendeten Kunststoffe sind Thermoplaste. Beispiele dafür sind PE, PP, Polystyrol, PVC und Celluloid.

Kunststoff ist ein unglaublich vielseitiges Material und dementsprechend auch fast überall einsetzbar. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die verschiedenen Materialarten, ihre Einsatzgebiete und mögliche Schadstoffe gegeben. Die in Abbildung 36 gezeigten Symbole sind Materialkennzeichnungen, sie meistens auf dem Boden der Verpackung zu sehen sind.



Abbildung 36 Recyclingcodes Kunststoff

4.3.1 Polyethylenterephthalat (PET)

PET steht für Polyethylenterephthalat. Eine der größten Abnehmer ist die Getränke Industrie. Seit den 80ern werden Millionen von Plastikflaschen pro Minute (!) produziert.

PET wurde das erste Mal in der 30ern von Dupont entdeckt, Nathaniel Wyeth schaffte es schließlich PET als thermisch formbares Material weiter zu entwickeln [7]

Der weltweite Anteil an PET-Flaschen im weltweiten Verpackungsmix lag 2010 bei 34%.

In der Architektur findet der Stoff PET Verwendung als Textilfaser bei Membranen für Hallen, Dach und Zeltkonstruktionen. Hochfeste Garne aus PET, PA oder PTFE werden mit PVC, PTFE oder Silikonkautschuk beschichtet, um sie UV-Resistent zu machen.

Ebenfalls werden Dachdichtungsbahnen und Agrar- sowie Geotextilien aus PET hergestellt. Grund dafür ist die gute Beständigkeit gegen Feuchte und seine Langlebigkeit. Bei Dachdichtungsbahnen schützt PET die Konstruktion und Dämmung vor Feuchte und bei Geotextilien geht es darum die unterschiedlichen Erdschichten nicht miteinander zu vermischen. [25] (Seite 294)

Weiteres gibt es in der Experimentellen Architektur einige Versuche und Konzepte in denen PET-Flaschen selbst als Konstruktionsmaterial verwendet werden. Die Beispiele hierzu sind in Kapitel 4.5 „Verwendungsbeispiele von PET Flaschen in der Architektur“ zu finden.

Herstellung

PET- Flaschen werden in 2 Produktionsschritten hergestellt. Am Anfang steht der PET Rohling, der im Spritzgießverfahren hergestellt wird. Dieser Rohling wird schließlich zu den Getränkeherstellern gebracht. Dort folgt die Herstellung der PET Flasche im Streckblasverfahren. Dabei wird unter Wärmeeinwirkung und mittels hohem Druck Luft in den Rohling geblasen, welcher sich innerhalb einer Extrusionsblasform ausbreitet. Der Vorteil dieser Herstellungsart liegt darin, dass zum Getränkehersteller wesentlich mehr Rohlinge geliefert und folglich mehr Getränkeflaschen produziert und verkauft werden können. In geringes Gewicht einer Verpackung bedeutet immer geringere Transportkosten.

Die gängigste Methode PET zu recyceln ist die thermische Verwertung.

Eine andere Möglichkeit ist die Wiederverwertung des Materials PET. In Aufbereitungsanlagen werden die Flaschen in kleine Flocken zerhackt, gereinigt, nach Farben sortiert und zu Granulat verarbeitet.

4.3.2 Weitere Kunststoffverpackungen

Polyethylen (PE) mit hoher Dichte (HD= High Density)

Verwendungsbereiche sind zb: Getränkekästen, Waschmittelflaschen, Plastiksackerl, Folien, Abfalleimer, Plastikrohre, Kunstholz, etc. Haupteinsatzgebiet sind Verpackungsmaterialien. PE-HD gilt als Umweltverschmutzend jedoch nicht als gesundheitsgefährdend deshalb wird dieses Material als „Bedenklich“ eingestuft. [10] In der Architektur wird PE-HD hauptsächlich für Abwasserrohre verwendet, sowie Dichtungsfolien und Noppenbahnen.

Polyvinylchlorid (PVC)

PVC ist ein besonders widerstandsfähiges Material welches seinen Verwendungsbereich vor allem dort findet wo große Temperaturunterschiede und häufige Feuchtebelastung eine Rolle spielen.

Das Material wird in Hart- und Weich PVC unterteilt. Anwendungsbereiche im Gebäudebau für Hart PVC sind Abflussrohre und Fenster Profile. Weich PVC wird für Bodenbeläge, Dachbahnen, Dichtungen, Wurzelbahnen, Schläuche, Schwimmreifen, **Kinderspielzeug**, LKW-Planen, etc. verwendet. [7]

Die in PVC enthaltenen Weichmacher nennen sich Phtalate und sorgen dafür, dass der Stoff besonders biegsam und geschmeidig wird. Diese Weichmacher gelten allerdings als **fortpflanzungsschädigend**, somit wird dieser Stoff als gesundheitsgefährdend eingestuft [10]

Polyethylen (PE) mit geringer Dichte (LD= Low Density)

Durch seine geringe Dichte ist PE-LD besonders leicht, weshalb er hauptsächlich für Verpackungsmaterialien herangezogen wird. Somit ist PE LD der „weltweit am häufigsten verwendeten Kunststoff.“ [10]

Polyethylen gilt als umweltverschmutzend aber nicht als gesundheitsgefährdend, deswegen wird er als bedenklich eingestuft. In der Architektur wird dieser Stoff für Dampfbremsen und Folien verwendet.

Polypropylen (PP)

Polypropylen ist besonders preisgünstig und toxikologisch minder problematisch. Deshalb wird es gerne für medizinische Geräte und Babyflaschen verwendet. [7]

Polypropylen wird als Geotextil verwendet, also als Trenn und Filtervlies.

Weitere Verwendungsgebiete sind Tragetaschen, Stoßstangen, Innenraumverkleidungen und vieles mehr.

Polystyrol

Polystyrol auch bekannt als Styropor. Durch das niedrige Gewicht und die Isolierende Wirkung dank Lufteinschlüsse wird dieses Material überall dort heran gezogen wo Wärmeisolierung ein wichtiges Thema ist. Von Lebensmittelverpackungen bis hin zur Gebäudeisolierungen findet Polystyrol Verwendung. EPS- Platten gelten als kostengünstige Variante zur Gebäudedämmung. EPS steht für **expandiertes Polystyrol**.

Polystyrol kann als Zusatz oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden ohne seine Zusammensetzung vorher verändern zu müssen. In Zementwerken wird Polystyrol als Ersatzbrennstoff genutzt und in der Ziegelherstellung sowie bei der Leichtbetonherstellung als Zuschlagstoff.

Klar wird, dass nicht nur das Ausgangsmaterial eines Stoffes seine Ökobilanz bestimmt, sondern auch die Menge bzw. das verwendete Gewicht des Materials!

Polystyrol ist ein Erdölprodukt, dass zu 98% aus Luft besteht. Es benötigt also außerordentlich wenig Erdöl. Erdöl Produkte können grundsätzlich wieder in Erdöl umgewandelt werden oder der thermischen Verwertung zugeführt werden.

Beide Punkte heben wieder die Nachhaltigkeitsbewertung dieses Stoffes. Lt. Hebbel wird nur 0,1 Prozent des gesamten Ölverbrauches zur Erdöl Herstellung verwendet. Bei einer Sanierung eines Hauses aus den 70er Jahren wird die gesamte Primärenergie für die Herstellung der Dämmplatten innerhalb von 2 bis 4 Monaten hereingespielt, das heißt dass über die gesamte Lebensdauer hinweg der Primärenergieeinsatz bis zu 200-fach amortisiert wird [65].

Ebenfalls aus Polystyrol besteht das druckstabilere und wasseraufnahmeresistentere XPS. Im Gegensatz zu EPS steht XPS für extrudiertes Polystyrol. Durch ihre Gleichmäßige Struktur weisen XPS Platten wesentlich bessere Werte auf und werden deshalb vor allem als Perimeterdämmung verwendet werden. [7]

Der Unterschied in der Herstellung besteht darin, dass Polystyrol mittels Wasserdampfs zu kleinen Perlen aufgeschäumt wird, die schließlich zu Platten gepresst werden. XPS wird mit Kohlendioxid als Treibmittel in einem Extruder aufgeschäumt. Durch diese Extrusion entstehen geschlossen-zellige druckstabile Platten

Styropor gilt als rezyklierbar, allerdings ist diese Technik nicht weit verbreitet. Aus diesem Grund landen noch immer große Mengen an Styropor auf Deponien oder in Müllverbrennungsanlagen. Beim Verbrennen werden giftige Gase freigelassen, die u.a. Krebsauslösend sind. Dieser Stoff wird als bedenklich eingestuft.

Gemischte Kunststoffstoffe (Other)

O steht für Other Plastics, also alle anderen Kunststoffarten. Darunter fallen z.B. Plexiglas, Acrylglas (PMMA Polymethylmethacrylat), Fiberglas (GFK Gläserverstärkter Kunststoff), sowie Biokunststoffe.

Zersetzung

Einst als Segen gepriesen wurde es heute zum Fluch. Die Langlebigkeit und Unverwüstbarkeit von Plastik zusammen mit der unüberschaubaren Menge an Plastikabfall hat sich zu einem super Gau für unsere Biosphäre entwickelt Die Aufnahmefähigkeit unserer Erde für Plastik ist begrenzt, was wir produzieren und wegschmeißen bleibt hier. Ein Plastik Sackerl wird im Schnitt 25 Minuten lang verwendet und bleibt schließlich 500 Jahre auf der Erde bis es zu Mikro Plastik zerfällt und in dieser Form bleibt es schließlich weitere 100 000 Jahre im Umlauf ([39] S.84).

Es wird geschätzt, dass Plastik 500 Jahre benötigt, um sich zu zersetzen, jedoch kann diese Aussage nicht zu hundert Prozent bestätigt werden, denn diesen Stoff gibt es erst seit 70 (z.B. PET) bis 200 (z.B. Gummi) Jahren. Bei Gummi und weiteren Plastiken wurde bemerkt, dass nach einer gewissen Zeit Weichmacher aus dem Material entweichen. Bei Einwirkung von UV-

Strahlung wird dieser Prozess beschleunigt, dabei wird der Stoff spröde, jedoch zersetzt er sich dennoch nicht völlig.

Einige Stoffe wurden als toxisch deklariert wie Phenol A und Phenol B.

Die Tatsache ein dermaßen langlebiges Material als Wegwerfprodukt zu verwenden ist paradox. Das Hauptproblem ist die Menge des Plastiks in der Biosphäre. Grundsätzlich kann Plastik wunderbare Dienste leisten, jedoch müssen diese Dienste besser gewählt werden.

4.4 Bioplastik

Das Image von Bioplastik ist ein sehr gutes verglichen zum herkömmlichen Plastik. Was viele allerdings nicht wissen ist, dass Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen nicht immer biologisch abbaubar sind und nicht jeder biologisch abbaubare Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen ist. „Der Verband der Bio-Kunststoff Erzeugerinnen schätzt den jährlichen Verbrauch von Bio-Plastik in Europa auf 100.000 Tonnen, dabei sind nachwachsende Rohstoffe mit circa 60.000 Tonnen vertreten.“ [10]

Mögliche Arten von Biobasierenden Kunststoffen sind Thermoplastische Stärke TBS, Polymilchsäure PLA und Cellulose Hydrat.

Thermoplastische Stärke TPS wird aus Stärke von Mais oder Kartoffeln hergestellt. Anwendungsbereiche sind Folien, Spritzgussartikel, Taschen, Becher, Windelfolien, Besteck, etc.

Polymilchsäure PLA entsteht durch Polymerisation aus Milchsäure. Milchsäure wird aus der Fermentation von Zucker und Stärke gewonnen. Der Vorteil dieses Bioplastiks ist, dass sie als schnell Abbaubare Variante sowie als dauerhaft haltbare Variante hergestellt werden kann. Der einzige Nachteil ist, dass das Material bereits bei 60°C erweicht und somit nicht für Heißgetränke oder den Geschirrspüler geeignet ist.

Cellulose Hydrat auch Zellglas oder Cellophan genannt, wird aus Zellulose hergestellt. Ausgangsstoff ist Holz, Baumwolle oder Hanf.

Kunststoffe wie PE, PP und PVC können auch aus dem nachwachsenden Bio Kraftstoff Bioethanol hergestellt werden. Sie werden mit dem „Bio“ Präfix im Namen gekennzeichnet. Bioethanol wird aus Biomasse hergestellt, also pflanzliche Abfälle wie Holz oder Stroh. Bioplastik kann recycelt werden, jedoch nimmt die Kunststoffqualität bei jedem Recyclingprozess ab.

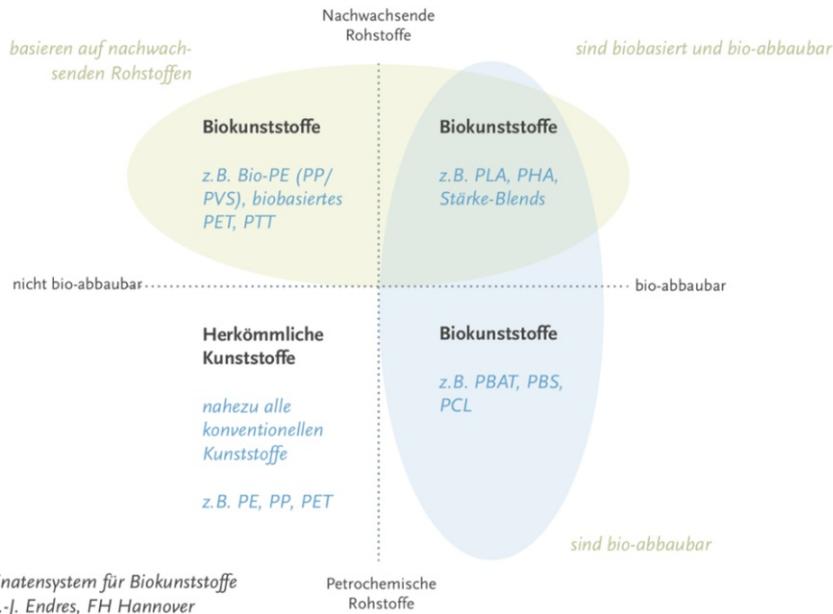


Abbildung 37 Biokunststoffe Unterteilung [11]

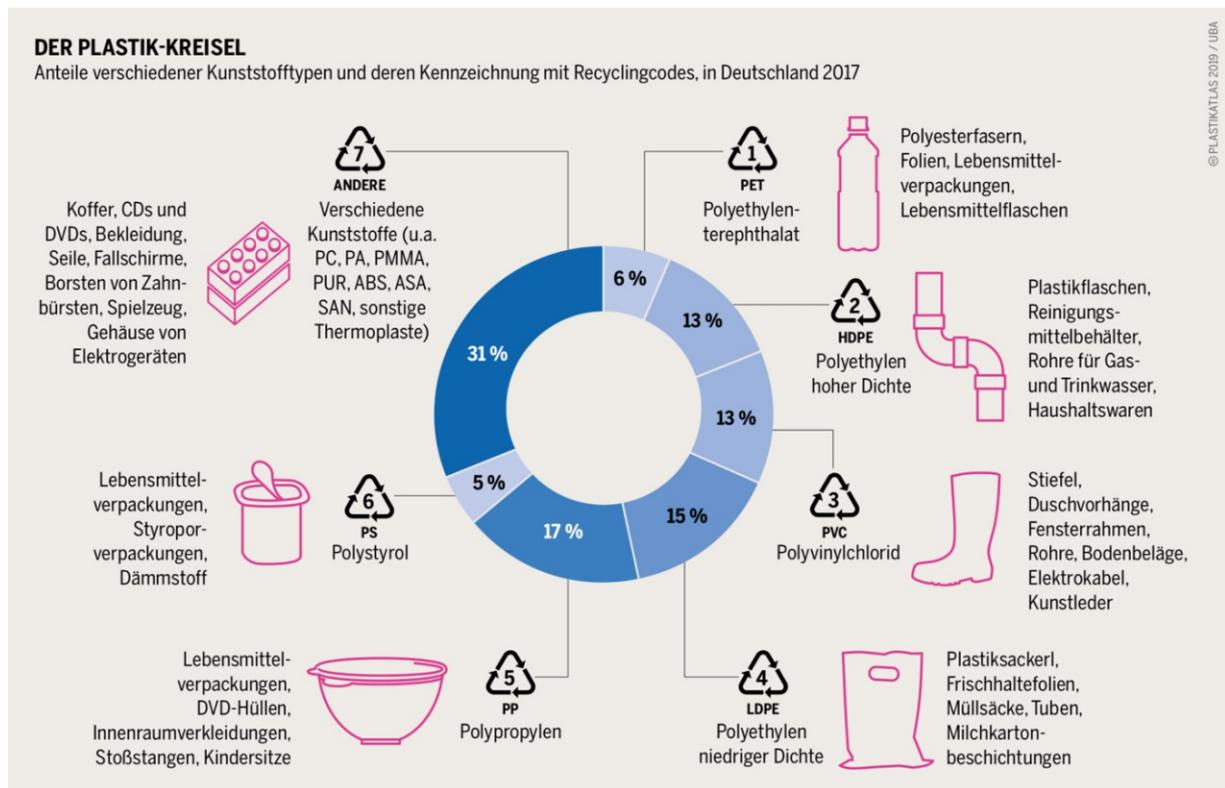


Abbildung 38 Anteile Plastikabfall nach Recycling Codes

Problematik

Die Nachhaltigkeit des biobasierenden Kunststoffes hängt davon ab unter welchen Umständen die Pflanzen angebaut werden. Während in ärmeren Regionen wertvolle Anbauflächen für Nahrungspflanzen verloren gehen, könnte die Nutzung landwirtschaftlicher Stoffe den ländlichen Raum stärken.

Eine in jedem Fall sinnvolle Alternative stellt die Nutzung von Abfallprodukten (Lebensmittelreste, Holzabfälle, landwirtschaftliche Abfälle etc.) dar, allerdings befindet sich diese Herangehensweise derzeit noch im experimentellen Stadium.

Die Kompostierung von biologisch abbaubarem Kunststoff dauert allerdings sehr lange, deshalb werden sie in Großkompostieranlagen aussortiert, weil sie nur unvollständig verrotten. Der weitere Weg des Abfalls geht dann Richtung Restmüll, wo sie thermisch verwertet werden oder mit anderen Kunststoffverpackungen zusammengeführt werden.

Vorteile

Vor allem für langlebige Produkte macht die Nutzung von Biokunststoffen im Gedanken des Kreislaufdesigns Sinn. Ob Biokunststoffe als Verpackungsmaterial nachhaltiger als die gewöhnlichen Verpackungsmaterialien sind, ist nicht eindeutig. Weniger CO₂ entsteht bei Herstellung, Gebrauch und Entsorgung, jedoch reicht das allein für eine gute Ökobilanz nicht aus. Es gibt noch kein Recyclingsystem für Biokunststoffe. Mehrfachnutzung oder sich ganz von Verpackungen lösen ist die nachhaltigere Variante.

„Ein großer Vorteil ist die längere Haltbarkeit von Lebensmitteln gegenüber herkömmlicher Plastikverpackung. Grund ist die Durchlässigkeit für Sauerstoff. Lebensmittel bleiben länger frisch und dadurch muss weniger verdorbenes Essen weggeworfen werden.“ [10]

4.4.1 Recycling

Nicht alles was in der Recycling-Tonne landet wird auch recycelt. Knapp ein Viertel dessen wird tatsächlich verwertet [5]. In der Sortieranlage werden mittels Infrarotstrahl die verschiedenen Plastikarten getrennt. Bei sortenreinen Materialien funktioniert diese Trennung, allerdings verläuft die Trennung bei Mischprodukten nicht so reibungslos. Verbundstoffe die schwer einzuordnen sind, werden meist aussortiert und landen entweder in der Müllverbrennungsanlage oder auf Deponien. Sobald die Sortieranlage durchlaufen wurde, kommt der sortenreine Kunststoff ins Recycling Unternehmen, dort wird dieses noch einmal auf Reinheit überprüft bevor es zu Kunststoffgranulat verarbeitet wird. Dieser Prozess ist aufwendig und teuer. Leider steht Recyclinggranulat in direkter Konkurrenz zu Kunststoffgranulat, das aus frischem Rohöl gefertigt wird und günstiger als auch qualitativvoller ist.

Die Müllverbrennung hingegen ist ein schnelles und sehr lukratives Geschäft. Länder, die mehr Müll produzieren als die Müllverbrennungsanlagen aufnehmen können exportieren ihren Abfall in andere Länder. Aus der Verbrennung dieser Masse entsteht Energie, die wiederum der Stadt und den Haushalten zugutekommt.

Eine Möglichkeit wäre es Produkte aus biologisch abbaubarem Material herzustellen. Hierzu gibt es viele Lösungen wie Produkte aus Stärke, Mais, Reis etc. oder getrockneten Früchten. Das Problem sind die dadurch entstehenden Monokulturen und gegebenenfalls die Abholzung von Wäldern, um mehr Anbauflächen für die Produkte zu schaffen. Meist werden diese Flächen auch wegen der geringen Kosten und staatlichen Auflagen im Ausland angebaut, wodurch hier ebenfalls wieder ein größerer CO₂ Abdruck entsteht.

Solche Lösungen und Waren sollte immer möglichst ortsnahe zur Verfügung gestellt werden oder aus einem möglichst kleinen Kilometer Umkreis stammen sofern die Natur, Bodenbeschaffenheit und örtliche Infrastruktur es zulässt.

Problematik - Sortenreinheit

Das größte Problem am Recycling von Plastik ist, dass es viele unterschiedliche Kunststoffarten gibt. Oft werden diese innerhalb desselben Produkts gemischt, was den Nachteil hat, dass die Plastiksarten nicht getrennt und somit schwer bis gar nicht recycelt werden können. Somit landet auch dieses Plastik auf den Deponien. [7]

4.5 Verwendungsbeispiele von PET Flaschen in der Architektur

Alltagsmüll als Konstruktionsmaterial – PET/Plastik

Der Gedanke aus Abfall zu bauen hört sich zunächst absurd an, jedoch handelt es sich hier um Material, welches wiederverwendet werden kann und somit eine wichtige Ressource darstellt. In diesem Kapitel wird gezeigt, wie PET Flaschen in der Architektur zur Anwendung kommen könnten.

4.5.1 Polli Brick by Miniwiz / Eco Ark by Arthur Huang

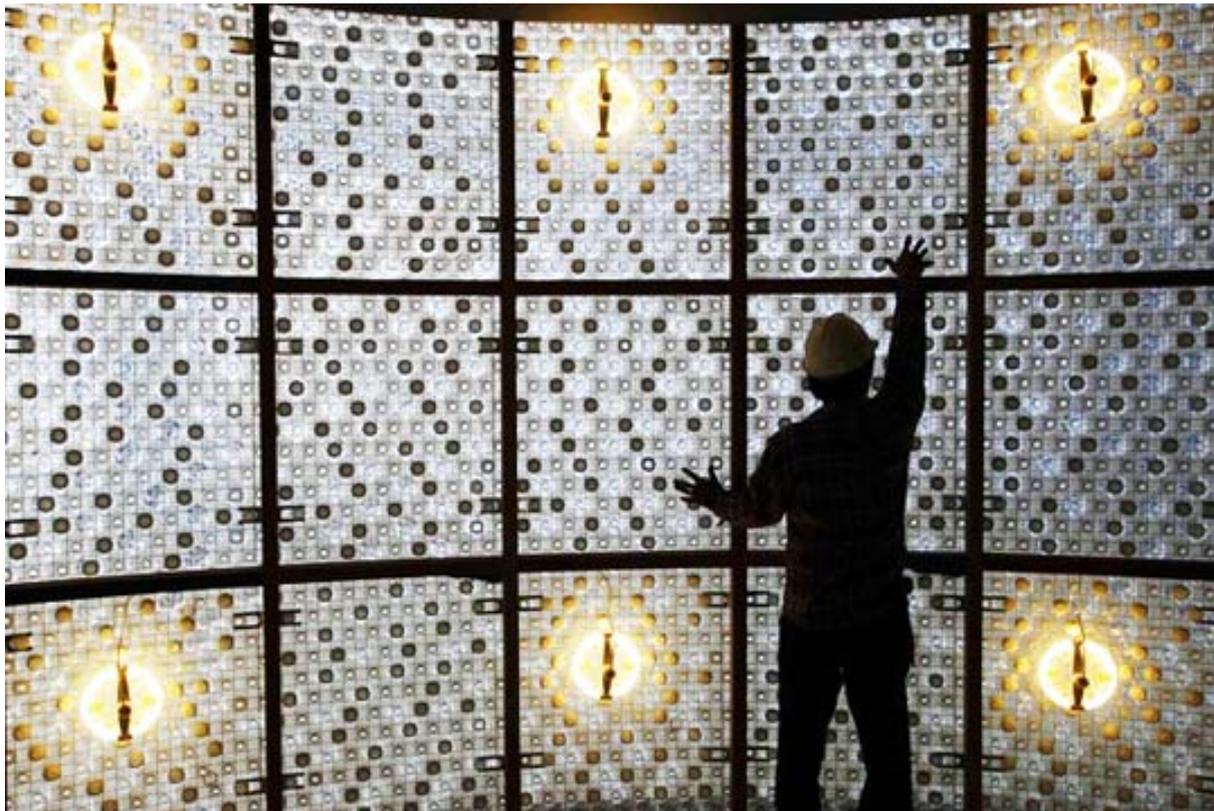


Abbildung 39 Eco Ark Paneele Innenseite [74]

Das Projekt Eco Ark gibt einen progressiven Ausblick wie recycelte PET Flaschen ein Baustoff der Zukunft werden können. 1,5 Millionen Plastikflaschen, die zu 480 000 Polli-Bricks verarbeitet wurden, wurden zur Erbauung des Pavillons vom Taiwanesischen Architekten Arthur Huang verwendet. Das entspricht ungefähr 3 PET-Flaschen pro Polli-Brick. In einer 2 Liter PET Flasche sind 50 Gramm PET enthalten, das heißt 150 Gramm pro Polli-Brick.

Das Budget der EcoArk betrug 9,2 Millionen USD, was ein Zehntel der Kosten des benachbarten Pavillons betrug und ein Viertel eines konventionellen Curtain-Wall Systems ausmachte. Sie konnten damit beweisen, dass Polli-Brick ein wettbewerbsfähiges Material im Gebäudebau ist. Huang konnte so seine Theorie bestätigen, dass nachhaltiges Bauen profitabel sein kann.

Der EcoArk Pavillon ist eine Stahlkonstruktion mit einer Außenhaut aus Polli-Brick Paneelen. Eine genauere Darstellung des Wandaufbaus ist in Abbildung 42 zu sehen. Das Projekt ist so konstruiert, dass es leicht auf- und abgebaut werden kann. Auf dem Dach befinden sich Solarpaneele, die für die Stromversorgung der Beleuchtung, Lüftung und den „Wasservorhang“ zuständig sind. Das Gebäude hat keine eingebaute Kühl- oder Heizanlage und verlässt sich auf eine natürliche Wärmeregulierung dank seiner Form. Ein Teil des Pavillons wurde offen gelassen, um Winde einzufangen, die dann durch den „Wasservorhang“ gekühlt werden und so die Lufttemperatur im Inneren steuern. Dieser Wasservorhang besteht aus vielen Düsen, aus denen dünne Wasserstrahlen austreten, die wie ein dünner Regenvorhang wirken. Im darunter liegenden Becken wird das Wasser aufgefangen. Einer der vielen Vorteile der Polli-Bricks ist, dass sie lichtdurchlässig sind. Das senkt zusätzlich die Stromkosten für die Beleuchtung untertags, da eine sehr große Lichtfläche eingefangen werden kann.

Um die Bauarbeiten zu beschleunigen wurde eine einheitliche Größe für die Wandpaneele gewählt. Ebenfalls wurde ein großer Radius für die gebogenen Elemente gewählt, damit es bei den Verbindungen zu den geraden Paneelen keine Probleme gibt. Testversuche ergaben, dass der U-Wert von diesem Wandpaneel $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ beträgt.



Abbildung 40 Arthur Huang - Rendering

Polli-Bricks sind wabenförmige Flaschen aus recyceltem PET. Durch ihre spezielle Form rasten sie in dreidimensionaler Richtung ineinander ein. Die Wabenform sorgt dafür, die Zwischenräume zu minimieren und erhöht seine Tragfähigkeit. Der Versatz längs der Flaschen sorgt für zusätzlichen Halt und ermöglicht einfachere Handhabung. Polli-Brick soll als multifunktionales Produkt verstanden werden, dass einerseits als transluzente Wärmedämmung und andererseits als Trinkflasche verwendet werden kann.

Werden mehrere Polli-Bricks zusammengeslossen, so können sie auch als Struktur Element verwendet werden, allerdings müssen sie stets in eine unterstützende Rahmenkonstruktion eingefasst werden. Die Verbindung zur Rahmenkonstruktion erfolgt über den Flaschenverschluss.



Incredible thermal / sound insulating characteristic that is self structuring ◀



POLLI-BRICK is

Self-interlocking ◀

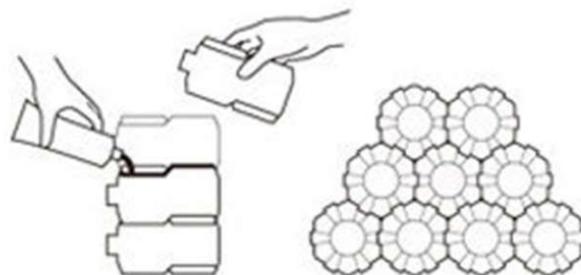


Abbildung 41 Polli- Brick Flasche Detail [35]

POLLI-Brick™ Curtain Wall Tectonic-Standard Module

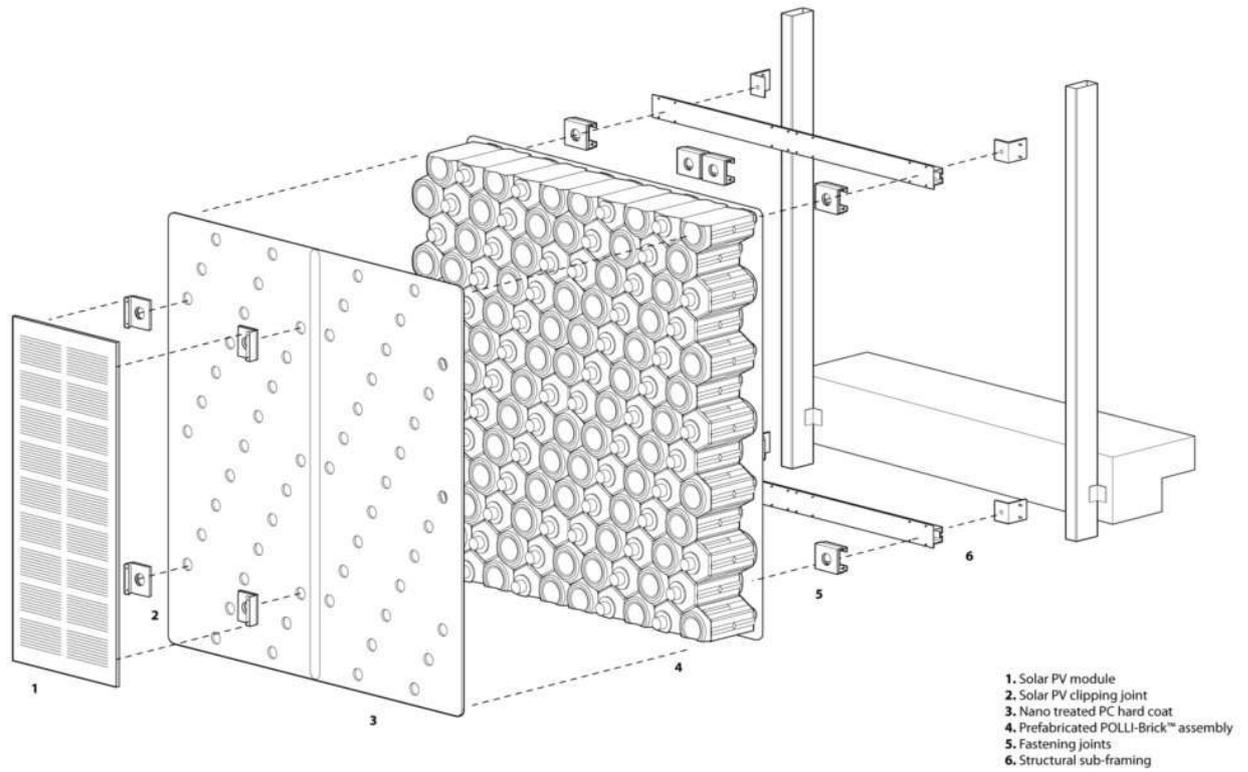


Abbildung 42 Polli-Brick Wandkonstruktion – Eco Ark mit Solarmodul[35]

In Abbildung 42 wird gezeigt, wie Polli-Brick in den Wandaufbau integriert werden kann. Die Flaschen werden über ihre Öffnung mit den Platten (als Nummer 3 gekennzeichnet) fixiert. Man erkennt, dass die Flaschen so angeordnet sind, dass die Öffnung die Richtung wechselt und abwechselnd zur Raumaußen- oder zur Rauminnenseite zeigt. Die Fixierung ergibt ein Diagonales Muster, wodurch der Plattenverband zusätzlich gestärkt wird.

Ein besonderer Vorteil dieser Konstruktion ist das geringe Gewicht. Bis zu Fünf-mal leichter als Glaspaneele derselben Größe soll ein Polli-Brick -Standardmodul sein. Bei der Montage können so kleinere Querschnitte für die Tragelemente verwendet werden und somit weiteres Material gespart werden, was ebenfalls dem nachhaltigen Ansatz entspricht.

Zusätzlich können LED Elemente installiert, die nachts EcoArk in neuem Licht erstrahlen lässt. Die Stromversorgung für diese Elemente kommt ebenfalls von den Solarzellen am Dach.

Die Firma Miniwiz befasst sich mit einigen Recycling Projekten in der Architektur.

4.5.2 United Bottle

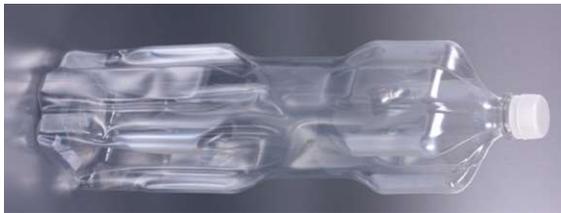


Abbildung 43 United Bottle - Flasche Detail [35]

Ein ähnliches Konzept wie Polli-Brick verfolgt United Bottle.

Ebenfalls aus recyceltem PET gefertigte Flaschen können zusammengefügt und als Konstruktionsmaterial weiterverwendet werden. Durch ihre Spezielle Form rasten die Flaschen wie in einem Puzzle ineinander ein und bilden einen festen Verband. Im Gegensatz zu Polli-Brick benötigen sie keine zusätzlichen Platten, um die Stabilität zu gewährleisten. Der Verbund geschieht über die Seitenflächen und nicht über den Verschluss der Flasche. Ein weiterer Unterschied zu Polli-Brick ist die geometrische Form im Querschnitt. Während Polli-Brick eine sechseckige Form hat, ist United Bottle quadratisch. Das Ziel von United Bottle ist es in die Getränke-Industrie mit ihrem Design einzusteigen. Getränkehersteller sollen diese Flaschenform übernehmen und ihr Produkt in diesen Flaschen in den Shops verkaufen.

Aus den Kapiteln geht hervor, dass das Endstadium vieler Getränkeflaschen Deponien und Strände von Entwicklungsländern sind, wo es einen großen Bedarf an Behausungen und Notunterkünften gibt. Wenn statt Müll, Baumaterial angeschwemmt werden würde, könnte das Leben dieser Leute zum positiven transformiert werden. Es können kostengünstige Notbehausungen binnen kürzester Zeit aufgestellt werden. Durch das geringe Gewicht sind keine schweren Maschinen notwendig. Das Gebäude kann buchstäblich per Hand zusammengesetzt werden.

Die Flaschen können mit Erde, Sand etc. gefüllt und beschwert werden um Stabilität und Widerstand (z.B. gegen Windeinwirkung) zu gewährleisten, oder z.B. mit Federn oder Wolle gefüllt werden als Wärmedämmung.

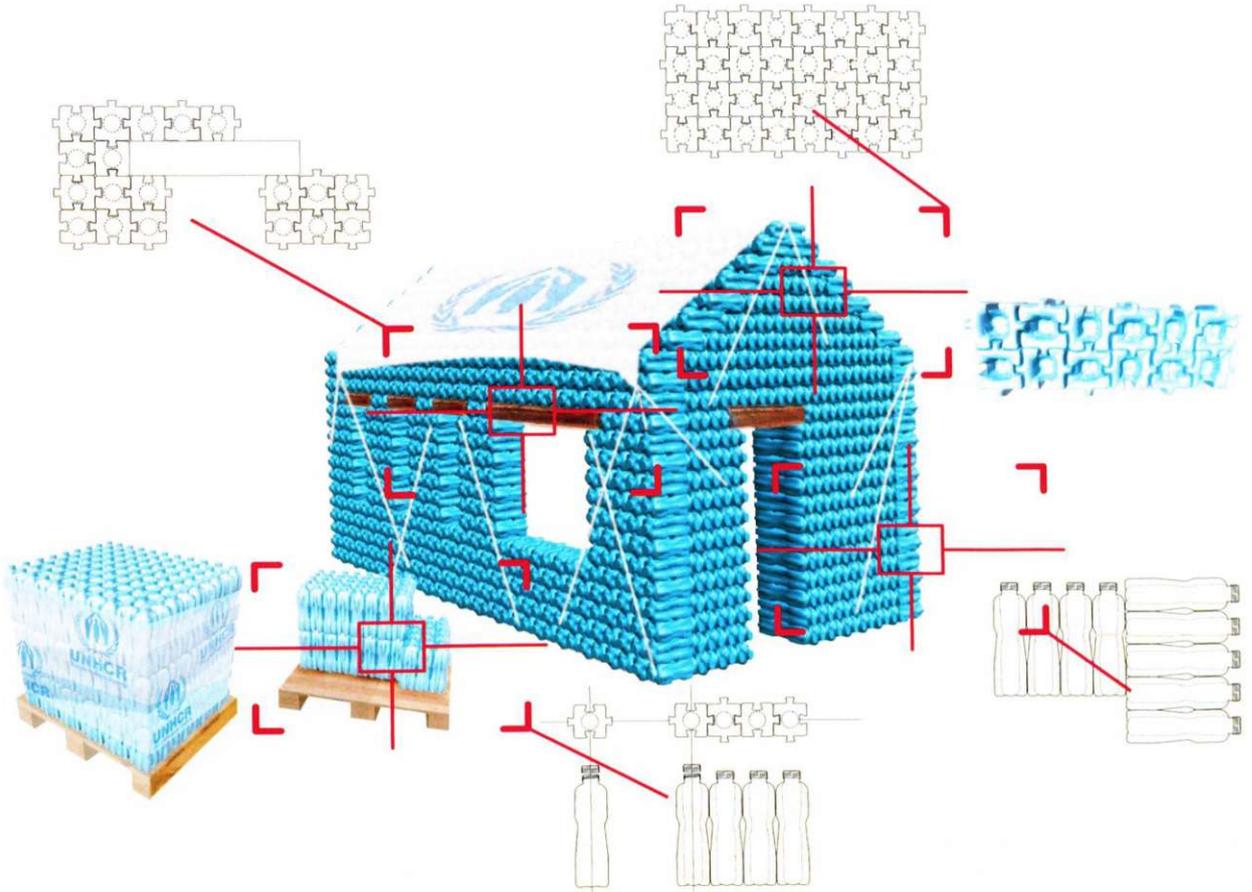


Abbildung 44 United Bottle – Konzeptdarstellung [35]

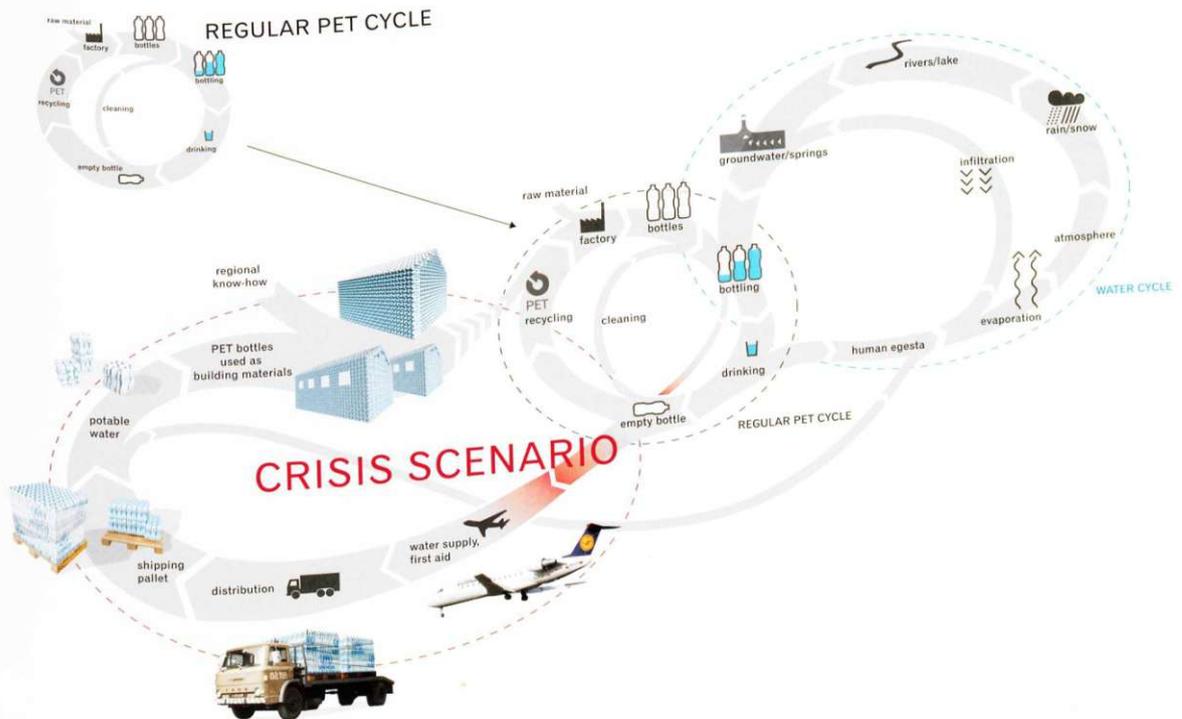


Abbildung 45 Crisis Szenario United Bottle [35]

Polli-Brick und United Bottle sind zukunftsweisende Projekte, die noch in der Forschungsphase sind, weshalb viele Werte für eine Ökobilanz fehlen. Es ist auch unklar wie diese Elemente im klassischen Hausbau z.B. in Österreich Verwendung finden könnten.

Eine Dämmung, die eine ähnliche Zusammensetzung hat, wäre die transparente oder transluzente Wärmedämmung (TWD).

Es handelt sich dabei kurz gesagt um lichtdurchlässige Wärmedämmung. Es gibt viele Arten wie das Licht durch die Dämmung gestreut werden kann. Von Waben, Kapillaren bis hin zu Aerogelen⁴ ist alles möglich.

Problematisch ist jedoch, wie stark sich Gebäude aufwärmen, die diese Art der Dämmung verwenden. Für Nordseiten nützlich, sind sie für eine gesamt Einkleidung eines Gebäudes nicht sinnvoll. Die eingefangene Sonnenenergie bzw. Wärme könnte über eine Speicherschicht weiter genutzt werden. In diesem Falle würde die Dämmung aber nicht den Nutzen der Transparenz erfüllen.

⁴ Hochporöse Festkörper, bestehen zu 99,8% aus Poren

5 Glas

„In Österreich werden pro Jahr 530.026 Tonnen Glas (entspricht 61 kg/Kopf) produziert, davon sind 80 % für Verpackungen bestimmt (49 kg/Kopf)“. [12]

Hauptbestandteile von Glas sind Quarzsand und Soda. Diese werden bei großer Hitze geschmolzen und in die gewünschte Form abgekühlt. Je nach Anwendungsbereich werden verschiedene Zusätze beigemischt und auch die Art der Abkühlung bestimmt die mechanischen Eigenschaften von Glas. So wird bei **Fensterglas** z.B. die Oberfläche schneller abgekühlt, um eine Vorspannung zu erzeugen, die das Glas somit bruchfester macht.

Die benötigte Temperatur ist dafür verantwortlich, dass die Produktion von Glas sehr viel Energie verbraucht. „So ist die **Glasindustrie** der Teilssektor mit dem **dritthöchsten Energieverbrauch** (nach dem Papier- und dem Chemiesektor). Rund 12 % der von der heimischen Industrie benötigten Energie geht in die Glasproduktion.“ [12]

Ein Nachteil von Glas gegenüber Plastik ist sein Gewicht. Je schwerer die Verpackung, desto mehr Energie verbraucht sie. Hier sollte betont werden, dass Glas bei kurzen Transportwegen – also regional produzierter Ware durchaus sinnvoll ist.

“Ganz konkret heißt das, dass man ein und dasselbe Produkt beispielsweise in eine 300 Gramm schwere Glasverpackung abfüllen kann – oder in eine 20 Gramm schwere Kunststoffverpackung.“, schreibt Sojade mir zu dem Thema. [60]

5.1 Altglasherstellung

Zunächst wird das Altglas in Containern nach Farbe gesammelt und getrennt (Bunt und Weißglas). Von dort wird es zum Recyclingwerk gebracht wo es gereinigt und zu Granulat verarbeitet wird, welches bei 1600°C wieder eingeschmolzen und in neue Formen gepresst und geblasen wird. Die Hauptarbeit beim Glasrecycling ist die Trennung von Fremdstoffen. Diese funktioniert über Magnetschneider (Abtrennung von Eisenkeilen), Erfassung von größeren Fremdstoffen per Hand, bzw. Nachsortierung, Trennung durch Gewicht (mittels Sieben werden leichtere Fremdstoffe abgesaugt), sowie optische Verfahren (Entfernung von lichtundurchlässigen Materialien wie Keramik).

Probleme im Recyclingprozess, die nicht nur die Qualität des neugegossenen Glases beeinträchtigen, sondern auch ganze Produktionen zum Stillstand bringen können, werden durch Materialien verursacht, die in keinem der Trennverfahren als Fremdkörper identifiziert werden können wie Bleikristallglas, Spiegelglas oder andere Mischglassorten wie Kochgeschirr.

5.2 Vorteile von Glas

Ein besonderer Vorteil von Glas gegenüber Plastik ist seine gesundheitliche Unbedenklichkeit. Glas geht keine Verbindungen mit seinem Inhalt ein und ist chemisch inaktiv. Ein weiterer Vorteil ist das **Recycling**. Glas lässt sich **unendlich oft wiederverwenden und kann praktisch nicht verrotten**. Bis zu 30% der benötigten Energie können beim Recycling eingespart werden. Das recycelte Glas besteht zu 60 – 90 % aus Altglas, Verunreinigungen erschweren allerdings den Recyclingprozess. [5]

„Rund 235.000 Tonnen (27 kg/Kopf) werden pro Jahr gesammelt und wiederverwertet.“[12] Verglichen mit dem oben erwähnten Wert von 49kg/Kopf werden knapp mehr als die Hälfte der Glasverpackungen wiederverwertet.

Glas ist **für die Natur weitgehend unbedenklich**. Da es aus Mineralien besteht, baut sich dieses nicht ab und kann unendlich lange verweilen. Problematisch ist nur die Verletzungsfahr für Lebewesen durch Glasscherben.

5.3 Wiederverwendung von Altglas in der Architektur



Abbildung 46 Konstruktionsbeispiele mit Glasflaschen [35]

Es gibt zahlreiche Beispiele wie mit Glasflaschen gebaut werden kann. All diese Beispiele lehnen sich an massive Mauerwerkskonstruktionen an. Ähnlich wie z.B. beim Ziegelmauerwerk werden Flaschen nebeneinandergelegt, mit Mörtel verbunden und dann versetzt wieder in einer Reihe aufgelegt. Es entstehen massive, lichtdurchlässige Mauern, die vor allem bei Earthships Verwendung finden.

5.3.1 Earthships

Earthships sind autarke Gebäude in Massivbauweise aus Zivilisationsabfällen.

Massive Wände sind ein wichtiger Bestandteil dieser Architektur, denn sie dienen als Speichermasse für passive solare Warmegewinne, die dann durch die Massespeicherung langsam an das Gebäude abgegeben werden und dieses so beheizen.

Da dieses Glasmauerwerk an sich eine Wärmebrücke bildet, werden bei Earthships zahlreiche „Pufferräume“ angelegt. Pufferräume sind Luftschleusen zwischen Außenbereich und dem beheizten und bewohnten Innenbereich. Ziel dieser Luftschleuse ist es das lichtdurchlässige

Mauerwerk von der restlichen Konstruktion einerseits zu trennen und so Wärmebrücken zu verhindern, sowie einen wärmeregulierenden Raum zu schaffen.

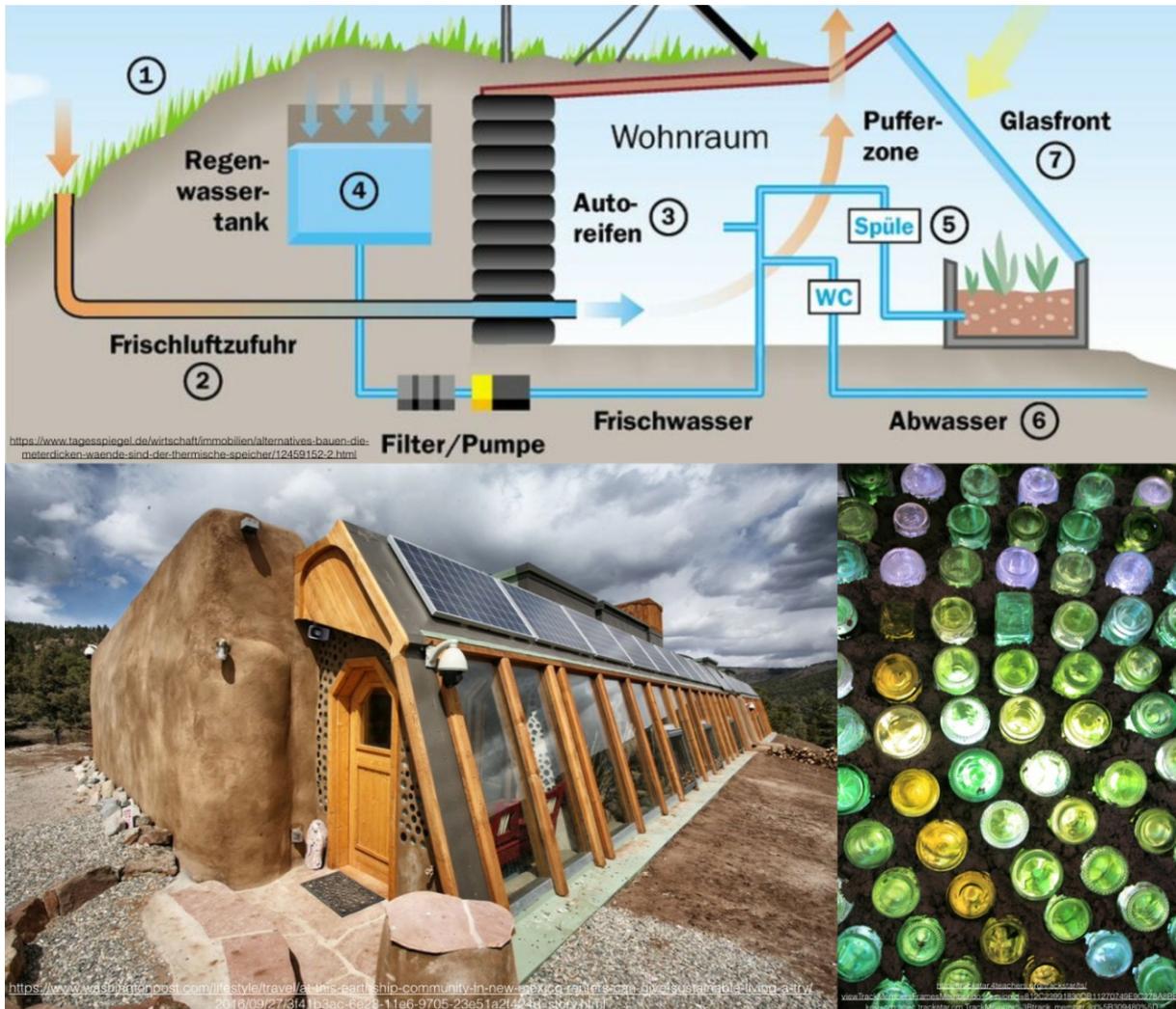


Abbildung 47 Earthships Pufferräume

5.4 Produkte

Ob Bau-Altglas in neuen Glasprodukten für den Gebäudebau verwendet wird, ist stark von den Herstellern abhängig. Die Firma Lamberts gibt an seine Produktionsprozesse so weit optimiert zu haben, dass bis zu 50% Altglas in seinen Produkten vorhanden ist. Zu diesen Produkten zählen unter anderem Profilbauglas.

5.4.1 Glasgranulatplatten

Die Firma Magna Naturstein stellt Glasgranulatplatten her, die aus Industrieausschüssen aus der Flachglasproduktion bestehen. Das Granulat wird mit verschiedenen Zusätzen in eine Form gebracht, schließlich mit einem patentierten Verfahren gesintert und kontrolliert abgekühlt, um innere Spannungen zu vermeiden. Das Standard Plattenmaß ist 2.800mm x 1.250 mm, mit einer Plattenstärke von 20mm, jedoch sind auch andere Maße und Farben auf Wunsch erhältlich. Auch diese Platten sind lichtdurchlässig und können als Fassadenplatte sowohl im Außen als auch im Innenbereich angewendet werden. [71]

Bei Altglasrecycling gilt allgemein: Je mehr Altglas verwendet wird, desto mehr CO₂ kann in der Endproduktion eingespart werden.

5.4.2 Glaswolle

Glaswolle gehört zur Gruppe der Mineralwolle Dämmstoffe. Die klassische Glaswolle ist weich und üblicherweise nicht auf Druck belastbar, jedoch gibt es mittlerweile verschiedene Ausführungen, die nicht nur Zugfestigkeit in eine Richtung (MW-WV, MW-WD, MW-PT) sondern auch Druckbelastbarkeit gewährleisten (MW-PT). Glaswolle ist brandbeständig, dampfdiffusionsoffen und bietet einen hohen Strömungswiderstand, was sich positiv auf die Schalldämmeigenschaften auswirkt.

Bei Nässe sinkt das Wärmedämmvermögen stark, deshalb sind Glaswolle-Dämmmatten **vor Feuchte zu schützen**.

Glaswolle wird im sogenannten Tel-Verfahren hergestellt. Der Prozess erinnert an die Herstellung von Zuckerwatte. Das Glas wird geschmolzen und durch eine Schleuder und Blasverfahren in dünne Fasern gezogen.

Die Angaben zum Recyclingglasanteil unterscheiden sich von Hersteller zu Hersteller. Grundsätzlich liegt er im Bereich Zwischen 49 und 60% [26] . Einige Hersteller (z.B. ISOVER) geben sogar an einen Recyclingglas-Anteil von 85% an. [67]

Je höher dieser Anteil ist desto besser können Produktionskosten gesenkt werden, zusätzlich verbessert er ihre Ökobilanz. Die Grafik in Abbildung 49 zeigt die Prozentuelle Zusammensetzung von Glaswolle und den durchschnittlichen Recyclinganteil lt. [26]



Abbildung 48 Glaswolle [66]

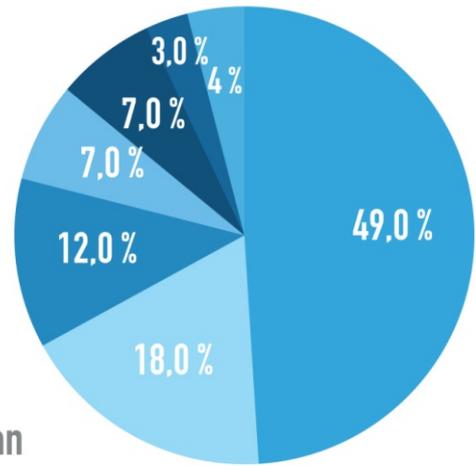


Abbildung 49 Mineralwolle Zusammensetzung

5.4.3 Schaumglas

Schaumglasplatten bestehen aus silikatischem Glas, dass durch Zugabe von dem Triebmittel Kohlenstoffpulver aufgeschäumt wird. Dadurch entstehen geschlossene Wasserdampfdichte Zellen, die Schwefelwasserstoff enthalten. [26]

Vorteil von Schaumglasplatten

Schaumglasplatten sind geschlossen-zellig und dadurch **gas-** und **wasserdicht**, zusätzlich sind sie **sehr druckfest**. Sie sind nicht für **Schallschutz** geeignet und **nicht brennbar**. Durch all diese Gegebenheiten werden sie gerne als **Perimeterdämmung**⁵ verwendet. Schaumglas wird auch überall dort verwendet wo besondere Brandschutzanforderungen gefragt sind. Zu beachten ist dabei die Verlegungsart. Gelegentlich wird Bitumen zur Einbettung verwendet, welches durchaus brennbar ist.

Schaumglas kann als Dämmung überall eingesetzt werden, sowohl als Kern, Innen oder Außendämmung. Bei Innendämmung, die unter dem Estrich verlegt wird, wird lediglich ein statischer Nachweis benötigt, sofern es sich um eine Nutzung mit erhöhter Druck Belastung wie z.B. bei Parkdecks handelt.

⁵ Dämmung Erdberührender Bauteile



Abbildung 50 Schaumglas Zusammensetzung

Abbildung 50 zeigt, dass der Anteil an Recycling Glas mit 38,5% ungefähr ein Drittel der Bestandteile ausmacht. Knapp die Hälfte der Dämmung setzt sich aus Gesteinen und Mineralen zusammen: Quarzsand, Feldspat⁶ und Soda⁷, die bergmännisch gewonnen werden. Daraus erklärt sich seine Beständigkeit gegen Druckbelastung, Brand und Feuchte.

Bei der Herstellung wird die Glasschmelze der Rohstoffe extrudiert, zerkleinert und zu Glaspulver vermahlen. Das Gemisch wird auf 900°C erhitzt und als Blähmittel wird Kohlenstoff beigegeführt, welches schließlich oxidiert und Gasblasen erzeugt. Die Kühlung wird dabei streng kontrolliert. Weitere Blähmittel können u.a. Koks, Calciumcarbonat und Zucker sein. [26]

Schaumglasplatten werden meist mit Kaltklebern oder Heißbitumen vollflächig mit dem Baukörper verbunden. Sie können auch trocken mit offenen Fugen direkt in den Feinsplitt - Sand oder Frischbeton verlegt werden. Ein **Vorteil** ist, dass sie **sofort belastbar** sind nach der Verlegung.

Schaumglas ist sehr **langlebig, resistent gegen Nagetiere, Insekten, Schimmel und Chemikalien**. Es ist **verrottungsfest** und auch nach Langzeitbelastung **extrem druckfest**.

Problematisch für das Recycling ist die Bitumen Verklebung. Eine **Rückgewinnung** ist wegen den **Bitumenresten nicht durchführbar**. Eine Möglichkeit zur **Wiederverwendung** ist als **Schotterersatz im Straßenbau**. Da Schaumglas verrottungsfest ist, könnte es problemlos als **Sekundärstoff für Schüttungen** in Form von Granulaten verwendet werden, jedoch ist dieser Prozess so aufwendig, dass er als nicht rentabel gilt und deshalb nicht umgesetzt wird.

Die Entsorgung erfolgt auf Deponien für Baurest Massen (mit Bitumen Resten), da dies lt. BGBl erlaubt ist.

Alle primären Stoffe werden bergmännisch gewonnen und sind in ausreichendem Maße vorhanden. In Österreich sind Rekultivierungen gesetzlich vorgeschrieben, womit einer Bodenerosion vorbeugt werden soll. Lediglich Mangandioxid (0,4%) zählt zu den knappen Ressourcen. Der Grund dafür liegt darin, dass Mangan für Stahllegierungen verwendet wird und laut Schätzungen soll das Vorkommen in 100 Jahren erschöpft sein. [26]

⁶ Feldspat: Silikat-Mineral gilt als eines der wichtigsten gesteinsbildenden Minerale der Erdkruste

⁷ Soda: Natriumcarbonat, Salzhaltiges Mineral aus der Klasse der wasserhaltigen Carbonate.

Die Verwendung von Altglas ermöglicht eine Senkung des Energiebedarfs, da auch der Schmelzpunkt von Altglas niedriger als der der Primärrohstoffe ist.

Ökotoxikologische Wirkung haben nur lösungsmittelhaltige Bitumenkleber, da sie die bodennahe Ozonbildung beeinflussen. Bei unsachgemäßem Einsatz kann das Grundwasser geschädigt werden. Nutzung und Entsorgung sind ökologisch unproblematisch. [26]

6 Aluminium

Aluminium wird ähnlich wie Plastik vor allem durch sein geringes Gewicht und seine Vielseitigkeit geschätzt. Aluminium ist **hitzebeständig**, ein **sehr guter elektrischer sowie Wärmeleiter und extrem formbar**. Seine **Legierungen** sind **genauso fest wie Stahl**, deshalb erfreut sich Aluminium vieler unterschiedlicher Verwendungsbereiche in der Luft, Raumfahrt, Fahrzeugindustrie und Verpackungsindustrie. Es ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Gebäudebaus, vor allem was Fensterprofile betrifft, da Aluminium nicht korrodiert und gerade in wechselhaftem Klima ein sehr beständiges Material ist.

Was bei unserem täglichen Gebrauch von Aluminiumfolie, und Getränke-Dosen schnell in Vergessenheit gerät ist, wie umweltbelastend die Gewinnung von Aluminium ist.

Aluminium wird aus dem Rohstoff Bauxit hergestellt, der zu den nicht nachwachsenden Rohstoffen gehört. Bauxit ist ein Erz, das sehr energieaufwendig aus der Erde gefördert wird. Hauptsächlich zu finden ist der Rohstoff im Tropengürtel um den Äquator. Hauptfördergebiete sind Brasilien, China und Australien. Aus Brasilien kommt ca. ein Drittel des weltweiten Bauxits. Jährlich wird eine Fläche von 250 Fußballfeldern für die Aluminiumproduktion gerodet. [14]

Um Aluminium zu produzieren werden Unmengen an Energie gebraucht. Das Aluminiumoxid wird aus dem Bauxit mittels Bayer-Prozess herausgelöst. Aus der roten Bauxiterde wird die weiße Tonerde mittels Unmengen Natronlauge unter hohem Druck und Hitze herausgelöst. Die Lauge wird schließlich verdünnt und in riesigen Öfen auf 1300 Grad erhitzt, zurück bleibt Aluminiumoxid.

Die Förderung von Edelmetallen stellt in vielen Ländern ein Umweltproblem dar. Für Metalle wie Gold wird in zahlreichen Dritte-Welt-Ländern unter menschenunwürdigen Bedingungen gearbeitet. Die Metalle können oft nur mittels giftiger Chemikalien aus dem Boden herausgelöst werden. Bei der Förderung von Aluminium entsteht giftiger Rotschlamm, der nur noch deponiert werden kann. In Ungarn kam es 2010 zu einer Katastrophe als ein Damm zur Rotschlammendlagerung einbrach und die herauslaufende toxische Brühe mehrere Dörfer verseuchte. Letztendlich gelang diese Brühe leider auch in die Donau und hatte dort Folgen für das Ökosystem. [14]

Jährlich werden weltweit 100 Millionen Tonnen Aluminium erzeugt, rund die Hälfte davon besteht aus Recyclingmaterial. Bei der Wiederaufbereitung von Aluminium können rund 95% an Herstellungsenergie eingespart werden. Pro Tonne Aluminium werden ca. 18 MWh Strom

benötigt [14]. Das entspricht dem jährlichen Strombedarf von 4 Einfamilienhäusern in Österreich. Bei recyceltem Aluminium beträgt der Energieaufwand nur 0,9 MWh. Während in den Fahrzeugbranchen und der Baubranche das Materialrecycling gut funktioniert landet beim Haushalts Müll, (z.B. Getränkedosen) etwas weniger als die Hälfte im Restmüll und kann somit nicht recycelt werden. Gelangt eine Getränkedose in die Natur, so benötigt sie ca. 200 Jahre, um sich zu zersetzen [14].

6.1 Vergleich Aluminium und Weißblech

Dosen aus Weißblech

Eine ökologischere Variante für Lebensmittelkonserven stellt Weißblech dar. Weißblech wird aus Stahl gefertigt und benötigt bei der Herstellung weniger Energie. Die Unterscheidung ist mit dem bloßen Auge kaum erkennbar, jedoch werden beide über die „Blaue Tonne“ recycelt und in den Recyclinganlagen dann per Recycling-Code unterschieden.

Während Getränkedosen meistens aus Aluminium gefertigt sind, bestehen viele Lebensmittelkonserven aus Weißblech. Die Herstellung einer Dose aus Weißblech ist dabei in jeder Hinsicht wesentlich ökologischer als die einer Dose aus Aluminium. Weißblech wird aus Stahl gefertigt und benötigt keinen Abbau von Bauxit und auch insgesamt weniger Energie. Eine Unterscheidung zwischen Aluminium- und Weißblechdose ist mit bloßem Auge ist jedoch leider kaum möglich und nur mit einer Angabe des Recyclingcodes auf der Verpackung („AL“ für Aluminium, „FE“ für Weißblech) für die Konsumenten möglich. Auch Weißblechdosen sollten über die blaue Tonne entsorgt werden. In der Natur benötigen diese zur Verrottung rund 50 Jahre [14].

Probleme

Zum einen werden bei Bauxitabbau ganze Landschaften und Regenwälder zerstört, nicht nur wegen dem Rohstoff selbst, sondern auch für Wasserkraftwerke, um den Bau energetisch zu versorgen. Auch wegen lockeren Umweltauflagen und niedriger Löhne wurde die Produktion in Länder wie Brasilien verlegt. Seen und Flüsse werden oft überschlammt, was zu sterbenden Fischbeständen und Verschmutzung des Trinkwassers für die dort lebende Bevölkerung führt [14].

Zum anderen entstehen bei der Erzeugung von Aluminium hoch giftige Abfallprodukte. Schwermetallhaltige Schlämme, ätzende Fluorwasserstoffe, sowieso Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid sind im sogenannten Rotschlamm enthalten. Dieser wird oft in offenen Giftschlammbecken deponiert. Auch in Europa wird Bauxit abgebaut. 2010 kam es in im ungarischen Kolontár zu einer Katastrophe als ein Damm eines Giftschlammbeckens brach und mehrere Dörfer verseuchte. Wovon Europa 2010 nur eine Kostprobe bekam ist für Länder des Amazonas Alltag. Durch den häufigen Regen schwappen Giftschlammbecken ständig über und das umliegende fruchtbare Land wird dadurch vergiftet. Der Lebensraum vieler indigener Völker und Lebewesen wird damit zerstört, das Ackerland wird unbrauchbar. [14]Pro Tonne Aluminium fallen rund 1,5 Tonnen hochgiftiger und stark ätzender Rotschlamm an, der als Abfall in offenen Giftschlammbecken deponiert wird.[14]

Vorteile

Einer der besonderen Vorteile von Aluminium ist seine Wiederverwendbarkeit. Der Stoff kann zu 99% recycelt werden ohne signifikante Einsparungen in seiner Qualität zu verzeichnen. Auch was den Energie- und Wasserverbrauch betrifft schneidet das wiederverwendete Aluminium wesentlich besser ab. Vergleicht man die Werte so benötigt Aluminium nur 5-10% des ursprünglichen Energieverbrauchs. Auch das Einschmelzen birgt offenkundig ökologische Risiken. Es erhärtet sich der Verdacht, dass beim Einschmelzen von bedrucktem Aluminium - wie Joghurtdeckel und Alu-dosen- langlebige organische Schadstoffe wie Dioxine und Furane freigesetzt werden. Die Devise heißt also Aluminium zu vermeiden.

Im Vergleich der Dämmstoffe im 8 Kapitel wird Aluminium in der Ökobilanz nicht als Dämmstoff verwendet, da es wegen seiner hohen Wärmeleitfähigkeit keinen Dämmstoff aus Aluminium gibt.

Aluminium wird in der Architektur in anderen Bereichen eingesetzt wie Fassadenplatten, Fenster- und Türrahmen, sowie Montageprofile für Gipskartonplatten. Aluminium kann durch seine Gasdichte auch als Feuchtigkeitssperre verwendet werden.

6.2 Verwendung von Tetra Pak in der Architektur

Tuff Roof

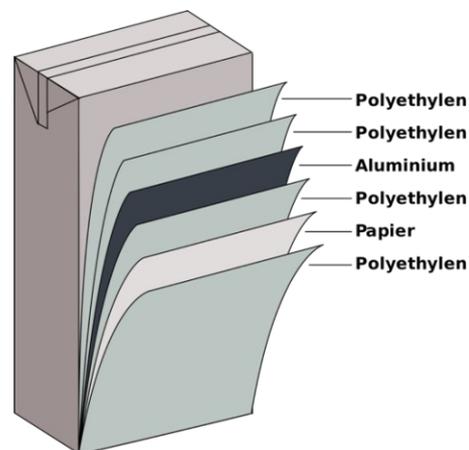


Abbildung 51 (links) Tuff Roof – Tetra Pak Welldach [35] , (rechts) Tetra Pak Zusammensetzung [61]

Während Aluminium aus Tetra Pak schwer herauszulösen ist, kann diese Verpackung an sich zu einem neuen Baustoff umgewandelt werden. Man muss ebenfalls betonen, dass Tetra Pak nur zu 4% aus Aluminium besteht, was den Sinn der Wiederverwendung zum selben Produkt, oder die Rückgewinnung des Aluminiums in Frage stellen. In Abbildung 51 ist zu sehen, dass in Tetra Pak mehrere Schichten Polyethylen enthalten sind (20-21%). Dennoch ist Papier die dickste Produktschicht und macht den Großteil der Verpackung aus (75-80%) ([35] S. 52). Laut dem Hersteller fokussiert sich das Recycling der Verpackung auf Papier bzw. Zellstoff und Polymere [61].

Bei TUFF ROOF wurden Tetra Paks zerkleinert und unter hohem Druck verleimt und zu Wellblech ähnlichen Paneelen gepresst, die so wie das übliche Wellblech, für günstige Dachabdeckungen verwendet werden können. Das Praktische an diesem Recyclingprozess ist, dass keine zusätzlichen Mittel zur Produktion gebraucht werden. Unter Hitzeeinwirkung schmilzt das im Tetra Pak enthaltene Paraffin der Plastiksicht und verbindet sich mit den Papier- und Aluminiumschichten. Da die Tetra Paks gehäckselt wurden, ist dieses Paraffin gleichmäßig verteilt, sodass ein fester Verbund entstehen kann. Zusätzlich sind die Platten Wasser und Feuerbeständig nach DIN EN 13501 [35] flexibel, Korrosionsfrei und **sehr leicht**. Das Gewicht beträgt 148kg/m^3 .

Wellbleche für Dachabdeckungen sind in der Regel sehr dünn und können durch ihre aussteifende Form verhältnismäßig hohe Lasten und große Spannweiten aufnehmen, weshalb sie im Hallenbau besonders beliebt sind. Der große Nachteil von Metallabdeckungen ist, dass sie schnell überhitzen, was für darunter liegende Arbeitsräume oft ein Problem darstellt. TUFF ROOF hat hier einen entscheidenden Vorteil, denn durch das innen enthaltene Aluminium wirkt das Material **hitzereflektierend**.

Drei Viertel des Aluminiums, das seit 1880 aus der Erde entnommen wurde wird heute noch immer verwendet. Die Verwendungsgebiete dritteln sich in Transportmodelle, Elektrische Kabel und Baumaterial. Wir arbeiten somit zu einem Großteil mit Sekundärstoffen, was weiterhin die großartige Recyclingfähigkeit von Aluminium unterstreicht.

Im architektonischen Kontext bedeutet dies, dass die Möglichkeit zur Trennung des Werkstoffes von anderen fest verbundenen Materialien (z.B. die Trennung eines Aluminium Flügelrahmens vom Fensterglas, den Dichtungen, sowie dem Fensterprofil) einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Wiederverwendung von Aluminium leistet. Je einfacher die Demontage am Ende des Verwendungszyklus ist, desto eher wird der Stoff in den Kreislauf zurückgeführt. Problematisch wird der Rücklauf bei Verbundwerkstoffen, bei denen die Trennung mit mehr Aufwand verbunden ist, als Material rückgewonnen werden kann. Aus diesem Grund wurde TUFF ROOF als Beispiel gewählt um zu zeigen, dass auch Lösungen zur Wiederverwertung solcher Stoffe gefunden werden können.

7 Altpapier

Im folgenden Kapitel wird ein kurzer Überblick über die Papierherstellung, den Verbrauch und das Recycling gegeben. Weiteres folgen Beispiele aus der Architektur.

Papier ist einer der am häufigsten rezyklierten und weggeworfenen Materialien. Dafür gibt es mehrere Gründe. Aktuelle Marketing Strategien in verschiedenen Branchen betonen das „Image der Nachhaltigkeit“, was dazu führt, dass immer mehr Verpackungen (sofern dies möglich ist) aus Papier hergestellt werden.

Einen wesentlichen Beitrag leistet aber das **Online-Shopping**. Firmen wie Amazon und Zalando versenden ihre Pakete fast ausschließlich in Kartons. Wellpappe hat sich für diese Anwendung als besonders stabil erwiesen für ein verhältnismäßig geringes Gewicht.

7.1 Papierherstellung

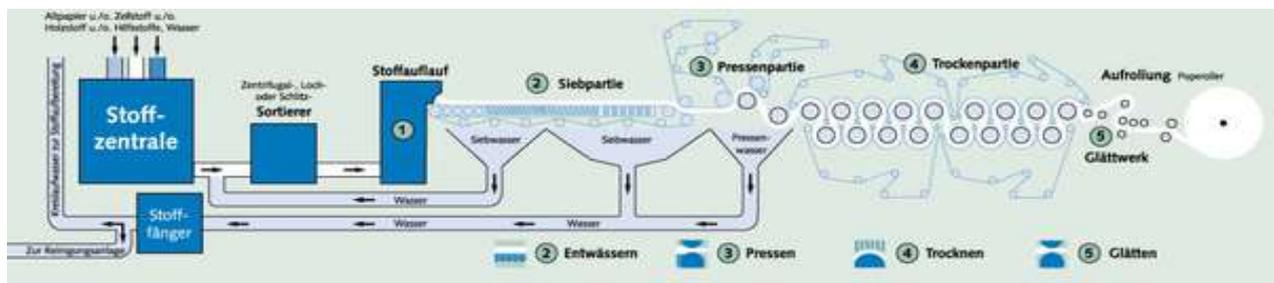


Abbildung 52 Papierherstellung [15]

Zunächst wird das Papier in Containern gesammelt und zum Recyclingwerk gebracht. Dort wird es nach Papierarten sortiert. Hier wird vor allem auf die Farbe des Papiers geachtet. Dunkle Kartonagen können nicht zu weißem Druckerpapier verwandelt werden. Anschließend wird die Mischung gereinigt. Mithilfe von Sieben werden Fremdkörper entfernt wie z.B. Plastik und Büroklammern. Als nächster Schritt wird das Papier zerkleinert. Im De-Inking-Verfahren soll die Druckerfarbe entfernt werden. Hierzu wird das Papier mit Wasser vermischt, das Papier löst sich in seine Fasern auf und mittels Natronlauge und Tensiden werden die Farbteilchen herausgefiltert. Zur Herstellung von hellem Papier wird der Faserbrei zusätzlich mit Sauerstoff und Wasserstoffperoxid gebleicht, leider werden dabei bedenkliche Chemikalien verwendet, die ins Wasser gelangen. Zuletzt wird dieser Brei geglättet, getrocknet und zu neuem Papier ausgerollt [70].

7.2 Verwertung

Sortenrein getrenntes Altpapier kann zu **grafisch höherwertigem Papier** und zu **Hygienepapier** verarbeitet werden. Zeitungs- und Telefonbuchpapier besteht zu 80-100% aus Altpapier, Magazindruckpapier hingegen nur aus 50% Altpapier.

Am Anfang gelangt Altpapier zur Faseraufschließung in den „Pupler“, danach wird die Druckerfarbe dem Faserbrei im sogenannten „De-inking“ entzogen. Danach gelangt der Stoff in die Papiermaschine. Dort wird abhängig von der gewünschten Qualität des Papiers verschiedene Anteile an Holzstoff, Zellulose und De-ink-stoff eingesetzt. Die Umstellung auf Papiersäcke scheint eine gute nachhaltige Lösung zu sein, da Papier sich in der Natur zersetzen kann, jedoch ist Papier nicht endlos wiederverwendbar. Maximal Sechs mal kann Papier wiederverwendet werden. Der Grund dafür ist, dass die Fasern nach mehrmaliger Verwendung brüchig und kürzer werden und aus Qualitätsgründen das Papier letzten Endes aus dem Kreislauf genommen werden muss.

„Die österreichische Papierindustrie hat die modernsten Produktionsanlagen der Welt. Sie ist in der Lage, über 95% des Recyclingmaterials in der Produktion zu verwerten.

7.3 Verwendung von Altpapier in der Architektur

PHZ2

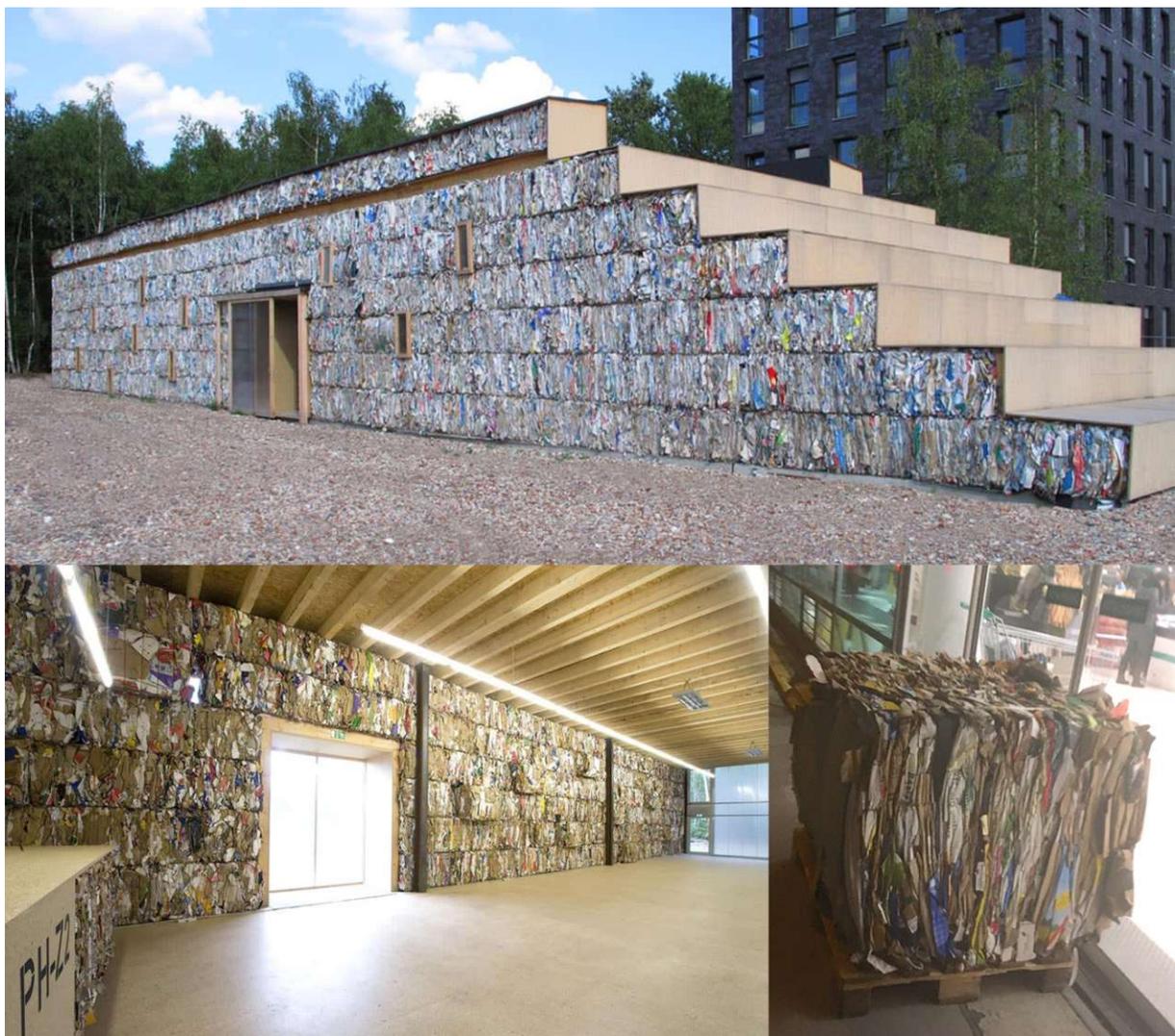


Abbildung 53 PHZ2 Außenansicht, Innenansicht und Kartonballen [35]

Das Projekt, das den Namen PHZ2 trägt, wurde von Dratz und Dratz – als temporärer multifunktionaler Raum geplant. Er enthält eine Bar, Toiletten und eine offene Fläche, die für diverse Events zu Verfügung stand. Der Pavillon wurde für die Ausstellung des Weltkulturerbes 2010 gebaut, für die das Ruhrgebiet nominiert wurde. Als Grundbaustein dienten hier Kartonballen aus der Ballenpresse, die als Vorstufe im Recyclingprozess von Altpapier erstellt werden. Die Karton-Ballen sollen aus dem Kreislauf temporär entnommen werden, um sie ihm später wieder zurückzuführen. Die Ballen besitzen sehr gute Schalldämmeigenschaften, und verfügen über eine Feuerfestigkeit von F30 was sich durch die Pressung erklärt. Es ist ähnlich wie bei einem Telefonbuch. Die einzelnen Seiten brennen leicht, jedoch ist es schwer das ganze Buch zu entflammen.

Die Ballen zeigen sogar eine gute statische Stabilität. Durch ihr Eigengewicht von 500kg können sie bis zu 30m hoch gestapelt werden ohne zusätzliche Bewehrung. Die Dimension eines Ballens entspricht 1,4m x 1,1m x 0,8m. Ca. 550 Ballen wurden verwendet. Die Nutzfläche des Pavillons entspricht 185m². Auf dem Dach des Pavillons ermöglichen große Sitzstufen, den Außenraum ebenfalls für Events zu nutzen. Dadurch, dass sozusagen ein Abfallprodukt verwendet wurde, konnte man die Kosten um 40% senken. Nach [62] betragen die Baukosten für dieses Projekt (Planungskosten exkl.) um die 170 000€.

Ersichtlich wird, dass in der experimentellen Architektur grundsätzlich immer auf Massivbau zurückgegriffen wird. Ob der Massiv- oder der Leichtbau ökologisch vorteilhafter ist lässt sich pauschal nicht sagen, sondern nur in direkten Fall Beispielen vergleichen. Fakt ist jedoch, dass heutzutage Zeit einen entscheidenden Faktor im Gebäudebau festlegt. Den mit Zeit sind auch Kosten verbunden. Die Tendenz geht allgemein mehr in Richtung Fertigteil- und Konsolenbau, sowie Vorfertigung. Bauteile die leicht zusammengesetzt wurden, können auch wieder leicht in ihre Bestandteile auseinandergenommen werden. Ein großer Vorteil für die Mülltrennung ist bei Holzleichtbauwände gegeben.

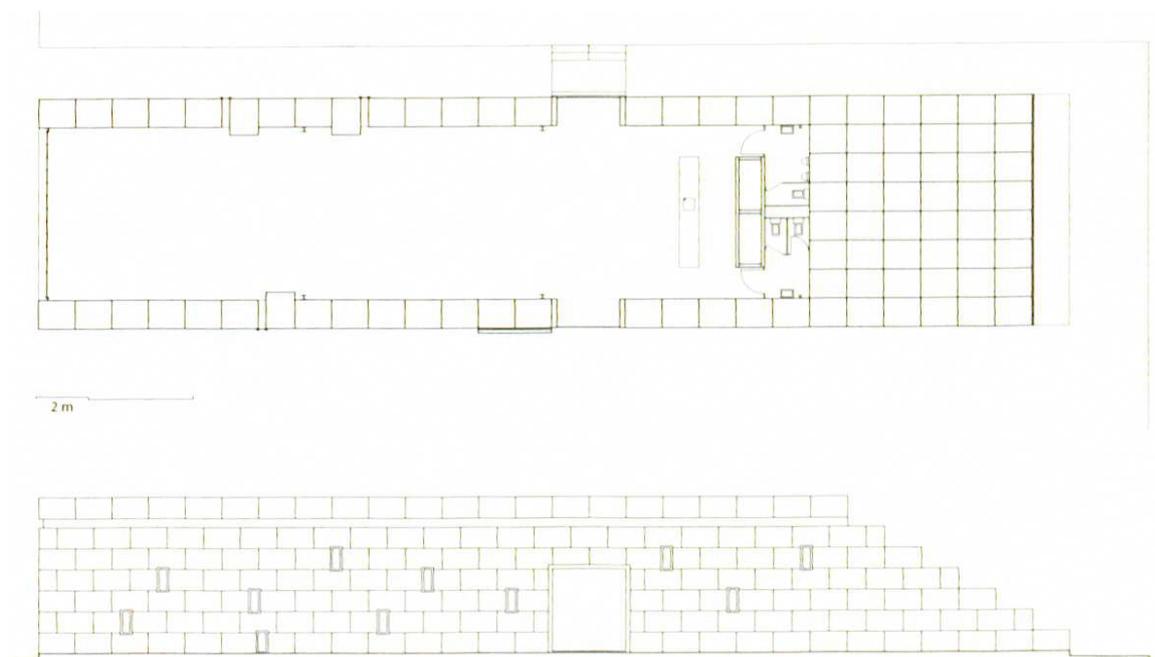


Abbildung 54 PHZ2 Grundriss und Schnitt [35]

7.4 Zellulosefaserplatten

Zellulosefaserplatten sind Wärmedämmplatten, die aus gebundenen juteverstärkten Platten aus Altpapier hergestellt werden. Gebunden wird das zerkleinerte Altpapier mit Lignin Sulfonat (=Salze der Ligninsulfonsäure). Zellulosefaserdämmplatten sind sowohl hydrophobiert, durch Tallharz und Aluminiumsulfat, als auch Brand geschützt durch Borsäure bzw. Boraxpuffer. Die Zusammensetzung ist in Abbildung 55 erklärt.

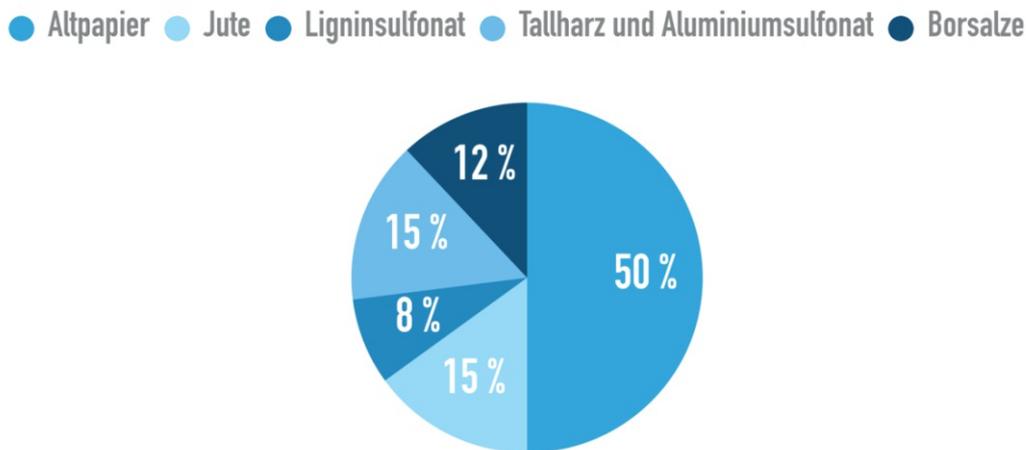


Abbildung 55 Zellulosefaserplatten Zusammensetzung

Wie man sieht, macht Altpapier einen wesentlichen Anteil der Zellulosefaserdämmplatte aus, was für die Ökobilanz sehr positiv ist. Die Firma Homatherm sammelt Altpapier im Umkreis von 50km um das Werk, die sortiert angeliefert werden. Die Sortierung sorgt dafür eine gleichbleibende Qualität des Papiers zu gewährleisten. Sobald es angekommen ist wird das Papier zerkleinert und trocken mit der Borsalzmischung vermengt. Der **Jute Anteil** ergibt sich z.B. aus gesammelten Kaffee, Tee und Gewürzsäcken, somit ebenfalls Verpackungsmaterial aus der Lebensmittelindustrie. Auch die Jute wird zerkleinert und mit Lignin Sulfonat (=Bindemittel), Tallharz und Aluminiumsulfat vermischt. „Tallöl und Aluminiumsulfat verbinden sich zu einem hydrophobierenden Resinat und bilden dadurch eine wasserabweisende Schicht“([26] S. 115). Die Jute und das Altpapier werden nun vermischt, mittels Wasserdampf zu Platten gepresst, getrocknet und formatiert. Energieträger für diese Herstellung sind Strom und Brennholz.

Zellulosefaserdämmplatten haben sehr gute Wärmedämmeigenschaften, sowie gute **Schallschutzeigenschaften**, die Platten sind diffusionsoffen und in Brandschutzklasse B2 eingestuft, somit sind sie für Konstruktionen mit nicht erhöhten Brandschutzanforderungen geeignet.

Zellulosefaserdämmung werden meist zwischen Sparren geklemmt, bei hinterlüfteten Fassaden kann auch Baukleber eingesetzt werden. Im Zweischaligen Mauerwerk werden sie auf Anker aufgeschoben.

Über die Beständigkeit von Zellulosefaserdämmplatten selbst ist nichts bekannt, jedoch wird vermutet, dass sie dieselbe Beständigkeit wie Zelluloseflocken haben.

Recyclingfähigkeit

Unbeschädigtes Material kann wiederverwendet werden. Als Sekundärstoff kann es in den Herstellungsprozess wieder eingegliedert werden, geringe Verschmutzungen werden dabei toleriert.

Zur Entsorgung kann das Material verbrannt oder unter eingeschränkten Bedingungen deponiert werden. Probleme bei der Deponierung von Biobasierenden Dämmungen werden in den beigemengten Brandschutzmitteln und Mottenschutzmitteln gesehen. Diese können sich lt. BGBl 1996/164 siehe „Erläuterung zu den Dämmstoffkapiteln“ negativ auf die Umwelt auswirken. Deshalb ist die Wiederverwendung oder Verbrennung dieses Materials der Deponierung stets vorzuziehen.

Zellulosedämmplatten bestehen abgesehen von Borsalzen und Viskosevlies nur aus Recyclingmaterialien. Altpapier kann Schwermetalle aus Druckerfarbe enthalten. Tageszeitungen enthalten weniger Schwermetalle als Hochglanzpapier. Durch eine Vorsortierung wird bei der Herstellung der Zellulosefaser sichergestellt, dass weniger Schwermetall-belastetes Papier verwendet wird. Die Zusatzstoffe Borsalz, Aluminiumsulfat und Ligninsulfonat gelten als gering wasser-gefährdend (WGK1). Bei sachgemäßem Einbau ist mit keiner ökotoxischen Wirkung während der Nutzung zu rechnen.

Bei der Verbrennung ist wichtig, dass die Borsalze in der Schlacke stabilisiert werden, sodass sie nicht auswaschbar sind. Möglichkeiten dafür sind Hochtemperaturverbrennung oder Verglasung der Schlacke.

Gesundheit

Altpapier kann Stäube und Fasern freisetzen, dennoch sind keine zellulosevermittelten Berufskrankheiten bekannt. Auch das Tallharz wirkt hier nicht Hautirritierend da es als Resinat mit Aluminium unlöslich vorliegt.

Der Vorteil gegenüber Zellulosedämmflocken ist, dass deutlich weniger Fasern freigesetzt werden. Grund dafür ist die Montageart. Da es sich um Platten handelt, müssen die Flocken nicht eingeblasen werden. Somit liegt die Staubkonzentration unter der Nachweisgrenze. Es gibt keine nachweisbaren Abgasungsraten flüchtiger Kohlenwasserstoffe und ein niedriger Gehalt an Schwermetallen (lt. IBO10/99/03). Schüttdämmungen finden vor allem in unregelmäßigen Formen ihren Einsatz.

Beim Rückbau ist auf Staubschutz zu achten. Die Flocken werden eingeblasen oder unter Zugabe von Wasser und. Ev. Kleber auf massive Wände aufgesprüht.

Die Weiterverarbeitung ist einfach und der Aufwand vergleichsweise gering. Wichtig dabei ist die Sortenreinheit des Stoffes. Die Borsalzmischungen stammen aus der Türkei oder Amerika. Für das Einblasverfahren wird ein allseits umschlossener formstabiler Hohlraum z.B. Gipsfaserplatten oder Holzschalungen benötigt. Beim Aufsprühen braucht es eine Konstruktion, die das Austrocknen der Feuchtigkeit zulässt.

Der Feinstaub der Zellulosefaser hat eine lange Halbwertszeit in der Lunge. Boroxidpartikel können Reizung in Augen und Schleimhäute auslösen, allerdings befinden sich all diese Werte unter dem erlaubten Grenzwert [26] .

Papier Recycling verbraucht weniger Wasser als bei der Frisch-Papier-Herstellung. Ein Problem stellen aber die Druckerfarben dar. Diese basieren auf erdöhlhaltigen Rohstoffen und sind dadurch giftig. Während es hierbei bei Schreibpapier nur um den Farbunterschied geht, kann das für Lebensmittelverpackungen ein ernstes Problem darstellen. Hier wäre es wichtig auf natürliche oder ungiftige Druckerfarben umzusteigen.

8 Bewertung

Um eine gute Prognose erstellen zu können welche Ökobilanz die Materialien haben ist eine Bewertung notwendig. Die Parameter werden in diesem Kapitel besprochen. Die Bewertung der ökologischen Aspekte erfolgt anhand exemplarischer Wandaufbauten mit dem Tool Eco2Soft von Baubook.

Eco2Soft Tool

Die ökologische Bewertung erfolgt mit dem Eco2Soft Rechner. Dieses Tool berechnet den Wärmedurchgangskoeffizienten und die OI3 Kennzahlen anhand von parametrierbaren Bauteilen. Die Baubook-Plattform stellt eine umfangreiche Bauteilbibliothek zur Verfügung. Zudem wird das vordefinierte Bauteil auch als 3D Schnitt visualisiert. Hersteller deklarieren dort ihre Produkte mit allen wichtigen Kennzahlen und Daten, sowie technischen Datenblättern u.v.m. Nach einer Qualitätssicherung werden diese Daten zielgruppenspezifisch in der Datenbank gelistet und können dann zur Erstellung diverser Berechnungen von Energie und Ökokennzahlen, sowie Ökobilanzen und Energie- und Gebäudeausweisen verwendet werden [46].

Passivhausstandart

Da es noch immer viele fossil betriebene Heizsysteme gibt, trägt die Gebäudebeheizung einen wesentlichen Teil zum Treibhauseffekt bei. Die Bereitstellung von Heizwärme ist mit einer Reihe von weiteren Schadstoffemissionen verbunden, die im weiteren Sinne für Wintersmog sorgen und zur Versauerung der Böden beitragen. Aus diesen Gründen trägt die richtige Wärmedämmung einen wesentlichen Teil zur Reduktion der Umweltbelastungen durch Heizenergie bei. Die Neubauten der letzten 10 Jahre tragen ca. nur 10% zum gesamten Endenergieverbrauch bei. So können in einem „Passivhaus Szenario“ in 50 Jahren rund 85% an Heizwärmebedarf eingespart werden [26]. Laut Passivhausstandart werden Dämmstoffstärken von 20-40cm als sinnvoll erachtet. In einem Betrachtungszeitraum können so bis zu 27 000 Liter Heizöl eingespart werden. Bei vergleichsweise 10cm dicker Dämmung würden nur 12 500 Liter eingespart werden [26].

Ökologie der Dämmstoffe

Besonderer Fokus bei der Analyse von Recycling Anteilen der besprochenen Materialien wird auf Dämmstoffe gelegt. Dafür gibt es mehrere Gründe:

- Dämmstoffe machen einen wesentlichen Teil des Wandaufbaus in seinem Querschnitt aus
- „Wärmedämmen wirkt umweltentlastend. Ein beträchtlicher Teil der weltweiten (fossilen) Energieträger wird zum Beheizen von Gebäuden aufgewendet. (...) Durch den Einsatz von Dämmstoffen werden Heizaufwand und alle damit verbundenen Belastungen drastisch reduziert.“ ([26] S.2)

Ökologie

Das Wort Ökologie kommt ursprünglich aus dem Griechischen und bedeutet „die Lehre vom Haushalt“. Die wichtigste Grundlage der Ökologie ist das Gleichgewicht der verschiedenen Parteien. Eingaben und Ausgaben sollen sich in Waage halten, oder zwischen den Lebewesen soll sich ein Gleichgewicht einstellen, sodass keine Spezies überhandnimmt.

„Wenn uns plötzlich alles bedingungslos zur Verfügung steht, verlieren wir die Fähigkeit abzuschätzen, was wichtig ist und was nicht.“([39] S. 81)

8.1 Erklärung der Kennwerte der Ökobilanz

Ökoindikator OI3

Der Ökoindikator OI3 ist ein Beurteilungsindikator, entwickelt vom österreichischen Institut für Baubiologie und kombiniert Primärenergieinhalt, Treibhauspotential und Versäuerungspotential. Die Darstellung erfolgt in Form einer Zahl, wodurch der Vergleich verschiedener Konstruktionen erleichtert wird [50].

Es handelt sich dabei um einen Summenindikator, der sich aus den folgenden Werten zusammensetzt:

- Primärenergieinhalt an nicht erneuerbaren Ressourcen (PENRT)
- Treibhauspotential (GWP, 100 Jahre)
- Versäuerungspotenzial (AP)

Als Ergebnis erfolgt eine Einteilung des OI3 Wertes in 9 Klassen und der grafischen Darstellung auf einer Farbskala.



Abbildung 56 Bewertungsskala Ökoindex OI3[69]

Klasse	Definition
A++	$\leq 1/9$
A+	$> 1/9 - \leq 2/9$
A	$> 2/9 - \leq 3/9$
B	$> 3/9 - \leq 4/9$
C	$> 4/9 - \leq 5/9$
D	$> 5/9 - \leq 6/9$
E	$> 6/9 - \leq 7/9$
F	$> 7/9 - \leq 8/9$
G	$> 8/9 - \leq 1$

Tabelle 4 Bewertungsskala Ökoindex[69]

Diese einzelnen Kennwerte werden im Folgenden kurz erläutert.

Primärenergieinhalt (PE oder PEI)

Der Gesamtbedarf an energetischen Ressourcen, der für die Herstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung benötigt wird, wird als Primärenergieinhalt bezeichnet. Die verwendete Einheit ist MJ (Megajoule). In der Ökobilanz werden mehrere Bereiche des Primärenergie Inhalts betrachtet. Die Abkürzungen werden hier zunächst definiert und im weiteren Text erklärt.

PE = Primary Energy - Primärenergie

N. = Nonrenewable - Nicht erneuerbar, meistens wird hier von fossilen Rohstoffen gesprochen.

R. = Renewable - erneuerbar, hier wird von nachwachsenden Rohstoffen aus denen Energie gewonnen wird gesprochen.

M = Material

T. = Total - damit ist ein Summenwert gemeint.

PER – **Primary Energy Renewable**: Primärenergie Inhalt aller erneuerbaren Ressourcen (z.B. Biomasse), geteilt in energetisch genutzte Ressourcen (**PERE**) und stofflich genutzte Ressourcen (**PERM**). Die Einheit ist Mega Joule pro Quadratmeter [MJ/m^2]

PENR – **Primary Energy Non Renewable Energy**: Primärenergie Inhalt aller nicht erneuerbaren Ressourcen (Kohle, Erdöl, etc.), geteilt in energetisch genutzte Ressourcen (**PENRE**) und stofflich genutzte Ressourcen (**PENRM**). Die Einheit ist Mega Joule pro Quadratmeter [MJ/m^2].

PERT – **Primary Energy Renewable Total**: enthält sowohl energetisch, sowie stofflich genutzte Ressourcen. Die Einheit ist Mega Joule pro Quadratmeter [MJ/m^2].

PENRT – **Primary Energy Non Renewable Total**: enthält sowohl energetisch, sowie stofflich genutzte Ressourcen. Die Einheit ist Mega Joule pro Quadratmeter [MJ/m^2].

Dieser Wert beschreibt wieviel Energie nicht erneuerbarer Energiequellen (Erdgas, Erdöl, Kohle, Uran, etc. (in MJ) aufgewendet wurden, um einen Quadratmeter eines Baustoffes beliebiger Dicke herzustellen, bzw. zu entsorgen. Ein niedriger Wert bedeutet somit, dass weniger fossile Ressourcen verbraucht werden mussten. Es kann hier auch zu negativen Werten kommen, sofern diese Energie durch thermische Verbrennung zurückgeholt werden kann.

Treibhauspotential (GWP)

GWP steht für **Global Warming Potential** und bezeichnet den Beitrag der Treibhausgasemissionen zur globalen Erwärmung [39].

Das GWP wird über einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet und in kg-CO₂ Äquivalenten angeführt. Bei Rohstoffen wie Holz oder Hanf kann das GWP negativ sein, das ergibt sich daraus, dass Kohlendioxid während des Wachstums dieser Pflanzen aus der Luft aufgenommen und in den Pflanzen über ihre Lebensdauer hinweg gespeichert wird. Der Messindikator dafür ist GWP-C.

Versäuerungspotential (AP) Acidification Potential

Beim Versäuerungspotential geht es um den Beitrag eines Rohstoffes, Produkts, etc. zur Versauerung von Boden und Wasser. Meist ist die Ursache dafür die Wechselwirkung von Stickoxid und Schwefeldioxid mit anderen Bestandteilen der Luft. Gewässer versauern dadurch, was die Fischbestände und ihre Vielfalt bedroht wird. AP wird in kg-SO₂-Äquivalenten angeführt und mit dem durchschnittlichen europäischen Säurebildungspotentialen berechnet.

ODP – Ozone Depletion Potential

Auf Deutsch Ozonschichtabbaupotential genannt, bezeichnet den Beitrag zum Ozonabbau in der Stratosphäre, der durch die Katalysatorwirkung von Halogenen verursacht wird. Auslöser für diesen Abbau ist in erster Linie der Fluorchlorkohlenwasserstoff. Das ODP wird in kg-CFC 1 l Äquivalenten angeführt. Relevant ist diese Kennzahl, da die Ozonschicht den Menschen vor übermäßiger UV-Strahlung schützt. Eine Ausdünnung dieser Schicht führt vermehrt zu Hautkrebs und Grauem Star.

POCP – Photochemical Ozone Creation Potential

Das Ozonbildungspotential beschreibt die Bildung von Photosmog (troposphärisches bodennahes Ozon). Mischungen aus reaktionsfreudigen Gasen (Photooxidanzien) produzieren Emissionen wie Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxidverbindungen, die beim Aufeinandertreffen von Sonnenstrahlung in der unteren Atmosphäre entstehen. Die Einheit hierfür ist kg – C₂H₄ – Äquivalente.

Primärenergie setzt sich aus Nutzenergie und Endenergie zusammen.

Nutzenergie – ist die Energie, die den gewünschten Nutzen erzeugt (z.B. warmer Raum)

Endenergie – ist die Energie, die zum bereit stellen der Nutzenergie benötigt wird.

Zur Primärenergie zählen Rohöl, Erdgas, Sonne, Wind, Wasser, Erdwärme, Biomasse usw.

Endenergie ist die daraus gewonnene Fernwärme, Strom etc. Aus 100% Primärenergie können in Österreich rund 78% Endenergie gewonnen werden, dabei fallen diverse Schadstoffemissionen und Abfälle an [26].

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit gibt an welche Wärmemenge pro Sekunde ($J_s=W$) durch $1m^2$ eines $1m$ dicken homogenen Stoffes bei 1 Kelvin Temperaturunterschied hindurchfließt.

Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, desto besser ist die Dämmwirkung eines Baustoffes. Bei Temperaturunterschieden in einem Medium tritt immer das Bestreben zu einem Temperatenausgleich ein. Der Wärmefluss geschieht dabei immer von warmen zu kalten Orten [26]. Der Wärmetransport kann auf drei Arten geschehen:

- Leitung – Energieübertragung über direkten Kontakt zweier Körper
- Strahlung – „Ausstrahlung oder Aufnahme elektromagnetischer Strahlung. Jeder Körper mit endlicher Temperatur strahlt Wärme ab.“([63] S.690)
- Konvektion – „Wärmemenge, die durch das Strömen eines Fluides (flüssig oder gasförmig) transportiert wird.“([63] S.690)

Bei Bauteilen tritt Wärmeübertragung durch alle drei Transportmechanismen auf (Leitung innerhalb fester Teile, Konvektion innerhalb der Poren, Strahlung zwischen Fasern).

Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes wird u.a. von seiner Dichte beeinflusst. So haben Metalle eine Wärmeleitfähigkeit von mehreren $100W/(MK)$, Flüssigkeiten um die $0,1 - 1W/(MK)$ und bei Gasen liegt diese im Bereich $0,02W/(MK)$ ([63] S. 693).

„Stoffe mit einer geringen Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit von $\lambda < 0,1 W(m * K)$ werden als Wärmedämmstoffe bezeichnet“ ([64] S. 133)

Die Wärmeleitfähigkeit dieser Dämmstoffe wird beeinflusst von:

- Struktur der festen Bestandteile (faserig, geschäumt)
- Art, Größe und Anordnung der Poren oder Fasern
- Von Porengas (Luft oder Gas)
- Von der Wärmeleitfähigkeit des Basismaterials

So können Stoffe, die zwar dieselbe Rohdichte haben eine unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit besitzen (z.B. Betonarten mit unterschiedlichen Zuschlagstoffen wie Quarzsand, der die Wärmeleitfähigkeit erhöht). Bei Holzfaserplatten ist die Wärmeleitfähigkeit abhängig von der Orientierung der Holzfasern.

Die Dämmwirkung eines Materials kann über die Zeit hin abnehmen durch Veränderung des Gasgehaltes in den Poren (spezielles Poren Gas wird durch Luft ersetzt) oder durch erhöhten Feuchtegehalt (z.B. Tauwasserbildung Bauteil).

Materialdicke

Die Materialdicke wird mit **d** beschrieben und in **cm** angegeben. Die Dicke eines Stoffes bestimmt ebenfalls die Dämmwirkung des gesamten Bauteils. Laut Passivhausstandard werden bei der Wärmedämmung Materialdicken von $20-40cm$ angestrebt. Es ist stets zu beachten auch hier ressourcenschonend und sinnvoll zu agieren. Würde ein Stoff durch seine eher schlechte Dämmwirkung eine besonders hohe Dicke benötigen, sollte man auf einen anderen Dämmstoff ausweichen, der mit einer geringeren Bauteildicke dieselbe Wirkung erzielt.

Die Bauteildicke ist allerdings nicht immer ausschlaggebend für seinen Ökoindikator. Das bedeutet, dass eine dicke Bauteilschicht nicht automatisch umweltbelastender ist. Der Vergleich in Kapitel 8.2 zeigt, dass sehr viel mehr Faktoren hier eine Rolle spielen, wie Förderung des Ausgangsmaterials, Herstellung, Entsorgung usw.

Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert und Wärmedurchgangswiderstand R- Wert

Der **Wärmedurchgangskoeffizient**, auch U Wert genannt (früher k-Wert) beschreibt den gesamten Wärmedurchgang zwischen zwei durch Wände getrennte Medien, seine Einheit ist $[W/(m^2K)]$ ([63] S.700).

Die genauere Definition des Wärmedurchgangskoeffizienten beschreibt die Wärmemenge, die innerhalb einer Sekunde durch $1m^2$ eines Bauteils bei einer Innen und Außen – Temperaturdifferenz von 1 K durchfließt. Der U Wert ist der Umkehrwert des Wärmedurchlasswiderstands (R-Wert). $U=1/R_T$ ([64] S.127)

Je kleiner der U-Wert desto besser ist die Wärmedämmeigenschaft.

Der Umkehrwert des U-Wertes nennt sich **Wärmedurchlasswiderstand** und wird allgemein als R- Wert bezeichnet. Bei einem mehrschaligen Bauteil werden die Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten addiert. Die Einheit ist $[(m^2K)/W]$.

Bilanzgrenzen BG 0 – 6

Die Bilanzgrenzen sind lt. dem IBO Katalog [69] wie folgt definiert:

BG0: Konstruktion der thermischen Gebäudehülle inkl. Zwischendecken ohne Dacheindeckung und hinter lüftete Fassade

BG01: Konstruktion der thermischen Gebäudehülle vollständig

BG02: BG1 inkl. Wohnungstrennwände – wird in der Praxis nicht angewendet

BG03: BG02 inkl. Innenwände gesamt, Kellerbauteile, Tiefgarage, Pufferräume ohne offener Erschließungsbereiche (Stiegenhäuser, Laubengänge Balkone)

BG04: BG03 inkl. Offener Erschließungsbereiche

BG05: BG04 inkl. Haustechnik

BG06: BG05 inkl. Außenanlagen (Fahrradabstellplätze usw.)

Für die Betrachtung der Ökobilanz in dieser Arbeit wird **BG01** verwendet.

Entsorgungseigenschaften ökologischer Dämmstoffe

Die EU-Bauprodukteverordnung fordert eine nachhaltige Ressourcennutzung auch am Ende des Gebäudelebenszyklus. Zu beachten sind dabei:

- Wiederverwendung oder Recycling der Baustoffe und Teile
- Bei Produktherstellung Stoffe vermeiden, die das Recycling oder die Entsorgung erschweren, wie Flammenschutzmittel, Hydrophobierungsmittel, Biozide, synthetische Stützfasern, etc.
- Einbauart – Lose verlegte und mechanisch befestigte Dämmstoffe können wieder leicht ausgebaut werden und erleichtern die Mülltrennung am Ende des Lebenszyklus. Wärmeverbundsysteme erschweren die Materialtrennung u.a. durch mineralische Verunreinigungen (Putze, Kleberreste usw.)

Definition Wärmedämmstoffe

Laut ÖNORM B 6000 sind Wärmedämmstoffe Baustoffe mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit von $\lambda \leq 0,1 \text{ W/MK}$. Sie weisen eine offen-oder geschlossen-zellige Struktur mit Luft oder Gas Einschluss auf.

Definition der Parameter Zusammenfassung

Hier werden noch einmal die wichtigen Vergleichsparameter zusammengefasst:

- **Bilanzgrenze 01**
- Fokus zur Vergleichbarkeit ist der gleichbleibende **U-Wert von 0,142 – 0,143**
- Dem U-Wert entsprechend wird die Dicke der **Dämmschicht Nr. 6** des ansonsten gleichbleibenden Wandaufbaus angepasst.
- Tabellarisch verglichen werden: **OI 3 Wert, PERNT, AP und GWP total**. Zusätzlich werden noch weiterführende Werte wie PENRT, PENRE, PENRM, GWP-total, GWP-fossil, GWP-biogenic, AP, EP, PERT, PERE, PERM, POCP und ODP verglichen.

8.2 Auswertung

In der folgenden Tabelle sind alle für die Ökobilanz relevanten Werte angeführt. Die Werte wurden mit dem Programm Eco2Soft berechnet und die entsprechenden Grafiken und Tabellen sind im Anhang angeführt. Der verwendete Wandaufbau ist ein Holzrahmenbau. Verändert wurde die Dämmung zwischen den tragenden Sparren.

Bei einem Wandaufbau wurde auch die Dampfsperre verändert, um das Material Aluminium ebenfalls in den Vergleich miteinbeziehen zu können, da es keinen Dämmstoff aus Aluminium gibt.

Es wurden nicht die Dämmstoffe allein verglichen, sondern stets im Wandaufbau, da nicht jeder Dämmstoff dieselbe Wärmeleitfähigkeit hat und er somit in unterschiedlichen Dicken verwendet wird. Der unterschiedliche Materialverbrauch beeinflusst die Ökobilanzwerte, demnach ist der Vergleich des gesamten Wandaufbaus mit dem einheitlichen U-Wert als Orientierung fairer.

Es können Zusammenhänge erkannt werden zwischen Materialdicke, Masse, und den Öko-Kennwerten. Die Masse zeigt wieviel Luft in einem Dämmstoff enthalten ist, und die Dicke wie hoch der Wärmedurchlasswiderstand ist. Je leichter ein Stoff ist, desto mehr Luft ist vorhanden und je dünner der Dämmstoff ist, umso besser dämmt er.

Der Primärenergieinhalt und das Treibhauspotential, sowie verschiedene Chemische Indikatoren werden in den weiteren Diagrammen und Tabellen erläutert. Die Dämmstoffe sind in den Diagrammen so angeführt, dass links Dämmstoffe pflanzlichen Ursprungs angeführt sind. In der Mitte sind Dämmstoffe aus Recyclingmaterial (Zellulose, Holz, Glas) und rechts sind Dämmstoff aus fossilen Rohstoffen zu sehen.

Der Wandaufbau von Isofloc LM und Aluminium DS Isofloc LM ist identisch, bis auf die Dampfsperre (DS). In dem Aufbau Isofloc LM wurde Sarnavap 2000 e verwendet (siehe Anhang), welches eine Dampfsperrbahn auf Basis von Polyethylen ist und in der anderen wurde eine Dampfsperre aus Aluminiumfolie verwendet, deshalb die Bezeichnung (Aluminium DS Isofloc LM). In Kapitel 7 wurde die Nachhaltigkeit von Aluminium besprochen. Da dieses Material durch seine hohe Wärmeleitfähigkeit keine Verwendung als Dämmstoff findet, musste es im Wandaufbau an einer anderen Stelle mit anderer Funktion platziert werden. Der Vergleich soll zeigen, wie wichtig die Gewinnung eines Materials in seiner Ökobilanz, trotz guter Recyclebarkeit ist, und wie sehr die Ergebnisse dadurch beeinflusst werden.

8.2.1 Vergleich der Hauptkennwerte

Dämmung	OI Klasse	OI 3 Dämm-schicht [Pckt/m ²]	Dicke [cm]	OI3 gesamt [Pckt/m ²]	Masse [kg/m ²]	PENRT [MJ/m ²]	GWP Total [kg CO ₂ /m ²]	AP [kg SO ₂ /m ²]
Hanffaser-dämmplatte	A	11	20	51	96,5	874	-19,2	0,186
Strohballen	A+	-1	22	38	111,5	688	-47,7	0,171
ISOVER Holzbaudämmplatte	A	11	16	51	89,8	795	-9,12	0,193
Isocroc LM	A+	4	18	44	96	722	-24,9	0,178
Aluminium DS Isocroc LM	B	4	18	72	96	1059	-4,15	0,277
Rockwool Flexirock	A	7	18	46	92,9	713	-12,2	0,183
Sto Dämmplatte Top 31 Polar	A	12	15	51	88,3	855	-7,05	0,178
Polyesterfasern	A	20	18	59	92,1	101,1	-6,75	0,197

Tabelle 5 Hauptkennwerte Ökobilanz

In der Δ OI3 gesamt Bewertung gilt, je kleiner der Wert ist desto „ökologischer“ ist der Wandaufbau.

Demnach ist der Wandaufbau mit der Strohballen Dämmung, sowie Zelluloseflockendämmung am besten und die Aluminium Dampfsperre und Polyesterfaserdämmung schneiden am schlechtesten ab. Gleichwertig schneiden Hanffaserdämmplatte, Holzbaudämmplatte und die Polystyrol dämmung ab und etwas „besser“ ist die Glaswolle Dämmung.

In Abbildung 57 ist zu sehen, dass die Strohballen als einzige Dämmung einen negativen Wert hat, da Stroh CO₂ speichert, welches bei Verbrennung wieder frei gesetzt wird.

Den nächstbesseren Wert hat die Dämmung aus Zelluloseflocken, was uns zeigt, sofern ein Recyclingprodukt verwendet wird, dieses einen nachwachsenden Rohstoff als Ausgangsmaterial haben sollte .

Interessant ist, dass Hanf, Holzbaudämmplatte, Mineralwolle und Polystyrol hier gleichwertig sind. Ein Nachteil bei Hanf dürfte u.a. seine Dicke und Masse sein, bei der die anderen Materialien durch ihre Effizienz (Bessere Wärmeleitfähigkeit, weniger Masse, graue Energie) aufholen. Den schlechtesten Wert hat wieder der Wandaufbau mit der Aluminiumfolie. Betrachtet man die Dämmstoffe allein, ist zu erkennen, dass die Recyclingdämmstoffe besser abschneiden als Hanffaser, Holzbaudämmplatte und die Kunststoffdämmungen. Betrachtet man die Dämmschicht allein, haben Polyesterfasern die schlechteste Bewertung und Strohballen wieder die beste. Das zweitbeste Material sind wieder die Zelluloseflocken. Interessant ist, dass Hanffaserplatten, Holzbaudämmplatten und Polystyrol fast den selben Wert haben obwohl sie sehr unterschiedlich in ihren Ausgangsmaterialien und der Herstellung sind. Der Unterschied zwischen der OI3 Bewertung der Dämmstoffe allein und der Bewertung des gesamten Wandquerschnitts zeigt, dass in der Ökobilanz ein ganzheitlicher Blick notwendig ist und keine pauschalisierten Aussagen getroffen werden können um die Nachhaltigkeit eines Wandaufbaus zu garantieren. Manchmal ist es gar nicht die dickste Wandschicht, die die Ökobilanz am meisten beeinflusst. Eine clevere Materialwahl für die jeweiligen Funktionen ist in der Planung des Wandaufbaus stets wichtig.

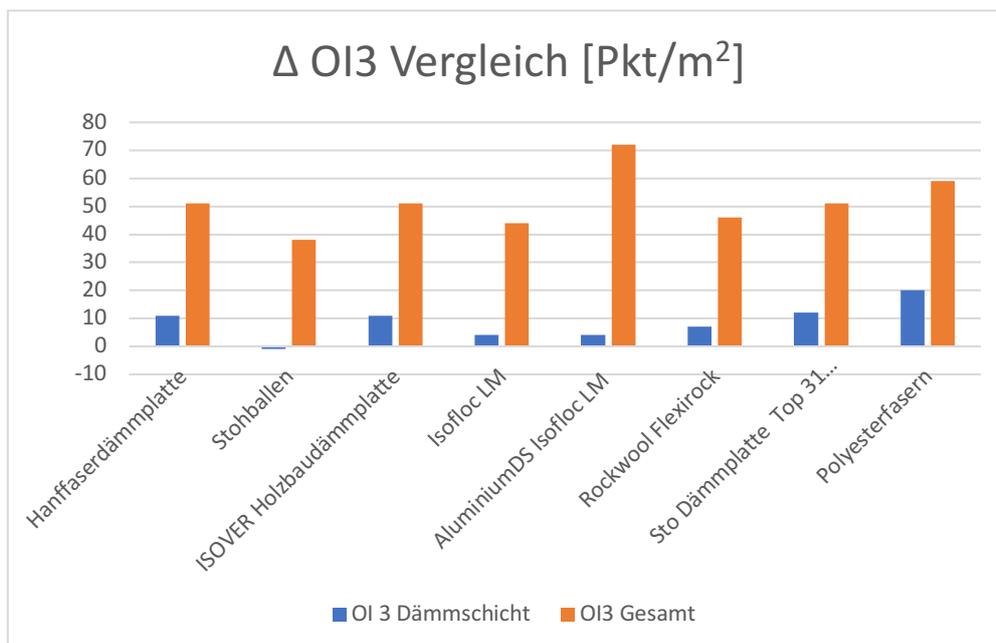


Abbildung 57 OI3 Vergleich Dämmschicht - Gesamt

8.2.2 Vergleich des Primärenergieinhalts

PERNT

Der Primärenergieinhalt ist ein Summenwert aus aufgewendeter Energie und verwendetem Material aus nicht erneuerbarer Ressourcen. Das Diagramm zeigt die Verteilung dieser Werte für die jeweiligen Wandaufbauten. Ersichtlich wird, dass die verbrauchte Energie bei allen Wandaufbauten höher ist als der Material Aufwand. Im Energie Eintrag befindet sich nicht nur die verbrauchte Energie zur Herstellung des Materials, sondern auch der Transport.

Dämmung	PENRE [MJ/m ²]	PERE [MJ/m ²]	PENRM [MJ/m ²]	PERM [MJ/m ²]	PENRT [MJ/m ²]	PERT [MJ/m ²]
Hanfaserdämmplatte	734	93,8	139	659	874	752
Strohballen	568	84,6	121	888	688	972
ISOVER Holzbaudämmplatte	674	90,8	121	518	795	609
Isofloc LM	601	93,6	121	621	722	714
AluminiumDS Isofloc LM	948	130	112	621	1059	751
Rockwool Flexirock	587	87,4	126	543	713	630
Sto Dämmplatte Top 31 Polar	656	85,2	199	508	855	593
Polyesterfasern	724	91,1	287	539	1011	630

Tabelle 6 Primärenergie Inhalt

PENRE

Den höchsten Energieverbrauch zur Herstellung, Lieferung, Aufbau und Entsorgung hat die Aluminiumfolie. Der Aufwand, der mit der Aluminiumgewinnung zusammenhängt, wurde in Kapitel 7 erklärt. Den niedrigsten Wert hat die Strohballendämmung und von den Recyclingdämmungen hat die Mineralwolle Dämmung den niedrigsten und somit besten Wert. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass Mineralwolle eine geringere Masse hat und deshalb weniger Material verwendet werden musste.

PENRM

Am PENRM Wert ist zu erkennen in welchem Aufbau die meisten fossilen Rohstoffe enthalten sind.

Wie erwartet, ist der größte fossile Materialverbrauch bei den Polyesterfasern und der Sto Dämmplatte, die aus Polystyrol besteht. Im Kapitel 4 Kunststoff wurde die Zusammensetzung dieser Dämmungen besprochen, beide Materialien werden aus Erdöl hergestellt.

Den niedrigsten Verbrauch hat der Wandaufbau mit der Aluminium Dampfsperre. Der Grund ist auch hier der, dass in den anderen Wandaufbauten eine Sarnavap 2000 E PE Folie auf Polyethylen Basis als Dampfsperre verwendet wurde, die ebenfalls ein Erdölprodukt ist. Die restlichen Wandaufbauten sind fast gleichauf im materialbezogenen Erdölverbrauch.

PENRT

In Summe zeigt der PENRT, dass die Aluminium Dampfsperre die meisten fossilen Ressourcen verbraucht und Strohballendämmung den besten Wert hat. Bei den recycelten Dämmstoffen verbraucht Mineralwolle die wenigsten fossilen Rohstoffe.

Der Vergleich zeigt, dass man bei jedem Dämmmaterial weise wählen sollte. Hanf ist z.B. ein nachwachsender Rohstoff, jedoch verbraucht er dadurch nicht weniger fossile Rohstoffe als Dämmstoff aus recyceltem Material, weil die Herstellung durch die am Feld verwendeten Maschinen aufwendiger ist. Zellulose ist ein Recyclingprodukt, dass aus Holz, also einem nachwachsenden Rohstoff hergestellt wird, jedoch verbraucht es dennoch nicht weniger Erdöl als Glaswolle.

Generell ist zu erkennen, dass der Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen im Schnitt höher ist als der von erneuerbaren Ressourcen. Diesen Sachverhalt haben alle Wandaufbauten abgesehen von der Strohballen Dämmung gemeinsam.

Bei manchen Materialien ist dieser Unterschied drastisch, wie bei Polyesterfasern, und bei anderen ist er kaum sichtbar, wie bei der Zelluloseflockendämmung.

PERT

PERT beschreibt den gesamt Primärenergie Inhalt aller nicht erneuerbaren stofflichen und energetischen Ressourcen. Die Strohballendämmung ist hier die einzige, bei der der PERT dem PENRT überlegen ist. Am niedrigsten ist der Wert der erdöhlhaltigen Dämmungen und der Holzbaudämmplatte. Nicht energetische Ressourcen können abgesehen vom Ursprungsmaterial (z.B. Pflanzlicher Ursprung wie Stroh oder Hanf) auch Wasser sein. Benötigt die Herstellung eines Dämmstoffes viel oder im Vergleich mehr Wasser, was u.a. Bei zellulosehaltigen Dämmstoffen zu erkennen ist, so wird der PERT durch den PERE erhöht sein. Im Wasserbad werden Zellulosefasern von anderen Mitteln getrennt, ebenfalls wird bei der Herstellung von Aluminium beim Bauxitabbau viel Wasser verwendet.

PERE

Auch bei der Betrachtung des **Energie Inhalts erneuerbarer Ressourcen** hat Aluminium den die höchsten Wert, und Strohballendämmung den niedrigsten. Von den Recyclingdämmungen haben die Zelluloseflocken den niedrigsten und Glaswolle den höchsten Wert.

PENRM PERM

Betrachtet man den **Primärenergie** Inhalts des **Materials** ist zu erkennen, dass mehr erneuerbare Energie eingesetzt wird als nicht erneuerbare Energie. Hier ist der höchste Wert bei der Strohballendämmung und der niedrigste bei der Polystyrol Dämmung. Es lässt sich im Vergleich zwischen PERM und PENRM ein genereller Trend erkennen, dass je niedriger der PERM ist umso höher der PENRM ist.

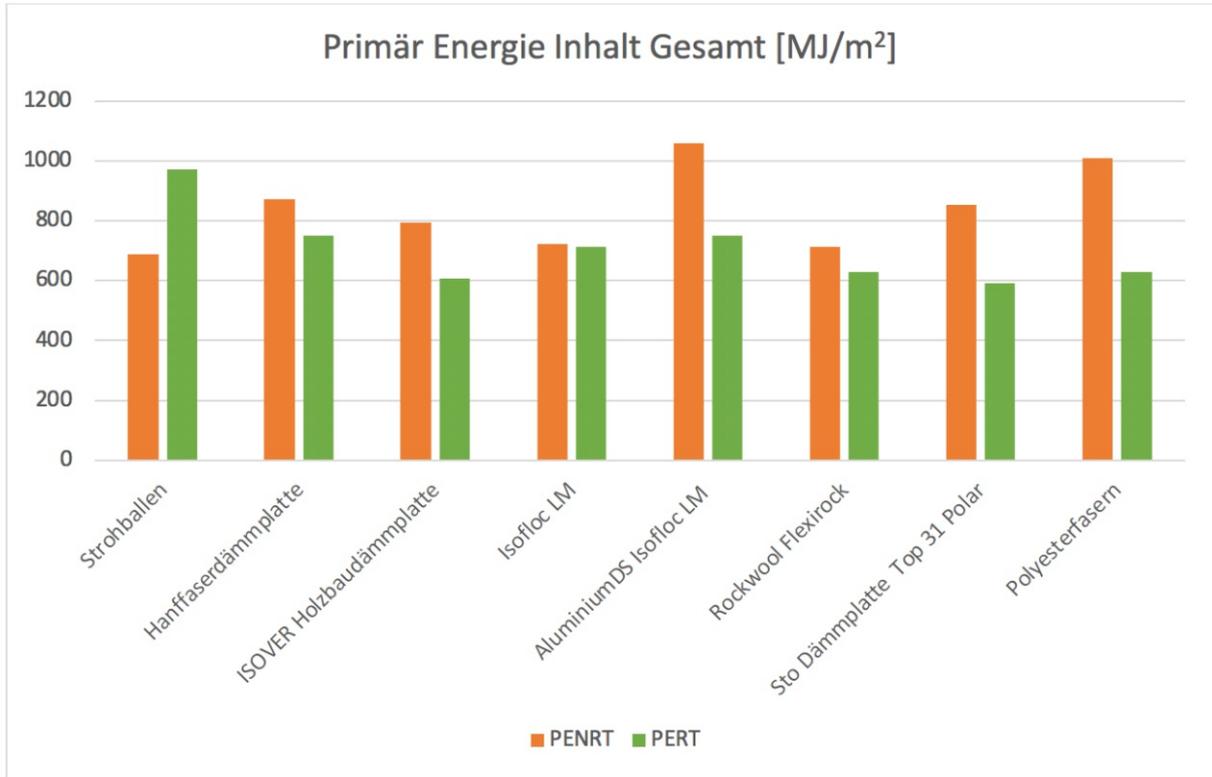


Abbildung 58 Primär Energie Inhalt Gesamt (PENRT und PERT) Vergleich

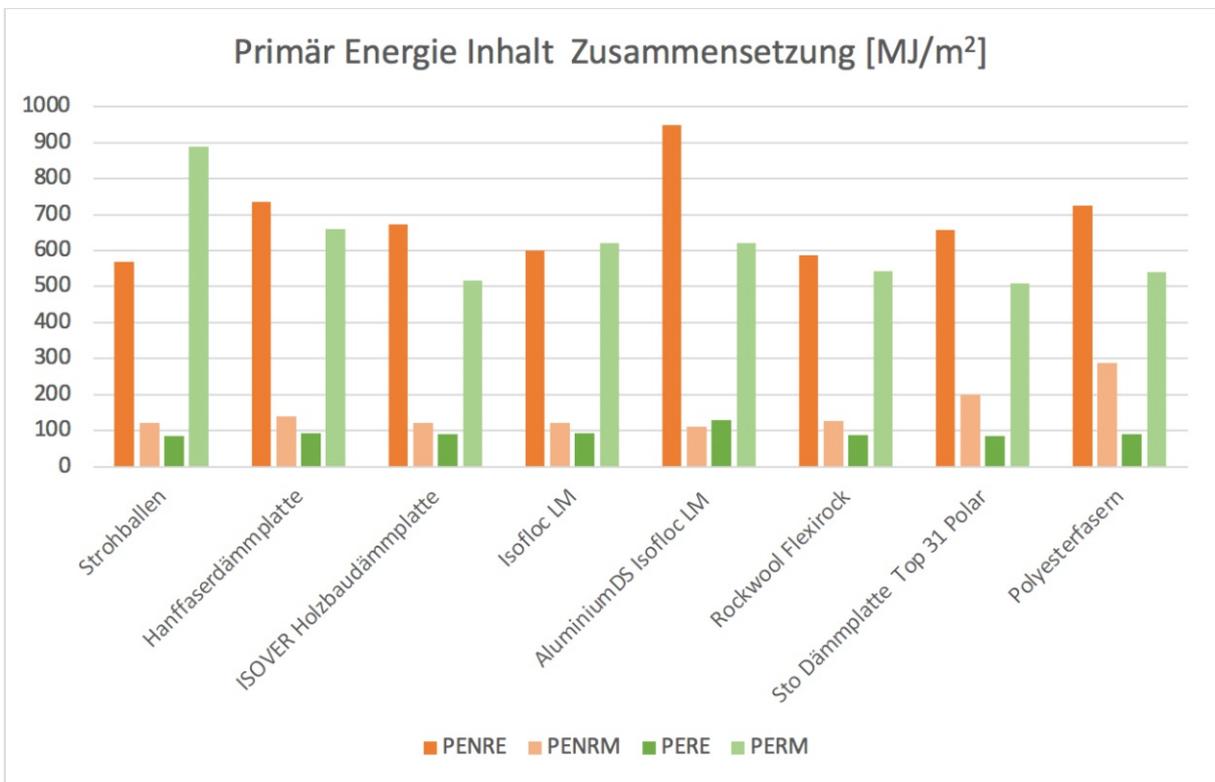


Abbildung 59 Primärenergie Inhalt Vergleich [MJ/m²]

8.2.3 Treibhausgaspotential

Der **GWP** zeigt, wie sehr der Wandaufbau den Treibhausgaseffekt durch Kohlendioxidüberschuss bestärkt. Die Rede ist also von Erderwärmung durch Emission. Gase, die zu diesem Effekt am Meisten beitragen sind Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Stickstoffmonoxid (Lachgas, N₂O). Die Umweltauswirkung der Gase wird u.a. von ihrer Verweilzeit in der Troposphäre bestimmt, welche mittels CO₂-Äquivalenten berücksichtigt wird. Es steht zur Debatte welcher Zeitraum betrachtet wird. Aktuelle Modellrechnungen bestehen für 20, 100 und 500 Jahre. Die sicherste Prognosebasis zeigt die Modellrechnung über 20 Jahre, während die 100 Jahres Prognose am ehesten die langfristigen Auswirkungen zeigt [21].

Der GWP ist ein Summenwert aus den fossilen und biogen aufgewendeten Stoffen. Abbildung 60 erklärt, wie sich das Treibhauspotential GWP total zusammensetzt.

Die meisten Dämmungen zeigen hier negative Werte, was bedeutet, dass sie Kohlendioxid speichern solange sie in Verwendung sind. Je geringer der Wert ist desto besser. Auch hier führen Strohballen. Von den Recyclingmaterialien führen auch hier wieder die Zelluloseflocken ohne der Alu-Folien Dampfsperre. Die generelle Tendenz hier ist, dass die auf pflanzlichen Materialien basierenden Dämmungen bessere Werte erzielen, also Strohballen, Hanffaserdämmplatte und von den Recyclingmaterialien die Zelluloseflocken. Eher schlechter schneiden Isofloc mit Aluminium Dampfsperre, die fossil-basierenden Dämmstoffe und die Holzbaudämmplatte ab. Eine Erklärung dafür wieso sich hier die Holzbaudämmplatte findet liegt primär in seinem Herstellungsaufwand. Ein weiterer Grund ist der Zusatz von Bitumen und Paraffin, welche beide fossilen Ursprungs sind. Bitumen wird zur Imprägnierung und Paraffin als Hydrophobierungsmittel verwendet [26].

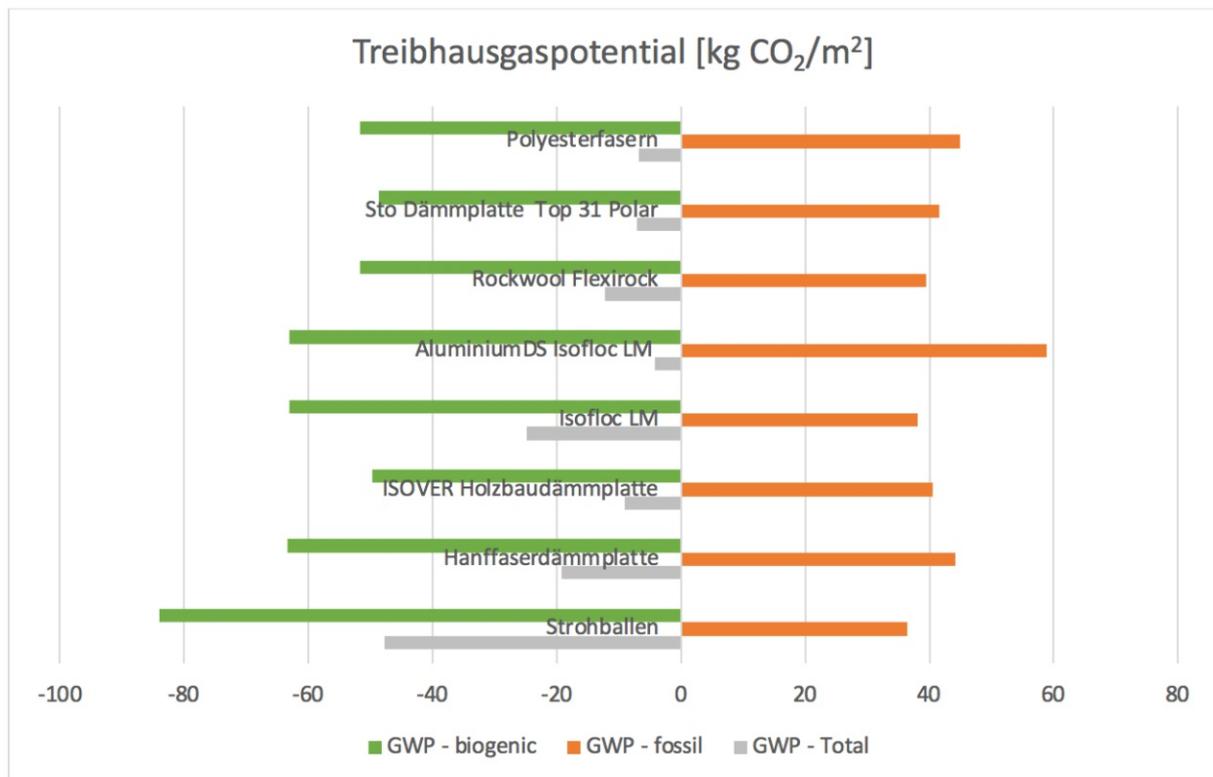


Abbildung 60 Treibhausgaspotential (GWP)

8.2.4 Euthropierungspotential

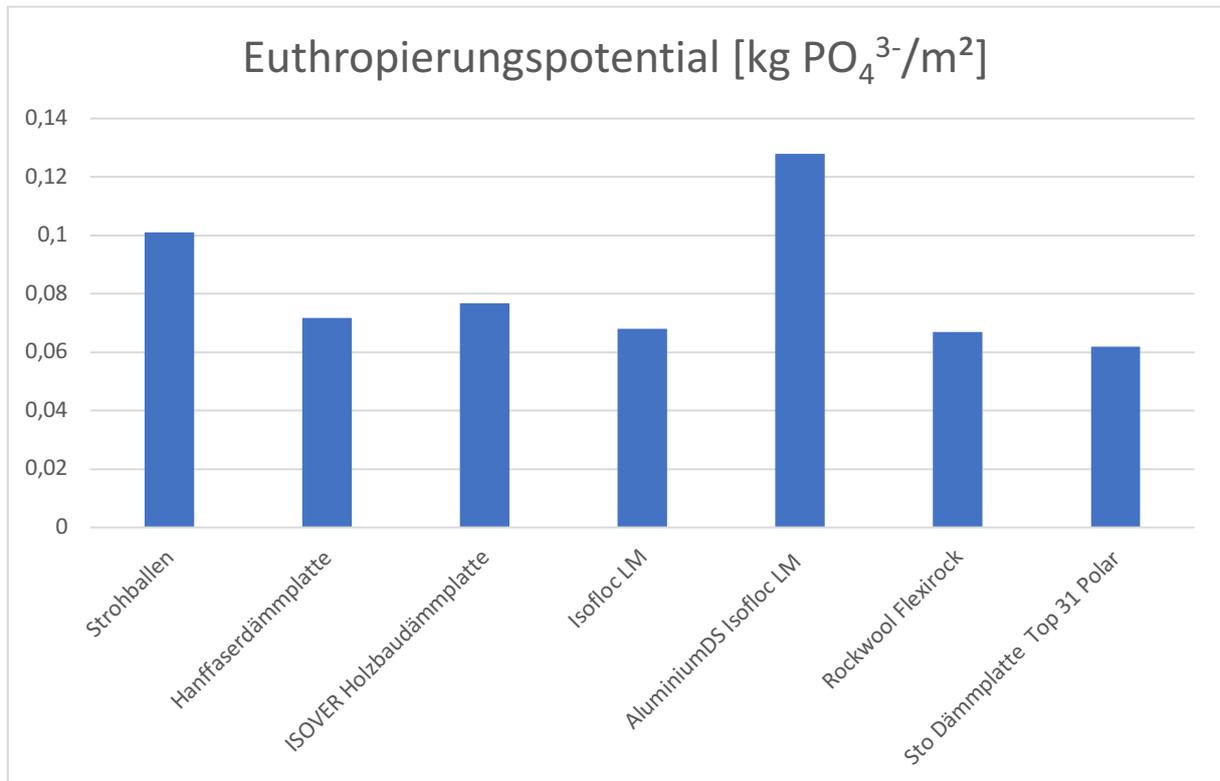


Abbildung 61 Euthropierungspotential

Das **Euthropierungspotential** beschreibt das Überangebot an Nährstoffen in Böden und Gewässern, dass durch landwirtschaftliche Überdüngung entsteht. Die Berechnung und Interpretation der Ergebnisse sind oft mit Schwierigkeiten behaftet, da es sich hier um keine Schadstoffe, sondern Nährstoffe handelt. Die dadurch entstehenden Umweltauswirkungen beziehen sich hauptsächlich auf die Intensivlandwirtschaft, Industrieemissionen und Sauerstoffzehrung in Gewässern, was zu aeroben Abbauprozessen führen kann.

Die höchsten Werte haben auch hier die Aluminium DS und Strohballendämmung, den niedrigsten Wert hat die Polystyrolämmung, da es ein synthetisches Material ist und nicht den entsprechend hohen Energieaufwand und industrielle Emissionen fordert wie Aluminium [21].

8.2.5 Versäuerungspotential

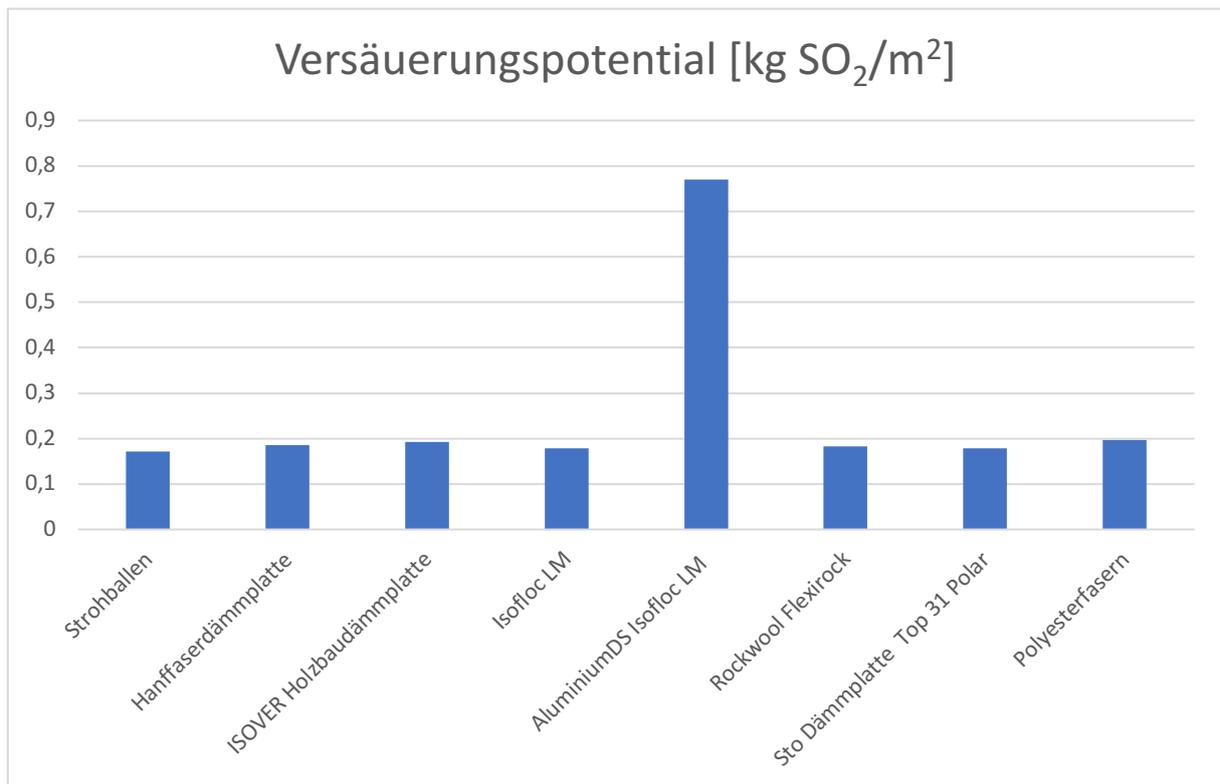


Abbildung 62 Versäuerungspotential AP gesamt

Das **Versäuerungspotential** bezieht sich auf den Beitrag des Materials zur Entstehung von saurem Regen durch Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe wie Öl und Kohle. Den höchsten und somit schlechtesten Wert hat die Aluminiumdampfsperre. Dass Aluminium, trotz seines insgesamt ökologischen Wandaufbaus und geringer Masse im Vergleich sichtlich ausschlägt zeigt, wie sehr man Aluminium im Hausbau umgehen sollte, sofern es möglich ist. Der Grund für diesen schlechten Wert ist, der in Kapitel 7 erklärte Aufwand und die hohe Umweltverschmutzung, der bei der Bauxitgewinnung entsteht. Die restlichen Werte zeigen nur geringe Unterschiede, den besten und geringsten Wert hat die Strohballendämmung, gefolgt von Isofloc und der Sto Dämmplatte.

8.2.6 Bodennahe Ozonbildungspotential

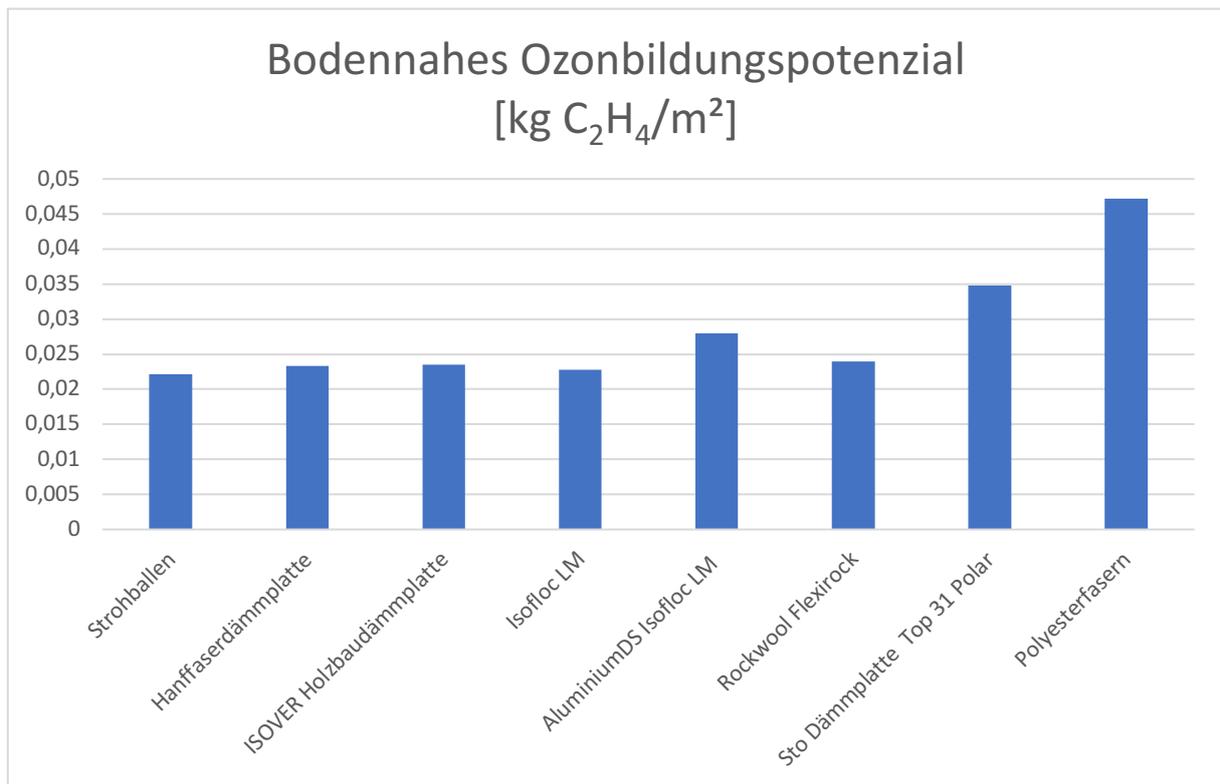


Abbildung 63 Bodennahe Ozonbildungspotential

Bodennahe Ozonbildungspotential (*Photochemical Ozone Creation Potential POCP*)

Beim POCP geht es kurz gesagt um das Sommersmog Potential. Sommersmog entsteht durch komplexe photochemische Prozesse bei intensiver Sonneneinstrahlung aus reaktiven Stickstoffoxiden und flüchtigen Kohlenwasserstoffen. Er wird als sekundärer Schadstoff bezeichnet [16], [21].

Hauptverursacher für Stickstoffoxide sind Verkehr und Feuerungsanlagen (Müllverbrennungsanlagen, Fernwärme, etc.). Natürliche Quellen sind überdüngte Böden. Flüchtige organische Stoffe werden bei der Verwendung von Lösungsmitteln freigesetzt (Lacke, Reinigungsmittel, Farben, etc.). Im Verkehrsbereich entstehen diese bei Verbrennung von Kraftstoff. Natürliche Quellen sind Kompostierung von Laub und Nadelbäumen.

Gesundheitliche Risiken ergeben sich durch geminderte Lungenfunktion und Atemwegsentzündungen. Da Ozon ein reaktionsfreudiges Gas ist, wird vermutet, dass es krebserregend ist. Ebenfalls kann eine länger andauernde Ozonbelastung sich negativ auf das Pflanzenwachstum und den Ernteeintrag auswirken.

Das größte Sommersmog Potential haben hier die Polyesterfasern und die Polystyrol-Dämmplatte. Grund dafür sind die im Dämmstoff enthaltenen „Kohlenwasserstoffe Ethen, Benzol, Ethylbenzol und Styrol die zur bodennahen Ozonbildung beitragen, allerdings rasch abgebaut werden.“ ([26], S. 65). Den kleinsten Wert haben Strohballendämmung und die Zelluloseflockendämmung.

8.2.7 Ozonabbaupotential

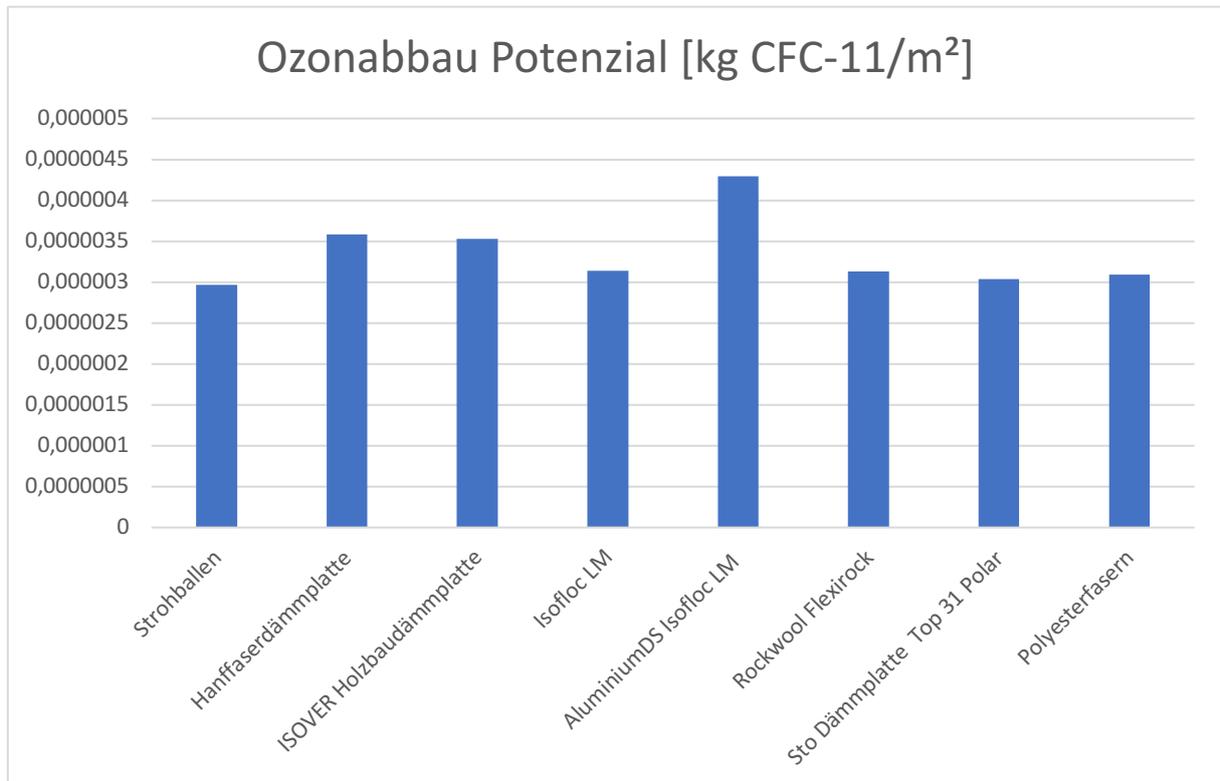


Abbildung 64 Ozonabbaupotenzial

Ozonabbaupotenzial in der Stratosphäre, ODP (Ozone Depletion Potential)

Der Abbau des Ozons in der Stratosphäre wird durch Halogene unter bestimmten klimatischen Bedingungen verursacht. Ozon schützt Lebewesen auf der Erde vor schädlichen UV-Strahlen. Der ODP bezieht sich auf die Vergleichssubstanz FCKW 11 welches für Ozonlöcher verantwortlich ist. Den höchsten Wert weist der Aufbau mit der Aluminium Dampfsperre auf, den nächsthöheren Wert hat die Hanffaserdämmplatte. Den niedrigsten Wert hat wieder die Strohballendämmung sowie die Sto-Dämmplatte. Den niedrigsten Wert unter den Recyclingdämmstoffen hat die Zelluloseflockendämmung.

Dämmung	AP [SO ₂ equ./m ²]	EP [kg PO ₄ ³⁻ /m ²]	POCP [kg C ₂ H ₄ /m ²]	ODP [kg CFC-11/m ²]
Hanffaserdämmplatte	0,186	0,0718	0,0233	0,00000358
Strohballen	0,171	0,101	0,0221	0,00000297
ISOVER Holzbaudämmplatte	0,193	0,0767	0,0235	0,00000353
Isofloc LM	0,178	0,0681	0,0228	0,00000314
AluminiumDS Isofloc LM	0,77	0,128	0,028	0,00000429
Rockwool Flexirock	0,183	0,0669	0,024	0,00000313
Sto Dämmplatte Top 31 Polar	0,178	0,0619	0,0348	0,00000304
Polyesterfasern	0,197	0,066	0,0472	0,00000309

Tabelle 7 Vergleich AP, EP, POCP, ODP

9 Schlussfolgerung

9.1 Zusammenfassung der Antworten

1) Welche Branchen sind allgemein die größten Müllproduzenten?

In Kapitel 2 wird erläutert in welchen Branchen der meiste Müll entsteht mit jeweiligem Fokus auf Verpackungen und Baustoffe. Ebenfalls wird gezeigt wie sich die Müllproduktion über die Jahre hin verändert hat und wohin die Müllströme fließen.

Hier werden noch einmal die wichtigsten Punkte zusammengefasst.

Die meisten Abfälle sind Aushubmaterial (55,9%), die hauptsächlich aus der Baubranche stammen (Gebäude, Straßenbau, etc.), 16,8% sind Bau und Abbruchabfälle und nur 6,6% sind Siedlungsabfälle.

Beim Gebäudeabbruch entsteht 90% des Mülls und beim Neubau 10%.

Demnach werden 43% deponiert, 32% recycelt und 7% verbrannt. Entnimmt man das Aushubmaterial aus der Betrachtung ist die Verteilung so, dass 60% des Abfalls recycelt wird, 15% in den Müllverbrennungsanlagen landen und nur 10% deponiert werden.

Im Bereich der Kunststoffabfälle sind bei einem gesamt Müllaufkommen von 762 493t 41% Siedlungsabfälle und Gewerbeabfälle, 19% kommen aus der Verpackungssammlung, 6% sind Altreifen, 3% kommen von Baustellen und 1% aus beschichtetem Papier. Kunststoffabfälle werden zu 72% verbrannt, zu 26% Prozent stofflich verwertet und 2% landen auf der Deponie.

2) Welche Beispiele gibt es für Wiederverwendung von Verpackungsmaterial in der Architektur? Wie könnten Verpackungsmaterialien im Gebäudebau in Form von Dämmstoffen verwendet werden?

In den Kapiteln 4 bis 8 wurden die wesentlichen Eigenschaften von Verpackungsmaterialien in Hinblick auf ihre Anwendung in der Architektur erörtert. Die Projekte in diesen Kapiteln haben gezeigt wie Verpackungsmaterial als wesentliches Gestaltungsmittel in der Architektur angewendet werden kann.

Das Projekt PH2Z, die Earthships sowie Polli-Brick zeigten, dass Verpackungen auch als Konstruktionsmaterial verwendet werden können. Die Idee und Entwicklungen sind längst im Gange, allerdings bedarf es hier noch viel Forschung und Tests um die Sicherheit der Benutzer zu gewährleisten. So verwendete Arthur Huang Polli-Brick nur als Fassadenelement für die Expo und nicht als Teil der Konstruktion selbst.

Die Frage stellte sich wie man Recyclingarchitektur ökologisch bewerten und vergleichen kann, wenn Kennwerte noch erkundet werden müssen.

In den Kapiteln 4-8 wurde gezeigt, dass es zahlreiche gängige Dämmstoffe gibt die Recyclinganteile besitzen. Die für eine Ökobilanz relevanten Kennwerte sind bekannt, also wurde ein Wandaufbau definiert mittels dem die Dämmstoffe verglichen wurden.

Der Richtwert war der U-Wert von 0,142 dem alle Wandaufbauten entsprechen sollten. Die Wanddicke wurde dann entsprechend der Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe angepasst. Die Recyclinganteile bei Glaswolle und Zelluloseflocken entspricht jeweils ungefähr 50%.

3) Welches der verglichenen Materialien ist das „nachhaltigste“? Sind die in dieser Arbeit verglichenen Recyclingdämmstoffe nachhaltiger als Dämmungen aus pflanzlichen oder fossilen Rohstoffen?

Die Ökobilanz soll veranschaulichen, dass viele Faktoren zusammenspielen, um die Nachhaltigkeit eines Stoffes zu beurteilen. Es muss tatsächlich ein genauere Blick geworfen werden, wie diese Materialien produziert wurden, welche ihre Ausgangsmaterialien sind, wie sie entsorgt werden und vor allem wie effizient sie dämmen.

Die Auswahl der Dämmstoffe soll zeigen, dass man auf ein Argument hinaus nicht pauschalisieren kann ob ein Dämmstoff effizient oder umweltfreundlich ist.

Die Strohballendämmung ging in der Gesamtbewertung als „Sieger“ hervor. Jedoch zeigt uns der Vergleich mit Hanffaserdämmplatten, sowie Holzfaserdämmung, dass dadurch nicht verallgemeinert werden kann, dass Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich eine bessere Ökobilanz als Dämmstoffe aus Sekundärstoffen erzielen.

Ist ein Material „schlecht“ weil es aus erdöhlhaltigem Rohstoff gefertigt ist? Die Antwort ist nein. Das Material muss nur clever eingesetzt werden. Kann in einem Dämmstoff mehr Luft eingeschlossen werden, so wird zum einen weniger Material verbraucht und zum anderen, ist die Wärmedämmfähigkeit besser. Somit spricht man hier von einem effizienten Dämmstoff. Die Ökobilanzwerte der Polystyrolämmung (Sto Dämmplatte) zeigen, dass in vielen Vergleichsbereichen (OI3, PENRE, PERM, PERE, GWP) sie gleichwertig mit der Holzfaserdämmplatte und der Hanffaserdämmplatte ist. Auch als Dampfsperre ist die Polyethylen Dampfsperre eine bessere Wahl als die Aluminiumfolie.

Auf der anderen Seite schnitt die Polyesterfaserdämmung in der gesamten Bewertung als „Verlierer“ ab. Polyester und Polystyrol haben dasselbe Ausgangsmaterial, jedoch ist der Luftgehalt und der U-Wert der Dämmungen unterschiedlich. Die Polystyrol Dämmung ist also effizienter als Polyesterfaserdämmung.

Um eine ganzheitliche Antwort zu geben welches Material „das Nachhaltigste“ ist, müssten alle am Markt bestehenden Dämmstoffe verglichen werden. Hier können nur tendenzielle Aussagen getroffen werden. Die Frage ist immer wohin der Fokus gelegt wird

Eine für alle Kennwerte gültige Antwort gibt es nicht. Es gibt nur Materialien die in der Mehrheit der betrachteten Kennwerte besser abschneiden.

Im Vergleich der Recyclingdämmstoffe sind nur geringe Unterschiede zwischen Glaswolle und Zellulosedämmung zu erkennen. Die Dämmstoffe sind also in ihrer ökologischen Bewertung annähernd „gleich gut“. Betrachtet man den Primärenergieinhalt nicht erneuerbarer Energie ist Glaswolle besser. Betrachtet man das Treibhausgaspotential und die Öko-Index Bewertung ist die Zellulosedämmung besser.

9.2 Schlüsse aus dieser Bewertung

- Aluminium schneidet trotz seiner geringen Verwendung (dünne Bauteilschicht, wenig Masse), in fast allen Vergleichspunkten am Schlechtesten ab. Die Empfehlung ist also dieses Material nach Möglichkeit zu umgehen, bzw. nicht zu verwenden.
- Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sollten eher bevorzugt werden (speziell Strohhallendämmung)
- Bei den Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen muss ein genauerer Blick auf ihren Herstellungsaufwand gelegt werden. Besteht ein besonderer Energie Aufwand bei Ernte, Lagerung durch die verwendeten Maschinen und ein hoher Wasserverbrauch sollte auf ein anderes Material mit besseren Werten ausgewichen werden. Ebenfalls ist ein Blick auf die Zusatzstoffe zur Imprägnierung bzw. Hydrophobierung zu empfehlen (Vergleich Hanfdämmung, Holzfaserdämmplatte und Strohhallendämmung).
- Materialien aus fossilem Ursprung müssen nicht um jeden Preis umgangen werden. Sie müssen nur effizient eingesetzt werden (PE Folie, Polystyrol Dämmung).
- Im allgemeinen Vergleich Schnitten Polyesterfasern dennoch eher schlecht ab, besonders in Bezug zum Bodennahen Ozonbildungspotential sollte es vermieden werden.
- Grundsätzlich sind Holzbaudämmplatten, Hanffaserdämmung und Dämmungen aus den besprochenen Recyclingstoffen in vielen Punkten gleichwertig, als geringfügig besser hat sich Zellulosedämmung erwiesen.

Zu sehen ist, dass alle Wandaufbauten insgesamt eine sehr gute Ökobilanz haben. Alle befinden sich „im grünen Bereich“ der Skala bei A, den besten Wert mit A+ hat der Wandaufbau mit der losen Zelluloseflockendämmung (Isofloc LM) und der Wandaufbau mit der Strohhallendämmung. In der Spalte „OI3 Dämmschichten“ wird der Zahlenwert der Dämmschichten selbst gezeigt. Hier sind größere Unterschiede zu erkennen. So steht auch hier die Strohhallendämmung mit -1 und Zellulosedämmung aus Altpapier an der Spitze mit dem niedrigsten Wert von 4, gefolgt von der Rockwool Mineralwolle Dämmung aus Recycling Glas mit dem Wert 7. Die Dämmungen aus Nachwachsenden Rohstoffen wie Hanf, Holz und die Sto Dämmplatte aus Polystyrol haben alle ungefähr die gleichen Werte (Wert 11 und 12). Am schlechtesten schneidet die Polyesterfaserdämmung ab.

Nicht außer Acht gelassen werden darf hier, dass durch die unterschiedlichen U-Werte dieser Dämmungen unterschiedliche Materialdicken nötig sind. Die dickste Dämmplatte ist die Hanfdämmung und ebenfalls die schwerste. Eine Ähnliche Dicke und Gewicht hat die Zelluloseflockendämmung, die allerdings einen wesentlich besseren OI 3 Wert hat. Somit kann hier behauptet werden, dass Dämmung aus Recyclingstoffen wie Altpapier oder Zellulosefasern, sowie Alt Glas eine bessere Ökobilanz haben als eine Dämmung aus den nachwachsenden Rohstoffen Hanf und Holz. Die gute Bewertung der Polystyrol Dämmung in der Spalte OI3 ergibt sich aus der geringen Masse des Dämmstoffes.

Wird die Materialdicke mit dem Wert in Relation gesetzt und mit den anderen Stoffen verglichen, so schneidet auch dieser Stoff eher schlechter ab. Daraus lässt sich schließen, dass der U-Wert nicht unwesentlich für die Ökobilanz eines Dämmstoffes ist. Ist ein Dämmstoff besonders wirksam, so kann Material und Gewicht für denselben Dämmeffekt reduziert werden und weniger Material bedeutet auch weniger Ressourcenverbrauch. Dieses Ergebnis ist in der Spalte OI Gesamt noch einmal ersichtlich.

Betrachtet man die Spalte **GWP** total, ist zu sehen, dass alle Werte negativ sind. Das ergibt sich unter anderem durch den Wandaufbau (Holzkonstruktion), was grundsätzlich gut für den Treibhausgaseffekt ist, da Holz CO₂ speichert. Den schlechtesten Wert haben hier die Kunststoffdämmungen. Am positivsten auf den Treibhausgaseffekt wirken sich wieder die Zelluloseflockendämmung und die Strohballendämmung aus.

Beim **Versäuerungspotenzial** sind alle Werte relativ ähnlich, auch hier schneidet die Zellulosedämmung am besten ab und die Polyesterfasern am schlechtesten.

Bei der Betrachtung des **PERNT** zeigen sich interessante Erkenntnisse, am besten schneiden hier wieder (neben der Strohballendämmung) die beiden Recyclingdämmstoffe ab, nämlich Zelluloseflockendämmung und Glaswolle. Am Schlechtesten schneidet die Polyesterfaserdämmung und die Aluminium DS ab. Was hier interessant ist, dass Polystyrol (fossil) und die Hanfdämmung(nachwachsend) fast gleichauf sind.

Das Ergebnis der Ökobilanz zeigt, dass nicht nur pflanzliche Rohstoffe der einzige Indikator für eine positive Ökobilanz sind. Ein nachhaltiger Rohstoff muss nicht bedeuten, dass sein An-, Abbau oder die Herstellung sich gut auf die Umwelt auswirkt. Genauso sind effiziente Dämmmaterialien, die zwar aus umweltbelastendem Material wie Erdöl bestehen nicht unbedingt schlechter sind, wenn sehr wenig Material verwendet werden muss. Bestätigt wurde die Annahme, dass Recycling Dämmstoffe eine bessere Ökobilanz haben als Dämmstoffe aus fossilem Material. Bewiesen wurde also, dass es durchaus sinnvoll ist Abfall als Rohstoff zu betrachten und ihn als wichtigen Bestandteil des Produktkreislaufs zu integrieren. Es wird hier gezeigt, dass die Kreislaufwirtschaft als sinnvolles Konzept im Gebäudebau am Beispiel Dämmstoffe im Wandaufbau betrachtet werden kann. Zu beachten ist auch die Einbauart der Dämmstoffe. Mechanisch befestigte Dämmplatten können im Vergleich zu geklebten Dämmungen leichter ausgebaut werden und Verunreinigungen können so minimiert werden. Die stoffliche Wiederverwendung wird so immens erleichtert.

9.3 Schlusswort und Ausblick

Das wichtigste ist Materialien immer sinngemäß zu verwenden. Umweltprobleme, über die stets in Zeitungen berichtet werden, die durch Müllberge aus Plastikverpackungen entstanden sind, haben ihren Ursprung darin, dass die Verwendungsdauer des Produkts nicht mit der Zerfall Geschwindigkeit des Materials übereinstimmt. In Gebäuden ist die Verwendungsdauer der Materialien im Vergleich zu Verpackungen sehr hoch, weshalb das Recycling von Verpackungen zu Baumaterial durchaus sinnvoll wäre. Im Vergleich der Dämmstoffe zeigte sich, dass vor allem Altpapier hier großes Potential zur Wiederverwendung im Gebäudebau hat und eine sehr positive ökologische Bewertung hat. Ebenfalls zeigt Glas im Schnitt gute Werte.

Aluminium sollte nur dort verwendet werden, wo es unerlässlich wäre und Kunststoffe könnten zu Dampfsperren oder Polystyrol und EPS Dämmung sinnvoll recycelt werden, allerdings fehlen hier vielerorts entsprechende Einrichtungen. Nicht zuletzt, weil der Energieertrag aus der Verbrennung von fossilen Stoffen hoch ist verglichen zum eingesetzten Aufwand. Auf der anderen Seite entstehen im Zuge dessen giftige Gase.

Was dieser Sachverhalt zeigt ist, dass der industrielle Fokus leider noch immer auf schnelle Ergebnisse mit dem nächsthöchsten Energieertrag liegt. Die aktuelle Lage und Entwicklung der Umwelt zeigt aber, dass diese schnellen Ergebnisse sich nicht positiv auf unseren Lebensraum auswirken.

Eine Symbiose aus den Recyclingkreisen von Gebäuden und anderen Bereichen wie die Verpackungsindustrie ist durchaus denkbar.

Die Bereiche, an denen man für eine nachhaltige Entwicklung ansetzt, sind vielfältig und es bedarf viel Forschung und einer Unmenge an Ideen und Betrachtungsansätze. Diese Arbeit soll dazu anregen den Verwendungszeitraum eines Produkts als Kernparameter für die verwendeten Materialien zu betrachten. Ist das Material ewig haltbar so soll die Nachnutzung ins Design einfließen.

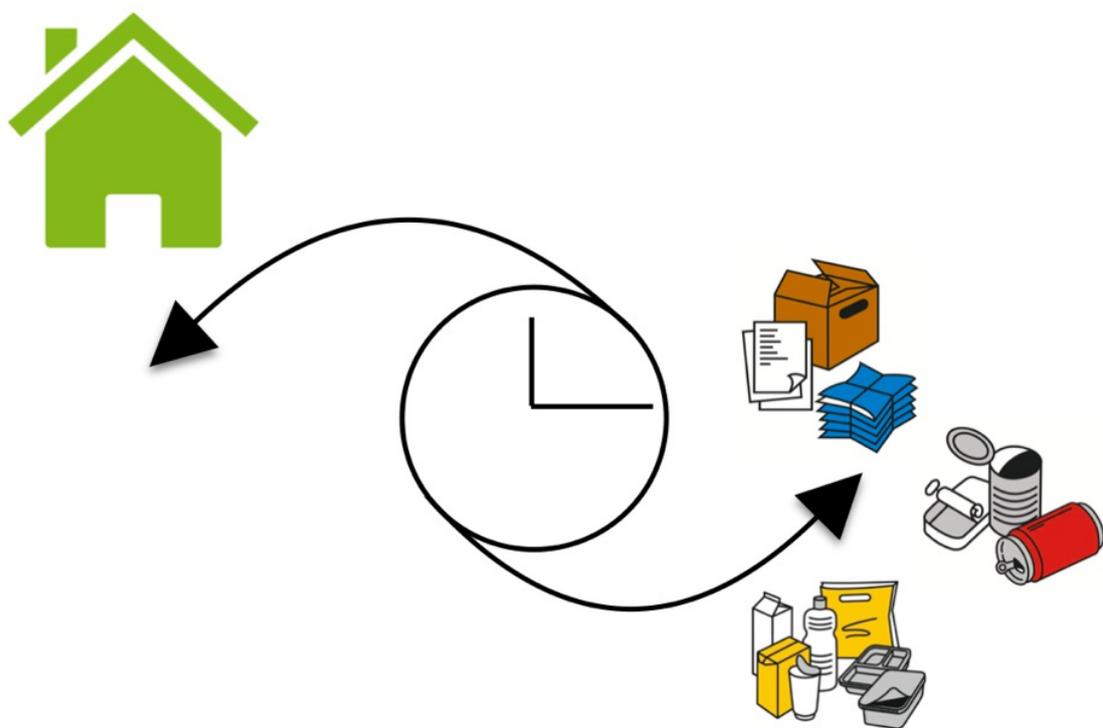


Abbildung 65 Symbiose der Branchen über den Verwendungszeitraum

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 (links) Müllverbrennungsanlage Flötzersteig [6],	12
Abbildung 2 (rechts) Müllverbrennungsanlage Spittelau - Selbsterstellt	12
Abbildung 3 Grafik Hierarchie Grundsätze AWG [40].....	13
Abbildung 4 Müllproduktion pro Kopf und Tag in 2016 – Weltweiter Vergleich, [19]	14
Abbildung 5 Linearwirtschaft – eigene Darstellung	15
Abbildung 6 Kreislaufwirtschaft.....	16
Abbildung 7 Beispiele Für Wertsteigerung Vergleich Ready-Made von Duchamps und Upcycling Product von Once-Upon-a-Bottle, [20].....	17
Abbildung 8 Illegale "Recyclinganlage" in Jenjarom, Malaysia	18
Abbildung 9 Müllexport Deutschland [21] Eberle, Ulrike; Jepsen, Dirk; Volz, Suzanne; Ausberg, Laura; Reintjes Norbert:	19
Abbildung 10 Müllexport Österreich, [21] Eberle, Ulrike; Jepsen, Dirk; Volz, Suzanne; Ausberg, Laura; Reintjes Norbert:	20
Abbildung 11 Müllströme Export Österreich [53].....	21
Abbildung 12 Gesamtabfallaufkommen nach Abfallgruppen [51]	22
Abbildung 13 Siedlungsabfälle Verpackungen pro Kopf pro Jahr	23
Abbildung 14 Abfallaufkommen Siedlungsabfall – Gemischter Siedlungsabfall aus dem kommunalen Bereich 1991 – 2018 [51].....	24
Abbildung 15 Sperrmüll 1991 – 2018 [51].....	24
Abbildung 16 – Kunststoffaufkommen 2018 [51].....	27
Abbildung 17 Kunststoffabfallaufkommen Kunststoffhaltige feste Abfälle 2018 [51]	28
Abbildung 18 Behandlung von Kunststoffabfällen [51].....	28
Abbildung 19 Bau und Abbruchabfälle Zusammensetzung [51]	29
Abbildung 20 Verwertung und Beseitigung von Abfällen 2018 [51].....	31
Abbildung 21 Verwertung von Abfällen ohne Aushubmaterialien [51].....	32
Abbildung 22 Fridays for Future - eigene Darstellung aus diversen Zeitungsberichten	33
Abbildung 23 Zerfall Dauer Müll im Meer [54].....	35
Abbildung 24 Wieviele Planeten braucht die Welt? [75]	36
Abbildung 25 Agenda 2030 Ziele [76]	37
Abbildung 26 Öko-Siegel [79].....	40
Abbildung 27 Greenwashing in der Werbung - Kollage	40
Abbildung 28 Verpackt – Unverpackt	41
Abbildung 29 Organisationen gegen Lebensmittelverschwendung [55].....	42
Abbildung 30 Overshootday – Vergleich [75].....	44
Abbildung 31 Himalaya Blick aus Jalandhar (Nordindien) während dem Lock-Down 2020 [82].....	45
Abbildung 32 klares Wasser in Venedig während dem Lock-Down 2020 [83].....	45
Abbildung 33 Verwertungswege von Kunststoff nach Angaben von PlasticsEurope 2015 [39]	46
Abbildung 34 Geschichte Plastik.....	48
Abbildung 35 Plastikarten [73].....	49
Abbildung 36 Recyclingcodes Kunststoff	49
Abbildung 37 Biokunststoffe Unterteilung [11]	54
Abbildung 38 Anteile Plastikabfall nach Recycling Codes	54
Abbildung 39 Eco Ark Paneele Innenseite [74]	56
Abbildung 40 Arthur Huang - Rendering	57
Abbildung 41 Polli- Brick Flasche Detail [35].....	58
Abbildung 42 Polli-Brick Wandkonstruktion – Eco Ark mit Solarmodul[35].....	59

Abbildung 43 United Bottle - Flasche Detail [35].....	60
Abbildung 44 United Bottle – Konzeptdarstellung [35].....	61
Abbildung 45 Crisis Szenario United Bottle [35].....	61
Abbildung 46 Konstruktionsbeispiele mit Glasflaschen [35].....	64
Abbildung 47 Earthships Pufferräume.....	65
Abbildung 48 Glaswolle [66].....	66
Abbildung 49 Mineralwolle Zusammensetzung.....	67
Abbildung 50 Schaumglas Zusammensetzung.....	68
Abbildung 51 (links) Tuff Roof – Tetra Pak Welldach [35] , (rechts) Tetra Pak Zusammensetzung [61].....	71
Abbildung 52 Papierherstellung [15].....	73
Abbildung 53 PH2Z Außenansicht, Innenansicht und Kartonballen [35].....	74
Abbildung 54 PH2Z Grundriss und Schnitt [35].....	75
Abbildung 55 Zellulosefaserplatten Zusammensetzung.....	76
Abbildung 56 Bewertungsskala Ökoindex OI3[69].....	80
Abbildung 57 OI3 Vergleich Dämmschicht - Gesamt.....	87
Abbildung 58 Primär Energie Inhalt Gesamt (PENRT und PERT) Vergleich.....	90
Abbildung 59 Primärenergie Inhalt Vergleich [MJ/m ²].....	90
Abbildung 60 Treibhausgaspotential (GWP).....	91
Abbildung 61 Euthropierungspotential.....	92
Abbildung 62 Versäuerungspotential AP gesamt.....	93
Abbildung 63 Bodennahes Ozonbildungspotential.....	94
Abbildung 64 Ozonabbaupotenzial.....	95
Abbildung 65 Symbiose der Branchen über den Verwendungszeitraum.....	100

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Abfallaufkommen pro Person Bundesländer Österreich [51].....	25
Tabelle 2 Packstoffe Aufkommen [51].....	26
Tabelle 3 Kunststoffabfälle [51].....	27
Tabelle 4 Bewertungsskala Ökoindex[69].....	80
Tabelle 5 Hauptkennwerte Ökobilanz.....	86
Tabelle 6 Primärenergie Inhalt.....	88
Tabelle 7 Vergleich AP, EP, POCP, ODP.....	95

12 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser
APR	Austria Papier Recycling
ARA	Altstoffrecycling
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BG	Bilanzgrenze
CFC	Chlorfluorcarbon
C ₂ H ₄	Ethen
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
DS	Dampfsperre
EP	Eutrophierungspotenzial
EPS	Extrudiertes Polystyrol
EU	fEuropäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GFK	Gläserverstärkter Kunststoff
GWP-biogenic	Globales Erwärmungspotential, biogen
GWP-fossil	Globales Erwärmungspotential, fossil
GWP-total	Globales Erwärmungspotential, total
ICCP	Intergovernmental Panel on Climate Change <i>Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen</i>)
K	Kelvin
Kg	Kilogramm

KS	Kunststoff
Jhd.	Jahrhundert
M	Meter
MA	Magistratsabteilung
MJ	Megajoule
MW	gebundene Mineralwolle
MW-PT	gebundene Mineralwolle mit hoher Zugfestigkeit senkrecht zur Probenebene als Putzträgerplatte für Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme
MW-WD	gebundene Mineralwolle, druckbelastbar, beanspruchbar auf Zug im rechten Winkel zur Probenebene, z.B. für die Wärmedämmung von Dächern und Fassaden
MW-WV	gebundene Mineralwolle, beanspruchbar auf Zug im rechten Winkel zur Probenebene, z.B. für wärmegeämmte Vorsatzschalen ohne Unterkonstruktion
MWh	Megawattstunden
N ₂ O	Stickstoffmonoxid
n.Chr.	nach Christus
ODP	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht
PA	Polyamide
Pckt	Punkt
PE	Polyethylen
PENRE	Nicht erneuerbare Primärenergie, als Energieträger
PENRM	Nicht erneuerbare Primärenergie, als Rohstoff
PENRT	Nicht erneuerbare Primärenergie, total
PERM	Erneuerbare Primärenergie, als Rohstoff
PERE	Erneuerbare Primärenergie, als Energieträger

PERT	Erneuerbare Primärenergie, total
PET	Polyethylenterephthalat
PLA	Polymilchsäure
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PO	Phosphat
POCP	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon
PMMA	Polymethylmethacrylat
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
SO ₂	Schwefeldioxid
T	Tonnen
TPS	Thermoplastische Stärke
TWD	Transparente Wärmedämmung
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
UV	Ultra Violett
v.Chr	vor Christus
W	Watt
XPS	Expandiertes Polystyrol

13 Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.theguardian.com/environment/2018/dec/04/leaders-like-children-school-strike-founder-greta-thunberg-tells-un-climate-summit> ; letzter Zugriff 11.11.2019
- [2] <https://www.businessinsider.de/greta-thunberg-bio-climate-change-activist-2019-9?r=US&IR=T>; letzter Zugriff 11.11.2019
- [3] Schmid, Wilhelm:
Ökologische Lebenskunst - Was jeder Einzelne für das Leben auf dem Planeten tun kann,
Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main 2008
- [4] <https://www.derstandard.at/story/2000083761252/wie-viel-muell-oesterreichs-haushalte-tatsaechlich-produzieren>; letzter Zugriff 13.12.2019
- [5] Witt, Olga:
Ein Leben ohne Müll - mein Weg mit Zero Waste, Tectum Verlag, Marburg 2017
- [6] [https://de.wikipedia.org/wiki/Müllverbrennungsanlage_Flötzersteig#/media/Datei:Ottakring_\(Wien\)_-_Müllverbrennungsanlage_Flötzersteig_\(1\).JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Müllverbrennungsanlage_Flötzersteig#/media/Datei:Ottakring_(Wien)_-_Müllverbrennungsanlage_Flötzersteig_(1).JPG); letzter Zugriff 3.12.2019
- [7] <https://www.global2000.at/plastikarten>, letzter Zugriff 13.12.2019
- [8] <https://www.wir-leben-nachhaltig.at/aktuell/detailansicht/kunststoffkennzeichnung/>,
letzter Zugriff 13.12.2019
- [9] Pretting, Gerhard; Boote, Werner:
Plastic Planet - die dunkle Seite der Kunststoffe, Orange Press, Freiburg 2010
- [10] <https://www.wir-leben-nachhaltig.at/aktuell/detailansicht/verpackungsmaterial-teil-2/>
letzter Zugriff 13.12.2019
- [11] https://www.petroplast.ch/fileadmin/pdf/HOI_Biokunststoffe_120911.pdf,
letzter Zugriff 16.12.2019
- [12] <https://www.global2000.at/keramik-glasscherben>, letzter Zugriff 16.12.2019
- [13] <https://mehralsgruenzeug.com/glas-oder-plastik-was-ist-nachhaltiger/>,
letzter Zugriff 16.12.2019
- [14] <https://www.global2000.at/aluminium>, letzter Zugriff 16.12.2019
- [15] <https://www.austropapier.at/ueber-papier/papierherstellung/>, letzter Zugriff 18.12.2019
- [16] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/ozon>,
letzter Zugriff 18.12. 2019

- [17] <https://www.zugut fuer dietonne.de/warum-werfen-wir-lebensmittel-weg/was-verbraucht-unser-essen/>, letzter Zugriff 20.12.2019
- [18] Mörtenböck, Peter; Mooshammer, Helge:
Andere Märkte - Zur Architektur der informellen Ökonomie, Transcript Verlag, Bielefeld 2016
- [19] <https://www.bild.de/geld/wirtschaft/wirtschaft/plastik-atlas-deutsche-sind-spitzenreiter-beim-muell-verursachen-62452382.bild.html>, letzter Zugriff 5.12.2019
- [20] <http://www.invisiblebooks.com/Duchamp.htm>, letzter Zugriff 5.12.2019
- [21] Eberle, Ulrike; Jepsen, Dirk; Volz, Suzanne; Ausberg, Laura; Reintjes Norbert:
Eco Design Kit, Themenbereich B Methoden Themenblock 2: Analyse und Bewertungsmethoden B2.1 Die Ökobilanz,
Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg 2016
- [22] <https://fridaysforfuture.at/uploads/ipcc-bericht.pdf>, letzter Zugriff 4.11.2019
- [23] <https://www.tagesschau.de/inland/klimaschutz-demonstrationen-fridays-for-future-103.html>, letzter Zugriff 4.11. 2019
- [24] Ulrich von Weizsäcker, Ernst; Wijkman, Anders
Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet - a report to the Club of Rome, Springer Verlag, Stockholm 2018
- [25] Sascha, Peters; Kalweit, Andreas; Paul, Christoph; Wallbaum, Reiner:
Handbuch für technisches Produktdesign – Material und Fertigung,
Entscheidungsgrundlagen für Designer und Ingenieure, Springer Verlag, Bremen 2006
- [26] Mötzl, Hildegund; Zelger, Thomas; Gann, Michael; Liebming, Andreas; Lipp, Bernhard:
Ökologie der Dämmstoffe, Springer Verlag, Wien 2000
- [27] <https://www.zerowasteaustria.at/conference-2018.html>, letzter Zugriff 17.11.2019
- [28] <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/mehr-recyclingplastik-fuer-den-bau/150/3094/364615>, letzter Zugriff 19.11.2019
- [29] Philips, April :
Designing Urban Agriculture - A complete guide to the Planning, Design, Construction, Maintenance, and Management of Edible Landscapes, John Wiley & Sons Inc., Hoboken-New Jersey 2013

- [30] Fuhr, Lily; Buschmann, Rolf; Freund, Judith:
Plastikatlas 2019 – Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff, Heinrich Böll
Stiftung und Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, 5. Auflage, Oktober 2020
<https://www.boell.de/sites/default/files/2020-11/Plastikatlas%202019%205.Auflage%20web.pdf>, letzter Zugriff 9.1.2020
- [31] Meyer, Ulf:
Architekturführer Taiwan, DOM Publishers, Berlin 2012
- [32] Hietler, Philipp; Pladerer, Christian:
Studie Abfallvermeidung in der österreichische Lebensmittelproduktion,
Österreichisches Ökologie Institut, Wien 2017
- [33] Kettler Rolf:
Eine kurze Geschichte des Abfalls, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
(BUWAL) - Abteilung Abfall, Bern Oktober 2000
- [34] Läßle, Fang,:
Abfall- und kreislaufwirtschaftlicher Transformationsprozess in Deutschland und in
China: Analyse – Vergleich – Übertragbarkeit, Dissertation, Fakultät für Wirtschafts- und
Sozialwissenschaften, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2007
- [35] Hebel, Dirk; Wisniewska, Marta; Marta; Heisel Felix:
Building from Waste – Recovered Materials in Architecture and Construction,
Birkhäuserverlag GmbH, Basel 2014
- [36] Kane Anthony:
Polli Brick - Low Carbon Facade Systems - Case Study on the Miniwiz Polli-Brick Cladding
System, Harvard University Graduate School of Design, 2011
http://research.gsd.harvard.edu/drg/files/2012/04/PolliBrick_Case.pdf,
letzter Zugriff 8.1.2020
- [37] Nowack, Karin, et. al.:
Projektbericht - Aspekte von Verpackungsmaterialien bei Ökoprodukten,
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick Schweiz, 2007
- [38] Engelsmann, Stephan; Spalding, Valerie; Peters, Stefan:
Kunststoffe in Architektur und Konstruktion, Birkhäuser Verlag, Basel, 2010
- [39] Steiner, Tobias:
Ökologie und Ökonomie des Dämmens – Analyse und Bewertung von
Dämmmaßnahmen in der Altbausanierung, Frauenhofer IRB Verlag, Stuttgart 2018

- [40] Linzner, Roland:
Abfallwirtschaft in Österreich, Universität für Bodenkultur Wien, 2. Koordinationstreffen
Baikal Wasma Irkutsk, 2008
- [41] <https://web.archive.org/web/20110105080629/http://www.wienenergie.at/we/ep/channelView.do/channelId/-25570/pageTypeld/11894>, letzter Zugriff 30.4.2020
- [42] <https://web.archive.org/web/20110105080338/http://www.wienenergie.at/we/ep/channelView.do/channelId/-25573/pageTypeld/11894>, letzter Zugriff 30.4.2020
- [43] https://de.wikipedia.org/wiki/Altstoff_Recycling_Austria#Aufgaben,
letzter Zugriff 30.4.2020
- [44] Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz (Bundesrepublik Deutschland):
Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen
Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG)
http://www.gesetze-im-internet.de/krwg/___3.html; letzter Zugriff 30.4.2020
- [45] <https://once-upon-a-bottle.com/produkt-kategorie/trinken/karaffen/>
____ letzter Zugriff 5.12.2019
- [46] Antlinger, Irina; Denz, Patrick, Gmeiner, Harald; Rohrer, Fabian; Sutter, Christoph:
Leitfaden zur ökologischen Bewertung von Bauteilkonstruktionen mittels Ökoindex,
Energieinstitut Vorarlberg Bereich Ökologisch Bauen, Dornbirn, Juni 2016
- [47] Kannengießner, Sigrid; Nachhaltigkeit und das „gute Leben“ Zur Verantwortung der
Kommunikations- und Medienwissenschaft in digitalen Gesellschaften, Zentrum für
Medien-, Kommunikations- und Informationsforschung, Universität Bremen,
Springer Verlag, Bremen 2020
- [48] [https://www.n-tv.de/wirtschaft/Deutscher-Plastikabfall-verschmutzt-Malaysia-
article21060109.html](https://www.n-tv.de/wirtschaft/Deutscher-Plastikabfall-verschmutzt-Malaysia-article21060109.html), letzter Zugriff 1.11.2019
- [49] [https://www.wiwo.de/technologie/umwelt/muellexporte-nach-malaysia-tonnenweise-
deutscher-plastikmuell-auf-illegalen-deponien/23988904.html](https://www.wiwo.de/technologie/umwelt/muellexporte-nach-malaysia-tonnenweise-deutscher-plastikmuell-auf-illegalen-deponien/23988904.html); letzter Zugriff 1.11.2019
- [50] <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3>;
letzter Zugriff 1.5.2020
- [51] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie:
Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2020
(Referenzjahr 2018), Abteilung V/3: Abfallwirtschaftsplanung, Abfallbehandlung und
Altlastensanierung, Wien 2020
- [52] Kieran Timberlake Architects; Dratz & Dratz Architekten; Roswag Architekten; Pfeifer
Kuhn Architekten; FORCE4:
Recycling-Architektur - Architektur-Recycling, in: Baunetzwoche Heft 220/ 2011, S. 3-18,

- [53] <https://www.derstandard.at/story/2000083799371/wie-aus-muell-geld-wird>, letzter Zugriff 7.6.2020
- [54] <https://pbs.twimg.com/media/Cd1qp63UEAEs--p.jpg>, letzter Zugriff 7.6.2020
- [55] Abbildung 29 Organisationen gegen Lebensmittelverschwendung;
<https://www.zerowasteaustria.at/conference-2018.html>, letzter Zugriff 7.6.2020
- [56] <https://www.wienertafel.at/index.php?id=586>, letzter Zugriff 7.9.2019
- [57] <https://foodsharing.de>, letzter Zugriff 7.9.2019
- [58] <https://hutundstiel.bigcartel.com/info>, letzter Zugriff 7.9.2019
- [59] <https://tridea.co>, letzter Zugriff 7.9.2019
- [60] <https://mehralsgruenzeug.com/glas-oder-plastik-was-ist-nachhaltiger/>, letzter Zugriff 2.6.2020
- [61] <https://www.tetrapak.com/de/sustainability/recycling>, letzter Zugriff 22.1.2020
- [62] <https://www.bauwelt.de/themen/interview/Dratz-Dratz-und-das-PH-Z2-mobile-working-spaces-Papierhaus-2155416.html>, letzter Zugriff 7.8.2020
- [63] Stöcker, Horst:
Taschenbuch der Physik Formeln, Tabellen, Übersichten, 4. Korrigierte Auflage, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main 2000
- [64] Fischer; Jenisch; Stohrer; Homann; Freymuth; Richter; Häupl:
Lehrbuch der Bauphysik, 6. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden 2008
- [65] <https://www.bauforum.at/bauzeitung/oekologisch-und-oekonomisch-52044>, letzter Zugriff 28.7.2020
- [66] <https://www.herold.at/blog/glaswolle-daemmung-preis/>, letzter Zugriff 28.7.2020
- [67] <https://www.isover.ch/de/themen/glaswolle/eigenschaften-der-isover-glaswolle>, letzter Zugriff 22.5.2020
- [68] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff>, letzter Zugriff 10.10.2020
- [69] Florit, Cristina; Denz Patrick:
eco2soft - Schnell und einfach zur Ökobilanz, Baubook GmbH, 2020,
https://www.ibo.at/fileadmin/user_upload/Infoblatt_eco2soft_2019.pdf,
letzter Zugriff 10.10.2020

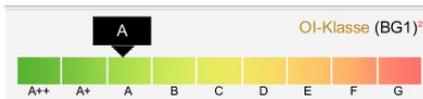
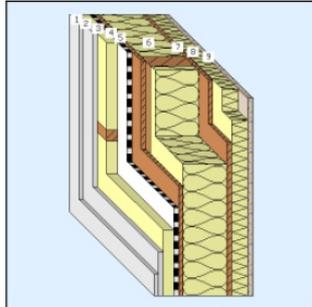
- [70] <http://www.lavu.at/home.html>
O.Ö. Landes-Abfallverwertungsunternehmen GmbH, Wels
http://www.altstoffsammelzentrum.at/fileadmin/user_upload/redakteure/asz/Abfallarten_Mutationen/a3_altstoffe/3000_Altpapier.pdf; letzter Zugriff 10.10.2020
- [71] <https://www.baunetzwissen.de/glas/tipps/news-produkte/transluzente-glasgranulatplatten-4903856>, letzter Zugriff 10.10.2020
- [72] Jahnke, Julia:
Guerrilla Gardening : anhand von Beispielen in Berlin, New York City und London,
Zugl.: Berlin, Univ., Masterarb., 2006/2007 Tönning [u.a.] : Der Andere Verl., Berlin,
2010
- [73] <https://www.chemieunterricht.de/dc2/haus/v127.htm>, letzter Zugriff 17.5.2020
- [74] <https://inhabitat.com/ecoark-pavilion-made-from-1-5-million-plastic-bottles/>, letzter
Zugriff 17.5.2020
- [75] <https://www.overshootday.org/newsroom/press-release-june-2019-german/>letzter
Zugriff 17.5.2020
- [76] <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/themen/nachhaltige-entwicklung-agenda-2030.html>, letzter Zugriff 17.5.2020
- [77] <https://www.oib.or.at/de/kennzeichnung-und-zulassung-von-bauprodukten/ce-kennzeichnung/bauproduktenverordnung-1>, letzter Zugriff 17.5.2020
- [78] <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start/greenwashing-check-meldemglichkeit-fr-konsumenten>, letzter Zugriff 17.5.2020
- [79] <https://www.rtl.de/cms/was-steckt-hinter-welchem-lebensmittel-siegel-4401732.html>,
letzter Zugriff 17.5.2020
- [80] <https://www.classicfm.com/music-news/coronavirus/venice-canals-clear-dolphins-swim-italy-lockdown/>,letzter Zugriff 17.5.2020
- [81] <https://urbanmining.at/about>, letzter Zugriff 17.5.2020
- [82] <https://globalnews.ca/news/6800723/coronavirus-himalayas-india/>, letzter Zugriff
17.5.2020
- [83] <https://designyoutrust.com/2020/03/water-in-venice-canals-goes-crystal-clear-after-coronavirus-lockdown/>, letzter Zugriff 17.5.2020

14 Anhang

14. 8. 2020
Jelena Stojanovic (P23012)
TU Wien



Außenwand Holzbau Dämmplatten

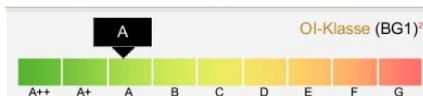
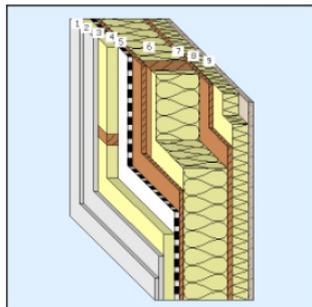


Masse	89,8 kg/m²
PENRT	795 MJ/m ²
GWP total	-9,12 kg CO ₂ /m ²
AP	0,193 kg SO ₂ /m ²

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 Pkt/m ²
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
3 Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tech	4,00 4,00	0,035 0,120	1,14 0,33	5 0
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00	1
5 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) ISOVER HOLZBAU-DÄMMPLATTEN 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tec	16,00 16,00	0,034 0,120	4,71 1,33	11 0
7 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67	12
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03	11
	$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040	
	R' / R'' (max. relativer Fehler: 4,0%) =		7,300 / 6,737	
Bauteil	33,52	7,018	51	

Außenwand Holzbau Dämmplatten



Masse	89,8 kg/m²
PENRT	795 MJ/m ²
PENRE	674 MJ/m ²
PENRM	121 MJ/m ²
GWP-total	-9,12 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-fossil	40,5 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-biogenic	-49,7 kg CO ₂ equ./m ²
AP	0,193 kg SO ₂ equ./m ²
EP	0,0767 kg PO ₄ ³⁻ /m ²
PERT	609 MJ/m ²
PERE	90,8 MJ/m ²
PERM	518 MJ/m ²
POCP	0,0235 kg C ₂ H ₄ /m ²
ODP	0,00000353 kg CFC-11/m ²

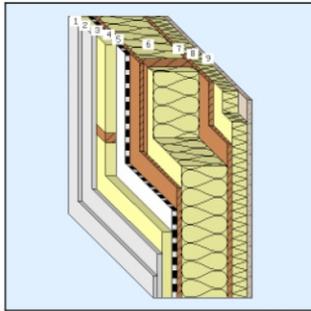
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
3 Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	4,00 4,00	0,035 0,120	1,14 0,33
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00
5 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) ISOVER HOLZBAU-DÄMMPLATTEN 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	16,00 16,00	0,034 0,120	4,71 1,33
7 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03
	$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040
	R' / R'' (max. relativer Fehler: 4,0%) =		7,300 / 6,737
Bauteil	33,52	7,018	

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RL6: OIB Richtlinie 6 (April 2007); In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie Instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Außenwand Zellulose-Dämmung-(Einblasdämmung Altpapier)

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

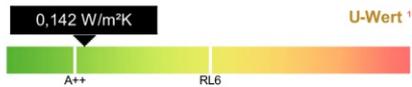
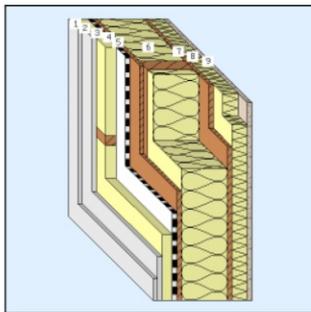


Masse	96,0 kg/m²
PENRT	722 MJ/m²
GWP total	-24,9 kg CO ₂ /m²
AP	0,178 kg SO ₂ /m²

Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²	
1	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2	
2	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2	
3	Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tech	4,00	4,00	0,035	1,14	5
4	Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00	1	
5	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12	4	
6	Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) isofloc LM 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tec	18,00	18,00	0,039	4,62	4
7	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12	4	
8	JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67	12	
9	Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03	11	
		$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040		
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,2%) =		7,285 / 6,828		
Bauteil		35,52	7,057	44		

Außenwand Zellulose-(Einblasdämmung Altpapier)

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

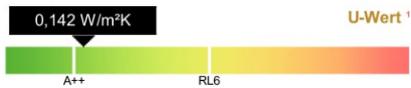
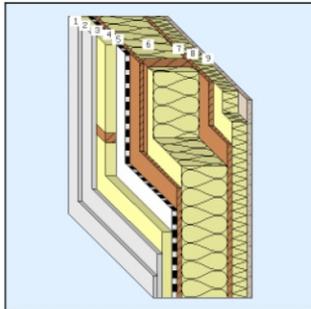


Masse	96,0 kg/m²
PENRT	722 MJ/m²
PENRE	601 MJ/m²
PENRM	121 MJ/m²
GWP-total	-24,9 kg CO ₂ equ./m²
GWP-fossil	38,1 kg CO ₂ equ./m²
GWP-biogenic	-63,0 kg CO ₂ equ./m²
AP	0,178 kg SO ₂ equ./m²
EP	0,0681 kg PO ₄ ³⁻ /m²
PERT	714 MJ/m²
PERE	93,6 MJ/m²
PERM	621 MJ/m²
POCP	0,0228 kg C ₂ H ₄ /m²
ODP	0,0000314 kg CFC-11/m²

Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W
1	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
2	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
3	Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	4,00	4,00	0,035
4	Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00
5	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12
6	Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) isofloc LM 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	18,00	18,00	0,039
7	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12
8	JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67
9	Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03
		$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,2%) =		7,285 / 6,828
Bauteil		35,52	7,057	

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. **A++**: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. **RL6**: OIB Richtlinie 6 (April 2007); In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Außenwand Glaswolle-Dämmung

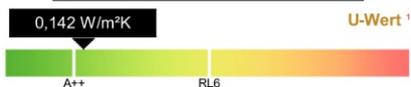
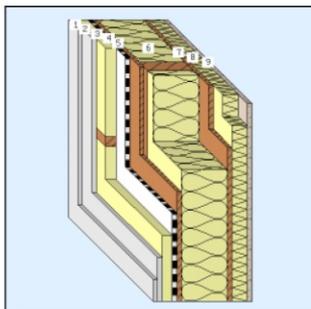


Masse	92,9 kg/m ²
PENRT	713 MJ/m ²
GWP total	-12,2 kg CO ₂ /m ²
AP	0,183 kg SO ₂ /m ²

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 Pkt/m ²
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
3 Mineralwolleplatten zw. KVH	4,00			
58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³)	4,00	0,035	1,14	5
4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tech	4,00	0,120	0,33	0
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00	1
5 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene)	18,00			
54,5 cm (87%) ROCKWOOL Flexirock	18,00	0,039	4,62	7
8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tec	18,00	0,120	1,50	0
7 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67	12
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03	11
		$R_{si} / R_{se} =$		
		0,130 / 0,040		
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,2%) =		
		7,285 / 6,828		
Bauteil	35,52	7,057	46	

Außenwand Glaswolle-Dämmung



Masse	92,9 kg/m ²
PENRT	713 MJ/m ²
PENRE	587 MJ/m ²
PENRM	126 MJ/m ²
GWP-total	-12,2 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-fossil	39,5 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-biogenic	-51,7 kg CO ₂ equ./m ²
AP	0,183 kg SO ₂ equ./m ²
EP	0,0669 kg PO ₄ ³⁻ /m ²
PERT	630 MJ/m ²
PERE	87,4 MJ/m ²
PERM	543 MJ/m ²
POCP	0,0240 kg C ₂ H ₄ /m ²
ODP	0,00000313 kg CFC-11/m ²

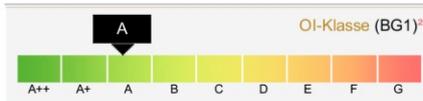
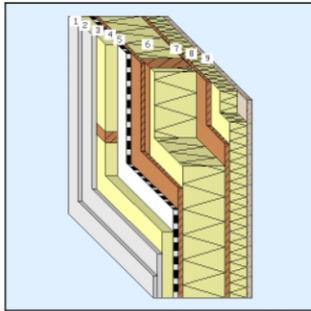
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
3 Mineralwolleplatten zw. KVH	4,00		
58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³)	4,00	0,035	1,14
4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	4,00	0,120	0,33
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00
5 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene)	18,00		
54,5 cm (87%) ROCKWOOL Flexirock	18,00	0,039	4,62
8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	18,00	0,120	1,50
7 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03
		$R_{si} / R_{se} =$	
		0,130 / 0,040	
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,2%) =	
		7,285 / 6,828	
Bauteil	35,52	7,057	

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. **A++**: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. **RL6**: OIB Richtlinie 6 (April 2007). In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Außenwand Polystyrol Hartschaumplatte

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

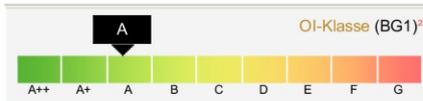
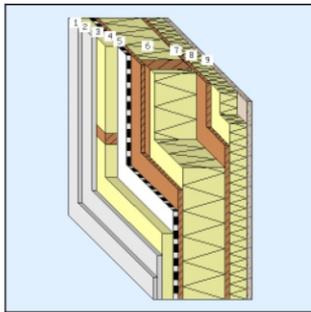


Masse	88,3 kg/m²
PENRT	855 MJ/m²
GWP total	-7,05 kg CO ₂ /m²
AP	0,178 kg SO ₂ /m²

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²KW	ΔOI3 Pkt/m²
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
3 Mineralwolleplatten zw. KVH	4,00			
58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³)	4,00	0,035	1,14	5
4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tech	4,00	0,120	0,33	0
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00	1
5 OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12	4
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene)	15,00			
54,5 cm (87%) Sto-Dämmplatte Top31 Polar	15,00	0,031	4,84	12
8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tec	15,00	0,120	1,25	0
7 OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12	4
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67	12
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03	11
		$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 4,6%) =		7,368 / 6,721
Bauteil	32,52	7,044	51	

Außenwand Polystyrol Hartschaumplatte

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

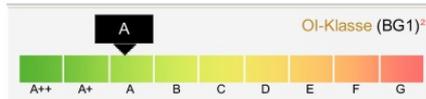
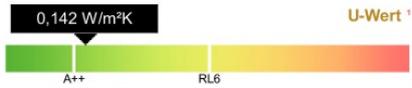
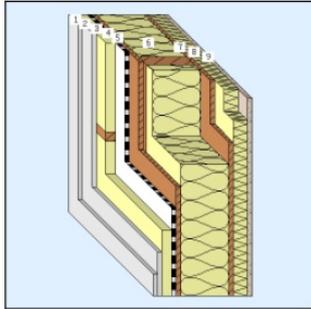


Masse	88,3 kg/m²
PENRT	855 MJ/m²
PENRE	656 MJ/m²
PENRM	199 MJ/m²
GWP-total	-7,05 kg CO ₂ equ./m²
GWP-fossil	41,6 kg CO ₂ equ./m²
GWP-biogenic	-48,7 kg CO ₂ equ./m²
AP	0,178 kg SO ₂ equ./m²
EP	0,0619 kg PO ₂ /m²
PERT	593 MJ/m²
PERE	85,2 MJ/m²
PERM	508 MJ/m²
POCP	0,0348 kg C ₂ H ₄ /m²
ODP	0,00000304 kg CFC-11/m²

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²KW
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
3 Mineralwolleplatten zw. KVH	4,00		
58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³)	4,00	0,035	1,14
4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	4,00	0,120	0,33
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00
5 OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene)	15,00		
54,5 cm (87%) Sto-Dämmplatte Top31 Polar	15,00	0,031	4,84
8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	15,00	0,120	1,25
7 OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03
		$R_{si} / R_{se} =$	
		0,130 / 0,040	
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 4,6%) =	
		7,368 / 6,721	
Bauteil	32,52	7,044	

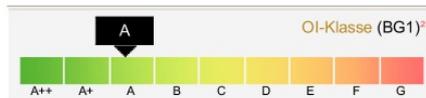
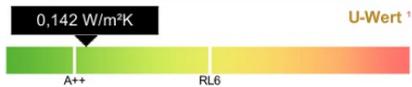
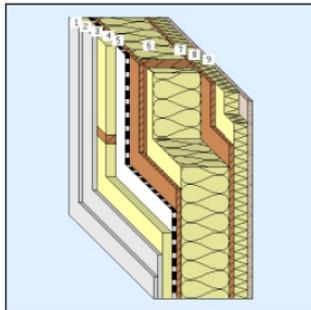
¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. **A++**: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. **RL6**: OIB Richtlinie 6 (April 2007). In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Außenwand Hanf-Dämmung



Masse	96,5 kg/m ²
PENRT	874 MJ/m ²
GWP total	-19,2 kg CO ₂ /m ²
AP	0,186 kg SO ₂ /m ²

Außenwand Hanf-Dämmung



Masse	96,5 kg/m ²
PENRT	874 MJ/m ²
PENRE	734 MJ/m ²
PENRM	139 MJ/m ²
GWP-total	-19,2 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-fossil	44,1 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-biogenic	-63,3 kg CO ₂ equ./m ²
AP	0,186 kg SO ₂ equ./m ²
EP	0,0718 kg PO ₂ /m ²
PERT	752 MJ/m ²
PERE	93,8 MJ/m ²
PERM	659 MJ/m ²
POCP	0,0233 kg C ₂ H ₄ /m ²
ODP	0,00000358 kg CFC-11/m ²

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

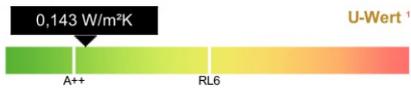
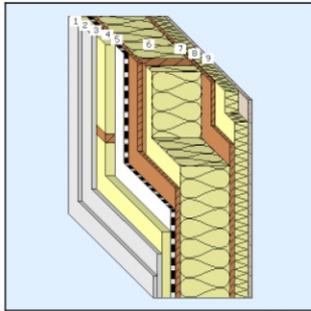
Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² /W	ΔOI3 Pkt/m ²
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2
3 Mineralwolleplatten zw. KVH	4,00			
58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³)	4,00	0,035	1,14	5
4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tech	4,00	0,120	0,33	0
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00	1
5 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene)	20,00			
54,5 cm (87%) Hanffaserdämmstoff (41 kg/m ³)	20,00	0,045	4,44	11
8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tec	20,00	0,120	1,67	0
7 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67	12
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03	11
		$R_{si} / R_{se} =$		
		0,130 / 0,040		
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 2,6%) =		
		7,204 / 6,845		
Bauteil	37,52	7,025	51	

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

Nr. Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² /W
1 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
2 Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
3 Mineralwolleplatten zw. KVH	4,00		
58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³)	4,00	0,035	1,14
4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	4,00	0,120	0,33
4 Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00
5 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
6 Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene)	20,00		
54,5 cm (87%) Hanffaserdämmstoff (41 kg/m ³)	20,00	0,045	4,44
8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	20,00	0,120	1,67
7 OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
8 JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67
9 Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03
		$R_{si} / R_{se} =$	
		0,130 / 0,040	
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 2,6%) =	
		7,204 / 6,845	
Bauteil	37,52	7,025	

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RL6: OIB Richtlinie 6 (April 2007); In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Außenwand Strohballen-Dämmung

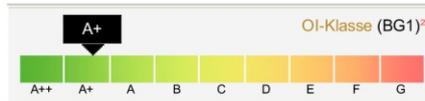
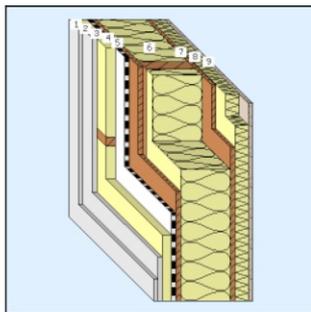


Masse	111,5 kg/m ²
PENRT	688 MJ/m ²
GWP total	-47,7 kg CO ₂ /m ²
AP	0,171 kg SO ₂ /m ²

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 Pkt/m ²	
1	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2	
2	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2	
3	Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tech	4,00	4,00	0,035	1,14	5
4	Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00	1	
5	OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4	
6	Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) Baustrohballen (109 kg/m ³) 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tec	22,00	22,00	0,051	4,31	-1
7	OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12	4	
8	JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67	12	
9	Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03	11	
		$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040		
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 2,1%) =		7,147 / 6,859		
Bauteil		39,52	7,003	38		

Außenwand Strohballen-Dämmung



Masse	111,5 kg/m ²
PENRT	688 MJ/m ²
PENRE	568 MJ/m ²
PENRM	121 MJ/m ²
GWP-total	-47,7 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-fossil	36,4 kg CO ₂ equ./m ²
GWP-biogenic	-84,0 kg CO ₂ equ./m ²
AP	0,171 kg SO ₂ equ./m ²
EP	0,101 kg PO ₄ ³⁻ /m ²
PERT	972 MJ/m ²
PERE	84,6 MJ/m ²
PERM	888 MJ/m ²
POCP	0,0221 kg C ₂ H ₄ /m ²
ODP	0,00000297 kg CFC-11/m ²

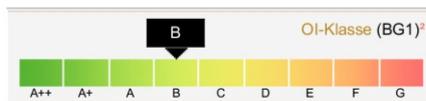
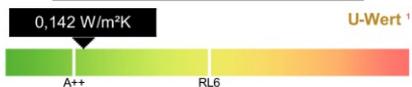
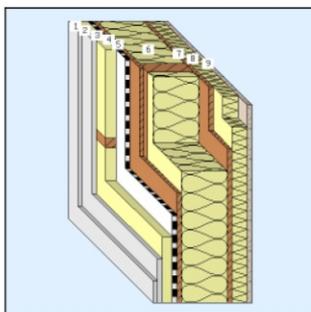
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W
1	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
2	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
3	Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	4,00	4,00	0,035
4	Sarnavap 2000 E	0,02	0,350	0,00
5	OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
6	Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) Baustrohballen (109 kg/m ³) 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	22,00	22,00	0,051
7	OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,50	0,130	0,12
8	JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67
9	Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03
		$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 2,1%) =		7,147 / 6,859
Bauteil		39,52	7,003	

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. **A++**: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. **RL6**: OIB Richtlinie 6 (April 2007); in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie Instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt.

Außenwand Zellulose-Dämmung- Aluminium-Dampfsperre

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)

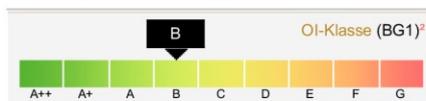
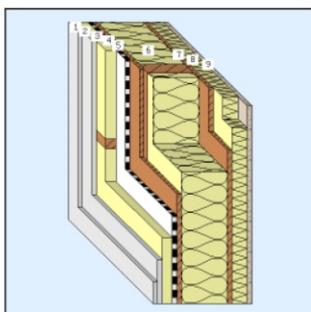


Masse	96,5 kg/m²
PENRT	1059 MJ/m²
GWP total	-4,15 kg CO ₂ /m²
AP	0,277 kg SO ₂ /m²

Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²KW	ΔOI3 Pkt/m²	
1	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2	
2	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05	2	
3	Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tech	4,00	4,00	0,035	1,14	5
4	Aluminium Dampfsperre	0,02221,000	0,00	0,00	29	
5	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12	4	
6	Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) isofloc LM 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tec	18,00	18,00	0,039	4,62	4
7	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12	4	
8	JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67	12	
9	Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03	11	
		$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040		
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,2%) =		7,284 / 6,828		
Bauteil		35,52	7,056	72		

Außenwand Zellulose-Dämmung- Aluminium-Dampfsperre

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1)



Masse	96,5 kg/m²
PENRT	1059 MJ/m²
PENRE	948 MJ/m²
PENRM	112 MJ/m²
GWP-total	-4,15 kg CO ₂ equ./m²
GWP-fossil	58,9 kg CO ₂ equ./m²
GWP-biogenic	-63,1 kg CO ₂ equ./m²
AP	0,277 kg SO ₂ equ./m²
EP	0,128 kg PO ₄ ⁻³ /m²
PERT	751 MJ/m²
PERE	130 MJ/m²
PERM	621 MJ/m²
POCP	0,0280 kg C ₂ H ₆ /m²
ODP	0,00000429 kg CFC-11/m²

Nr.	Typ Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²KW
1	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
2	Knauf Gipskarton Bauplatte imprägniert	1,25	0,250	0,05
3	Mineralwolleplatten zw. KVH 58,5 cm (94%) Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³) 4 cm (6%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	4,00	4,00	0,035
4	Aluminium Dampfsperre	0,02221,000	0,00	0,00
5	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12
6	Mineralwolleplatten zw. horizontalen Latten (Installationsebene) 54,5 cm (87%) isofloc LM 8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch	18,00	18,00	0,039
7	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,50	0,130	0,12
8	JACKODUR KF 300	6,00	0,036	1,67
9	Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	2,00	0,800	0,03
		$R_{si} / R_{se} =$		0,130 / 0,040
		R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,2%) =		7,284 / 6,828
Bauteil		35,52	7,056	

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. **A++**: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. **RL6**: OIB Richtlinie 6 (April 2007); In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ² Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt