



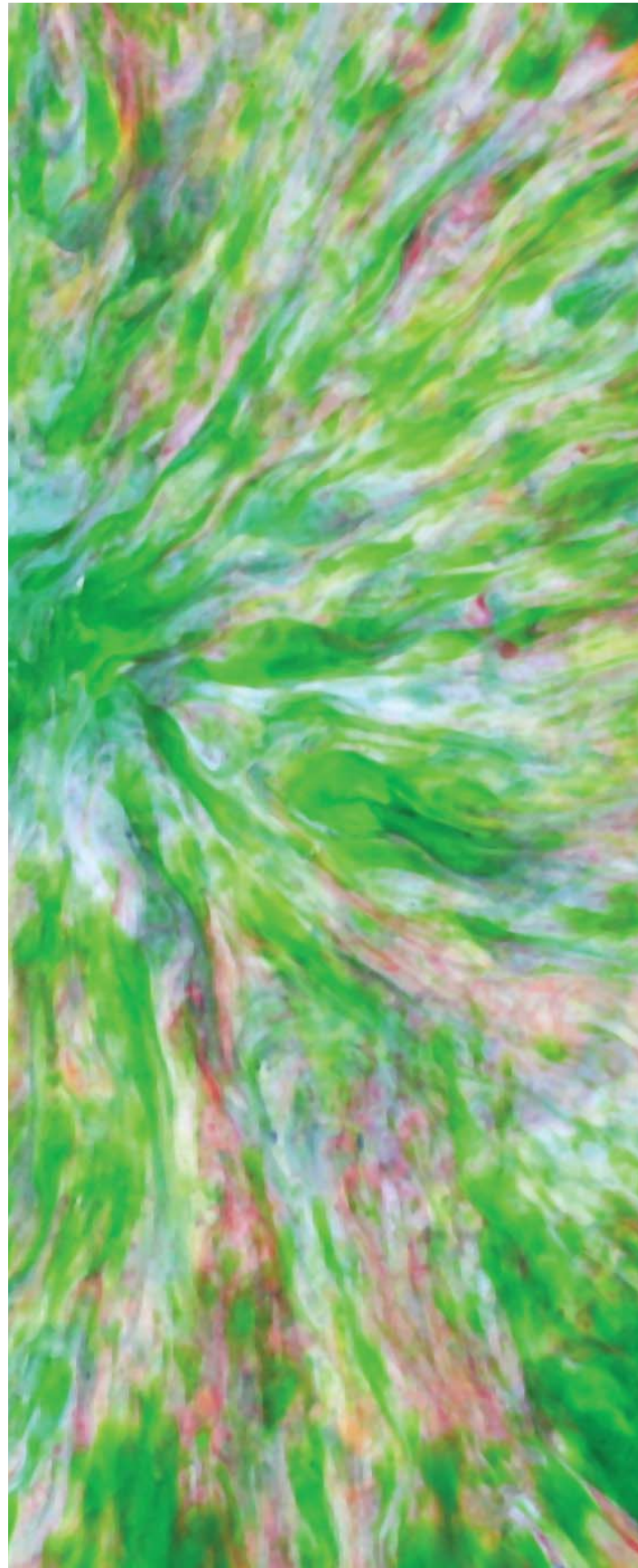
Forschungsberichte

itke
44

Manfred Richard Hammer

Recyclingkunststoffe in Gebäuden - Voraussetzungen und Anwendungen

Auswirkungen auf die ökologische
Nachhaltigkeit eines Bauwerks
durch den Einsatz von Produkten aus
thermoplastischen Recyclingkunststoffen





Forschungsberichte

itke

aus dem Institut für Tragkonstruktionen
und Konstruktives Entwerfen,
Universität Stuttgart

Herausgeber:
Professor Dr.-Ing. Jan Knippers

Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen:
Forschungsbericht 44

Manfred Richard Hammer:

Recyclingkunststoffe in Gebäuden - Voraussetzungen und Anwendungen
- Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit eines Bauwerks durch
den Einsatz von Produkten aus thermoplastischen Recyclingkunststoffen

Stuttgart, Oktober 2017

ISBN 978-3-922302-44-5

D 93

© Institut für Tragkonstruktionen
und Konstruktives Entwerfen
Universität Stuttgart
Keplerstraße 11
D-70174 Stuttgart



Alle Rechte, insbesondere der Übersetzung, bleiben vorbehalten.
Vervielfältigung jeglicher Art, auch auszugsweise, ist nicht gestattet.

Recyclingkunststoffe in Gebäuden

Voraussetzungen und Anwendungen

Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit eines Bauwerks
durch den Einsatz von Produkten aus thermoplastischen Recyclingkunststoffen

Von der Fakultät Architektur und Stadtplanung der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
(Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Manfred Richard Hammer
aus Eschenbach in der Oberpfalz

Hauptberichter:	Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers
Mitberichter:	Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

Tag der mündlichen Prüfung: 13. September 2017

Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart
2017

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen an der Fakultät 1 Architektur und Stadtplanung der Universität Stuttgart.

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers, Leiter des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart und Hauptberichter dieser Arbeit für die Förderung und stetige Unterstützung dieses Themas, für die Betreuung und dem von ihm entgegen gebrachten Vertrauen bezüglich der thematischen Ausgestaltung herzlichst bedanken.

Prof. Dr.-Ing Schew-Ram Mehra, Leiter des Lehrstuhls für Bauphysik der Universität Stuttgart danke ich herzlichst für das Interesse an meiner Arbeit und die Bereitschaft der Berichterstellung.

Ich danke der Landesgraduiertenförderung für die Unterstützung meiner Promotion.

Ich danke meinen Kollegen für die angenehme Arbeitsatmosphäre. Mein besonderer Dank gilt Petra Heim für ihre Zeit und Anstrengungen, die Rohfassung dieser Arbeit zu korrigieren.

Mein außerordentlicher Dank gilt meinen Eltern Anna und Max Hammer, welche mir das Architekturstudium ermöglicht und die Promotion nach Kräften unterstützt haben.

Ganz besonders möchte ich schließlich meiner Frau Carmen Köhler-Hammer danken. Ohne ihren Rückhalt, ihre Unterstützung und ihr vielfältiges Engagement gäbe es diese Arbeit nicht.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Voraussetzungen von Rest- und Abfallkunststoffen, für mögliche Anwendungen in Halbzeugen und Produkten für Gebäude untersucht. Dabei wurde ein besonderer Fokus auf die vergleichenden ökologischen Bewertungen von beispielhaften funktionellen Nutzungsszenarien gelegt. Ziel der Arbeit war es, zu ermitteln, welche Auswirkungen der Einsatz von Bauteilen aus thermoplastischen Recyclingkunststoffen auf die Ökobilanz eines Bauwerks haben kann. Aus ökologischer Sicht wurden dafür sinnvolle Anwendungen im Bauwesen identifiziert, bei denen durch den Einsatz von Bauteilen aus thermoplastischen Recyclingkunststoffen, die Lebenszyklusanalysen von Gebäuden und die damit in Verbindung stehenden Umweltauswirkungen beeinflusst werden können. Darüber hinaus besteht dadurch die Möglichkeit, dass die wertvollen fossilen Ressourcen nachhaltig erhalten bleiben und die Menge der anfallenden Kunststoffabfälle reduziert werden kann.

In der ersten Phase wurde eine präzise Problembestimmung vorgenommen. Die Hintergründe des Themas wurden eruiert und aus dem derzeitigen Forschungsstand ein Ziel definiert. Nach der bisherigen Problemformulierung folgte die Eingrenzung des wie bereits oben beschriebenen Ziels der Arbeit, mit den zu erwartenden möglichen Auswirkungen. Mit dem Fortschreiten der Arbeit wurden die in der Problembestimmung getroffenen Aussagen auf deren Zusammenhang von Ursachen und Wirkungen kontinuierlich überprüft.

Die Beschäftigung mit dem Thema Kunststoffrecycling ist unausweichlich. Mit der weltweit wachsenden Nachfrage nach der fossilen Ressource Erdöl und deren limitierten Fördermenge wird der Preis nicht nur für erdölbasierte Kraftstoffe, sondern auch für Kunststoffe in Zukunft erheblich steigen. Je früher mit der Erforschung und Optimierung alternativer Recyclingprozesse und der Möglichkeiten für die Anwendung der Rezyklatprodukte begonnen wird, umso geringer wird sich die Knappheit des Öls bemerkbar machen.

Ein gesteigertes Umweltbewusstsein und wachsende Energiepreise führten im Bauwesen zur Energieeinsparverordnung (EnEV). Die Vorgaben der Verordnung werden regelmäßig erhöht, um damit neue Gebäude auf einen minimalen Energieverbrauch während der Nutzung zu trimmen. Das maximale Einsparpotential ist mit dem Passivhausstandard, bei diesem während der Nutzungsphase keine Energie mehr verbraucht wird, schon erreicht. Möglich wird dies hauptsächlich durch einen erhöhten Materialeinsatz. Dessen ungeachtet betrachtet die EnEV nur die Nutzungsphase der Gebäude. Die Produktionsphase und die Entsorgungsphase bleiben außen vor.

Der kumulierte Energieaufwand (KEA), gibt „die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Guts (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann.“ (VDI-Richtlinie VDI 4600 Blatt 1)

Der KEA oder auch umgangssprachlich bekannt als die „Graue Energie“ der Bauprodukte fließt bis jetzt noch nicht in die gesetzlich geforderte Energiebilanz von Gebäuden ein. Eine Verringerung des Gesamtenergiebedarfs ist zukünftig nur noch in der Erstellungs- und Entsorgungsphase möglich.

Darüber hinaus wächst das Interesse an den potentiellen Umweltwirkungen der erstellten Gebäude. Dazu wird z.B. der „CO₂ Fußabdruck“ berechnet. Mit diesem Wert allein kann jedoch noch keine Aussage über alle Umweltwirkungen getroffen werden, da es wesentlich mehr Faktoren gibt, die sich nicht proportional zueinander verhalten und innerhalb einer Ökobilanz betrachtet werden müssen.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden in Zukunft die „Graue Energie“, die potentiellen Umweltauswirkungen und der Ressourcenverbrauch in einer gesetzlich verpflichtenden Ökobilanzierung von Gebäuden eingeschlossen werden, um dem Anspruch einer ganzheitlichen Nachhaltigkeit von Gebäuden näher zu kommen. Das DGNB-Zertifikat ist ein gutes Beispiel für eine solche Bilanzierung, es enthält die genannten Bestandteile bereits, ist aber noch nicht für alle Gebäude verpflichtend.

Die durchgeführte Analyse des bestehenden Forschungsstandes enthält eine systematische Kategorisierung der verschiedenen Recyclingkunststoffe anhand ihrer unterschiedlichen Eigenschaften. Zudem wurden bereits bestehende Anwendungsbereiche und deren Anforderungen für Produkte aus Rezyklat identifiziert. Mithilfe von Software und Datenbanken zur Lebenszyklusanalyse können Verwertungs- und Recyclingwege analysiert und mit der herkömmlichen Herstellung von Kunststoffen aus fossilen Ressourcen verglichen werden.

Der Hauptteil der Arbeit enthält vergleichende Bilanzierungen von unterschiedlichen funktionellen Einheiten. Dabei wurden Bauteile aus Rezyklatkunststoffen mit herkömmlichen Bauteilen aus Holz, Metall, Stein, Kunststoff und Faserzement hinsichtlich ihrer ökologischen Umweltwirkungen verglichen. Anschließend wurden diese in die ökologische Lebenszyklusberechnung zweier Referenzgebäude übertragen, um festzustellen, welche Auswirkungen thermoplastische Rezyklatkunststoffe auf die ökologische Nachhaltigkeit von Gebäuden haben können.

Abstract

In this work, I have investigated the prerequisites of residual and waste plastics for possible applications in semi-finished products and in building products, with special focus on the comparative ecological assessments of exemplary functional usage. The aim of this work has been to determine the impact of the use of components made of thermoplastic recycled plastics on the life cycle assessment of a building. From an ecological point of view, suitable applications in the building industry have been identified that can influence the use of components made of thermoplastic recycled plastics, the life cycle analyses of buildings, and the associated environmental effects. In addition, possibilities have been examined for sustaining valuable fossil resources and reducing the amount of generated waste plastics.

In the first phase, I undertook a precise problem determination. This included the determination of the topic background and the definition of the target of the current research. The latter guided the work presented here. During the project, I continually checked the statements made in the problem determination for their correlation of causes and effects.

Work involving the subject of plastic recycling is now inevitable. With the world's growing demand for the fossil resource of petroleum and its limited production volume, prices in the future will rise significantly not only for petroleum-based fuels, but also for plastics. The sooner that the exploration and optimization of alternative recycling processes begins and that the possibilities for the application of the recycled products are perceived, the less problematic and noticeable will be the scarcity of oil.

Increased environmental awareness and growing energy prices have led to the Energy Savings Regulation (EnEV) in construction. The rules underpinning this regulation are regularly increased and tightened in order to trim new buildings to minimum energy consumption during their use. The maximum savings potential is achieved with the passive house standard, during which energy is no longer consumed during the utilization phase. This is mainly attributable to an increased use of material that reduces energy losses from buildings. Nevertheless, the EnEV considers only the utilization phase of the buildings. The production phase and the disposal phase remain outside the remit of EnEV.

The term cumulative energy expenditure (KEA) involves "the totality of the primary energy-assessed effort, which may arise in connection with the production, use and disposal of an economic good (product or service)." (VDI Guideline VDI 4600 sheet 1)

The KEA, which is colloquially known as the "gray energy" of construction products, has not yet become part the legally required energy performance of buildings. A reduction in the total energy requirement of buildings will however only be possible when the creation and disposal phases are also included in the calculations of energy use.

In addition, interest is growing in the potential environmental impacts of the buildings created. For example, the "CO₂ footprint" is calculated for this purpose. This value, however, allows no statement to be made with respect to all environmental effects, as significantly more factors are present that may not be proportional to one another but that must be considered within an ecological balance.

In the future, "gray energy", potential environmental impacts, and resource consumption are likely to be included in a legally binding life cycle assessment of buildings in order for them to meet the requirements of the holistic sustainability of buildings. The DGNB certificate is a good example of such a life cycle assessment, as it already contains the components mentioned above, but it is not obligatory for all buildings.

The analysis carried out here on the existing research base contains a systematic categorization of the various recycled plastics based on their different properties. In addition, I have identified existing application areas and their requirements for products from recyclates. I have analyzed and compared the utilization and recycling routes of the conventional production of plastics from fossil resources by means of software and databases for life cycle analysis.

The main part of the work contains an examination of comparative balances of various functional units. Components made from recycled plastic materials were compared with conventional components made of wood, metal, stone, plastic, and fiber cement with regard to their ecological environmental effects. The data thus gained were subsequently transferred to the ecological life cycle calculation of two reference buildings in order to determine the effects that thermoplastic recycled plastics can have on the environmental sustainability of buildings.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	II
Zusammenfassung	III
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XV
Abbildungsverzeichnis	XVIII
A Einführung	1
1. Einleitung	2
1.1 Geschichtlicher Hintergrund	6
1.1.1 Kunststoff-Entdeckung und Entwicklung	6
1.1.2 Entwicklung der Abfallbeseitigung	8
1.1.3 Entwicklung des Recyclings	8
1.1.4 Entwicklung des deutschen Abfallrechts	9
1.2 Derzeitiger Stand	11
1.2.1 Aktuelle Verwertung von Kunststoffen	11
1.2.2 Gegenwärtige Recyclinghierarchie	11
1.2.3 Aktuelle Gesetze und Rechtsvorschriften	13
1.3 Problembestimmung	14
1.4 Kontext und Ziel der Arbeit	17
1.5 Ausschluss nicht behandelter Themen und Fokussierung	18
B Voraussetzungen, Bedingungen und Anforderungen	19
2. Material- und Reststoffauswahl	20
2.1 Recyclingquoten von Baumaterialien und Abfällen	20
2.1.1 Stahl	20
2.1.2 Aluminium	21
2.1.3 Kupfer	23
2.1.4 Basisglas	23
2.1.5 Beton	23
2.1.6 Ziegel	24
2.1.7 Holz	24
2.1.8 Kunststoffe	24
2.1.8 a) Polyvinylchlorid	25
2.1.8 b) Polyolefine Bodenbeläge	25
2.1.8 c) Polyethylen und Polypropylen	25
2.1.8 d) Polystyrol	26
2.1.8 e) Elastomer	26
2.1.9 Resümee Recyclingquoten	26

2.2	Input – Primärkunststoffe und Kunststoffproduktion.....	29
2.2.1	Produktionsmengen nach Kunststoffarten.....	30
2.2.2	Kunststoffverarbeitung nach Kunststoffarten	31
2.2.3	Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten.....	35
2.2.4	Anteil von Kunststoffarten am europäischen Bedarf	36
2.2.5	Resümee Input.....	36
2.3	Output – Kunststoffabfälle	37
2.3.1	Kunststoffabfälle in Deutschland	38
2.3.2	Anteile von Kunststoffabfällen nach Kunststoffarten in Europa	38
2.3.3	Kunststoff Post-Consumer-Abfälle nach Branchen	39
2.3.4	Kunststoffabfälle aus der Baubranche.....	40
2.3.5	Verwertung von Kunststoff Post-Consumer Abfällen je Branche	42
2.3.6	Kunststoffarten bei Rezyklaten	42
2.3.7	Zustand der Kunststoffabfälle	43
2.3.8	Resümee Output.....	44
2.4	Auswahl und detaillierte Betrachtung geeigneter Kunststoffe	45
3.	Funktionsauswahl.....	46
3.1	Funktionen im Bauwesen	46
3.1.1	Analyse der Kunststoffe im Bauwesen	46
3.1.2	Anspruch an Bauteile	49
a)	Ansprüche an sichtbare Bauteile für Innenanwendungen.....	49
b)	Ansprüche an sichtbare Bauteile für Außenanwendungen	49
3.2	Ökobilanzielle Faktoren	51
3.2.1	Relevanz der Menge.....	54
a)	Referenzgebäude Büro.....	54
b)	Referenzgebäude Wohnhaus.....	66
3.2.2	Einfluss von Additiven.....	68
3.2.3	Nutzungsdauer.....	69
3.2.4	End of life.....	70
3.3	Komplexität und Kombination der Funktionen	74
3.3.1	Tragkonstruktive Funktionen	74
3.3.2	Technische Funktionen	74
3.3.3	Raumbildende Funktionen	74
3.3.4	Bekleidende und dekorative Funktionen.....	75
3.4	Eingrenzung baulicher Funktionen.....	76
3.5	Resümee der Funktionsauswahl	77
4.	Eigenschaften und Anforderungen.....	78
4.1	IST – Eigenschaften von Kunststoffrezyklaten	78
4.1.1	Technische Eigenschaften	82
4.1.2	Gestalterische Eigenschaften.....	83
4.1.3	Ökologische Eigenschaften	84
4.1.4	Ökonomische Eigenschaften	85
4.2	Vorauswahl.....	87
4.3	SOLL – Anforderungen an Kunststoffrezyklate.....	89
4.3.1	Technische Anforderungen	89
4.3.2	Gesetzliche Anforderungen.....	91

4.3.3	Gestalterische Anforderungen	95
4.3.4	Ökologische Anforderungen	97
4.3.5	Ökonomische Anforderungen	97
4.4	Differenz zwischen Ist und Soll	98
5.	Aufbereitung	99
5.1	Datenerhebung bei Aufbereitern	99
5.2	Vorbereitung der Daten	100
5.2.1	Firma Hahn Kunststoffe	100
5.2.2	Firma ZWS-Recycling	101
5.3	Erstellung von Prozessketten	102
5.3.1	Prozesse zur Herstellung von Hanit (PE, PP) der Firma Hahn Kunststoffe	102
5.3.2	Prozesse zur Herstellung des Rezyklats (PP, PS, PE) der Firma ZWS Recycling	103
C	Vergleiche und Auswertung	104
6.	Ausgangsdaten	105
6.1	Prozesse Rezyklatkunststoffe	107
6.1.1	Hahn Kunststoffe	107
a)	Hahn Kunststoffe Granulat	107
b)	Hahn Kunststoffe Bauteil	108
6.1.2	ZWS-Recycling	109
a)	ZWS-Recycling Mahlgut	109
b)	ZWS-Recycling Bauteil	110
6.2	Vergleichsprodukte	111
6.2.1	Hahn Vergleichsprodukt	111
a)	Hahn Vergleichsprodukt Granulat	111
b)	Hanit Vergleichsprodukt Bauteil	112
6.2.2	ZWS Vergleichsprodukt	113
a)	ZWS Vergleichsprodukt Granulat	113
b)	ZWS Vergleichsprodukt Bauteil	114
6.3	Unterkonstruktionen	115
6.3.1	Holz-Unterkonstruktion Außenwandbekleidung	117
6.3.2	Metall-Unterkonstruktion Außenwandbekleidung	119
6.3.3	Holz-Unterkonstruktion Innenwandbekleidung und Deckenbekleidung	120
6.4	Entwickelte funktionelle Einheiten	122
6.4.1	Außenwandbekleidung	122
6.4.2	Innenwandbekleidung	123
6.4.3	Deckenbekleidung	124
6.5	Gewählte bestehende funktionelle Einheiten	126
6.5.1	Außenwandbekleidung	126
6.5.2	Innenwandbekleidung	128
6.5.3	Deckenbekleidung	130
6.6	Referenzprojekte	131
6.6.1	Büro	132
6.6.2	Wohnbau	136
7.	Vergleiche	140

7.1	Recyclingkunststoff vs. Primärkunststoff.....	140
7.1.1	Hahn Kunststoffe Granulat vs. Vergleichsgranulat.....	140
7.1.2	Hahn Kunststoffe Bauteil vs. Vergleichsbauteil	141
7.1.3	ZWS Recycling Mahlgut vs. Vergleichsgranulats	141
7.1.4	ZWS Recycling Bauteil vs. Vergleichsbauteil	142
7.2	Funktionelle Einheiten.....	143
7.2.1	Außenwandbekleidungen	143
7.2.2	Innenwandbekleidungen.....	146
7.2.3	Deckenbekleidungen	148
8.	Ökobilanzielle Auswirkungen von Rezyklatkunststoffen auf ein Gebäude.....	150
8.1	Ökobilanzielle Auswirkungen am Referenzgebäude Büro.....	151
8.1.1	Auswirkungen einzelner funktioneller Einheiten.....	151
a)	Außenwandbekleidung	152
b)	Innenwandbekleidung.....	162
c)	Deckenbekleidung	169
8.1.2	Auswirkungen beim Einsatz aller funktionellen Einheiten.....	174
8.2	Ökobilanzielle Auswirkungen am Referenzgebäude Wohnbau	176
8.2.1	Auswirkungen einzelner funktioneller Einheiten.....	176
a)	Außenwandbekleidung	176
b)	Innenwandbekleidung.....	186
c)	Deckenbekleidung	191
8.2.2	Auswirkungen mit allen funktionellen Einheiten.....	196
D	Zusammenfassung und Ausblick	198
9.	Zusammenfassung – Fazit.....	198
10.	Ausblick – Zukünftige Entwicklung	201
	Entwicklungen bei Kunststoffen.....	201
	Entwicklungen der Recyclingtechnik	202
	Entwicklungen bei Entsorgungsprozessen	202
	Entwicklungen von Gesetzen	203
	Anhang	204
	Literaturverzeichnis.....	204
	Lebenslauf/Vita	210

Abkürzungsverzeichnis

A	Agglomerat
A/V	Verhältnis von Oberfläche zum Volumen
A1	Baustoffklasse nach DIN 4102-1 nicht brennbar
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat
ACM	Acrylatkautschuk
ADP	Abiotic depletion potential
AN	Gebäudenutzfläche ***
AP	Acidification Potential
APP	Ataktisches Polypropylen
AR	Acrylester-Kautschuk
ASA	Acrylester-Styrol-Acrylnitril
AW	Außenwand
AWB	Außenwandbekleidung
B&C	Building and Construction
B1	Baustoffklasse nach DIN 4102-1 schwerentflammbar
BauPG	Bauproduktengesetz
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
bef.	befestigt
BG	Charakteristische Breite
BGF a	Brutto-Grundfläche, Bereich a: Überdeckt und allseitig in voller Höhe umschlossen.
BGF a, b, c	Brutto-Grundfläche Gesamt
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, seit 17.12.2013 in Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) umbenannt
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BPV	Bauproduktenverordnung
BR	Butadienkautschuk
BRI	Brutto-Rauminhalt
BTE	Bund Technischer Experten e. V.
BW	Brandwand
C ₂ H ₄	Ethen
CAA	Chromsäureanodisieren
CAGR	compound annual growth rate; kumulierte jährliche Wachstumsrate
CaO	Calciumoxid, Kalk
CE	Communauté Européenne, Europäische Gemeinschaft
CEWEP	Confederation of European Waste-to-Energy Plants
CN	Cellulose-Nitrat
CO ₂	Kohlendioxid
CP	Cellulose Propionate
CR	Poly-2-chlorbutadien-1,3, Chloropren-Kautschuk
DB	Deckenbekleidung
DG	Dachgeschoss
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

DGO	Deutsche Gemeindeordnung
DKR	Deutsche Gesellschaft für Kreislaufwirtschaft und Rohstoffe mbH
E	Extrusion
E&E	Electrical and Electronic
EBS	Ersatzbrennstoff
ECB	Mischung von Ethylen-Copolymeren mit Bitumen
ECVM	European Council of Vinyl Manufacturers
EG	Erdgeschoss
ELCD	European reference Life Cycle Database
EnEV	Energieeinsparverordnung
EP	Epoxidharz
EP	Eutrophierungspotenzial
EPD	Environmental Product Declaration
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
EPS	Expandiertes Polystyrol
ETA	European Technical Approval
EU	Europäische Union
EU-28+CH/NO	Europäische Mitgliedsstaaten einschl. Schweiz und Norwegen
F	Flakes
F30,60,90	Feuerwiderstandsklasse
FA	Folienagglomerat
FE-Metalle	Eisenhaltige Metalle
Fi.	Fichte
FZ	Faserzement
G	Granulat
GaBi	Ganzheitliche Bilanz Software von thinkstep
GK	Gipskarton
Gpa	Gigapascal
GWP	Global Warming Potential, Treibhauspotential
HNF	Hauptnutzfläche
HPL-P.	High Pressure Laminate-Platte
HWF	Holzweichfaser
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
ICI	Imperial Chemical Industries
IIR	Butylkautschuk
inst.	Installation
IWB	Innenwandbekleidung
IWK	Innenwandkonstruktion
KEA	kumulierter Energieaufwand
KG 100 - 700	Kostengruppe
KGF	Konstruktions-Grundfläche
KH	Kunstharz
Kp.	Keramikplatten
kt	Kilotonne
kWh	Kilowattstunde
L	Linsen
LBO	Landesbauordnung
LEGE [®]	Berechnungssoftware für integrale Planung
LG	Charakteristische Länge

MA	Millennium Ecosystem Assessment
MBO	Musterbauordnung
MF	Melamin-Formaldehyd-Harz
MJ	Megajoule
MK	Mischkunststoff
MPa	Megapascal
MS	Mineralschaum
Mt	Megatonne
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Mineralwolle
NBR	Nitrilkautschuk
NF	Nut und Feder
NF	Nutzfläche
NGF	Netto-Grundfläche, seit Januar 2016 ersetzt durch NRF Netto-Raumfläche
NGF a	Netto-Grundfläche, Bereich a: Überdeckt und allseitig in voller Höhe umschlossen
NH-Lasur	Naturharz-Lasur
NK	Naturkautschuk
NNF	Nebennutzfläche
ODP	Ozone Depletion Potential, Ozonabbaupotential
OFF	Oberfläche Fertigfußboden
OG	Obergeschoss
p. a.	Per annum, pro Jahr
PA	Polyamid
PA 6	Polyamid "Perlon"
PA 6.6	Polyamid "Nylon"
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PE-HD	High-density polyethylene; Polyethylen mit hoher Dichte
PEI	Primärenergieinhalt
PEI nicht reg.	Primärenergieinhalt nicht regenerativ
PEI reg.	Primärenergieinhalt regenerativ
PEIE	Primärenergieinhalt erneuerbar
PEINE	Primärenergieinhalt nicht erneuerbar
PE-LD	Low-density polyethylen; Polyethylen mit geringer Dichte
PE-LLD	Linear low-density polyethylen; lineares Polyethylen mit geringer Dichte
PE-MD	Medium-density polyethylene; Polyethylen mit mittlerer Dichte
PEMRG	PlasticsEurope's Market Research and Statistics Group
PET	Polyethylenterephthalat
PE-UHMW	Ultrahochmolekulares Polyethylen
PE-X	Vernetztes Polyethylen
PF	Phenol-Formaldehyd-Harz
PI	Polytrans-Isopren; Polyimide
PIB	Polyisobutylene
PMMA	Polymethylmethacrylat
PO	Polyolefine
PO4	Phosphat
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential, Photochemisches Ozonbildungspotential

POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PS-E	Expandiertes Polystyrol
PS-X	Vernetztes Polystyrol
PTFE	Polytetrafluorethylen
PU	Polyurethan
PUR	Polyurethane
PVAC	Polyvinylacetat
PVB	Polyvinylbutyral
PVC	Polyvinylchlorid
PVC-P	Polyvinylchlorid weich
PVC-U	Polyvinylchlorid hart
PVDC	Polyvinylidenchlorid
R11	Trichlorfluormethan
RB	Rezyklatbauteil
RER	Geografischer Code für die Region Europa
RF	Rohre und Folien > 50 m
RK	Rezyklatkunststoff
S	Spritzguss
SAN	Styrol-Acrylnitril
SB	Styrol-Butadien
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk
SBS	Styrol-Butadien-Blockcopolymere
SI	Silicatharz
SIR	Styrol-Isopren-Kautschuk
SO ₂	Schwefeldioxid
Stb	Stahlbeton
TF	Technische Funktionsfläche
TPE	Thermoplastische Elastomere
UG	Untergeschoss
UK	Unterkonstruktion
UP	Ungesättigtes Polyesterharz
UP-GF	Glasfaserverstärktes Ungesättigtes Polyesterharz
URRC	United Resource Recovery Corporation
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
UWK	Umweltwirkungskategorie
Ü-Zeichen	Übereinstimmungszeichen
VCM	Vinyl Chloride Monomer
VF	Verkehrsfläche
VHF	Vorgehängte hinterlüftete Fassade
VP	Vergleichsprodukt
VP	Versauerungspotential = AP
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WE	Wohneinheit
WPC	Wood-Plastic-Composite
XPS	Extrudiertes Polystyrol
Z	Zylinder
ZWS	ZWS Recycling GmbH

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Weltweite Kunststoffproduktion 1950-2014 einschließlich Thermoplaste, Polyurethane, Duroplaste, Elastomere, Kleber, Beschichtungen und Dichtstoffe und PP-Fasern. Nicht beinhaltet PET-, PA- und Polyacryl-Fasern.....	5
Tabelle 2 Vergleich des Anteils der stofflichen Verwertung und des Anteils im Neuprodukt von Baumaterialien	27
Tabelle 3 Abfallbilanz 2013 des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Jahrbuch Deutschland 2015)	28
Tabelle 4 Produktionsmengen nach Kunststoffarten in Deutschland 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 4)	30
Tabelle 5 Kunststoffverarbeitung nach Kunststoffarten (vgl. Consultic 2014, S. 6)	31
Tabelle 6 Kunststoffverarbeitung nach Branchen 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 5)	32
Tabelle 7 Kunststoffbedarf in Europa (vgl. Consultic 2015, S. 13)	36
Tabelle 8 Post-Consumer-Abfälle nach Branchen in Deutschland 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 11) ..	39
Tabelle 9 Post Consumer Kunststoffabfälle nach Branchen und deren Verwertung (vgl. Consultic 2014, S. 12)	42
Tabelle 10 Funktionen im Bauwesen und dafür eingesetzte Kunststoffe (vgl. IBK Darmstadt 2001, S. 11ff)	47
Tabelle 11 Referenzgebäude Büro, Anteil Masse in kg	55
Tabelle 12 Referenzgebäude Büro, Anteil Treibhauspotential (GWP) in kg CO ₂ -Äquivalent	56
Tabelle 13 Referenzgebäude Büro, Anteil Ozonabbaupotential (ODP) in kg R-11 (Trichlorfluormethan)-Äquivalent	57
Tabelle 14 Referenzgebäude Büro, Anteil Versauerungspotential (VP) in kg SO ₂ (Schwefeldioxid)-Äquivalent	58
Tabelle 15 Referenzgebäude Büro, Anteil Überdüngungspotential (EP) in kg PO ₄ (Phosphat)-Äquivalent	59
Tabelle 16 Referenzgebäude Büro, Anteil Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP) in kg Sb (Antimon)-Äquivalent	60
Tabelle 17 Referenzgebäude Büro, Anteil Sommersmogpotential (POCP) in kg C ₂ H ₄ (Ethen)-Äquivalent	61
Tabelle 18 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie (PEI reg.) erneuerbar in MJ	62
Tabelle 19 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie nicht erneuerbar (PEI nicht reg.) in MJ	63
Tabelle 20 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie gesamt (PEI) in MJ	64
Tabelle 21 Vergleich Rezyklat mechanische Eigenschaften	79
Tabelle 22 Vergleich Rezyklate weitere Eigenschaften	80
Tabelle 23 Quellen der Daten aus Tabelle 21 und Tabelle 22	81
Tabelle 24 Gegenüberstellung mechanischer Eigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen und typischen Baumaterialien	82
Tabelle 25 Brandschutzanforderungen an Wände von Wohngebäuden nach Landesbauordnung	94
Tabelle 26 Unterkonstruktionen von Außenwandbekleidungen mit der Anzahl ihrer Instandsetzungen innerhalb von 80 Jahren	115
Tabelle 27 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Außenwandbekleidungen mit Rezyklatkunststoffen	122

Tabelle 28 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Außenwandbekleidungen mit Vergleichskunststoffen	123
Tabelle 29 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Innenwandbekleidungen mit Rezyklatkunststoffen	123
Tabelle 30 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Innenwandbekleidungen mit Vergleichskunststoffen	124
Tabelle 31 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Deckenbekleidungen mit Rezyklatkunststoffen	124
Tabelle 32 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Deckenbekleidungen mit Vergleichskunststoffen	125
Tabelle 33 Gewählte Außenwandbekleidungen aus der SIRADOS Datenbank	126
Tabelle 34 Umweltwirkungspotentiale der gewählten Außenwandbekleidungen	127
Tabelle 35 Gewählte Innenwandbekleidungen aus der SIRADOS Datenbank.....	128
Tabelle 36 Umweltwirkungspotentiale der gewählten Innenwandbekleidungen.....	129
Tabelle 37 Ausgewählte Deckenbekleidungen aus der SIRADOS Datenbank.....	130
Tabelle 38 Beschreibung des Referenzprojekts „Büro“	132
Tabelle 39 Flächenaufstellung der Projektelemente im Referenzprojekt Büro.....	133
Tabelle 40 Energie- und Stoffmenge Daten des Referenzprojektes Büro aus LEGEP®	134
Tabelle 41 Daten der Umweltwirkungen des Referenzprojekts Büro aus LEGEP®	134
Tabelle 42 Ist-Anteil an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzprojekts Büro, der Oberflächenbekleidungen	135
Tabelle 43 Beschreibung des Referenzprojekts Wohnbau	136
Tabelle 44 Flächenaufstellung der Projektelemente im Referenzprojekt Wohnbau	137
Tabelle 45 Energie und Stoffmassen Wohnbau	137
Tabelle 46 Wirkungsbilanz Wohnbau	138
Tabelle 47 Ist-Anteil an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzprojekts Wohnbau, der Oberflächenbekleidungen AWB, IWB und DB	138
Tabelle 48 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch Hahn Kunststoffe Granulat ...	140
Tabelle 49 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch Hahn Kunststoffe Bauteil	141
Tabelle 50 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch ZWS Mahlgut.....	141
Tabelle 51 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch ZWS Bauteil.....	142
Tabelle 52 Vergleich der funktionellen Einheiten Außenwandbekleidung.....	143
Tabelle 53 Skalierter Vergleich der Umweltwirkungen bei Außenwandbekleidungen	145
Tabelle 54 Umweltwirkungen von Innenwandbekleidungen.....	146
Tabelle 55 Skalierter Vergleich der Umweltwirkungen bei Innenwandbekleidungen.....	147
Tabelle 56 Vergleich der Umweltwirkungen von Deckenbekleidungen.....	148
Tabelle 57 Skalierter Vergleich von Umweltwirkungen.....	149
Tabelle 58 Anteil der Umweltwirkungen der Funktionellen Einheiten AWB, IWB und DB an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion und der Betriebsmittel des Referenzprojekts Büro	151
Tabelle 59 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Büro	152
Tabelle 60 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion.....	153
Tabelle 61 Einsparpotentiale durch den Einsatz des Rezyklatbauteil RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x).....	154

Tabelle 62 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Büro	162
Tabelle 63 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro	163
Tabelle 64 Einsparpotentiale beim Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro	166
Tabelle 65 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Deckenbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Büro	169
Tabelle 66 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Deckenbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion	170
Tabelle 67 Einsparpotential durch den Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	171
Tabelle 68 Anteil der Umweltwirkungen der Bekleidungen AWB, IWB und DB aus Rezyklatkunststoffen an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion (100 %) des Referenzgebäudes Büro und deren mögliche Auswirkungen	174
Tabelle 69 Bekleidungsvariante mit den geringsten Auswirkungen auf die Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro (Min. Variante)	175
Tabelle 70 Bekleidungsvariante mit den größten Auswirkungen auf die Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro (Max. Variante)	175
Tabelle 71 Anteil der Umweltwirkungen der Funktionellen Einheiten AWB, IWB und DB an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion und der Betriebsmittel des Referenzprojekts Wohnbau	176
Tabelle 72 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Außenwandbekleidungsfläche des Referenzgebäudes Wohnbau	177
Tabelle 73 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion der Referenzgebäudes Wohnbau	178
Tabelle 74 Einsparpotentiale durch den Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x)	179
Tabelle 75 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Wohnhaus	186
Tabelle 76 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnhaus	187
Tabelle 77 Einsparpotentiale beim Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnhaus	188
Tabelle 78 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Deckenbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Wohnbau	191
Tabelle 79 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Deckenbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzprojekts Wohnbau	192
Tabelle 80 Einsparpotential durch den Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	193
Tabelle 81 Anteil der Umweltwirkungen der Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnbau und deren mögliche Auswirkungen	196
Tabelle 82 Anzahl der funktionellen Einheiten mit schlechterem Umweltwirkungspotential als das jeweilige Vergleichssystem aus Rezyklatkunststoff	199

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gliederung der Arbeit.....	1
Abbildung 2 Übersicht Teil A Einführung.....	2
Abbildung 3 Aufteilung der Verwertung von Kunststoffabfällen in Europa (inkl. Norwegen und Schweiz)	3
Abbildung 4 Weltweite Kunststoffproduktion 1950-2014 einschließlich Thermoplaste, Polyurethane, Duroplaste, Elastomere, Kleber, Beschichtungen und Dichtstoffe und PP-Fasern. Nicht beinhaltet PET-, PA- und Polyacryl-Fasern (Consultic 2015, S. 8)	4
Abbildung 5 Kunststoffgeschichte (vgl. IBK Darmstadt 2001, S. 5f)	7
Abbildung 6 Entwicklung der Verwertungsarten für Kunststoffe in Deutschland (vgl. Consultic 2014, S. 15).....	11
Abbildung 7 Struktureller Aufbau Teil B Voraussetzungen, Bedingungen und Anforderungen.....	19
Abbildung 8 Schrottanteil in Prozent der Gesamtrohstahlerzeugung in Deutschland (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014).....	21
Abbildung 9 Abfallaufkommen 2013 nach Abfallarten ohne Sekundärabfälle (Statistisches Jahrbuch Deutschland 2015, S. 443).....	28
Abbildung 10 Produktions- und Verarbeitungsmenge von 2013 (Consultic 2014, S. 3).....	29
Abbildung 11 Anteil an der Verarbeitungsmenge 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 4).....	31
Abbildung 12 Anteil an der Verarbeitungsmenge 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 6).....	32
Abbildung 13 Anteil an der Verarbeitungsmenge nach Branchen 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 5)....	33
Abbildung 14 Verhältnisse der Mengen nach Kunststoffarten und Branchen in Deutschland 2011 (vgl. Consultic 2012, S. 7)	33
Abbildung 15 Vergleich der verarbeiteten Mengen nach Kunststoffarten und Branchen in Deutschland 2013 (Consultic 2014, S. 7)	34
Abbildung 16 Vergleich der verarbeiteten Mengen nach Kunststoffarten und Branchen in Europa 2010 (Claus-Jürgen Simon 2012)	34
Abbildung 17 Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten in Deutschland (vgl. Consultic 2014, S. 9).....	35
Abbildung 18 Kunststoffabfälle nach Mengen und Verwertungsart (vgl. Consultic 2014, S. 13).....	37
Abbildung 19 Entwicklung der Kunststoffabfallmenge (vgl. Consultic 2014, S. 14).....	37
Abbildung 20 Post-Consumer-Abfälle nach Branchen in Deutschland 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 11).....	39
Abbildung 21 B&C Plastic Waste by Building & Construction applications in EU27+2 (2010) (vgl. Consultic 2011, S. 2).....	40
Abbildung 22 B&C Plastic Waste by Polymer Types in EU27+2 (2010) (vgl. Consultic 2011, S. 7) .	41
Abbildung 23 B&C Plastic Waste by Polymer Types in Germany (2010) (vgl. Consultic 2011, S. 10).....	41
Abbildung 24 Auszug aus der SIRADOS Datenbank, Sachbilanz von Polyethylen-Granulat	52
Abbildung 25 Auszug der SIRADOS Datenbank, Sachbilanz von Element 6.1.2 Abwasserrohr PE-HD.....	53
Abbildung 26 Referenzgebäude Büro, Anteil Masse in %.....	55
Abbildung 27 Referenzgebäude Büro, Anteil Treibhauspotential (GWP) in %	56
Abbildung 28 Referenzgebäude Büro, Anteil Ozonabbaupotential in %.....	57
Abbildung 29 Referenzgebäude Büro, Anteil Versauerungspotential (VP) in %	58

Abbildung 30 Referenzgebäude Büro, Anteil Überdüngungspotential (EP) in %	59
Abbildung 31 Referenzgebäude Büro, Anteil Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP) in %	60
Abbildung 32 Referenzgebäude Büro, Anteil Sommersmogpotential (POCP) in %	61
Abbildung 33 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie erneuerbar (PEI reg.) in %	62
Abbildung 34 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie nicht erneuerbar (PEI nicht reg.) in %...	63
Abbildung 35 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie gesamt (PEI) in %	64
Abbildung 36 Referenzgebäude Büro, Gewichteter Vergleich für Umweltwirkungspotentiale	65
Abbildung 37 Vergleichswerte im Verhältnis zum prozentualen Anteil am Referenzgebäude Büro ...	66
Abbildung 38 Referenzgebäude Wohnhaus, Gewichteter Vergleich für Umweltwirkungspotentiale ..	68
Abbildung 39 GaBi Prozessplan für PE-HD von der Herstellung bis zum Nutzer	71
Abbildung 40 GaBi Prozessplan für werkstoffliches Recycling von PE-HD	71
Abbildung 41 GaBi Prozessplan für eine energetische Verwertung von PE-HD	72
Abbildung 42 Reduktionen von Umweltwirkungen eines Kilogramms PE-HD Produkt durch werkstoffliches Recycling oder energetische Verwertung.....	73
Abbildung 43 Polyethylen-Mahlgut von der Deutschen Gesellschaft für Kreislaufwirtschaft und Rohstoffe mbH (DKR).....	83
Abbildung 44 Preisvergleich primäres Granulat mit sekundärem Mahlgut (vgl. Kunststoffweb 2015; plasticker 2015)	85
Abbildung 45 Preisvergleich Primär und Regranulat PE und PP (Kunststoffweb 2015).....	86
Abbildung 46 Dipolen PP-Regranulat von mtm plastics	87
Abbildung 47 Hanit-Rezyklat von Hahn Kunststoffe	88
Abbildung 48 Koextrudiertes PVC-Fensterprofil mit Rezyklat	96
Abbildung 49 Prozessschema Hahn Kunststoffe Hanit.....	100
Abbildung 50 Struktureller Aufbau C Vergleiche und Auswertung	104
Abbildung 51 Schema der unterschiedlichen Ausgangsdaten.....	105
Abbildung 52 Hanit-Granulat GaBi-Prozessplan	107
Abbildung 53 Hahn Kunststoffe Spritzgussbauteil	108
Abbildung 54 ZWS-Mahlgut GaBi-Prozessplan	109
Abbildung 55 ZWS Spritzgussbauteil GaBi-Prozessplan	110
Abbildung 56 Hahn Vergleichsprodukt Granulat Prozessplan bilanziert mit GaBi 6.....	111
Abbildung 57 Hanit Vergleichsprodukt Bauteil Prozessplan GaBi	112
Abbildung 58 ZWS Vergleichsprodukt Granulat Prozessmodell GaBi	113
Abbildung 59 Prozessplan des ZWS Vergleichsprodukt Bauteil	114
Abbildung 60 Element Außenwandbekleidung mit Metall UK	116
Abbildung 61 Basisdaten Unterkonstruktion Holz.....	117
Abbildung 62 Bestandteile des Elements 133564311 AW Bekleidung, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz UK,	118
Abbildung 63 Basisdaten der Metall-Unterkonstruktion Außenwandbekleidung.....	119
Abbildung 64 Bestandteile der Metall Unterkonstruktion Außenwandbekleidung	120
Abbildung 65 Basisdaten Holz-Unterkonstruktion Innenwand- und Deckenbekleidung	121
Abbildung 66 Datenquelle LEGEP®-Bausoftware.....	131
Abbildung 67 Vergleich der Primärenergieinhalte PEI der unterschiedlichen funktionellen Einheiten von Außenwandbekleidungen	144
Abbildung 68 Diagramm des Einsparpotentials durch dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP	155
Abbildung 69 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI.....	156

Abbildung 70 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Versauerungspotential AP	157
Abbildung 71 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Ozonabbaupotential ODP	158
Abbildung 72 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Sommersmogpotential POCP	159
Abbildung 73 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Überdüngungspotential EP	160
Abbildung 74 Prozentualer Anteil am Treibhauspotential GWP der Baukonstruktion Büro	164
Abbildung 75 Prozentualer Anteil am Primärenergieinhalt PEI der Baukonstruktion Büro	165
Abbildung 76 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP	167
Abbildung 77 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI	168
Abbildung 78 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP	172
Abbildung 79 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI	173
Abbildung 80 Auswirkung von RK ZWS in AWB 6 mm, IWB 4 mm und DB 4 mm, auf die Ökobilanz der Baukonstruktion des Referenzprojekts Büro	174
Abbildung 81 Diagramm des Einsparpotentials durch den Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP	180
Abbildung 82 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI	181
Abbildung 83 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Versauerungspotential AP	182
Abbildung 84 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Ozonabbaupotential ODP	183
Abbildung 85 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Sommersmogpotential POCP	184
Abbildung 86 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Überdüngungspotential EP	185
Abbildung 87 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP	189
Abbildung 88 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI	190
Abbildung 89 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP	194
Abbildung 90 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI	195
Abbildung 91 Auswirkung von RK ZWS in AWB 6 mm, IWB 4 mm und DB 4 mm, auf die Ökobilanz der Baukonstruktion des Referenzprojekts Wohnbau	196

A Einführung

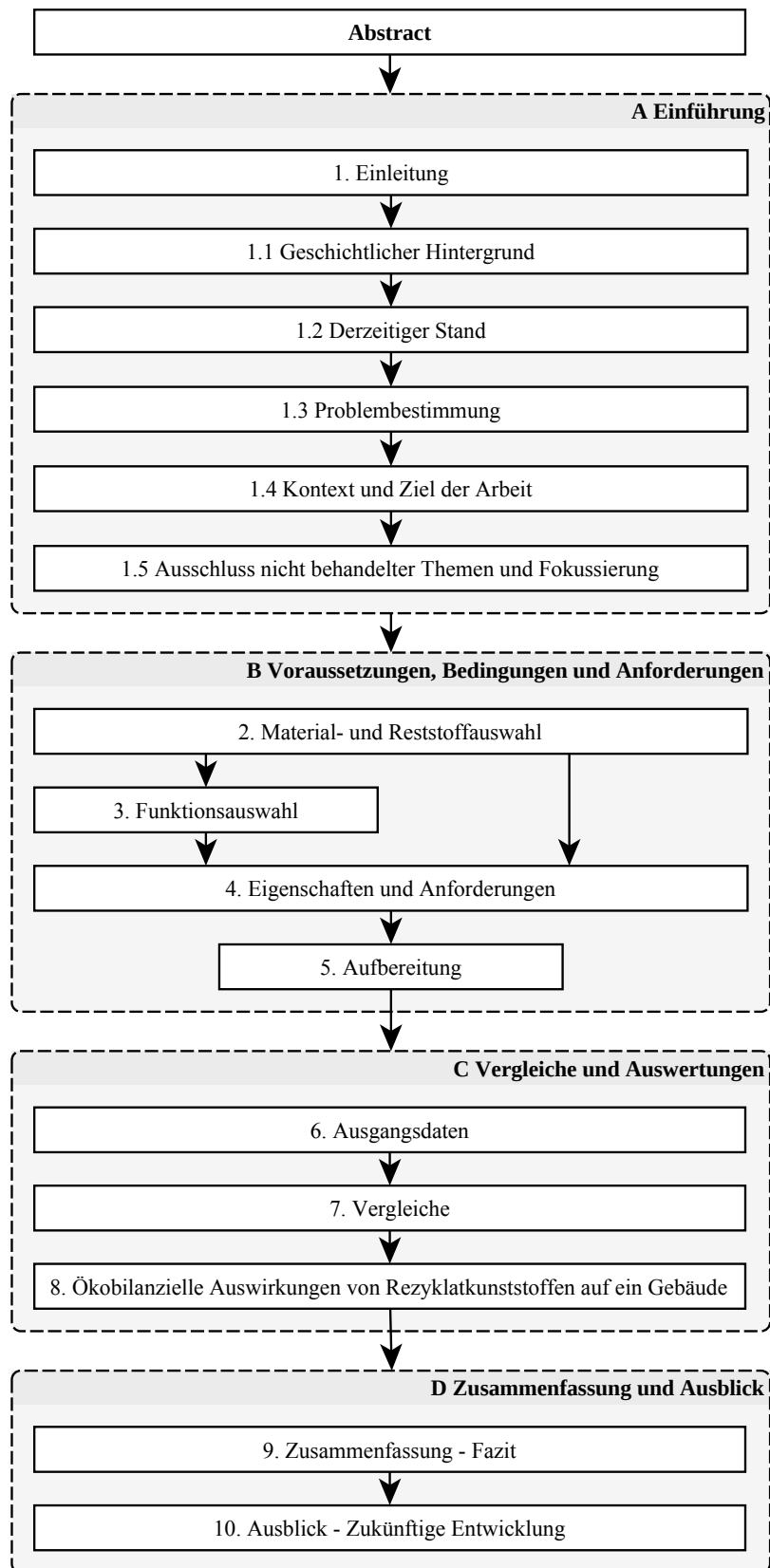


Abbildung 1 Gliederung der Arbeit

1. Einleitung

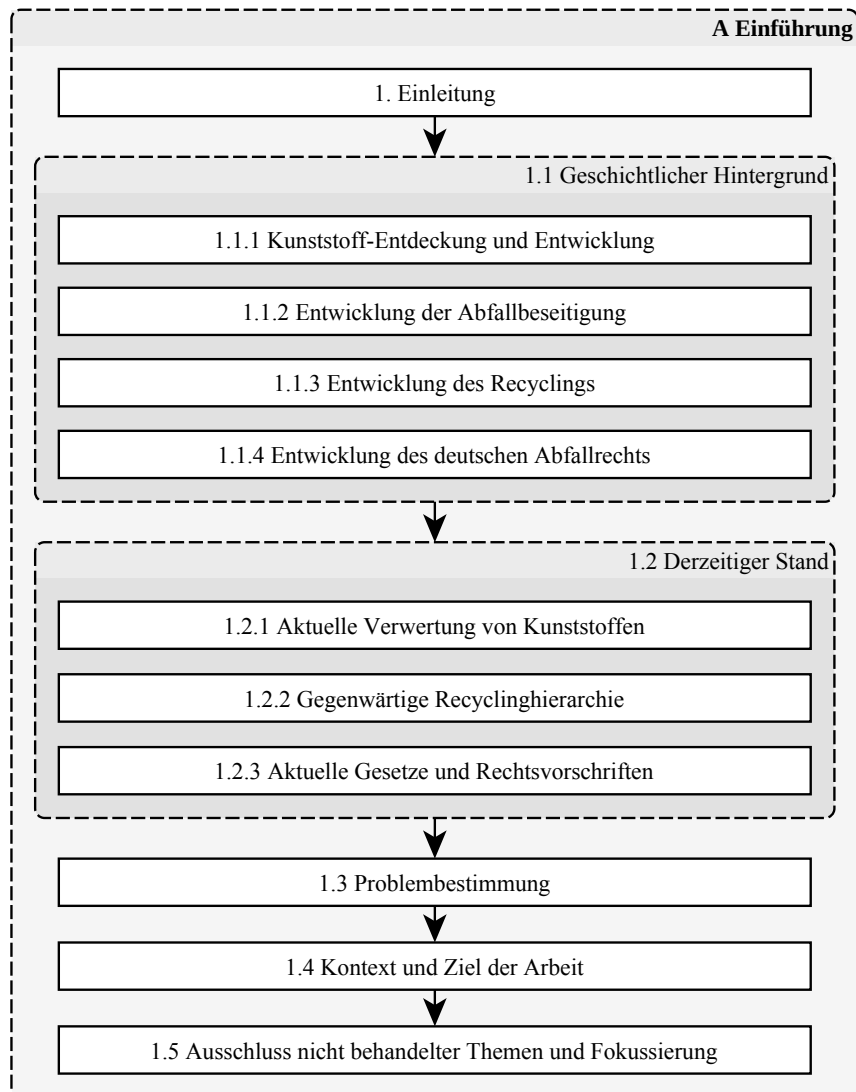


Abbildung 2 Übersicht Teil A Einführung

In Europa ist der Recyclinganteil von Kunststoffen gegenüber anderen Rohstoffen sehr niedrig (siehe dazu Kapitel 2.1 Recyclingquoten von Baumaterialien und Abfällen). Im Jahr 2014 liegt in der Europäischen Union mit ihren 28 Mitgliedsstaaten einschließlich Norwegen und der Schweiz die Recyclingquote von Kunststoffabfällen bei 29,7 %. Bei einer Gesamtmenge von 25,8 Mt entspricht dies einer Menge von 7,66 Mt. (vgl. Consultic 2015, S. 17)

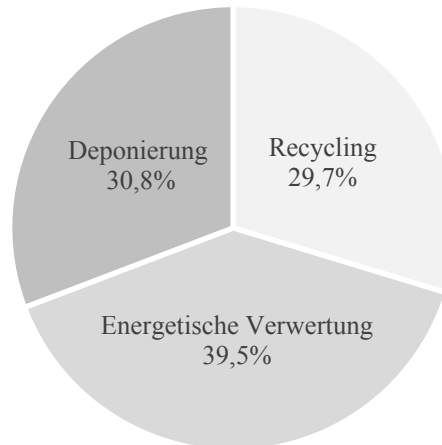


Abbildung 3 Aufteilung der Verwertung von Kunststoffabfällen in Europa (inkl. Norwegen und Schweiz)

Mit steigendem Bedarf nach einer höheren Energieeffizienz von Gebäuden steigt damit verbunden auch der Einsatz von Bauprodukten aus Kunststoffen. Sie werden oftmals als eine kostengünstige Alternative zur Wärme- und Schalldämmung, Abdichtung und für jegliche Art von Installationsleitungen eingesetzt. Mit zunehmendem Interesse an der ökologischen Nachhaltigkeit von Produkten und Bauwerken treten die benötigte „Graue Energie“ (KEA) und die zu erwartenden Umweltwirkungen immer mehr in den Vordergrund. Durch den geringen Recyclinganteil fällt die Ökobilanz bezogen auf die Kunststoffe schlecht aus.

Kunststoffe bestehen überwiegend aus fossilen Ressourcen und sind damit nicht erneuerbar. In den neun Ländern der EU mit Deponieverbot beträgt im Jahr 2014 die Verwertungsquote über 95 Prozent. Mehr als zwei Drittel der Kunststoffabfälle werden in diesen Ländern jedoch energetisch verwertet. (vgl. Consultic 2015, S. 21)

Die zurück gewonnene Energie entspricht allerdings nur einem kleinen Bruchteil des im Abfall steckendem Energieäquivalents. Der Werkstoff geht mit der Verbrennung endgültig verloren.

Kunststoffabfälle tragen zur Verschmutzung der Umwelt bei und können Tiere und Menschen gefährden. Giftige Additive, wie zum Beispiel Weichmacher mit hormoneller Wirkung (Bisphenol-A) oder schwermetallhaltige Flammschutzmittel, welche in manchen Kunststoffen enthalten sind, können ausgasen und bis in die Nahrungskette des Menschen gelangen.

In einigen Teilen der Meere, in sogenannten Müllstrudeln ist der Kunststoffanteil im Wasser bereits höher als der Planktonanteil. Die Kunststoffe können sich in der Natur nicht in ihre Bestandteile auflösen, sondern zerfallen nur in immer kleinere Teile, bis sie von Fischen und Vögeln für Nahrung gehalten und verschluckt werden, was wiederum den Tod dieser Tiere zur Folge haben kann.

Neben negativen Aspekten der Ausgangslage wurden auch die bereits bestehenden positiven Auswirkungen betrachtet. In vielen Bereichen wird durch den Einsatz von Kunststoffen Energie gespart. Mit Wärmedämmung bei Gebäuden, mit Leichtbauteilen in der Automobilindustrie oder beim Transport von Lebensmitteln in Leichtverpackungen.

Schon in den Anfängen der Kunststoffherstellung dienten sie als Ersatz für andere Materialien (Elfenbein, Seide, Horn, Glas). Heute ersetzen sie durch ihre vielfältigen einstellbaren Eigenschaften, ihre flexible Formbarkeit und ihren vergleichsweise günstigen Preis unzählige Werkstoffe in unterschiedlichsten Bereichen.

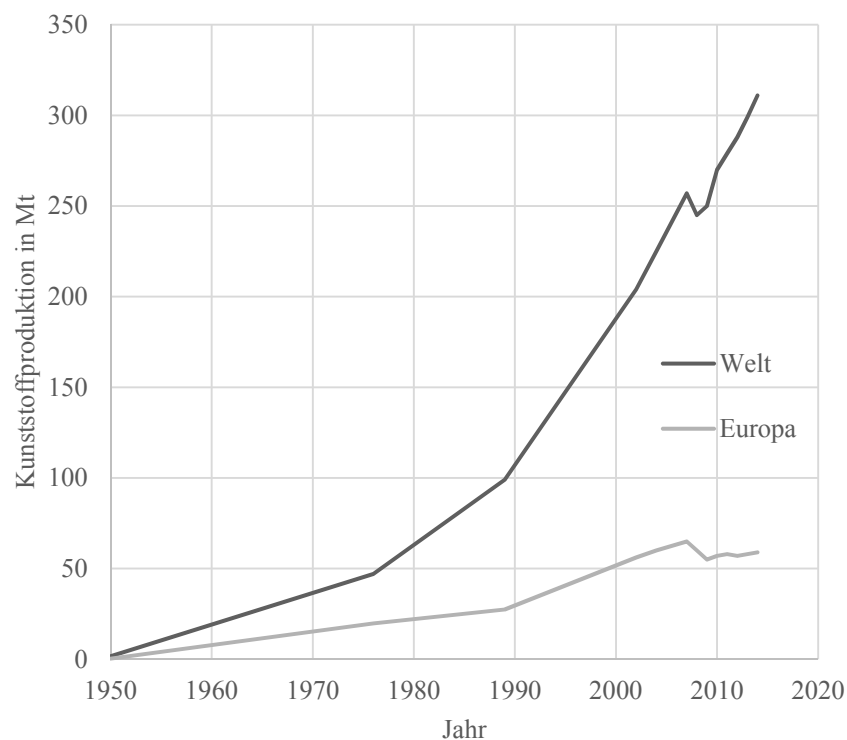


Abbildung 4 Weltweite Kunststoffproduktion 1950-2014 einschließlich Thermoplaste, Polyurethane, Duroplaste, Elastomere, Kleber, Beschichtungen und Dichtstoffe und PP-Fasern. Nicht beinhaltet PET-, PA- und Polyacryl-Fasern (Consultic 2015, S. 8)

Tabelle 1 Weltweite Kunststoffproduktion 1950-2014 einschließlich Thermoplaste, Polyurethane, Duroplaste, Elastomere, Kleber, Beschichtungen und Dichtstoffe und PP-Fasern.
Nicht beinhaltet PET-, PA- und Polyacryl-Fasern

Kunststoff- produktion		Jahr													
		1950	1976	1989	2002	2004	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Welt	Mt	1,7	47	99	204	225	257	245	250	270	279	288	299	311	
Europa	Mt	0,35	19,8	27,4	56,1	60	65	60	55	57	58	57	58	59	
Quelle		(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	(3)	(2)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	
		(1)	(Consultic 2013, S. 10)												
		(2)	(Consultic 2015, S. 8)												
		(3)	(Statista 2013)												

Mit einem kontinuierlichen Wachstum seit über 60 Jahren steigt die weltweite Produktion im Jahr 2014 um 4 % gegenüber 2013, auf 311 Megatonnen. In Europa bleibt die Kunststoffproduktion im Zeitraum 2010 bis 2014 annähernd konstant bei 57 Mt bis 59 Mt. (Consultic 2015, S. 8)

1.1 Geschichtlicher Hintergrund

Im Verhältnis zum industriellen Einsatz von Kunststoffen ist das Recycling von Kunststoffabfällen noch sehr jung. Zum besseren Verständnis werden im folgenden Text die Entwicklungen der einzelnen Bestandteile separat voneinander betrachtet.

1.1.1 Kunststoff-Entdeckung und Entwicklung

Die Geschichte des Werkstoffs Kunststoff reicht weit in die Vergangenheit zurück. „Aus der Milch des Gummibaumes, *Hevea-Brasiliensis*, des „tränenenden Holzes“ – *caa* (Holz) und *o-chu* (Tränen) stellten die Indianer des Amazonas-Gebietes ein elastisches Harz her, das sie *Caoutchouc* nannten. Die Mayas fertigten daraus hüpfende Bälle, Regenmäntel, Schuhe, und anderes mehr, dass Columbus und später die Spanier den staunenden Europäern vorführten.“ (IBK Darmstadt 2001, S. 3)

Mehr als 400 Jahre später revolutionierte Baekeland mit seiner Erfindung, dem Bakelit, die bisherige Kunststoffforschung. „Er möchte die Substanz von ihrer natürlichen Begrenztheit befreien, sie ganz und gar der menschlichen Gestaltungskraft überantworten.“ (Pretting und Boote 2010, S. 13)

Die Erfindung der synthetischen Kunststoffherstellung wurde von Herman Mark, dem Mitbegründer der modernen Polymerwissenschaften, mit folgenden Worten beschrieben: „Es ist, als ob man einige Haarnadeln und einen Büchsenöffner nimmt, diese Dinge in ihre Bestandteile zerlegt und dann zu einem vollständigen und funktionstüchtigen Farbfernsehgerät wieder zusammensetzt.“ (Tschimmel 1989, S. 74)

Der Münchner Chemiker Dr. Ernst Richard Escales prägte mit seiner 1910 gegründeten Fachzeitschrift mit dem Titel „Kunststoffe“ die Bezeichnung dieser Werkstoffgruppe. (vgl. Wolfgang Glenz 2010, S. 78) Im Jahr 1930 begann die industrielle Produktion mit Styrol, ein Jahr später Polystyrol (PS), 1936 die Hochdruckpolymerisation von Polyethylen (PE), 1937 Polyurethan (PU), 1937 und 1938 erfolgte die Synthese von Polyamid (PA 6) und Polyamid (PA 6.6). Ab dem Jahr 1976 übersteigt die globale Produktionsmenge von Kunststoff die jährliche hergestellte Stahlmenge. (vgl. IBK Darmstadt 2001, S. 3) Damit wurden Polymere zum prägendsten Werkstoff der heutigen Zeit. Begriffe wie Kunststoffzeitalter oder Plastozen versuchen dies zu beschreiben. Allerdings trifft der Begriff Werkstoff-Pluralismus besser auf die mannigfaltigen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten der unterschiedlichen Kunststoffe zu. Ab dem Jahr 1930 konnten innerhalb von nur zehn Jahren die wichtigsten Kunststoffe großindustriell umgesetzt werden. Zu ihnen zählen die Polyolefine: Polyethylen (PE) und Polystyrol (PS) sowie Polyvinylchlorid (PVC) und einige weitere Kunststoffe wie: Polyamid (PA), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polytetrafluorethylen (PTFE), ungesättigtes Polyesterharz (UP), Polyurethan (PUR) und Silicon, welche heute in hohem Maße in der Baubranche eingesetzt werden.

Die großen Marktsegmente der Kunststoffe im Bauwesen – Rohre, Boden- und Wand-Beläge – zeichnen sich also bereits in den Anfängen der Kunststoffentwicklung ab. (vgl. IBK Darmstadt 2001, S. 8)

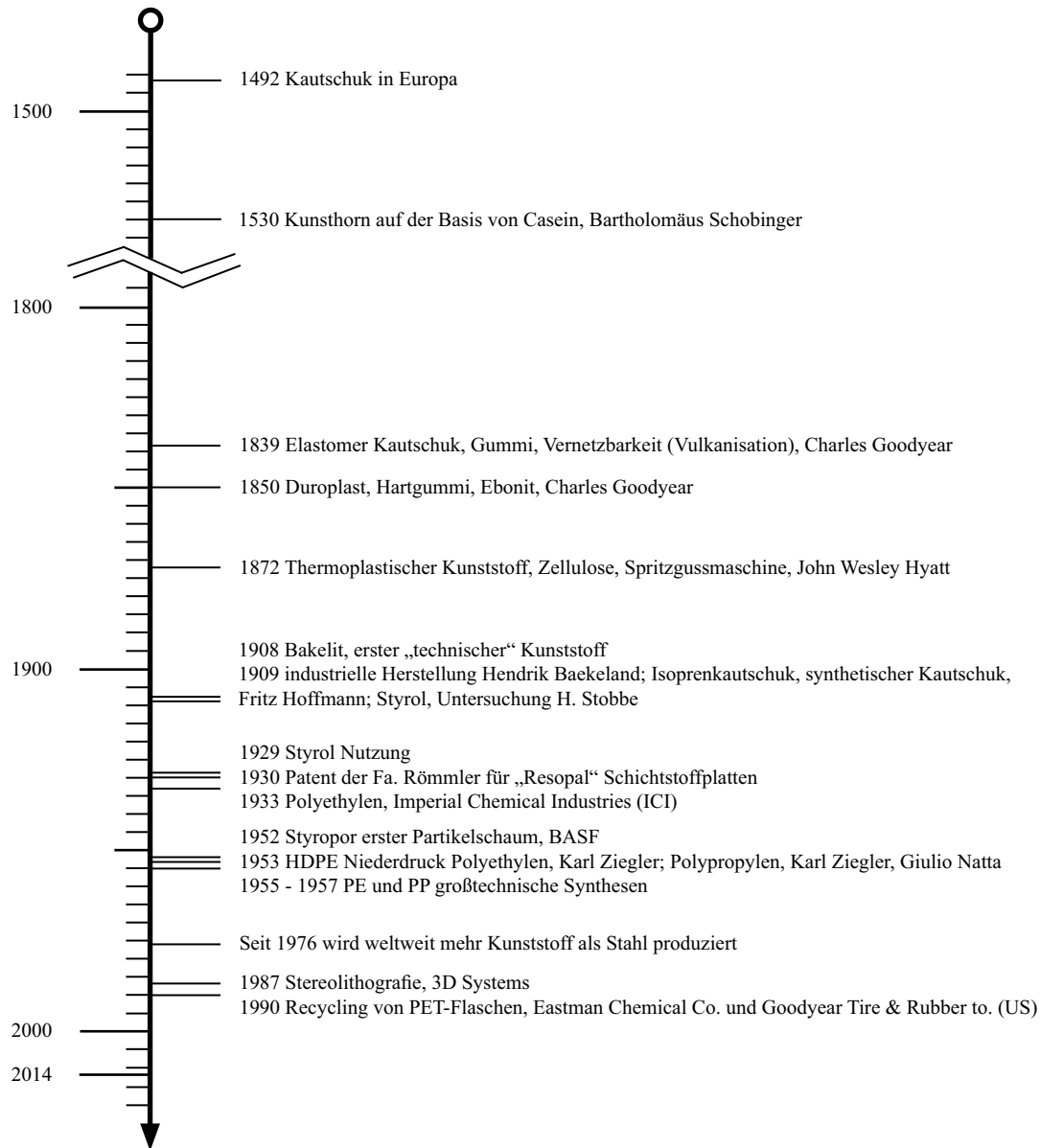


Abbildung 5 Kunststoffgeschichte (vgl. IBK Darmstadt 2001, S. 5f)

1.1.2 Entwicklung der Abfallbeseitigung

„Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts gewann die öffentliche Hygiene immer mehr an Bedeutung. In Deutschland wurden zu Beginn des 19. Jahrhunderts die ersten Spülaborte eingebaut. Erstmals unterschied man zwischen Fäkalien und Müll. (...) Die Entdeckung des Tuberkuloseerregers durch Robert Koch 1882 und die Erkenntnis, dass die Krankheit durch schlechte hygienische Bedingungen hervorgerufen wird, brachte einen Durchbruch in der Müllbeseitigung. (...) In Hamburg entstand 1896 die erste Müllverbrennungsanlage Deutschlands. 1935 wurde in der deutschen Gemeindeordnung der allgemeine Anschluss- und Benutzungszwang für die Müllabfuhr und die Abwasserkanalisation festgelegt.“ (aha Zweckverband Abfallwirtschaft Region Hannover)

„Auch die Bezeichnung ‚Müll‘ ist ein Kind unseres Jahrhunderts; sie ist vor 1910 nicht nachweisbar, der Mülleimer war damals ein Ascheimer. Wahrscheinlich leitet sich der Begriff aus der alten Bezeichnung ‚Mulch‘ her, Stoffe, die man zum Kompostieren oder zum Unterpflügen einsetzte.“ (...) „Die dem deutschen ‚Abfall‘ lautlich am nächsten kommende Bezeichnung ‚offal‘ – mittelleng. ‚ofall‘ und ‚off-falls‘ – wurde auch wie ‚garbage‘ für Schlachtabfälle verwendet.“ (Müller 1989, S. 1f)

„Die dem deutschen ‚Abfall‘ lautlich am nächsten kommende Bezeichnung ‚offal‘ – mittelleng. ‚ofall‘ und ‚off-falls‘ – wurde auch wie ‚garbage‘ für Schlachtabfälle verwendet.“ (Müller 1989, S. 1f)

„Verbrauchte der Steinzeitmensch nur etwa 100 Kilogramm Rohstoffe in seinem Leben, so hatte der Bürger des Plastoziäns [Plastikzeitalter] seinen Ressourcenhunger auf 1000 Tonnen gesteigert.“ (DER SPIEGEL 1991, S. 235)

„In vorindustrieller Zeit setzte sich der A. [Abfall] aus menschl. [menschlichen] und tier. [tierischen] Fäkalien, Speiseresten (Knochen), Tierkadavern, Keramikscherben, Bauschutt, Laub und Asche (Waschlauge) zusammen. (...) Nach antikem und ma. [mittelalterlichem] Hygieneverständnis gehörte der A. [Abfall] ins Meer oder in die Flüsse. Vom 15. Jh. an verboten jedoch Stadtrechtsbestimmungen, Tierkadaver ins Wasser zu werfen; stattdessen wurden Abdecker gewählt. Flickschuster, Altwalker und andere spezialisierte Handwerker sorgen für die Wiederverwertung von Altstoffen. (...) Die Siedlungsabfälle setzen sich bis um 1900 zu über 50 % aus Feuerungsrückständen zusammen. Die Zunahme von nicht oder schlecht abbaubaren Abfällen (Schlacken von Steinkohleheizungen, Papier, Karton, Glas, Metall, usw.) bedingte Kehrrichtdeponien in Gruben oder an Gewässerläufen.“ (Stiftung Historisches Lexikon der Schweiz 2002)

1.1.3 Entwicklung des Recyclings

„Vor der Industrialisierung bestand der Müll hauptsächlich aus den Exkrementen von Menschen und Tieren, aus Lebensmittelabfällen, Ton- oder Glasscherben und wahrscheinlich auch Asche von den Feuerstellen. (...) Die ‚Wegwerf-Mentalität‘ der Industriezeit existierte aufgrund des Mangels an Gütern wie leeren Flaschen, gebrauchten Holz- oder Metallgegenständen und Ähnlichem nicht. Es war selbstverständlich, diese Gegenstände weiter zu verwerten. Aus Lebensmittelabfall wurde Haustierfutter, aus Knochen und Haaren wurden nützliche Dinge und aus Lumpen wurde Papier

hergestellt. Holz- und Papierabfälle verheizte man und Metallteile wurden sowieso eingeschmolzen oder umgeschmiedet. (...) Ein normaler Haushalt, der vor 150 Jahren mit etwa 150 Dingen auskam, verwendete nun mehr als 20.000 Gegenstände, vom Zahnstocher bis zum Haarfestiger, vom Kleiderschrank bis zur Heftzwecke, und produzierte in der Bundesrepublik in den 1970er Jahren im Durchschnitt eine Hausmüllmenge von 4,7 kg pro Einwohner und Woche, das sind 244 kg pro Einwohner und Jahr. Dieser wurde größtenteils nicht mehr wiederverwendet, sondern weitgehend vollständig deponiert.“ (Wikipedia 2016 Recycling)

„Around 400 BC, he [Plato] was already on a sustainability trip. Not only did he write extensively about soil erosion and how goats and deforestation were destroying the arability of ancient Greek farmlands, but he also advocated the recycling of materials. Sadly landfill boasts an even more ancient pedigree. The first, in the Cretan capital of Knossos, opened in 3000 BC. The fact that landfill got there first might explain why Plato wasn't able to upgrade recycling into some sort of universal truth. (...) Humankind seems keenest on recycling when resource extraction is difficult. Anthropological studies of rubbish dumps in ancient Britain show tiny amounts of the stuff of life - ash, broken tools and pottery suggesting that ancient societies recycled as much as they could.

It was the Industrial Revolution that put the brakes on recycling in a big way. It marked a watershed, when materials became more ubiquitous than labour and suddenly there was no need to worry. You could also argue that it sowed the seeds for the global economy which continues to have an impact on waste today, as global trading went up several notches. When the world and its associated mineral deposits and natural resources, is your oyster, why worry about eking out resources?

But now we do need to worry. Over the past 50 years humankind has altered ecosystems more extensively than at any comparable period of time in history. This has largely been in order to meet growing demands for food, fresh water, timber, fibre and fuel resulting in a substantial and largely irreversible loss in the diversity of life on earth. (...)

Because materials collected for recycling have already been refined and processed once, this means that manufacturing the second time around is usually cleaner and less energy-intensive.

Then there is the fact that resources will not have to be extracted again. Increasingly, this last point will prove to be crucial, both in terms of extending and preserving dwindling resources and protecting the last remaining pristine habitats.” (Recycle 2010, S. 11f)

1.1.4 Entwicklung des deutschen Abfallrechts

Eine sehr frühe Regelung des Abfallrechts stammt aus dem späten 15. Jahrhundert. Am 6. November 1492 wurde der Stadt Stuttgart vom Grafen Eberhard im Bart „ettlich artickel ordnungen und satzungen“ verliehen. Darunter war auch folgender Artikel zu finden: „Damit die Stadt rein erhalten wird, soll jeder seinen Mist alle Wochen hinausführen.“ (Wächter, Carl Georg von 1839)

Mehr als vier Jahrhunderte später wurde in der Polizeiverordnung von Berlin vom 30.01.1895 eine geordnete staubfreie Müllabfuhr festgeschrieben. Diese Verordnung diente als Vorbild für andere Städte. (Röhrecke, S. 32–43)

In der Deutschen Gemeindeordnung (DGO) vom 30.01.1935 wurde bereits ein Anschluss- und Benutzungszwang vorgeschrieben. In § 18 der DGO ist folgendes geregelt: „Die Gemeinde kann bei dringendem öffentlichen Bedürfnis durch Satzung mit Genehmigung der Aufsichtsbehörde für die Grundstücke ihres Gebietes den Anschluss an Wasserleitung, Kanalisation, Müllabfuhr, Straßenreinigung und ähnliche der Volksgesundheit dienende Einrichtungen (Anschlusszwang) und die Benutzung dieser Einrichtungen und der Schlachthöfe (Benutzungszwang) vorschreiben.“ (Dr. Dr. A. Dehlinger 1943, S. 171)

1.2 Derzeitiger Stand

1.2.1 Aktuelle Verwertung von Kunststoffen

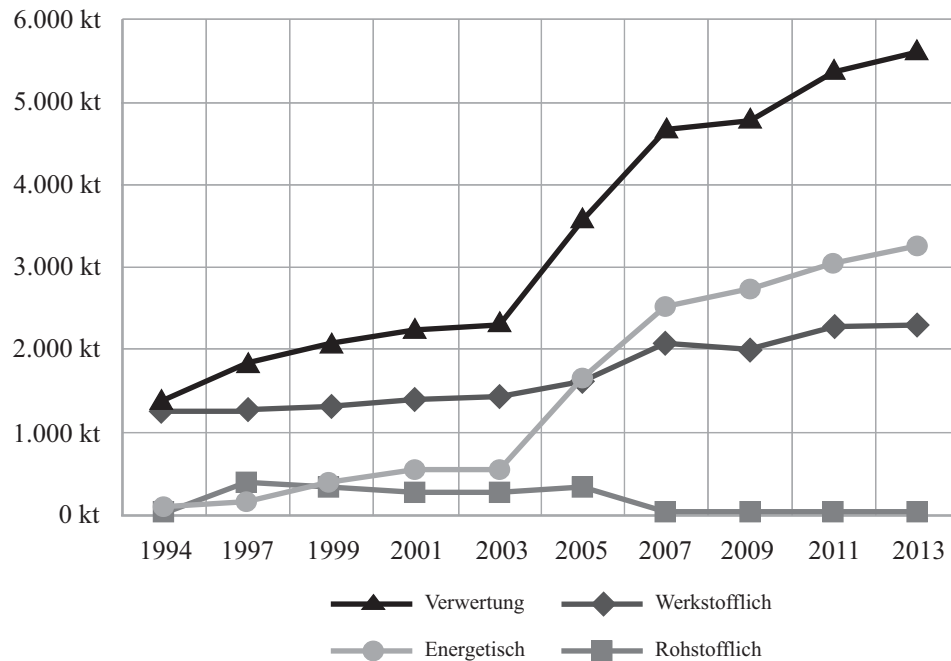


Abbildung 6 Entwicklung der Verwertungsarten für Kunststoffe in Deutschland (vgl. Consultic 2014, S. 15)

Das rohstoffliche Recycling, bei dem die chemische Struktur der Makromoleküle zerlegt wird, um anschließend die molekularen Bruchstücke wieder in einer neuen Synthese zu verwenden, spielte ab 2007 keine Rolle mehr bei der Verwertung. Die Menge der Kunststoffe, welche dem werkstofflichen Recycling zugeführt wurden, stieg ab 2007 nur noch gering. Bei dieser Art des Recyclings werden die Werkstoffe durch umformen erhalten. In Abbildung 6 ist zu erkennen, dass seit dem Jahr 2005 die Menge an energetisch verwerteten Kunststoffen in Deutschland sprunghaft anstieg. Seit dem 1. Juni 2005 ist die Ablagerung unbehandelter Abfälle in Deutschland verboten. Bei einer Abfallverbrennung nach der EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG, in Anlagen mit einem Wirkungsgrad von mehr als 65%, handelt es sich um eine energetische Verwertung. Ansonsten wird von Abfallbeseitigung gesprochen. (vgl. Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union 22.11.2008)

1.2.2 Gegenwärtige Recyclinghierarchie

Das Recycling von firmeninternen Produktionsabfällen ist bei Kunststoffverarbeitenden Unternehmen weit verbreitet, technisch meist einfach umzusetzen und lässt sich gut vermarkten. Dabei werden z. B. Reste, Abschnitte und Ausschuss der gleichen Serie, z. B. durch Granulieren, aufbereitet. Diese „Sauberen Abfälle“ können wieder dem Produktionsprozess zugeführt werden.

Das Wiederaufbereiten von Rücklaufmaterial ist durch einen zusätzlichen Reinigungsprozess aufwendiger, aber aufgrund der gleichen Zusammensetzung des Kunststoffes meist problemlos möglich.

Etwas schwieriger ist die Aufbereitung bereits gebrauchter Produkte. Sie können mit anderen Stoffen verbunden sein oder sind durch die Nutzung bereits verschmutzt. Überdies gibt es verschiedene mögliche Qualitätsstufen hinsichtlich der im Rücklaufmaterial beinhaltenen Additive, dem Grad der Verschmutzung, den molekularen Kettenlängen und des Vernetzungsgrades.

Am Ende der Hierarchie des werkstofflichen Recyclings stehen die Wiederaufbereitung von Abfällen aus spezifischen Sammlungen (z. B. Einweg-PET) und die Rückführung von Kunststoffen aus unspezifischen Abfallsammlungen z. B. aus dem Dualem System oder dem Restmüll. Diese Fraktionen weisen den höchsten Verschmutzungsgrad auf und benötigen den größten Verarbeitungsaufwand. Die Komplexität der Verwertung erhöht sich dabei analog zur Vielschichtigkeit der Zusammensetzung des Produkts. Dies wirkt sich umgekehrt proportional auf die ökologische Nachhaltigkeit aus.

Die Entwicklung des Recyclings kann in vier Phasen eingeteilt werden:

Phase I

In der ersten Phase vor der Industrialisierung, sind Abfall- und Ressourcenmenge sehr gering. Durch hohe Materialkosten und geringe Arbeitslöhne besteht ein hohes Maß an Wiederverwertung.

Phase II

In der zweiten Phase, seit der Industrialisierung und der Erfindung der Kunststoffe, sinken die Materialkosten durch die einfachere Förderung der Rohstoffe. Produkte werden für alle verfügbar und erschwinglich. Recycling ist kaum notwendig.

Phase III

Heute, in der dritten Phase, sind trotz der bestehenden technischen Möglichkeiten die Recyclinganteile der Materialien immer noch niedrig. Gründe dafür sind die Wirtschaftlichkeit, die Spezialisierung der Produkte und hohe Materialanforderungen.

Phase IV

Zukünftig wird in der vierten Phase das ökologische Interesse weiter in den Vordergrund rücken. Durch die bereits beginnende Ressourcenverknappung werden Rohstoffpreise weiter steigen und in Folge dessen werden sich auch die Recyclingraten erhöhen.

1.2.3 Aktuelle Gesetze und Rechtsvorschriften

Den gesetzlichen Rahmen der Lebenszyklusanalyse bilden die Normen DIN EN ISO 14040:2009-11 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen und DIN EN ISO 14044:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien durch die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) geregelt. Die Anforderungen der REACH-Verordnung müssen in vollem Umfang auch von Nebenprodukten oder Sekundärstoffen aus Herstellungs- und Recyclingprozessen, welche nicht mehr dem Abfallrecht unterliegen, erfüllt werden. Der Product Carbon Footprint (CO₂-Fußabdruck von Produkten) bezeichnet die Bilanz der Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts in einer definierten Anwendung und bezogen auf eine definierte Nutzeinheit. (vgl. Fritsche et al. 2010)

Um ein Bauprodukt innerhalb der Europäischen Union einsetzen zu können, muss dessen technische Brauchbarkeit durch einen allgemein anerkannten Nachweis erbracht werden. Auf europäischer Ebene wird dies durch die Europäische Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) geregelt. Am 24. April 2011 ist die Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates in Kraft getreten.

1.3 Problembestimmung

Die Recyclingrate der Kunststoffabfälle liegt im Jahr 2014 in 25 der europäischen Länder (EU-28 + CH/NO) immer noch unter der 35 % Marke. (Consultic 2015, S. 21)

Damit ergeben sich Fragen nach den Gründen für diese geringe Recyclingrate. Von welchen Faktoren hängt sie ab? Ist sie Material-, Nutzungs- oder Entsorgungsabhängig? Welchen Einfluss haben die Form, der Zustand, der Zuschlag, die Branche und das Kreislaufsystem? Worin besteht folglich das Verbesserungspotential und wie hoch kann dieses sein?

Mit dem Anstieg der Lebensbedürfnisse, wächst einerseits der Energie- und Rohstoffbedarf stetig, die Ressourcen sind jedoch beschränkt, dies hat Preissteigerungen zur Folge. Andererseits wachsen auch die ökologischen Ansprüche an unsere Umwelt. Wir haben erkannt, dass unser exzessiver Raubbau an Ressourcen in der Vergangenheit, folgenschwere Auswirkungen auf unsere heutigen und zukünftigen Lebensbedingungen haben wird. Diese Entwicklung kann, bei gleichbleibenden Ansprüchen an einen gewissen Lebensstil, durch einen effizienteren Einsatz der Ressourcen abgebremst werden.

Im Bauwesen ist die Forschung in den Bereichen der Energieeinsparung und der Nutzung von regenerativen Energiequellen in den letzten Jahren weit vorangeschritten. Bereits heute ist es möglich, dass Gebäude während ihrer Nutzungsphase mehr Strom und Wärme gewinnen, als für ihren Betrieb notwendig ist. Die überschüssige Energie wird in ein zentrales Netz eingespeist und steht der Allgemeinheit zur Verfügung. Jedoch ist der Anteil solcher Gebäude am gesamten Gebäudebestand, aufgrund der hohen Investitionskosten und der verhältnismäßig langen Lebenszyklen von bestehenden Gebäuden, noch sehr gering. Mit einem Gebäude, welches mehr Energie gewinnt als es verbraucht, ist eine Grenze der Effizienzsteigerung bezüglich der Energiebilanz, in der Nutzungsphase erreicht. Der Energiebedarf wurde auf ein Minimum gesenkt, welcher nur mit erheblichem Mehraufwand an Material und Technik und damit Mehrkosten, nochmals reduziert werden könnte. Der Aufwand steht allerdings nicht im Verhältnis zum Nutzen. Das Verhältnis zwischen dem Wärmedurchgangskoeffizienten und der Dämmstoffdicke wird mit einem Graph mit der Form einer Hyperbel beschrieben. Mit geringer Dämmstoffdicke kann bereits eine wesentliche Erhöhung des Wärmedurchgangswiderstands erfolgen. Jedoch werden mit ansteigender Dämmstoffdicke nur noch geringe Steigerungen des Wärmedurchgangswiderstands erzielt.

Die positive Energiebilanz wird durch die Nutzung regenerativer Energieressourcen erreicht. Jede weitere Verbesserung der Bilanz macht das Gebäude immer mehr zum Kraftwerk. Somit ist die Nutzungsphase des Gebäudes weitestgehend optimiert.

Diese Einsparungen, Effizienzsteigerungen und die Gewinnung von Energie gehen jedoch meist mit einem erhöhten Materialbedarf einher. Es muss mehr abgedichtet und gedämmt werden. Zusätzliche technische Anlagen zur Steuerung des Raumklimas sind notwendig.

Gründe für die stetige Reduzierung des Energiebedarfs sind ansteigende Energiepreise und die an den weltweit wachsenden Verbrauch von Energieträgern gekoppelten Umweltwirkungen (z. B. CO₂ Emissionen => Erhöhung des Treibhauseffekts, Erderwärmung). Gesetzlich wird die deutsche Energie und Klimaschutzpolitik unter anderem in der Energieeinsparverordnung (EnEV) umgesetzt. In ihr werden bautechnische Standardanforderungen zum effizienten Betriebsenergieverbrauch eines Gebäudes vorgeschrieben. Wird der allerdings der Gesamtenergiebedarf von Gebäuden, welche den Passivhausstandard erfüllen, in Lebenszyklusanalysen betrachtet, so nimmt der kumulierte Energieaufwand (KEA) der Baumaterialien den größten Teil ein.

Im Jahr 2005 wurden die Ergebnisse des Millennium Ecosystem Assessment (MA) veröffentlicht. Dabei handelte es sich um eine groß angelegte Studie im Auftrag der Vereinten Nationen, welche einen Überblick über den globalen Zustand von 24 Schlüssel-Ökosystemdienstleistungen gab. Der MA-Bericht umfasste folgende Kernaussagen für die globale Ebene:

„In den letzten 50 Jahren haben Menschen Ökosysteme schneller und umfangreicher verändert, als jemals zuvor in vergleichbaren Zeiträumen in der Menschheitsgeschichte, weitgehend, um die schnell wachsende Nachfrage nach Nahrung, Wasser, Holz, Fasern und Energie zu befriedigen. Dies hat zu einem substantiellen und weitgehend irreversiblen Verlust an Diversität des Lebens auf der Erde geführt.“

„Die Veränderungen von Ökosystemen haben zu erheblichen Nettogewinnen für das menschliche Wohlbefinden und die wirtschaftliche Entwicklung beigetragen, allerdings wurden diese Gewinne mit wachsenden Kosten in Form der Degradation vieler Ökosystemdienstleistungen, zunehmender Risiken von nichtlinearen Veränderungen, und der Verschlimmerung der Armut von Teilen der Bevölkerung erzielt. Werden diese Probleme nicht in Angriff genommen, wird sich der Nutzen, den künftige Generationen aus Ökosystemen ziehen können, wesentlich verringern.“

„Die Degradation von Ökosystemdienstleistungen könnte sich in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts signifikant verschlechtern und ist eine Barriere hinsichtlich der Erreichung der Millennium-Entwicklungsziele.“

„Der Herausforderung, die Degradation der Ökosysteme umzukehren und gleichzeitig die wachsende Nachfrage nach ihren Dienstleistungen zu befriedigen, kann teilweise im Rahmen einiger MA-Szenarien begegnet werden, aber diese Szenarien erfordern wesentliche Veränderungen in der Politik, den Institutionen und Verfahren, die gegenwärtig noch nicht in Vorbereitung sind. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten spezifische Ökosystemdienstleistungen zu bewahren oder zu erweitern und zwar auf eine Art und Weise, die negative Wechselwirkungen reduziert oder positive Synergien mit anderen Ökosystemdienstleistungen gewährleistet.“ (World Resources Institute 2005, S. 2ff eigene Übersetzung)

Das gestiegene gesellschaftliche Bewusstsein über ökologische Prozesse und deren Ursache und Wirkungszusammenhänge bildet die Grundlage für den Wunsch nach mehr Nachhaltigkeit beim

Konsum von Energie und Ressourcen. Gleichzeitig biete die Grüne Welle eine neue Marketingstrategie. Nach schneller, höher, weiter, kommt jetzt nachhaltig, ökologisch, biologisch und grün.

Seit der Energiekrise in den 70er Jahren boomt die Einsparung der benötigten Energie in der Nutzungsphase von Gebäuden. Der Schock der Ölkrise 1973 mit autofreien Sonntagen und dessen Auswirkungen zeigte die Abhängigkeit vom Erdöl auf. Vorgaben zur Energieeinsparung werden seitdem gesetzlich festgelegt und immer mehr optimiert und erhöht. Die treibende Kraft des Umdenkens bei den Konsumenten war allerdings nicht vorrangig die Schonung der Umwelt und ihrer Ressourcen, sondern die langfristige Schonung des Geldbeutels. Steigende Energiepreise machen einmalige Investitionen, in mehr Wärmedämmung und eine bessere Heiztechnik, durch den geringeren Verbrauch in der Nutzungsphase rentabel. Seitdem wird stetig weiter optimiert und eingespart. Mit der Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEVÄndV) vom 29. April 2009 BGBl. I S. 954 wurde die Obergrenze des zulässigen Jahresprimärenergiebedarfs gegenüber den bestehenden Vorschriften um durchschnittlich 30 % gesenkt. Mit der Zweiten Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (2. EnEV-ÄndV) wurden die energetischen Anforderungen um nochmals 25 % erhöht. Auch in der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, wurden bereits verschärfte Anforderungen für Neubauten ab 2021 gestellt.

Kunststoffe haben gegenüber den meisten anderen Baustoffen einen bedeutenden Vorteil, sie bestehen hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffverbindungen, welche einen hohen Heizwert aufweisen. Der Heizwert von thermoplastischen Kunststoffen (PE 46,1 MJ/kg, PP 44,0 MJ/kg, PS 40,2 MJ/kg) (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) 2000) entspricht in etwa dem von Heizöl (42,8 MJ/kg). Diesem Umstand ist es unter anderen zu verdanken, dass Kunststoffabfälle zum größten Teil energetisch verwertet werden. Doch geht dabei nicht nur der Rohstoff als solches verloren, zusätzlich geht alle bereits eingesetzte Energie zur Rohstoffförderung, Produktherstellung und den erforderlichen Transporten verloren.

Hinsichtlich eines steigenden ökologischen Nachhaltigkeitsbewusstseins besteht beim Recycling von thermoplastischen Kunststoffen noch erhebliches Optimierungspotential.

1.4 Kontext und Ziel der Arbeit

Das Recycling von Kunststoffabfällen ist ein Verfahren zur Rückgewinnung von Materialien, das dafür vorgesehen ist, Rohstoffe (Primärmaterialien, Wasser, Energie) einzusparen und gleichzeitig eine Emission von Schadstoffen in Luft, Wasser und in den Boden und deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu minimieren. Die Umweltauswirkung durch den Recyclingprozess sollte über den gesamten Lebenszyklus bewertet werden (vom Ort der Abfallerzeugung bis hin zur Entsorgung der Endrückstände). Um sicherzustellen, dass das Recycling die umweltverträglichste Möglichkeit für die Behandlung des vorhandenen Abfalls darstellt, sollten vorzugsweise folgende Vorbedingungen erfüllt sein:

- das in Erwägung gezogene Recyclingverfahren sollte geringere Umweltbelastungen zur Folge haben als alternative Möglichkeiten der Rückgewinnung;
- vorhandene oder potentielle Absatzmärkte sollten identifiziert werden, wodurch ein nachhaltiges industrielles Recycling sichergestellt wird;
- die Sammel- und Sortiersysteme sollten gründlich durchdacht und zweckmäßig aufgebaut sein, damit sie recycelbare Fraktionen von Kunststoffabfällen liefern, die hinreichend gut in die vorhandenen Recycling-Technologien passen und sich mit dem (sich verändernden) Bedarf der identifizierten Absatzmärkte, vorzugsweise mit minimalen Kosten für die Gesellschaft, vereinbaren lassen. (Technische Regel DIN CEN/TS 16011:2013, S. 4)

Um Energie einzusparen und die Erfordernisse des Gesetzes zu erfüllen, müssen die Gebäude ausreichend gedämmt, abgedichtet und mit entsprechenden Anlagen ausgestattet werden. Jedoch führt dies nur zu einer guten Energiebilanz in der Nutzungsphase. Die Energieeinsparung in der Nutzungsphase bis auf null oder darunter, führt zum Passivhaus oder sogar zum Plusenergiehaus. In der Gesamtbilanz werden aber die Produktions- und Recyclingphase immer wichtiger. Nachdem in der Nutzungsphase bereits das Maximum an Einsparungspotential erreicht ist, müssen die Verbesserungsmöglichkeiten für die Einsparung der Energie und die damit verbundenen Umweltauswirkungen und der Ressourcenverbrauch in den Lebenszyklusanalysen der Produkte und Prozesse untersucht und verbessert werden.

Mit zunehmendem Interesse an der ökologischen Nachhaltigkeit von Produkten und Bauwerken treten, die aus den Produkten und Prozessen resultierenden, zu erwartenden Umweltwirkungen und die benötigte „Graue Energie“ immer mehr in den Vordergrund. Durch den geringen Recyclinganteil bei Kunststoffen fällt die Ökobilanz im Vergleich zu anderen Materialien, schlecht aus.

Kunststoffe bestehen aus fossilen Ressourcen und sind damit nicht erneuerbar. In den neun Ländern der EU mit Deponieverbot beträgt die Verwertungsquote über 95 Prozent. Mehr als zwei Drittel der Kunststoffabfälle werden jedoch energetisch verwertet. Die zurückgewonnene Energie entspricht

allerdings nur einem kleinen Bruchteil des im Abfall steckendem Energieäquivalents. Der Werkstoff geht mit der Verbrennung endgültig verloren (Ressourcenverbrauch).

Das Ziel der Arbeit ist, die Untersuchung des Potentials von Recyclingkunststoffen für die Anwendungen im Bauwesen. Im Speziellen werden die Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit von Bauwerken durch den Einsatz von Produkten aus thermoplastischen Recyclingkunststoffen exemplarisch erforscht.

1.5 Ausschluss nicht behandelter Themen und Fokussierung

Die Arbeit fokussiert sich auf die Anwendung von Bauteilen aus thermoplastischen Recyclingkunststoffen in Bauwerken. Die Untersuchungen und Berechnungen beschränkten sich regional überwiegend auf Deutschland. Die Gründe hierfür sind die Verfügbarkeit der Daten, der fortschrittliche Entwicklungsstand und die technische Vorreiterrolle Deutschlands bezüglich Kunststoffrecycling, Abfallwirtschaft und Entsorgung. Lediglich im Teil A Einführung wurden vergleichende Daten der EU herangezogen.

Auf die Verwertung von Duroplasten und Elastomeren wird in dieser Arbeit nicht eingegangen. Aufgrund ihres chemischen Aufbaus ist ein werkstoffliches Recycling nicht möglich. Für beide Kunststoffarten empfiehlt sich das Partikelrecycling, welches allerdings nur als Downcycling betrachtet werden kann. Alternativ können diese Kunststoffe zur Energieerzeugung thermisch verwertet werden.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die beinhalteten Rohstoffe von GFK-Abfällen (glasfaser-verstärkten Kunststoffen) bei der Zementherstellung zu nutzen. Dabei werden mineralische Rohstoffe zur Herstellung von Zement durch die Glasfasern substituiert. Die enthaltene Energie der duroplastischen Matrix ersetzt den Primärenergieträger Kohle. 1000 t GFK-Abfälle können somit rund 450 t Kohle, 200 t Kalk/Kreide, 200 t Sand und 150 t Aluminiumoxid ersetzen. (Fiberline Composites A/S 2011)

Auf die Vorteile von Kunststoffen zur Wärmedämmung und Dichtung von Gebäuden wird in dieser Arbeit nicht im Speziellen eingegangen. Durch den verhältnismäßig geringen Preis und das geringe Leistungsgewicht sind Kunststoffbauteile bei Neubauten und energetischer Sanierung sehr beliebt. Mit dem Einsatz von verhältnismäßig wenig Masse in Dämmungen und Abdichtungen, können Kunststoffe zu erheblichen Energieeinsparungen während der Nutzungsphase beitragen.

Der in dieser Arbeit aufgeführte Vergleich erfolgt jedoch nicht über den Preis oder die eingesetzte Bauteilmasse, sondern über die funktionelle Einheit, ein quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit.

B Voraussetzungen, Bedingungen und Anforderungen

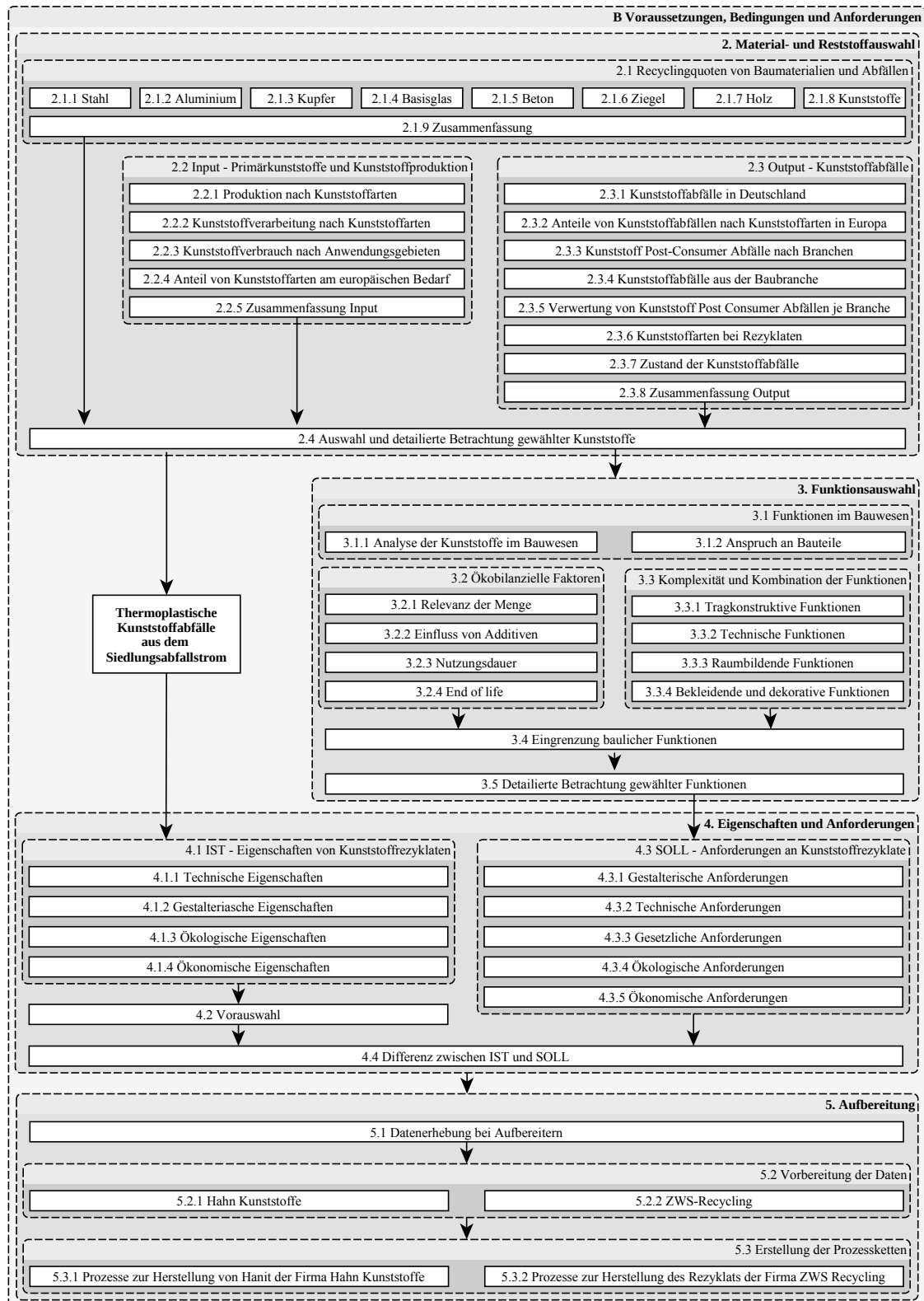


Abbildung 7 Struktureller Aufbau Teil B Voraussetzungen, Bedingungen und Anforderungen

2. Material- und Reststoffauswahl

2.1 Recyclingquoten von Baumaterialien und Abfällen

Bevor in der Arbeit speziell auf die gewählten Kunststoffe eingegangen wird, werden zum Vergleich die Recyclingmöglichkeiten und -quoten der häufigsten Baumaterialien und Abfälle aufgezeigt. Dies geschieht, um das Recycling von Kunststoffen relativ betrachten zu können. Dazu wurden Daten von folgenden Materialien für den Vergleich herangezogen:

Stahl, Aluminium, Kupfer, Basisglas, Beton, Ziegel, Holz und der Kunststoffe: Polyvinylchlorid, Polyolefine Bodenbeläge, Polyethylen und Polypropylen, Polystyrol und Elastomere.

2.1.1 Stahl

Die Recyclingquote bei Stahlschrott liegt bei 80 %. Der Verbrauch an rezykliertem Stahl in den Stahlhütten wird derzeit nur begrenzt durch die Verfügbarkeit und den Preis, nicht aber durch die Verarbeitungskapazität. Die Rohstoffversorgung ist durch die hundertprozentige Rezyklierbarkeit auf lange Zeit gesichert. (worldsteel 2011)

„Das Recycling von Stahl ist ein unverzichtbarer Bestandteil der Stahlerzeugung. Stahl wird dabei bis zu 80 % wiederverwertet. Beim Umschmelzen sind nur 25 % der Primärenergie erforderlich, die benötigt würde, wenn man Stahl aus Erz über den Verfahrensweg Hochofen / Konverter herstellt. Für 1 t Schrott entfallen Abbau, Aufbereitung, Transport und Verhüttung von 1,6 t Erz. Außerdem können 0,5 t Koks-kohle eingespart werden, die nicht in Wärmeenergie und CO₂ umgesetzt werden. Der Schrott setzt sich dabei zusammen aus ca. 32 % Eigenschrott (bei der Erzeugung von Stahl und Eisen), ca. 20 % Stahl-Neuschrott (aus der industriellen Fertigung) und ca. 48 % Stahl-Altschrott (ausgediente Verbrauchs- und Industriegüter). In erster Linie muss dabei der Stahl-Altschrott in geeigneter Weise durch Sortierung, Zerkleinerung, Pressen, Shreddern aufbereitet werden, um die gewünschte Reinheit der Schrottqualität zu erhalten.“ (Wecobis 2014k)

Im Jahr 2012 liegt der Schrottanteil der Gesamtrohstahlerzeugung in Deutschland über 46 % (siehe Abbildung 8).

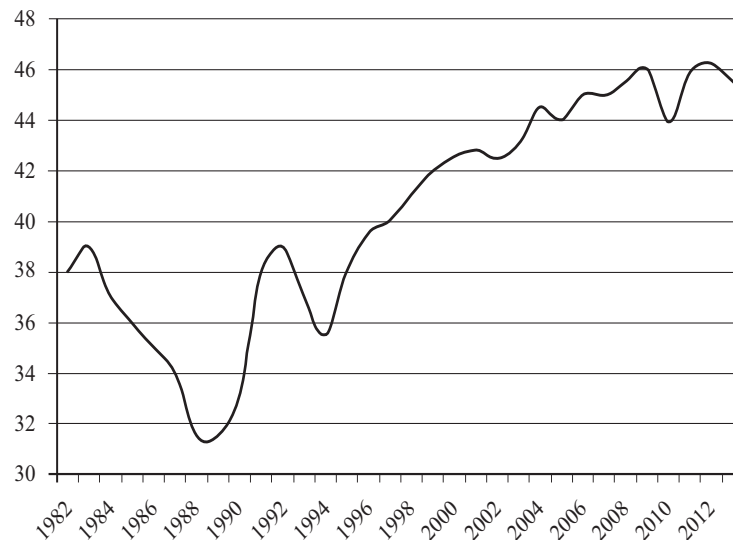


Abbildung 8 Schrottanteil in Prozent der Gesamtrohstahlerzeugung in Deutschland
(Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014)

Allerdings besteht die Gefahr, dass Stahl beim Recycling mit anderen Elementen verunreinigt werden kann. Eine Anreicherung mit Kupfer kann zu einer Versprödung des Werkstoffs und somit zu einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften führen. Um dies zu vermeiden sollte der Kupfergehalt im Stahl geringer als 0,05 % sein. (vgl. Zraggen et al. 2006, S. 184–191)

2.1.2 Aluminium

„Zurzeit kommen bereits über 90 % des im Bauwesen anfallenden Aluminiumschrotts in den Verwertungskreislauf zurück. Dieses Sekundäraluminium wird heute größtenteils für Gusslegierungen verwendet.

Im Gussaluminium ist der Rezyklatanteil sehr hoch. Für im Bauwesen eingesetzte Bleche und Profile wird jedoch in erster Linie aufgrund der geforderten Reinheit und Korrosionsbeständigkeit Primäraluminium verwendet.

Beim Recycling von Aluminium werden aus Knet- und Gusslegierungsreststoffen überwiegend Gusslegierungen hergestellt. Nur ein kleiner Teil, meist sortenreiner und sauberer Knetlegierungs-Produktionsreststoffe, wird derzeit wieder zu Knetlegierungen verarbeitet.“ (Wecobis 2014a)

„Die ‚ressourcenorientierte Recyclingquote‘ für Aluminium bewegte sich nach Rombach in Deutschland zwischen 92,2 % beim Aluminiemeinsatz in Gebäuden, 66,5 % beim Einsatz in Elektro- und Elektronikgeräten, 31,4 % beim Einsatz in Autos und nur 2,9 % beim Einsatz von Aluminium in Produkten, die irgendwann im Hausmüll landen. Mit Ausnahme des Gebäudeschrotts, der offenbar sehr gut erfasst wird, treten die größten Verluste bei der mangelhaften Erfassung nach der Verbrauchsphase auf.“ (von Gleich et al. 2004, S. 96)

„Trotzdem können die Rezyklate nicht auf gleichem Produktniveau wiederverwertet werden, weil die Legierungsbestandteile nicht genau bekannt sind und daher für Fassadenelemente frisch produziertes Aluminium eingesetzt wird. Dieser Prozess muss sich für eine adäquate Integration des Recyclings zu einer nachhaltigen Metallwirtschaft deutlich verbessern.

Während der Produktion anfallende Reststoffe werden, wenn sie nicht wieder am Ort der Entstehung eingesetzt werden, von den Sekundärhütten oder den Hüttengießereien eingeschmolzen. Die nach dem Gebrauch der aluminiumhaltigen Güter entstehenden Altstoffe werden aufbereitet und dann überwiegend zu Gusslegierungen verarbeitet. Beim Umschmelzen von Schrotten im Salzbadeofen entsteht Salzschlacke, die wieder aufbereitet wird. Für die Erzeugung von einem Kilogramm Primäraluminium sind heute rund 13,5 kWh elektrische Energie erforderlich. Blicke der Blick allein auf die Primärerzeugung konzentriert, würde man allerdings übersehen, dass die einmal eingesetzte Energie im Metall gespeichert bleibt und im Recyclingprozess nicht noch einmal aufgewendet werden muss. Aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes (660 °C), das ist nur ein kleiner Anteil, der Größere kommt daher, dass man die feste und hochenergetische Bindung zum Sauerstoff nicht noch mal brechen muss, sind nur fünf Prozent der ursprünglich eingesetzten Energie beim Recycling von Aluminium erforderlich. Da Aluminium nach der Verwendung einen hohen Schrottwert besitzt und seine Werkstoffeigenschaften beim Recycling nur bei der Verschiebung des Knetaluminiums in den Kreislauf des Gussaluminiums geringfügig wandelt, hat sich schon früh eine gut funktionierende Sekundärwirtschaft herausgebildet: z. B. als Altschrott aus den Bereichen Verkehr, Bau, Elektronik oder Verpackung. Die Metallkreisläufe sind im Begriff, weiter geschlossen zu werden. Jedoch ist das beim Hausmüll nur zu einem geringen Teil realisiert.

Die Aktivitäten der Industrie zur Erhöhung der Recyclingquote waren sehr erfolgreich. Allerdings ist das Problem der Kennzeichnung und der erforderlichen sortenreinen Trennung für die Schließung von Kreisläufen ohne Qualitätsverlust noch nicht gelöst.

Bedingt durch die Legierungsbestandteile für Guss- und Knetlegierungen gelangen die Nebenbestandteile auch immer in die Recyclingmaterialien hinein. Dadurch steigt die Anzahl der Nebenbestandteile mit der Zeit an, was die Eigenschaften des Sekundäraluminiums beeinflusst. Derartige Störstoffe können aus der Schmelze mit vertretbarem Aufwand nicht wieder entfernt werden, weshalb z. B. Sekundäraluminium aus Altschrotten nicht mehr zu Knetlegierungen, sondern nur noch zu Gusslegierungen verarbeitet wird. Erst wenn die Deklaration der Aluminiumprodukte so ausgereift ist, dass es maschinell erkennbar und sortenrein trennbar wäre, könnten immer gleiche Legierungen in speziellen Kreisläufen geführt werden und die Eigenschaften dann über viele Recyclingzyklen energiesparend konstant bleiben.“ (Wecobis 2014a)

2.1.3 Kupfer

„Mittlerweile hat das wieder in den Produktionsprozess eingefügte Rücklaufkupfer einen Anteil von mehr als 40 % erreicht. Dieses Rücklaufkupfer setzt sich zusammen aus Neuschrott (saubere Produktionsabfälle), Altschrott (Kabelschrott, Elektronikschrott, Bleche), Zwischenprodukten und Reststoffen (Krätzen, Filterstäube, Galvanikschlämme). Qualitätsunterschiede zu Primärkupfer sind dabei nicht festzustellen. Der Gesamtenergiebedarf für die Produktion von Sekundär-Kupfer beträgt 20 bis 40 % des Bedarfs für die Primärproduktion.“ (Wecobis 2014f)

2.1.4 Basisglas

„Im Behälterglasbereich erreicht die Recyclingquote inzwischen bis zu 75 %. Das Recycling von Flachglasabfällen hingegen ist aufgrund der Verunreinigungen und der ungewissen Zusammensetzung und Beschichtungen nicht oder nur sehr begrenzt möglich. Die Abfälle werden in minderwertige Produkte verarbeitet. Glassteine, Glasfaser, Schaumglas, Behälterglas, Schmirgelpapier, (...).“ (Wecobis 2014b)

2.1.5 Beton

Die Herstellung von Beton beruht auf der irreversiblen exothermen chemischen Reaktion von Zement mit Wasser, die unterschiedlichen Zuschlagsstoffe dienen in erster Linie zur Einsparung des Zements. Bei der stofflichen Verwertung kann der energiereiche Zement nicht mehr zurückgewonnen werden. Durch das Brechen des Betons in Betonsplit und Betonbrechsand ist es möglich für ein neues Produkt Anteile des Zuschlags zurück zu gewinnen. Damit kann der Betonbruch vollständig als Zuschlag wiederverwendet werden. Betone mit Recyclingmaterial müssen aufgrund der gesetzlich geregelten Anforderungen die gleichen Anforderungen erfüllen wie Betone mit ausschließlich primären Gesteinskörnungen. Daraus folgt, dass die „direkte“ Verwertungsquote im neuen Produkt maximal 27 % betragen kann. (Wecobis 2014d)

Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP setzt das Verfahren der Elektrodynamischen Fragmentierung ein, um die Bestandteile von Beton wieder zu trennen. Die Blitzentladung von ultrakurzen (< 500 ns) Unterwasserimpulsen verlaufen bevorzugt entlang von Phasengrenzen durch die Festkörper, diese werden dadurch selektiv fragmentiert. Es kommt zu einem elektrischen Durchschlag, dessen Druckwellen ($p = 10$ GPa) den Beton in seine Komponenten zerlegt. Für andere Materialien wird dieses Verfahren schon heute großtechnisch eingesetzt. Die Innovation des Verfahrens liegt in einer staub- und kontaminationsfreien Aufspaltung, denn es entsteht im Gegensatz zu einer mechanischen Aufbereitung kein Abrieb. (Fraunhofer IBP 2012)

2.1.6 Ziegel

„Als Bauwerkreststoff ist die sortenreine Gewinnung und Wiederverwendung von Ziegel durch die anhaftenden Mörtel und Putzreste auf Grund der erforderlichen aufwendigen Trennung schwierig. Eine Wiederverwendung von Ziegel erfolgt in eingeschränktem Maße lediglich bei altem Mauerwerk aus Vollziegel. Hier hat die Rückgewinnung der alten (z. T. handgeschlagenen) Normalformatziegel jedoch eindeutig mehr architektonische und liebhaberische als wirtschaftliche Gründe.

Im Ziegelwerk anfallender Bruch und Ausschuss wird zu Ziegelmehl aufbereitet und als Magerungsmittel zu 100 % im Produktionsprozess stofflich wiederverwertet.

Sortenreiner Ziegelabbruch aus dem Bauwerk kann in der Größenordnung von rd. 10 bis 20 % des Rohstoffes in den Produktionsprozess als Ziegelmehl rückgeführt werden, ohne dass dadurch die technischen Eigenschaften des gebrannten Ziegels negativ beeinflusst werden.“ (Wecobis 2014l)

2.1.7 Holz

„Die bestehenden Verwertungsmöglichkeiten werden z. B. in Deutschland für das getrennt erfasste Altholz seit einigen Jahren sehr weitgehend genutzt. Die Verwertung erfolgt zu etwa zwei Dritteln energetisch und zu einem Drittel stofflich. Weitere Nutzungsmöglichkeiten können durch eine verbesserte Getrenntsammlung des Altholzes erschlossen werden; diese wird gegenwärtig u. a. durch das Ablagerungsverbot von Altholz infolge der Abfallablagerungsverordnung weiter ausgebaut. Europaweit wurden die Altholzströme in 2006 zu rund 38 % stofflich, zu ca. 34 % energetisch und zu etwa 28 % anderweitig verwertet (kompostiert oder gemulcht) oder deponiert. (Kaltschmitt et al. 2009, S. 148)

Vollholzprodukte und Holzwerkstoffe können im Falle eines selektiven Rückbaus nach Beendigung der Nutzungsphase problemlos wiederverwendet oder weiterverwertet werden. In Deutschland erfolgt die Nutzung von Altholz zu ca. $\frac{2}{3}$ energetisch und zu $\frac{1}{3}$ stofflich. (Kaltschmitt et al. 2009)

Gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz sind ab 11 MJ/kg (Heizwertkriterium) thermische und stoffliche Verwertung gleichzustellen. (Wecobis 2014c)

2.1.8 Kunststoffe

„Bei den meisten Kunststoffen ist eine stoffliche oder energetische Verwertung möglich. Aus grundsätzlichen Überlegungen ist die stoffliche Verwertung der energetischen vorzuziehen, sofern dadurch Neukunststoff substituiert werden kann. Bei der stofflichen Verwertung, bei der die chemische Struktur des Kunststoffes erhalten bleibt, kann durch Substitution wesentlich mehr Energie eingespart werden, als wenn der Kunststoff verbrannt wird.“ (Wecobis 2012)

a) Polyvinylchlorid

PVC-Produkte sind für die stoffliche Verwertung grundsätzlich sehr gut geeignet, da sich die Eigenschaften des Materials auch nach mehrmaliger Verarbeitung nur sehr wenig verändern. Nach Angaben der Recyclingwirtschaft kann der Produktkreislauf mindestens sieben Mal durchlaufen werden. Es gibt Recycling-Initiativen für die PVC-Produktgruppen: Bodenbeläge, Dach- und Dichtungsbahnen, Planen, Rohre und Fenster. Je nach Anforderung an den Kunststoff ist es möglich bis zu 80 % Recyclinganteil zu erreichen. Beim PVC-Fenster kann z.B. ca. 50 % Neu-PVC substituiert werden, ohne die Qualität zu mindern.

Zwei wichtige Voraussetzungen für das stoffliche Recycling sind die Trennbarkeit auf der Baustelle in eine möglichst reine PVC-Fraktion mit geringem Anteil an Fremdmaterialien sowie eine Sammel- und Rückführungslogistik der Fraktionen, die für die Bauherrschaft bzw. die Unternehmen möglichst kostengünstig sind. Beide Voraussetzungen sind heute insbesondere bei Fenstern gegeben. Die verarbeitende Industrie gibt für 2009 eine Erfassungsquote von 70 % aller ausgebauten Kunststofffenster und -rollläden an. Davon wurden 77 % der stofflichen Verwertung zugeführt.“ (Wecobis 2012)

b) Polyolefine Bodenbeläge

„Eine stoffliche Verwertung von Polyolefin-Bodenbelägen ist grundsätzlich möglich und kann in geeigneten Anlagen zu qualitativ minderwertigen Produkten durchgeführt werden. Voraussetzung dafür ist ein einfacher Ausbau, der wegen der vollflächigen Verklebung allerdings in der Regel außerordentlich aufwendig ist. Da bis heute noch kaum Abfälle aus dem Rückbau von Polyolefin-Bodenbelägen vorhanden sind, fehlt auch eine entsprechende Rücknahmelogistik.

Aus ökonomischer Sicht lohnt sich das stoffliche Recycling nicht. Die Kosten für den separaten Ausbau, für das Konditionieren und für den Transport sind im Vergleich zu den üblichen Entsorgungskosten verhältnismäßig hoch.“ (Wecobis 2014h)

c) Polyethylen und Polypropylen

Generell ist die stoffliche Verwertung von Thermoplasten durch Einschmelzen und Umschmelzen in neue Formen möglich. Jedoch wird ein werkstoffliches Recycling von Kunststoffen aus Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) dadurch erschwert, dass die Eigenschaften der Produkte im Wesentlichen durch die chemische Struktur beeinflusst werden. Durch das Einschmelzen von PE- und PP-Kunststoffen entsteht eine Mischung der Eigenschaften der verschiedenen PE- und PP-Typen und damit ein minderwertiges Rezyklat. Auf der Baustelle können lediglich Plastikfolien separat als PE- und PP-Mix gesammelt werden. Aus diesem Kunststoff-Gemisch an Folien lassen sich wiederum Schutzfolien herstellen. Weil jedoch der Aufwand für das Sammeln relativ groß ist, die Sammellogistik noch kaum funktioniert und keine finanziellen Anreize bestehen, werden PE und PP-Folien kaum rezykliert, sondern weitgehend thermisch verwertet. (Wecobis 2014g, 2014i)

d) Polystyrol

Die stoffliche Verwertung von Polystyrol durch Einschmelzen/Umschmelzen ist technisch möglich. Polystyrol-Produkte sind dafür grundsätzlich gut geeignet, da sich die Eigenschaften des Materials auch nach mehrmaliger Verarbeitung wenig verändern. So lassen sich beispielsweise alle EPS-Dämmstoffplatten oder Verpackungen aus EPS zu neuen Dämmplatten verarbeiten. Die Qualitätseinbußen durch Fremdstoffe sind relativ gering und die Energieeinsparung beträgt deutlich mehr als 80 %. EPS-Dämmplatten können auch von Laien leicht erkannt und daher auf der Baustelle getrennt gesammelt werden, was bei allen anderen Anwendungen von Polystyrol nicht möglich ist. Von ca. 200.000 t Polystyrol, die jährlich über die Baustoffindustrie in Verkehr gebracht werden, werden allerdings jährlich nur ca. 5 % (incl. Produktionsabfällen) recycelt, da eine entsprechende Sammel- und Rückführungslogistik für Polystyrol aus Bau- und Abbruchabfällen derzeit nicht gegeben ist. XPS-Dämmplatten werden nur an wenigen Orten in Europa zentral produziert. Eine Rückführungslogistik der leichten Platten wäre zudem unverhältnismäßig aufwendig. (Wecobis 2014j)

e) Elastomer

Eine stoffliche Verwertung der Elastomere erfolgt z. Zt. nur zur Substitution von Füllstoffen in neuen Produkten. Gummimehl aus Altreifen wird als Füllstoff in neuen Bodenbelägen eingesetzt. Dieses sogenannte Downcycling ist ökologisch von geringerem Wert, weil dadurch Neukautschuk nicht ersetzt werden kann. Gerade wegen der beträchtlichen Abfallmenge von Altreifen ist eine Erweiterung der Verwertungsangebote z. B. aus dem Baugewerbe sehr von Nöten. Aufgrund der schallschluckenden Eigenschaften von geschreddertem Gummi ist dieses sehr gut als Unterlage für schwimmenden Estrich geeignet. (Wecobis 2014e)

2.1.9 Resümee Recyclingquoten

Stahlschrott wird zu 80 % recycelt. Der Recyclinganteil in Stahlerzeugnissen beträgt allerdings nur 46 %. Weißblech wird zu 93 % wiederverwertet, eine Angabe über den durchschnittlichen Anteil von Recyclingmaterial im Neuprodukt wird bei Wecobis, dem ökologischen Baustoffinformationssystem des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, nicht angegeben. Der Zuschlag im Beton kann zu 100 % wieder genutzt werden, nicht jedoch das Wasser und der Zement. Der Recyclinganteil im neuen Produkt beträgt maximal 27 % der Masse. Basisglas und Glasbehälter werden zu 75 % recycelt. Flachglas hingegen wird praktisch nicht wiederverwertet, es ist nur möglich Produktionsabfälle dem Prozess wieder zu zuführen. Aluminiumabfall wird zu 90 % recycelt. Dabei werden die im Bauwesen benötigten Bleche praktisch nicht aus Rezyklat hergestellt. Mit dem Rezyklat werden Aluminiumussteile hergestellt. Kupferabfall wird bis zu 40 % in ein Neuprodukt zurückgeführt. Ziegel werden praktisch nicht recycelt, jedoch sind technisch maximal 10-20 % möglich. Holz wird zu einem kleinen Teil direkt wiederverwendet, ansonsten eher in minderwertiger Qualität zur Herstellung von Holzprodukten eingesetzt.

Bei Kunststoffen ist die Recyclingfähigkeit abhängig von ihrer Art: nur bei thermoplastischen Kunststoffen ist ein Recycling möglich. PVC-Abfälle werden zu 54 % stofflich verwertet und der Recyclinganteil im Neuprodukt kann bis zu 50 % betragen. Für Polyolefine Bodenbeläge besteht aus Gründen der Wirtschaftlichkeit kein Recycling. PE und PP werden kaum recycelt und PS nur zu 5 %.

Tabelle 2 Vergleich des Anteils der stofflichen Verwertung und des Anteils im Neuprodukt von Baumaterialien

Material	Stoffliche Verw. in % des Abfalls	Produktanteil in % der Masse	Downcycling (dc)	* Bemerkung
Stahl	80* (100)	46-48		Verfügbarkeit und Preis
Weißblech	93	-		
Kupfer	-	40*		einschl. Neuschrott
Beton	dc	27	Straßenunterbau	nur Zuschlag
Ziegel	schwierig	10 - 20		nur sortenreine Abfälle
Behälterglas	75%	-		
Flachglas	dc	kaum	Glassteine, Schaumglas	
Aluminium	>90	*		kaum möglich wegen geforderter Reinheit
Holz	dc	0	Spann- und Faserplatten	Wiederverwendung gering, Downcycling
<i>Kunststoffe</i>				
Polyvinylchlorid	54*	50		bei Fenstern und Rollläden
Polyethylen	-	-		Eigenschaftsmischung -> Minderwert
Polypropylen	-	-		Eigenschaftsmischung -> Minderwert
Polystyrol	5	-		theoretisch sehr hoch, praktisch kaum
Elastomere	dc	0	Sportplatz Belag	
Duroplaste	dc	-		nur als Zuschlag

Nahezu alle der hier beschriebenen Baumaterialien haben geringe Recyclingquoten und -anteile. Teilweise ist eine minderwertige Verwendung in einem Bauteil möglich. Nicht nur bei den untersuchten thermoplastischen Kunststoffen ist derzeit das Recycling durch die Vermischung der unterschiedlichen (Kunststoff-) Quellen und ihrer spezifischen Eigenschaften nicht möglich. Auch bei allen anderen Stoffen treten diese oder ähnliche Probleme mit denselben Auswirkungen auf. Selbst bei hoher Recyclingquote ist der Anteil des substituierten Materials im neuen Produkt meist gering, so zum Beispiel bei Stahl und Beton. Produkte aus Materialien, welche aus irreversiblen chemischen Prozessen resultieren, können nicht rezykliert werden. Dies gilt für Betone, Holz und für Faserverbundstoffe wie Duroplaste. Bestenfalls besteht die Möglichkeit des Downcyclings, dabei lassen sich jedoch nur die Zuschlagsstoffe zurückgewinnen, s.o. Elektrodynamische Fragmentierung.

Nach einem generellen Blick auf die häufigsten Baumaterialien und deren Recyclingquoten, wird im Folgenden das gesamte Abfallaufkommen Deutschlands kurz erläutert, um einen Einblick auf die unterschiedlichen Stoffmengen und Quellen zu geben. Reststoffe fallen in unterschiedlichen Branchen und Lebensabschnitten eines Produkts an, dementsprechend unterschiedlich sind auch die qualitativen

Zustände und quantitativen Anteile der Abfälle. Die Art und Herkunft der Abfälle wird in der Abfallbilanz 2013 des Statistischen Bundesamtes, Statistisches Jahrbuch 2015 ohne Sekundärabfälle d.h. Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen angegeben:

Tabelle 3 Abfallbilanz 2013 des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Jahrbuch Deutschland 2015)

Abfallaufkommen	in kt
Insgesamt	385729
Sekundärabfälle aus Abfallbehandlungsanlagen	47052
Insgesamt ohne Sekundärabfälle	338677
Siedlungsabfälle	49570
Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen	29250
Übrige Abfälle insbesondere aus Produktion und Gewerbe	57577
Bau- und Abbruchabfälle	202735
<i>Boden, Steine und Baggergut</i>	<i>115509</i>
<i>Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik</i>	<i>52203</i>
<i>Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte</i>	<i>18277</i>
<i>Übrige Bau-und Abbruchabfälle</i>	<i>16746</i>

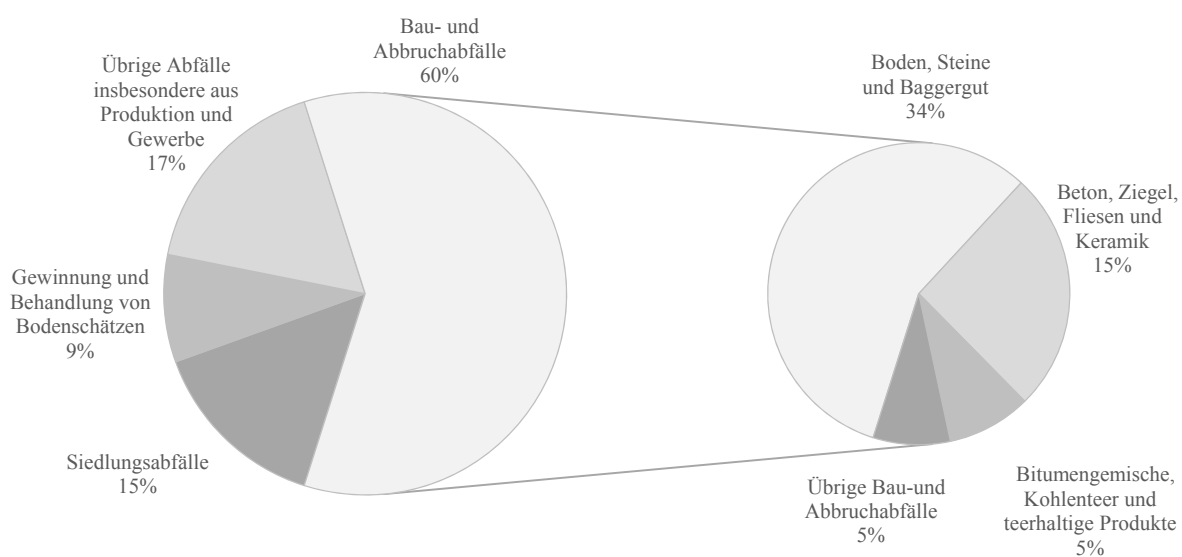


Abbildung 9 Abfallaufkommen 2013 nach Abfallarten ohne Sekundärabfälle
(Statistisches Jahrbuch Deutschland 2015, S. 443)

Den größten Anteil am Abfallaufkommen in Deutschland haben im Jahr 2013 die Bau- und Abbruchabfälle mit 60 %. Diese Fraktion setzt sich fast vollständig aus inerten Stoffen zusammen. Der Anteil der übrigen Bau- und Abbruchabfälle, zu dem auch Kunststoffabfälle gehören, entspricht nur 5 % des gesamten Abfallaufkommens.

2.2 Input – Primärkunststoffe und Kunststoffproduktion

Bevor im Kapitel 2.3 Output – Kunststoffabfälle die Kunststoffabfälle näher betrachtet werden, wird in diesem Kapitel aufgezeigt, welche Kunststoffe in Deutschland produziert und verarbeitet werden, wie hoch deren Produktionsmengen sind und in welchen Branchen sie eingesetzt werden.

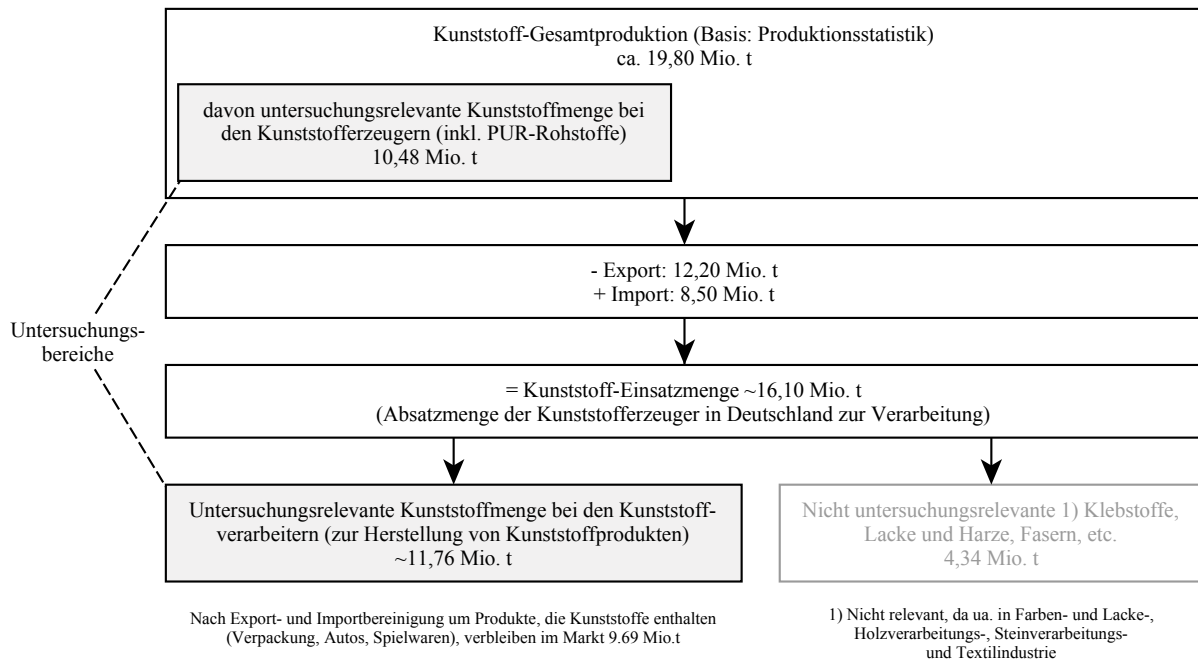


Abbildung 10 Produktions- und Verarbeitungsmenge von 2013 (Consultic 2014, S. 3)

Laut der Studie: „Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland“ der Firma Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH beträgt im Jahr 2013 die Kunststoff-Gesamtproduktion auf Basis der Produktionsstatistik der Hersteller ca. 19,80 Mio. t. Diese Menge beinhaltet auch nicht untersuchungsrelevante Klebstoffe, Lacke und Harze, Faser, etc. Zum Vergleich beträgt im selben Jahr die Rohstahlerzeugung in Deutschland 42,645 Mio. t (Wikipedia Stahlindustrie) dies entspricht mehr als der doppelten Menge der Kunststoffproduktion.

Die untersuchungsrelevante Kunststoffmenge (inkl. PUR-Rohstoffen) bei den Kunststoffherzeugern beträgt laut Studie 10,48 Mio. t. Nach Export und Import beträgt die Kunststoff-Einsatzmenge ~16,10 Mio. t dies entspricht der Absatzmenge der Kunststoffherzeuger in Deutschland zur Verarbeitung. Diese Menge teilt sich dabei in eine nicht untersuchungsrelevante Fraktion (u.a. in Farben- und Lacke-, Holzverarbeitungs-, Steinverarbeitungs- und Textilindustrie verwendete Klebstoffe, Lacke und Harze, Fasern, etc.) mit 4,34 Mio. t und eine weitere untersuchungsrelevante Fraktion. Diese Kunststoffmenge bei den Kunststoffverarbeitern zur Herstellung von Kunststoffprodukten beträgt demnach ~11,76 Mio. t.

In Deutschland wurden im Jahr 2013 pro Kopf (Bevölkerung 80,625 Mio.) (Statistische Ämter des Bundes und der Länder) ca. 245,6 kg Kunststoffe pro Person produziert und ca. 145,9 kg Kunststoffe pro Person verarbeitet.

2.2.1 Produktionsmengen nach Kunststoffarten

Die Gesamtproduktionsmenge von Kunststoffen im Jahr 2013 in Deutschland betrug ~10,48 Mio. Tonnen. Im Vergleich zum Jahr 2011 ging die Gesamtmenge mit einer kumulierten jährlichen Wachstumsrate von -0,7 % leicht zurück. Den größten Anteil an den produzierten thermoplastischen Kunststoffen, nach Abzug der sonstigen Kunststoffe (Duroplaste, Elastomere, Sonstige), haben die Polyolefine (PE-LD, -LLD, -HD, -MD und PP) mit 49,38 %. (Consultic 2014, S. 4)

$$\frac{1.510 \text{ kt} + 1.225 \text{ kt} + 1.875 \text{ kt}}{10.480 \text{ kt} - 1.145 \text{ kt}} 100 = 49,38\%$$

Polyolefine lassen sich leicht verarbeiten, sind verhältnismäßig günstig herzustellen und haben durch ihre Eigenschaften ein vielseitiges Spektrum an Einsatzmöglichkeiten.

Im Jahr 2013 wurden in Deutschland pro Person ca. 57,178 kg (4610 kt / 80,8625 Mio. Einwohner) Polyolefine produziert.

Tabelle 4 Produktionsmengen nach Kunststoffarten in Deutschland 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 4)

Kunststoffarten	Produktionsmenge in kt		Veränderungen ggü. 2011	
	2013	2011	Nominal	CAGR
PE-LD/LLD	1.510	1.470	2,7%	1,4%
PE-HD/MD	1.225	1.260	-2,8%	-1,4%
PP	1.875	1.815	3,3%	1,6%
PS	335	335	0,0%	0,0%
PS-E	480	485	-1,0%	-0,5%
PVC	1.835	1.910	-3,9%	-2,0%
PA	605	650	-6,9%	-3,5%
Sonst. Thermoplaste ¹⁾	1.470	1.475	-0,3%	-0,2%
Sonstige Kunststoffe	1.145	1.220	-6,1%	-3,1%
Gesamt	10.480	10.620	-1,3%	-0,7%

¹⁾ u.a. PET, ABS, ASA, SAN, PMMA, PC, POM, etc.

CAGR = compound annual growth rate, kumulierte jährliche Wachstumsrate

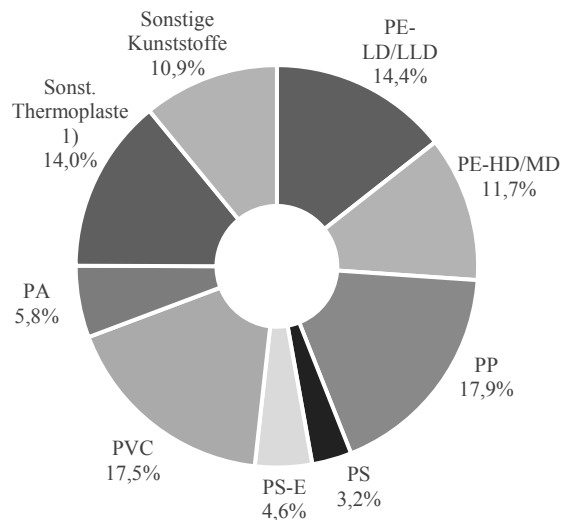


Abbildung 11 Anteil an der Verarbeitungsmenge 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 4)

2.2.2 Kunststoffverarbeitung nach Kunststoffarten

Tabelle 5 Kunststoffverarbeitung nach Kunststoffarten (vgl. Consultic 2014, S. 6)

Kunststoffarten	Verarbeitung in kt		Veränderungen ggü. 2011	
	2013	2011	Nominal	CAGR
PE-LD/LLD	1.715	1.720	-0,3%	-0,1%
PE-HD/MD	1.505	1.500	0,3%	0,3%
PP	1.985	2.030	-2,2%	-1,1%
PS	345	385	-10,4%	-5,3%
PS-E	315	315	0,0%	0,0%
PVC	1.560	1.610	-3,1%	-1,6%
ABS, ASA, SAN	310	260	5,1%	2,5%
PMMA	65	75	0,0%	0,0%
PA	285	345	-4,3%	-2,2%
PET	620	445	5,0%	2,5%
Sonst. Thermoplaste	460	460	0,0%	0,0%
PUR	760	750	1,3%	0,7%
Sonstige Kunststoffe	1.830	1.965	-0,6%	-0,3%
Gesamt	11.755	11.860	-0,9%	-0,4%

Bei der Kunststoffverarbeitung in Deutschland im Jahr 2013 beträgt, nach Abzug der sonstigen Kunststoffe (Duroplaste, Elastomere, sonstige), der Anteil der Polyolefine PE (PE-LD, -LLD, -HD, -MD und PP) 57,41 % an den verarbeiteten thermoplastischen Kunststoffen.

$$\frac{1.715 \text{ kt} + 1.505 \text{ kt} + 1.985 \text{ kt}}{11.755 \text{ kt} - 1.830 \text{ kt} - 760 \text{ kt}} 100 = 57,41$$

Durch einen größeren Anteil an Importen gegenüber den Exporten steigt die Gesamtmenge an Verarbeiteten Polyolefinen gegenüber den produzierten nochmals.

Im Jahr 2013 wurden in Deutschland pro Person ca. 64,558 kg (5205 kt / 80,625 Mio.) Polyolefine verarbeitet.

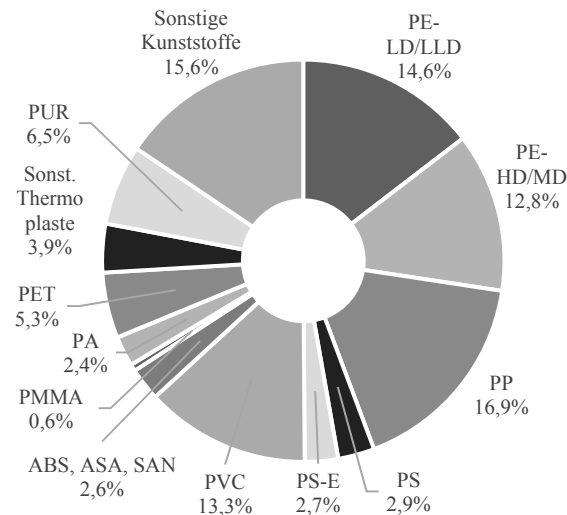


Abbildung 12 Anteil an der Verarbeitungsmenge 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 6)

2.2.3 Kunststoffverarbeitung nach Branchen

Die meisten Kunststoffe werden im Jahr 2013 in den Branchen Verpackung 35,0 % (4.115 kt = 51,039 kg/p. P.) und Bau 23,5 % (2.760 kt = 34,233 kg/p. P.) verarbeitet.

Tabelle 6 Kunststoffverarbeitung nach Branchen 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 5)

Branche	Verarbeitung in kt		Veränderungen ggü. 2011	
	2013	2011	Nominal	CAGR
Verpackung	4.115	4.190	-1,8%	-0,9%
Bau	2.760	2.780	-0,7%	-0,4%
Fahrzeuge	1.180	1.170	0,9%	0,4%
Elektro / Elektronik	705	730	-3,4%	-1,7%
Haushaltswaren	345	350	-1,4%	-0,7%
Möbel	455	450	1,1%	0,6%
Landwirtschaft	370	370	0,0%	0,0%
Medizin	270	260	3,8%	1,9%
Sonstiges	1.555	1.640	-0,3%	-0,2%
Gesamt	11.755	11.860	-0,9%	-0,4%

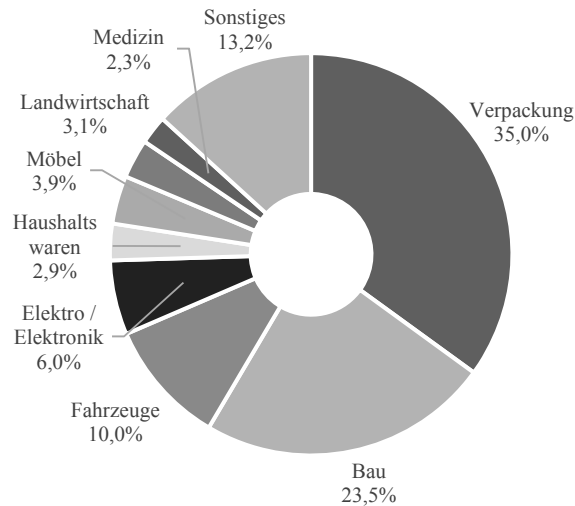


Abbildung 13 Anteil an der Verarbeitungsmenge nach Branchen 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 5)

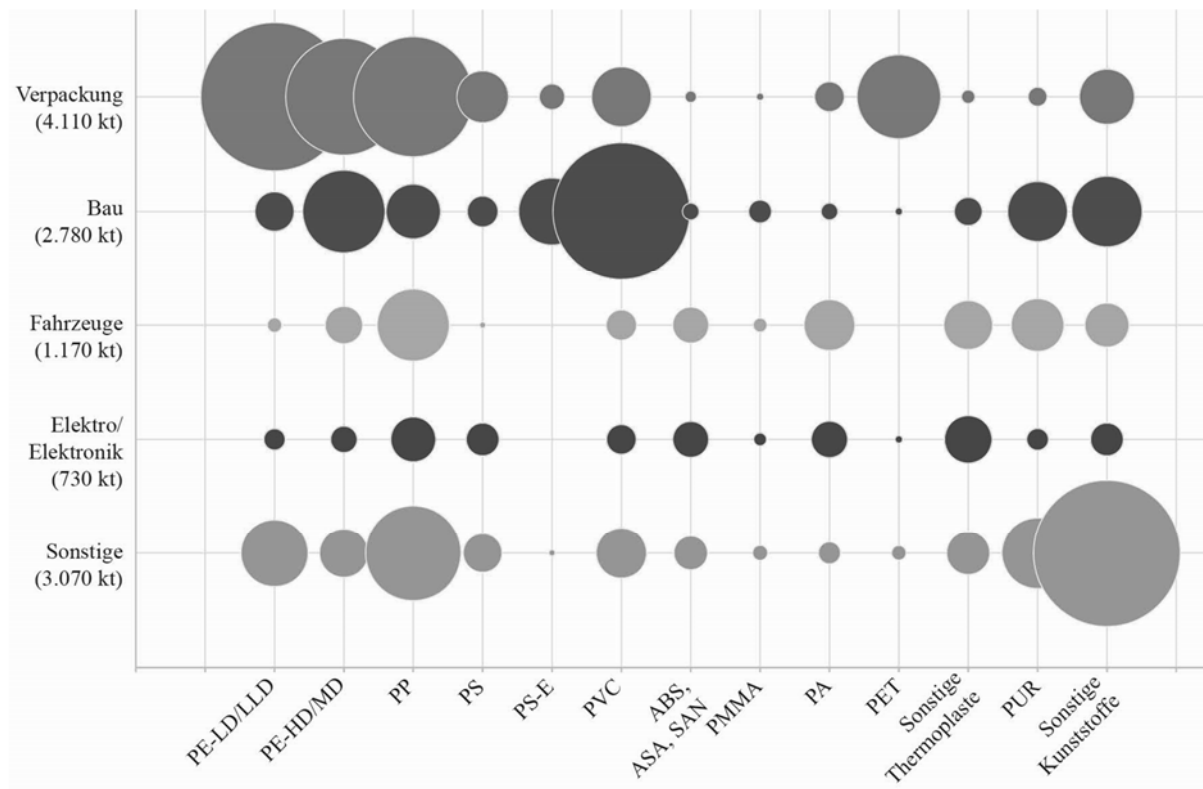


Abbildung 14 Verhältnisse der Mengen nach Kunststoffarten und Branchen in Deutschland 2011 (vgl. Consultic 2012, S. 7)

Den größten Anteil an verarbeiteten Kunststoffen im Jahr 2011 in Deutschland haben die Polyolefine PE und PP in der Verpackungsindustrie, mit $(1307 \text{ kt} + 813 \text{ kt} + 859 \text{ kt}) / 4110 \text{ kt})$ 72,5 %.

In Bezug auf die Gesamtmenge der verarbeiteten Kunststoffe entspricht dies 25,1 %.

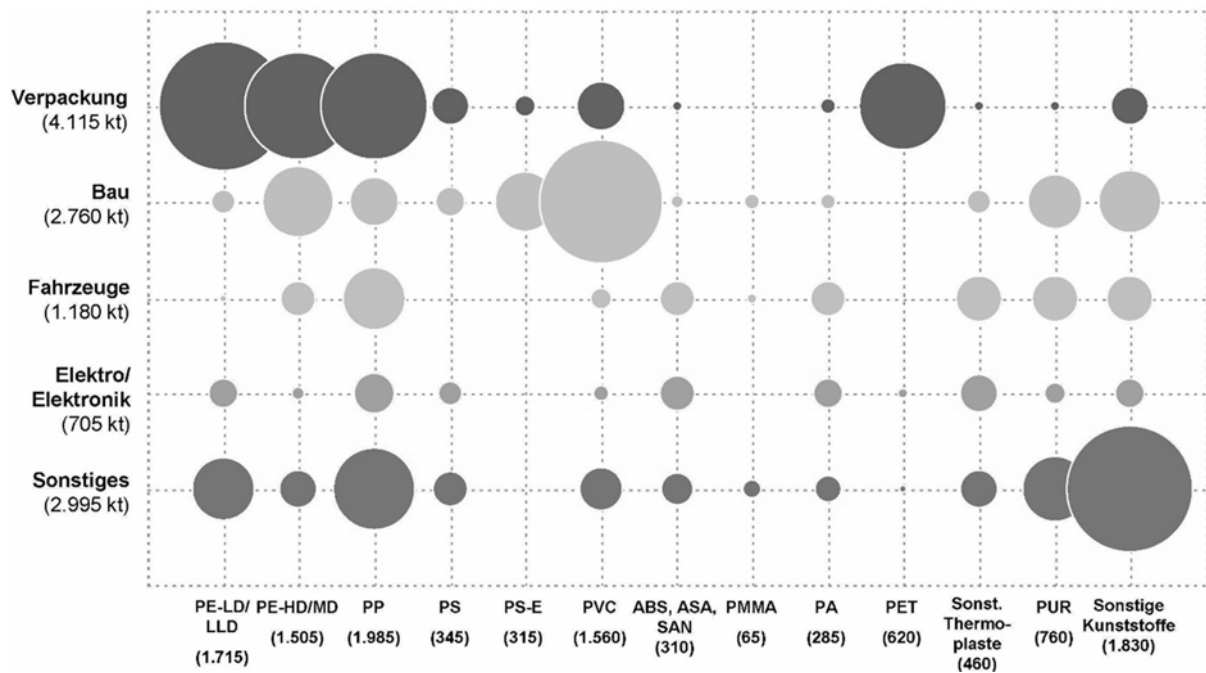


Abbildung 15 Vergleich der verarbeiteten Mengen nach Kunststoffarten und Branchen in Deutschland 2013
(Consultic 2014, S. 7)

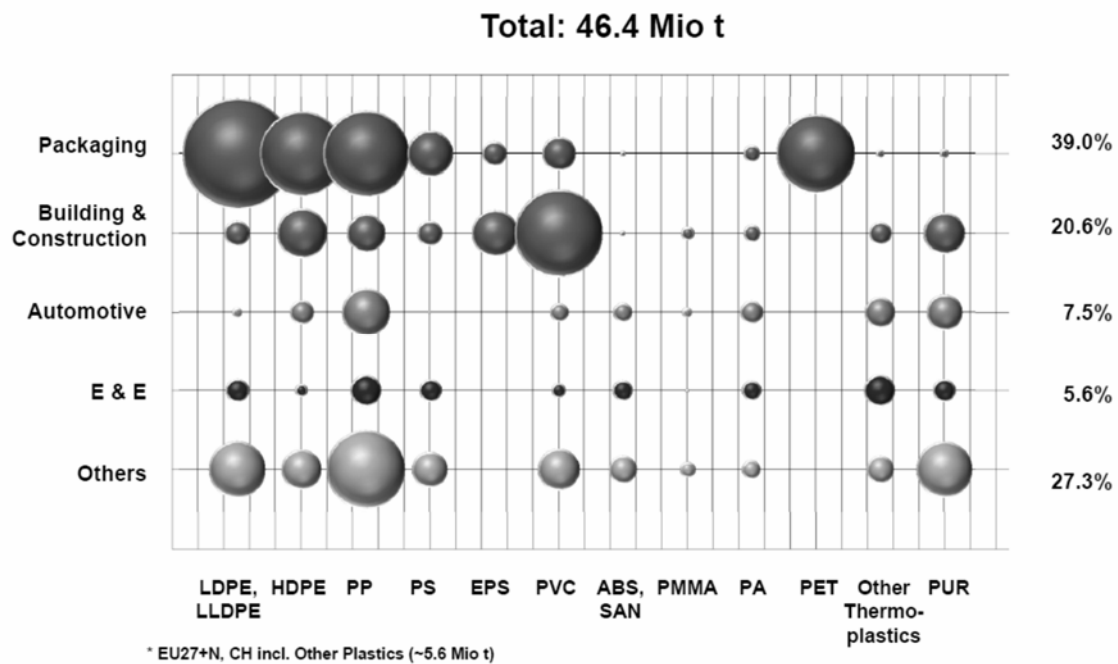


Abbildung 16 Vergleich der verarbeiteten Mengen nach Kunststoffarten und Branchen in Europa 2010
(Claus-Jürgen Simon 2012)

In der Abbildung 16 ist zu sehen, dass die meisten Verpackungskunststoffe aus Polyolefinen bestehen. Der Anteil der Menge der verwendeten polyolefinen Kunststoffe in der Verpackungsbranche (12.657,1 kt) beträgt 71,74 % im Jahr 2010. Im Gegensatz dazu liegt der größte Anteil im Bauwesen beim PVC (43,19 %). Die Polyolefine entsprechen hier nur einem Anteil von 25,81 % (2.203,6 kt).

Für Produkte aus PVC besteht bereits eine fortgeschrittene Entsorgungslogistik. Fußböden und Fensterrahmen werden bereits heute zu verhältnismäßig hohen Anteilen recycelt.

Der Anteil der Polyolefine (LDPE, LLDPE, HDPE, PP) aus der Verpackungsindustrie (12.657,1 kt), beträgt am Gesamtbedarf Europas (40.735,7 kt) mehr als 31 %. Somit sind dies die größten Fraktionen verträglicher (bedingt mischbarer) Kunststoffe innerhalb einer Branche. (Claus-Jürgen Simon 2012)

2.2.3 Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten

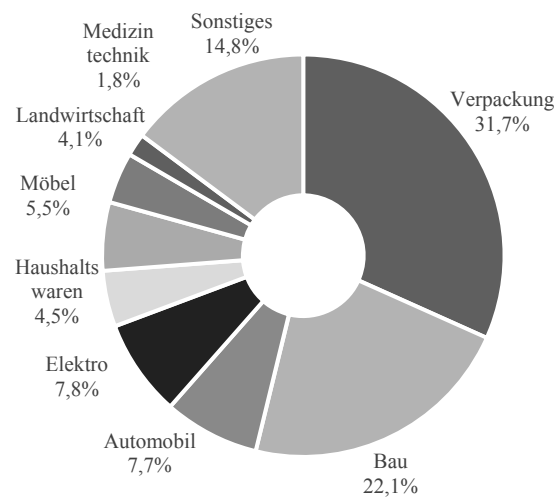


Abbildung 17 Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten in Deutschland (vgl. Consultic 2014, S. 9)

Die Anwendungsgebiete mit dem prozentual größten Anteil am Kunststoffverbrauch in Deutschland im Jahr 2013 sind die Verpackungsbranche mit 31,7 % und die Baubranche mit 22,1 %. Mehr als die Hälfte aller Kunststoffe werden in der Verpackungs- und Baubranche benötigt.

2.2.4 Anteil von Kunststoffarten am europäischen Bedarf

In Europa beträgt im Jahr 2014 der Gesamtbedarf an Kunststoffen 47,8 Mt. Fast die Hälfte davon ist PE und PP.

Tabelle 7 Kunststoffbedarf in Europa (vgl. Consultic 2015, S. 13)

Kunststoff- arten	Bedarf	
	%	MT
PE-LD/LLD	17,2%	8,222
PE-HD	12,1%	5,784
PP	19,2%	9,178
PVC	10,3%	4,923
PS, EPS	7,0%	3,346
PET	7,0%	3,346
PUR	7,5%	3,585
Andere	19,7%	9,417

2.2.5 Resümee Input

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Polyolefine den größten Anteil an den produzierten und verarbeiteten Kunststoffen haben. Nicht nur in Deutschland, sondern sogar europaweit werden die meisten Kunststoffe in der Verpackungs- und Baubranche eingesetzt. In Folge dessen sollten Rezyklatkunststoffe als Substitution in solchen Bereichen eingesetzt werden, wo bereits ein großer Bedarf und dadurch ein ebenso großes Potential besteht.

Für einen Einsatz im Bereich der Verpackungen eignen sich die rezyklierten Kunststoffe nur bedingt. An Verpackungsmaterialien werden nicht nur technisch hohe Anforderungen gestellt, der Einsatz unterliegt auch strengen gesetzlichen Vorgaben. Eine dementsprechende Aufbereitung ist zurzeit mit den meisten Materialien nicht ökonomisch durchzuführen. Eine Ausnahme stellt mittlerweile das Recycling von PET aus Getränkeverpackungen dar. Hier wird das Recycling dadurch begünstigt, dass die Abfälle ausschließlich sortenrein gesammelt werden.

Materialien und Gegenstände, die teilweise oder vollständig aus recyceltem Kunststoff hergestellt sind und mit Lebensmitteln in Berührung kommen, sollten nur über Verfahren gewonnen werden, die von der EFSA einer Sicherheitsbewertung unterzogen und von der Europäischen Kommission zugelassen wurden. Verordnung (EG) Nr. 282/2008 legt Regelungen für die Zulassung von Verfahren zur Wiederverwertung solcher Materialien fest. (efsa European Food Safety Authority)

2.3 Output – Kunststoffabfälle

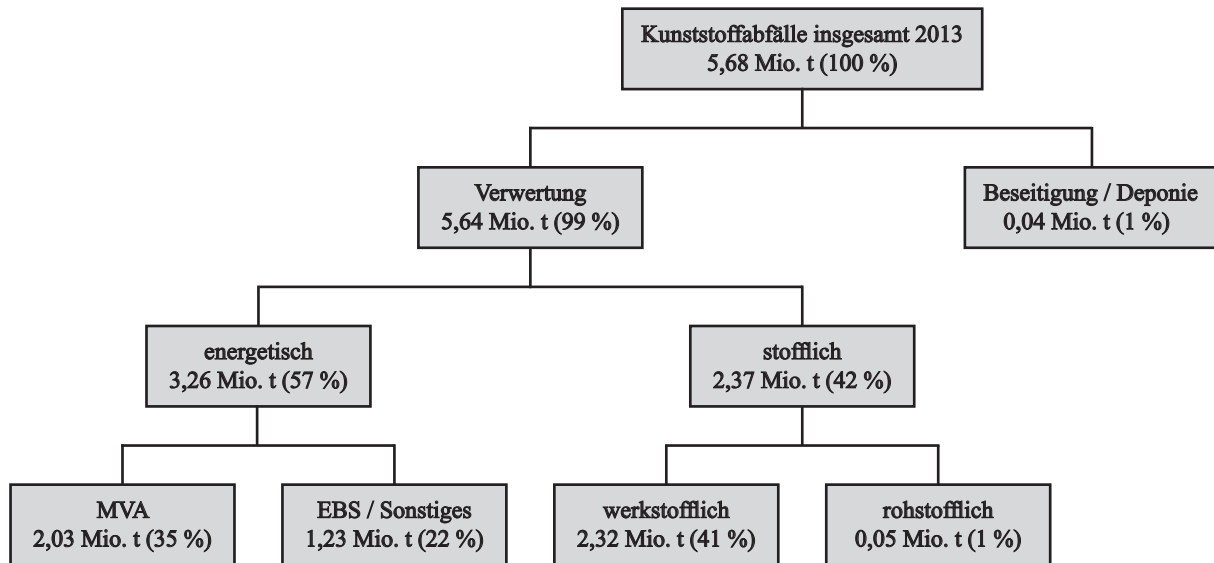


Abbildung 18 Kunststoffabfälle nach Mengen und Verwertungsart (vgl. Consultic 2014, S. 13)

Von den ermittelten rund 5,68 Mio. t Kunststoffabfällen in Deutschland im Jahr 2013 wurden rund 41 % einer werkstofflichen, 57 % einer energetischen sowie 1 % einer rohstofflichen Verwertung zugeführt. Weniger als 1 % der Abfälle wurde deponiert. Die energetische Verwertung hat dabei im Vergleich zu 2011 um ein Prozentpunkt zugenommen.

Bei der energetischen Verwertung nimmt, wie in 2011, mittlerweile der Einsatz von Kunststoffabfällen als Ersatzbrennstoff einen bedeutenden Raum ein (~22 % bezogen auf den Gesamtkunststoffabfall). (Consultic 2014, S. 13)

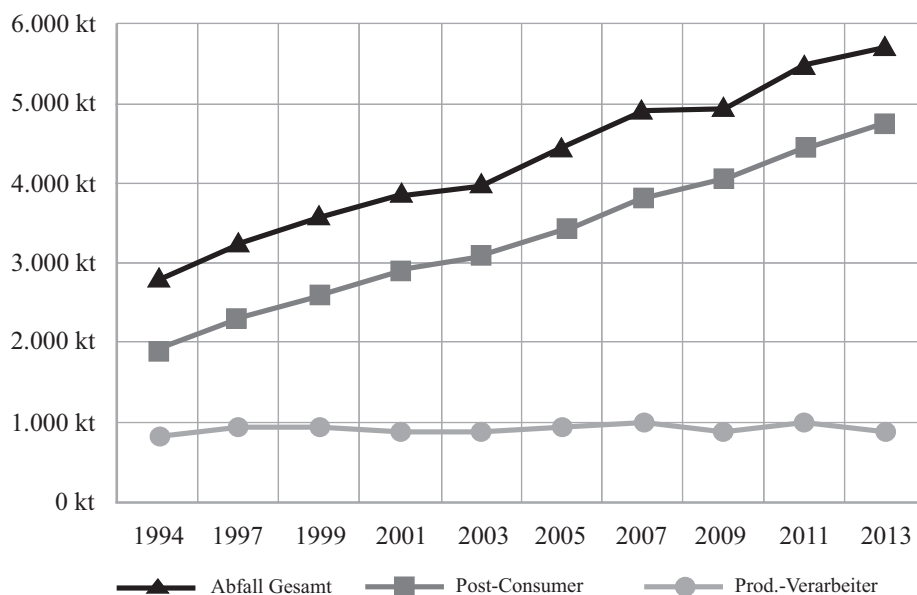


Abbildung 19 Entwicklung der Kunststoffabfallmenge (vgl. Consultic 2014, S. 14)

Im Zeitraum von 1994 bis 2013 stieg die Kunststoffabfallmenge von 2,80 Mio. t auf ca. 5,68 Mio. t. Dies bedeutet einen Zuwachs um ca. 4 % p. a. beziehungsweise rund 2,88 Mio. t im genannten Zeitraum. Die Steigerung ist dabei fast ausschließlich auf den Anstieg im Post-Consumer-Bereich zurückzuführen. Hier schwoll die Abfallmenge von 1,95 Mio. t auf rund 4,75 Mio. t an, mit einem jährlichen Anstieg von ca. 4,8 %.

Die Abfälle im Bereich der Produktion und Verarbeitung stiegen trotz deutlich gesteigener Produktions- und Verarbeitungsmengen aufgrund verbesserter Produktions- und Verarbeitungsprozesse hingegen nur geringfügig (1994: 850 kt / 2013: 932 kt). Dies lässt sich auf Effizienzsteigerungen im kunststoffverarbeitenden Gewerbe zurückzuführen. (vgl. Consultic 2014, S. 14)

2.3.1 Kunststoffabfälle in Deutschland

Im Jahr 2013 fielen in Deutschland nahezu 5,68 Mio. t Kunststoffabfälle an. Etwa 83,6 % dieser Abfälle entstanden nach dem Gebrauch der Kunststoffe. Die restlichen 16,4 % fielen bei der Herstellung und vor allem bei der Verarbeitung von Kunststoffen an. Die zwei mengenmäßig wichtigsten Kunststoffe dominieren auch den Kunststoffabfall: Von der Gesamtabfallmenge entfielen 38,7 % oder 2,2 Mio. t auf Polyethylen (PE) und 16,9 % oder 0,96 Mio. t auf Polypropylen (PP). (Umweltbundesamt 2015)

Der Anteil der Polyolefine PE und PP im Kunststoffmüll in Deutschland im Jahr 2013 beträgt somit 3,16 Mio. t oder 55,6 %.

2.3.2 Anteile von Kunststoffabfällen nach Kunststoffarten in Europa

Im Jahr 2010 betrugen die Gesamtmenge der Kunststoffabfälle nach Kunststoffarten in Europa (EU27+2) 24,713 Millionen Tonnen. Die drei mengenmäßig größten Anteile entfallen auf folgende Kunststoffe, PE-LD, -LLD 6,897 Mio. t oder 27,9 %, PE-HD, -MD 3,461 Mio. t oder 14 % und PP 4,317 Mio. t oder 17,5 %. (Consultic 2011, S. 16)

Insgesamt umfasst der Anteil der Polyolefine am Kunststoffabfall in Europa $(6,897 \text{ Mio. t} + 3,461 \text{ Mio. t} + 4,317 \text{ Mio. t}) / 24,713 \text{ Mio. t} \times 100 = 59,4 \%$.

2.3.3 Kunststoff Post-Consumer-Abfälle nach Branchen

Tabelle 8 Post-Consumer-Abfälle nach Branchen in Deutschland 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 11)

Branche	Post-Consumer-Abfälle in kt		Veränderungen ggü. 2011	
	2013	2011	Nominal	CAGR
Verpackung	2.870	2.692	6,6%	3,3%
Bau	436	372	17,2%	8,3%
Fahrzeuge	205	213	-3,8%	-1,9%
Elektro / Elektronik	262	241	8,7%	4,3%
Haushaltswaren	140	129	8,5%	4,2%
Landwirtschaft	248	242	2,5%	1,2%
Sonstiges	586	549	6,7%	3,3%
Gesamt	4.747	4.438	7,0%	3,4%

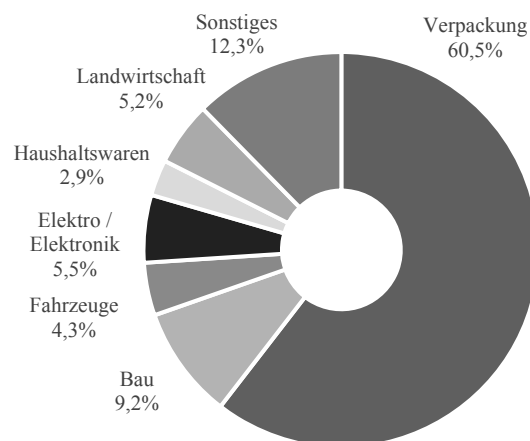


Abbildung 20 Post-Consumer-Abfälle nach Branchen in Deutschland 2013 (vgl. Consultic 2014, S. 11)

„In fast allen Einsatzfeldern wurden im Jahr 2013 höhere Kunststoff Post-Consumer-Abfallmengen verzeichnet als im Jahr 2011. Die anteilmäßig stärksten Mengensteigerungen wurden mit +17 % im Baubereich verzeichnet. Dies resultiert aus zunehmenden Bautätigkeiten in Deutschland. Dies hat Einfluss auf das Mengenaufkommen von Baustellenabfällen, aber auch den Rückfluss von langlebigen Kunststoffprodukten (z.B. Fenster, Rohre, Fußböden), die im Rahmen von Sanierungen ersetzt werden.“ (Consultic 2014, S. 11)

Im Jahr 2013 haben die Abfälle aus dem Bereich Verpackung den größten Anteil mit 60,5 %. Der Anteil der Abfälle aus der Baubranche beläuft sich hingegen nur auf 9,2 %. Die jährliche Wachstumsrate der Kunststoff Post-Consumer Abfällen beträgt von 2011 bis 2013 3,4 %.

2.3.4 Kunststoffabfälle aus der Baubranche

Der Anteil der Kunststoffabfälle in der Bauindustrie in Europa beläuft sich auf 1,365 Mt. Dies entspricht im Jahr 2010 einem Anteil von 5,52 % ($1,365 \text{ Mt.} / 24,713 \text{ Mt.} \cdot 100$) an der Gesamt Kunststoffabfallmenge in Europa EU 27+2. (Consultic 2011, S. 2)

a) B&C Plastic Waste by Building and Construction applications in EU 27+2 (2010).

Fast zwei Drittel des Kunststoffabfalls der Bauindustrie in EU 27+2 stammen mit annähernd gleichen Teilen von den Anwendungen: Rohre und Kanäle (20,5 %), Fußböden und Wandbekleidungen (19,0 %) und Wärmedämmung (22,7 %).

Application	Quantity (kt)	Share (%)
Pipes and ducts	280	20,5%
Windows	95	7,0%
Other profiles	135	9,9%
Flooring and Wallcovering	260	19,0%
Insulation	310	22,7%
Lining	120	8,8%
Others	165	12,1%
Total	1.365	100,0%

Abbildung 21 B&C Plastic Waste by Building & Construction applications in EU27+2 (2010)
(vgl. Consultic 2011, S. 2)

b) B&C Plastic Waste by Polymer Types in EU 27+2 (2010)

Die Kunststoffart mit dem größten Anteil am Abfall der Bauindustrie in EU 27+2 ist mit Abstand PVC mit 44,7 %. Die Polyolefine PE-LD und PE-LLD (2,9 %), PE-HD und PE-MD (10,3 %), PP (5,1 %) und PS und EPS (12,8 %) haben dagegen nur geringe Anteile, liegen aber insgesamt dennoch bei fast einem Drittel (31,1 %) der angefallenen Kunststoffabfallmenge.

Polymer Type	Quantity (kt)	Share (%)
PE-LD, -LLD	40	2,9%
PE-HD, -MD	140	10,3%
PP	70	5,1%
PS, EPS	175	12,8%
PVC	610	44,7%
PET	0	0,0%
ABS, ASA, SAN	10	0,7%
PMMA	25	1,8%
PA	15	1,1%
PCS	18	1,3%
Other Eng.	10	0,7%
PUR	120	8,8%
Other Plastics	132	9,7%
Total	1.365	100,0%

Abbildung 22 B&C Plastic Waste by Polymer Types in EU27+2 (2010) (vgl. Consultic 2011, S. 7)

c) B&C Plastic Waste by Polymer Types in Germany (2010)

In Deutschland teilen sich die Arten der Kunststoffe im Abfall der Bauindustrie in ähnliche Proportionen wie im europäischen Vergleich. Annähernd die Hälfte (49,8 %) ist aus PVC. Die Polyolefine PE-LD und PE-LLD (2,7 %), PE-HD und PE-MD (9,4 %), PP (5,0 %) und PS und EPS (12,9 %) haben insgesamt einen Anteil von 30 %.

Polymer Type	Quantity (kt)	Share (%)
PE-LD, -LLD	9,6	2,7%
PE-HD, -MD	33,3	9,4%
PP	17,8	5,0%
PS, EPS	45,8	12,9%
PVC	176,8	49,8%
PET	0,0	0,0%
ABS, ASA, SAN	2,9	0,8%
PMMA	5,7	1,6%
PA	3,6	1,0%
PCS	4,0	1,1%
Other Eng.	1,4	0,4%
PUR	26,6	7,5%
Other Plastics	27,7	7,8%
Total	355,0	100,0%

Abbildung 23 B&C Plastic Waste by Polymer Types in Germany (2010) (vgl. Consultic 2011, S. 10)

2.3.5 Verwertung von Kunststoff Post-Consumer Abfällen je Branche

Etwa 75,5 % des Recyclings gebrauchter Produkte basiert in Deutschland auf der Verwertung von Verpackungen. Mit jeweils ca. 7,5 % folgen Bauprodukte, z.B. Fenster und Rohre sowie mit 6,0 % Folien und andere Produkte aus Anwendungen im Bereich der Landwirtschaft. Wesentliche Basis des werkstofflichen Recyclings von Verpackungen sind haushaltsnahe Verpackungen im Recht der Aktivitäten der Dualen Systeme, das Recycling von PET-Flaschen sowie von Folien aus den Bereichen Transport und Industrie.

Tabelle 9 Post Consumer Kunststoffabfälle nach Branchen und deren Verwertung (vgl. Consultic 2014, S. 12)

Einsatzfelder 2013	Abfallaufkommen			Verwertung in kt				Beseitigung in kt	
	in kt	in kg per capita	in %	Total	Werkstofflich	Rohstofflich	Energetisch	Deponie	MVA ohne Energiegew.
Verpackung	2.870	36	60,46%	2.867	1.130	50	1.687	3	0
Bau	436	5	9,18%	424	112	0	312	12	0
Fahrzeuge	205	3	4,32%	199	67	0	132	6	0
Elektro/Elektronik	262	3	5,52%	258	25	0	233	4	0
Haushaltswaren, Sport, Spiel	140	2	2,95%	138	4	0	134	2	0
Landwirtschaft	248	3	5,22%	244	90	0	154	4	0
Sonstiges	586	7	12,34%	577	69	0	508	9	0
Total	4.747	59	100%	4.707	1.497	50	3.160	40	0
Prozent				99%	32%	1%	67%	1%	0%

In Deutschland wurden im Jahr 2013 99 % aller Kunststoffabfälle verwertet. Davon wurden 32 % werkstofflich und 1 % rohstofflich recycelt. Der größte Teil allerdings mit 66 % wurde energetisch verwertet. Das verbleibende 1 % wurde deponiert. (vgl. Consultic 2014, S. 12)

Kunststoffe aus den Branchen Bau, Fahrzeuge und Elektro/Elektronik sind oft mit Additiven optimiert, um die Anforderungen an Brand- und UV-Schutz zu erfüllen. Dieser Umstand kann beim werkstofflichen Recycling zu Schwierigkeiten führen. Aussagen über die Art und Menge der Additive im Rezyklat können nur bei kontrollierten, sortenreinen Abfallströmen getroffen werden. Kunststoffe aus der Bauindustrie werden nur geringfügig sortiert gesammelt und sind aufgrund ihrer verhältnismäßig langen Nutzungszeit nicht eindeutig identifizierbar. Sie können in Folge dessen mit unbekannten Additiven belastet sein.

2.3.6 Kunststoffarten bei Rezyklaten

Bei den Abfallkunststoff verarbeitenden Betrieben werden hauptsächlich polyolefine Regranulate hergestellt (siehe Tabelle 21 Vergleich Rezyklat mechanische Eigenschaften). Als nahezu reine

Fractionen fallen die Arten PEHD und PP an. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von gemischtem PE-Sorten, gemischtem PP+PE und PO Blends. Reine Polystyrol-Regranulate werden kaum angeboten. Alle anderen Kunststoffarten fallen in erheblich kleineren Mengen an.

Über exakte Mengen der einzelnen Kunststoffarten des jeweiligen Recyclingunternehmens kann keine Angabe gemacht werden, da diese je nach wirtschaftlicher Situation und Jahreszeit schwanken können. Ausgehend von den verarbeiteten Kunststoffmengen für Verkaufsverpackungen liegt der Anteil von Polyolefinen Kunststoffen bei über 70 %. Ausgenommen PET, welches hauptsächlich bei Pfandflaschen eingesetzt wird, trägt keine andere Kunststofffraktion mit mehr als 6% zur Gesamtabfallmenge bei.

Diese Umstände führen zur Fokussierung auf die Polyolefine PEHD, PELD, und PP da diese kontinuierlich in den größten Mengen anfallen und untereinander in geringen Mengen mischbar sind. Für eine zukünftige Anwendung in einem Produkt ist es notwendig, dass die gewonnenen und zur Weiterverarbeitung bestimmten Rezyklate, in der immer gleichen Qualität vorhanden sind. Bei großen Mengen kann dies leichter durch eine kontinuierliche Homogenisierung des Materials erfolgen.

2.3.7 Zustand der Kunststoffabfälle

Kunststoffabfälle fallen in unterschiedlichen Branchen, deren Prozessen und Lebenszyklen an. Die Vielzahl der möglichen Zustände ist daher sehr differenziert. Zu den Einflussfaktoren zählen unter anderem die Art und der Grad der Verschmutzung, die Zusammensetzung der Kunststoffarten, die Farbzusammensetzung, die unterschiedliche Dichte der Stoffe, die Erscheinungsform (Folien, Hohlkörper, Flakes) und die Beladung mit Additiven.

Produktionsabfälle können in vielen Fällen direkt wieder der Produktion zugeführt werden. Ein Rücklauf der Ware ist jedoch in einigen Fällen problematisch. Dabei kommt es unter anderem auch darauf an, ob das Produkt einer Firma oder eines Zusammenschlusses von Herstellern, wie z. B. Rewindo, bereits im Einsatz war oder nur die Firma verlassen hat. In manchen Produkten wie z. B. PVC-Fensterrahmen ist es möglich Rezyklat einzusetzen, welches bereits einen Nutzungszyklus durchlaufen hat.

Im Fall von Armaturen, für Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen aus Polyethylen (PE) – Teil 4: Armaturen, dürfen diese nach DIN EN 12201-4 Punkt 4.1 nur aus Neuware hergestellt werden.

(Norm DIN EN 12201-4:2012-04, S. 6)

Rohre dürfen nach der oben genannten Norm neben Neumaterial auch aus Umlaufmaterial derselben PE-Formmasse oder einem Gemisch beider Werkstoffe hergestellt werden.

(DIN EN 12201-2:2013-12, S. 9)

Umlaufmaterial wird laut DIN EN 12201-1:2011-11 wie folgt beschrieben: „Material aus zurückgewiesenen, sauberen, ungebrauchten Rohren, Formstücken oder Armaturen sowie dem Verschnitt aus der eigenen Rohr-, Formstück- oder Armaturenfertigung eines Herstellers, das in einem Werk desselben Herstellers wiederverarbeitet wird und das beispielsweise aus einer Extrusions- oder Spritzgieß-verarbeitung stammt“. (DIN EN 12201-1:2011-11, S. 9)

2.3.8 Resümee Output

Die Kunststoffabfallmenge in Deutschland stieg in den Jahren 1994 – 2013 kontinuierlich an und hat sich in diesen zwei Jahrzehnten verdoppelt. Mehr als die Hälfte davon besteht aus den Polyolefinen PE und PP. Im europäischen Vergleich ist der Anteil von PE und PP am gesamten Kunststoffabfall sogar noch höher und liegt bei fast 60 %.

In Deutschland kommt mehr als 60 % des Kunststoffabfalls aus der Verpackungsbranche. In der Baubranche entsteht nur 9,2 % des gesamten Kunststoffabfalls, fast die Hälfte davon ist PVC.

Hauptsächlich stammt der Kunststoffabfall von den Bauteilen Rohre und Kanäle, Fußboden- und Wandbekleidungen und von Wärmedämmungen.

2.4 Auswahl und detaillierte Betrachtung geeigneter Kunststoffe

Die Kunststoffabfälle aus dem Siedlungsmüll setzen sich zum Großteil aus PE-LD, PE-HD und PP zusammen. Aufgrund folgender Vorteile bieten sie den optimalen Ausgangsstoff für eine Weiterverwendung im Bauwesen.

- a) Ihre Menge in Bezug auf die Gesamtabfallmenge ist sehr hoch. Wirtschaftliche und jahreszeitliche Schwankungen machen sich weniger bemerkbar. Dies sichert einen stetigen Nachschub an Kunststoffabfällen. Bei einer großen Menge ist eine gleichbleibende Homogenisierung leichter zu erreichen. Dies sichert eine beständige Qualität.
- b) Wenn Verpackungskunststoffe in einem neuen Bauprodukt wiederverwendet werden können, verlängert sich die Nutzungsdauer des Rohstoffs um das zehn- bis tausendfache. Zum Beispiel kann eine Gemüseverpackung bereits nach einer Woche das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen. Ein Bauprodukt aus Recyclingkunststoff kann im Vergleich dazu mehrere Jahre eingesetzt werden, bevor es ersetzt werden muss. Dieses Potential ist bei Verkaufsverpackungen aus thermoplastischen Kunststoffen im Verhältnis zu anderen Kunststoffabfällen besonders hoch.

3. Funktionsauswahl

In diesem Kapitel werden die Funktionen analysiert, bei denen Kunststoffe eingesetzt werden können. Es erfolgt die Eingrenzung der möglichen funktionellen Einheiten aufgrund ihrer jeweiligen für deren Einsatz zu erfüllenden Anforderungen. Im Anschluss daran findet die Festlegung auf ausgewählte, untersuchungsrelevante funktionelle Einheiten statt. Nur diese werden in der Arbeit weiterhin betrachtet.

3.1 Funktionen im Bauwesen

3.1.1 Analyse der Kunststoffe im Bauwesen

Kunststoffe werden aufgrund ihrer vielfältigen Arten und den damit verbundenen Eigenschaften in unterschiedlichsten Bereichen des Bauwesens eingebaut, siehe dazu Tabelle 10.

Bezogen auf die Polyolefine PE, PP und deren Variationen, welche in dieser Arbeit detailliert betrachtet werden, werden diese bereits in folgenden Anwendungen eingesetzt: Abdeckfolien, Maschinen- und Anlagenbau, Auskleidungen, Behälter, Bekleidungen, Bodenbeläge, Dachbahnen, Dichtungsbahnen, Folienbändchen (Teppichträgergewebe), Folien, Hohlkörper, Rohre, Tanks und Trennschichten.

Tabelle 10 Funktionen im Bauwesen und dafür eingesetzte Kunststoffe
(vgl. IBK Darmstadt 2001, S. 11 ff)

Anwendung	Wichtigste dafür eingesetzte Kunststoffe	Bemerkungen zum Kunststoffeinsatz
Abdeckfolien	PE-LD/LLD; Polyestergewebe mit PVC-P-Beschichtung; u. U. PVF-Beschichtung	Wetterschutz, Passantenschutz, Umweltschutz, Winterbau
Anstrichstoffe	chemisch trocknend: Phenolharze, Harnstoff und Melaminharze, Alkyd-Harze und UP-Harze, ferner Acryl-Harze, EP-Harze und PUR-Systeme physikalisch trocknend: PVAC, PVDC, CAA	Kunststoffe als Filmbildner
Apparatebau	PVC-U, PP, PE-HD, PE-UHMW, UP-GF, PUR, PMMA	Korrosionsbeständigkeit, gute Formgebungsmöglichkeiten bei komplexen Geometrien.
Auskleidungen	Elastomere (Hartgummi) auf Basis NK, SBR, NBR Weiche Elastomere auf Basis NK, SBR, CR, BR, EPDM, IIR u. a. Thermoplaste: PVC-U, PVC-P, PE, PIB, TPE Duroplaste: EP, UP, PF u. U. glasfaserverstärkt	Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit u./o. Abriebfestigkeit von Metall, Holz, Beton. Anti-Adhesivbeläge.
Behälter, Lagerbehälter	PE-HD (Extrusionsblasen o. Sintern) PA; UP-GF; auch Auskleidungen von Betonbehältern u. a.	Heizöltanks
Bergbau	PF- und UP-Schäume, PUR-Schäume; PVC-P; PVC-U, antistatisch ausgerüstete Elastomere	Isolieren von Streckenwänden, Berge-Verfestigung; Förderbänder, Rohre, Rinnen
Beschläge (Baubeschläge)	PA 6, ABS, ASA, SB, PVC	Tür- und Fensterbeschläge, Kennzeichen, Schloß-Elemente
Bodenbeläge	PVC-P, meist mit Füllstoffen; PVAC und PE für Spachtelbeläge; Textilbeläge: Fasern aus Polyester und Polyamid sowie PP und Elastomere	Teppichfasern sind ein sehr bedeutender Markt für Kunststoff-Fasern
Dachbahnen	PVC-P; PE/Bitumen-Blends u. a.	
Dichtungen	Elastomere, neuerdings TPE	Tür- und Fensterdichtungen etc. Bedeutendes Wachstumsgebiet für TPE
Dichtungsbahnen	Bitumen/AP oder SBS bzw. PE-LD; EPDM; PVC-P; ECB; PE-HD; PE-UHMW	Flachdächer, Teichfolien, Deponiefolien
Dübel, Befestigungsdübel	PA6, PP schlagzähmodifiziert, ABS	auch bauamtlich zugelassene Fassadendübel
Faserplatten	PF-Harze; UF-Harze; Kunststoffdispersionen	Kunststoff ist Bindemittel
Fassadenplatten	UP-GF; PVC-U; PC, PMMA	Massivplatten, Wellplatten, Stegplatten
Folienbändchen	PP; PE-LD/LLD	Teppichträgergewebe
Fugendichtungsmasse (Kitte)	SIR; AR und PUR; Acrylharze; ferner IIR und PIB	
Gartenbau	Folien: PE-LD; PVC-P; PP-Vliese; Doppelstegplatten für Gewächshäuser aus PMMA und PC; Rohre aus PVC-U; PE-HD, PE-LD, PP	SB und PUR für Blumentöpfe und Pflanzböden, PE-HD und PP für Behälter, Gießkannen etc.
Haftklebstoffe	NBR; PUR; CR	
Hartschaum-Leichtbeton	PS-E oder UF-Schaum als Betonzusatz	niedrige Dichte, höhere Wärmedämmung
Heizöl-Lagertanks	PVC-P (Einstellblase in Stahltanks); PA; UP-GF auch Beschichtung von Betontanks; PE-HD	Keller-Einstelltanks, erdverlegte Tanks
Hochfeste Kunststoffe	EP, UF und PF als Matrix für Glas, Kohlenstoff oder Aramidfasern (Kevlar)	Brückenkabel Spannbeton

Anwendung	Wichtigste dafür eingesetzte Kunststoffe	Bemerkungen zum Kunststoffeinsatz
Holzspanplatten	UF; PF	Kunststoffe als Bindemittel
Kabel	PVC-P; PE-LD/LLD auch geschäumt; PUR; TPE, speziell TPU	PE namentlich für Nachrichtenkabel, TPU für Offshore-Kabel
Klebstoffe	ACM; PIB; PVAC; NR; MF; UP; EP	Der Bausektor nimmt etwa 24 % der weltweit erzeugten Klebstoffe auf
Klimatechnik	PVC-U; PE-HD; PP; UP-GF; PE-X; SAN; ABS; PMMA; PC; PUR	Aggregate, Isolation, Installation und Verkleidungen
Leichtbau	PS-E; PS-X; PUR-Schaum	Sandwichbauweise mit Kunststoff-Schaumschichten; Leichtbeton
Polymer-Dispersionen	SB; PVAC; PVDC	Haftmittel und Binder für Anstriche
Profile, Fensterprofile, Rollladen-ASA profile	PVC-U und Copolymerisate; PUR; UP-GF,	
Reaktionsharzbeton	UP	Zement durch Reaktionsharz ersetzt, z. B. UP (6-12 %)
Rohre	PVC-U; PVC-C, auch geschäumt; PE-HD (bimodal); PE-X; hochmolekulares PP; PB; PE-LD	auch Verbundrohre und Mehrschichtrohre, z.B. PE-HD mit UP GF-Ummantelung
Sanitärtechnik	PVC-U; PP; PE-HD; ASA; PMMA; ABS; SB; POM; UP-GF; PUR	Designfreiheit; Farbgebung; Hygiene
Schaumkunststoffe	PS-E; PS-X; PUR (Ein- und Zweikomponenten-Schäume)	Sämtliche Thermoplaste und einige Duroplaste können verschäumt werden
Schichtpressstoffe	PF und MF-Harze, ferner EP und UP sowie auch SI und PI-Harze	Kunststoff ist Bindemittel für Papierschichten, Holz- und Glasgewebe
Schläuche	Elastomere; ferner PVC-P; TPU; PA	
Sicherheitsglas	PMMA; PC; PVB; CA; CN; CP	Einschichtig bzw. mehrschichtig mit Kunststofffolie als Zwischenschicht zwischen Glasflächen, u. U. Kratzfest-Beschichtung
Spinnvliese (non wovens)	PE-LD/LLD; PP; PA; Polyesterfasern	Geotextilien; Bodenverfestigung; Frost- und Hagelschutz, Mulchen; Tropfbewässerung; Straßenbefestigung
Straßenbau	PVC-U; PVC-P; PE-LD; PE-HD; PS-E; PMMA; Leichtbeton; Spinnvliese; ECB (Bitumenzusatz); EP; UP; PUR; ASA; UP-GF	PMMA, ASA und UP-GF für Straßenschilder; Schaumstoffe für Frostschutz; Vliese zur Bodenverfestigung
Umwelttechnik	UP-GF; PE-HD; PVC-U; PVC-P; Bitumen/ ECB (Dichtungsbahnen); PMMA/PC; PUR	Steigende Bedeutung der Kunststoffe in der Solartechnik
Verbundwerkstoffe	Speziell: UP-GF; EP-GF; PUR-GF; PP-GF Verstärkung durch Rovings, Matten, Gewebe oder Kurzfasern	1) Glasfaser-Verbunde; Mehrschicht-Verbunde; Sandwich-Konstruktionen 2) Kohlenstofffaserverbunde
Vliesstoffe	PP, PE, PA und Polyester-Fasern als Bindemittel PVDC und PVAC	Die non-wovens werden physikalisch mit Dispersionen, oder auch thermisch (Thermobonding) bzw. mechanisch durch Nadelung verfestigt
Wandverkleidungen	PVC-P; PS-E; MF; PVC-U; UP-GF; PMMA; PUR; PC	Innenausbau; Fassadenverkleidungen
Wärmedämmung	PS-E; PS-X; PUR-Schaum; Leichtbeton	PUR-Ortschaum für Hohlraum ausschäumung
Wasserbau	PE-HD; PVC-U; PVC-P; PE-LD; PA;	Sinkmatten aus PA-Gewebe; PVC Folie für den Bühnenbau; PE-Noppenfolie für Erdverfestigungen

3.1.2 Anspruch an Bauteile

a) Ansprüche an sichtbare Bauteile für Innenanwendungen

Für Innenwandbekleidungen gilt die Norm DIN EN 15102:2011-12 Dekorative Wandbekleidung – Rollen und Plattenform. In ihr sind folgende Anforderungen an diese Bauprodukte geregelt. (DIN EN 15102:2011-12)

Bezüglich des Brandverhaltens sind die Endanwendungsbedingungen zu prüfen und das Produkt nach, DIN EN 13501-1:2010-01 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, zu klassifizieren. Ferner werden die Formaldehydabgabe und die Freisetzung gefährlicher Stoffe geregelt. Die Schallabsorption muss nach DIN EN ISO 354:2003-12 gemessen und eine Einzahlbewertung nach DIN EN ISO 11654:1997-07 durchgeführt werden. Der Wärmedurchlasswiderstand muss nach DIN EN 12667:2001-05 geprüft werden. Der Wert wird in $\text{m}^2\text{K/W}$ oder W/(mK) angegeben.

Für Trennwände gilt die DIN 4103-1:2015-06 Nichttragende innere Trennwände - Teil 1 Anforderungen und Nachweise. Dort wird auch auf die Anforderungen für Innenwandbekleidungen und Einbauten hingewiesen.

b) Ansprüche an sichtbare Bauteile für Außenanwendungen

Außenwandbekleidungen werden nach der Norm DIN EN 1013:2015-03 Lichtdurchlässige, einschalige, profilierte Platten aus Kunststoff für Innen- und Außenanwendungen an Dächern, Wänden und Decken - Anforderungen und Prüfverfahren geregelt. Hierin sind folgende Anforderungen aufgeführt:

Im äußeren Erscheinungsbild darf es keinen Nachweis von Löcher, Risse, Splitterstellen oder Blasen- gruppen mit einem Durchmesser von mehr als 1 mm oder Einschlüsse, welche die Eigenschaften beeinträchtigen könnten, geben. Die Kanten müssen gerade und sauber ausgeführt sein. Die Maß- toleranzen und Masse je Quadratmeter sind in Tabelle 1 der Norm aufgeführt. Der Lichttransmissions- grad ist zu prüfen. Er darf vom berechneten Mittelwert von fünf Proben nur um maximal 5% abweichen. Die Biege-/Zugfestigkeit und die Dauerhaftigkeit sind zu bewerten, wenn sie Gegenstand gesetzlicher Bestimmungen sind. Dabei ist nach einer künstlichen Beschleunigung der Bewitterung, die Veränderung des Gelbwertes, der Lichtdurchlässigkeit sowie der Biege-/Zugfestigkeit nachzuweisen und entsprechend anzugeben. Gleiches gilt für die Beständigkeit gegen Wärmealterung. Außerdem muss die Dimensionsstabilität überprüft und bei einem Überschreiten der vorgegebenen mittleren Veränderung angegeben werden. Auch die Schlagbeanspruchung, die Beständigkeit gegen Durchbiegung, die Wasserdampfdurchlässigkeit, die Wasser-/Luftdurchlässigkeit, die lineare thermische Ausdehnung, das Brandverhalten und das Verhalten bei Beanspruchung durch Feuer von außen sind zu bewerten, wenn sie Gegenstand gesetzlicher Bestimmungen sind.

Ebenso ist die Beständigkeit gegenüber Befestigungen nachzuweisen. Abschließend müssen Nachweise über die Freisetzung von gefährlichen Stoffen erbracht werden. (DIN EN 1013:2015-03)

3.2 Ökobilanzielle Faktoren

Die Ökobilanz eines Gebäudes wird durch die verwendeten Materialien, deren Lebenszyklusprozesse und deren Menge beeinflusst. Bei Kunststoffen stellt sich aufgrund des geringen Anteils an der Gebäudemasse zuerst die Frage, ob deren ökobilanzielle Auswirkungen in der Erstellungs-, Instandhaltungs- und Rückbauphase im Vergleich zu den gesamten Umweltwirkungen eines Gebäudes eine relevante Rolle spielen.

Weitere Einflussfaktoren, die betrachtet werden, sind die Folgen durch den Einsatz von Additiven, die Länge der Nutzungsdauer und die Möglichkeiten bei der Verwertung nach der Nutzung.

Mithilfe der beiden Programme LEGEP® der LEGEP® Software GmbH und GaBi der thinkstep AG wurden diese Fragestellungen untersucht. Dazu wurde ein Funktionsvergleich anhand zweier Methoden in LEGEP® geprüft.

- a) Einerseits sollten bestehende Material- und Elementdaten aus der SIRADOS Baudatenbank der WEKA MEDIEN GmbH & Co. KG verwendet und in LEGEP® zu Positionen, Elementen und Bauteilen zusammengefügt werden.
Für diesen Vergleich wurde das Material „4.04.4 Polyethylen mit hoher Dichte PE-HD (ab Werk RER)“ verwendet, siehe Abbildung 24. Die Sachbilanzwerte entsprechen einem europäischen Durchschnittswert. Dabei steht RER als geografischer Code für die Region Europa. Das Vergleichsbauteil sollte das Element „6.1.2 Abwasserrohr PE-HD“ enthalten, siehe Abbildung 25.

Die Funktion, eigene Elemente und Bauteile zu erstellen, ist jedoch beschränkt in der Software ausgebildet und erlaubt es dem Nutzer nicht, eigene Sachbilanzdaten einzugeben. Es besteht nur die Möglichkeit bestehende Positionen zu Elementen zusammenzufügen oder diese zu verändern. Dies ist aber wiederum nur in einem beschränkten Rahmen möglich. Lebenszyklusphasen und die damit verbundenen Maßnahmen wie Instandhaltung und Rückbau bzw. Entsorgung können nicht ergänzt oder verändert werden.

- b) Überdies sollten in der weiteren Bearbeitung eigens mit dem Programm GaBi erstellte Materialien und Positionen für die Erstellung neuer Elemente in LEGEP® angewendet werden. Leider ist dies mit LEGEP® nicht möglich, da zwar neue Materialien erstellt wurden, aber die dazugehörigen Stammdatenelemente (Umweltwirkungen) nicht erzeugt werden konnten.

sirAdos Sachbilanz Polyethylen-Granulat, HDPE, ab Werk RER

Werte
☐ ÖkoBauDat
☐ Rezeptur

Bezeichner: Polyethylen-Granulat, HDPE, ab Werk RER

Einheit: kg

Katalog: LEGEP

Typ: Bewertete kumulierte Sachbilanz

Herkunft: EcolInvent2000 Neu berechnen

CO2	1,892100	kg CO ₂ -Äquiv.	0,000000
SO2	0,021400	kg SO ₂ -Äquiv.	0,000000
Ozonschicht	0,0000000001	kg CFC11-Äquiv.	0,000000
Abiotisch	0,033836	kg Sb-Äquiv.	0,000000
Überdüngung	0,001338	kg P-Äquiv.	0,000000
Sommersmog	0,000715	kg Ethen-Äquiv.	0,000000
Schwermetall	0,000033	kg Pb-Äquiv.	0,000000
Radioaktivität	323	kBq	0,000000
Ecopoints	0,261250		0,000000
PEIE	1,086234	MJ	0,000000
PEINE	78,767200	MJ	0,000000
Fossil	100,0	%	
Mineralisch	0,0	%	
Nachwachsend	0,0	%	

OK Abbruch Übernehmen

Abbildung 24 Auszug aus der SIRADOS Datenbank, Sachbilanz von Polyethylen-Granulat

The screenshot shows the 'Sachbilanz' window in the SIRADOS software. The title bar indicates 'sirAdos' and 'Sachbilanz 6.1.2 Abwasserrohr PE-HD'. On the left, there is a sidebar with 'Werte' (Values) and 'Rezeptur' (Recipe). The main area contains a table of environmental impact categories and their values.

Bezeichnung	Einheit	Katalog	Typ	Herkunft	Neu berechnen
CO2	kg CO ₂ -Äquiv.	Bund 2009	Bewertete kumulierte Sachbilanz	GABI	0,000000
SO2	kg SO ₂ -Äquiv.				0,000000
Ozonschicht	kg CFC11-Äquiv.				0,000000
Abiotisch	kg Sb-Äquiv.				0,000000
Überdüngung	kg P-Äquiv.				0,000000
Sommersmog	kg Ethen-Äquiv.				0,000000
Schwermetall	kg Pb-Äquiv.				0,000000
Radioaktivität	kBq				0,000000
Ecopoints					0,000000
PEIE	MJ				0,000000
PEINE	MJ				0,000000
Fossil	%				0,0
Mineralisch	%				0,0
Nachwachsend	%				0,0

Buttons at the bottom: OK, Abbruch, Übernehmen.

Abbildung 25 Auszug der SIRADOS Datenbank, Sachbilanz von Element 6.1.2 Abwasserrohr PE-HD

Für einen Vergleich unterschiedlicher vorgehängter hinterlüfteter Fassadenbekleidungen muss die jeweilig benötigte Unterkonstruktion mit in die Bilanz einbezogen werden. In der SIRADOS Datenbank sind unterschiedliche Alternativen bereits enthalten, diese werden im Kapitel 6.3 Unterkonstruktionen behandelt.

Außerdem werden jeweils zwei Rezyklat- und Vergleichsmodelle, und zwei Rezyklat- und Vergleichsbauteile mit GaBi erstellt und in ihrer Ausführung variiert, siehe Kapitel 6. Ausgangsdaten.

3.2.1 Relevanz der Menge

Anhand zweier Referenzgebäude wird deutlich gemacht, welchen Anteil die Auswirkungen der im Bauwerk verwendeten Kunststoffe an den gesamten ökobilanziellen Auswirkungen des Gebäudes haben. Die Daten stammen von der Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte aus Karlsfeld bei München. Die Analyse wurde mit der Software LEGEP® durchgeführt. Es handelt sich dabei um die Datensätze von einem Büro- und einem Wohngebäude.

a) Referenzgebäude Büro

Das Projekt wird wie folgt beschrieben. Der Projektname lautet Referenzgebäude1VERSIONS-GEÄNDERT2012-ENEV-2009_800. Die Daten wurden von der Firma Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte aus Karlsfeld bei München erstellt und bearbeitet. Des Weiteren wird das Projekt mit Referenzgebäude 1, Dienstleistungs- und Verwaltungszentrum Version A mit Anpassungsänderungen beschrieben. Als Baujahr der Anlagentechnik ist 2007 eingetragen. Das Gebäude befindet sich in Eberswalde im Landkreis Barnim in Brandenburg. Es handelt sich um ein Nichtwohngebäude, ein Rathaus mit einer Grundfläche von 2.500 m², fünf oberirdischen Geschossen, einer bebauten Fläche von 1.471,00 m², einer wärmeübertragenden Umfassungsfläche von 5.690,60 m² und einer Bruttogrundfläche im Bereich a, welche überdeckt und allseitig in voller Höhe umschlossen ist, von 6.833,00 m². Der Datensatz besteht aus insgesamt 228 Elementen.

Die benötigte Materialmenge zur Erstellung und Nutzung des Gebäudes über die gesamte Nutzungsdauer von 80 Jahren beträgt 22.414.673,9 kg. Die Menge der fossilen Kunststoffe am Gebäude beträgt 47.691,1 kg. Diese Werte sind in LEGEP® unter dem Punkt: Ökologie/Berechnung/Energie- und Stofffluss/Materialliste/Materialliste nach Materialgruppen/4 Kunststoffe, fossil, zu finden.

Dies entspricht einem Anteil von 0,21 % an der Gesamtmasse des Referenzgebäudes.

Bezogen auf die gesamten Umweltwirkungen der Materialien des Gebäudes, welche für die Erstellung, Instandhaltung und dem Rückbau anfallen, sind die Anteile der Umweltwirkungen der Kunststoffe wie folgt:

Kunststoffanteil an den bilanzierten Umweltwirkungen:

Treibhauspotential (GWP)	12,18 %
Ozonabbaupotential (ODP)	5,62 %
Versauerungspotential (AP)	8,44 %
Überdüngungspotential (EP)	9,12 %
Abiotisches Ressourcenabbaupotential (ADP)	17,99 %
Sommersmogpotential (POCP)	6,05 %
Primärenergie erneuerbar (PEI reg.)	1,25 %
Primärenergie nicht erneuerbar (PEI nicht reg.)	16,60 %
Primärenergie Gesamt (PEI Gesamt)	15,01 %

Die Prozentangaben beziehen sich auf die in LEGEP® für das Referenzprojekt hinterlegten absoluten Werte.

Trotz des geringen Massenanteils von nur 0,21 % der Gebäudemasse sind die daraus resultierenden Umweltwirkungen im Verhältnis immens.

Bei allen gewählten Umweltwirkungskategorien ist der Anteil an der Umweltwirkung im Verhältnis zum Anteil an der Stoffmasse um das mehr als 26-fache größer. Beim Abiotischen Ressourcenabbaupotential (ADP) liegt dieses Verhältnis sogar um das 86-fache höher.

$$\frac{\text{Umweltwirkungspotential}}{\text{Masse in kg}}$$

Die Auswirkungen des Gebäudebetriebs fließen nicht mit in diese Berechnung ein.

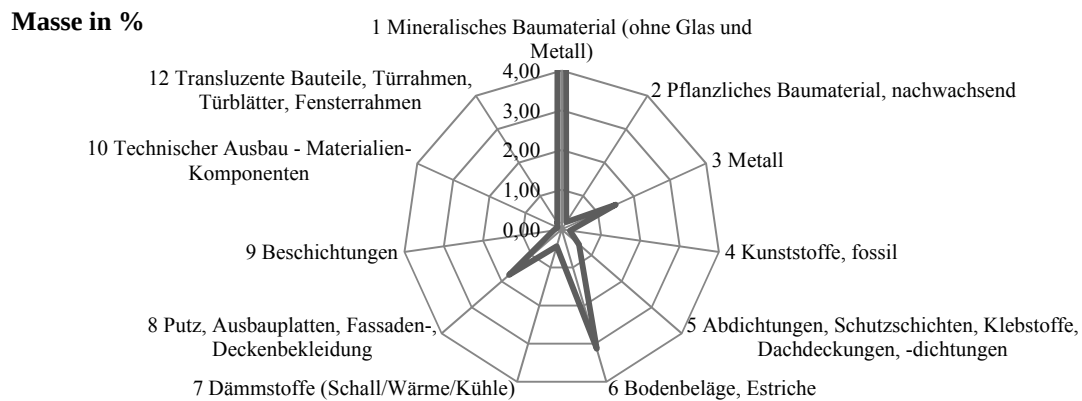


Abbildung 26 Referenzgebäude Büro, Anteil Masse in %

Tabelle 11 Referenzgebäude Büro, Anteil Masse in kg

Materialien	Masse in kg	%
Materialien gesamt	22.414.674	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	20.540.505	91,64
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	49.209	0,22
3 Metall	335.021	1,49
4 Kunststoffe, fossil	47.691	0,21
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	128.991	0,58
6 Bodenbeläge, Estriche	701.749	3,13
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	99.748	0,45
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	391.816	1,75
9 Beschichtungen	47.870	0,21
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	26.408	0,12
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	45.666	0,20

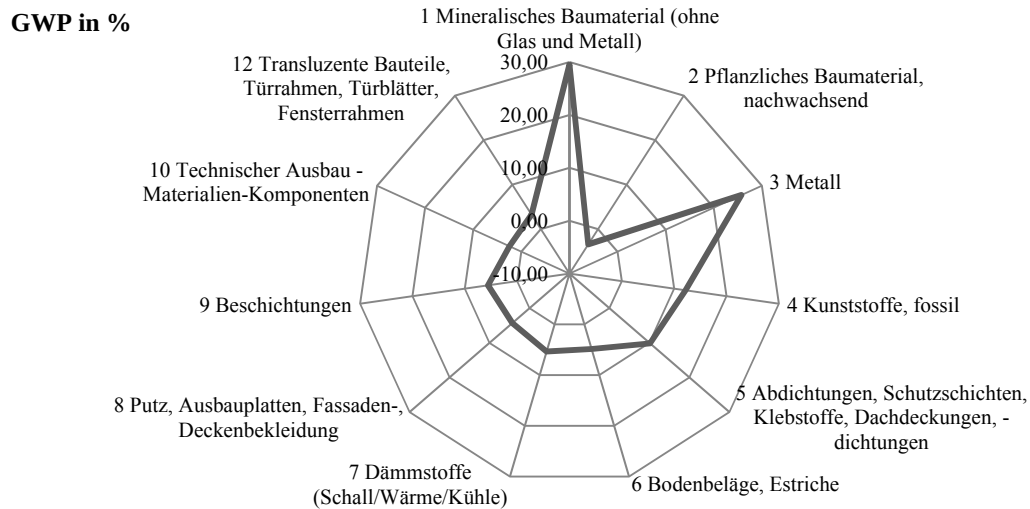


Abbildung 27 Referenzgebäude Büro, Anteil Treibhauspotential (GWP) in %

Tabelle 12 Referenzgebäude Büro, Anteil Treibhauspotential (GWP) in kg CO₂-Äquivalent

Materialien	GWP	%
Materialien gesamt	2.132.924,168	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	630.672,589	29,57
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	-73.314,424	-3,44
3 Metall	548.868,887	25,73
4 Kunststoffe, fossil	259.780,871	12,18
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	216.481,564	10,15
6 Bodenbeläge, Estriche	103.940,071	4,87
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	114.565,953	5,37
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	91.416,771	4,29
9 Beschichtungen	118.392,413	5,55
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	52.597,123	2,47
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	69.522,350	3,26

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe am Treibhauspotential des Referenzgebäudes Büro beträgt 12,18 %.

ODP in %

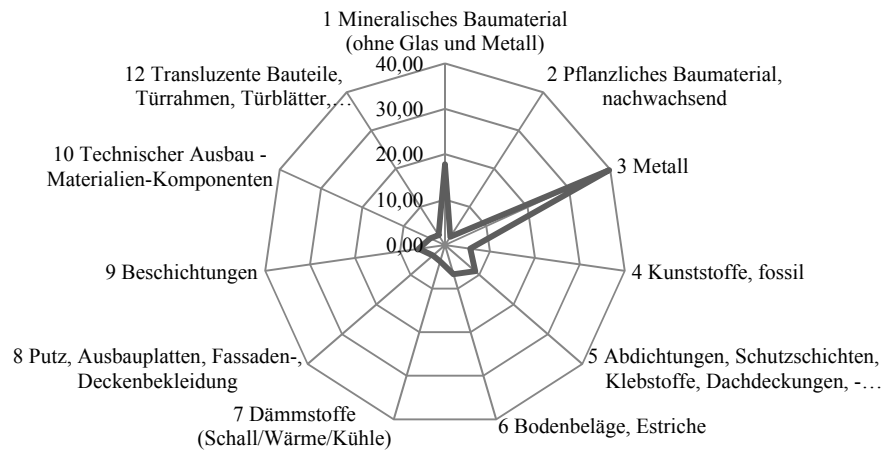


Abbildung 28 Referenzgebäude Büro, Anteil Ozonabbaupotential in %

Tabelle 13 Referenzgebäude Büro, Anteil Ozonabbaupotential (ODP)
in kg R-11 (Trichlorfluormethan)-Äquivalent

Materialien	ODP	%
Materialien gesamt	0,115586163	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	0,020527543	17,76
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	0,002495290	2,16
3 Metall	0,045900213	39,71
4 Kunststoffe, fossil	0,006494512	5,62
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	0,010181971	8,81
6 Bodenbeläge, Estriche	0,007738136	6,69
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	0,004363037	3,77
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	0,004044181	3,50
9 Beschichtungen	0,006726348	5,82
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	0,004107715	3,55
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	0,003007217	2,60

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe am Ozonabbaupotential des Referenzgebäudes Büro beträgt 5,62 %.

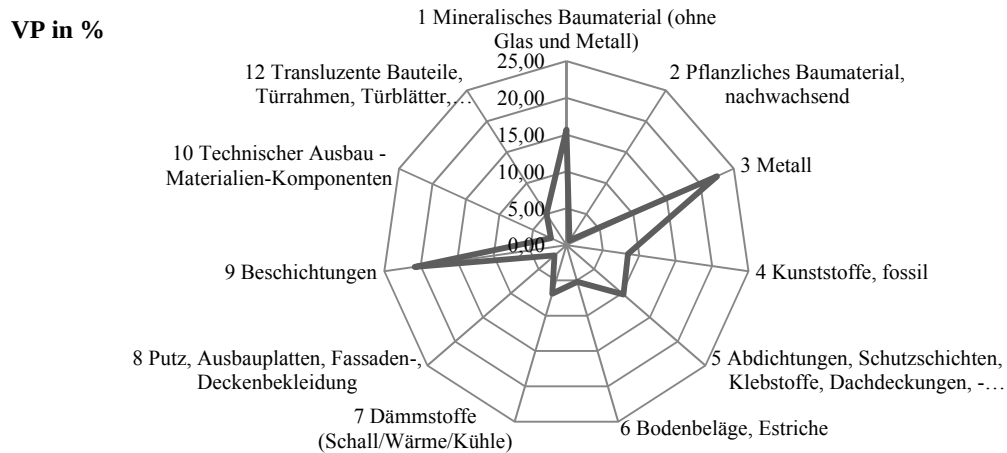


Abbildung 29 Referenzgebäude Büro, Anteil Versauerungspotential (VP) in %

Tabelle 14 Referenzgebäude Büro, Anteil Versauerungspotential (VP)
in kg SO₂ (Schwefeldioxid)-Äquivalent

Materialien	VP	%
Materialien gesamt	7.663,718	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	1.203,314	15,70
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	58,173	0,76
3 Metall	1.723,860	22,49
4 Kunststoffe, fossil	646,899	8,44
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	786,047	10,26
6 Bodenbeläge, Estriche	397,817	5,19
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	526,640	6,87
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	163,959	2,14
9 Beschichtungen	1.595,131	20,81
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	176,537	2,30
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	385,341	5,03

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe am Versauerungspotential des Referenzgebäudes Büro beträgt 8,44 %.

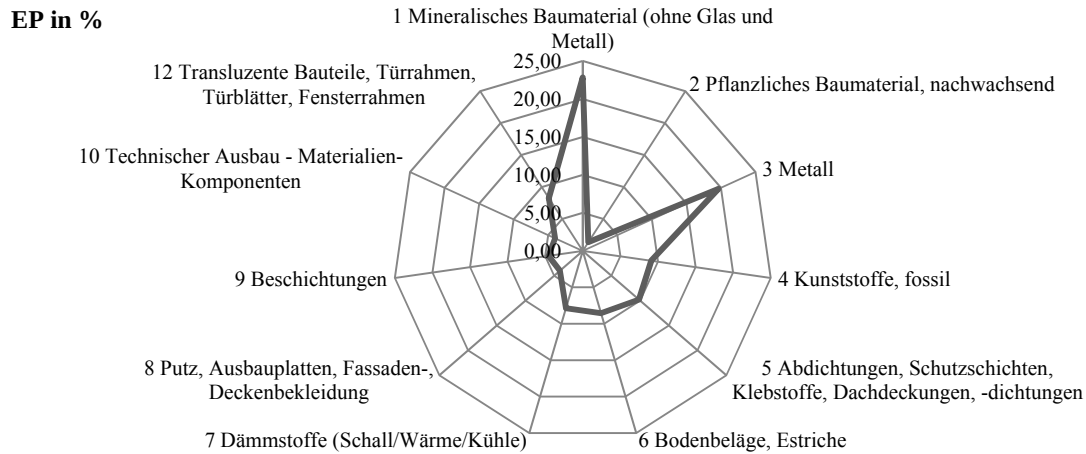


Abbildung 30 Referenzgebäude Büro, Anteil Überdünungspotential (EP) in %

Tabelle 15 Referenzgebäude Büro, Anteil Überdünungspotential (EP)
in kg PO₄ (Phosphat)-Äquivalent

Materialien	EP	%
Materialien gesamt	681,78345	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	155,67627	22,83
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	9,32886	1,37
3 Metall	133,94010	19,65
4 Kunststoffe, fossil	62,16749	9,12
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	66,79044	9,80
6 Bodenbeläge, Estriche	58,31401	8,55
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	53,63710	7,87
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	27,11464	3,98
9 Beschichtungen	31,13634	4,57
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	27,38928	4,02
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	56,28892	8,26

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe am Überdünungspotential des Referenzgebäudes Büro beträgt 9,12 %.

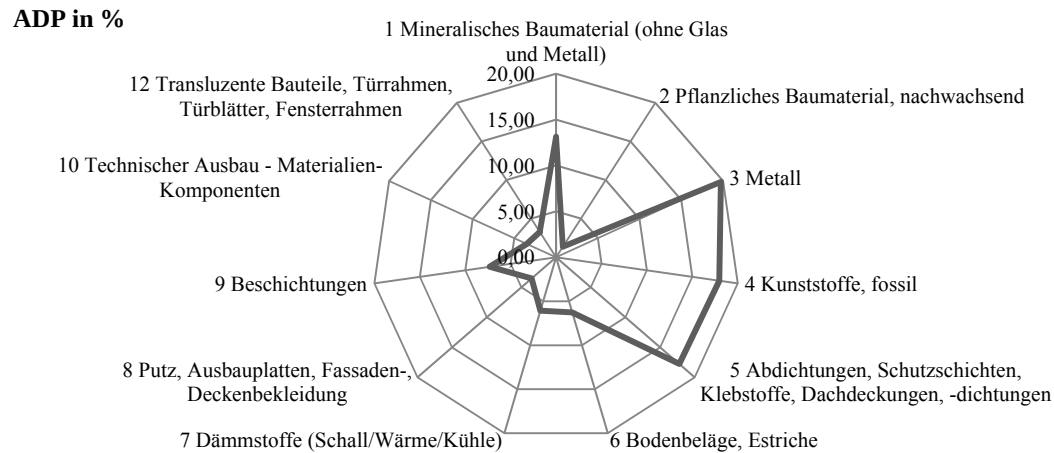


Abbildung 31 Referenzgebäude Büro, Anteil Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP) in %

Tabelle 16 Referenzgebäude Büro, Anteil Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP) in kg Sb (Antimon)-Äquivalent

Materialien	ADP	%
Materialien gesamt	14.398,97	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	1.891,60	13,14
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	196,43	1,36
3 Metall	2.844,14	19,75
4 Kunststoffe, fossil	2.589,93	17,99
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	2.558,35	17,77
6 Bodenbeläge, Estriche	904,20	6,28
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	876,54	6,09
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	509,73	3,54
9 Beschichtungen	1.054,11	7,32
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	502,36	3,49
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	471,58	3,28

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe am Abiotischen Ressourcenverbrauch des Referenzgebäudes Büro beträgt 17,99 %.

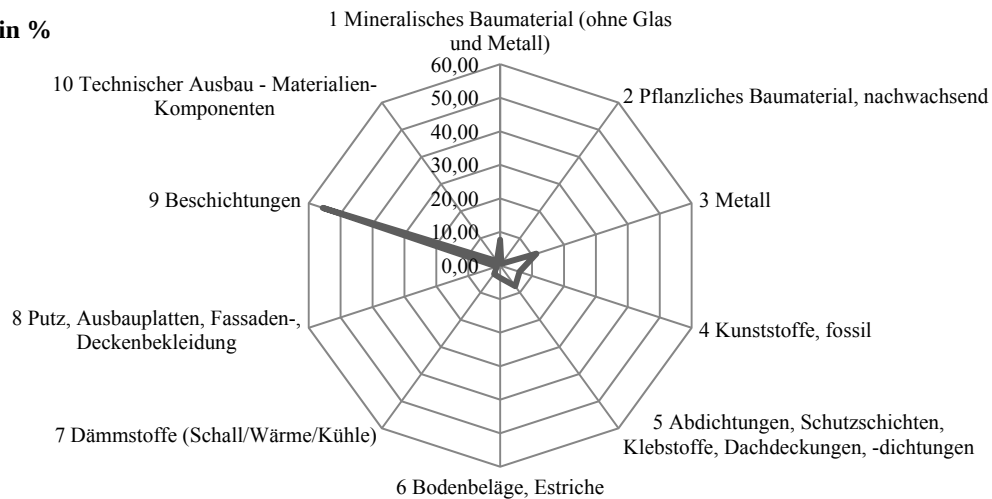
POCP in %

Abbildung 32 Referenzgebäude Büro, Anteil Sommersmogpotential (POCP) in %

Tabelle 17 Referenzgebäude Büro, Anteil Sommersmogpotential (POCP)
in kg C₂H₄ (Ethen)-Äquivalent

Materialien	POCP	%
Materialien gesamt	1.525,926	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	116,970	7,67
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	9,377	0,61
3 Metall	173,262	11,35
4 Kunststoffe, fossil	92,284	6,05
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	116,018	7,60
6 Bodenbeläge, Estriche	56,024	3,67
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	47,460	3,11
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	15,952	1,05
9 Beschichtungen	847,935	55,57
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	25,493	1,67
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	25,151	1,65

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe am Sommersmogpotential des Referenzgebäudes Büro beträgt 6,05 %.

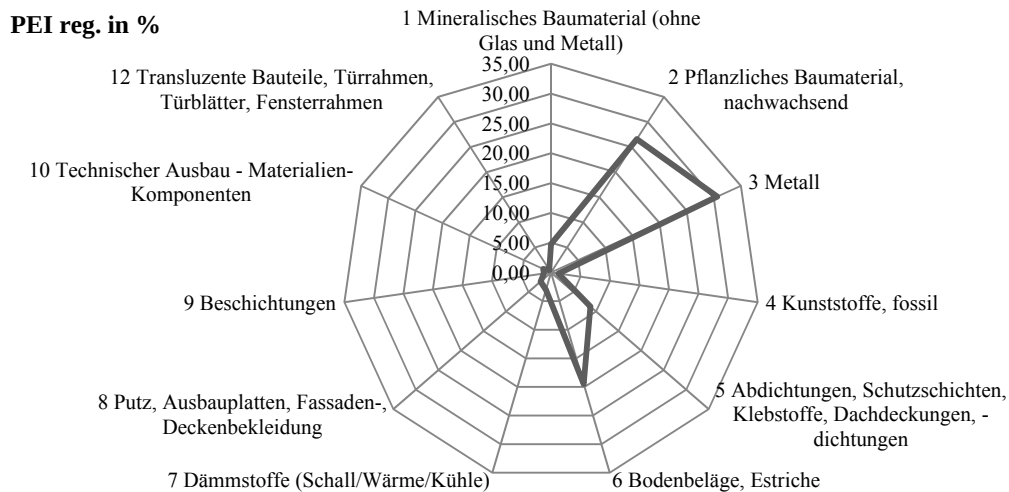


Abbildung 33 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie erneuerbar (PEI reg.) in %

Tabelle 18 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie (PEI reg.) erneuerbar in MJ

Materialien	PEI reg.	%
Materialien gesamt	1.093.129,24	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	52.004,36	4,76
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	290.784,72	26,60
3 Metall	334.856,72	30,63
4 Kunststoffe, fossil	13.655,61	1,25
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	95.464,18	8,73
6 Bodenbeläge, Estriche	213.028,78	19,49
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	32.867,10	3,01
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	25.307,45	2,32
9 Beschichtungen	13.296,34	1,22
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	15.712,15	1,44
11 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	6.151,83	0,56
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	6.151,83	0,56

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe an der Primärenergie erneuerbar des Referenzgebäudes Büro beträgt 1,25 %.

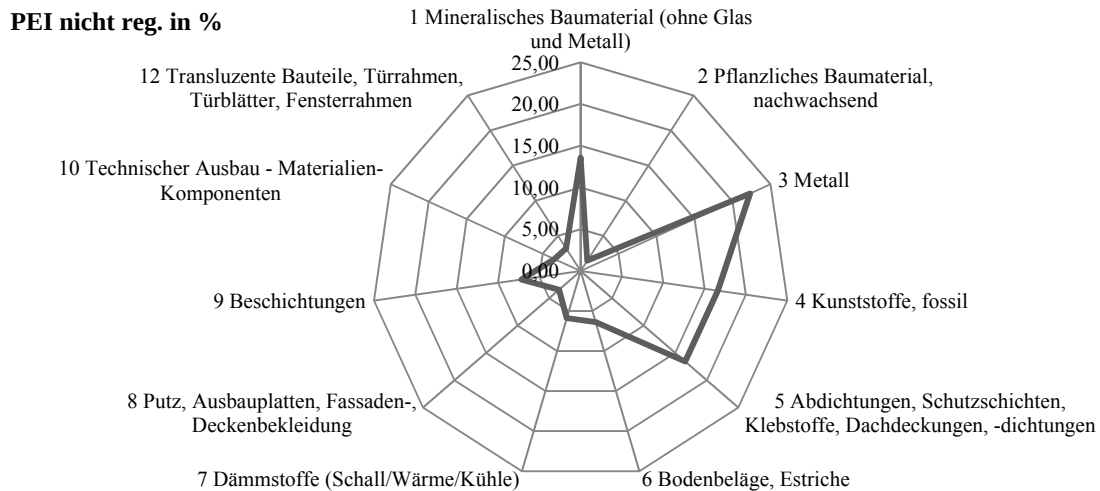


Abbildung 34 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie nicht erneuerbar (PEI nicht reg.) in %

Tabelle 19 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie nicht erneuerbar (PEI nicht reg.) in MJ

Materialien	PEI nicht reg.	%
Materialien gesamt	9.472.859,58	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	1.284.371,18	13,56
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	139.235,85	1,47
3 Metall	2.112.525,44	22,30
4 Kunststoffe, fossil	1.572.471,98	16,60
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	1.569.460,74	16,57
6 Bodenbeläge, Estriche	603.968,29	6,38
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	557.911,78	5,89
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	325.114,21	3,43
9 Beschichtungen	679.164,04	7,17
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	324.456,25	3,43
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	304.179,82	3,21

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe an der Primärenergie nicht erneuerbar des Referenzgebäudes Büro beträgt 16,60 %.

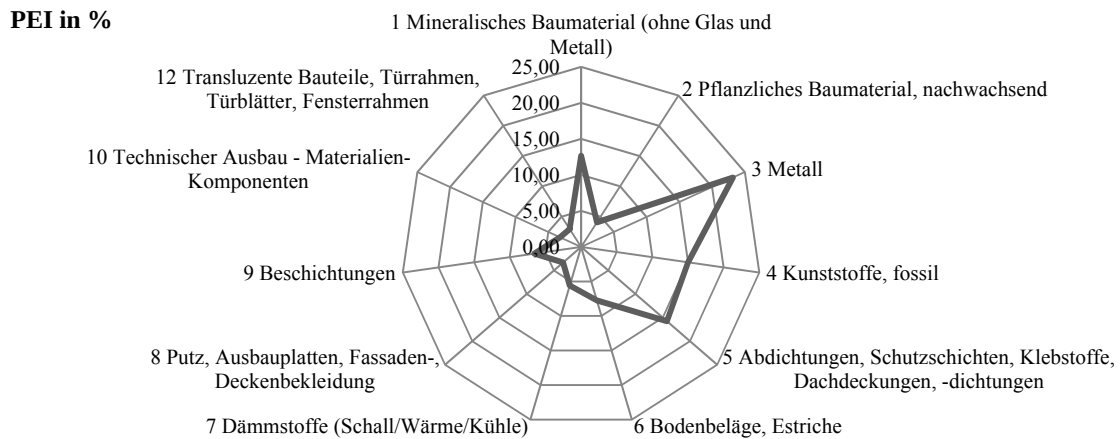


Abbildung 35 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie gesamt (PEI) in %

Tabelle 20 Referenzgebäude Büro, Anteil Primärenergie gesamt (PEI) in MJ

Materialien	PEI	%
Materialien gesamt	10.565.988,82	100,00
1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall)	1.336.375,54	12,65
2 Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend	430.020,57	4,07
3 Metall	2.447.382,16	23,16
4 Kunststoffe, fossil	1.586.127,59	15,01
5 Abdichtungen, Schutzschichten, Klebstoffe, Dachdeckungen, -dichtungen	1.664.924,92	15,76
6 Bodenbeläge, Estriche	816.997,07	7,73
7 Dämmstoffe (Schall/Wärme/Kühle)	590.778,88	5,59
8 Putz, Ausbauplatten, Fassaden-, Deckenbekleidung	350.421,66	3,32
9 Beschichtungen	692.460,38	6,55
10 Technischer Ausbau - Materialien-Komponenten	340.168,40	3,22
12 Transluzente Bauteile, Türrahmen, Türblätter, Fensterrahmen	310.331,65	2,94

Der Anteil der Umweltwirkungen der Kunststoffe an der gesamten Primärenergie des Referenzgebäudes Büro beträgt 15,01 %.

Ein Vergleich der Umweltwirkungspotentiale, der im Gebäude enthaltenen Materialien, ist aufgrund der unterschiedlichen Einheiten nicht direkt durchführbar. Um dennoch einen Vergleich zu ermöglichen, wurden die materialspezifischen Werte einer Umweltwirkungskategorie durch den jeweils kleinsten positiven Wert dieser Kategorie geteilt und anschließend mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert. Der Gewichtungsfaktor beträgt in dieser Berechnung eins. Das Zwischenergebnis ist ein skaliertes und gewichtetes Umweltwirkungspotential ohne Einheit. Die Zwischenergebnisse wurden in einem weiteren Schritt zu einem Vergleichswert addiert und in Abbildung 36 gegenübergestellt.

Formel zur Bestimmung des Vergleichswerts:

$$v_{j,k} = \sum_{k=1}^k a_k \frac{x_{j,k}}{\min_j \{y_{j,k}\}}$$

Mit $y_{j,k} = \{x_{j,k} | x_{j,k} > 0\}$

$v_{j,k}$ = Vergleichswert ohne Einheit, Summe aller skalierten und gewichteten Umweltwirkungspotentiale von j

j = Material, Bauteil oder funktionelle Einheit (z.B. Metall, Kunststoff)

k = Umweltwirkungskategorie (z.B. Treibhauspotential, Versauerungspotential)

a_k = Gewichtungsfaktor einer Umweltwirkungskategorie (beträgt hier 1)

$x_{j,k}$ = Umweltwirkungspotential einer Umweltwirkungskategorie von j

$\min_k \{y_{j,k}\}$ = kleinster positiver Wert innerhalb einer Umweltwirkungskategorie

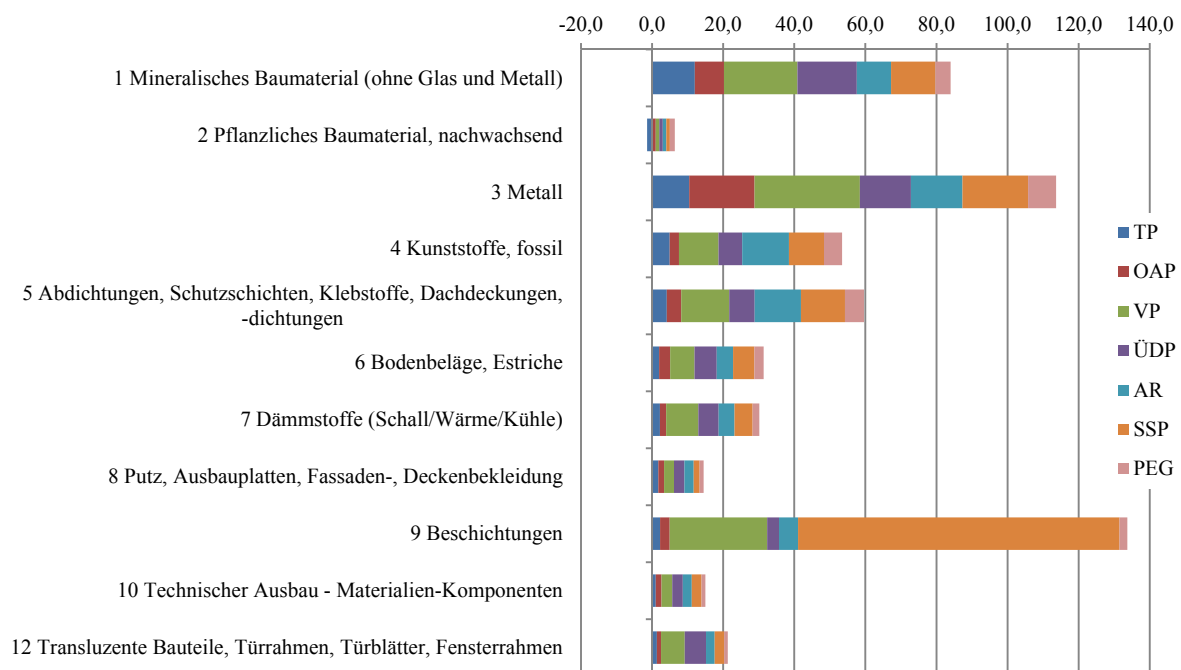


Abbildung 36 Referenzgebäude Büro, Gewichteter Vergleich für Umweltwirkungspotentiale

Die Materialgruppe 2 „Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend“ hat mit 5,0 den kleinsten Vergleichswert des Referenzgebäudes Büro und somit die geringsten Umweltwirkungen. Deutlich ausgeprägt sind auch die größten Vergleichswerte in den Gruppen 9 Beschichtungen (133,7), 3 Metall (113,7) und 1 Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall) mit 101,7. Der Vergleichswert der Gruppe 4 Kunststoffe beträgt 53,5.

Werden diese Vergleichswerte ins Verhältnis zu dem jeweiligen Materialanteil am Gebäude in % aus Tabelle 11 gesetzt, ergeben sich die in Abbildung 37 enthaltenen Werte. Dieses Diagramm zeigt eindeutig, dass bezogen auf die Materialmasse in den Kategorien Beschichtungen und Kunststoffe die größten Potentiale zur Veränderung einer Gebäudeökobilanz liegen.

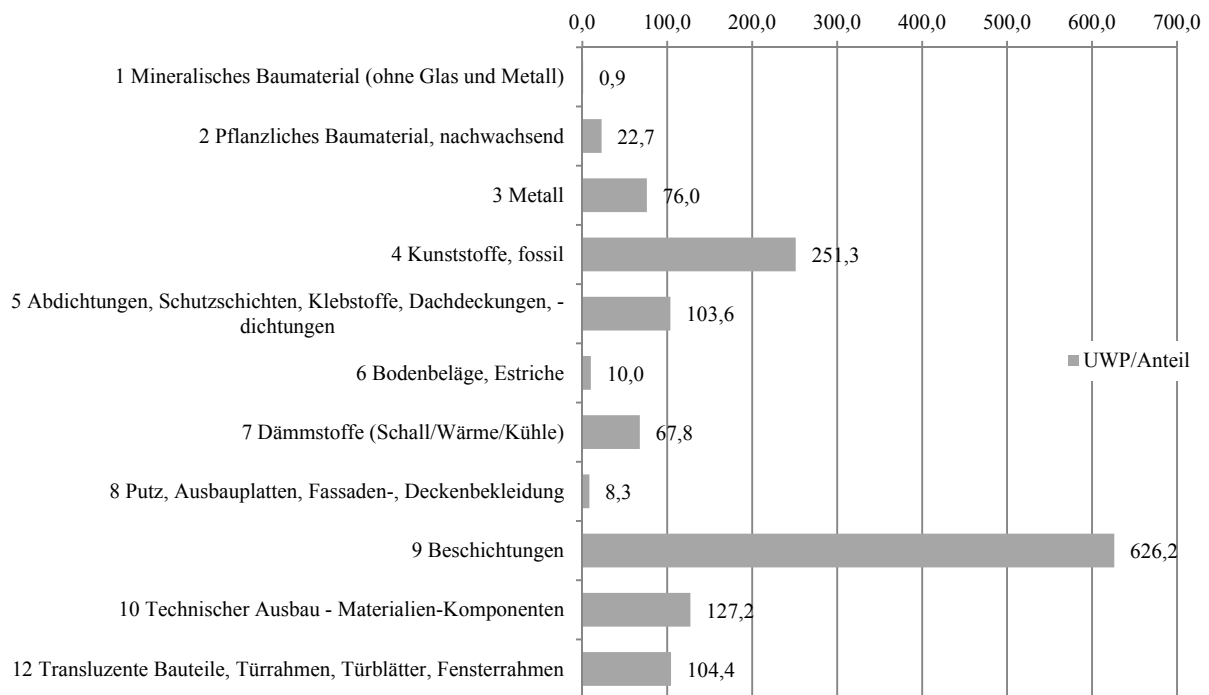


Abbildung 37 Vergleichswerte im Verhältnis zum prozentualen Anteil am Referenzgebäude Büro

b) Referenzgebäude Wohnhaus

Das Projekt wird wie folgt beschrieben. Der Projektname lautet REFERENZGEBÄUDE-WOHNEN-2011-2-Spänner. Die Daten wurden von der Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte aus Karlsfeld bei München erstellt und bearbeitet. Des Weiteren wird das Projekt wie folgt beschrieben: Mehrfamilienwohngebäude, 2-Spänner, Erdgeschoss (EG), 1. und 2. Obergeschoss (OG) und ausgebautes Dachgeschoss (DG), 7 Wohneinheiten, nicht unterkellert, Heizung, Abstellräume im DG, Außenwand Kalksandstein (KS) und Wärmedämmverbundsystem (WDVS), Stahlbeton (Stb) Bodenplatte und Decken, Stb-Treppen, Gasbrennwertkessel und Solaranlage. Als Baujahr ist nichts eingetragen. Die Lage des Gebäudes ist in Gelsenkirchen. Als Vorbemerkung ist angefügt, dass es sich um ein Wohngebäude für die Zertifizierung und Berechnung nach Regeln des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) handelt. Bei der Art des Gebäudes handelt es sich um ein Wohngebäude, Gebäudetyp Wohnhäuser, freistehend. Die Grundstücksfläche beträgt 350,00 m². Vier Geschosse befinden sich oberirdisch. Die bebaute Fläche beträgt 250,12 m², die wärmeübertragende Umfassungsfläche ist mit 981,85 m² angegeben. Der Datensatz besteht aus insgesamt 52 Elementen.

Die benötigte Materialmenge zur Erstellung und Nutzung des Gebäudes über die gesamte Nutzungsdauer von 80 Jahren beträgt 2.248.171,2 kg. Die Menge der fossilen Kunststoffe am Gebäude beträgt 5953,0 kg. Diese Werte sind in LEGEP® unter dem Punkt:

Ökologie/Berechnung/Energie- und Stofffluss/Materialliste/Materialliste nach Materialgruppen/4 Kunststoffe, fossil, zu finden.

Dies entspricht einem Anteil von 0,26 % an der Gesamtmasse des Referenzgebäudes.

Bezogen auf die gesamten Umweltwirkungen der Materialien des Gebäudes, welche für die Erstellung, Instandhaltung und dem Rückbau anfallen, sind die Anteile der Umweltwirkungen der Kunststoffe wie folgt:

Treibhauspotential (GWP)	8,09 %
Ozonabbaupotential (ODP)	7,80 %
Versauerungspotential (AP)	5,64 %
Überdüngungspotential (EP)	5,10 %
Abiotisches Ressourcenabbaupotential (ADP)	10,85 %
Sommersmogpotential (POCP)	5,50 %
Primärenergie erneuerbar (PEI reg.)	1,56 %
Primärenergie nicht erneuerbar (PEI nicht reg.)	10,54 %
Primärenergie Gesamt (PEI Gesamt)	9,40 %

Die Prozentangaben beziehen sich auf die in LEGEP® für das Referenzprojekt hinterlegten absoluten Werte.

Trotz des geringen Massenanteils von nur 0,26 % der Gebäudemasse sind die daraus resultierenden Umweltwirkungen im Verhältnis enorm.

Bei allen gewählten Kategorien, ist der Anteil an den Umweltwirkung im Verhältnis zum Anteil an der Stoffmasse, um das mehr als 20-fache größer. Beim Abiotischen Ressourcenabbaupotential (ADP) liegt dieses Verhältnis sogar um das 41-fache höher.

$$\frac{\text{Umweltwirkungspotential}}{\text{Masse in kg}}$$

Die Auswirkungen des Gebäudebetriebs fließen nicht mit in diese Berechnung ein.

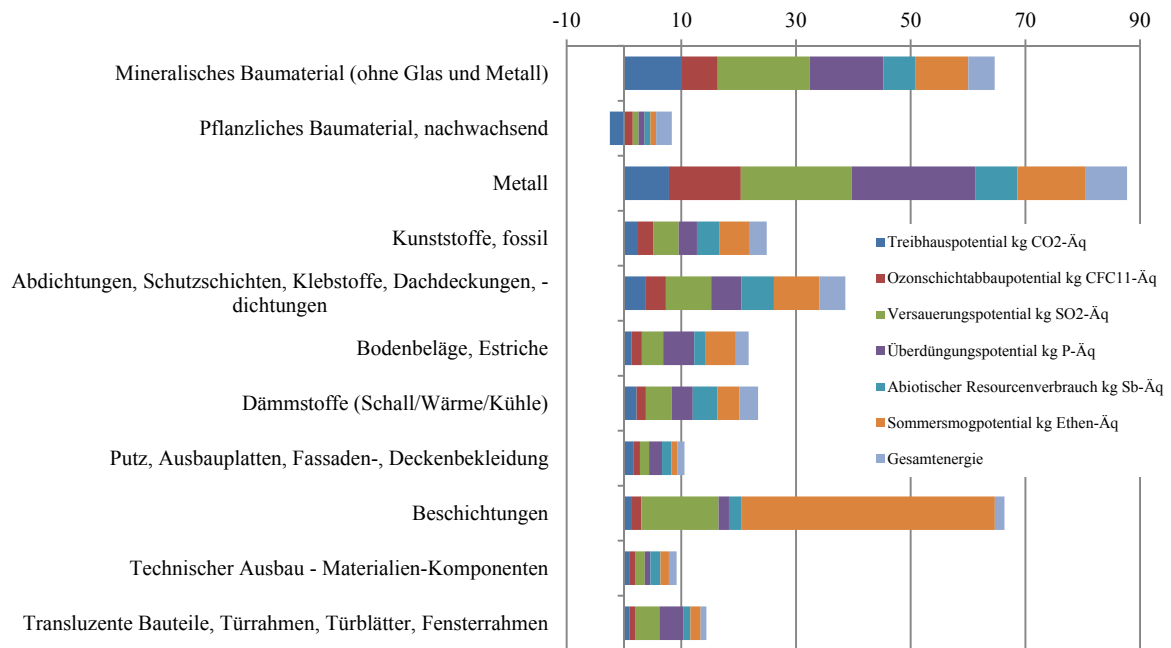


Abbildung 38 Referenzgebäude Wohnhaus, Gewichteter Vergleich für Umweltwirkungspotentiale

Die Materialgruppe „Pflanzliches Baumaterial, nachwachsend“ hat mit 5,8 den kleinsten Vergleichswert des Referenzgebäudes Wohnhaus und somit die geringsten Umweltwirkungen. Deutlich ausgeprägt sind auch die größten Vergleichswerte in den Gruppen Metall (87,7), Beschichtungen (66,4) und Mineralisches Baumaterial (ohne Glas und Metall) mit 64,7. Der Vergleichswert der Gruppe Kunststoffe beträgt 24,9.

3.2.2 Einfluss von Additiven

Die individuellen Anforderungen eines funktionellen Bauteils sind bei der Wahl eines geeigneten Kunststoffs ausschlaggebend. Allerdings ist es nicht ausreichend, die Materialeigenschaften zu kennen, sondern es erfordert auch das Wissen, wie diese mit Additiven optimiert werden können. Abhängig von der Funktion eines Bauteils werden unterschiedliche Anforderungen an das Material gestellt. Mit Additiven ist es in vielen Fällen möglich, die Eigenschaften der Kunststoffe an die jeweiligen Anforderungen anzupassen. Für Recyclingkunststoffe kann dies auf zwei Ebenen geschehen:

- Einerseits können Additive benötigt werden, um auf Materialebene die Eigenschaften von Primärkunststoffen zu erreichen, damit sie in gleichem Maße eingesetzt werden können. Diese zusätzlich benötigten Additive zur Substitution des Primärkunststoffs durch Rezyklate, müssen in die ökologische Bilanzierung aufgenommen werden. Beispiele dafür können sein: Verträglichkeitsmacher, Haftvermittler, Pigmente oder Verflüssiger.

- b) Andererseits werden Additive zum Erreichen der Bauteilanforderungen auf Bauteilebene eingesetzt. Diese müssen jedoch auch bei Primärkunststoffen eingesetzt werden. Diese notwendigen Additive zur Funktionserfüllung werden beim Vergleich auf Materialebene in der ökologischen Bilanzierung nicht betrachtet. Darunter fallen Additive wie zum Beispiel: Farben, Füllstoffe oder Brandschutzmittel. In dieser Arbeit werden nur Funktionen betrachtet, welche sowohl von Primär- als auch Sekundärkunststoffen ohne den Einsatz von zusätzlichen Additiven erfüllt werden können.

Folgende Eigenschaften können im beträchtlichen Maß durch die Zugabe von Füllstoffen und Additiven verändert werden: angestrebte Lebensdauer, Witterungs- und UV-Beanspruchung, chemische Beständigkeit, Anforderungen an die beabsichtigte Endverarbeitung, gewünschte Farbe und Transparenz, Anforderungen an den Brandschutz und Anforderungen an mechanische Eigenschaften.

Der Einsatz von Additiven kann zu einer Kostensteigerung des Produkts führen. Das Recycling kann mit dem Einsatz von Additiven auch problematischer werden. Eine Lösung hierzu wäre sortenreines Recycling nach Produktart und Hersteller, vergleichbar der Sammlung von PVC Fensterrahmen bei Rewindo.

3.2.3 Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer spielt bei der Ökobilanzierung eine entscheidende Rolle. Zwischen der Nutzungsdauer eines Materials oder Bauteils und den Ergebnissen der ökobilanziellen Berechnung besteht ein direkter Zusammenhang. Je länger ein Bauteil genutzt werden kann, desto geringer fallen die dafür berechneten Umweltwirkungen aus.

Bei der Berechnung von Lebenszyklusanalysen von Gebäuden ergeben sich je nach festgelegter Nutzungsdauer unterschiedliche Zyklen für die eingesetzten Bauprodukte. Für die Produkte wird je nach Produktnutzungsdauer ein ganzzahliges Vielfaches von 1 eingesetzt. Bei einer Gebäudenutzungsdauer von 80 Jahren und einer Produktnutzungsdauer von ≥ 40 und < 80 Jahren muss das Bauprodukt einmal ersetzt werden. Daraus ergeben sich aus Sicht der Berechnung bestimmte optimale Nutzungsdauern, an welche die Eigenschaften der Produkte angepasst werden könnten.

- 80 Jahre für den einfachen Einsatz
 - 40 Jahre für einen einmaligen Ersatz
 - $26 \frac{2}{3}$ Jahre für einen zweimaligen Ersatz
 - 20 Jahre für einen dreimaligen Ersatz
 - 16 Jahre für einen viermaligen Ersatz
- usw.

Verpackungskunststoffe werden meist nur für eine kurze Zeitspanne von Tagen und Wochen genutzt. Die Bestimmungen und Vorschriften für Verpackungen sind sehr hoch, dies macht eine Wiederverwendung in der gleichen Branche schwierig. So entsteht nach einer sehr kurzen Nutzungsphase Müll, der heutzutage überwiegend in Kraftwerken oder zum Beispiel bei der Zementherstellung als Ersatzbrennstoff (EBS) zur Energiegewinnung verwertet wird.

Kunststoffe im Bauwesen werden hingegen mehrere Jahre oder Jahrzehnte eingesetzt. Im Jahr 2013 ist der anfallende Kunststoffmüll aus dem Bauwesen mit einem Anteil von 9,2 % (Consultic 2014, S. 12) am gesamten Kunststoffabfall dadurch noch sehr gering.

3.2.4 End of life

Am Ende eines Produktlebenszyklus sollte das Produkt oder deren Teile hierarchisch verwendet werden, um einen möglichst positiven Effekt auf die ökobilanzielle Berechnung zu erzielen. Je länger ein Produkt oder Teile davon genutzt werden können, desto geringer fallen die Umweltwirkungen aus, da für den Nutzen kein neues Produkt hergestellt werden muss. Das Ende eines Produktlebenszyklus ist erreicht, wenn der Nutzen bzw. die Funktion des Produkts für den Nutzer nicht mehr vorhanden ist. Beseitigungsmöglichkeiten wie Verbrennung und Deponierung stellen keine Verwertungsmöglichkeit dar.

Die Verwertungshierarchie baut sich wie folgt auf:

- a) Wiederverwendung in gleicher Funktion
Eine weitere Nutzung des Produkts an einer anderen Stelle oder in einem anderen Bauwerk
- b) Reparatur, Bauteil- bzw. Komponentenaustausch
Wiederherstellung der Funktion
- c) Verwertung der Einzelteile (auch Trans-use)
Wiederverwendung einzelner oder aller Komponenten in einer anderen Funktion
- d) Werkstoffrecycling
Verwertung der Materialien (Thermoplaste)
- e) Rohstoffrecycling
Verwertung der Rohstoffe (Öl)
- f) Energetische Verwertung
Nutzung des Brennerts des Materials

Als Option zum werkstofflichen Recycling wurde auch die energetische Verwertung ökobilanziell untersucht. Die Umweltwirkungspotentiale (UWP) der beiden Verwertungsmöglichkeiten wurden mit den UWP eines Produktlebenszyklus von der Herstellung bis zum Nutzer verglichen.

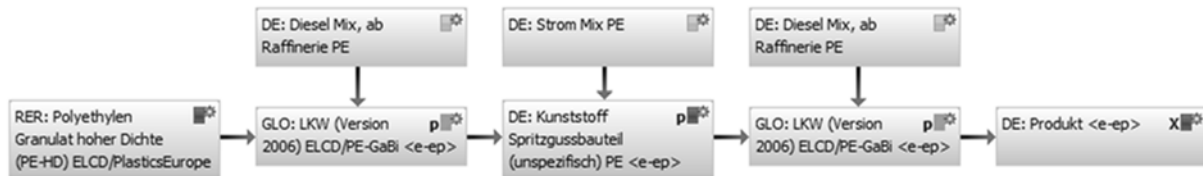


Abbildung 39 GaBi Prozessplan für PE-HD von der Herstellung bis zum Nutzer

Die Werte der Umweltwirkungskategorien des Prozessplans von PE-HD von der Herstellung bis zum Nutzer lauten wie folgt:

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen (unterer Heizwert) 109,419319545793 MJ/kg		
PEI reg.	1,79437119778892	MJ/kg
PEI nicht reg.	107,664942264906	MJ/kg
GWP	3,31733306046481	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	0,0090242039409818	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	2,30632353175042E-7	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,00142132696243324	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000642435463885008	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	81,8041403531824	MJ/kg
CML2001 - Nov. 2009		

Ergänzend zum Prozessplan in Abbildung 39 wird beim Prozessplan des Werkstofflichen Recyclings in Abbildung 40 der Prozess der Aufbereitung hinzugefügt. Somit kann primäres Polyethylen HD fast vollständig substituiert werden.

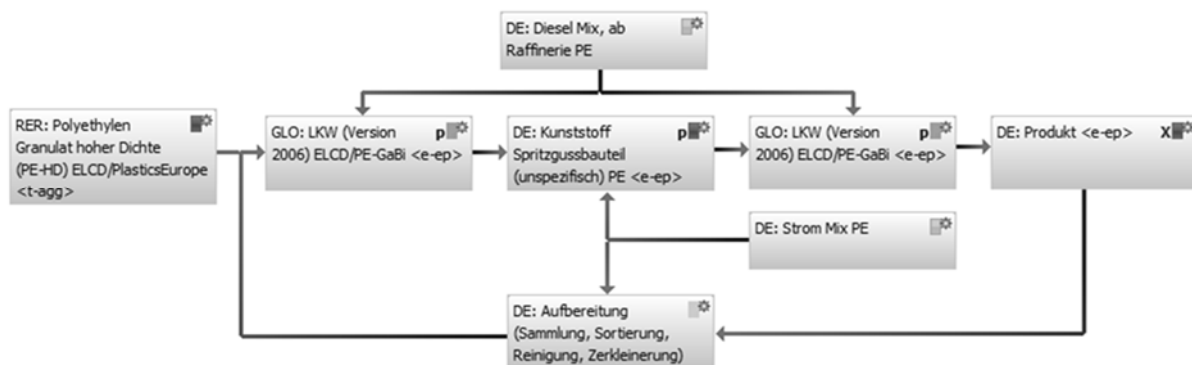


Abbildung 40 GaBi Prozessplan für werkstoffliches Recycling von PE-HD

Die Werte der Umweltwirkungskategorien des werkstofflichen Recyclings lauten wie folgt:

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.)		
Ressourcen (unterer Heizwert)	55,8329670637757	MJ/kg
PEI reg.	1,55470748520212	MJ/kg
PEI nicht reg.	54,2973796147639	MJ/kg
GWP	2,03021040455284	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	0,00365309075512984	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	3,43096823829644E-7	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,00027166590746781	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000301822165886368	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	21,0640703845788	MJ/kg
CML2001 - Nov. 2009		

Bei der energetischen Verwertung wird das Produkt am Ende der Nutzung als hochkalorischer Brennstoff zur Energieerzeugung verwertet.

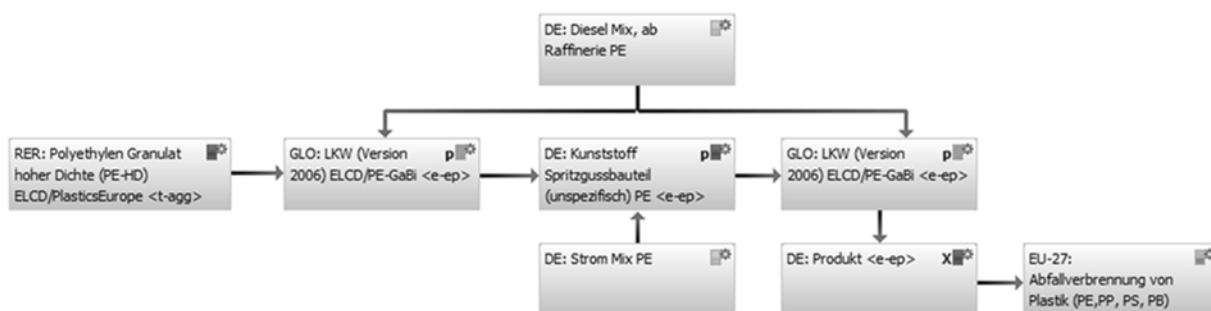


Abbildung 41 GaBi Prozessplan für eine energetische Verwertung von PE-HD

Die Werte der Umweltwirkungskategorien einer energetischen Verwertung von einem Kilogramm PE-HD lauten wie folgt.

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.)		
Ressourcen (unterer Heizwert)	78,2744715433295	MJ/kg
PEI reg.	-1,20512174240929	MJ/kg
PEI nicht reg.	79,4746684643929	MJ/kg
GWP	4,40836703148574	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	-0,00473419837999262	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	2,11538254478471E-8	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,000711682954667898	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000118588077525105	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	57,2559860725339	MJ/kg
CML2001 - Nov. 2009		

Bezogen auf die entstehenden Umweltwirkungen bei der Herstellung eines Kilogramms PE-HD Produkts können durch ein werkstoffliches Recycling oder eine energetische Verwertung folgende Reduktionen erreicht werden.

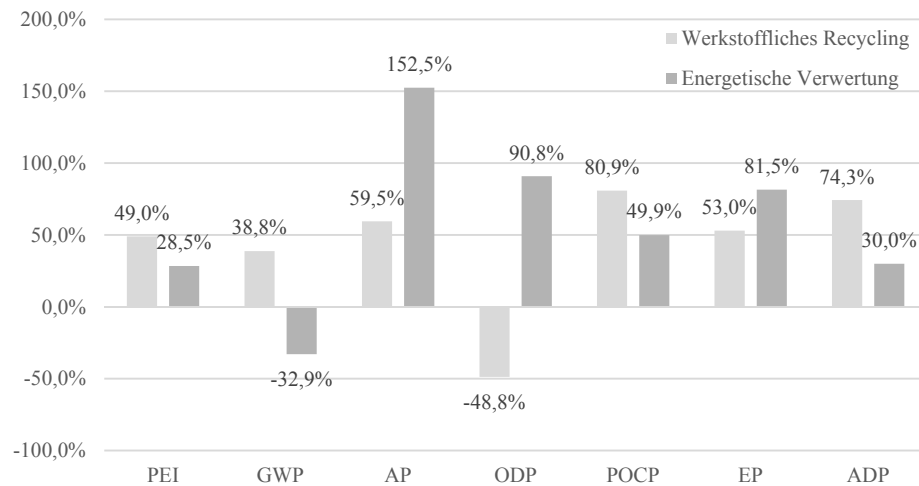


Abbildung 42 Reduktionen von Umweltwirkungen eines Kilogramms PE-HD Produkt durch werkstoffliches Recycling oder energetische Verwertung

Der Vergleich in Abbildung 42 zeigt, dass in vier von sieben Umweltwirkungskategorien das werkstoffliche Recycling von PE-HD eine höhere Reduktion der Umweltwirkungen zur Folge hat, als eine energetische Verwertung. Steigt die Reduktion auf über 100 %, so handelt es sich um eine Gutschrift. Im Fall einer energetischen Verwertung des PE-HD Produkts wirkt sich diese positiv auf das Versauerungspotential AP aus. Eine negative Reduktion bedeutet eine Verschlechterung des jeweiligen Umweltwirkungspotentials durch die gewählte Verwertung.

3.3 Komplexität und Kombination der Funktionen

Die verschiedenen Bauteile und somit die Materialien eines Gebäudes übernehmen unterschiedliche Funktionen. Dabei sind einige Funktionen komplexer in ihren Anforderungen als andere. Oftmals werden mehrere Funktionen in einem Bauteil kombiniert, somit steigt die Komplexität der Anforderungen an das Bauteil. In diesem Kapitel werden die Funktionen der Bauteile in Bezug auf die Anwendbarkeit von thermoplastischen Kunststoffen kurz erläutert.

3.3.1 Tragkonstruktive Funktionen

An das Brandverhalten von tragenden Bauteilen werden aus sicherheitsrelevanter Sicht hohe Anforderungen gestellt. Diese könnten bei Thermoplasten nur mit Hilfe von Additiven oder feuerhemmenden Verkleidungen der tragenden Bauteile realisiert werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die mechanischen Eigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen, im speziellen die niedrige Druck- und Zugfestigkeit, für den tragkonstruktiven Einsatz im Bauwesen meist nicht ausreichend sind.

3.3.2 Technische Funktionen

An technische Bauteile werden hohe Anforderungen an die Funktionsfähigkeit und lange Nutzbarkeit gestellt. Die geringe Materialmenge bei kleinteiligen Anwendungen (Clips, Verbinder, Dübel, Abstandhalter, Steckdosen) ist nicht aussagekräftig in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit eines Gebäudes. Ebenso ist der Einsatz von Recyclingmaterial für Folien problematisch. Aufgrund der geringeren Schmelzflussrate von Recyclingkunststoffen erhöhen sich die Produktionskosten allein schon durch die längere Produktionszeit oder benötigter Additive zur Modifizierung des Schmelzflusses. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass schon kleinste Verunreinigungen (andere Polymere, Schmutz, Additive) die Hauptaufgabe der Baufolien, die Abdichtung, zerstören können, dadurch kann viel Ausschuss entstehen. Um dieses Problem zu beheben, kann die Dicke der Folie erhöht werden, was allerdings zu mehr Materialverbrauch und damit auch zu höheren Kosten führt. Sowohl Kunststoffkleinteile (Dübel) als auch Folien sind auf ihren jeweiligen Einsatz speziell abgestimmt. An sie werden hohe technische und qualitative Anforderungen gestellt.

3.3.3 Raumbildende Funktionen

Thermoplastische Kunststoffe eignen sich ebenso wenig für den Einsatz als raumbildendes Bauteil. Auch hier sind, wie in Kapitel 3.3.1 Tragkonstruktive Funktionen, hohe Anforderungen an das Brandverhalten und die Tragfähigkeit gestellt, welche aufgrund der physikalischen Eigenschaften nur

bedingt, unter anderem auch durch den Einsatz von Additiven, erreicht werden können. Diese Additive wirken sich jedoch meist nachteilig auf die ökologische Bilanzierung aus.

3.3.4 Bekleidende und dekorative Funktionen

Aus architektonisch gestalterischer Sicht bleibt als Alternative noch der Einsatz von recycelten thermoplastischen Kunststoffen für Wand-, Boden- oder Deckenbekleidung im Innen- und Außenraum. Hier ist der Materialeinsatz im Vergleich zu anderen Kunststoffanwendungen im Bauwesen hoch und die Anforderungen sind im Vergleich zu den bereits genannten Funktionen relativ gering. Die detaillierte Betrachtung der Anforderungen ist im Kapitel 3.5 aufgeführt.

3.4 Eingrenzung baulicher Funktionen

In Bezug auf die ökobilanziellen Faktoren des Kunststoffs in einem Gebäude, zeigen die Untersuchungen in Kapitel 3.2.1 Relevanz der Menge, dass es sinnvoll ist, sich mit massenreichen Einsatzmöglichkeiten für Sekundärkunststoffe zu befassen, um einen wesentlichen Einfluss auf die Ökobilanz zu nehmen.

Funktionell sollten an Sekundärkunststoffe keine großen bauphysikalischen Ansprüche gestellt werden. Der Einsatz als tragkonstruktives Bauteil scheidet aufgrund der schlechten mechanischen Eigenschaften aus. Im Bereich der Oberflächenbekleidungen können Sekundärkunststoffe wegen der geringeren Anforderungen und des hohen Gesamtmaterialanteils sinnvoller eingesetzt werden.

Wichtig bei dem Einsatz von Produkten aus Recyclingkunststoff ist die jeweilig vorgesehene Funktionserfüllung. Aufgrund der Materialeigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen werden in dieser Arbeit ausschließlich nicht tragende funktionelle Einheiten betrachtet.

Nicht jede Art von Oberflächenbekleidung eignet sich für den Einsatz von Sekundärkunststoffen. Der Einsatz als polyolefiner Bodenbelag scheidet auf Grund der Probleme beim Einbau und in der Nutzungsphase grundsätzlich von vornherein aus. Polyolefine Beläge benötigen besondere Sorgfalt beim Einbau. Der Belag kann bei der Verklebung durch Feuchtigkeits- oder Lösemittelzufuhr quellen. Eine vollflächige Verklebung wäre notwendig. Ansonsten können durch die hohe Ausdehnung bei Wärme, durch Sonneneinstrahlung oder von einer Fußbodenheizung, Falten und Blasen auftreten, welche sich mit dem Gebrauch von rollbaren Möbeln verschlechtern können. (vgl. Torsten Grotjohann 2003, S. 24–27)

3.5 Resümee der Funktionsauswahl

Im Kapitel 3.2.1 Relevanz der Menge konnte geklärt werden, dass Kunststoffe trotz ihres geringen Massenanteils einen erheblichen Einfluss auf die Umweltwirkungen eines Gebäudes haben. Eine Reduzierung der Auswirkungen kann durch die Substitution von primären thermoplastischen Kunststoffen mit thermoplastischen Rezyklatkunststoffen erfolgen. Außerdem spielt die Nutzungsdauer eines Bauteils eine wesentliche Rolle in der ökologischen Bilanzierung. Für die Reduzierung von Umweltwirkungen sollte die Lebensdauer möglichst lang bzw. der Nutzungsdauer angepasst sein. Ein weiterer ökobilanzieller Faktor ist die Verwertung am Nutzungsende. Dabei ist das werkstoffliche Recycling der energetischen Verwertung vorzuziehen, da so der Werkstoff größtenteils erhalten bleibt. Bezüglich der Komplexität der möglichen Funktionen konnten tragkonstruktive, technische und raumbildende Funktionen aufgrund der Eigenschaften von thermoplastischen Rezyklatkunststoffen ausgeschlossen werden. Demnach eignen sich thermoplastische Rezyklatkunststoffe für den Einsatz als Bekleidung für vorgehängte hinterlüftete Fassaden an der Außenwand, für Bekleidungen an Innenwänden und als Deckenbekleidung.

4. Eigenschaften und Anforderungen

Recyclingkunststoffe haben je nach Recyclingverfahren, Kunststoffart und Zusammensetzung spezifische Eigenschaften. Diese können falls nötig und möglich nach den Anforderungen der gewählten Funktionen im Bauwesen mit zusätzlichen Additiven optimiert werden. Dazu müssen die technischen, gestalterischen, ökologischen und ökonomischen Eigenschaften der Kunststoffrezyklate untersucht werden.

Anschließend besteht die Herausforderung darin, den hohen Anforderungen der Funktionen des Bauwerks aus technischer, gestalterischer, ökologischer, ökonomischer und gesetzlicher Hinsicht nachzukommen.

4.1 IST – Eigenschaften von Kunststoffrezyklaten

Als Ausgangspunkt wurde eine Analyse von in Deutschland verarbeiteten Kunststoffrezyklaten, ihren Qualitäten und Eigenschaften durchgeführt. Durch die Evaluation stehen Daten von 74 Kunststoffrezyklaten aus 10 Firmen zur weiteren Analyse zur Verfügung. Davon beziehen sich zwanzig Datensätze auf Polyethylene (PE, PE-MD, PE-HD, PE-LD), 32 Datensätze auf Polypropylen, 17 Datensätze auf Polyolefine (PE+PP, Mischkunststoffen) und fünf auf Polystyrol (PS). Diese wurden in Tabellen gegenübergestellt.

Tabelle 21 Vergleich Rezyklat mechanische Eigenschaften

Nr.	Stand	Kurzbezeichnung	Spezifikation	Name	Hersteller	Eigenschaften		Dichte	E-Modul Zug	Streckspannung	Streckdehnung	Bruchspannung	Bruchdehnung (nominal)	Zugfestigkeit	Dehnung bei Zugfestigkeit	Charpy-Kerbschlagzähigkeit	Charpy-Schlagzähigkeit	Charpy-Schlagzähigkeit	Shore-Härte
						Prüfung	Einheit												
							DIN EN ISO 1183	g/cm³	ISO 527-1	ISO 527	ISO 527	ISO 527-2	ISO 527	ISO 527-1	ISO 527-2	DIN EN ISO 179	ISO 179 / - 20°C - 5J	ISO 179 / 1eA 23°C	Shore D
12	Feb 14	PP		Dipolen PP				0,92	≥1100				≥180	≥25		≥6	38	60±1	
13	Feb 14	PO	Polyblend PE/PP	Dipolen S				0,94	≥820				≥150	≥20		≥6,5		56±1	
14	Feb 14	PO	Polyblend PP/PE	Dipolen SP				0,9	≥930				≥170	≥22		≥6		58±1	
15	Apr 14	PE	dominiertes Polyblend	Dipolen H				0,935	≥950				≥20	≥22		≥6		58±1	
16	Mai 15	PO	Polyolefin Mahlgut	Dipolen HM	mtmplastics				≥950							≥6			
17	Apr 14	PP	Regranulat	Purpolen PP				0,916	≥1100				≥18	≥24		≥6,5		61±1	
18	Okt 14	PE	Regranulat	Purpolen PE +				0,948	≥950				≥70	≥23		≥12		58±1	
19	Apr 14	PE	Regranulat	Purpolen PE -				0,95	≥850				≥75	≥23		≥30		57±1	
20	Okt 14	PE	Regranulat	Purpolen PE -				0,95	≥900				≥55	≥24		≥25		57±1	
22	13.03.2013		hanit ductil	Qualität 1	Hahn Kunststoffe			1,0062	659	15,25*	21,39*	12,06*	151,4*	9,65	13,8			412	
24	13.03.2013		hanit robust	Qualität 3				0,9896	957	12,64*	9,18*	11,09*	11,09*	936	3,7			28	
26	20.07.2007	PE+PP	Regranulat	CoReg BH	Converta			0,92-0,93	440				>300	15,5 +/- 0,1				80	
27	20.07.2007	PE+PP	Po-Regranulat	CoReg SF				0,93-0,95	756					19,3		4,1		58,6	
28	02.09.2015	PO	Polyolefin-	Regranulat	WEWATEC			0,93-0,94	220-260				100-120	16-18					
31	18.02.2013	PE-HD	Regranulat	200-S				0,95	950	22	12	14	110				3,8	22	
32	18.02.2013	PE-MD	Regranulat	890-S				0,95	750	19	15	16	>250					25	
33	18.02.2013	PE-MD	Regranulat	885-S				0,95	600	17	30	15	>250					40	
34	18.02.2013	PE-MD	Regranulat	880-R				0,95	420	13	40	14	>250				4,5	30	
35	18.02.2013	PE-LD	Regranulat	400-S				0,94	350	13	60	15	>250					60	
36	20.10.2014	PP	Regranulat	580-R				0,97	1100	21	10	9	70			5	2	75	
37	22.04.2015	PP	Regranulat	585-S				0,99	1000	20	10	10	45			5,5		85	
38	09.04.2013	PP	Regranulat	552-S				1,06	2000	25	25	20	17			3,5		45	
39	09.04.2013	PP	Regranulat	500-S				0,92	1100	25	10	11	140			5,8		85	
40	09.04.2013	PP	Regranulat	502-S				0,92	1100	23	10	14	100			5,3	2,4	60	
41	25.09.2013	PP	Regranulat	503-S				0,92	1100	22	10	20	20			5,3		60	
42	09.04.2013	PP	Regranulat	506-S				1,02	1600	24	7	23	15			4,6		50	
43	25.09.2013	PP	Regranulat	530-S				0,93	1050	21	10	20	20			6,8		65	
44	18.02.2013	PP	Regranulat																

Tabelle 22 Vergleich Rezyklate weitere Eigenschaften

								Rheologische Eigenschaften							
Nr.	Stand	Kurzbezeichnung	Spezifikation	Name	Hersteller	Eigenschaften		Dichte	Schmelze-Masse- fließrate MFR	Schmelzindex MFI	Schmelzindex MFI	Grammform	Farbe	Einsatzbereich	
						Prüfung	Einheit								DIN EN ISO 1183
12	Feb 14	PP		Dipolen PP	mtmplastics			0,92	11			L	1,2,3,4,5,6,7,8		
13	Feb 14	PO	Polyblend PE/PP	Dipolen S				0,94	15			Z	1,2,3,4,5,6,7,8		
14	Feb 14	PO	Polyblend PP/PE	Dipolen SP				0,9	17			Z	1,2,3,4,5,6,7,8		
15	Apr 14	PE	domimiertes Polyblend	Dipolen H				0,935	16,5			Z	1,8		
16	Mai 15	PO	Polyolefin Mahlgut	Dipolen HM					16,5		12	F	8,9		
17	Apr 14	PP	Regrenulat	Purpolen PP				0,916	20			Z	10		
18	Okt 14	PE	Regrenulat	Purpolen PE +				0,948	13	1,4	6,2	Z	7,8		
19	Apr 14	PE	Regrenulat	Purpolen PE			0,95	1,5	1,6	13	Z	10			
20	Okt 14	PE	Regrenulat	Purpolen PE -			0,95	17	1,4	1,7	Z	10			
22	13.03.2013		hanit ductil	Qualität 1	Hahn Kunst-		1,0062								
24	13.03.2013		hanit robust	Qualität 3	stoffe		0,9896								
26	20.07.2007	PE+PP	Regrenulat	CoReg BH	Converta		0,92-0,93	2,5 +0,5	0,95±0,05		L	1			
27	20.07.2007	PE+PP	Po-Regrenulat	CoReg SF			0,93-0,95	3,4+0,5			L	1			
28	02.09.2015	PO	Polyolefin-	Regrenulat	WEWATEC		0,93-0,94		0,3-1,0	2,0-2,9		1,8	RF		
31	18.02.2013	PE-HD	Regrenulat	200-s	Vogt plastic		0,95		0,5	1,9		1,8			
32	18.02.2013	PE-MD	Regrenulat	890-s			0,95		0,6	2,2		1,8			
33	18.02.2013	PE-MD	Regrenulat	885-S			0,95		0,6	2,2		1,8			
34	18.02.2013	PE-MD	Regrenulat	880-R			0,95		0,8	2,2		1,8			
35	18.02.2013	PE-LD	Regrenulat	400-S			0,94		0,7	2		1,8			
36	20.10.2014	PP	Regrenulat	580-R			0,97	7,7				1,8			
37	22.04.2015	PP	Regrenulat	585-S			0,99	5,8				1,8			
38	09.04.2013	PP	Regrenulat	552-S			1,06	9				1,7,8,11,13			
39	09.04.2013	PP	Regrenulat	500-S			0,92	11,5				1,7,8,11,12,13			
40	09.04.2013	PP	Regrenulat	502-S			0,92	20				1,7,8,11,12,13			
41	25.09.2013	PP	Regrenulat	503-S			0,92	30				1,7,8,11,12,13			
42	09.04.2013	PP	Regrenulat	506-S			1,02	10				1,7,8,11,12,13			
43	25.09.2013	PP	Regrenulat	530-S			0,93	15				1,7,8,11,12			
44	18.02.2013	PP	Regrenulat	531-S			0,93	11				1,7,8,11,12			
45	25.09.2013	PP	Regrenulat	532-S			1,02	11,5				1,7,8,11,12,13			
46	18.02.2013	PP	Regrenulat	582-R			0,93	8				1,8			
47	20.03.2013	PS	Regrenulat	600-S			1,05	6,5				7,8			
48	20.03.2013	PS	Regrenulat	603-S			1,05	6,5				7,8			
49	20.03.2013	PS	Regrenulat	606-S			1,05	6,5				7,8			
50	20.03.2013	PS	Regrenulat	609-S			1,05					7,8			
52	18.02.2013	PO	Regrenulat	921-S			1,05	2,3				1,8			
53	18.02.2013	PO	Regrenulat	907-S			1,02	2,3				1,8			
54	18.02.2013	PO	Regrenulat	920-S			0,95	2,6				1,8			
55	18.02.2013	PO	Regrenulat	901-S			1,02	4				1,8			
56	18.02.2013	PO	Regrenulat	903-S			1,01	4				1,8			
57	18.02.2013	PO	Regrenulat	904-S			0,99	4				1,4,8			
58	18.02.2013	PO	Regrenulat	900-S			0,94	4				1,8			
59	06.05.2015	HDPE	multithene	1050		Multiport Recycling		≥0,945		2-3,5		L	1,8		
60	06.05.2015	HDPE	multithene	1060			≥0,945		0,5-0,7		L	1,8			
61	06.05.2015	HDPE	multithene	1061			≥0,945		0,7-1		L	1,8			
62	06.05.2015	HDPE	multithene	1062			≥0,945		0,9-1,6		L	1,8			
63	06.05.2015	HDPE	multithene	1063			≥0,945		1,5-2,1		L	1,8			
64	06.05.2015	PP	multiprop	1250		0,91			5-12		L	1,8			
65	25.05.2012	PP	Upcyclen PPC 10-18-05	TV15 sw OIT	Graf		1,01	6 - 10							
66	13.04.2011	PP	Upcyclen PPC	10-10-05 grün	Plastics		0,92	8							
74	08.08.2012	PS		Regrenulat	ZWS		1,056								
75	08.08.2012	PP		Regrenulat			0,917	10,64							
77	Jan 15	HDPE	recythen	HDPE	interseroh		0,950±0,05			2±0,5					
79	Jan 15	LDPE	recythen	LDPE			0,940±0,03		1±0,5	4±1					
80	Jan 15	PP	recythen	PP 10			0,920±0,020	10±2							
81	Feb 15	PP	procyclen	PP B12			0,95±0,03	30±3							
82	Mrz 14	PP	procyclen	PP B12 A			0,94±0,02	50±4							
83	Jan 15	PP	procyclen	PP 20 QII			0,93±0,02	20±3					S		
84	Jan 15	PP	procyclen	PP 30 QII			0,93±0,02	30±5					S		
85	Jan 15	PP	procyclen	PP 40 QII			0,93±0,02	40±5					S		
86	Jan 15	PP	procyclen	PP 50 QII			0,93±0,02	40±5					S		
87	Jan 15	PP	procyclen	PP E2 QII			0,93±0,02	10±1,5							
88	Jan 15	PP	procyclen	PP E4 QII		0,93±0,02	11±2								
96	Mrz. 15	PP		11404 gr 011	Systalen		0,92	12			G	1	S		
97	Mrz. 15	PP		13404 gr 002			0,92	12				G	1	S	
98	Mrz. 15	PP		13404 gr 014			0,92	20				G	1	S	
99	Mrz. 15	PP		13704 gr 015			0,92	40				G	1	S	
100	Mrz. 15	LDPE		32104 gr 003			0,93					G	1	S/E	
101	Mrz. 15	HDPE		71104 gr 036			0,95			<1	2-3	G	1	S/E	
102	Mrz. 15	LD-/HDPE		92104 gr 006			0,95			<1	1,5-2,5	G	1	S/E	
103	Mrz. 15	PP		29409 mc 014			0,92	12				F	9	S	
104	Mrz. 15	HDPE		89109 mc 002			0,95					F	9	S/E	
105	Mrz. 15	MK		09204 gr 045							3,4	FA	1	S/E	
106	Mrz. 15	MK		09204 gr 058						4	A	1	S/E		
107	Mrz. 15	PP		69304 gr 052		0,93	8				A	1	S/E		
		MK Mischkunststoff			L Linsen, Z Zylinder, F Flakes, G Granulat, A Agglomerat, FA Folienagglomerat										
					S Spritzguss, E Extrusion, RF Rohre Folien > 50 m										

Tabelle 23 Quellen der Daten aus Tabelle 21 und Tabelle 22

Nr.	Stand	Kurzbezeichnung	Spezifikation	Name	Hersteller	Eigenschaften	Datum	Quelle
12	Feb 14	PP		Dipolen PP			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/Datenblatt_-_Dipolen_PP.pdf
13	Feb 14	PO	Polyblend PE/PP	Dipolen S			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/Datenblatt_-_Dipolen_SPdf
14	Feb 14	PO	Polyblend PP/PE	Dipolen SP			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/Datenblatt_-_Dipolen_SP.pdf
15	Apr 14	PE	dominiertes Polyblend	Dipolen H			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/Datenblatt_-_Dipolen_H.pdf
16	Mai 15	PO	Polyolefin Mahlgut	Dipolen HM	mtm plastics		07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/dipolen/Dipolen_HMahlgut_de.pdf
17	Apr 14	PP	Regranulat	Purpolen PP			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/Datenblatt_-_Purpolen_PP.pdf
18	Okt 14	PE	Regranulat	Purpolen PE +			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/purpolen/Purpolen_PE_de_vorlaeufiger_Entwurf.pdf
19	Apr 14	PE	Regranulat	Purpolen PE			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/purpolen/Purpolen_PE_de.pdf
20	Okt 14	PE	Regranulat	Purpolen PE -			07.09.2015	http://mtm-plastics.eu/fileadmin/fuerAdmin/downloads/datenblaetter/purpolen/Purpolen_PE-de_vorlaeufiger_Entwurf_P.pdf
22	13.03.2013		hanit ductil	Qualität 1	Hahn Kunststoffe		07.09.2015	http://www.hahnkunststoffe.de/files/de/pdf/120515_101301_0007-z.pdf
24	13.03.2013		hanit robust	Qualität 3			07.09.2015	http://www.hahnkunststoffe.de/files/de/pdf/120515_101301_0008-z.pdf
26	20.07.2007	PE+PP	Regranulat	CoReg BH	Converta		07.09.2015	http://www.converta.com/fileadmin/user_upload/pdfs/CoReg_BH.pdf
27	20.07.2007	PE+PP	Po-Regranulat	CoReg SF			07.09.2015	http://www.converta.com/fileadmin/user_upload/pdfs/CoReg_SF.pdf
28	02.09.2015	PO	Polyolefin-	Regranulat	WEWATEC		07.09.2015	http://www.wewatec.com/action.php?show=datenblatt
31	18.02.2013	PE-HD	Regranulat	200-s			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyethylen-pe-regranulate/pe-hd-regranulat-200-s.html
32	18.02.2013	PE-MD	Regranulat	890-s			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyethylen-pe-regranulate/pe-md-regranulat-890-s.html
33	18.02.2013	PE-MD	Regranulat	885-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyethylen-pe-regranulate/pe-md-regranulat-885-s.html
34	18.02.2013	PE-MD	Regranulat	880-R			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyethylen-pe-regranulate/pe-md-regranulat-880-r.html
35	18.02.2013	PE-LD	Regranulat	400-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyethylen-pe-regranulate/pe-l-d-regranulat-400-s.html
36	20.10.2014	PP	Regranulat	580-R			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-580-s.html
37	22.04.2015	PP	Regranulat	585-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-585-s.html
38	09.04.2013	PP	Regranulat	552-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-552-s.html
39	09.04.2013	PP	Regranulat	500-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-500-s.html
40	09.04.2013	PP	Regranulat	502-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-502-s.html
41	25.09.2013	PP	Regranulat	503-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-503-s.html
42	09.04.2013	PP	Regranulat	506-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-506-s.html
43	25.09.2013	PP	Regranulat	530-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-530-s.html
44	18.02.2013	PP	Regranulat	531-S	Vogt plastic		07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-531-s.html
45	25.09.2013	PP	Regranulat	532-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-532-s.html
46	18.02.2013	PP	Regranulat	582-R			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polypropylen-pp-regranulate/pp-regranulat-582-r.html
47	20.03.2013	PS	Regranulat	600-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polystyrol-ps-regranulate/ps-regranulat-600-s.html
48	20.03.2013	PS	Regranulat	603-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polystyrol-ps-regranulate/ps-regranulat-603-s.html
49	20.03.2013	PS	Regranulat	606-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polystyrol-ps-regranulate/ps-regranulat-606-s.html
50	20.03.2013	PS	Regranulat	609-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polystyrol-ps-regranulate/ps-regranulat-609-s.html
52	18.02.2013	PO	Regranulat	921-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyolefin-po-regranulate/po-regranulat-921-s.html
53	18.02.2013	PO	Regranulat	907-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyolefin-po-regranulate/po-regranulat-907-s.html
54	18.02.2013	PO	Regranulat	920-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyolefin-po-regranulate/po-regranulat-920-s.html
55	18.02.2013	PO	Regranulat	901-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyolefin-po-regranulate/po-regranulat-901-s.html
56	18.02.2013	PO	Regranulat	903-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyolefin-po-regranulate/po-regranulat-903-s.html
57	18.02.2013	PO	Regranulat	904-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyolefin-po-regranulate/po-regranulat-904-s.html
58	18.02.2013	PO	Regranulat	900-S			07.09.2015	http://www.vogt-plastic.de/produktuebersicht/polyolefin-po-regranulate/po-regranulat-900-s.html
59	06.05.2015	HDPE	multithene	1050			07.09.2015	http://www.mp-bhg.eu/de/download-center.html?file=t1_files/downloads/spezifikationen%20mpo/multithene_1050.pdf
60	06.05.2015	HDPE	multithene	1060			07.09.2015	http://www.mp-bhg.eu/de/download-center.html?file=t1_files/downloads/spezifikationen%20mpo/multithene_1060.pdf
61	06.05.2015	HDPE	multithene	1061			07.09.2015	http://www.mp-bhg.eu/de/download-center.html?file=t1_files/downloads/spezifikationen%20mpo/multithene_1061.pdf
62	06.05.2015	HDPE	multithene	1062			07.09.2015	http://www.mp-bhg.eu/de/download-center.html?file=t1_files/downloads/spezifikationen%20mpo/multithene_1062.pdf
63	06.05.2015	HDPE	multithene	1063			07.09.2015	http://www.mp-bhg.eu/de/download-center.html?file=t1_files/downloads/spezifikationen%20mpo/multithene_1063.pdf
64	06.05.2015	PP	multirop	1250			07.09.2015	http://www.mp-bhg.eu/de/download-center.html?file=t1_files/downloads/spezifikationen%20mpo/multirop_1250.pdf
65	25.05.2012	PP	Upcyclen PPC 10-18-05	TV15 sw OIT	Graf		07.08.2012	erhalten per Email durch Armin Lienhard von Graf Plastics GmbH
66	13.04.2011	PP	Upcyclen PPC	10-10-05 grün	Plastics		07.08.2012	erhalten per Email durch Armin Lienhard von Graf Plastics GmbH
74	08.08.2012	PS	Regranulat		ZWS		08.08.2012	erhalten per Email durch Wilhelm Klunk von ZWS Recycling GmbH
75	08.08.2012	PP	Regranulat				08.08.2012	erhalten per Email durch Wilhelm Klunk von ZWS Recycling GmbH
77	Jan 15	HDPE	recythen	HDPE			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_recythen_HDPE_de_05_2015_final.pdf
79	Jan 15	LDPE	recythen	LDPE			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_recythen_LDPE_de_05_2015_final.pdf
80	Jan 15	PP	recythen	PP 10			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_recythen_PP_10_de_05_2015_final.pdf
81	Feb 15	PP	procylen	PP B12			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/procylen_R_PP_B12.pdf
82	Mrz 14	PP	procylen	PP B12 A			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/procylen_R_PP_B12_A.pdf
83	Jan 15	PP	procylen	PP 20 QII	interseroh		07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_procylen_PP_20_QII_de_05_2015_final.pdf
84	Jan 15	PP	procylen	PP 30 QII			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_procylen_PP_30_QII_de_05_2015_final.pdf
85	Jan 15	PP	procylen	PP 40 QII			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_procylen_PP_40_QII_de_05_2015_final.pdf
86	Jan 15	PP	procylen	PP 50 QII			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_procylen_PP_50_QII_de_05_2015_final.pdf
87	Jan 15	PP	procylen	PP E2 QII			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_procylen_PP_E2_QII_de_05_2015_final.pdf
88	Jan 15	PP	procylen	PP E4 QII			07.09.2015	http://www.interseroh.de/fileadmin/intereroh/content/pdfs/Systemdienstleistungen/recycled-resource/TDS_procylen_PP_E4_QII_de_05_2015_final.pdf
96	Mrz 15	PP		11404 gr 011			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_11404_gr_011_-_PP_D201503.pdf
97	Mrz 15	PP		13404 gr 002			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_13404_gr_002_-_PP_D201503.pdf
98	Mrz 15	PP		13404 gr 014			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_13404_gr_014_-_PP_D201503.pdf
99	Mrz 15	PP		13704 gr 015			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_13704_gr_015_-_PP_D201503.pdf
100	Mrz 15	LDPE		32104 gr 003			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_32104_gr_003_-_LDPE_D201503.pdf
101	Mrz 15	HDPE		71104 gr 036			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_71104_gr_036_-_HDPE_D201503.pdf
102	Mrz 15	LD-HDPE		92104 gr 006			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_92104_gr_006_-_LD-HD-70-30_D201503.pdf
103	Mrz 15	PP		29409 mc 014			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_29409_mc_014_-_PP_D201503.pdf
104	Mrz 15	HDPE		89109 mc 002			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_89109_mc_002_-_HDPE_D201503.pdf
105	Mrz 15	MK		09204 gr 045			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_09204_gr_045_-_MK_D201503.pdf
106	Mrz 15	MK		09204 gr 058			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_09204_gr_058_-_MK_D201503.pdf
107	Mrz 15	PP		69304 gr 052			07.09.2015	http://www.systemalen.de/fileadmin/layout/redaktion/Systemalen_Produktinfos/deutsch/SYSTALEN_69304_gr_052_-_PP_D201503.pdf
		MK Mischkunststoff						

4.1.1 Technische Eigenschaften

Um die Materialeigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen zu veranschaulichen, werden sie in Relation mit anderen Materialien gesetzt. Generell haben thermoplastische Kunststoffe ein geringes Eigengewicht, sind prinzipiell brennbar, besitzen eine hohe Verformbarkeit, und haben ein ausgeprägt zeitabhängiges Verhalten bezüglich Langzeitbestrahlung, Bewitterung und Kriechen bei Dauerstandfestigkeit. Sie sind farblos, leicht einzufärben, frei formbar, bei niedrigen Temperaturen verarbeitbar zwischen 80 – 230 °C, reversibel schmelz- und umformbar und haben im Vergleich zu anderen typischen Baumaterialien schlechtere mechanische Eigenschaften wegen der unvernetzten Molekülketten. Nachstehend werden die mechanischen Eigenschaften von ausgewählten thermoplastischen Primär-kunststoffen mit denen häufig eingesetzter Baumaterialien gegenübergestellt. Verglichen werden Elastizitätsmodul, Druckfestigkeit und Zugfestigkeit.

Tabelle 24 Gegenüberstellung mechanischer Eigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen und typischen Baumaterialien

	E-Modul DIN EN ISO 527-1 GPa	Druckfestigkeit DIN EN ISO 604 MPa	Zugfestigkeit DIN EN ISO 527-1 MPa
PE-LD	0,1-0,5 (0,2-0,4) (2)	15-25	8-25 (8-10) (2)
PE-HD	0,6-1,4 (2)	30-40	18-40 (18-30) (2)
PP-H	0,945-2,43 (1,3-1,8) (2)	40-45	22-45 (25-40) (2)
PS-R	3,1-3,3 (2)	/	(30-55) (2)
PC (BPA)	2,3-2,4 (2)	/	(55-65) (2)
Allgemeiner Baustahl	210-212	290-900	235-500 (1)
Beton	16-43	25	2-4
Ziegel	9,7-80	2,5-75	3-20
Kiefer	8,2-16 (längs) 0,3-1,1 (quer)	10-58	10-80 (längs) 2-3 (quer)

1) (Goris Aufl. 17.2006)

2) (Saechtling und Oberbach 2001)

restliche Werte: (EPFL École polytechnique fédérale de Lausanne 2011)

Das E-Modul ist bei thermoplastischen Kunststoffen wesentlich geringer als bei herkömmlichen Baustoffen und beträgt im besten Fall 40 % des E-Moduls von Kiefernholz und im schlechtesten Fall 0,05 % des E-Moduls von allgemeinem Baustahl.

Die Zugfestigkeit ist bei thermoplastischen Kunststoffen im Vergleich zu der von Beton oder Ziegel sehr gut, sie liegt in einem ähnlichen Bereich wie die von Kiefernholz und ist um das 3,6 bis 62,5-fache kleiner als die von Baustahl.

Diese Einschränkung wird durch das, für den Einsatz im Bauwesen, verhältnismäßig schlechte Brandverhalten noch unterstützt. Durch das Hinzufügen von Additiven, zum Beispiel Flammenschutzmittel oder Thermostabilisatoren, lassen sich die Eigenschaften zwar verbessern, sind aber dennoch nicht für den Einsatz in tragenden Bauteilen ausreichend. Kunststoffe gehören der Baustoffklasse B – brennbare Baustoffe an.

Bei den PE-HD-Rezyklaten beträgt die Dichte je nach Typ zwischen $> 0,945$ und $0,95 + 0,05 \text{ g/cm}^3$. Das E-Modul schwankt zwischen 670 und $950 + 100 \text{ MPa}$. Die Zugfestigkeit variiert zwischen 20 und 27 MPa. Die Streckdehnung bzw. die Dehnung bei Zugfestigkeit liegt zwischen > 9 und 12 %. Im Vergleich zu primärem PE-HD mit einer Dichte von $0,94 - 0,96 \text{ g/cm}^3$, einem E-Modul von 600 – 1400 MPa, einer Streckspannung von 18 – 30 MPa und einer Streckdehnung von 8 – 12 % liegen die Werte des Rezyklats innerhalb des Spektrums von primärem Polyethylen mit hoher Dichte. (Saechtling und Oberbach 2001, S. 403) (Werte Rezyklat Tabelle 21)

4.1.2 Gestalterische Eigenschaften

Rezyklatkunststoffe werden bezüglich ihrer gestalterischen Eigenschaften in einem breiten Spektrum auf dem Markt angeboten. Aus gestalterischer Sicht sind folgende Aspekte wichtig: Farbigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Formgebung infolge der Verarbeitungsmöglichkeit (Spritzguss, Extrusion, Rotationsformen, Formpressen, Thermoformen) und der Geruch. Die Abfälle, aus denen Kunststoffrezyklat hergestellt wird, werden zwar meist nach ihrer Art sortiert und sind je nach Prozess annähernd sortenrein, jedoch sind sie meist nicht farblich sortiert. Diese bunten Flakes, wie in Abbildung 43 zu sehen, werden zu Rezyklat weiterverarbeitet. Dieses Gemisch an Farben lässt sich nur in bestimmte Farbtöne wieder einfärben. Helle oder kräftige Farben lassen sich nicht erreichen. Bei den erhobenen Rezyklatdaten sind für die einzelnen Kunststoffarten folgende Farben möglich.



Abbildung 43 Polyethylen-Mahlgut von der Deutschen Gesellschaft für Kreislaufwirtschaft und Rohstoffe mbH (DKR)

PE	grau, anthrazit, schwarz
PE-LD	grau, schwarz
PE-HD	grau, schwarz, bunt
PO	grau, hellgrau, blau, grün, dunkelrot, braun, anthrazit, schwarz, bunt
PP	grau, hellgrau, blau, grün, dunkelrot, braun, anthrazit, schwarz, bunt, tiefschwarz, ultraschwarz, mittelgrau
PS	anthrazit, schwarz

Einige Hersteller bieten die Möglichkeit, das Rezyklat nach Kundenwunsch einzufärben, jedoch beschränkt sich das mögliche Spektrum auf dunkle Farbtöne. Helle und kräftige Farben wären nur möglich, wenn die Kunststoffabfälle vor der Verarbeitung farblich sortiert werden würden. Dies ist nach heutigem Stand der Technik zwar möglich, jedoch sind Zeitaufwand und die Gesamtkosten dafür noch höher als bei der Herstellung von Primärkunststoffen. Die Qualität der Oberflächen wird durch den Anteil der Verunreinigungen beeinflusst. Schon ein geringer Anteil von 1 - 2 % kann zu Fehlstellen in der Oberfläche und damit zu gestalterischen Einbußen führen.

Durch den Recyclingprozess verändern sich die mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe. Bei einer signifikanten Veränderung der Schmelzflussrate kann es zur Einschränkung der Verarbeitungsmöglichkeiten kommen. Auch in diesem Fall ist es möglich durch den Einsatz von Additiven die Schmelzflussrate zu optimieren.

Thermoplastische Kunststoffe aus dem Siedlungsmüll können mit flüchtigen Substanzen angereichert und dadurch olfaktorisch belastet sein. Für den Einsatz im Gebäude müssen Additive zur Geruchsminderung hinzugefügt werden. Geeignete Additive sind Zeolithe und Aktivkohle.

4.1.3 Ökologische Eigenschaften

Aus ökologischen Gesichtspunkten gibt es mehrere Gründe Rezyklatkunststoffe einzusetzen. Grundsätzlich sollte die Ökobilanz einer funktionellen Einheit aus Rezyklat positiver ausfallen, als jene aus Primärkunststoff. Jedoch ist dies aufgrund der unterschiedlichen Wirkungskategorien meist nicht eindeutig der Fall. Vereinfacht sind daher Vergleiche einzelner Wirkungskategorien, wie Treibhauspotential in kgCO₂-Äquivalent, Primärenergieaufwand in MJ oder das Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen in kgSb-Äquivalent (Sb = Antimon), möglich und üblich. Von den evaluierten zehn Herstellern von Kunststoffrezyklaten waren nur zwei bereit, konkrete Aussagen über die Herstellung zu machen. Auf eine detaillierte Beschreibung der Input- und Output-Flüsse und deren Mengen wird in dieser Arbeit auf Wunsch der Hersteller verzichtet. Die Angaben standen für eine Berechnung der Ökobilanzdaten mit der Software GaBi zur Verfügung. Im Kapitel 6.1 Prozesse Rezyklatkunststoffe sind die Ergebnisse der Berechnung dargestellt. Die Berechnung umfasst die Lebenszyklusphase Produktion. Für die Verwendung im Bauwerk wird von unterschiedlich langen Nutzungsdauern ausgegangen, für die jeweils neue Berechnungen angestellt wurden.

Für die Berechnung von Lebenszyklusanalysen ist die Nutzungsdauer ein entscheidender Faktor. Der zweite wichtige Faktor ist die benötigte Menge, um eine Funktion zu erfüllen. Beide Einflussfaktoren wirken sich direkt auf die Berechnung aus. Bei Verdopplung der Lebensdauer oder Halbierung der benötigten Materialmenge können sich beide Male die Umweltwirkungen halbieren.

4.1.4 Ökonomische Eigenschaften

In dieser Arbeit werden die ökonomischen Eigenschaften nicht speziell für die gewählten Rezyklatkunststoffe betrachtet, da die einzelnen Preise von vielen Faktoren (Marktpreis Primärkunststoff, Menge, Qualität) abhängig sind und teilweise stark schwanken. Deshalb werden durchschnittliche Marktpreise über einen längeren Zeitraum betrachtet. Wirtschaftlich gesehen sollten, wie bereits oben erwähnt, die Kosten des Rezyklatkunststoffs niedriger als die Kosten eines Primärkunststoffs bei gleicher Funktionserfüllung sein. Bestehen trotz höherer Kosten ökologische Vorteile gegenüber alternativen funktionellen Einheiten, muss im Einzelfall geprüft werden, welche Aspekte im Gesamtkonzept überwiegen sollen. Die Preise für Rezyklate unterliegen, wie auch die Preise für Primärkunststoffe, den Schwankungen des Marktes. Folgend werden die Verläufe einiger Preisindizes dargestellt und erläutert.

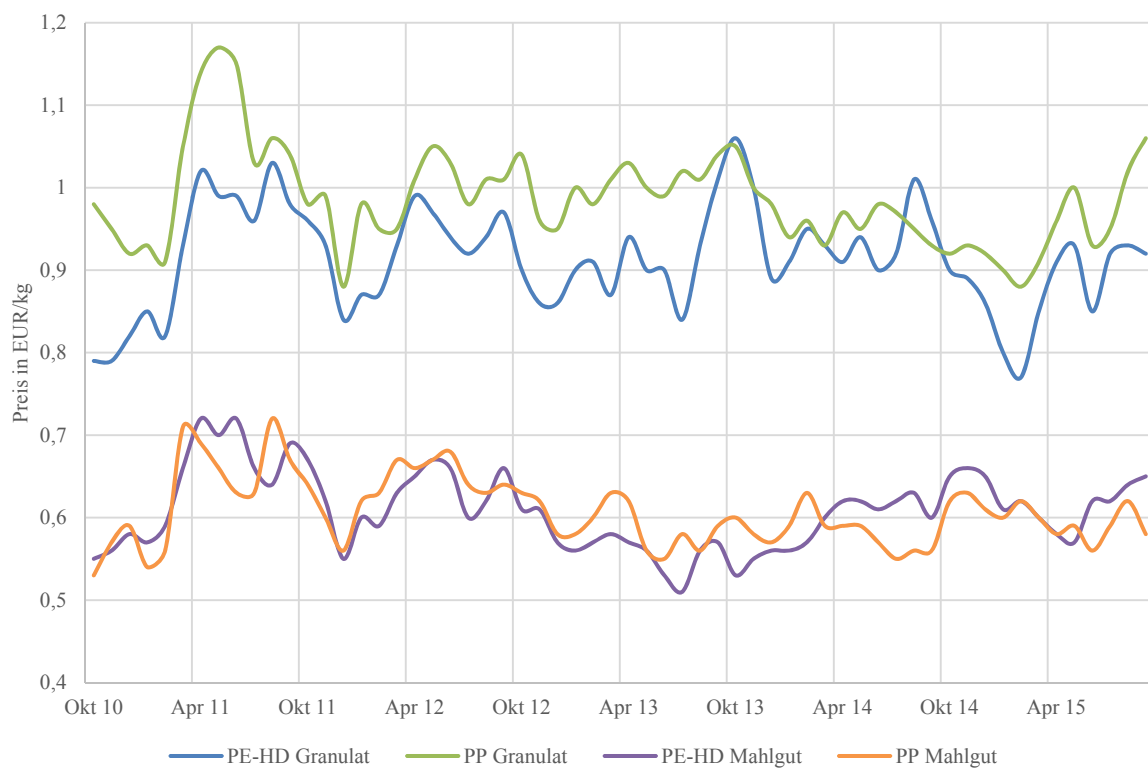


Abbildung 44 Preisvergleich primäres Granulat mit sekundärem Mahlgut
(vgl. Kunststoffweb 2015; plasticker 2015)

Der Preis von primärem Granulat liegt im Fünfjahreszeitraum vom Oktober 2010 bis zum September 2015 im Durchschnitt bei 0,914 EUR/kg für PE-HD und bei 0,986 EUR/kg für PP. Die Standardabweichung beträgt bei primärem PE-HD 0,063 EUR/kg und bei PP 0,060 EUR/kg. Für sekundäres Mahlgut liegt der durchschnittliche Preis im gleichen Zeitraum bei 0,608 EUR/kg für PE-HD und bei 0,607 EUR/kg für PP. Die Standardabweichung liegt hier bei 0,047 EUR/kg für PE-HD und bei 0,042 EUR/kg für PP. Sowohl bei den primären als auch bei den sekundären Kunststoffen ist die Standardabweichung gering. Wie in Abbildung 44 zu sehen, gibt es im Betrachtungszeitraum keinen langfristigen An- oder Abstieg. Abgesehen von kurzfristigen Schwankungen sind die angegebenen Preise relativ stabil. Der Preisunterschied zwischen Granulat und Mahlgut beträgt im Mittel 0,306 EUR/kg bei PE-HD und 0,379 EUR/kg bei PP. Die Standardabweichung ist auch hier gering und liegt bei 0,062 EUR/kg für PE-HD und bei 0,054 EUR/kg für PP.

Falls das Rezyklat ohne zusätzliche Additive eingesetzt und das primäre Material in gleicher Form substituiert werden kann, könnten an Materialkosten 33 % bei PE-HD und 38 % bei PP eingespart werden.

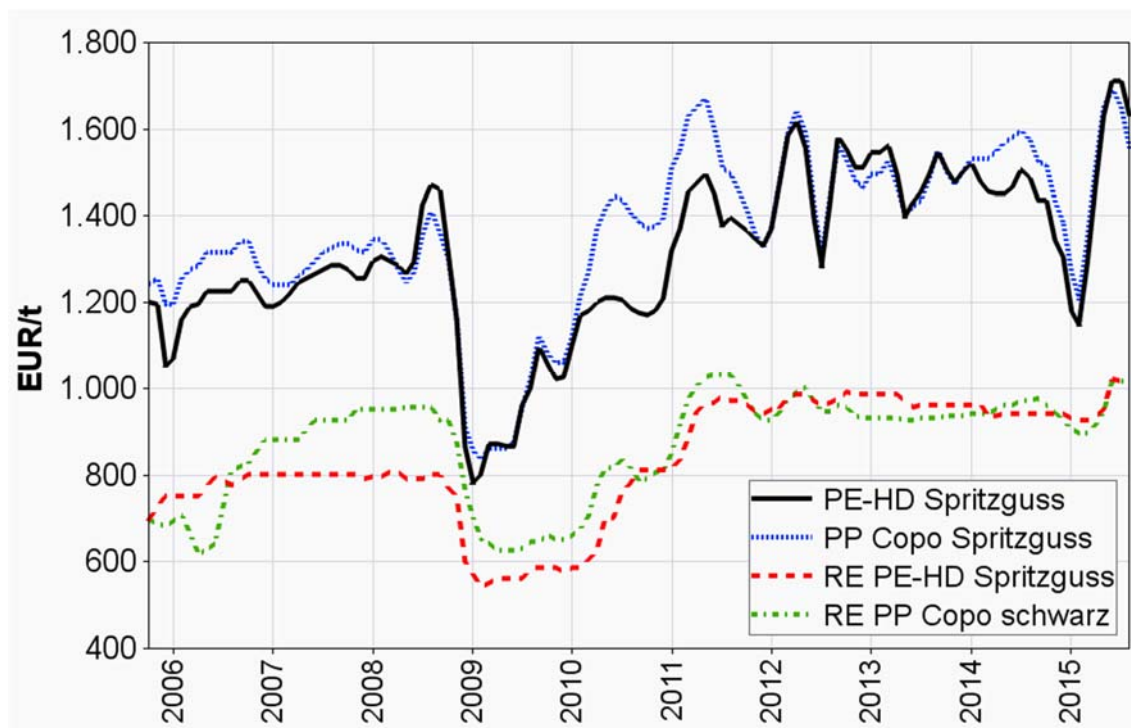


Abbildung 45 Preisvergleich Primär und Regranulat PE und PP (Kunststoffweb 2015)

Das Diagramm der Kunststoff Information zeigt im oben genannten Fünfjahreszeitraum ein ähnliches Verhalten, obgleich hier das Preisniveau generell höher liegt und der Unterschied zwischen Primär- und Regranulat ca. 50 % beträgt.

4.2 Vorauswahl

Aufgrund der schlechten Datenlage konnten nur jene Rezyklate untersucht werden, deren Input- und Output-Daten zur Verfügung stehen. Es handelt sich dabei einerseits um einen polyolefinen Mischkunststoff mit relativ geringem Aufbereitungsaufwand und andererseits um ein Polypropylen-Rezyklat mit relativ hoher Qualität, bezüglich der innerhalb dieser Arbeit eruierten Rezyklate.

Die technischen Eigenschaften der Rezyklate, wie in Tabelle 19 abgebildet, liegen innerhalb des Spektrums von primären Kunststoffen. Beim Rezyklat Hanit der Firma Hahn Kunststoffe beträgt der Elastizitätsmodul 957 MPa, laut Datenblatt (SBKS Composites Testing 2013). Damit liegt er innerhalb des E-Moduls von primärem PE-HD mit 600 - 1400 MPa (Saechtling und Oberbach 2001). Auch die Werte der nominellen Bruchdehnung und der Zugfestigkeit liegen mit $\geq 170\%$ und ≥ 22 MPa innerhalb des Spektrums von PE-HD mit 100 – 1000 % und 18 - 35 MPa (Saechtling und Oberbach 2001).

Bei ZWS PP-Regranulat beträgt der E-Modul 1021 MPa (MAKSC 2006), damit liegt er innerhalb der Werte von primärem PP (PP-H = Homopolymerisat; PP-R (Random), PP-B (Block) = Copolymerisat mit Ethylene) mit 600 – 1800 MPa (Saechtling und Oberbach 2001). Im speziellen Vergleich mit PP-H mit einem E-Modul von 1300 – 1800 MPa (Saechtling und Oberbach 2001) ist der E-Modul des Regranulats niedriger. Damit weist das PP-Rezyklat eine höhere Zähigkeit auf. Die nominelle Bruchdehnung beträgt 64,09 % und die Zugfestigkeit 26,2 MPa. (MAKSC 2006) Sie liegen entsprechend innerhalb der Werte von primärem PP mit $> 50\%$ und 25 – 40 MPa. (Martienssen und Warlimont 2005, S. 488)



Abbildung 46 Dipolen PP-Regranulat von mtm plastics

Dieser Vergleich zeigt, dass Rezyklatkunststoffe hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften in denselben funktionellen Einheiten eingesetzt werden können wie die vergleichbaren Primärkunststoffe.

Die Kunststoffabfälle der gewählten Rezyklate sind zu hundert Prozent Verpackungen aus dem Siedlungsmüll. Beide Rezyklate sind farblich nicht sortiert. Auf Grund der inhomogenen Farbgebung ist das Einfärben jedoch nur in dunkle oder gedeckte Farben möglich.



Abbildung 47 Hanit-Rezyklat von Hahn Kunststoffe

Produkte aus Hanit weisen einen leichten Geruch auf, der sich bei der Bearbeitung verstärkt, im Laufe der Zeit (einigen Wochen) jedoch wieder verringert. Deshalb ist Hanit in dieser Form nur bedingt für den Einsatz innerhalb eines Gebäudes geeignet. Im Einzelfall muss geprüft werden, ob die olfaktorische Belastung vertretbar ist. Die Geruchsemissionen und VOC können in verschiedenen Trennverfahren durch den Einsatz von Schleppmitteln (CO_2 , H_2O), welche das Abtrennen einzelner Stoffe aus dem Stoffgemisch ermöglichen, herabgesetzt werden. (vgl. Neumüller 1988, S. 3721)

Ökobilanziell betrachtet schneiden die Rezyklatkunststoffe besser ab als vergleichbare Kunststoffe aus primären Ressourcen. Ein detaillierter Vergleich wird in Kapitel 7.1 erläutert.

Auch ökonomisch können durch den Austausch von Primärkunststoffen mit Rezyklatkunststoffen, wie bereits in Kapitel 4.1.4 Ökonomische Eigenschaften erläutert, Kosten eingespart werden. Diese Einsparung kann auf Materialebene zwischen 33 – 50 % betragen.

Nach der Auswahl von geeigneten Kunststoffrezyklaten befasst sich das nächste Kapitel mit den Anforderungen, welche an die Kunststoffrezyklate gestellt und erfüllt werden müssen.

4.3 SOLL – Anforderungen an Kunststoffrezyklate

Um Kunststoffrezyklate für bekleidende Bauteile an Gebäuden einsetzen zu können, müssen diese bestimmte Anforderungen erfüllen, welche durch Gesetze, Normen, Lebenszyklusberechnungen, Kostenkalkulationen und nicht zuletzt Gestaltungsansprüche festgelegt sind. Dabei orientieren sich die zu erfüllenden Eigenschaften am Einsatz von Primärkunststoffen. Je nach baulicher Funktion setzen sich die Anforderungen unterschiedlich zusammen. In den folgenden Kapiteln wird auf die unterschiedlichen Aspekte im Einzelnen eingegangen.

4.3.1 Technische Anforderungen

Rezyklatkunststoffe müssen die in der DIN 18516-1 Außenwandbekleidungen, hinterlüftet geforderten Anforderungen und Prüfungsgrundsätze erfüllen, um in bekleidenden Bauteilen von Gebäuden eingesetzt werden zu können. (DIN 18516-1:2010-06)

Im Allgemeinen müssen unterschiedlichste Korrosionsbeanspruchungen und die Möglichkeit der Geräuschentwicklung berücksichtigt werden. Darüber hinaus muss die Brauchbarkeit hinsichtlich des Verwendungszwecks nachgewiesen werden. Dies muss nach Norm, einer allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassung oder einer Europäischen Technischen Zulassung geschehen.

Zu den bauphysikalischen Anforderungen gehört, dass bei Wärme-, Feuchte-, Schall-, und Brandschutz das Zusammenwirken der Außenwand mit der Außenwandbekleidung zu berücksichtigen ist. Weitere Anforderungen beziehen sich auf die allgemeine Ausführung und Konstruktion und haben keinen direkten Bezug zum Bekleidungsmaterial. Auch die konstruktiven Anforderungen beziehen sich auf die allgemeine Ausführung und Konstruktion ohne Angaben zum Bekleidungsmaterial. Bei den Anforderungen an den Brandschutz verweist die Norm auf die Musterliste der Technischen Baubestimmungen Teil 1, Anlage 2.6/11, jedoch ist diese in der aktuellen Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen in der Fassung vom Juni 2015 (Deutsches Institut für Bautechnik 2015b) nicht mehr vorhanden. Die Anforderungen sind in der aktuellen Muster-Liste unter Anlagen 2.6/4 zu finden. Hier werden konstruktive Bedingungen und Anforderungen an die Unterkonstruktion und Dämmung getroffen. Jedoch werden auch hier keine Aussagen über die Anforderungen an das Bekleidungsmaterial geregelt.

In der Bauregelliste A Teil 1 des Deutschen Institut für Bautechnik vom 06. Oktober 2015 (Deutsches Institut für Bautechnik 2015a) wird in der Anlage 0.2.2 in einer Fußnote auf folgendes hingewiesen:

„Mit Ausnahme der Klassen A1 (ohne Anwendung der Fußnote c zu Tabelle 1 der DIN EN 13501-1) und E kann das Brandverhalten von Oberflächen von Außenwänden und Außenwandbekleidungen (Bauarten) nach DIN EN 13501-1 nicht abschließend klassifiziert werden.“

Für die Standsicherheit einer hinterlüfteten Außenwandbekleidung muss laut DIN 18516-1 ein rechnerischer Nachweis erbracht werden. Die Einwirkungen darauf sind in der Norm unter Punkt 5 geregelt und umfassen auch die Anforderungen an die Formänderungen. Unter Punkt 6 sind die Anforderungen an den Standsicherheitsnachweis geregelt und beinhalten die konstruktiven Anforderungen der Bekleidung. (DIN 18516-1:2010-06)

Des Weiteren müssen in der Bauvorlage Angaben zum Brandverhalten der Baustoffe erfolgen. Entsprechend den gesetzlichen Regelungen müssen alle Bauteile einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade durch das Übereinstimmungszeichen gekennzeichnet sein, unabhängig, ob sie nach Zustimmung im Einzelfall, allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder nach den technischen Baubestimmungen verwendet werden.

Es muss eine Wärmeformbeständigkeitstemperatur (Heat-Deflection-Temperature HDT) nach DIN EN ISO 75 (DIN EN ISO 75-1:2013-08) von mindestens 80°C erreicht werden, um einen Einsatz in der Fassade zu ermöglichen.

Die Dauerhaftigkeit muss auch hinsichtlich der Witterungsbeständigkeit einschließlich der UV Beständigkeit gegeben sein. Zur Kontrolle werden mechanische Prüfungen und Brandversuche mit gealterten Proben durchgeführt und es wird die Farbänderung nach ISO 7724-2 und 3 gemessen. (ISO 7724-2:1984-10) Je nach Einsatzzweck und Funktion werden weitere Prüfungen zur Ermittlung der Kerbschlagzähigkeit nach DIN EN ISO 179-1 (DIN EN ISO 179-1:2010-11) und der Glanzänderung nach EN ISO 2813 (DIN EN ISO 2813:2015-02) durchgeführt.

Nach den Vorgaben der Fassaden-Norm DIN 18516-1 Außenwandbekleidungen, hinterlüftet, Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze müssen alle Bestandteile bzw. Bauprodukte einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade entweder einem technischen Regelwerk entsprechen, das in der Bauregelliste enthalten ist, oder einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Dies gilt, wenn es für ein Bauprodukt kein technisches Regelwerk gibt oder es von den Vorgaben im technischen Regelwerk wesentlich abweicht. Für die vorgehängte hinterlüftete Fassade als Ganzes bzw. als Bauart sind alle Anforderungen nach der jeweiligen Landesbauordnung nachzuweisen. Diese umfassen die Standsicherheit, die Verträglichkeit, den Brandschutz, den Wärmeschutz, den klimabedingten Feuchteschutz und den Schallschutz. Die Nachweise sind nach technischen Baubestimmungen zu führen oder, wenn es keine gibt oder ein Nachweis nicht möglich ist – über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Alle Bestandteile einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade müssen nach den gesetzlichen Vorschriften mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) gekennzeichnet sein. Dabei ist es unerheblich ob sie nach Technischen Baubestimmungen, Allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall verwendet werden. Basieren die Nachweise auf Europäischen Normen oder harmonisierten Normen, muss ein CE-Zeichen vorliegen.

4.3.2 Gesetzliche Anforderungen

Die gesetzliche Grundlage für die Erfüllung von Mindeststandards für Bauprodukte wird auf den unterschiedlichen Regierungsebenen mit zunehmender Detaillierung geregelt. Auf europäischer Ebene gilt die Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. Diese wird im folgenden Text mit Bauproduktenverordnung (BPV) bezeichnet. (DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 09.03.2011)

Auf nationaler Ebene regelt in Deutschland die Musterbauordnung den Einsatz von Bauprodukten. Dabei werden im § 3 Allgemeine Anforderungen, die Aussagen aus der Bauproduktenverordnung übernommen. Diese Forderungen werden konkretisiert im § 17 Bauprodukte. (Bund) Weiterhin regeln auf der Ebene der Bundesländer, die Landesbauordnungen den Einsatz von Bauprodukten. (Land Baden-Württemberg 05.03.2010)

Als oberster Grund für die gesetzlichen Regelungen wird in der Bauproduktenverordnung folgendes angegeben: „Den Vorschriften der Mitgliedsstaaten zufolge müssen Bauwerke so entworfen und ausgeführt werden, dass sie weder die Sicherheit von Menschen, Haustieren oder Gütern gefährden, noch die Umwelt schädigen.“ (Bauproduktenverordnung 2014, S. 2). Ergänzende Gründe dazu beziehen sich auf die „Gesundheit, Dauerhaftigkeit, Energieeinsparung, Umweltschutz, wirtschaftlicher Aspekte und anderer wichtiger Belange des öffentlichen Interesses“ (Bauproduktenverordnung 2014, S. 2). Überdies sollten die Umwelterklärungen (Environmental Product Declarations – EPD), soweit verfügbar, zur Bewertung der nachhaltigen Nutzung der Ressourcen und zur Beurteilung der Auswirkungen von Bauwerken auf die Umwelt herangezogen werden (vgl. Bauproduktenverordnung 2014, S. 10).

Die Bauproduktenverordnung (BPV) legt die Verwendung der CE-Kennzeichnung für Bauprodukte fest. Die CE-Kennzeichnungspflicht erstreckt sich auf alle Bauprodukte, die von einer harmonisierten Norm erfasst sind. Um welche Normen es sich im Einzelnen handelt, ergibt sich aus dem Verzeichnis der Europäischen Kommission, das regelmäßig im EU-Amtsblatt erscheint. Wird ein Bauprodukt erstmals durch eine harmonisierte Norm erfasst, besteht die Pflicht zur CE-Kennzeichnung ab dem Tag des Endes der von der Kommission festgesetzten Koexistenzperiode. Diese werden in dem Verzeichnis der Kommission bekannt gegeben. Außerdem besteht die Verpflichtung zur CE-Kennzeichnung eines Bauprodukts, das nicht oder nicht ganz von einer harmonisierten Norm erfasst wird, wenn auf Antrag eines Herstellers für das Produkt eine Europäische Technische Bewertung ausgestellt ist. (Deutsches Institut für Bautechnik)

Die CE-Kennzeichnung ermöglicht den freien Warenverkehr innerhalb des Europäischen Marktes von Produkten, die den Anforderungen der EU-Gesetzgebung (z. B. zur Gewährleistung von

Gesundheitsschutz, Sicherheit und Umweltschutz) entsprechen. Sie ist ein Garant für die Konformität eines Produkts mit den geltenden rechtlichen Bestimmungen.

Die CE-Kennzeichnung wird vom Hersteller am Produkt angebracht. Dadurch bestätigt der Hersteller in eigener Verantwortung, dass das Produkt alle geltenden rechtlichen Anforderungen der EU erfüllt. Es liegt in der Verantwortung des Herstellers, zu gewährleisten, dass die verkauften Waren mit der einschlägigen Gesetzgebung übereinstimmen und gegebenenfalls sicherzustellen, dass das Produkt durch eine benannte Stelle einer Konformitätsbewertung unterzogen wird.

Nicht alle in der EU verkauften Produkte müssen das CE-Kennzeichen tragen. Die CE-Kennzeichnungspflicht besteht für verschiedene Produkte, z.B. Elektrogeräte, Spielwaren, Explosivstoffe für zivile Zwecke oder medizinische Geräte. Diese Produkte werden von einer oder mehreren Richtlinien erfasst, in denen die besonderen Bedingungen für die CE-Kennzeichnung eines Produkts festgelegt sind (European Commission DG Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs 2015).

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen werden für solche Bauprodukte und Bauarten im Anwendungsbereich der Landesbauordnungen erteilt, für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik, insbesondere DIN-Normen, nicht gibt oder die von diesen wesentlich abweichen. Sie sind zuverlässige Verwendbarkeitsnachweise von Bauprodukten bzw. Anwendbarkeitsnachweise von Bauarten in Hinblick auf bautechnische Anforderungen an Bauwerke.

Für Bauprodukte im Anwendungsbereich des Bauproduktengesetzes werden europäische technische Zulassungen erteilt. Sie belegen verlässlich die Verwendbarkeit eines Bauproduktes.

Die aufgeführten Grundanforderungen an Bauwerke im Anhang I der Bauproduktenverordnung bilden die Grundlage für die Ausarbeitung von Normungsaufträgen und harmonisierter technischer Spezifikationen (vgl. Bauproduktenverordnung 2014, S. 12). Die wesentlichen Merkmale von Bauprodukten werden in harmonisierten technischen Spezifikationen in Bezug auf die Grundanforderungen an Bauwerke festgelegt (vgl. Bauproduktenverordnung 2014, S. 13).

Im Anhang I der BPV werden die Grundanforderungen an Bauwerke näher erläutert. „Bauwerke müssen als Ganzes und in ihren Teilen für deren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit der während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke involvierten Personen Rechnung zu tragen ist. Bauwerke müssen diese Grundanforderungen an Bauwerke bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen“ (Bauproduktenverordnung 2014, S. 49).

Der Begriff normale Instandhaltung ist nicht näher definiert und wird auch in der Musterbauordnung oder den Landesbauordnungen nicht näher erläutert. Im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 1994 Nr. C 62/7 wird Instandhaltung als ein Bündel von vorbeugenden und sonstigen Maßnahmen beschrieben, die an dem Bauwerk durchgeführt werden, damit es während seiner Nutzungsdauer all

seine Funktionen erfüllen kann. Des Weiteren umfassen diese Maßnahmen erforderliche Reinigung, Wartung, Neuanstrich, Ausbesserung, Austausch von Teilen des Bauwerks usw. Normale Instandhaltung schließt in der Regel Inspektionen ein und findet zu einem Zeitpunkt statt, zu dem die anfallenden Kosten unter Berücksichtigung der Folgekosten in einem angemessenen Verhältnis zum Wert der betreffenden Teile des Bauwerks stehen. (Europäische Gemeinschaft 1994)

In der DIN 31051:2012-09 Grundlagen der Instandhaltung wird die Instandhaltung definiert als eine Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann. (DIN 31051:2012-09)

Beide Definitionen sind nicht konkret und lassen Interpretationsspielraum.

Für die Beschreibung des wirtschaftlich angemessenen Zeitraums dienen als Grundlage hierzu die Daten aus der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (BBSR Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2011)

Die Grundanforderungen gliedern sich in folgende Bereiche:

1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
2. Brandschutz
3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
4. Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung
5. Schallschutz
6. Energieeinsparung und Wärmeschutz
7. Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Die differenzierten Anforderungsbereiche beziehen sich alle auf die allgemeinen Grundanforderungen, dennoch finden auf dieser Ebene noch keine Konkretisierungen statt. Die Anforderungen an die mechanische Festigkeit und Standsicherheit von Bauwerken und Bauprodukten sind, sowohl in der Bauproduktenverordnung, als auch der Musterbauordnung und den Landesbauordnungen, nur grundsätzlich definiert. Die Erfüllung dieser Anforderungen wird immer im Einzelfall von einem Tragwerksplaner überprüft. Ähnliches gilt für die anderen Anforderungsbereiche, diese können im Bedarfsfall von den jeweiligen Fachplanern überprüft werden.

In den Landesbauordnungen werden die Anforderungen an den Brandschutz konkretisiert. Die einzelnen Landesbauordnungen unterscheiden sich im Thema Brandschutz siehe Tabelle 25.

Tabelle 25 Brandschutzanforderungen an Wände von Wohngebäuden nach Landesbauordnung

Gebäudeklassen		1	2		3		4
		Wohngebäude			Gebäude		sonstige Gebäude
Bauteile		Gebäude mit geringer Höhe (OFF ≤ 7m)					22m ≥ OFF > 7m
		freistehend 1 WE	≤ 2 WE		≥ 3 WE		außer Hochhäuser
			alle Bundesländer	Ausnahme	alle Bundesländer	Ausnahme	allgemein
Tragende und aussteifende Wände, Pfeiler und Stützen	Dach	0	F30-B		F30-B		F30-B
	sonstige	0	F30-B		F30-B		F90-AB
	Keller	0	F30-AB		F90-AB		
Nichttragende Außenwände		0	0		0		F30-A
Gebäudeabschlusswände		0	F90-AB	BW6)	BW		BW
Gebäudetrennwände- 40 m Gebäudeabschnitte		-	F90-AB, Dicke wie BW	F90-A6)	BW		BW
Reihenhaustrennwände		-	F90-AB	F90-A6)	BW		-
Wohnungstrennwände	Dach	-	F30-B		F30-B		F30-B
	sonstige	-	F30-B	F90-AB4)	F60-AB	F90-AB2)4)	F90-AB
Treppenraumwände	Dach	-	0	F30-B3)	0	F30-B3)	BW
	sonstige	-	0	F30-B1)	F90-AB		BW

Abkürzungen:

WE = Wohneinheit - OFF = Oberfläche Fertigfußboden

A,B,AB= Klassifizierung der Baustoffe - F = Feuerwiderstandsklasse - BW = Brandwand

0 = keine Anforderungen

Die Ziffern 1) bis 6) bedeuten: 1) Hamburg, 2) Bremen, 3) Niedersachsen 4) Hessen, 5) Rheinland-Pfalz

6) Schleswig-Holstein

Exemplarisch wird in dieser Arbeit die Landesbauordnung für Baden-Württemberg in der Fassung vom 5. März 2010 herangezogen. Der Brandschutz ist abhängig von der jeweiligen Gebäudeklasse. Diese sind im § 2 Begriffe Ansatz 3 der Musterbauordnung – MBO vom 21.09.2012 definiert.

Gebäudeklasse 1: freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² und freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude,

Gebäudeklasse 2: Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m²,

Gebäudeklasse 3: sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m,

Gebäudeklasse 4: Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m²,

Gebäudeklasse 5: sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude.

Höhe im Sinne des Satzes 1 ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel. Grundflächen im Sinne dieses Gesetzes sind die Brutto-Grundflächen; bei der Berechnung der Brutto-Grundflächen nach Satz 1 bleiben Flächen in Kellergeschossen außer Betracht. (Bund)

4.3.3 Gestalterische Anforderungen

Ein wichtiger Punkt, welcher nicht vollständig durch die untersuchten Rezyklate erfüllt werden kann, ist die Gestaltungsfreiheit hinsichtlich der Farbgebung. Für den uneingeschränkten Einsatz am Gebäude sollte das Rezyklat einen hellen Grundton besitzen, der es möglich macht, das Bauteil in unterschiedlichste Farben je nach Kundenwunsch einzufärben. Nach dem heutigen Stand der Technik ist es zwar möglich, Abfallkunststoffe im Wiederaufbereitungsprozess farblich zu sortieren, jedoch zeigt die Evaluation, dass Kunststoffrezyklate in den meisten Fällen nicht in hellen Farbtönen angeboten werden. Der Grund dafür ist meist ein wirtschaftliches Interesse, da die Sortierung nach unterschiedlichen Farben einen erheblichen technischen Mehraufwand bedeutet und somit die Kosten des Produkts steigen würden. Mit Primärkunststoffen ist die freie Farbwahl möglich. Dennoch gibt es andere Wege, Bauprodukte aus Rezyklatkunststoffen farbig zu gestalten. Dies ist möglich durch Kaschieren der Oberflächen mit Folien, Auftragen von Beschichtungen oder in der Verwendung als Kernmaterial für Verbundplatten, zum Beispiel aus Aluminium. Diese Optionen haben jedoch auch Mehrkosten zur Folge und erschweren das Recycling aufgrund des Verbunds mit weiteren Materialien. Betreffend der Farbgebung haben andere Baustoffe wie Holz, Metall und Beton, im Vergleich zu Rezyklatkunststoffen, ähnliche Grundvoraussetzungen. Ihr Grundton ist ebenfalls definiert und kann nur bedingt verändert werden. Bei diesen Baustoffen kommen zum Zweck der Farbgestaltung Beschichtungen zum Einsatz, welche meist zusätzlich einer Alterung vorbeugen.

Ein sinnvoller Einsatz eines thermoplastischen Rezyklatkunststoffs in einem Bauteil kann durch die Technik der Koextrusion erreicht werden. Dabei werden Rezyklat- und Primärkunststoff bei einer Extrusion zusammengeführt und zu einem Bauteil gepresst. Der Hauptteil des Volumens des Bauteils wird vom Rezyklat gefüllt. Es dient hier als Trägermaterial, welches konstruktive Aufgaben übernehmen kann. Der Primärkunststoff wird nur als dünne Schicht auf die sichtbare Oberfläche extrudiert, um somit die Freiheit der Farbgebung zu ermöglichen. Mit diesem Verfahren werden zum Beispiel Fensterprofile aus PVC hergestellt.

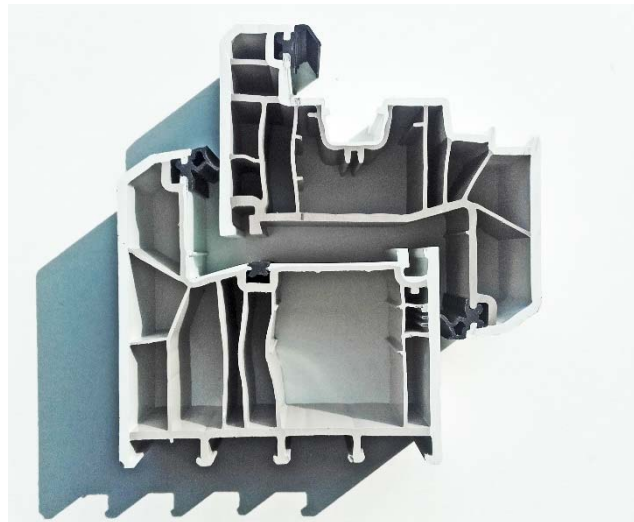


Abbildung 48 Koextrudiertes PVC-Fensterprofil mit Rezyklat

Bezüglich der Festlegung der optimalen Nutzungsdauer gibt es zwei Möglichkeiten, welche die Gestaltung des Bauteils bzw. die technischen Anforderungen betreffen. Es ist aus ökologischer Sicht sinnvoll, Bauprodukte entsprechend ihrer spezifischen Nutzungsdauer zu konstruieren. Dies trifft einerseits zu, falls die reale Nutzungsphase kürzer ist als die Lebensdauer eines Produkts. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn sich der Designanspruch des Kunden ändert. Mit Kunststoffen ist es möglich Produkte auf die Dauer ihrer Nutzungsphase anzupassen. Gerade im Bereich der Oberflächenbekleidung gibt es Beispiele, bei denen die eingesetzten Produkte vor dem Erreichen ihrer Produktlebenszeit ausgetauscht werden. Textile Bodenbeläge in Büroräumen werden durchschnittlich schon nach einer Nutzungszeit von 8 Jahren (BBSR Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2011) ausgetauscht, obwohl die Lebensdauer 15 Jahre (Bund Technischer Experten e.V. 2008) betragen könnte. Produkte mit einer angepassten Lebensdauer könnten Material oder Additive einsparen.

Ein weiterer Grund für den regelmäßigen Austausch von Oberflächenbekleidungen kann der sich verändernde Designanspruch des Nutzers sein. Diese Möglichkeit einer raschen Umgestaltung sollte in die Entwicklung von recyclingfreundlichen Bekleidungen einfließen. Andererseits kann durch ein zeitloses und hochwertiges Design die Nutzungszeit verlängert werden. Beide Optionen führen durch gestalterische Mittel zu einer verbesserten Ökobilanz.

Kürzere Nutzungsdauer → kürzere Lebensdauer → weniger Ansprüche an das Material → weniger Additive, Material → flexiblere Umgestaltungsmöglichkeiten → schneller Verbesserungen von Produkten wahrnehmen → Nachhaltiges Konzept

4.3.4 Ökologische Anforderungen

Im Gegensatz zu Elastomeren und Duroplasten haben nur thermoplastische Kunststoffe das Potential, vollständig wiederverwertet zu werden. Durch das Einschmelzen und erneute Formen der Thermoplaste bleibt der Werkstoff erhalten. Vorausgesetzt die verwendeten Abfälle sind in ihrer Kunststoffart und den enthaltenen Additiven sortenrein. Eine Möglichkeit, diese Vorgaben umzusetzen, ist die Überwachung und Organisation von Materialkreisläufen durch einen Zusammenschluss der produzierenden Unternehmen. Der Zusammenschluss der europäischen Hersteller von PVC-Fensterprofilen ist dafür ein gutes Beispiel. Aufgrund der identischen Kunststoffrezeptur können die ausgebauten Profile unterschiedlicher Hersteller gemischt und wieder der Produktion zugeführt werden. Die Recyclingquote beim Kunststofffensterrecycling Rewindo liegt 2015 bei 89 %. (Rewindo GmbH 2016, S. 6)

Falls kein Recycling möglich ist, können die Kunststoffabfälle in Anwendungen mit geringeren Anforderungen eingesetzt werden. Diese Verwertungsart wird Downcycling genannt.

4.3.5 Ökonomische Anforderungen

Es bestehen unterschiedliche Betrachtungsweisen, nach welchen Kriterien Kunststoffrezyklate eingesetzt werden können. Im einfachsten Fall wird von Produkten aus Rezyklatkunststoff erwartet, dass sie in allen relevanten Kriterien (Ökologie, Design, Technischen Eigenschaften) eine höhere oder zumindest gleichwertige Leistung aufweisen, wie ihr Pendant aus primären fossilen Ressourcen und zusätzlich günstiger bzw. nicht teurer sind als das zu ersetzende Material. Ist diese Bedingung erfüllt, sollte dem Einsatz von Rezyklatkunststoffen aus wirtschaftlicher Sicht nichts mehr im Wege stehen. Erheblich komplexer ist es, wenn entweder mindestens eine der relevanten Kriterien des vergleichenden Primärkunststoffs nicht erreicht wird oder der Preis der Rezyklats höher liegt. In solch einer Situation müssen die Werte der Kriterien im Einzelfall gegeneinander abgewogen werden.

4.4 Differenz zwischen Ist und Soll

Die existierenden Ist-Eigenschaften von rezyklierten Kunststoffen entsprechen nicht oder nur teilweise den Soll-Anforderungen der Bauteile. Um Bauteile aus Recyclingkunststoffen realisieren zu können, müssen sowohl die Eigenschaften von Kunststoffrezyklaten, als auch die Anforderungen an diese modifiziert und eventuell Kompromisse eingegangen werden.

Die physikalischen Anforderungen, welche an Bauteile in Oberflächenanwendungen gestellt werden, können größtenteils mit polyolefinen Rezyklatkunststoffen erreicht werden. Werden einige Anforderungen, wie etwa der Brandschutz, nicht durch die Eigenschaften des Kunststoffs allein erreicht, müssen ebenso wie bei Bauteilen aus primären thermoplastischen Kunststoffen, zur Eigenschaftsverbesserung Additive hinzugefügt werden.

Gestalterisch haben die verfügbaren Rezyklatkunststoffe ein wesentliches Defizit gegenüber den primären Kunststoffen. Die Farbwahl ist sehr eingeschränkt und erstreckt sich nur auf dunklere Farbtöne.

Für Bekleidungen aus polyolefinen Kunststoffen gibt es derzeit keine spezielle Norm, die Zulassung kann mit einer Zustimmung im Einzelfall erfolgen.

Aus ökologischer wie ökonomischer Sicht muss für die Anforderungen ein Optimum zwischen Möglichkeiten und Nutzen gefunden werden. Einerseits soll es durch die Aufbereitung möglich sein, primäre Kunststoffe zu substituieren, andererseits sollte dadurch weder ein ökologischer noch ökonomischer Nachteil entstehen.

5. Aufbereitung

Um Kunststoffe aus Abfällen zu nutzen, müssen diese vor dem erneuten Einsatz aufbereitet werden. Bei den Leichtverpackungen aus dem Sammelsystem Grüner Punkt handelt es sich um eine Materialmischung, welche eingangs durch unterschiedliche Sortierprozesse getrennt werden muss. In dieser Arbeit wird auf die Diskussion der speziellen Optimierungsmöglichkeiten des Aufbereitungsprozesses verzichtet. Zum besseren Verständnis werden jedoch die Phasen der Aufbereitung beschrieben und deren Auswirkungen auf die Qualität des Rezyklats.

Bei der Aufbereitung von Kunststoffen handelt es sich meist um werkstoffliches Recycling, welches durch mechanische Verfahren dominiert wird. Die Prozesskette ist meist mehrstufig aufgebaut und besteht im Wesentlichen aus den Stufen Ändern, Trennen und Ordnen. In der ersten Stufe Ändern wird die Korngröße für eine bessere Verarbeitbarkeit entweder herab- oder heraufgesetzt. Dies geschieht durch Zerkleinern, Brechen, Mahlen, Agglomerieren, Brikettieren und Pelletieren der Ausgangsstoffe. Danach und oder davor werden die Abfälle nach Korngröße, Stoffart und Phasenart getrennt und sortiert. Durch Mischen, Hinzufügen von Additiven oder Compoundieren mit anderen Kunststoffen und Vergleichmäßigen wird ein homogenes Rezyklat erstellt.

5.1 Datenerhebung bei Aufbereitern

Für diese Arbeit wurden elf Recyclingunternehmen, welche speziell Kunststoffe aus dem Siedlungsmüll aufbereiten, angefragt. Zwei Unternehmen stellten aussagekräftige Daten zur Verfügung. Für eine ökobilanzielle Prozessmodellierung werden möglichst alle relevanten Input- und Output-Daten benötigt. Angefragt wurden folgende Daten.

- 1) Input: Aus welchen Kunststoffen setzt sich der verarbeitete Abfall zusammen?
Ist der Abfall bereits vorsortiert?
In welchem Zustand wird der Abfall verarbeitet?
Werden dem Prozess Zusatzstoffe zugegeben (Additive, Farben, ...)?
Wie hoch ist die benötigte Energiemenge pro Stoffmenge in (MJ/kg)?
Welche Stoffmengen fließen in den Prozess ein (Abfall, Wasser, Luft, Additive)?
- 2) Wie ist die Prozesskette aufgebaut?
- 3) Output: Welche Stoffmengen fließen aus dem Prozess (Reststoffe, Produkt, Abwasser, ...)?

5.2 Vorbereitung der Daten

5.2.1 Firma Hahn Kunststoffe

Die Ausgangsdaten der Firma Hahn Kunststoffe aus Hahn-Flughafen werden auf deren Wunsch nicht veröffentlicht. Hahn Kunststoffe verarbeitet gepresste Ballen mit Folien und Mischkunststoffen aus dem Dualen System. Deren überwiegende Bestandteile sind PE und PP. Im Ausgangsmaterial befinden sich auch Störstoffe wie Glas, Metall, Papier und andere Kunststoffe. Diese dürfen bis zu einem gewissen Anteil im Gemisch vorhanden sein. Dem Aufbereitungsprozess müssen nicht zwingend Additive hinzugefügt werden. Um die Eigenschaften zu verbessern oder die Farbe zu beeinflussen, können insgesamt bis zu vier Prozent Additive hinzugegeben werden, ohne die Verarbeitbarkeit zu stören.

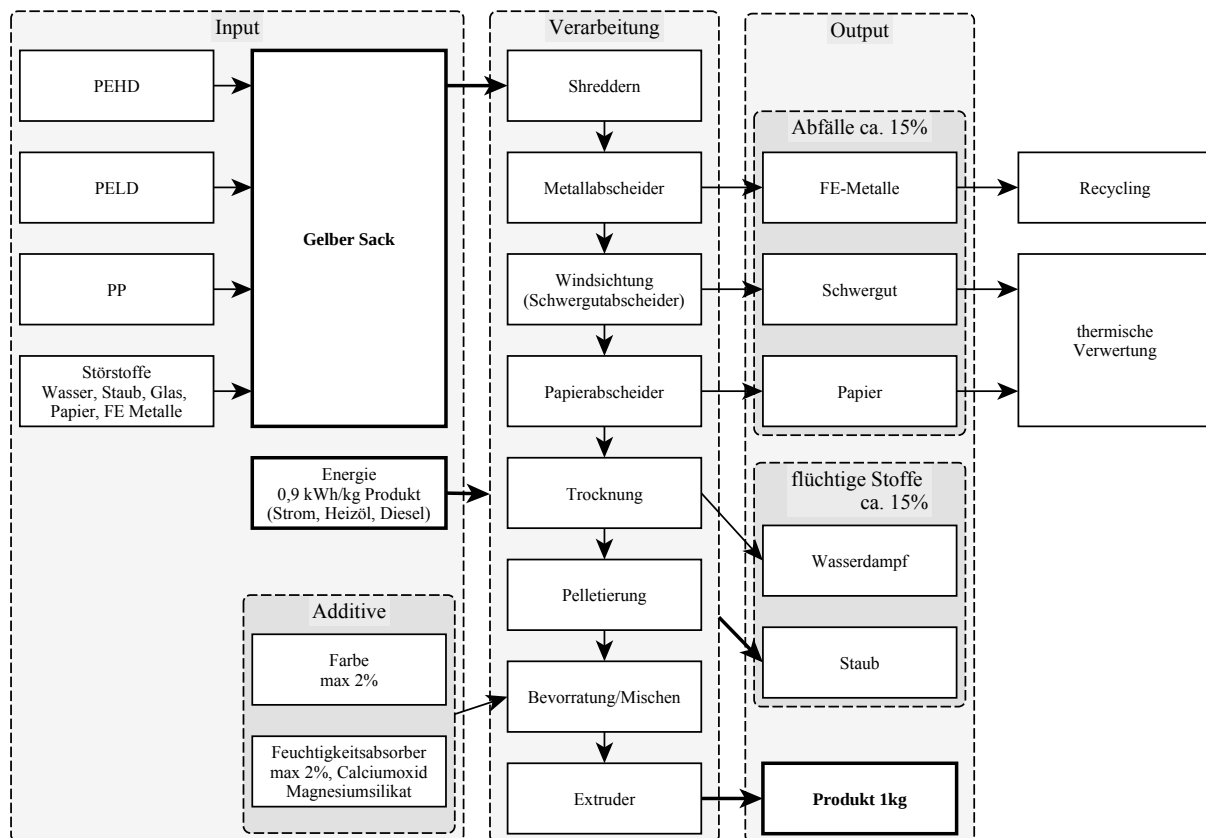


Abbildung 49 Prozessschema Hahn Kunststoffe Hanit

5.2.2 Firma ZWS-Recycling

Die Grundlage der Daten der Firma ZWS Recycling aus Regensburg bilden Werte aus den Monaten Januar bis einschließlich September des Jahres 2012. Alle für die Eingabe bei GaBi benötigten Daten wurden anteilig aus den vorliegenden erhobenen Daten ermittelt. Als fixer Wert im Prozessplan dient 1 kg Regranulat. Alle anderen Größen orientieren sich im Verhältnis zu diesem Wert.

Folgende Daten standen zur Verfügung:

1. Input in t

324 – PP, 331 – PS, PO – Hartkunststoffe, 329-PEHD, verarbeiteter Input

2. Output in t Endprodukt Mahlgut

PP, PS, PO, PE, Gesamtmengen

3. Abfall: thermische Verwertung als Ersatzbrennstoff

PP, PS, PO, PE, Gesamt in t, Gesamt in %

4. Energieverbrauch und Wasser

Strom in kWh, Frischwasser in m³

Aus diesen Daten wurde der durchschnittliche Stromverbrauch in kWh pro kg Output und der durchschnittliche Frischwasserverbrauch in Liter pro Kilogramm Output ermittelt. Anschließend wurde mit diesen Daten der Prozessplan in GaBi erstellt, welcher daraufhin bilanziert wurde.

5.3 Erstellung von Prozessketten

Die aufbereiteten Daten wurden in GaBi übertragen. Dafür wurde einerseits auf bereits in der Datenbank bestehende Prozesse zurückgegriffen, andererseits mussten auch neue Prozesse in den Plan eingefügt werden.

5.3.1 Prozesse zur Herstellung von Hanit (PE, PP) der Firma Hahn Kunststoffe

a) Gelber Sack 03 ohne Papier (selbst erstellter Prozess)

Dieser Inputprozess gibt im Rückschluss die Menge aus Abfällen des Dualen Systems (Gelber Sack) an, welche für ein Kilogramm Produkt benötigt wird.

b) DE: Kalk (CaO; Feinkalk) PE

Technologiemix und Produktionsmix, ab Werk. Der Kalk dient als Additiv und bindet die Feuchtigkeit während des Verarbeitungsprozesses.

c) DE: Strom Mix PE

AC, Technologiemix, Verbrauchsmix, beim Verbraucher. Benötigte definierte Strommenge zur Herstellung eines Kilogramms Endprodukt.

d) DE: Verarbeitung Hahn (selbst erstellter Prozess)

Zusammenführung der Input- und Outputflüsse, fixierter Prozess

e) Produkt Hahn Kunststoffe (selbst erstellter Prozess)

Dieser Outputprozess steht für das im der Aufbereitung gewonnene Granulat.

f) EU-27 Abfallverbrennung von Plastik (PE,PP,PS,PB) ELCD/CEWEP

Durchschnittliche europäische Müllverbrennungsanlage, ohne Sammlung, Transport und Vorbereitung, ab Werk. Abfall- zu- Energie von Plastik (PE, PP, PS, PB)

g) EU-27 Abfallverbrennung des Papieranteils im kommunalen Feststoffabfall ELCD/CEWEP

Durchschnittliche europäische Müllverbrennungsanlage, ohne Sammlung, Transport und Vorbereitung, ab Werk. Abfall-zu-Energie von Papieranteil im kommunalen Feststoffabfall.

5.3.2 Prozesse zur Herstellung des Rezyklats (PP, PS, PE) der Firma ZWS Recycling

a) ZWS Input 01 (selbst erstellter Prozess)

Dieser Inputprozess gibt im Rückschluss die Menge aus Abfällen des Dualen Systems (Gelber Sack) an, welche für ein Kilogramm Produkt (Rezyclat Mahlgut) benötigt wird.

b) RER: Leitungswasser PE

Wasseraufbereitungsbehandlung, Produktionsmix, ab Werk, aus Grundwasser

c) DE: Strom Mix PE

AC, Technologiemic, Verbrauchsmix, beim Verbraucher. Benötigte definierte Strommenge zur Herstellung eines Kilogramms Endprodukt.

d) ZWS Verarbeitung (selbst erstellter Prozess)

Zusammenführung der Input- und Outputflüsse, fixierter Prozess

e) ZWS Recycling Output (selbst erstellter Prozess)

Dieser Outputprozess steht für das im der Aufbereitung gewonnene Granulat.

f) ZWS Abfall für thermische Verwertung (selbst erstellter Prozess)

Zusammenführung der drei Abfallströme PS, PE, PP

g) EU-27 Abfallverbrennung von Plastik (PE,PP,PS,PB) ELCD/CEWEP

Durchschnittliche europäische Müllverbrennungsanlage, ohne Sammlung, Transport und Vorbereitung, ab Werk. Abfall- zu- Energie von Plastik (PE, PP, PS, PB)

h) EU-27 Abwasserbehandlung (leicht organisch und inorganisch kontaminiert)

Technologiemic, in der Kläranlage, leicht organisch und anorganisch verschmutzt.

C Vergleiche und Auswertung

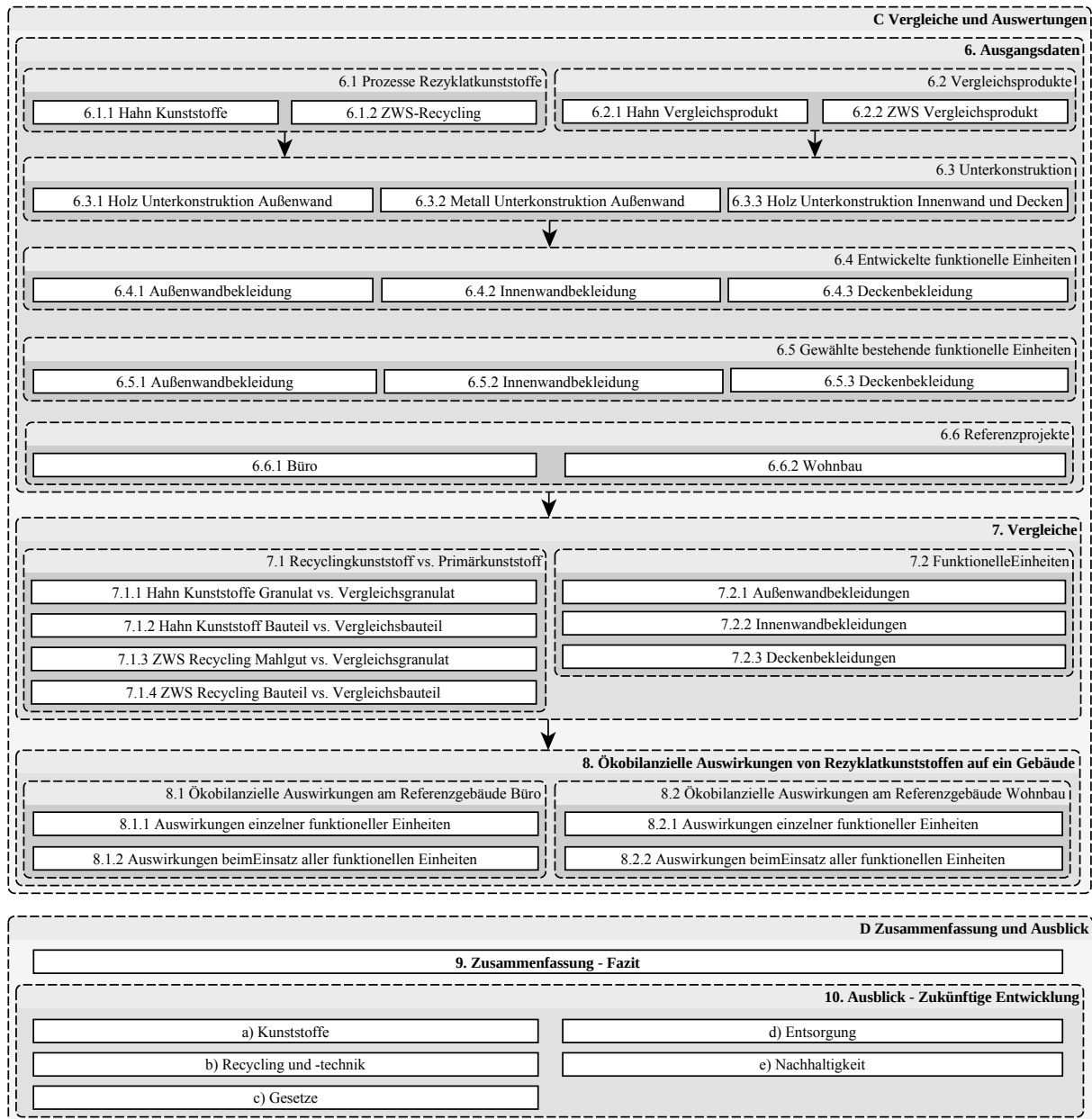


Abbildung 50 Struktureller Aufbau C Vergleiche und Auswertung

6. Ausgangsdaten

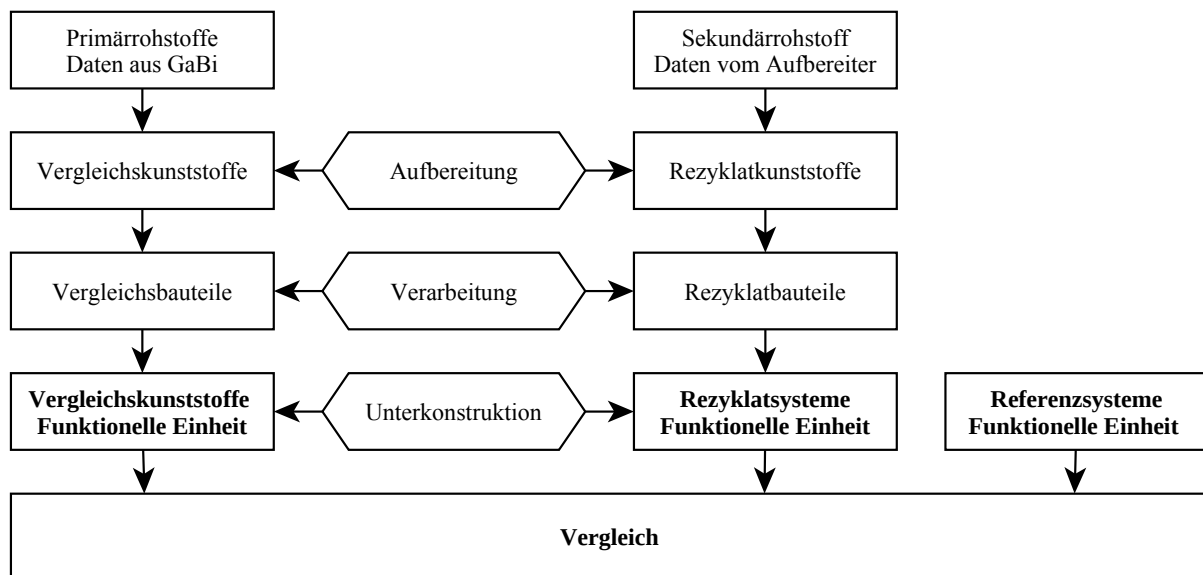


Abbildung 51 Schema der unterschiedlichen Ausgangsdaten

Die Daten der Recyclingbauteile basieren auf Herstellerangaben (ZWS und Hahn Kunststoffe). Diese wurden vor dem Einpflegen in GaBi in Excel aufbereitet und durch die Prozesse mit Verarbeitung und Entsorgung zum Bauteil ergänzt.

Zusätzlich wurde zum weiteren Vergleich (Kunststoffprodukt) jeweils ein Vergleichsprodukt mit GaBi erstellt. Diese haben die gleiche Zusammensetzung im Endprodukt wie die Beispiele aus Recyclingkunststoffen, jedoch sind die Rohstoffe Primärkunststoffe.

Die Referenzbauteile wurden in neuen Projekten angelegt. Jeweils alle unterschiedlichen Elemente einer funktionellen Einheit aus der in LEGEP® enthaltenen SIRADOS Datenbank wurden dazu verwendet bzw. gegebenenfalls bearbeitet und in das Modul Bauteilvergleich übertragen. Hieraus wurden die Daten wiederum ausgelesen und in Excel transferiert und aufbereitet.

Als Referenzprojekte werden exemplarisch wie bereits oben beschrieben ein Büro und ein Wohnbau betrachtet. Aus den Projekten werden jeweils die Daten aus dem Bereich Energie- und Stofffluss und die Wirkungsbilanz ausgelesen und in Excel kopiert. Sie dienen als Basisdaten für den Vergleich.

Alle Bilanzergebnisse wurden ebenfalls zur weiteren Verarbeitung in Excel übertragen. Aufgrund der unterschiedlichen Parameter der zu vergleichenden Bekleidung wurde die Unterkonstruktion mit in den Vergleich mit einbezogen. In den bereits oben beschriebenen Funktionellen Einheiten sind diese bereits enthalten. Für die Bekleidung mit Recyclingkunststoffen (und den Vergleichsprodukten) wurden die Unterkonstruktionen von ähnlichen Systemen bezüglich dem Gewicht und der

Bekleidungsart Platten (FZ-Platten) ausgewählt. Auch diese Daten wurden zur weiteren Verarbeitung in Excel übertragen.

Im Kapitel 7 werden alle Daten gegenübergestellt und folgende Vergleiche durchgeführt:

- a) Recyclingkunststoffbauteile und Vergleichsprodukte
- b) Außenwandbekleidungen
Referenzbauteile, Recyclingbauteile und Vergleichsprodukte 6 mm (UK-Metall, UK-Holz1)
- c) Innenwandbekleidungen
Referenzbauteile, Recyclingbauteile und Vergleichsprodukte 6 mm und 4 mm UK Holz2
- d) Deckenbekleidungen
Referenzbauteile, Recyclingbauteile und Vergleichsprodukte 6 mm und 4 mm UK Holz2

Abschließend folgt im Kapitel 8 eine Bewertung der Ergebnisse:

- e) Auswirkungen auf die Ökobilanz des Gebäudes bei Verwendung einer Bauteil Option
- f) Auswirkungen auf die Ökobilanz des Referenzgebäudes bei Verwendung von Bauteilen (AWB, IWB, DB) aus thermoplastischen Recyclingkunststoffen

6.1 Prozesse Rezyklatkunststoffe

Die Prozesse der Rezyklatkunststoffe wurden mit der Software GaBi 6 von Thinkstep bilanziert.

6.1.1 Hahn Kunststoffe

a) Hahn Kunststoffe Granulat

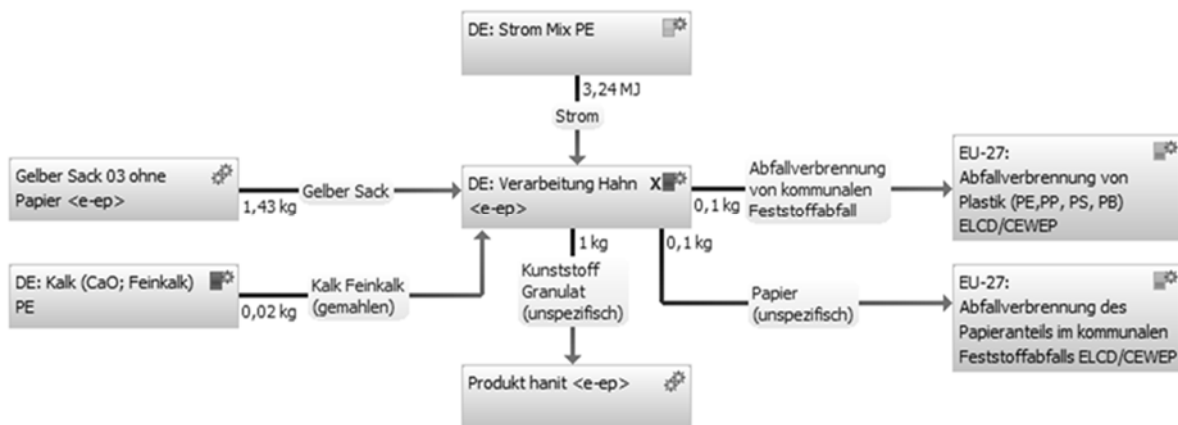


Abbildung 52 Hanit-Granulat GaBi-Prozessplan

Die mit GaBi nach der CML-Methode (CML 2002 – Nov. 2010) bilanzierten Umweltwirkungen beziehen sich auf 1 kg des Hanit-Recycling-Granulats.

CML2001 - Nov. 2010

Die Methode wurde am Centrum voor Milieukunde (CML) der Universität Leiden entwickelt und ist ein ökologieorientiertes Informations- und Entscheidungsinstrument zur Erstellung einer Ökobilanz gemäß DIN EN ISO 14040 (DIN EN ISO 14040:2009-11), sie entspricht den internationalen Normbemühungen. (vgl. Günther 2008, S. 292)

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	5,18545450157564	MJ/kg
PEI reg.	1,16882018892793	MJ/kg
PEI nicht reg.	4,01663431264771	MJ/kg
GWP (100 Jahre)	0,745442762718392	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	-0,000644627213656915	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	-0,0000000249217503139803	kg R11-Äqv./kg
POCP	-1,53262752070911E-5	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,0000491334952530034	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	4,18353134099174	MJ/kg

b) Hahn Kunststoffe Bauteil

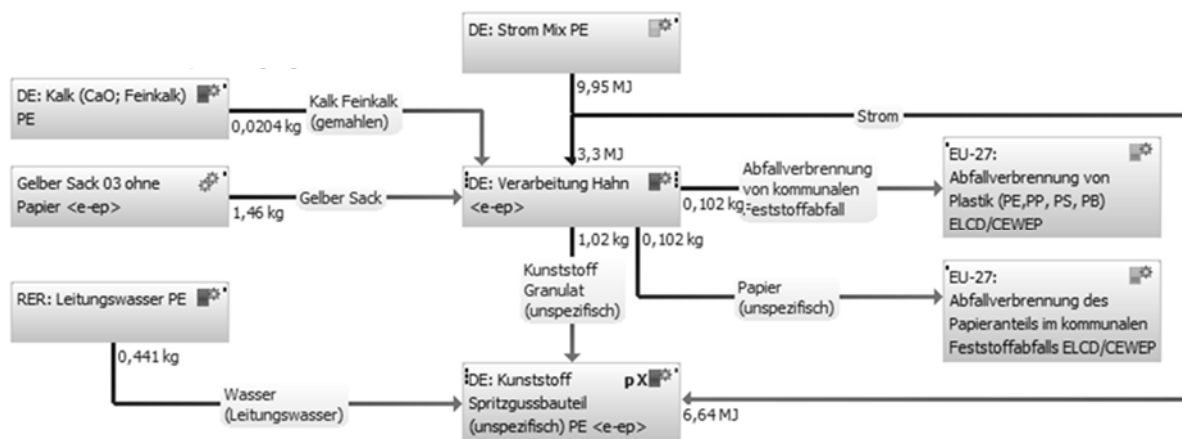


Abbildung 53 Hahn Kunststoffe Spritzgussbauteil

Umweltwirkungen bilanziert mit GaBi 6 bezogen auf 1 kg des Hanit Recycling Bauteils.

CML2001 - Nov. 2010

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	24,3971769343206	MJ/kg
PEI reg.	4,33749375484105	MJ/kg
PEI nicht reg.	20,0596831794796	MJ/kg
GWP	1,88328868011443	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	0,00136948491268815	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	-0,0000000247700489220409	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,000126908828896417	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000269961288620415	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	20,2293430619459	MJ/kg

6.1.2 ZWS-Recycling

a) ZWS-Recycling Mahlgut

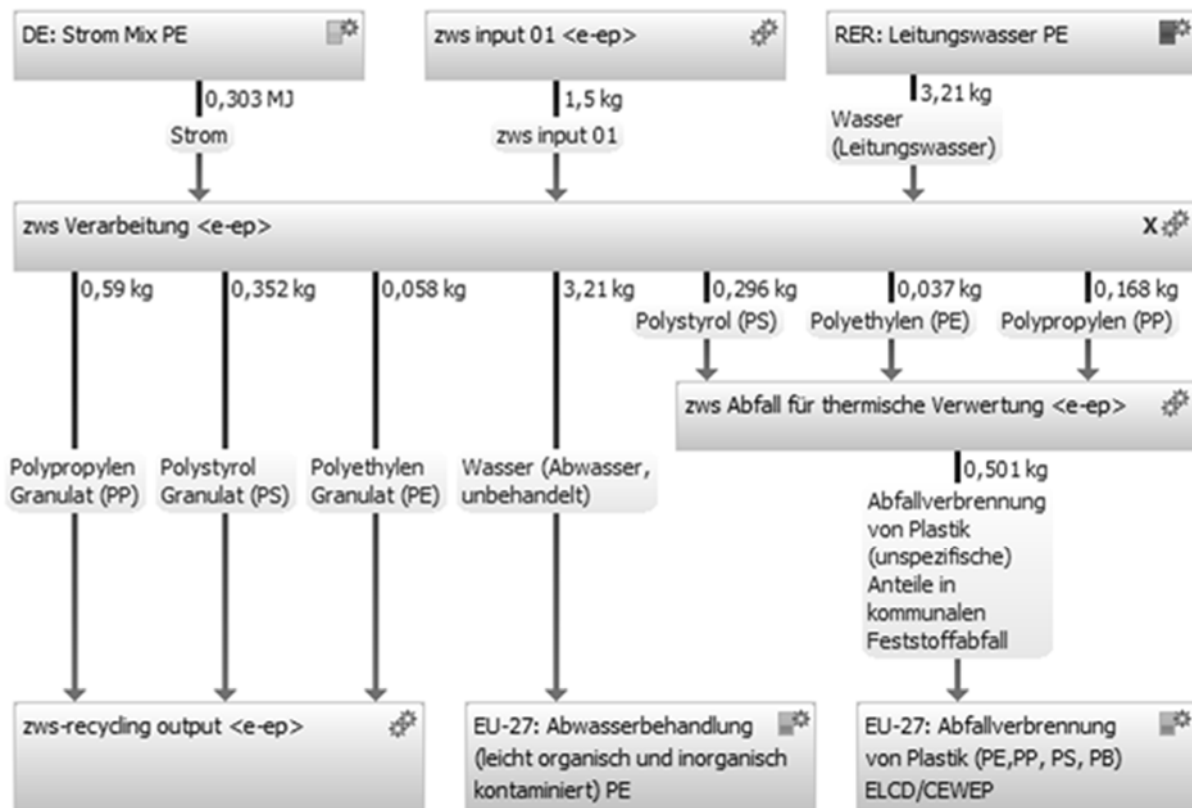


Abbildung 54 ZWS-Mahlgut GaBi-Prozessplan

Umweltwirkungen bilanziert mit GaBi 6 bezogen auf 1 kg des ZWS Recycling Mahlguts.

CML2001 - Nov. 2010

ZWS Mahlgut 03

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	-16,7520706365508	MJ/kg
PEI reg.	-1,35265619488875	MJ/kg
PEI nicht reg.	-15,399414441662	MJ/kg
GWP 100 Jahre	0,618838713064889	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	-0,00676944679948988	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	-0,000000104914379930477	kg R11-Äqv./kg
POCP	-0,000348361079408236	kg Ethen-Äqv./kg
EP	-0,000225627234034888	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	-14,6956007587681	MJ/kg

b) ZWS-Recycling Bauteil

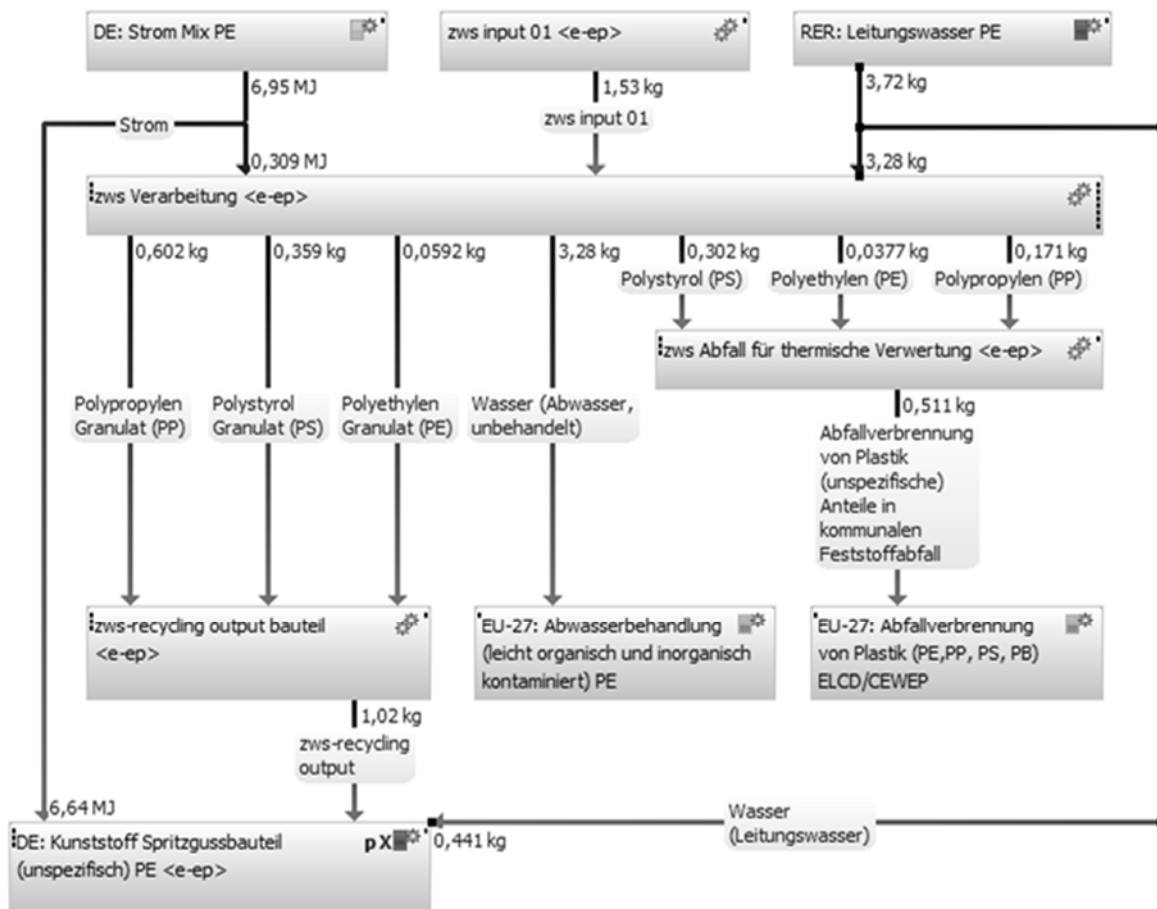


Abbildung 55 ZWS Spritzgussbauteil GaBi-Prozessplan

Umweltwirkungen bilanziert mit GaBi 6 bezogen auf 1 kg des ZWS Recycling Bauteils.

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	2,02090129343169	MJ/kg
PEI reg.	1,76558784334803	MJ/kg
PEI nicht reg.	0,255313450083663	MJ/kg
GWP (100 Jahre)	1,75415254946786	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	-0,00487783106486148	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	-0,000000106362531130868	kg R11-Äqv./kg
POCP	-0,000212786671388751	kg Ethen-Äqv./kg
EP	-0,000010294655253234	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	0,972628320190842	MJ/kg

CML 2001 – Nov. 2010

6.2 Vergleichsprodukte

Die Prozesse der Vergleichsprodukte wurden mit der Software GaBi 6 von thinkstep bilanziert. Der Aufbau der Prozesspläne entspricht dem der Rezyklatkunststoffe. Nur die Rohstoffe wurden durch herkömmliche Primärkunststoffe aus fossilen Rohstoffen ausgetauscht. Diese Daten stammen aus der Datenbank von thinkstep (ehem. PE INTERNATIONAL)

6.2.1 Hahn Vergleichsprodukt

a) Hahn Vergleichsprodukt Granulat

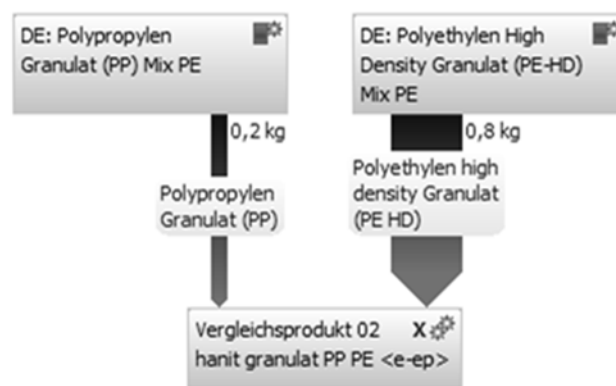


Abbildung 56 Hahn Vergleichsprodukt Granulat Prozessplan bilanziert mit GaBi 6

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	69,3373341905244	MJ/kg
PEI reg.	0,717832668480962	MJ/kg
PEI nicht reg.	68,6195015220435	MJ/kg
GWP	1,59479930090993	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	0,00420711300941685	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	2,79210945366045E-10	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,000874903710511821	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000327167403744604	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	68,6178301146192	MJ/kg
CML2001 - Nov. 2010		

b) Hanit Vergleichsprodukt Bauteil

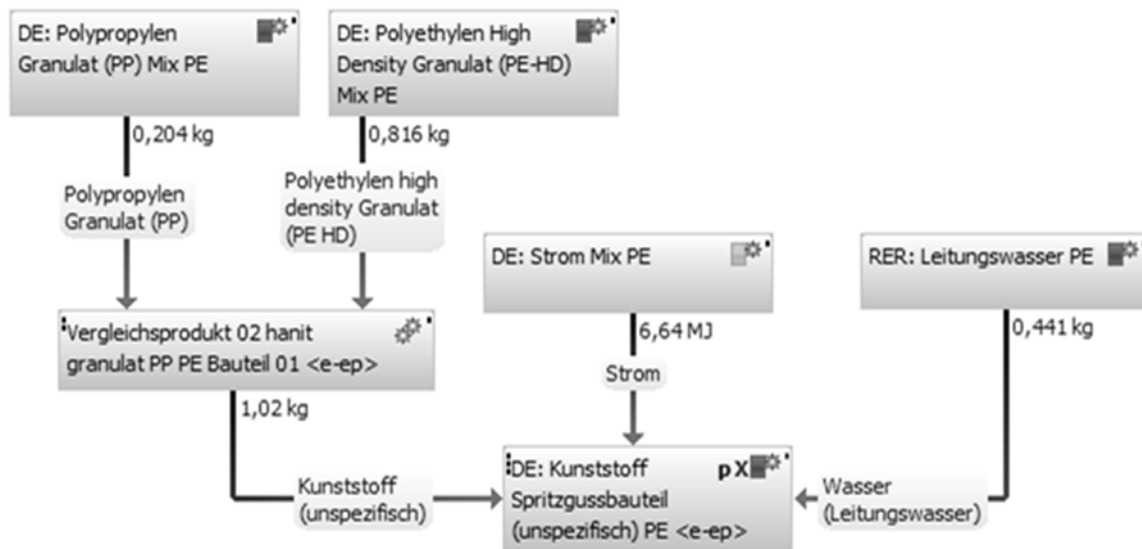


Abbildung 57 Hanit Vergleichsprodukt Bauteil Prozessplan GaBi

Hanit Vergleichsprodukt Bauteil 05

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	89,8320942170484	MJ/kg
PEI reg.	3,87748648398514	MJ/kg
PEI nicht reg.	85,9546077330633	MJ/kg
GWP 100 Jahre	2,7496323490698	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	0,00631825994022338	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	0,000000000934931562492329	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,00103494341432971	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000553555875281847	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	85,952327811046	MJ/kg

CML2001 - Nov. 2010

6.2.2 ZWS Vergleichsprodukt

a) ZWS Vergleichsprodukt Granulat

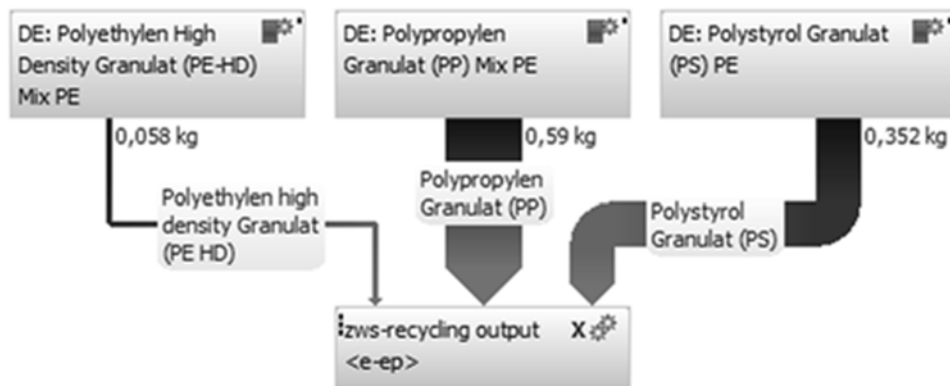


Abbildung 58 ZWS Vergleichsprodukt Granulat Prozessmodell GaBi

ZWS-Recycling Vergleichsprodukt bilanziert mit GaBi 6.

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	71,4248130972925	MJ/kg
PEI reg.	0,83701562374835	MJ/kg
PEI nicht reg.	70,5877974735442	MJ/kg
GWP 100 Jahre	1,87195117344693	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	0,00445751836405034	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	00000000002,69101374162592	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,000755562961795196	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000360738546236487	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	70,5861845453161	MJ/kg

CML2001 - Nov. 2010

b) ZWS Vergleichsprodukt Bauteil

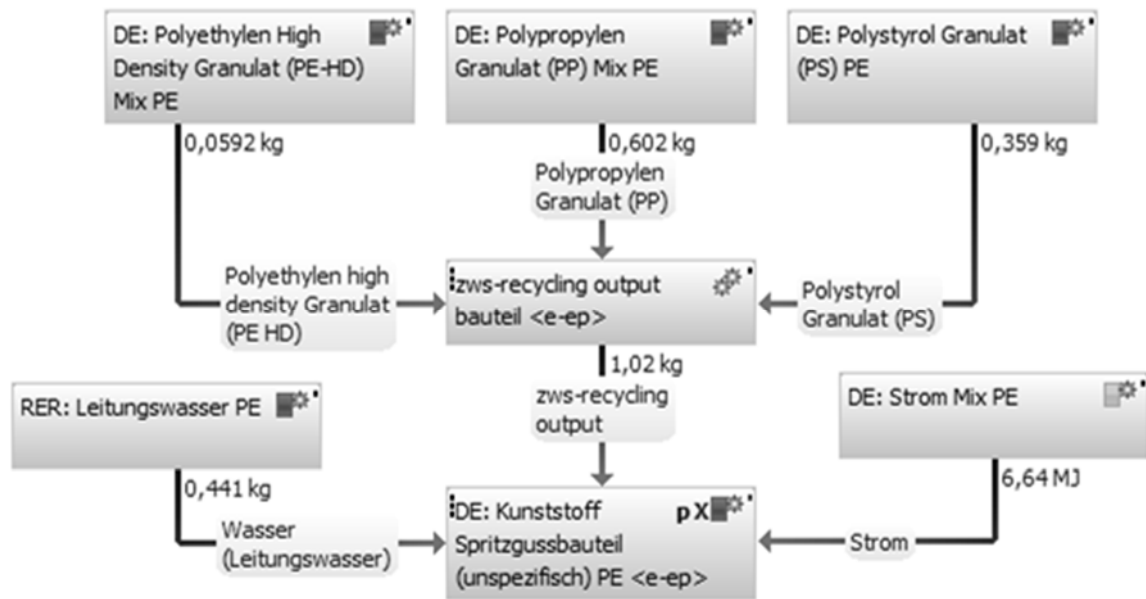


Abbildung 59 Prozessplan des ZWS Vergleichsprodukt Bauteil

ZWS Vergleichsprodukt Bauteil 04

CML2001 - Nov. 2010

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	91,9613227019518	MJ/kg
PEI reg.	3,99905309835788	MJ/kg
PEI nicht reg.	87,962269603594	MJ/kg
GWP 100 Jahre	3,03232725905753	kg CO ₂ -Äqv./kg
AP	0,00657367340194955	kg SO ₂ -Äqv./kg
ODP	0,000000000924619799864808	kg R11-Äqv./kg
POCP	0,00091321585063875	kg Ethen-Äqv./kg
EP	0,000587798440623568	kg Phosphat-Äqv./kg
ADP fossil	87,9600493303568	MJ/kg

6.3 Unterkonstruktionen

Die Art der Oberflächenbekleidung hat, aufgrund unterschiedlicher Materialien, Befestigungstechniken, Elementgrößen und Flächenlasten, auch Einfluss auf die jeweilige Unterkonstruktion (UK). Deshalb müssen die Unterkonstruktionen mit in die Vergleiche der funktionellen Einheiten Außenwand-, Innenwand- und Deckenbekleidung mit aufgenommen werden.

Tabelle 26 Unterkonstruktionen von Außenwandbekleidungen mit der Anzahl ihrer Instandsetzungen innerhalb von 80 Jahren

Unterkonstruktionen von Außenwandbekleidungen:	Instandsetzungen innerhalb von 80 Jahren nach LEGEP®
<u>Holz Bekleidung</u>	
UK AW Stülpchalung Lärche, d= 22 mm, a. UK, Winddichtung	2x
UK AW Paneel, Holzständer, Sperrholz	2x
UK AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	2x
UK AW Boden-Deckelschalung, NH-Lasur	2x
UK AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	2x
UK AW Spundschalung Fi, d=19,5 mm, NH-Lasur	2x
<u>Metall Bekleidung</u>	
UK AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	1x
UK AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	1x
UK AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	1x
UK AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	1x
UK AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	1x
UK AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	1x
UK AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	1x
UK AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	1x
UK AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	1x
UK AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	1x
UK AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	1x
<u>Steine und Platten</u>	
UK AW B., VHF-Kp., Metall-UK, hinterlüftet	1x
UK AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	1x
<u>Kunststoff</u>	
UK AW B., VHF-Kompositplatten, sichtbar bef., Metall-UK	1x
UK AW-Kunststoff-Fassade, Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile	4x
UK AW B., VHF-HPL-P., Klemmprofil, Metall-UK	2x
UK AW B., VHF-HPL-P., sichtbar bef., Metall-UK	2x
<u>Faserzementplatten (FZ-Platten)</u>	
UK AW B., VHF-FZ-Tafeln., durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	2x
UK AW B., Fz-platten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	2x
UK AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	2x
UK AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	2x
UK AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	2x
UK AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	1x

Die Vergleichssysteme aus der SIRADOS Datenbank der LEGEP® Software beinhalten bereits die Unterkonstruktion. Für die Kombination der Rezyklatkunststoffbauteile und der Vergleichskunststoffbauteile aus Primärkunststoffen gibt es jedoch keine separate Unterkonstruktion.

Deshalb wurden die Unterkonstruktionen der in der Datenbank vorhandenen Bekleidungen untersucht. Dazu wurden in den Vergleichssystemen die einzelnen Bestandteile bzw. Positionen der Bekleidung deaktiviert. Somit blieben in den Elementen nur noch die relevanten Positionen der Unterkonstruktion aktiv. Die Daten der Unterkonstruktionen konnten daraufhin in Excel übertragen, verglichen und ausgewertet werden.

Die Unterkonstruktionen gliedern sich im Wesentlichen in die zwei Kategorien Holz und Metall. Für beide Kategorien wurde jeweils eine repräsentative Unterkonstruktion gewählt, welche mit den Rezyklatkunststoffen und den Vergleichskunststoffen kombiniert wurde.

Als repräsentative Holz-Unterkonstruktion wurde die Konterlattung 24/48mm (vgl. UK AW B., Fz-platten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK) gewählt.

Als repräsentative Metall-Unterkonstruktion wurde ein Aluminiumprofil senkrecht (vgl. UK AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK) gewählt.

Die Metall-Unterkonstruktion wird durch die bereits vorgegebenen Ergänzungskonstruktionen (aus LEGEP®) komplettiert:

Sockelanschlussprofil / Laibung / Außenecke / Sturz

LEGEP											
Element 133564322 AW Bekleidung, VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK											
	Nr	Info	Kurz	KG	PS	Faktor	ME	EP	GP	Flächenanteil	Schicht
Basisdaten Bestandteile - Technische Angaben - Wärmeerzeuger - Solarkollektor - Speicher Heizbereich - Trinkwasserspeicher - Verteilungsleitung - Trinkwasser - Übergabesystem Heizung - Pauschale Angaben - Heizung / Trinkwasser / Photovoltaik - Luftdichtheitsprüfung - RLT-Anlage - Kühlung - Beleuchtung - Photovoltaik - Zusatzdaten	1038015010	Post	Wärmedämmung								
	1038015030	Post	MW-WAB, VHF, zwischen UK, 80 mm, 040	335	G	1,000	m²	12,80		1,00	1
	1038015050	Post	MW-WAB, VHF, zwischen UK, 120 mm,	335	A	1,000	m²	18,80		1,00	1
	1038015090	Post	MW-WAB, VHF, zwischen UK, 160 mm,	335	A	1,000	m²	23,60		1,00	1
	1038015910	Post	MW-WAB, 2-lagig, VHF, zw. UK, 160mm, 040	335	A	1,000	m²	27,80		1,00	1
	1038010100	Post	Winddichtung, Wärmedämmung, VHF	335		1,000	m²	6,30	6,30	1,00	2
	1038010110	Post	Unterkonstruktion								
	1038010120	Post	UK VHF-Fassadenplatten, Aluprofil senkr.	335	G	1,000	m²	24,70	24,70	0,00	1
	1038026110	Post	UK VHF-Fassadenplatten, Alu-/Klemmprofil	335	A	1,000	m²	40,10		0,00	1
	1038026140	Post	UK VHF-Fassadenplatten, Aluprof./Klammer	335	A	1,000	m²	39,10		0,00	1
	1038026190	Post	Bekleidung								
	1038026110	Post	VHF, FZ-Tafeln besch., 8 mm, grob.s. bef.	335	G	1,000	m²	84,30	84,30	1,00	4
	1038026140	Post	VHF, FZ-Tafeln besch., 12 mm, verd. bef.	335	A	1,000	m²	108,10		1,00	4
	1038026190	Post	VHF, FZ-Tafeln durchgef., 12 mm, verd. bef.	335	A	1,000	m²	122,40		1,00	4
	1038060560	Post	Ergänzungskonstruktionen								
	3.1.1.2		Sockelabschlussprofil, Aluminium, VHF	335		0,200	m	13,20	2,64	0,00	11
	3.1.3.1.1		Aluminium Blech, primär								
	4.03.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.03.1		Polyamid PA 6								
	1038060020	Post	Laibung, Platten, Profil, VHF	334		0,150	m	26,90	4,04	0,00	13
	1038060200	Post	Außenecke, Alu-Profil, VHF	335		0,100	m	10,20	1,02	0,00	14
	3.1.1.2		Aluminium Blech, primär								
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.03.1		Polyamid PA 6								
	1038060410	Post	Sturz, Alu-Lochblech/Platte, VHF	335		0,070	m	24,30	1,70	0,00	15
	3.1.1.2		Aluminium Blech, primär								
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.03.1		Polyamid PA 6								
Nettosumme									124,70		

Abbildung 60 Element Außenwandbekleidung mit Metall UK

Die Holz-Unterkonstruktion wird durch die bereits vorgegebenen An- und Abschlüsse (aus LEGEP®) komplettiert:

Sockelanschlussprofil / Eckschienen / Laibungen / Insektenschutzgitter / Fugen-Dichtungsband / Bekl. rund anarbeiten.

6.3.1 Holz-Unterkonstruktion Außenwandbekleidung

Element 133564311 AW Bekleidung, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK

Basisdaten

Bestandteile

Skizze

Technische Angaben

- Wärmeerzeuger
- Solarkollektor
- Speicher Heizber...
- Trinkwasserspeic...
- Verteilungsleitun...
- Verteilungsleitun...
- Übergabesystem...
- Luftdichtheitsprüf...
- RLT-Anlage
- Kühlung
- Beleuchtung
- Photovoltaik

Nummer: 133564311

Kurztext: AW Bekleidung, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK

DIN 276.08 (erweitert): 3356 Platten, Stein

Status: Feinelement Art: Neubau

Einheit: m²

Nettosumme: ergibt für 1 m² Außenwandbekleidung 94,82

Langtext: Außenwandbekleidung mit beschichteten Faserzementplatten kleinteilig d=8 mm, auf Unterkonstruktion

Hinweis:

Skizze OK Abbruch Übernehmen

Abbildung 61 Basisdaten Unterkonstruktion Holz

Für die Holzunterkonstruktion bei Außenwandbekleidungen wurde als Referenz die Holz-UK des Elements: 133564311 AW Bekleidung, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz UK, aus der SIRADOS Datenbank der LEGEP® Software gewählt.

Erstens ist diese Art der Unterkonstruktion gebräuchlich und bei mehreren Bekleidungen aus der Datenbank vorhanden und zweitens ist die Art der Bekleidung mit 8 mm Faserzementplatten auf Grund des Gewichts, der Elementgrößen und Befestigungstechniken vergleichbar mit einer Außenwandbekleidung aus Rezyklatplatten.

Die Basisdaten dieses Elements sind in Abbildung 61 aufgeführt. Die Bestandteile der Holzunterkonstruktion sind in Abbildung 62 enthalten.

Die Werte der Umweltwirkungen der Unterkonstruktion beziehen sich nur auf einen einmaligen Einsatz. Bei der funktionellen Einheit muss die Unterkonstruktion in der Bemessungsdauer von 80 Jahren einmal erneuert werden.

Element 133564311 AW Bekleidung, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK

Basisdaten	Nr	Info	Kurztext	EP [€]	PS	KG	Faktor	inhe	GP [€]	Flächenanteil	Schicht
Bestandteile			Unterkonstruktionen								
Skizze	1016037020	Pos	Konterlattung a. Holzunterk., Wand, 24/48	5,01	335	1,000 m²		5,01	1,000	2	
Technische Angaben	15.1.1.1.3		Luftschrift vertikal 3 cm							1	
Wärmeerzeuger	2.2.2.1		Nadelschnittholz kammergetrocknet, sägerau							1	
Solar Kollektor	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
Speicher Heizber...	2.2.6.1		Nadelholz, Fichte, Kiefer, Tanne, luftgetrocknet								
Trinkwasserspeic...			Bekleidung								
Verteilungsleitun...	1020405500	Pos	Fassadenbekleidung, FZ-Tafeln, besch.	78,26	335	1,000 m²		78,26	0,000	3	
Verteilungsleitun...	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
Übergabesystem...	8.3.1.1.2		Faserzementplatten DIN 274 klein formatig								
Luftdichtheitsprüf...			An- und Abschlüsse								
RLT-Anlage	1020405610	Pos	Sockelabschlussprofil, Kunststoff, FZ-Pl.	10,83	335	0,200 m		2,17	0,000	4	
Kühlung	4.05.1		Polyvinylchlorid weich								
Beleuchtung	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
Photovoltaik	4.03.1		Polyamid PA 6								
	1020405630	Pos	Eckschienen, Alu, FZ-Plattendekung	9,55	335	0,100 m		0,96	0,000	5	
	3.1.1.2		Aluminium Blech, primär								
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.03.1		Polyamid PA 6								
	1020405510	Pos	Leibungen, FZ-Fassadentafeln	21,67	335	0,150 m		3,25	0,000	6	
	8.3.1.1.2		Faserzementplatten DIN 274 klein formatig								
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	1016039710	Pos	Insektenschutzgitter, Hinterlüftung, GFK	4,65	335	0,500 m		2,33	0,000	15	
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.07.1		GFK								
	1016039730	Pos	Fugen-Dichtungsband aus Vinyl-Schaumst.	4,01	335	0,500 m		2,01	0,000	16	
	4.08.1		Vinylschaum								
	1016090010	Pos	Innen-/Außenecken, Wandbekleidung	8,16 E	335	0,100 m			0,000	17	
	1016090020	Pos	Schrägschnitte, Schalung/Bekl./Fußboden	2,82 E	335	0,100 m			0,000	18	
	1016090030	Pos	Schalung/Bekl./Fußboden, rund anarbeiten	8,32	335	0,100 m		0,83	0,000	19	
			Beschichtung								
	1020405520	Pos	Farbbeschichtung auf Faserzementplatten	16,77 E	335	1,000 m²			0,000	20	
	9.3.1.4.2.5		Polyurethanharz, lösemittelhaltig								
	4.02.1		Polyurethan-Gießharz								
	1034001310	Pos	Holz, faserig, abschleifen/grundieren	5,26 E	335	1,000 m²			0,000	23	
	9.3.1.3.2.1		Alkydharz								
	1034001040	Pos	Untergrund vorbereiten, reinigen	1,34 E	335	1,000 m²			0,000	24	
			Nettosumme						94,82		

Abbildung 62 Bestandteile des Elements 133564311 AW Bekleidung, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz UK,

Die Werte der Umweltwirkungen für einen Quadratmeter Holzunterkonstruktion lauten wie folgt:

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	62,49	MJ/m²
PEI reg.	30,93	MJ/m²
PEI nicht reg.	31,56	MJ/m²
GWP	-0,949	kg CO ₂ -Äqv./m²
AP	0,005	kg SO ₂ -Äqv./m²
ODP	0,000000141	kg R11-Äqv./m²
POCP	0,001	kg Ethen-Äqv./m²
EP	0,00052	kg Phosphat-Äqv./m²

6.3.2 Metall-Unterkonstruktion Außenwandbekleidung

Vergleichend zur Holzunterkonstruktion wurde für die Außenwandbekleidung zusätzlich eine Metallunterkonstruktion gewählt. Hierbei fiel die Wahl auf die Unterkonstruktion des Elements 133564322 „AW Bekleidung VHF-FZ Tafeln 8 mm beschichtet Metall UK“. Erstens ist diese Art der Unterkonstruktion bei mehreren Bekleidungen vorhanden und zweitens ist die Art der Bekleidung mit 8 mm Faserzementtafeln auf Grund des Gewichts, der Elementgrößen und Befestigungstechniken vergleichbar mit einer Außenwandbekleidung aus Rezyklatplatten. Die Basisdaten sind in Abbildung 63 dargestellt. Die Bestandteile sind in Abbildung 64 aufgeführt.

Die Werte der Umweltwirkungen für einen Quadratmeter Metallunterkonstruktion lauten wie folgt:

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	297,78	MJ/m ²
PEI reg.	66,37	MJ/m ²
PEI nicht reg.	231,41	MJ/m ²
GWP	16,848	kg CO ₂ -Äqv./m ²
AP	0,074	kg SO ₂ -Äqv./m ²
ODP	0,000001669	kg R11-Äqv./m ²
POCP	0,005	kg Ethen-Äqv./m ²
EP	0,0035	kg Phosphat-Äqv./m ²

LEGEP

Element 133564322 AW Bekleidung, VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK

Basisdaten

Bestandteile

Technische Angaben

Wärmeerzeuger

Solar Kollektor

Speicher Heizbereich

Trinkwasserspeicher

Verteilungsleitung

Verteilungsleitung

Trinkwasser

Übergabesystem Heizung

Pauschale Angaben

Heizung / Trinkwasser / Photovoltaik

Luftdichtheitsprüfung

RLT-Anlage

Kühlung

Beleuchtung

Photovoltaik

Zusatzdaten

Nummer 133564322

Kurztext AW Bekleidung, VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK

DIN 276.08 (erweitert) 3358 Metallbekleidung

DIN 276.81 3130 Nichttragende Konstruktionen

Kostenstelle

Status Feinelement Art Neubau

Einheit m²

Nettosumme ergibt für 1 m² Außenwandbekleidung 124,70

Langtext Außenwandbekleidung mit großformatigen Faserzementtafeln, 8 mm, beschichtet, vorgehängte Konstruktion mit sichtbarer Befestigung, einschl. Metallunterkonstruktion und Dämmung mit Mineralwolle 80 mm, einschl. Ergänzungsstrukturen

OK Abbruch Übernehmen

Abbildung 63 Basisdaten der Metall-Unterkonstruktion Außenwandbekleidung

LEGEPLAN

Element 133564322 AW Bekleidung, VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK

Basisdaten	Nr	Info	Kurz	KG	PS	Faktor	ME	EP	GP	Flächenanteil	Schicht
Bestandteile			Wärmedämmung								
Technische Angaben	1038015010	Posk	MW-WAB, VHF, zwischen UK, 80 mm, 040	335 G		1,000 m²		12,80		1,00	1
Wärmeerzeuger	1038015030	Posk	MW-WAB, VHF, zwischen UK, 120 mm,	335 A		1,000 m²		18,80		1,00	1
Solarkollektor	1038015050	Posk	MW-WAB, VHF, zwischen UK, 160 mm,	335 A		1,000 m²		23,60		1,00	1
Speicher Heizbereich	1038015090	Posk	MW-WAB, 2-lagig, VHF, zw. UK, 160mm, 040	335 A		1,000 m²		27,80		1,00	1
Trinkwasserspeicher	1038015910	Posk	Winddichtung, Wärmedämmung, VHF	335		1,000 m²		6,30	6,30	1,00	2
Verteilungsleitung	5.6....		Polypropylenvlies 0,2 mm							100,00	1
Verteilungsleitung	5.6.2.1.5		Polypropylenvlies 0,2 mm								
Trinkwasser			Unterkonstruktion								
Übergabesystem Heizung	1038010100	Posk	UK VHF-Fassadenplatten, Aluprofil senkr.	335 G		1,000 m²		24,70	24,70	0,00	1
Pauschale Angaben	3.1....		Aluminium, primär							100,00	1
Heizung / Trinkwasser / Photovoltaik	3.1.1.2		Aluminium Blech, primär								
Luftdichtheitsprüfung	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
RLT-Anlage	4.03.1		Polyamid PA 6								
Kühlung	1038010110	Posk	UK VHF-Fassadenplatten, Alu-/Klemmprofil	335 A		1,000 m²		40,10		0,00	1
Beleuchtung	1038010120	Posk	UK VHF-Fassadenplatten, Aluprof./Klammer	335 A		1,000 m²		39,10		0,00	1
Photovoltaik			Bekleidung								
Zusatzdaten	1038026110	Posk	VHF, FZ-Tafeln besch., 8 mm, grob.s. bef.	335 G		1,000 m²		84,30	84,30	1,00	4
	8.3....		Faserzementfassadentafel, beschichtet							100,00	1
	3.1.3.2.4		Edelstahl, Chromstahl, BLECHE								
	4.06.1		Polypropylen PP								
	8.3.1.1.2		Faserzementplatten DIN 274 klein formatig								
	1038026140	Posk	VHF, FZ-Tafeln besch., 12 mm, verd. bef.	335 A		1,000 m²		108,10		1,00	4
	1038026190	Posk	VHF, FZ-Tafeln durchgef., 12 mm, verd.bef.	335 A		1,000 m²		122,40		1,00	4
			Ergänzungskonstruktionen								
	1038060560	Posk	Sockelabschlussprofil, Aluminium, VHF	335		0,200 m		13,20	2,64	0,00	11
	3.1.1.2		Aluminium Blech, primär								
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.03.1		Polyamid PA 6								
	1038060020	Posk	Leibung, Platten, Profil, VHF	334		0,150 m		26,90	4,04	0,00	13
	1038060200	Posk	Außenecke, Alu-Profil, VHF	335		0,100 m		10,20	1,02	0,00	14
	3.1.1.2		Aluminium Blech, primär								
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.03.1		Polyamid PA 6								
	1038060410	Posk	Sturz, Alu-Lochblech/Platte, VHF	335		0,070 m		24,30	1,70	0,00	15
	3.1.1.2		Aluminium Blech, primär								
	3.1.3.1.1		Blasstahl, unlegiert								
	4.03.1		Polyamid PA 6								
			Nettosumme							124,70	

Abbildung 64 Bestandteile der Metall Unterkonstruktion Außenwandbekleidung

6.3.3 Holz-Unterkonstruktion Innenwandbekleidung und Deckenbekleidung

Für Innenwand- und Deckenbekleidungen wurde die Position 1016037020 gewählt. Die Werte der Umweltwirkungen für einen Quadratmeter Holzunterkonstruktion lauten wie folgt:

Primärenergieinhalt regenerativer (PEI reg.) und nicht regenerativer (PEI nicht reg.) Ressourcen

(unterer Heizwert)	56,05	MJ/m²
PEI reg.	37,93	MJ/m²
PEI nicht reg.	18,12	MJ/m²
GWP	-2,855	kg CO ₂ -Äqv./m²
AP	0,002	kg SO ₂ -Äqv./m²
ODP	0,000000092	kg R11-Äqv./m²
POCP	0	kg Ethen-Äqv./m²
EP	0,00025	kg Phosphat-Äqv./m²

LEGE

Position 1016037020 Konterlattung a. Holzunterk.,Wand,24/48

Basisdaten
Fenster
Zusatzdaten

Position 1016037020 Kurztext Konterlattung a. Holzunterk.,Wand,24/48

KG 345 Innerwandbekleidungen

Zeit 0,070 ME m² StLB

Von 3,41 Mittel 4,81 Bis 6,02

Langtext
Konterlattung auf vorhandene Wandkonstruktion aus Holz
Holzart : Fichte / Kiefer / Tanne
Sortierklasse : S 10
Holzfeuchte : trocken (< 20%)
Schnittklasse : A
Einbaulage :
Lattenquerschnitt: 24/48 mm
Lattenweite : 40 - 50 cm

Bearbeiten

Hinweis
Bearbeiten

OK Abbruch Übernehmen

Abbildung 65 Basisdaten Holz-Unterkonstruktion Innenwand- und Deckenbekleidung

6.4 Entwickelte funktionelle Einheiten

Dieses Kapitel beschreibt die entwickelten funktionellen Einheiten, welche mit den Ergebnissen aus den Bilanzierungen in GaBi und in Kombination mit den jeweiligen Unterkonstruktionssystemen, in Abhängigkeit von einer spezifischen Nutzungsdauer erstellt wurden.

6.4.1 Außenwandbekleidung

Die erstellten Bauteile für die funktionelle Einheit Außenwandbekleidung gliedern sich in die beiden Rezyklatkunststoffe und deren Vergleichsprodukte und werden jeweils mit einer Holz- oder Metallunterkonstruktion kombiniert. Alle funktionellen Einheiten wurden in den zwei Bauteildicken 4 mm und 6 mm bilanziert. Die angesetzten durchschnittlichen Nutzungsdauern innerhalb des Bilanzierungszeitraums von 80 Jahren betragen für die Außenwandbekleidung mehr als (aufgerundet) 27 Jahre und weniger als 40 Jahre ($> 27 - < 40$) und für die Unterkonstruktionen größer gleich 40 Jahre und weniger als 80 Jahre ($> 40 - < 80$). Demnach müssen die Außenwandbekleidungen im Bilanzierungszeitraum dreimal erneuert werden und die Unterkonstruktionen zweimal. Die Nutzungsdauern orientieren sich an den Ergebnissen einer Umfrage des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (Bau-, Stadt- und Raumforschung 2017)

Tabelle 27 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Außenwandbekleidungen mit Rezyklatkunststoffen

Umweltwirkung	PEI reg.	PEI n.reg.	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
Einheit	MJ	MJ	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
RK ZWS 4mm (3x) UK Holz (2x)	81,29	65,93	17,405	-0,044	-0,000000888	-0,00034	0,00093	147,22
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	91,00	67,33	27,056	-0,071	-0,000001474	-0,00151	0,00087	158,34
RK Hahn 4mm (3x) UK Holz (2x)	110,27	286,99	19,120	0,025	0,000000006	0,00342	0,00405	397,25
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	134,47	398,92	29,628	0,033	-0,000000133	0,00412	0,00556	533,39
RK ZWS 4mm (3x) UK Metall (2x)	152,17	465,63	52,999	0,094	0,000002168	0,00766	0,00689	617,80
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	161,88	467,03	62,650	0,067	0,000001582	0,00649	0,00683	628,92
RK Hahn 4mm (3x) UK Metall (2x)	181,15	686,69	54,714	0,163	0,000003062	0,01142	0,01001	867,83
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	205,35	798,62	65,222	0,171	0,000002923	0,01212	0,01152	1.003,97

Tabelle 28 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Außenwandbekleidungen mit Vergleichskunststoffen

Umweltwirkung	PEI reg.	PEI n.reg.	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
Einheit	MJ	MJ	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
VP ZWS 4mm (3x) UK Holz (2x)	105,87	1.031,06	31,470	0,082	0,000000292	0,01205	0,00751	1.136,92
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	127,87	1.515,03	48,154	0,119	0,000000297	0,01707	0,01074	1.642,89
VP Hahn 4mm (3x) UK Holz (2x)	105,13	1.022,37	28,788	0,081	0,000000292	0,01355	0,00722	1.127,51
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	126,77	1.502,00	44,131	0,116	0,000000298	0,01932	0,01031	1.628,77
VP ZWS 4mm (3x) UK Metall (2x)	176,75	1.430,76	67,064	0,220	0,000003348	0,02005	0,01347	1.607,50
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	198,75	1.914,73	83,748	0,257	0,000003353	0,02507	0,01670	2.113,47
VP Hahn 4mm (3x) UK Metall (2x)	176,01	1.422,07	64,382	0,219	0,000003348	0,02155	0,01318	1.598,09
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	197,65	1.901,70	79,725	0,254	0,000003354	0,02732	0,01627	2.099,35

6.4.2 Innenwandbekleidung

Für den Vergleich bei Innenwandbekleidungen werden die gleichen Ausgangsdaten der Rezyklate und Vergleichssysteme herangezogen wie für Außenwandbekleidungen, jedoch mit einer angepassten Holz-Unterkonstruktion.

RK ZWS Bauteil IWB UK Holz;

RK Hahn Bauteil IWB UK Holz

Tabelle 29 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Innenwandbekleidungen mit Rezyklatkunststoffen

Umweltwirkung	PEI reg.	PEI n.reg.	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
Einheit	MJ	MJ	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
RK ZWS 2mm (>40a) mit UK (50a)	44,41	19,06	3,579	-0,016	-0,000000298	-0,00078	0,00021	63,46
RK ZWS 4mm (>40a) mit UK (50a)	50,88	19,99	10,013	-0,034	-0,000000688	-0,00156	0,00017	70,88
RK ZWS 6mm (>40a) mit UK (50a)	57,36	20,93	16,448	-0,052	-0,000001078	-0,00234	0,00014	78,29
RK ZWS 8mm (>40a) mit UK (50a)	63,83	21,87	22,882	-0,070	-0,000001469	-0,00312	0,00010	85,70
RK Hahn 2mm (>40a) mit UK (50a)	54,07	92,74	4,151	0,007	0,000000000	0,00047	0,00125	146,81
RK Hahn 4mm (>40a) mit UK (50a)	70,20	167,36	11,157	0,012	-0,000000092	0,00094	0,00226	237,56
RK Hahn 6mm (>40a) mit UK (50a)	86,34	241,99	18,163	0,017	-0,000000184	0,00142	0,00326	328,32
RK Hahn 8mm (>40a) mit UK (50a)	102,47	316,61	25,168	0,022	-0,000000277	0,00189	0,00427	419,08

VP ZWS Bauteil IWB UK Holz;

VP Hahn Bauteil IWB UK Holz

Tabelle 30 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Innenwandbekleidungen mit Vergleichskunststoffen

Umweltwirkung	PEI reg.	PEI n.reg.	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
Einheit	MJ	MJ	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	105,20	681,53	16,535	0,052	0,000000191	0,00670	0,00481	786,73
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	119,87	1.004,18	27,658	0,076	0,000000194	0,01005	0,00697	1.124,04
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	104,71	675,74	14,747	0,051	0,000000191	0,00770	0,00462	780,45
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	119,13	995,49	24,976	0,075	0,000000194	0,01155	0,00668	1.114,63

6.4.3 Deckenbekleidung

Für den Vergleich bei Deckenbekleidungen werden die gleichen Ausgangsdaten herangezogen wie für Außenwandbekleidungen, jedoch mit einer angepassten Holzunterkonstruktion.

RK ZWS Bauteil DB UK Holz;

RK Hahn Bauteil DB UK Holz

Tabelle 31 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Deckenbekleidungen mit Rezyklatkunststoffen

Umweltwirkung	PEI reg.	PEI n.reg.	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
Einheit	MJ	MJ	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
RK ZWS 2mm (>40a) mit UK (50a)	44,41	19,06	3,579	-0,016	-0,000000298	-0,00078	0,00021	63,46
RK ZWS 4mm (>40a) mit UK (50a)	50,88	19,99	10,013	-0,034	-0,000000688	-0,00156	0,00017	70,88
RK ZWS 6mm (>40a) mit UK (50a)	57,36	20,93	16,448	-0,052	-0,0000001078	-0,00234	0,00014	78,29
RK ZWS 8mm (>40a) mit UK (50a)	63,83	21,87	22,882	-0,070	-0,0000001469	-0,00312	0,00010	85,70
RK Hahn 2mm (>40a) mit UK (50a)	54,07	92,74	4,151	0,007	0,000000000	0,00047	0,00125	146,81
RK Hahn 4mm (>40a) mit UK (50a)	70,20	167,36	11,157	0,012	-0,000000092	0,00094	0,00226	237,56
RK Hahn 6mm (>40a) mit UK (50a)	86,34	241,99	18,163	0,017	-0,0000000184	0,00142	0,00326	328,32
RK Hahn 8mm (>40a) mit UK (50a)	102,47	316,61	25,168	0,022	-0,0000000277	0,00189	0,00427	419,08

VP ZWS Bauteil DB UK Holz; VP Hahn Bauteil DB UK Holz

Tabelle 32 Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten für Deckenbekleidungen
mit Vergleichskunststoffen

Umweltwirkung	PEI reg.	PEI n.reg.	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
Einheit	MJ	MJ	kg CO2- Äq.	kg SO2- Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	105,20	681,53	16,535	0,052	0,000000191	0,00670	0,00481	786,73
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	119,87	1.004,18	27,658	0,076	0,000000194	0,01005	0,00697	1.124,04
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	104,71	675,74	14,747	0,051	0,000000191	0,00770	0,00462	780,45
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	119,13	995,49	24,976	0,075	0,000000194	0,01155	0,00668	1.114,63

6.5 Gewählte bestehende funktionelle Einheiten

Aus der SIRADOS Datenbank wurden für die Vergleiche bestehende Datensätze der funktionellen Einheiten ausgewählt.

6.5.1 Außenwandbekleidung

Es wurden 27 bestehende Datensätze von Außenwandbekleidungen ausgewählt. Dabei handelt es sich um vier Bekleidungen aus Holz, elf Bekleidungen aus Metall, zwei Bekleidungen aus künstlich hergestellten gebrannten Steinen, vier Bekleidungen aus Kunststoff bzw. kunststoffgebundenen Kompositplatten und sechs zementgebundene Bekleidungen.

Tabelle 33 Gewählte Außenwandbekleidungen aus der SIRADOS Datenbank

Bezeichnung in LEGEP®	Positionsnummer
AW Stülpchalung Lärche, d=22 mm, auf Unterkonstruktion, Winddichtung	133574211
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beidseitig, PUR 60 mm	133578232
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	133577111
AW Deckleistenschalung Fichte, d=20 mm, NH-Lasur	133575211
AW Bekleidung, Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	133581311
AW Bekleidung, Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	133581511
AW Bekleidung, Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	133581711
AW Bekleidung, Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger, MW 160 mm	133581397
AW Bekleidung, verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette, MW 140 mm	133581398
AW Bekleidung, Aluminiumblech, innen Aluminium, MW 140 mm	133581399
AW Bekleidung, Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	133582211
AW Bekleidung, Stahltrapezblech, beschichtet	133583111
AW Bekleidung, Alu-Paneele 2,0 mm, MW 120 mm	133584225
AW Bekleidung, Alu-Kassetten 2,0 mm, MW 120 mm	133585225
AW VHF-Bekleidung, Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm, MW 160 mm	133586127
AW Bekleidung, VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	133563211
AW Bekleidung, VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	133563611
AW Bekleidung, VHF-Kompositplatten, sichtbar befestigt, Metall-UK	133566522
AW-Kunststoff-Fassade, Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile	133597421
AW Bekleidung, VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	133566422
AW Bekleidung, VHF-HPL-Platten, sichtbar befestigt, Metall-UK	133566421
AW Bekleidung, VHF-FZ-Tafeln, durchgefärbt, Klemmprofil, Metall-UK	133564316
AW Bekleidung, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	133564311
AW Bekleidung, VHF-FZ-Tafeln, Stülpedeckung, Metall-UK, MW 120 mm	133564225
AW Bekleidung, VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, beschichtet, Metall-UK, MW 80 mm	133564322
AW Bekleidung, Faserzement-Wellprofile, Holz-UK, MW 100 mm	133565124
AW Bekleidung, VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK, HWF 100 mm	133566325

Tabelle 34 Umweltwirkungspotentiale der gewählten Außenwandbekleidungen

Außenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat -Äq.	PEI MJ
AW Stülpchalung Lärche, d=22 mm, auf Uk, Winddichtung	-32,385	0,039	0,00000214	0,005	0,00591	1.301,79
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beidseitig, PUR 60 mm	-13,780	0,318	0,00000312	0,049	0,02065	1.887,87
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-12,980	0,024	0,00000104	0,003	0,00566	590,32
AW Deckleistenschalung Fichte, d=20 mm, NH-Lasur	-29,283	0,065	0,00000297	0,108	0,00910	1.732,14
AW B, Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	0,885	0,085	0,00000103	0,010	0,01809	637,13
AW B, Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	2,788	0,093	0,00000186	0,010	0,01738	685,31
AW B, Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	11,442	0,183	0,00000293	0,012	0,07756	814,29
AW B, Aluminiumelem., UK Holzlattung, Aluträger, MW 160 mm	30,991	0,164	0,00000363	0,010	0,01840	694,15
AW B, verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette, MW 140 mm	31,544	0,103	0,00000104	0,013	0,01902	454,75
AW B, Aluminiumblech, innen Aluminium, MW 140 mm	85,304	0,382	0,00000854	0,024	0,02658	1.496,65
AW B, Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	55,723	0,247	0,00000564	0,016	0,01167	981,27
AW B, Stahltrapezblech, beschichtet	26,919	0,079	0,00000064	0,011	0,00910	383,50
AW B, Alu-Paneele 2,0 mm, MW 120 mm	89,771	0,398	0,00000910	0,025	0,01868	1.582,90
AW B, Alu-Kassetten 2,0 mm, MW 120 mm	96,209 223,69	0,427	0,00000977	0,027	0,02000	1.696,42
AW VHF-B, Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm, MW 160 mm	3	1,252	0,00001866	0,074	0,57768	3.383,15
AW Bekleidung, VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	30,314	0,148	0,00000224	0,009	0,00665	518,49
AW Bekleidung, VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	43,609	0,221	0,00000282	0,013	0,00736	735,99
AW B, VHF-Kompositplatten, sichtbar befestigt, Metall-UK	9,326 266,95	0,084	0,00000189	0,007	0,00535	473,65
AW-Kunststoff-Fas., Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile	7	0,675	0,00001990	0,070	0,05680	5.171,03
AW B, VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	45,544	0,237	0,00000525	0,018	0,02074	1.390,82
AW B, VHF-HPL-Platten, sichtbar befestigt, Metall-UK	47,389	0,225	0,00000560	0,019	0,02007	1.650,49
AW B, VHF-FZ-Tafeln, durchgefärbt, Klemmprofil, Metall-UK	76,863	0,292	0,00000656	0,022	0,02221	1.127,93
AW B, Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	29,084	0,098	0,00000249	0,009	0,00866	435,56
AW B, VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK, MW 120 mm	83,663	0,311	0,00000693	0,024	0,02496	1.160,08
AW B, VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK, MW 80 mm	66,343	0,254	0,00000564	0,019	0,01967	985,52
AW B, Faserzement-Wellprofile, Holz-UK, MW 100 mm	14,931	0,112	0,00000283	0,011	0,01155	894,28
AW B, VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK, HWF 100 mm	28,850	0,105	0,00000244	0,007	0,00841	489,98

6.5.2 Innenwandbekleidung

Es wurden 29 bestehende Datensätze von Innenwandbekleidungen ausgewählt. Dabei handelt es sich um unterschiedlichste Putze und Beschichtungen in Kombination mit Gipskartonplatten, Fliesen und Tapeten.

Tabelle 35 Gewählte Innenwandbekleidungen aus der SIRADOS Datenbank

Bezeichnung in LEGEP®	Positionsnummer
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	134047723
IWK Vorwandinstallation Metall, zwischen Ständer, GK, Fliesen	134058212
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	134016312
Kalkzementputz, Fliesen,auf Abdichtung	134013535
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	134064236
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	134028314
Kunstharz-Rollputz	134022212
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	134013319
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	134025314
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	134047712
Kalkzementputz, Fliesen	134013550
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	134013345
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	134012343
Kalkputz, Dispersion	134013312
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	134013335
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	134013336
Dispersion (auf GK)	134044422
Dispersion	134022211
NH-Dispersion (auf Gk)	134013373
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	134022312
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	134042212
Wandspaltplatten	134046444
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	134013352
Lehmputz, Kaseinfarbe	134013347
Gipsputz, Raufasertapete	134013372
Fliesen	134023612
Silikatbeschichtung	134012232
Silikat-Dispersion (auf GK)	134044444
Silikat-Dispersion (auf Beton)	134022215

Tabelle 36 Umweltwirkungspotentiale der gewählten Innenwandbekleidungen

Innenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-8,211	0,162	0,000001862	0,127	0,02849	1612,69
IWK Vorwandinst. Metall, zwisch. Ständer, GK, Fliesen	49,849	0,166	0,000003256	0,068	0,01542	939,60
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	51,927	0,172	0,000003548	0,017	0,01600	921,49
Kalkzementputz, Fliesen,auf Abdichtung	23,471	0,054	0,000001026	0,056	0,00851	371,39
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	24,696	0,153	0,000001709	0,024	0,00710	643,50
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	20,392	0,162	0,000001273	0,022	0,00826	569,49
Kunstharz-Rollputz	14,866	0,116	0,000000809	0,043	0,00442	340,54
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	27,802	0,092	0,000001000	0,023	0,00837	339,02
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	24,621	0,088	0,000000773	0,023	0,00846	268,40
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	14,541	0,134	0,000000992	0,022	0,00429	326,00
Kalkzementputz, Fliesen	25,549	0,060	0,000001319	0,005	0,00910	353,27
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	16,527	0,129	0,000000895	0,022	0,00417	309,93
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	15,755	0,127	0,000000819	0,019	0,00405	284,83
Kalkputz, Dispersion	16,747	0,128	0,000000698	0,019	0,00445	267,17
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	16,110	0,114	0,000000699	0,019	0,00415	264,54
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	12,574	0,123	0,000000591	0,019	0,00413	214,21
Dispersion (auf GK)	8,869	0,119	0,000000495	0,021	0,00254	191,66
Dispersion	7,752	0,114	0,000000450	0,018	0,00216	170,10
NH-Dispersion (auf Gk)	7,188	0,100	0,000000453	0,019	0,00188	169,05
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	4,667	0,054	0,000000739	0,009	0,00634	222,16
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	7,115	0,100	0,000000451	0,018	0,00186	167,48
Wandspaltplatten	14,957	0,041	0,000001030	0,003	0,00356	296,74
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	7,513	0,044	0,000000305	0,012	0,00273	103,97
Lehmputz, Kaseinfarbe	8,332	0,039	0,000000328	0,008	0,00283	129,28
Gipsputz, Raufasertapete	8,882	0,015	0,000000391	0,002	0,00229	135,28
Fliesen	6,981	0,020	0,000000521	0,002	0,00176	141,78
Silikatbeschichtung	3,195	0,036	0,000000175	0,010	0,00101	77,35
Silikat-Dispersion (auf GK)	2,827	0,035	0,000000168	0,011	0,00081	62,41
Silikat-Dispersion (auf Beton)	2,647	0,034	0,000000161	0,010	0,00075	58,97

6.5.3 Deckenbekleidung

Es wurden 20 bestehende Datensätze von Deckenbekleidungen ausgewählt. Dabei handelt es sich um unterschiedlichste Putze und Beschichtungen in Kombination mit Gipskartonplatten und Tapeten.

Tabelle 37 Ausgewählte Deckenbekleidungen aus der SIRADOS Datenbank

Bezeichnung in LEGEP®	Positionsnummer	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	135011311	9,584	0,044	0,000000345	0,012	0,00209	133,15
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	135012311	15,358	0,108	0,000000616	0,019	0,00320	225,13
Zementputz, Silikatbeschichtung	135012331	11,146	0,050	0,000000406	0,012	0,00409	132,70
Kunstharz Rollputz	135021212	14,505	0,114	0,000000789	0,042	0,00431	332,41
Dispersion	135021221	7,709	0,113	0,000000447	0,018	0,00215	169,20
Kalkputz, Dispersion	135021311	14,617	0,123	0,000000630	0,019	0,00349	242,77
Zellulose-Strukturputz	135022212	1,684	0,025	0,000000559	0,002	0,00536	147,95
GK abgehängt, Silikat	135023611	18,815	0,077	0,000000843	0,015	0,00560	334,05
GK abgehängt	135023622	16,139	0,042	0,000000680	0,005	0,00484	274,48
Gipsputz, Dispersion	135023712	13,726	0,122	0,000000753	0,019	0,00310	261,50
GK, Dispersion	135023812	23,999	0,156	0,000001133	0,023	0,00705	446,51
GK, Akustikputz	135026622	25,025	0,067	0,000001138	0,007	0,00803	426,69
GF 2x10mm, Dispersion	135041413	22,829	0,158	0,000001820	0,023	0,00791	748,18
Holzverschalung NF d=19,5mm	135095239	-15,205	0,019	0,000001072	0,002	0,00266	612,69
Raufasertapete	135361111	7,538	0,018	0,000000190	0,002	0,00356	69,71
Glasfaser, Dispersionsanstrich	135362311	8,326	0,100	0,000000475	0,019	0,00211	164,42
Nut+Feder Fichte abgehängt	135382111	-12,968	0,037	0,000001470	0,004	0,00369	735,39
Metallkassette 840mm	135385112	48,880	0,184	0,000002087	0,020	0,04928	691,12
GF + Holz UK 2x10mm	135386216	14,969	0,044	0,000001367	0,005	0,00570	576,14
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	135388121	38,164	0,122	0,000002220	0,011	0,01164	620,03

6.6 Referenzprojekte

Die Ausgangsdaten der Referenzprojekte stammen aus der Software LEGEP® und sind auf dem Stand von September 2009. Zur Verarbeitung der Ausgangsdaten wurde die LEGEP® Version 2.4.607 vom 27.02.2013 und die Datenbank SIRADOS mit dem Stand vom 01.03.2013 verwendet. Der Autor der Referenzprojekte ist Herr Dipl.-Ing. Holger König. Der Betrachtungszeitraum ist mit 80 Jahren definiert.



Abbildung 66 Datenquelle LEGEP®-Bausoftware

6.6.1 Büro

Tabelle 38 Beschreibung des Referenzprojekts „Büro“

Bezeichnung	„Büro“ Referenzgebäude1V2012- ENEV-2009_801
Grunddaten	
Allgemein	Bearbeiter: König / De Cristofaro
Beschreibung	Referenzgebäude 1, Dienstleistungs- und Verwaltungszentrum Version A mit Anpassungsänderungen
Baujahr Gebäude	-
Baujahr Anlagentechnik	2007
Lage	Eberswalde, Pavillonplatz
Projektdaten	
Art des Projektes	Nichtwohngebäude
Gebäudeart	Rathäuser, Freistehend
Gebäudetyp	Kostenplanung, EnEV-Nachweis, Lebenszykluskostenplanung, Ökologie-Betrachtung
Aufgaben	Experte
Darstellung	
Grundflächen und Rauminhalte	
Allgemein	
Grundstücksfläche	2.500,00m ²
Bebaute Fläche	1.471,00m ²
Anzahl der Geschosse oberirdisch	5
Geschosshöhe	3,5m
BRI	27796,00 m ³
Angaben zur EnEV	
Wärmeübertragende Umfassungsfläche A	5.690,60m ²
A/V-Verhältnis	0,24
Beheiztes Gebäudevolumen	23.383,00m ³
Beheizte NGF	4.029,00m ²
Gebäudenutzfläche AN	5.745,54m ²
Umfang Grundfläche (Perimeter)	150,00m
Charakteristische Breite BG	12,00m
Charakteristische Länge LG	35,00m
Weitere Flächenangaben	
BGF a	6.833,00m ²
BGF a, b, c	0,00m ²
VF	940,00m ²
NF	4.878,00m ²
HNF	3.718,00m ²
Außenfläche	1.029,00m ²
KGF	701,00m ²
NGF a	6.132,00m ²
TF	314,00m ²
NNF	1.160,00m ²
Wohnfläche	0,00m ²

Tabelle 39 Flächenaufstellung der Projektelemente im Referenzprojekt Büro

Außenwände				
Nord	372,500m ²			(Faserzement)
Ost	27,200m ²			"
Süd	200,600m ²			"
	95,000m ²			"
West	436,200m ²	1.131,500m ²		"
Innenhof Nord	58,000m ²			(Kalkzementputz)
Innenhof Süd	69,800m ²			"
Innenhof Ost	58,200m ²			"
Innenhof West	49,600m ²	235,600m ²		"
Atrium-Landrat	149,300m ²	149,300m ²		(Dispersionsbeschichtung)
Außenwandfläche Gesamt		=	1.516,400m²	
Innenwände und				
Außenwände unter Niveau	568,500m ² x 0,900	511,650m ²		
Innenwände unter Niveau	212,000m ² x 2,000	424,000m ²		
	212,000m ² x 2,000	424,000m ²		
	362,500m ² x 2,000	725,000m ²		
Außenwände	1.131,500m ² x 0,900	1.018,350m ²		
Außenwände zum Innenhof	384,900m ² x 1,110	427,667m ²		
Innenwände				
Innenwände Massiv	344,380m ² x 2,000			
	160,840m ² x 2,000			
	125,000m ² x 2,000			
	250,000m ² x 2,000			
	250,000m ² x 2,000			
		2.260,440m ²		
Innenwände Trockenbau	21,740m ² x 2,000			
	616,350m ² x 2,000			
	1.194,030m ² x 2,000			
	844,570m ² x 2,000			
	58,470m ² x 2,000			
	4,860m ² x 2,000			
	94,770m ² x 2,000			
	329,260m ² x 2,000			
	294,140m ² x 2,000			
		6.916,380m ²		
Innenwände 3.OG	250,000m ² x 2,000			
	125,000m ² x 2,000			
		750,000m ²		
Innenwandfläche Gesamt		=	13.457,487m²	
Decken				
Decke über KG	239,000m ² x 0,800			
	798,000m ² x 0,800			
	56,000m ² x 0,800			
	140,000m ² x 0,800			
	238,000m ² x 0,800			
Decke zw. EG und 3.OG	3.504,000m ² x 0,800			
	155,000m ² x 0,800			
	114,000m ² x 0,800			
	219,000m ² x 0,800			
	358,000m ² x 0,800			
	64,000m ² x 0,800			
Dach	88,200m ² x 0,800			
	1.390,000m ² x 0,800			
Deckenfläche Gesamt		=	5.890,560m²	

Ausgelesene Daten des Referenzprojekt Büro im Bereich: Ökologie / Berechnung / Energie und Stofffluss / E + S Gebäude

Tabelle 40 Energie- und Stoffmenge Daten des Referenzprojektes Büro aus LEGEP®

Name	Stoffmasse kg	Primärenergie erneuerbar MJ	Primärenergie nicht erneuerbar MJ	Gesamtprimärenergie MJ
☒ Gebäudeteil III des Ensembles	23.064.216,9	6.422.373	45.938.187	52.360.559
☒ Baukonstruktion	22.897.083,2	5.814.159	38.575.873	44.390.033
☒ Baugrube	13.914.000,0	56.946	465.088	522.034
☒ Gründung	2.809.173,7	1.348.181	5.033.475	6.381.655
☒ Außenwände unter Niveau	409.995,8	47.789	612.473	660.262
☒ Innenwände unter Niveau	251.501,0	44.287	765.319	809.606
☒ Aussenwände	719.146,5	2.757.264	7.268.494	10.025.759
☒ Innenwände	1.002.960,0	807.310	4.805.842	5.613.151
☒ Decke	2.557.185,5	372.633	11.138.394	11.511.027
☒ Dach	1.229.141,0	319.609	8.409.592	8.729.201
☒ Sonstige Kosten Baukonst...	1.160,2	19.489	28.879	48.368
☒ Sonstige Arbeiten Baustelle	2.819,4	40.650	48.318	88.969
☒ Technische Ausstattung	167.133,8	608.213	7.362.313	7.970.526
☒ Aussenanlagen				
☒ Betriebsmittel		28.426.328	224.871.004	253.297.332
Summe	23.064.216,9	34.848.701	270.809.190	305.657.891

Ausgelesene Daten des Referenzprojekt Büro im Bereich: Ökologie / Berechnung / Wirkungen / Wirkungsbilanz Gebäude

Tabelle 41 Daten der Umweltwirkungen des Referenzprojekts Büro aus LEGEP®

Name	auspotenzial kg CO ₂ -Äq.	tabbaupotenzial kg CFC11-Äq.	ungspotenzial kg SO ₂ -Äq.	ungspotenzial kg P-Äq.	Abiotischer inverbrauch kg Ch-Äq.	rsmogpotenzial kg Ethen-Äq.
☒ Gebäudeteil III des Ensembles	2.682.682	0,10635172	9.581,49	879,831	21.099	2.181,15
☒ Baukonstruktion	2.223.335	0,10133420	7.810,49	743,644	17.763	1.963,89
☒ Baugrube	32.517	0,00009323	97,36	12,816	183	10,11
☒ Gründung	366.218	0,01332526	1.074,10	121,721	2.154	221,20
☒ Außenwände unter Niveau	58.748	0,00385891	139,98	15,301	259	63,89
☒ Innenwände unter Niveau	65.155	0,00397002	173,76	14,989	334	70,21
☒ Aussenwände	319.233	0,00894083	2.244,09	187,821	3.192	192,45
☒ Innenwände	294.074	0,03652881	1.041,32	99,557	2.108	634,19
☒ Decke	743.166	0,02481465	1.813,57	193,964	5.637	498,20
☒ Dach	346.021	0,00938048	1.214,51	96,343	3.856	271,68
☒ Sonstige Kosten Baukonst...	125	0,00041928	4,90	0,455	13	1,00
☒ Sonstige Arbeiten Baustelle	-1.922	0,00000273	6,91	0,677	27	0,97
☒ Technische Ausstattung	459.347	0,00501752	1.771,00	136,187	3.337	217,26
☒ Aussenanlagen						
☒ Betriebsmittel	14.038.779	0,05174694	24.144,27	2.104,962	85.542	1.924,38
Summe	16.721.461	0,15809867	33.725,76	2.984,793	106.641	4.105,53

Tabelle 42 Ist-Anteil an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzprojekts Büro, der Oberflächenbekleidungen

Umweltwirkungspotential Einheit	GWP kg CO ₂ -Äq.	AP kg SO ₂ -Äq.	ODP kg CFC11-Äq.	POCP kg Ethen-Äq.	EP kg Phosphat-Äq.	PEI MJ
Außenwandbekleidung	21.014	173	0,003413096	19,61	14,36434	1.087.742
Innenwandbekleidung	159.973	1.450	0,009522353	245,46	44,63593	3.574.218
Deckenbekleidung	100.682	689	0,004616468	109,73	26,5547	1.750.290
Summe Oberflächen- bekleidungen (OB)	281.669	2.312	0,017551917	374,8	85,55497	6.412.250
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	2.223.335	7.810	0,101334198	1.963,89	743,64368	44.390.033
Anteil OB an UW Baukonstruktion	12,67%	29,60%	17,32%	19,08%	11,50%	14,45%
UW gesamt	16.721.461	24.144	0,15809867	4.105,53	2.985	305.657.891
Anteil OB an UW gesamt	1,68%	9,58%	11,10%	9,13%	2,87%	2,10%
Baukonstruktion ohne OB	1.941.666	5.499	0,083782282	1.589,09	658,08871	37.977.783

Die Oberflächenbekleidungen: Außenwandbekleidungen, Innenwandbekleidungen und Deckenbekleidungen des Referenzbürogebäudes Büro haben in der Summe folgende Anteile an den Umweltwirkungen der kompletten Baukonstruktion:

Treibhauspotential	GWP	12,67 %
Versauerungspotential	AP	29,60 %
Ozonschichtabbaupotential	ODP	17,32 %
Sommersmogpotential	POCP	19,08 %
Überdüngungspotential	EP	11,50 %
Primärenergieinhalt	PEI	14,45 %

Die Umweltwirkungen der Oberflächenbekleidungen haben folgende Anteile an den Umweltwirkungen der gesamten Bilanzierung, inklusive technischer Ausstattung und Betriebsmittel:

Treibhauspotential	GWP	1,68 %
Versauerungspotential	AP	9,58 %
Ozonschichtabbaupotential	ODP	11,10 %
Sommersmogpotential	POCP	9,13 %
Überdüngungspotential	EP	2,87 %
Primärenergieinhalt	PEI	2,10 %

6.6.2 Wohnbau

Das Referenzprojekt Wohnbau trägt den Projektnamen: „wohnen 101 Aktualisierung 1 und 2“. Bearbeitet wurde das Projekt von Herrn Holger König. Das Gebäude ist ein 2-Spanner Mehrfamilienwohngebäude. Das Gebäude hat drei Stockwerke und ein ausgebautes Dachgeschoss (DG), in denen sich insgesamt sieben Wohneinheiten befinden. Es ist nicht unterkellert. Die Heizung und Abstellräume befinden sich im DG. Die Außenwand besteht aus Kalksandsteinen und einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Die Bodenplatte, die Decken und Treppen sind aus Stahlbeton. Das Gebäude wird mit einem Gasbrennwertkessel und einer Solaranlage beheizt. Bauherr ist die THS Wohnen aus Gelsenkirchen. Das Gebäude befindet sich am Schloss Horst in Gelsenkirchen.

Tabelle 43 Beschreibung des Referenzprojekts Wohnbau

Grundflächen und Rauminhalte	
Allgemein	
Grundstücksfläche	350,00m ²
Bebaute Fläche	250,12m ²
Anzahl Geschosse oberirdisch	4
Geschosshöhe	2,75m
BRI	2439,0m ³
Angaben zur EnEV	
Wärmeübertragende Umfassungsfläche A	981,85m ²
A/V-Verhältnis	0,439177
Beheiztes Gebäudevolumen	2235,66m ³
Beheizte NGF	716,20m ²
Gebäudenutzfläche AN	715,41m ²
Umfang Grundfläche (Perimeter)	64,32m
Beheiztes Luftvolumen V	1788,53m ³
Charakteristische Breite BG	22,13m
Charakteristische Länge LG	10,03m
Weitere Flächenangaben	
BGF a	901,65m ²
KGF	141,99m ²
BGF a, b, c,	0,00m ²
NGF a	759,66m ²
VF	74,70m ²
TF	16,08m ²
NF	668,88m ²
NNF	0,00m ²
HNF	668,88m ²
Wohnfläche	638,32m ²
Außenfläche	99,88m ²

Tabelle 44 Flächenaufstellung der Projektelemente im Referenzprojekt Wohnbau

Außenwände			
Norden	163,000m ²		
Osten	68,530m ²		
Süden	158,720m ²		
Westen	83,080m ²		
Außenwände Gesamt			= 473,330m²
Innenwände			
Von Außenwänden	473,330m ² x 0,900 = 425,997 m ²		
Innenwände über Niveau	209,800m ² x 2,000 = 419,600 m ²		
	415,650m ² x 2,000 = 831,300 m ²		
	30,000 m ²		
	35,000 m ²		
	207,000 m ²		
	1.417,000 m ²		
	140,000 m ²		
Innenwände Gesamt			= 3.505,897m²
Decken			
	400,000m ² x 0,800 = 320,000 m ²		
	13,460m ² x 0,800 = 10,768 m ²		
	125,410m ² x 0,800 = 100,328 m ²		
	114,890m ² x 0,800 = 91,912 m ²		
LEGE® Pos. Nr. 135021311		523,008 m ²	
Dach			
	100,860m ² x 0,800 = 80,688 m ²		
	100,860m ² x 0,800 = 80,688 m ²		
	24,000m ² x 0,800 = 19,200 m ²		
LEGE® Pos. Nr. 135023812		180,576 m ²	
Decken Gesamt			= 703,584 m²

Tabelle 45 Energie und Stoffmassen Wohnbau

Name	Stoffmasse kg	Primärenergie erneuerbar kWh	Primärenergie nicht erneuerbar kWh	Gesamtprimärenergie kWh
☒ Gebäude	2.226.779,3	184.375	1.167.397	1.351.772
☒ Baukonstruktion	2.209.784,9	164.164	943.267	1.107.430
☒ Erdarbeiten	1.112.744,0	398	10.687	11.084
☒ Gründung	394.582,0	28.494	110.849	139.343
☒ Keller				
☒ Aussenwand	212.891,5	19.111	375.826	394.937
☒ Innenwand	94.073,0	19.357	150.425	169.782
☒ Decke	358.639,5	24.131	176.196	200.327
☒ Dach	36.560,5	71.221	113.412	184.633
☒ Sonstige Baumassnahmen	294,5	1.451	5.873	7.324
☒ Technische Ausstattung	16.994,4	20.211	224.130	244.342
☒ Aussenanlagen				
☒ Betriebsmittel		586.364	5.430.007	6.016.371
Summe	2.226.779,3	770.740	6.597.404	7.368.144

Tabelle 45 zeigt die ausgelesenen Daten des Referenzprojekt Wohnbau aus dem Bereich Ökologie / Berechnung / Energie und Stofffluss / E + S Gebäude. In Tabelle 46 sind die ausgelesenen Daten des Referenzprojekt Wohnbau im Bereich: Ökologie / Berechnung / Wirkungen / Wirkungsbilanz Gebäude zu sehen.

Tabelle 46 Wirkungsbilanz Wohnbau

Name	auspotenzial kg CO ₂ -Äq.	abbaupotenzial kg CFC11-Äq.	ingspotenzial kg SO ₂ -Äq.	gspotenzial kg P-Äq.	Abiotischer enverbrauch kg Sh-Äq.	smogpotenzial kg Ethen-Äq.
Gebäude	255.204	0,01399620	987,69	112,721	1.780	180,47
Baukonstruktion	206.197	0,01124043	818,84	99,362	1.437	159,88
Erdarbeiten	2.521	0,00030122	5,75	0,658	13	0,53
Gründung	33.793	0,00142940	79,33	12,772	168	12,61
Keller						
Aussenwand	83.249	0,00402125	331,09	38,731	579	43,38
Innenwand	33.946	0,00155495	139,84	11,277	234	59,10
Decke	51.640	0,00233205	178,95	28,066	265	34,34
Dach	-446	0,00145885	76,91	7,414	170	9,48
Sonstige Baumass...	1.494	0,00014271	6,97	0,444	8	0,43
Technische Ausstattung	49.007	0,00275577	168,85	13,359	342	20,59
Aussenanlagen						
Betriebsmittel	1.158.415	0,15368400	1.544,45	137,793	6.652	117,34
Summe	1.413.619	0,16768020	2.532,14	250,514	8.432	297,81

Tabelle 47 Ist-Anteil an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzprojekts Wohnbau, der Oberflächenbekleidungen AWB, IWB und DB

Umweltwirkungspotenzial Einheit	GWP kg CO ₂ -Äq.	AP kg SO ₂ -Äq.	ODP kg CFC11-Äq.	POCP kg Ethen-Äq.	EP kg Phosphat-Äq.	PEI MJ
Außenwandbekleidung	6.989	71	0,0003503	9,71	3,128	105.262
Innenwandbekleidung	25.368	201	0,00154258	34,75	7,309	473.340
Deckenbekleidung	11.978	92	0,00053409	14,09	3,098	207.600
Summe Oberflächen- bekleidungen (OB)	44.335	364	0,00242697	58,55	13,535	786.202
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	206.197	819	0,01124043	159,88	99,362	3.986.748
Anteil OB an UW Baukonstruktion	21,50%	44,51%	21,59%	36,62%	13,62%	19,72%
UW gesamt	1.413.619	2.532	0,1676802	297,81	251	26.525.318
Anteil OB an UW gesamt	3,14%	14,38%	1,45%	19,66%	5,40%	2,96%
Baukonstruktion ohne OB	161.862	454	0,00881346	101,33	85,827	3.200.546

In Tabelle 47 wurde der Anteil der Außenwand-, Innenwand- und Deckenbekleidung an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnen berechnet.

Ebenfalls wurden die Umweltwirkungen der Oberflächenbekleidungen auch mit den Umweltwirkungen der gesamten Bilanzierung des Referenzgebäudes Wohnbau ins Verhältnis gesetzt. Beim Sommersmogpotential (POCP) entsprechen die Umweltwirkungen der Bekleidungen etwa einem Fünftel der Umweltwirkungen des Gesamten Referenzgebäudes Wohnbau.

Die Oberflächenbekleidungen: Außenwandbekleidungen, Innenwandbekleidungen und Deckenbekleidungen des Referenzbürogebäudes Wohnbau haben in der Summe folgende Anteile an den Umweltwirkungen der kompletten Baukonstruktion:

Treibhauspotential	GWP	21,50 %
Versauerungspotential	AP	44,51 %
Ozonschichtabbaupotential	ODP	21,59 %
Sommersmogpotential	POCP	36,62 %
Überdüngungspotential	EP	13,62 %
Primärenergieinhalt	PEI	19,72 %

Die Umweltwirkungen der Oberflächenbekleidungen haben folgende Anteile an den Umweltwirkungen der gesamten Bilanzierung, inklusive technischer Ausstattung und Betriebsmittel:

Treibhauspotential	GWP	3,14 %
Versauerungspotential	AP	14,38 %
Ozonschichtabbaupotential	ODP	1,45 %
Sommersmogpotential	POCP	19,66 %
Überdüngungspotential	EP	5,40 %
Primärenergieinhalt	PEI	2,96 %

7. Vergleiche

Im Kapitel 7 Vergleiche werden die im Kapitel 6 ermittelten Ausgangsdaten miteinander verglichen. Die Vergleiche umfassen die Wirkungskategorien: Primärenergieinhalt gesamt (PEI), Primärenergieinhalt regenerativ (PEI reg.), Primärenergieinhalt nicht regenerativ (PEI n. reg.), Treibhauspotential bezogen auf 100 Jahre (GWP 100 Jahre), Versauerungspotential (AP), Ozonabbaupotential (ODP), Sommersmogpotential (POCP), Überdüngungspotential (EP), Abiotischer Ressourcenabbau (ADP fossil).

7.1 Recyclingkunststoff vs. Primärkunststoff

Anfangs wurden Vergleiche zwischen Recyclingkunststoffen und Primärkunststoffen durchgeführt. Damit wurde geklärt, welche Auswirkungen die Verwendung von Rezyklaten an Stelle von Primärkunststoffen auf die Umweltwirkungen von Produkten haben kann.

7.1.1 Hahn Kunststoffe Granulat vs. Vergleichsgranulat

Die Daten aus Tabelle 48 wurden mit der Software GaBi bilanziert. Die Umweltwirkungen des Rezyklats der Firma Hahn Kunststoffe sind in allen Kategorien, abgesehen vom direkten Vergleich des Energieinhalts aus regenerativen Ressourcen, geringer als jene des Vergleichsgranulats aus primären Kunststoffen. Die Umweltwirkungen sind alle mindestens 53,26 % geringer und im Fall des Ozonabbaupotentials ODP (Ozone Depletion Potential) sogar über 90-mal so gering.

Tabelle 48 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch Hahn Kunststoffe Granulat

	Hahn Kunststoffe Granulat	Hahn Vergleichsgranulat	Einheit	Einsparung durch Rezyklat in %
PEI gesamt	5,185454502	69,33733419	MJ	92,52
PEI reg.	1,168820189	0,717832668	MJ	-62,83
PEI nicht reg.	4,016634313	68,61950152	MJ	94,15
GWP 100 Jahre	0,745442763	1,594799301	kg CO ₂ -Äqv.	53,26
AP	-0,000644627	0,004207113	kg SO ₂ -Äqv.	115,32
ODP	-2,49218E-08	2,79E-10	kg R11-Äqv.	9.025,78
POCP	-1,53E-05	0,000874904	kg Ethen-Äqv.	101,75
EP	4,91335E-05	0,000327167	kg Phosphat-Äqv.	84,98
ADP fossil	4,183531341	68,61783011	MJ	93,90

7.1.2 Hahn Kunststoffe Bauteil vs. Vergleichsbauteil

Der Vergleich wird mit den, durch jeweils einen weiteren Verarbeitungsprozess (Spritzguss) ergänzten Bauteilen wiederholt. Die Umweltwirkungen eines Kilogramm des Bauteils aus dem Kunststoff der Firma Hahn Kunststoffe sind in allen Kategorien, abgesehen vom direkten Vergleich des Primärenergieinhalts aus regenerativen Ressourcen, geringer als jene des Vergleichsbauteils aus primären Kunststoffen. Die Umweltwirkungen sind alle mindestens 31,51 % geringer und im Fall des Ozonabbaupotentials ODP (Ozone Depletion Potential) sogar über 27-mal so gering.

Tabelle 49 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch Hahn Kunststoffe Bauteil

	Hahn Kunststoffe Bauteil	Hahn Vergleichsbauteil	Einheit	Einsparung durch Rezyklat in %
PEI gesamt	24,39717693	89,83209422	MJ	72,84
PEI reg.	4,337493755	3,877486484	MJ	-11,86
PEI nicht reg.	20,05968318	85,95460773	MJ	76,66
GWP 100 Jahre	1,88328868	2,749632349	kg CO ₂ -Äqv.	31,51
AP	0,001369485	0,00631826	kg SO ₂ -Äqv.	78,32
ODP	-2,477E-08	9,34932E-10	kg R11-Äqv.	2.749,40
POCP	0,000126909	0,001034943	kg Ethen-Äqv.	87,74
EP	0,000269961	0,000553556	kg Phosphat-Äqv.	51,23
ADP fossil	20,22934306	85,95232781	MJ	76,46

7.1.3 ZWS Recycling Mahlgut vs. Vergleichsgranulats

Tabelle 50 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch ZWS Mahlgut

	ZWS Mahlgut	ZWS Vergleichsmahlgut	Einheit	Einsparung durch Rezyklat in %
PEI gesamt	-16,75207064	71,4248131	MJ	123,45
PEI reg.	-1,352656195	0,837015624	MJ	261,60
PEI nicht reg.	-15,39941444	70,58779747	MJ	121,82
GWP 100 Jahre	0,618838713	1,871951173	kg CO ₂ -Äqv.	66,94
AP	-0,006769447	0,004457518	kg SO ₂ -Äqv.	251,87
ODP	-1,04914E-07	2,691013742	kg R11-Äqv.	100,00
POCP	-0,000348361	0,000755563	kg Ethen-Äqv.	146,11
EP	-0,000225627	0,000360739	kg Phosphat-Äqv.	162,55
ADP fossil	-14,69560076	70,58618455	MJ	120,82

Die Umweltwirkungen des Mahlguts der Firma ZWS Recycling sind in allen Kategorien geringer als jene des Vergleichsgranulats aus primären Kunststoffen. Die Umweltwirkungen sind alle mindestens 66,97 % geringer.

7.1.4 ZWS Recycling Bauteil vs. Vergleichsbauteil

Die Umweltwirkungen des Bauteils aus dem Kunststoff der Firma ZWS Recycling sind in allen Kategorien geringer als jene des Vergleichsbauteils aus primären Kunststoffen. Die Umweltwirkungen sind alle mindestens 42,15 % geringer.

Tabelle 51 Vergleich Umweltwirkungen und Einsparpotenzial durch ZWS Bauteil

	ZWS Bauteil	ZWS Vergleichs- bauteil	Einheit	Einsparung durch Rezyklat in %
PEI gesamt	2,020901293	91,9613227	MJ	97,80
PEI reg.	1,765587843	3,999053098	MJ	55,85
PEI nicht reg.	0,25531345	87,9622696	MJ	99,71
GWP 100 Jahre	1,754152549	3,032327259	kg CO ₂ -Äqv.	42,15
AP	-0,004877831	0,006573673	kg SO ₂ -Äqv.	174,20
ODP	-1,06363E-07	9,2462E-10	kg R11-Äqv.	11603,38
POCP	-0,000212787	0,000913216	kg Ethen-Äqv.	123,30
EP	-1,02947E-05	0,000587798	kg Phosphat-Äqv.	101,75
ADP fossil	0,97262832	87,96004933	MJ	98,89

7.2 Funktionelle Einheiten

Der Vergleich von funktionellen Einheiten bildet realitätsnähere Ergebnisse ab. Hierbei werden unterschiedliche Materialien, Ausführungen und die damit verbundenen Unterkonstruktionen derselben funktionellen Einheiten, in diesem Fall Außenwand-, Innenwand- und Deckenbekleidungen, jeweils miteinander verglichen. Der Vergleich bezieht sich auf einen Zeitraum von 80 Jahren und beinhaltet sowohl die Instandhaltung, als auch den Ersatz.

7.2.1 Außenwandbekleidungen

Tabelle 52 Vergleich der funktionellen Einheiten Außenwandbekleidung

UK	Außenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
H	AW Stülpchalung Lärche, d= 22 mm, a. UK, Winddicht.	-32,385	0,039	0,000002138	0,005	0,00591	1301,79
H	AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-13,780	0,318	0,000003119	0,049	0,02065	1887,87
H	AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-12,980	0,024	0,000001040	0,003	0,00566	590,32
H	AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-29,283	0,065	0,000002967	0,108	0,00910	1732,14
H	AWB., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	0,885	0,085	0,000001030	0,010	0,01809	637,13
H	AWB., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	2,788	0,093	0,000001859	0,010	0,01738	685,31
H	AWB., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	11,442	0,183	0,000002931	0,012	0,07756	814,29
H,M	AWB., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	30,991	0,164	0,000003628	0,010	0,01840	694,15
M	AWB., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	31,544	0,103	0,000001041	0,013	0,01902	454,75
M	AWB., Aluminiumblech, innen Aluminium	85,304	0,382	0,000008537	0,024	0,02658	1496,65
M	AWB., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	55,723	0,247	0,000005638	0,016	0,01167	981,27
M	AWB., Stahltrapezblech, beschichtet	26,919	0,079	0,000000642	0,011	0,00910	383,50
M	AWB., Alu-Paneele 2,0 mm	89,771	0,398	0,000009104	0,025	0,01868	1582,90
M	AWB., Alu-Kassetten 2,0 mm	96,209	0,427	0,000009765	0,027	0,02000	1696,42
M	AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	223,693	1,252	0,000018664	0,074	0,57768	3383,15
M	AWB., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	30,314	0,148	0,000002241	0,009	0,00665	518,49
M	AWB., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	43,609	0,221	0,000002819	0,013	0,00736	735,99
M	AWB., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	9,326	0,084	0,000001892	0,007	0,00535	473,65
M	AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressp.	266,957	0,675	0,000019897	0,070	0,05680	5171,03
M	AWB., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	45,544	0,237	0,000005248	0,018	0,02074	1390,82
M	AWB., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	47,389	0,225	0,000005601	0,019	0,02007	1650,49
H	VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	48,154	0,119	0,000000297	0,017	0,01074	1642,89
H	VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	44,131	0,116	0,000000298	0,019	0,01031	1628,77
M	VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	83,748	0,257	0,000003353	0,025	0,01670	2113,47
M	VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	79,725	0,254	0,000003354	0,027	0,01627	2099,35
M	AWB., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, M.-UK	76,863	0,292	0,000006556	0,022	0,02221	1127,93
H	AWB., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	29,084	0,098	0,000002491	0,009	0,00866	435,56
M	AWB., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	83,663	0,311	0,000006928	0,024	0,02496	1160,08
M	AWB., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	66,343	0,254	0,000005638	0,019	0,01967	985,52
H	AWB., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	14,931	0,112	0,000002834	0,011	0,01155	894,28
M	AWB., VHF-Holzementtafeln, Metall-UK	28,850	0,105	0,000002441	0,007	0,00841	489,98
H	RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	27,056	-0,071	-0,000001474	-0,002	0,00087	158,34
H	RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	29,628	0,033	-0,000000133	0,004	0,00556	533,39
M	RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	62,650	0,067	0,000001582	0,006	0,00683	628,92
M	RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	65,222	0,171	0,000002923	0,012	0,01152	1003,97

Die Ergänzungen 3x und 2x bei den funktionellen Einheiten der Vergleichsprodukte (VP) und Rezyklatkunststoffe (RK) stehen für die Anzahl der eingesetzten Bauteile inklusive ihres jeweiligen Ersatzes im Betrachtungszeitraum von 80 Jahren.

Aus der SIRADOS Datenbank wurden 27 Außenwandbekleidungen ausgewählt, um diese mit den Varianten der entwickelten Außenwandbekleidungen aus Rezyklaten und Vergleichsbauteilen gegenüberzustellen.

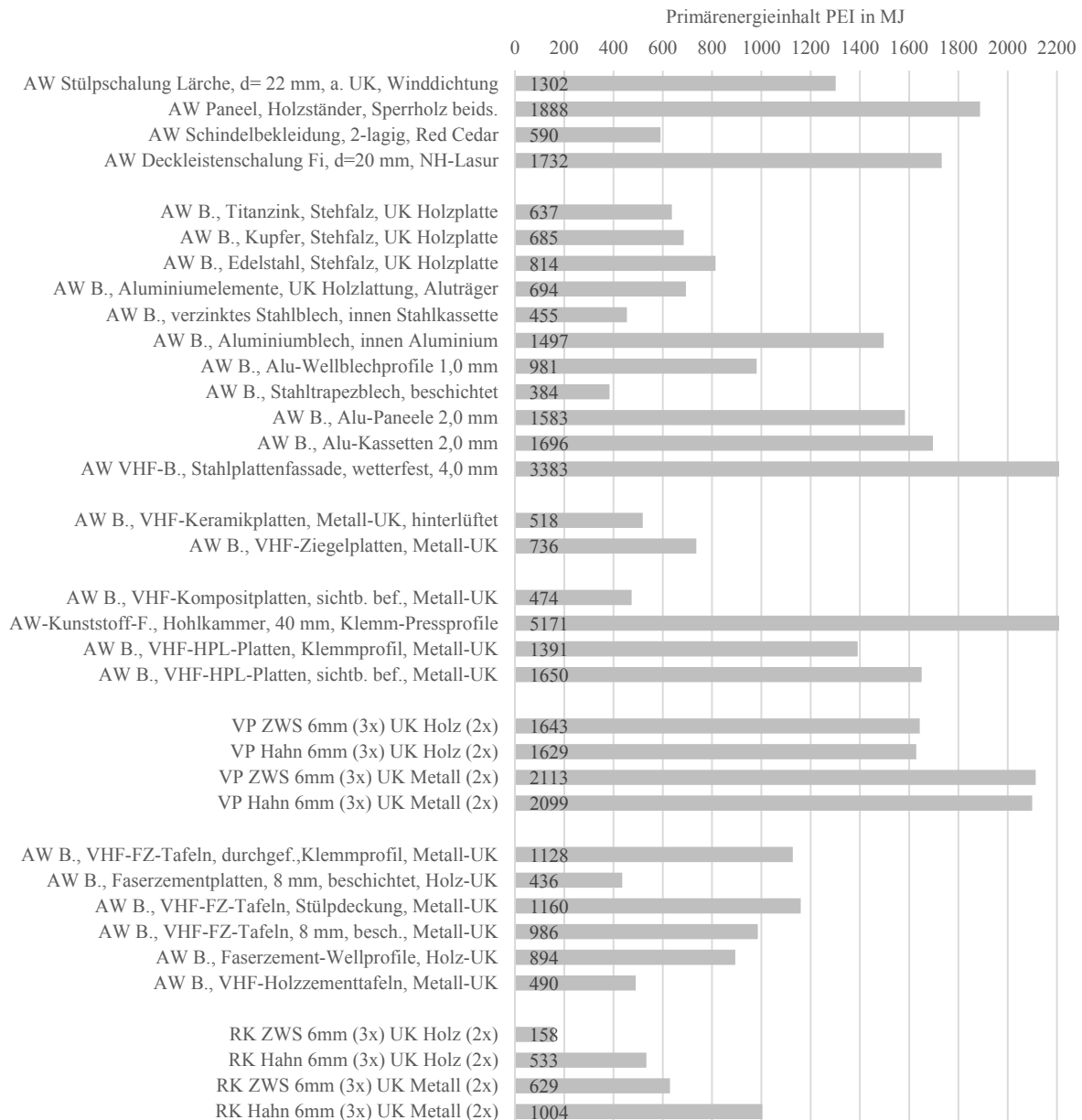


Abbildung 67 Vergleich der Primärenergieinhalte PEI der unterschiedlichen funktionellen Einheiten von Außenwandbekleidungen

Um ein übersichtliches Ergebnis zu erhalten, wurden die Werte der einzelnen Umweltwirkungskategorien (UWK) mit dem jeweils kleinsten positiven Wert einer Reihe skaliert.

Dadurch wird leicht ersichtlich, wie die Bekleidungen in den einzelnen Kategorien im Vergleich zu den anderen abschneiden. Die dadurch entstandenen skalierten Werte in Tabelle 53 zeigen deutlich, dass die Holzbekleidungen bei der Umweltwirkungskategorie GWP (Global warming potential) am besten abschneiden. Sie haben sogar einen positiven Effekt auf das Treibhauspotential. Bekleidungen aus Metallblechen mit einer Unterkonstruktion aus Holzplatten schneiden in dieser Kategorie ebenfalls besser ab als die meisten anderen Bekleidungen. Dies ist hauptsächlich dem positiven Einfluss der verhältnismäßig schweren Unterkonstruktion aus Holz geschuldet. In den Umweltwirkungskategorien AP, ODP, POCP, EP und PEI Gesamt schneidet die Bekleidung RK ZWS 6mm UK Holz am besten von allen Bekleidungen ab.

Tabelle 53 Skalierter Vergleich der Umweltwirkungen bei Außenwandbekleidungen

Außenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ -Äq.	AP kg SO ₂ -Äq.	ODP kg CFC11-Äq.	POCP kg Ethen-Äq.	EP kg Phosphat-Äq.	PEI MJ
AW Stülpchalung Lärche, d= 22 mm, a. UK, Winddichtung	-37	2	7	2	7	8
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-16	13	10	16	24	12
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-15	1	3	1	7	4
AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-33	3	10	36	10	11
AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	1	4	3	3	21	4
AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	3	4	6	3	20	4
AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	13	8	10	4	89	5
AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	35	7	12	3	21	4
AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	36	4	4	4	22	3
AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	96	16	29	8	31	9
AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	63	10	19	5	13	6
AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	30	3	2	4	10	2
AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	101	17	31	8	21	10
AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	109	18	33	9	23	11
AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	253	52	63	25	664	21
AW B., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	34	6	8	3	8	3
AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	49	9	9	4	8	5
AW B., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	11	4	6	2	6	3
AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile	302	28	67	23	65	33
AW B., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	51	10	18	6	24	9
AW B., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	54	9	19	6	23	10
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	54	5	1	6	12	10
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	50	5	1	6	12	10
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	95	11	11	8	19	13
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	90	11	11	9	19	13
AW B., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	87	12	22	7	26	7
AW B., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	33	4	8	3	10	3
AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	95	13	23	8	29	7
AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	75	11	19	6	23	6
AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	17	5	10	4	13	6
AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	33	4	8	2	10	3
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	31	-3	-5	-1	1	1
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	33	1	0	1	6	3
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	71	3	5	2	8	4
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	74	7	10	4	13	6

7.2.2 Innenwandbekleidungen

Aus der SIRADOS Datenbank wurden 29 Innenwandbekleidungen ausgewählt, um diese mit den Varianten der entwickelten Innenwandbekleidungen aus Rezyklaten und Vergleichskunststoffen gegenüberzustellen.

Tabelle 54 Umweltwirkungen von Innenwandbekleidungen

Innenwandbekleidung	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
	kg CO ₂ -Äq.	kg SO ₂ -Äq.	kg CFC11-Äq.	kg Ethen-Äq.	kg Phosphat-Äq.	MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-8,211	0,162	0,000001862	0,127	0,02849	1612,69
IWK Vorwandinst. Metall, zwisch. Ständer, GK, Fliesen	49,849	0,166	0,000003256	0,068	0,01542	939,60
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	51,927	0,172	0,000003548	0,017	0,01600	921,49
Kalkzementputz, Fliesen, auf Abdichtung	23,471	0,054	0,000001026	0,056	0,00851	371,39
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	24,696	0,153	0,000001709	0,024	0,00710	643,50
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	20,392	0,162	0,000001273	0,022	0,00826	569,49
Kunstharz-Rollputz	14,866	0,116	0,000000809	0,043	0,00442	340,54
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	27,802	0,092	0,000001000	0,023	0,00837	339,02
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	24,621	0,088	0,000000773	0,023	0,00846	268,40
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	14,541	0,134	0,000000992	0,022	0,00429	326,00
Kalkzementputz, Fliesen	25,549	0,060	0,000001319	0,005	0,00910	353,27
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	16,527	0,129	0,000000895	0,022	0,00417	309,93
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	15,755	0,127	0,000000819	0,019	0,00405	284,83
Kalkputz, Dispersion	16,747	0,128	0,000000698	0,019	0,00445	267,17
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	16,110	0,114	0,000000699	0,019	0,00415	264,54
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	12,574	0,123	0,000000591	0,019	0,00413	214,21
Dispersion (auf GK)	8,869	0,119	0,000000495	0,021	0,00254	191,66
Dispersion	7,752	0,114	0,000000450	0,018	0,00216	170,10
NH-Dispersion (auf Gk)	7,188	0,100	0,000000453	0,019	0,00188	169,05
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	4,667	0,054	0,000000739	0,009	0,00634	222,16
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	7,115	0,100	0,000000451	0,018	0,00186	167,48
Wandspaltplatten	14,957	0,041	0,000001030	0,003	0,00356	296,74
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	7,513	0,044	0,000000305	0,012	0,00273	103,97
Lehmputz, Kaseinfarbe	8,332	0,039	0,000000328	0,008	0,00283	129,28
Gipsputz, Raufasertapete	8,882	0,015	0,000000391	0,002	0,00229	135,28
Fliesen	6,981	0,020	0,000000521	0,002	0,00176	141,78
Silikatbeschichtung	3,195	0,036	0,000000175	0,010	0,00101	77,35
Silikat-Dispersion (auf GK)	2,827	0,035	0,000000168	0,011	0,00081	62,41
Silikat-Dispersion (auf Beton)	2,647	0,034	0,000000161	0,010	0,00075	58,97
ZWS Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 2mm	4,646	-0,014	0,000000587	-0,001	0,00029	136,23
ZWS Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 4mm	12,148	-0,030	0,000001083	-0,001	0,00033	216,41
ZWS Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 6mm	19,649	-0,047	0,000001578	-0,002	0,00038	296,60
Hanit Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 2mm	5,169	0,008	0,000001281	0,000	0,00106	240,44
Hanit Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 4mm	13,194	0,015	0,000002471	0,001	0,00187	424,83
Hanit Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 6mm	21,218	0,021	0,000003660	0,001	0,00267	609,22
ZWS Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	8,397	-0,022	0,000000835	-0,001	0,00031	176,32
ZWS Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	19,649	-0,047	0,000001578	-0,002	0,00038	296,60
ZWS Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	30,901	-0,071	0,000002321	-0,003	0,00044	416,87
Hanit Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	9,182	0,012	0,000001876	0,001	0,00146	332,63
Hanit Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	21,218	0,021	0,000003660	0,001	0,00267	609,22
Hanit Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	33,255	0,031	0,000005444	0,002	0,00389	885,80
ZWS Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 2mm	12,148	-0,030	0,000001083	-0,001	0,00033	216,41
ZWS Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 4mm	27,151	-0,063	0,000002073	-0,003	0,00042	376,78
ZWS Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 6mm	42,154	-0,095	0,000003064	-0,004	0,00050	537,14
Hanit Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 2mm	13,194	0,015	0,000002471	0,001	0,00187	424,83
Hanit Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 4mm	29,243	0,027	0,000004849	0,002	0,00348	793,61
Hanit Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 6mm	45,291	0,040	0,000007228	0,003	0,00510	1162,39

Tabelle 55 Skalierter Vergleich der Umweltwirkungen bei Innenwandbekleidungen

Innenwandbekleidung	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
	kg CO ₂ -Äq.	kg SO ₂ -Äq.	kg CFC11-Äq.	kg Ethen-Äq.	kg Phosphat-Äq.	MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-3	19	12	257	98	27
IWK Vorwandinst. Metall, zwisch. Ständer, GK, Fliesen	19	20	20	138	53	16
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	20	21	22	34	55	16
Kalkzementputz, Fliesen, auf Abdichtung	9	6	6	113	29	6
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	9	18	11	49	24	11
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	8	19	8	45	28	10
Kunstharz-Rollputz	6	14	5	87	15	6
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	11	11	6	47	29	6
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	9	11	5	47	29	5
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	5	16	6	45	15	6
Kalkzementputz, Fliesen	10	7	8	10	31	6
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	6	15	6	45	14	5
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	6	15	5	38	14	5
Kalkputz, Dispersion	6	15	4	38	15	5
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	6	14	4	38	14	4
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	5	15	4	38	14	4
Dispersion (auf GK)	3	14	3	42	9	3
Dispersion	3	14	3	36	7	3
NH-Dispersion (auf Gk)	3	12	3	38	6	3
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	2	6	5	18	22	4
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	3	12	3	36	6	3
Wandspaltplatten	6	5	6	6	12	5
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	3	5	2	24	9	2
Lehmputz, Kaseinfarbe	3	5	2	16	10	2
Gipsputz, Raufasertapete	3	2	2	4	8	2
Fliesen	3	2	3	4	6	2
Silikatbeschichtung	1	4	1	20	3	1
Silikat-Dispersion (auf GK)	1	4	1	22	3	1
Silikat-Dispersion (auf Beton)	1	4	1	20	3	1
ZWS Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 2mm	2	-2	4	-1	1	2
ZWS Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 4mm	5	-4	7	-3	1	4
ZWS Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 6mm	7	-6	10	-4	1	5
Hanit Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 2mm	2	1	8	1	4	4
Hanit Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 4mm	5	2	15	2	6	7
Hanit Recycling Bauteil (>40a) mit UK (50a) 6mm	8	3	23	3	9	10
ZWS Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	3	-3	5	-2	1	3
ZWS Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	7	-6	10	-4	1	5
ZWS Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	12	-8	14	-7	2	7
Hanit Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	3	1	12	2	5	6
Hanit Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	8	3	23	3	9	10
Hanit Recycling Bauteil (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	13	4	34	5	13	15
ZWS Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 2mm	5	-4	7	-3	1	4
ZWS Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 4mm	10	-8	13	-6	1	6
ZWS Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 6mm	16	-11	19	-9	2	9
Hanit Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 2mm	5	2	15	2	6	7
Hanit Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 4mm	11	3	30	4	12	13
Hanit Recycling Bauteil (>20a) mit UK (50a) 6mm	17	5	45	6	17	20

7.2.3 Deckenbekleidungen

Tabelle 56 Vergleich der Umweltwirkungen von Deckenbekleidungen

Deckenbekleidung	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	9,584	0,044	0,000000345	0,012	0,00209	133,15
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	15,358	0,108	0,000000616	0,019	0,00320	225,13
Zementputz, Silikatbeschichtung	11,146	0,050	0,000000406	0,012	0,00409	132,70
Kunstharz Rollputz	14,505	0,114	0,000000789	0,042	0,00431	332,41
Dispersion	7,709	0,113	0,000000447	0,018	0,00215	169,20
Kalkputz, Dispersion	14,617	0,123	0,000000630	0,019	0,00349	242,77
Zellulose-Strukturputz	1,684	0,025	0,000000559	0,002	0,00536	147,95
GK abgehängt, Silikat	18,815	0,077	0,000000843	0,015	0,00560	334,05
GK abgehängt	16,139	0,042	0,000000680	0,005	0,00484	274,48
Gipsputz, Dispersion	13,726	0,122	0,000000753	0,019	0,00310	261,50
GK, Dispersion	23,999	0,156	0,000001133	0,023	0,00705	446,51
GK, Akustikputz	25,025	0,067	0,000001138	0,007	0,00803	426,69
GF 2x10mm, Dispersion	22,829	0,158	0,000001820	0,023	0,00791	748,18
Holzverschalung NF d=19,5mm	-15,205	0,019	0,000001072	0,002	0,00266	612,69
Raufasertapete	7,538	0,018	0,000000190	0,002	0,00356	69,71
Glasfaser, Dispersionsanstrich	8,326	0,100	0,000000475	0,019	0,00211	164,42
Nut+Feder Fichte abgehängt	-12,968	0,037	0,000001470	0,004	0,00369	735,39
Metallkassette 840mm	48,880	0,184	0,000002087	0,020	0,04928	691,12
GF + Holz UK 2x10mm	14,969	0,044	0,000001367	0,005	0,00570	576,14
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	38,164	0,122	0,000002220	0,011	0,01164	620,03
ZWS RB (>40a) mit UK (50a) 2mm	4,646	-0,014	0,000000587	-0,001	0,00029	136,23
ZWS RB (>40a) mit UK (50a) 4mm	12,148	-0,030	0,000001083	-0,001	0,00033	216,41
ZWS RB (>40a) mit UK (50a) 6mm	19,649	-0,047	0,000001578	-0,002	0,00038	296,60
Hanit RB (>40a) mit UK (50a) 2mm	5,169	0,008	0,000001281	0,000	0,00106	240,44
Hanit RB (>40a) mit UK (50a) 4mm	13,194	0,015	0,000002471	0,001	0,00187	424,83
Hanit RB (>40a) mit UK (50a) 6mm	21,218	0,021	0,000003660	0,001	0,00267	609,22
ZWS RB (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	8,397	-0,022	0,000000835	-0,001	0,00031	176,32
ZWS RB (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	19,649	-0,047	0,000001578	-0,002	0,00038	296,60
ZWS RB (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	30,901	-0,071	0,000002321	-0,003	0,00044	416,87
Hanit RB (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	9,182	0,012	0,000001876	0,001	0,00146	332,63
Hanit RB (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	21,218	0,021	0,000003660	0,001	0,00267	609,22
Hanit RB (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	33,255	0,031	0,000005444	0,002	0,00389	885,80
ZWS RB (>20a) mit UK (50a) 2mm	12,148	-0,030	0,000001083	-0,001	0,00033	216,41
ZWS RB (>20a) mit UK (50a) 4mm	27,151	-0,063	0,000002073	-0,003	0,00042	376,78
ZWS RB (>20a) mit UK (50a) 6mm	42,154	-0,095	0,000003064	-0,004	0,00050	537,14
Hanit RB (>20a) mit UK (50a) 2mm	13,194	0,015	0,000002471	0,001	0,00187	424,83
Hanit RB (>20a) mit UK (50a) 4mm	29,243	0,027	0,000004849	0,002	0,00348	793,61
Hanit RB (>20a) mit UK (50a) 6mm	45,291	0,040	0,000007228	0,003	0,00510	1162,39

Tabelle 57 Skalierter Vergleich von Umweltwirkungen

Deckenbekleidung	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	6	5	2	24	7	2
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	9	13	3	38	11	3
Zementputz, Silikatbeschichtung	7	6	2	24	14	2
Kunstharz Rollputz	9	14	4	85	15	5
Dispersion	5	14	2	36	7	2
Kalkputz, Dispersion	9	15	3	38	12	3
Zellulose-Strukturputz	1	3	3	4	18	2
GK abgehängt, Silikat	11	9	4	30	19	5
GK abgehängt	10	5	4	10	17	4
Gipsputz, Dispersion	8	15	4	38	11	4
GK, Dispersion	14	19	6	47	24	6
GK, Akustikputz	15	8	6	14	28	6
GF 2x10mm, Dispersion	14	19	10	47	27	11
Holzverschalung NF d=19,5mm	-9	2	6	4	9	9
Raufasertapete	4	2	1	4	12	1
Glasfaser, Dispersionsanstrich	5	12	3	38	7	2
Nut+Feder Fichte abgehängt	-8	4	8	8	13	11
Metallkassette 840mm	29	22	11	40	169	10
GF + Holz UK 2x10mm	9	5	7	10	20	8
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	23	15	12	22	40	9
ZWS RB (>40a) mit UK (50a) 2mm	3	-2	3	-1	1	2
ZWS RB (>40a) mit UK (50a) 4mm	7	-4	6	-3	1	3
ZWS RB (>40a) mit UK (50a) 6mm	12	-6	8	-4	1	4
Hanit RB (>40a) mit UK (50a) 2mm	3	1	7	1	4	3
Hanit RB (>40a) mit UK (50a) 4mm	8	2	13	2	6	6
Hanit RB (>40a) mit UK (50a) 6mm	13	3	19	3	9	9
ZWS RB (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	5	-3	4	-2	1	3
ZWS RB (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	12	-6	8	-4	1	4
ZWS RB (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	18	-8	12	-7	2	6
Hanit RB (>26,7a) mit UK (50a) 2mm	5	1	10	2	5	5
Hanit RB (>26,7a) mit UK (50a) 4mm	13	3	19	3	9	9
Hanit RB (>26,7a) mit UK (50a) 6mm	20	4	29	5	13	13
ZWS RB (>20a) mit UK (50a) 2mm	7	-4	6	-3	1	3
ZWS RB (>20a) mit UK (50a) 4mm	16	-8	11	-6	1	5
ZWS RB (>20a) mit UK (50a) 6mm	25	-11	16	-9	2	8
Hanit RB (>20a) mit UK (50a) 2mm	8	2	13	2	6	6
Hanit RB (>20a) mit UK (50a) 4mm	17	3	26	4	12	11
Hanit RB (>20a) mit UK (50a) 6mm	27	5	38	6	17	17

8. Ökobilanzielle Auswirkungen von Rezyklatkunststoffen auf ein Gebäude

In diesem Kapitel wird dargestellt, welchen Anteil die Umweltwirkungen der Rezyklat-Bekleidungsbauteile auf die Umweltwirkungen der Baukonstruktion und die gesamten Umweltwirkungen (inkl. Betriebsmitteln) zweier Referenzgebäude haben. Dafür wurden die Daten der Baukonstruktion und gesamten Umweltwirkungen (inkl. Betriebsmittel) aus LEGEP® ausgelesen. Die geplanten Konstruktionen (Außenwand-, Innenwand- und Deckenkonstruktionen) wurden identifiziert. Die jeweiligen Umweltwirkungspotentiale der Bekleidungsteile wurden in einem neuen Projekt extrahiert und mit den Werten der Anteile der Bekleidungsflächen multipliziert. Durch diese Vorgehensweise ist sichergestellt, dass nicht nur die Erstellungsdaten, sondern die gesamten verfügbaren Lebenszyklusdaten (z. B. Instandhaltung) mit in die Berechnung einfließen.

8.1 Ökobilanzielle Auswirkungen am Referenzgebäude Büro

In Tabelle 58 werden die Ergebnisse der oben genannten Berechnung für das Referenzgebäude Büro aufgezeigt. Die Bekleidungen einschließlich deren Unterkonstruktion haben einen Anteil von mindestens 11,50 % an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion. Im Fall des Versauerungspotentials AP beträgt der Anteil sogar 29,60 %.

Bezogen auf die gesamten Umweltwirkungen (inkl. Betriebsmittel) ist der Anteil der Umweltwirkungen der Bekleidungen sehr unterschiedlich. In der Kategorie Treibhauspotenzial GWP ist der Anteil sehr gering und liegt bei 1,68 %. Bei der Kategorie des Ozonabbaupotentials liegt der Anteil jedoch mit 11,10 % bei etwa einem Neuntel der gesamten Umweltauswirkungen des Referenzgebäudes Büro.

Diese Aufstellung zeigt, dass Bekleidungen einen wesentlichen Teil zu den gesamten Umweltwirkungen im Lebenszyklus eines Gebäudes beitragen.

Tabelle 58 Anteil der Umweltwirkungen der Funktionellen Einheiten AWB, IWB und DB an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion und der Betriebsmittel des Referenzprojekts Büro

Umweltwirkungspotential Einheit	GWP kg CO ₂ -Äq.	AP kg SO ₂ -Äq.	ODP kg CFC11-Äq.	POCP kg Ethen-Äq.	EP kg Phosphat-Äq.	PEI MJ
Außenwandbekleidung	21.014	173	0,003413096	19,61	14,36434	1.087.742
Innenwandbekleidung	159.973	1.450	0,009522353	245,46	44,63593	3.574.218
Deckenbekleidung	100.682	689	0,004616468	109,73	26,5547	1.750.290
Summe Oberflächen- bekleidungen (OB)	281.669	2.312	0,017551917	374,8	85,55497	6.412.250
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	2.223.335	7.810	0,101334198	1.963,89	743,64368	44.390.033
Anteil OB an UW Baukonstruktion	12,67%	29,60%	17,32%	19,08%	11,50%	14,45%
UW gesamt	16.721.461	24.144	0,15809867	4.105,53	2.985	305.657.891
Anteil OB an UW gesamt	1,68%	9,58%	11,10%	9,13%	2,87%	2,10%

Die Umweltwirkungen der einzelnen funktionellen Einheiten Außenwand-, Innenwand- und Deckenbekleidung der Referenzgebäude setzen sich aus Umweltwirkungen von unterschiedlichen Bekleidungsarten zusammen. Im Fall der Außenwandbekleidung aus den Umweltwirkungen der Bekleidungsarten Faserzementplatten, Kalkzementputz und Dispersionsbeschichtung.

8.1.1 Auswirkungen einzelner funktioneller Einheiten

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen unterschiedlicher Ausführungen einer einzelnen funktionellen Einheit auf die gesamten Umweltwirkungen eines Bürogebäudes aufgezeigt.

a) Außenwandbekleidung

Auswirkungen von unterschiedlichen Außenwandbekleidungen auf die gesamten Umweltwirkungen des Referenzgebäudes Büro.

Die Umweltwirkungen der gewählten Außenwandbekleidungen aus Kapitel 7.2.1 Außenwandbekleidung wurden mit der Fassadenfläche des Referenzgebäudes Büro 1.516,40 m² multipliziert, siehe dazu Tabelle 59.

Tabelle 59 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Büro

Werte für 1516,4 m²

Außenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW Stülpchalung Lärche, d=22mm, a. UK, Winddichtung	-49.109	59	0,003242	7,582	8,962	1.974.034
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-20.896	482	0,004730	74,304	31,314	2.862.766
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-19.683	36	0,001577	4,549	8,583	895.161
AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-44.405	99	0,004499	163,771	13,799	2.626.617
AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	1.342	129	0,001562	15,164	27,432	966.144
AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	4.228	141	0,002819	15,164	26,355	1.039.204
AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	17.351	278	0,004445	18,197	117,612	1.234.789
AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	46.995	249	0,005501	15,164	27,902	1.052.609
AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	47.833	156	0,001579	19,713	28,842	689.583
AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	129.355	579	0,012946	36,394	40,306	2.269.520
AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	84.498	375	0,008549	24,262	17,696	1.487.998
AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	40.820	120	0,000974	16,680	13,799	581.539
AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	136.129	604	0,013805	37,910	28,326	2.400.310
AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	145.891	648	0,014808	40,943	30,328	2.572.451
AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	339.208	1.899	0,028302	112,214	875,994	5.130.209
AW B., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	45.968	224	0,003398	13,648	10,084	786.238
AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	66.129	335	0,004275	19,713	11,161	1.116.055
AW B., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	14.142	127	0,002869	10,615	8,113	718.243
AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40mm, Klemm-Pressprofile	404.814	1.024	0,030172	106,148	86,132	7.841.350
AW B., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	69.063	359	0,007958	27,295	31,450	2.109.039
AW B., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	71.861	341	0,008493	28,812	30,434	2.502.803
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	73.020	180	0,000451	25,890	16,289	2.491.284
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	66.920	176	0,000451	29,304	15,629	2.469.866
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	126.995	389	0,005085	38,022	25,327	3.204.871
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	120.895	385	0,005085	41,436	24,667	3.183.453
AW B., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	116.555	443	0,009942	33,361	33,679	1.710.393
AW B., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	44.103	149	0,003777	13,648	13,132	660.483
AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpedeckung, Metall-UK	126.867	472	0,010506	36,394	37,849	1.759.145
AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	100.603	385	0,008549	28,812	29,828	1.494.443
AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	22.641	170	0,004297	16,680	17,514	1.356.086
AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	43.748	159	0,003702	10,615	12,753	743.006
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	41.028	-107	-0,002235	-2,293	1,319	240.102
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	44.928	50	-0,000201	6,254	8,430	808.831
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	95.003	102	0,002400	9,838	10,357	953.690
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	98.903	259	0,004433	18,386	17,468	1.522.418

In Tabelle 60 sind die Anteile der Umweltwirkungen der gewählten Bekleidungsoption mit der jeweiligen gesamten Baukonstruktion ins Verhältnis gesetzt. Um darzustellen, welchen Einfluss Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen, im Verhältnis zu anderen Bekleidungsoptionen, auf die Umweltwirkungen der gesamten Baukonstruktion eines Gebäudes haben können, wurde das Einsparpotential berechnet.

Tabelle 60 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen
an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion

Prozentanteil AWB an der Baukonstruktion

Außenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW Stülpchalung Lärche, d=22mm, a. UK, Winddichtung	-2,28%	0,77%	3,20%	0,39%	1,21%	4,36%
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-0,96%	5,94%	4,61%	3,68%	4,12%	6,20%
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-0,90%	0,47%	1,59%	0,23%	1,16%	2,03%
AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-2,06%	1,27%	4,39%	7,77%	1,86%	5,72%
AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	0,06%	1,66%	1,57%	0,77%	3,63%	2,18%
AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	0,19%	1,81%	2,80%	0,77%	3,49%	2,34%
AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	0,78%	3,51%	4,34%	0,93%	13,89%	2,77%
AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	2,09%	3,15%	5,32%	0,77%	3,68%	2,37%
AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	2,13%	2,00%	1,59%	1,00%	3,80%	1,57%
AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	5,55%	7,05%	11,68%	1,84%	5,24%	4,98%
AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	3,70%	4,67%	8,03%	1,23%	2,37%	3,32%
AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	1,82%	1,54%	0,98%	0,85%	1,86%	1,33%
AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	5,82%	7,32%	12,36%	1,91%	3,74%	5,25%
AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	6,21%	7,82%	13,14%	2,06%	3,99%	5,61%
AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	13,35%	19,91%	22,42%	5,46%	54,57%	10,59%
AW B., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	2,04%	2,85%	3,35%	0,70%	1,36%	1,78%
AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	2,92%	4,20%	4,18%	1,00%	1,51%	2,51%
AW B., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	0,64%	1,64%	2,85%	0,54%	1,10%	1,63%
AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40mm, Klemm-Pressprofile	15,53%	11,82%	23,55%	5,18%	10,56%	15,33%
AW B., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	3,04%	4,49%	7,52%	1,38%	4,13%	4,64%
AW B., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	3,16%	4,28%	7,98%	1,46%	4,01%	5,46%
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	3,21%	2,30%	0,46%	1,31%	2,18%	5,44%
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	2,95%	2,25%	0,46%	1,48%	2,10%	5,40%
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	5,45%	4,85%	4,94%	1,92%	3,36%	6,89%
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	5,20%	4,80%	4,94%	2,09%	3,27%	6,85%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	5,03%	5,48%	9,22%	1,69%	4,41%	3,80%
AW B., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	1,96%	1,91%	3,71%	0,70%	1,77%	1,50%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	5,45%	5,82%	9,69%	1,84%	4,93%	3,90%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	4,37%	4,80%	8,03%	1,46%	3,93%	3,34%
AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	1,02%	2,18%	4,20%	0,85%	2,35%	3,04%
AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	1,95%	2,04%	3,64%	0,54%	1,72%	1,69%
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	1,83%	-1,42%	-2,34%	-0,12%	0,18%	0,55%
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	2,00%	0,65%	-0,21%	0,32%	1,14%	1,83%
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	4,14%	1,32%	2,39%	0,50%	1,40%	2,15%
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	4,30%	3,28%	4,33%	0,94%	2,34%	3,40%

In Tabelle 59 sind die Einsparpotentiale aufgeführt, welche durch den Einsatz der Rezyklat-Bekleidung RK ZWS UK Holz, anstelle der aufgeführten Außenwandbekleidungen, erreicht werden können. Eine positive Prozentangabe steht für den Anteil einer Umweltwirkung, welcher durch den Einsatz der Rezyklat-Bekleidung RK ZWS UK, anstatt einer anderen Außenwandbekleidung, eingespart werden kann. Eine negative Prozentangabe steht für den Anteil einer Umweltwirkung, welcher durch den Einsatz der Rezyklat-Bekleidung RK ZWS UK, anstelle einer anderen Außenwandbekleidung, zusätzlich entsteht.

Tabelle 61 Einsparpotentiale durch den Einsatz des Rezyklatbauteil RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x)

Außenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW Stülpchalung Lärche, d=22mm, a. UK, Winddichtung	-4,19%	2,16%	5,41%	0,51%	1,04%	3,83%
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-2,84%	7,26%	6,78%	3,79%	3,94%	5,68%
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-2,78%	1,87%	3,83%	0,35%	0,98%	1,48%
AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-3,96%	2,66%	6,57%	7,88%	1,68%	5,20%
AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	-1,80%	3,04%	3,82%	0,89%	3,45%	1,64%
AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	-1,67%	3,19%	5,02%	0,89%	3,31%	1,80%
AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	-1,07%	4,86%	6,52%	1,04%	13,73%	2,23%
AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	0,27%	4,51%	7,48%	0,89%	3,51%	1,83%
AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	0,30%	3,38%	3,83%	1,12%	3,63%	1,02%
AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	3,79%	8,35%	13,69%	1,95%	5,07%	4,45%
AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	1,90%	6,01%	10,13%	1,35%	2,19%	2,79%
AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	-0,01%	2,92%	3,24%	0,97%	1,68%	0,78%
AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	4,07%	8,62%	14,36%	2,03%	3,56%	4,73%
AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	4,47%	9,11%	15,12%	2,18%	3,82%	5,08%
AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	11,73%	21,03%	24,19%	5,57%	54,49%	10,10%
AW B., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	0,22%	4,21%	5,56%	0,81%	1,19%	1,24%
AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	1,11%	5,54%	6,37%	1,12%	1,33%	1,97%
AW B., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	-1,21%	3,02%	5,06%	0,66%	0,92%	1,09%
AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40mm, Klemm-Pressprofile	13,95%	13,05%	25,30%	5,29%	10,40%	14,86%
AW B., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	1,23%	5,83%	9,63%	1,50%	3,96%	4,12%
AW B., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	1,36%	5,62%	10,08%	1,58%	3,83%	4,94%
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	1,41%	3,67%	2,73%	1,43%	2,01%	4,92%
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	1,14%	3,62%	2,73%	1,60%	1,92%	4,87%
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	3,69%	6,18%	7,11%	2,03%	3,18%	6,37%
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	3,44%	6,13%	7,11%	2,20%	3,10%	6,33%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	3,26%	6,80%	11,29%	1,80%	4,24%	3,27%
AW B., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	0,14%	3,28%	5,91%	0,81%	1,59%	0,96%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	3,69%	7,13%	11,75%	1,95%	4,76%	3,37%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	2,59%	6,13%	10,13%	1,58%	3,76%	2,80%
AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	-0,83%	3,54%	6,39%	0,97%	2,17%	2,50%
AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	0,12%	3,41%	5,84%	0,66%	1,54%	1,14%
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	0,17%	2,04%	2,08%	0,44%	0,96%	1,29%
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	2,35%	2,70%	4,62%	0,62%	1,22%	1,61%
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	2,51%	4,64%	6,51%	1,05%	2,16%	2,86%

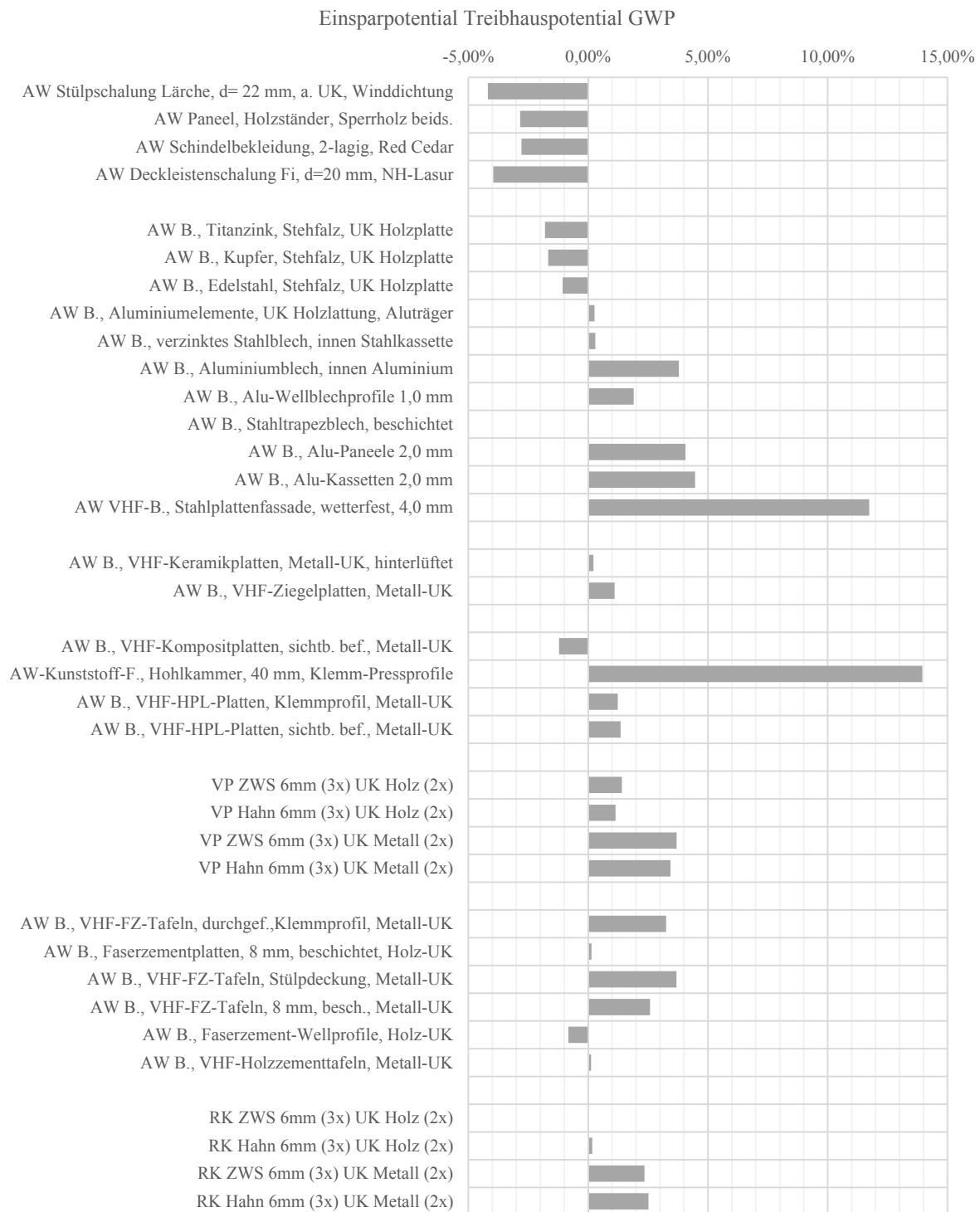


Abbildung 68 Diagramm des Einsparpotentials durch dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP

Zum besseren Verständnis sind die Ergebnisse in Diagrammen dargestellt. Die Abbildung 68 zeigt das Einsparpotential in der Umweltwirkungskategorie Treibhauspotential GWP bei der Verwendung der Funktionellen Einheit Außenwandbekleidung RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x), gegenüber einer anderen Option.

Deutlich zu erkennen ist, dass die gewählte Rezyklatvariante im Vergleich besser abschneidet, als jede andere Variante mit einer Metall-Unterkonstruktion bis auf die AWB VHF-Kompositplatte. In dieser Umweltwirkungskategorie schneiden die Bekleidungen aus Holz (Deckleistenschalung, Schindelbekleidung, Paneel/Holzständer/Sperrholz, Stülpeschalung) und die Bekleidungen mit einem verhältnismäßig hohen Holzanteil (Metallblechbekleidungen auf Holzplatte) besser ab als die gewählte Rezyklatvariante.

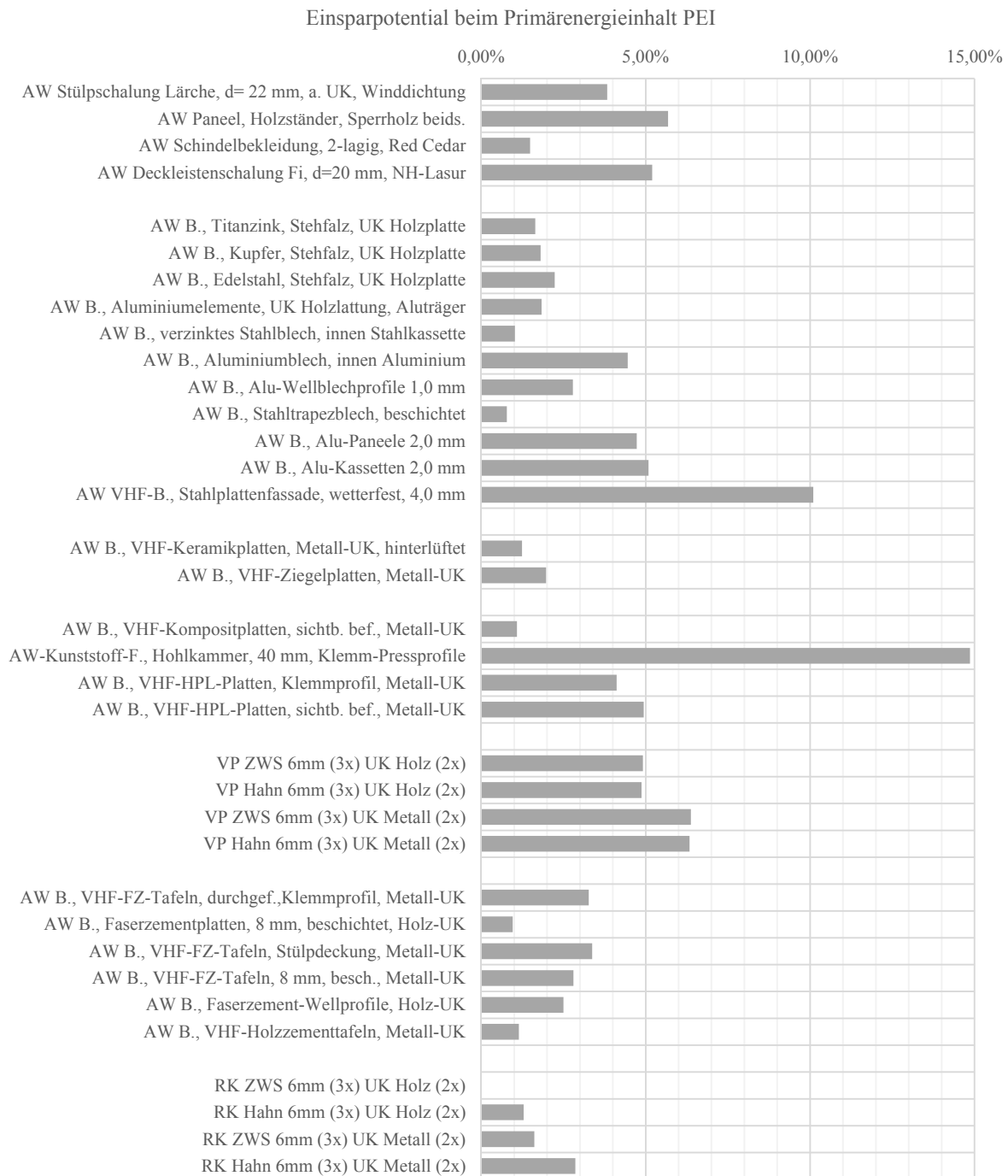


Abbildung 69 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltwirkungskategorie Primärenergieinhalt (PEI) Gesamt ist das Ergebnis wesentlich eindeutiger. Hier besteht durch die Variante RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) das größte Einsparpotential bezüglich des Primärenergieinhalts. Das Einsparpotential liegt zwischen 0,78 % und 14,86 % im Gegensatz zu den gewählten Außenwandbekleidungen.

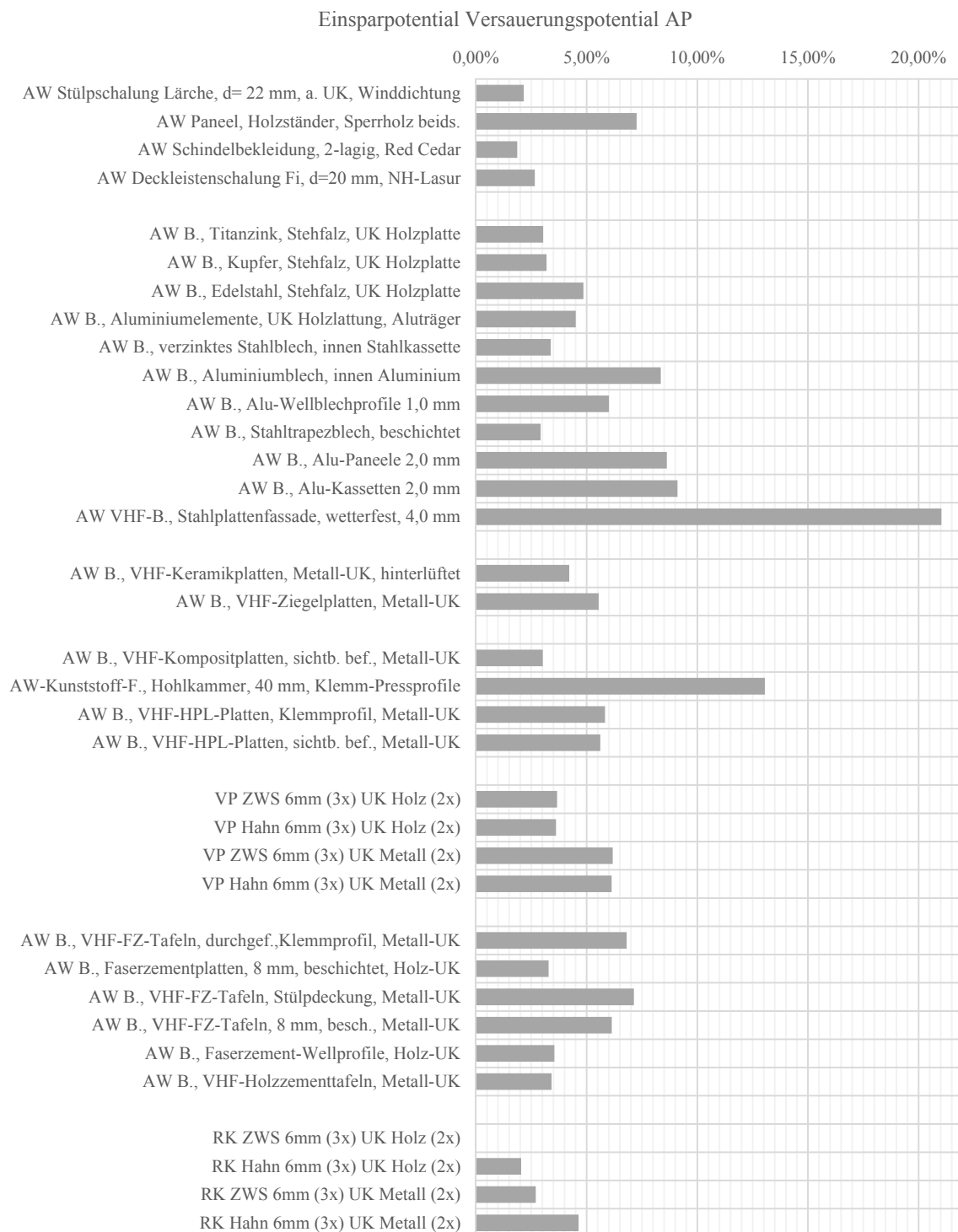


Abbildung 70 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Versauerungspotential AP

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Versauerungspotential (AP) ist das Ergebnis ebenfalls eindeutig. Hier besteht durch die Variante RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) das größte Einsparpotential bezüglich des Versauerungspotentials. Das Einsparpotential liegt zwischen 1,87 % und 21,03 % im Gegensatz zu den gewählten Außenwandbekleidungen.

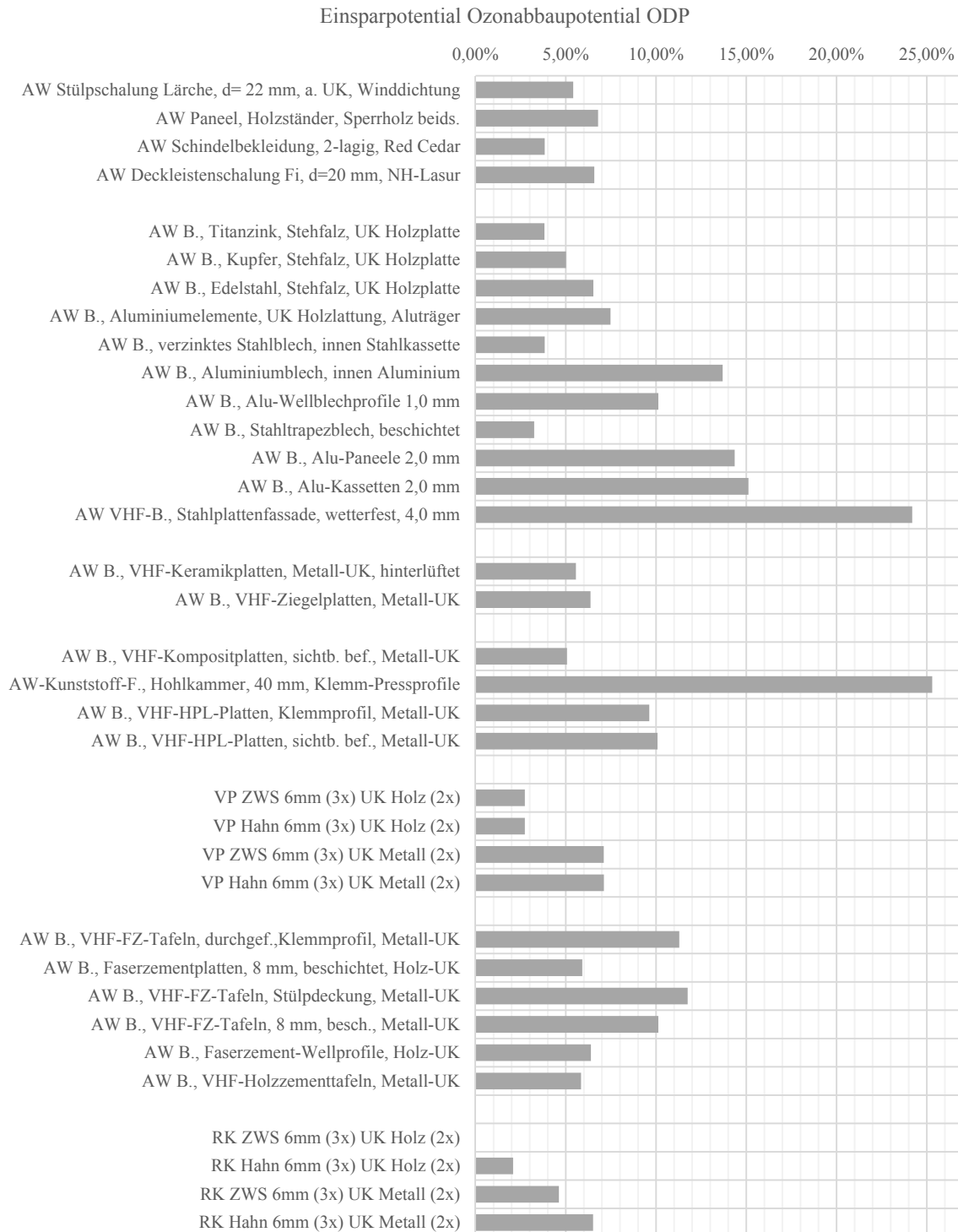


Abbildung 71 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Ozonabbaupotential ODP

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Ozonabbaupotential (ODP) ist das Ergebnis ebenso eindeutig. Hier besteht durch die Variante RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) das größte Einsparpotential bezüglich des Ozonabbaupotentials. Das Einsparpotential liegt zwischen 2,08 % und 25,30 % im Gegensatz zu den gewählten Außenwandbekleidungen.

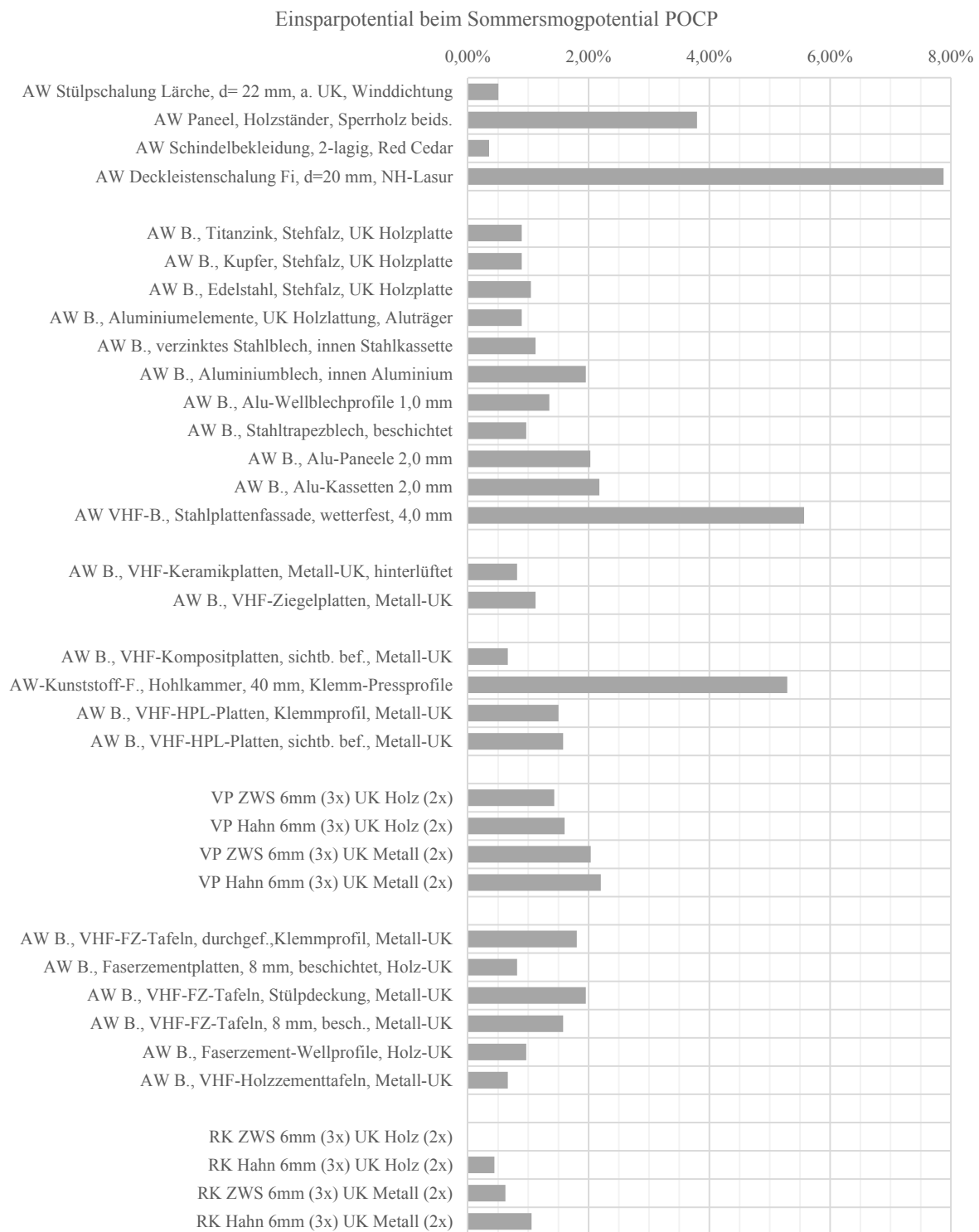


Abbildung 72 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Sommersmogpotential POCP

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Sommersmogpotential (POCP) ist das Ergebnis genauso eindeutig. Hier besteht durch die Variante RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) das größte Einsparpotential bezüglich des Sommersmogpotentials. Das Einsparpotential liegt zwischen 0,35 % und 7,88 % im Gegensatz zu den gewählten Außenwandbekleidungen.

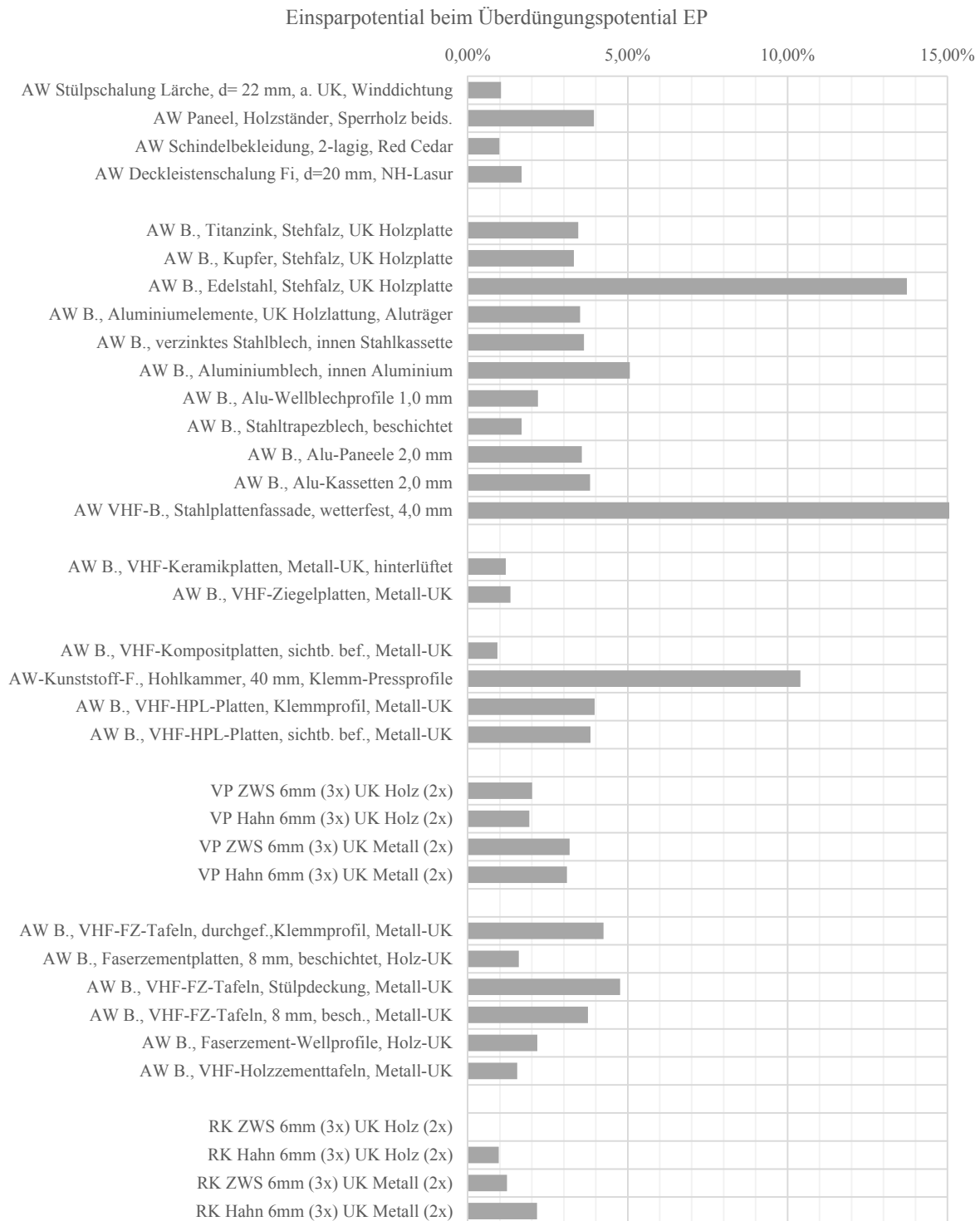


Abbildung 73 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Überdünungspotential EP

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Überdüngungspotential (EP) ist das Ergebnis eindeutig. Hier besteht durch die Variante RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) das größte Einsparpotential bezüglich des Überdüngungspotentials. Das Einsparpotential liegt zwischen 0,92 % und 54,49 % im Gegensatz zu den gewählten Außenwandbekleidungen.

Die Werteachse des Diagramms in Abbildung 73 wurde zur besseren Lesbarkeit auf den Bereich 0 % bis 15 % beschnitten. Der Wert der Bekleidung AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm überschreitet diesen Bereich. Der Werte für diese Bekleidung ist in Tabelle 61 zu finden und beträgt 54,49 %.

Die Ergänzungen 3x und 2x in den Bezeichnungen der Vergleichsprodukt- und Rezyklatkunststoffbekleidungen stehen für die gesamte Anzahl der benötigten Bauteile im Berechnungszeitraum von 80 Jahren. Die Bekleidungen werden in diesem Zeitraum zweimal erneuert, die Unterkonstruktion einmal.

b) Innenwandbekleidung

Auswirkungen von unterschiedlichen Innenwandbekleidungen auf die gesamten Umweltwirkungen des Referenzgebäude Büro.

Die Umweltwirkungen der gewählten Innenwandbekleidungen aus Kapitel 7.2.2 Innenwandbekleidungen wurden mit der Innenwandfläche des Referenzgebäudes Büro 13.457,059 m² multipliziert, siehe Tabelle 62 und in Tabelle 61 mit den Umweltwirkungen der jeweiligen gesamten Baukonstruktion ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 62 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Büro

Werte für die Innenwandfläche 13457,059 m²

Innenwandbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-110.496	2.180	0,025057	1.709,05	383,392	21.702.064
IWK Vorwandinst. Metall, zw. Ständer, GK, Fliesen	670.821	2.234	0,043816	915,08	207,508	12.644.253
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	698.785	2.315	0,047746	228,77	215,313	12.400.545
Kalkzementputz, Fliesen, auf Abdichtung	315.851	727	0,013807	753,60	114,520	4.997.817
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	332.336	2.059	0,022998	322,97	95,545	8.659.617
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	274.416	2.180	0,017131	296,06	111,155	7.663.661
Kunstharz-Rollputz	200.053	1.561	0,010887	578,65	59,480	4.582.667
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	374.133	1.238	0,013457	309,51	112,636	4.562.212
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	331.326	1.184	0,010402	309,51	113,847	3.611.875
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	195.679	1.803	0,013349	296,06	57,731	4.387.001
Kalkzementputz, Fliesen	343.814	807	0,017750	67,29	122,459	4.753.975
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	222.405	1.736	0,012044	296,06	56,116	4.170.746
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	212.016	1.709	0,011021	255,68	54,501	3.832.974
Kalkputz, Dispersion	225.365	1.723	0,009393	255,68	59,884	3.595.322
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	216.793	1.534	0,009406	255,68	55,847	3.559.930
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	169.209	1.655	0,007953	255,68	55,578	2.882.637
Dispersion (auf GK)	119.351	1.601	0,006661	282,60	34,181	2.579.180
Dispersion	104.319	1.534	0,006056	242,23	29,067	2.289.046
NH-Dispersion (auf GK)	96.729	1.346	0,006096	255,68	25,299	2.274.916
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	62.804	727	0,009945	121,11	85,318	2.989.620
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	95.747	1.346	0,006069	242,23	25,030	2.253.788
Wandspaltplatten	201.277	552	0,013861	40,37	47,907	3.993.248
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	101.103	592	0,004104	161,48	36,738	1.399.130
Lehmputz, Kaseinfarbe	112.124	525	0,004414	107,66	38,083	1.739.729
Gipsputz, Raufasertapete	119.526	202	0,005262	26,91	30,817	1.820.471
Fliesen	93.944	269	0,007011	26,91	23,684	1.907.942
Silikatbeschichtung	42.995	484	0,002355	134,57	13,592	1.040.904
Silikat-Dispersion (auf GK)	38.043	471	0,002261	148,03	10,900	839.855
Silikat-Dispersion (auf Beton)	35.621	458	0,002167	134,57	10,093	793.563
ZWS Recycling Bauteil 4 mm (2x) UK Holz (2x)	96.332	-428	-0,008024	-21,01	5,712	1.708.042
ZWS Recycling Bauteil 6 mm (2x) UK Holz (2x)	182.918	-668	-0,013274	-31,51	5,204	1.807.794
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	111.716	191	-0,000004	12,71	33,757	3.951.194
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	205.994	259	-0,001244	19,06	47,272	5.172.523
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	222.515	703	0,002567	90,15	64,757	10.587.049
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	372.192	1.027	0,002613	135,23	93,771	15.126.305
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	198.455	686	0,002570	103,62	62,151	10.502.572
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	336.102	1.003	0,002617	155,43	89,862	14.999.590

Tabelle 63 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro

Innenwandbekleidung, prozentualer Anteil an Baukonstruktion für 13457,487 m²

Innenwandbekleidung	GWP kg CO2- Äq.	AP kg SO2- Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-5,68%	25,74%	21,51%	50,02%	35,48%	34,79%
IWK Vorwandinst. Metall, zw. Ständer, GK, Fliesen	24,60%	26,21%	32,40%	34,89%	22,94%	23,71%
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	25,36%	26,90%	34,31%	11,81%	23,59%	23,36%
Kalkzementputz, Fliesen, auf Abdichtung	13,31%	10,36%	13,12%	30,62%	14,11%	10,94%
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	13,91%	24,66%	20,10%	15,90%	12,05%	17,55%
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	11,77%	25,74%	15,78%	14,77%	13,75%	15,85%
Kunstharz-Rollputz	8,87%	19,88%	10,64%	25,31%	7,86%	10,12%
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	15,39%	16,45%	12,83%	15,34%	13,91%	10,08%
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	13,88%	15,84%	10,21%	15,34%	14,04%	8,15%
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	8,69%	22,28%	12,74%	14,77%	7,65%	9,73%
Kalkzementputz, Fliesen	14,32%	11,38%	16,26%	3,79%	14,94%	10,46%
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	9,76%	21,63%	11,64%	14,77%	7,45%	9,30%
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	9,35%	21,37%	10,76%	13,02%	7,25%	8,61%
Kalkputz, Dispersion	9,88%	21,50%	9,32%	13,02%	7,91%	8,12%
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	9,54%	19,61%	9,33%	13,02%	7,42%	8,05%
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	7,60%	20,83%	8,00%	13,02%	7,38%	6,62%
Dispersion (auf GK)	5,49%	20,29%	6,79%	14,20%	4,67%	5,96%
Dispersion	4,83%	19,61%	6,21%	12,42%	4,00%	5,33%
NH-Dispersion (auf GK)	4,49%	17,62%	6,25%	13,02%	3,50%	5,30%
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	2,96%	10,36%	9,81%	6,62%	10,90%	6,85%
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	4,45%	17,62%	6,22%	12,42%	3,47%	5,25%
Wandspaltplatten	8,91%	8,06%	13,16%	2,31%	6,43%	8,94%
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	4,69%	8,60%	4,30%	8,64%	5,01%	3,32%
Lehmputz, Kaseinfarbe	5,17%	7,70%	4,61%	5,93%	5,18%	4,10%
Gipsputz, Raufasertapete	5,49%	3,11%	5,44%	1,55%	4,23%	4,28%
Fliesen	4,37%	4,10%	7,12%	1,55%	3,29%	4,48%
Silikatbeschichtung	2,05%	7,15%	2,51%	7,30%	1,91%	2,49%
Silikat-Dispersion (auf GK)	1,82%	6,97%	2,41%	7,98%	1,54%	2,02%
Silikat-Dispersion (auf Beton)	1,70%	6,78%	2,31%	7,30%	1,43%	1,91%
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	4,47%	-7,30%	-9,62%	-1,25%	0,81%	4,03%
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	8,17%	-11,89%	-16,98%	-1,88%	0,74%	4,25%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	5,15%	2,95%	0,00%	0,74%	4,62%	8,85%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	9,10%	3,96%	-1,38%	1,10%	6,35%	11,28%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	9,76%	10,05%	2,73%	5,01%	8,50%	20,65%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	15,32%	14,04%	2,78%	7,34%	11,85%	27,10%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	8,80%	9,84%	2,73%	5,72%	8,18%	20,52%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	14,05%	13,75%	2,78%	8,34%	11,42%	26,94%

In Tabelle 63 sind die Anteile der Umweltwirkungen der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro aufgeführt. Das Treibhauspotential GWP und der Primärenergieinhalt PEI der verschiedenen Innenwandbekleidungen sind in Diagrammen in Abbildung 74 und Abbildung 75 beschrieben.

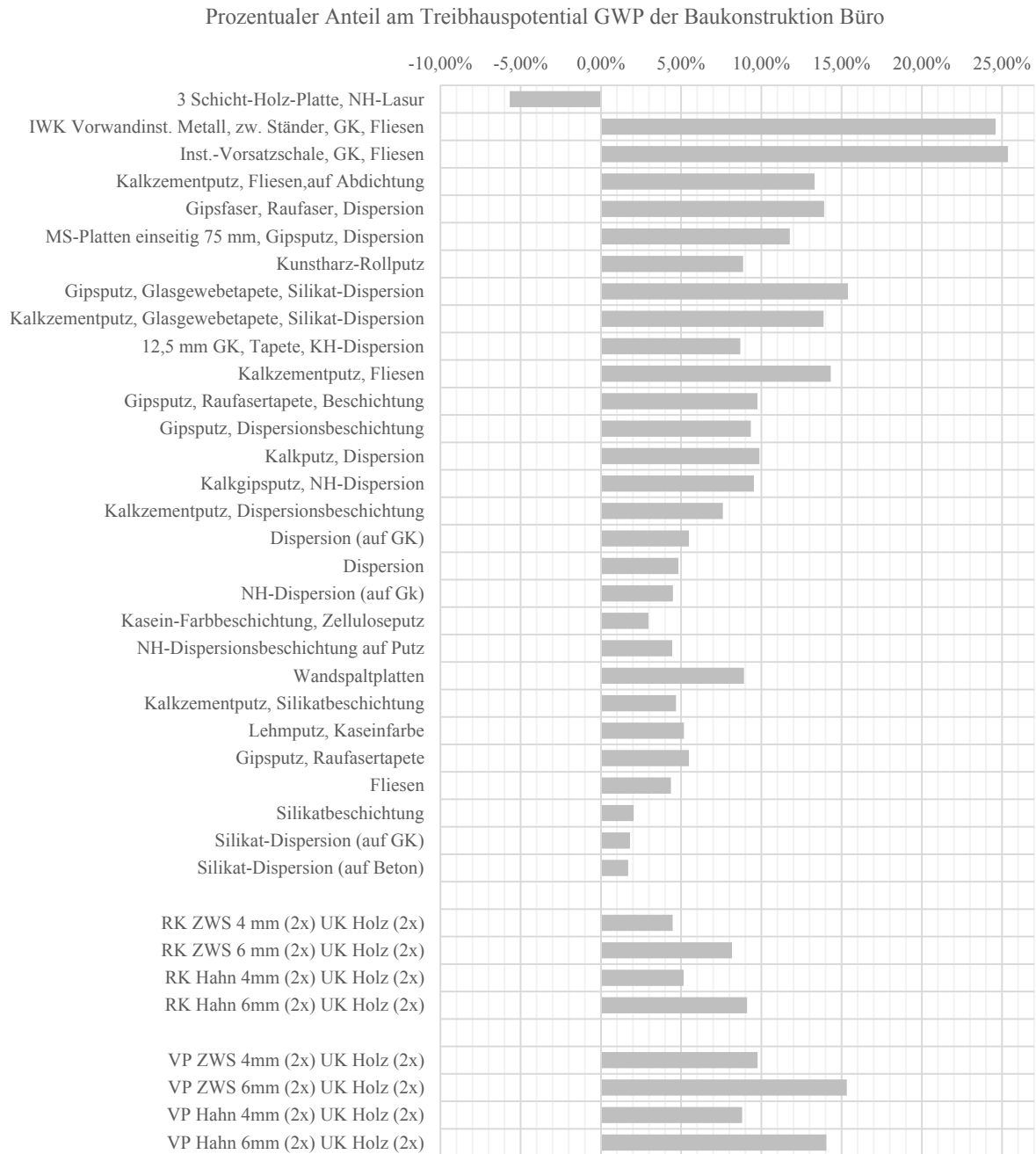


Abbildung 74 Prozentualer Anteil am Treibhauspotential GWP der Baukonstruktion Büro

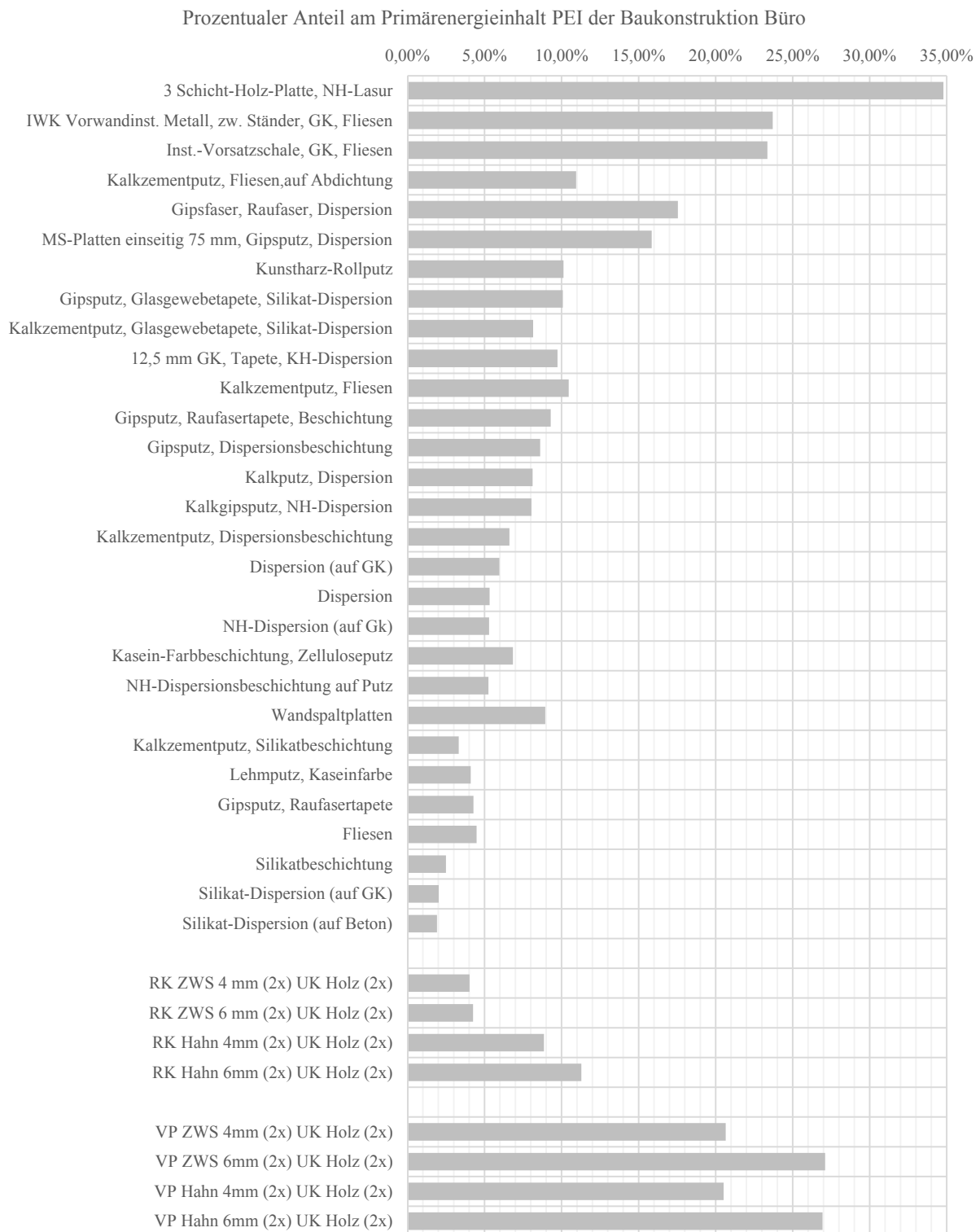


Abbildung 75 Prozentualer Anteil am Primärenergieinhalt PEI der Baukonstruktion Büro

Um darzustellen, welchen Einfluss Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen, im Verhältnis zu anderen Bekleidungsoptionen, auf die gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion eines Gebäudes haben können, wurde das Einsparpotential berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 64 enthalten.

Tabelle 64 Einsparpotentiale beim Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro

Innenwandbekleidung	GWP kg CO2- Äq.	AP kg SO2- Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat -Äq.	PEI MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-10,63%	30,79%	28,40%	50,63%	34,95%	32,05%
IWK Vorwandinst. Metall, zwi. Ständer, GK, Fliesen	21,06%	31,23%	38,33%	35,69%	22,30%	20,51%
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	21,87%	31,87%	40,07%	12,90%	22,97%	20,14%
Kalkzementputz, Fliesen, auf Abdichtung	9,25%	16,45%	20,74%	31,47%	13,40%	7,20%
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	9,88%	29,79%	27,11%	16,94%	11,33%	14,09%
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	7,64%	30,79%	23,17%	15,82%	13,04%	12,32%
Kunstharz-Rollputz	4,60%	25,33%	18,48%	26,23%	7,11%	6,35%
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	11,43%	22,13%	20,48%	16,38%	13,20%	6,31%
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	9,84%	21,57%	18,09%	16,38%	13,33%	4,30%
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	4,41%	27,57%	20,40%	15,82%	6,89%	5,94%
Kalkzementputz, Fliesen	10,31%	17,40%	23,61%	4,97%	14,24%	6,70%
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	5,53%	26,96%	19,39%	15,82%	6,69%	5,49%
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	5,10%	26,71%	18,59%	14,09%	6,49%	4,77%
Kalkputz, Dispersion	5,65%	26,84%	17,27%	14,09%	7,15%	4,26%
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	5,30%	25,08%	17,29%	14,09%	6,66%	4,19%
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	3,27%	26,22%	16,08%	14,09%	6,62%	2,70%
Dispersion (auf GK)	1,06%	25,71%	14,97%	15,25%	3,89%	2,01%
Dispersion	0,37%	25,08%	14,44%	13,50%	3,22%	1,35%
NH-Dispersion (auf Gk)	0,02%	23,23%	14,48%	14,09%	2,71%	1,32%
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	-1,58%	16,45%	17,72%	7,77%	10,17%	2,93%
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	-0,03%	23,23%	14,45%	13,50%	2,67%	1,27%
Wandspaltplatten	4,65%	14,32%	20,78%	3,51%	5,66%	5,11%
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	0,22%	14,82%	12,70%	9,76%	4,23%	-0,73%
Lehmputz, Kaseinfarbe	0,73%	13,98%	12,98%	7,09%	4,40%	0,07%
Gipsputz, Raufasertapete	1,07%	9,70%	13,74%	2,76%	3,45%	0,26%
Fliesen	-0,11%	10,62%	15,27%	2,76%	2,49%	0,47%
Silikatbeschichtung	-2,54%	13,47%	11,07%	8,44%	1,11%	-1,60%
Silikat-Dispersion (auf GK)	-2,78%	13,29%	10,98%	9,11%	0,73%	-2,09%
Silikat-Dispersion (auf Beton)	-2,90%	13,12%	10,89%	8,44%	0,62%	-2,20%
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	3,87%	-4,28%	-6,72%	-0,63%	-0,07%	0,23%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	0,71%	9,55%	8,77%	1,96%	3,84%	5,03%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	4,85%	10,49%	7,52%	2,32%	5,58%	7,55%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	5,54%	16,17%	11,27%	6,18%	7,75%	17,32%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	11,36%	19,89%	11,31%	8,48%	11,13%	24,04%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	4,53%	15,97%	11,27%	6,88%	7,43%	17,18%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	10,02%	19,62%	11,31%	9,47%	10,69%	23,87%

Die Werteachse des Diagramms in Abbildung 76 wurde zur besseren Lesbarkeit auf den Bereich -5 % bis 12 % beschnitten. Die Werte der ersten drei Bekleidungen unter- und überschreiten diesen Bereich. Die Werte für diese Bekleidungen sind in Tabelle 64 zu finden.

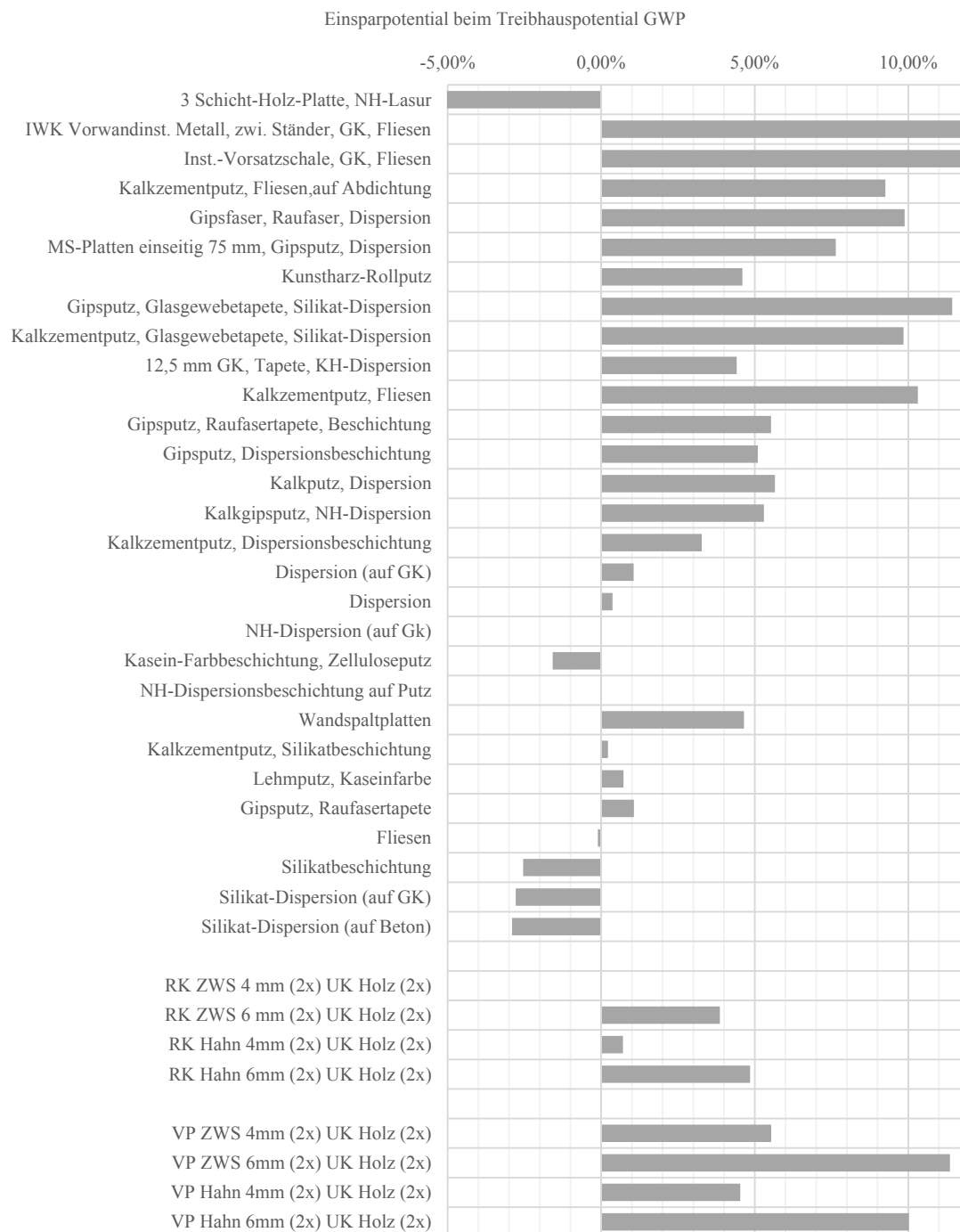


Abbildung 76 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Treibhauspotential (GWP) ist zu erkennen, dass die Bekleidungen 3-Schicht-Holz-Platte, Kasein-Farbbeschichtung, NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz, Fliesen, Silikatbeschichtung, Silikat-Dispersion (auf GK) und Silikat-Dispersion (auf Beton) besser abschneiden als die Rezyklatbekleidung. Bei den übrigen Bekleidungen liegt das Einsparpotential beim Treibhauspotential mit einer Rezyklatbekleidung zwischen 0,02 % und 21,87 %.

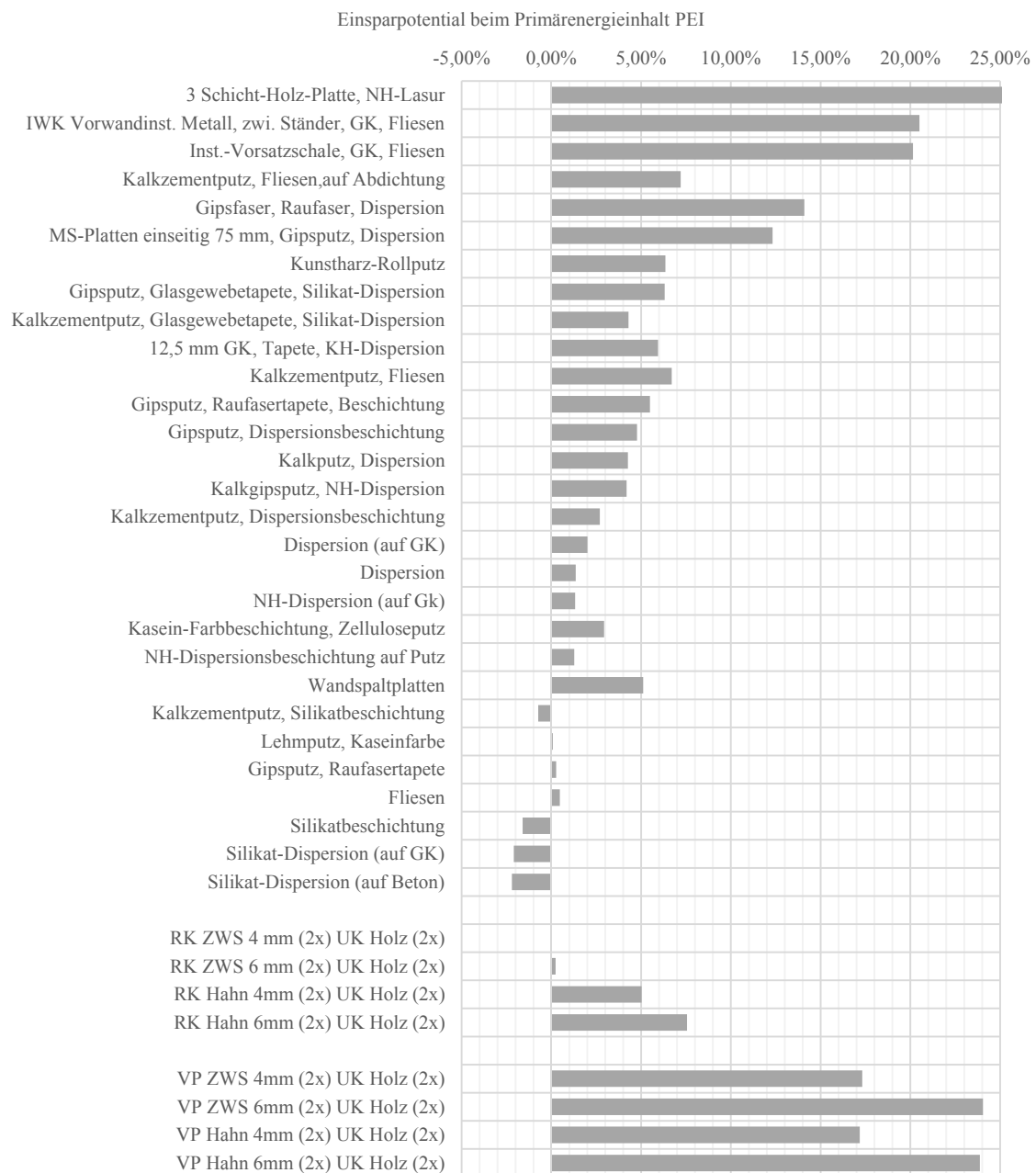


Abbildung 77 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI

Die Werteachse des Diagramms in Abbildung 77 wurde zur besseren Lesbarkeit auf den Bereich -5 % bis 25 % beschnitten. Der Werte der ersten Bekleidung überschreiten diesen Bereich. Der Werte für diese Bekleidungen sind in Tabelle 64 zu finden.

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Primärenergieinhalt (PEI) ist zu erkennen, dass die Bekleidungen Kalkzementputz, Silikatbeschichtung, Silikat-Dispersion (auf GK) und Silikat-Dispersion (auf Beton) besser abschneiden als die Rezyklatbekleidung. Bei den übrigen Bekleidungen liegt das Einsparpotential beim Primärenergieinhalt mit einer Rezyklatbekleidung zwischen 0,07 % und 32,05 %.

c) Deckenbekleidung

Auswirkungen von unterschiedlichen Deckenbekleidungen auf die gesamten Umweltwirkungen des Referenzgebäudes Büro.

Die Umweltwirkungen der gewählten Deckenbekleidungen aus Kapitel 7.2.3 Deckenbekleidungen wurden mit der Deckenfläche des Referenzgebäudes Büro 5.890,56 m² multipliziert, siehe Tabelle 65, und mit den Umweltwirkungen der gesamten Baukonstruktion ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 65 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Deckenbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Büro

Werte für 5.890,56 m²

Deckenbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	56.455	259	0,002032	70,69	12,311	784.328
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	90.467	636	0,003629	111,92	18,850	1.326.142
Zementputz, Silikatbeschichtung	65.656	295	0,002392	70,69	24,092	781.677
Kunstharz Rollputz	85.443	672	0,004648	247,40	25,388	1.958.081
Dispersion	45.410	666	0,002633	106,03	12,665	996.683
Kalkputz, Dispersion	86.102	725	0,003711	111,92	20,558	1.430.051
Zellulose-Strukturputz	9.920	147	0,003293	11,78	31,573	871.508
GK abgehängt, Silikat	110.831	454	0,004966	88,36	32,987	1.967.742
GK abgehängt	95.068	247	0,004006	29,45	28,510	1.616.841
Gipsputz, Dispersion	80.854	719	0,004436	111,92	18,261	1.540.381
GK, Dispersion	141.368	919	0,006674	135,48	41,528	2.630.194
GK, Akustikputz	147.411	395	0,006703	41,23	47,301	2.513.443
GF 2x10mm, Dispersion	134.476	931	0,010721	135,48	46,594	4.407.199
Holzverschalung NF d=19,5mm	-89.566	112	0,006315	11,78	15,669	3.609.087
Raufasertapete	44.403	106	0,001119	11,78	20,970	410.631
Glasfaser, Dispersionsanstrich	49.045	589	0,002798	111,92	12,429	968.526
Nut+Feder Fichte abgehängt	-76.389	218	0,008659	23,56	21,736	4.331.859
Metallkassette 840mm	287.931	1.084	0,012294	117,81	290,287	4.071.084
GF + Holz UK 2x10mm	88.176	259	0,008052	29,45	33,576	3.393.787
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	224.807	719	0,013077	64,80	68,566	3.652.324
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	42.167	-187	-0,003512	-9,20	2,500	747.661
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	80.069	-293	-0,005811	-13,79	2,278	791.326
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	48.901	84	-0,000002	5,56	14,777	1.729.557
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	90.170	114	-0,000544	8,34	20,692	2.264.169
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	97.401	308	0,001124	39,46	28,346	4.634.270
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	162.920	450	0,001144	59,19	41,046	6.621.239
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	86.870	300	0,001125	45,36	27,205	4.597.292
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	147.122	439	0,001145	68,04	39,335	6.565.772

In Tabelle 66 sind die Anteile der Umweltwirkungen der einzelnen Bekleidungsoptionen aufgeführt. Um nun darzustellen, welchen Einfluss Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen, im Verhältnis zu anderen Bekleidungsoptionen, auf die gesamten Umweltwirkungen eines Gebäudes haben können, wurde das Einsparpotential berechnet.

Tabelle 66 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Deckenbekleidungen
an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion

DB Anteil in % an Baukonstruktion Büro für 5.890,560 m²

Deckenbekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	2,59%	3,51%	2,06%	3,67%	1,69%	1,81%
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	4,09%	8,20%	3,62%	5,69%	2,56%	3,02%
Zementputz, Silikatbeschichtung	3,00%	3,97%	2,41%	3,67%	3,25%	1,80%
Kunstharz Rollputz	3,87%	8,62%	4,59%	11,77%	3,42%	4,39%
Dispersion	2,09%	8,55%	2,65%	5,41%	1,74%	2,28%
Kalkputz, Dispersion	3,90%	9,23%	3,70%	5,69%	2,79%	3,24%
Zellulose-Strukturputz	0,47%	2,03%	3,29%	0,63%	4,22%	2,00%
GK abgehängt, Silikat	4,96%	5,99%	4,88%	4,55%	4,40%	4,41%
GK abgehängt	4,29%	3,36%	3,98%	1,56%	3,82%	3,65%
Gipsputz, Dispersion	3,67%	9,17%	4,39%	5,69%	2,48%	3,49%
GK, Dispersion	6,24%	11,43%	6,46%	6,81%	5,47%	5,81%
GK, Akustikputz	6,49%	5,25%	6,48%	2,18%	6,19%	5,57%
GF 2x10mm, Dispersion	5,96%	11,56%	9,98%	6,81%	6,10%	9,37%
Holzverschalung NF d=19,5mm	-4,41%	1,55%	6,13%	0,63%	2,14%	7,80%
Raufasertapete	2,05%	1,47%	1,14%	0,63%	2,84%	0,95%
Glasfaser, Dispersionsanstrich	2,26%	7,64%	2,81%	5,69%	1,70%	2,22%
Nut+Feder Fichte abgehängt	-3,73%	2,97%	8,22%	1,25%	2,94%	9,22%
Metallkassette 840mm	11,94%	13,21%	11,28%	5,97%	28,82%	8,72%
GF + Holz UK 2x10mm	3,99%	3,51%	7,69%	1,56%	4,47%	7,37%
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	9,58%	9,17%	11,91%	3,38%	8,73%	7,89%
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	1,95%	-2,70%	-3,77%	-0,50%	0,35%	1,72%
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	3,63%	-4,28%	-6,39%	-0,75%	0,32%	1,82%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	2,25%	1,16%	0,00%	0,30%	2,02%	3,90%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	4,07%	1,57%	-0,57%	0,45%	2,80%	5,04%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	4,39%	4,14%	1,15%	2,08%	3,80%	9,80%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	7,13%	5,94%	1,17%	3,09%	5,41%	13,44%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	3,93%	4,05%	1,15%	2,39%	3,66%	9,73%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	6,48%	5,81%	1,17%	3,54%	5,20%	13,34%

Die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Deckenbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion stehen nun im Verhältnis zur Rezyklat-Bekleidung RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x). Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 67 dargestellt. Eine positive Prozentangabe steht für den Anteil einer Umweltwirkung, welcher durch den Einsatz der Rezyklat-Bekleidung RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x), anstelle einer anderen Deckenbekleidung, eingespart werden kann. Eine negative Prozentangabe steht für den Anteil einer Umweltwirkung, welcher durch den Einsatz der Rezyklatbekleidung, anstelle einer anderen Deckenbekleidung, zusätzlich entsteht.

Tabelle 67 Einsparpotential durch den Einsatz des Rezyklatbauteil RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)

Deckenbekleidung	GWP kg CO2- Äq.	AP kg SO2- Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	0,66%	6,05%	5,61%	4,15%	1,35%	0,08%
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	2,18%	10,61%	7,12%	6,16%	2,22%	1,32%
Zementputz, Silikatbeschichtung	1,07%	6,50%	5,96%	4,15%	2,91%	0,08%
Kunstharz Rollputz	1,96%	11,02%	8,05%	12,21%	3,08%	2,71%
Dispersion	0,15%	10,95%	6,19%	5,88%	1,39%	0,57%
Kalkputz, Dispersion	1,99%	11,62%	7,19%	6,16%	2,45%	1,55%
Zellulose-Strukturputz	-1,51%	4,60%	6,80%	1,12%	3,88%	0,28%
GK abgehängt, Silikat	3,07%	8,46%	8,34%	5,02%	4,06%	2,74%
GK abgehängt	2,39%	5,90%	7,46%	2,05%	3,49%	1,96%
Gipsputz, Dispersion	1,76%	11,55%	7,86%	6,16%	2,14%	1,79%
GK, Dispersion	4,38%	13,76%	9,85%	7,27%	5,14%	4,16%
GK, Akustikputz	4,64%	7,74%	9,88%	2,66%	5,86%	3,91%
GF 2x10mm, Dispersion	4,09%	13,88%	13,25%	7,27%	5,77%	7,78%
Holzverschalung NF d=19,5mm	-6,48%	4,14%	9,54%	1,12%	1,80%	6,19%
Raufasertapete	0,10%	4,06%	4,73%	1,12%	2,50%	-0,78%
Glasfaser, Dispersionsanstrich	0,32%	10,07%	6,34%	6,16%	1,36%	0,51%
Nut+Feder Fichte abgehängt	-5,79%	5,52%	11,55%	1,74%	2,60%	7,63%
Metallkassette 840mm	10,20%	15,49%	14,50%	6,44%	28,57%	7,11%
GF + Holz UK 2x10mm	2,08%	6,05%	11,04%	2,05%	4,14%	5,75%
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	7,78%	11,55%	15,11%	3,86%	8,41%	6,27%
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	1,72%	-1,54%	-2,53%	-0,25%	-0,03%	0,10%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	0,31%	3,76%	3,63%	0,79%	1,68%	2,21%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	2,17%	4,16%	3,09%	0,94%	2,47%	3,38%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	2,49%	6,66%	4,74%	2,57%	3,47%	8,22%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	5,28%	8,41%	4,76%	3,57%	5,08%	11,92%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	2,02%	6,57%	4,74%	2,87%	3,32%	8,15%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	4,62%	8,28%	4,76%	4,02%	4,87%	11,82%

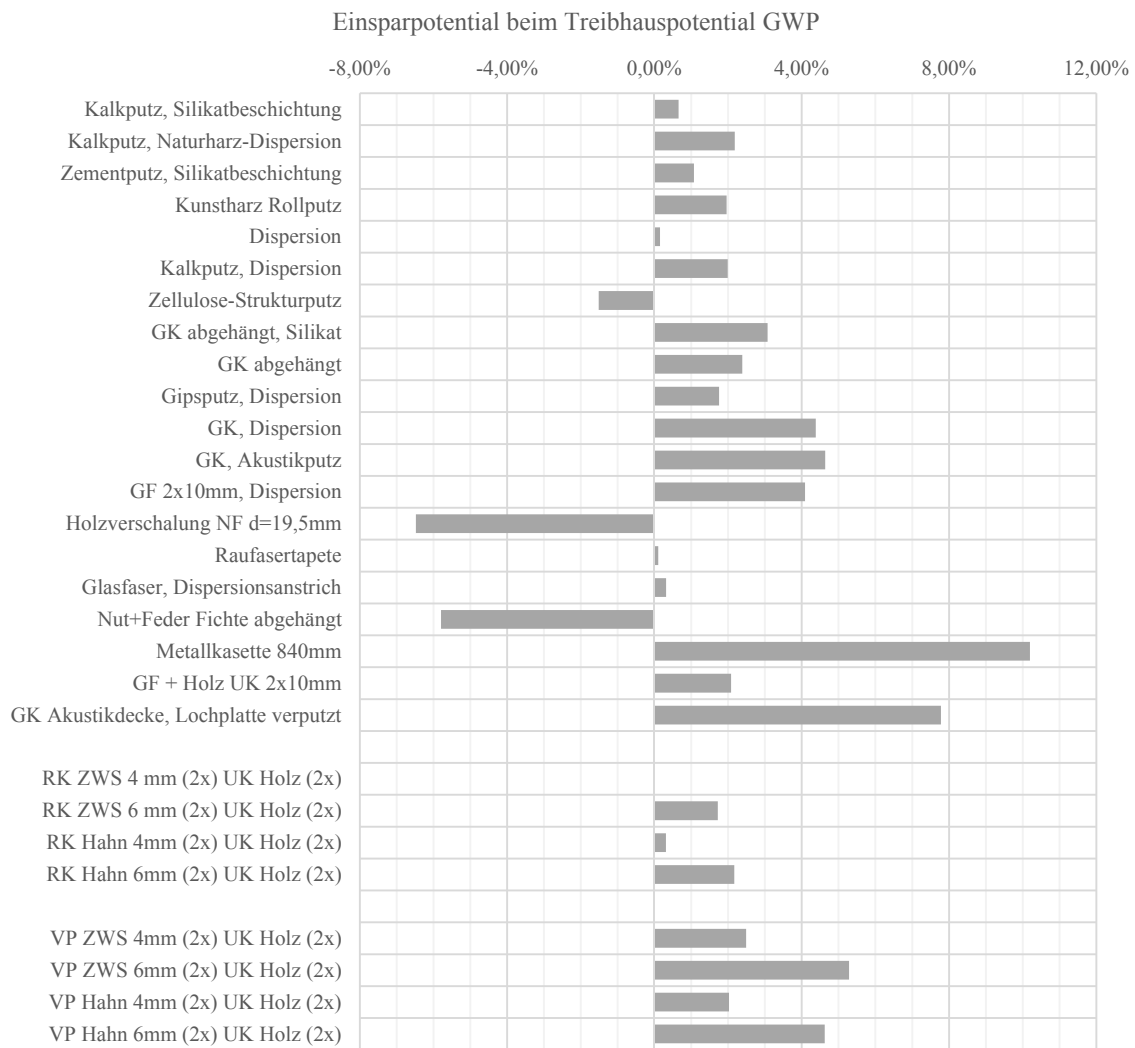


Abbildung 78 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Treibhauspotential (GWP) ist zu erkennen, dass die Bekleidungen Zellulose-Strukturputz, Holzverschalung NF und Nut+Feder Fichte abgehängt besser abschneiden als die Rezyklatbekleidung. Bei den übrigen Bekleidungen liegt das Einsparpotential beim Treibhauspotential mit einer Rezyklatbekleidung zwischen 0,10 % und 10,00 %.

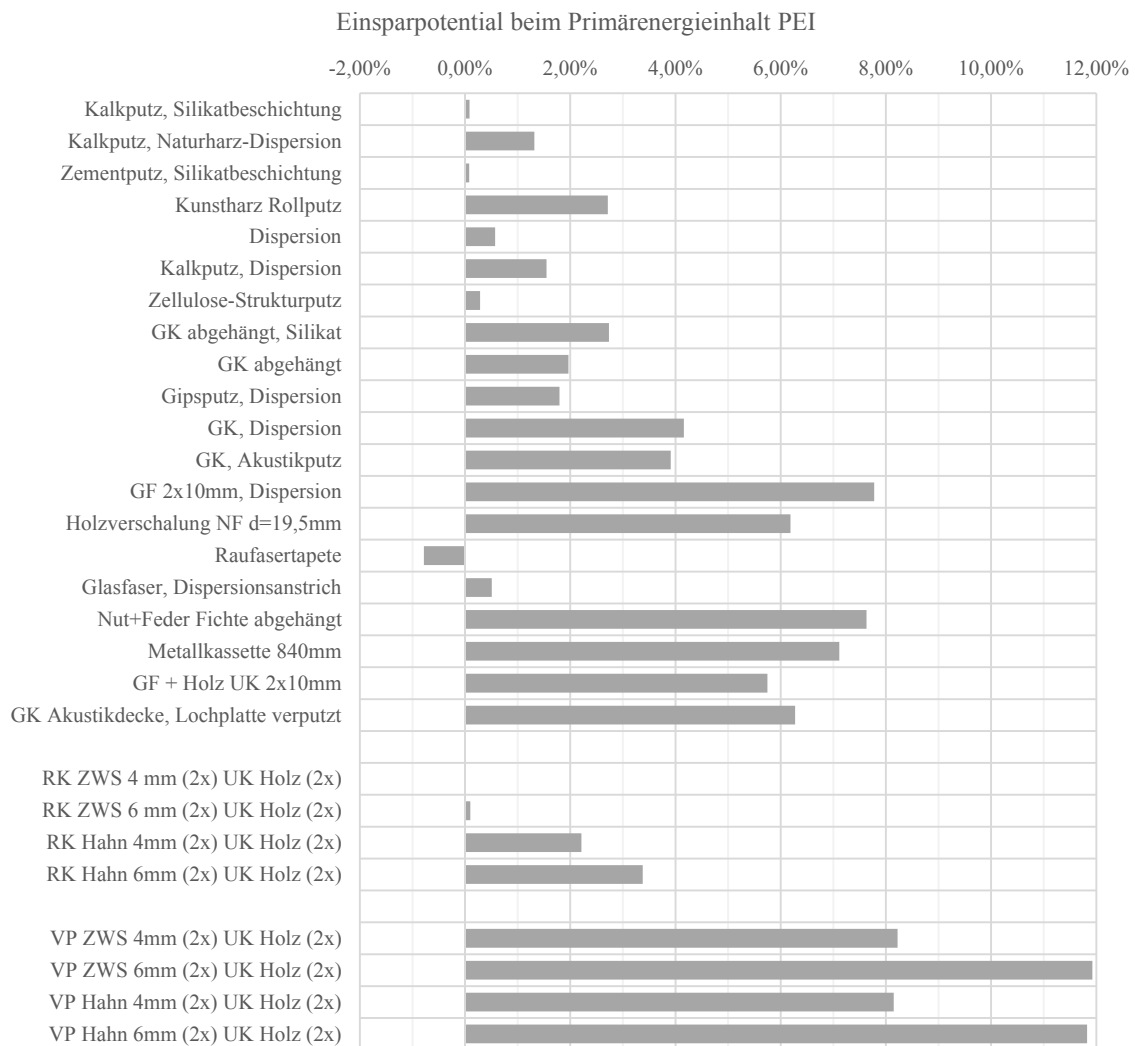


Abbildung 79 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Primärenergieinhalt (PEI) ist zu erkennen, dass nur die Bekleidung Raufasertapete besser abschneidet als die Rezyklatbekleidung. Bei den übrigen Bekleidungen liegt das Einsparpotential beim Primärenergieinhalt mit einer Rezyklatbekleidung zwischen 0,08 % und 11,72 %.

8.1.2 Auswirkungen beim Einsatz aller funktionellen Einheiten

Beim Einsatz aller drei oben beschriebenen Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen als Alternative zu denen im Referenzprojekt Büro geplanten Bekleidungen ergeben sich die in Tabelle 68 aufgeführten Ergebnisse.

Tabelle 68 Anteil der Umweltwirkungen der Bekleidungen AWB, IWB und DB aus Rezyklatkunststoffen an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion (100 %) des Referenzgebäudes Büro und deren mögliche Auswirkungen

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AWB RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x)	41.028	-107	-0,002234597	-2,29	1,31938	240.102
IWB RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	96.332	-428	-0,008024115	-21,01	5,71223	1.708.042
DB RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	42.167	-187	-0,003512397	-9,20	2,50042	747.661
Summe Oberflächenbekleidungen (OB)	179.527	-722	-0,013771109	-32,49	9,53203	2.695.805
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	2.121.193	4.777	0,070011173	1.557	667,62074	40.673.588
Anteil OB an UW Baukonstruktion	8,46%	-15,11%	-19,67%	-2,09%	1,43%	6,63%
Vergleich Referenzprojekt Büro AWB, IWB, DB						
Referenz	12,67%	29,60%	17,32%	19,08%	11,50%	14,45%
RK ZWS	8,46%	-15,11%	-19,67%	-2,09%	1,43%	6,63%
Einsparung durch RK ZWS gegenüber Referenz	-4,59%	-38,84%	-30,91%	-20,74%	-10,22%	-8,37%

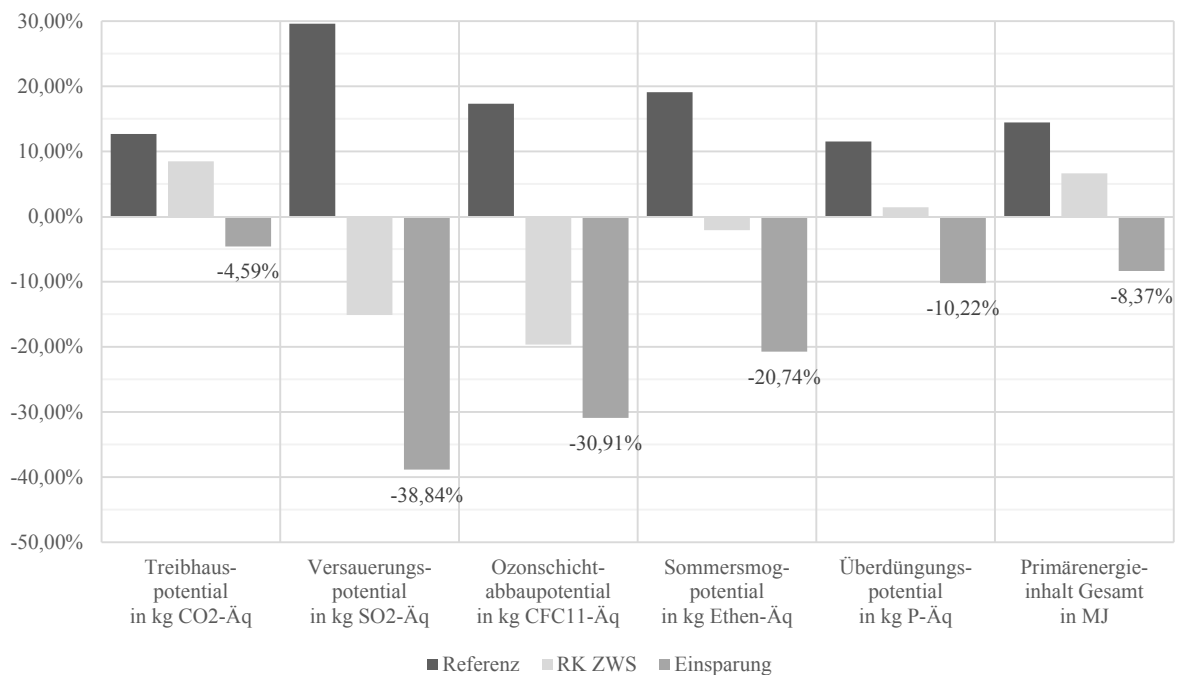


Abbildung 80 Auswirkung von RK ZWS in AWB 6 mm, IWB 4 mm und DB 4 mm, auf die Ökobilanz der Baukonstruktion des Referenzprojekts Büro

In Abbildung 80 sind die Ergebnisse zum besseren Verständnis in einem Diagramm dargestellt. In allen Umweltwirkungskategorien könnte durch den Einsatz von Rezyklatbekleidungen, alternativ zu den in den Referenzprojekten eingesetzten Bekleidungen, eine Verbesserung erreicht werden. Die Reduktionen betragen im geringsten Fall beim Treibhauspotential -4,59 % und im besten Fall beim Versauerungspotential sogar -38,84 % von den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro.

Aus den in dieser Arbeit verglichenen Alternativen der funktionellen Einheiten wird in den folgenden Tabellen die jeweils beste und schlechteste Lösung kombiniert und mit der Referenz verglichen.

Tabelle 69 Bekleidungsvariante mit den geringsten Auswirkungen auf die Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro (Min. Variante)

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW Stülpschalung Lärche, d=22mm,	-49.109	59	0,003242063	7,58	8,962	1.974.034
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	182.918	-668	-0,013274222	-31,51	5,204	1.807.794
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	80.069	-293	-0,005810527	-13,79	2,278	791.326
Summe Oberflächenbekleidungen (OB)	213.878	-902	-0,015842685	-37,72	16,443	4.573.155
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	2.155.543	4.597	0,067939597	1.551,37	674,533	42.550.938
Anteil an Baukonstruktion	9,92%	-19,62%	-23,32%	-2,43%	2,44%	10,75%
Vergleich Referenzprojekt Büro AWB, IWB, DB						
Referenz	12,67%	29,60%	17,32%	19,08%	11,50%	14,45%
Min. Variante	9,92%	-19,62%	-23,32%	-2,43%	2,44%	10,75%
Veränderung	-3,05%	-41,15%	-32,95%	-21,01%	-9,29%	-4,14%

Tabelle 70 Bekleidungsvariante mit den größten Auswirkungen auf die Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Büro (Max. Variante)

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW VHF-B., Stahlplattenfassade	339.208	1.899	0,028302090	112,21	875,994	5.130.209
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-110.496	2.180	0,025057044	1.709,05	383,392	21.702.064
Metallkassette 840mm	287.931	1.084	0,012293599	117,81	290,287	4.071.084
Summe Oberflächenbekleidungen (OB)	516.643	5.162	0,065652732	1939,07	1549,672	30.903.357
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	2.458.308	10.661	0,149435014	3.528,16	2.207,761	68.881.140
Anteil an Baukonstruktion	21,02%	48,42%	43,93%	54,96%	70,19%	44,86%
Vergleich Referenzprojekt Büro AWB, IWB, DB						
Referenz	12,67%	29,60%	17,32%	19,08%	11,50%	14,45%
Max. Variante	21,02%	48,42%	43,93%	54,96%	70,19%	44,86%
Veränderung	10,57%	36,50%	47,47%	79,65%	196,88%	55,17%

8.2 Ökobilanzielle Auswirkungen am Referenzgebäude Wohnbau

In Tabelle 71 werden die Ergebnisse der Berechnung für das Referenzgebäude Wohnen aufgezeigt. Die Bekleidungen einschließlich deren Unterkonstruktion haben einen Anteil von mindestens 13,62 % an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion. Im Fall des Versauerungspotentials (AP) beträgt der Anteil sogar 44,51 %.

Bezogen auf die gesamten Umweltwirkungen (inkl. Betriebsmittel) ist der Anteil der Umweltwirkungen der Bekleidungen sehr unterschiedlich. In der Kategorie Ozonabbaupotential ODP ist der Anteil sehr gering und liegt bei 1,45 %. Bei der Kategorie des Sommersmogpotentials POCP liegt der Anteil jedoch mit 19,66 % bei etwa einem Fünftel der gesamten Umweltwirkungen (inkl. Betriebsmittel).

Diese Aufstellung zeigt, dass Bekleidungen einen wesentlichen Teil zu den gesamten Umweltwirkungen im Lebenszyklus eines Wohngebäudes beitragen können.

Tabelle 71 Anteil der Umweltwirkungen der Funktionellen Einheiten AWB, IWB und DB an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion und der Betriebsmittel des Referenzprojekts Wohnbau

	GWP	AP	ODP	POCP	EP	PEI
Bekleidung	kg CO ₂ - Äq.	kg SO ₂ - Äq.	kg CFC11- Äq.	kg Ethen- Äq.	kg Phosphat- Äq.	MJ
Außenwandbekleidung	6.989	71	0,00035030	9,71	3,128	105.262
Innenwandbekleidung	25.368	201	0,00154258	34,75	7,309	473.340
Deckenbekleidung	11.978	92	0,00053409	14,09	3,098	207.600
Summe Oberflächen- bekleidungen (OB)	44.335	364	0,002426971	58,55	13,535	786.202
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	206.197	819	0,01124043	159,88	99,362	3.986.748
Anteil OB an UW Baukonstruktion	21,50%	44,51%	21,59%	36,62%	13,62%	19,72%
UW gesamt	1.413.619	2.532	0,16768020	297,81	250,514	26.525.318
Anteil OB an UW gesamt	3,14%	14,38%	1,45%	19,66%	5,40%	2,96%

8.2.1 Auswirkungen einzelner funktioneller Einheiten

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen unterschiedlicher Ausführungen einer einzelnen funktionellen Einheit auf die gesamten Umweltwirkungen eines Wohngebäudes aufgezeigt.

a) Außenwandbekleidung

Auswirkungen von unterschiedlichen Außenwandbekleidungen auf die gesamten Umweltwirkungen des Referenzgebäude Wohnbau.

Die Umweltwirkungen der gewählten Außenwandbekleidungen aus Kapitel 7.2.1 wurden mit der Fassadenfläche des Referenzgebäudes Wohnbau 473,33 m² multipliziert, siehe Tabelle 72, und mit den Umweltwirkungen der jeweiligen gesamten Baukonstruktion ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 72 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Außenwandbekleidungsfläche des Referenzgebäudes Wohnbau

Werte für 473,33 m²

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW Stülpchalung Lärche, d= 22 mm, a. UK, Winddichtung	-15.329	18	0,001012	2,367	2,797	616.176
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-6.522	151	0,001476	23,193	9,774	893.586
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-6.144	11	0,000492	1,420	2,679	279.416
AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-13.861	31	0,001404	51,120	4,307	819.874
AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	419	40	0,000488	4,733	8,563	301.573
AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	1.320	44	0,000880	4,733	8,226	324.378
AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	5.416	87	0,001387	5,680	36,711	385.428
AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	14.669	78	0,001717	4,733	8,709	328.562
AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	14.931	49	0,000493	6,153	9,003	215.247
AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	40.377	181	0,004041	11,360	12,581	708.409
AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	26.375	117	0,002669	7,573	5,524	464.465
AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	12.742	37	0,000304	5,207	4,307	181.522
AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	42.491	188	0,004309	11,833	8,842	749.234
AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	45.539	202	0,004622	12,780	9,467	802.966
AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	105.881	593	0,008834	35,026	273,433	1.601.346
AW B., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	14.349	70	0,001061	4,260	3,148	245.417
AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	20.641	105	0,001334	6,153	3,484	348.366
AW B., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	4.414	40	0,000896	3,313	2,532	224.193
AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile	126.359	319	0,009418	33,133	26,885	2.447.604
AW B., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	21.557	112	0,002484	8,520	9,817	658.317
AW B., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	22.431	106	0,002651	8,993	9,500	781.226
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	22.793	56	0,000141	8,081	5,085	777.631
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	20.888	55	0,000141	9,147	4,878	770.945
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	39.640	121	0,001587	11,868	7,906	1.000.370
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	37.736	120	0,001587	12,934	7,699	993.685
AW B., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	36.382	138	0,003103	10,413	10,513	533.883
AW B., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	13.766	46	0,001179	4,260	4,099	206.164
AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	39.600	147	0,003279	11,360	11,814	549.101
AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	31.402	120	0,002669	8,993	9,310	466.476
AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	7.067	53	0,001341	5,207	5,467	423.290
AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	13.656	50	0,001155	3,313	3,981	231.922
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	12.806	-33	-0,000698	-0,716	0,412	74.946
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	14.024	16	-0,000063	1,952	2,631	252.469
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	29.654	32	0,000749	3,071	3,233	297.685
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	30.872	81	0,001384	5,739	5,452	475.209

In Tabelle 73 sind die Anteile der Umweltwirkungen der einzelnen Bekleidungsoptionen aufgeführt. Um nun darzustellen, welchen Einfluss Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen, im Verhältnis zu anderen Bekleidungsoptionen, auf die gesamten Umweltwirkungen des Referenzgebäudes Wohnbau haben können, wurde das Einsparpotential berechnet.

Tabelle 73 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion der Referenzgebäudes Wohnbau

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW Stülpchalung Lärche, d= 22 mm, a. UK, Winddichtung	-8,34%	2,41%	8,50%	1,55%	2,82%	13,70%
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-3,39%	16,76%	11,94%	13,38%	9,22%	18,71%
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-3,18%	1,50%	4,32%	0,94%	2,71%	6,72%
AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-7,48%	3,95%	11,42%	25,40%	4,28%	17,44%
AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	0,21%	5,11%	4,28%	3,06%	8,17%	7,21%
AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	0,66%	5,56%	7,48%	3,06%	7,88%	7,71%
AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	2,65%	10,38%	11,30%	3,64%	27,61%	9,03%
AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	6,86%	9,41%	13,62%	3,06%	8,30%	7,80%
AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	6,97%	6,12%	4,33%	3,94%	8,55%	5,25%
AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	16,85%	19,47%	27,06%	7,03%	11,56%	15,43%
AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	11,69%	13,52%	19,68%	4,80%	5,43%	10,69%
AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	6,01%	4,76%	2,71%	3,35%	4,28%	4,47%
AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	17,58%	20,13%	28,35%	7,30%	8,41%	16,18%
AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	18,61%	21,28%	29,80%	7,84%	8,96%	17,14%
AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	34,70%	44,22%	44,79%	18,91%	73,97%	29,21%
AW B., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	6,72%	8,57%	8,88%	2,76%	3,17%	5,95%
AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	9,39%	12,27%	10,92%	3,94%	3,49%	8,24%
AW B., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	2,17%	5,05%	7,60%	2,16%	2,56%	5,46%
AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile	38,81%	29,94%	46,38%	18,08%	21,84%	38,67%
AW B., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	9,76%	13,05%	18,57%	5,37%	9,26%	14,50%
AW B., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	10,12%	12,47%	19,58%	5,65%	8,98%	16,75%
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	10,27%	6,98%	1,28%	5,11%	5,02%	16,69%
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	9,49%	6,83%	1,28%	5,74%	4,82%	16,57%
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	16,60%	13,97%	12,72%	7,32%	7,59%	20,49%
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	15,93%	13,84%	12,72%	7,93%	7,41%	20,38%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	15,44%	15,60%	22,18%	6,48%	9,85%	12,09%
AW B., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	6,46%	5,84%	9,77%	2,76%	4,09%	5,04%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	16,58%	16,45%	23,14%	7,03%	10,93%	12,39%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	13,62%	13,85%	19,68%	5,65%	8,82%	10,73%
AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	3,43%	6,62%	10,97%	3,35%	5,38%	9,83%
AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	6,42%	6,23%	9,59%	2,16%	3,97%	5,64%
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	6,04%	-4,67%	-6,84%	-0,48%	0,43%	1,89%
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	6,58%	2,04%	-0,58%	1,28%	2,66%	6,11%
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	12,96%	4,10%	6,44%	2,00%	3,25%	7,12%
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	13,42%	9,76%	11,27%	3,68%	5,36%	10,91%

Die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Außenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion wurden ins Verhältnis zur Rezyklat-Bekleidung RK ZWS 6 mm (2x)

UK Holz (2x) gestellt. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 74 dargestellt. Eine positive Prozentangabe steht für den Anteil einer Umweltwirkung, welcher durch den Einsatz der Rezyklat-Bekleidung RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x), anstelle einer anderen Außenwandbekleidung, eingespart werden kann. Eine negative Prozentangabe steht für den Anteil einer Umweltwirkung, welcher durch den Einsatz der Rezyklat-Bekleidung RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x), anstelle einer anderen Außenwandbekleidung, zusätzlich entsteht.

Tabelle 74 Einsparpotentiale durch den Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x)

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AW Stülpeschalung Lärche, d= 22 mm, a. UK, Winddichtung	-13,56%	6,40%	12,42%	1,95%	2,32%	12,03%
AW Paneel, Holzständer, Sperrholz beids.	-8,94%	19,53%	15,27%	13,38%	8,53%	17,14%
AW Schindelbekleidung, 2-lagig, Red Cedar	-8,75%	5,58%	8,98%	1,36%	2,21%	4,91%
AW Deckleistenschalung Fi, d=20 mm, NH-Lasur	-12,77%	7,81%	14,84%	25,08%	3,74%	15,84%
AW B., Titanzink, Stehfalz, UK Holzplatte	-5,55%	8,86%	8,95%	3,40%	7,51%	5,42%
AW B., Kupfer, Stehfalz, UK Holzplatte	-5,13%	9,27%	11,57%	3,40%	7,23%	5,93%
AW B., Edelstahl, Stehfalz, UK Holzplatte	-3,24%	13,67%	14,74%	3,97%	26,57%	7,28%
AW B., Aluminiumelemente, UK Holzlattung, Aluträger	0,78%	12,78%	16,68%	3,40%	7,64%	6,02%
AW B., verzinktes Stahlblech, innen Stahlkassette	0,89%	9,78%	8,98%	4,25%	7,89%	3,42%
AW B., Aluminiumblech, innen Aluminium	10,48%	22,04%	28,21%	7,24%	10,82%	13,80%
AW B., Alu-Wellblechprofile 1,0 mm	5,45%	16,55%	21,82%	5,08%	4,85%	8,96%
AW B., Stahltrapezblech, beschichtet	-0,03%	8,54%	7,67%	3,68%	3,74%	2,62%
AW B., Alu-Paneele 2,0 mm	11,19%	22,64%	29,34%	7,50%	7,75%	14,56%
AW B., Alu-Kassetten 2,0 mm	12,20%	23,71%	30,61%	8,02%	8,28%	15,54%
AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm	28,32%	45,24%	44,15%	18,76%	73,12%	27,84%
AW B., VHF-Keramikplatten, Metall-UK, hinterlüftet	0,65%	12,01%	12,72%	3,11%	2,65%	4,13%
AW B., VHF-Ziegelplatten, Metall-UK	3,22%	15,41%	14,42%	4,25%	2,97%	6,46%
AW B., VHF-Kompositplatten, sichtb. bef., Metall-UK	-3,69%	8,80%	11,67%	2,54%	2,07%	3,64%
AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile	32,53%	31,78%	45,62%	17,94%	20,88%	37,49%
AW B., VHF-HPL-Platten, Klemmprofil, Metall-UK	3,58%	16,12%	20,87%	5,63%	8,57%	12,85%
AW B., VHF-HPL-Platten, sichtb. bef., Metall-UK	3,93%	15,58%	21,73%	5,90%	8,30%	15,15%
VP ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	4,07%	10,56%	6,50%	5,38%	4,45%	15,08%
VP Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	3,32%	10,42%	6,50%	5,99%	4,26%	14,96%
VP ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	10,23%	16,96%	15,93%	7,52%	6,95%	18,96%
VP Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	9,57%	16,85%	15,93%	8,10%	6,77%	18,85%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, durchgef., Klemmprofil, Metall-UK	9,10%	18,47%	23,96%	6,71%	9,15%	10,39%
AW B., Faserzementplatten, 8 mm, beschichtet, Holz-UK	0,41%	9,53%	13,47%	3,11%	3,54%	3,21%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, Stülpdeckung, Metall-UK	10,21%	19,25%	24,80%	7,24%	10,20%	10,70%
AW B., VHF-FZ-Tafeln, 8 mm, besch., Metall-UK	7,32%	16,86%	21,82%	5,90%	8,15%	9,00%
AW B., Faserzement-Wellprofile, Holz-UK	-2,50%	10,24%	14,46%	3,68%	4,80%	8,09%
AW B., VHF-Holzzementtafeln, Metall-UK	0,36%	9,88%	13,32%	2,54%	3,43%	3,82%
RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RK Hahn 6mm (3x) UK Holz (2x)	0,51%	6,07%	5,00%	1,69%	2,16%	4,29%
RK ZWS 6mm (3x) UK Metall (2x)	6,67%	7,94%	10,71%	2,39%	2,73%	5,33%
RK Hahn 6mm (3x) UK Metall (2x)	7,12%	13,11%	14,72%	4,00%	4,78%	9,19%

Zum besseren Verständnis sind die Ergebnisse in Diagrammen dargestellt.

Die Abbildung 81 zeigt das Einsparpotential in der Umweltwirkungskategorie Treibhauspotential GWP bei der Verwendung der funktionellen Einheit Außenwandbekleidung RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Option. Deutlich zu erkennen ist, dass die gewählte Rezyklatvariante im Vergleich besser abschneidet, als jede andere Variante mit einer Metall-Unterkonstruktion bis auf die AWB VHF-Kompositplatte. In dieser Umweltwirkungskategorie schneiden die Bekleidungen aus Holz (Deckleistenschalung, Schindelbekleidung, Paneel/Holzständer/Sperrholz, Stülpchalung) und die Bekleidungen mit einem verhältnismäßig hohen Holzanteil (Metallblechbekleidungen auf Holzplatte) wesentlich besser ab.

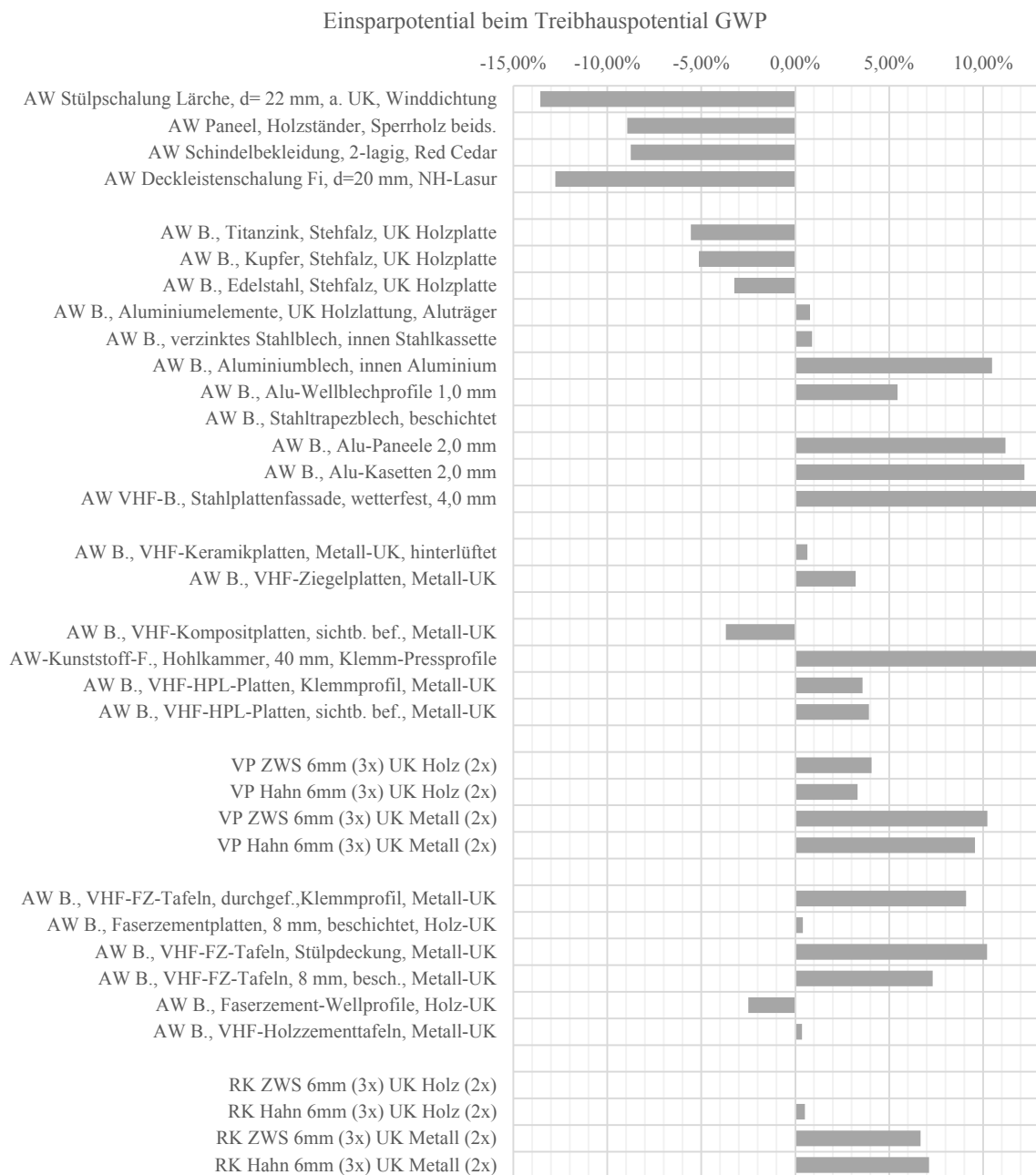


Abbildung 81 Diagramm des Einsparpotentials durch den Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP

Die Werteachse des Diagramms in Abbildung 81 wurde zur besseren Lesbarkeit auf den Bereich -15 % bis 13 % beschnitten. Die Werte der Bekleidung „AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm“ und „AW-Kunststoff-F., Hohlkammer, 40 mm, Klemm-Pressprofile“ überschreitet diesen Bereich. Die Werte für diese Bekleidungen sind in Tabelle 74 zu finden.

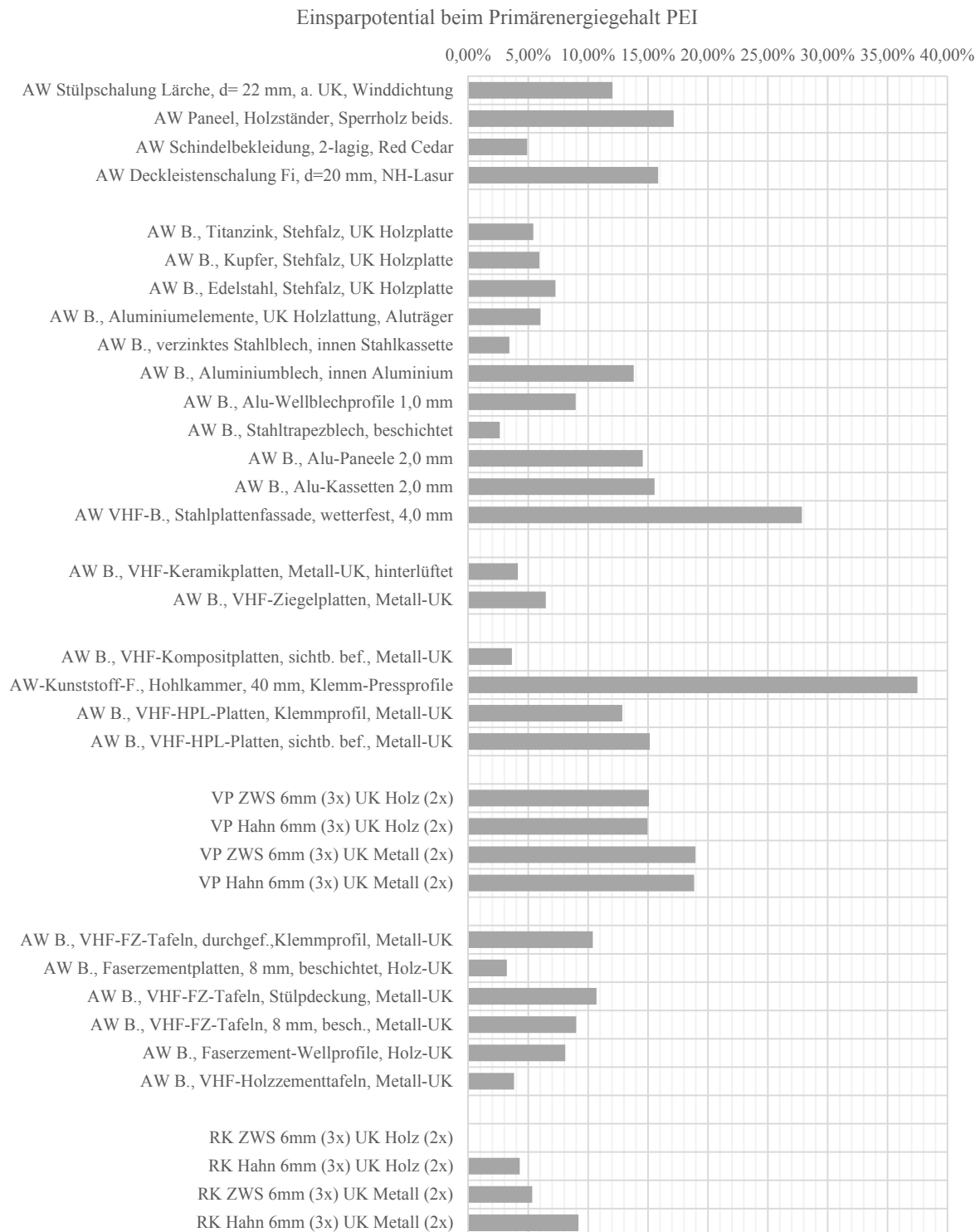


Abbildung 82 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI

Beim Vergleich des Einsparpotentials in der Umweltkategorie Primärenergieinhalt (PEI) Gesamt ist das Ergebnis wesentlich eindeutiger. Hier besteht durch die Variante RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) das größte Einsparpotential bezüglich des Primärenergieinhalts. Das Einsparpotential liegt zwischen 2,62 % und 37,49 % im Gegensatz zu den gewählten Außenwandbekleidungen.

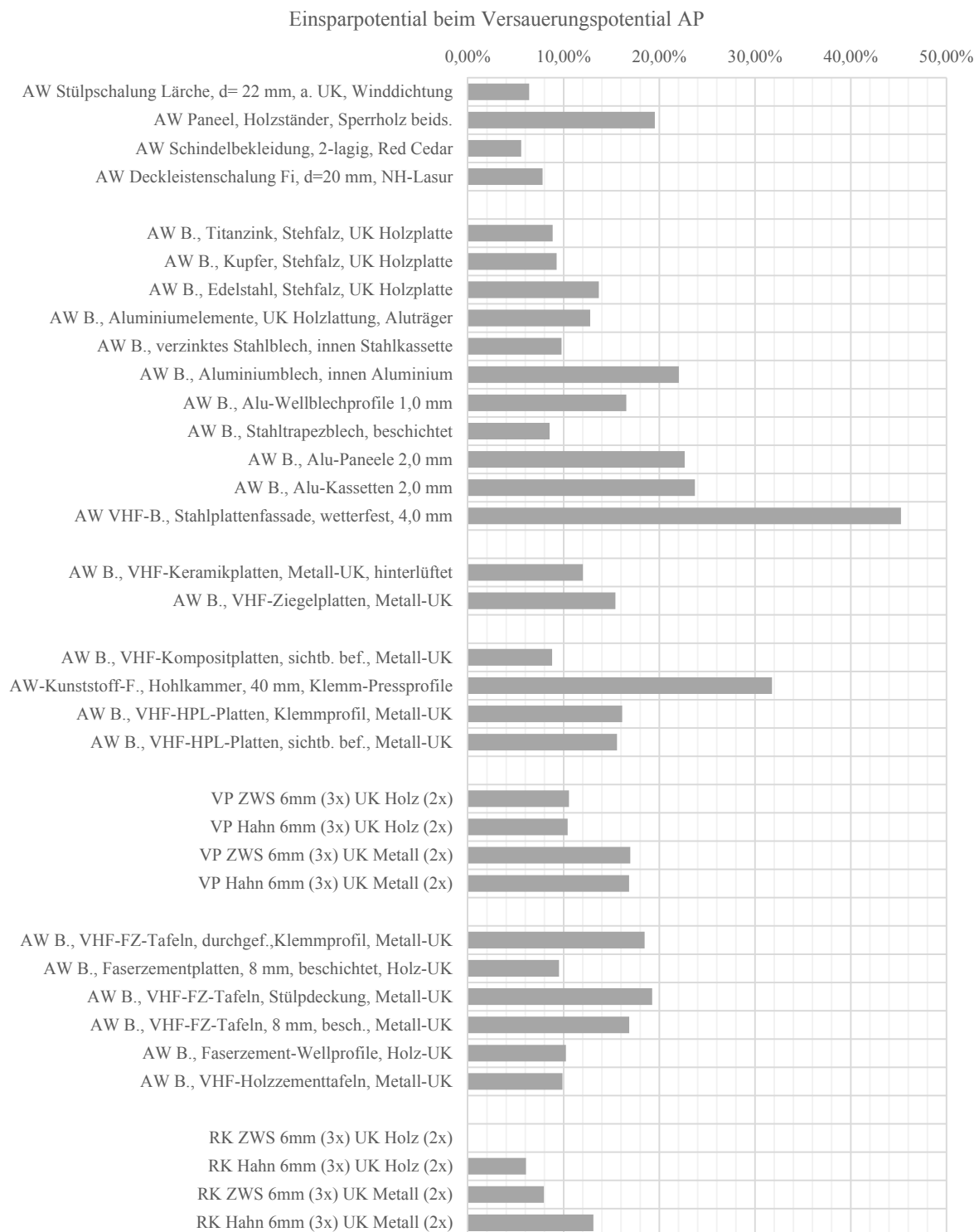


Abbildung 83 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Versauerungspotential AP

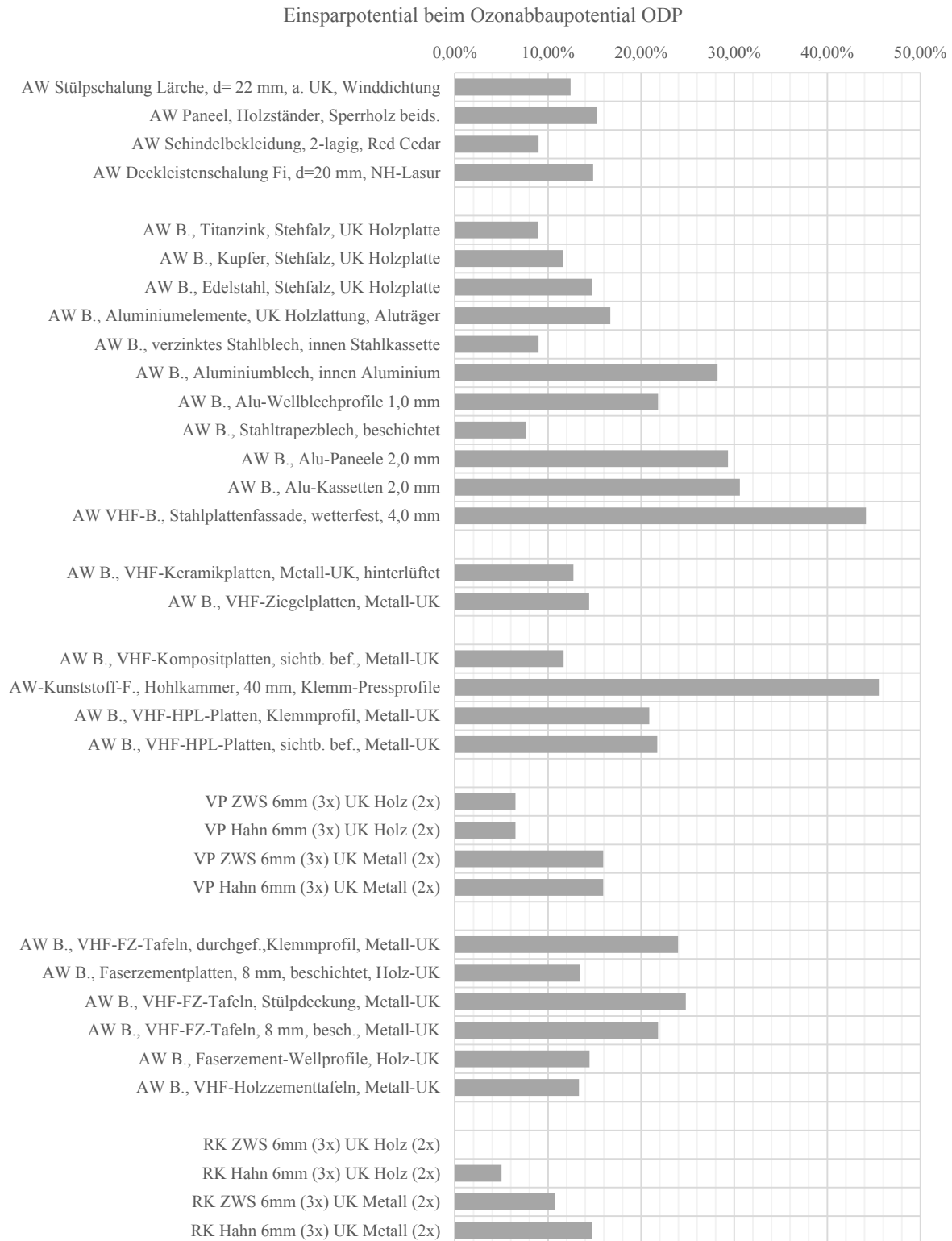


Abbildung 84 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Ozonabbaupotential ODP

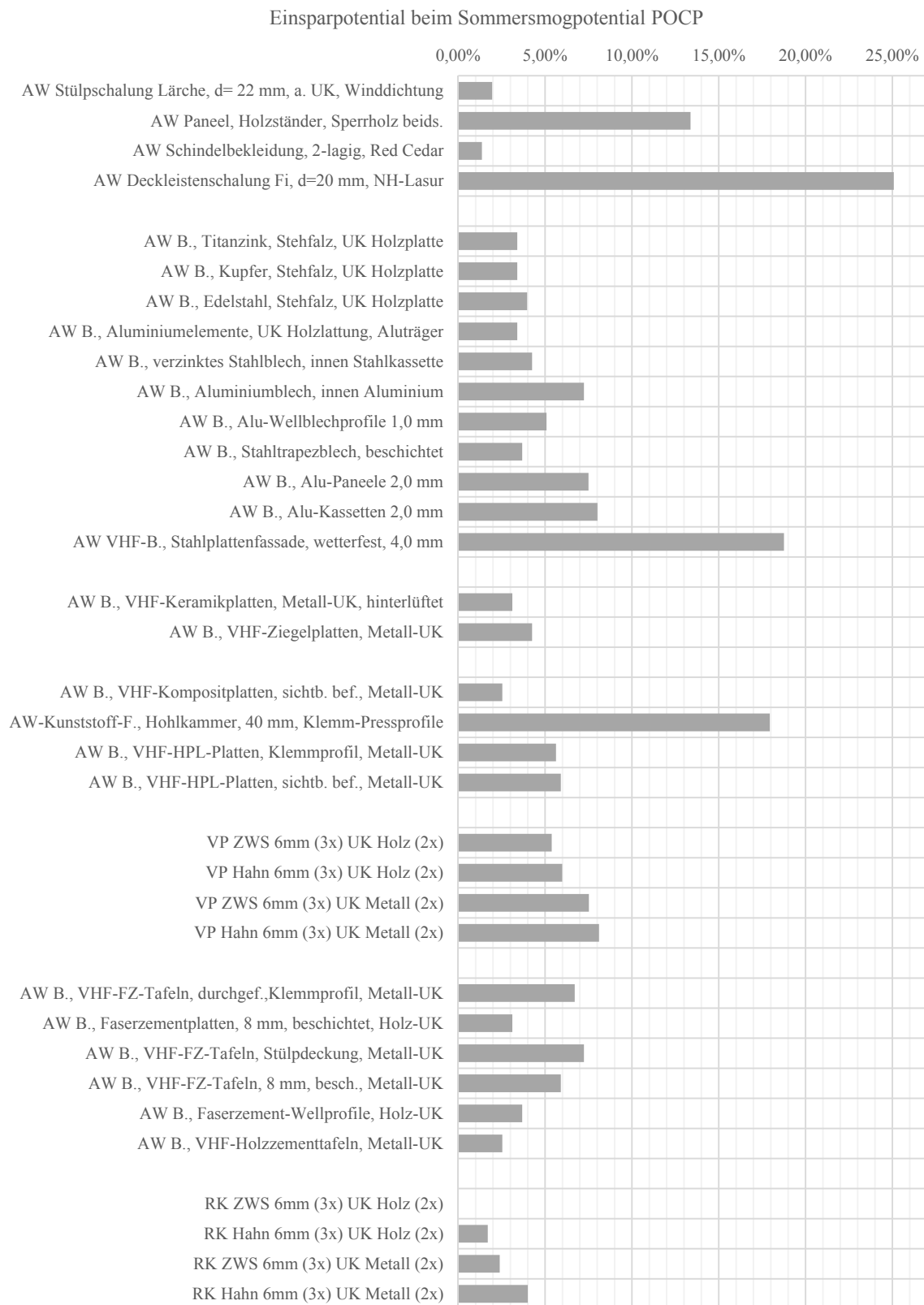


Abbildung 85 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Sommersmogpotential POCP

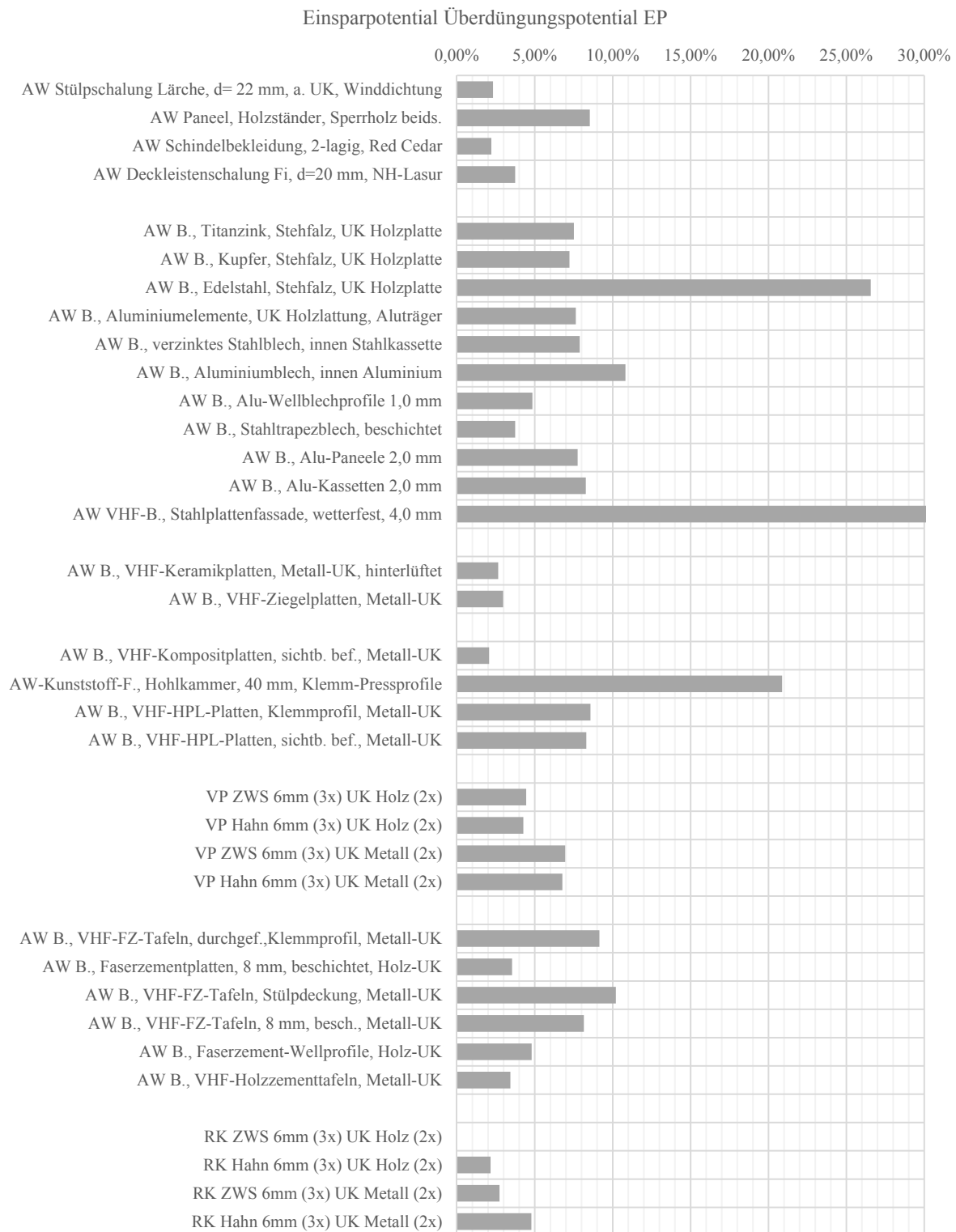


Abbildung 86 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Überdüngungspotential EP

Die Werteachse des Diagramms in Abbildung 86 wurde zur besseren Lesbarkeit auf den Bereich 0 % bis 30 % beschnitten. Der Wert der Bekleidung AW VHF-B., Stahlplattenfassade, wetterfest, 4,0 mm überschreitet diesen Bereich. Der Wert für diese Bekleidung ist in Tabelle 74 zu finden.

b) Innenwandbekleidung

Auswirkungen von unterschiedlichen Innenwandbekleidungen auf die gesamten Umweltwirkungen des Referenzgebäudes Wohnen.

Die Umweltwirkungen der gewählten Innenwandbekleidungen aus Kapitel 7.2.2 Innenwandbekleidungen wurden mit der Innenwandfläche des Referenzgebäudes Wohnbau 3.505,897 m² multipliziert, siehe Tabelle 75 und mit den Umweltwirkungen der gesamten Baukonstruktion ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 75 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Wohnhaus

Werte für die Innenwandfläche 3.505,90 m²

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-28.787	568	0,006528	445,249	99,883	5.653.925
IWK Vorwandinst. Metall, zw. Ständer, GK, Fliesen	174.765	582	0,011415	238,401	54,061	3.294.141
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	182.051	603	0,012439	59,600	56,094	3.230.649
Kalkzementputz, Fliesen, auf Abdichtung	82.287	189	0,003597	196,330	29,835	1.302.055
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	86.582	536	0,005992	84,142	24,892	2.256.045
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	71.492	568	0,004463	77,130	28,959	1.996.573
Kunstharz-Rollputz	52.119	407	0,002836	150,754	15,496	1.193.898
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	97.471	323	0,003506	80,636	29,344	1.188.569
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	86.319	309	0,002710	80,636	29,660	940.983
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	50.979	470	0,003478	77,130	15,040	1.142.922
Kalkzementputz, Fliesen	89.572	210	0,004624	17,529	31,904	1.238.528
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	57.942	452	0,003138	77,130	14,620	1.086.583
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	55.235	445	0,002871	66,612	14,199	998.585
Kalkputz, Dispersion	58.713	449	0,002447	66,612	15,601	936.671
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	56.480	400	0,002451	66,612	14,549	927.450
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	44.083	431	0,002072	66,612	14,479	750.998
Dispersion (auf GK)	31.094	417	0,001735	73,624	8,905	671.940
Dispersion	27.178	400	0,001578	63,106	7,573	596.353
NH-Dispersion (auf Gk)	25.200	351	0,001588	66,612	6,591	592.672
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	16.362	189	0,002591	31,553	22,227	778.870
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	24.944	351	0,001581	63,106	6,521	587.168
Wandspaltplatten	52.438	144	0,003611	10,518	12,481	1.040.340
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	26.340	154	0,001069	42,071	9,571	364.508
Lehmputz, Kaseinfarbe	29.211	137	0,001150	28,047	9,922	453.242
Gipsputz, Raufasertapete	31.139	53	0,001371	7,012	8,029	474.278
Fliesen	24.475	70	0,001827	7,012	6,170	497.066
Silikatbeschichtung	11.201	126	0,000614	35,059	3,541	271.181
Silikat-Dispersion (auf GK)	9.911	123	0,000589	38,565	2,840	218.803
Silikat-Dispersion (auf Beton)	9.280	119	0,000564	35,059	2,629	206.743
ZWS Recycling Bauteil 4 mm (2x) UK Holz (2x)	25.097	-111	-0,002090	-5,473	1,488	444.987
ZWS Recycling Bauteil 6 mm (2x) UK Holz (2x)	47.655	-174	-0,003458	-8,209	1,356	470.975
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	29.105	50	-0,000001	3,310	8,795	1.029.384
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	53.667	68	-0,000324	4,965	12,315	1.347.570
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	57.971	183	0,000669	23,487	16,871	2.758.188
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	96.965	268	0,000681	35,231	24,430	3.940.777
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	51.702	179	0,000669	26,995	16,192	2.736.180
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	87.563	261	0,000682	40,493	23,411	3.907.765

Tabelle 76 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnhaus

Bekleidung	GWP kg CO2- Äq.	AP kg SO2- Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-18,93%	47,89%	40,23%	78,06%	52,04%	61,67%
IWK Vorwandinst. Metall, zw. Ständer, GK, Fliesen	49,15%	48,50%	54,07%	65,58%	37,00%	48,39%
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	50,17%	49,38%	56,19%	32,26%	37,86%	47,90%
Kalkzementputz, Fliesen auf Abdichtung	31,27%	23,45%	27,06%	61,08%	24,48%	27,04%
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	32,38%	46,46%	38,19%	40,21%	21,29%	39,10%
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	28,33%	47,89%	31,52%	38,13%	23,93%	36,24%
Kunstharz-Rollputz	22,37%	39,69%	22,63%	54,64%	14,41%	25,36%
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	35,02%	34,29%	26,55%	39,19%	24,17%	25,28%
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	32,31%	33,30%	21,84%	39,19%	24,37%	21,12%
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	21,99%	43,18%	26,40%	38,13%	14,04%	24,55%
Kalkzementputz, Fliesen	33,13%	25,39%	32,29%	12,29%	25,74%	26,06%
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	24,27%	42,25%	24,45%	38,13%	13,71%	23,62%
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	23,40%	41,87%	22,84%	34,74%	13,36%	22,13%
Kalkputz, Dispersion	24,51%	42,06%	20,15%	34,74%	14,49%	21,05%
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	23,80%	39,27%	20,17%	34,74%	13,65%	20,88%
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	19,60%	41,10%	17,60%	34,74%	13,59%	17,61%
Dispersion (auf GK)	14,67%	40,30%	15,18%	37,04%	8,82%	16,05%
Dispersion	13,07%	39,27%	13,99%	33,53%	7,60%	14,51%
NH-Dispersion (auf Gk)	12,23%	36,19%	14,07%	34,74%	6,68%	14,43%
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	8,30%	23,45%	21,08%	20,14%	19,45%	18,15%
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	12,12%	36,19%	14,02%	33,53%	6,62%	14,32%
Wandspaltplatten	22,48%	18,87%	27,13%	7,75%	11,94%	22,85%
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	12,71%	19,97%	9,93%	25,16%	9,42%	9,40%
Lehmputz, Kaseinfarbe	13,91%	18,11%	10,60%	18,31%	9,73%	11,43%
Gipsputz, Raufasertapete	14,69%	7,84%	12,38%	5,31%	8,02%	11,89%
Fliesen	11,92%	10,19%	15,85%	5,31%	6,28%	12,39%
Silikatbeschichtung	5,83%	16,96%	5,95%	21,89%	3,70%	7,17%
Silikat-Dispersion (auf GK)	5,20%	16,56%	5,73%	23,56%	2,99%	5,86%
Silikat-Dispersion (auf Beton)	4,88%	16,17%	5,50%	21,89%	2,78%	5,56%
ZWS Recycling Bauteil 4 mm (2x) UK Holz (2x)	12,19%	-21,99%	-27,48%	-4,57%	1,59%	11,24%
ZWS Recycling Bauteil 6 mm (2x) UK Holz (2x)	20,86%	-39,23%	-55,42%	-7,02%	1,45%	11,82%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	13,86%	7,45%	-0,01%	2,58%	8,72%	22,66%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	22,89%	9,86%	-3,46%	3,82%	11,80%	27,72%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	24,28%	22,85%	6,45%	15,80%	15,49%	43,98%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	34,91%	30,22%	6,56%	21,97%	20,97%	52,87%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	22,23%	22,44%	6,46%	17,75%	14,96%	43,78%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	32,63%	29,71%	6,57%	24,45%	20,28%	52,66%

In Tabelle 76 sind die Anteile der Umweltwirkungen der unterschiedlichen Innenwandbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnhaus aufgeführt.

Um darzustellen, welchen Einfluss Innenwandbekleidungen aus Rezyklatkunststoffen im Verhältnis zu anderen Bekleidungsoptionen auf die gesamten Umweltwirkungen eines Gebäudes haben können, wurde das Einsparpotential berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 77 enthalten.

Tabelle 77 Einsparpotentiale beim Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)
an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnhaus

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFCl ₁₁ - Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
3 Schicht-Holz-Platte, NH-Lasur	-35,44%	57,28%	53,12%	79,02%	51,26%	56,82%
IWK Vorwandinst. Metall, zw. Ständer, GK, Fliesen	42,09%	57,78%	63,97%	67,09%	35,98%	41,85%
Inst.-Vorsatzschale, GK, Fliesen	43,25%	58,51%	65,63%	35,23%	36,86%	41,31%
Kalkzementputz, Fliesen, auf Abdichtung	21,74%	37,25%	42,78%	62,78%	23,26%	17,80%
Gipsfaser, Raufaser, Dispersion	22,99%	56,11%	51,51%	42,82%	20,01%	31,39%
MS-Platten einseitig 75 mm, Gipsputz, Dispersion	18,39%	57,28%	46,28%	40,84%	22,70%	28,16%
Kunstharz-Rollputz	11,60%	50,56%	39,31%	56,63%	13,02%	15,91%
Gipsputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	26,01%	46,14%	42,38%	41,85%	22,95%	15,81%
Kalkzementputz, Glasgewebetapete, Silikat-Dispersion	22,92%	45,32%	38,69%	41,85%	23,15%	11,13%
12,5 mm GK, Tapete, KH-Dispersion	11,17%	53,43%	42,26%	40,84%	12,65%	14,99%
Kalkzementputz, Fliesen	23,84%	38,84%	46,88%	16,12%	24,54%	16,70%
Gipsputz, Raufasertapete, Beschichtung	13,76%	52,66%	40,73%	40,84%	12,31%	13,95%
Gipsputz, Dispersionsbeschichtung	12,77%	52,35%	39,48%	37,60%	11,96%	12,27%
Kalkputz, Dispersion	14,03%	52,51%	37,36%	37,60%	13,11%	11,05%
Kalkgipsputz, NH-Dispersion	13,22%	50,22%	37,38%	37,60%	12,25%	10,86%
Kalkzementputz, Dispersionsbeschichtung	8,44%	51,72%	35,37%	37,60%	12,19%	7,18%
Dispersion (auf GK)	2,83%	51,06%	33,46%	39,80%	7,35%	5,42%
Dispersion	1,00%	50,22%	32,53%	36,43%	6,11%	3,68%
NH-Dispersion (auf Gk)	0,05%	47,70%	32,59%	37,60%	5,17%	3,60%
Kasein-Farbbeschichtung, Zelluloseputz	-4,43%	37,25%	38,09%	23,63%	18,15%	7,78%
NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz	-0,07%	47,70%	32,55%	36,43%	5,11%	3,47%
Wandspaltplatten	11,72%	33,49%	42,84%	11,79%	10,52%	13,07%
Kalkzementputz, Silikatbeschichtung	0,60%	34,40%	29,35%	28,44%	7,95%	-2,08%
Lehmputz, Kaseinfarbe	1,96%	32,88%	29,87%	21,88%	8,27%	0,21%
Gipsputz, Raufasertapete	2,85%	24,46%	31,27%	9,45%	6,53%	0,73%
Fliesen	-0,30%	26,38%	33,99%	9,45%	4,77%	1,30%
Silikatbeschichtung	-7,24%	31,93%	26,22%	25,30%	2,15%	-4,59%
Silikat-Dispersion (auf GK)	-7,96%	31,61%	26,05%	26,90%	1,42%	-6,06%
Silikat-Dispersion (auf Beton)	-8,32%	31,28%	25,87%	25,30%	1,21%	-6,40%
ZWS Recycling Bauteil 4 mm (2x) UK Holz (2x)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ZWS Recycling Bauteil 6 mm (2x) UK Holz (2x)	9,87%	-14,13%	-21,92%	-2,34%	-0,14%	0,65%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	1,91%	24,13%	21,55%	6,84%	7,24%	12,86%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	12,18%	26,11%	18,84%	8,02%	10,37%	18,57%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	13,77%	36,76%	26,62%	19,49%	14,12%	36,88%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	25,87%	42,80%	26,70%	25,38%	19,70%	46,90%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	11,44%	36,42%	26,62%	21,34%	13,58%	36,66%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	23,27%	42,38%	26,71%	27,75%	18,99%	46,66%

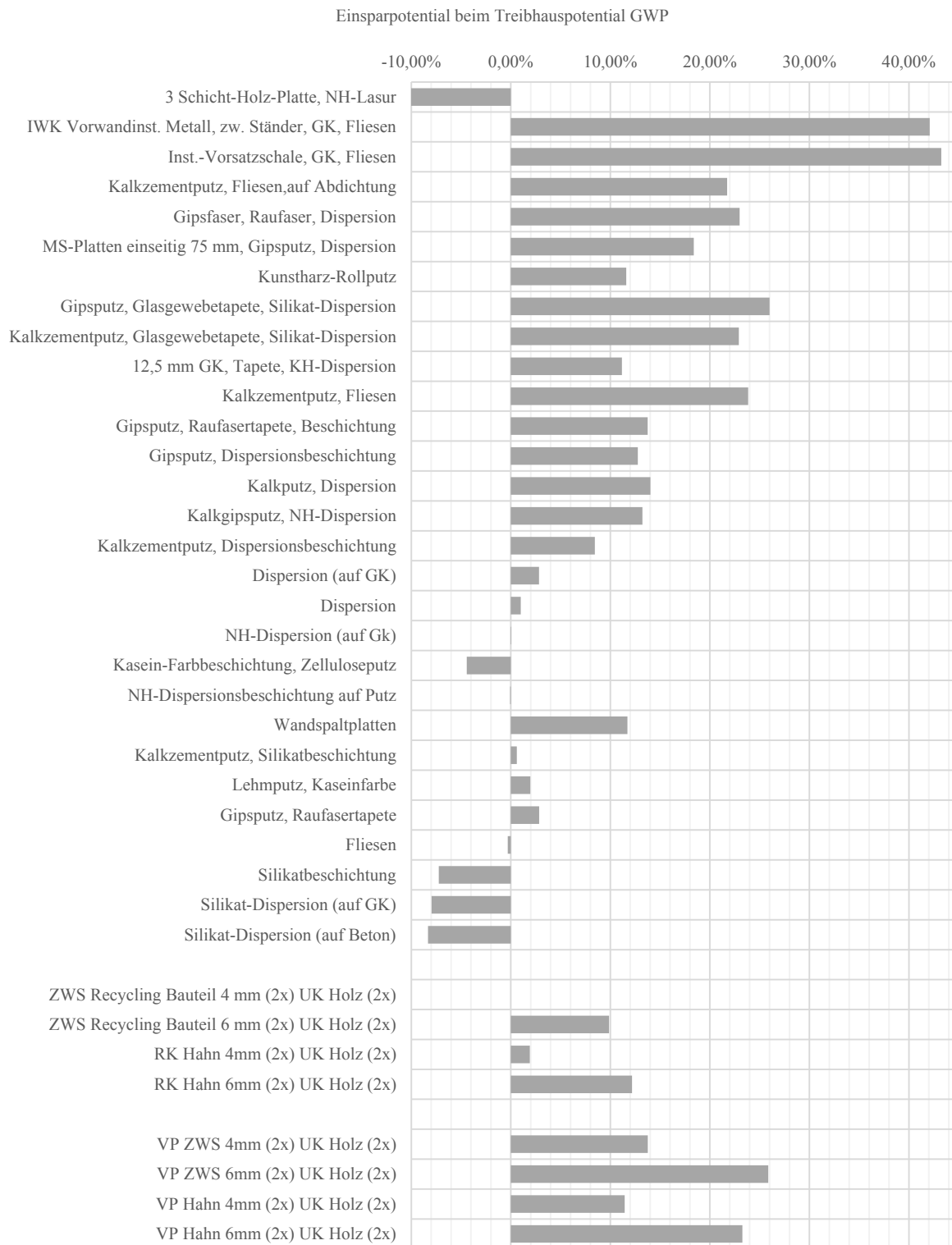


Abbildung 87 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP

Die Werteachse des Diagramms in Abbildung 87 wurde zur besseren Lesbarkeit auf den Bereich -10 % bis 37 % beschnitten. Der Werte der ersten Bekleidung überschreitet diesen Bereich. Der Wert für diese Bekleidung ist in Tabelle 77 zu finden.

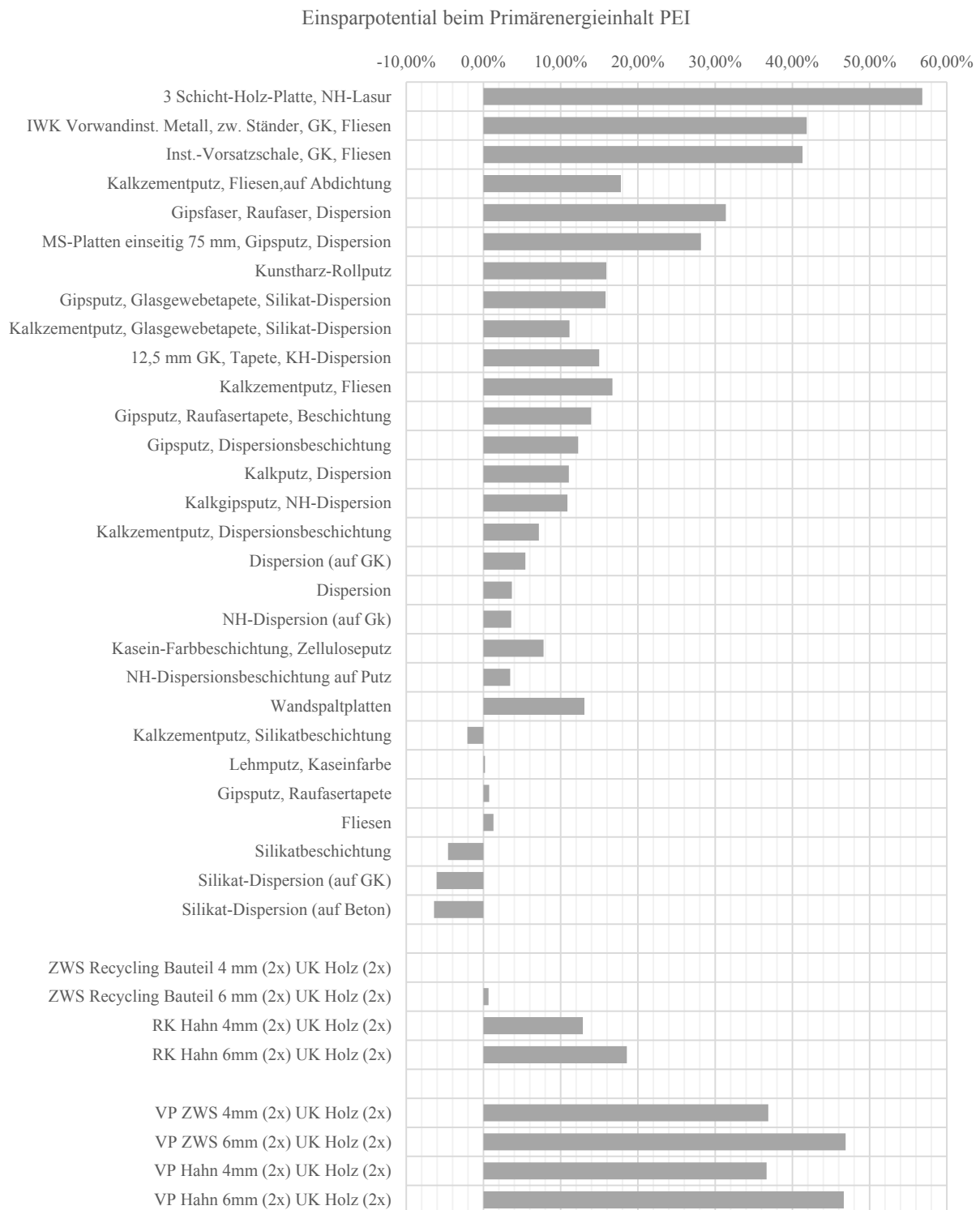


Abbildung 88 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI

c) Deckenbekleidung

Auswirkungen von unterschiedlichen Deckenbekleidungen auf die gesamten Umweltwirkungen des Referenzgebäude Wohnbau.

Die Umweltwirkungen der gewählten Deckenbekleidungen aus Kapitel 7.2.3 Deckenbekleidungen wurden mit der Deckenfläche des Referenzgebäudes Wohnbau 703,584 m² multipliziert (siehe Tabelle 78) und mit den Umweltwirkungen der gesamten Baukonstruktion ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 78 Umweltwirkungen der unterschiedlichen Deckenbekleidungen bezogen auf die gesamte Bekleidungsfläche des Referenzgebäudes Wohnbau

Werte für 703,584 m²

Bekleidung	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	6.743	30,96	0,000243	8,443	1,470	93.682
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	10.806	75,99	0,000433	13,368	2,251	158.398
Zementputz, Silikatbeschichtung	7.842	35,18	0,000286	8,443	2,878	93.366
Kunsthartz Rollputz	10.205	80,21	0,000555	29,551	3,032	233.878
Dispersion	5.424	79,50	0,000315	12,665	1,513	119.046
Kalkputz, Dispersion	10.284	86,54	0,000443	13,368	2,456	170.809
Zellulose-Strukturputz	1.185	17,59	0,000393	1,407	3,771	104.095
GK abgehängt, Silikat	13.238	54,18	0,000593	10,554	3,940	235.032
GK abgehängt	11.355	29,55	0,000478	3,518	3,405	193.120
Gipsputz, Dispersion	9.657	85,84	0,000530	13,368	2,181	183.987
GK, Dispersion	16.885	109,76	0,000797	16,182	4,960	314.157
GK, Akustikputz	17.607	47,14	0,000801	4,925	5,650	300.212
GF 2x10mm, Dispersion	16.062	111,17	0,001281	16,182	5,565	526.407
Holzverschalung NF d=19,5mm	-10.698	13,37	0,000754	1,407	1,872	431.079
Raufasertapete	5.304	12,66	0,000134	1,407	2,505	49.047
Glasfaser, Dispersionsanstrich	5.858	70,36	0,000334	13,368	1,485	115.683
Nut+Feder Fichte abgehängt	-9.124	26,03	0,001034	2,814	2,596	517.409
Metallkassette 840mm	34.391	129,46	0,001468	14,072	34,673	486.261
GF + Holz UK 2x10mm	10.532	30,96	0,000962	3,518	4,010	405.363
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	26.852	85,84	0,001562	7,739	8,190	436.243
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	5.037	-22,36	-0,000420	-1,098	0,299	89.303
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	9.564	-34,95	-0,000694	-1,647	0,272	94.518
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	5.841	9,98	0,000000	0,664	1,765	206.583
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	10.770	13,57	-0,000065	0,996	2,472	270.438
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	11.634	36,74	0,000134	4,714	3,386	553.529
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	19.460	53,71	0,000137	7,070	4,903	790.858
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	10.376	35,89	0,000134	5,418	3,249	549.113
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	17.573	52,43	0,000137	8,126	4,698	784.233

In Tabelle 79 sind die Anteile der Umweltwirkungen der einzelnen Bekleidungsoptionen aufgeführt. Um darzustellen, welchen Einfluss Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen im Verhältnis zu anderen Bekleidungsoptionen auf die gesamten Umweltwirkungen eines Gebäudes haben können, wurde das Einsparpotential berechnet.

Tabelle 79 Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Deckenbekleidungen an den gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzprojekts Wohnbau

Bekleidung	GWP kg CO2- Äq.	AP kg SO2- Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	3,36%	4,09%	2,22%	5,47%	1,50%	2,42%
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	5,27%	9,47%	3,89%	8,40%	2,29%	4,02%
Zementputz, Silikatbeschichtung	3,88%	4,62%	2,60%	5,47%	2,90%	2,41%
Kunstharz Rollputz	4,99%	9,94%	4,93%	16,85%	3,05%	5,83%
Dispersion	2,72%	9,87%	2,85%	7,99%	1,55%	3,05%
Kalkputz, Dispersion	5,03%	10,65%	3,98%	8,40%	2,49%	4,32%
Zellulose-Strukturputz	0,61%	2,36%	3,54%	0,96%	3,77%	2,68%
GK abgehängt, Silikat	6,38%	6,94%	5,25%	6,75%	3,93%	5,86%
GK abgehängt	5,52%	3,91%	4,28%	2,36%	3,42%	4,86%
Gipsputz, Dispersion	4,74%	10,57%	4,72%	8,40%	2,22%	4,64%
GK, Dispersion	8,00%	13,13%	6,93%	9,99%	4,90%	7,67%
GK, Akustikputz	8,31%	6,09%	6,96%	3,27%	5,54%	7,36%
GF 2x10mm, Dispersion	7,64%	13,27%	10,68%	9,99%	5,47%	12,23%
Holzverschalung NF d=19,5mm	-5,83%	1,81%	6,58%	0,96%	1,91%	10,24%
Raufasertapete	2,66%	1,71%	1,23%	0,96%	2,54%	1,28%
Glasfaser, Dispersionsanstrich	2,93%	8,83%	3,03%	8,40%	1,52%	2,97%
Nut+Feder Fichte abgehängt	-4,93%	3,46%	8,81%	1,89%	2,63%	12,04%
Metallkassette 840mm	15,04%	15,13%	12,06%	8,80%	26,48%	11,40%
GF + Holz UK 2x10mm	5,14%	4,09%	8,24%	2,36%	4,00%	9,69%
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	12,15%	10,57%	12,73%	5,04%	7,84%	10,35%
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	2,53%	-3,18%	-4,08%	-0,76%	0,31%	2,31%
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	4,69%	-5,06%	-6,93%	-1,14%	0,28%	2,44%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	2,92%	1,36%	0,00%	0,45%	1,80%	5,18%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	5,25%	1,83%	-0,61%	0,68%	2,50%	6,68%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	5,65%	4,82%	1,24%	3,13%	3,40%	12,78%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	9,11%	6,89%	1,26%	4,63%	4,85%	17,31%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	5,07%	4,71%	1,24%	3,58%	3,27%	12,69%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	8,30%	6,73%	1,26%	5,28%	4,65%	17,19%

Tabelle 80 Einsparpotential durch den Einsatz des Rezyklatbauteils RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)

Bekleidung	GWP kg CO2- Äq.	AP kg SO2- Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
Kalkputz, Silikatbeschichtung	0,85%	7,04%	6,05%	6,19%	1,20%	0,11%
Kalkputz, Naturharz-Dispersion	2,81%	12,26%	7,66%	9,09%	1,98%	1,75%
Zementputz, Silikatbeschichtung	1,39%	7,56%	6,42%	6,19%	2,60%	0,10%
Kunstharz Rollputz	2,53%	12,72%	8,65%	17,48%	2,75%	3,60%
Dispersion	0,19%	12,64%	6,66%	8,69%	1,24%	0,76%
Kalkputz, Dispersion	2,57%	13,40%	7,74%	9,09%	2,18%	2,06%
Zellulose-Strukturputz	-1,97%	5,37%	7,32%	1,70%	3,47%	0,38%
GK abgehängt, Silikat	3,95%	9,81%	8,96%	7,45%	3,63%	3,63%
GK abgehängt	3,07%	6,87%	8,03%	3,09%	3,12%	2,61%
Gipsputz, Dispersion	2,27%	13,32%	8,45%	9,09%	1,91%	2,39%
GK, Dispersion	5,61%	15,80%	10,58%	10,67%	4,61%	5,49%
GK, Akustikputz	5,93%	8,99%	10,60%	4,00%	5,25%	5,17%
GF 2x10mm, Dispersion	5,24%	15,94%	14,18%	10,67%	5,17%	10,15%
Holzverschalung NF d=19,5mm	-8,57%	4,83%	10,24%	1,70%	1,60%	8,12%
Raufasertapete	0,13%	4,74%	5,10%	1,70%	2,23%	-1,05%
Glasfaser, Dispersionsanstrich	0,41%	11,64%	6,83%	9,09%	1,21%	0,68%
Nut+Feder Fichte abgehängt	-7,65%	6,43%	12,38%	2,63%	2,32%	9,96%
Metallkassette 840mm	12,84%	17,74%	15,51%	9,49%	26,25%	9,31%
GF + Holz UK 2x10mm	2,68%	7,04%	11,84%	3,09%	3,70%	7,55%
GK Akustikdecke, Lochplatte verputzt	9,87%	13,32%	16,15%	5,76%	7,55%	8,23%
RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RK ZWS 6 mm (2x) UK Holz (2x)	2,22%	-1,82%	-2,74%	-0,38%	-0,03%	0,13%
RK Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	0,40%	4,39%	3,92%	1,20%	1,50%	2,94%
RK Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	2,80%	4,86%	3,33%	1,43%	2,20%	4,47%
VP ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	3,20%	7,75%	5,11%	3,86%	3,10%	10,71%
VP ZWS 6mm (2x) UK Holz (2x)	6,75%	9,75%	5,13%	5,34%	4,55%	15,35%
VP Hahn 4mm (2x) UK Holz (2x)	2,61%	7,64%	5,11%	4,31%	2,97%	10,62%
VP Hahn 6mm (2x) UK Holz (2x)	5,92%	9,60%	5,13%	5,99%	4,36%	15,23%

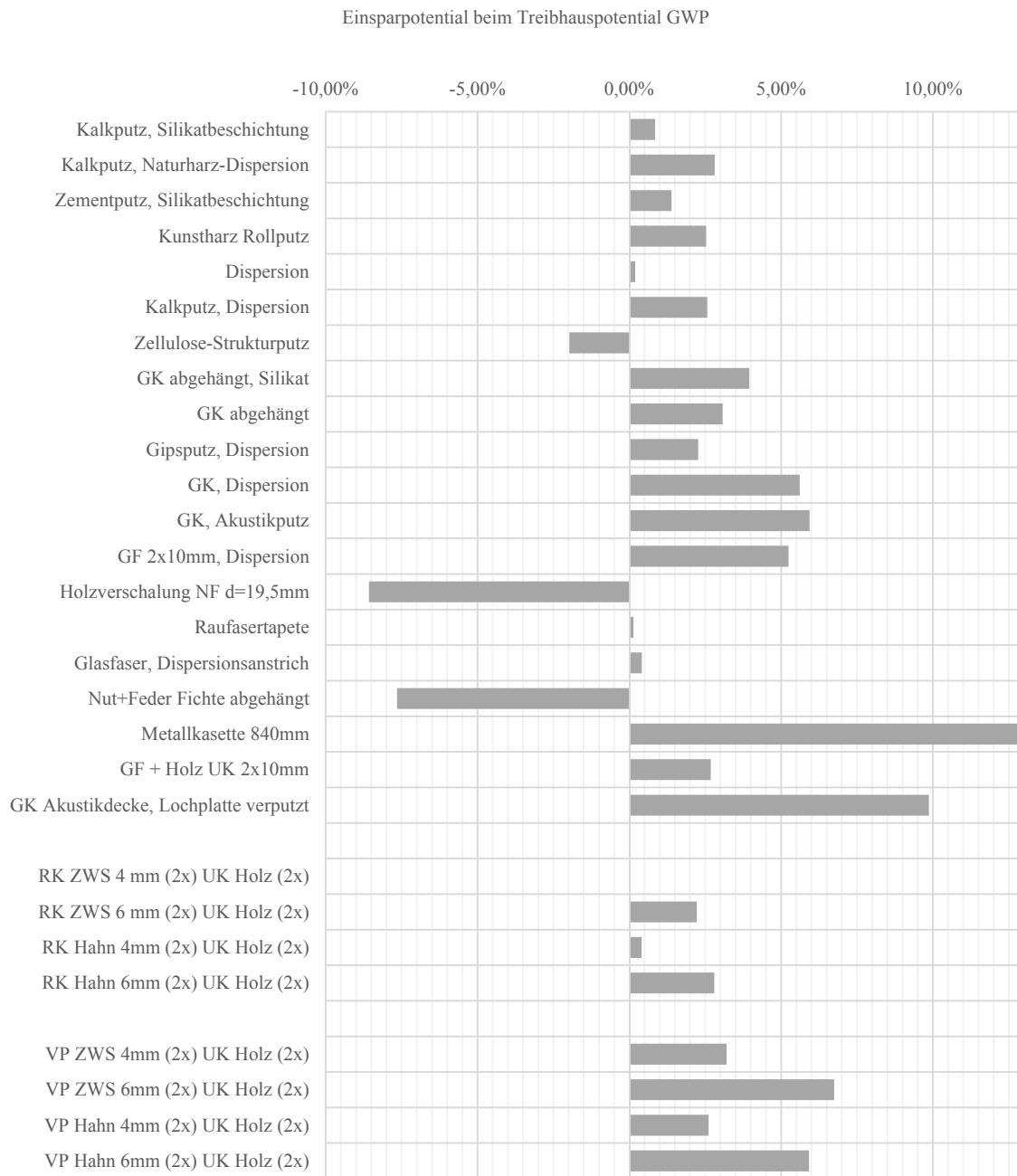


Abbildung 89 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Treibhauspotential GWP

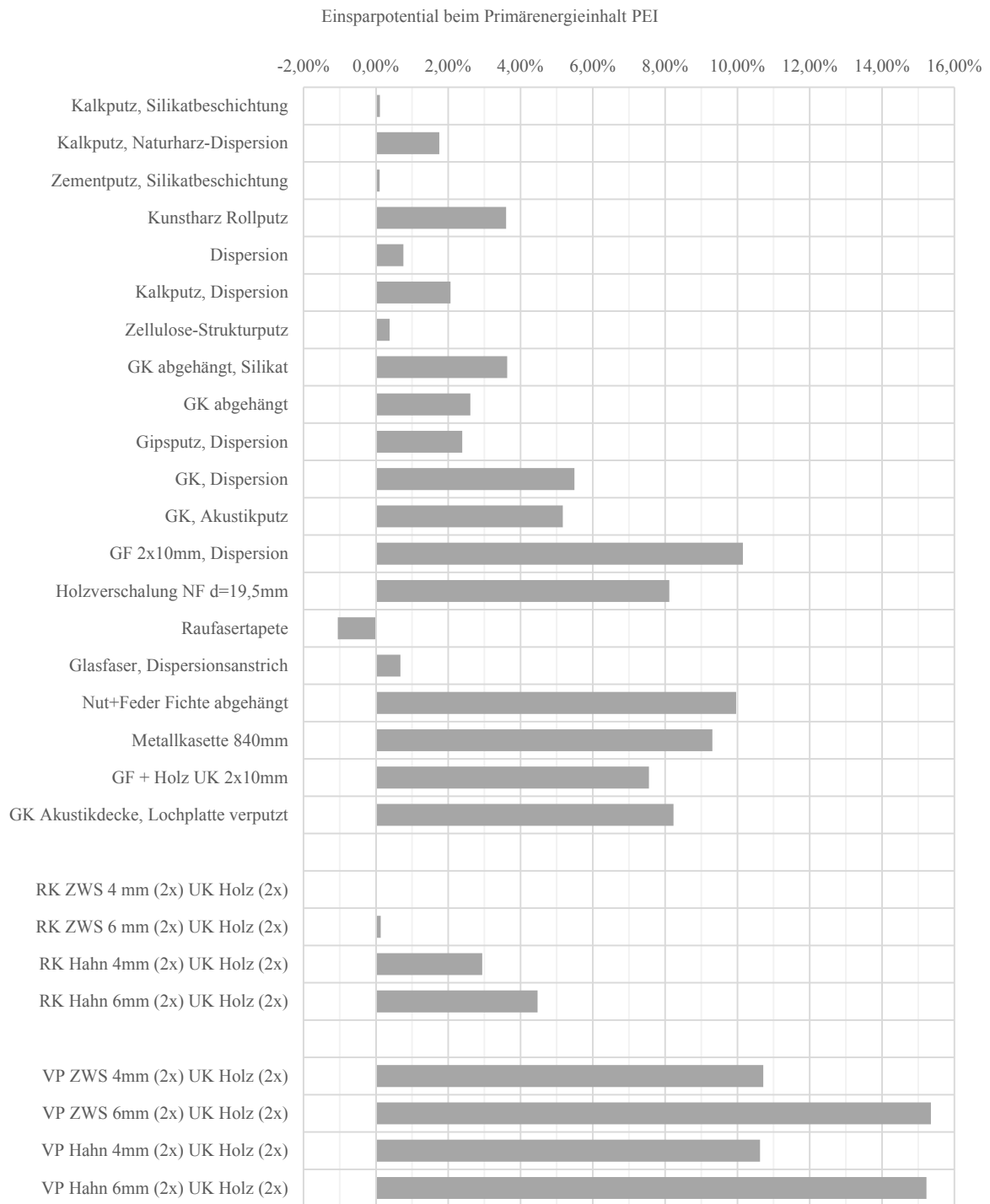


Abbildung 90 Diagramm des Einsparpotentials mit dem Einsatz von RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x) gegenüber einer anderen Bekleidung beim Primärenergieinhalt PEI

8.2.2 Auswirkungen mit allen funktionellen Einheiten

Beim Einsatz aller drei oben beschriebenen Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen als Alternative zu denen im Referenzprojekt Wohnbau geplanten Bekleidungen ergeben sich die in Tabelle 81 aufgeführten Ergebnisse.

Tabelle 81 Anteil der Umweltwirkungen der Bekleidungen aus Rezyklatkunststoffen an den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnbau und deren mögliche Auswirkungen

Umweltwirkungspotential Einheit	GWP kg CO ₂ - Äq.	AP kg SO ₂ - Äq.	ODP kg CFC11- Äq.	POCP kg Ethen- Äq.	EP kg Phosphat- Äq.	PEI MJ
AWB RK ZWS 6mm (3x) UK Holz (2x)	7.067	53	0,001341417	5,207	5,467	423.290
IWB RK ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	25.097	-111	-0,002090481	-5,473	1,488	444.987
DB RK ZWS 4mm (2x) UK Holz (2x)	5.037	-22	-0,000419530	-1,098	0,299	89.303
Summe Oberflächen- bekleidungen (OB)	37.201	-81	-0,001168593	-1364	7,254	957.579
Umweltwirkungen (UW) Baukonstruktion	199.062	374	0,007644865	99,961	93,081	4.158.125
Anteil an Baukonstruktion	18,69%	-21,62%	-15,29%	-1,36%	7,79%	23,03%
Vergleich Referenzprojekt Wohnbau						
AWB, IWB, DB						
Referenz	21,50%	44,51%	21,59%	36,62%	13,62%	19,72%
RK ZWS	18,69%	-21,62%	-15,29%	-1,36%	7,79%	23,03%
Einsparung durch RK ZWS gegenüber Referenz	-3,46%	-54,37%	-31,99%	-37,48%	-6,32%	4,30%

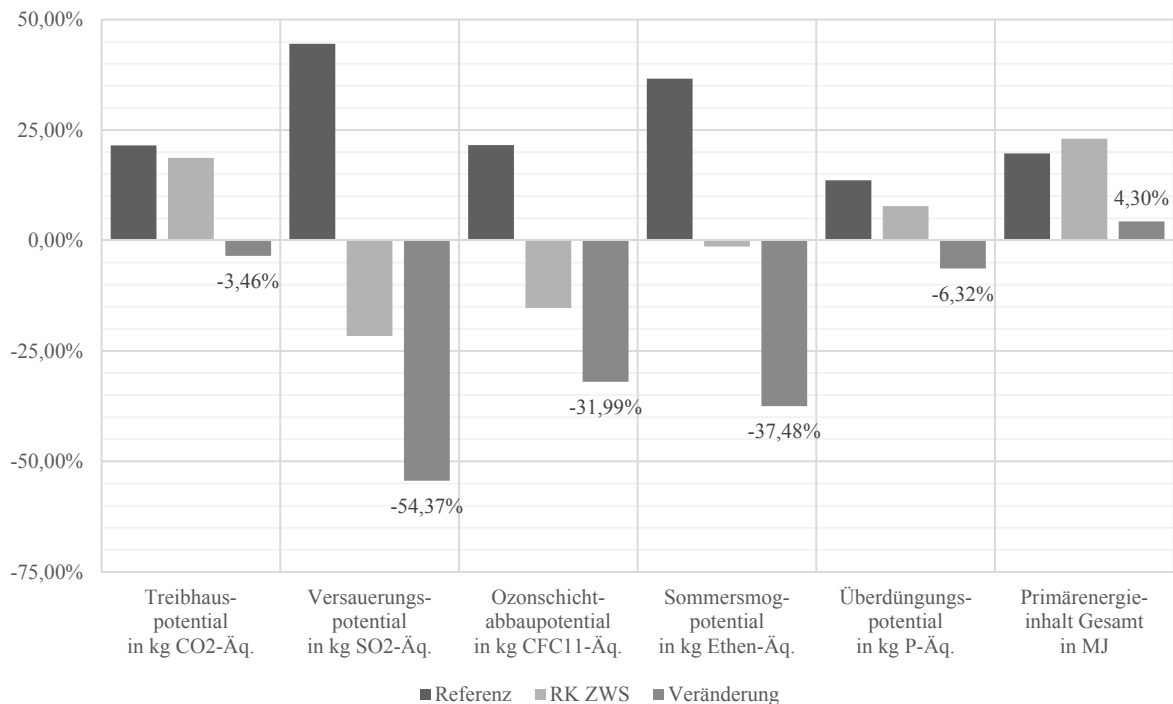


Abbildung 91 Auswirkung von RK ZWS in AWB 6 mm, IWB 4 mm und DB 4 mm, auf die Ökobilanz der Baukonstruktion des Referenzprojekts Wohnbau

In Abbildung 91 sind die Ergebnisse zum besseren Verständnis in einem Diagramm dargestellt. Bis auf die Kategorie Primärenergiegehalt PEI konnte in allen Umweltwirkungskategorien durch den Einsatz von Rezyklatbekleidungen, alternativ zu den in den Referenzprojekten eingesetzten Bekleidungen, eine Verbesserung erreicht werden. Die Reduktionen betragen im geringsten Fall beim Treibhauspotential -3,46 % und im besten Fall beim Versauerungspotential sogar -54,37 % von den Umweltwirkungen der Baukonstruktion des Referenzgebäudes Wohnbau.

D Zusammenfassung und Ausblick

9. Zusammenfassung – Fazit

Die ökologische Betrachtung von Bauwerken beschränkte sich in der Vergangenheit hauptsächlich auf deren Umweltwirkungen während der Nutzungsphase. Mit Gebäudestandards wie dem Null-Energie-Haus oder Plus-Energie-Haus wurde in dieser Phase ein Optimum erreicht. Bei ökologischen Betrachtungen, welche jedoch den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes umfassen, rücken die potentiellen Umweltwirkungen der verwendeten Materialien und deren Herstellungs-, Wiederverwertungs- und Entsorgungsprozesse in den Vordergrund.

Die Betrachtung der Recyclingquoten und -anteile von gängigen Baustoffen zeigt, dass einige Materialien zwar hohe Verwertungsquoten aufweisen, jedoch der Anteil von Rezyklat im Neuprodukt gering ausfällt. Baustoffe, welche durch irreversible chemische Prozesse entstehen (Duroplaste, Elastomere, Beton, Holz), können nicht recycelt werden. Hier besteht lediglich die Möglichkeit des Downcyclings. Bei mineralischen Baustoffen ist die Substitution von Neuware zwar technisch zu einem geringen Teil möglich, wird aber kaum umgesetzt. Aktuell kann nur Stahl und PVC im Umfang von bis zu 50 % in einem neuen Produkt eingesetzt werden. Bauprodukte aus polyolefinen Thermoplasten werden kaum einer Wiederverwertung zugeführt.

Den größten Anteil am Abfallaufkommen in Deutschland haben die Bau- und Abbruchabfälle mit 60 %. Diese Fraktion setzt sich zu 92 % aus inerten Stoffen zusammen. Der Anteil der übrigen Bau- und Abbruchabfälle, zu dem auch Kunststoffabfälle gehören, entspricht nur 5 % des gesamten Abfallaufkommens.

Polyolefine haben den größten Anteil an den produzierten und verarbeiteten Kunststoffen. Die meisten Kunststoffe werden in Deutschland und Europa in der Verpackungs- und Baubranche eingesetzt. In Folge dessen sollten Rezyklatkunststoffe als Substitution in solchen Bereichen eingesetzt werden, wo bereits ein großer Bedarf und dadurch ein ebenso großes Potential besteht.

Als Quelle für rezyklierbare Kunststoffe eignen sich die polyolefinen Abfälle aus dem Siedlungsmüll. Sie haben den größten Anteil an den Kunststoffabfällen in Deutschland. Damit ist eine Homogenisierung zur Sicherung einer beständigen Qualität leichter erreichbar. Zusätzlich verlängert die Wiederverwertung von Verpackungskunststoffen aus dem Siedlungsmüll in Produkten für die Baubranche die Nutzungsdauer des Werkstoffs um das Vielfache.

Im Kapitel 3.2.1 konnte aufgezeigt werden, dass Bauteile aus Kunststoffen trotz ihres geringen Anteils an der Gesamtmasse eines Gebäudes einen erheblichen Einfluss auf die evaluierten Umweltwirkungen

eines Gebäudes haben. Durch eine Substitution von primären thermoplastischen Kunststoffen mit thermoplastischen Rezyklatkunststoffen kann eine signifikante Reduzierung der Umweltauswirkungen erfolgen. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Kapitel 7.1 in den Tabelle 48 und Tabelle 50 beschrieben. Bei den untersuchten Rezyklaten können in allen Umweltwirkungskategorien Reduzierungen von mindestens 53,26 % erreicht werden. In einigen Kategorien wirkt sich die Substitution mit Rezyklaten sogar positiv auf die Umweltwirkungen aus. Weitere Verbesserungen können durch die Optimierung der Nutzungsdauer und einem materialsparenden Einsatz realisiert werden.

Bei den untersuchten und aktuell auf dem Markt verfügbaren thermoplastischen Rezyklatkunststoffen müssen sowohl deren Eigenschaften, als auch die architektonischen Anforderungen an diese modifiziert und eventuell Kompromisse eingegangen werden, um Bauteile aus Recyclingkunststoffen realisieren zu können.

Die Grundlage für die erarbeiteten Vergleiche und Auswertungen bilden die ermittelten und bilanzierten Ausgangsdaten von Rezyklaten, primären Vergleichskunststoffen, Unterkonstruktionen, entwickelten und gewählten funktionellen Einheiten, und die aufbereiteten Daten der Referenzprojekte.

Zunächst wurden ökobilanzielle Vergleiche auf Werkstoff- und Bauteilebene durchgeführt. Hier konnte gezeigt werden, dass Rezyklatkunststoffe und daraus hergestellte Produkte im Vergleich zu primären Kunststoffen wesentlich geringere ökobilanzielle Umweltwirkungspotentiale haben.

Anschließend wurden Vergleiche auf der Basis von definierten funktionellen Einheiten erstellt. Diesen wurden des Weiteren auch funktionelle Einheiten aus unterschiedlichen gängigen Materialien gegenübergestellt.

Die Ergebnisse aus den geführten Vergleichen wurden daraufhin in die Bilanzierungen der Referenzgebäude eingearbeitet, um festzustellen, welche Auswirkungen der Einsatz von thermoplastischen Recyclingkunststoffen in unterschiedlichen funktionellen Einheiten auf die ökobilanzielle Nachhaltigkeit eines Gebäudes haben kann.

Tabelle 82 Anzahl der funktionellen Einheiten mit schlechterem Umweltwirkungspotential als das jeweilige Vergleichssystem aus Rezyklatkunststoff

Funktionelle Einheit aus Rezyklatkunststoff	Funktionen und Anzahl der Referenzeinheiten		
	Außenwandbekleidungen 27 (mit erstellten 35)	Innenwandbekleidungen 29 (mit erstellten 37)	Deckenbekleidungen 20 (mit erstellten 28)
	RK ZWS 6 mm (3x) UK Holz (2x)	RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)	RK ZWS 4 mm (2x) UK Holz (2x)
Umweltwirkungskategorien	geringere Umweltwirkungspotentiale als		
GWP	17 von 27	22 von 29	17 von 20
AP	27	29	20
ODP	27	29	20
POCP	27	29	20
EP	27	29	20
PEI	27	25 von 29	19 von 20

In Tabelle 82 ist deutlich zu erkennen, dass die Umweltwirkungspotentiale der funktionellen Einheiten aus Rezyklatkunststoffen im Vergleich zu den Umweltwirkungspotentialen der gewählten funktionellen Einheiten aus unterschiedlichen gängigen Materialien in den meisten Fällen geringer ausfallen.

Beim Treibhauspotential (GWP) aller Funktionen schneiden Bekleidungen mit einem hohen Holzanteil, die VHF-Kompositplatten und die Faserzement-Wellprofile, besser ab. Bei Innenwandbekleidungen weisen zusätzlich die Systeme NH-Dispersionsbeschichtung auf Putz, Fliesen, Silikatbeschichtung, Silikat-Dispersion (auf GK) und Silikat-Dispersion (auf Beton) bessere Werte hinsichtlich des GWP auf. Bei Innenwandbekleidungen ist der Primärenergieinhalt (PEI) von Silikat Dispersionen, Silikatbeschichtungen und Kalkzementputz mit Silikatbeschichtung geringer als der berechnete PEI der gewählten Rezyklatbekleidung. Bei Deckenbekleidungen ist nur der Primärenergieinhalt einer Raufasertapete geringer als der PEI der gewählten Rezyklatbekleidung.

Im Gegensatz zu den im Referenzprojekt Büro gewählten Bekleidungen könnten durch den Einsatz von Rezyklatkunststoffbekleidungen die Umweltwirkungen der Baukonstruktion wesentlich reduziert werden. Die Einsparungen betragen je nach Kategorie zwischen -4,59 % beim Treibhauspotential (GWP) und -38,84 % bei Versauerungspotential (AP). In den Kategorien Versauerungspotential (AP), Ozonabbaupotential (ODP) und Sommersmogpotential (POCP) würden sich die Umweltwirkungen nicht nur wie in den anderen Kategorien verringern, sondern der Einsatz der Rezyklatbekleidung wirkt sich sogar positiv auf die gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion aus. Je mehr Rezyklatkunststoffe eingesetzt werden würden, umso geringer würden die gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion in den Kategorien AP, ODP, und POCP ausfallen.

Wie bereits in Kapitel 8.2.2 aufgezeigt wurde, kann auch beim Referenzprojekt Wohnbau in fast allen Kategorien eine Verbesserung durch den Einsatz von Rezyklatkunststoffen erreicht werden. Auch hier würden sich die gesamten Umweltwirkungen der Baukonstruktion in den Kategorien AP, ODP und POCP gegenüber den Referenzbekleidungen nicht nur verringern, sondern durch den Einsatz sogar dementsprechend reduzieren. Nur in der Umweltwirkungskategorie des Primärenergieinhalts (PEI) wäre eine leichte Verschlechterung von 4,30 % zu erwarten.

10. Ausblick – Zukünftige Entwicklung

Durch die Erfahrungen aus der Vergangenheit und deren Auswirkungen auf die Gegenwart, wissen wir heute, dass unser bisheriger Umgang mit den Ressourcen (Energie, Rohstoffe, Flächenbedarf, Gesundheit) aufgrund ihrer Beschränktheit und des steigenden Bedarfs zukünftig nicht mehr fortgeführt werden kann. Nachdem wir seit den 1970er Jahren ein gesellschaftliches Umweltbewusstsein entwickelt haben, folgt jetzt dessen Steigerung, mit der Entwicklung hin zu einem Nachhaltigkeitsbewusstsein, welches das Wohl unserer Kinder und der kommenden Generationen zum Ziel hat.

Die ökologische Nachhaltigkeit hat bereits heute einen wichtigen Stellenwert bei der Planung, Vermarktung und Nutzung von Bauwerken. Gegenwärtig sind die technischen Möglichkeiten, als auch die gesetzlichen Verpflichtungen hinsichtlich der Energieeinsparung in der Nutzungsphase von Gebäuden nahezu ausgereizt. Im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit, rückt damit die Optimierung der Herstellungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungsphasen der Baustoffe in den Vordergrund.

Als Ausblick auf die zukünftigen Möglichkeiten und Entwicklungen werden hierzu folgende Bereiche betrachtet: Kunststoffe, Recycling, Entsorgung und Gesetze.

Entwicklungen bei Kunststoffen

Seit einigen Jahren steigt der Anteil der Drop-In-Lösungen bei den Biokunststoffen stetig an. Aufgrund ihres gleichen chemischen Aufbaus bieten sie eine unmittelbar einsetzbare Alternative zu den Kunststoffen aus fossilen Ressourcen. Mit der Einführung einer industriellen großmaßstäblichen Herstellung werden Kunststoffe aus nachwachsenden Ressourcen in nächster Zukunft wettbewerbsfähig einsetzbar sein. Darüber hinaus bieten diese Kunststoffe weitere Einsatzmöglichkeiten durch werkstoffspezifische Eigenschaften, welche mit Kunststoffen aus fossilen Ressourcen nicht herstellbar sind. Die Anwendung von Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen schont fossile Ressourcen und kann somit zu einer Verbesserung der Ökobilanz von Bauwerken führen.

Bei der Weiterentwicklung von Kunststoffen findet eine kontinuierliche Anpassung und Optimierung für spezifische Anwendungen statt. Dies geschieht durch die wachsende Vielfalt der Sorten, die steigende Zahl der Variationen innerhalb einer Sorte und durch die zunehmenden Möglichkeiten der Anpassung und Verbesserung durch Additive. Weitere Beispiele für zukunftssträchtige Entwicklungen zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit sind: selbstheilende Kunststoffe, genetischer Fingerabdruck der Kunststoffe durch Batchkennzeichnung mit Additiven oder die Übernahme von technischen Funktionen (z.B. elektrische Leitfähigkeit) und elektroaktive Polymere.

Entwicklungen der Recyclingtechnik

Um das Recycling von Kunststoffen in Zukunft zu verbessern, gibt es bereits unterschiedliche Ansätze in der Forschung und Entwicklung.

Mit dem CreaSolv®-Verfahren ist es möglich Expandiertes Polystyrol (EPS) bereits bei der Entsorgung mithilfe eines Lösemittels platzsparend zu sammeln. Aus dieser Lösung wird im CreaSolv®-Prozess durch eine selektive Extraktion der Werkstoff wieder gewonnen. Das Lösemittel bleibt dabei nahezu vollständig erhalten.

Kunststoffabfälle, welche aufgrund ihrer Partikelgröße, den enthaltenen Fremdkunststoffen, Additiven und Kontaminationen bisher nicht separierbar waren, können nun mit Hilfe Hochgeschwindigkeits-Laserspektroskopie getrennt werden. Diese Technik wird beispielsweise bereits im Powersort 200 der Unisensor Sensorsysteme GmbH verwendet.

Das URRC-Verfahren wurde von der United Resource Recovery Corporation entwickelt und dient zur Wiederaufbereitung von PET-Abfällen zu lebensmitteltauglichen Rezyklat. Hierbei werden neben den herkömmlichen Prozessen zur Wiederaufbereitung weitere Prozesse ergänzt. Die Flakes werden mit Natronlauge benetzt, um die Oberfläche abzutragen und damit zu reinigen. Zusätzlich wird das Material unter Vakuum getrocknet, um Geruchsstoffe zu entfernen.

Die am Fraunhofer IBP entwickelte Elektrodynamische Fragmentierung ist eine staubfreie und kontaminationsfreie Zerkleinerung, bei der kein Abrieb entsteht. Dabei werden mithilfe von ultrakurzen Unterwasserimpulsen Festkörper selektiv fragmentiert. Das Verbundmaterial wird durch die erzeugte Druckwelle eines elektrischen Durchschlags separiert. Diese Technologie wird bereits in der Silizium-Wafer-Industrie großtechnisch eingesetzt. Bei der Wiederaufbereitung von faserverstärkten Kunststoffen könnte diese Technik aufgrund der genannten Vorteile zukünftig einen Beitrag zur Rückgewinnung der Werkstoffe liefern.

Entwicklungen bei Entsorgungsprozessen

Zukünftig müssen sich auch die Entsorgungsprozesse unserer Abfälle ändern. Sie tragen einen wesentlichen Teil dazu bei, dass Kunststoffe nur in geringem Maß recycelt werden. In den meisten der bisherigen Systeme landen viele Kunststoffe auch im Restmüll und schließlich in der thermischen Verwertung.

„Die getrennte Abfallsammlung steht nicht nur bei den Verbrauchern in der Kritik: Zu aufwendig, zu unkomfortabel, zu umständlich! Von anderer Seite werden zu hohe Kosten und zu schlechte Qualitäten der Sammlung bemängelt. Bisherige Lizenzsysteme führen an der Realität vorbei, in der der Verbraucher die Trennung nach Sachkriterien vornimmt. Die Folge sind unter anderem hohe Fehlwurfquoten in den unterschiedlichen Systemen.“ (Urban 2009, S. 7)

„Besonders in städtischen Bezirken und in Ballungsräumen scheinen die Voraussetzungen für eine gemeinsame Erfassung der Verpackungen mit dem häuslichen Restabfall gegeben. In einigen großstädtischen Bezirken sind heutzutage Fehlwurfquoten in der Gelben Tonne von weit über 50 Prozent keine Seltenheit – allein der Bundesdurchschnitt liegt schon bei 41 Prozent. Dagegen enthält häuslicher Restabfall bis zu 40 Prozent Wertstoffe. In großstädtischen Regionen schlägt Verpackungsmaterial sogar mit bis zu 20 Prozent zu Buche. Beides könnte aussortiert werden. Nach den derzeit verfügbaren Projektergebnissen ist die gemeinsame Erfassung von Rest- und LVP-Abfällen dort ökologisch vorteilhaft, wo:

- hohe Wertstoffpotenziale in den Restabfällen existieren,
- über die Quoten der Verpackungsverordnung hinaus sortiert wird und
- die heizwertreiche Fraktion zur energetischen Verwertung nicht abgetrennt wurde.“

(Hermann Keßler 2005)

Entwicklungen von Gesetzen

Mit der Fortführung der festlegenden energetischen Effizienzsteigerung im Bauwesen, könnte sich die bereits bestehende Verpflichtung, nach einem geringen bis keinen Energieverbrauch in der Nutzungsphase, auf die ganze Lebensphase eines Gebäudes erweitern und die Produktion, die Instandhaltung, den Rückbau und die Entsorgung beziehungsweise das Recycling in eine Lebenszyklusanalyse mit einbeziehen. Des Weiteren könnten heutige meist noch nicht verpflichtende Zertifizierungen für nachhaltiges Bauen, in Zukunft zum Standard werden.

Anhang

Literaturverzeichnis

DIN 18516-1:2010-06: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet - Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze.

DIN EN ISO 2813:2015-02: Beschichtungsstoffe - Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85° (ISO 2813:2014); Deutsche Fassung EN ISO 2813:2014.

DIN EN 15102:2011-12: Dekorative Wandbekleidungen - Rollen- und Plattenform; Deutsche Fassung EN 15102:2007+A1:2011.

DIN 31051:2012-09: Grundlagen der Instandhaltung.

DIN EN ISO 179-1:2010-11: Kunststoffe - Bestimmung der Charpy-Schlageigenschaften - Teil 1: Nicht instrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung (ISO 179-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 179-1:2010.

DIN EN ISO 75-1:2013-08: Kunststoffe - Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur - Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren (ISO 75-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 75-1:2013.

ISO 7724-2:1984-10: Lacke und Anstrichstoffe; Farbmessung; Teil 2: Bestimmung von Farbmaßzahlen.

DIN EN 1013:2015-03: Lichtdurchlässige, einschalige, profilierte Platten aus Kunststoff für Innen- und Außenanwendungen an Dächern, Wänden und Decken - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 1013:2012+A1:2014.

DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen.

Recycle. The essential guide (2010). London: Black Dog.

Technische Regel DIN CEN/TS 16011:2013, 2013-04: Kunststoffe - Kunststoff-Rezyklate - Probenvorbereitung; eutsche Fassung CEN/TS 16011:2013-04. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-cen-ts-16011/152250361>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

DIN EN 12201-1:2011-11: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen - Polyethylen (PE) - Teil 1: Allgemeines; Deutsche Fassung EN 12201-1:2011.

DIN EN 12201-2:2013-12: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen - Polyethylen (PE) - Teil 2: Rohre; Deutsche Fassung EN 12201-2:2011+A1:2013.

Norm DIN EN 12201-4:2012-04: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen - Polyethylen (PE) - Teil 4: Armaturen; Deutsche Fassung EN 12201-4:2012.

Statistisches Jahrbuch Deutschland (2015). 1., Auflage. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

VDI-Richtlinie VDI 4600 Blatt 1, 2015/08: Kumulierter Energieaufwand - Beispiele.

aha Zweckverband Abfallwirtschaft Region Hannover (Hg.): Reise in die Vergangenheit. Abfall früher und heute: Zur Geschichte des Mülls. Online verfügbar unter <https://www.aha-region.de/163.html>, zuletzt geprüft am 25.06.2012.

Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Online verfügbar unter http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf, zuletzt aktualisiert am 27.02.2017, zuletzt geprüft am 11.03.2017.

BBSR Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) (2011): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Online verfügbar unter http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen__2011-11-03.pdf, zuletzt aktualisiert am 03.11.2011, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Bund: Musterbauordnung. MBO, vom 21.09.2012. Online verfügbar unter <https://www.jurion.de/Gesetze/MBO>, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) (2008): Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Online verfügbar unter [http://www.bte-mitglieder.de/upload/bte75_Arbeitsblatt Lebensdauer von Bauteilen FG Bauwesen Agethen Frahm Renz Thees Stand 2008.pdf](http://www.bte-mitglieder.de/upload/bte75_Arbeitsblatt%20Lebensdauer%20von%20Bauteilen%20FG%20Bauwesen%20Agethen%20Frahm%20Renz%20Thees%20Stand%202008.pdf), zuletzt aktualisiert am 14.03.2008, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Claus-Jürgen Simon (2012): PEMRG bobble.pptx, 05.07.2012. E-Mail.

Consultic (2011): Plastic Waste from Building & Construction. Hg. v. ecvm European Council of Vinyl Manufacturers. Online verfügbar unter http://www.plasticseurope.org/documents/document/20120319104114-final_full_report_eol_plastics_b&c_2010_augmented_16032012.pdf, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Consultic (2012): Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011. - Kurzfassung -. Hg. v. PlasticsEurope. Online verfügbar unter <http://www.plasticseurope.de/cust/documentrequest.aspx?DocID=54597>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Consultic (2013): Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Hg. v. PlasticsEurope. Online verfügbar unter https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiR6OrW8s_PAhWEvxQKHQFpDF4QFggwMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.plasticseurope.de%2Fcust%2Fdocumentrequest.aspx%3FDocID%3D59179&usg=AFQjCNHqHdSUyjUisXeWFRvYEHfW2Wr6Mw&cad=rja, zuletzt aktualisiert am 18.10.2013, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Consultic (2014): Studie zu Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2013 - Kurzfassung. Hg. v. PlasticsEurope. Online verfügbar unter <http://www.plasticseurope.de/cust/documentrequest.aspx?DocID=61929>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Consultic (2015): Plastics - the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Hg. v. PlasticsEurope PEMRG. Online verfügbar unter http://www.plasticseurope.org/documents/document/20151216062602-plastics_the_facts_2015_final_30pages_14122015.pdf, zuletzt aktualisiert am 14.12.2015, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (09.03.2011): VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. Bauproduktenverordnung. In: *Amtsblatt der Europäischen Union*. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0305>, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

DER SPIEGEL (1991): "Das wird ein teures Vergnügen". In: *DER SPIEGEL* (22), S. 234–238. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-13507297.html>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Deutsches Institut für Bautechnik (Hg.): Neues EU-Recht für die Vermarktung von Bauprodukten. Online verfügbar unter https://www.dibt.de/de/Fachbereiche/Referat_P3_Neues_EU-Recht.html, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Deutsches Institut für Bautechnik (2015a): Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C. Online verfügbar unter https://www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/BRL_2015_2.pdf, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Deutsches Institut für Bautechnik (2015b): Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen, Juni 2015. Online verfügbar unter https://www.dibt.de/de/geschaeftsfelder/data/P5_Musterliste_der_Technischen_Baubestimmungen_Juni_2015.pdf, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Dr. Dr. A. Dehlinger (1943): Reichsgesetzblatt 1935 I S.49, ber. S. 171. Systematische Übersicht über 76 Jhg. RGBL. (1867-1942). Schönfelder, Deutsche Reichsgesetze, Beck 1944; Sartorius, Sammlung von Reichsgesetzen staats- und verwaltungsrechtlichen Inhalts, Beck 1935-37. Stuttgart: Kohlhammer. Online verfügbar unter <http://www.verfassungen.de/de/de33-45/gemeindeordnung35.htm>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

efsa European Food Safety Authority (Hg.): Kunststoffe und Kunststoffrecycling. Online verfügbar unter <https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/plasticrecycling>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

EPFL École polytechnique fédérale de Lausanne (Hg.) (2011): Werkstoffgruppendaten aus dem Projekt: FWF-P9007. Online verfügbar unter [file%3A//itke.local/share/users\\$/hammer/Citavi4/Projects/Dissertation 2016/wiki.epfl.ch/fournisseurs/documents/werkstoffgruppen.xls](file%3A//itke.local/share/users$/hammer/Citavi4/Projects/Dissertation%202016/wiki.epfl.ch/fournisseurs/documents/werkstoffgruppen.xls), zuletzt aktualisiert am 11.08.2011, zuletzt geprüft am 31.03.2014.

Europäische Gemeinschaft (Hg.) (1994): Mitteilung der Kommission über die Grundlagendokumente der Richtlinie des Rates 89/106/EWG (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, C 62/7). Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:C:1994:062:FULL&from=DE>, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union (22.11.2008): RICHTLINIE 2008/98/EG, EU - Abfallrichtlinie. In: Amtsblatt der Europäischen Union. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:de:PDF>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

European Commission DG Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (Hg.) (2015): CE-Richtlinien. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/ce-marking/about-ce-marking/index_de.htm, zuletzt aktualisiert am 02.02.2015.

Fiberline Composites A/S (2011): GfK-Recycling. Das Verfahren. Online verfügbar unter <https://fiberline.de/news/miljoe/durchbruch-im-gfk-recycling>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Fraunhofer IBP (Hg.) (2012): Forschung in Fokus. Wenn der Blitz im Labor einschlägt... Online verfügbar unter http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse_und_Medien/Forschung_im_Fokus/Archiv/Blitz_im_Buero.html, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Fritsche; Hennenberg; Hermann Hünecke; Herrera; Fehrenbach; Roth; Hennecke Giegrich (2010): Entwicklung von Strategien und Nachhaltigkeitsstandards zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel. Zusammenfassender Endbericht. Hg. v. Umweltbundesamt (48). Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/37_07_93_100_zertifizierung_biomasse_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (2000): Kunststoffe. Eigenschaften, Brandverhalten, Brandgefahren. In: *Kunststoffe* (12). Online verfügbar unter https://vds.de/fileadmin/vds_publikationen/vds_2516_web.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Goris, Alfons (Hg.) (Aufl. 17.2006): Bautabellen für Ingenieure. Mit Berechnungshinweisen und Beispielen. Köln, Düsseldorf, Neuwied: Werner.

- Günther, Edeltraud (2008): Ökologieorientiertes Management. Um-(weltorientiert) Denken in der BWL : ... mit 104 Tab. Stuttgart: Lucius & Lucius [u.a.] (Wisu-Texte, 8383).
- Hermann Keßler (2005): Die Zukunft ist gelb und grau. In: *Umwelt Magazin* (06), S. 50–51.
- IBK Darmstadt (Hg.) (2001): Bauen mit Kunststoffen. Jahrbuch 2002. IBK Darmstadt. 1. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn.
- Kaltschmitt, Martin; Hartmann, Hans; Hofbauer, Hermann (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kunststoffweb (Hg.) (2015): Polymerpreise. Online verfügbar unter <https://www.kunststoffweb.de/polymerpreise/default.asp>.
- Land Baden-Württemberg (05.03.2010): Landesbauordnung für Baden-Württemberg. LBO. Online verfügbar unter <http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=BauO+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>, zuletzt geprüft am 17.10.2016.
- MAKSC (2006): Mischprobe PP-Regranulat. Materialeigenschaften. Hg. v. Magdeburger Kunststoff-Service-Center. Barleben.
- Martienssen, W.; Warlimont, Hans (2005): Springer handbook of condensed matter and materials data. Heidelberg, New York: Springer.
- Müller, K. R. (1989): Der Abfallbegriff im Wandel der Zeit. In: *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* 1 (2), S. 1–2. DOI: 10.1007/BF02940411.
- Neumüller, Otto-Albrecht (1988): Römpfs Chemie-Lexikon. 8., neubearb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Franckh.
- plasticker (Hg.) (2015): Rohstoffe und Preise. Online verfügbar unter <http://plasticker.de/preise/>.
- Pretting, Gerhard; Boote, Werner (2010): Plastic planet. Die dunkle Seite der Kunststoffe ; [das Buch zum Film]. Freiburg.: Orange-Press.
- Rewindo GmbH (Hg.) (2016): kunststofffenster-recycling in zahlen 2015. Online verfügbar unter http://rewindo.de/rewindo-downloads/downloads/Rewindo_Mengenstromnachweis_2015.pdf, zuletzt geprüft am 17.10.2016.
- Röhrecke, B.: Berlins Müllabfuhr 1901. In: *Fortschritte der Straßenhygiene* 1901 (1), S. 32–43.
- Saechtling, Hansjürgen; Oberbach, Karl (2001): Kunststoff taschenbuch. 28. Ausgabe von Karl Oberbach. München: Hanser.
- SBKS Composites Testing (2013): Prüfbericht Nr.: 120515_101301_0008 -z. hanit@robust (hanit® 3). St. Wendel. Online verfügbar unter https://www.hahnkunststoffe.de/files/dc/pdf/120515_101301_0008-z.pdf.
- Statista (Hg.) (2013): Global plastic production from 1950 to 2014 (in million metric tons). Online verfügbar unter <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hg.): Bevölkerung - Deutschland. Online verfügbar unter http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_zs01_bund.asp, zuletzt geprüft am 10.10.2016.
- Stiftung Historisches Lexikon der Schweiz (2002): Historisches Lexikon der Schweiz. Aa - Basel (Fürstbistum). 13 Bände. Basel: Schwabe (1). Online verfügbar unter <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D7862.php>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.
- Torsten Grotjohann (2003): Polyolefin - Zukunftslösung oder unverlegbar? Vorteile und Grenzen eines Belages mit Entwicklungspotential. In: *FussbodenTechnik* (02/03), S. 24–27. Online verfügbar unter http://www.raumausstattung.de/business/artikel-record_id-33381-Allgemein.htm, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Tschimmel, Udo (1989): Die Zehntausend-Dollar-Idee. Kunststoff-Geschichte vom Zelluoid zum Superchip. Düsseldorf, New York: ECON.

Umweltbundesamt (Hg.) (2015): Kunststoffabfälle. Kunststoffe – Produktion, Verwendung und Verwertung. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle>, zuletzt geprüft am 17.10.2016.

Urban, Arnd I. (Hg.) (2009): Kasseler Modell - mehr als Abfallentsorgung. [Online-Ausg.]. Kassel: Kassel Univ. Press (Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik / UNIKAT / Institut für Wasser, Abfall, Umwelt, 9).

von Gleich; Brahmer-Loss; Gottschick; Jepsen; Sander (2004): Nachhaltige Metallwirtschaft Hamburg. Erkenntnisse – Erfahrungen - praktische Erfolge. Endbericht des BMBF-Projektes. Hamburg. Online verfügbar unter http://www.tecdesign.uni-bremen.de/nachhaltigemetallwirtschaft/pdf/ECOSEnd2_8.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wächter, Carl Georg von (1839): Geschichte, Quellen und Literatur des Württembergischen Privatrechts ; 1. Abth. 1. Aufl. Stuttgart: Metzler (Handbuch des im Königreiche Württemberg geltenden Privatrechts ; 1,1). Online verfügbar unter http://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb10552893_00005.html, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2012): Polyvinylchlorid. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.wecobis.de/jahia/Jahia/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polyvinylchlorid_GS, zuletzt geprüft am 03.07.12.

Wecobis (2014a): Aluminium. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.wecobis.de/Grundstoffe/Metalle_GS/Aluminium_GS, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014b): Basisgläser. Produktgruppeninformation. Online verfügbar unter <http://www.wecobis.de/Bauproduktgruppen/Verglasungen/Basisglaeser>.

Wecobis (2014c): Bauprodukte aus Holz. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter <http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/bauprodukte-aus-holz.html>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014d): Beton. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter <http://www.wecobis.de/jahia/Jahia/Home/Bauproduktgruppen/Massivbaustoffe/Beton>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014e): Elastomere. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014f): Kupfer. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.wecobis.de/Grundstoffe/Metalle_GS/Kupfer_GS, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014g): Polyethylen. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.wecobis.de/jahia/Jahia/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polyethylen_GS, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014h): Polyolefin-Bodenbelag. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.wecobis.de/jahia/Jahia/Home/Bauproduktgruppen/Bodenbelaege/Elastische_Bodenbelaege/Polyolefin-Bodenbelaege, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014i): Polypropylen/Polyprom. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter

<http://www.wecobis.de/grundstoffe/kunststoffe-gs/polypropylen-gs.html>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014j): Polystyrol. Produktgruppeninformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter <http://www.wecobis.de/grundstoffe/kunststoffe-gs/polystyrol-gs.html>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014k): Stahl. Produktinformation. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter http://www.wecobis.de/Grundstoffe/Metalle_GS/Stahl_GS, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wecobis (2014l): Ziegel. Produktgruppeninformation. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter <http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/massivbaustoffe/ziegel.html>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wikipedia (Hg.): Stahlindustrie/Tabellen und Grafiken. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Stahlindustrie/Tabellen_und_Grafiken, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wikipedia (Hg.) (2016): Recycling. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Recycling>, zuletzt aktualisiert am 05.10.2016, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hg.) (2014): Ressourcenschonung durch Schrotteinsatz. Schrottanteil der Gesamtrohstahlerzeugung in Deutschland. Online verfügbar unter http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/08/201403_Schrottanteil_Stahlerzeugung_D.png, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

Wolfgang Glenz (2010): Karriere mit Kunststoff. In: *Kunststoffe* (5), S. 78–83, zuletzt geprüft am 19.12.2016.

World Resources Institute (2005): MASR (2005). Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. Washington DC: Island Press. Online verfügbar unter <http://www.millenniumassessment.org/>, zuletzt geprüft am 10.10.2016.

worldsteel (2011): Factsheet Raw-materials 2011. Online verfügbar unter http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/fact-sheets/Fact-sheet_Raw-materials2011/document/Fact%20sheet_Raw%20materials2011.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2014.

Zraggen, Markus; Winkler, Rolf; Winkler, Markus; Germ, Harald; Trüllinger, Samuel; Faller, Markus; Trzebiatowski, Oliver von (2006): Schäden im Zusammenhang mit dem Schmelztauchverzinken. In: *PM* 43 (4), S. 184–191. DOI: 10.3139/147.100296.

Lebenslauf/Vita

Manfred Richard Hammer, geboren am 09.02.1981 in Eschenbach in der Oberpfalz

Schulische Ausbildung

1993–1997	Mittlere Reife an der Staatlichen Realschule Kemnath
2000–2001	Allgemeine Fachhochschulreife an der Staatlichen Berufsoberschule Bayreuth
2001–2002	Allgemeine Hochschulreife an der Staatlichen Berufsoberschule Bayreuth

Akademische Laufbahn

2003–2009	Studium der Architektur an der Universität Stuttgart (Diplom)
2009	Diplomarbeit „living out of waste“ mit der Abschlussnote sehr gut und Diplompreis mit Anerkennung
seit 2010	Promotionsstudent am Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers

Berufserfahrung

1997–2000	Ausbildung zum Bauzeichner Hochbau im Architekturbüro Günther Lenk (vormals Architekturbüro Hans Schuller) in Eschenbach in der Oberpfalz.
2002–2003	Zivildienst am Abenteuerspielplatz Vaihingen e.V. in Stuttgart
2004–2009	Studentische Hilfskraft am Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers
2008	Praktikum im Büro Studio STI in Shanghai, China, Jun Huang
seit 2010	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE) der Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers